



ЄВРОПЕЙСЬКА КОМІСІЯ

Інтегроване запобігання та контроль забруднення

**Довідковий документ щодо
найкращих доступних технологій
та методів управління (ДД НДТМ)
у ковальській та ливарній промисловості**

Травень 2020 року

Цей документ належить до серії довідкових документів, що мають бути опрацьовані та зведені в рамках робочого плану Європейського бюро із запобігання та контролю промислового забруднення (EIPPCB), як це зазначено нижче (на час написання було підготовлено проекти не всіх документів):

Повна назва	Код ДД НДТМ
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для інтенсивного вирощування птиці та свиней	ILF
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління «Загальні принципи моніторингу»	MON
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для дублення шкур і шкіри	TAN
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у виробництві скла	GLS
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у целюлозно-паперовій промисловості	PP
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва чавуну та сталі	I&S
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у цементній, вапняній і магнезійній обробних промисловостях	CL
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для промислових систем охолодження	CV
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у лужно-хлорному виробництві	CAK
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління в обробній промисловості чорної металургії	FMP
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у промисловості кольорової металургії	NFM
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для текстильної промисловості	TXT
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для переробки нафтопродуктів і газу	REF
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у масштабній органічній хімічній промисловості	LVOC
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у загальному очищенні стічних вод і відхідних газів/Системах управління в хімічній галузі	CWW
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління в харчовій, молочній та промисловості безалкогольних напоїв	FM
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у ковальській та ливарній промисловості	SF
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для викидів із резервуарів	ESB
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для економіки та засобів крос-медіа	ECM
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для великих підприємств зі спалювання палива	LCP
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у скотобійнях та галузях виробництва тваринних продуктів	SA
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для менеджменту відходів і пустих порід у гірничодобувній діяльності	MTWR
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для поверхневої обробки металів	STM
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для галузей промисловості з обробки відходів	WT
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для масштабного виробництва неорганічних хімічних речовин – промисловостей із виробництва аміаку, кислот і мінеральних добрив	LVIC-AAF
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для спалювання відходів	WI
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва полімерів	POL
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для енергоефективності	ENE
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва хімічних продуктів тонкого органічного синтезу	OFC
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва спеціальних неорганічних хімічних речовин	SIC
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для поверхневої обробки з використанням органічних розчинників	STS
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для масштабного виробництва неорганічних хімічних речовин – промисловостей із виробництва твердих та інших речовин	LVIC-S
Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у керамічній обробній промисловості	CER

ПРЕАМБУЛА

Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління (ДД НДТМ/BREF) у ковальській та ливарній промисловості відображає обмін інформацією, здійснений відповідно до статті 16(2) Директиви Ради 96/61/ЄС. Цю преамбулу слід читати разом із передмовою ДД НДТМ, де пояснюються структура документа, його цілі, особливості використання та юридичні терміни. У преамбулі описані основні результати, ключові висновки щодо найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) та пов'язаних із ними рівнів викидів/споживання. Цю преамбулу можна читати і сприймати як окремий документ, але, як і будь-який підсумок, він не містить усіх складнощів, які є у повному тексті ДД НДТМ. А тому його сформувавши не з метою замінити повний текст ДД НДТМ при прийнятті рішень щодо НДТМ.

Сфера застосування цього ДД НДТМ

Цей документ відображає обмін інформацією щодо видів діяльності, які охоплює Додаток I, категорії 2.3 (b), 2.4 та 2.5 (b) Директиви щодо інтегрованого запобігання та контролю забруднення (ІЗКЗ), тобто

«2.3. Установки для обробки чорних металів:

(b) ковальські молоти, енергетична потужність яких перевищує 50 кілоджоулів на молот, а потужність теплового споживання перевищує 20 мегават

2.4. Заводи чорних металів з виробничою потужністю, що перевищує 20 тонн на добу

2.5. Установки

(b) для виплавлення, включаючи легування сплавів, кольорових металів, зокрема рекуперованих продуктів (рафінування, ливарне виробництво тощо), плавильною продуктивністю, що перевищує 4 тонни на добу для свинцю та кадмію або 20 тонн на добу для інших металів».

Порівнюючи вищезазначені описи із фактичними потужностями установок, наявних у Європі, ТРГ окреслила робочу сферу застосування цього документа, яка включає наступне:

- лиття чорних матеріалів, наприклад сірий чавун (пластинчастий графіт), ковкий чавун (пластівчастий графіт) і чавун з вермикулярним графітом, сталь
- лиття кольорових матеріалів, наприклад алюміній, магній, мідь, цинк, свинець та їхні сплави.

Ковальські виробництва було виключено зі сфери дії цього документа, оскільки відсутні дані щодо європейських ковальських виробництв, які відповідали б умовам, зазначеним у Додатку I 2.3 (b). Отже в цьому документі обговорюються лише ливарні процеси. Ливарні виробництва кадмію, титану й дорогоцінних металів, а також лиття дзвонів і мистецьке лиття також були виключені зі сфери застосування з міркувань потужності. Безперервний розлив (на листи та шлаки/сляби) вже висвітлювався у матеріалах ДД НДТМ, пов'язаних із виробництвом чавуну та сталі та промисловістю кольорових металів, отже в цьому документі про це не йдеться. В рамках висвітлювання питання кольорових металів у цьому документі вважається, що процес починається із плавлення злитків та скрапу (брухту) або з рідкого металу.

З точки зору процесів, у даному документі розглянуто такі етапи ливарного процесу:

- виготовлення моделей
- зберігання та обробка сировини
- плавлення та обробка металу
- виготовлення форм і ливарних стрижнів, методи формування
- лиття або заливання та охолодження
- вибивання
- оздоблення
- термічна обробка.

Ливарна промисловість

Ливарне виробництво передбачає плавлення чорних і кольорових металів та їхніх сплавів і перетворення їх на готові продукти або форми, що максимально наближені до готової деталі, шляхом заповнення порожнини ливарної форми розплавленим металом чи сплавом, охолодження його у формі та затвердіння. Ливарна промисловість – це диференційована та різноманітна галузь. Вона складається із широкого спектру установок, від малих до дуже великих; кожна з них є поєднанням технологій та окремих операцій, відібраних відповідно до вхідних даних, розмірів серій і типів продукції, що випускається конкретною установкою. Організація в галузі базується на типі металу, тому здебільшого існує поділ на ливарне виробництво чорних і кольорових металів. Оскільки виливки (або відливки) – це, зазвичай, заготовка (напівфабрикат), а не готовий продукт, ливарні виробництва розміщуються поруч із замовниками.

Європейська ливарна промисловість є третьою у світі за показниками лиття чорних кольорів та другою – за показниками лиття кольорових металів. Щорічне виробництво виливків у Європейському Союзі (враховуючи всі країни-члени після останнього розширення) становить 11,7 млн тонн виливків із чорних металів та 2,8 млн тонн виливків із кольорових металів. Німеччина, Франція та Італія є трьома найкращими країнами-виробниками серед країн Європи, загальний річний обсяг виробництва яких перевищує два мільйони тонн. Протягом останніх років Іспанія посіла четверту позицію, витіснивши з цього місця Великобританію, причому обидві країни виробили понад мільйон тонн виливків. В цілому, перша п'ятірка країн виробляє понад 80 % загального обсягу європейського виробництва. Незважаючи на те, що за останні кілька років обсяг виробництва залишається відносно стабільним, спостерігається зменшення загальної кількості ливарних виробництв (зараз їх нараховується близько 3 000 одиниць), що також відображається на кількості зайнятих у галузі (зараз їх нараховується близько 260 000 осіб). Це можна пояснити прогресивним збільшенням масштабів виробництва й автоматизацією в ливарних цехах. Однак ливарна промисловість переважно представлена МСП, адже на 80 % компаній працює менше 250 осіб.

Основними ринками, на які працює ливарна промисловість, є автомобілебудування (50 % частки ринку), загальне машинобудування (30 %) та будівництво (10 %). Зміни в автомобільній промисловості зі стрімким переходом до легших транспортних засобів спричинили зростання ринку алюмінієвих та магнієвих виливків. Хоча чавунні виливки у своїй більшості (тобто >60 %) застосовуються в автомобільному секторі, цільовий ринок для сталевих виливків – це будівельна, машинобудівна промисловість й виробництво клапанів.

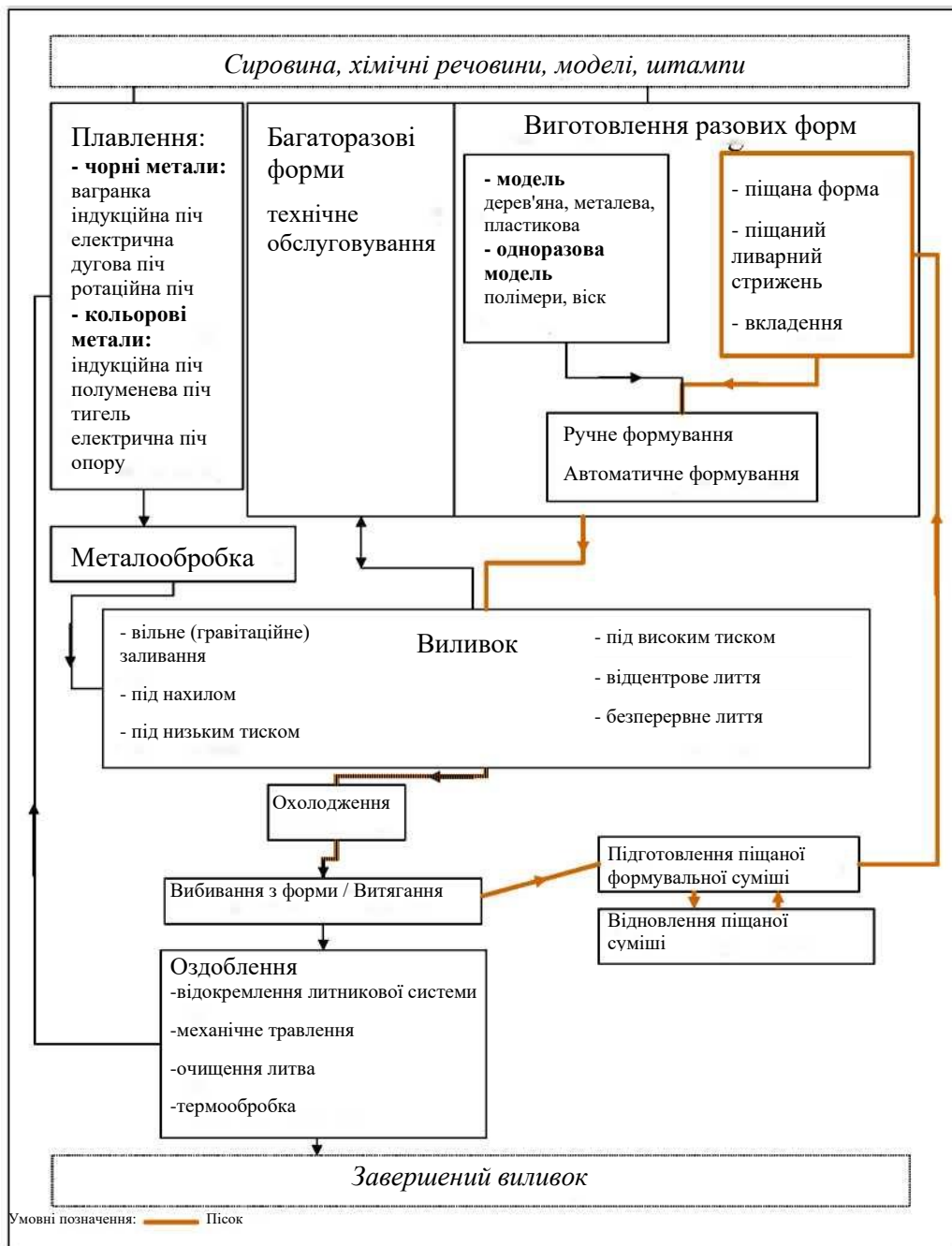
Ливарний процес

Нижче на малюнку зображена узагальнена блок-схема ливарного процесу. Процес можна розділити на такі основні види діяльності:

- плавлення та обробка металів: плавильний цех
- підготовка форм і ливарних стрижнів: цех формування
- лиття у форму розплавленого металу, охолодження для затвердіння та вибивання виливків з форм: ливарний цех
- оздоблення виливків: оздоблювальний цех.

Залежно від типу металу, розміру серій і типу виробу можуть прийматися різні варіанти процесу. Як правило, основний поділ у секторі базується на типі металу (чорний або кольоровий) і типі лиття, що використовується (разові і багаторазові ливарні форми). Незважаючи на те, що можлива будь-яка комбінація, зазвичай ливарні виробництва із чорними металами значною мірою використовують разові форми (тобто лиття в піщано-глинясті форми), а ливарні виробництва із кольоровими металами зазвичай використовують багаторазові форми (тобто лиття під тиском). У рамках кожного із цих основних варіантів технологічного процесу існують різноманітні методи відповідно до типу печей, що використовуються, системи формування та виготовлення ливарних стрижнів, що застосовується (сира формувальна суміш або різні хімічні в'язучі речовини), а також власне системи лиття та методів обробки. Кожен з них має свої технічні, економічні та екологічні характеристики, переваги та недоліки.

Розділи 2, 3 та 4 цього документа використовують підхід дотримання технологічної схеми для опису різних операцій: від виготовлення моделей до оздоблення і термічної обробки. Тут описано методи, що застосовуються, представлено рівні викидів і споживання, а також методи мінімізації впливу на навколишнє середовище. Структура розділу 5 заснована на відмінностях, що існують залежно від типу металу й типу лиття.



Ливарний процес

Негативний вплив на довкілля

Ливарна промисловість є головним гравцем у переробці металевих відходів. Брухт (скрап) зі сталі, чавуну та алюмінію переплавляють на нову продукцію. Найімовірніший негативний вплив ливарної промисловості на навколишнє середовище пов'язаний з наявністю теплового процесу та використанням мінеральних домішок. Отже вплив на навколишнє середовище пов'язаний переважно з вихлопними та відпрацьованими газами, а також повторним використанням або утилізацією мінеральних залишків.

Основною екологічною проблемою є викиди в атмосферу. Ливарний процес створює (в рамках металообробки) мінеральний пил, кислотоутворюючі сполуки, продукти неповного згоряння та летючі органічні речовини (органічний вуглець). Пил є основною проблемою, оскільки він утворюється на всіх етапах процесу, при різних типах і сумішах. Пил виділяється під час плавлення металу, формування піщано-глинястих сумішей, лиття і оздоблення. Будь-який пил, що утворюється під час процесу, може містити оксиди металу та, власне, метал.

Використання коксу в ролі палива або нагрівання тиглів і печей газовими або масляними пальниками може спричинити викиди продуктів згоряння, таких як NO_x та SO_2 . Водночас використання коксу та наявність домішок (наприклад, олії, фарби, ...) у брукхі (скрапі) можуть спричинити утворення деяких продуктів неповного згоряння чи рекомбінації (наприклад PCDD/F) та пилу.

При виготовленні форм і ливарних стрижнів для зв'язування піску використовуються різні домішки. Під час зв'язування піску і лиття металу утворюються продукти реакції та розпаду. До них належать неорганічні та органічні речовини (наприклад аміни, летючі органічні речовини, тобто VOC). Утворення продуктів розпаду (переважно VOC) продовжується й надалі під час операцій охолодження та лиття під тиском. Ці продукти також можуть спричинити появу неприємного запаху.

У ливарному процесі викиди в атмосферу зазвичай не обмежуються одним (або декількома) фіксованими місцями. Процес містить в собі різні джерела викидів (наприклад від гарячих виливків, піску, гарячого металу). Найважливішим питанням зменшення викидів є не тільки обробка потоку вихлопних та відпрацьованих газів, а також його уловлювання.

Формування піщаної суміші передбачає використання великих обсягів піску, причому співвідношення маси піску до рідкого металу зазвичай становить від 1:1 до 20:1. Пісок, що використовується, можна відновлювати, повторно використовувати чи утилізувати. Додаткові мінеральні залишки, такі як шлак і дрос, утворюються на стадії плавлення при видаленні домішок зі сплаву. Вони можуть бути або повторно використані, або утилізовані.

Оскільки ливарне виробництво передбачає термічний процес, енергоефективність і управління виробленим теплом є важливими екологічними аспектами. Однак через потребу транспортування, велику кількість нюансів управління теплоносієм (тобто металом), а також повільне його охолодження відтворення тепла не завжди є простим.

Ливарні виробництва можуть мати високі витрати води, наприклад для операцій охолодження та гасіння. На більшості ливарних виробництв управління водними ресурсами передбачає внутрішню циркуляцію води, при цьому значна її частина випаровується. Вода зазвичай використовується в системах охолодження електричних печей (індукційних або дугових) або вагранок. Загалом кінцевий обсяг стічних вод дуже малий. Утім, утворені стічні води потребують особливої уваги, якщо використовуються методи «мокрого» обезпилення. Під час лиття під (високим) тиском утворюється потік стічних вод, який потребує обробки для видалення органічних сполук (фенолу, олії) перед його утилізацією.

Рівень споживання та викидів

Нижче на малюнку представлено узагальнення вхідних та вихідних елементів ливарного процесу. Крок «лиття», який зазначено в центрі малюнка, також охоплює всі необхідні операції формування. Основними вхідними потоками є метал, енергія, в'язучі елементи та вода. Ключові викиди – це пил, аміни та VOC, а для певних типів печей також SO_2 , діоксини та NO_x .

На стадії плавлення використовується 40 – 60 % вхідної енергії. Для певного типу металу витрата енергії залежить від типу печі, яка використовується. Вхідна енергія плавлення коливається від 500 до 1200 кВт·год/т металу для чорних металів і від 400 до 1200 кВт·год/т металу для алюмінію.

Кількість і типи в'язучих речовин, що використовуються, хімічних компонентів та піску дуже залежать від типу лиття, особливо від його розмірів та форми, а також від того, чи використовується виробництво за серіями або партіями.

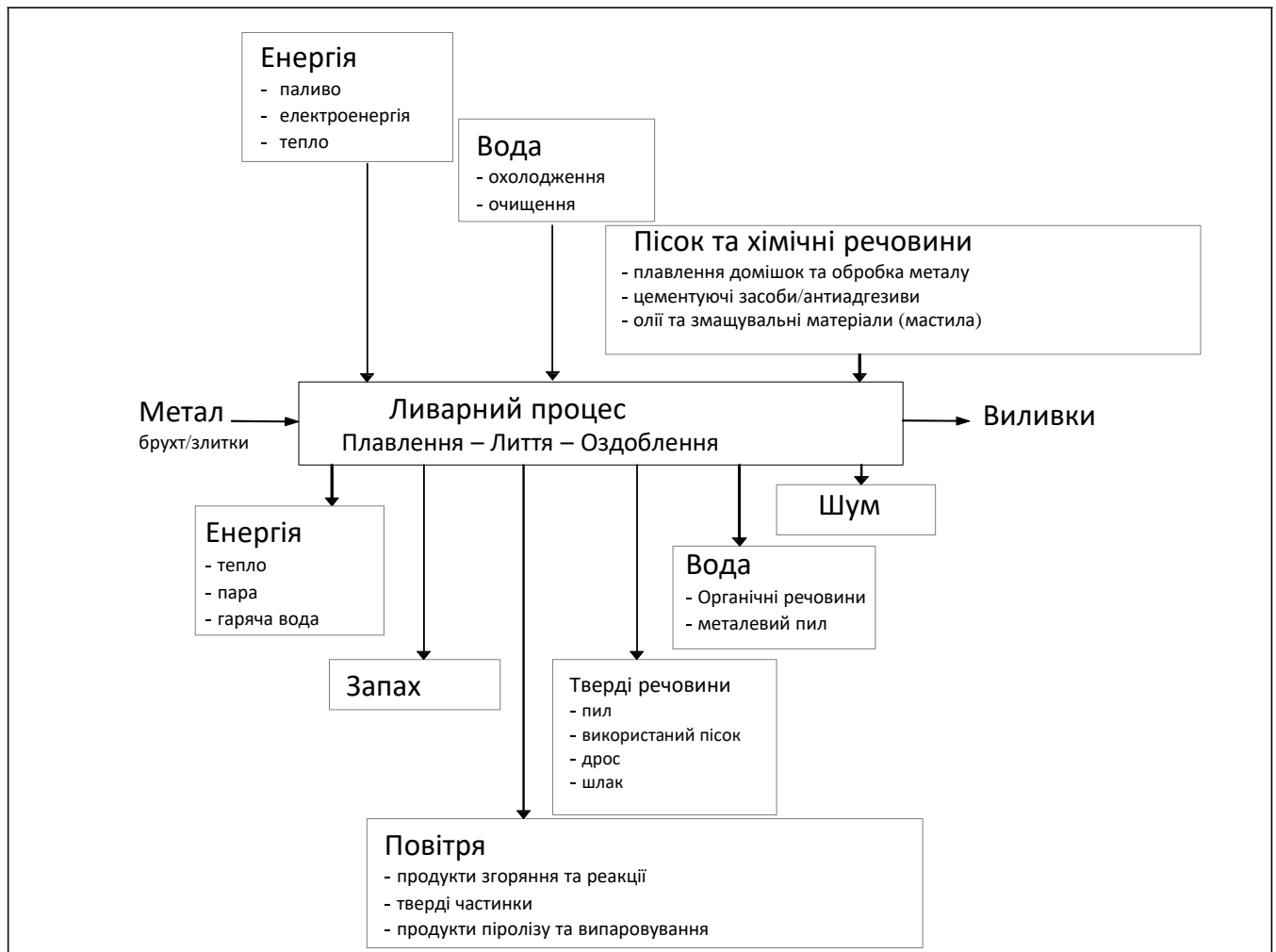
Споживання води значною мірою залежить від типу печі, що використовується, типу очищення газів та способу лиття, який застосовується.

Пил утворюється на кожному етапі процесу, хоч і з різним рівнем мінеральних оксидів, металів та оксидів металів. Рівень пилу для плавлення металів коливається від нижньої межі виявлення, для деяких кольорових металів, до понад 10 кг/т, для плавлення чавуну у вагранках. Велика кількість піску, що використовується під час лиття в разових формах, призводить до викиду пилу на різних стадіях

формування.

Аміни використовуються як каталізатор у найпоширенішій системі виготовлення ливарних стрижнів. Це призводить до керованих викидів від пікострільних машин і дифузних викидів від роботи із сердечником.

Викиди летких органічних речовин (переважно розчинники, ВТЕХ і, меншою мірою, фенол, формальдегід тощо) є результатом використання, наприклад, смол, органічних розчинників або типів покриття на органічній основі при формовці та виготовленні ливарних стрижнів. Органічні сполуки термічно розкладаються під час лиття металу та виділяються далі під час вибивання та охолодження. В цьому документі представлені рівні викидів від 0,1 до 1,5 кг/т лиття.



Короткий огляд масового потоку ливарного процесу

Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ

Мінімізація викидів, ефективне використання сировини й енергії, оптимальне використання хімічних процесів, утилізація та переробка відходів і заміна шкідливих речовин – все це важливі принципи Директиви щодо ІЗКЗ. Для ливарних виробництв ключовими моментами є викиди в атмосферу, ефективне використання сировини та енергії, а також зменшення відходів у поєднанні з будь-якими варіантами переробки та повторного використання.

Як було зазначено вище, екологічні проблеми вирішуються за допомогою різноманітних технологій, як інтегрованих у технологічний процес, так і поставлених на його завершенні. У цьому документі представлено понад 100 методик запобігання та контролю забруднення, що впорядковані у 12 тематичних заголовків, представлених нижче, які значною мірою базуються на потоці процесу:

1. *Зберігання та обробка сировини:* Методи зберігання та поводження з матеріалами спрямовані на запобігання забрудненню ґрунту і води, а також оптимізацію внутрішньої переробки скрапу (брухту).
2. *Плавлення металу та обробка розплавленого металу:* Для кожного типу печі можуть розглядатися різні методи оптимізації ефективності печі та мінімізації появи будь-яких залишків. Насамперед це включає в себе заходи, які реалізуються під час процесу. Екологічні міркування також можуть враховуватися під час вибору типу печі. Особлива увага приділяється очищенню алюмінієвого сплаву та плавленню магнію через високий потенціал забруднення продуктами, які донедавна використовувались (H₂ та SF₆).
3. *Формування та виготовлення ливарних стрижнів, включаючи підготовку піщаної формувальної суміші:* Елементи кращих практик та методи мінімізації споживання можуть застосовуватися для кожного типу системи зв'язування і технологічних змазок, що використовуються під час лиття під тиском. Для зменшення кількості VOC та неприємного запаху від систем із разовими формами можна розглядати використання покриття на водній основі та неорганічних розчинників. В цілому, покриття на водній основі застосовують дуже часто, натомість використання неорганічних розчинників у виробництві ливарних стрижнів все ще обмежене. Інший підхід – це використання різних методів лиття. Однак ці методи використовуються лише у певних сферах.
4. *Лиття металу:* З метою підвищення ефективності ливарного процесу можна розглянути заходи, спрямовані на підвищення виходу металу (тобто масове відношення розплавленого металу до готового виливку).
5. *Уловлювання та обробка диму, димових і вихлопних газів:* Для того, щоб вирішувати проблеми із викидами в атмосферу на всіх різних стадіях ливарного виробництва необхідна наявність адекватної системи уловлювання та очищення. З урахуванням обладнання, що використовується, можуть розглядатися різні методи, залежно від виду сполук, що викидаються, обсягів відпрацьованих газів та простоти уловлювання. У зменшенні викидів відіграють важливу роль методи, які використовуються для уловлювання відпрацьованих газів. Водночас у випадку неконтрольованих (летючих) викидів можна розглянути заходи належної практики.
6. *Попередження появи та обробка стічних вод:* У багатьох випадках можна запобігти появі стічних вод або мінімізувати їх шляхом вжиття заходів, які здійснюватимуться під час процесу. Стічні води, появи яких неможливо запобігти, містять мінеральний або металевий пил, аміни, сульфати, олії або мастила (змащувальні матеріали), залежно від джерела їх появи в рамках процесу. Методи обробки, що використовуються, відрізняються для кожної із цих сполук.
7. *Енергоефективність:* Власне на плавлення металу витрачається 40 – 60 % вхідних енергоносіїв ливарного виробництва. Саме тому заходи з енергоефективності повинні враховувати, окрім плавлення, також інші процеси (наприклад стиснення повітря, запуск установки, гідравліку). Потреба в повільному пічному охолодженні та охолодженні відпрацьованих газів приводить до появи гарячої води або гарячого потоку повітря, що може забезпечити внутрішнє або зовнішнє використання тепла.
8. *Пісок: відновлення, переробка, повторне використання та утилізація:* Зважаючи, що ливарні виробництва інтенсивно використовують пісок як інертний первинний матеріал, відновлення або повторне використання цього піску є важливим аспектом, що враховується серед екологічних показників виробництва. Для відновлення піску застосовують різні методи (зокрема обробку та внутрішнє повторне використання в ролі формувальної піщаної суміші), вибір яких залежить від типу зв'язування та складу потоку піску. Якщо пісок неможливо відновити, то можливе зовнішнє повторне його використання з метою запобігання необхідності його утилізації. Застосування піску в різних областях вже було продемонстровано.
9. *Пил і тверді залишки: обробка та повторне використання:* Для мінімізації кількості пилу і твердого залишку можна розглядати ряд методик та оперативних заходів. Зібраний пил, шлаки та інші тверді залишки можна також використовувати повторно внутрішньо або зовнішньо.
10. *Зменшення рівня шуму:* Різні операції ливарних виробництв є джерелами шуму. Якщо ливарне виробництво розміщене поблизу житлових районів, це може спричинити ряд неприємних моментів для жителів. У зв'язку із цим, можливо, варто розглянути питання про створення та реалізацію плану зменшення шуму, який охоплює як загальні, так і конкретні заходи щодо джерела шуму.
11. *Виведення з експлуатації:* Директива щодо ІЗКЗ наполягає, що слід звернути увагу на можливе забруднення при виведенні з експлуатації. На цьому етапі ливарні виробництва представляють собою визначений ризик забруднення ґрунту. Існує ряд загальних заходів, які застосовують ширше, ніж лише до ливарних виробництв, які можна вважати запобіганням забруднення на стадії виведення з експлуатації.
12. *Інструменти екологічного менеджменту:* Системи екологічного менеджменту – це, без сумніву, корисний інструмент для запобігання забрудненню від діяльності промисловості загалом. Саме тому представлення таких заходів є стандартною частиною кожного ДД НДТМ.

НДТМ для ливарних виробництв

Розділ щодо НДТМ (розділ 5) визначає ті методи, які ТРГ вважає НДТМ в загальному розумінні для ливарної промисловості, виходячи з інформації розділу 4 та з урахуванням визначення «найкращих доступних технологій та методів управління» зі статті 2(11) та міркувань, перелічених у Додатку IV до Директиви. Розділ щодо НДТМ не встановлює та не пропонує граничних значень викидів, але пропонує рівні викидів, пов'язані з використанням НДТМ.

Під час обміну інформацією ТРГ порушила та обговорила багато питань. Добірка вищезазначених питань висвітлена в цьому підсумку. Нижче узагальнено ключові висновки щодо НДТМ, які стосуються найактуальніших екологічних проблем.

Елементи НДТМ необхідно буде адаптувати до типу ливарного виробництва. В більшості випадків ливарне виробництво складається із плавильного цеху та ливарного цеху, обидва мають власний ланцюг постачання. Для лиття в разові форми цей ланцюг постачання включає всі заходи, пов'язані з формуванням та виготовленням ливарних стрижнів. У розділі щодо НДТМ є розділення між плавленням чорного або кольорового металу та між виливками у разові або багаторазові форми. Кожне ливарне виробництво може бути класифіковане як комбінація певного плавлення з відповідним класом формування. НДТМ представлені для кожного класу. Також представлені загальні НДТМ, які є загальними для всіх видів виробництв.

Загальні НДТМ

Деякі елементи НДТМ є загальними і застосовуються для всіх типів виробництв, незалежно від того, які процеси вони використовують і який тип продукції виготовляють. Вони стосуються потоку матеріалів, оздоблення виливків, шуму, стічних вод, природокористування та виведення з експлуатації.

НДТМ передбачають оптимізацію управління та контроль внутрішніх потоків, щоб запобігти забрудненню, пошкодженню, забезпечити належну якість вхідних потоків, надати можливості переробки та повторного використання, а також підвищити ефективність процесу. ДД НДТМ посиляється на методи зберігання та поводження, представлені у ДД НДТМ для зберігання, але також додає деякі НДТМ, пов'язані зі зберіганням та поводженням, придатні саме для ливарної промисловості, такі як зберігання скрапу (брухту) на непроникній поверхні за допомогою системи дренажу та збору (хоча використання перекриття може зменшити необхідність такої системи); роздільне зберігання матеріалів, що надходять, і залишків; використання контейнерів, що можна переробляти; оптимізація виходу металів і заходи належної практики для передачі розплавленого металу та поводження із тиглями.

НДТМ призначені для технологій оздоблення, що утворюють пил, і для методів теплової обробки. У випадку абразивного різання, механічного травлення та футеровки, НДТМ має збирати та обробляти відпрацьовані гази за допомогою «мокрої» чи сухої системи. Що стосується теплової обробки, НДТМ полягає у використанні чистих видів палива (тобто природного газу або палива з низьким вмістом сірки), автоматизованій роботі печі та контролюванні пальника/нагрівача, а також у уловлюванні та виведенні відпрацьованих газів із печей теплової обробки.

Що стосується зменшення рівня шуму, НДТМ повинні розробити і впровадити стратегію зменшення шуму, застосовуючи загальні та специфічні для джерела шуму заходи, такі як використання систем огороження для операцій з високим рівнем шуму, наприклад вибивання, та застосування додаткових заходів залежно від та відповідно до місцевих умов.

НДТМ для управління стічними водами включає запобігання, розділення видів стічних вод, максимальну внутрішню переробку та застосування адекватної обробки для кожного кінцевого потоку. Сюди входять методи, під час яких використовуються, наприклад, перехоплювачі олії/масла, фільтрація або осадження.

З неконтрольованих джерел (перевезення, зберігання, розлив) та неповного усунення неконтрольованих джерел виникають вибухонебезпечні викиди. НДТМ полягають в застосуванні поєднання заходів, що стосуються поводження з матеріалами і транспортування, а також оптимізації уловлювання та очищення відпрацьованих газів за допомогою однієї чи декількох технологій уловлювання. Перевага надається уловлюванню диму якнайближче до джерела.

НДТМ передбачає впровадження й дотримання Системи екологічного управління (EMS), яка

включає, відповідно до обставин, окремі моменти, що стосуються, наприклад, зобов'язань вищого керівництва, планування, встановлення і впровадження процедур, оцінювання дієвості за допомогою коригувальних дій та поліпшування.

НДТМ передбачають застосовування всіх необхідних заходів для запобігання забрудненню при виведенні з експлуатації. До них відносяться мінімізація ризиків на етапі проєктування, впровадження програми удосконалення наявних установок, розробка та слідування плану закриття виробничого майданчика для нових і наявних установок. У цих заходах розглядаються як мінімум такі технологічні елементи: цистерни, посудини, трубопроводи, ізоляційні компоненти, відстійники та звалища.

Плавлення чорних металів

Для експлуатації вагранок НДТМ включають методи, які допомагають підвищити ефективність, такі як роздільна експлуатація доменних печей, збагачення киснем, безперервне продування або тривала експлуатація, заходи належної практики плавлення та контроль якості коксу. НДТМ передбачають збір, охолодження та знежирення відпрацьованих газів, а також застосування допалювання (спеціальних заходів після згоряння) та заходів рекуперації тепла в конкретних умовах. Декілька систем обезпилення також вважаються НДТМ, але при плавленні основним шлаком кращим є вологе зневоднення, а в деяких випадках це один із заходів запобігання та мінімізації викидів діоксину і фурану. Галузь демонструє сумніви щодо впровадження вторинних заходів зі зменшення діоксину і фурану, ефективність яких була доведена лише в інших галузях, і зокрема ставить під сумнів можливість їх застосування для невеликих виробництв. Для вагранок НДТМ щодо управління залишками включає мінімізацію шлакоутворення, попередню обробку шлаків, щоб забезпечити їх зовнішнє повторне використання, а також збирання та переробку коксо-мінерального активатора.

Для експлуатації електричних дугових печей НДТМ включають надійне та ефективне управління процесом для скорочення часу плавлення та обробки із застосуванням: практики використання пінистого шлаку, ефективного уловлювання відпрацьованих газів, охолодження відпрацьованих газів і знежирювання за допомогою мішкового фільтра. НДТМ передбачають переробку відфільтрованого пилу в ЕДП.

Для експлуатації індукційних печей НДТМ передбачають плавлення чистого скрапу (брухту); використання заходів належної практики для завантаження та експлуатації; використання потужності середньої частоти і, під час встановлення нової печі, заміну печі з будь-якою частотою промислової мережі на середню частоту; оцінку можливості рекуперації відпрацьованого тепла і, за конкретних умов, упровадження системи рекуперації тепла. Для уловлювання та обробки вихлопних газів від індукційних печей НДТМ рекомендують використовувати витяжку або покриття витяжки на кожній індукційній печі, щоб уловлювати відпрацьовані гази печі та максимізувати збір відпрацьованого газу протягом повного робочого циклу; користуватися очищенням сухих димових газів; утримувати викиди пилу на рівні нижче 0,2 кг/т розплавленого чавуну.

Для експлуатації ротаційних печей НДТМ передбачають комбінації заходів оптимізації виходу печі та використання газокисневого пальника. НДТМ передбачають збір відпрацьованих газів максимально близько до виходу з печі, застосування допалювання (заходів після згоряння), охолодження їх за допомогою теплообмінника, а потім застосування сухого обезпилення. Для запобігання та мінімізації викидів діоксину і фурану НДТМ передбачають використання комбінації визначених заходів. Як і в ситуації з вагранками, галузь демонструє сумніви щодо впровадження вторинних заходів зі зменшення діоксину та інших елементів, ефективність яких була доведена лише в інших галузях, і зокрема ставить під сумнів можливість їх застосування для невеликих виробництв.

Фактична металообробка залежить від типу продукції, що виготовляється. НДТМ передбачають збір відпрацьованих газів з аргоно-кисневих конвертерів за допомогою навісу на даху, а також збір та обробку відпрацьованих газів від сфероїдизування, використовуючи мішковий фільтр. НДТМ також передбачає, що пил із MgO має піддаватися переробці.

Плавлення кольорових металів

Для експлуатації індукційних печей для плавлення алюмінію, міді, свинцю та цинку НДТМ передбачають використання заходів належної практики для завантаження та експлуатації; використання потужності середньої частоти і, під час встановлення нової печі, заміну печі з будь-

якою частотою промислової мережі на середню частоту; оцінку можливості рекуперації відпрацьованого тепла та, за конкретних умов, упровадження системи рекуперації тепла. Для уловлювання відпрацьованих газів із цих печей НДТМ передбачають мінімізацію викидів та, якщо потрібно, збір відпрацьованих газів, максимізуючи збір відпрацьованих газів протягом повного робочого циклу та застосовуючи очищення сухих димових газів.

Для інших типів печей НДТМ здебільшого зосереджуються на ефективному зборі відпрацьованих газів та/або зменшенні вибухонебезпечних викидів. Для обробки кольорових металів НДТМ рекомендують використання крильчатки для дегазації та очищення алюмінію. НДТМ полягають у використанні SO₂ в ролі буферного газу для плавлення магнію в установках з річною потужністю 500 тонн і більше. Для малих виробництв (<500 тонн деталей з Mg на рік) НДТМ полягають у використанні SO₂ або мінімізації використання SF₆. У випадку, коли використовується SF₆, рівень споживання, що відповідає НДТМ, становить <0,9 кг/т для лиття у піщані форми та <1,5 кг/т для лиття під тиском.

Лиття у разові форми

Лиття у разові форми передбачає формування, виготовлення ливарного стрижня, власне лиття, охолодження та вибивання. Це також включає виготовлення форм із сирі формиувальної суміші або формиувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами та ливарних стрижнів із формиувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами. Елементи НДТМ представлені у трьох категоріях: формування із сирі формиувальної суміші, формування з формиувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами, а також лиття/охолодження/вибивання.

Для підготовки сирі формиувальної суміші НДТМ працюють з уловлюванням вихлопних газів, очищенням, а також внутрішньою або зовнішньою переробкою уловленого пилу. Відповідно до цілей мінімізації відходів, що підлягають утилізації, НДТМ передбачають первинне повторне використання сирі формиувальної суміші. Співвідношення повторного використання, яке пов'язане із використанням НДТМ, складають 98 % (для чистого піску) або 90 – 94 % (для сирі формиувальної суміші з несумісними стрижнями).

Для формиувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами НДТМ мають низку методик та працюють із широким спектром екологічних проблем. НДТМ передбачають мінімізацію споживання зв'язуючих речовин та смол і втрат піску, мінімізацію неефективних викидів VOC шляхом уловлювання вихлопних газів від виготовлення ливарних стрижнів та роботи зі стрижнем, а також використання покриття на водній основі. Використання спиртовмісного покриття передбачено НДТМ в обмежених випадках: там, де покриття на водній основі не можна застосовувати. У цьому випадку вихлопні гази, коли це можливо, слід уловлювати на частині виробничої лінії для покриття. Окремі НДТМ надано для ливарного стрижня, загартованого на аміні та обробленого уретаном (тобто виготовленого з використанням холодного стрижневого ящика) для отримання мінімуму викидів аміна та оптимізації відновлення аміна. Для цих систем НДТМ включає як ароматичні, так і неароматичні розчинники. НДТМ передбачає мінімізацію піску, що йде на утилізацію, насамперед завдяки прийняттю стратегії відновлення та/або повторного використання формиувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами (як у форматі суміші, так і як чистий пісок). У випадку відновлення умови НДТМ представлено нижче у таблиці. Відновлений пісок використовується повторно тільки для сумісних піщаних систем.

Тип піску	Техніка	Співвідношення для відновлення ¹
Чистий пісок, що твердне при охолодженні	Просте механічне відновлення	75 – 80
Кремнистий пісок	Термічна й пневмообробка	45 – 85
Чистий пісок з використанням холодного стрижневого ящика, SO ₂ , гарячого ящика. Відновлений пісок використовується повторно фенолформальдегідному зв'язуванні Змішані органічні піски	Холодне механічне або термічне відновлення	в ливарних стрижнях: 40 – 100 у формах: 90 – 100

Суміш сирого та органічного піску	Механічна-термічна-механічна обробка, зачищення або пневматичне перетирання	в ливарних стрижнях: 40 – 100 у формах: 90 – 100
(1) маса відновленого піску/загальна маса використаного піску		

НДТМ для відновлення формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами (суміш або чистий пісок)

Альтернативні способи лиття та неорганічні зв'язуючі речовини вважаються перспективними для мінімізації впливу процесів формування та лиття на навколишнє середовище.

Лиття, охолодження та вибивання генерують викиди пилу, VOC та інших органічних продуктів. НДТМ полягають в тому, щоб закрити лінії наливання та охолодження і забезпечити відведення вихлопних газів для серійних ливарних виробничих ліній, а також закрити обладнання для вибивання та обробляти відпрацьовані гази за допомогою мокрого або сухого обезпилення.

Лиття у багаторазові форми

Зважаючи на різний характер процесу, екологічні проблеми лиття у багаторазові форми потребують іншого фокусу, ніж ті, що стосуються разових форм, і вода тут відіграє більшу роль. Атмосферні викиди утворюються у вигляді масляного туману, а не пилу та продуктів горіння, що зустрічаються в інших процесах. Тому НДТМ зосереджені на запобіжних заходах, що передбачають мінімізацію споживання води та роздільного складу. НДТМ передбачають збір та обробку стічних вод і фільтраційної води, використовуючи перехоплювачі та перегонку масла, вакуумне випаровування чи біологічну деградацію. Якщо заходи щодо запобігання масляному туману не дозволяють ливарному виробництву досягти рівня викидів, зазначених у НДТМ, НДТМ мають використовувати накриття й електростатичне осаджування для вихлопів ливарного устаткування під високим тиском.

НДТМ для підготовки формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами аналогічні елементам, що згадувалися для лиття у разові форми. НДТМ для управління використаним піском полягає у закритті пристрою для вибивання стрижнів та обробці відпрацьованих газів за допомогою мокрого або сухого обезпилення. Якщо існує місцевий ринок, НДТМ мають забезпечити пісок з вибивання стрижнів, який підлягає переробці.

Рівні викидів, пов'язані з НДТМ

Із вищезазначеними заходами НДТМ пов'язані наступні рівні викидів.

Діяльність	Тип	Параметр	Рівень викидів (мг/нм ³)
Оздоблення виливків		Пил	5 – 20
Плавлення чорних металів	Загальні	Пил ⁽¹⁾ PCDD/PCDF	5 – 20 ≤ 0.1 нг TEQ/Нм ³
	Вагранка з гарячим дуттям	CO SO ₂ NO _x	20 – 1000 20 – 100 10 – 200
	Вагранка з холодним дуттям	SO ₂ NO _x NM – VOC	100 – 400 20 – 70 10 – 20
	Безкоксва вагранка	NO _x	160 – 400
	Електрична дугова піч	NO _x CO	10 – 50 200
	Ротаційна піч	SO ₂ NO _x CO	70 – 130 50 – 250 20 – 30
Плавлення кольорових металів	Загальні	Пил	1 – 20
	Плавлення алюмінію	Хлор	3
	Шахтна піч для алюмінію	SO ₂ NO _x CO VOC	30 – 50 120 150 100 – 150
	Подова піч для алюмінію	SO ₂ NO _x CO TOC	15 50 5 5
Формування та лиття з використанням разових форм	Загальні	Пил	5 – 20
	Цех із виготовлення ливарних стрижнів	Амін	5
	Одиниці відновлення	SO ₂ NO _x	120 150
Лиття у багаторазові форми	Загальні	Пил Масляний туман, що вимірюється як загальний рівень С	5 – 20 5 – 10
(1) Рівень викидів пилу залежить від складових пилу, таких як важкі метали, діоксини, та його масового потоку.			

Усі представлені рівні викидів подаються як середнє значення протягом практично можливого періоду вимірювання. Щоразу, коли можна забезпечити проведення постійного моніторингу, застосовується середньоденне значення. Викиди в атмосферне повітря базуються на стандартних умовах, тобто 273 К, 101,3 кПа та сухому газі.

Незважаючи на те, що довідкові документи щодо НДТМ не встановлюють стандартів, які могли б юридично зобов'язати до чогось, вони мають надати керівні настанови для галузі, держав-членів та громадськості що стосуються досяжних рівнів викидів і споживання при використанні визначених методик. Відповідні граничні значення для будь-якого конкретного випадку потрібно визначити з урахуванням цілей Директиви ІЗКЗ та місцевих особливостей.

Технології, що з'являються

Деякі нові методи мінімізації впливу на навколишнє середовище наразі знаходяться на стадії досліджень та розробок або лише починають виходити на ринок, вони вважаються методами/технологіями, що з'являються. П'ять із цих методів обговорюються в Розділі 6, а саме: використання важкогорючих матеріалів при плавленні у вагранках, переробка металовмісного пилу від фільтрів, відновлення аміна шляхом проникнення відпрацьованих газів, роздільне розпилення вивільняючого агента та води в алюмінієвій штамп/форму, а також використання неорганічних сполук для виготовлення ливарних стрижнів. Остання методика була особливо відзначена ТРГ як перспективна, хоча зараз обмежений масштаб тестування та впровадження поки що не дозволяють її включити як техніку до розгляду при відборі НДТМ.

Кінцеві примітки щодо обміну інформацією

Обмін інформацією

ДД НДТМ ґрунтується на понад 250 джерелах інформації. Ливарні науково-дослідні інститути надавали важливу частину цієї інформації та відігравали активну роль в обміні нею. Місцеві дані щодо використання НДТМ з різних держав-членів забезпечили міцну основу для обміну інформацією. Більшість документів, що надавалися в рамках обміну інформацією, стосувались процесів і методик, які застосовуються у чавунних ливарних виробництвах. Під час написання ДД НДТМ ливарні процеси кольорових металів були представлені недостатньо. Це призвело до нижчого рівня деталізації у висновках НДТМ для ливарних виробництв кольорових металів.

Рівень консенсусу

В рамках роботи було досягнуто хорошого загального рівня консенсусу щодо висновків і не було зафіксовано жодних протиріч у поглядах. Представники галузі додали коментар, висловлюючи сумніви у простоті здійснення вторинних заходів щодо зменшення рівня діоксину.

Рекомендації для майбутньої роботи

Обмін інформацією та результат цього обміну, тобто цей документ, є важливим кроком уперед у досягненні комплексного (інтегрованого) запобігання та контролю забруднення у ливарній промисловості. Майбутня робота може продовжити досягнення цієї мети, зосередившись на зборі та оцінці інформації, яка не була надана під час цього обміну інформацією. Зокрема, у майбутній роботі слід детальніше висвітлити наступні теми:

- *Методики зменшення VOC*: Існує потреба у даних та інформації щодо методів, які застосовуються для ефективного уловлювання та обробки вихлопних газів, що містять велику кількість VOC, з ливарних виробництв. Використання альтернативних зв'язуючих речовин та матеріалів для покриття може виявитися важливим превентивним заходом у цьому відношенні.
- *Обробка стічних вод*: Існує потреба в даних зі значної кількості систем очищення води в ливарних виробництвах. Вони також повинні показувати рівні викидів вхідних елементів, що застосовуються, та методів очищення.

- *Плавлення кольорових металів*: Дані про викиди в ливарних виробництвах з кольоровими металами представлені в цьому документі лише для деяких окремих установок. Необхідно отримати повнішу інформацію як щодо контрольованих, так і щодо неконтрольованих викидів від плавлення кольорових металів у ливарних виробництвах. Це має базуватися на експлуатаційній практиці та виражатися як у рівнях викидів, так і у потоках маси.

- *Економічні дані для методів НДТМ*: Для багатьох методів, представлених у Розділі 4, бракує економічних даних. Цю інформацію потрібно збирати з проєктів, що стосуються впровадження представлених методик.

Теми, що пропонуються для науково-дослідних проєктів

Обмін інформацією також виявив деякі сфери, де можна отримати додаткові корисні знання в рамках наукових досліджень та розробок. Вони стосуються наступних тем:

- *Моніторинг та зменшення рівня діоксину*: Необхідно краще розуміти вплив параметрів процесу на утворення діоксинів. Для цього потрібен моніторинг викидів діоксину для різних установок та за різних умов. Крім того, існує потреба у дослідженні використання та ефективності вторинних заходів щодо зменшення рівня діоксину в ливарній промисловості.

- *Викиди ртуті*: Висока летючість ртуті може спричинити викиди газів, які не пов'язані з пилом. З огляду на реалізацію європейської політики щодо ртутних викидів, існує потреба у дослідженні викидів ртуті від процесів плавлення взагалі та зокрема з ливарних виробництв (кольорових металів).

- *Кисневі пальники та їх використання у вагранках*: ТРГ повідомила, що в результаті постійних досліджень були створені нові програми. Тут є спектр для подальших досліджень та розробок, щоб довести цю методику до того рівня розвитку, який дозволить її подальше розповсюдження.

- *Альтернативні гази-замінники для SF₆ при плавленні магнію*: Альтернативні буферні гази для заміни SF₆, такі як HFC-134a та Novoc612, були розроблені та успішно випробувані, але не знайшли промислового застосування. Ці гази можуть представляти альтернативу заміщення SO₂. Існує потреба у дослідницьких і демонстраційних проєктах, які дадуть знання про захисні властивості, поведінку розкладання та структуру викидів цих сполук. Це повинно чіткіше вказувати на можливість застосування та може підтримати промислове впровадження.

ЕК запускає та підтримує за допомогою своїх програм НДДКР низку проєктів, що стосуються екологічно чистих технологій, нових технологій очищення та переробки, а також стратегій управління. Потенційно ці проєкти можуть стати корисним внеском у майбутні огляди ДД НДТМ. Тому читачам пропонується повідомити ЕІРПСВ про будь-які результати досліджень, що стосуються сфери цього документа (також див. передмову цього документа).

ПЕРЕДМОВА

1. Статус документа

Якщо не зазначено інакше, в цьому документі посилання на «Директиву» означають Директиву Ради 96/61/ЄС щодо інтегрованого запобігання та контролю забруднення (ІЗКЗ). Оскільки Директива застосовується, не порушуючи положення Співтовариства про охорону здоров'я та безпеку життєдіяльності на виробництві, це стосується і цього документа.

Цей документ належить до серії довідкових документів, де представлені результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС та відповідними галузями промисловості щодо найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ), пов'язаного із цим моніторингу та розвитку в них. Документ публікується Європейською Комісією відповідно до статті 16(2) Директиви, і тому повинен бути врахований відповідно до Додатку IV Директиви при визначенні «найкращих доступних технологій та методів управління».

2. Відповідні юридичні зобов'язання Директиви ІЗКЗ та визначення НДТМ

Для того, щоб допомогти читачеві зрозуміти правовий контекст, в якому був складений цей документ, у цій передмові описано деякі найактуальніші для цієї тематики положення Директиви ІЗКЗ, включаючи визначення терміну «найкращі доступні технології та методи управління». Представлений тут опис безперечно неповний і подається лише для ознайомлення. Він не має юридичного значення і в жодний спосіб не змінює чи не порушує положення Директиви.

Метою Директиви є досягнення інтегрованого запобігання та контролю забруднення, яке виникає внаслідок діяльності, переліченої у Додатку I, що, в свою чергу, призводить до високого рівня охорони навколишнього середовища в цілому. Правова основа Директиви стосується охорони навколишнього середовища. Її впровадження також повинне враховувати інші цілі Співтовариства, такі як конкурентоспроможність промисловості Співтовариства, сприяючи сталому розвитку.

Якщо говорити конкретніше, вона передбачає дозвільну систему для певних категорій промислових установок, що вимагає як від операторів, так і від регулюючих органів інтегрованого загального погляду на забруднюючі речовини та потенціал споживання установки. Загальною метою такого інтегрованого підходу має бути покращення управління та контролю виробничих процесів, щоб забезпечити високий рівень захисту навколишнього середовища в цілому. Основним у цьому підході є загальний принцип, наведений у статті 3. Він полягає в тому, що оператори повинні вживати всіх відповідних запобіжних заходів для запобігання забрудненню, зокрема шляхом застосування найкращих доступних технологій та методів управління, що дають їм змогу покращити екологічні показники.

Термін «найкращі доступні технології та методи управління» визначений у статті 2(11) Директиви як «найефективніші з точки зору захисту довкілля та найсучасніші технології та методи управління, розроблені з урахуванням особливостей промислових секторів та економічної доцільності їх впровадження. Також це такі способи експлуатації промислового об'єкта, за умови використання яких забезпечується запобігання або, де це не є здійсненним, зменшення обсягів промислового забруднення та негативного впливу на навколишнє природне середовище». Стаття 2(11) далі так уточнює це визначення:

«Технології та методи управління» включають технології, що застосовуються, технології, за допомогою яких спроектовано і збудовано установку, а також питання експлуатації та виведення з експлуатації;

«Доступні» технології та методи – це методи, розроблені у масштабі, необхідному для впровадження у відповідному промисловому секторі за практично здійснених економічних і технічних умов та з урахуванням витрат і переваг, незалежно від того, використовуються чи не використовуються технології та методи у відповідній країні-члені, за умови, що вони доступні для оператора;

«Найкращий» – найкращі з точки зору захисту навколишнього природного середовища в цілому.

Крім того, Додаток IV до Директиви містить перелік «міркувань, які слід враховувати загалом або в конкретних випадках при визначенні найкращих доступних технологій та методів управління... з огляду на ймовірні витрати і переваги заходу та принципи обережності та запобігання». Ці міркування включають інформацію, опубліковану Комісією відповідно до статті 16(2).

Компетентні органи, відповідальні за видачу дозволів, зобов'язані враховувати загальні принципи, викладені у статті 3, визначаючи умови дозволів. Ці умови повинні включати граничні значення викидів, доповнені або замінені там, де це доречно, еквівалентними параметрами або технічними заходами. Згідно зі статтею 9(4) Директиви, ці граничні значення викидів, еквівалентні параметри і технічні заходи повинні базуватися на найкращих доступних технологіях та методах управління, без шкоди для дотримання екологічних стандартів якості, не встановлюючи обов'язкове використання будь-якої техніки чи конкретної технології, але з урахуванням технічних характеристик відповідної установки, її географічного положення та місцевих екологічних умов. За будь-яких обставин умови дозволу повинні включати положення про мінімізацію забруднення на великі відстані або через кордон і повинні забезпечувати високий рівень охорони навколишнього середовища в цілому.

Відповідно до статті 11 Директиви, країни-члени ЄС зобов'язані забезпечити, щоб компетентні органи дотримувались або були поінформовані про розвиток найкращих доступних технологій та методів управління.

3. Ціль цього документа

Стаття 16(2) Директиви вимагає від Комісії організувати «обмін інформацією щодо найкращих доступних технологій та методів управління між країнами Європейського Союзу та промисловістю, пов'язаний із ними моніторинг та розвиток» та опублікувати результати обміну.

Мета обміну інформацією наведена в пункті 25 декларативної частини Директиви, де сказано, що «розвиток та обмін інформацією на рівні Співтовариства про найкращі доступні методи допоможуть усунути технологічні дисбаланси у Співтоваристві, сприятимуть поширенню обмежувальних показників у всьому світі та методів, що застосовуються у Співтоваристві та допоможуть країнам-членам ЄС в ефективному виконанні цієї Директиви».

Комісія (Генеральний директорат із навколишнього середовища) створила форум з обміну інформацією (IEF) для сприяння роботі відповідно до статті 16(2), а в рамках IEF було створено ряд технічних робочих груп. Як IEF, так і технічні робочі групи включають представників країн-членів та промисловості, як вимагається у статті 16(2).

Мета цієї серії документів – точно відобразити обмін інформацією, який відбувся відповідно до вимог статті 16(2), та надати довідкову інформацію дозвільним органам для врахування при визначенні умов дозволів. Надаючи відповідну інформацію щодо найкращих доступних технологій та методів управління, ці документи повинні діяти як цінний інструмент для покращення екологічних показників.

4. Інформаційні джерела

Цей документ представляє читачам узагальнене резюме інформації, зібраної з ряду джерел, включаючи, зокрема, експертні знання груп, створених для надання допомоги Комісії в її роботі, та перевіреної службами Комісії. Група відмічає усі внески й надану підтримку із теплом і вдячністю.

5. Як слід розуміти і використовувати даний документ

Інформація, представлена в цьому документі, призначена для використання в ролі визначення потрібних НДТМ у конкретних випадках. Визначаючи НДТМ та встановлюючи умови дозволу на основі НДТМ, завжди слід враховувати загальну мету досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в цілому.

Далі в цій частині описано тип інформації, що надається в кожному розділі документа.

У розділах 1 та 2 наводиться загальна інформація про відповідну галузь промисловості та промислові процеси, що використовуються в цій галузі.

У розділі 3 наводяться дані та інформація про поточні рівні викидів та споживання, які відображають ситуацію щодо наявних установок на момент написання.

У розділі 4 докладніше описані питання скорочення викидів та інші методи, які вважаються найактуальнішими для визначення НДТМ та умов дозволів на основі НДТМ. Ця інформація включає рівні споживання та викидів, які вважаються досяжними завдяки використанню технологій та методів, деяке уявлення про витрати та міжгалузеві екологічні проблеми, пов'язані з технологією та методами, а також наскільки ця методика може бути застосована до ряду установок, що вимагають дозволів ІЗКЗ, наприклад нових, наявних, великих або малих установок. Зазвичай методи, які вважаються застарілими, не включаються до переліку.

У розділі 5 представлені методи та рівні викидів і споживання, які вважаються сумісними з НДТМ в загальному розумінні. Отже мета полягає у представленні загальних моментів щодо рівнів викидів та споживання, які можна вважати відповідним орієнтиром для сприяння у визначенні умов дозволу на базі НДТМ або для встановлення загальних обов'язкових правил відповідно до статті 9(8). Слід наголосити, що цей документ не пропонує граничних значень викидів. Визначення відповідних дозвільних умов передбачає врахування місцевих факторів, специфічних для кожної локації, таких як технічні характеристики відповідної установки, її географічне положення та місцеві екологічні умови. Для наявних установок також слід враховувати їх економічну і технічну здатність до модернізації. Навіть одна єдина мета забезпечення високого рівня захисту навколишнього середовища в цілому часто передбачає прийняття компромісних рішень між різними видами впливу на навколишнє середовище, і міркування щодо місцевих особливостей часто впливатимуть на ці рішення.

Незважаючи на те, що робиться спроба вирішити деякі із цих питань, неможливо повністю розглянути їх у цьому документі. Тому методи та рівні, представлені в розділі 5, не обов'язково будуть придатні для всіх установок. З іншого боку, зобов'язання забезпечити високий рівень охорони навколишнього середовища, включаючи мінімізацію забруднення на великі відстані або через кордон, означає, що умови дозволу не можуть бути встановлені на основі суто місцевих міркувань. Тому надзвичайно важливим є те, що інформація в цьому документі повністю враховується органами, які надають дозволи.

Оскільки найкращі доступні технології та методи управління з часом змінюються, цей документ підлягає перегляду та оновленню у відповідних випадках. Усі зауваження та пропозиції слід надсилати до Європейського бюро ІЗКЗ в Інститут перспективних технологічних досліджень за адресою:

Едіфіціо Експо, калле Інка Гарсіласо, вулиця без номерів, E-41092,
Севілья, Іспанія (Edificio Expo, c/ Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Seville, Spain)
Телефон: +34 95 4488 284
Факс: +34 95 4488 426
Електронна пошта: JRC-IPTS-EIPPCB@cec.eu.int
Вебсторінка: <http://eippcb.jrc.es>

Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління у ковальській та ливарній промисловості

Зміст

ПРЕАМБУЛА.....	ii
ПЕРЕДМОВА.....	xv
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	xliii
1 ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ЩОДО ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ	1
1.1 Короткий огляд галузі	1
1.1.1 Ливарна промисловість	1
1.1.2 Ринки для ливарних виробництв.....	8
1.1.3 Типи ливарних виробництв	10
1.2 Вплив на довкілля.....	11
1.2.1 Повітря.....	11
1.2.2 Залишки	11
1.2.3 Енергія	11
1.2.4 Вода.....	11
2 ПРИКЛАДНІ ПРОЦЕСИ ТА МЕТОДИ У ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВАХ	12
2.1 Огляд.....	12
2.1.1 Ливарний процес.....	12
Рис. 2.1. Ливарний процес.....	12
2.1.2 Лиття чавуну	15
2.1.3 Лиття сталі.....	17
2.1.4 Лиття алюмінію	19
2.1.5 Лиття магнію.....	19
2.1.6 Лиття міді	20
2.1.7 Лиття цинку.....	21
2.1.8 Лиття свинцю	21
2.1.9 Лиття суперсплавів.....	21
2.2 Виготовлення моделей	22
2.2.1 Загальне виготовлення моделей	22
2.2.2 Швидке прототипування (RP)	23
2.3 Сировина і транспортування сировини	25
2.4 Плавлення та обробка металу.....	28
2.4.1 Вагранки	29
2.4.1.1 Вагранка з холодним дуттям	29
2.4.1.1.1 Опис.....	29
2.4.1.1.2 Технічне обслуговування.....	30
2.4.1.1.3 Переваги:	30
2.4.1.1.4 Недоліки:.....	30
2.4.1.2 Вагранка з гарячим дуттям	30
2.4.1.2.1 Опис.....	30
2.4.1.2.2 Переваги:	32
2.4.1.2.3 Недоліки:.....	32
2.4.1.3 Вагранка для тривалого плавлення	32
2.4.1.4 Природа атмосферних викидів.....	33
2.4.2 Електрична дугова піч (EAF).....	34
2.4.2.1 Опис.....	34
2.4.2.2 Плавлення та продувка печей EAF з кислою футеровкою	35
2.4.2.3 Плавлення та продувка печей EAF з базовою футеровкою.....	35
2.4.2.4 Природа атмосферних викидів	35
2.4.3 Індукційна піч (IF).....	36

2.4.3.1	Тигельна індукційна піч	36
2.4.3.1.1	Опис.....	36
2.4.3.1.2	Технологія плавлення.....	38
2.4.3.1.3	Переваги:	39
2.4.3.1.4	Недоліки:.....	39
2.4.3.2	Індукційна канална піч	40
2.4.3.2.1	Опис.....	40
2.4.3.2.2	Переваги:	41
2.4.3.2.3	Недоліки:.....	41
2.4.3.3	Природа викидів	41
2.4.4	Тигельна піч (опору).....	42
2.4.5	Ротаційна піч	43
2.4.5.1	Опис.....	43
2.4.5.2	Технологія плавлення.....	43
2.4.5.3	Металургія.....	43
2.4.5.4	Застосування.....	44
2.4.5.5	Переваги:	44
2.4.5.6	Недоліки:.....	44
2.4.6	Подова піч.....	44
2.4.7	Шахтна піч.....	45
2.4.7.1	Опис.....	45
2.4.7.2	Переваги:	46
2.4.7.3	Недоліки:.....	46
2.4.8	Тигельна піч	46
2.4.8.1	Опис.....	46
2.4.8.2	Технологія плавлення.....	47
2.4.8.3	Переваги:	47
2.4.8.4	Недоліки:.....	47
2.4.9	Конвертерний агрегат газокисневого рафінування (AOD) для переробки сталі	48
2.4.10	Конвертерний агрегат вакуумно-кисневого рафінування (VODC) для переробки сталі	48
2.4.11	Металообробка сталі	49
2.4.12	Обробка чавуну.....	50
2.4.12.1	Легування.....	50
2.4.12.2	Гомогенізація	50
2.4.12.3	Десульфуратація та повторне науглецювання чавуну, розплавленого у вагранці 50	
2.4.12.4	Сфероїдизування розплавленого металу	51
2.4.12.5	Модифікація розплавленого металу лігатурним прутком	52
2.4.13	Обробка кольорових металів	52
2.5	Виготовлення форми та стрижня.....	53
2.5.1	Сировина.....	54
2.5.1.1	Вогнетривкі матеріали	54
2.5.1.1.1	Кремнеземний пісок.....	55
2.5.1.1.2	Хромітовий пісок.....	56
2.5.1.1.3	Цирконовий пісок.....	56
2.5.1.1.4	Олівіновий пісок	56
2.5.1.2	Зв'язуючі та інші хімічні речовини.....	57

2.5.1.2.2	Смоли.....	57
2.5.1.2.3	Вугільний пил	58
2.5.1.2.4	Зв'язуючі речовини на основі крохмалю	59
2.5.1.2.5	Оксид заліза	59
2.5.1.3	Робота, підвід, подача та фільтрація.....	59
2.5.2	Підготовка піщаної формувальної суміші (транспортування, просіювання, охолодження, перемішування).....	60
2.5.2.1	Створення умов для формування сирої формувальної суміші.....	60
2.5.3	Формування з природним піском.....	62
2.5.4	Формування із глинистим піском (формування сирої формувальної суміші)	62
2.5.5	Формування з незв'язаним піском (V-процес)	63
2.5.6	Формування та виготовлення стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами.....	65
2.5.6.1	Процеси затвердіння при охолодженні.....	65
2.5.6.1.1	Фенолформальдегідна смола, каталізована кислотою	65
2.5.6.1.2	Фуран, каталізований кислотою	66
2.5.6.1.3	Поліуретан (фенольний ізоціанат)	66
2.5.6.1.4	Резол – складний ефір (лужний фенольний ефір затверділий).....	67
2.5.6.1.5	Алкідна оліфа, непросушена.....	67
2.5.6.1.6	Ефірний силікат	67
2.5.6.1.7	Цемент	67
2.5.6.2	Процеси затвердіння при подачі газу	67
2.5.6.2.1	Холодний стрижневий ящик (фенольний уретан, затверділий за допомогою аміна).....	68
2.5.6.2.2	Резол – складний ефір (лужний фенольний метиловий естер мурашиної кислоти затверділий).....	68
2.5.6.2.3	Фуранові смоли, затверділі на SO ₂	69
2.5.6.2.4	Епоксидні/акрилові суміші, затверділі на SO ₂ (затвердіння вільними радикалами)	69
2.5.6.2.5	Силікат натрію, затверділий на CO ₂ (рідке скло)	69
2.5.6.2.6	Лужний фенол, затверділий на CO ₂	70
2.5.6.3	Процеси гарячого затвердіння	70
2.5.6.3.1	Гарячий стрижневий ящик, на основі фенолу та/або фурану.....	70
2.5.6.3.2	Теплий стрижневий ящик	71
2.5.6.3.3	Лиття з оболонковими стрижнями та формами на фенолформальдегідному зв'язуванні	71
2.5.6.3.4	Ляна олія	72
2.5.6.3.5	Алкідна олія, просушена.....	72
2.5.6.4	Покриття форм і стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами	73
2.5.6.4.1	Склад покриття.....	73
2.5.6.4.2	Процес покриття	73
2.5.7	Лиття одноразових моделей	74
2.5.7.1	Незв'язаний пісок – Процес лиття по газифікованих моделях.....	74
2.5.7.2	Формувальна суміш із хімічними зв'язуючими речовинами – Процес повного формування	76
2.5.8	Підготовка багаторазових (металевих) форм.....	77
2.5.9	Лиття за виплавлюваними моделями та керамічна оболонка.....	77

2.6	Лиття.....	79
2.6.1	Лиття в одноразові форми.....	79
2.6.1.1	Заливання	79
2.6.1.2	Затвердіння (перше охолодження)	81
2.6.1.3	Вибивання	82
2.6.1.4	Охолодження виливку (друге охолодження)	82
2.6.2	Лиття в багаторазові форми.....	82
2.6.2.1	Вільне (гравітаційне) лиття і лиття під низьким тиском	82
2.6.2.2	Лиття під високим тиском	84
2.6.2.3	Відцентрове лиття	86
2.6.2.4	Безперервне лиття	86
2.7	Оздоблення та операції після лиття.....	87
2.7.1	Видалення системи литва	88
2.7.2	Видалення піску.....	88
2.7.3	Очищення литва.....	89
2.8	Термічна обробка.....	90
2.8.1	Вступ.....	90
2.8.2	Печі з термічною обробкою.....	90
2.8.2.1	Камерні печі	90
2.8.2.2	Шахтні печі	91
2.8.2.3	Термічні печі (відпалу)	91
2.8.3	Гартування.....	91
2.8.4	Термічна обробка пластичного заліза (заліза SG)	91
2.8.4.1	Зняття напруження	92
2.8.4.2	Розпад карбідів	92
2.8.4.3	Відпалювання для отримання феритової матриці	92
2.8.4.4	Нормалізація для отримання перлітної матриці	92
2.8.4.5	Виготовлення загартованих і відпущених структур	92
2.8.4.6	Аустенітний високоміцний чавун (ADI)	92
2.8.5	Термічна обробка сталі	93
2.8.6	Термічна обробка алюмінію	94
2.8.6.1	Відпущення та відпалювання	94
2.8.6.2	Обробка розчином і гартування	94
2.8.6.3	Двоступеневе старіння	94
2.8.6.4	Штучне старіння	94
2.9	Контроль якості	95
3	ПОТОЧНІ РІВНІ ВИКИДІВ ТА СПОЖИВАННЯ НА ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВАХ	97
3.1	Огляд масових напрямів і течій.....	97
3.1.1	Вступ.....	97
3.2	Плавлення та обробка чорних металів.....	97
3.2.1	Властивості плавильних печей для сталі та чавуну.....	97
3.2.2	Вагранки	99
3.2.2.1	Кокс і споживання енергії	99
3.2.2.2	Тверді частинки	99
3.2.2.3	Відпрацьовані гази	100
3.2.2.4	Шлаки у вагранках	102
3.2.2.5	Відходи від вогнетривких матеріалів	102
3.2.3	Електрична дугова піч.....	103
3.2.3.1	Матеріали та елементи на вході	103
3.2.3.2	Тверді частинки	103

3.2.3.3	Видимі тверді частинки в повітрі	104
3.2.3.4	Відпрацьовані гази	104
3.2.3.5	Шлаки.....	105
3.2.4	Індукційна піч	105
3.2.4.1	Тигельна індукційна піч.....	105
3.2.4.1.2	Тверді частинки.....	106
3.2.4.1.3	Відпрацьовані гази	107
3.2.4.1.4	Шлаки.....	107
3.2.4.2	Індукційна канална піч.....	108
3.2.5	Ротаційна піч	108
3.2.5.1	Матеріали та елементи на вході.....	109
3.2.5.2	Тверді частинки.....	109
3.2.5.3	Відпрацьовані гази	109
3.2.6	Конвертерний агрегат газокисневого рафінування (AOD)	111
3.2.6.1	Матеріали та елементи на вході.....	111
3.2.6.2	Матеріали та елементи на виході	111
3.2.6.3	Відпрацьовані гази	111
3.2.6.4	Шлаки.....	112
3.2.7	Конвертерний агрегат вакуумно-кисневого рафінування (VODC).....	112
3.2.8	Очищення та обробка сталі.....	112
3.2.9	Обробка чавуну.....	112
3.2.9.1	Сфероїдизування	112
3.3	Розплавлення та обробка алюмінію	113
3.3.1	Огляд плавильних печей для алюмінію	113
3.3.2	Шахтна піч	115
3.3.3	Індукційна піч	116
3.3.4	Радіантно-конвекційна трубчаста піч зі стельовим екраном (піч опору).....	116
3.3.5	Подова піч	116
3.3.6	Тигельна піч (на паливі та піч опору).....	117
3.3.7	Обробка розплавленого алюмінію	117
3.4	Плавлення та лиття магнію і його сплавів.....	118
3.4.1	Захист розплавленого магнію	118
3.4.2	Обробка розплавленого магнію.....	119
3.4.3	Скрап магнію.....	119
3.5	Плавлення і лиття міді та її сплавів	120
3.5.1	Елементи плавлення та лиття	120
3.5.2	Обробка розплавленої міді та її сплавів.....	121
3.6	Плавлення та лиття цинку та його сплавів	121
3.7	Плавлення та лиття свинцю	122
3.8	Очищення відпрацьованих газів.....	122
3.8.1	Скрубери.....	122
3.8.2	Діоксини	122
3.9	Виготовлення форми та стрижня	125
3.9.1	Вступ.....	125
3.9.2	Формування з глинистим піском (формування сирого піску).....	127
3.9.3	Формування з незв'язаним піском (V-процес)	127
3.9.4	Формування та виготовлення стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами.....	128
3.9.4.1	Рівні споживання хімічних речовин	128
3.9.4.2	Фактори, які впливають на викиди	129
3.9.4.3	Викиди від процесів затвердіння при охолодженні	129
3.9.4.4	Викиди від процесів затвердіння при подачі газу.....	130
3.9.4.5	Викиди від процесів гарячого затвердіння.....	130
3.9.5	Покриття форм і стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами	131

3.9.6	Лиття одноразових моделей (лиття по газифікованих моделях/повне формування)	131
3.9.6.1	Незв'язаний пісок – лиття по газифікованих моделях.....	131
3.9.6.2	Пісок із хімічним зв'язуванням – повне формування	132
3.10	Лиття	133
3.10.1	Лиття, охолодження та вибивання з використанням газифікованих моделей	133
3.10.1.1	Рівні викидів	133
3.10.1.2	Співвідношення піску до рідини	137
3.10.1.3	Вихід металу належної для використання якості	139
3.10.1.4	Використаний пісок у ливарному виробництві.....	140
3.10.2	Лиття в багаторазові форми.....	141
3.11	Оздоблення/операції після лиття.....	142
3.11.1	Ковзке шліфування	142
3.11.2	Механічне травлення.....	143
3.11.3	Зачищення	143
3.11.4	Операції з оздоблення у ливарних виробництвах зі сталі.....	143
3.12	Термічна обробка.....	144
3.13	Стічні води	144
3.13.1	Джерела стічних вод.....	144
3.13.2	Стічні води від зберігання скрапу	145
3.13.3	Стічні води від вологих скрубєрів, що використовуються під час плавлення у вагранках	145
3.13.4	Стічні води із зони лиття, охолодження та вибивання, а також від виготовлення форм / підготовки піщаної формувальної суміші	146
3.13.5	Стічні води від виготовлення ливарних стрижнів	146
4	ТЕХНІКИ ТА ПРИЙОМИ, ЯКІ СЛІД ВРАХОВУВАТИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НДТМ ДЛЯ ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ	147
4.1	Зберігання та обробка сировини	148
4.1.1	Вступ.....	148
4.1.2	Критичний склад і герметична база для брухту (скрапу).....	148
	Опис	148
	Досягнуті переваги для довкілля	148
	Міжсередовищні наслідки	148
	Застосування	148
	Рушійна сила для впровадження	148
	Приклади установок.....	148
	Довідкова література	148
4.1.3	Заходи з належного зберігання зв'язуючих хімічних речовин	149
	Опис	149
	Досягнуті переваги для довкілля	149
	Міжсередовищні наслідки	149
	Застосування	149
	Рушійна сила для впровадження	150
	Приклади установок.....	150
	Довідкова література	150
4.1.4	Використання чистого брухту для плавлення та видалення піску з відходів виробництва	150
	Опис	150
	Досягнуті переваги для довкілля	150
	Міжсередовищні наслідки	150
	Експлуатаційні дані	150
	Застосування	151
	Економічні дані.....	151

Рушійна сила для впровадження	151
Приклади установок.....	151
Довідкова література.....	151
4.1.5 Внутрішня переробка скрапу чорних металів.....	151
Опис	151
Досягнуті переваги для довкілля	152
Міжсередовищні наслідки	152
Застосування	152
Економічні дані.....	152
Рушійна сила для впровадження	152
Приклади установок.....	152
Довідкова література.....	152
4.1.6 Внутрішня переробка скрапу магнію.....	152
Опис	152
Досягнуті переваги для довкілля	153
Міжсередовищні наслідки	153
Експлуатаційні дані.....	153
Застосування	154
Економічні дані.....	154
Рушійна сила для впровадження	154
Приклади установок.....	155
Довідкова література.....	155
4.1.7 Переробка використаних контейнерів	155
Опис	155
Досягнуті переваги для довкілля	155
Міжсередовищні наслідки	155
Застосування	155
Економічні дані.....	155
Рушійна сила для впровадження	155
Приклади установок.....	155
Довідкова література.....	155
4.2 Плавлення металу та обробка розплавленого металу	155
4.2.1 Вагранки.....	155
4.2.1.1 Оптимізація експлуатації печей.....	155
Досягнуті переваги для довкілля	156
Міжсередовищні наслідки	156
Застосування	156
Рушійна сила для впровадження	156
Приклади установок.....	156
Довідкова література.....	156
4.2.1.2 Контроль якості при подачі коксу.....	156
Досягнуті переваги для довкілля	157
Міжсередовищні наслідки	157
Експлуатаційні дані.....	157

Застосування	157
Економічні дані.....	157
Рушійна сила для впровадження	157
Приклади установок.....	157
Довідкова література	157
4.2.1.3 Поводження з кислими або базовими шлаками.....	158
Досягнуті переваги для довкілля	158
Застосування	158
Приклади установок.....	158
Довідкова література	158
4.2.1.4 Збільшення висоти шахти у вагранках із холодним дуттям (СВС)	158
Досягнуті переваги для довкілля	159
Міжсередовищні наслідки	159
Експлуатаційні дані	159
Застосування	159
Рушійна сила для впровадження	159
Приклади установок.....	159
Довідкова література	159
4.2.1.5 Встановлення вторинного ряду тюрів (фурм) для вагранок із холодним дуттям (СВС)	159
Досягнуті переваги для довкілля	160
Міжсередовищні наслідки	160
Експлуатаційні дані	160
Застосування	160
Економічні дані.....	160
Рушійна сила для впровадження	161
Приклади установок.....	161
Довідкова література	161
4.2.1.6 Збагачення дуття киснем.....	161
Досягнуті переваги для довкілля	162
Міжсередовищні наслідки	162
Експлуатаційні дані	162
Застосування	162
Економічні дані.....	163
Рушійна сила для впровадження	163
Приклади установок.....	163
Довідкова література	163
4.2.1.7 Перегрівання повітря під час дуття у вагранках з гарячим дуттям (НВС)	163
Досягнуті переваги для довкілля	163
Міжсередовищні наслідки	163
Експлуатаційні дані	163
Застосування	163
Економічні дані.....	163

Рушійна сила для впровадження	163
Приклади установок.....	164
Довідкова література.....	164
4.2.1.8 Мінімальні періоди перекривання дуття для НВС	164
Досягнуті переваги для довкілля	165
Міжсередовищні наслідки	165
Застосування	165
Економічні дані.....	165
Рушійна сила для впровадження	165
Приклади установок.....	165
Довідкова література.....	165
4.2.1.9 Безкоксва вагранка.....	165
Досягнуті переваги для довкілля	166
Міжсередовищні наслідки	167
Експлуатаційні дані.....	167
Застосування	168
Економічні дані.....	168
Рушійна сила для впровадження	169
Приклади установок.....	169
Довідкова література.....	169
4.2.1.10 Коксова вагранка із газовим пальником	169
Досягнуті переваги для довкілля	170
Міжсередовищні наслідки	170
Експлуатаційні дані.....	170
Застосування	170
Економічні дані.....	171
Рушійна сила для впровадження	171
Приклади установок.....	171
Довідкова література.....	171
4.2.2 Електрична дугова піч.....	171
4.2.2.1 Скорочення часу плавлення та обробки.....	171
Досягнуті переваги для довкілля	171
Міжсередовищні наслідки	171
Застосування	171
Рушійна сила для впровадження	172
Приклади установок.....	172
Довідкова література.....	172
4.2.2.2 Практика використання пінистого шлаку	172
Досягнуті переваги для довкілля	172
Міжсередовищні наслідки	172
Експлуатаційні дані.....	172
Застосування	173
Рушійна сила для впровадження	173

Приклади установок.....	173
Довідкова література.....	173
4.2.3 Індукційна піч (IF).....	173
4.2.3.1 Оптимізація процесів: оптимізація матеріалів для завантаження, власне завантаження та експлуатація.....	173
Досягнуті переваги для довкілля.....	174
Міжсередовищні наслідки.....	174
Експлуатаційні дані.....	174
Застосування.....	174
Рушійна сила для впровадження.....	174
Приклади установок.....	174
Довідкова література.....	174
4.2.3.2 Перехід від печі промислової частоти до печі середньої частоти.....	174
Досягнуті переваги для довкілля.....	175
Міжсередовищні наслідки.....	175
Експлуатаційні дані.....	175
Застосування.....	175
Рушійна сила для впровадження.....	175
Приклади установок.....	175
Довідкова література.....	175
4.2.4 Ротаційна піч.....	175
4.2.4.1 Підвищення потужності печі.....	175
Досягнуті переваги для довкілля.....	175
Міжсередовищні наслідки.....	175
Експлуатаційні дані.....	175
Застосування.....	176
Рушійна сила для впровадження.....	176
Приклад установок.....	176
Довідкова література.....	176
4.2.4.2 Використання кисневого пальника.....	176
Досягнуті переваги для довкілля.....	176
Міжсередовищні наслідки.....	176
Експлуатаційні дані.....	177
Застосування.....	177
Економічні дані.....	177
Рушійна сила для впровадження.....	177
Приклади установок.....	177
Довідкова література.....	177
4.2.5 Вибір між вагранкою, індукційною та ротаційною печами для плавлення чавуну.....	177
Опис.....	177
Досягнуті переваги для довкілля.....	180
Міжсередовищні наслідки.....	180
Застосування.....	180
Економічні дані.....	180

Рушійна сила для впровадження	181
Приклади установок.....	181
Довідкова література.....	181
4.2.6 Подова піч	181
4.2.6.1 Використання кисневого пальника.....	181
4.2.7 Інші види печей.....	181
4.2.7.1 Альтернативи використанню SF₆ в ролі буферного (захисного) газу для плавлення Mg	181
Досягнуті переваги для довкілля	181
Міжсередовищні наслідки	182
Експлуатаційні дані.....	182
Застосування	182
Економічні дані.....	182
Рушійна сила для впровадження	183
Приклади установок.....	183
Довідкова література.....	184
4.2.8 Обробка кольорових металів	184
4.2.8.1 Дегазація та очищення алюмінію за допомогою крильчатки.....	184
Досягнуті переваги для довкілля	184
Міжсередовищні наслідки	184
Експлуатаційні дані.....	184
Застосування	184
Економічні дані.....	184
Рушійна сила для впровадження	185
Приклади установок.....	185
Довідкова література.....	185
4.3 Формування та виготовлення ливарних стрижнів, включаючи підготовку піщаної формувальної суміші.....	185
4.3.1 Вибір форми.....	185
4.3.2 Формування з глинистим піском (формування сирої формувальної суміші)	186
4.3.2.1 Підготовка глинистого піску завдяки вакуумному змішуванню та охолодженню.....	186
Досягнуті переваги для довкілля	187
Міжсередовищні наслідки	187
Застосування	188
Економічні дані.....	188
Рушійна сила для впровадження	188
Приклади установок.....	188
Довідкова література.....	188
4.3.3 Формування та виготовлення стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами.....	188
4.3.3.1 Мінімізація споживання зв'язуючих речовин та смол.....	188
Досягнуті переваги для довкілля	189
Міжсередовищні наслідки	189
Експлуатаційні дані.....	189
Застосування	189

Економічні дані.....	190
Рушійна сила для впровадження	190
Приклади установок.....	190
Довідкова література.....	190
4.3.3.2 Мінімізація втрат піску з форми та ливарного стрижня.....	190
Досягнуті переваги для довкілля	190
Міжсередовищні наслідки	190
Застосування	191
Економічні дані.....	191
Рушійна сила для впровадження	191
Приклади установок.....	191
Довідкова література.....	191
4.3.3.3 Найкращі практики для процесів затвердіння при охолодженні.....	191
4.3.3.4 Найкращі практики для процесів затвердіння при подачі газу.....	191
4.3.3.5 Заміна спиртового покриття на водоемульсійне покриття.....	192
Досягнуті переваги для довкілля	193
Міжсередовищні наслідки	193
Експлуатаційні дані.....	193
Застосування	194
Економічні дані.....	194
Рушійна сила для впровадження	195
Приклади установок.....	195
Довідкова література.....	195
4.3.3.6 Мікрохвильове сушіння для покриття на водній основі.....	195
Досягнуті переваги для довкілля	195
Міжсередовищні наслідки	195
Експлуатаційні дані.....	195
Застосування	196
Економічні дані.....	196
Рушійна сила для впровадження	197
Приклади установок.....	197
Довідкова література.....	197
4.3.3.7 Використання неароматичних розчинників для виробництва стрижнів у холодних ящиках.....	197
Досягнуті переваги для довкілля	197
Міжсередовищні наслідки	197
Експлуатаційні дані.....	197
Застосування	199
Економічні дані.....	199
Рушійна сила для впровадження	199
Приклади установок.....	199
Довідкова література.....	199
4.3.4 Альтернативні методи формування/виготовлення ливарних стрижнів.....	200

4.3.4.1	Лиття у разові форми (газифіковані моделі).....	200
	Досягнуті переваги для довкілля	200
	Міжсередовищні наслідки	200
	Експлуатаційні дані	200
	Застосування	201
	Економічні дані.....	201
	Рушійна сила для впровадження	201
	Приклади установок.....	201
	Довідкова література	202
4.3.4.2	Лиття в керамічні оболонкові форми.....	202
	Досягнуті переваги для довкілля	202
	Міжсередовищні наслідки	202
	Експлуатаційні дані	202
	Застосування	202
	Рушійна сила для впровадження	202
	Приклади установок.....	202
	Довідкова література	202
4.3.5	Багаторазові (металеві) форми та підготовка лиття під тиском	203
4.3.5.1	Мінімізація вивільняючого агента і споживання води	203
	Досягнуті переваги для довкілля	203
	Міжсередовищні наслідки	203
	Застосування	203
	Рушійна сила для впровадження	203
	Приклади установок.....	203
	Довідкова література	203
4.3.5.2	Застосування вивільняючого агента при закритій формі.....	203
	Досягнуті переваги для довкілля	204
	Міжсередовищні наслідки	204
	Експлуатаційні дані	204
	Застосування	204
	Рушійна сила для впровадження	204
	Приклади установок.....	204
	Довідкова література	204
4.4	Лиття металу	204
4.4.1	Покращення показників виходу металу належної для використання якості.....	204
	Опис	204
	Досягнуті переваги для довкілля	204
	Міжсередовищні наслідки	204
	Експлуатаційні дані	205
	Застосування	205
	Економічні дані.....	205
	Рушійна сила для впровадження	205
	Приклади установок.....	205
	Довідкова література	205

4.5	Уловлювання та обробка диму, відпрацьованих (димових) і вихлопних газів	206
4.5.1	Загальні принципи	206
4.5.1.1	Зменшення неконтрольованих викидів	207
4.5.1.2	Використання димових труб із кількома димохідними каналами.....	209
4.5.1.3	Методики скорочення відходів	209
4.5.1.4	Попередження та зменшення рівня діоксинів.....	213
	Досягнуті переваги для довкілля	214
	Міжсередовищні ефекти	214
	Експлуатаційні дані	215
	Застосування	215
	Економічні дані.....	215
	Рушійна сила для впровадження	216
	Приклади установок.....	216
	Довідкова література.....	216
4.5.1.5	Зменшення утворення неприємного запаху	216
4.5.2	Вагранка	217
4.5.2.1	Збір, очищення та охолодження газу	217
	Досягнуті переваги для довкілля	220
	Міжсередовищні ефекти	220
	Експлуатаційні дані	220
	Застосування	220
	Економічні дані.....	220
	Рушійна сила для впровадження	221
	Приклади установок.....	221
	Довідкова література.....	221
4.5.2.2	Допалювання (спеціальні заходи після згорання) у камері згорання НВС	221
	Досягнуті переваги для довкілля	222
	Міжсередовищні ефекти	222
	Експлуатаційні дані	222
	Застосування	224
	Економічні дані.....	224
	Рушійна сила для впровадження	224
	Приклади установок.....	224
	Довідкова література.....	224
4.5.2.3	Допалювання в шахті вагранки	224
	Досягнуті переваги для довкілля	225
	Міжсередовищні ефекти	225
	Експлуатаційні дані	225
	Застосування	226
	Економічні дані.....	226
	Рушійна сила для впровадження	227
	Приклади установок.....	227
	Довідкова література.....	227
4.5.3	EAF (електрична дугова піч).....	227

4.5.3.1	Збір відпрацьованих газів.....	227
	Досягнуті переваги для довкілля	228
	Міжсередовищні ефекти	228
	Експлуатаційні дані	228
	Застосування	229
	Економічні дані.....	229
	Рушійна сила для впровадження	229
	Приклади установок.....	229
	Довідкова література	229
4.5.3.2	Очищення вихлопних газів	229
	Досягнуті переваги для довкілля	229
	Міжсередовищні ефекти	229
	Експлуатаційні дані	229
	Застосування	230
	Економічні дані.....	230
	Рушійна сила для впровадження	230
	Приклади установок.....	230
	Довідкова література	230
4.5.4	Індукційна піч	230
4.5.4.1	Збір відпрацьованих газів.....	230
	Досягнуті переваги для довкілля	231
	Міжсередовищні ефекти	231
	Експлуатаційні дані	231
	Рушійна сила для впровадження	232
	Приклади установок.....	232
	Довідкова література.....	232
4.5.4.2	Очищення вихлопних газів	232
	Досягнуті переваги для довкілля	232
	Міжсередовищні ефекти	232
	Експлуатаційні дані	233
	Застосування	233
	Економічні дані.....	233
	Рушійна сила для впровадження	233
	Приклади установок.....	233
	Довідкова література.....	233
4.5.5	Ротаційна піч	235
4.5.5.1	Збір відпрацьованих газів та очищення вихлопних газів	235
	Досягнуті переваги для довкілля	235
	Міжсередовищні ефекти	235
	Експлуатаційні дані	235
	Застосування	235
	Рушійна сила для впровадження	235
	Приклади установок.....	235

Довідкова література	235
4.5.6 Тигельна, подова печі та радіантно-конвекційна трубчаста піч зі стельовим екраном	236
4.5.6.1 Попередження видимих і неконтрольованих викидів під час плавлення та обробки металу	236
Досягнуті переваги для довкілля	236
Міжсередовищні наслідки	236
Застосування	236
Економічні дані.....	236
Рушійна сила для впровадження	237
Приклади установок.....	237
Довідкова література	237
4.5.7 Металообробка.....	237
4.5.7.1 Конвертерний агрегат AOD: захоплення та обробка вихлопних газів	237
Досягнуті переваги для довкілля	237
Міжсередовищні наслідки	237
Застосування	237
Рушійна сила для впровадження	237
Приклади установок.....	237
Довідкова література	237
4.5.7.2 Сферодизування: збір відпрацьованих газів та обезпилення	237
Досягнуті переваги для довкілля	238
Міжсередовищні наслідки	238
Експлуатаційні дані	238
Застосування	238
Економічні дані.....	238
Рушійна сила для впровадження	239
Приклади установок.....	239
Довідкова література	239
4.5.8 Виготовлення форми та стрижня	239
4.5.8.1 Відсмоктування пилу від підготовки сирової піщаної формувальної суміші (установка з приготування формувальної суміші) та обезпилення	239
Досягнуті переваги для довкілля	240
Міжсередовищні наслідки	240
Експлуатаційні дані	240
Застосування	240
Рушійна сила для впровадження	240
Приклади установок.....	240
Довідкова література	240
4.5.8.2 Відсмоктування пилу із зони формувального цеху, де використовується сира піщана формувальна суміш, та від обезпилення.....	240
4.5.8.3 Відсмоктування викидів від виготовлення ливарних стрижнів – загальні моменти	240
4.5.8.4 Холодний стрижневий ящик: захоплення парів аміна та обробка вихлопних газів	240
Досягнуті переваги для довкілля	240

Міжсередовищні наслідки	240
Експлуатаційні дані	240
Застосування	241
Економічні дані.....	241
Рушійна сила для впровадження	241
Приклади установок.....	241
Довідкова література.....	241
4.5.8.5 VOC-збирання та усунення.....	241
Досягнуті переваги для довкілля	242
Міжсередовищні наслідки	242
Рушійна сила для впровадження	242
Довідкова література	242
4.5.8.6 Очищення вихлопних газів з використанням біофільтру	242
Досягнуті переваги для довкілля	243
Міжсередовищні наслідки	243
Експлуатаційні дані	243
Застосування	244
Економічні дані.....	244
Рушійна сила для впровадження	244
Приклади установок.....	244
Довідкова література	244
4.5.8.7 Виготовлення кокілів (багаторазових форм): збір викидів від вивільняючого агента 245	
Досягнуті переваги для довкілля	245
Міжсередовищні наслідки	245
Експлуатаційні дані	245
Застосування	245
Рушійна сила для впровадження	245
Приклади установок.....	245
Довідкова література	245
4.5.9 Лиття/охолодження/вибивання	245
4.5.9.1 Вступ	245
4.5.9.2 Капсуляція ліній для заливання та охолодження	246
Досягнуті переваги для довкілля	246
Міжсередовищні наслідки	246
Застосування	246
Рушійна сила для впровадження	246
Приклади установок.....	246
Довідкова література	246
4.5.9.3 Захоплення вихлопних газів та обробка від вибивання.....	246
Досягнуті переваги для довкілля	247
Міжсередовищні наслідки	247
Експлуатаційні дані	247

Застосування	248
Економічні дані.....	248
Рушійна сила для впровадження	248
Приклади установок.....	248
Довідкова література	248
4.5.9.4 Очищення відпрацьованого газу з використанням біофільтру	248
Приклади установок.....	248
Довідкова література	248
4.5.10 Оздоблення/операції після лиття: збір та обробка відходів.....	249
4.5.10.1 Завершення збору відпрацьованих газів	249
Досягнуті переваги для довкілля	249
Міжсередовищні наслідки	249
Експлуатаційні дані	249
Застосування	249
Рушійна сила для впровадження	250
Приклади установок.....	250
Довідкова література	250
4.5.10.2 Техніка очищення повітря з вихлопними газами	250
Досягнуті переваги для довкілля	251
Міжсередовищні наслідки	251
Експлуатаційні дані	251
Застосування	251
Рушійна сила для впровадження	251
Приклади установок.....	251
Довідкова література	251
4.5.11 Збір та очищення відпрацьованих газів від термічної обробки.....	251
4.5.11.1 Використання чистих палив у печах термічної обробки з пальником.....	251
Досягнуті переваги для довкілля	251
Міжсередовищні наслідки	251
Експлуатаційні дані	252
Застосування	252
Рушійна сила для впровадження	252
Приклади установок.....	252
Довідкова література	252
4.5.11.2 Гартівна піч-ванна.....	252
Досягнуті переваги для довкілля	252
Міжсередовищні наслідки	252
Застосування	253
Рушійна сила для впровадження	253
Приклади установок.....	253
Довідкова література	253
4.6 Попередження появи та обробка стічних вод	253
4.6.1 Заходи щодо запобігання утворенню стічних вод	253
Опис	253

Досягнуті переваги для довкілля	254
Міжсередовищні наслідки	254
Експлуатаційні дані	254
Застосування	254
Економічні дані.....	254
Рушійна сила для впровадження	254
Приклади установок.....	254
Довідкова література	254
4.6.2 Обробка очисних вод та інших стічних вод	255
Опис	255
Досягнуті переваги для довкілля	255
Міжсередовищні наслідки	255
Експлуатаційні дані	255
4.6.3 Приклад установки для запобігання та зменшення кількості стічних вод	256
4.6.4 Перехоплювачі мастил	260
4.6.5 Відновлення аміна зі скруберної води	260
4.6.6 Зниження кількості гліколів в потоках стічних вод під час лиття	262
4.7 Енергоефективність	262
4.7.1 Вступ.....	262
4.7.2 Індукційна піч: утилізація відпрацьованого тепла	263
4.7.3 Вагранка: утилізація відпрацьованого тепла.....	265
4.7.4 Скорочення втрат енергії/покращення практики попереднього нагрівання ковшів	267
4.8 Пісок: відновлення, переробка, повторне використання й утилізація	268
4.8.1 Вступ.....	268
4.8.2 Відновлення сирової піщаної суміші за оптимізованих умов (первинне відновлення)	272
4.8.3 Просте механічне відновлення формувальної суміші холодного тверднення	274
4.8.4 Холодне механічне відновлення за допомогою шліфувального блоку	275
4.8.5 Холодне механічне відновлення за допомогою барабана	279
4.8.6 Холодне відновлення за допомогою пневматичної системи	280
4.8.7 Термічне відновлення.....	282
4.8.8 Комбіноване відновлення (механічне–термічно-механічне) для змішаних органічних- бентонітових пісків.....	286
4.8.9 Відновлення вологої піщаної суміші	289
4.8.10 Відновлення скляного піску за допомогою пневматичних систем	290
4.8.11 Внутрішнє повторне використання неочищеного стрижневого піску.....	292
4.8.12 Повторне використання пилу із циклу використання сирової формувальної суміші для виготовлення форм	293
4.8.13 Зовнішнє повторне використання відпрацьованого піску та зниження відходів від циклу використання піщаної суміші та процесів відновлення	294
4.9 Пил і тверді залишки: обробка та повторне використання	295
4.9.1 Вступ.....	295
4.9.2 (Попередня обробка для) повторного використання твердих залишків	296
4.9.3 Мінімізація шлакоутворення	298
4.9.4 Вагранка.....	299
4.9.4.1 Збір і переробка коксо-мінерального активатора	299
4.9.4.2 Повторна циркуляція фільтрувального пилу до вагранки	299
4.9.5 EAF.....	303
4.9.5.1 Переробка фільтрувального пилу та рідких викидів (від плавлення в EAF)	303
4.9.5.2 Переробка шлаків і залишків Al	304
4.10 Зниження рівня шуму	304
4.11 Виведення з експлуатації	306
4.12 Інструменти екологічного менеджменту	306
5 НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ.....	314
5.1 Загальні НДТМ (для ливарної промисловості)	315
5.2 Плавлення чорних металів	318
5.3 Плавлення кольорових металів.....	320
5.4 Лиття у разові форми.....	322
5.5 Лиття у багаторазові форми	324

6	НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ, ДЛЯ ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ 331	
6.1	Використання дешевих горючих матеріалів при плавленні в вагранці	331
6.2	Переробка металовмісного фільтрувального пилю (чорні метали)	331
6.3.	Відновлення аміна з відходів від виготовлення ливарних стрижнів шляхом проникнення газу	332
6.4	Окреме розпилення вивільняючого агента і води в литті алюмінію	333
6.5	Неорганічний зв'язуючий матеріал для виготовлення ливарних стрижнів.....	334
7	КІНЦЕВІ ЗАУВАЖЕННЯ	336
7.1	Часові рамки роботи.....	336
7.2	Джерела інформації.....	336
7.3	Рівень консенсусу, якого було досягнуто.....	337
7.4	Рекомендації для майбутньої роботи.....	338
7.5	Теми, що пропонуються для науково-дослідних проєктів.....	338
8	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	335
9	СЛОВНИК	343
9.1	АБРЕВІАТУРИ	343
9.2	Терміни	345
9.3	Лексика	349
10	ДОДАТКИ	351
10.1	Додаток 1. Огляд даних для розплавлення чавуну у різних типах вагранок та в індукційній печі 351	
10.2	Додаток 2. Обладнання для контролю рівня пилю на масштабному ливарному виробництві для автомобільної галузі	361

Перелік рисунків

Рис. 1.1: Дані щодо продуктивності ливарних виробництв чорних металів для різних європейських країн	8
Рис. 1.2: Відносні частки ринку галузі	9
Рис. 1.3: Частки ринку для виливків із чавуну (дані щодо іспанського ринку)	9
Рис. 1.4: Частки ринку для виливків зі сталі (дані щодо іспанського ринку)	10
Рис. 2.1: Ливарний процес	13
Рис. 2.2: Схема технологічного процесу для плавлення та металообробки чавуну	16
Рис. 2.3: Схема технологічного процесу для плавлення та металообробки сталі	18
Рис. 2.4: Дерев'яна модель	23
Рис. 2.5: Стрижневий ящик	23
Рис. 2.6: Термополімерні (воскові) моделі в машині для швидкого виготовлення прототипів, зразків, моделей	24
Рис. 2.7: Алюмінієвий шлак (l.) та чушка (г.)	25
Рис. 2.8: Пневматичні конвеєри та силоси для порошкоподібних матеріалів	25
Рис. 2.9: Схематичне зображення та мініатюрна модель вагранки (з холодним дуттям)	29
Рис. 2.10: Вплив попереднього нагрівання повітря на продуктивність доменної печі	31
Рис. 2.11: Схематичне зображення вагранки для тривалого плавлення	32
Рис. 2.12: Електродугова піч (EAF)	34
Рис. 2.13: Загальна схема тигельної індукційної печі	37
Рис. 2.14: Тигельні індукційні печі	38
Рис. 2.15: Типова схема каналної печі для плавлення	40
Рис. 2.16: Індукційна канална піч	41
Рис. 2.17: Тигельна піч опору	42
Рис. 2.18: Поперечний розріз подової печі	44
Рис. 2.19: Шахтна піч	46
Рис. 2.20: Термічні печі (відпалу)	47
Рис. 2.21: Конвертерний агрегат газокисневого рафінування (AOD)	48
Рис. 2.22: Розкиснювання з використанням алюмінієвих дротів	49
Рис. 2.23: Метод сандвіча для сфероїдизування	51
Рис. 2.24: Графітізуюче модифікування під час заливання	52
Рис. 2.25: Типовий розподіл розміру зерна для ливарного піску з діоксидом кремнію	55
Рис. 2.26: Складові литникової системи	60
Рис. 2.27: Різні типи фільтрів	60
Рис. 2.28: Блок-схема типової установки для приготування сирової формувальної суміші	61
Рис. 2.29: Різні типи піскозмішувачів	61
Рис. 2.30: Вакуумно-плівкове формування	64
Рис. 2.31: Фуранові стрижні	66
Рис. 2.32: Ливарні стрижні, виготовлені у холодних ящиках	68
Рис. 2.33: Стрижні (зверху) та форми (знизу), виготовлені із суміші піску і термореактивних фенольних смол	72
Рис. 2.34: Покриття методом обливання із застосуванням покриття на спиртовій основі з подальшим випалюванням або сушкою	73
Рис. 2.35: Покриття методом занурення із застосуванням покриття на водній основі з подальшим сушінням у печі з гарячим дуттям	74
Рис. 2.36: Процес лиття по газифікованих моделях	75
Рис. 2.37: Одноразові моделі (г.) для процесу ЛГМ і як приклад лиття відповідно до методу ЛГМ (l.)	76
Рис. 2.38: Лиття за випалюваними моделями («Інвестиційне лиття»)	78
Рис. 2.39: Розливний ківш для заливання розплавленого металу	80
Рис. 2.40: Ківш чайникового типу для заливання розплавленого металу	80
Рис. 2.41: Стопорний розливний ківш для заливання розплавленого металу	81
Рис. 2.42: Розливна піч	81
Рис. 2.43: Вибивання в кінці автоматизованої формувальної виробничої лінії	82
Рис. 2.44: Принцип роботи машини для лиття під низьким тиском	83
Рис. 2.45: Машина для лиття під низьким тиском	83
Рис. 2.46: Устаткування для лиття під високим тиском із холодною камерою та з гарячою камерою	84
Рис. 2.47: Схематичне зображення машини для відцентрового лиття	86
Рис. 2.48: Схематичне зображення машини для різьбового лиття, що використовується для безперервного лиття	87
Рис. 2.49: Лиття з литниковою системою	88
Рис. 2.50: Виливки до (l., m.) та після (г.) усунення піску шляхом обдувки	88
Рис. 2.51: Задирки (l.) та їх усунення шліфувальним каменем (m.) та ковзким шліфуванням (г.)	89
Рис. 2.52: Гартування гарячого виливку незабаром після термічної обробки	91
Рис. 2.53: Типові етапи ізотермічного гартування	93
Рис. 3.1: Короткий огляд масового потоку ливарного процесу	97

Рис. 3.2: Типові енерговтрати від тигельної індукційної печі промислової частоти	106
Рис. 3.3: Споживання енергії (кВт-год/т) як функція переданого тоннажу та втрат температури для каналних індукційних печей	108
Рис. 3.4: Виробництво виливків з Mg у тоннах/рік в розрізі країн-членів ЄС та за буферним газом (SO ₂ або SF ₆)	119
Рис. 3.5: Навантаження відпрацьованого газу при заливанні в повні та порожнисті форми	133
Рис. 3.6: Рівень викидів забруднюючих речовин при наливанні, охолодженні та вибиванні для ливарного виробництва чавуну із сирової формувальної суміші	136
Рис. 3.7: Рівень викидів твердих частинок при наливанні, охолодженні та вибиванні для ливарного виробництва чавуну із сирової формувальної суміші	137
Рис. 3.8: Співвідношення сирової формувальної суміші до рідкого металу у ливарних виробництвах чавуну	138
Рис. 3.9: Співвідношення сирової формувальної суміші до рідкого металу у ливарних виробництвах міді	138
Рис. 3.10: Співвідношення загальної піщаної суміші до рідкого металу у ливарних виробництвах Великобританії	139
Рис. 4.1: Схема масопотоків для безфлюсового повторного плавлення скрапу магнію 1 класу	153
Рис. 4.2: Схема масопотоків для сольового повторного плавлення скрапу магнію 1 класу	154
Рис. 4.3: Різні методи кисневого дуття	162
Рис. 4.4: Вплив періодів простою від дуття на температуру випуску металу у вагранці	164
Рис. 4.5: Безкоксова вагранка в дулексному режимі експлуатації	166
Рис. 4.6: Установа з підготовки піщаної формувальної суміші з вакуумним змішувачем-охолоджувачем	187
Рис. 4.7: Тепловий баланс печі для сушіння стрижнів, що працює на потужності 72 %	194
Рис. 4.8: Тепловий баланс печі для мікрохвильового сушіння стрижнів	196
Рис. 4.9: Загальні викиди вуглецю на різних стадіях процесу, з використанням розчинників на ароматичній та рослинній основі	199
Рис. 4.10: Елементи мішкового фільтру; вид зсередини (l.) та ззовні (m., г.)	210
Рис. 4.11: Умови проведення мокрого та сухого обезпилення відпрацьованих газів вагранки з гарячим дуттям	212
Рис. 4.12: Карта технологічного процесу вагранки з холодним дуттям з рекуперацією тепла, охолодженням і мішковим фільтром	218
Рис. 4.13: Вагранка з гарячим дуттям з рекуператором та вологим скруббером	221
Рис. 4.14: Вагранка з гарячим дуттям з рекуператором та мішковим фільтром	222
Рис. 4.15: Принцип охолодження продуктів згорання та відпрацьованих газів у вагранках із холодним дуттям	225
Рис. 4.16: Принципові креслення (а) витяжного ковпака, встановленого на даху, (b) витяжного ковпака, встановленого збоку, та (c) прямого виведення через четвертий отвір	227
Рис. 4.17: Кожух для решітки для вибивання, для виливків із великих партій	248
Рис. 4.18: Обробка стічних вод і рідких викидів із системи вологого обезпилення вагранки	256
Рис. 4.19: Цикл використання води для системи вологого обезпилення вагранки	258
Рис. 4.20: Система обробки рідких викидів від вологого обезпилення відпрацьованих газів вагранки	259
Рис. 4.21: Установа з амінопереробки	261
Рис. 4.22: Використання відпрацьованого тепла для сушіння скрапу	264
Рис. 4.23: Схематичне зображення вагранки з гарячим дуттям з паровим котлом, турбіною та генератором	266
Рис. 4.24: Технологічна схема вагранки з гарячим дуттям з рекуперацією тепла	267
Рис. 4.25: Балансова схема щодо піску для системи теплового/механічного відновлення	271
Рис. 4.26: Холодне механічне відновлення з використанням шліфування	275
Рис. 4.27: Оперативні дані щодо циклу використання піщаної суміші для ливарного виробництва із сирової суміші у Нідерландах	276
Рис. 4.28: Постійні витрати в євро за тонну відновленого піску для механічного відновлення піску зі зв'язуючими речовинами холодного тверднення	277
Рис. 4.29: Холодне механічне відновлення з використанням пневматичної системи	280
Рис. 4.30: Постійні витрати в євро за тонну відновленого піску для термічного відновлення піску та високого рівня механічного відновлення піщаної суміші	284
Рис. 4.31: Установа з механічного-термічного-механічного відновлення піску	285
Рис. 4.32: Установа з ротаційного механічного відновлення	290
Рис. 4.33: Розподіл цинку для вдування через фурму, через 20 днів після вдування	300
Рис. 4.34: Розподіл цинку для повторного використання через завантаження, після завантаження протягом 11 днів	301
Рис. 6.1: Розпилювальна головка з окремими фурмами для води і роз'єднувального реагента	327
Рис. 10.1: Баланс вхідних та вихідних елементів для різних технічних модифікацій плавлення у вагранці	353
Рис. 10.2: Ціна сировини (Франція: з 1993 по 2003 рік)	360
Рис. 10.3: Дані моніторингу викидів пилу з чотирьох місць на установці з підготовки піщаної формувальної суміші (цілодобовий безперервний моніторинг протягом 1 доби)	362
Рис. 10.4: Дані моніторингу викидів пилу з чотирьох місць на установці з підготовки піщаної формувальної суміші (безперервний моніторинг протягом 2 тижнів)	362
Рис. 10.5: Дані моніторингу викидів пилу з чотирьох місць на установці з підготовки піщаної формувальної суміші (безперервний моніторинг протягом 30 днів)	363

Перелік таблиць

Таблиця 1.1: Дані щодо європейського виробництва виливків із чорних металів, а саме виливків з чавуну, сталі та ковкого чавуну (в кілотоннах)	2
Таблиця 1.2: Дані щодо європейського виробництва виливків із кольорових металів (в кілотоннах)	3
Таблиця 1.3: Кількість ливарних виробництв (виробничих одиниць) для лиття чавуну, сталі та ковкого чавуну	4
Таблиця 1.4: Кількість ливарних виробництв (виробничих одиниць) для лиття кольорових металів	5
Таблиця 1.5: Зайнятість у ливарних виробництвах для лиття чавуну, сталі та ковкого чавуну	6
Таблиця 1.6: Зайнятість у ливарних виробництвах для лиття кольорових металів	7
Таблиця 2.1: Відносні частки технологій лиття, що застосовуються для Al	19
Таблиця 2.2: Найпоширеніші сплави цинку, вміст у %	21
Таблиця 2.3: Опис технологій швидкого прототипування	24
Таблиця 2.4: Потенційне забруднення ґрунту від сировини з ливарних виробництв чорних металів	27
Таблиця 2.5: Сфера застосування різних типів печей, для плавлення (m) та витримування (h)	28
Таблиця 2.6: Галузь застосування наявних індукційних печей щодо їхньої частоти	38
Таблиця 2.7: Огляд різних типів смол (полімерів) та сфер їхнього застосування	58
Таблиця 2.8: Склад природного піску	62
Таблиця 2.9: Перелік домішок для підготовки піщаної формувальної суміші (за винятком води)	63
Таблиця 2.10: Процеси з виготовлення ливарних стрижнів, що використовуються на 48 ливарних виробництвах автомобільної галузі в Німеччині, дані за 1991 рік	65
Таблиця 3.1: Типові властивості й дані щодо викидів плавильної печі	98
Таблиця 3.2: Середній рівень споживання енергії для обробки відпрацьованих газів та витримування	99
Таблиця 3.3: Рівні викидів пилу (відпрацьовані газу у вагранці) для різних типів вагранок	99
Таблиця 3.4: Рівні викидів пилу та розподілу розмірів твердих частинок у вагранці	100
Таблиця 3.5: Типовий склад пилу у вагранці, дані подано у вазі на сотню	100
Таблиця 3.6: Склад незгорілого верхнього газу для вагранок	101
Таблиця 3.7: Дані щодо викидів для вагранок із гарячим та холодним дуттям, що працюють на різних режимах ..	102
Таблиця 3.8: Типовий склад шлаків у вагранках	102
Таблиця 3.9: Хімічний склад пилу EAF у ливарному виробництві сталі	103
Таблиця 3.10: Типові рівні викидів для дугових сталеплавильних печей (електродугові печі, EAF)	104
Таблиця 3.11: Хімічний склад шлаку в EAF	105
Таблиця 3.12: Рівні викидів пилу та розподілу розмірів твердих частинок у IF	106
Таблиця 3.13: Хімічний склад пилу індукційної печі в ливарному виробництві чавуну	107
Таблиця 3.14: Типові дані викидів для плавлення в індукційних печах у ливарному виробництві чорних металів ..	107
Таблиця 3.15: Типовий склад шлаку індукційної печі	108
Таблиця 3.16: Хімічний склад пилу ротаційної печі в ливарному виробництві чорних металів	109
Таблиця 3.17: Виміряні викиди для ротаційної печі, плавлення чавуну, без обладнання для очищення відпрацьованих газів	110
Таблиця 3.18: Рівні споживання для обробки сталі на AOD	111
Таблиця 3.19: Склад шлаку AOD	112
Таблиця 3.20: Порівняння різних процедур сфероїдування	112
Таблиця 3.21: Типові властивості й дані щодо викидів для плавлення алюмінію	114
Таблиця 3.22: Вхідні та вихідні елементи для плавлення алюмінію в шахтній печі	115
Таблиця 3.23: Результати пробного плавлення протягом 6 днів у шахтній печі для Al плавильною потужністю у 2 тонни	115
Таблиця 3.24: Дані щодо викидів для подової печі з масляним палиником для плавлення Al	117
Таблиця 3.25: Дані щодо споживання та викидів для тигельного плавлення алюмінію	117
Таблиця 3.26: Використання операцій з SF ₆ для лиття під тиском за різних умов експлуатації	118
Таблиця 3.27: Використання SF ₆ в операціях гравітаційного лиття	118
Таблиця 3.28: Класи скрапу магнію за якістю (рівнем вмісту)	119
Таблиця 3.29: Дані щодо масового балансу для ливарного виробництва латуні з литтям під низьким тиском (операції плавлення + лиття)	120
Таблиця 3.30: Викиди часток від тигельного плавлення сплавів міді	121
Таблиця 3.31: Типові дані щодо маси та енергії для лиття цинку під тиском	121
Таблиця 3.32: Приклад поточних викидів від деяких установок зі зменшення рівня пилу	122
Таблиця 3.33: Дані щодо викидів діоксинів для різних типів ливарних виробництв	123
Таблиця 3.34: Викиди діоксину для вагранок	124
Таблиця 3.35: Вплив на навколишнє середовище від зв'язуючих систем	126
Таблиця 3.36: Значення та коефіцієнти викидів для викидів пилу від формувальних цехів після очищення вихлопних газів	126
Таблиця 3.37: Приклад викидів пилу та розмірів часток для виготовлення форм і стрижнів	126
Таблиця 3.38: Типові властивості сирої формувальної суміші, виміряні на 105 піщаних зразках зі 105 ливарних виробництв чавуну	127
Таблиця 3.39: Рівні споживання різних смол (полімерів), каталізаторів, засобів твердіння і добавок для приготування формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами	128

Таблиця 3.40: Фактори викидів для виготовлення форм	129
Таблиця 3.41: Фактори викидів для виготовлення стрижнів	129
Таблиця 3.42: Дані щодо масового балансу для ливарного виробництва латунних стрижнів із використанням гарячого стрижневого ящика	131
Таблиця 3.43: Порівняльні дані для залишкового виробництва з ЛГМ та лиття алюмінію із сирової формувальної суміші.....	131
Таблиця 3.44: Дані щодо викидів із димової труби для ливарного виробництва ЛГМ та лиття алюмінію із сирової формувальної суміші	132
Таблиця 3.45: Вплив на навколишнє середовище від зв'язуючих систем завдяки наливанню, вибиванню та охолодженню	135
Таблиця 3.46: Фактори викидів для лиття чавуну в піщаних формах холодного тверднення зі зв'язуванням смолою (полімерами)	135
Таблиця 3.47: Значення та фактори викидів для викидів пилу від вибивання після очищення відпрацьованих газів.....	137
Таблиця 3.48: Вихід металу у секторах основних сплавів	140
Таблиця 3.49: Результати аналізу використання формувальних сумішей із кількох джерел	140
Таблиця 3.50: РАН і вміст фенолу у використаній формувальній суміші.....	141
Таблиця 3.51: Дані масового балансу, склад вихлопних газів і рідких викидів для установок із лиття алюмінію під тиском.....	141
Таблиця 3.52: Орієнтовні коефіцієнти викидів для лиття з бронзи, латуні та замаку	142
Таблиця 3.53: Баланс вхідних та вихідних елементів для ковзкого шліфування виливків з алюмінію.....	142
Таблиця 3.54: Дані щодо викидів вихлопних газів від механічного травлення, з використанням різних технологій обезпилення	143
Таблиця 3.55: Дані щодо викидів вихлопних газів від футеровки, з використанням різних технологій обезпилення	143
Таблиця 3.56: Середній рівень викидів пилу від оздоблення сталі.....	143
Таблиця 3.57: Можливі домішки для окремих типів скрапу	145
Таблиця 3.58: Концентрації забруднюючих речовин у відфільтрованих рідких відходах від зневоднення мулу з вологих скрубєрів у вагранках	146
Таблиця 4.1: Інформація, що міститься в обговоренні кожної методики, яка представлена в Розділі 4	147
Таблиця 4.2: Проблеми, що виникають внаслідок неправильного зберігання рідких зв'язуючих хімічних речовин.....	149
Таблиця 4.3: Вхідні та вихідні елементи для установки з обробки скрапу магнію	153
Таблиця 4.4: Типові властивості ливарного коксу.....	157
Таблиця 4.5: Вимоги щодо висоти шахти.....	158
Таблиця 4.6: Приклад даних для зміни витрат коксу при збільшенні висоти шахти	159
Таблиця 4.7: Типові експлуатаційні дані для безкокосової вагранки	167
Таблиця 4.8: Дані щодо викидів для безкокосової вагранки та вагранки з гарячим дуттям.....	168
Таблиця 4.9: Операційні витрати для безкокосової вагранки щодо вагранки з гарячим дуттям (налаштування на 100 %)	169
Таблиця 4.10: Вплив газокисневих пальників на склад димових газів для вагранки з гарячим дуттям	170
Таблиця 4.11: Операційні витрати для вагранки з холодним дуттям із або без газокисневих пальників	171
Таблиця 4.12: Дані щодо енергії та температури для печі EAF з нормальним шлаком і пінистим шлаком	172
Таблиця 4.13: Таблиця щодо показників споживання енергії (мінімальне плавлення)	177
Таблиця 4.14: Технічний вибір плавильного обладнання для плавлення чавуну	179
Таблиця 4.15: Приклад даних щодо вартості заміни наявної вагранки на ротаційну або індукційну піч	180
Таблиця 4.16: Порівняння вартості між SO ₂ та SF ₆ , що використовуються для середовища із захисним газом	182
Таблиця 4.17: Дані щодо експлуатації та вартості нової ливарної установки з випуском у 1000 тонн Mg /рік	183
Таблиця 4.18: Інвестиційні витрати на станцію з крильчаткою	184
Таблиця 4.19: Сфера застосування різних типів форм	185
Таблиця 4.20: Технічні властивості різних типів форм.....	186
Таблиця 4.21: Змінні процесу та як вони вказують на продуктивність змішувача.....	189
Таблиця 4.22: Щорічна економія, витрати й окупність на прикладі установки з управління змішувачем	190
Таблиця 4.23: Результати кампаній тестування висушування стрижнів із використанням печей з гарячим дуттям та мікрохвильових печей.....	196
Таблиця 4.24: Дані щодо викидів для систем із холодним стрижневим ящиком у ливарних виробництвах алюмінію, виміряних на решітці для вибивання та у димовій трубі	198
Таблиця 4.25: Викиди (%) обраних сумішей із систем із холодним стрижневим ящиком на рослинній основі	198
Таблиця 4.26: Експлуатаційні дані для виробництва подібного корпусу компресора з чавуну з використанням різних методів.....	201
Таблиця 4.27: Економічні дані для лиття алюмінію по газифікованих моделях	201
Таблиця 4.28: Відносне скорочення ваги виливка арматури з керамічною оболонкою порівняно з литтям у піщані форми.....	202
Таблиця 4.29: Типовий вихід металу для різних типів виливків із чавуну	205
Таблиця 4.30: Середньозважений показник продуктивності на 82 ливарних виробництвах чорних металів, 1981 – 1987 роки.....	205
Таблиця 4.31: Огляд атмосферних викидів від різних етапів ливарного виробництва чорних металів	207
Таблиця 4.32: Властивості вологих та сухих скрубєрів для ливарних виробництв.....	212
Таблиця 4.33: Дані щодо інвестицій та споживання енергії для різних скрубєрів	213
Таблиця 4.34: Прогноз інвестиційних витрат для інжектора вуглецевмісних матеріалів, доданого до НВС	215
Таблиця 4.35: Загальні витрати для інжектора вуглецевмісних матеріалів, доданого до НВС.....	216
Таблиця 4.36: Експлуатаційні дані вагранок із холодним дуттям із мішковим фільтром для зниження рівня пилу	220

Таблиця 4.37: Експлуатаційні дані вагранок із гарячим дуттям з використанням мішкового фільтру та дезінтегратора для захоплення пилу	223
Таблиця 4.38: Споживання енергії у вагранках із гарячим дуттям	224
Таблиця 4.39: Експлуатаційні дані для двох зразків конфігурацій з використанням заходів після згоряння із застосуванням охолодження водою (I) та охолодження повітрям (J)	226
Таблиця 4.40: Аналітичні результати та відповідне (французьке) законодавство для заходів після згоряння у вагранці з холодним дуттям із охолодженням відпрацьованих газів водою (I) та повітрям (J)	226
Таблиця 4.41: Типові потоки вихлопних газів (в м ³ /с) та ефективність видалення твердих частинок у системах збору вихлопних газів EAF	228
Таблиця 4.42: Дані щодо витрат на обладнання для збирання та очищення димових газів EAF	230
Таблиця 4.43: Дані щодо викидів для ливарного виробництва чавуну з використанням індукційного плавлення та централізованої вихлопної системи з мішковим фільтром	233
Таблиця 4.44: Інвестиційні витрати й енергоспоживання для мішкового фільтрувального агрегату на індукційних печах із різними рівнями кінцевих викидів пилу	233
Таблиця 4.45: Кошторис витрат на встановлення скрубєрів для видимих випарів під час заряджання (подачі) та відведення	235
Таблиця 4.46: Розрахунок витрат на зменшення димових газів MgO	238
Таблиця 4.47: Значення викидів пилу від цехів формування та операцій після лиття	239
Таблиця 4.48: Дані щодо викидів для цеху з виготовлення ливарних стрижнів із використанням холодного ящика, застосовуючи кислотний скрубєр	241
Таблиця 4.49: Специфікація та інвестиційні витрати для амінного скрубєра на вихлопних газах цеху з виготовлення стрижнів із використанням холодного ящика	241
Таблиця 4.50: Експлуатаційні дані для біофільтрації відпрацьованих газів холодного стрижневого ящика	243
Таблиця 4.51: Дані щодо викидів для біофільтрації вихлопних газів від наливання сирової формувальної суміші та лінії охолодження	244
Таблиця 4.52: Дані щодо викидів від відпрацьованих газів HPDC, очищених EP	245
Таблиця 4.53: Сфера застосування технології із захоплення пилу для різних операцій з оздоблення	250
Таблиця 4.54: Рівні викидів від нагрівальної печі до та після переходу на систему пальників із природнім газом	252
Таблиця 4.55: Сфери застосування технології збору диму для гартівних печей-ванн	253
Таблиця 4.56: Дані про виробництво та споживання води (щорічні) на прикладі ливарного виробництва	257
Таблиця 4.57: Вартість знищення відходів у випадку доповнення системи стічних вод елементами обробки мулу	259
Таблиця 4.58: Типові показники використання енергії на ливарних виробництва кольорових металів та сталі з EAF263	270
Таблиця 4.59: Сфери застосування різних систем відновлення чистого піску	270
Таблиця 4.60: Сфери застосування різних систем відновлення піщаних сумішей	270
Таблиця 4.61: Сфери застосування різних технологій відновлення піску щодо різних типів піску	271
Таблиця 4.62: Сумісність відновлених пісків із різними зв'язуючими речовинами	272
Таблиця 4.63: Економічні переваги від первинного вилучення корисних речовин із відходів	274
Таблиця 4.64: Експлуатаційні дані щодо 3 німецьких заводів, обраних за зразок, де застосовується термічне відновлення піску	283
Таблиця 4.65: Експлуатаційні дані щодо систем механічної-термічної-механічної обробки (пневматична – в киплячому шарі – пневматична)	286
Таблиця 4.66: Експлуатаційні дані щодо установки з відновлення кремнеземного піску	290
Таблиця 4.67: Необхідна обробка та можливі обмеження для зовнішнього повторного використання твердих залишків	295
Таблиця 4.68: Підсумок щодо зовнішнього повторного використання твердих залишків ливарного виробництва (дані 1999 року)	296
Таблиця 4.69: Властивості технологій лиття під тиском для рециркуляції пилу у вагранці	299
Таблиця 5.1: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення та обробки чорних металів	319
Таблиця 5.2: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення та обробки чорних металів у вагранці	319
Таблиця 5.3: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення та обробки чорних металів у EAF	319
Таблиця 5.4: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення та обробки чорних металів у ротатійній печі	319
Таблиця 5.5: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення алюмінію	321
Таблиця 5.6: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для формування та лиття з використанням разових форм	323
Таблиця 5.7: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для лиття у багаторазові форми (включаючи HPDC)	324
Таблиця 10.1: Експлуатаційні дані вагранки з холодним дуттям (10 т/год)	354
Таблиця 10.2: Експлуатаційні дані вагранки з гарячим дуттям (10 т/год)	355
Таблиця 10.3: Експлуатаційні дані безкоксової вагранки та вагранки з гарячим дуттям із попереднім нагріванням	356
Таблиця 10.4: Порівняння витрат на рідкий чавун – червень 2003 року. Масове виробництво – 10 т/год	357
Таблиця 10.5: Ціна сірого чавуну (із пластинчастим графітом): метал, що завантажується + енергія	358
Таблиця 10.6: Ціна чавуну з вермикулярним графітом: метал, що завантажується + енергія	359

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей документ відображає обмін інформацією щодо видів діяльності, які охоплює Додаток I, категорії 2.3 (b), 2.4 та 2.5 (b) Директиви щодо інтегрованого запобігання та контролю забруднення (ІЗКЗ), тобто

«2.3. Установки для обробки чорних металів:

(b) ковальські молоти, енергетична потужність яких перевищує 50 кілоджоулів на молот, а потужність теплового споживання перевищує 20 мегават

2.4. Заводи чорних металів із виробничою потужністю, що перевищує 20 тонн на добу

2.5. Установки

(b) для виплавляння, включаючи легування сплавів, кольорових металів, зокрема рекуперованих продуктів (рафінування, ливарне виробництво тощо), плавильною продуктивністю, що перевищує 4 тонни на добу для свинцю та кадмію або 20 тонн на добу для інших металів».

Встановлюючи робочий обсяг для цього документа, ТРГ врахувала можливу інтерпретацію порогових значень. ТРГ порівнювала попередньо визначену сферу застосування ІЗКЗ із фактичною експлуатацією установок, які відповідають вищезазначеним описам, у Європейському Союзі та в країнах-кандидатах у члени ЄС. Це порівняння привело до виникнення робочої сфери, яка охоплює наступне:

- лиття чорних матеріалів, наприклад сірий чавун (пластинчастий графіт), ковкий чавун (пластівчастий графіт) і високоміцний чавун, сталь
- лиття кольорових матеріалів, наприклад алюміній, магній, мідь, цинк, свинець та їхні сплави.

Ковальські виробництва було виключено зі сфери дії цього документа, оскільки відсутні дані щодо європейських ковальських виробництв, які відповідали б умовам, зазначеним у Додатку I 2.3 (b), а саме «Ковальські молоти, енергетична потужність яких перевищує 50 кілоджоулів на молот, а потужність теплового споживання перевищує 20 мегават». Відповідно, ливарні виробництва кадмію, титану й дорогоцінних металів, а також лиття дзвонів та художнє лиття були виключені зі сфери застосування з міркувань потужності.

Безперервний розлив (на листи та слаби/шлак) вже висвітлювався в матеріалах ДД НДТМ щодо виробництва чавуну і сталі та щодо промисловості кольорових металів. У зв'язку з вищезазначеним в цьому документі про це не йдеться.

Виплавляння, легування сплавів і рафінування кольорових металів вже висвітлювались у матеріалах ДД НДТМ щодо промисловості кольорових металів, а тому до сфери застосування цього документа ці питання не включено. У рамках висвітлювання питання кольорових металів у цьому документі вважається, що процес починається із плавлення злитків та скрапу (брухту) або з рідкого металу.

З точки зору процесів сфера застосування цього документа включає такі етапи ливарного процесу:

- виготовлення моделей
- зберігання та обробка сировини
- плавлення та обробка металу
- виготовлення форм і ливарних стрижнів, методи формування
- лиття або заливання та охолодження
- вибивання
- оздоблення
- термічна обробка.

1 ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ЩОДО ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1 Короткий огляд галузі

1.1.1 Ливарна промисловість

Ливарне виробництво передбачає плавлення чорних і кольорових металів та їх сплавів та їх перетворення на готові продукти або форми, що максимально наближені до готової деталі шляхом заливання розплавленого металу чи сплаву, охолодження його у формі та затвердіння. Ливарна промисловість – це диференційована та різноманітна галузь. Вона складається із широкого спектру установок, від малих до дуже великих; кожна з них є поєднанням технологій та окремих операцій, відібраних відповідно до вхідних даних, розмірів серій та типів продукції, що випускається на конкретній установці. Організація в галузі базується на типі металу, а отже, зазвичай існує поділ на ливарне виробництво чорних та кольорових металів.

Європейська ливарна промисловість є третьою у світі за показниками лиття чорних металів та другою – за показниками лиття кольорових металів. Загальні показники щодо виробництва виливків у різних країнах-членах ЄС представлені у таблиці 1.1 і таблиці 1.2. Не було надано дані щодо Північної Ірландії, Люксембургу та деяких країн-кандидатів на вступ до ЄС, хоча достеменно відомо, що даний вид діяльності недостатньо розвинений порівняно із перерахованими регіонами. Німеччина, Франція та Італія є трьома найкращими країнами-виробниками серед країн Європи, загальний річний обсяг виробництва яких перевищує два мільйони тонн. Протягом останніх років Іспанія обійняла четверту позицію, витіснивши з цього місця Великобританію, причому обидві країни виготовили понад мільйон тонн виливків. В цілому, перша п'ятірка країн виробляє понад 80 % загального обсягу європейського виробництва.

Загалом тоннаж європейського виробництва для виливків із чорного металу залишається стабільним протягом останніх п'яти років, хоча для кількох окремих країн спостерігалися певні коливання. Наприклад показники для Великобританії засвідчують наявність тренду до скорочення в обсягах виробництва, натомість тренд для Іспанії засвідчує зростання. В галузі ливарного виробництва кольорових металів спостерігалось зростання з 1998 року. Сукупний показник за 2001 рік невідомий, у зв'язку з тим, що дані щодо Великобританії не було надано. Загалом, як видно з таблиці 1.2, у більшості країн виробництво збільшилось. Це стосується не тільки основних країн-виробників, але також тих країн, де обсяг виробництва невисокий.

Країна	1998	1999	2000	2001	2002	2000:2001	2001:2002
						% зміни	
Австрія	190,1	181,7	191,4	192,4	181,2	0,5	-5,8
Бельгія	144,4	149,3	149,8	149,5	143,7	-0,2	-3,9
Чеська Республіка	493	379,1	390,3	415,3	381,6	6,4	-8,1
Данія	85,8	86	96,4	85,7	87,3	-11,1	1,9
Естонія	дані відсутні	дані відсутні	0,94	1,07	1,1	13,8	2,8
Фінляндія	122,6	109	117,6	119,5	112,5	1,6	-5,8
Франція	2250,8	2146,6	2283,1	2147,4	2128,6	-5,9	-0,9
Німеччина	3662,9	3555,2	3758,2	3801,4	3749,7	1,1	-1,4
Великобританія	1076,3 _a	949,2 _a	968,2 _a	906,3 _a	886,3 _a	-6,4	-2,2
Угорщина	78,1	68,7	74,8	62,8	67,9	-16,0	8,2
Ірландія	450	480	520	275	дані відсутні	-47,1	
Італія	1508,4	1492,6	1516,4	1433,3	1460,9	-5,5	1,9
Нідерланди	140,6	121	136	132,3	123,7	-2,7	-6,5
Норвегія	65,3	67,7	70,1	73,4	67,3	4,7	-8,3
Польща	675	610,2	671,2	673	598,0	0,3	-11,1
Португалія	98,6	97,7	102,3	100	96,7	-2,2	-3,3
Словацьчина	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	47,5	дані відсутні		
Словенія	89,8	81,9	86,9	96,3	дані відсутні	10,8	
Іспанія	706,6	759,3	950,5	955,7	992,9	0,5	3,9
Швеція	264,2	253,2	266,7	244,7	234,6	-8,2	-4,1
Швейцарія	122,8 _б	122 _б	119,9 _б	105,5 _б	81,8 _б	-12,0	-22,5
Усього	12225	11710	12471	12018	11396		
Загалом с				12018	11815		

а) Без врахування виливків зі сталі
б) Без врахування виливків зі сталі та ковкого чавуну
с) Сумарна кількість, підрахована з урахуванням найактуальніших доступних даних за роки, за які відсутні будь-які дані

Таблиця 1.1: Дані щодо європейського виробництва виливків із чорних металів, а саме виливків з чавуну, сталі та ковкого чавуну (в кілотоннах) [168, CAEF, 2002], [202, TWG, 2002]

Що стосується ливарних виробництв із чорних металів, прогрес, який відбувся у заміщенні матеріалів, привів до того, що частка виливків з чавуну дещо зменшилась у загальному обсязі виробництва, скоротившись із 58,9 % у 2001 році до 58,2 % у 2002 році. Водночас виробники чавуну з вермикулярним графітом мали частку у 34,3 % у загальному обсязі виробництва у 2002 році, що на 0,5 відсоткових пунктів більше ніж у 2001 році. Виробники виливків з ковкого чавуну змогли розширити свою частку з 1,1 % у 2001 році до 1,3 % у 2002 році, тоді як частка виливків зі сталі в загальному обсязі виробництва буде близько 5,8 % у 2002 році (5,9 % у 2001 році).

Країна	1998	1999	2000	2001	2002	2000:2001	2001:2002
						% зміни	
Австрія	90,4	92,4	105,9	113,3	116,2	7,0	2,6
Бельгія	25,3	23,8	27,2	26,3	26,7	-3,3	1,6
Чеська Республіка	44,8	48	57,7	58,1	59,6	0,7	2,6
Данія	1,7 ^а	4	4	4,8	4,6	20,0	-3,2
Естонія	дані відсутні	дані відсутні	0	0	0		
Фінляндія	10,5	10	10	10	9,7	0,0	-3,3
Франція	338,2	343,8	373,9	394,7	390,3	5,6	-1,1
Німеччина	783,9	777	842,1	849,6	845,8	0,9	-0,4
Великобританія	121 ^а	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Угорщина	24,8	35	44,8	58,4	68,3	30,4	16,9
Ірландія ^б	25,8	25,8	26	26,6	дані відсутні	2,3	
Італія	832,3	832,1	959,1	960	979,7	0,1	2,1
Нідерланди	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Норвегія	22,2	25,2	26,4	30,9	26,7	17,0	-13,5
Польща	66,5	84	84	72,2	76,3	-14,0	5,7
Португалія	17,5	21,2	22,6	25,4	25,6	12,4	0,6
Словацьчина	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	7,6	дані відсутні		
Словенія	15,9	17,3	23,6	24,8	дані відсутні	5,1	
Іспанія	140,7	153,6	121,1	142,1	149,9	17,3	5,5
Швеція	51,8	55,7	58,5	53,3	52,9	-8,9	-0,8
Швейцарія	22,3	22,9	25,1	24,1	21,1	-4,0	-12,3
Усього	2636	2572	2812	2481	2853		
Загалом ^с				2602	3033		

а) Лише алюміній
б) Лише виробництво свинцевих листів
с) Сумарна кількість, підрахована з урахуванням найактуальніших доступних даних за роки, за які відсутні будь-які дані

Таблиця 1.2: Дані щодо європейського виробництва виливків із кольорових металів (в кілотоннах) [168, CAEF, 2002], [202, TWG, 2002]

У загальному виробництві сплавів кольорових металів із часткою 75,1 % досі переважають виливки з легких металів, незважаючи на зниження їхньої частки на 3,5 відсоткових пункти порівняно з минулим роком. Частка сплавів міді знизилася з 10,1 до 9,8 %, а частка, яка належала виробництву сплавів цинку, аналогічно скоротилася з 8,7 до 7,3 %. Різниця була спричинена збільшенням виробництва різних кольорових металів та процесів, які детально не описані в статистичних даних.

Дані про кількість ливарних виробництв представлені в таблиці 1.3 і таблиці 1.4. Ці дані свідчать про те, що загалом з 1998 року кількість ливарних виробництв (або ж підприємств) зменшилася, щорічно скорочуючись приблизно на 5 %. Це зменшення також відобразилося на зайнятості, наведеній у таблиці 1.5 та таблиці 1.6.

Країна	1998	1999	2000	2001	2002	2000:2001	2001:2002
						% зміни	
Австрія	28	26	25	24	41	-4,0	70,8
Бельгія	40 ^а	25	24	21	21	-12,5	0,0
Чеська Республіка	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	140	143		2,1
Данія	дані відсутні	дані відсутні	12	12	12	0,0	0,0
Естонія	дані відсутні	дані відсутні	1	1	1	0,0	0,0
Фінляндія	19	23	20	19	19	-5,0	0,0
Франція	169	167	167	163	159	-2,4	-2,5
Німеччина	324	310	299	288	273	-3,7	-5,2
Великобританія	228 ^б	214 ^б	198 ^б	188 ^б	179 ^б	-5,1	-4,8
Угорщина	34	34	32	33	дані відсутні	3,1	
Ірландія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	1	дані відсутні		
Італія	310	307	293	291	281	-0,7	-3,4
Нідерланди	22	дані відсутні	дані відсутні	28	дані відсутні		
Норвегія	12	12	12	11	11	-8,3	0,0
Польща	234	230	230	220	190	-4,3	-13,6
Португалія	62	61	61	61	61	0,0	0,0
Словаччина	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	12	дані відсутні		
Словенія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Іспанія	224	221	105	102	98	-2,9	-3,9
Швеція	48	49	49	49	50	0,0	2,0
Швейцарія	23	23	23	22	20	-4,3	-9,1
Усього	1777	1702	1551	1686	1559		
Загалом с			1732	1686	1633		

а) Тільки країни-члени
б) Без врахування виливків зі сталі
с) Сумарна кількість, підрахована з урахуванням найактуальніших доступних даних за роки, за які відсутні будь-які дані

Таблиця 1.3: Кількість ливарних виробництв (виробничих одиниць) для лиття чавуну, сталі та ковкого чавуну [168, CAEF, 2002], [202, TWG, 2002]

Країна	Усього		Лиття під тиском		Інше дрібне лиття		Інше лиття зі сплавів важких металів	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Австрія	63	61	20	21	28	25	15	15
Бельгія	12	10	3	3	6	5	3	2
Чеська Республіка	58	63	39 ^a	40	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	23
Данія	8	8	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	
Естонія	0	0	0	0	0	0	0	0
Фінляндія	22	25	4	6	11	12	7	7
Франція	288	283	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Німеччина	414	400	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Великобританія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Угорщина	78	дані відсутні	23	дані відсутні	35	дані відсутні	20	дані відсутні
Італія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Нідерланди	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Норвегія	10	13	3	3	7	6		4
Польща	290	280	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Португалія	67	54	38	32	12	9	17	13
Словаччина	7	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Словенія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Іспанія	55 ^b	57	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні
Швеція	84	84	43	дані відсутні	29	дані відсутні	12	дані відсутні
Швейцарія	49	48	15	14	23	23	11	11
Усього	1505	1386	149	119	151	80	85	75

а) Включаючи все дрібне лиття

б) Тільки члени

Таблиця 1.4: Кількість ливарних виробництва (виробничих одиниць) для лиття кольорових металів [168, CAEF, 2002], [202, TWG, 2002]

Країна	1998	1999	2000	2001	2002	2000:2001	2001:2002
						% зміни	
Австрія	3465	3314	3342	3936	3067	17,8	-22,1
Бельгія	2823	2299	3260	1847	1936	-43,3	4,8
Чеська Республіка	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	17536	14847		-15,3
Данія	дані відсутні	дані відсутні	1481	1393	1290	-5,9	-7,4
Естонія	дані відсутні	дані відсутні	125	133	129	6,4	-3,0
Фінляндія	2326	2058	2027	2090	2045	3,1	-2,2
Франція	26407 ^а	25714	25613	24871	24651	-2,9	-0,9
Німеччина	46944	45157	44896	44796	42748	-0,2	-4,6
Великобританія	24000 ^б	20000 ^б	18000 ^б	16500 ^б	15900 ^б	-8,3	-3,6
Угорщина	3485	3285	3175	2734	дані відсутні	-13,9	
Ірландія	502	503	509	309	дані відсутні	-39,3	
Італія	22050	22200	22100	21400	20630	-3,2	-3,6
Нідерланди	2462	2122	2119	2148	1830	1,4	-14,8
Норвегія	1864	1706	1730	1754	1564	1,4	-10,8
Польща	33600	28500	26800	26370	24500	-1,6	-7,1
Португалія	2649	2800	2782	2780	2710	-0,1	-2,5
Словаччина	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	1925	дані відсутні		
Словенія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Іспанія	13860	14040	11803	11006	11385	-6,8	3,4
Швеція	3650	3650	3650	3800	3800	4,1	0,0
Швейцарія	2400	2300	2400	2400	1930	0,0	-19,6
Усього	192487	179648	175812	189728	174962		
Загалом с			195273	189728	179930		

а) Розрив у безперервності серій
б) Без врахування виливків зі сталі
с) Сумарна кількість, підрахована з урахуванням найактуальніших доступних даних за роки, за які відсутні будь-які дані

Таблиця 1.5: Зайнятість у ливарних виробництвах для лиття чавуну, сталі та ковкого чавуну [168, CAEF, 2002], [202, TWG, 2002]

Країна	1998	1999	2000	2001	2002	2000:2001	2001:2002
						% зміни	
Австрія	4029	4179	4349	4585	4398	5,4	-4,1
Бельгія	1824	803	800	дані відсутні	558		
Чеська Республіка	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	5083	5374		5,7
Данія	дані відсутні	дані відсутні	377	372	349	-1,3	-6,2
Естонія	дані відсутні	дані відсутні	0	0	0		
Фінляндія	708	744	884	718	730	-18,8	1,7
Франція	17926	17821	17651	17932	17720	1,6	-1,2
Німеччина	32000	33000	33000	34500	34390	4,5	-0,3
Великобританія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Угорщина	3208	3941	5503	4702	дані відсутні	-14,6	
Ірландія ^а	70	70	70	70	дані відсутні	0,0	
Італія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Нідерланди	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Норвегія	1271	1411	1483	1491	1307	0,5	-12,3
Польща	4433	6500	6200	4130	4100	-33,4	-0,7
Португалія	1200	1230	1280	1380	1350	7,8	-2,2
Словаччина	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	845	дані відсутні		
Словенія	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні		
Іспанія	5650	5620	4810	5034	4994	4,7	-0,8
Швеція	3700	3700	3700	3700	3700	0,0	0,0
Швейцарія	1900	2000	2100	2200	1900	4,8	-13,6
Усього	77919	81019	82207	86742	80870		
Загаломь			88135	87300	86487		
а) Тільки свинець							
б) Сумарна кількість, підрхована з урахуванням найактуальніших доступних даних за роки, за які відсутні будь-які дані							

Таблиця 1.6: Зайнятість у ливарних виробництвах для лиття кольорових металів [168, CAEF, 2002], [202, TWG, 2002]

З наведених таблиць видно, що рівень виробництва в Європі є відносно стабільним або демонструє незначне зростання, однак тепер показники в цій галузі забезпечуються меншою кількістю підприємств та меншою кількістю працівників. Це можна пояснити прогресивним збільшенням масштабів виробництва та автоматизацією в ливарних цехах. Зв'язок між розміром одиниці продукції, виробництвом та зайнятістю добре проілюстрований на рисунку 1.1. Це свідчить про те, що більші західноєвропейські виробники (Німеччина, Франція) досягають більшої продуктивності з меншою кількістю людей. Трудомісткіші підприємства чи їх представництва знаходяться у східній та південній частині Європи (Польща, Угорщина, Португалія).

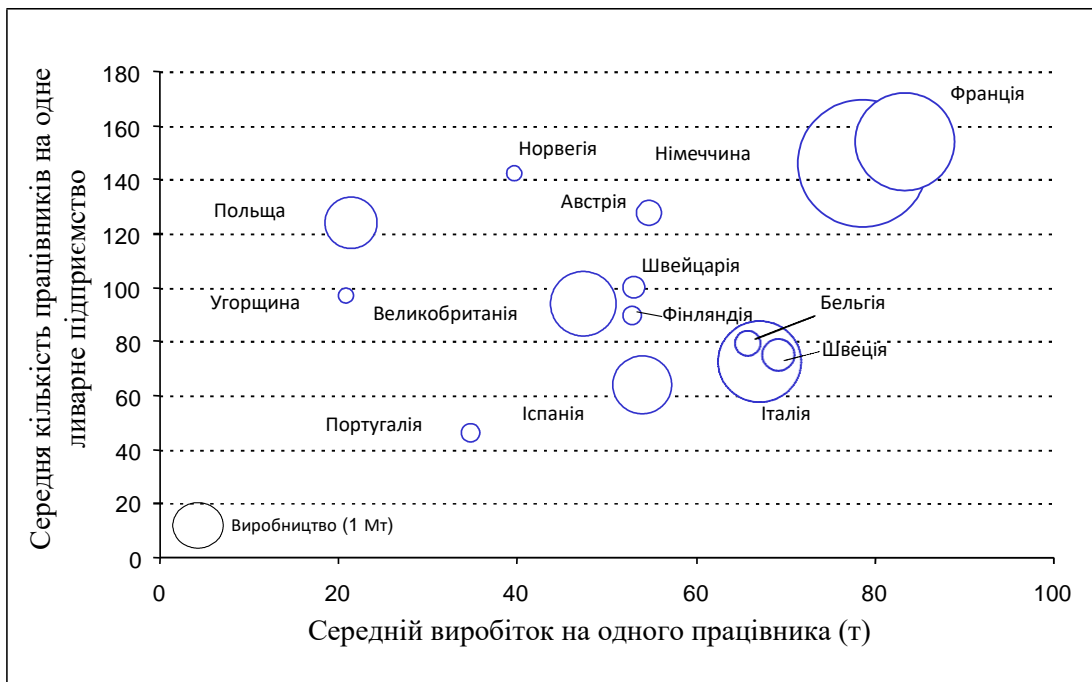


Рис. 1.1. Дані щодо продуктивності ливарних виробництв чорних металів для різних європейських країн

Лиття металу – це давня діяльність, яка датується 3000 р. до н.е. і навіть трохи раніше. Розвиток європейської ливарної промисловості пов'язаний із розвитком як металургійної, так і автомобільної промисловості. Нинішні ливарні підприємства часто мають історію, яка налічує понад сто років і починається з початку 20 століття. Спочатку їх зазвичай розміщували на околицях міст, але так як села та міста зростали навколо них, нині довкола них часто розташовані житлові райони. Ливарна промисловість переважно представлена МСП, адже на 80 % компаній працює менше 250 осіб. Оскільки виливки (або відливки) – це, зазвичай, заготовка (напівфабрикат), а не готовий продукт, ливарні виробництва розміщуються поруч із замовниками.

1.1.2 Ринки для ливарних виробництв

Основними ринками, на які працює ливарна промисловість, є автомобілебудування, загальне машинобудування та будівництво. Відносні частки цих галузей як ринків для ливарної промисловості представлено на рисунку 1.2. Висока залежність від галузі автомобілебудування чинить вирішальний вплив на діяльність ливарної промисловості та стосується різних аспектів, зокрема економіки, місцезнаходження, стандартів якості, екологічних стандартів, нових розробок тощо. Одним із прикладів зазначеної залежності є той факт, що зараз, коли галузь автомобілебудування поступово переходить до легших транспортних засобів, відповідно це відображається і в ливарній промисловості завдяки збільшенню попиту (а отже, й ринку) на виливки з алюмінію та магнію, спричиняючи ріст цих галузей.

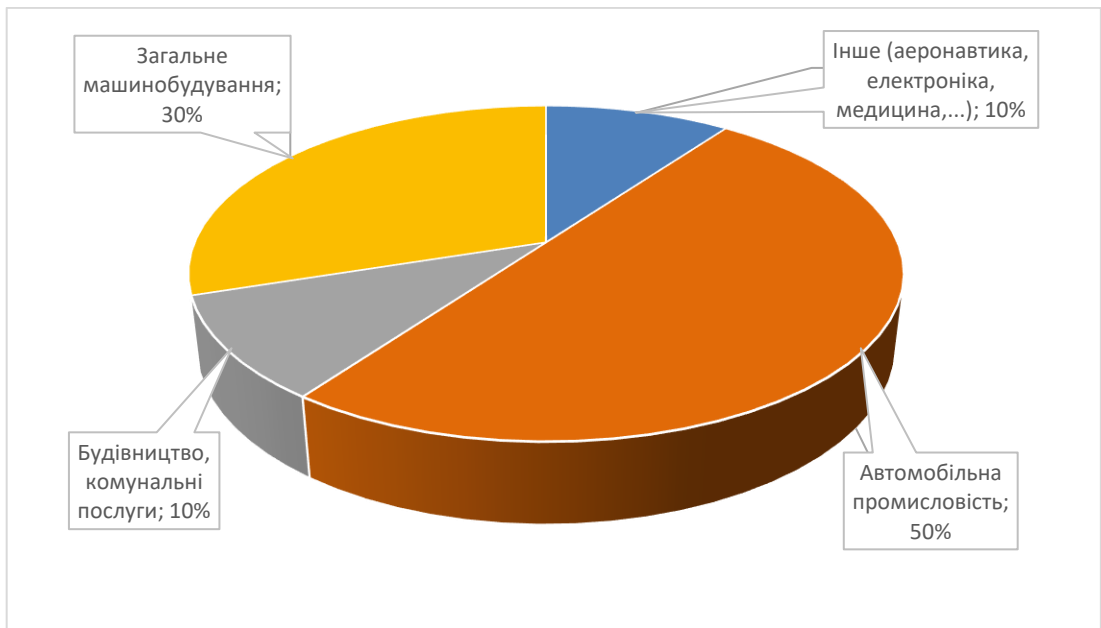


Рис. 1.2. Відносні частки ринку галузі

Частки ринку відрізняються залежно від виду металу. Це демонструють дані іспанського ринку ливарних виробництв, як це показано на рисунку 1.3 та рисунку 1.4. Автомобільний сектор купує понад 60 % усіх виливків із чавуну від іспанських ливарних виробництв. З іншого боку, виливки зі сталі (включаючи низьколеговану сталь, неіржавну сталь та інші сплави) використовуються для виготовлення автомобільних деталей та у виготовленні арматури (зокрема клапанів), а отже застосовуються у ширшому спектрі секторів. Звісно ж, найбільшу частку ринку в рамках виготовлення арматури (клапанів) займають виливки з неіржавної сталі.

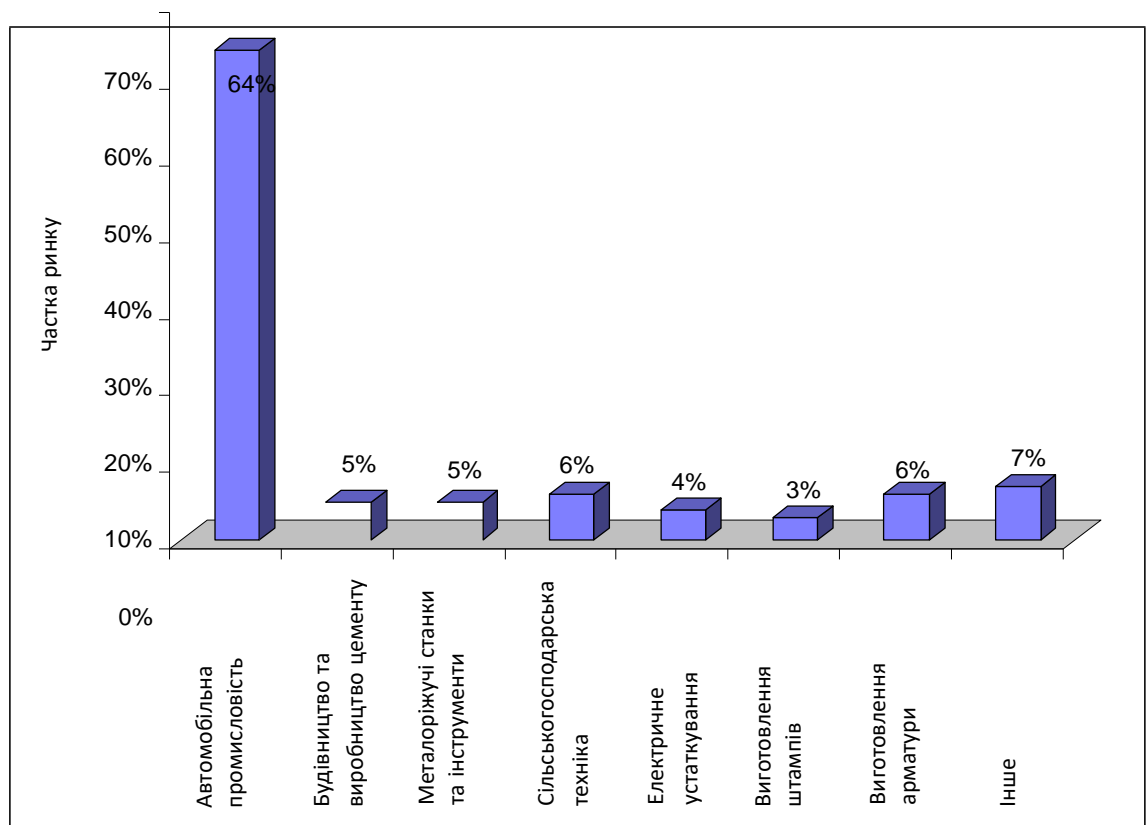


Рис. 1.3. Частки ринку для виливків із чавуну (дані щодо іспанського ринку) [108, FEAF, 1999]

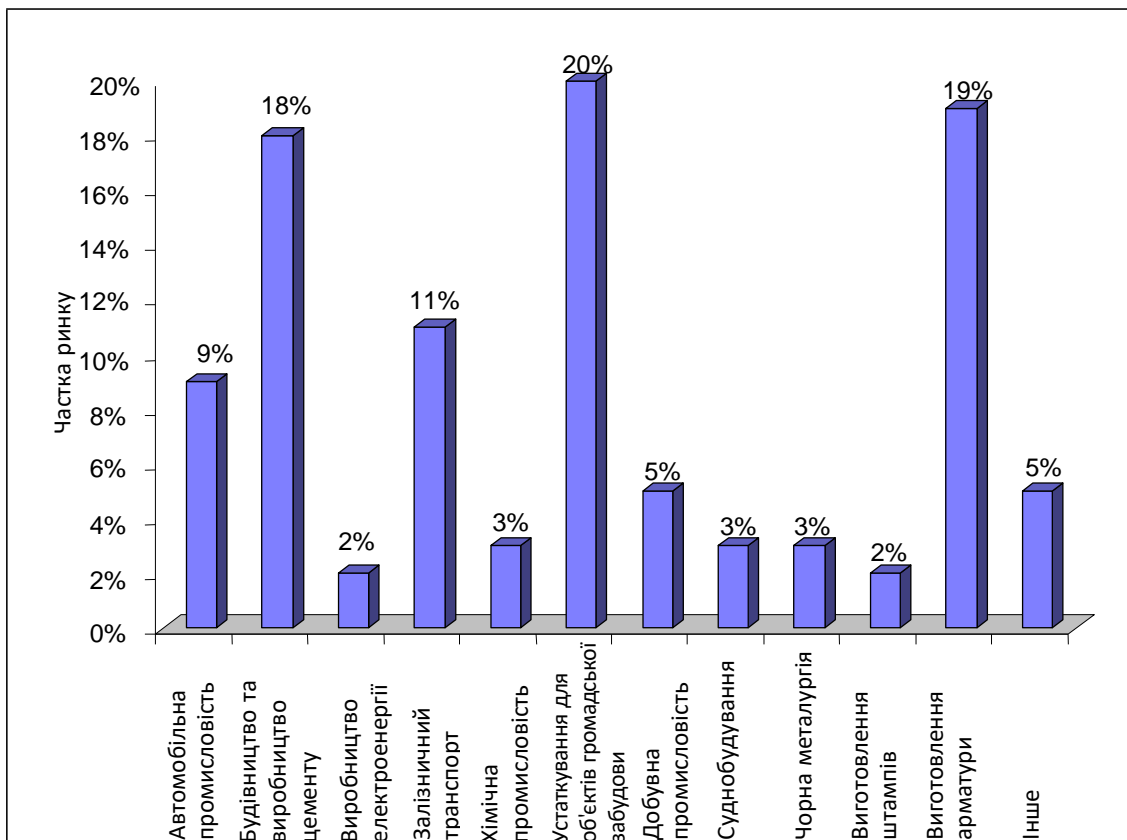


Рис. 1.4. Частки ринку для виливків зі сталі (дані щодо іспанського ринку) [108, FEAF, 1999]

Поступовий рух Європи на схід привів до того, що європейські виробники демонструють все більший інтерес до нинішньої діяльності ливарних виробництв у таких країнах, як Польща, Чеська Республіка та Угорщина. Деякі великі європейські компанії вже інвестували у ці регіони. Для східноєвропейських країн відкриття їхніх ринків у поєднанні з отриманими іноземними інвестиціями дало змогу впровадити нові технології, тим самим підвищуючи продуктивність та знижуючи негативний вплив на навколишнє середовище. Через низькі витрати на оплату праці в цих країнах, їхньою конкурентною перевагою є ливарні підприємства, що працюють за контрактами, які, насамперед, виготовляють великі виливки, а також ливарні виробництва, що виготовляють широкий асортимент продукції. Для того, щоб у належний спосіб конкурувати на світовому ринку, ливарні виробництва західної Європи зараз акцентують свою увагу на наявних у них нових технологіях, обираючи нішові ринки, які вимагають виготовлення складних виливків з високою точністю, мають особливі вимоги щодо якості, або ті, де потрібна швидка доставка чи постачання відповідно до календарного графіка.

1.1.3 Типи ливарних виробництв

Окрім типу металу (тобто чорний/кольоровий) план розміщення ливарних виробництв відчутно залежить від розміру виливків та масштабу серійного виробництва. Ливарні виробництва із малим обсягом серійного виробництва називають «ливарними підприємствами, що працюють за контрактами», натомість виробництва із великим обсягом називають «ливарними підприємствами із серійним виробництвом». Ливарні виробництва також класифікують відповідно до типу металу, що виготовляється, а саме, це ливарне виробництво або чорних або кольорових металів. Є велика різниця між ливарним виробництвом із цинку, яке виготовляє масштабні серії рам для іграшкових машинок, та ливарним виробництвом із чавуну, яке виготовляє корпуси роторів для вітряків. Ливарні виробництва застосовують різні ступені автоматизації відповідно до масштабу серійного виробництва та повторюваності роботи. До речі, щодо технологій, які застосовуються, виробництва зазвичай класифікують за типом плавильної печі, що використовується (наприклад вагранка, електрична піч, ротаційна піч, ...), та за типом форми (наприклад лиття у піщані форми, лиття у кокіль). Ми обговоримо це далі у Розділі 2.

1.2 Вплив на довкілля

Ливарна промисловість є головним гравцем у переробці металевих відходів. Металобрухт (скрап) зі сталі, чавуну та алюмінію переплавляють на нову продукцію. Ймовірний негативний вплив ливарної промисловості на навколишнє середовище пов'язаний із наявністю теплового процесу та використанням мінеральних домішок. Тому вплив на навколишнє середовище здебільшого пов'язаний із вихлопними та відпрацьованими газами, а також повторним використанням або утилізацією мінеральних залишків.

1.2.1 Повітря

Шкідливі викиди від плавлення та обробки металів зазвичай стосуються використання добавок, палив чи домішок у сировині, що подається. Використання коксу в ролі палива або нагрівання тиглів газовими або масляними пальниками може спричинити викиди продуктів згоряння. Водночас використання добавок у процесах металообробки призводить до появи продуктів реакції. Наявність домішок (наприклад мастила, фарби, ...) у скрапі, що використовується для повторного плавлення, може потенційно призвести до появи продуктів неповного згоряння або рекомбінації та пилу. Більше того, будь-який пил, що утворюється під час процесу, може містити оксиди металу та власне метал. Випаровування елементів з високим тиском насиченої пари відбувається під час плавлення та маленькими частинками металу, що потрапляють за межі ванни (каналу). Металеві частинки також генеруються в рамках операцій зачищення та оздоблення.

При виготовленні форм і ливарних стрижнів для зв'язування піску використовуються різні домішки. Під час зв'язування піску і заливання металу, утворюються продукти реакції та розпаду. Це включає як продукти органічного, так і неорганічного походження. Утворення продуктів розпаду продовжується й надалі під час операцій охолодження та лиття під тиском.

Виділення пилу та різних частинок є загальною проблемою на всіх етапах ливарного процесу, а також для всіх процесів, що в ньому використовуються. Пил генерується під час виробництва та обробки піщаних форм та ливарних стрижнів, а також в оздобленні виливків (як для разових, так і для багаторазових форм).

У ливарному процесі викиди в атмосферу не обмежуються одним (або декількома) фіксованими місцями. Процес містить у собі різні джерела викидів (наприклад від гарячих виливків, піску, гарячого металу). Найважливішим питанням зменшення викидів є не тільки обробка потоку вихлопних газів та відпрацьованих газів, а також його уловлювання.

1.2.2 Залишки

Формування піщаної суміші передбачає використання великих обсягів піску, причому співвідношення маси піску до рідкого металу зазвичай становить від 1:1 до 20:1. Наприкінці процесу формування можна відновити, повторно використати або утилізувати використаний пісок. Додаткові мінеральні залишки, такі як шлак і дрос, утворюються на стадії плавлення при видаленні домішок зі сплаву. Це теж слід враховувати як при повторному використанні, так і при утилізації.

1.2.3 Енергія

Оскільки ливарне виробництво передбачає термічний процес, то енергоефективність і управління виробленим теплом є важливими екологічними аспектами. Однак через потребу транспортування, велику кількість нюансів управління теплоносієм (тобто металом), а також через його повільне охолодження, відтворення тепла не завжди є простим.

1.2.4 Вода

На більшості ливарних виробництв управління водними ресурсами передбачає внутрішню циркуляцію води, при цьому значна її частина все ще випаровується. Вода зазвичай використовується в системах охолодження електричних печей (індукційних або дугових) та вагранок. Тому вихідні потоки стічних вод в цілому дуже незначні. У випадку лиття під (високим) тиском утворюється потік стічних вод, який потребує обробки для видалення органічних сполук (фенолу, олії) перед утилізацією.

2 ПРИКЛАДНІ ПРОЦЕСИ ТА МЕТОДИ У ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

2.1 Огляд

2.1.1 Ливарний процес

Нижче на рисунку 2.1. зображена узагальнена блок-схема ливарного процесу. Процес можна розділити на такі основні види діяльності:

- плавлення та обробка металів: плавильний цех
- підготовка форм і ливарних стрижнів: цех формовки
- лиття розплавленого металу у форму, охолодження для затвердіння та вибивання виливків з форм: ливарний цех
- оздоблення виливків: оздоблювальний цех.

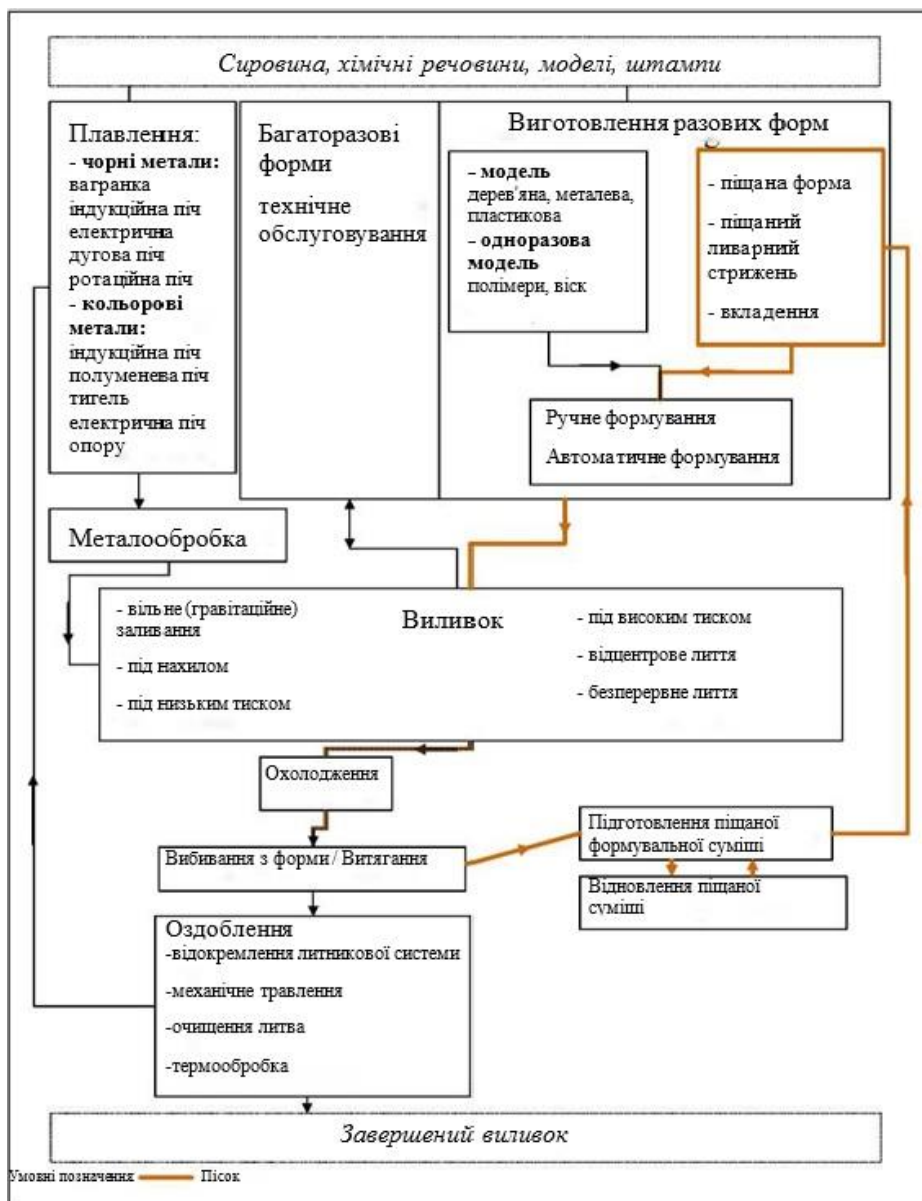


Рис. 2.1. Ливарний процес

Починаючи з ливарного скрапу (брухту, відібраного за певним хімічним складом) або злитків, ливарне виробництво випускає готові виливки. В більшості випадків це деталі, які потребують подальшої обробки або збирання, щоб отримати кінцевий продукт.

Розглядаючи форми, здебільшого поділ іде на багаторазові (постійні або кокілі) та одноразові форми. Ливарні виробництва, які здійснюють лиття в кокілі, купують ці металеві форми (штампи) зовні, але, як правило, мають власні майстерні з ремонту та обслуговування форм. Ливарні виробництва, що працюють з одноразовими формами, часто купують дерев'яні, металеві або пластикові моделі (для виготовлення прес-форм) та мають власні майстерні з ремонту та обслуговування моделей. Прес-форми, ливарні стрижні та одноразові форми, як правило, виготовляються в рамках ливарного процесу.

Традиційно у ливарному секторі головне розмежування – це ливарні виробництва з чорних та кольорових металів. Це розмежування пов'язане з тим, що процеси, які використовуються в обох секторах, відрізняються. У ливарних виробництвах кольорових металів часто застосовують методи лиття під тиском. Вони забезпечують кращу обробку поверхні, що важливо для багатьох варіантів застосування алюмінію та латуні. Завдяки високій швидкості охолодження випускаються виливки з високою механічною міцністю. Однак ця методика не дає змогу виготовляти масивні чи великі елементи, для яких потрібні методики лиття в піщані форми. Техніка лиття в піщані форми застосовується для тих продуктів, які не випускаються великими серіями. Кольорові метали (та їхні сплави), про які йдеться у цьому документі, включають:

- алюміній
- магній
- мідь
- цинк
- свинець.

Чорні ливарні виробництва зазвичай використовують техніку одноразових форм. Завдяки більшій жорсткості й міцності сплави чорних металів застосовуються в різних сферах порівняно з кольоровими сплавами. Розмір продукції, яку можна виготовити, майже необмежений. Чорні метали мають вищу температуру плавлення і тому потребують різних технік плавлення. Чорні метали та сплави, про які йдеться в цьому документі, – це різні типи чавуну (які можуть бути класифіковані за своїми властивостями або за типом графіту) і сталі.

Також будуть обговорені суперсплави з високим вмістом легувальних елементів, таких як нікель.

Ливарні виробництва використовують механізацію та автоматизацію залежно від потреби у відтворюваності й від розмірів серії. Найгнучкіший варіант – це, як правило, ливарне виробництво, що працює за контрактами. При цьому в невеликій кількості (<100) випускається різноманітна продукція. В цілому до цього типу ливарного виробництва застосовуються методи ручного лиття за допомогою піщаних форм на фенолформальдегідному зв'язуванні. Плавильна піч працює відповідно до партії, щоб мати змогу легко замінювати сплави. Дана техніка передбачає використання індукційних або ротаційних печей.

Для серій середнього розміру (<1000 деталей) застосовують механізовані виробничі лінії формування та лиття. Ливарні виробництва з разовими формами використовують машини для виготовлення форм. Передбачається використання сирової піщаної суміші, що дає змогу швидко створити форму. Розмір машини для виготовлення форми обмежує максимальний розмір виливків. Лиття може бути виконано вручну або за допомогою розливної машини. Допоміжні додаткові процеси, такі як підготовка суміші, проводяться напівавтоматизованим способом із дистанційним керуванням. Використовуються як печі безперервного плавлення (вагранки, шахтні), так і серійні печі. Для кольорових сплавів застосовують методи лиття під тиском.

Великі серії невеликих виливків виготовляються в процесі безопочного формування із сирової суміші. Для конкретних випадків у чорних ливарних виробництвах також може використовуватися лиття під тиском, якщо цього вимагає якість виливку, хоча насправді ця техніка знаходить лише обмежену реалізацію. Основна відмінність для серій середніх розмірів – подальша автоматизація обробки, контроль якості та складання форми. Для лиття під тиском у виробництвах із кольоровими сплавами часто застосовується подальша автоматизація, особливо це стосується ливарних цехів для лиття під тиском.

Окремі техніки лиття, такі як повне формування, центрове та безперервне лиття, використовуються, коли цього вимагає тип продукції.

2.1.2 Лиття чавуну

Чавун – це сплав заліза з вуглецем, який містить зазвичай від 2,4 до 4 % вуглецю за масою. Мінімальний вміст вуглецю – 1,8 %. У різних кількостях також присутні кремній, марганець, сірка і фосфор. Виробляються спеціальні марки чавуну, які містять різні рівні нікелю, хрому та інших металів. Завдяки високому вмісту вуглецю чавун має низьку температуру плавлення і хорошу здатність лиття порівняно зі сталлю. Його пластичність низька і не дозволяє скручування чи ковки. Варіації властивостей можна досягти, змінюючи відношення вуглецю до кремнію, легуванням і термічною обробкою.

Залежно від концентрації та форми вуглецю (пластинчастий, вермикулярний або компактний) можуть бути визначені різні види чавуну:

- сірий чавун (пластинчастий графіт): вуглець у формі пластинок
- чавун із вермикулярним графітом: вуглець у вермикулярній формі
- чавун із компактним графітом: вуглець у зв'язаній формі.

Класифікацію чавуну часто формують за його властивостями:

- сірий чавун: чавун із сірою матовою поверхнею зламу. Незважаючи на те, що це також стосується чавуну із пластинчастим, вермикулярним і компактним графітом, цей термін зазвичай використовується як синонім пластинчастого чавуну
- високоміцний чавун: пластичне залізо: чавун із підвищеною пластичністю і міцністю. Це один з ефектів, спричинених сфероїдизуванням, але це також стосується ковкого заліза. Термін зазвичай використовується як синонім чавуну з вермикулярним графітом
- ковкий чавун: чавун, що здатний розширюватися або формуватися під дією молоту. Ця властивість пов'язана з низьким вмістом вуглецю, який залишає більшу частину вуглецю у зв'язаному вигляді.

Чавун можна розплавляти у вагранці, індукційній печі (як правило, тигельного типу, але дуже часто може бути каналного типу) або в ротаційній печі. Для виготовлення чавуну дуже рідко використовується електродугова піч. На рисунку 2.2 наведені діаграми технологічного процесу для плавлення та обробки чавуну в трьох різних типах печей. Процес, як правило, складається із плавлення – випуску плавлення – обробки металу – заливання. У наступних пунктах і розділах розглядаються різні аспекти плавлення та обробки металів. Обробка металів включає різні етапи, такі як десульфурація, сфероїдизування, графітизуюче модифікування та розшлакування. Етап десульфурації при плавленні у вагранці також може бути включений до сфероїдизування, наприклад використовуючи сфероїдизування, в якому одночасно поглинається сірка, наприклад процес роботи зі стрижнем.

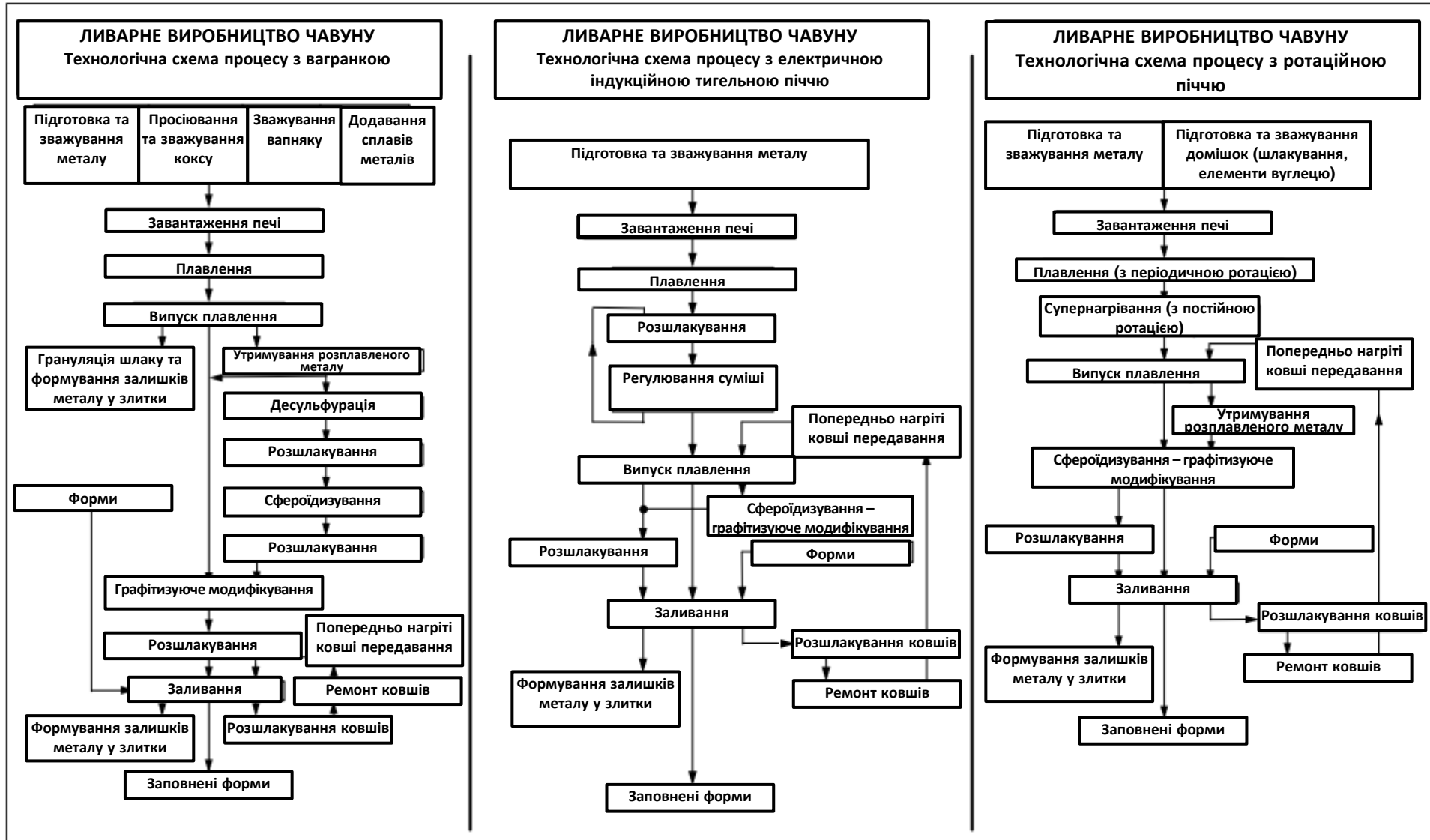


Рис. 2.2. Схема технологічного процесу для плавлення та металообробки чавуну [32, САЕФ, 1997]

Вагранка – це найпопулярніший пристрій для переплавлення металів у Європі. На неї припадає близько 55 % тоннажу чавунних виливків у Західній Європі. Нині вагранка у своєму домінуванні на ринку все більше стикається з великими викликами. Частково це пов'язано з якістю димових газів, які потребують обробки. Зіткнувшись із можливим фінансовим тягарем інвестування в установку для очищення газу, а потім її амортизації, багато малих та середніх установок перетворилися на електричні або кисневі плавильні установки. Тому кількість вагранок, що застосовуються у ливарних виробництвах, зменшується, але їх середній розмір збільшується. Останніми роками на ринку вагранок в Європі відбулися значні зміни, особливо через реструктуризацію коксохімічної промисловості, що призвело до зменшення кількості постачальників та необхідності імпорту коксу в Європу. Ще одна істотна зміна – менша кількість виробників вагранок, адже одна німецька фірма має квазімонополію у виробництві вагранок із гарячим дуттям.

Більшість стандартних чавунних виливків виконані у сирих піщаних формах зі стрижнями на фенолформальдегідному зв'язуванні. Найбільше застосовуються метод аміна в холодному стрижневому ящику та метод гарячого стрижневого ящика. Процес формування для «методу лиття з використанням оболонкових стрижнів і форм на фенолформальдегідному зв'язуванні» використовується там, де потрібна висока точність і якісна обробка поверхні. Процес лиття по газифікованих моделях використовується в обмеженій мірі для виливків, що повторюються. Виливки, виготовлені в меншій кількості, виробляються в хімічно зв'язаних піщаних формах. Для певних чавунних виливків застосовуються спеціальні піщані процеси, такі як вакуумне моделювання та повне моделювання. Також існує декілька виробництв із литтям у кокіль (лиття під тиском), де виготовляють чавунні виливки, але короткий строк експлуатації прес-форми, з урахуванням виготовлення в ній лише кількох тисяч деталей, обмежує використання лиття під тиском для чорних металів.

[156, Годіно, 2001], [174, Браун, 2000]

2.1.3 Лиття сталі

Сталь – це матеріал, вміст у якому заліза (за масою) більший, ніж у будь-якого іншого елемента, із вмістом вуглецю, як правило, нижчим за 2 %, і який зазвичай також містить інші елементи. Обмежена кількість типів хромованої сталі може містити понад 2 % вуглецю, але 2 % – це звичайне граничне значення, за яким сталь відрізняють від чавуну [201, СЕН, 2000]. Одним з особливо корисних аспектів сталі є те, що вона може бути гарячою. Низьколегована сталь містить такі елементи, як Mn, Cr, Ni, Mo у кількості менше 5 %. Високолегована сталь включає понад 5 % легувальних елементів, наприклад 12 % Cr і 8 % Ni. Спеціальні марки сталі виробляються з покращеними властивостями, такими як підвищена міцність; більша магнітна проникність; краща стійкість до корозії, втоми або зносу; та поліпшена поведінка під час зварювання або при високих чи низьких температурах.

Сталь зазвичай плавиться в електродугових печах (EAF) або в тигельних індукційних печах (IF). Після розплавлення рідкий метал може бути очищений (тобто з видаленням вуглецю, кремнію, сірки та/або фосфору) та розкиснений (тобто зі зменшенням вмісту оксидів металів), залежно від основного матеріалу та вимог до якості готового продукту. На рисунку 2.3 наведено схеми технологічного процесу для плавлення та обробки сталі в різних типах печей.

[32, CAEF, 1997]

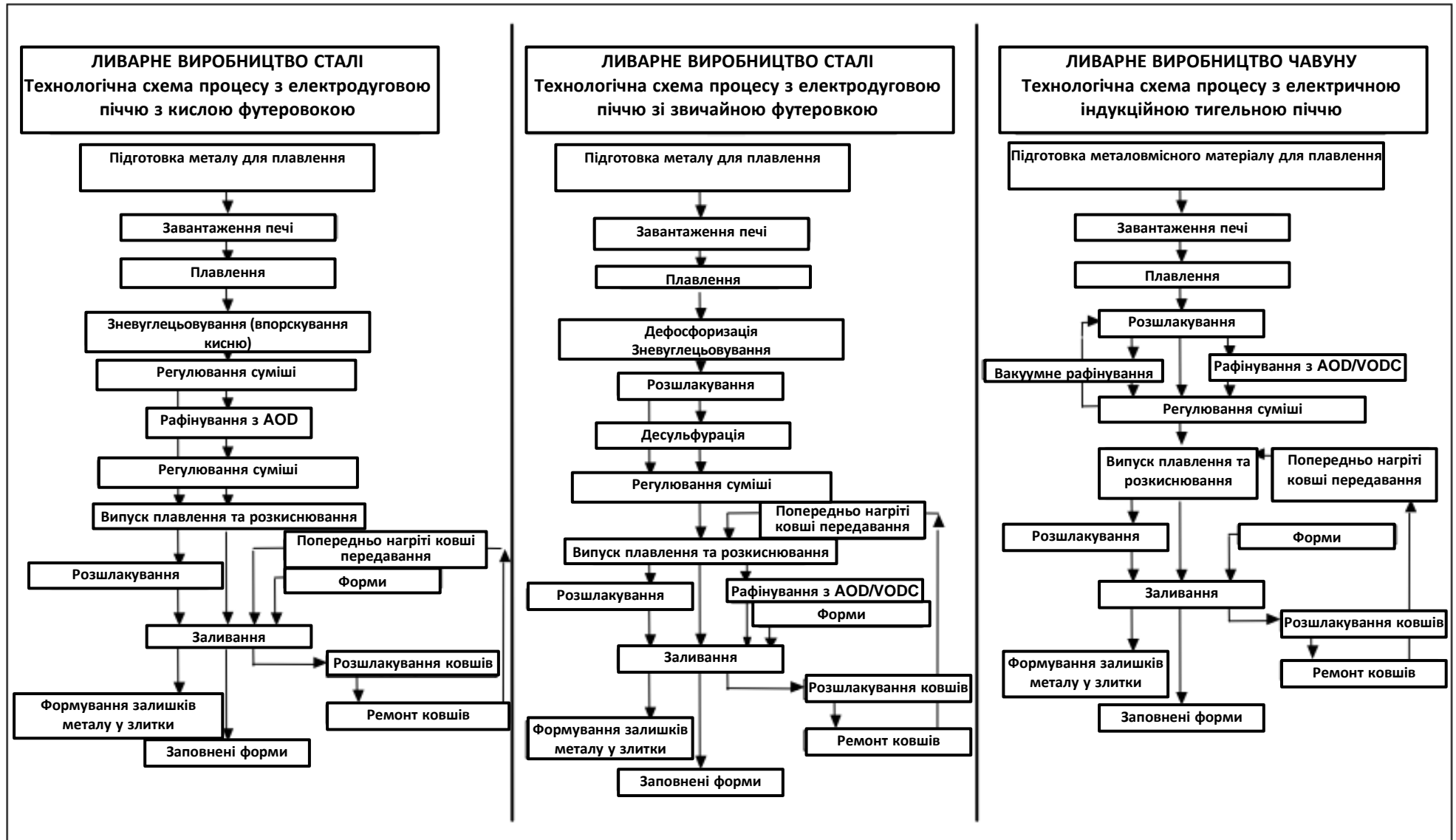


Рис. 2.3. Схема технологічного процесу для плавлення та металообробки сталі [32, САЕФ, 1997]

2.1.4 Лиття алюмінію

Приблизно дві третини усіх виливків з алюмінію використовуються в транспортній галузі, наприклад у легкових автомобілях, автобусах, вантажівках, потягах та літаках. Необхідність зменшити рівень споживання палива транспортним засобом та його вагу сприяла зростанню інтересу до алюмінію. Загальна маса комплектуючих з алюмінію в європейських машинах між 1990 та 2000 роками зросла вдвічі. Постійне зростання використання алюмінію у секторі його основного користувача, вочевидь, вплинуло на загальну кількість виготовлених виливків.

Лиття алюмінію насамперед проводиться у кокілі (багаторазові форми). У таблиці 2.1 наведено відносні частки технологій лиття, які використовуються для алюмінію (Al):

Тип лиття	Відносна частка (%)
Лиття під тиском	59
Лиття під низьким тиском та гравітаційне лиття	37
Лиття у піщані форми	3
Інші типи	1

Таблиця 2.1: Відносні частки технологій лиття, що застосовуються для Al [143, інститут Inasmet та CTIF, 2002], [225, TRG (TWG), 2003]

У ливарних виробництвах із використанням алюмінію застосовують багато різних печей для плавлення металу залежно від індивідуальних потреб. Застосовують печі, що нагріваються прямо та опосередковано, такі, що використовують паливо й електроенергію. Серед горючих корисних копалин використовуються природний газ, зріджений нафтовий газ (LPG) і нафта. Більшість ливарних підприємств надають перевагу природному газу з міркувань зручності. Електричний нагрів може забезпечуватися або елементами опору, або індукцією. Потужність є одним з найважливіших параметрів для плавильних печей та печей для вирівнювання температури. Сьогодні індукційні печі зазвичай використовують лише при високій потужності, наприклад коли потрібно мати вище 10 тонн/годину. Шахтні плавильні та роздаткові печі, а також тигельні печі часто використовуються, коли потужність плавлення становить менше 5 тонн/годину. Малі та середні тигельні печі часто використовуються, коли може знадобитися можливість легко змінювати сплав або якщо рівень виробництва досить низький.

З точки зору утримування й роздачі, електричні печі мають перевагу, адже не створюють відпрацьованих газів у пальнику та мають можливість підтримувати однорідну температуру протягом усього об'єму плавлення за відносно низьких витрат енергії.

На ливарних виробництвах для плавлення алюмінію як вихідний матеріал зазвичай використовують леговані злитки, хоча в деяких випадках метал постачається вже у формі рідини. На ливарних підприємствах вторинне плавлення алюмінієвого брухту зазвичай не проводиться і не підпадає під дію цього документа. Це обговорюється у довідковому документі про НДТ для видів промисловості кольорових металів.

[48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994] [148, компанія Eurofine, 2002], [155, Європейське бюро із запобігання та контролю промислового забруднення, 2001]

2.1.5 Лиття магнію

Виливки з магнієвого сплаву використовуються для аерокосмічної, автомобільної та електронної техніки. Основна перевага їх використання – це легка вага; адже зазвичай сплави магнію мають щільність 1,8 г/мл порівняно з 2,7 г/мл для алюмінієвих сплавів. Алюміній – це основна легувальна складова ливарних сплавів на основі магнію, також у невеликій кількості присутні цинк і марганець. Найчастіше використовується процес лиття під тиском через низьку температуру лиття (650 – 700°C); при цьому його провадять у машинах, що мають як холодну, так і гарячу камеру. Формування у піщано-глинисті суміші застосовується меншою мірою. Лиття магнію під тиском дає змогу вилити тонші стінки, ніж у випадку алюмінію, але їх використання обмежене проблемами жорсткості. Тонші стінки дозволяють значно зменшити загальну вагу деталей, тим самим компенсуючи вищу вартість сплаву на кілограм. Для виливків, що працюватимуть у сильно напруженому стані, також використовується гравітаційне лиття під тиском та лиття у піщані форми. Застосування лиття з магнієвого сплаву для деталей автотранспортних засобів швидко зростає, деякі транспортні засоби вже містять деталі з Mg із загальною вагою 10 – 20 кг. Найпопулярніші деталі, що нині виготовляються, включають каркаси приладової панелі, підвіски (поперечні балки кузова автомобіля), приводи коліс та рами сидінь.

Розплавлені магнієві сплави чинять вплив на різні вогнетривкі шари в печі, в результаті чого з'являються шкідливі викиди кремнію. Саме тому застосовують сталеві тиглі. Чавун також незначно розчиняється у магнії, але його вплив набагато менш шкідливий, ніж кремнію. Скрап зазвичай очищують і, якщо можливо, механічним травленням видаляють будь-який пісок, що прилипає, як додатковий запобіжний захід проти появи кремнію. Щоб запобігти розливанню через ливарні ковші, розплавлений сплав, за можливості, виливається безпосередньо з тиглю.

Через дуже простий процес окислення магнієві сплави плавляться під кришкою з використанням очищувального флюсу або покривного газу, щоб уникнути втрат від окислення та запобігти появі включень. Інгібіторні порошки використовуються для покриття будь-яких металів, що піддаються впливу навколишнього середовища під час утримування та виливання, а також додаються до формувальної суміші для запобігання хімічних реакцій. Плавлення сплавів Mg без використання флюсу вимагає іншої форми захисту. Для цього використовується гексафторид сірки (SF_6), оскільки він сприяє утворенню на рідкому магнії захисної плівки, що перешкоджає окисленню. Він застосовується у низькій концентрації (<0,3 % об.) у суміші з повітрям або з використанням повітря/ CO_2 . SF_6 – це парниковий газ, який вважається шкідливим для атмосфери і підпадає під дію Кіотського протоколу, який вимагає мінімізації його використання. Австрія і Данія видали положення про заборону використання SF_6 , починаючи відповідно з 2003 та 2006 років.

Сплави магнію покращуються внаслідок подрібнення зерна металу і структурних складових сплаву, яке здійснюється шляхом щеплення вуглекислими матеріалами. Раніше це здійснювалося з гексахлоретаном, але з 01 липня 2003 року цей продукт заборонений в Європі, насамперед із метою захисту навколишнього середовища та задля охорони здоров'я і безпеки населення. Це стосується як магнієвих, так і алюмінієвих сплавів.

[175, Браун, 1999], [225, ТРГ (TWG), 2003]

2.1.6 Лиття міді

Лиття міді відбувається у формі різноманітних груп сплавів, в яких завжди основним компонентом виступає мідь. Короткий опис деяких з них наведено нижче:

- *Мідь із високою провідністю*: їх використовують здебільшого через їх високу електро- і теплопровідність. До варіантів застосувань відносяться фурми для доменних печей та вагранок із гарячим дуттям, електродні затискачі з водяним охолодженням, розподільні пристрої тощо.
- *Латуні*: сплави Cu-Zn, де цинк є основним легувальним елементом. Вони виливаються легко, чудово піддаються обробці та мають хорошу стійкість до корозії у повітрі та прісній воді. Вони широко застосовуються для виготовлення сантехнічної арматури. Латуні високої міцності високолегованіші та використовуються в морській техніці. Латуні відливають як у піщані форми, так і в кокілі
- *Олов'яні (олов'янисті) бронзи* або просто *бронзи*: сплави Cu-Sn, де олово є основним легувальним елементом. При вмісті олова 10 – 12 % олов'яні бронзові виливки дорожчі, ніж латунні. Вони мають високу корозійну стійкість і підходять для обробки кислих вод, подачі води в котли тощо. Високоолов'яні сплави також застосовуються там, де необхідна зносостійкість. Методи лиття, що застосовуються – це піщані форми та відцентрове лиття
- *Фосфорні бронзи*: сплави Cu-Sn з додаванням приблизно 0,4 – 1,0 % P. Вони важчі, ніж олов'яні бронзи, але мають нижчу пластичність. Використовуються для підшипників, де навантаження і швидкість ходу великі, а також для елементів передач, таких як черв'ячна (шнекова) передача
- *Свинцеві бронзи*: сплави Cu-Sn-Pb. Вони використовуються майже виключно для підшипників, де навантаження і швидкості руху помірні
- *Гарматні метали*: сплави Cu-Sn-Zn-Pb. Це оптимальні сплави для лиття в піщані форми. Вони добре поєднують ливарну здатність, оброблюваність і міцність, а також високу стійкість до корозії. Вони використовуються для складних, герметичних виливків, таких як клапани і насоси. Їх також використовують для підшипників, де навантаження та швидкість руху помірні
- *Алюмінієві бронзи*: сплави Cu-Al, де Al є основним легувальним елементом. Вони поєднують високу міцність і високу стійкість до корозії. Їх застосування варіюється від декоративних архітектурних елементів до інженерних компонентів, які піддаються сильному напруженню. Вони мають багато застосувань у суднобудуванні, включаючи гвинти, насоси, клапани. Вони також використовуються для виготовлення безіскрових інструментів. Використовуються методи лиття для Al
- *Мідно-нікелеві сплави*: сплави Cu-Ni, де Ni є основним легувальним елементом. Вони використовуються, наприклад, для елементів морських трубопроводів для використання у важких умовах

- *Мідно-берилієві сплави*: Берилій як метал для лиття використовується у складі мідно-берилієвого сплаву для виробництва деталей, які потребують стійкості до корозії та дуже високих механічних характеристик. До них відносяться наконечники плунжерів у машинах для лиття під тиском, точні деталі для електричної та механічної промисловості, у виготовленні годинників, інструментів та вимірювальних приладів. Використовуються два типи сплавів: мідно-берилієвий сплав з 2 % Be і сплав мідь-кобальт-берилій з 0,5 % Be. Існує тенденція до зниження або виключення берилію зі сплавів через його канцерогенний характер. Лиття проводиться у кокіллі із застосуванням тиску чи шляхом гравітаційного лиття під тиском. Для точного лиття деталей використовується техніка лиття за випалюваними моделями.
[175, Браун, 1999]

2.1.7 Лиття цинку

Під час лиття цинку майже виключно використовується техніка лиття під тиском. У країнах-членах ЄС зазвичай використовуються два сплави, їх склад наведений в таблиці 2.2. Їх також називають Zamac (різновид цинкових сплавів легованих алюмінієм, магнієм і міддю), і назва початково виникла як торгова марка. Основу цих сплавів становить чистий цинк.

Символ	Номер сплаву	Al	Cu	Mg
ZnAl4Cu1	ZP0410	3,7 – 4,3	0,7 – 1,2	0,025 – 0,06
ZnAl4	ZP0400	3,7 – 4,3	0,25	0,025 – 0,06

Таблиця 2.2: Найпоширеніші сплави цинку, вміст у %

Сплав цинку майже виключно плавиться в ливарних машинах із гарячою камерою пресування. У рідкісних випадках і лише тоді, коли потрібні високі виробничі потужності, можна застосовувати централізоване плавлення.

Сплави цинку мають матеріальні властивості схожі до алюмінію. Основні відмінності – це нижча температура плавлення і більша щільність сплавів цинку (6,7 г/см³ проти 2,6 – 2,7 г/см³). Здебільшого вони використовуються для невеликих деталей, які вимагають високої точності й малої товщини стінок. Вони також дають змогу використовувати вищу швидкість лиття і приводять до збільшення стійкості матриці в 10 разів (800 000 до 1 200 000 елементів шроту), що робить їх придатнішими для великих серій (з невеликих деталей). Сплави цинку розплавляють у чавунному тиглі з електричним або нагрітим паливом і відливають за допомогою машин з гарячою камерою. Продукти з цього сплаву використовуються, наприклад, для автомобільних і електронних деталей та в машинобудуванні.

2.1.8 Лиття свинцю

Свинець – це важкий метал низької температури плавлення (температура плавлення 327°C). Свинець відносно м'який, стійкий до корозії та має гарну здатність до самозмащування. Сфери використання свинцевих виливків включають акумуляторні листи, екрануючі матеріали для рентгенівських і ядерних установок, а також баласта та противаги. Насамперед використовуються методи лиття під тиском і гравітаційне лиття.

2.1.9 Лиття суперсплавів

Суперсплави – це, зазвичай, сплави на основі Ni, Ni-Fe та Co з додаванням Cr, Ti, W, Al. Спочатку їх застосовували для високих температур (понад 810°C) або для середовищ високих корозійних класів. Суперсплави слід відрізняти від високолегованих сталей (див. визначення в пункті 2.1.3). Оскільки залізо тут не є основною сполукою (як визначено в [201, SEN, 2000]), вони вважаються кольоровими металами. Лиття суперсплавів може відбуватися на деяких виробництвах із литтям за випалюваними моделями, а також частково на ливарних підприємствах, які спеціалізуються на легованій сталі з високою якістю.

Сплави на основі нікелю виробляються з групи сплавів, хімічний склад яких, як правило, містить понад 50 % нікелю і менше 10 % заліза. Вони зазвичай підсилюються інтерметалічними виділеннями в аустенітній матриці. Сплави на основі кобальту мають високий вміст Co (від 40 до 70 %), високий вміст Cr (понад 20 %), високий W (від 7 до 15 %), вони зміцнюються комбінацією карбідів і дифузійного насичення металами.

Деякі суперсплави, зокрема сплави на основі Ni-Fe та Co, плавляться просто в електричних печах класичними методами, що насамперед застосовується до неіржавних сталей. Однак для Ni та спеціальних суперсплавів Ni-Fe потрібне вакуумне індукційне плавлення, щоб знизити вміст залишкових газів (O, H, N) до дуже низького рівня. Це дає змогу ливарним підприємствам досягти високого та контрольованого вмісту окислювальних елементів, таких як Ti або Al.

Для механічних властивостей, корозійної стійкості та надійності виробу контроль залишкових (міжвузлових) газів та окислювальних елементів є дуже важливим. Загалом, лиття суперсплавів відбувається у складні кінцеві форми, де обробка неможлива. Тому вони зазвичай виготовляються за допомогою лиття за випалюваними моделями (тобто з використанням керамічних форм). Цей процес лиття дає змогу отримати виріб з дуже точними розмірами та дуже гладкою поверхнею. Для усунення внутрішньої пористості, яка може проявлятися у великих виливках, можна використовувати додаткові процеси, такі як HIP (гаряче ізостатичне пресування, ГПП). У камерах авіаційних газових турбін зазвичай застосовується технологія спрямованого лиття. Ця технологія усуває границі зерна і значно збільшує міцність матеріалу.

Початково суперсплави були розроблені для застосування при високих температурах. Однак сфера їх застосування продовжує розширюватися і тепер охоплює такі сфери, як криогенні температурні апарати, а також ортопедичні та зубні протези. Найперше суперсплави застосовуються в авіаційних і промислових газових турбінах, в ядерних реакторах, в конструкціях літальних і космічних кораблів, у нафтохімічному виробництві та в медицині.

[202, TRG (TWG), 2002]

2.2 Виготовлення моделей

2.2.1 Загальне виготовлення моделей

Виготовлення моделей або інструментів для лиття, як це також називають, вимагає високого рівня майстерності для досягнення малих допустимих відхилень, необхідних для моделей і стрижневих ящиків. Цей етап є критично важливим у процесі лиття, оскільки виготовлені виливки не можуть бути кращими, ніж моделі (штампи) для їх виготовлення. Моделі виготовляються за допомогою ручного інструменту, універсальних машин або за допомогою системи CAD/CAM на обладнанні з числовим програмним керуванням (ЧПК). У деяких цехах із виготовлення моделей при проєктуванні моделей використовується система автоматизованого проєктування (CAD, САП або САПР). Схема роботи (маршрут) інструментів для розрізання розроблена за допомогою автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (CAM, АСПВ). Чисельні вихідні дані з цих комп'ютерів передаються на верстати з ЧПК, які потім вирізають виробничі моделі. Такі автоматизовані системи мають кращу розмірну точність і послідовність, ніж ручні методи.

Матеріали для моделей (див. рис. 2.4) та стрижневого ящика (рис. 2.5) – це, як правило, метал, пластик, дерево або гіпс. Віск та полістирол використовуються в процесах лиття за випалюваними моделями та по газифікованих моделях. Виробники моделей мають широкий спектр доступних інструментів, включаючи деревообробні та металообробні інструменти. Для з'єднання деталей використовуються механічні з'єднувачі та клеї. Віск, пластик або поліефірна шпаклівка використовуються як наповнювач для заповнення або округлення внутрішньої частини квадратних куточків.

[42, Управління з охорони довкілля США, 1998]

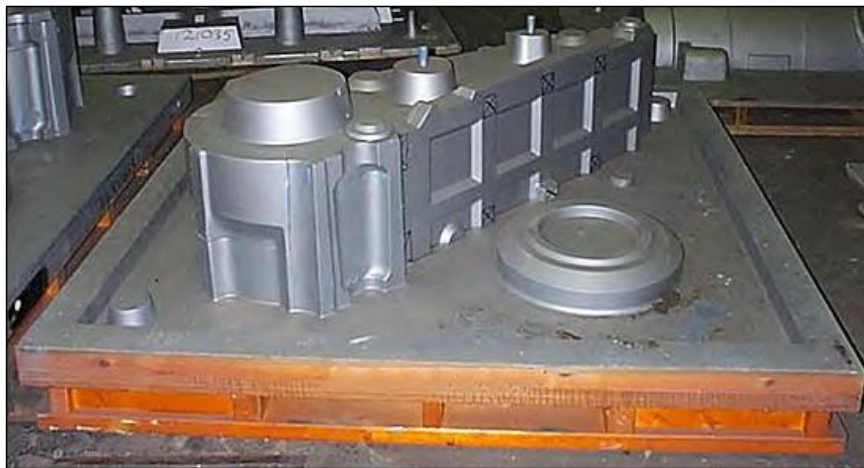


Рис. 2.4: Дерев'яна модель
[237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]



Рис. 2.5: Стрижневий ящик
[237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

2.2.2 Швидке прототипування (RP)

Швидке прототипування – це техніка, яка дуже швидко переходить від концепції продукту до власне випуску прототипу. Термін «швидке прототипування» включає всі технічні та організаційні заходи від формулювання концепції продукту до виготовлення продукту. Швидке прототипування може використовуватися на кожному етапі розробки продукту, тобто для концептуальних моделей, геометричних прототипів, функціональних або технічних прототипів, або прототипів на продаж. Усі наявні зараз методи дозволяють виготовити деталь-прототип із тривимірного малюнка. Вони також використовуються для прямого спікання пісків під час виготовлення форм або стрижнів. Методика полягає в конструюванні об'єкта відповідно до проектного зразка шляхом з'єднання частинок або шарів сировини, таких як полімерна смола, віск, папір або керамічний порошок. Приклад воскової моделі наведено на рисунку 2.6.



Рис. 2.6: Термополімерні (воскові) моделі в машині для швидкого виготовлення прототипів, зразків, моделей [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

У швидкому прототипуванні є 4 основних кроки:

1. створення моделі 3D-CAD
2. створення інтерфейсу між системою 3D-CAD та системою швидкого прототипування. Наприклад дані CAD можуть бути перетворені у формат файлу STL (стандартний формат файлу перетворення)
3. нарізання файлу STL на тонкі шари поперечного перерізу
4. реалізація моделі RP.

До переваг швидкого прототипування, особливо у випадку складних форм, належать:

- коротший час розробки та можливість швидких змін під час розробки
- економія витрат, матеріалів і часу
- раннє виявлення помилок.

[202, TRG (TWG), 2002], [203, Лінкс (Linxe), 2002]

Короткий огляд наявних технологій представлено в таблиці 2.3.

Процес	Принцип	Матеріали	Особливості
Рідина – твердий матеріал	Полімеризація місцевим впливом ультрафіолету з використанням світлочутливої смоли	Світлочутливі смоли Акрилати, епоксиди	- усадка і деформації - модель потребує опори
Твердий матеріал – твердий матеріал	Контури шару вирізаються з фольги	Папір, метали, полімери	- немає опор - витрата основного матеріалу
	Зняття матеріалу, що проявляє термічне сплавлення	ABS, віск, еластомери	- модель потребує опори
	Струменевий 3D-друк	Воски, полімери	- модель потребує опори
Порошок – твердий матеріал	Агломерація порошку шляхом спікання	Метали, кераміка, пісок, полістирол, нейлон, поліамід, віск	- немає опор - пористість - усадка
	Агломерація порошку проєкцією з'єднуючого матеріалу	Глинозем	- немає опор - пористість

Таблиця 2.3: Опис технологій швидкого прототипування [203, Лінкс (Linxe), 2002]

2.3 Сировина і транспортування сировини

Серед основних потоків сировини, що надходять до ливарного металу, є металеві зливки, ливарний скрап (брухт) та пісок. Можна розрізнити чорні та кольорові ливарні виробництва. Ливарні, що працюють із кольоровими металами, зазвичай плавлять лише внутрішній зворотний матеріал та зливки зі сплавів (див. рис. 2.7). Переплавлення зовнішнього скрапу, як правило, вважається окремим видом діяльності та є частиною вторинного виробництва металу. Якщо зовнішній скрап купують, то його спочатку піддають спектроскопічному аналізу з метою визначення типу сплаву. Ливарні, що працюють із чорними металами, окрім внутрішнього зворотного матеріалу, зазвичай використовують чушки з чавуну та відібраний скрап із чавуну та сталі. Різні за якістю метали, що використовуюються, зберігаються в окремих зонах, щоб забезпечити керовану подачу до плавильної печі.



Рис. 2.7: Алюмінієвий шлак (л.) та чушка (р.)
[237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Сировина, включаючи флюси в грудковому та порошкоподібному вигляді; ливарні кокси для вагранок; розкислювачі; вогнетривкі матеріали зазвичай зберігаються під накриттям. Після доставки процеси обробки зводяться до мінімуму. Порошкоподібні матеріали можуть зберігатися в герметичних силосах і транспортуватися пневматично або зберігатися й оброблятися в герметичних пакетах, як це показано на рисунку 2.8.



Рис. 2.8: Пневматичні конвеєри та силоси для порошкоподібних матеріалів
[237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Пісок, як правило, доставляється у формі насипу і вивантажується безпосередньо в силос за допомогою пневматичного транспортера, конвеєра або захоплювача. Спеціалізовані піски можуть постачатися в мішках або цистернах. Піщані суміші (пісок), що використовуються, для регенерації зберігаються в силосах, а для зовнішнього повторного використання чи утилізації – в силосах або купками для транспортування.

Рідкі зв'язуючі компоненти та нафтопродукти поставляються у барабанах, контейнерами для сипких матеріалів або автоцистернами. Вони зберігаються у контейнерах для доставки або, у випадку залізничних цистерн, вивозяться безпосередньо на спеціальний склад. Ємності з'єднуються безпосередньо зі змішувачем піску/смоли/каталізатора за допомогою трубопроводу. Деякі каталізатори та ко-реактиви використовуються в газоподібному вигляді, але вони також постачаються у вигляді рідини та обробляються аналогічно, перш ніж випаруватися та змішатися з газом-носієм. Випаровування відбувається окремо і може здійснюватися різними методами.

Вогнетривкі матеріали, мастила для ливарних форм (протиадгезивні засоби) та інші незначні поставки зберігаються в приміщенні.

Грубі тверді залишки, такі як використані вогнетривкі матеріали та шлаки, зберігаються окремими купами, у сховищі, розділеному на зони, або в ящиках. Їх транспортують та обробляють за допомогою невеликих підйомників. Тонкі тверді залишки збираються на фільтрувальному блоці у великі мішки або контейнери, які можуть зберігатися безпосередньо до транспортування для утилізації. Вживаються конкретні заходи, щоб уникнути забруднення ґрунту різними класами матеріалів. Потенційні варіанти впливу на навколишнє середовище наведені в таблиці 2.5.

Метал, який подається до плавильної печі, ретельно відбирається і зважується для забезпечення правильного складу. Склад шихти розраховується, виходячи із середнього хімічного складу кожного компонента, втрат окислення при плавленні та необхідного кінцевого складу вилівку. Різні елементи шихти поєднуються в зарядний пристрій (наприклад вагонетку з відкидним дном, вібраційний живильник, лебідку підйомника) за допомогою магніту, як правило, обладнаного системою зважування, щоб забезпечити збирання правильної кількості.

До шихти можуть додаватися додаткові легувальні елементи, зокрема сплави металів, такі як FeSi, FeMn, FeCr, або чисті метали, як Cu, C, Ni. Однак більшість сплавів додають до розплавленого металу для запобігання втрат металу внаслідок окислення. Легувальні елементи зазвичай присутні в ливарному виробництві в невеликих кількостях і завжди зберігаються всередині будівлі, переважно поблизу плавильної установки [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997].

Заходи	Забруднювачі, що викликають занепокоєння	Потенційний вплив	
Зберігання сировини			
Зберігання скрапу – зовнішньо, часто на ґрунті	Сипучі матеріали від скрапу – метали та покриття	Локалізоване забруднення поверхні ґрунту	
	Масла/олії/оливи – можуть включати: - РАН від згоряння моторних масел - РСВ з конденсаторів (здебільшого у подрібненому скрапі, якщо не відбувається поступова успішна ліквідація РСВ)	Вилугування в підземні та прилеглі поверхневі води	
	Рідини для різання – можуть бути хлорованими		
Рідини в підземних цистернах	Нафтопродукти, наприклад мазут дизельний	Витік у ґрунт із вилугуванням у ґрунтові та поверхневі води	
Обробка сировини, її транспортування та використання			
Продукти хімічного зв'язування – випадкове проливання або витік	Фенолформдегідні смоли	Вміст вільного фенолу від 0,5 до 5 %	Водорозчинні; можуть вилугатися в підземні води. Швидка деградація, якщо менше 400 проміле. Концентрований розлив великого об'єму буде повільніше деградувати через токсичність до бактерій
	Несучі розчинники у смолах	напр. метанол, до 20 % об.	Переважно водорозчинні, можуть просочуватися у ґрунтові води
	Уретанові смоли	Ароматичні розчинники ¹	Розчинники можуть просочуватися у ґрунтові води
	Фуранова лігатура	Толуоло-, ксилоло-, бензол-сульфонова кислота	Можуть заглиблюватися у ґрунтові води або змінювати властивості ґрунту, наприклад може бути мобілізація металів
	Смоли на основі сечовини	Аміак	Можуть вилугуватися в ґрунтові та поверхневі води
	Силікатні смоли	Лужний рН	Можуть заглиблюватися у ґрунтові води або змінювати властивості ґрунту, наприклад може бути мобілізація металів
Покриття форм	Ізопропіловий спирт (ІРА)	Водорозчинний, може просочуватися у ґрунтові води	
Паливо, продукти для технічного обслуговування: - випадкове проливання або витік (особливо навколо місць заповнення) - цілеспрямована утилізація у ґрунт	Мазути, дизельні палива, бензин з РАН та SO ₄ ²⁻ після згоряння; Мастила (лубриканти) та гідравлічні масла; Гартувальна олива; Трансформаторні оливи (потенціал для РСВ)	Масла/олії/оливи можуть витікати в ґрунтові та поверхневі води. Відкладення РАН та SO ₄ ²⁻ від спалювання мазутів та палив у повітрі. SO ₄ ²⁻ знизить лужність профілю ґрунту. РАН, РСВ, як правило, поглинаються у ґрунти	
¹ Раніше поєднання містили РАН (здебільшого нафталін), але були розроблені суміші без утворення нафталіну, які усунули цей забруднювач.			

Таблиця 2.4: Потенційне забруднення ґрунту від сировини з ливарних виробництв чорних металів [140, Основна мережа Європейського союзу щодо відходів ливарного виробництва (EU Thematic Network Foundry Wastes), 2001], [225, ТРГ (TWG), 2003]

2.4 Плавлення та обробка металу

Вибір плавильної печі є дуже важливим аспектом для ливарного процесу. Кожен тип печі має свої властивості щодо вимог до подачі шихти та можливостей для сплавів, що, зі свого боку, матиме наслідки для всього ливарного процесу. З іншого боку, тип металу, який підлягає розплавленню, визначає, яку піч можна використовувати чи не слід використовувати. Застосування різних типів печей наведено в таблиці 2.5.

	Вагранки	Електричні дугові	Індукційні каналні	Тигельні індукційні	Ротаційні	Подові	Шахтні	Тигельні/квш-піч
Чавун	m	m*	h	m, h	m*	m		h
Сталь		m		m				h
Алюміній			m, h	m, h	m	m	m	m, h
Магній								m, h
Мідь			h	m, h		m		m, h
Свинець				m, h				m, h
Цинк				m, h				m, h

* Менш поширені

Таблиця 2.5: Сфера застосування різних типів печей, для плавлення (m) та витримання (h)

У ливарних виробництвах, що використовують чавун, потрібен метал контрольованого складу і температури, що подається зі швидкістю, достатньою, щоб відповідати різним потребам формувальної лінії. Металева шихта, яка підлягає плавці, зазвичай складається з ливарних поверхонь, скрапу чавуну та сталі, а також чавуну з легувальними добавками, такими як, наприклад, феросиліцій, ферофосфор або феромарганець. Шихта зазвичай плавиться у вагранці або в електричній індукційній печі. Індукційні печі поступово набувають вищих ринкових переваг порівняно з вагранками. Для плавлення використовуються тигельні індукційні печі. Канальні індукційні печі використовуються лише для витримання, основне їх застосування – у поєднанні з вагранкою в так званій дуплексній конфігурації. Також можна використовувати газові та масляні ротаційні печі, хоча їх використання зустрічається рідше. Короткочасне витримання, транспортування та обробка металу проводиться в ковшах.

Сталь плавиться як в електродугових, так і в індукційних печах. Великі сталеливарні заводи можуть використовувати електродугові печі, але частіше використовують індукційні печі. Дугові печі можуть використовувати шихту зі скрапу низької вартості, оскільки рафінування відбувається відразу в печі. Однак вони мають обмеження в тому, що з графітових електродів завжди є певний викид вуглецю, тому в них не можна зробити неіржавні сталі з низьким вмістом вуглецю (<0,03 % °C). В індукційній печі рафінування неможливе, тому необхідно використовувати ретельно підібрану шихту. Однак можна плавити будь-який тип сталі. Короткочасне витримання, транспортування та обробка металу проводиться в ковшах.

Плавильна піч, що використовується при плавці кольорових металів, залежить від масштабу ливарного виробництва. Ливарні, що здійснюють кольорове лиття, часто використовують різні сплави та/або мають обмежену продуктивність. Плавлення проводиться в печах невеликого об'єму, для яких найбільше підходить тигельна піч. Крім того, основним методом лиття є лиття під тиском. У цьому випадку часто немає потреби в централізованому плавленні, оскільки плавильна (і витримуюча) піч інтегрована до ливарної установки. Кольорові ливарні з більшою потужністю та потребою (або мотивом) для централізованого плавлення зазвичай використовують індукційні, подові або шахтні печі для плавлення, а потім розподіляють розплавлений метал по печах для витримання і по тиглях для лиття.

[174, Браун, 2000], [225, ТРГ (TWG), 2003]

2.4.1 Вагранки

2.4.1.1 Вагранка з холодним дуттям

2.4.1.1.1 Опис

Вагранка – це піч шахтного типу, корпус якої футерований вогнетривкою цеглою, де металева шихта нагрівається завдяки згорянню коксу, що відбувається в нижній частині шахти («під»). Повітря для горіння подається вентиляторами через фурми, що розташовані в один або декілька рядів. Кільцевий і регулювальний клапан дає змогу контролювати і рівномірно розподіляти потік повітря для горіння через фурми. Метал (чавун, сталевий скрап, металобрухт), кокс, легувальні елементи (наприклад FeSi, SiC), суміші, що утворюють шлак (SiO_2), та флюсові суміші (наприклад CaCO_3) завантажуються через колошниковий отвір у верхній частині. Гази згоряння рухаються вгору від поду й обмінюються теплом із шихтою, перш ніж вийти з печі через шахту вагранки.

Коли попередньо нагріта шихта досягає зони горіння, металеві частинки плавляться внаслідок високих температур, і за наявності кисню заряджений кокс починає горіти. Розплавлені металеві краплі проходять через коксовий шар і збираються в зоні, яка називається горном і знаходиться нижче зони горіння. Всі домішки потрапляють у шлак, який здебільшого утворюється з SiO_2 , CaO , Al_2O_3 та FeO . Флюси знижують температуру плавлення і в'язкість шлаку. Завдяки меншій щільності шлак плаває на розплавленому металі в горні. Після того, як рідкий метал у горні досягає певного рівня, відкривається отвір для переходу до збиральника. Метал безперервно протікає через отвір, через вогнетривкий прокладений канал або лютку в окрему посудину або ківш. У якості альтернативи, розплавлений метал може безперервно спрямовуватися до печі витримування.

Шлак, що також надходить у збиральник і знаходиться над металом, випускають через іншу лютку, яка розташована вище чавунної (металевої). Його час від часу збирають в окремі посудини, або ж безперервно гранулюють у водному потоці чи в спеціальній установці для сухого гранулювання.

У своїй базовій конфігурації вагранка називається **вагранкою з холодним дуттям (СВС)**. Це вагранка, яка використовує дуття при атмосферному тиску та нормальній температурі навколишнього середовища.

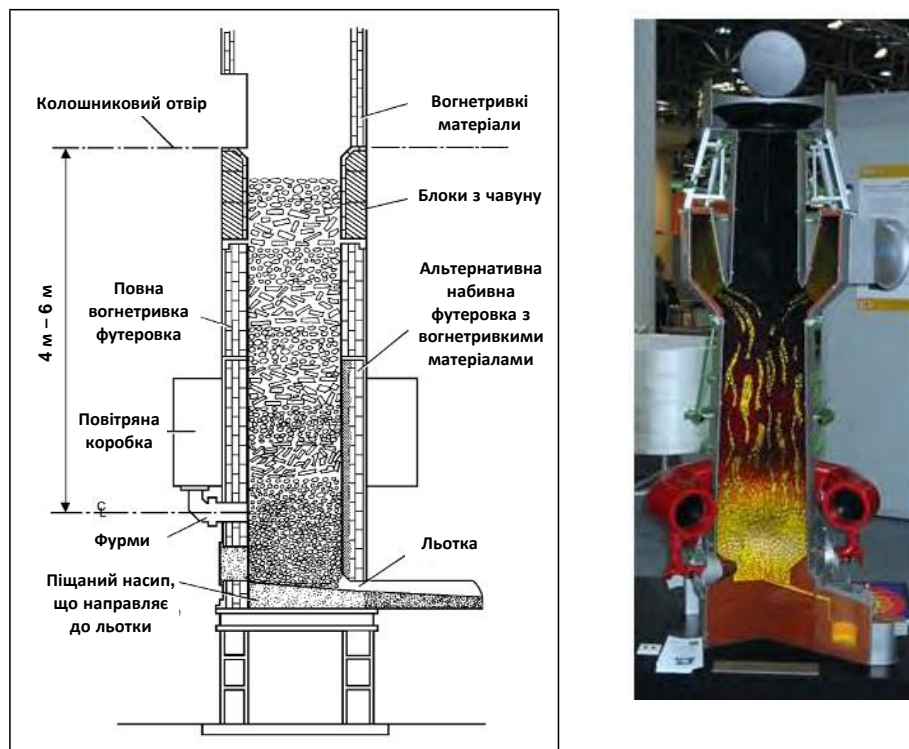


Рис. 2.9: Схематичне зображення та мініатюрна модель вагранки (з холодним дуттям) [44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

З метою підвищення енергоефективності й зменшення викидів CO₂ існує варіант заміни печі з холодним дуттям на піч із гарячим дуттям (див. пункт 4.5.2). Однак для ливарних підприємств середнього розміру, які переробляють менше 2000 тонн/місяць виливків належної якості, буде важко розглядати варіант вагранок із гарячим дуттям через великі інвестиції, які для цього необхідні. Використання вагранок із гарячим дуттям також обмежується постійним плавленням, інакше експлуатаційні витрати будуть занадто високими. Вагранки з холодним дуттям для деяких видів виробництва є оптимальнішими, наприклад для емальованих виливків із чавуну, посуду, нагрівальних приладів, противаг. Ці типи виливків дають змогу використовувати високий рівень старих чавунів під час плавлення; це – шихта, якої досі в достатку у країнах старої індустріальної Європи, і та, яка добре пасує до вагранок холодного дуття.

[44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [156, Годіно, 2001], [202, TRG (TWG), 2002]

2.4.1.1.2 Технічне обслуговування

Однією особливістю вагранки є те, що футеровочного матеріалу (кварцово-глинистої суміші) печі в зоні плавлення та нагрівання вистачає лише на одне плавлення. Інтенсивне нагрівання та наявність шлаку призводить до хімічного розчинення та механічного зносу футеровки, що, в результаті, перетворює її на шлак. Саме тому вагранки зазвичай проєктуються парами. Поки в одній печі йде плавлення, друга може бути облицьована новим вогнетривким матеріалом, при цьому на наступний день використання операцію буде проведено навпаки.

[110, Віто, 2001]

2.4.1.1.3 Переваги:

- інвестиційні витрати складають 125 000 – 150 000 євро за тонну, встановлену на годину, включно з установкою з обезпилення
- різні види (дешевого) скрапу можуть використовуватися внаслідок операцій з очищення та цементації
- якщо застосовуються відповідні заходи, тепловий ККД є прийнятним.

2.4.1.1.4 Недоліки:

- режим виробництва не є гнучким
 - складне управління виробництвом через повільність системи
 - дорога шихта з чавунними чушками, і мало скрапу сталі
 - неможлива швидка заміна сплаву
 - налипання/витягання сірки у вагранці
 - екологічне навантаження, спричинене ливарним виробництвом; тобто багато пилу, шлаку та вогнетривкої футеровки
 - потрібні великі очищувальні установки через високу норму димових газів.
- [110, Віто, 2001]

2.4.1.2 Вагранка з гарячим дуттям

2.4.1.2.1 Опис

Для оптимізації ефективності вагранки повітря для горіння можна попередньо нагріти. Цей принцип застосовується у **вагранках із гарячим дуттям (НВС)**, тобто у вагранках, де використовується попередньо підігріте дуття.

Переваги експлуатації гарячого дуття можна узагальнити так:

- зменшення споживання коксу
- підвищена температура металу
- підвищена швидкість плавлення
- зменшене налипання сірки
- зменшені втрати під час плавлення
- збільшене налипання вуглецю, а отже, більша можливість замінювати сталевий скрап чавунними чушками в шихті.

Слід зазначити, що не всіх цих переваг можна досягти одночасно. Наприклад збільшення частки сталевого скрапу в шихті може вимагати збільшення частки коксу для повторного збагачення вуглецем; це, зі свого боку, знизить швидкість плавлення і збільшить налипання сірки.

Є два способи нагрівання:

- *Рекуперативне нагрівання*: передбачає передачу залишкового («латентного») тепла димових газів у повітря для горіння. Димові гази збираються у верхній частині печі, змішуються з достатньою кількістю повітря і потім спалюються в блоці згоряння. Це викликає екзотермічне окислення CO. Вигорілі гази подаються через теплообмінник (рекуператор), куди тепло передається разом з повітрям для горіння. Зазвичай повітря дуття нагрівається при температурі від 500 до 600 °С. Вище цих температур виникають проблеми зі спіканням пічного пилу на поверхні рекуператора
- *Зовнішнє нагрівання*: Тут повітря для горіння нагрівається якимось зовнішнім способом, наприклад пальником на газі або іншому виді палива, електричним опором або плазмотроном.

Поєднання цих двох способів нагрівання дає змогу перегрівати повітря дуття до 1000 °С. Однак ці високі температури вимагають використання дорожчих вогнетривких матеріалів і можуть спричинити занадто високу температуру плавлення.

Рекуперативні системи забезпечують підвищену енерго- та теплоефективність. Вплив попереднього нагрівання повітря на теплову ефективність і використання коксу зображено на рис. 2.10. Слід зазначити, що на загальну ефективність дуття може вплинути якість коксу.

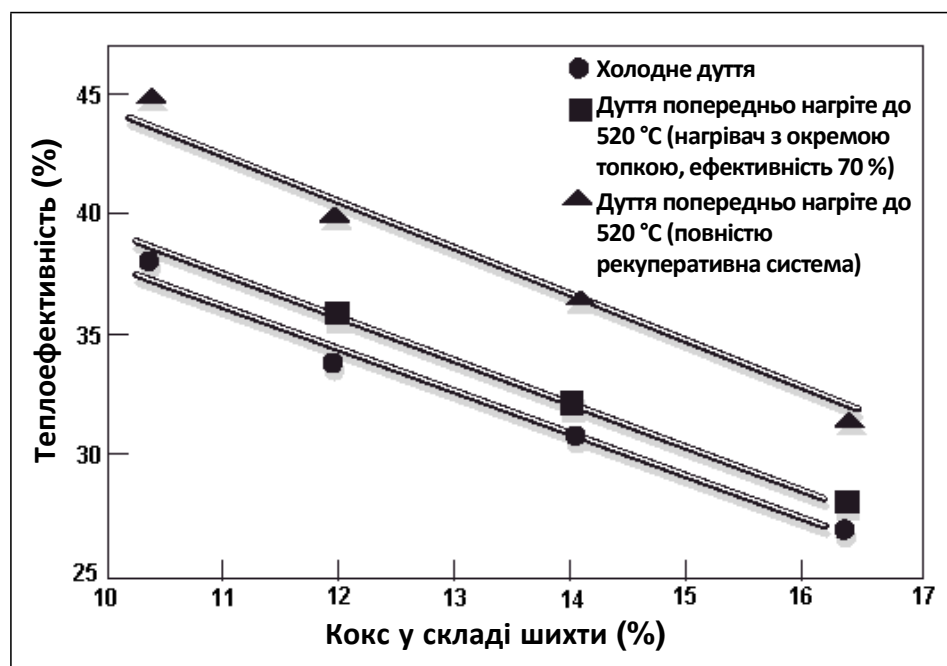


Рис. 2.10: Вплив попереднього нагрівання повітря на продуктивність доменної печі [44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993]

Для ливарних підприємств середнього розміру, які переробляють менше 2000 тонн/місяць виливків належної якості, буде важко розглядати варіант вагранок із гарячим дуттям через великі інвестиції, які для цього необхідні. У цих випадках для деяких видів виробництва перевагу надають вагранкам із холодним дуттям. Вагранки з гарячим дуттям залишаються найпопулярнішим плавильним пристроєм для ливарень із масовим виробництвом, наприклад для виготовлення деталей для автомобільної промисловості, відцентрових виливків, дорожнього приладдя.

Вагранки з гарячим дуттям зазвичай встановлюються для тривалого плавлення, щоб мінімізувати перемикання в рамках процесу, а також час та зусилля на обслуговування.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [156, Годіно, 2001]

2.4.1.2.2 Переваги:

- зменшене споживання коксу
- висока температура випуску плавлення
- висока плавильна потужність
- менше прилипання сірки у вагранці
- можливість використання різних видів дешевого скрапу чорних металів нижчого класу
- можна використовувати більше скрапу сталі через вище прилипання вуглецю до чавунних чушок.

2.4.1.2.3 Недоліки:

- дуже дорогі інвестиційні витрати через необхідні додаткові екологічні заходи
- режим виробництва не є гнучким
- складне управління виробництвом через повільність системи
- обмежується лише сплавами заліза, неможлива швидка зміна сплаву
- екологічне навантаження, спричинене ливарним виробництвом; тобто багато пилу, шлаку та вогнетривкої футеровки
- потрібні великі очищувальні установки через високу норму димових газів. [110, Віто, 2001]

2.4.1.3 Вагранка для тривалого плавлення

Вагранка для тривалого плавлення – це, як правило, охолоджувана водою піч, корпус якої футерований вогнетривкою цеглою, що може бути з гарячим або холодним дуттям. Такі вагранки експлуатуються щодня однією, двома або трьома змінами і дуже часто використовуються як єдине обладнання. Ця форма печі має тривалість плавлення – кілька тижнів чи місяців. Вагранка без футеровки допомагає значно збільшити строк експлуатації, але втрати тепла через оболонку печі можуть бути значними. Постійно розробляються варіанти вогнетривких матеріалів для футеровки й експлуатаційні практики, які покращують строк експлуатації та економічну ефективність вагранки для тривалого плавлення. Схематичне зображення вагранки для тривалого плавлення із збудованим блоком збільшення тяги представлено на рисунку 2.11.

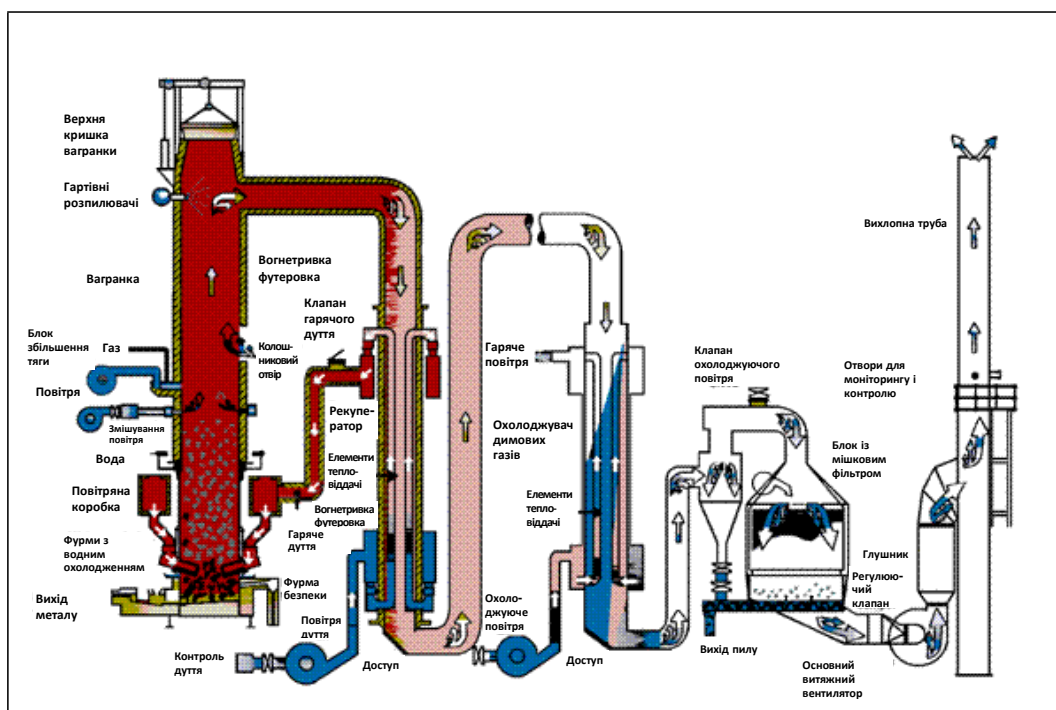


Рис. 2.11: Схематичне зображення вагранки для тривалого плавлення [150, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998]

Для забезпечення тривалого плавлення необхідно вжити наступних заходів:

- нанесіть стійкішу вогнетривку футеровку на корпус, дно та під
- використовуйте водяне охолодження стінок печі: це підтримує низьку температуру стінок і в такий спосіб запобігає швидкому зносу футеровки поду
- використовуйте труби, що проникають глибше в шахту печі, з водяним охолодженням. Тут зона горіння не знаходиться в прямому контакті з футеровкою печі. Окрім виключно зменшення споживання вогнетривких матеріалів, водяне охолодження також використовувалося з інших причин, таких як:
 - збільшення тривалості розплаву
 - збільшення внутрішнього діаметру печі для забезпечення вищої швидкості плавлення.

У режимі експлуатації без футеровки шихта безпосередньо контактує зі сталеву оболонкою печі з водяним охолодженням. Експлуатація без футеровки застосовується лише у вагранках відносно великої ємності, у тривалому режимі плавлення. Це приводить до таких переваг:

- потрібна лише одна вагранка
- вагранка потребує внутрішніх ремонтних робіт лише після експлуатації протягом одного або декількох тижнів
- зменшується щоденне споживання коксової колоші
- моніторинг простіший протягом усього процесу плавлення через постійний діаметр та послідовніші умови плавлення.

Особливим типом вагранки для тривалого плавлення є безкоксава вагранка. Про це йдеться в пункті 4.2.1.8.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [110, Віто, 2001], [150, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998]

2.4.1.4 Природа атмосферних викидів

У вагранки може подаватися широкий спектр матеріалів, багато з яких можуть містити сипучі частинки, такі як іржа, пісок та кольорові матеріали. Металургійний кокс може розбиватися й утворювати невеликі шматочки, як і додані флюсоуючі матеріали. Поломка та механічне стирання під час підготовки шихти, а також власне під час завантаження утворюють частинки, деякі з яких негайно виділяються.

Під час плавлення, стирання шихти відносно вогнетривкої футеровки також утворюватиме пил.

Третім джерелом твердих частинок є коксовий попіл, що утворюється в зоні плавлення та не потрапляє до фази шлаку.

До продуктів згоряння вагранок можуть потрапляти частинки, що походять із різних джерел, якщо вони досить легкі. За певних умов із зони плавлення може утворюватися металургійний дим, що приводить до видимого шлейфу із шахт вагранки. Частинки диму складаються із субмікронних агломератів сферичних частинок сажі та металевих оксидів, таких як ZnO, PbO та ін., якщо у сталевій або чавунній шихті присутні, наприклад, в оцинкованому чи пофарбованому скрапі. Викиди диму збільшуватимуться зі збільшенням частки коксу та забруднюючих речовин у шихті, температури дуття і швидкості введення кисню.

Вуглецевий дим – це речовина, що переноситься в повітрі та утворюється при неповному згорянні органічної речовини у вагранці. Забруднення скрапу, зокрема такими речовинами, як олія/олива та жир, деревина, текстиль та гума, утворюватиме жирові пари в газах. Пари та частково згорілі органічні речовини можуть мати неприємний запах.

Знову ж таки, чистота скрапу та його природа суттєво впливають на природу викидів. Спалювання коксу створює пахучі викиди газів, що містять CO₂, CO та SO₂. Зниження частки коксу в шихті (завдяки підвищенню теплосективності) або заміщення (часткове або повне) коксу природним газом може сприяти зниженню рівня цих речовин.

2.4.2 Електрична дугова піч (ЕАФ)

2.4.2.1 Опис

Електродугова піч або дугова піч (ЕАФ) – це промислова плавильна піч, що складається з великого кожуха, який зсередини футерований вогнетривким матеріалом, з чашоподібним дном. Широка форма печі дає змогу обробляти великий об'єм шихти і приводить до ефективних реакцій між шлаком і металом. Зазвичай діаметр кожуха становить від 2 до 4 м. Як показано на рис. 2.12, піч футерована вогнетривким матеріалом та у склепінні має отвори для трьох графітових електродів. Електроди підтримуються хоботами, які можуть рухатися вгору і вниз. Більшість печей використовують завантаження на даху: відсуваючи дах та електроди убік, піч можна зарядити за допомогою завантажувальної бадді з відкидним дном або магніту. Металева шихта плавиться теплом електричної дуги, при цьому піч використовує трифазний струм між трьома графітовими електродами. Вони розташовані вище шихти, яка сама собою виступає нейтральною.



Рис. 2.12: Електродугова піч (ЕАФ)
[237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Піч нахилиється в бік льотки, змушуючи метал витікати. Навпроти льотки вікно здійснює випуск шлаку та відбір проб до випуску плавлення.

Футеровка печі може бути кислою (вогнетривкі матеріали на основі SiO_2) або базовою (вогнетривкі матеріали на основі MgO). Базова футеровка дає змогу використовувати практично всі види сталевих скрапу. Піч може також використовуватися для виробництва високолегованих і марганцевих сталей. Якщо використовується скрап із високим вмістом фосфору або сірки, зазвичай додають вапно та вапняк для дефосфоризації та десульфурації. Ці сполуки руйнують кислу футеровку. Саме тому кислотний тип футеровки використовується лише для плавлення скрапу з низьким вмістом сірки або фосфору.

Електродугові печі майже виключно використовуються для плавки сталі, їх ще називають дуговими сталеплавильними печами. Лише в кількох випадках вони використовуються для виробництва чавуну, що вимагає додавання вугільного пилу до розплаву. Електродугові печі для ливарного виробництва зазвичай бувають потужністю від 2 до 50 тонн. Вони можуть працювати з перервами і підходять для широкого спектру визначення хімічного складу сталі. Вони можуть обробляти сталь при високих температурах, з типовими часом плавлення приблизно від однієї до двох годин, досягаючи високої теплової ефективності до 80 %¹. Споживання електроенергії коливається в межах від 500 до 800 кВт·год/т розплавленої сталі, залежно від потужності печі, споживання гарячого металу та методів рафінування, температури випуску плавлення, а також обладнання для контролю забруднення, що використовується. Загальний час плавлення зазвичай становить від 1 до 4 годин.

¹ Без урахування ефективності виробництва електроенергії.

2.4.2.2 Плавлення та продувка печей EAF з кислотою футеровкою

Через хімічну природу кислотної футеровки (SiO_2) здатність печей цього типу до рафінування обмежується зневуглицьовуванням. Отже під час вибору шихти слід дотримуватися значної обережності, щоб рівні сірки та фосфору були прийнятними, оскільки їх неможливо прибрати в процесі плавлення. Шихта складається зі збалансованої кількості чавунних чушок, ливарного брухту та придбаного скрапу. Вуглець у шихті утримується на досить високому рівні, так що після плавлення він на 0,2-0,4 % перевищує кінцевий рівень.

Зневуглицьовування починається із введення кисню в металеву ванну. Це створює сильне перемішування, під час якого вуглець у розплаві спалюється. У той же час «кипіння» випалює Si та вимиває H_2 та N_2 з металевої ванни. Всі домішки (оксиди) потрапляють у шлак. Під час плавлення для доведення шлаку до належної консистенції може бути доданий пісок (SiO_2). Коли вуглець досягає належної концентрації, впорскування кисню припиняється, а для зупинки реакції кипіння додають кремній та марганець.

Після видалення шлаку склад металу контролюється і, за необхідності, регулюється. Нарешті метал розкисляється шляхом додавання алюмінію або інших речовин у потік розплаву під час випуску плавлення для запобігання утворення бульбашок CO під час затвердіння. Додаткову десульфурізацію та/або очищення дефосфорізацією можна провести в конвертерних агрегатах AOD або VODC (див. пункти 2.4.9 та 2.4.10).

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [161, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

2.4.2.3 Плавлення та продувка печей EAF з базовою футеровкою

Лужна футеровка цієї EAF на основі MgO дає можливість очищення металу власне в печі. Тому можна завантажувати піч практично будь-якою комбінацією скрапу та ливарного брухту. Коли придбаний скрап містить більший рівень фосфору та/або сірки, ніж бажано, застосовується базова футеровка.

Дефосфорізація розплаву виконується періодичним додаванням вапна під час плавлення. При впорскуванні кисню у ванну утворюється фосфорний оксид та потрапляє у шлак разом з іншими оксидами металів і домішками. Вапно зберігає шлак на рівні томасшлаку, який стабілізує оксид фосфору. При цьому вуглець згорає. Після достатнього часу реакції впорскування кисню припиняється і шлак повністю видаляється.

Десульфурізація відбувається аналогічно на другій стадії, але при вищій температурі. Знову до розплаву додають вапно або вапняк, які вступають у реакцію із сіркою, утворюючи нерозчинний CaS, який потрапляє в шлак. Періодичне додавання вуглецю, алюмінію або FeSi зменшує оксиди металів (наприклад оксиди марганцю, хрому) і тим самим мінімізує втрати цих елементів у рамках металевої ванни. Інші домішки (оксиди) потрапляють у шлак і видаляються під час остаточної операції знежирення.

Після видалення шлаку склад металу контролюється і, за необхідності, регулюється. Нарешті метал розкисляється шляхом додавання алюмінію або інших речовин у потік розплаву під час випуску плавлення для запобігання утворення бульбашок CO під час затвердіння. Якщо цього вимагає остаточний склад сплаву, можна провести подальшу обробку металу в конвертерних агрегатах AOD або VODC (див. пункти 2.4.9 та 2.4.10).

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [161, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

2.4.2.4 Природа атмосферних викидів

Викиди від печей EAF походять від операцій завантаження, плавлення та рафінування, а також під час випуску плавлення печі.

Під час завантаження з відкритого корпусу печі будуть виділятися пил і бруд. Під час завантаження гарячої печі (наприклад при плавленні на дзеркалі (поверхні) розплавленого металу) будь-які горючі речовини, такі як жир, фарба чи олія/олива, запалюються та утворюють дими згорілого й частково випаленого органічного матеріалу із частинками пилу. Механічне стирання футеровки печі також створює додатковий пил.

Під час плавлення при нагріванні скрапу утворюються пари оксиду металу, які значно збільшуються під час зневуглицювання. Нагнітання газу кисню в розплавлений метал створює значні кількості викидів оксиду заліза, які залишають піч у вигляді червоних хмар. Додавання шлакоутворюючих матеріалів збільшує викиди печі, але лише в невеликих кількостях і лише на короткий час.

Незначні викиди трапляються під час транспортування розплавленого металу в ківш або піч для витримування.

Викиди від самої операції плавлення називаються первинними викидами. Вторинні викиди – це дим і пил, що утворюються від завантаження та випуску плавлення.

Розглядаючи характер та кількість викидів, різні джерела викидів пилу та диму, як це описано вище, показують, що існують великі відмінності між ливарними виробництвами, залежно від чистоти матеріалу, що завантажуються, процедури завантаження, що застосовується, складу шихти, рафінування та внесення добавок до розплаву. Оскільки в топці не спалюються вугілля чи паливо, викиди залежать виключно від цих параметрів.

2.4.3 Індукційна піч (IF)

Індукційні печі використовують для розплавлення як чорних, так і кольорових металів. Існує кілька типів індукційних печей, але всі працюють, використовуючи сильне магнітне поле, що створюється пропусканням електричного струму через індуктор, що являє собою один або кілька витків дроту навколо печі. Магнітне поле, зі свого боку, створює напругу, а потім електричний струм через метал, що підлягає плавленню. Електричний опір металу виробляє тепло, яке розплавляє метал. Індукційні печі виготовляються в широкому діапазоні розмірів. Оскільки між зарядом та енергоносієм немає контакту, індукційна піч підходить для плавки сталі, чавуну та кольорових металів, якщо можна знайти відповідний матеріал для футеровки.

Правильне функціонування систем охолодження із циркуляцією води має вирішальне значення для запобігання перегріву. Саме тому системи водяного охолодження розроблені так, щоб забезпечити найвищий рівень надійності, а отже включають різні термостати й витратоміри.

[42, Управління з охорони довкілля США, 1998], [47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992], [110, Vito, 2001]

2.4.3.1 Тигельна індукційна піч

2.4.3.1.1 Опис

Тигельна IF – це плавильна піч, що має індуктор, який є соленоїдом, виконаним з мідної водоохолоджуваної трубки, усередині якої є внутрішня вогнетривка футеровка. Зовнішня частина утеплена й укладена в сталеву оболонку. Корпус печі встановлений в рамі, оснащений механізмом нахилу. Тигельна індукційна піч, як правило, має вогнетривку футеровку та за формою нагадує кошик, верхню частину якого відкрито для операцій завантаження та видалення шлаку (див. рис. 2.13).

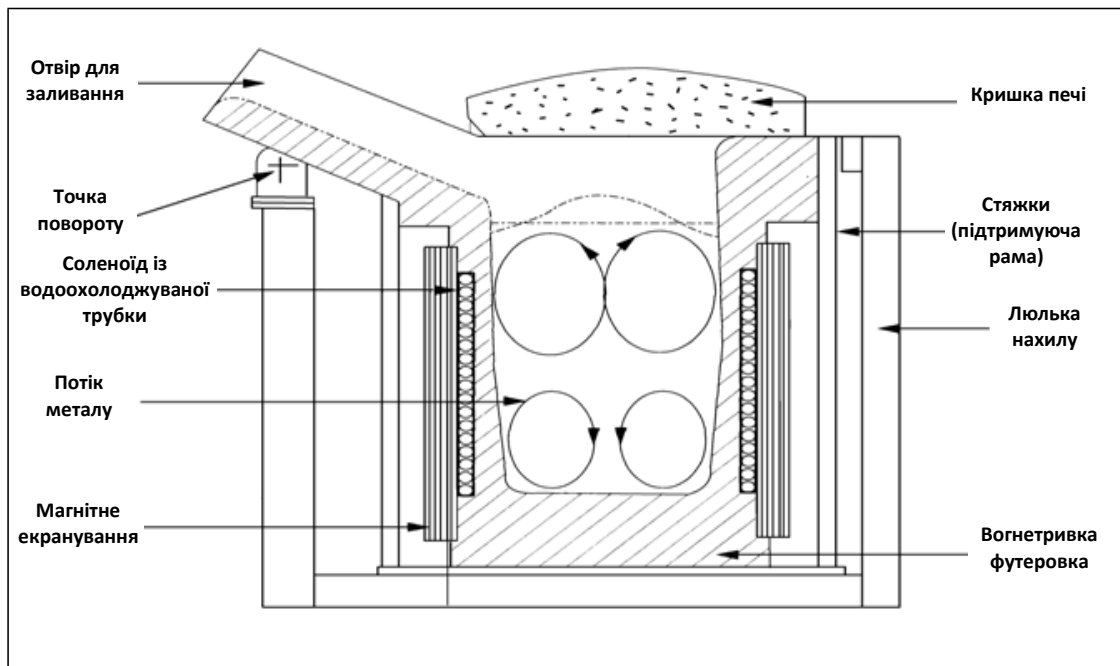


Рис. 2.13: Загальна схема тигельної індукційної печі [47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992]

Відповідно до потужності, піч заряджається піднімаючим магнітом, ковшем, люлькою, віброконвєсером або вручну. Значна кількість ливарних виробництв використовують індукційні печі для отримання порівняно невеликих партій з великою кількістю різноманітних композицій. Потужність печі становить від 10 кг до 30 тонн. Живлення йде від мережі змінного струму середнього або високої частоти (50, 250 або 1000 Гц відповідно).

Залежно від встановленої щільності енерговиділення і технології плавлення тепловий ККД може перевищувати 80 %², але зазвичай він становить від 60 до 70 %. Якщо врахувати ефективність виробництва електроенергії, загальний ККД складає 15 – 20 %, що є досить низьким показником порівняно з іншими типами печей.

Тигельна індукційна піч може бути спроектована для роботи на будь-якій частоті від 50 Гц і вище. Індукційне нагрівання рідкого металу приводить до ефекту перемішування. Чим менша частота первинного струму, тим інтенсивніше відбувається перемішування. Тому в тиглі печі, що працює на 50 або 60 Гц (промислова частота), турбулентність більша ніж в тій, що працює на вищій частоті. Через велику турбулентність живлення печі, що працює на промисловій частоті, обмежується приблизно 250 кВт на тону потужності. При вищих частотах щільність енерговиділення може бути збільшена в три-чотири рази від цього рівня.

На частоту роботи також впливає проникнення струму. Чим вище частота, тим менша глибина проникнення. Це впливає на мінімальний розмір елемента шихти та ефективний розмір печі. Печі 50 Гц не мають практичного застосування при потужності нижче 750 кг. При частоті 10 кГц можна нагрівати елементи діаметром менше 10 мм, тому можна використовувати печі розміром до 5 кг. Існування надійних перетворювачів частоти дозволило розробити конкретні прикладні блоки, як це представлено в таблиці 2.6. Частота зазвичай обмежена спектром 250 – 350 Гц (у випадку змінних частот), оскільки на вищих частотах гомогенізація металу стає недостатньою. Вищі частоти застосовуються в особливих випадках, наприклад у дуже малих печах. На рисунку 2.14 продемонстровано тигельні індукційні печі різних розмірів.

² Без урахування ефективності виробництва електроенергії.

Частота (Гц)	Застосування
70	Латунна стружка
100	Зачищення алюмінію
100 – 150	Чавунна стружка
250	Скрап алюмінієвих профілів
250	Залізо з ливарного брухту і сталевий скрап
500 та 1000	Плавлення сталі та плавлення забруднених чавунних профілів
1000 та 3000	Широкий спектр мідних сплавів
3000	Лиття за виплавлюваними моделями
10000	Торгівля ювелірними виробами

Таблиця 2.6: Галузь застосування наявних індукційних печей щодо їхньої частоти [174, Браун, 2000]



Рис. 2.14: Тигельні індукційні печі [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

Системи водяного охолодження є найважливішим компонентом для роботи тигельної індукційної печі. Охолодження соленоїда захищає соленоїд та ізоляцію від термічного пошкодження не тільки під час нормальної роботи, але й у період охолодження, коли живлення вимкнене та піч порожня. Існує кілька типів охолодження із застосуванням замкнутого циклу: з теплообмінниками або відкритими системами випаровування. Наявність системи охолодження дає можливість для внутрішнього відновлення енергії.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992], [110, Віто, 2001], [174, Браун, 2000], [176, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998], [202, ТРГ (TWG), 2002]

2.4.3.1.2 Технологія плавлення

Тигельна індукційна піч використовується для плавлення, але її не можна використовувати для рафінування. Тому в ливарних виробництвах сталі потрібно завантажувати індукційну піч сировиною «правильного» хімічного складу, тобто такою, що відповідає необхідному складу розплаву; отже зазвичай використовується сталевий скрап. Якщо є необхідність, метал можна рафінувати після плавлення в конверторному агрегаті AOD або у спеціальних ковшах для обробки (див. пункт 2.4.12).

Печі з високою потужністю дають змогу плавити за методом «випускай плавлення та завантажуй». В такому випадку піч повністю випускає плавлення, лишаючись порожньою, і завантажується холодним матеріалом для початку наступного циклу плавлення. Метод плавлення «на дзеркалі (поверхні) розплавленого металу» застосовується на печах з малою потужністю (частотою електромережі), де випускається приблизно до третини розплаву перед тим, як додається холодна шихта. Через кращий електромагнітний зв'язок між розплавленою рідиною та соленоїдом порівняно з менш щільною твердою (холодною) шихтою, при використанні останнього методу в печах з низькою потужністю швидкість виробництва значно збільшується.

Марки сталі, що містять більше 0,2 % елементів, що вступають у реакцію, таких як Al, Ti та Zr, не можуть бути розплавлені в окислювальному середовищі, такому як повітря. Вони вимагають інертної атмосфери або методу вакуумного плавлення та лиття. Цього можна досягти, помістивши індукційну піч у вакуумну або герметичну камеру. Застосування вакууму забезпечує дегазацію розплаву. Високоокислювані елементи додаються у вакуумі або після заповнення інертним газом.

Індукційні печі – це чудові плавильні установки, але в цілому вони менш ефективні для операцій витримування. В разі, якщо вони використовуються лише для плавлення, розплавлений метал, як тільки він досяг бажаної температури, зазвичай транспортується в піч витримування високої ефективності. Є багато типів тигельних індукційних печей із нерухомими або знімними тиглями. У випадку алюмінію, для плавлення та витримування використовуються як каналні, так і тигельні індукційні печі. Але каналні рідко застосовуються через труднощі в утриманні каналу відкритим і через необхідність постійно підтримувати дзеркало (поверхню) розплавленого металу.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994]

2.4.3.1.3 Переваги:

Завдяки безлічі переваг індукційна піч використовується все частіше. Основними її перевагами є:

- більша гнучкість щодо сплавів та режиму плавлення. Цей метод плавлення є ідеальним для ливарних виробництв, що працюють за договорами (малих/середніх) та для спеціальних сплавів
- короткі строки розплавлення активної зони
- менше навантаження на навколишнє середовище, викликане ливарним виробництвом
- незначна потреба у технічному обслуговуванні, залежно від строку експлуатації вогнетривкої футеровки
- постійний контроль процесу: можлива підтримка з комп'ютера та повністю автоматизована робота, що дає змогу оптимально контролювати температуру
- якщо параметри процесу локально розраховуються і встановлюються, можливий максимальний тепловий ККД
- інтенсивне перемішування у ванні робить розплав однорідним
- завантаження, відбір проб і видалення шлаку в рамках витримування рідкого металу, хоча, в більшості випадків, з низькою ефективністю, однак для міді та алюмінію зареєстровано високу ефективність витримування.

2.4.3.1.4 Недоліки:

- через монополію місцевих постачальників електроенергії оператор повністю залежить від умов підключення локальної електромережі, витрат на енергоресурси та будь-яких можливих додаткових витрат (екстремальне регулювання тощо)
- енерговитрати дорожчі, ніж витрати на використання викопного палива
- очищення розплаву в індукційній печі обмежене через малу кількість шлаку та відносно невелику площу контакту між шлаком і розплавом. Це вимагає використання шихти високої якості, а отже, дорожчої, ніж для вагранок або печей EAF
- установка вимагає великих інвестицій, хоча оператор може заощадити на додаткових екологічних інвестиціях. Чиста вартість на тонну для печі становить близько 375 000 євро
- інші методи плавлення є придатнішими для потужності > 15 тонн на годину. Залежно від запланованого сплаву, можна розглянути вагранку з гарячим дуттям або електричну дугову піч
- вона має низьку ефективність під час витримування через втрати тепла в соленоїді з водяним охолодженням.

[110, Віто, 2001]



Рис. 2.16: Індукційна канална піч [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Канальна індукційна піч насамперед застосовується як піч витримування у чавунних ливарнях. Приклад зображення наведено на рисунку 2.16. Це піч, яку слід обирати для дуплексної експлуатації з вагранками. Потужність варіюється від 5 до більше 100 тонн. Піч витримування слугує буфером між плавильним та ливарним цехами. Розглядаючи, чи варто використовувати піч витримування, важливо повною мірою оцінити вимоги до лиття та виробництва. Можуть бути економічно ефективніші та енергоефективніші методи досягнення вимог, отже перед прийняттям рішення доцільно ретельно дослідити всі можливі варіанти. Канальні печі рідко використовуються для алюмінію через труднощі в утриманні каналу відкритим і через необхідність постійно підтримувати дзеркало (поверхню) розплавленого металу.

Вимоги до виходу є важливим фактором при визначенні розміру каналної печі. Вибір меншої печі може бути вигідним. Незважаючи на те, що менша піч є менш ефективною, втрата ефективності буде компенсована зменшенням щорічного споживання електроенергії порівняно з більшими печами.

[48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994], [55, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [110, Віто, 2001],

2.4.3.2.2 Переваги:

- високий тепловий ККД як печі витримування
- мінімальне вигоряння елементів сплаву
- незначна потреба в технічному обслуговуванні.

2.4.3.2.3 Недоліки:

- у корпусі печі має підтримуватися мінімальна кількість розплавленого металу, але це є запорукою потужності печі, щоб гарантувати її належне функціонування
- піч не може запускатися з холодною температурою через обмежену щільність енерговиділення, яку можна досягти у внутрішній порожнині
- важко контролювати знос каналу
- потенційна небезпека випадкових протікань через індукційну одиницю на дні
- важко запобігти контакту між охолоджуючою водою та металом.

[110, Віто, 2001]

2.4.3.3 Природа викидів

Оскільки в індукційній печі не спалюється вугілля чи паливо і не виконуються процедури рафінування, викиди залежать виключно від чистоти і складу шихти. Можна виділити дві основні категорії викидів. Перша та основна категорія стосується чистоти шихти, наприклад іржі, бруду, ливарного піску, фарби, олії/оливи, оцинкованого чи спаяного металу, які є елементами, що спричиняють викид пилу та випарів (органічних або

металевих). Друга категорія стосується хімічних реакцій при високих температурах (наприклад під час витримування або регулювання металевого складу), які можуть спричинити металургійний дим через окислення.

Додатково вогнетривка футеровка (кислотна на основі SiO_2 , нейтральна на основі Al_2O_3 або основна на основі MgO) може додавати до викиду невелику кількість пилових частинок.

Отримати середні дані про викиди важко, оскільки чистота заряду, яка є домінуючим фактором викидів, варіюється від одного до іншого ливарного виробництва.

2.4.4 Тигельна піч (опору)

Тигельна піч опору – це піч із малими затратами енергії, в якій робоча камера має футеровку з шару вогнетривкового матеріалу та ізолювана від металевого кожуха теплоізоляційним шаром. Зазвичай такі печі використовуються для лиття під тиском кольорових металів (алюмінію) із централізованими плавильними установками. Типові печі мають потужність від 250 до 1000 кг при підключеному навантаженні від 5 кВт до 12 кВт. Блоки плавлення та завантаження відокремлюються від основної ванни жаростійкими стінками з роз'ємами на дні, щоб пропускати чистий метал з однієї зони в іншу. На рисунку 2.17 схематично подано принцип печі опору.

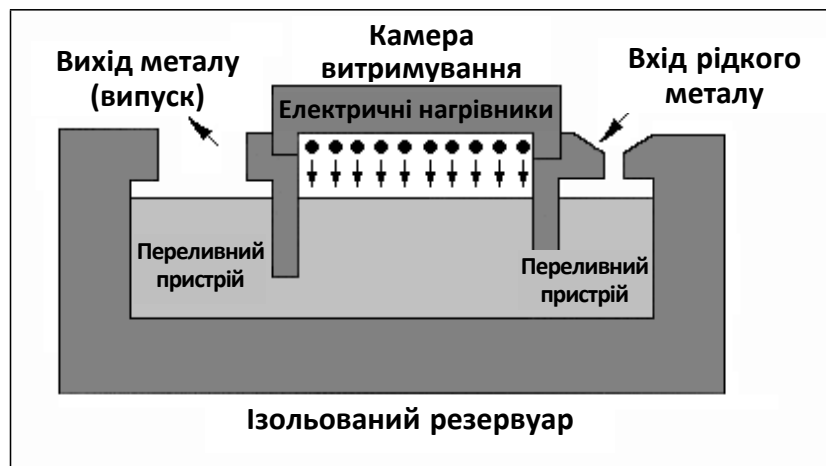


Рис. 2.17: Тигельна піч опору [48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994]

Переваги тигельних печей опору полягають в наступному:

- тигель як такий не потрібен
- дуже низькі витрати на енергоносії
- закритий контроль температури
- чисті, прохолодні, тихі умови праці.

Хоча більшість печей витримування з малими енергозатратами обслуговують окремі ливарні машини, деякі – більші – використовуються як буфери між плавильними для сипучих матеріалів та машинними печами. Останній варіант використання допомагає краще використовувати плавильний апарат, який рідко є ефективним з точки зору витримування.

Деякі ливарні виробництва використовують великі печі опору з більшою потужністю як плавильні апарати, наприклад для отримання розплавленого металу для лиття під низьким тиском. Кілька виробників будують варіанти печей опору, які можуть бути повністю герметичними і знаходитись під тиском газу, щоб функціонувати як печі для дозування. Печі для дозування забезпечують точну подачу металу для тиску чи гравітації, а також певною мірою конкурують із механічними ковшовими системами з точки зору автоматичного розливу. За умов ретельного догляду за ними та належного використання, печі опору можуть забезпечити цінний контроль як температури, так і ваги, і можуть підвищити випуск.

[48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994]

2.4.5 Ротаційна піч

2.4.5.1 Опис

Ротаційна піч (її ще називають обертовою або трубчастою) складається з горизонтальної циліндричної пустотілої конструкції з обертальним рухом навколо поздовжньої осі, в якій металевий заряд нагрівається пальником, розташованим з одного боку печі. Димові гази залишають піч через протилежний бік. Для вироблення необхідного тепла використовується паливо або природний газ у поєднанні з повітрям або чистим киснем.

Механізм нахилу дає змогу піднімати піч під певним кутом або у вертикальне положення. Таке положення використовується для завантаження печі за допомогою завантажувальної бадді з відкидним дном або вібраційного жолобу, а також для ремонту або відновлення футеровки. Під час нагрівання та плавлення піч повільно обертається, щоб забезпечити передачу та розподіл тепла. Атмосфера в печі контролюється співвідношенням повітря (кисень)/паливо.

Після того, як метал розплавиться, а також після перевірки та регулювання складу відкривається отвір перед піччю і розплав у печі скидається у ковші. Через меншу щільність шлак плаває у металевій ванні в печі та врешті збирається через отвір у шлакові ковші.

Цикл плавлення триває від 1,5 до декількох годин. Для безперервного виробництва розплавленого металу ливарні встановлюють 2-4 ротаційні печі, які експлуатуються послідовно. Тепловий ККД ротаційної печі дуже високий, тобто від 50 до 65 %³, залежно від потужності. Такий високий випуск досягається використанням чистого кисню замість повітря в ролі середовища для горіння.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

2.4.5.2 Технологія плавлення

Для плавлення чавуну піч завантажують чавунними чушками, ливарним брухтом, сталевим скрапом, шлакоутворюючими речовинами (наприклад піском, вапном) та елементами для зневуглецювання (наприклад графітом). Цикл плавлення починається зі слабоокислювального та короткого полум'я (коефіцієнт повітря $\lambda=1,03$), що дає найбільший вхідний показник енергії. Піч обертається поступово на 90° і напромак обертання час від часу змінюється. У такий спосіб стінки печі можуть обмінюватися теплом із зарядом конвекцією. Як тільки заряд плавиться, полум'я зменшується для запобігання надмірного окислення легувальних елементів. Під час перегріву й витримування подається довге і зменшене полум'я ($\lambda=0,9$) і рух печі змінюється на повне й безперервне обертання. Шлаковий шар забезпечує теплоізоляцію і запобігає вигорянню легувальних елементів. Після контролю й регулювання складу і температури розплаву отвір відкривається, а метал випускається в ковші. Шлак плаває у металевій ванні та збирається окремо після випуску металу.

Строк експлуатації вогнетривких матеріалів значною мірою залежить від температури перегріву та складу шихти. У процесі завантаження потрібно запобігати механічним ударам та холодним пускам. Атмосфера печі, час витримування, швидкість обертання та положення пальника також впливають на строк експлуатації вогнетривких матеріалів. У нормальних умовах строк експлуатації вогнетривких матеріалів становить від 100 до 300 циклів плавлення.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001]

2.4.5.3 Металургія

Ротаційна піч використовується у плавленні кольорових металів протягом багатьох років. У цьому застосуванні традиційні масляно-повітряні пальники можуть забезпечити відносно низькі температури плавлення. Розвиток киснево-повітряних пальників дав змогу запровадити виробництво чавуну, використовуючи вищу відносну кількість сталевго скрапу та застосовуючи графіт для зневуглецювання.

³ Тобто постачання енергії для виробництва кисню не враховується. При виробництві кисню ефективність буде на 10-15 % менше.

Вагомим недоліком ротаційної печі є те, що вона також спалює Fe, C, Si, Mn та S. Ці втрати потрібно компенсувати додаванням легувальних елементів до або після плавлення. Ефективність поглинання цих елементів звичайно досить низька. Градієнти концентрації можуть виникати між передньою і задньою частинами металеві ванни через відсутність руху навколо поздовжньої осі, а також через неоднорідності випромінювання й атмосфери над широкою поверхнею ванни.

[110, Віто, 2001]

2.4.5.4 Застосування

Завдяки своєму серійному характеру ротаційна піч забезпечує рівну гнучкість як тигельна індукційна піч у ливарному виробництві чавуну. Однак інвестиційні витрати тут нижчі. Піч на 5 тонн коштує 500 000 – 600 000 євро, з них 30 % ідуть на витяжну систему й обезпилення. Ротаційна піч також є гарною альтернативою для дрібномасштабних вагранок холодного дуття через її більшу гнучкість та менші екологічні витрати. Ротаційні печі використовуються для плавлення обсягів розплаву від 2 до 20 тонн, виробничі потужності від 1 до 6 тонн на годину.

[110, Віто, 2001]

2.4.5.5 Переваги:

- можлива швидка зміна сплаву
- плавлення без забруднення, наприклад без налипання сірки
- низькі інвестиційні витрати
- невелика система обезпилення через низьку норму димових газів
- піч проста в обслуговуванні.

2.4.5.6 Недоліки:

- легке вигорання C, Si, Mn
- якщо не працювати постійно, використання газу та кисню може бути високим
- споживання енергії збільшується, якщо в шихту додається більше сталі.

[110, Віто, 2001]

2.4.6 Подова піч

Подова піч також відома як ревербераційна або випалювальна піч. Це статична піч із прямим нагріванням. Гаряче повітря й газу дуття з нафтових або газових пальників видуваються над металом (розплавом) і виходять з печі. Подові печі знаходять своє основне застосування у плавці кольорових металів. На рисунку 2.18 наведено типову конструкцію печі.

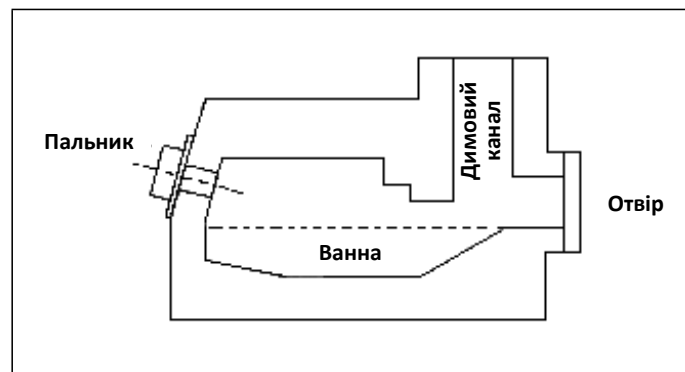


Рис. 2.18: Поперечний розріз подової печі [175, Браун, 1999]

Це піч із вогнетривкою футеровкою, прямокутною або круглою ванною, що підпалюється пальниками, розміщеними на стінах або на даху. Використовуються різноманітні види палива, а також додатково окисно-паливні пальники для збільшення швидкості плавлення. Зазвичай здійснюються витягування та обробка димових газів, і для цього печі частково закриваються. Витяжки і криті системи очищення забезпечують витяг під час випуску та завантаження. Піч може бути у ряді конфігурацій залежно від конкретного металу та застосування. Варіанти включають забезпечення похилого поду та бокових каналів для конкретних цілей плавлення, фурм і каналів для додавання газів. Іноді печі можна нахилити, щоб заливати або продувати метал.

Ефективність плавлення в подовій печі зазвичай невелика через погану передачу тепла від пальника. На практиці ефективність була покращена завдяки збагаченню киснем або використанню комбінацій газу і твердого палива для збільшення довжини полум'я. Ці печі використовуються для серійного плавлення, рафінування та витримування різноманітних металів. Подові печі використовуються зазвичай для розплавлення великої кількості кольорових металів [155, Європейське бюро ІЗКЗ, 2001].

Подові печі дають швидке плавлення і можуть обробляти об'ємну шихту, однак прямий контакт полум'я та шихти може призвести до великих втрат металу, надходження газу та значного забруднення оксидом. Контроль температури також може бути складним. Ці труднощі можна певною мірою подолати належною практикою. Наприклад краплину можна видалити, застосувавши відповідну практику флюсування, а застосування сучасних пальників зменшує проблеми з регулюванням температури. Після випуску, фільтрації та дегазації можуть бути застосовані подальші методи обробки, коли метал транспортується в печі витримування.

[42, Управління з охорони довкілля США, 1998], [48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994], [155, Європейське бюро ІЗКЗ, 2001], [175, Браун, 1999]

2.4.7 Шахтна піч

2.4.7.1 Опис

Це проста вертикальна піч зі збірним подом (усередині або зовні печі), пальниковою системою на нижньому кінці та системою завантаження вгорі. Пальники, як правило, газові. Метал подається у верхню частину печі та плавиться, коли він проходить вниз по шахті. Для кожного пальника зазвичай забезпечується незалежний контроль співвідношення паливо/повітря. Для кожного ряду пальників також забезпечується постійний моніторинг CO або водню і контролюються димові гази від кожного пальника по черзі. Гази згорання зазвичай витягуються та очищуються. Іноді для розкладання будь-якого оксиду вуглецю, олії, VOC або діоксинів, які утворюються, використовується післяспалювач. Для забезпечення згорання у верхніх рівнях шахтних чи доменних печей використовується додавання кисню над зоною плавлення.

Піч використовується для розплавлення чистого металу, але іноді може використовуватися метал, забруднений органічним матеріалом. Якщо в піч подається жирний метал, він проходить через температурний градієнт, що існує між зоною завантаження та пальниками. Низька температура з частково спаленого органічного матеріалу може утворювати туман. Шахтна піч також використовується для попереднього розігрівання матеріалу для завантаження перед плавленням. Типова піч цього виду зображена на рисунку 2.19.

Цей тип печі використовується тільки для плавки кольорових металів, здебільшого для алюмінію. Через складну конструкцію та складне відновлення вогнетривких матеріалів, печі застосовують лише для металів з низькими температурами плавлення. Тому вимоги до технічного обслуговування футеровки печі досить обмежені. Типовий строк експлуатації вогнетривких матеріалів становить 4-8 років.

Сучасні типові печі з комп'ютерними системами згорання досягають енерговикористання 650 кВт·год на тону розплавленого Al (при 720 °C). Необхідна норма енергії – 320 кВт/год. Тому тепловий ККД становить 50 %.

Шахтна піч – це безперервна плавильна піч із високою потужністю, що становить від 0,5 до 5 тонн на годину і потужністю витримування до 50 тонн. Через її функцію витримування зміна сплаву є складною.

[48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994], [155, Європейське бюро ІЗКЗ, 2001]

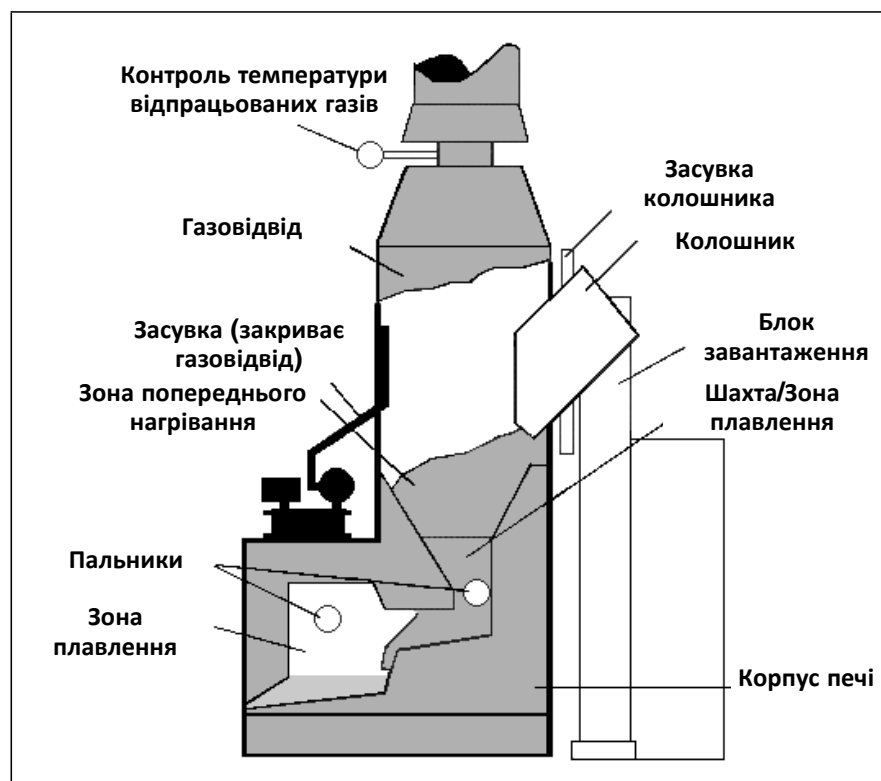


Рис. 2.19: Шахтна піч

[48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994]

2.4.7.2 Переваги:

- через тривалий процес попереднього нагрівання шихта дуже добре висушується до початку плавлення. Це робить піч добре придатною для Al через зменшення ризику поглинання водню
- відносно низькі інвестиційні та експлуатаційні витрати. Експлуатаційні витрати знижуються завдяки ефективному попередньому нагріванню, автоматичному керуванню і тривалому строку експлуатації
- технічними перевагами є: низький забір газу, відмінний контроль температури та низькі втрати металу.

2.4.7.3 Недоліки:

- відсутність гнучкості щодо можливої зміни сплаву.
- [110, Віто, 2001]

2.4.8 Тигельна піч

2.4.8.1 Опис

Це прості тиглі, які нагріваються зовні газами згоряння від спалювання газу або нафти, електрикою або, за нижчих температур, тепловою рідиною. Слід уникати контакту із прямим полум'ям, щоб запобігти виникненню гарячих зон біля основи тигля, і щоб у розплаві можна було підтримувати хороший контроль температури, аби запобігти окисленню та випаровуванню металу.

Цей тип печі використовується тільки для плавлення кольорових металів. Завдяки непрямому нагріванню (крізь стінку тигля) не може відбуватися вигорання або відведення газу. Ці печі використовують для виробництва невеликої кількості розплавленого металу (менше 500 кг на партію) та для низьких виробничих потужностей. Приклади печей продемонстровані на рисунку 2.20.



Рис. 2.20: Термічні печі (відпалу)
[237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

Тигель нахиляють вручну, краном або автоматично виливають розплавлений метал у форму. Для матеріалів на основі міді використовуються тільки графітові або карборундні тиглі (карбід кремнію), тоді як алюміній також можна плавити в тиглях із чавуну.

Тиглі, що використовуються для тримання, транспортування та обробки металу в чорних ливарнях, називаються ковшами. [110, Віто, 2001], [126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000], [225, ТРГ (TWG), 2003]

2.4.8.2 Технологія плавлення

Холодний вантаж приносять у тигель, і нагрівання починається на повну потужність, щоб розплавити завантаження. При температурі, що нижче температури плавлення на 50 – 100 °С, живлення відключається, а завантаження нагрівається далі тепловою інерцією тигля. Після цього температуру вирівнюють за допомогою системи контролю. Після видалення шлаку можна проводити обробку металу. Це включає видалення кисню, дегазацію, рафінування зерна та коригування легких металів, таких як цинк та магній. Потім шлак ще раз видаляють перед тим, як відбудеться лиття.

Крім регулярних робіт з оновлення тигля, піч не потребує технічного обслуговування. Час відновлення залежить насамперед від сплаву, який слід розплавити. Багаторазові зміни сплаву призводять до швидшого зносу тигля. SiC-тиглі, що використовуються для низькоплавких сплавів, мають строк експлуатації від 130 до 150 завантажень шихти. Для високоплавких сплавів строк корисного використання становить від 50 до 80 завантажень.

Тепловий ККД становить 750 – 3000 кВт·год на тонну алюмінію, тобто ефективність печі 15 – 30 %. [34, Біннінгер, 1994], [110, Віто, 2001], [126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000]

2.4.8.3 Переваги:

- проста технологія
- низька потреба в обслуговуванні
- гнучкість щодо зміни сплаву.

2.4.8.4 Недоліки:

- низька ефективність та виробнича потужність. [110, Віто, 2001]

2.4.9 Конвертерний агрегат газокисневого рафінування (AOD) для переробки сталі

Конвертерний агрегат AOD – це спеціальна посудина для рафінування сталі. Розплавлений метал передається безпосередньо із плавильної печі (як правило, електродугової або індукційної) в конвертерний агрегат. Як показано на рисунку 2.21, кисень (для видалення вуглецю, кремнію) та аргоновий газ (для перемішування) можна вводити в конвертерний агрегат за допомогою фурм, розташованих у нижній його частині, для рафінування металу. Конвертерний агрегат оснащений механізмом нахилу для того, щоб забезпечити заповнення та спорожнення. За допомогою AOD можна виготовити сталь за точною хімічною формулою, але вартість буде високою. Ця система широко не застосовується на ливарних заводах за межами США.

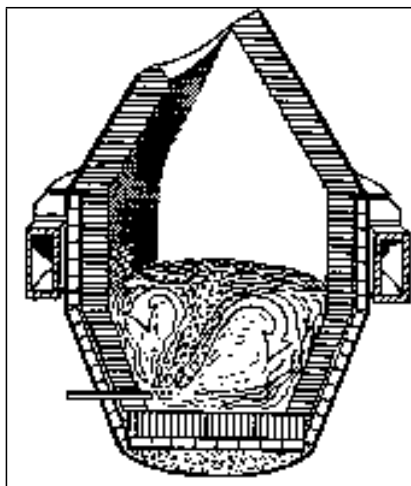


Рис. 2.21: Конвертерний агрегат газокисневого рафінування (AOD) [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

Перша фаза процесу рафінування складається зі знебарвлення, через впорскування кисню в конвертерний агрегат. Це операція рафінування, яка, за потреби, утримує вміст вуглецю в шихті у певному діапазоні. Зневуглецьовування розпочинається шляхом введення кисню в металеву ванну. Це сприяє сильному перемішуванню, під час якої вуглець у розплаві спалюється. У той же час «кипіння» спалює кремній та виводить водень і азот з металеві ванни. Всі домішки (оксиди) потрапляють у шлак. Під час плавлення можна додавати вапно для доведення шлаку до належної основи. Коли вуглець досягне необхідної концентрації, впорскування кисню припиняється, а кремній та марганець додаються для зупинки реакції кипіння, особливо у виробництві неіржавних сталей. Розрідження кисню аргоном чи азотом сприяє окисленню вуглецю на перевагу металевим елементам, таким як залізо, хром тощо, що приводить до дуже хорошого випуску (виходу) металів. Отже до металу додають Al або Si та вапняк і вводять аргон для видалення сірки. Постійне вдування газу викликає бурхливе перемішування і легке змішування шлаку та металу, що може знизити рівень сірки до значень нижче 0,005 %. Залишковий вміст газу в обробленому металі (водень і азот) дуже низький. Всі домішки потрапляють у шлак і видаляються разом з ним. Після регулювання температури та сплаву метал переноситься в ковші для заливання.

[174, Браун, 2000], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

2.4.10 Конвертерний агрегат вакуумно-кисневого рафінування (VODC) для переробки сталі

VODC (конвертерний агрегат вакуумно-кисневого рафінування) працює так, що розплавлена сталь міститься в конвертерному агрегаті, який приєднаний до вакуумних насосів, випарників пари та джерела аргонового газу. У вакуумній обробці неіржавної сталі проводяться два різних процеси для отримання вищого рівня якості.

По-перше, сталь знежирюється шляхом введення кисню в розплав. Одночасно з основи конвертерного агрегату вводиться трохи аргону. Конвертерний агрегат використовує вакуумні насоси для зниження парціального тиску оксиду вуглецю до такого рівня, що ефективно зневуглецьовування може бути здійснене без надмірного окислення хрому. Цей перший процес схожий на зневуглецьовування в AOD, але тут потрібно менше аргону завдяки меншому загальному тиску газу, та й процес набагато ефективніший. Окислений хром відновлюється назад до рідкої сталі з алюмінієм.

Другий процес включає дегазацію. Конвертерний агрегат за допомогою водяного кільцевого насоса та парових ежекторів вводиться під глибокий вакуум (1 – 5 мбар). Легка аргонна продувка продовжується, щоб підтримувати ефективний рух сталі. При дуже низькому тиску ефективно виводяться газоподібні домішки, такі як водень та азот. При цьому загальний вміст кисню та вміст сірки різко знижуються, що сприятливо впливає на механічні властивості сталі.

Низьколеговані сталі зазвичай дегазуються.

Процес VODC забезпечує специфічні якості сталі, які неможливо отримати іншими методами. Загальний вміст кисню також нижчий ніж це характерно для сталі, що виплавлялася в електродуговій печі, та сталі, обробленої AOD, оскільки високий рівень оксидних включень видаляється з розплаву під час процесу обробки у VODC, а більша частина розчиненого кисню потім видаляється під час фази дегазації.

[202, TRG (TWG), 2002]

2.4.11 Металообробка сталі

Для того, щоб гарантувати гарну якість лиття, чавун потребує подальшої обробки для усунення домішок та можливих причин дефектів, а саме:

- *Розкиснювання:* Кисень розчиняється у рідкій сталі, у формі FeO. Під час затвердіння кисень може потім комбінуватися з С у сталі з утворенням CO. Цей процес може змінювати склад сталі та створювати пористість. Тому розкиснювання завжди необхідне. Розкиснювання проводиться з елементом, який насамперед зв'яже кисень. Кремній, силіцид кальцію, титан, цирконій та алюміній – можливі розкиснювачі, при цьому алюміній є найпотужнішим та найуживанішим. Алюміній додають у вигляді паличок або дроту (див. рис. 2.22). Обробку зазвичай проводять у печі та в ковші. Отриманий оксид алюмінію нерозчинний у розплаві та змішується зі шлаком.



Рис. 2.22: Розкиснювання з використанням алюмінієвих дротів
[237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

- *Утворення сульфідів:* Зі збільшенням міцності сталі на розрив збільшується шкідливий вплив сірки. Сірка розчинна у рідкій сталі, але при затвердінні вона осідає як MnS. Осади можуть приймати різні форми і мати різний вплив. Форма сульфідів пов'язана із вмістом залишку алюмінію після розкиснювання. Залишкова кількість Al повинна дозволяти утворювати сульфіди III типу.

[110, Віто, 2001], [174, Браун, 2000]

2.4.12 Обробка чавуну

2.4.12.1 Легування

Під час плавлення деякі елементи в розплаві окислюються і переходять до шлаку. В кінці періоду плавлення необхідно здійснити корекцію складу, щоб гарантувати відповідну кінцеву якість. Для нелегованого чавуну слід звернути увагу на: C, Si, Mn, S і P. Якщо потрібні особливі властивості, можна додавати специфічні легувальні елементи, починаючи з алюмінію до цирконію, в концентрації менше 1 % до більше 30 %. Як правило, вони додаються у вигляді блоків із чорних сплавів чи зерен. Доповнення вносяться до рідкого чавуну, оскільки це знижує ризик втрат через окислення.

Додавання виконується в печі, в потоці розплавленого металу під час заливання, або шляхом додавання добавок у ківш для транспортування перед тим, як залити в нього розплавлений метал.

[110, Віто, 2001]

2.4.12.2 Гомогенізація

Додавання легувальних елементів також може вносити до чавуну домішки, такі як оксиди, сульфідів або карбіди. Щоб зменшити негативний вплив цих сполук, метал перегрівають при температурі від 1480 °C до 1500 °C. Проте перегрів може впливати на осідання графіту під час затвердіння. Гомогенізація має такі позитивні наслідки:

- відновлення оксидів (FeO, SiO₂, MnO) з C, утворюючи бульбашки CO. Проходячи через розплав, ці бульбашки видаляють H₂ та N₂ з розплаву
- при високій температурі та при інтенсивних рухах ванни домішки швидше згортаються та піднімаються на поверхню розплаву, де їх потім вбирають шлаки.

[110, Віто, 2001]

2.4.12.3 Десульфуратація та повторне науглецювання чавуну, розплавленого у вагранці

Завдяки легкому контакту рідкого металу з коксом, чавун, розплавлений у вагранці, демонструє відносно високий вміст сірки. Налипання сірки у вагранці призводить до зниження в'язкості рідкого металу, що в деяких випадках є перевагою, наприклад для тонкостінних сірих чавунних виливків.

Однак якщо чавун потрібно обробити з Mg (як описано в наступному пункті) для отримання якості сфероїдизування чавуну, то сірку слід нейтралізувати, щоб запобігти надмірному споживанню Mg. Це виконується за допомогою одного з ряду методів. Під час використання методу пористої пробки для агітації металу використовують азотний або аргонний газ, а до металу додають порошок CaC₂. При контакті з рідким металом утворюється CaS і видаляється у вигляді шлаку. Потім оброблений метал перетікає до ковша витримування, з якого його випускають для подальшої обробки.

2.4.12.4 Сфероїдизування розплавленого металу

Сфероїдизований чавун отримують шляхом додавання до розплавленого металу Mg, чистого, або у вигляді сплавів FeSiMg або NiMg. До цього може знадобитися обробка шляхом десульфурації для гарантування успішного сфероїдизування. Присутність Mg у розплаві приводить до затвердіння графіту у формі мікроскопічних сфер. Це надає вищі механічні властивості, такі як міцність і пластичність.

Існує кілька методів, які можна застосувати для введення Mg у рідкий метал:

- *Технологія розливу*: Це найпростіший метод, за допомогою якого рідкий метал заливається сплавом Mg в нижній частині ковша
- *Метод сандвіча*: Тут сплав Mg розміщується на дні спеціально розробленого ковша та покривається сталевими листами або FeSi, як показано на рисунку 2.23. Метал виливають у ківш і після розплавлення кришки відбувається реакція Mg
- *Кришка проміжного ковша*: Це вдосконалений метод сандвіча, завдяки якій ківш накривається кришкою після того, як сплав Mg буде розміщений на дні ковша. Метал заливається увігнутою кришкою і протікає через отвір у ковші, де відбувається реакція
- *Метод занурення*: За допомогою плунжерного конуса сплав Mg занурюється у рідкий метал до тих пір, поки реакція не закінчиться. Під час обробки кришка ковша закривається, щоб запобігти викиду диму MgO
- *Конвертерний агрегат «G Fischer»*: Цей процес використовує спеціальний ківш, який щільно закривається кришкою після того, як метал заливається до агрегату в горизонтальному положенні. Потім агрегат переводять у вертикальне положення, що дає змогу сплаву Mg реагувати з металом. Після завершення реакції агрегат повертається назад у горизонтальне положення і після відкриття кришки проводиться випуск металу
- *Введення стрижневого дроту*: Тут дуже дрібний порошкоподібний сплав Mg прокатується в сталевому листі, утворюючи наповнений дріт. Потім за допомогою керованого механізму цей дріт вводиться до ковша, де виділяється Mg
- *Потік через процес обробки*: Тут метал заливається у спеціально розроблену реакційну камеру, в яку раніше був поміщений сплав Mg
- *Дуктилятор*: У цьому способі метал заливається в реакційну камеру, де потік утворює вихор. Сплав Mg вводять у вихор за допомогою інертного газу-носія. Можна проводити обробку великих кількостей металу або обробляти під час заповнення форми
- *Процес обробки у формах*: У цьому процесі сплав Mg, що має форму планшета, вводиться безпосередньо в порожнину форми (решітчаста система). Реакція відбувається під час заповнення форми, забезпечуючи високий вихід металу.



Рис. 2.23: Метод сандвіча для сфероїдизування
[237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

Після обробки метал потрібно вилити у форму протягом визначеного часу, оскільки ефект Mg, як правило, швидко згасає і, якщо буде перевищено певний часовий проміжок (10-15 хв), потрібна буде нова обробка.

2.4.12.5 Модифікація розплавленого металу лігатурним прутком

Наявність графіту грубої форми в металевій матриці призводить до поганих механічних властивостей матеріалу. Для отримання тонкої кристалічної структури, необхідної для металургії, перед розливанням необхідно провести модифікацію розплавленого металу лігатурним прутком (графітизуюче модифікування). Цей процес вносить зерна для росту кристалів у розплав металу. Зазвичай для цієї мети використовують сплави FeSi. До складу модифікуючої речовини (інокулянта) часто включаються Ca, Al та рідкоземельні матеріали.

Знову ж таки, можна застосувати кілька прийомів для модифікації розплавленого металу лігатурним прутком:

- *Впорскування під час випуску*: тут інокулянт вводять безпосередньо в потік металу під час випуску плавлення
- *Впорскування під час заливання*: тут інокулянт вводять безпосередньо в потік металу під час заливання у форми (див. рис. 2.24)
- *Впорскування заповненого дроту в розплав* (див. пункт 2.4.12.4)
- *Процес безпосередньо у формі* (див. пункт 2.4.12.4).



Рис. 2.24: Графітизуюче модифікування під час заливання [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

2.4.13 Обробка кольорових металів

Існує три основні види обробки металу (або рафінування), що проводяться в процесі плавлення **алюмінію**. Це:

- *Дегазація*: Розплавлений алюміній розчиняє водень, який потім випаровується після охолодження і в такий спосіб може призвести до пористості в готовому виливку. Тому водень потрібно видалити. Це робиться шляхом продування інертного газу через розплав. Якісні методи дегазації забезпечують бульбашки, що довго перебувають у розплаві та мають значну площу поверхні. Дегазація алюмінію проводиться насамперед за допомогою крильчатки. У цій обробці використовується швидкодіючий змішувач, а в розплав вводиться азот. Дегазація часто поєднується з очищенням розплаву. Очищення проводиться для видалення лужних або лужноземельних металів, таких як Ca. Очищення може здійснюватися газом Cl_2 . Використання HCE з цією метою було заборонено у країнах ЄС (*Директива 97/16/ЕС*). Зазвичай для одночасної дегазації та очищення використовують суміш азоту з 3 % Cl_2 . Альтернативні методи дегазації використовують паливні таблетки, сферичний порошок із пористою структурою, або пористий камінь у печі витримування.
- *Модифікація та рафінування зерна*: Для алюмінієвих сплавів це зазвичай передбачає додавання до розплаву невеликої кількості металу. Ці добавки контролюють розмір зерна і змінюють мікроструктуру металу, що твердішає, і в такий спосіб підвищують механічні властивості виливку. Для модифікації використовуються натрій або стронцій, а рафінування зерна досягається додаванням титану, бориду титану, цирконом або вуглецем. Ця обробка зазвичай проводиться в поєднанні з дегазацією на спеціалізованій станції обробки металу
- *Флюсування*: Зазвичай це включає додавання до розплаву твердих флюсів на основі флуоридів для видалення твердих забруднень.

[164, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002], [175, Браун, 1999], [178, Венк, 1995]

Існує чотири основні операції з обробки металу (або рафінування), які проводяться в процесі плавлення **магнію**. Це:

- *Модифікація зерна*: Речовини для модифікації зерна для процесів роботи зі сплавами магнію зазвичай виступають у формі цирконію або раніше гексахлоретану. Використання НСЕ з цією метою було заборонено у країнах ЄС (*Директива 97/16/ЕС*)
- *Флюсування*: Зазвичай це стосується додавання в розплав запатентованих флюсів лугу, лужноземельних металів, хлориду та фториду для видалення твердих забруднень
- *Дегазація*: Для процесів роботи з магнієм, для дегазації та видалення оксиду можуть застосовувати азот або розрідження газом аргону. Дегазація магнієвих сплавів може також здійснюватися сумішшю аргонних та хлорних газів, коли аргон використовується як газ-носії.
- *Контроль окислення*: Наявність берилію всередині розплавленого зерна модифікує його і припиняє окислення. Готові сплави магнію можуть містити до 15 ppm берилію по масі. До розплавленого магнієвого сплаву можуть додавати основний сплав алюміній/берилій, що містить до 5 номінальних відсотків берилію, щоб забезпечити завантаження сплаву берилієм. Контроль окислення також може бути досягнутий за допомогою покриття поверхні металу газом-носієм, таким як вуглекислий газ або аргон, що містить до 4 % гексафториду сірки. На сьогодні єдиною альтернативою SF₆, що не містить флюсу, є SO₂. SO₂ значно дешевший, ніж SF₆, але головним його недоліком є його токсичність, і, як результат, операції необхідно краще огорожувати й ізолювати. Зараз лише 1/3 ливарних заводів у Європі використовують SO₂. Іноді контроль окислення може бути досягнутий шляхом посипання сірчаного порошку на поверхню розплаву. Це питання обговорюється в пункті 4.2.7.1.

Існує три основні види обробки (або рафінування) металу, що проводяться в процесі плавлення **міді**. Розплавлена мідь розчиняє кисень і водень, які можуть рекомбінуватись, утворюючи водяну пару. Це в свою чергу створить пористість у виливку. Тому для видалення водню та кисню застосовують дегазацію та розкислювання. Можна використовувати наступні операції з обробки металу:

- *Розкиснювання*: Розкиснювання виконується шляхом додавання реагенту, який зв'язує кисень і утворює рідкий шлак. Необхідно бути обережним, щоб продукти розкиснювання не потрапляли в тверді виливки та щоб залишковий розкиснювач не вплинув негативно на властивості сплаву. Найчастіше для розкиснювання використовується фосфор. Альтернативами є магній, марганець, кальцій, кремній та бор
- *Дегазація*: Водень видаляється з розплаву, пропускаючи через нього інертний газ. Можна використовувати як аргон, так і азот. Методика є схожою на дегазацію алюмінію
- *Флюсування*: Алюміній у сплавах може окислюватися й утворювати оксидну плівку. Це може призвести до проблем при литті. В алюмінієвих сплавах сліди алюмінію можуть спричинити появу дефектів. Тому їх потрібно видалити, використовуючи флюсуючі засоби. Флюси також використовуються для покриття поверхні з метою запобігання окислення, втрати цинку та виділення водню під час плавлення. Для кожного виду обробки існують специфічні флюсуючі речовини.

[165, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002], [182, Клоссет, 2002]

2.5 Виготовлення форми та стрижня

Формування складається з виготовлення форми, в яку буде заливатися розплавлений метал. Деякі форми можуть мати особливі властивості для отримання високоякісних виливків, які наприклад:

- відтворюють точно і з високою розмірною точністю форму моделі для лиття
- дають гладку плівку на виливку, щоб уникнути надмірного забивання
- дозволяють уникнути будь-яких дефектів лиття, зокрема таких як тріщини, зайве різьблення, щілини тощо.

Так само, як форма визначає зовнішню форму виливку, ливарний стрижень визначає внутрішню, або, принаймні, деталі, які безпосередньо не досягаються формуванням.

Форми можна класифікувати на два великі види:

- **разові форми** (форми для одноразового використання): спеціально виготовлені для кожного виливку, які знищуються після лиття. Ці форми, як правило, виготовлені з піску, хімічно зв'язані, сформовані з глини або навіть без зв'язування. Лиття за виплавлюваними моделями також можна включити до цього виду
- **кокілі** (багаторазові форми): застосовуються для гравітаційного лиття та лиття під низьким тиском, просто лиття під тиском та відцентрового лиття. Зазвичай ці форми металеві.

Стрижні, що використовуються для чавунних виливків, практично завжди виготовляються з піску. Вибір технології зв'язування залежить від таких факторів, як розмір виливка, швидкість виробництва, залитий метал, характеристики вибивання тощо.

Для піщаного формування, форма може бути виготовлена ручними або механічними трамбуєчими діями, такими як поштовх, стискання, удари повітря, вібрація тощо. Коли форма має достатню міцність, її достають із моделі, яку потім можна використовувати для виготовлення нової форми.

Як правило, стрижні виготовляються із застосуванням тих самих методів, що й форми, але стрижні невеликого або середнього розміру часто вдують у дерев'яні, пластикові або металеві стрижневі ящики.

Для лиття кольорових металів близько 30 % усіх мідних сплавів виливають у піщані форми. Лише близько 10 % легких кольорових металів відливають у одноразових формах.

Виробництво моделей і штампів зазвичай здійснюється спеціалізованими зовнішніми постачальниками. Ця діяльність проводиться в галузі обробки металу та пластмас. [2, Хоффмайтер та ін., 1997], [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001]

2.5.1 Сировина

2.5.1.1 Вогнетривкі матеріали

Незалежно від виду зв'язування, що застосовується, фізичні та хімічні властивості вогнетривкого матеріалу, який використовується для виготовлення форм або стрижнів, впливає на їх характеристики та поведінку під час заливання. Це не дивно, оскільки ці матеріали становлять від 95 до 99 % усіх продуктів, що використовуються.

Закупівельна ціна кожного типу піску має чотири основні компоненти – видобуток, підготовка, упаковка і транспортування. Транспортні витрати будуть різними для різних регіонів. Основним фактором у ціні є тип піску. Середня закупівельна ціна для різних типів варіюється досить широко. Згідно з опитуванням, проведеним у Великобританії у 1995 році, ціна тоннажу хромітового та цирконового піску була відповідно в 9 та 14 разів вищою, ніж у кремнеземного піску. В Португалії ціна піску змінюється залежно від придбаної кількості, але пісок в Португалії, як правило, дешевший, ніж в Іспанії, Франції чи Італії. Ціни в Португалії (2003 рік) коливаються від 20 до 25 євро за тонну сухого піску AFS 55 плюс транспортування. Ціни в Чеській Республіці (2003 рік) на кремнеземний пісок коливаються між 10 і 20 євро, при цьому ціна залежить від обсягу, упаковки та обробки піску. Ціна на хромітовий пісок становить 250 – 300 євро/т, а на цирконовий пісок – 250 – 400 євро/т.

[72, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995], [225, ТРГ (TWG), 2003]

У наступних пунктах описані різні типи вогнетривких пісків, що використовуються для ливарних цілей.

2.5.1.1 Кремнеземний пісок

Цей тип піску використовується найчастіше здебільшого через його широку доступність та відносно низьку вартість. Кремнеземний пісок складається з мінералу «кварц» (SiO_2), який є більш-менш чистим, залежно від його походження. Питома вага його сухого шматка коливається від 2,5 до 2,8 кг/дм³. Суха насипна щільність (або сипуча об'ємна маса) кремнеземного піску становить від 1,4 до 1,6 кг/дм³.

Теплове розширення кремнеземного піску створює рух форми після заливання та охолодження. А тому використовуються специфічні добавки, особливо під час виготовлення стрижнів, щоб запобігти помилкам при литті. Це можуть бути деревний пух, оксид заліза або затверділий ливарний пісок. Пісок, що містить польовий шпат, має нижче теплове розширення, ніж чистий кварцовий пісок, і нижчу температуру спікання, але він широко використовується для мінімізації дефектів у контексті розширення виливків.

Кремнеземний пісок нейтральний і сумісний з усіма зв'язуючими та звичайними сплавами. Фракція кварцу у вигляді твердих частинок розміром менше 2,5 мікрона, що негативно впливають на дихальні шляхи (RPM), класифікується Міжнародним агентством з дослідження раку (IARC) як канцерогенна [233, IARC, 1997]. Це питання охорони здоров'я та безпеки. Тривають дослідження, щоб визначити, чи існує також нюанс щодо забруднення повітря. Кількість кварцу в пилу визначається вмістом кварцу у вихідних матеріалах.

У технології формування із сирової суміші (так званого «зеленого» піску) дуже важливий контроль розподілу зерна за величиною. Рис. 2.25 показує типовий розподіл розміру зерна для кремнеземного піску. Розподіл розміру зерна використовується для обчислення числа AFS (AFS = Асоціація американських ливарників). Це показує загальну дрібність піску. Чим вище число AFS, тим дрібніше пісок. Альтернативна система класифікації – середня кількість зерна або МК.

Дрібніший сорт піску матиме більше зерна на грам, а отже, і більшу площу поверхні. Це вимагає додаткового зв'язування для однорідної міцності форми. Тому оператори намагаються використовувати найгрубіший пісок, але такий, який все ще надає належну обробку поверхні. Стандартні показники AFS – 50 – 60. Для дуже гладких поверхонь потрібен дрібний пісок, як правило, з AFS 90 – 110. Дрібнозернисті піски в деяких випадках також використовуються для заміни покриттів із форми. [110, Віто, 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003]

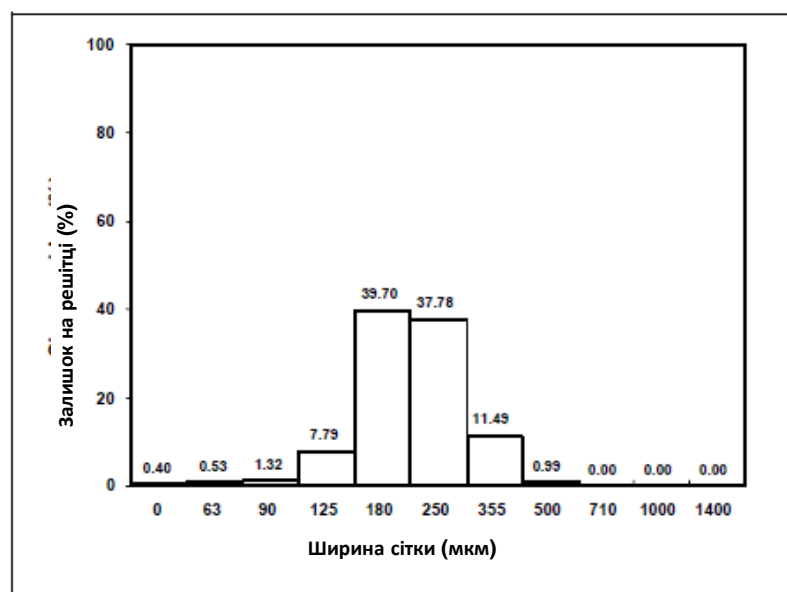


Рис. 2.25: Типовий розподіл розміру зерна для ливарного піску з діоксидом кремнію [110, Віто, 2001]

2.5.1.1.2 Хромітовий пісок

Хромітовий пісок являє собою хромову руду з формулою $FeO.Cr_2O_3$, яка містить інші компоненти, такі як оксиди магнію та алюмінію. Для його використання в ливарних виробництвах вміст кремнезему у ньому повинен бути нижче 2 %, щоб запобігти спіканню при низьких температурах. Його характеристики такі:

- щільність: від 4,3 до 4,6, пор. 2,65 для кремнеземного піску
- теоретична температура плавлення: 2180 °С, але наявність домішок може знизити її до 1800 °С
- теплова дифузивність: понад 25 % вище ніж у кремнеземного піску
- теплове розширення: регулярне, без точки переходу і нижче ніж у кремнеземного піску
- рН: досить звичайний, від 7 до 10.

Хромітовий пісок є вогнетривкішим, ніж кремнеземний. Він термічно стійкіший і має більшу потужність охолодження. Хромітовий пісок забезпечує кращу обробку поверхні у великих виливках. Тому його використовують для виробництва великих виливків та на ділянках форми, де потрібне охолодження.

[32, комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

2.5.1.1.3 Цирконовий пісок

Цирконовий пісок являє собою силікат цирконію, $ZrSiO_4$. Циркон – найпоширеніша цирконієва руда. Його характеристики такі.

- щільність: від 4,4 до 4,7, пор. 2,65 для кремнеземного піску
- температура плавлення: понад 2000 °С
- теплова дифузивність: понад 30 % вище ніж у кремнеземного піску
- теплове розширення: регулярне, без точки переходу і нижче ніж у кремнеземного піску.

Загальна характеристика цирконового піску аналогічна характеристикі хромітового, але цирконовий пісок дає кращу обробку, оскільки використовується дрібніший сорт. Ці фізичні й теплові властивості пояснюють його використання для лиття чи виготовлення стрижнів у складних випадках, незважаючи на дуже високу ціну.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [72, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995]

2.5.1.1.4 Олівіновий пісок

Олівінові піски – це мінеральна група, до складу якої входять форстерит, фаяліт та інші. Характеристики олівінових пісків такі:

- температура плавлення: форстерит: 1890 °С, фаяліт: 1205 °С
- щільність: від 3,2 до 3,6
- рН: близько 9.

Рівень рН робить цей тип піску непридатним для використання в системах зв'язування з каталізацією кислотою.

Олівіновий пісок утворюється шляхом дроблення природних порід, що пояснює його різноманітні характеристики. Зазвичай використовується для лиття та виготовлення стрижнів при литті марганцевої сталі. Присутність марганцю виключає присутність діоксиду кремнію, оскільки ці два компоненти реагують та сприяють появі дуже легкоплавких сполук. Повідомляється про закупівельну ціну в Іспанії на рівні 130 євро/тонну (2002 рік).

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [210, Мартінез де Морентін Ронда, 2002]

2.5.1.2 Зв'язуючі та інші хімічні речовини

2.5.1.2.1 Бентоніт

Бентоніт являє собою смектитову глину, яка має пластинчасту структуру. При додаванні води структура глини набрякає завдяки адсорбції молекул води. Потім глина стає придатною для обробки і може бути використана для покриття зерен піску під час перемішування.

Природні кальцієві бентоніти не набухають і не перетворюються на гель при змішуванні з водою. Зараз вони використовуються рідко і лише для особливих виливків. Як варіант, ці матеріали можуть бути «активовані» обробкою кальцинованою содою, щоб отримати «бентоніти, активовані содою». Вони широко використовуються в чорних ливарних виробництвах по всій Європі; їх властивості наближаються до природних натрієвих бентонітів.

Природні натрієві бентоніти сильно набрякають при змішуванні з водою. Основними властивостями сирової піщаної суміші є її висока міцність в сухому стані, добра реакція на перепад вмісту води, висока стійкість до вигорання та поліпшена довговічність. Оскільки вони імпортуються із США, де їх широко використовують, їх ціна зазвичай обмежує їх використання до лиття сталей високої вартості або в сумішах з активованими кальцієвими бентонітами.

Вливання розплавленого металу в сиру формувальну суміш піддає формувальний пісок високій температурі. Це тепло видаляє вологу з піску і руйнує зв'язану глиною структуру (і добавки). Якщо під час заливання та охолодження бентоніт залишається нижче температури дезактивації, зберігається пластинчаста структура, а також здатність набухати та розвивати зв'язаність. Температура дезактивації змінюється залежно від типу бентоніту.

Ціни на бентоніт коливаються між 70 – 250 євро/т, залежно від упаковки та типу товару (Чехія, 2003 рік).

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [73, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995], [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003]

2.5.1.2.2 Смоли

За останні кілька десятиліть було розроблено ряд хімічних сполучних речовин. Це одно- або багатокомпонентні системи, які змішуються з піщаною сумішшю, поки всі зерна не покриються тонкою плівкою. Після змішування починається реакція затвердіння, зв'язуючи разом зерна піску і розвиваючи міцність форми. Смоли (полімери) можна класифікувати за методом затвердіння:

- смоли, що твердіють на холоді
- смоли, що твердіють під дією газу
- смоли, що твердіють під дією тепла.

У пункті 2.5.6 будуть розглянуті різні типи смол (полімерів). В таблиці 2.7 наводиться огляд щодо застосування різних смол (полімерів).

Твердіння	Тип смоли («комерційне найменування»)	Виробництво форм	Виробництво стрижнів	Температура твердіння	Час твердіння(*)	Типи металів	Розмір серії
Твердіння на холоді	Фуран	Від середніх до великих	Інколи	10 – 30 °С	10 – 120 хв	Чорні+ кольорові	Від малих до великих
	Фенол-формальдегід	Великі	Ні	10 – 30 °С	10 – 180 хв	Чорні	Від малих до великих
	Поліуретан («Pepset/Pentex»)	Від малих до середніх	Інколи	10 – 30 °С	5 – 60 хв	Чорні+ кольорові	Від малих до великих
	Резол - ефір («Alfaset»)	Від малих до великих	Інколи	10 – 30 °С	5 – 400 хв	Чорні+ кольорові	Від малих до великих
	Алкідна оліфа	Великі	Інколи	10 – 30 °С	50 хв	Сталь	Малі
	Силікат – склянка води	Від середніх до великих	Ні	10 – 30 °С	1 – 60 хв	Чорні+ кольорові	Від малих до середніх
Твердіння під дією газу	Фенол/Фуран ¹ («Hardox»)	Малі	Так	10 – 30 °С	<60 с	Чорні+ кольорові	Усі
	Поліуретан («Холодний ящик»)	Малі	Так	10 – 30 °С	<60 с	Чорні+ кольорові	Усі
	Резол («Betaset»)	Малі	Так	10 – 30 °С	<60 с	Чорні+ кольорові	Усі
	Акрил/Епоксид («Isoaset»)	Ні	Так	10 – 30 °С	<60 с	Чорні+ кольорові	Усі
	Силікат	Малі	Так	10 – 30 °С	<60 с	Чорні+ кольорові	Усі
Твердіння завдяки теплу	Оліфа	Малі	Так	180 – 240 °С	10 – 60 хв	Чорні	Малі
	«Теплий ящик»	Рідко	Так	150 – 220 °С	20 – 60 с	Чорні	Від середніх до великих
	«Гарячий ящик»	Рідко	Так	220 – 250 °С	20 – 60 с	Чорні+ кольорові	Від середніх до великих
	«Лиття на фенол-формальдегідному зв'язуванні»	Так	Так	250 – 270 °С	120 – 180 с	Чорні+ кольорові	Великі

(*) тобто час випуску – час, протягом якого форма / стрижень набрали достатньої міцності, щоб позбавитись моделі
¹ Не застосовується для потужностей <20 тонн/день

Таблиця 2.7: Огляд різних типів смол (полімерів) та сфер їхнього застосування [110, Віто, 2001]

2.5.1.2.3 Вугільний пил

Вугільний пил зазвичай додають до сирової суміші для лиття чавуну. Він використовується в обмеженій мірі на деяких кольорових ливарних виробництвах. Вугільний пил може змішуватися з невеликою кількістю смол і олиф. Під час лиття внаслідок термічної деградації виробляється так званий «блискучий вуглець», що покращує обробку поверхні виливку та властивості вибивання. Вугільний пил додається з трьох причин:

- створити інертну атмосферу в порожнині форми під час заливання шляхом спалювання органічних сполук, що, зі свого боку, сповільнює окислення металу (утворення шлаку)
- зменшити проникнення металу між кварцовими зернами шляхом осадження графітової плівки, яка також створює плоску поверхню виливку
- зменшити кількість піску, що залишається на поверхні виливка при вибиванні.

На додаток до чорного і липкого пилю, спричиненого обробкою, вугільний пил може містити або утворювати поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАН) під час заливання.

Для сталевих виливків вугільний пил не використовується через збирання вуглецю. У цьому випадку його зазвичай замінюють зерновими зв'язуючими речовинами, такими як крохмаль або декстрин.

Існують різні типи замін вугільного пилю. Вони складаються із сумішей високолетучих, високоблискучих вуглецевих матеріалів, змішаних із глинами. Вони, як правило, екологічно прийнятніші, ніж вугільний пил, тобто утворюють менше випарів під час лиття, хоча деякі заміни вугільного пилю генерують більше ПАН в піску.

[174, Браун, 2000], [225, TRG (TWG), 2003]

2.5.1.2.4 Зв'язуючі речовини на основі крохмалю

Зв'язуючі речовини на основі крохмалю зазвичай застосовуються на сталеливарних заводах для підвищення міцності сирової піщаної суміші. Існує два типи речовин на основі крохмалю: власне крохмаль і декстрин. Крохмаль є основним матеріалом і виробляється з ряду рослинних матеріалів, при цьому для ливарних цілей найчастіше використовується кукурудзяний крохмаль. Декстрин – це реполімеризована форма крохмалю, що утворюється шляхом подальшої термічної та кислотної обробки крохмалю.

Крохмалі можуть допомогти зменшити дефекти розширення, оскільки, вигораючи, вони дозволяють зернам піску деформуватися, не деформуючи форму. Речовини на основі крохмалю підвищують сиру міцність, суху міцність і загальну міцність, але можуть знижувати сипучість. Декстрини покращують текучість та утримування вологи, запобігаючи висиханню форми, а краї стають пухкішими.

Добавки на основі крохмалю не покращують ерозійну стійкість піску, а також його стійкість до проникнення металу.

[174, Браун, 2000], [175, Браун, 1999]

2.5.1.2.5 Оксид заліза

Оксид заліза реагує із кварцом при високій температурі й утворює низькоплавку сполуку – фаяліт. Цей скляний полімерний продукт спікає зерна разом. Зазвичай використовується при виробництві піщаної суміші для стрижнів, щоб зменшити утворення жилок.

[110, Віто, 2001]

2.5.1.3 Робота, підвід, подача та фільтрація

Різні частини системи спуску та підводу показані на рисунку 2.26. Система виконує такі функції:

- контролює потік металу в порожнину форми зі швидкістю, необхідною для уникнення дефектів холодного металу у виливку
- уникає турбулентності під час потрапляння металу у форму
- запобігає потраплянню у форму шлаку і дротів, що знаходяться в розплаві
- допомагає уникнути потрапляння потоку металу з високою швидкістю на стрижні або поверхні форми
- стимулює теплові градієнти всередині виливку, які допомагають створювати виливки належної якості
- допомагає легко відокремити виливок від системи, що здійснює спуск/підвід.

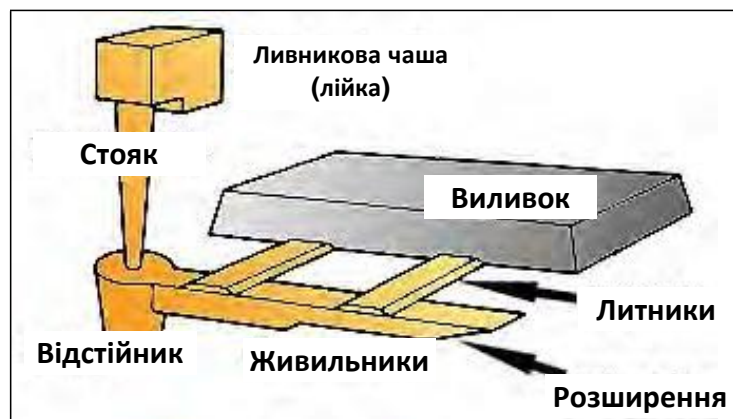


Рис. 2.26: Складові литникової системи
[237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Конструкція литникової (ливникової) системи повинна враховувати різні властивості металу, що підлягає заливанню, щодо утворення шлаку, наприклад:

- у пластинчастому чавуні може міститися певний шлак, але розплав не підлягає включенню через окиснення
- вермикулярний чавун містить силікат магнію та сульфідні краплі, що виникають при обробці сфероїдизуванням
- сталь чутлива до окиснення та утворення шлаків
- алюмінієві сплави (й алюмінієві бронзи) піддаються утворенню шлаку, завдяки чому на будь-якій поверхні металу, що піддається впливу повітря, негайно утворюється оксидна плівка.

Включення у сталь можуть виникати в результаті осадження шлаку, розмиву футеровки печей чи ковшів або вогнетривких матеріалів, або через розкиснювання. Зараз для зменшення кількості включень широко використовується фільтрація. Поява керамічних фільтрів навіть дозволила спростити проектуванні литникових систем. На рисунку 2.27 показано різні типи фільтрів.

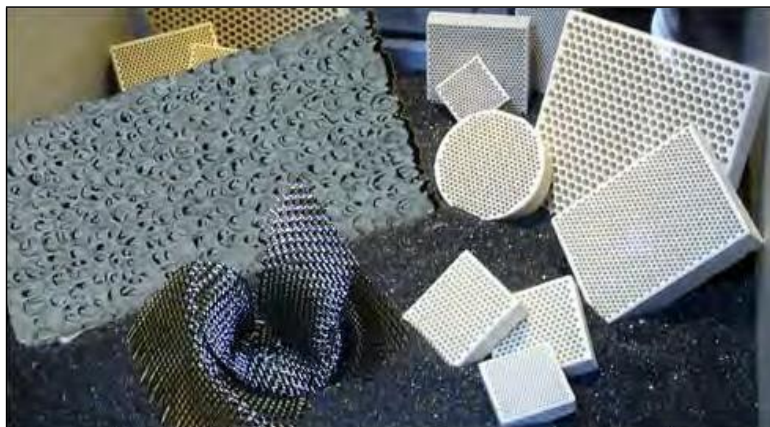


Рис. 2.27: Різні типи фільтрів
[237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

2.5.2 Підготовка піщаної формувальної суміші (транспортування, просіювання, охолодження, перемішування)

2.5.2.1 Створення умов для формування сирі формувальної суміші

Однією з головних переваг використання сирі суміші є те, що пісок з форм може бути відтворений для багаторазового повторного використання. Схема типової установки для сирі піщаної суміші зображена на рисунку 2.28, а деякі приклади змішувачів піску наведені на рисунку 2.29.

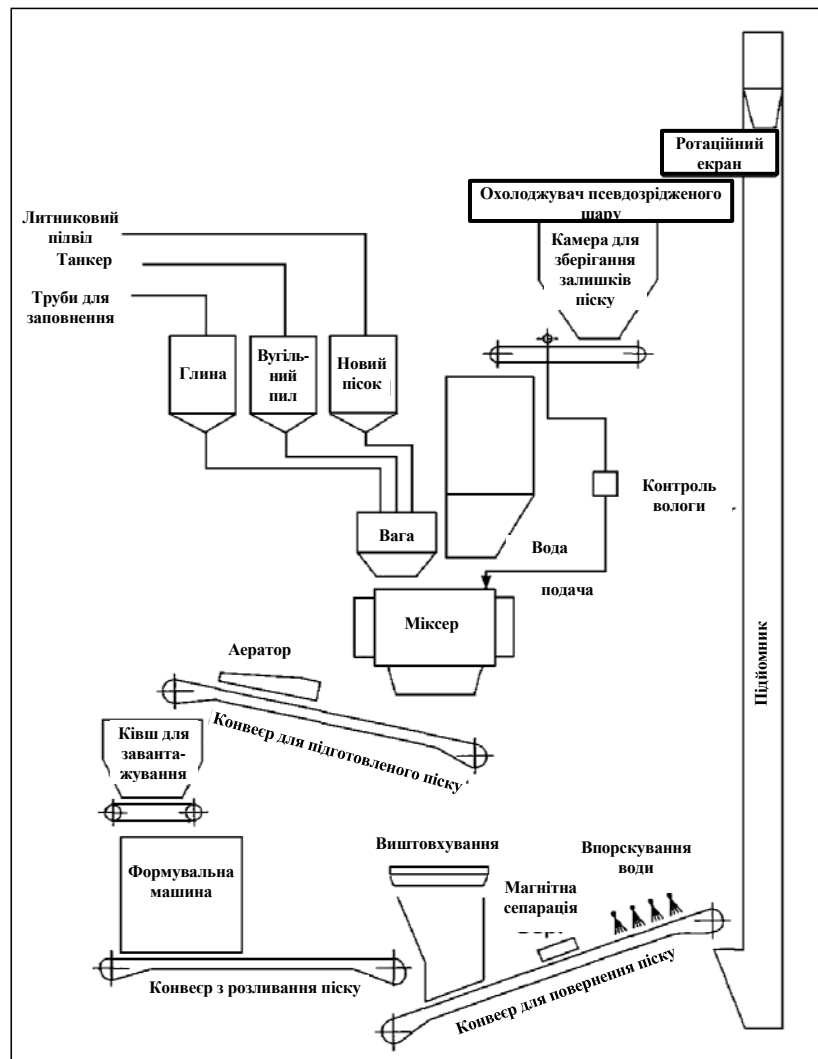


Рис. 2.28: Блок-схема типової установки для приготування сирі формиальної суміші [174, Браун, 2000]



Рис. 2.29: Різні типи піскозмішувачів [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

Оскільки пісок зазвичай містить металеві елементи, від спалахів, виливання крапель, голок або навіть невеликих частин виливків, спочатку все це потрібно видалити за допомогою магнітних сепараторів. Якщо відокремлення магнітних чавунних елементів не досягається або є неможливим, розділення може бути здійснено сепараторами Едді. Потім залишкові грудочки піску розщеплюються. Важливо не подрібнювати пісок, щоб не допустити деміксації піску та бентоніту.

Зазвичай пісок потрібно охолоджувати, щоб підтримувати рівень вологості підготовленого піску якомога постійнішим та уникати втрат від випаровування. Охолодження часто виконується в киплячому шарі, що також дає змогу вилучити пісок шляхом видалення надмірної кількості дрібнодисперсних шматочків.

Потім пісок перевіряють, щоб видалити грудочки, що залишилися, і зберігають перед змішуванням з необхідною кількістю добавок, наприклад із глиною, водою тощо, щоб підготувати сирю суміш до повторного використання.

[32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [174, Браун, 2000]

2.5.3 Формування з природним піском

Деякі ливарні використовують пісок із природним зв'язуванням. Це пісок, який містить природний відсоток глини. Для активації зв'язуючої здатності потрібно додавати лише воду. При необхідності також можна додати деякі добавки. Приблизний склад природного піску наведено в таблиці 2.8.

Сполуки	Приблизні %
Кварцовий пісок	80
Глина	15
Вода	5

Таблиця 2.8: Склад природного піску

[126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000]

Природний пісок, який існує у вигляді природної суміші, не має таких високих вимог до обладнання для змішування, як синтетичний пісок. Зазвичай він використовується для виливків кольорових металів (наприклад із міді) невеликих розмірів і не використовується в ливарних виробництвах чавуну та сталі.

2.5.4 Формування із глинистим піском (формування сирої формувальної суміші)

Формування сирої суміші – це найпоширеніший процес формування. Сира суміш, як правило, не використовується для виготовлення стрижнів. Стрижні виготовляються за допомогою системи хімічного зв'язування. Сира суміш – це єдиний процес, в якому використовується волога піщана суміш. Суміш складається приблизно з 85 до 95 % кремнеземного (або олівінового, або цирконового) піску; 5 – 10 % бентонітової глини; від 3 до 9 % вуглецевих матеріалів, таких як порошок (морське) вугілля, нафтопродукти, кукурудзяний крохмаль або деревне борошно; а також 2 – 5 відсотків води. Глина та вода виступають у ролі зв'язуючої речовини, утримуючи зерна піску разом. Вуглецеві матеріали згоряють, коли розплавлений метал виливають у форму, створюючи відновну атмосферу, яка запобігає окисленню металу при його затвердінні. У таблиці 2.9 наведено опис добавок, що використовуються для різних видів металевих виливків.

Метал	Домішки для підготовки сирій формувальної суміші
Виливки з вермикулярного чавуну Виливки із пластинчастого чавуну Виливки з ковкого чавуну	Бентоніт Зв'язуюча речовина на основі крохмалю* Вугільний пил
Виливки зі сталі	Бентоніт Зв'язуюча речовина на основі крохмалю*
Виливки з легких металів та алюмінію	Бентоніт Зв'язуюча речовина на основі крохмалю*
Виливки з алюмінію, легованого магнієм	Бентоніт Борна кислота
Виливки з магнієм	Бентоніт Порошкоподібна сірка Борна кислота
Виливки з важких металів (сплави міді)	Бентоніт Зв'язуюча речовина на основі крохмалю* Вугільний пил
* Не обов'язкова домішка	

Таблиця 2.9: Перелік домішок для підготовки піщаної формувальної суміші (за винятком води) [36, Вінтерхальтер та ін., 1992]

Сира суміш, як показує її широке використання, має низку переваг перед іншими методами лиття. Цей процес може використовуватися як для лиття чорних, так і кольорових металів, і він може обробляти ширший асортимент продуктів, ніж будь-який інший спосіб лиття. Наприклад сира суміш використовується для отримання загального спектру виливків, від малих точних виливків до великих виливків вагою до тонни. Якщо підтримується рівномірне ущільнення піску і точний контроль властивостей піску, можна отримати дуже малі допустимі відхилення. Процес також має перевагу в тому, що вимагає лише відносно короткого часу для отримання форми в порівнянні з багатьма іншими процесами. Крім того, відносна простота процесу робить його ідеально придатним для механізованого виробництва.

Хоча ручне лиття все ще використовується, машинне лиття нині є найпоширенішим. Формувальна машина повинна виконувати дві послідовні операції: перша – трамбування піску з подальшим відокремленням моделі від ущільненого піску. Процеси, що використовуються, найчастіше виходять із принципів роботи, описаних далі.

Машини для формувального віджимання використовують тиск для упаковки піску, який подається через віджимну голівку або за допомогою віджимної голівки з кількома клапанами. Формування виключно шляхом віджимання є менш ефективним, оскільки глибина однієї половини форми збільшується. У цих випадках перегортання робочого столу значно збільшує ущільнення піску.

При ударному формуванні пісок під силою тяжіння подається в колбу і ущільнюється миттєвим викидом стисненого повітря через швидкодіючий клапан. Цей процес забезпечує високе і рівномірне ущільнення, особливо на піску, що оточує модель.

Безопочне формування з вертикальним і горизонтальним проділом досягає вражаючої ефективності виробництва. Можна досягти високої точності форми, але цей процес вимагає ефективного налаштування та високої якості для досягнення бажаної мети.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [42, Управління з охорони довкілля США, 1998]

2.5.5 Формування з незв'язаним піском (V-процес)

Цей процес використовує сухий пісок, утрамбований вібрацією без будь-якого додавання зв'язуючих речовин, при цьому пісок утримується між двома листами поліетилену частковим вакуумом.

Виробництво половини форми проілюстровано на рисунку 2.30. Послідовними кроками процесу є наступні:

- модель закріплена на герметичній камері, яка підключена до вакуумного насоса. Модель вентилюється отворами невеликого діаметру, що з'єднуються через герметичну камеру
- тонка плівка поліетилен вінілацетату (PEVA), товщиною від 75 до 100 мкм, нагрівається до 85 °С
- ця плівка, яка розширюється при нагріванні, наноситься на модель і фіксується вакуумом, застосованим через герметичну камеру
- формувальний ящик, в якому може бути створений вакуум, розміщується на моделі та заповнюється сухим піском
- цей пісок ущільнюється вібрацією, робиться рівним, а потім на пісок наносять другу плівку PEVA
- повітря витягується з формувальної коробки і в той же час у повітронепроникній камері виділяється вакуум; у вакуумі пісок твердне, і перша половина форми може бути видалена
- друга половина форми виготовляється в той самий спосіб, й обидві збирають і закривають, при цьому все ще застосовується вакуум
- тепер можна заливати метал, дві формувальні коробки залишаються під вакуумом доки вилівок не охолоне, щоб його вибити
- вибивання відбувається просто відключенням вакууму: пісок витікає з коробки через решітку і може бути перероблений після зневоднення та відокремлення незагорілих пластикових листів.

[174, Браун, 2000]

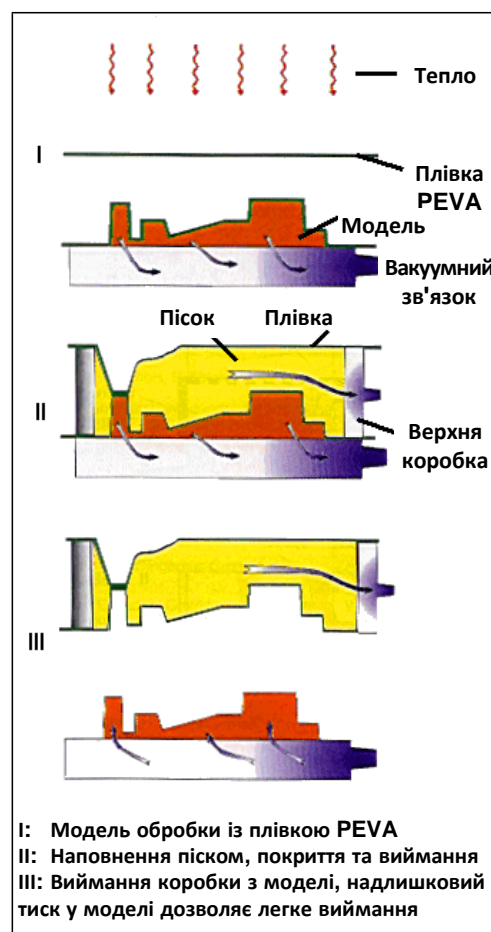


Рис. 2.30: Вакуумно-плівкове формування
 [179, Хоппенштедт, 2002]

2.5.6 Формування та виготовлення стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами

Для виготовлення стрижнів зазвичай використовуються системи хімічного зв'язування. Стрижні потребують інших фізичних характеристик, ніж форми; отже системи зв'язування, що використовуються для виготовлення стрижнів можуть відрізнятися від тих, що використовуються для форм. Стрижні повинні бути в змозі витримувати найбільший можливий натиск, коли розплавлений метал заповнює форму, а часто їх необхідно пізніше видалити з невеликих проходів в затверділому виливку. Це означає, що системи зв'язування, що використовуються, повинні забезпечувати виготовлення міцних, твердих стрижнів, які пізніше розпадутся, щоб дозволити видалення після того, як виливок затвердіє. Тому, як правило, стрижні формуються із кремнеземного піску (іноді олівінового, цирконового або хромітового піску), і сильних хімічних зв'язуючих речовин. Пісок і суміш хімічного зв'язування будуть розміщені у вигляді стрижня до коробки, де пісок твердне, набуваючи бажаної форми, і звідки буде видалений. Затвердіння або висушування досягається хімічною чи каталітичною реакцією або за допомогою тепла.

Таблиця 2.10 дає відносні частки щодо різних ключових рішень процесів у німецьких автомобільних ливарних виробництвах 1991 року. Дані свідчать, що холодний ящик на аміні та гарячий стрижневий ящик домінують на ринку. Понад 90 % з тих автомобільних ливарних виробництв використовують холодний стрижневий ящик із затвердінням за допомогою аміна. Інші процеси (лиття на фенолформальдегідному зв'язуванні, силікат натрію, затверділий на CO₂), здебільшого використовуються для додаткових аспектів, тобто виготовляють стрижні з конкретними вимогами (розміром, товщиною, ...).

[42, Управління з охорони довкілля США, 1998], [174, Браун, 2000]

Система	Кількість
Холодний стрижневий ящик (фенольний уретан, затверділий за допомогою аміна)	44
Гарячий стрижневий ящик	10
Лиття з оболонковими стрижнями / формами на фенолформальдегідному зв'язуванні	9
Силікат натрію, затверділий на CO ₂	3

Таблиця 2.10: Процеси з виготовлення ливарних стрижнів, що використовуються на 48 ливарних виробництвах автомобільної галузі в Німеччині, дані за 1991 рік, 1991 [174, Браун, 2000]

2.5.6.1 Процеси затвердіння при охолодженні

Затвердіння пісків, що тверднуть на холоді, ефективно при температурі навколишнього середовища. Процес починається, коли останній компонент рецептури був уведений в суміш. Потім реакція триває від декількох хвилин до декількох годин, залежно від процесу, кількості зв'язуючих речовин та міцності сполуки, що сприяє затвердінню.

Ці процеси частіше використовуються для виготовлення форм, аніж стрижнів, особливо для виливків середнього або великого розміру.

2.5.6.1.1 Фенолформальдегідна смола, каталізована кислотою

Цей процес використовується з 1958 року. Оскільки компоненти відносно дешеві, його зазвичай використовують для виробництва великих деталей. Він застосовується для всіх типів сплавів. Затвердіння цих смол є складнішим і менш регулярним порівняно з фурановими смолами.

Ці смоли – це або фенолформальдегід (PF), або сечовина-формальдегід/фенолформальдегідні сополімери (UF/PF), обидва варіанти є «смолами», співвідношення формальдегід/фенол вище одиниці.

Каталізаторами виступають сильні сульфонові кислоти, такі як паратолуол, ксилол або бензол-сульфонові кислоти, іноді з додаванням сірчаної кислоти, які зазвичай застосовуються у розведеному вигляді.

2.5.6.1.2 Фуран, каталізований кислотою

Ці зв'язуючі речовини, які з початку було введено на ливарних заводах у 1958 році, зазвичай застосовують для лиття й виготовлення стрижнів для середніх і великих розмірів деталей, для малого та середнього серійного виробництва та для всіх типів сплавів. Для лиття сталі застосовуються лише певні типи, оскільки можуть виникнути тріщини, зкосо або щілини. Процес забезпечує гнучкість у застосуванні та властивостях. Фурфуриловий спирт (FA) має недоліком те, що це (стратегічний) базовий продукт, ринкові ціни на котрий можуть змінюватися. Зв'язування фураном можна порівняти з фенольним зв'язуванням в тому сенсі, що механізм їх затвердіння та кислотні каталізatori, що використовуються, однакові для обох процесів. На рис. 2.31 наведено деякі приклади фуранових стрижнів.



Рис. 2.31: Фуранові стрижні
[237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Додавання кислотного каталізатора до фуранової смоли викликає екзотермічну поліконденсацію, при якій твердне зв'язуюча речовина. Фуранові смоли випускаються з різними рецептурами, але всі вони мають основою фурфуриловий спирт:

- | | |
|--|--------------|
| - фуранова смола | FA |
| - сечовина – формальдегід – фурфуриловий спирт | UF - FA |
| - фенол – формальдегід – фурфуриловий спирт | PF - FA |
| - сечовина – формальдегід – фенол – фурфуриловий спирт | UF - PF - FA |
| - резорцинол – фурфуриловий спирт | R - FA. |

Для посилення зв'язку смоли-піску майже завжди додається силан. Каталізаторами виступають сильні сульфонові кислоти, такі як паратолуол, ксилол або бензол-сульфонова кислота, іноді з додаванням сірчаної або фосфорної кислоти, зазвичай вони використовуються в розведеному вигляді.

[110, Віто, 2001]

2.5.6.1.3 Поліуретан (фенольний ізоціанат)

Для лиття і виготовлення стрижнів цей процес використовується в незначній мірі, з обмеженнями для лиття сталі, оскільки можуть виникати тріщини або щілини. Однак їх виникненню можна запобігти додаванням оксиду заліза та висушуванням форм і стрижнів. У деяких країнах (наприклад Швеції) цей тип зв'язування не застосовується протягом 25 років, переважно через його вплив на робоче середовище.

Цей процес заснований на реакції адитивної полімеризації між фенольною смолою та ізоціанатом (переважно MDI), каталізується піридиновими похідними речовинами; в результаті чого наявна поліуретанова структура. Всі компоненти знаходяться у розчині в ароматичному та/або полярному розчиннику (тобто аліфатичному розчиннику) з високою температурою кипіння. Забруднення водою слід суворо уникати, оскільки вода сильно реагує з ізоціанатом.

2.5.6.1.4 Резол – складний ефір (лужний фенольний ефір затверділий)

Цей процес використовується для невеликого або середнього серійного виробництва. Він може використовуватися для всіх типів сплавів, але представляє особливий інтерес для легших сплавів через простоту вибивання. Відсутність азоту в складових реагентах дає переваги для лиття сталі.

Ця смола – лужний фенольний розчин, який реагує з рідким ефіром. Смола та складний ефір утворюють нестабільний комплекс, викликаючи геліфікацію. Комплекс розпадається і викликає перехресну полімеризацію смоли, утворюючи сіль та спирт.

У цьому процесі швидкість затвердіння регулюється не нормою додавання затверджувача, а використанням різних марок. Час затвердіння може варіюватися від декількох хвилин до понад години. Механічні властивості одразу після затвердіння не дуже хороші, але покращуються при зберіганні.

2.5.6.1.5 Алкідна оліфа, непросушена

Зазвичай цей процес використовується для одинарних виливків або для невеликого серійного виробництва у ливарних виробництвах, що працюють зі сталлю. Забезпечує перевагу якісної обробки поверхні й добрих властивостей зачищення. Але він дорогий.

Модифікована оліфою поліефірна смола змішується з ізоціанатом, утворюючи поліуретанову смолу, яка повільно твердне. Твердіння форми прискорюється каталізатором і завершується нагріванням до 150°C.

2.5.6.1.6 Ефірний силікат

Цей процес застосовується здебільшого в ливарних виробництвах, що працюють зі сталлю, для лиття середніх і великих виливків для середніх і малих серій. Він схожий на процес з алкідною оліфою. Однак він має погані властивості при вибиванні та меншу механічну стійкість, ніж системи, зв'язані органічними смолами.

Затвердіння силікатно-ефірного піску проходить через проміжний етап, який складається з гідролізу ефіру лужним силікатним розчином. Цей гідроліз утворює гліцерин та оцтову кислоту, яка осаджує силікатний гель з утворенням початкового зв'язування. Подальша міцність розвивається у міру висихання залишкового силікату.

2.5.6.1.7 Цемент

Цей процес використовується тільки для виливків дуже великих розмірів. Його застосування актуальне для публічних замовлень. Він не створює жодних проблем із викидами під час формування чи виготовлення стрижнів.

2.5.6.2 Процеси затвердіння при подачі газу

У цих процесах затвердіння відбувається шляхом введення каталізатора або затверджувача в газоподібному вигляді. Швидкість затвердіння може бути дуже високою, що допомагає досягти високих показників виробництва. Вони підходять для форм і стрижнів обмежених розмірів, для середніх партій або масового виробництва. Їх використання постійно розширюється протягом останніх кількох років.

Хімія, що є основою у багатьох цих процесах, де відбувається затвердіння завдяки подачі газу, подібна до процесів, де твердіння відбувається під дією холоду. Через газоподібну форму каталізаторів іноді потрібно збирати й обробляти їх викиди.

2.5.6.2.1 Холодний стрижневий ящик (фенольний уретан, затверділий за допомогою аміна)

Цей процес зазвичай використовується для виготовлення стрижнів до 100 кг і більше, і невеликих форм. Він забезпечує дуже гладку обробку поверхні, а точність розмірів дуже висока. Властивості для видалення стрижня відмінні, а пісок легко відновлюється. Цей процес найчастіше використовується в розробці основних процесів. На рис. 2.32 показано приклад стрижня, виготовленого методом холодного ящика.



Рис. 2.32: Ливарні стрижні, виготовлені у холодних ящиках [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

Хімія цього процесу на основі поліуретану дуже схожа на твердіння завдяки поліуретану, наприклад вона включає фенольну смолу та ізоціанат (MDI), тільки каталізатор інший; тут використовується третинний амін, такий як триетиламін (TEA), диметилетиламін (DMEA), диметилізопропіламін (DMIA) або диметилпропіламін (DMPA). Амін застосовують у вигляді пари, використовуючи стиснене повітря, азот або CO₂ в ролі газу-носія. Смола та ізоціанат знаходяться в розчині в ароматичних та/або полярних розчинниках, які мають високу температуру кипіння. Забруднення водою слід суворо уникати, оскільки вона сильно реагує з ізоціанатом і послаблює зв'язування.

Амін доставляється або генератором, в якому знаходиться підтримуючий газ, переважно інертний, насичений парами аміна, або інжектором, який відміряє потрібну кількість аміна, необхідну для операції, при цьому останній переноситься на пісок стисненим повітрям або газоподібним азотом. Швидкість додавання зв'язуючої речовини змінюється від 1,0 до 2,0 % у розрахунку на масу піску зі смолою та ізоціанатом у співвідношенні 50:50.

Амін є просто каталізатором і не використовується в реакції. Після затвердіння він залишається в піску форми або стрижня і його слід продути. Період продувки нині триває в 10 – 15 разів довше ніж введення аміна. Кількість аміна, необхідна для затвердіння, становить приблизно 0,05 % у розрахунку на масу піску, але зазвичай використовують від 0,10 до 0,15 %.

Існує варіант процесу, який називається «холодний стрижневий ящик+» («Cold-box Plus»), стрижень нагрівається до 40 – 80 °C за допомогою циркулюючої гарячої води. Це дає стрижні з ще кращими механічними властивостями, але призводить до довших інтервалів. [110, Віто, 2001]

2.5.6.2.2 Резол – складний ефір (лужний фенольний метиловий естер мурашиної кислоти затверділий)

Цей процес відносно новий. Його переваги та недоліки схожі з недоліками процесу затвердіння під дією холоду, з якого він і походить. Оскільки його ціна є відносно високою, він зазвичай використовується для основних процесів виготовлення. Незважаючи на те, що повідомлялося про труднощі у переробці піску, що використовується, цей процес широко застосовується переважно завдяки властивостям вибивання; можливості запобігання розтріскуванню, прожилкам і щілинам; і через низькі викиди запаху. Процес може використовуватися для всіх типів серій та сплавів, але здебільшого використовується для легких і надлегких сплавів (легке вибивання) та сталі (низький ризик появи тріщин).

Це лужна фенольна резольна смола, яка реагує з метиловим естером мурашиної кислоти з утворенням метанолу та лужного формату. Фенольна смола осаджується у вигляді гелю, який зв'язує всі сполуки разом. Подальше з'єднання приводить до ще більшої міцності при зберіганні.

Метиловий естер (ефір) мурашиної кислоти знаходиться у рідкому стані при температурі навколишнього середовища, температура кипіння – 32 °С, але він газифікується повітрям, зазвичай нагрітим до 80 °С, яке також виступає носієм у процесі. Період газоутворення завжди супроводжується продуванням повітря, метою якого є рівномірний розподіл метилового естеру по всій масі піску.

2.5.6.2.3 Фуранові смоли, затверділі на SO₂

Цей процес вже не застосовується широко, хоча підходить для широкого спектру застосування у виробництві форм і стрижнів малих і середніх розмірів у будь-якому сплаві. Сірчаний каталізатор може спричинити деякі металургійні проблеми на поверхні виливків з високоміцного чавуну. Основними перевагами, які він надає, є тривалий строк експлуатації підготовленого піску, якісні механічні властивості й експлуатаційні характеристики, а також запобігання появі тріщин. Утім, його ефективне впровадження в практику обмежене через клейовий характер смоли і через занепокоєння щодо використання діоксиду сірки як затверджувача.

У цьому процесі використовуються фуранові смоли, які містять близько 80 % фурфурілового спирту. Обидві смоли полімеризуються в кислотних умовах. Ці смоли потрібно змішувати з піском і з окислювачами, такими як органічні пероксиди або перекис водню. Потім реакція між цими пероксидами та введеним діоксидом сірки утворює сірчану кислоту, що викликає швидку полімеризацію. Період газоутворення завжди супроводжується періодом продувки, метою якого є видалення зайвого діоксиду сірки, що не вступив у реакцію, з маси піску.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [174, Браун, 2000]

2.5.6.2.4 Епоксидні/акрилові суміші, затверділі на SO₂ (затвердіння вільними радикалами)

Цей процес забезпечує багато переваг: гарна здатність до ущільнення; тривалий строк експлуатації підготовленого піску (не потрібно чистити змішувачі або насадки для прострілювання/дуття); якісні механічні властивості; відсутність азоту, фенолу або формальдегіду; високі показники вибивання; і немає утворення тріщин. Однак більша вартість зв'язуючих компонентів є одним із головних недоліків.

Цей процес характеризується не типом смоли, а принципом її з'єднання, яке відбувається завдяки вільним радикалам. Смола повинна містити подвійні вуглецеві зв'язки: можуть бути використані поліестер – акрил, поліестер – уретан або поліестер – епоксидні смоли. Ці смоли, як правило, мають низьку молекулярну масу, і їх розбавляють органічними розчинниками майже на 50 % від маси, хоча також є види, що не містять розчинників. Вони змішуються з органічним перекисом, який виступає ініціатором реакції. Для затвердіння через пісок проходить діоксид сірки з інертним газом, таким як вуглекислий газ або азот. Період газоутворення завжди супроводжується продуванням тим самим інертним газом, який використовувався для затвердіння, мета – видалити зайвий діоксид сірки, що не вступив у реакцію, з маси піску.

2.5.6.2.5 Силікат натрію, затверділий на CO₂ (рідке скло)

Цей процес дає реальні переваги: він дешевий, легкий в експлуатації та екологічно чистий. Також ця методика має переваги для здоров'я працівників та надійності експлуатації порівняно з органічними зв'язуючими речовинами. Однак її використання стало менш популярним через технічні причини, такі як погана здатність до ущільнення та проблеми зі здатністю до руйнування, погана механічна міцність, чутливість до руйнування, збір вологи та погане регенерування. Крім того, використання рідкого скла може призвести до збільшення витрат на очищення. Стрижні досягають своєї повної міцності лише після періоду висихання. Це зменшує їх застосовність в автоматизованих процесах. Тому техніка знаходить своє основне застосування у ливарних виробництвах невеликого масштабу.

Як правило, використовується силікат натрію, визначений концентрацією (вміст сухої твердої речовини) та модулем (співвідношення силікату до соди $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$). Цей модуль коливається від 2,0 до 2,8, найпоширеніший – від 2,0 до 2,3. Цей силікат змішується з піском у концентрації від 2 до 4 %. Зазвичай застосовуються добавки для вибивання та видалення стрижня, які попередньо змішуються з силікатом.

Затвердіння відбувається шляхом газування вуглекислим газом, завдяки його слабокислому характеру. Коефіцієнт CO_2 не повинен перевищувати від 1 до 2 % маси піску, при цьому час газоутворення знаходиться в інтервалі від 10 до 60 секунд. Форми і стрижні, що затверділи, не вимагають продування.

[126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000], [152, Нотцтон та Хайль, 1998]

2.5.6.2.6 Лужний фенол, затверділий на CO_2

Цей процес був вперше введений у 1989 р. і з тих пір постійно вдосконалюється. Зараз він є комерційно доступним і використовується в кількох місцях, але його використання ще не набуло широкого поширення.

Смола – це лужний фенол, містить сполучну речовину, стабілізовану при високому рН, приблизно 14. Затвердіння відбувається шляхом газування вуглекислим газом, який розчиняється у водному розчиннику смоли, в такий спосіб знижуючи її рН та активуючи сполучну речовину.

2.5.6.3 Процеси гарячого затвердіння

У цих процесах затвердіння відбувається нагріванням піщано-смоляної суміші або, найчастіше, шляхом її контакту з нагрітим обладнанням. Всі вони забезпечують високу точність розмірів, що може бути досягнуто лише за допомогою використання високоякісних (металевих) моделей, що може бути дуже дорого. З цієї причини процеси гарячого затвердіння використовуються для виробництва стрижнів обмежених розмірів, переважно в процесах масового виробництва. Їх використання, яке колись було дуже розповсюджено, зараз занепадає, оскільки їх замінюють процеси газообробки.

Процеси гарячого затвердіння характеризуються основними проблемами викидів: при нагріванні смоли та каталізатори виділяють шкідливі хімічні речовини, включаючи аміак та формальдегід, які можуть стати джерелом неприємних запахів. Був ряд методів боротьби та попередження викидів, які намагалися вирішити ці проблеми, такі як обробка скруберами, спалювання або біологічне зменшення викидів, але жоден з них не засвідчив свою ефективність.

2.5.6.3.1 Гарячий стрижневий ящик, на основі фенолу та/або фурану

Цей процес може давати стрижні, що відрізняється високою розмірною точністю і механічною міцністю, але для їх виготовлення операторам потрібен високий рівень знань і контролю виробничого процесу. Межі процесу встановлюються його витратами, здебільшого на обладнання для використання смоли, енергії та промислових зразків, а також через погані внутрішні умови праці. Зараз використовується у масовому виробництві стрижнів малих або середніх розмірів.

Смолиста зв'язуюча речовина та каталізатор, що активується теплом, попередньо змішуються з піском, і суміш продувається в нагрітий ящик або шар, де вона затвердіває протягом приблизно 5 – 60 секунд.

Може використовуватися широкий спектр смол, таких як:

- | | |
|---|---------------|
| - сечовина – формальдегід | UF |
| - сечовина – формальдегід – фурфуриловий спирт | UF - FA |
| - фенол – формальдегід | PF |
| - фенол – формальдегід – фурфуриловий спирт | PF - FA |
| - сечовина – формальдегід – фенол – формальдегід | UF – PF |
| - сечовина – формальдегід – фенол – формальдегід – фурфуриловий спирт | UF - PF - FA. |

Каталізаторами виступають амонієві солі мінеральних кислот, іноді з додаванням сечовини для зменшення вільного формальдегіду. Додатково використовуються інші добавки, такі як силани, оксиди заліза, консерванти і силіконова олія.

Коефіцієнт додавання смоли коливається від 1,2 до 3,0 % у розрахунку на масу піску, в середньому близько 1,8 %. Коефіцієнт додавання каталізатора коливається від 10 до 25 % у розрахунку на масу смоли, при цьому більшість рецептур оптимізовано на рівні 20 %. Температура, що зазвичай використовується для моделі, коливається від 230°C до 290°C, оптимальний діапазон – від 220°C до 250°C. Якщо в спробі прискорити час затвердіння використовується надмірна теплота, поверхня стрижня може згоріти, призводячи до крихкості під час заливання.

2.5.6.3.2 Теплий стрижневий ящик

Цей процес дуже схожий на процес гарячого стрижневого ящика і використовує ті самі методи виробництва. Тільки тип смоли відрізняється, що дає змогу продуктам затвердіти при нижчій температурі. Однак цей вид смоли значно дорожчий, ніж ті, які використовуються в процесі гарячого ящика. Тому процес теплового стрижневого ящика, незважаючи на деякі реальні переваги, як правило, не знаходить широкого застосування.

Зв'язуюча речовина на основі фурфурілового спирту, має типову композицію, що містить близько 70 % фурфурілового спирту або низький полімер фурфурілового спирту. Каталізаторами виступають солі міді, отримані з ароматичних сульфонових кислот, у воді або спиртовому розчині. Відмінною особливістю цих каталізаторів є висока стійкість при температурі навколишнього середовища та їх відносно низька температура дисоціації (розпаду), яка становить 150 – 170 °C. Відповідно, температура інструментів може підтримуватися близько 180 °C, що приводить до значної економії енергії приблизно від 15 до 25 % порівняно з гарячим стрижневим ящиком.

2.5.6.3.3 Лиття з оболонковими стрижнями та формами на фенолформальдегідному зв'язуванні

Цей процес єдиний серед усіх процесів лиття та виготовлення стрижнів, який може використовувати пісок з попереднім покриттям, безпосередньо доступний у постачальників та готовий до використання, хоча на ливарному заводі також може виконуватися попереднє нанесення піску.

Пісок затвердіває шляхом нагрівання у металевій моделі, утворюючи затверділий поверхневий шар. Непрогрітий або не затверділий пісок можна викинути, перевернувши модель догори дном, а потім повторно використовувати. Пісок, що затвердів, утворює «оболонку», через яку процес, власне, отримав свою назву.

Цей процес забезпечує високу розмірну точність і якісну обробку поверхні для виливків, добрі характеристики вибивання та виймання стрижня, а також дає майже необмежений час зберігання піску з попереднім покриттям. Обмеження процесу – це ціна на пісок з попереднім покриттям та витрати на обладнання. Використання обмежується виробництвом форм і стрижнів малих або середніх розмірів у масовому виробництві. На рисунку 2.33 показані приклади стрижнів і форм.



Рис. 2.33: Стрижні (зверху) та форми (знизу), виготовлені із суміші піску і термореактивних фенольних смол [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Смола, яка використовується для попереднього нанесення покриття, являє собою фенольний «новолас» («novolac»), співвідношення формальдегід/фенол нижче 1. Гексаметилентетрамін додається до смоли як затверджувач. «Гекса» розкладається при 160°C на 2 основні компоненти: формальдегід і аміак. Коли пісок, на який попередньо нанесене покриття, контактує з нагрітою моделлю, гексаметилентетрамін розкладається, і формальдегід з'єднує сполучну смолу, утворюючи характерний міцний зв'язок.

2.5.6.3.4 Ляна олія

Цей дуже давній процес мабуть є прикладом найдавнішої обробки пісків із хімічним зв'язуванням. Він дуже простий у використанні, не потребує складних моделей і має хорошу стійкість до утворення прожилок і розтріскування. Він все ще широко використовується для спеціалізованих дрібних стрижнів.

Ці піски зв'язані за допомогою суміші олій/оліф для висушування, зазвичай це насамперед ляна олія, часто з додаванням декстрину та кількох відсотків води. Норма додавання олії коливається від 0,8 до 4 %, виходячи з маси піску. Також можуть бути додані сушильні речовини. Затвердіння відбувається шляхом з'єднання ненасичених жирних кислот, що містяться в олії, індукованого атмосферним киснем і прискореного нагріванням в сушарці при температурі від 190 до 260°C протягом 1-2 годин.

2.5.6.3.5 Алкідна олія, просушена

Цей процес схожий на описаний раніше процес з алкідною олією, непросушеною, єдиною різницею в цьому випадку є термічна обробка деталей з метою прискорення затвердіння.

2.5.6.4 Покриття форм і стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами

Майстерність ливарника – виготовляти високоякісні виливки без дефектів, такі, що вимагають лише мінімальної обробки та ремонту. Для досягнення цього ідеальним варіантом є мінімізація всіх взаємодій, які можуть виникати між формою, стрижнем та металом під час заливання. Негативні наслідки можуть бути викликані різними причинами, такими як розширення піску, дефекти ущільнення, стирання піску, проникнення металів, хімічне розкладання або взаємодія між зв'язуючими речовинами тощо.

Через це часто вигідно покрити форму або стрижень вогнетривкою футеровкою, щоб надати вилівку гладкої поверхні та зменшити витрати на зачищення.

2.5.6.4.1 Склад покриття

Покриття доступні у вигляді готових до вживання продуктів або як маса для розведення водою чи спиртом. Зазвичай вони містять такі компоненти:

- один або кілька вогнетривких наповнювачів, таких як тальк, пірофіліт, слюда, циркон, магнезит, кварц тощо, або формувальні чорнила
- рідина для внесення добавок, яка може бути спиртом (наприклад ізопропанолом, етанолом) або водою
- зв'язуючі речовини для високих температур, такі як бентоніти, смоли, борна кислота
- реологічні агенти, наприклад бентоніти або синтетичні полімери
- добавки, такі як ПАР, піногасники, фунгіциди тощо.

2.5.6.4.2 Процес покриття

Покриття можна наносити на форму або на стрижень різними способами:

- чищенням, для дрібних стрижнів або для локалізованого застосування
- зануренням, для складної форми стрижня; цей процес часто є автоматизованим
- розпиленням, як правило, безповітряним
- за допомогою проточного покриття для форм і стрижнів великих або середніх розмірів.

Якщо застосовують покриття на основі спирту, робочу зону потрібно провітрювати, щоб запобігти небезпеці пожежі чи вибуху. Покриті форми та стрижні зазвичай вигоряють, що обмежує викиди. Якщо вони не вигоріли, то сушіння проводиться під вихлопними газами, а викиди VOC тримають під контролем. На рисунку 2.34 представлені проточне покриття на спиртовій основі та подальше випалювання чи висихання.



Рис. 2.34: Покриття методом обливання із застосуванням покриття на спиртовій основі з подальшим випалюванням або сушкою [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Висихання покриттів на водній основі відбувається нагріванням в сушильній печі за допомогою гарячого повітря, в інфрачервоній або мікрохвильовій печі. Занурене покриття стрижнів і подальше сушіння гарячим повітрям представлені на рисунку 2.35. Покриття на водній основі не створюють проблем із викидами, ані під час нанесення покриття, ані під час висихання. Через що водяні покриття тепер все частіше замінюють спиртовмісні.

Однак їх застосування стикається з технічними обмеженнями з точки зору безперервності якості покриття та обмеження висихання. Повне обговорення щодо покриттів на водній та спиртовій основі міститься в пункті 4.3.3.5.

[143, Inasmet та СТІФ, 2002]



Рис. 2.35: Покриття методом занурення із застосуванням покриття на водній основі з подальшим сушінням у печі з гарячим дуттям [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

2.5.7 Лиття одноразових моделей

При литті одноразових моделей модель не виймається з форми перед заливанням. Модель, яка виготовлена з одноразового матеріалу, можна використати лише один раз, вона руйнується при заливці. Ці моделі можуть бути вбудовані або в піски з хімічним зв'язуванням, або в пісок без зв'язування, затверджений вібрацією.

Цей процес, який зазвичай називають «лиття по газифікованих моделях», був розроблений 30 років тому, і ріст його комерційного використання спочатку був досить повільним. Однак протягом останніх 10 – 15 років його застосовують частіше, переважно для масового виробництва автомобільних деталей або подібних виробів, незважаючи на значні труднощі в налаштуванні.

2.5.7.1 Незв'язаний пісок – Процес лиття по газифікованих моделях

Процес лиття по газифікованих моделях (див. рисунок 2.36) починається з дизайну моделі в 3D-CAD та виробництва високоточної пінопластової конструкції з пінополістиролу (EPS) або РММА, виготовленої автоматизованими машинами для лиття під тиском. Ці моделі можна виготовити з однієї деталі або зібравши ряд деталей за допомогою клеїв. Зазвичай ряд моделей, залежно від розміру, закріплюється на решітці, яка виготовляється з того ж матеріалу, що і модель, у такий спосіб створюючи кластер.



Рис. 2.36: Процес лиття по газифікованих моделях [110, Віто, 2001]

Кластери занурені у вогнетривке покриття на водній основі, що створює бар'єр між розплавленим металом та піском під час заливання. Після висихання кластер поміщають у формувальну колбу, яку заповнюють незв'язаним піском. У пісок можна додавати смолу з низькою в'язкістю, щоб запобігти деформації під час пресування. Пісок пресують тривісною вібрацією навколо моделей, проникаючи в отвори і відтворюючи точно всі деталі, роблячи в такий спосіб стрижень та обладнання для виготовлення стрижнів непотрібними. Після заливання розплавлений метал викликає піроліз полістиролу і заповнює спорожнілий простір.

Пісок, переважно кварцовий, повинен бути дуже проникним для того, щоб забезпечити вивільнення піролізних газів. Використовується пісок із номером AFS 35 – 50. Переривання заливання може спричинити знищення піщаної форми. Тому часто використовується система автоматичного лиття.

Литі частини характеризуються дуже хорошою розмірною точністю, як це показано на рисунку 2.37. Техніка може бути використана для будь-якого типу сплаву та використовується для виробництва середніх і великих серій. Процес є екологічно чистим під час формування, але створює газоподібні викиди під час виливання та вибивання, завдяки випаровуванню одноразових конструкцій. Лиття по газифікованих моделях допомагає металевим литтям виготовляти складні деталі, що часто неможливо зробити за допомогою інших методів. Цей процес дає змогу дизайнерам розробити складніші форми, зменшити потребу в обробці та мінімізувати операції з монтажу. На кожному етапі процесу необхідно здійснювати належний контроль, щоб забезпечити послідовну високу якість виливку. Відсутність глибоких галузевих знань про те, як забезпечити належні заходи контролю, сповільнило прийняття процесу лиття по газифікованих моделях.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001], [144, Міністерство енергетики США, 1998]



Рис. 2.37: Одноразові моделі (г.) для процесу ЛГМ і як приклад лиття відповідно до методу ЛГМ (л.) [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

2.5.7.2 Формувальна суміш із хімічними зв'язуючими речовинами – Процес повного формування

Процес лиття по газифікованих моделях також може бути використаний для виготовлення дослідних зразків із цільних частин, що допомагає скоротити час доставки. Крім того, ця техніка може бути застосована для виготовлення дуже великих деталей із чавуну, сталі або кольорових сплавів, таких як основи для металообробних машин, або преси тощо. Товщина стінки може становити від 5 мм до 1000 мм. За допомогою цієї техніки було відлито деталі до 50 тонн. Для виробництва цих більших деталей необхідне застосування (фуранової) зв'язуючої речовини для досягнення необхідної міцності форми.

Процес лиття по газифікованих моделях із хімічно зв'язаним піском, в даному випадку його також називають «процесом повного формування», зазвичай застосовується для одержання виливків середнього або великого розміру, в односерійному виробництві або при невеликих серіях.

Моделі виготовлені з матеріалів низької щільності, що розкладаються, таких як:

- білий пінополістирол, щільність від 16 до 20 г/дм³
- синій, спінений полістирол, який ще називають «пореста-блу» («poresta-blu»), щільністю від 18 до 22 г/дм³
- спінений поліметилметакрилат, також називається РММА, з щільністю 25 г/дм³.

Ці матеріали вирізаються як різні деталі, які потім збираються і склеюються гарячим клейовим розплавом, створюючи тим самим остаточну форму виливку, також враховуючи будь-яку можливу усадку металу.

Зібрана модель із її системою оформлення решітки та живлення повинна бути покрита, переважно системою покриття на водній основі, та ретельно висушена перед тим, як покласти її в пісок. Процес зв'язування піску повинен бути спеціально підібраний, щоб уникнути потрапляння вологи до моделі перед заливанням.

Цей процес, у контексті формування, дуже екологічно чистий, але створює газоподібні викиди під час висипання та вибивання через випаровування одноразових моделей та руйнування зв'язуючої речовини для піску.

Як і при процесі без зв'язування безперервне лиття є дуже важливим для запобігання руйнуванню форми. Для лиття великих деталей заливання виконується за допомогою двох (або більше) заливних ковшів та двох (або більше) вхідних отворів одночасно.

Процес повного формування має наступні переваги:

- висока точність розміру
- виробництво складних геометричних конструкцій, особливо внутрішніх порожнин
- інтеграція з декількох частин в одну литу частину
- скорочення або виключення фасок звільнення
- можливість термічного відновлення піску.

Незважаючи на те, що лиття по газифікованих моделях і процес повного формування відомі давно, вони широко не застосовуються в Європі. Передусім тому, що їх оптимізація потребує багато досліджень та розробок. Основні труднощі:

- визначення асортименту продукції: визначення, які вироби можна зробити простіше порівняно із традиційними методами
- вибір технології пресування: нанесення піску з метою ідеального заповнення всіх порожнин
- вибір типу покриття і піску: вони повинні мати достатню газопроникність, щоб гази згорання могли виходити.

[110, Віто, 2001]

2.5.8 Підготовка багаторазових (металевих) форм

Багаторазові форми (кокілі) виготовляються з металевих елементів, пристосованих до форми виливку, складання яких дає змогу формувати, заливати та зачищати виливки. Ці металеві форми використовуються для гравітаційного лиття, лиття під високим тиском, відцентрового лиття, безперервного лиття і для лиття під низьким тиском. На відміну від піщаних форм, їх можна повторно використовувати багато разів, і з цієї причини їх називають багаторазовими формами.

Якщо форма виливку не може бути легко виготовлена за допомогою металевих стрижнів, можуть використовуватися піщані стрижні. Наприклад піщані стрижні використовуються для формування розширення відцентрових литих труб.

Кокілі, як правило, покриті «білими або чорними чорнилами»; ці сполуки на водній основі, що забезпечують вивільнення, для вогнетривких матеріалів (у випадку білого) та для графіту (у випадку чорного). Їх функція – забезпечити захист штампу, регулювати охолодження штампу шляхом випаровування води та забезпечити змащення. Вони також виступають як роздільні суміші.

В декількох випадках чорніння забезпечується спалюванням ацетилену при відсутності повітря, утворюючи ацетиленовий чорний колір, який частково прилипає до штампу. Неадгезивні чорні чорнила слід зібрати й відфільтрувати перед викидами.

Багаторазові форми (або штампи) як правило, не виготовляються в ливарному виробництві, хоча ливарні виробництва для лиття під тиском мають цех для складання, обслуговування та ремонту штампів. Цей тип робіт, однак, не впливає на навколишнє середовище.

2.5.9 Лиття за виплавленими моделями та керамічна оболонка

Цей процес використовується для виготовлення складних деталей з тонкими елементами та високою точністю розмірів, для тонких деталей і дуже гладких поверхонь.

Етапи процесу зображені на рисунку 2.38. Вони починаються з виготовлення разових воскових моделей шляхом впорскування розплавленого воску в алюмінієву або епоксидну матрицю, щоб утворити модель, яка є практично точною копією бажаного виливку. Віск може містити наповнювачі. Для менших виливків до системи воскової решітки кріпиться кілька воскових моделей. Для полегшення винесення воскової моделі використовують водорозчинні агенти для виймання штампу.

Воскові моделі очищають водою або органічним розчинником і покривають змочувальним засобом, що допомагає керамічній суспензії прилипати до воску. Потім кластер занурюють у рідку керамічну суспензію, обклеюють гранульованим кремнеземом, цирконом або глиноземними/силікатними вогнетривкими речовинами і потім сушать перед нанесенням наступного покриття. Процес нанесення покриттів продовжується до тих пір, поки не буде встановлена досить товста оболонка.

Потім висушену форму виймають, вставляючи її в паровий автоклав, в якому розплавляють воскові зразки, або в «піч для обпалювання в підвішеному стані», де віск може бути частково випалений.

Після цього оболонку випалюють у печі при високій температурі. Це випалює залишковий віск і допомагає тверднути кераміці, залишаючи цільну керамічну форму оболонки, в яку розливають розплавлений метал для утворення виливку.

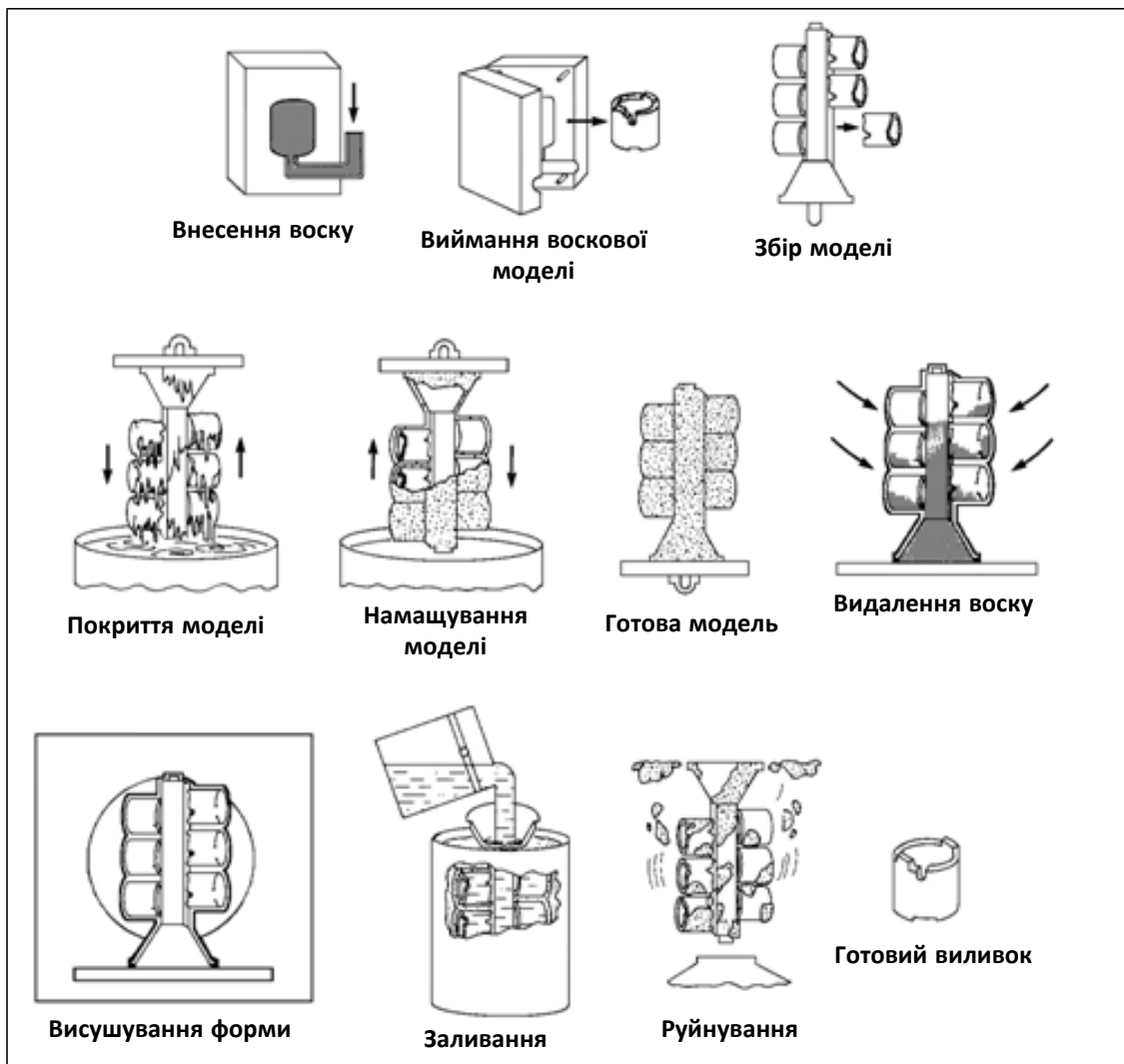


Рис. 2.38: Лиття за виплавлюваними моделями («Інвестиційне лиття») [110, Віто, 2001]

В цьому процесі забруднення повітря може статися під час двох операцій: виплавляння та видалення воску.

Виплавляння:

Рідка керамічна суспензія складається зі зв'язуючої речовини та дуже тонкого вогнетривкого порошку, відновленого до шламу шляхом постійного перемішування. Зв'язуючою речовиною може виступати колоїдний діоксид кремнію, гідролізований етилсилікат або гідролізований силікат натрію, вибір застосованої технології визначається технічними причинами. При використанні етилового силікату висихання відбувається швидше, що допомагає пришвидшити цикл, але при цьому виділяються пари етилового спирту. Ці пари, якщо їх занадто багато, слід зібрати й обробити перед викидом.

Видалення воску та спалювання:

Видалення воску за допомогою парового автоклава не призводить до істотного впливу на повітря. Однак, якщо видалення воску проводиться у випалювальній печі та під час спалювання оболонки, де спалюються залишки воску, то вплив буде.

Це спалювання часто трапляється при нестачі повітря, що призводить до утворення частинок сажі. Ці частинки мають бути зібрані та знищені після згоряння або видалені. Для цієї мети успішно використовуються керамічні фільтри, оскільки вони відповідають високій температурі вихлопних газів, але ця зовсім недавня технологія ще не набула широкого поширення.

Ця технологія застосовується, наприклад, для точного лиття та мистецького лиття. Зазвичай вона не застосовується на великосерійних ливарних підприємствах (> 20 т/добу), тому тут згадується лише задля інформування.

Процес відливання з керамічною оболонкою (запатентований як Replicast®) розширює якість і точність відливання шляхом заміщення воску (у виробництві відомого як «інвестиційне лиття») на більші компоненти, використовуючи комбінацію лиття по газифікованих моделях та принципи інвестиційного лиття. У технології використовується інертна, обпалена керамічна форма. Щоб створити форму, виготовляється репліка необхідного компонента з пінополістиролу, яка є точною за розміром і відтворює обробку поверхні. Жодні лінії розбиття або стрижні не потрібні, так само як кути відливання, але полістирольні репліки не можна склеїти між собою для створення складної геометрії. Полістирол виливають перед литтям, що дає змогу вилити у форму широкий спектр сплавів – від ультранизьковуглецевої неіржавної сталі до сплавів на основі нікелю. Це є відмінністю від лиття по газифікованих моделях, коли рідкий метал споживає та замінює модель полістиролу, роблячи процес непридатним для переважної більшості компонентів зі сталі (полістиролу по вазі вуглецю становить 92 %). [219, Castings Technology International, 2003]

2.6 Лиття

Заливання є центральним видом діяльності в ливарному виробництві. Готову форму заповнюють рідким металом під дією гравітаційних або відцентрових сил або тиску. Після заливання вилівок охолоджується для забезпечення твердіння і потім виймається з форми для подальшого охолодження та обробки.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

2.6.1 Лиття в одноразові форми

2.6.1.1 Заливання

Є два типи ковшів, які зазвичай використовуються для заливання рідкого металу: Розливні ковші та ковші «чайникового» типу. Третій тип (тобто стопорний ківш) характерніший для сталі.

- *Розливний ківш:* У цьому типі ковша (Рис. 2.39) метал завантажується через поглиблення для розливання, при цьому потік контролюється нахилом ковша за допомогою зубчастого ручного колеса. Оскільки метал тече з верху ковша, металева поверхня повинна не містити шлаку або використовувати скіммер для запобігання потрапляння шлаку до форми. Розливні ковші використовуються для заливання невеликих сталевих виливків

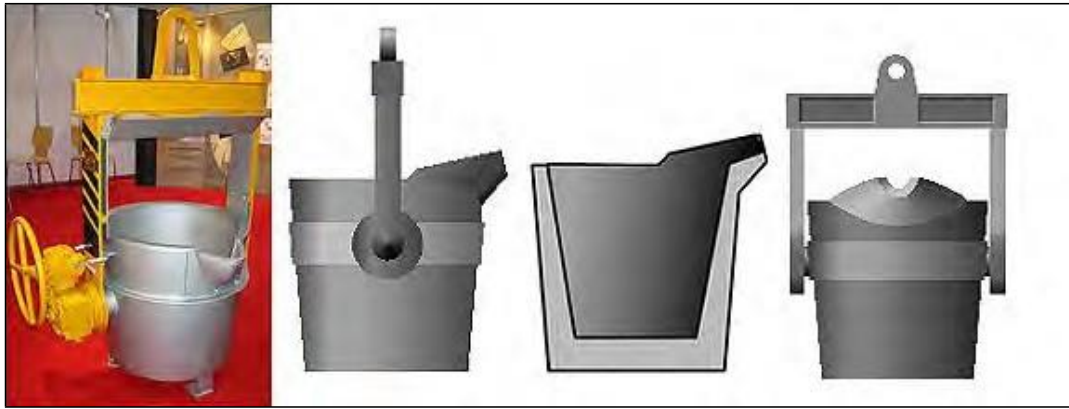


Рис. 2.39: Розливний ківш для заливання розплавленого металу
 [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

- *Ковші «чайникового» типу:* Як зображено на рисунку 2.40, вогнетривке покриття перед носиком ковша забезпечує те, що метал витягується з нижньої частини ковша, щоб потік не містив шлаків. Розплавлений метал, як правило, чистіший, ніж від розливного ковша. Одним з недоліків є те, що вузький носик може іноді давати змогу рідкій сталі замерзати, якщо тепло при випуску охолоджується, або якщо заливання продовжено протягом тривалого проміжку часу

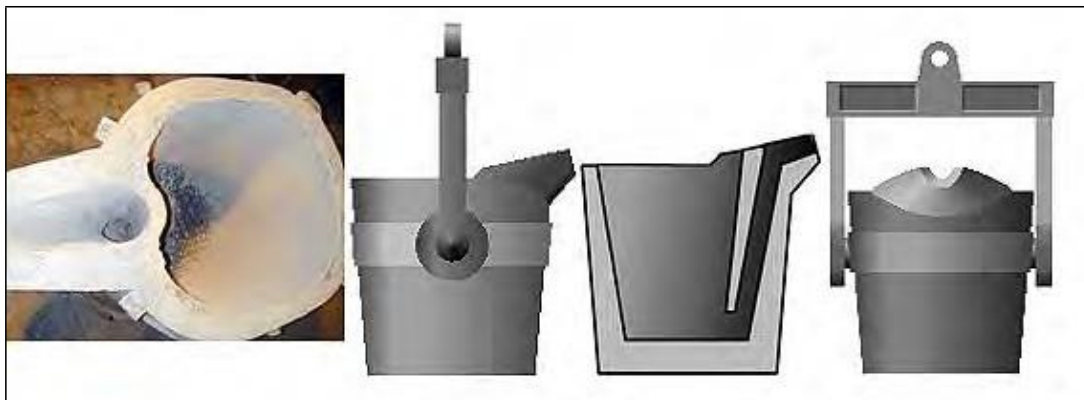


Рис. 2.40: Ківш чайникового типу для заливання розплавленого металу
 [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

- *Стопорні ковші:* Ківш оснащений наливним соплом у своїй основі, закритим вогнетривким стопорним стрижнем. Метал витягується знизу, і тому шлаки та неметалічні включення, такі як продукти розкислення, здатні впливати з розплавом. Металевий потік стікає вниз, так що під час заливання немає руху потоку. Недоліком є те, що швидкість і хід потоку змінюються під час заливання по мірі зміни феростатичної голівки.



Рис. 2.41: Стопорний розливний ківш для заливання розплавленого металу [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

Лінії автоматичного лиття часто оснащуються розливною піччю. На рис. 2.42 зображено принцип роботи такої печі (приклад). Лінія лиття зупиняється, коли форма знаходиться в правильному положенні, тобто під виходом для заливання. Метал заливається протягом фіксованого періоду, піднімаючи стопорний механізм. Оскільки рівень металу у виливку підтримується постійним, фіксований об'єм розплавленого металу заливається у форму. Рівень металу в печі контролюється плаваючим пристроєм, який контролює тиск газу всередині печі. Піч для лиття заправляється металом із плавильної печі через визначені інтервали часу.

[110, Віто, 2001], [174, Браун, 2000]

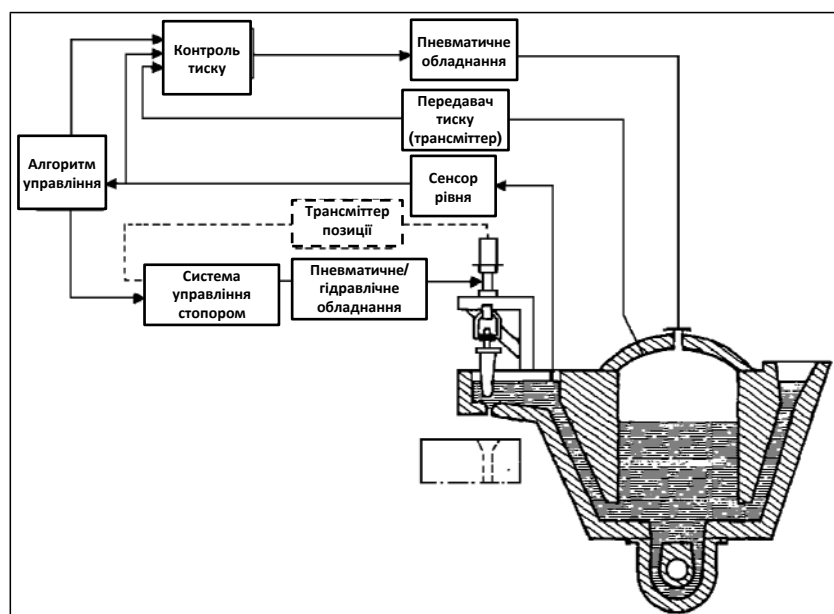


Рис. 2.42: Розливна піч [110, Віто, 2001]

2.6.1.2 Затвердіння (перше охолодження)

Вилиті форми транспортуються по лінії лиття на лінії охолодження. Довжина лінії охолодження визначає кінцеву температуру виливку в точці вибивання. Ця температура повинна бути достатньо низькою, щоб забезпечити вилівок достатньої міцності під час вибивання та подальших маніпуляцій.

Великі форми не транспортуються під час охолодження. Час охолодження може становити до декількох днів. [110, Віто, 2001]

2.6.1.3 Вибивання

У випадку індивідуального формування, глиняні або хімічно зв'язані форми зазвичай можуть бути знищені вібрацією. У більшості випадків це досягається розміщенням формувального ящика на вібраційну решітку, використовуючи для цього кран. У результаті вібрації пісок відокремлюється від виливку та формувального ящика. Ящик для лиття і формування залишається на решітках, тоді як пісок просипається і згодом переробляється. Виливок зазвичай транспортують у зону охолодження для подальшого охолодження при температурі навколишнього повітря (друге охолодження).

Аналогічна процедура вибивання часто проводиться в механізованих системах і старих автоматизованих системах малої потужності (див. рис. 2.43). Тут формувальні ящики знімають зі стрічкових конвеєрів за допомогою підйомників або іншого передавального обладнання та ставлять на вібратори. Нарешті виливки залишають для охолодження або вкладають у ливарний охолоджувальний прилад. У багатьох системах виливання піску витісняється з формувального ящика, а подальше контрольоване охолодження виливків та піску досягається в комбінованих або окремих охолоджувальних пристроях, таких як охолоджувальні барабани, рухливі труби, ланцюгові конвеєри (транспортери), охолоджувачі із псевдозрідженим шаром тощо.



Рис. 2.43: Вибивання в кінці автоматизованої формувальної виробничої лінії [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Піщані форми, зв'язані вакуумом, знищуються вивільненням вакууму. Люлька для відливання або формувальний ящик, що містить сипучий пісок і виливки, спорожняється, а потім лиття охолоджується одним з описаних способів. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

2.6.1.4 Охолодження виливку (друге охолодження)

Контрольоване охолодження виливків та піску здійснюється в обертових барабанах, поворотних барабанах або на коливальних транспортерних жолобах. Виливок охолоджується в коливальних конвеєрах або в люльках. У багатьох випадках для охолодження використовується повітряний потік, який часто спрямований у зворотному напрямку щодо виливка. У деяких випадках для покращення охолоджуючого ефекту використовують тонкі струмені води.

2.6.2 Лиття в багаторазові форми

2.6.2.1 Вільне (гравітаційне) лиття і лиття під низьким тиском

Вільне (гравітаційне) лиття і лиття під низьким тиском використовують постійні сталеві штампи, в які розплав виливають під дією сили тяжіння або газу низького тиску. Піщані стрижні можна використовувати для утворення підрізів і складних форм внутрішньої частини виливку. Завдяки швидкому процесу затвердіння виливки з кокілів мають щільну дрібнозернисту структуру з високими характеристиками міцності.

На рисунку 2.44 продемонстровано принцип лиття під низьким тиском. Металева матриця встановлена над герметичною піччю, що містить розплавлений метал. Трубка з вогнетривкою футеровкою простягається від дна штампу до розплавленого металу. При надходженні повітря в піч під низьким тиском (15 – 100 кПа) розплавлений метал піднімається вгору по трубці, поступаючи в порожнину штампу з низькою турбулентністю, повітря в штампі витікає через отвори й лінії розбиття штампу. Коли метал затвердіє, тиск повітря вивільняється, що дає змогу ще розплавленому металу в трубці потрапляти назад у піч. Після подальшого охолодження штамп відкривається і вилівок виймається. Через відсутність живильників і труб вихід вилівку є винятково високим, як правило, понад 90 %. Можлива хороша розмірна точність і обробка поверхні, а складні вилівки можна зробити за допомогою піщаних стрижнів. Цей прийом зазвичай застосовується для алюмінієвих вилівок, наприклад автомобільних деталей, таких як колеса, головки циліндрів, корпуси електродвигунів, а також для кухонного посуду. Штамп має бути покритий для оптимізації вивільнення та охолодження вилівку. Як правило, покриття наноситься один раз на зміну. Строк експлуатації зазвичай становить близько 30 000 – 50 000 разів. Приклад машини для лиття під низьким тиском наведено на рис. 2.45.

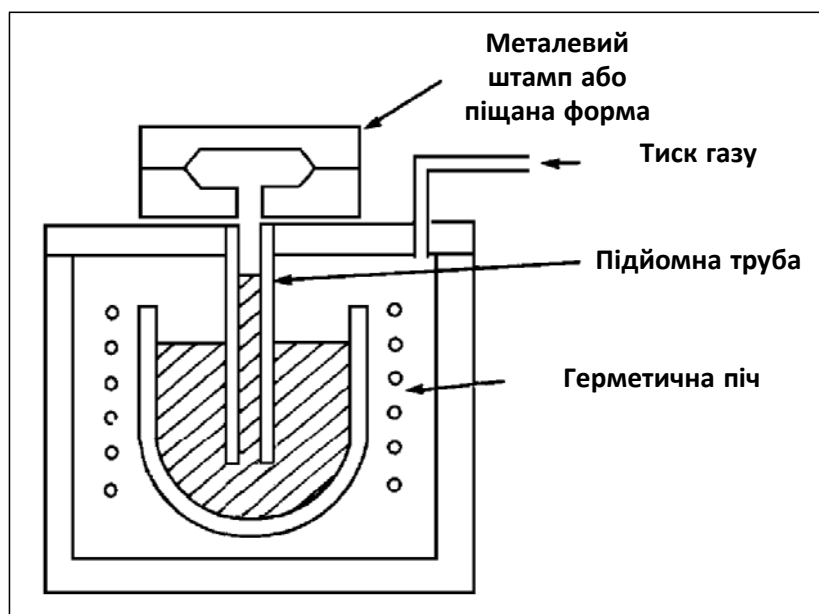


Рис. 2.44: Принцип роботи машини для лиття під низьким тиском [175, Браун, 1999]

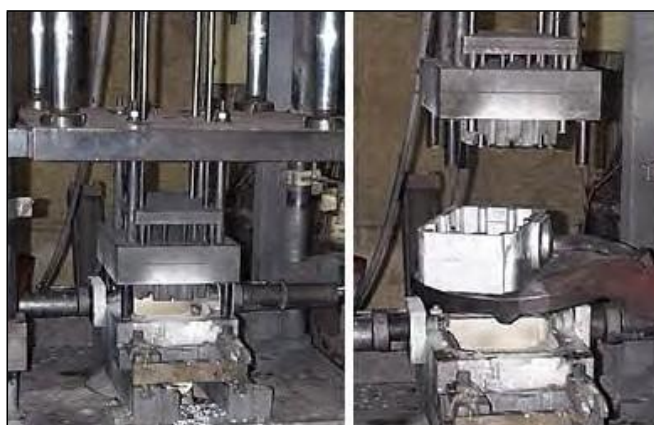


Рис. 2.45: Машина для лиття під низьким тиском [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

В умовах гравітаційного лиття розплавлений метал під силою тяжіння виливають у кокіль або штампують. Гравітаційні машини для лиття під тиском варіюються від простих ручних стелажних і шестірняних наборів штампів, із ручним заливанням, до карусельних машин, які зазвичай мають механізм нахилу для заповнення штампу і які часто експлуатуються за допомогою розливного робота.

Штампи покриті вогнетривким покриттям, це контролює швидкість охолодження. Час перед тим, як вилінок може бути витягнуто зі штампу варіюється від 4 до 10 хвилин, залежно від типу лиття. Тому процес є відносно повільним, порівняно з литтям під тиском. Для досягнення розумних швидкостей випуску, оператор вручну буде виконувати 2 – 4 набори послідовних дій, що дає змогу отримувати 30 – 60 виливків на годину. Автоматичні карусельні машини можуть мати 4 – 6 станцій із декількома наборами штамів, що допомагає досягти швидкості виробництва близько 1 виливку на хвилину. Цей спосіб найбільше застосовується для лиття алюмінію із серіями від 1000 до понад 100 000 штук на рік, наприклад для колекторів, головок циліндрів, водяних насосів.

Покриття для коків, як правило, формуються з використанням води в ролі носія, високотемпературної зв'язуючої речовини (зазвичай силікату натрію) і вогнетривкого наповнювача або суміші наповнювачів. Існує дві категорії покриттів:

- ізолюючі: містять суміші ізоляційних мінералів, таких як тальк, слюда, кизельгур, діоксид титану, глинозем та ін.
- мастильні: на основі колоїдного графіту або нітриду бору, щоб сприяти вийманню виливка.

Покриття, як правило, розпорошуються на штамп. Ретельна увага до підготовки штампу, підготовки та нанесення покриття, а також типу обладнання для нанесення покриттів, що використовується, може дати значні переваги для якості й продуктивності.

[175, Браун, 1999]

2.6.2.2 Лиття під високим тиском

Термін «лиття під тиском» часто означає «лиття під високим тиском». Процес використовує постійні (багаторазові) штампи (металеві форми), в які розплавлений метал піддається високому тиску. Застосування високого тиску спричиняє високий і турбулентний металевий потік, що дає змогу виготовляти виливки з високою площею поверхні та низькою товщиною стінок. Штампи зазвичай виготовляються з двох сталевих блоків, кожен з яких містить частину порожнини, які замикаються між собою під час виготовлення виливка. Через високий тиск металу максимальний розмір виливку обмежений максимальною силою замикання половинок виливка. Висувні та знімні стрижні використовуються для формування внутрішніх поверхонь. Через високий тиск у металі можна використовувати лише металеві стрижні. Це обмежує складність литої деталі. Метал тримається під тиском, поки він не охолоне і не затвердне. Потім половинки штампу відкриваються, а виливок видаляється, як правило, за допомогою автоматичної системи. Штампи попередньо нагріваються та змащуються перед використанням, або вони охолоджуються повітрям чи водою для підтримки бажаної робочої температури. Застосовуються два основні типи установок для лиття під високим тиском (HPDC): гаряча камера або холодна камера (див. рис. 2.46).

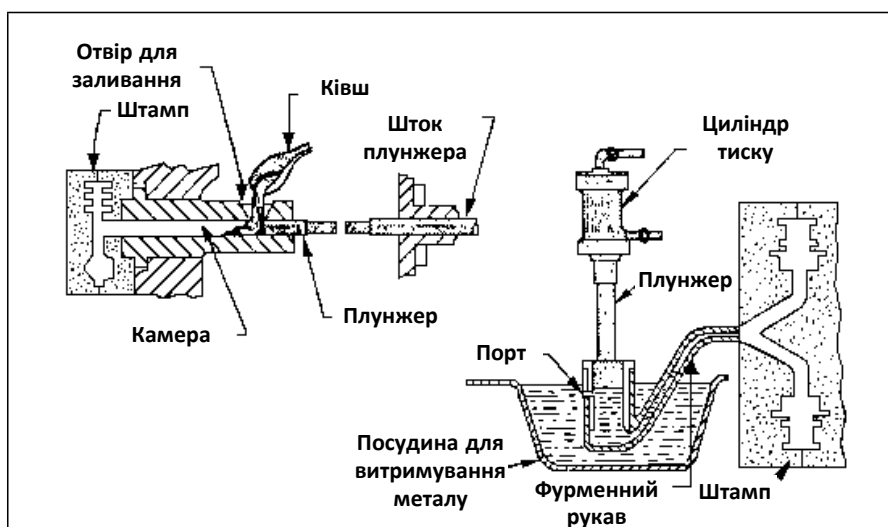


Рис. 2.46: Устаткування для лиття під високим тиском із холодною камерою та з гарячою камерою [42, Управління з охорони довкілля США, 1998]

Установки HPDC з гарячою камерою складаються з резервуару для розплавленого металу, штампа і пристрою для перенесення металів, який автоматично відводить розплавлений метал із резервуару та під тиском пресує його в штампі. Для створення необхідного тиску всередині штампу використовується сталевий шток і система циліндрів з фурменним рукавом. Пристрій із фурменним рукавом використовує чавунний канал для перенесення розплавленого металу з резервуара до штампу. Тиск може коливатися від декількох бар до понад 350 бар. Технології гарячої камери зазвичай застосовуються для сплавів цинку та магнієвих сплавів.

Установки HPDC з холодною камерою мають резервуари для розплавленого металу окремо від ливарної машини. Метал у розрахунку на одне лиття закладають вручну або механічно в невелику камеру, з якої він під сильним тиском витісняється у штамп. Тиск виробляється через гідравлічну систему, підключену до штока, і зазвичай знаходиться в межах від декількох сотень бар до 700 бар. В установках із холодними камерами метал знаходиться трохи вище температури плавлення і знаходиться у зрідженому стані. Оскільки метал контактує зі штоком і циліндром лише короткий проміжок часу, процес застосовується здебільшого для алюмінієвих сплавів, і меншою мірою сплавів магнію, цинкових сплавів і навіть сплавів із високою температурою плавлення, таких як латунь і бронзи.

Для успішного лиття під високим тиском необхідне належне змащування штампів і плунжерів. Змащення штампу впливає на якість виливку, щільність і оздоблення поверхні, простоту заповнення порожнини та простоту вибивання виливків. Належне змащення також може збільшити продуктивність, знизити вимоги до технічного обслуговування та зменшити накопичення матеріалу на поверхні штампу. Хоча конкретні формули є інтелектуальною власністю чи торговими марками, загалом мастильні матеріали (їх також називають агентами вивільнення чи протиадгезивними речовинами) – це суміш мастила та матеріалу-носія. Склад може також включати добавки для інгібування корозії, підвищення стійкості під час зберігання та протистояння бактеріальній деградації. Змащувальні матеріали, як правило, є мінеральними оліями та восками у водних емульсіях. Все ширше використання знаходять силіконові олії та синтетичні воски. На сьогоднішній день застосовуються як мастильні речовини на водній основі, так і мастила на основі розчинника. Однак мастильні матеріали на водній основі домінують на ринку (95 %). Мастило наносять на відкриту матрицю розпиленням, між кожним видуданням. Використовують розведені розчини мастила (співвідношення «агент вивільнення: вода» 1:20 – 1:200). Зараз розробляються альтернативні електростатичні порошкові покриття.

Лиття під високим тиском не застосовується до сталі та сплавів із високою температурою плавлення. Ця техніка знаходить широке застосування в алюмінієвих виливках. Штампи дорогі, але можуть здійснювати 150 000 обдудвань. Тому цей процес є найпридатнішим для тривалого лиття. Однією з головних переваг HPDC перед іншими методами лиття є те, що виготовлені виливки можуть мати дуже складні форми. Можливість лиття складних фігур часто дає змогу виготовити виріб з одного лиття замість складання з литих компонентів. Це може значно зменшити витрати на вилівок, а також витрати, пов'язані з виготовленням та обробкою. Більше того, HPDC виробляє виливки, які мають високу ступінь точності розмірів та зачищення поверхні в порівнянні з іншими методами лиття, що може допомогти зменшити або усунути дорогі етапи обробки. Нарешті, методом HPDC можна виготовити виливки з відносно тонкими перегородками стінок. Це може привести до значної економії матеріальних витрат і зменшення ваги компонентів.

У реальному процесі HPDC відносно мало відходів у порівнянні з іншими процесами лиття металів. Однак під час закачування металу трапляються деякі газоподібні й димові викиди. Утворюються гази оксиду металу під час випаровування та конденсації деяких металів. Газоподібні викиди можуть виникати від: самого розплавленого металу; виділення хімічних речовин із мастила під час розбризкування на гарячу металеву матрицю (штамп); та при контакті з розплавленим металом. Від будь-якого витоку чи розливу гідравлічного масла чи мазуту, а також від охолоджувальної води можуть відбуватися викиди у воду. [42, Управління з охорони довкілля США, 1998], [128, ІНОВЕ, 1998], [175, Браун, 1999], [225, TRG (TWG), 2003]

2.6.2.3 Відцентрове лиття

При відцентровому литті виливки формуються під дією відцентрових сил при вільному заливанні розплаву металу у виливницю, яка обертається. Швидкість обертання та швидкість виливання металу змінюються залежно від сплаву, розміру та форми, що виливається. Вісь обертання, як правило, горизонтальна або під малим кутом (рис. 2.47). Деякі конкретні пристрої застосовують обертання навколо вертикальної осі. Отриманий матеріал має дуже щільну структуру і властивості, які неможливо отримати при литті у піщані форми.

Ця техніка використовується для виробництва циліндричних виробів із чавуну, сталі та сплавів алюмінію, міді та нікелю. Типовими деталями, що виготовляються з використанням цього процесу, є труби, котли, втулки, кільця, бандажі вагонів та інші деталі, які є вісесиметричними.

[179, Хоппенштедт, 2002]

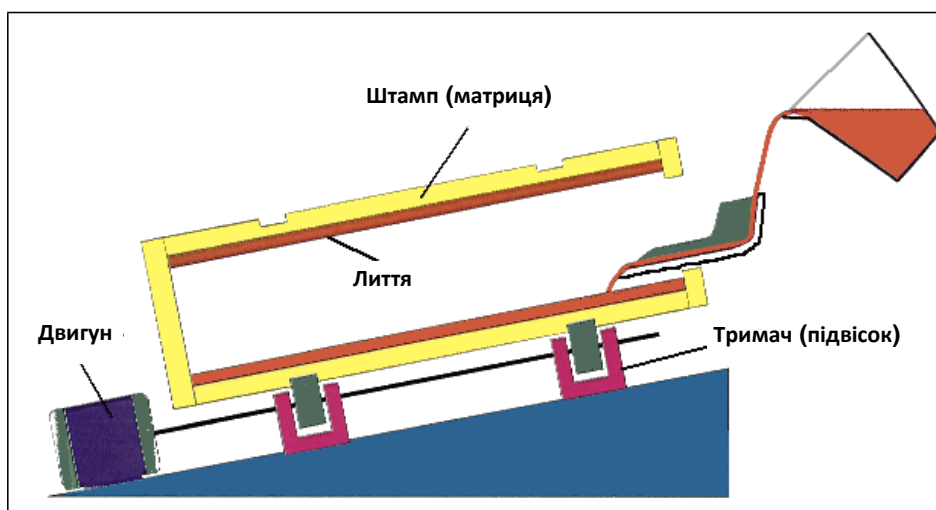


Рис. 2.47: Схематичне зображення машини для відцентрового лиття [179, Хоппенштедт, 2002]

2.6.2.4 Безперервне лиття

Безперервне лиття являє собою пристрій високої продуктивності для виготовлення брусків, труб і профілів, де завдяки швидкому охолодженню отримують дрібнозернистий матеріал з якісними механічними властивостями. При безперервному литті розплавлений метал відливають у матрицю з водяним охолодженням, відкриту знизу або збоку (див. рисунок 2.48). Штамп надає виробу потрібну форму. При інтенсивному охолодженні зовнішня частина металевого виробу твердне, при цьому вона повільно виймається з форми. Завдяки безперервному виливанню та вийманню, продукт стає довше, коли виймається з форми. Пальник вирізає виріб щоразу, коли буде досягнута бажана довжина виробу. Цей прийом застосовується як для лиття чорних, так і для кольорових металів. Метод застосовується для лиття брусків, плит і листів як завершальний етап у виробництві чавуну, сталі та кольорових металів. Його використання в цьому контексті описано в ДД НДТМ для галузей кольорових металів [155, Європейське бюро ІЗКЗ, 2001] та ДД НДТМ щодо виробництва чавуну та сталі [211, Європейське бюро ІЗКЗ, 2000].

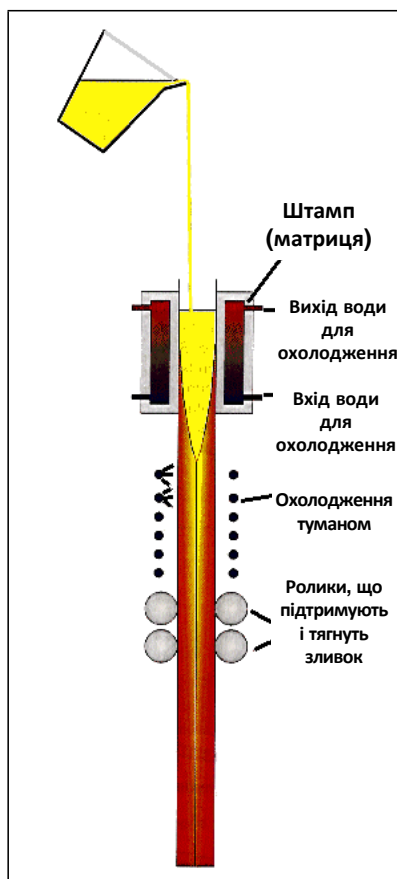


Рис. 2.48: Схематичне зображення машини для різьбового лиття, що використовується для безперервного лиття [179, Хоппенштедт, 2002]

2.7 Оздоблення та операції після лиття

Оздоблення сирих виливків охоплює всі необхідні процеси обробки для отримання готового продукту. Відповідно до цього процесу можуть знадобитися різні етапи, такі як:

- видалення ливникової системи
- видалення залишків ливарного піску з поверхні та стрижня, що залишається в порожнинах виливку
- видалення задирок, що лишилися від задирки
- усунення помилок лиття
- підготовка виливків для механічної обробки після лиття, складання, термічної обробки, нанесення покриття тощо

У деяких випадках, ливарні також виконують збірку, обробку поверхні та покриття виливків. Однак ці заходи не обговорюються в цьому документі. Методи обробки та покриття поверхонь обговорюються в документах ДД НДТМ щодо обробки поверхонь металів (STM BREF) та обробки поверхні за допомогою розчинників (STS BREF). [110, Віто, 2001], [225, ТРГ (TWG), 2003]

2.7.1 Видалення системи литва

Під час оздоблення та обробки необроблених виливків і видалення ливникової системи (див. рисунок 2.49) відбуваються наступні операції:

- *Збивання, натискання:* У випадку крихких матеріалів, таких як вилівки із сірого чавуну та білого ковкого чавуну, фаски та живильники, їх, як правило, можна збити. Для цього завдання все частіше використовується гідравлічне обладнання
- *Шліфування із шліфувальними кругами:* Вони можуть бути ручними, напівавтоматичними або автоматичними
- *Різання:* Для видалення масивних шматочків у вуглецевій сталі або низьколегованій сталі застосовують киснево-ацетиленовий різак. Для чавуну або високолегованої сталі застосовують киснево-ацетиленовий порошок або киснево-LPG-порошкові різак
- *Розпилювання:* Матеріали, що є чутливими до тепла, такі як алюмінієві сплави, зазвичай пилять.



Рис. 2.49: Лиття з литниковою системою [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Внаслідок якісного проектування точок з'єднання, система живлення може навіть зламатися під час вибивання. Здебільшого це стосується сірого чавуну.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [202, ТРГ (TWG), 2002]

2.7.2 Видалення піску

Видалення піску виконується в обдувних кабінах. Середовище обдування адаптоване до матеріалу, який підлягає обробці, і коливається від піскоструминної крупки до скляних кульок. Очищення модельних пластин і кокілів виконується скляними намистинами, алюмінієвими намистинами або зернами льоду з CO_2 . На рисунку 2.50 показано приклад виливків до і після обдування.

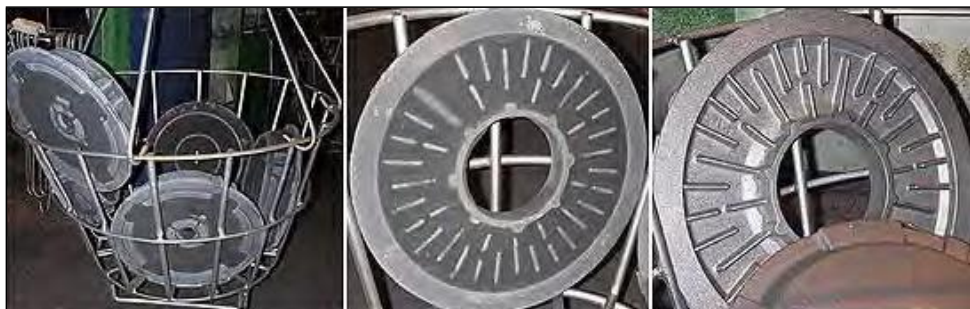


Рис. 2.50: Вилівки до (л, м.) та після (г.) усунення піску шляхом обдувки [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Існують різні методи обдувки. Воно здійснюється за допомогою стисненого повітря або лопаток турбіни. Обробка проводиться в закритому приміщенні, із дверцятами, закритими гумою.

Виливки підвішені на монорельсі та переміщуються партіями через кабінку обдування. Для менших деталей використовується спеціальний рухомий пояс. Великі деталі обдувають вручну, використовуючи кисневу фурму в закритій кабінці. У цьому випадку дуже важливі заходи особистої безпеки. Потрібен шолом з пиловою маскою та дихальним обладнанням.

Грубий пи́л (пісок і металеві пластівці), що утворюється при обдуванні, збирається разом із сіткою. Матеріал обезпилюється, магнетично відокремлюється та просіюється. Дрібну фракцію видаляють із відпрацьованого повітря разом із грубою фракцією, використовуючи мішковий фільтр. Очищення сітки перед внутрішнім повторним використанням має важливе значення, оскільки наявність піску може спричинити швидке зношування металевих лопаток.

2.7.3 Очищення литва

Задирки, які виникають в місцях, де з'єднуються форма і стрижень, на полосах та інших нерівностях поверхні, видаляють за допомогою шліфувальних крутів і шліфувальних каменів. Шліфувальні крути ручні, а у випадку шліфувальних каменів виливок притискається до каменю.

Інші методи, які використовуються, включають:

- *Шліфувальний суппорт*: Задирки та невеликі кількості іншого зайвого матеріалу на поверхні виливка можна видалити без ручного шліфування. Частини обертаються в барабанах або вібруючих ємностях разом з абразивними формами, внаслідок чого їх протирають один одним, а також абразивними колесами. У типовому блоці виливки шліфують за допомогою шару з пірамідальних шліфувальних каменів разом з додаванням водно-мильної емульсії. Шорсткість і розмір шліфувальних каменів змінюються залежно від розміру виливків
- *Обробка в поворотному барабані*: Ця техніка, що також називається видаленням обдуву, використовується для видалення тонких задирок або невеликої кількості залишків лиття. Під час цього процесу задирки видаляються в процесі безповітряного очищення в результаті удару деталей разом в обертовому барабані. При цьому краї закруглюються. Іноді в процесі допомагає рідина.



Рис. 2.51: Задирки (а.) та їх усунення шліфувальним каменем (б.) та ковзким шліфуванням (в.) [237, Гельсінський університет технологій (НУТ), 2003]

Автоматизація цих операцій є важкою через мінливість форми задирок і необхідність легко та швидко фіксувати виливок. Утім, у серійному виробництві все частіше застосовуються автоматичні шліфувальні машини. Сирі виливки вставляються в такі машини, щоб виготовити деталі, що належно працюватимуть, які не потребують переобладнання та подальших ручних робіт зі шліфування.

Крім того в автоматизованих лініях застосовуються наступні методи:

- *Прошивання*: Завдяки використанню техніки різання та формування, деталі із серійного лиття часто проєктуються так, що задирки неминуче виникають у заздалегідь визначених кількостях, але вони легко доступні в аспекті обробки. Якщо серія досить велика, то можна спроектувати спеціальні інструменти для швидкого видалення задирок і надання виливку рівномірному контуру.

- *Фрезерування*: З розвитком електронних засобів управління технологічними машинами стає все простіше складати програми, за допомогою яких можна обробляти окремі деталі. У такий спосіб для менших серій можна використовувати фрезерні верстати замість прошивальних верстатів з їхніми односпрямованими інструментами. Під час такого процесу деталі приймаються пристроєм і передаються через ряд різних фрезерних верстатів.

Врешті може проводитися зварювання для того, щоб з'єднати виливки, а також виготовити і виправити недоліки лиття. У більшості випадків застосовується дугове зварювання. Залежно від вимог і робочого обладнання воно проводиться ручними паличними електродами, або зварювальним дротом, інертним газом або без нього. У литті сталі застосовується зачищення (видалення дефектів поверхневою кисневою різкою), яке полягає в нанесенні канавок для зняття напруги. Для цього використовується ріжучий паличок з вуглецевим електродом із мідним покриттям.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002]

2.8 Термічна обробка

2.8.1 Вступ

Для виливків із чорних металів зазвичай використовуються два види термічних процедур, які можна застосувати: відпал і гартування. У разі відпалу напруга, що виникає в деталі внаслідок заливання та подальшого охолодження виливків, зменшується, а конструкція вирівнюється. У разі гартування рівень тепла підвищується вище температури трансформації, а заготовка згодом швидко охолоджується в процесі, відомому як гартування. Це приводить до зміни властивостей матеріалу. Використання води, олії/оліфи або гартування повітрям може дати різні результати. «Гартування та відпуск» – це назва процедури, при якій деталь повторно нагрівається до температури гартування після гасіння, а процедура гартування повторюється.

Відпалювання до отримання ковкого чавуну – це термічна обробка, яка відрізняється від простого відпалу та гартування. Тут ковкий незавершений вилівок або перетворюється на білий, або на чорний вилівок залежно від процедури.

Багато кольорових виливків використовуються у стані «лиття», але для деяких застосувань потрібні кращі механічні властивості, ніж просто в «литого» матеріалу. Можливі способи обробки – це відпал, контрольоване охолодження, термообробка розчином (відпущення), штучне старіння і двоступеневе старіння.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [175, Браун, 1999]

2.8.2 Печі з термічною обробкою

2.8.2.1 Камерні печі

Камерні печі є найпоширенішими у пічному будівництві. Їх фактична конструкція була адаптована у багатьох підформах для задоволення потреб у різній термічній обробці різних типів лиття і виробництва. Деякі приклади камерних печей – це печі з висувним подом, ковпакові печі, матенівські печі та ін. Камерні печі з постійно діючими засобами транспортування називаються тунельними печами. Опалення забезпечується або електричним шляхом, або газом або мазутом.

Для кольорових матеріалів деяку термічну обробку проводять поблизу точки плавлення виливку, тому потрібен точний контроль температури. Примусова циркуляція повітря використовується для того, щоб температура в усіх частинах печі була постійною і рівномірною.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [175, Браун, 1999]

2.8.2.2 Шахтні печі

Труби, довгі хвилясті елементи та подібні частини часто обробляються підвішеними в шахтних печах у вертикальному положенні. У шахтних печах нагрівання забезпечується електрикою, газом або мазутом.

2.8.2.3 Термічні печі (відпалу)

Камерні, ковпакові або тунельні печі використовуються для гартування незавершених виливків. Нагрівання таких печей здійснюється за допомогою електроенергії, газу або мазуту.

2.8.3 Гартування

У процесах термічної обробки охолодження – це зниження температури деталі з більшою швидкістю, ніж просто на повітрі. Цього можна досягти за допомогою швидкого занурення у воду чи олію (див. рис. 2.52), а також примусовим повітряним охолодженням. Слід подбати про те, щоб деталі охолоджувались рівномірно. Під час занурення в рідину необхідно або переміщувати деталі, або рідина повинна постійно циркулювати, щоб забезпечити повне і рівномірне охолодження всіх частин деталі. За аналогічним принципом при гартуванні повітрям процедура видування повинна бути влаштована так, щоб повітря охоплювало всю поверхню.

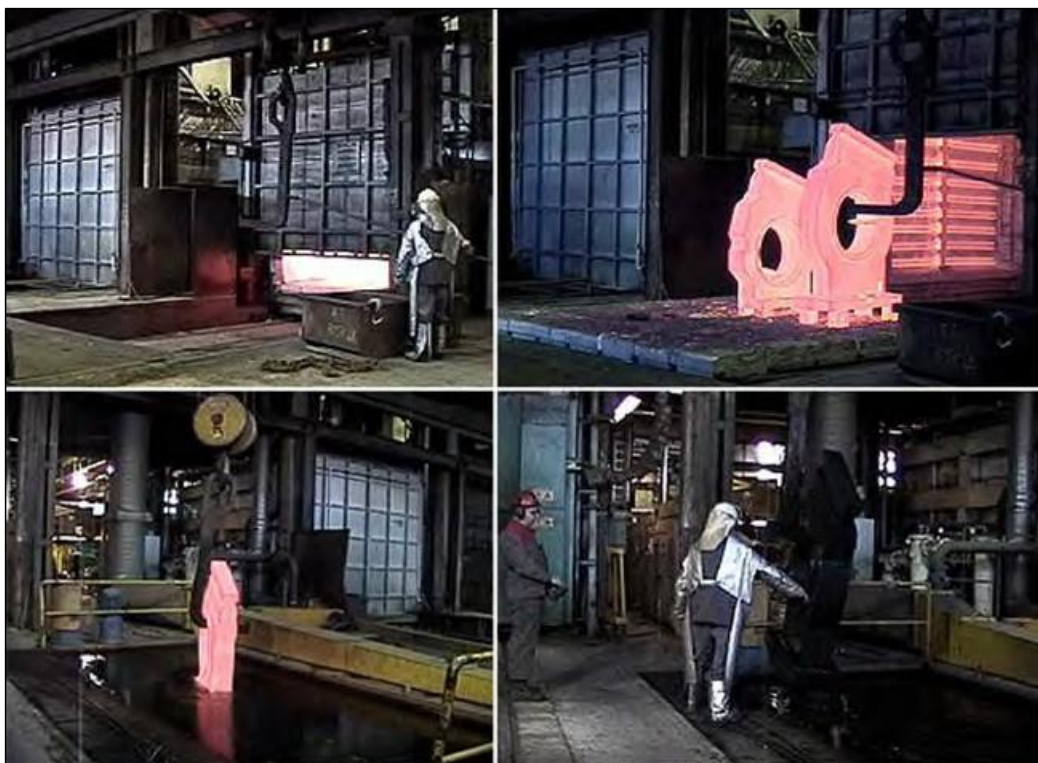


Рис. 2.52: Гартування гарячого виливку незабаром після термічної обробки [237, Гельсінський університет технологій (HUT), 2003]

2.8.4 Термічна обробка пластичного заліза (заліза SG)

Вочевидь, бажано досягти необхідних властивостей металу в його «литій» формі для сприяння необхідним подальшим обробкам, але це не завжди можливо через зміни товщини секцій тощо. Термічна обробка виливків може упередити появу карбідів у секціях, допомогти виготовленню послідовніших матричних структур і часто для даної структури вдосконалити її механічні властивості, особливо шляхом нормалізації структури зерна.

Там, де потрібні загартовані конструкції мартенситу, термічна обробка просто необхідна. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [174, Браун, 2000]

2.8.4.1 Зняття напруження

Зняття напруження полягає в нагріванні виливка зі швидкістю від 50 – 100 °С/год до 600 °С (з обережністю, щоб не перевищити 610 °С) із подальшим замочуванням мінімум на одну годину плюс додаткову годину на кожні 25 мм товщини секції в найтовстішій частині, а потім з охолодженням виливків зі швидкістю 50 – 100 °С/год або менше. Виливки повинні бути належно підтримані в печі, щоб вони не зазнавали напруження.

2.8.4.2 Розпад карбідів

Виливки з тонким розрізом можуть містити карбіди у «литій» структурі. Їх можна усунути, замочуючи виливки при 900 – 925 °С протягом 3 – 5 годин.

2.8.4.3 Відпалювання для отримання феритової матриці

Відпалювання передбачає замочування виливка при 900 – 925 °С протягом 3 – 5 годин із подальшим повільним охолодженням близько 20 – 35 °С/год через критичний діапазон температур (близько 800 – 710 °С) і, нарешті, охолодження печі при, скажімо, 50 – 100 °С/год до 200 °С.

2.8.4.4 Нормалізація для отримання перлітної матриці

Для нормалізації необхідне замочування виливків вище критичної температури з подальшим охолодженням повітря. І знову зазвичай використовують температуру замочування 900 – 925 °С, щоб забезпечити руйнування карбідів. Примусове охолодження повітря використовується для утворення перліту. Тип печі для термічної обробки та розмір навантаження визначають можливий цикл процесу. Може знадобитися коригування металевого складу оловом або міддю, щоб допомогти утворенню повністю перлітових структур.

2.8.4.5 Виготовлення загартованих і відпущених структур

При 900 – 920 °С з подальшим гасінням олією/оліфою. Загартовування зазвичай проводиться при температурі 600 – 650 °С.

2.8.4.6 Аустенітний високоміцний чавун (ADI)

Аустенізація являє собою ізотермічну обробку для отримання аусферитових структур. Це може подвоїти міцність високоміцного чавуну, одночасно даючи йому змогу зберігати гарну пластичність і міцність. Властивості зносу та втоми є настільки високими, що ADI можна порівняти з кованою та загартованою сталлю.

Термообробка ADI – це двоступеневий процес, як це показано на рисунку 2.53. Аустенізація проводиться при 815 – 930 °С для повного перетворення матриці в аустеніт. Це робиться або в печі без окислення атмосфери, або на соляній бані з високою температурою. Температури та час визначаються хімічним складом, розміром секції та необхідним сортом ADI; зазвичай достатньо від 1 до 1,5 години. Бажаним є повільне початкове нагрівання лиття, щоб уникнути ризику розтріскування складних форм. Потім виливки гасять до необхідної ізотермічної температури термічної обробки, як правило, від 210 до 400 °С. Зазвичай це робиться на соляній бані.

Виливки перебувають при цій температурі протягом 1 – 2 годин для завершення трансформації аустеніту в аусферрит. Нижчі температури дають високу твердість, міцність і зносостійкість, тоді як вищі температури нагрівання приводять до підвищення пластичності та міцності. Після ізотермічної обробки виливки охолоджують до температури навколишнього середовища.

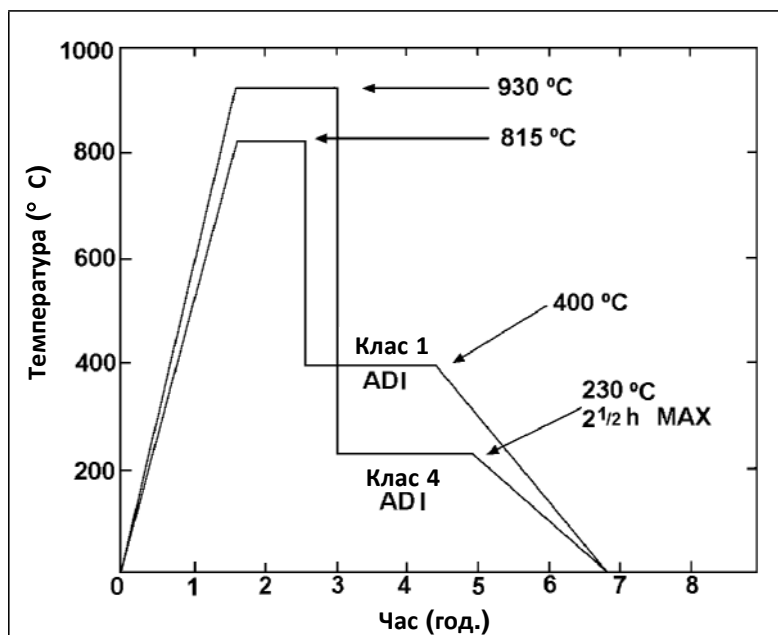


Рис. 2.53: Типові етапи ізотермічного гартування
[174, Браун, 2000]

Нелеговані високоміцні чавуни можна аустенізувати на ділянках товщиною близько 8 мм. Виливки з товстими секціями вимагають додавання Мо або Ні для підвищення прогартовуваності.

Аустенізований високоміцний чавун використовується як заміна кованих сталевих деталей у сільськогосподарській, залізничній, автомобільній галузях і загальному машинобудуванні; для виготовлення, наприклад, наконечників плуга, зубчиків копачів, пружинних кронштейнів, кронштейнів заднього моста, шестірні тощо. Виробництво ADI зростає, але його використання певною мірою обмежується відсутністю відповідних установок для термічної обробки.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [174, Браун, 2000]

2.8.5 Термічна обробка сталі

Сталеві виливки зазвичай підлягають термічній обробці перед здачею, наприклад, нормалізації, при цьому термічна обробка призводить до структурних змін. Крім того, необхідно зменшити потенційні напруження при литті (відпалювання для зняття напруження). Багато характеристик виливків зі сталі потрібно додатково загартувати після відпалювання напруження (гартування з високим відпуском).

Більшість сталевих виливків піддаються термічній обробці для досягнення бажаних механічних властивостей та зняття напруження, для отримання правильної корозійної стійкості й уникнення труднощів під час оздоблювальних робіт. Термічна обробка визначається відповідно до марки сталі. Для видалення хімічної та структурної сегрегації зазвичай проводять відпалювання при високій температурі. Вуглецеві й низьколеговані сталі проходять:

- нормалізацію та охолодження повітрям, або
- аустенізацію, гартування та обробку (гартування з високим відпуском).

Аустенітні або дуплексні сталі зазнають термообробки розчином (відпущення), відпалювання та гартування водою. Для усунення внутрішнього напруження матеріалу також застосовуються додаткові термічні обробки, такі як зняття напруження або заходи після зварювання.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [202, TRG (TWG), 2002], [225, TRG (TWG), 2003]

2.8.6 Термічна обробка алюмінію

Виливки з алюмінію піддаються термічній обробці для: гомогенізації, зняття напруження, поліпшення стабільності розмірів і здатності до обробки, оптимізованої міцності, пластичності, в'язкості та корозійної стійкості. Найчастіше термічна обробка – це компроміс між різними ефектами з максимізацією одних важливих властивостей, часто використовуючи для цього інші властивості. Термічна обробка алюмінію може включати: відпалювання, термічну обробку розчином (відпущення), гартування, штучне старіння та двоступеневе старіння. Тип обробки, що застосовується, позначається суфіксом до позначення сплаву. Це називається позначенням гартування. Для лиття в піщані форми, гравітаційного лиття і лиття під низьким тиском можливі всі види обробки, хоча не всі вони стандартизовані. Виливки, що виготовлялися під тиском, не піддаються відпущенню і не гартуються так само, як виливки, що виплавлялись у піщаних формах, гравітаційним литтям і литтям під низьким тиском. Захоплені бульбашки газу можуть розширюватись і спричиняти дефекти виливку. Термічна обробка не є загальним кроком для лиття під високим тиском; лише близько 1 % виливків цього типу піддаються термічній обробці. Усі виливки, що виготовляються під тиском, можуть бути загартовані від штампу, відпущення та зняття напруження, не зазнаючи шкідливих наслідків. При виробництві алюмінієвих коліс литтям під низьким тиском 90 % виливків піддаються термічній обробці [225, ТРГ (TWG), 2003].

2.8.6.1 Відпущення та відпалювання

У виливках зі змінами перерізу або складної форми ймовірно виникне внутрішнє напруження. Потім вони можуть викликати зміни розмірів при обробці. Для стабілізації виливку та зняття внутрішніх напружень виливки нагрівають до температури 200 °C протягом 5 годин з подальшим повільним охолодженням у печі.

2.8.6.2 Обробка розчином і гартування

Виливки нагрівають при температурі трохи нижче температури плавлення і тримають там тривалий час, щоб перевести легувальні компоненти в однорідний твердий розчин. Потім виливки швидко охолоджуються шляхом гартування до кімнатної температури для збереження елементів у розчині. Використовуються вода або спеціальні гартувальні речовини. Резервуари для гасіння розміщують впритул до печі, щоб забезпечити швидке охолодження. Хоча чутливість до інтервалу гартування відрізняється від сплаву до сплаву, належна практика повинна обмежувати інтервал до 5 – 10 с.

2.8.6.3 Двоступеневе старіння

Контрольоване двоступеневе старіння легувальних компонентів сприяє нагріванню виливка до температури від 150 °C до 200 °C. Міцність і твердість виливка збільшуються. Тому цей процес також називають структурним гартуванням. Кожен сплав має оптимальний цикл теплової обробки.

2.8.6.4 Штучне старіння

Деякі виливки зі сплавів збільшують міцність і твердість, залишаючись при кімнатній температурі. Процес може зайняти кілька тижнів, але його можна пришвидшити, нагріваючи вище кімнатної температури, а потім із часом підтримуючи це тепло.

[175, Браун, 1999], [202, ТРГ (TWG), 2002], [213, STIF та CQRDA, 2002], [212, Заленсас, 1993]

2.9 Контроль якості

Під час контролю якості готового виливка він перевіряється на відповідність вимогам, що стосуються виробу, наприклад розмірів, дефектів металевої конструкції, структури поверхні. Залежно від типу виливку та розміру серії, контроль якості може бути досягнутий візуальним оглядом, із застосуванням засобів вимірювання, або автоматично.

В рамках виробництва алюмінієвих коліс виливки контролюються за допомогою рентгенівського аналізу. Стандартне зображення хорошого виливку використовується для перевірки комп'ютерною програмою. Якщо є якісь відмінності, зображення вивчається та оцінюється оператором (людиною). Випадкові випробування сплаву аналізуються за допомогою спектрального аналізу.

Процедура контролю якості надає остаточне рішення про бракування виливку або про надання дозволу для його подальшого відвантаження на ринок. Збраковані виливки повертаються до стану вхідної сировини для переплавлення.
[225, ТРГ (TWG), 2003]

3 ПОТОЧНІ РІВНІ ВИКИДІВ ТА СПОЖИВАННЯ НА ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

3.1 Огляд масових напрямів і течій

3.1.1 Вступ

Загальний огляд масових напрямів для ливарного процесу наведено на рисунку 3.1. Ця схема зазвичай застосовується для ливарних виробництв чорних і кольорових металів. Конкретні аспекти різних етапів і типів процесу будуть деталізовані нижче.

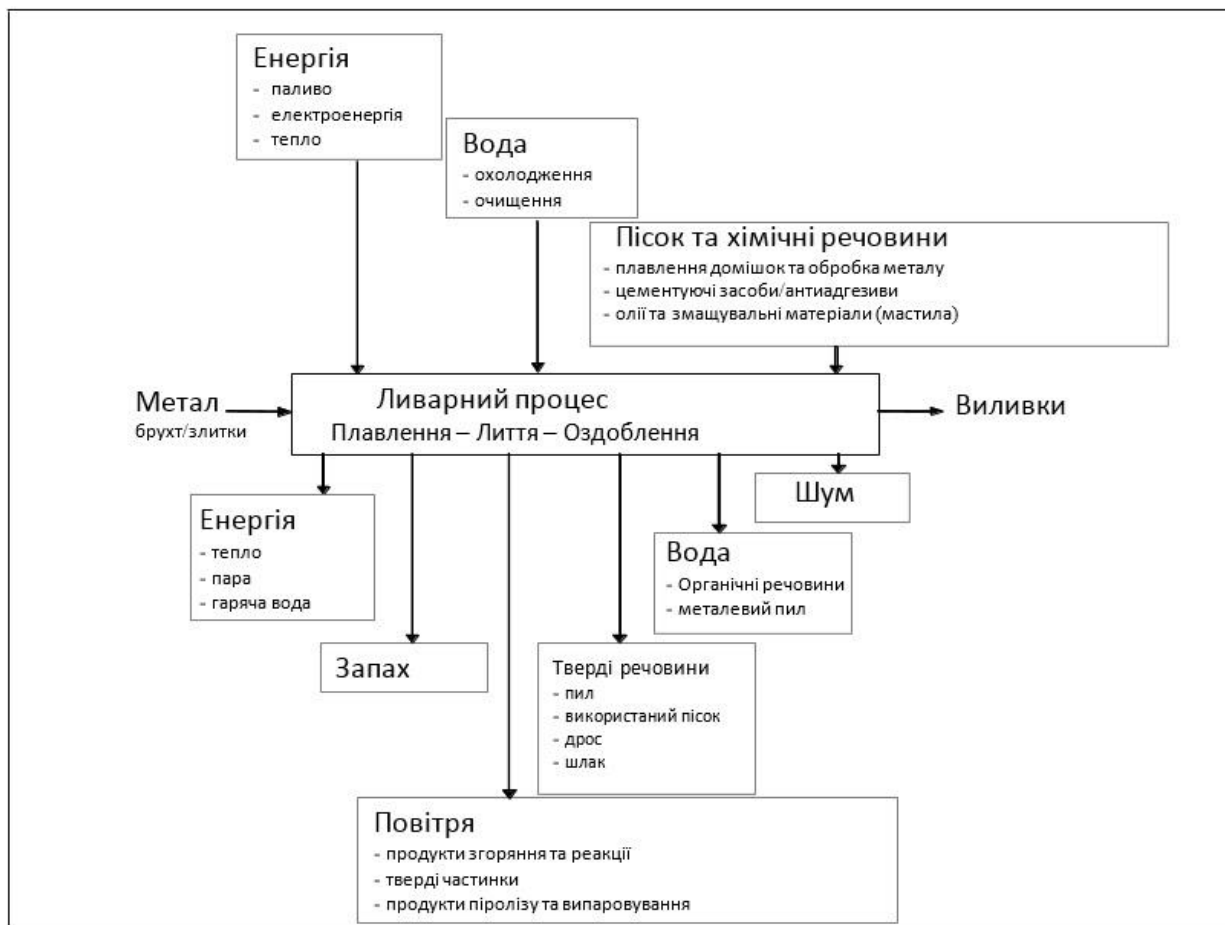


Рис. 3.1: Короткий огляд масового потоку ливарного процесу

3.2 Плавлення та обробка чорних металів

3.2.1 Властивості плавильних печей для сталі та чавуну

Таблиця 3.1 представляє огляд типових властивостей плавильних печей, що застосовуються для сталі та чавуну. Потім, в пунктах, що наведено нижче, ці дані обговорюються детальніше.

Процес	Сталь			Чавун					
	Електродугова піч		Індукційна піч	Індукційна піч	Вагранка			Ротаційна піч	
Тип	Електродугова піч		Індукційна піч	Індукційна піч	Вагранка			Ротаційна піч	
Підтип	З кислотною футеровкою	З базовою футеровкою	Тигельна	Тигельна	З холодним дуттям	З гарячим дуттям	З гарячим дуттям – тривалого плавлення	Безкоксва – дуплексна комплектація	
Джерело енергії	Електроенергія	Електроенергія	Електроенергія	Електроенергія	Кокс	Кокс	Кокс	Газ/паливо	Газ/паливо
Теплоефективність ¹ (%)	60 – 70	60 – 70	50 – 60	50 – 60	30 – 40	40 – 45	35 – 45	50 – 60	50 – 60
Первинна теплоефективність ² (%)	21 – 25	21 – 25	15 – 20	15 – 20	30 – 40	40 – 45	35 – 45	45 – 50	35 – 45 ³
кВт·год/тону металевої шихти	500 – 700	500 – 700	520 – 800	520 – 800	950 – 1200	800 – 900	810 – 1100	700 – 800	600 – 800
Серійне/тривале плавлення	Серійне	Серійне	Серійне	Серійне	Тривале	Тривале	Тривале	Тривале	Серійне
Норма виробництва ⁴ (тонн/год)					2 - 10	8 - 70	8 - 70	>5	
Потужність печі ⁵ (тонн)	2 – 50	2 – 50	0,01 – 30	0,01 – 30					1 – 20
Тривалість плавлення (год)	1 – 4	1 – 4	1 – 2	1 – 2					2 – 4
Здатність до рафінування	Можливе	Можливе	Ні	Ні	Так	Так	Так	Ні	Ні
Капітальні витрати	Високі	Високі	Високі	Високі	Середні	Високі	Високі	Середні	Низькі
Виробництво шлаку (кг/тону металевої шихти)	10 – 40	20 – 80	10 – 20		40 – 80	40 – 80		40 – 80	20 – 60
Виробництво пилу ⁶ (кг/тону металевої шихти)	5 – 8		0,06 – 1		5 – 13	4 – 12		0,8	0,3 – 2,9
Викиди відпрацьованих газів⁷ (кг/тону металевої шихти)									
CO ₂ ⁸	Залежно від виробництва енергії		Залежно від виробництва енергії		400 – 500	350 – 480		100 – 120	120
CO	7,5 – 25 (знеуглецювання)		н/з		Можливий ⁹	0,5 – 2,5		<10	1,0 – 1,5
SO ₂	<1		Незначні		1 – 2	<1		Залежить від палива	2,5 – 3,0
NO _x	н/з		н/з		<1	<1		0,5	0,3 – 0,4
1	Вказані значення задають порядок, але багато в чому залежать від умов експлуатації, таких як температура металу, потужність печі та норма виробництва								
2	Ефективність вироблення електроенергії приймається на рівні 35 %								
3	З урахуванням споживання енергії на отримання кисню та сировини, такої як графіт і FeSi, заміщають окислені елементи під час плавлення								
4	Тільки для процесів тривалого плавлення								
5	Тільки для процесів серійного виробництва								
6	Вказані значення – це узагальнені значення, знайдені в літературних джерелах								
7	Вказані значення – це узагальнені значення, знайдені в літературних джерелах								
8	Передбачаючи повне згоряння								
9	Залежно від місцевих умов експлуатації та конструкції.								

Таблиця 3.1: Типові властивості й дані щодо викидів плавильної печі [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001], [202, TRG (TWG), 2002], [225, TRG (TWG), 2003] та коментарі від СТІФ

3.2.2 Вагранки

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– чорні метали (чавунні чушки, гаряче брикетоване залізо, сталевий скрап, повернення ливарного виробництва ...)	– сплав металу (чавун)
– легований метал (ферросплави ...)	– пил (металовмісний)
– флюс (вапняк ...)	– CO/CO ₂ , SO ₂ , NO _x
– енергія (кокс, газ, нафтопродукти, електроенергія)	– HF
– кисень	– діоксини, фурани
– охолоджуюча вода	– органічні забруднювачі
– вода	– шлак
	– відходи від вогнетривких матеріалів

3.2.2.1 Кокс і споживання енергії

При холодному дутті витрата коксу між завантаженнями зазвичай становить 90 – 120 кг/т металевої шихти, але може бути менше 70 кг/т металевої шихти, наприклад у випадку противага. Облік кількості коксу в печі дає загальні витрати коксу на рівні 110 – 140 кг/т металевої шихти. Оскільки теплотворна здатність європейських коксів становить 8,5 кВт·год/кг, це відповідає подачі теплоутворення на рівні 950 – 1200 кВт·год/тонну металевої шихти.

Загальне співвідношення коксу у вагранці з гарячим дуттям зазвичай становить 110 – 145 кг/т металевої шихти. Однак, оскільки середній відсоток сталі становить 50 %, а на повторне збагачення вуглецем витрачається приблизно 1,5 %, реальне співвідношення випаленого коксу становить 95 – 130 кг/т металевої шихти, що становить 810 – 1100 кВт·год/тонну металевої шихти. Це відповідає тепловій ефективності від 35 до 45 %.

Залежно від плану розміщення установки, слід додати енергію, яку споживає обладнання для очищення димів і піч витримування, як це зазначено в таблиці 3.2. Німецькі дані вказують на конкретне використання електроенергії обладнанням для очищення димових газів при 20 кВт·год на тонну виливків належної якості. [202, TRG (TWG), 2002]

Тип енергоносія	Середнє споживання кВт·год/т металевої шихти
Газ для камери згоряння	40
Електроенергія для обладнання для очищення димових газів (вентиляторів тощо)	40
Електроенергія для печі витримування	60

Таблиця 3.2: Середній рівень споживання енергії для обробки відпрацьованих газів та витримування

3.2.2.2 Тверді частинки

Діапазон викидів твердих частинок дуже широкий. Викиди твердих часток залежать насамперед від типу вагранки, що використовується, як показано в таблиці 3.3:

Тип вагранки	Викиди пилу (кг/тонну металевої шихти)	Частка коксу (кг/тонну металевої шихти)
Холодне дуття	5 – 13	110 – 140
Гаряче дуття	4 – 10	95 – 130
Гаряче дуття без футеровки	5 – 12	115 – 135
Безкокосова	0,8	0

Таблиця 3.3: Рівні викидів пилу (відпрацьовані гази у вагранці) для різних типів вагранок [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

Рівні викидів пилу, що були виміряні в шахті для трьох німецьких печей, наведені у таблиці 3.4.

Очищення димових газів	Об'єм (м³/год)	Загальна кількість пилу (мг/м³)	PM ₁₀ (%)	PM _{2.5} (%)
Над колошниковим отвором; мішковий фільтр	28 500	7	88	47
Циклон, Вентурі, рекуператор	16 000	68 – 94	96	88
дані відсутні	6000 (нм³/год сух.)	75	100	45 – 85

Таблиця 3.4: Рівні викидів пилу та розподілу розмірів твердих частинок у вагранці [202, TRG (TWG), 2002]

Взагалі розміри частинок коливаються від менш ніж 1 мкм до 10 мкм, при цьому 50 % менше 100 мкм. Однак на 5-20 % менше ніж 2 мкм, що ускладнює збір пилу. Ваграночний пил складається здебільшого з коксу, кремнезему, іржі та вапняку, що й показано у таблиці 3.5.

Речовина	Склад (%)	
	[32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997]	[158, Шарбоньє та ін., 1998]
Оксид заліза	30 – 60	15 – 25
SiO ₂	± 25	15 – 30
Коксовий пил	3 – 15	дані відсутні
MnO	3 – 10	2 – 5
Al ₂ O ₃	1 – 3	2 – 5
MgO	1 – 3	0 – 2
CaO	<1	5 – 10
S	<2	дані відсутні
ZnO, залежно від шихти	<3	0 – 30 Zn*
PbO, залежно від шихти	<1	0 – 5 Pb*

* У вигляді оксидів і силікатів; застосовується для пилу, збагаченого Zn

Таблиця 3.5: Типовий склад пилу у вагранці, дані подано у вазі на сотню [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997] and [158, Шарбоньє та ін., 1998]

3.2.2.3 Відпрацьовані гази

Коксовий ваграночний газ складається зазвичай із N₂, CO₂, H₂O та CO з меншими кількостями SO₂. На звичайних вагранках, де відпрацьований газ збирається над колошниковим отвором, слід розрізняти стан димових газів під і над дверцятами колошникового отвору, оскільки навколишнє повітря потрапляє через відкриті двері отвору. Цей елемент на вході суттєво змінює загальний потік повітря.

Якщо ваграночні гази є досить гарячими, і якщо присутня достатня кількість CO, гази можуть спалюватися спонтанно разом із втягнутим повітрям (CO + O₂ → 2CO₂), і температура може підніматися до 900 °С. Тоді у вихлопі залишиться мало CO або взагалі не залишиться. Якщо не відбувається горіння, впуск повітря призведе до ефекту охолодження від 100 до 300 °С, а баланс CO/CO₂ залишиться незмінним. Температура газів трохи нижче колошникового отвору насамперед залежить від висоти завантаження; вхід навколишнього повітря визначається потужністю вентилятора або наявною природною тягою.

Потік нерозведених ваграночних верхніх газів пропорційний витраті коксу. Збільшення частки коксу в шихті призведе до зниження норми виробництва (тонни розплавленого металу/год), якщо підтримуватиметься той самий потік повітря. Тоді може бути необхідним посилити дуття для підтримки виробництва. Температура металу також зросте. Що стосується швидкості згоряння (C + O₂ → CO₂), то більше коксу і дуття повітря призведе до збільшення потоку відпрацьованих газів.

Для даної печі витрата коксу та повітря дуття залежать від цільової швидкості плавлення та температури металу, яка може змінюватися щогодини. Типові норми потоків, про які повідомляється в літературі, коливаються від 600 до 800 нм³/т металеві шихти для вагранок із холодним дуттям і від 500 до 700 нм³/т металеві шихти для вагранок із гарячим дуттям. Склад незагорілих верхніх газів може бути наступним (див. таблиця 3.6):

Речовина	Об'єм %
CO ₂	10 – 18
CO	5 – 15
H ₂	<1
SO ₂	<0,05
N ₂	Залишок

Таблиця 3.6: Склад незгорілого верхнього газу для вагранок [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

Над засувкою (дверцятами) колошникового отвору потік вихлопних газів може бути в два-п'ять разів більший, залежно від цільової температури (що залежить від типу системи запобігання пилу, яка застосовується) розведених газів та, у випадку рекуперативної вагранки з гарячим дуттям, наявності камери для заходів після згоряння. Типові значення для потоку, що подається – від 3000 до 4000 нм³/т металеві шихти, розплавленої для вагранок із холодним дуттям, і від 900 до 1400 нм³/т металеві шихти при виконанні заходів після згоряння (післяспалювання). Склад газів визначається швидкістю розведення (природна тяга або потужність вентилятора), ступенем спонтанного згоряння CO або самим післяспалюванням, яке може бути виконане при повному або частковому потоці. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

Дані про викиди для основних компонентів газів згоряння наведені в таблиці 3.7. Представлено вагранки з гарячим і холодним дуттям із різною потужністю плавлення. У таблиці також зазначено, чи збирається відпрацьований газ під засувками отвору або над ними. Системи з гарячим дуттям показують знижений рівень викидів SO₂. Дезінтегратор демонструє кращі показники обезпилювання, ніж скруббер Вентурі. Застосування заходів після згоряння чітко впливає на рівень CO та NO_x при оптимальних робочих умовах. Загальний аналіз даних кампанії з вимірювання показує, що неоптимальна робота вагранки з гарячим дуттям призводить до збільшення викидів CO: 2000 мг/нм³, порівняно з 5 – 20 мг/нм³ в оптимізованих умовах. Викиди VOC та PAH збільшуються відповідно. [110, Віто, 2001]

Використання сухого обезпилювання (тобто використання мішкового фільтра) приводить до рівня викиду пилу ≤20 мг/нм³. Дані з інвентаризації італійських заводів показали рівень пилу нижче 30 мг/нм³ (починаючи від 0,1 – 32 мг/нм³), коли застосовували мішковий фільтр. Вологе очищення дає викиди пилу до 80 мг/нм³ (від 5,4 до 78 мг/нм³) [180, Assofond, 2002]. Повідомлялося про значення 68 – 94 мг/м³ для німецької вагранки з вологим очищенням скруббером (див. таблицю 3.4).

Тип вагранки	Потужність тонна/год	Тип вихлопів	Потік м ³ /год	Обладнання FGC	Пил мг/нм ³	SO ₂ мг/нм ³	CO мг/нм ³	NO _x мг/нм ³	HF мг/нм ³	O ₂ % об.
Гаряче дуття ¹⁾	19	UC	29000	Вентурі ¹⁾	41	21	17798	21	дані	11
Гаряче дуття	20	UC	40000	Дезінте- грагор	5	57	712	11	відсутні	11
Гаряче дуття	24	UC	46445	Мішковий фільтр	1,1 – 1,4	20	14 – 17	70 – 75	дані	11
Гаряче дуття	25	UC	35000	Вентурі	36	28	21	16	відсутні	11
Гаряче дуття	60	UC	75000	Дезінте- грагор	5	58	9	7	дані	11
Холодне дуття	3,2	AC	12000	Мішковий фільтр	10	401	5084	16	дані	11
Холодне дуття	5	AC	23000	Мішковий фільтр	6	434	28558	63	відсутні	11
Холодне дуття	8	AC	20000	Мішковий фільтр	20	401	936	36	дані	11
Холодне дуття	9	UC	22000	Мішковий фільтр	4	105	17286	60	відсутні	11

1) Працює зі старим рекуператором
UC: Нижче збору технологічного газу; AC: вище збору технологічного газу
Всі дані підлягають постійному моніторингу із середньоденними значеннями показників

Таблиця 3.7: Дані щодо викидів для вагранок із гарячим та холодним дуттям, що працюють на різних режимах [29, Батц, 1986], [202, ТРГ (TWG), 2002], дані перераховано для 11 % O₂

3.2.2.4 Шлаки у вагранках

Шлаки містять оксиди, які плавають на розплаві та виникають від домішок в сировині, спричиняючи знос вогнетривкої футеровки печі, а також від попелу коксу і втрат плавлення металеві шихти [225, ТРГ (TWG), 2003]. Шлаки скріплюються шляхом додавання зв'язуючих речовин, таких як вермікуліт. Типовий склад вагранкового шлаку наведений у таблиці 3.8. Вагранка зазвичай виробляє 40 – 80 кг шлаку на тонну рідкого заліза.

Сполуки	%
SiO ₂	45 – 55
CaO	25 – 40
Al ₂ O ₃	8 – 20
MgO	1 – 3
MnO	1 – 4
FeO	1 – 6
Сульфід	<1
TiO ₂	<1
ZnO	<0,1

Таблиця 3.8: Типовий склад шлаків у вагранках [172, Нойманн, 1994], [156, Годіно, 2001]

Вагранковий шлак складається з 30 % вогнетривкого матеріалу, 10 % піску (з внутрішнього скрапу), 40 % CaO (флюс), 10 % коксового попелу та 10 % спаленого матеріалу.

Важливим аспектом вагранкового шлаку є його високий вміст SiO₂. Після гартування шлак має склоподібну структуру. Це створює інертний матеріал, який не вилугується.

3.2.2.5 Відходи від вогнетривких матеріалів

Вагранка має специфічну особливість – матеріал футеровки (кварцово-глиняна суміш) печі в зоні плавлення можна використовувати лише на одне плавлення. Основна частина вогнетривких матеріалів перетворюється на шлак. Кількість, яку потрібно зібрати й утилізувати як відходи, значно менша ніж кількість, що застосовується.

3.2.3 Електрична дугова піч

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– чорні метали (сталевий скрап, металева стружка, повернення ливарного виробництва, чавунні чушки, ...)	– сплав металу (чавун)
– легований метал (ферросплави ...)	– пил (металовмісний, від вогнетривких мат-ів)
– флюс (вапняк ...)	– NO _x , CO ₂ , CO
– енергія (електроенергія, газ, нафтопродукти)	– органічні забруднювачі повітря, НС
– кисень	– дими оксидів металів
– електроди	– шлак (CaO, SiO ₂ , MgO)
	– відходи від вогнетривких матеріалів

3.2.3.1 Матеріали та елементи на вході

Використовується 500 – 600 кВт·год електроенергії для плавлення та підняття однієї тонни сталі до температури лиття. Печі зазвичай мають норму в 500 кВА на тонну, що дає тривалість плавлення приблизно 1,5 години.

Електроди виготовлені з графіту і споживаються під час роботи шляхом окислення, випаровування та ламання, тому, за необхідності, їх потрібно замінювати. Для тритонної печі зазвичай використовують електроди діаметром 200 мм. Споживання електродів є важливим фактором витрат на плавлення дуги, і показники коливаються від 3 до 10 кг/т плавленої сталі залежно від типу виробленої сталі та практики, що використовується. [174, Браун, 2000]

3.2.3.2 Тверді частинки

Коефіцієнт викидів твердих часток, який повідомляється в літературі, варіюється від 2 до 20 кг на тонну завантаженого заліза, в середньому від 5 до 8 кг на тонну. Найвищі показники викидів реєструються на початку циклу плавлення, під час обробки зневуглецювання та під час зворотного завантаження [173, Хьюлсен, 1985]. Розміри частинок коливаються від менш ніж 1 мкм до 100 мкм, при цьому 50 % з них менше 3 – 5 мкм. Під час обробки киснем один аналіз показав, що майже 90 % частинок були меншими за 5 мкм.

Що стосується хімічного складу твердих часток, то можна спостерігати ще більший діапазон даних вимірювання. Таблиця 3.9 дає огляд звітних даних з літературних джерел.

Речовина	Ваговий відсоток (%)
FeO + Fe ₂ O ₃	30 – 60
SiO ₂	5 – 35
CaO	1 – 15
MgO	0 – 15
ZnO	0 – 16
Cr ₂ O ₃	0 – 8
MnO	2 – 10
Al ₂ O ₃	0 – 5
MoO ₃	<1
NiO	<1
Pb	<1
Cd	<0,01
TiO ₂	<0,05
V ₂ O ₅	<0,05
Втрати при спалюванні	0 – 4

Таблиця 3.9: Хімічний склад пилу EAF у ливарному виробництві сталі [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

Склад пилу в печі насамперед залежить від марки сталі, що виготовляється. Наприклад низьколеговані сталі не будуть створювати викиди, що містять хром або нікель, тоді як неіржавна сталь буде. Ще один важливий фактор – якість скрапу. Плавлення оцинкованого сталевого скрапу призводить до значних викидів оксиду цинку.

Застосування відповідної витяжки в печі допомагає захоплювати до 98 % пилу. Потім захоплений вихлопний газ очищають, як правило, використовуючи мішковий фільтр. Це знижує рівень викидів пилу до показника нижче 10 мг/нм³. [29, Батц, 1986]

3.2.3.3 Видимі тверді частинки в повітрі

Під час завантаження гарячої печі та на початку циклу плавлення виділяються видимі випари. Наявна література не повідомляє про кількість і склад цих вторинних викидів. Знову ж, характер парів і димів залежить від чистоти шихти, зокрема вмісту в ній олії, жиру, фарби чи інших органічних речовин.

3.2.3.4 Відпрацьовані гази

Електродугові печі використовуються здебільшого для плавки сталі. Насамперед вони генерують викиди пилу та газоподібних сполук, таких як оксиди азоту, оксид вуглецю та органічні сполуки. Органічні сполуки залежать від виду та кількості домішок у вихідному металі. Сировина, що використовується в ролі шихти у ливарному виробництві, відбирається так, що вона зазвичай не містить матеріалів, які можуть виробляти діоксини. Органічні сполуки розкладаються на нешкідливі продукти допоки не застосовується попереднє нагрівання скрапу без післяспалювання. [29, Батц, 1986]

Дані про викиди основних компонентів газу для згоряння наведені в таблиці 3.10. Дані інвентаризації італійських заводів показали рівень пилу нижче 10 мг/нм³ (від 1,2 до 8,3 мг/нм³) при застосуванні мішкового фільтра. Вологе очищення зі скруббером дає викиди пилу нижче 25 мг/нм³ (в межах від 12 – 24,5 мг/нм³). [180, Assofond, 2002]

	Потужність тонна/шихту	Збір відпрацьованих газів	Потік м ³ /год	Обладнання FGC	Пил мг/нм ³	SO ₂ мг/нм ³	CO мг/нм ³	NO _x мг/нм ³	HF мг/нм ³	O ₂ % об.
EAF	50	FN	265000	Мішковий фільтр	2	дані відсутні	дані відсутні	50	дані відсутні	20
EAF	2 x 50	FN	380000	Мішковий фільтр	4	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	20
EAF	10	PH	160000	Мішковий фільтр	1	1	200	5	0,1	20

FN: Повне накриття ковпаком; PH: Часткове накриття ковпаком

Таблиця 3.10: Типові рівні викидів для дугових сталеплавильних печей (електродугові печі, EAF) [29, Батц, 1986]

Під час плавлення та рафінування утворюється CO при окисленні графітових електродів та вуглецю з ванни з металом. Орієнтовні кількості складають від 6 до 20 нм³ CO/т (або 7,5 – 25 кг CO/т) залежно від початкового вмісту вуглецю в шихті та необхідного рівня вуглецю після обробки. Впорскування кисню спричиняє виділення певної кількості оксиду заліза (червоного диму) з ванни. Про інші значні викиди не повідомлялося. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

3.2.3.5 Шлаки

Хімічний склад шлаків EAF наведено в таблиці 3.11. Повідомлені значення базувалися на аналізі 3-х проб.

Сполука	Середнє значення (%)	Діапазон (%)
SiO ₂	36,2	28,6 – 41,8
CaO	12,4	7,2 – 17,7
MgO	22,1	18,3 – 27,0
Al ₂ O ₃	8,4	7,4 – 0,1
FeO	0,7	0,5 – 1,0
MnO	14,8	4,0 – 29,6
TiO ₂	1,2	0,39 – 2,7
Na ₂ O	0,3	0,11 – 0,57
K ₂ O	0,1	0,1 – 0,23

Таблиця 3.11: Хімічний склад шлаку в EAF [171, Центр розвитку лиття, 1999]

3.2.4 Індукційна піч

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– чорні метали (чавунні чушки, сталевий скрап, металева стружка, повернення ливарного виробництва ...)	– сплав металу (чавун, сталеве лиття)
– легований метал (ферросплави ...)	– пил
– агенти навуглецьовування, флюс	– органічні та металеві дими
– енергія (електрична)	– CO
– охолоджуюча вода	– шлак
	– відходи від вогнетривких матеріалів

3.2.4.1 Тигельна індукційна піч

3.2.4.1.1 Затрати енергії

Тигельна індукційна піч може розплавити тонну заліза і підвищити температуру рідкого металу до 1450°C, використовуючи електроенергію менше 600 кВт·год. Однак на практиці лише деякі ливарні підприємства можуть досягти цього рівня питомого споживання щотижня. Фактичне споживання енергії змінюється залежно від розміру та режиму роботи печі. Великі печі, що працюють 24 год на день і використовують дзеркало розплавленого металу (розплавлені чушки), можуть досягти величини 600 кВт·год/тонну. Опитування ливарних підприємств показують, що споживання металевої шихти в кількості 520 – 800 кВт·год/т є загальноприйнятим, що різниця зумовлена індивідуальною практикою плавлення, наприклад швидкістю, з якою лінія розливу прийме розплавлений метал, і чи ефективно використовуються кришки або засувки печі. Якщо приділити увагу заходам енергозбереження, це допоможе досягти показників 550 – 650 кВт·год металевої шихти. Типові втрати тепла від тигельної індукційної печі показані на Рис. 3.2.

[47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992], [174, Браун, 2000], [202, TRG (TWG), 2002]

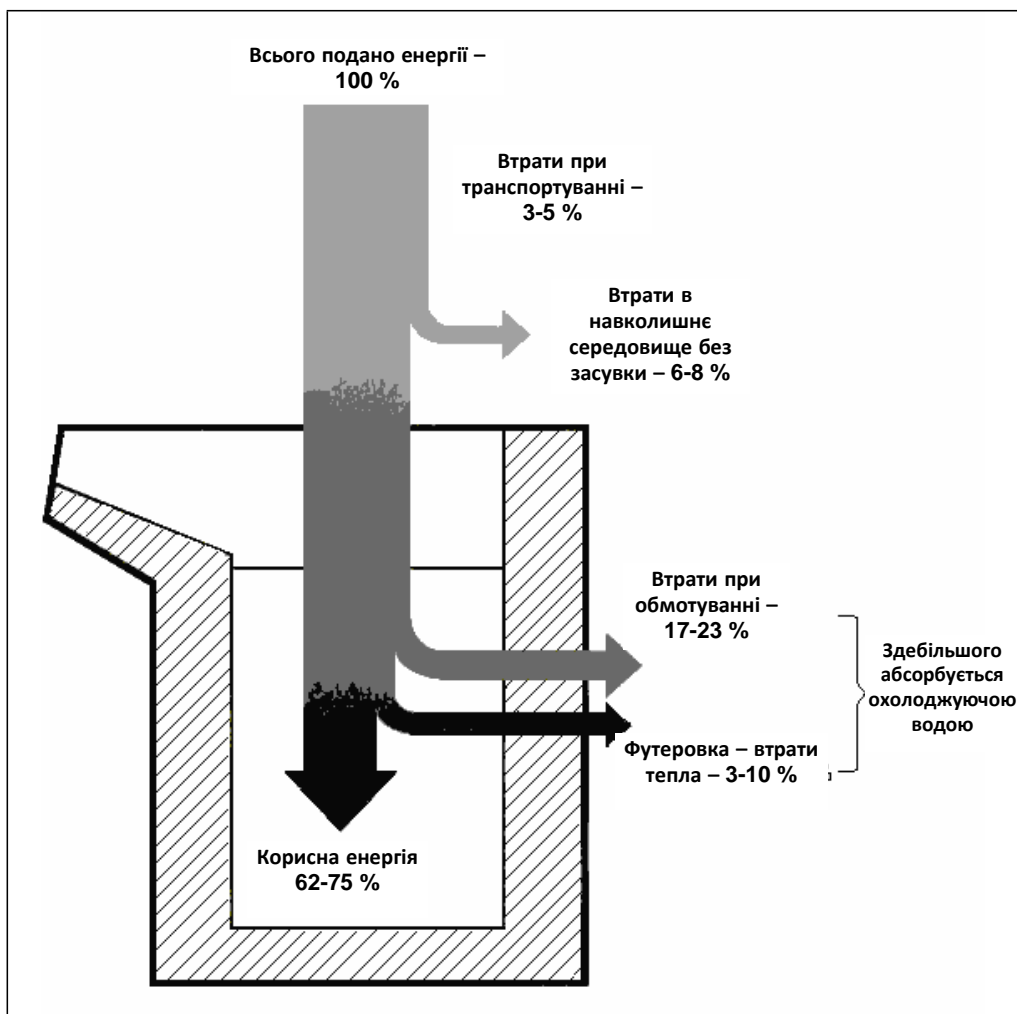


Рис. 3.2: Типові енерговтрати від тигельної індукційної печі промислової частоти [47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992]

3.2.4.1.2 Тверді частинки

У літературі повідомляється про рівень викидів від 0,06 до 1 кг/т металеві шихти, але нині є нормальними норми викидів від 0,04 до 3 кг/т. Найвищі показники викидів трапляються під час завантаження та на початку циклу плавлення. Розміри частинок в діапазоні від 1 – 100 мкм, серед яких більш ніж 50 % менші 10 – 20 мкм. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [202, ТРГ (TWG), 2002]

Рівень викидів пилу та розподіл РМ з ливарного німецького підприємства з ІФ наведені в таблиці 3.12. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [202, ТРГ (TWG), 2002]

Очищення димових газів	Об'єм (м ³ /год.)	Всього пилу (мг/м ³)	PM ₁₀ (%)	PM _{2.5} (%)
Ковпак та мішковий фільтр	10400	с. 0,4	78	50

Таблиця 3.12: Рівні викидів пилу та розподілу розмірів твердих частинок у ІФ [202, ТРГ (TWG), 2002]

Щодо хімічного складу твердих частинок, то опублікованих даних про плавлення сталі немає, однак є підстави вважати, що він близький до складу пилу, який виділяється під час плавлення чавуну, як це показано в таблиці 3.13. Присутність Zn, Pb або Cd призведе до випаровування металів під час сплавлення шихти.

Речовина	Ваговий відсоток (%)
FeO + Fe ₂ O ₃	30 – 70
SiO ₂ (залежно від матеріалу футеровки)	5 – 25
MnO	<5
Al ₂ O ₃ (залежно від матеріалу футеровки)	3 – 10
CaO	<1
ZnO (залежно від матеріалу шихти)	<5
Оксиди металів (залежно від матеріалу шихти)	<0,1
Втрати при спалюванні	0 – 10

Таблиця 3.13: Хімічний склад пилу індукційної печі в ливарному виробництві чавуну [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

3.2.4.1.3 Відпрацьовані гази

Плавлення чавуну та сталі в індукційних печах призводить до низьких викидів порівняно з вагранкою. Особливо в них запобігають викидам, що з'являються внаслідок спалювання вихлопного палива. Ефективність вловлювання вихлопних газів до 95 % можлива за допомогою спеціальних систем, таких як бокові витяжні ковпаки, рухомі витяжні ковпаки та часткове покриття печі. Фільтрація відпрацьованих газів здійснюється переважно за допомогою сухих систем. Можна отримати рівень викидів пилу нижче 5 мг/м³ [225, TRG (TWG), 2003]. Типові дані про викиди наведені в таблиці 3. 14.

	Потужність Кількість печей x тонни/шихту	Збір відпрацьованих газів	Потік м ³ /год	Обладнан ня FGC	Пил мг/м ³	SO ₂ мг/м ³	CO мг/м ³	NO _x мг/м ³	HF мг/м ³	O ₂ % об.
IF	(2 x 10) + (3 x 3)	Бокове витягування	54000	Мішковий фільтр	5	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	дані відсутні	21

Таблиця 3.14: Типові дані викидів для плавлення в індукційних печах у ливарному виробництві чорних металів [29, Батц, 1986]

Завантаження скрапу з олією чи маслами або забруднення в холодній печі призведе до наявності у відпрацьованих газах органічних парів, які не будуть спалюватись, оскільки вони створюються на початку циклу плавлення. Додавання такого типу скрапу до ванни розплавленого металу (тобто практика роботи з дзеркалом розплавленого металу) може бути дуже небезпечним, оскільки в металевій ванні можуть трапитися невеликі вибухи, які можуть призвести до виплескування з печі металевих крапель і скалок.

Через те, що сфера застосування обмежена ливарним виробництвом, дані про викиди для виробництва електричної енергії не враховуються.

3.2.4.1.4 Шлаки

Типові властивості шлаків індукційних печей наведені в таблиці 3.15. Індукційні печі виробляють 10 – 20 кг шлаку на тонну металевої шихти. Кількість виробленого шлаку залежить від якості матеріалу шихти. Нижня межа заданого діапазону застосовується, якщо внутрішній скрап очищений (продутий) перед повторним плавленням.

Сполука	%
SiO ₂	40 – 70
FeO	10 – 30
Al ₂ O ₃	2 – 15
MnO	2 – 10
CaO	0 – 3
MgO	0 – 3

Таблиця 3.15: Типовий склад шлаку індукційної печі
[172, Нойманн, 1994]

3.2.4.2 Індукційна канална піч

У ливарних виробництвах, які працюють із чорними металами, канална індукційна піч зазвичай використовується як піч витримування. Це піч, яку слід обрати для дуплексної роботи разом із вагранкою з гарячим дуттям. У цьому випадку її функцією є або витримувати, або гомогенізувати хімічний склад металу, або слугувати резервуаром розплавленого металу для лиття. Роль печі полягає не в підвищенні температури металу, а в запобіганні небажаного охолодження.

На рис. 3.3 представлено споживання енергії деяких репрезентативних каналних печей. Витрата залежить від параметрів, пов'язаних із процесом, таких як час витримування. На графіку видно, що споживання зменшується зі збільшенням річного тоннажу. Крайні значення – 80 та 20 кВт-год на тонну, що подана на обробку.

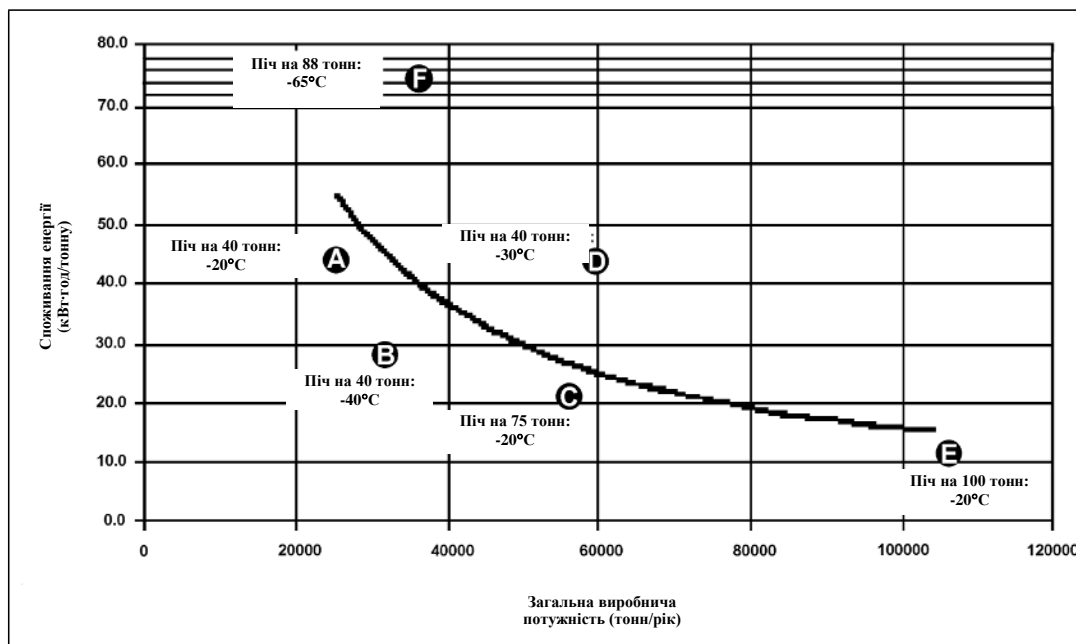


Рис. 3.3: Споживання енергії (кВт-год/т) як функція переданого тоннажу та втрат температури для каналних індукційних печей
[140, Тематична мережа щодо викидів ливарної промисловості ЄС, 2001]

3.2.5 Ротаційна піч

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– чорні метали (чавунні чушки, сталевий скрап, металева стружка, повернення ливарного виробництва ...)	– сплав металу (чавун)
– легований метал (ферросплави ...)	– пил
– агенти науглецювання, флюс	– органічні та металеві дими
– енергія (електроенергія, нафтопродукти, газ)	– шлак
– охолоджуюча вода	– відходи від вогнетривких матеріалів

3.2.5.1 Матеріали та елементи на вході

Як і у випадку з електричним плавленням, джерело енергії, що використовується в ротаційній (обертівій) печі, дає змогу проводити чистий процес, особливо якщо використовується природний газ або пропан. Ступінь забруднення шихти знову дуже важлива для природи та кількості викидів, які виникають. Цей факт пояснює, чому не існує єдиної схеми викидів і чому дані вимірювань показують великі відмінності.

3.2.5.2 Тверді частинки

Частинки походять від бруду, що прилипає до завантаженої шихти, зносу футеровки під час завантаження і плавлення, а також від вигорання легуючих елементів та різних добавок до шихти. Зведені дані показують загальну норму викидів від 0,3 до 2,9 кг/т металеві шихти. Розмір зерна порівняно невеликий – менше ніж з 1 мкм до 100 мкм, при цьому 20 % <1 мкм, 60 % менше 10 мкм і 95 % менше 50 мкм. [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [204, Карнікер Альфонсо, 2001]

Хімічний склад пилу ротаційної печі наведений у таблиці 3.16.

Сполуки	%
Оксиди заліза	50 – 75
MnO	<1
SiO ₂	<1
MgO	1 – 2
Cr ₂ O ₃	<0,5
ZnO	<1
Pb	<0,5
Sn	0,2
Втрати при спалюванні	5 – 10

Таблиця 3.16: Хімічний склад пилу ротаційної печі в ливарному виробництві чорних металів [204, Карнікер Альфонсо, 2001]

3.2.5.3 Відпрацьовані газы

Виробництво CO₂ оцінюється як 120 кг/т металеві шихти. Тепловий ККД печі дуже високий – від 50 до 65 %⁴, залежно від потужності. Цей високий вихід досягається використанням чистого кисню замість повітря в ролі середовища для горіння. Під час зменшення полум'я згорання палива або газу може бути неповним. За цих умов може вироблятися СО. Однак у цей момент вихлопні газы залишають піч при температурі 1500 °С, а СО спалюється мимоволі при контактi з навколишнім повітрям, яке використовується для охолодження газів.

Якщо використовується паливо, що містить сірку, викиди SO₂ можуть бути значними. Однак природний газ або пропан не мають значних викидів SO₂.

Викиди NO_x від 50 до 250 частин на мільйон у відпрацьованих газы вимірювались у печі на 5 тонн. NO_x походить від окислення атмосферного азоту при високій температурі полум'я (2800 °С), якщо навколишнє повітря просочується в піч через дверцята пальника. Виробництво NO_x є значним під час режиму окиснення полум'я, але низьким під час режиму відновлення. Жодних повідомлень щодо викидів вуглецю не було, ймовірно через високу температуру полум'я в печі та відносно високу чистоту завантаженого матеріалу. [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997]

⁴ Це якщо енергія для виробництва кисню не враховується. При виробництві кисню ефективність повинна бути на 10-15 % менше. Крім того, якщо енергія для заміни згорілих елементів шихти (С, Si) знижується, то отримана первинна ефективність становить лише приблизно 30-35 %.

Для ротаційних печей, що працюють із чорним металом, простими пальниками на повітрі/паливі та післяспалювачем, пікові викиди пилу становлять близько 250 мг/м³ протягом коротких періодів (від 3 секунд безперервно, але також з періодичністю протягом хвилини) протягом твердих фаз циклу плавлення. Після цього, коли шихта починає ставати рідкою, викиди пилу зменшуються до менш ніж 30 мг/м³ під час нормальної роботи. Викиди можуть постійно досягати 150 – 200 мг/м³ протягом твердої фази розплаву. 40 % горючих викидів є загальними. Пікові викиди від ротаційних печей складаються щонайменше з 80 % незгорілого палива і виникають під час операцій із завантаженням, коли основний топковий пальник гаситься та знову підпалюється. Зазначені викиди застосовуються лише у тому випадку, якщо у будь-який час, зокрема під час завантаження, дими подаються через післяспалювач, який повністю функціонує [163, Агентство з наближеними до Великої Британії, 2002]. Повідомлялося про наступні рівні сирого газового пилу для ротаційної печі з кисневим газом без післяспалювача: середнє пилове навантаження 400 – 450 мг/м³ за дві окремі фази плавлення. Ці фази – це тверда фаза з рівнем викиду пилу 150 мг/м³ і рідка металева фаза з піковими рівнями до 1500 мг/м³ на початку обертання та 600 – 700 мг/м³ при нормальній роботі. [204, Карнікер Альфонсо, 2001]

Типові дані про викиди наведені в таблиці 3.17. Їх було зібрано з плавильної печі для чавуну з потужністю 1,4 т/год без будь-якого обладнання для очищення димових газів. Дані з інвентаризації італійських заводів показали рівень пилу нижче 15 мг/м³ (в межах від 0,6 – 14,6 мг/м³), якщо застосовується мішковий фільтр. [180, Assofond, 2002].

Параметр	Вимірне значення	Параметр	Вимірне значення
Витрата газу (нм ³ /год)	9000	Хлор (мг/нм ³)	0,01
Потужність (тонн/год)	1,4	Діоксини (нгТЕQ/нм ³)	0,018
SO ₂ (мг/нм ³)	70 ± 60	РАН (нг/нм ³)	
NO _x (мг/нм ³)	200 ± 200	Нафталін	548
СО (мг/нм ³)	20 ± 10	Фенантрен	269
Вуглеводні (мг/нм ³)	<1	Антрацен	9
НСІ (мг/нм ³)	1,64	Фторантен	102
НF (мг/нм ³)	0,91	Пірен	55
Пил (мг/нм ³)	220	Бензо(а)антрацен	10
Ртуть (мг/нм ³)	0,35	Хризен	73
Кадмій (мг/нм ³)	0,001	Бензо(а)фторантен	3
Галій (мг/нм ³)	<0,0015	Бензо(б)+(к)фторантен	39
Миш'як (мг/нм ³)	0,0002	Бензо(а)пірен	12
Нікель (мг/нм ³)	0,015	Бензо(е)пірен	20
Кобальт (мг/нм ³)	0,0001	Індено(1,2,3-сd)пірен	10
Свинець (мг/нм ³)	0,38	Дібензо(а,н)+(а,с)антрацен	3
Хром (мг/нм ³)	0,022	Бензо(г,н,і)перилен	11
Мідь (мг/нм ³)	0,196	Перилен	4
Марганець (мг/нм ³)	0,38	Антантрен	3
Сурма (мг/нм ³)	<0,0001		
Ванадій (мг/нм ³)	0,011		
Олово (мг/нм ³)	0,0187		
Селен (мг/нм ³)	<0,0001		
Платина (мг/нм ³)	<0,0006		
Паладій (мг/нм ³)	<0,0029		
Родій (мг/нм ³)	<0,0016		
Цинк (мг/нм ³)	1.768		
Залізо (мг/нм ³)	64,63		
-Дані для установки без очищення димових газів			
-Середні значення для 3 вимірювань, коли стандартне відхилення становить > 30 %, наведене значення			

Таблиця 3.17: Вимірні викиди для ротаційної печі, плавлення чавуну, без обладнання для очищення відпрацьованих газів [110, Віто, 2001]

3.2.6 Конвертерний агрегат газокисневого рафінування (AOD)

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– розплавлена сталь	– сталь, збагачена вуглецем
– легований метал (ферросплави ...)	– пил і дими/пари з оксидами металу (Fe, Mn, Cr, Ni)
– Al, FeSi, вапняк	– гази (CO ₂ , CO, інертний газ)
– O ₂ , N ₂ , Ar	– шлак (CaO, SiO ₂ , AlO ₃)

3.2.6.1 Матеріали та елементи на вході

Перетворювач AOD використовується зазвичай при виробництві низьковуглецевих неіржавних сталей і, в особливих випадках, вуглецевих і низьколегованих сталей: для видалення домішок, таких як вуглець, сірка й оксиди, а також для зневуглецювання неіржавних сталей з високим вмістом хрому. Оброблений матеріал – це рідка сталь, яка плавиться в печах EAF або в індукційних печах і потім виливається в посудину через ковші. Методика найпоширеніша в металургійній промисловості, але вона застосовується також у ливарних виробництвах, хоча лише в обмеженій мірі. Для зневуглецювання в конвертер вводять кисень, і вуглець окислюється в газ CO, який виходить із рідкого металу. Жодне джерело енергії не використовується, за винятком енергії від реакції горіння між киснем та вуглецем під час окислення та, згодом, між киснем та алюмінієм (та/або кремнієм) під час відновлення.

Витрата вуглецю коливається в межах від 0,4 до 1 %, що становить близько 50 – 120 м³ CO на тонну сталі та 25 – 60 м³ кисню. Для усунення сірки у повністю відновленій рідкій сталі необхідно використовувати шлак високої основи. Матеріали відновлення, такі як алюміній або кремній і вапно, заряджаються в агрегаті AOD. Рівень споживання залежить від якості сталі і наведений у таблиці 3.18.

Сполуки	Споживання (на тонну сталі)
CO	50 – 120 м ³
O ₂	25 – 60 м ³
Al	1 – 2,5 кг
Вапно	10 – 20 кг
Si	1 – 2 кг
Ar	1 – 5 м ³

Таблиця 3.18: Рівні споживання для обробки сталі на AOD [202, TRG (TWG), 2002]

3.2.6.2 Матеріали та елементи на виході

Викиди пилу цілком схожі на пил з печей EAF як за кількістю, так і за якістю. Викиди пилу AOD мають нижчий рівень залишків (органічних) від скрапу в шихті, але, з іншого боку, мають вищий рівень оксиду металів (Cr, Ni), оскільки зазвичай це неіржавна сталь, яка переробляється в посудинах AOD.

3.2.6.3 Відпрацьовані гази

Відпрацьовані матеріали з AOD складаються з оксиду вуглецю та інертного газу. Швидкість виділення оксиду вуглецю залежить від швидкості впорскування кисню й ефективності кисню, або відсотка кисню, який реагує з вуглецем. Ця киснева ефективність, або «ефективність видалення вуглецю», як це традиційно позначається в режимі AOD, змінюється під час дуття в AOD, у відповідь на комбіновані змінні рівня вуглецю, температури, хімії в посудині (ванні) та суміші газів, що вводиться.

Суміш CO та інертного газу залишає посудину приблизно при температурі ванни. Суміш CO, що виходить із посудини, змішується з надлишком повітря, щоб дуже рано у вихлопному каналі повністю спалити CO до CO₂. Це робиться для запобігання наявності горючих або вибухонебезпечних сумішей, що залишаються і стікають вниз по трубі до фільтрувального обладнання.

3.2.6.4 Шлаки

Шлаки особливо «чисті» від оксидів металів, оскільки, завдяки особливості процесу, вони зазвичай споживаються. Склад шлаку наведено в таблиці 3.19.

Сполуки	%
CaO	50 – 70
Al ₂ O ₃	5 – 25
SiO ₂	10 – 25
MgO	5 – 15

Таблиця 3.19: Склад шлаку AOD [202, TRG (TWG), 2002]

3.2.7 Конвертерний агрегат вакуумно-кисневого рафінування (VODC)

Процес VODC передбачає знеуглецювання в умовах зниженого тиску. Він набагато менше використовується, ніж процес AOD. Вакуумні процеси (EAF/вакуум) становили 5,8 % виробництва неіржавної сталі всього західного світу в 1991 році. Ця техніка споживає 1 нм³ Ar на тонну сталі, демонструє низьке окислення хрому, а витрата кремнію становить 3 – 5 кг/т. VODC дає змогу виробляти наднизьковуглецеві й азотні класи/марки металу. [202, TRG (TWG), 2002]

3.2.8 Очищення та обробка сталі

Для обезкиснення зазвичай використовують алюміній у вигляді паличок. Додавання коливаються від 0,1 % для середньовуглецевої сталі до 0, 2 % для низьковуглецевої сталі. Відновлення становить від 35 % до 80 %. Також застосовується механічна подача алюмінієвого дроту. [174, Браун, 2000].

3.2.9 Обробка чавуну

3.2.9.1 Сфероїдизування

Ефективність, якісна оцінка виробництва димових газів і складність різних методів сфероїдизування порівнюються в таблиці 3.20.

	Сандвіч	Кришка проміжного ковша	Занурення	Потік через процес	Введення дроту	Обробка у формах	Дуктилятор
Ефективність вловлювання Mg (%)	35 – 50	45 – 60	40 – 60	40 – 50	20 – 50	70 – 90	60 – 75
Виробництво димових газів	Високе	Низьке	Низьке	Низьке	Низьке	Немає	Високе
Коментар	Легкий в експлуатації	Оптимізований сандвіч, але більше тех. обл.	Значне технічне обслуговування	Значне технічне обслуговування	Дороге встановлення	Інший дизайн системи заливання	Значне технічне обслуговування

Таблиця 3.20: Порівняння різних процедур сфероїдизування [110, Віто, 2001], [225, TRG (TWG), 2003]

3.3 Розплавлення та обробка алюмінію

3.3.1 Огляд плавильних печей для алюмінію

Таблиця 3.21 показує типові дані про властивості печі, споживання та викиди для різних типів плавильних алюмінієвих печей. Завдяки широкому діапазону потужностей і налаштування печей, дані, представлені в літературі, не завжди забезпечують постійний діапазон споживання. Рівень споживання сильно залежить від потужності печі та умов експлуатації, таких як температура металу і щільність шихти.

Використання чистого початкового матеріалу та, насамперед, електричне й газове опалювання приводить до відносно низьких рівнів викидів від плавлення. Через недостатню стурбованість якістю димових газів інформація про склад димових газів є обмеженою.

У процесі плавлення алюмінію не утворюється дим від металу, і метал втрачається лише при формуванні дросу. Цей тип втрат часто називають втратами шляхом спалювання, і вони є окисненням розплавленого металу. Це залежить від кількості буферного шлаку та від того, чи відбувається горіння. Це викликано витоком повітря в піч або несправністю пальника. Витрати на цю втрату можуть бути високими, іноді навіть перевищуючи енерговитрати. [148, Eurofine, 2002]

Дані для кожного конкретного типу печі будуть обговорені й деталізовані в наступних пунктах.

	Одиниці	Ротаційна піч	Подова піч	Шахтна піч	Термічна піч (відпалу)		
Підвид			Одна камера		Паливний підігрів	Підігрів опором	Індукція
Джерела енергії		Палива (рідкі, газоподібні)	Палива (рідкі, газоподібні)	Палива (рідкі, газоподібні)	Палива (рідкі, газоподібні)	Електроенергія	Електроенергія
Тепловий ККД ¹	%	15 – 40	<30 – 57	35 – 60	15 – 40	65	65 – 70
Первинний тепловий ККД ²	%	15 – 40	<30 – 57	35 – 60	15 – 40	22	22 – 25
Особливі потреби в енергії ³	кВт·год/т Al ⁴	600 – 1250	975 – 1150	580 – 900 <i>610 – 720</i>	900 – 1200 <i>610 – 680</i>	750 <i>470 – 590</i>	475 – 640 <i>440 – 470</i>
Серійне/безперервне (тривале) виробництво		Серійне	Серійне	Безперервне	Серійне	Серійне	Серійне
Потужність (плавлення)	т	3 – 10	0,5 – 30	0,5 – 4 (-15)	0,1 – 1,2	0,1 – 0,4	0,2 – 25
Потужність (витримування)	т	не застосовується	не застосовується	1,5 – 10	0,1 – 1,5	0,1 – 1,5	0,15 – 6
Час розплавлення		2 – 4	3 – 4	0,5 – 1	0,5 – 1	4 – 5	0,2 – 0,5
Здатність до рафінування		Низька	Низька	Низька	Висока	Дуже висока	Низька
Втрата внаслідок спалювання	%	дані відсутні	дані відсутні	1 – 3	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Генерація пилу	кг/т Al ⁴	дані відсутні	<1	<1	<1	Мінімальна	Мінімальна
NO _x ⁵	кг/т Al ⁴	дані відсутні	<1 – 6	<1 – 6	<1 – 6	не застосовується	не застосовується
Інвестиційні витрати ⁶	тис. євро	дані відсутні	дані відсутні	190 – 370	20 – 50	12 – 100	190 – 500
Операційні витрати	тис. євро	дані відсутні	дані відсутні	20 – 100	3 – 20	15 – 45	35 – 150
Прийоми і техніки скорочення викидів		Вбудований мішковий фільтр для більших установок	Вбудований мішковий фільтр для більших установок	Вбудований мішковий фільтр для більших установок	Зазвичай немає потреби через малий розмір печі	Немає потреби	Немає потреби

1 Визначення: взаємозв'язок між теплом розплавленої ванни та паливом, що подається; зазначені значення задають порядок, але багато в чому залежать від умов експлуатації, таких як температура металу

2 Ефективність вироблення електроенергії (палива) передбачається на рівні 35 %

3 Залежить від заходів рекуперації тепла; діє лише для плавлення; [148, Eurofine, 2002] значення, наведені курсивом

4 Одиниці «на тонну Al» відносяться до тонни розплавленого алюмінієвого сплаву

5 Залежить від конструкції пальника й експлуатаційних характеристик

6 Залежить від заходів рекуперації тепла; діє лише для плавлення

Джерела інформації: внутрішнє опитування VDG; Aluminium Taschenbuch, Band 2, 15. Auflage, Aluminium Verlag GmbH, Дюссельдорф, 1996; Переробка алюмінію, Aluminium Verlag GmbH, Дюссельдорф, 2000; [148, Eurofine, 2002]; коментарі СТІФ

Таблиця 3.21: Типові властивості й дані щодо викидів для плавлення алюмінію [148, Eurofine, 2002] та коментарі від СТІФ та VDG

3.3.2 Шахтна піч

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– алюмінієві злитки, повернення ливарного виробництва	– розплавлений алюміній
– енергія	– пил
– продукти обескиснення та видалення газу	– NO _x , CO ₂ ,
	– використані вогнетривкі матеріали

Коефіцієнти викидів були передбачені для викидів на тонну виливків належної якості, виходячи з таких припущень:

- середній вихід металу: 70 % (лиття/розплавлений метал)
- середня вартість скрапу: 5 % (скрап від обробки/лиття)
- світовий вихід металів: $0,7 \times 0,95 = 66,5$ % (якісні виливки/розплавлений метал)

Дані про споживання та викиди на тонну виливків належної якості для шахтної печі потужністю 3 т/год, яка плавить алюміній, наведені в Таблиці 3.22. Ці дані також показують рівні викидів димових газів сировини без очищення.

Елементи на вході	Значення на тонну	Значення на нм ³
Алюмінієві злитки	1503 кг/т	
Природний газ	717 кВт·год/т	
Електроенергія	172 кВт·год/т	
Загальне використання енергії	889 кВт·год/т	
Елементи на виході		
Шлак (з 35 – 40 % Al)	40,3 кг/т	
Використані вогнетривкі матеріали	0,3 кг/т	
Викиди (без очищення димових газів)		
Тверді частинки	0,12 кг/т	112 мг/нм ³
NO _x	0,18 кг/т	113 мг/нм ³
VOC	0,12 кг/т	
SO ₂	0,04 кг/т	
CO		150 мг/нм ³
Pb + Cr + Cu		0,98 мг/нм ³
Cd + Hg		0,01 мг/нм ³
As + Ni		0,03 мг/нм ³
Дані – це значення, розраховані на тонну виливків належної якості		

Таблиця 3.22: Вхідні та вихідні елементи для плавлення алюмінію в шахтній печі [177, Сільва Рібейро, 2002]

Таблиця 3.23 представляє нам результати продуктивності плавлення шахтної печі, що плавить алюміній.

	Всього споживання за даними вимірювань	Специфічне споживання на тонну металевої шихти
Металева шихта	115332 кг (54 % злитків, 46 % скрапу)	1 тонна
Випущено металу	113983 кг	0,988 кг/тонну
Втрати металу	1349 кг	0,012 кг/тонну – 1,2 %
Видалено дросу	1412 кг	0,012 кг/тонну – 1,2 %
Споживання газу	92786 кВт·год	804 кВт·год/тонну

Таблиця 3.23: Результати пробного плавлення протягом 6 днів у шахтній печі для Al плавильною потужністю у 2 тонни [48, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1994]

3.3.3 Індукційна піч

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– алюмінієві злитки, повернення ливарного виробництва	– розплавлений алюміній
– електроенергія	– пил
– охолоджуюча вода	– використані вогнетривкі матеріали

Алюмінієві індукційні печі зазвичай мають потужність від 500 кг до 2 тонн і працюють на частотах 250 – 1000 Гц.

Наприклад в одній установці є два алюмінієвих сталевих корпуси на 1,5 тонни з нахилом, які живляться від системи живлення потужністю 1250 кВт, 250 Гц із перемикачем, що дозволяє плавлення в альтернативних печах. За допомогою цієї системи 1,5 тонни можна розплавити за 40 хвилин.

Індукційні печі – енергоефективні установки для плавлення. На споживання енергії для плавлення впливає щільність шихти і практика плавлення, що застосовується. Серійне плавлення менш ефективне, ніж використання дзеркала розплавленого металу. У 50 % випадках метод дзеркала розплавленого металу є найефективнішим. Витрата енергії варіюється від 540 кВт·год/тонну великої густини (невеликий скрап і злиток) до 600 кВт·год/тонну, якщо плавиться скрап нижчої щільності (наприклад стружка для лиття під тиском і злиток). Хоча споживання енергії низьке, витрати на плавлення можуть бути вищими, ніж для газових печей через загально більшу вартість електроенергії як джерела тепла. [175, Браун , 1999] [148, Eurofine, 2002]

Котушка індукційної печі потребує системи охолодження. Вода для охолодження може працювати в замкнутому контурі або у відкритій системі випаровування.

3.3.4 Радіантно-конвекційна трубчаста піч зі стельовим екраном (піч опору)

Ці печі, що нагріваються завдяки опору, є печами утримування, які зазвичай використовуються для сплавів алюмінію. Викиди залежать від металу, що використовується, температури витримування, площі поверхні, «металевого виходу» і «металевого входу» та, особливо, від часу витримування. Викиди настільки низькі, що вимірювань немає. [202, ТРГ (TWG), 2002]

3.3.5 Подова піч

Подові печі (або ревербераційні печі) існують в різних розмірах і формах. Великі подові печі дають змогу швидко плавити і можуть обробляти великий об'єм шихти, однак прямий контакт полум'я і шихти може призвести до великих втрат металу, надходження газу та значного забруднення оксидом. Контроль температури також може бути складним. Цей тип печі використовується менше через її відносно низьку теплову ефективність/тепловий ККД (близько 1100 кВт·год/т). Подові печі використовується також для плавлення мідних сплавів (див. пункт 3.5.1) . [175, Браун, 1999]

Таблиця 3.24 наводить дані викидів для плавильної алюмінієвої печі, що працює на 450 кг/год, без системи очищення димових газів.

Сполуки	Рівень викидів (мг/нм ³)	Масова витрата (г/год)	Річна масова витрата (тонна/рік)
O ₂	17,6 %		
CO ₂	2,2 %		
CO	<4	<24	<0,0438
NO _x	45	270	0,4928
SO ₂	13	78	0,1424
Пил	1	6	0,011
ТОС	5	30	0,0548
Al	0,092	0,552	0,001
Витрата димових газів: 6000 нм ³ /год (суха); Час роботи: 1825 год/рік			

Таблиця 3.24: Дані щодо викидів для подової печі з масляним пальником для плавлення Al [183, Говертс, 2002]

3.3.6 Тигельна піч (на паливі та піч опору)

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– алюмінієві злитки, повернення ливарного виробництва або рідини	– розплавлений алюміній
– електроенергія або паливо	– пил

Тигельні печі опосередковано нагріваються за допомогою пальників або електричних резисторів. Для тиглів, що працюють на паливі, тепла ефективність не така висока, як для інших плавильних печей, оскільки важко використовувати тепло продуктів згорання. Вони відносно недорогі, і оскільки полум'я не контактує з розплавленим металом, втрати металу низькі, а якість розплаву висока, а також легко можна здійснити зміни сплавів. [175, Браун, 1999]

Для алюмінієвих сплавів кількість частинок можна приблизно прийняти на рівні 0,3 кг/т розплавленого металу. [126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000]

Дані про споживання та викиди на тонну виливків належної якості для тигельної печі з потужністю 3 т/год, що плавить алюміній, наведені в таблиці 3.25.

Елементи на вході	
Природний газ	538 кВт·год/тонну
Електроенергія	414 кВт·год/тонну
Загальне використання енергії	952 кВт·год/тонну
Елементи на виході	
Шлак	61 кг/тонну
Вогнетривкі матеріали	6,87 кг/тонну
Викиди (після пиловловлюючої камери)	
NO _x	0,18 кг/тонну
SO ₂	0,04 кг/тонну
VOC	0,12 кг/тонну
Пил	0,12 кг/тонну
Всі дані розраховані на тонну виливків належної якості	

Таблиця 3.25: Дані щодо споживання та викидів для тигельного плавлення алюмінію [177, Сільва Рібейро, 2002]

3.3.7 Обробка розплавленого алюмінію

Для комбінації дегазації та очищення на крильчатій станції зазвичай використовують суміш аргону або азоту з 3 % Cl₂. Для дегазації окремо газу Ar або N₂, як правило, використовуються без Cl₂. Потік і час дегазації, що застосовуються, залежать від типу сплаву, який використовують, і розміру очисної ємності.

Витрата модифікаційних агентів, рафінувальних речовин і флюсів залежить від виду сплаву, але, як правило, йде порядку 100 г – 1 кг на 50 кг розплавленого металу.

3.4 Плавлення та лиття магнію і його сплавів

3.4.1 Захист розплавленого магнію

SF₆ і SO₂ використовуються в ролі буферного газу для запобігання окислення (або спалювання) розплавленого магнію. Оскільки SF₆ легше обробляти, ніж токсичний SO₂, він став переважним буферним газом після його виходу на ринок в середині 1970-х. SF₆ має потенціал впливу на глобальне потепління (GWP) 22200 (часовий горизонт: 100 років) та строк перебування в атмосфері – 3200 років [194, Програма ООН з довкілля (UNEP) ІЗКЗ, 2002].

Кількість SF₆, що використовується в різних умовах експлуатації, наведено в таблиці 3.26 (лиття під тиском) та таблиці 3.27 (гравітаційне лиття під тиском). Ці концентрації потрібно підтримувати близько до поверхні розплаву [191, ІМА та ін.]. Наведені значення є рекомендованою практикою для використання SF₆ від Міжнародної асоціації магнію (ІМА). В реаліях іноді використовують більші концентрації (наприклад 99,4 % CO₂, 0,6 % SF₆) [202, TRG (TWG), 2002].

Температура плавлення (°C)	Атмосфера над розплавом (% об.)	Поверхнєве переміщення	Залишковий флюс ¹⁾	Захист розплаву
650 – 705	Повітря/0,04 SF ₆ ²⁾	Ні	Ні	Відмінно
650 – 705	Повітря/0,2 SF ₆	Так	Ні	Відмінно
650 – 705	75 повітря/25 CO ₂ /0,2 SF ₆	Так	Так	Відмінно
705 – 760	50 повітря/50 CO ₂ /0,3 SF ₆	Так	Ні	Відмінно
705 – 760	50 повітря/50 CO ₂ /0,3 SF ₆	Так	Так	Дуже добре

1) Можуть залишитись від попередніх операцій
 2) Мінімальна концентрація в контрольованих умовах.
 Примітка: Для змішування слід використовувати сухе повітря (<0,1 % H₂O)

Таблиця 3.26: Використання операцій з SF₆ для лиття під тиском за різних умов експлуатації [191, ІМА та ін.]

Діаметр тигля (см)	Спокійна низька витрата газу (плавлення/витримання)		Прискорена висока витрата газу (легування/заливання)	
	SF ₆ (мл/хв)	CO ₂ (л/хв)	SF ₆ (мл/хв)	CO ₂ (л/хв)
30	60	3,5	200	10
50	60	3,5	550	30
75	90	5	900	50

Примітка: Запропоновані витрати становлять 1,7 % – 2 % SF₆ по об'єму

Таблиця 3.27: Використання SF₆ в операціях гравітаційного лиття [191, ІМА та ін.]

На сьогодні єдиною альтернативою SF₆ без флюсу є SO₂. У непорушеному розплаві використання зазвичай буде 1 – 2 % на повітрі або азоті при витраті від 5 до 10 л/хв. [182, Клоссет, 2002], [218, Гарніш та Шварц, 2003]

У 2001 році загальне виробництво деталей з магнію в ЄС становило 39100 тонн, 37 % з яких було вироблено з SO₂, і 63 %, або 24500 тонн, з SF₆ (див. рис. 3.4). Це питання обговорюється далі в пункті 4.2.7.1.

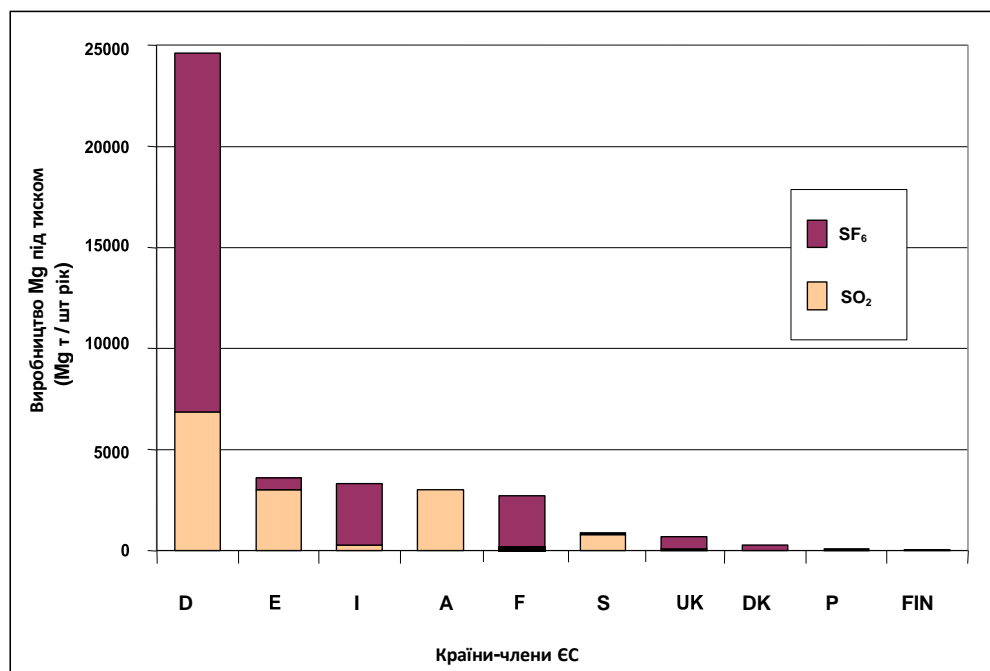


Рис. 3.4: Виробництво виливків з Mg у тоннах/рік в розрізі країн-членів ЄС та за буферним газом (SO₂ або SF₆) (дані 2001 року) [218, Гарніш та Шварц, 2003]

3.4.2 Обробка розплавленого магнію

Сплави магнію, що містять алюміній, обробляють гексахлоретаном (HCE) для рафінування зерна. Ця обробка застосовується для сплавів у випадку лиття в піщані форми та гравітаційного лиття під тиском, що становить близько 10 % від загальних сплавів магнію. Необхідна кількість HCE залежить від типу компонента, який підлягає виробництву, та наявних даних, виходячи з досвіду окремих заводів. Повідомляється про приблизну величину 2 кг HCE на тонну алюмінієвого сплаву магнію. [178, Венк, 1995]

3.4.3 Скрап магнію

У литті Mg під тиском кількість повернених матеріалів (скрапу Mg) майже еквівалентна кількості виливків належної якості. Близько 80 % поверненого матеріалу відповідає 1 класу скрапу (див. таблицю 3.28).

Клас	Опис
1 клас	Чистий, компактний скрап із відомим складом Живильники: чисті Залишки після пресу: чисто Неналежні виливки: чисті, без покриття
2 клас	Виливки зі скрапу, окрашені (часткові вкраплення Fe, Al, відсутність забруднень міддю та нікелем)
3 клас	Нечистий компактний металевий скрап (маслянистий, вологий, забруднений піском, міддю, нікелем, феросиліцієм), тобто переважно скрап, отриманий після споживачів
4 клас	Обточування: чисті, сухі Обточування: жирні, вологі Окалина, місця оплавлення, литники: жирні, вологі
5 клас	Дрос (із металевої поверхні)
6 клас	Тигельний шлак
7 клас	Скрап, що містить флюс, використана сіль (чорний дрос)
8 клас	Неметалічний залишок
9 клас	Інтерметалічні з'єднання

Таблиця 3.28: Класи скрапу магнію за якістю (рівнем вмісту) [206, Дітце і Шарф, 2000]

3.5 Плавлення і лиття міді та її сплавів

3.5.1 Елементи плавлення та лиття

Мідь і мідні сплави, як правило, плавляться в тигельних печах. Ці печі, як правило, працюють у таких межах:

- шихта: 30 – 1800 кг
- здатність (вихід): 30 – 400 кг
- енергоспоживання (нафтопродукти): 0,4 л/кг
- енергоспоживання (бутан): 0,3 м³/кг

Індукційні печі середньої частоти також застосовуються з футеровкою з кремнезему або глинозему.

В таблиці 3.29 представлено типовий баланс маси для лютток для виготовлення латуні. Наводяться дані для комбінованих операцій плавлення та лиття під низьким тиском (але без оздоблення та виготовлення стрижнів). Всі дані стосуються тонн проданих виливків належної якості. Дані стосуються плавлення в газовій тигельній печі потужністю 1 т/год.

Елементи на вході	
Електроенергія	1360 кВт·год
Пропановий газ	14
Стиснуте повітря	48 кВт·год
Вода	85,7 л
Таблетки для видалення газу	0,6 од.
Деоксидант	0,9 од.
Мідний сплав	0,44
Буферний флюс	0,31
Основні	286
Графітна фарба	3,4
Елементи на виході	
Незалитий пісок	101
Залитий пісок	6,7
Графітна фарба	61,4 л
Порошок цинку	0,075
Шлак	36,3
Латунний скрап	57,1
Латунна стружка	18,4
Викиди (після пиловловлюючої камери)	
Пил	3,9
VOC	3,3
SO ₂	0,1
NO _x	0,03
Мідь	0,081
Цинк	26,3
Усі дані подано на тонну проданого виливку, дані в кг, якщо не зазначено інакше	

**Таблиця 3.29: Дані щодо масового балансу для ливарного виробництва латуні з литтям під низьким тиском (операції плавлення + лиття)
[177, Сільва Рібейро, 2002]**

Для мідних сплавів кількість твердих частинок у викидах (емісіях) сильно залежить від вмісту цинку в сплавах. Як орієнтир, значення в таблиці 3.30 показують залежність між кількістю твердих частинок, що потрапляють до викидів, і вмістом цинку.

	Вміст Zn (%)	Викиди частинок (кг/тонну розплавленого)
Бронза	0 – 7	0,3 – 1,5
Латунь	20 – 40	0,5 – 16

Таблиця 3.30: Викиди часток від тигельного плавлення сплавів міді [126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000]

Виробництво шлаків і дросів становить близько 60 кг/тонну розплавленого металу. Ця величина є аналогічною для плавлення в індукційних або подових печах та для різних мідних сплавів. Склад шлаку залежить від виду розплавленого сплаву. Зазвичай вміст міді знаходиться в межах 45 – 55 %. Постійна якість шлаку може бути досягнута шляхом специфічного змішування різних типів шлаку із ливарного виробництва. Підтримання цієї постійної якості необхідне для зовнішньої переробки.

Виробництво вогнетривких відходів становить 8 – 9 кг/тонну розплавленого металу для індукційного плавлення та 7,5 кг/тонну розплавленого металу для масляних подових печей.

[34, Біннінгер, 1994]

3.5.2 Обробка розплавленої міді та її сплавів

Коли для дегазації міді використовується продування з утворенням бульбашок інертного газу, на кожні 100 кг міді використовується 50 – 70 літрів газу. Альтернативою є використання спеціальних таблеток або брикетів. Обробка дегазацією зазвичай займає 3 – 10 хвилин, залежно від розміру розплаву. Точна кількість необхідного розкислювача залежить від практики плавлення, що використовується на виробництві.

[175, Браун, 1999]

3.6 Плавлення та лиття цинку та його сплавів

Таблиця 3.31 представляє типовий баланс маси для ливарного цинку з використанням лиття під тиском. Це стосується лиття замаку (ZnAl4Cu1 або ZnAl4). Злитки з цинкового сплаву плавляться разом з браком і живильниками в газовій тигельній печі ливарної установки. Перед відливанням на модель розпорскується вивільняючий агент. Відлиту деталь охолоджують на водяній бані та видаляють ливникову систему. Потім виливки знежирюють і подрібнюють. Відпрацьовані гази збираються і відводяться в суху систему. Дані щодо основного виробництва й оздоблення наведені у пунктах 3.9 і 3.11.

Елементи на вході	
Цинковий сплав	1040
Виливки, що відбраковано	50
Живильники	450
Вивільняючий агент	20 л
Вода	1 м ³
Електрична енергія	700 кВт·год
Природний газ	70 нм ³
Елементи на виході	
Виливки належної якості	1000
Металева стружка	3
Дрос	30
Шлам від миття та подрібнення	2
Відпрацьований газ	10000 нм ³
Дрібні частинки	1
Всі дані подано на тонну виливків належної якості, дані в кг, якщо не зазначено інакше	

Таблиця 3.31: Типові дані щодо маси та енергії для лиття цинку під тиском

3.7 Плавлення та лиття свинцю

Процеси лиття свинцю можна розділити на:

- лиття свинцю під тиском
- лиття для акумуляторних батарей
- лиття в піщані форми для захисних екранів.

3.8 Очищення відпрацьованих газів

3.8.1 Скрубери

У ливарній промисловості застосовуються різні методи очищення відходів і вихлопних газів. Їх принципи обговорюються в документі ДД НДТМ для галузей кольорових металів. Властивості й рівень викидів системи зменшення пилу наведені в таблиці 3.32. Повна дискусія щодо вибору технології скорочення викидів, можливості її застосування в різних ливарних процесах та досяжного рівня викидів надається в пункті 4.5 як частина методик, які слід враховувати при відборі НДТМ.

Технологія	Розмір часток (нм)	ККД збору при 1 мкм (%)	Максимальна робоча температура (°C)	Діапазон досяжних викидів (мг/нм ³)	Коментарі
Гарячий ЕР	<0,1	>99 Залежить від моделі	450	5 – 15 (попереднє зниження >50)	4 або 5 зон. Типове застосування – це попереднє зменшення
Вологий ЕР	0,01	<99	80	1 – 5 (візуально чисто)	ЕР з 2-ма послідовними зонами. Переважно розпилення туману
Циклон	10	40	1100	100 – 300	Грубі тверді частинки. Використовується для допомоги іншим методам
Тканинний фільтр	0,01	>99,5	220	1 – 5	Хороші показники з відповідним типом пилу
Вологий скрубер	1 – 3	>80 – 99	Вхід 1000 Вихід 80	4 – 50	Хороші показники з відповідним типом пилу. Зменшення кислотного газу

ЕР: Електростатичний фільтр

Таблиця 3.32: Приклад поточних викидів від деяких установок зі зменшення рівня пилу [155, Європейське бюро ІЗКЗ, 2001]

3.8.2 Діоксини

У процесі плавлення можуть утворюватися діоксини, якщо умови, внаслідок яких виникають такі забруднювачі, є в одному і тому ж місці та процесі. Такими умовами є:

- наявність хлорид-іонів – вони можуть виникати від забрудненого скрапу, від використання вугілля, коксу, мазуту або певних флюсів
- наявність органічного вуглецю – може виникнути від забрудненого скрапу та вугілля, коксу чи нафти, що використовується як паливо
- температурні умови між 250°C і 450°C, з достатнім часом перебування газу в цьому температурному діапазоні
- наявність каталізатора, такого як мідь
- наявність кисню.

Оцінюючи ризик утворення діоксину, можна розділити ливарні виробництва на ті, що працюють із кольоровими та чорними металами:

- *Кольорові ливарні*: Поки плавлять лише злитки та внутрішній скрап, ризик утворення діоксину на стадії плавлення дуже низький. У плавленні чистих кольорових металів і хлор, і вуглець необхідні для (повторного) утворення діоксину. Однак повторне плавлення зовнішніх скрапів кольорових металів для виробництва металу може спричинити ризик утворення діоксину. Хоча слід зауважити, що ця дія виходить за межі цього документа і розглядається в [155, Європейське бюро IPPC, 2001].
- *Чорні ливарні*: Залежно від типу печі та навантаження на метал можуть виникати умови для утворення діоксину. Враховуючи високі температури в плавильній печі, викид діоксину (якщо він взагалі виникає) здебільшого утворюватиметься завдяки синтезу *de-novo*. Вищезазначені умови можуть бути використані для оцінки ризику утворення діоксину.

Дані про викиди діоксину зібрані з широкого спектру джерел. Зокрема в таблиці 3.33 представлені дані для різних типів металів і печей. Порожні чарунки означають, що дане значення показника не було вказане. Усі системи опитування не передбачають конкретних методів вловлювання діоксину. Можна розрізняти дві групи методик, де рівень діоксину дуже низький (<0,05 нг/нм³) або охоплює широкий діапазон (<0,01 – 3 нг/нм³). Перша група включає плавку алюмінію, індукційне плавлення чавуну та плавлення сталі в EAF. Друга група включає плавлення у вагранках та ротаційне плавлення чавуну. Аналіз даних із літературних джерел не дає повного розуміння причин відмінностей у другій групі. Однак можна помітити, що представлені НВС з вологою системою скрубера мають помітно нижчі значення викидів PCDD/F.

Тип продукту	Піч	Плавлення (тонна/год)	Димові гази (м ³ /год)	Зниження викидів	O ₂ (%)	PCDD/F (нгTEQ/нм ³)
Алюміній	Подова	дані відсутні	дані відсутні		дані відсутні	0,002
Алюміній	Подова	0,45	9300	Немає	18,8	0,002
Алюміній	Шахтна	1,5	8400	Немає	18,4	0,01
Чавун	СВС	3,4	15900	Мішковий фільтр	дані відсутні	0,04
Чавун	СВС	3,7	14300	Мішковий фільтр	16	0,09
Чавун	СВС	4,5	14300	Мішковий фільтр	дані відсутні	0,09
Чавун	СВС	3,4	дані відсутні		дані відсутні	0,33
Чавун	СВС	5,5	17400	Мішковий фільтр	15,9	0,51
Чавун	СВС	6,5	17500	Мішковий фільтр	дані відсутні	0,51
Чавун	СВС	6	27600	Мішковий + РС	дані відсутні	3,14
Чавун	НВС	45,5	55000	Дезінтегратор	6	0,003
Чавун	НВС	60	дані відсутні	Дезінтегратор	дані відсутні	0,003
Чавун	НВС	40,6	75000	Мішковий фільтр	12,5	0,05
Чавун	НВС	50	75000	Мішковий фільтр	дані відсутні	0,07
Чавун	НВС	15	36400	Мішковий + РС	дані відсутні	0,05
Чавун	НВС	13	дані відсутні		дані відсутні	0,10
Чавун	НВС	18,2	29100	Мішковий фільтр	8,6	0,20
Чавун	НВС	17,1	22500	Мішковий фільтр	7,5	0,29
Чавун	НВС	27	дані відсутні		дані відсутні	1,00
Чавун	НВС	28	37000	Мішковий фільтр	дані відсутні	2,08
Чавун	НВС	21	32000	Мішковий + РС	дані відсутні	3,09
Чавун	IF	19,5	208000	Мішковий фільтр	20,2	0,003
Чавун	IF	дані відсутні	дані відсутні	Мішковий фільтр	дані відсутні	0,01
Чавун	RF	8	дані відсутні		дані відсутні	0,004
Чавун	RF	1,4	9000	Немає	дані відсутні	0,02
Чавун	RF	2,1	18600	Мішковий фільтр	19,9	0,45
Чавун	RF	3,5	дані відсутні	Мішковий фільтр	дані відсутні	0,61
Сталь	EAF	5,4	54150	Мішковий фільтр	20,9	0,003
Сталь	EAF	9	5000	Вологий скруббер	дані відсутні	0,02

СВС: Вагранка з холодним дуттям; НВС: вагранка з гарячим дуттям; RF: ротаційна (обертובה) піч; IF: індукційна піч; EAF: електродугова (сталеплавильна) піч;

Таблиця 3.33: Дані щодо викидів діоксинів для різних типів ливарних виробництв [21, Штраусс, 1994], [23, Бреттшнайдер та Веннебуш, 1992], [27, Кран та ін., 1995], [43, Батц, 1996], [110, Віго, 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003], особисте спілкування

Дані викидів діоксину для різних плавильних печей чорних металів обговорюються нижче.

- *Вагранки*: у вагранках з коксу завжди присутній значний надлишок хлору. У коксі також присутня достатня кількість вуглецю, але може знадобитися додатковий вміст вуглецю у випадку, якщо якість скрапу низька. За конкретних експлуатаційних обставин можуть виникати умови для утворення діоксину. Оскільки синтез *de novo* зазвичай відбувається під час охолодження димових газів, це стосується як гарячого дуття, так і вагранок з холодним дуттям. В таблиці 3.34 подано результат статистичного аналізу всіх даних вимірювань з таблиці 3.33 для СВС та НВС. Тоді як таблиця 3.33 представляє середні значення на завод (підприємство), а для таблиці 3.34 з метою проведення загального аналізу використовувались індивідуальні вимірювання.

	Одиниці	Холодне дуття	Гаряче дуття
Середній	нгТЕQ/нм ³	0,54	0,75
Ст. відхилення	нгТЕQ/нм ³	1,08	1,3
Середнє значення	нгТЕQ/нм ³	0,18	0,09
Мінімум	нгТЕQ/нм ³	0,001	0,001
Максимум	нгТЕQ/нм ³	5,1	4,4
Кількість вимірювань		35	18
Кількість печей		11	11

Таблиця 3.34: Викиди діоксину для вагранок [21, Штраусс, 1994], [23, Бреттшнайдер та Веннебуш, 1992], [27, Кран та ін., 1995], [43, Батц, 1996], [110, Віто, 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003], особисте спілкування

Дані німецького опитування (6 установок, 18 вимірювань) показали діапазон 0,006 – 0,22 нгТЕQ/нм³, в середньому 0,0724 нгТЕQ/нм³ (0,0608 і-ТЕQ/нм³). Набір даних опитування частково збігається з представленим вище набором даних, але він не дав достатньої інформації для його розширення. [224, Гербер та ін., 2000]

Дані показують, що середнє значення, стандартне відхилення та діапазон значень схожі як вагранок із холодним дуттям, так і для вагранок із гарячим дуттям. Середнє значення для вагранок із гарячим дуттям нижче ніж для холодного дуття. Це підтверджує твердження [224, Гербер та ін., 2000] про відсутність статистичної різниці між викидами діоксину для вагранок із гарячим та холодним дуттям. Високе стандартне відхилення показує, що дані слід інтерпретувати на основі заводів (індивідуальний підхід), а не на усередненій основі.

Для вологого обезпилення з дезінтегратором відпрацьований газ проходить через вікно критичної температури (250 – 450°C) після обезпилення, тобто з низьким вмістом пилю. Крім того, були виміряні хлориди. Це сильно знижує ризик синтезу *de novo*.

- *Ротаційні печі*: Через обмежену можливість легування заряд обертової печі, як правило, складається з чистого матеріалу. Через високу температуру полум'я гарячі гази залишають піч при температурі від 1000 до 1300 °C. Після спалення відбувається всередині печі. Синтез *de novo* можливий, якщо димові гази охолоджуються повільно. Повідомлення в діапазоні від 0,004 – 0,61 нгТЕQ/нм³.

- *Індукційні печі*: Через обмежену можливість легування заряд індукційної печі, як правило, складається з чистого матеріалу. Крім того, піч не утворює потоку високотемпературних димових газів, який повільно охолоджується.

- *Електродугові печі*: Печі ЕАФ дають змогу обробляти розплав і легувати, якщо вони застосовуються в основній практиці футеровки. Це дає можливість використовувати брудний скрап як сировину для плавлення. Якщо заряджати скрап, що містить органічні та/або хлоровані сполуки, під час охолодження потоку димових газів можуть утворюватися діоксини. Це може статися під час використання скрапу, наприклад, електронного обладнання, трансформаторів і подрібнених транспортних засобів. ЕАФ з кислотною футеровкою не дозволяє обробляти метали, тому можливість подачі забрудненого скрапу знижується. Це також знижує ризик утворення діоксину.

[161, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

3.9 Виготовлення форми та стрижня

3.9.1 Вступ

Виробництво форм і стрижнів передбачає змішування піску з різними хімічними речовинами, в деяких випадках потім ще відбувається етап нагріву. Викидаються газоподібні або летючі продукти реакції та надлишки реагентів. В таблиці 3.35 представлено опис викидів та інших впливів на навколишнє середовище під час змішування, затвердіння та зберігання форм і стрижнів. Подальше обговорення рівнів викидів і споживання для кожного з типів зв'язування подано в наступних пунктах розділу.

Назва системи та зв'язуючі речовини	Метод затвердіння та відносна потреба в енергії	Викиди в повітря під час перемішування та затвердіння	Інші впливи на навколишнє середовище
СИРА ФОРМУВАЛЬНА СУМІШ Глина Вугільний пил або замітник Вода	Тиск – низька	Дрібні частинки – відсутність значних викидів у навколишнє середовище	Необхідно уникати розсипання піску навколо транспортерів, щоб знизити ймовірність викидів (парів/димів). Зниження викидів у процесі перемішування не є суттєвим (процес, як правило, є автономним із витісненим повітрям, що подається в ливарне виробництво)
ОБОЛОНКОВА ПІЩАНА Фенолформальдегідна смола («новолак» («novolac»))	Тепло – висока	Формальдегід * Аміак * Фенол * Запахи речовини HCN	Запах може бути проблемою, оскільки обладнання для оболонок зазвичай витягується в повітря
ЛУЖНА ФЕНОЛЬНА Резол - лужна фенолформальдегідна смола	1. Газ затверділий (лужний фенольний холодний ящик) 2. Самозатвердіння (лужне фенольне зв'язування, без висушування)	Газ, затверділий парами метилформату – низька Холодне затвердіння з ефірами – низька	Формальдегід * Фенол * Метилформат Формальдегід * Фенол * Ефіри (естери)
ФЕНОЛЬНИЙ УРЕТАН 1. Газ затверділий: холодний ящик 2. Самозатвердіння (фенольний уретан, без висушування)	Пари аміна – низька Самозатвердіння із заміщеним піридином – низька	Ізоціанат (MDI) Амін * Формальдегід * Фенол Ізоціанати (MDI) Формальдегід * Фенол	Запах часто є проблемою – там, де застосовується DMEA, виникають запахи і зменшення викидів є суттєвим. Це може бути спалювання або скрубер (з використанням сірчаної або фосфорної кислоти) – через останню виникають спиртовмісні речовини, які є окремим видом відходів. Там, де застосовується TEA, обробка скрубера потрібна лише в разі виникнення проблем із запахом
ФУРАН Комбіновані смоли: Фенол Сечовина Фурфуриловий спирт Формальдегід	Холодне затвердіння на кислотах – низька	Формальдегід * Фенол * Фурфуриловий спирт * Сірководень Кислотні тумани	Смоли та кислоти повинні зберігатись окремо (якщо немає піску), оскільки вони мають сильні екзотермічні властивості при контакті
ГАРЯЧИЙ ЯЩИК Комбіновані смоли: Фенол Сечовина Фурфуриловий спирт Формальдегід	Тепло – висока	Формальдегід * Кислоти Фурфуриловий спирт * Фенол * Аміак Ізоціанова кислота Метил ізоціанат	Запах може бути проблемою, оскільки обладнання для оболонок зазвичай витягується в повітря

Назва системи та зв'язуючі речовини	Метод затвердіння та відносна потреба в енергії	Викиди в повітря під час перемішування та затвердіння	Інші впливи на навколишнє середовище
ПСОК З ОЛІЄЮ Лляне масло і крохмаль	Тепло – висока	Акриловий альдегід* Складна органіка	Запах може бути проблемою, оскільки обладнання для оболонки зазвичай витягується в повітря
ЗАТВЕРДІННЯ НА СО₂ Силікат натрію	Газ, затверділий на СО ₂ – низька	Жодного	
СИЛКАТ ЕФІР Силікат натрію	Холодне затвердіння з ефірами – низька	Ефіри	

Примітка 1: Усі перераховані вище процеси викликають появу відпрацьованого піску (включаючи розбиті стрижні, розливи та залишки у змішувачі), які можуть відправляти на полігон (сміттєзвалище)

Примітка 2: Речовини, позначені символом *, є найімовірнішими джерелами запаху від зазначеного процесу

Примітка 3: Будь-який компонент зв'язуючої смоли вважатиметься спеціальними відходами в контексті утилізації та якщо його розливання може спричинити загрозу забруднення водних систем

Примітка 4: Аміни та метилформати, що використовуються для твердіння газу, є легкозаймистими та пахучими. Уникнення протікання під час зберігання є вкрай важливим

Таблиця 3.35: Вплив на навколишнє середовище від зв'язуючих систем [126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000], [160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003], [229, Лілья та ін., 2000]

Кількісні дані щодо викидів пилу з формувальних цехів були зібрані в італійському опитуванні представників ливарного виробництва. Результати наведені в таблиці 3.36. Всі системи очищення вихлопів досягають рівня <math><15 \text{ мг/м}^3</math>.

	Концентрація (мг/м ³)			Коефіцієнт викидів (г/тонну)*		
	середня	мінімальна	максимальна	середній	мінімальний	максимальний
Мішковий фільтр	3,2	0,4	12,1	24,4	0,5	108,3
Вологий скруббер	5,2	3,6	6,7	6,2	4,0	8,0
Волога система Вентурі	9,6	8,5	10,9	34,2	30,1	39,9

Одиниці: г/тонну виливків належної якості
Кількість точок даних: мішковий фільтр: 33; вологий скруббер: 4; волога система Вентурі: 3

Таблиця 3.36: Значення та коефіцієнти викидів для викидів пилу від формувальних цехів після очищення вихлопних газів [180, Assofond, 2002]

Викиди, наведені в таблиці 3.35, відносяться до етапів перемішування, твердіння та зберігання форм і стрижнів. Більшість викидів зберігаються під час стадії розливання та лиття металів, але тепер із додаванням продуктів піролізу. Про них мова піде в пункті 3.10.1.

Таблиця 3.37 дає дані про викиди пилу з німецької компанії, що мала на меті провести відповідні вимірювання. Пил аналізували на фракції PM₁₀, PM_{2,5} та PM₁.

Вид діяльності	Об'єм відпрацьованих газів (нм ³ /год)	Обладнання для очищення газів	Всього пилу (мг/м ²)	PM ₁₀ (%)	PM _{2,5} (%)	PM ₁ (%)
Підготовка піску	25600	Мішковий фільтр	0,3			
Підготовка сирової формувальної суміші	24400	Витяжний ковпак, Мішковий фільтр	0,7	88	38	
Підготовка піску	70400	ESP	22 – 28,3	79	18	
Цех із виготовлення стрижнів	4670 (сухі)	Промивне обладнання для аміна	0,7	98	47 – 62	
Формувальний цех	52300 (сухі)	Мішковий фільтр	0,7	95 – 97	50 – 60	2 – 5
Оздоблення	22000 (сухі)	Мішковий фільтр	5,3	100	45 – 48	9

Таблиця 3.37: Приклад викидів пилу та розмірів часток для виготовлення форм і стрижнів [202, ТРГ (TWG), 2002]

3.9.2 Формування з глинистим піском (формування сирого піску)

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– пісок	– сирі піщані форми
– зв'язуюча глина (наприклад бентоніт)	– пил (кремнезем, частково випалена глина, неспалений вугільний пил та попіл)
– флюс (вапняк ...)	
– вугільний пил, декстрин	
– вода (для підготовки формувальної суміші)	

Склад доданого до піску бентоніту залежить від конкретних властивостей як піску, так і бентоніту, а також від бажаної міцності й газопроникності готової форми. Таблиця 3.38 дає деякі параметри глинисто-піщаного піску, отримані з вибірки зі 105 зразків піску, взятих на чавунних ливарнях.

Параметр	Одиниці	Середнє значення	% проб в діапазоні середнє ± 10 %		Максимальне значення	Мінімальне значення
			Діапазон	%		
Вміст води	%	4,1	3,4 – 4,5	48	6,9	2,4
Вміст бентоніту	%	8,3	7,5 – 9,1	45	11,9	5,6
Щільність	г/см ³	0,940	1,00 – 0,85	75	1,06	0,73
Втрати при спалюванні	%	5,0	4,5 – 5,5	20	15,0	1,0
Міцність на стиск	Н/см ²	18,6	16,7 – 20,5	54	24,5	13,2

Таблиця 3.38: Типові властивості сирій формувальної суміші, виміряні на 105 піщаних зразках зі 105 ливарних виробництв чавуну [36, Вінтерхальтер та ін., 1992]

Подальші добавки (домішки) додають до сирій формувальної суміші («зеленого піску»):

- *Вугільний пил*: Використовується переважно в ливарних виробництвах чавуну, але також у меншій мірі в деяких виробництвах кольорових металів. Рівень вугільного пилу в «зеленому піску» змінюється від 2 або 3 % для малих виливків, до 7 або 8 % для виливків з важкими секціями. Занадто багато вугільного пилу може призвести до появи дірок у виливках чи браку. Існують різні продукти заміщення вугільного пилу. Зазвичай їх додають у дещо зміненій концентрації порівняно з вугільним пилом
- *Зв'язуючі речовини на основі крохмалю*: Крохмаль і декстрин використовуються переважно в ливарних виробництвах сталі, щоб уникнути дефектів, спричинених розширенням кремнезему, і контролювати надлишок вологи в піщаній суміші. Ефективні добавки зв'язуючих речовин на основі крохмалю до нових сирих формувальних сумішей становлять від 0,5 до 0,75 %. У сирих сумішах одиничного типу частина зерна знищується в процесі лиття. Рекомендована добавка на кожен переробку становить від 0,1 до 0,25 %, залежно від кількості вигорання крохмалю та від розведення стрижнями і новим піском.

[174, Браун, 2000], [225, ТРГ (TWG), 2003]

3.9.3 Формування з незв'язаним піском (V-процес)

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– сухий пісок	– форми
– листи РЕ	– пил
– енергія (виробити та утримати вакуум)	

Тепловий удар, викликаний контактом розплавленого металу, розщеплює піщані зерна, утворюючи пил, який зазвичай виділяється під час вибивання. Пил, що залишився в піску, необхідно видалити, щоб можна було повторно використати пісок для формування. Від використання цього методу під час заповнення формувальних ящиків має утворюватися лише невелика кількість пилу.

Цей процес представляє інтерес через дуже низький вплив на навколишнє середовище. Однак, оскільки цикл його процесу включає в себе багато етапів, швидкість лиття є низькою, а розрив між початковими часом для кожного нового виливка є тривалим. Більше того, інвестиційні витрати дуже високі. Як наслідок, цей процес знайшов лише обмежене застосування на практиці.

3.9.4 Формування та виготовлення стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– пісок	– піщані форми та стрижні
– смола	– надлишкові реагенти
– каталізатори, речовини, що сприяють твердінню, добавки	– продукти реакції
	– пил

3.9.4.1 Рівні споживання хімічних речовин

В таблиці 3.39 представлено рівень споживання різних видів зв'язуючих речовин, затверджувачів (речовин, що сприяють твердінню), каталізаторів і добавок.

Тип затвердіння	Тип смоли	Додавання смоли % на вагу піску	Каталізатор/тип затверджувача	Додавання каталізатора/затверджувача % на вагу піску	Тип добавки	Додавання добавки % на вагу піску
Твердіння під дією холоду	Фуран	0,8 – 1,5	Сульфонова кислота	25 – 60	Силан	0,1 – 0,2
	Фенолформ.	1 – 2	Сульфонова кислота	25 – 50	не застосовується	не застосовується
	Поліуретан	0,8 – 1,5	Похідне піридину	2 – 6	не застосовується	не застосовується
	Резол	1,0 – 1,5	Ефір (естер)	22 – 25	не застосовується	не застосовується
	Алкідна олія	1,0 – 2,0	Ізоціанат	18 – 20	Каталізатор	0,002 – 0,2
	Ефірний силікат	2,0 – 4,5	Ефір (естер)	10 – 15	не застосовується	не застосовується
Твердіння під дією газу	Фенолформ./ Фуран	0,8 – 1,2	SO ₂	0,3 – 3	Пероксид	0,1 – 0,5
	Поліуретановий холодний ящик	1,0 – 1,8	Амін	0,05 – 0,15	не застосовується	не застосовується
	Резол	1,2 – 1,8	Метилфолат	0,3 – 0,5	не застосовується	не застосовується
	Резол	2 – 2,5	CO ₂	0,7 – 1,25	не застосовується	не застосовується
	Акрил/Епоксид	1,2 – 1,6	SO ₂	0,02 – 0,05	Пероксид	0,05 – 0,06
	Силікат	2 – 4	CO ₂	1 – 2	не застосовується	не застосовується
Твердіння під дією тепла	Олія/оліфа	0,8 – 4			не застосовується	не застосовується
	Теплий ящик на фурфуріловому спирті	1,0 – 1,5	Солі Cu сульфонової кислот	10 – 30	не застосовується	не застосовується
	Гарячий ящик на основі фенолу або фурану	1,2 – 3,0	Солі амонію	10 – 25	не застосовується	не застосовується
	Оболонкові на фенол-формальдегідному зв'язуванні	1,5 – 5	Гексаметилен-тетрамін	15	не застосовується	не застосовується

Таблиця 3.39: Рівні споживання різних смол (полімерів), каталізаторів, засобів твердіння і добавок для приготування формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами [174, Браун, 2000], [225, TRG (TWG), 2003]

3.9.4.2 Фактори, які впливають на викиди

Застосування хімічних зв'язуючих речовин призводить до отримання різних сполук під час змішування, виготовлення форми та стрижня, зберігання, розливання та охолодження, як зазначено в таблиці 3.35. Деякі орієнтовні фактори викидів для декількох процесів наведені в таблицях 3.40 і 3.41.

	Фурановий пісок	Фенольний пісок
Органічні розчинники	1,4	1,25
Фенол	0,02	0,18
Формальдегід	0,08	0,15
Усі дані в кг/тонну розплавленого металу		

Таблиця 3.40: Фактори викидів для виготовлення форм [110, Віто, 2001]

	Холодний ящик	Гарячий ящик	Оболонковий
Пил	не застосовується	0,003	0,003
Фурфуріловий спирт	0,1	не застосовується	не застосовується
Формальдегід	0,01	не застосовується	0,003
Органічні розчинники	не застосовується	0,03	не застосовується
Ароматичні розчинники	0,12	не застосовується	не застосовується
Аміни	0,13	не застосовується	не застосовується
Усі дані в кг/тонну розплавленого металу			

Таблиця 3.41: Фактори викидів для виготовлення стрижнів [110, Віто, 2001]

3.9.4.3 Викиди від процесів затвердіння при охолодженні

Викиди для затвердіння під дією холоду можна описати так:

- *Фенолформальдегід*: Можуть виділятися пари формальдегіду та фенолу через тиск парів цих складових. Але, оскільки полімеризація відбувається при температурі навколишнього середовища, ці тиски парів є низькими та, враховуючи норми споживання, викиди незначні.
 - *Фуран*: Можуть виділятися пари формальдегіду, фенолу, фурфурілового спирту і спиртів через тиск парів цих складових. Але, оскільки полімеризація відбувається при температурі навколишнього середовища, ці тиски парів є низькими та, враховуючи норми споживання, викиди незначні.
 - *Поліуретан*: Можуть виділятися пари формальдегіду, фенолу, ізоціанату й ароматичних розчинників через тиск парів цих складових. Але, оскільки полімеризація відбувається при температурі навколишнього середовища, ці тиски парів є низькими та, враховуючи норми споживання, викиди незначні. У зоні формування можуть утворюватися неприємні запахи, але, швидше за все, це не має бути неприємним для оточуючих.
 - *Резол-складний ефір*: Смола містить фенол і формальдегід, що не прореагували, але їх викиди надзвичайно низькі й екологічно незначні
 - *Алкідна олія*: Під час виготовлення форм і стрижнів не виникає проблем із викидами, якщо вони не тверднуть під дією тепла, і в цьому випадку можуть виникнути проблеми із запахом.
 - *Ефірний силікат*: Цей процес не створює проблем із викидами.
- [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

3.9.4.4 Викиди від процесів затвердіння при подачі газу

Викиди для процесів затвердіння під дією газу можна описати так:

- *Холодний ящик*: У малих кількостях виділяються пари формальдегіду, фенолу, ізоціанату й ароматичних розчинників, незважаючи на низький тиск їх парів. Ароматичні викиди розчинників найбільші під час продування. Найвагомішими викидами є аміни, які мають низькі пороги виявлення запаху і можуть бути неприємними для оточуючих. Аміни небезпечні, мають відносно низьку граничну величину впливу та мають дуже сильний характерний запах при дуже низьких концентраціях
- *Резол-ефір*: Смола містить фенол і формальдегід, що не прореагували, але рівень їх викидів, навіть у періоди газоутворення та продування, дуже низький. Метилформат не токсичний, не має неприємного запаху, і показник його безпеки відносно високий
- *Резол-СО₂*: Смола містить незначний рівень фенолу та формальдегіду, що не прореагували, а рівень їх викидів, навіть у періоди газоутворення і продування, дуже низький
- *Затверділа фенольна та фуранова смола на SO₂*: Смоли та підготовлені піски генерують викиди формальдегіду. Основна проблема викидів викликана діоксидом сірки, який є дуже небезпечним
- *Затверділий SO₂ епоксидний/акриловий*: Мінімальні викиди утворюються в процесі основної роботи
- *Силікат СО₂*: Цей процес не створює жодних проблем із викидами під час формування чи виготовлення стрижнів.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

3.9.4.5 Викиди від процесів гарячого затвердіння

Викиди для процесів затвердіння під дією тепла можна описати так:

- *Викиди гарячого ящика*: Зазвичай моделі нагріваються газовими пальниками на відкритому повітрі, створюючи викиди газів. Газ може містити фенол, аміак, формальдегід і моноізоціанати (якщо смола містить азот)
- *Викиди теплого ящика*: У порівнянні з процесом гарячого ящика викиди значно нижчі. Викиди не містять фенолу чи аміаку, а також в 4 рази зменшуються викиди формальдегіду. Оскільки температура моделі також нижча порівняно з тією, що використовується для гарячого процесу, відповідно покращуються умови роботи. Вплив на навколишнє середовище вважається порівняно низьким
- *Викиди від оболонок*: Порівняно з процесом гарячого ящика витрата затверділого піску дуже низька. Однак попередньо покритий пісок містить у 2–3 рази більше смоли, але оскільки температури моделі приблизно однакові, то наслідки впливу на умови праці аналогічні.
- *Викиди лляної олії*: Оскільки олії часто знаходяться в розчині з органічними розчинниками, такими як нафта або гас, при затвердінні утворюється велика кількість VOC, що може спричинити появу запаху. Ця проблема ще яскравіше проявляється під час заливання. Ці проблеми, а також низька продуктивність є однією з причин зниження інтересу до використання цього процесу.

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

Масовий баланс для стрижнів гарячого ящика наведено в таблиці 3.42. Дані були зібрані з цеху виготовлення стрижнів ливарного виробництва, що працює з литтям під низьким тиском [177, Сільва Рібейро, 2002].

Елементи на вході	
Новий пісок	371
Електрична енергія	352,9 кВт·год.
Пропановий газ	7
Стиснуте повітря	187,1 кВт·год.
Смола	8,3
Консервуючі домішки	0,51
Каталізатор	0,76
Покриття	1,7
Елементи на виході	
Стрижні	287,7
Не залитий пісок	84,3
Смола	1,41
Металеві та пластикові контейнери	
Викиди (після мішкового фільтра)	
Викиди часток	0,11
VOС	0,83
Усі дані подано на тонну проданих виливків, значення в кг, якщо не зазначено інакше	

Таблиця 3.42: Дані щодо масового балансу для ливарного виробництва латунних стрижнів із використанням гарячого стрижневого ящика [177, Сільва Рібейро, 2002]

3.9.5 Покриття форм і стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– Покриття, готові до використання або маса для розведення водою чи спиртом	– VOC (на основі спирту)
– тепло для випаровування розчинника	

3.9.6 Лиття одноразових моделей (лиття по газифікованих моделях/повне формування)

3.9.6.1 Незв'язаний пісок – лиття по газифікованих моделях

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– гранулят EPS	– піщані форми
– клей EPS	– залишки EPS
– вогнетривке покриття	– продукти піролізу та згоряння
– пісок	– пил

При виробництві алюмінієвих виливків витрачається близько 15 кг/тонну грануляту EPS виливків належної якості. Витрата вогнетривкого покриття становить близько 20 кг/тонну виливків належної якості.

У таблиці 3.43 представлено порівняльний аналіз ливарного виробництва алюмінію, що працює із «зеленим піском» і литтям по газифікованих моделях («Lost Foam») та виробляє 5490 тонн виливків належної якості на рік. Слід зазначити, що значення не враховують внутрішнє відновлення. На практиці обидва типи ливарних виробів застосовуватимуть відновлення, зменшуючи кількість залишків, фактично залишених для утилізації.

Тип залишку	Лиття по газифікованих моделях	Лиття у формі із «зеленого піску»
Ливарний пісок (без внутрішнього відновлення)	1,04	2,95
Фільтр пилу (без внутрішнього відновлення)	0,056	0,22
Фільтр пилу (із внутрішнім відновленням)	0,056	0,61
Залишок EPS	0,0027	-
Усі дані подано у кг/тонну виливків належної якості		

Таблиця 3.43: Порівняльні дані для залишкового виробництва з ЛГМ та лиття алюмінію із сирій формувальної суміші [96, Шпільнер, 1997]

Дані про викиди для органічних сполук наведені в таблиці 3.44. Вони застосовуються до ливарного виробництва алюмінію з литтям по газифікованих моделях (ЛГМ або Lost Foam), що виробляє 1,5 т/год порівняно з литтям із сирової формувальної суміші, що виробляє 1,2 т/год та використовує 1,9 т стрижнів холодного ящика/год. Виробництво з ЛГМ було обладнане камерою з мішком та блоком згорання. Дані виробництва із «зеленим піском» стосуються пристрою з мішковою фільтрацією. Дані показують, що виробництво з ЛГМ, застосовуючи інтенсивніше очищення димових газів, викидає вищі рівні ВТЕХ та формальдегіду, але явно нижчий рівень органічного вуглецю. Післяспалювання відпрацьованих газів лиття потрібне для розкладання продуктів піролізу EPS при заливці.

Сполуки	Лиття по газифікованих моделях	Лиття у формі із «зеленого піску»
Бензол	35,33	8,5
Толуол, ксилол, етилбензол, стирол	354,67	18,58
Невідомі органічні сполуки	96,67	655,0
Всього органічного вуглецю	857,33	1283,33
РАН	1,45	1,43
Формальдегід	18,00	2,08
Фенол	18,00	69,83
Всі значення подано в г/тонну розплавленого алюмінію		

Таблиця 3.44: Дані щодо викидів із димової труби для ливарного виробництва ЛГМ та лиття алюмінію із сирової формувальної суміші [96, Шпільнер, 1997]

3.9.6.2 Пісок із хімічним зв'язуванням – повне формування

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– гранулят EPS	– піщані форми
– клей EPS	– залишки EPS
– вогнетривке покриття	– продукти піролізу та згорання
– пісок	– пил
– зв'язуючі речовини	

Масові витрати викидів від повного формування та від лиття у порожнисті форми слід вважати подібними. Це видно з рис. 3.5, що показує масову витрату органічного вуглецю як функцію часу при виливанні. Час '0:00' відповідає початку запуску. Дані було зібрано з виробництва із застосуванням пісків, зв'язаних фураном, як для виготовлення повної, так і порожньої форми.

Повний процес формування форми показує високу емісію після заливання та початкову пікову емісію одразу після заливання, рівень якої закінчується протягом 1 години. Процес для порожнистої форми демонструє нижчу початкову емісію, але вирівнювання йде повільніше і займає до 2 годин. Тому загальний викид органічного вуглецю протягом усього етапу охолодження є рівним для обох процесів. Додаткові вимірювання показали, що однаковий профіль застосовується до бензолу, етилбензолу, фенолу та фурфурілового спирту. Максимальна емісія стиролу і толуолу відбувається через 15 – 30 хвилин. Це пов'язано з початковою конденсацією молекул на холодних частинах форми.

[215, Мюллер, 1996]

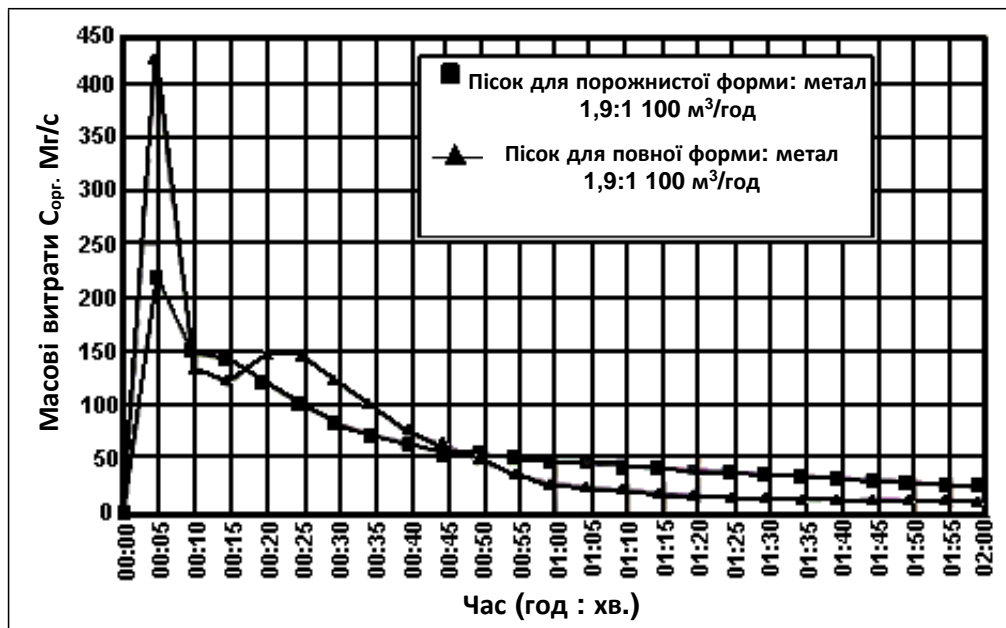


Рис. 3.5: Навантаження відпрацьованого газу при заливанні в повні та порожні форми сплав вилівка: пластинчастий чавун; форма: пісок, зв'язаний фураном; 1,9 тонни піску: 1 тонна Fe [215, Мюллер, 1996]

3.10 Лиття

3.10.1 Лиття, охолодження та вибивання з використанням газифікованих моделей

3.10.1.1 Рівні викидів

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– завершені форми	– вилівки
– розплавлений метал	– використаний пісок
	– продукти згоряння (від попереднього нагрівання ковшів для заливання)
	– органічні забруднювачі від піролізу і термічної деградації сполучної речовини, покриття форм чорнилами тощо (фенол, формальдегід, амін, ціаністий водень, РАН, бензол, VOC)
	– запах
	– відходи від очищення відпрацьованого повітря (сухого/мулового)
	– пил, що випаровується

Під час **попереднього нагрівання** ковшів утворюються гази згоряння в результаті використання природного газу як загального джерела енергії.

Під час заливання можуть виникати такі види **викидів**:

- термічно розкладаються компоненти, такі як екзотермічні гільзи, що реагують на виділення випарів та/або пари
- хімічні сполуки від зв'язуючої речовини та деякі чорнильні системи, які можуть виділятися в результаті термічної деградації та/або летючої речовини, наприклад гази, спалювання, водяна пара і летючі органічні речовини. Деякі продукти деградації можуть мати запах.

Досвід показує, що максимальні викиди (пов'язані із всього-С) виникають лише протягом 10 хвилин або більше після заливання. СО є основним компонентом, при цьому рівень СО є показовим щодо викидів інших сполук. [110, Віто, 2001]

Під час **охолодження та вибивання** відбувається процес термічного розкладання й утворюються летючі сполуки, зазвичай скеровані дифузією та швидкістю випаровування. Видалення (вививання) піщаних форм і стрижнів з виливків є пиломісткою процедурою, оскільки форми, принаймні частково, повинні бути подрібнені.

Другий етап охолодження не виділяє нічого, крім водяної пари з тих установок, де водяний спрей використовується як охолоджуючий засіб. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

Тип викидів під час лиття залежить від типу зв'язуючої речовини. Викиди можна порівняти з викидами на стадії змішування, при цьому додавання продуктів піролізу відбувається при контакті з гарячим металом. В таблиці 3.45 показано результати якісного огляду викидів, пов'язаних із різними типами зв'язуючих речовин.

Назва системи та зв'язуючі речовини	Викиди в повітря під час переміщення та лиття	Коментарі
СИРА ФОРМУВАЛЬНА СУМІШ Глина Вугільний пил або замітник Вода	Частинки – сажа від спалювання вугілля Окис вуглецю і вуглекислий газ Бензол Толуол Ксилол	Потенційний запах (може бути пов'язаний із вмістом сірки у вугіллі)
ОБОЛОНКОВА ПІЩАНА Фенолформальдегідна смола («новолак» («novolac»))	Частинки – сажа від неповного згоряння смол на основі вуглецю Оксиди вуглецю Фенол *, крезолі * та ксиленоли * Аміак Альдегіди Бензол РАН	Проблеми із запахом поширеніші – може бути необхідна обробка, хоча дисперсії може бути достатньо
ЛУЖНА ФЕНОЛЬНА Резол – лужна фенолформальдегідна смола 1. Газ затверділий (лужний фенольний холодний ящик) 2. Самозатвердіння (лужне фенольне зв'язування, без висушування)	Частинки – сажа від неповного згоряння смол на основі вуглецю Оксиди вуглецю Формальдегід Фенол, крезолі та ксиленоли Ароматичні речовини	Запах може бути проблемою
ФЕНОЛЬНИЙ УРЕТАН 1. Газ затверділий: холодний ящик 2. Самозатвердіння (фенольний уретан, без висушування)	Частинки – сажа від неповного згоряння смол на основі вуглецю Оксиди вуглецю Оксиди азоту Моноізоціанати Формальдегід Фенол, крезолі та ксиленоли Ароматичні речовини (включаючи поліцикліки) Аніліни Нафталін Аміак	Запах може бути проблемою

Назва системи та зв'язуючі речовини	Викиди в повітря під час перемішування та лиття	Коментарі
ФУРАН Комбіновані смоли: Фенол Сечовина Фурфуріловий спирт Формальдегід	Частинки – сажа від неповного згоряння смол на основі вуглецю Оксиди вуглецю Фенол, крезолі та ксиленоли Формальдегід Ароматичні речовини (включаючи поліцикліки) Сірчистий газ Аміак Анілін Ізоціанова кислота * Метил ізоціанат *	Запах час від часу може бути проблемою
ГАРЯЧИЙ ЯЩИК Комбіновані смоли: Фенол Сечовина Фурфуріловий спирт Формальдегід	Частинки – сажа від неповного згоряння смол на основі вуглецю Оксиди вуглецю Оксиди азоту Формальдегід Фенол, крезолі та ксиленоли Ароматичні речовини (включаючи поліцикліки) Анілін Аміак Ізоціанова кислота * Метил ізоціанат *	
ПІСОК З ОЛІЄЮ Ляне масло і крохмаль	Частинки – сажа від неповного згоряння смол на основі вуглецю Оксиди вуглецю Бутадієн Кетони Акролеїн	Запах може бути проблемою
ЗАТВЕРДІННЯ НА CO₂ Силікат натрію	Оксиди вуглецю	
СИЛКАТ ЕФІР Силікат натрію	Оксиди вуглецю Алкани Ацетон Оцтова кислота Акролеїн	
* Для смол, що містять азот (сечовину)		

Таблиця 3.45: Вплив на навколишнє середовище від зв'язуючих систем завдяки наливанню, вибиванню та охолодження [160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

Фактори та коефіцієнти викидів для лиття заліза в піщаних формах із холодним затвердінням, які використовуються в Бельгії, наведені в таблиці 3.46.

Сполуки	Середнє значення кг/тонну розплавленого матеріалу
CO	1,1
Аліфатичні гетероциклічні вуглеводні	0,22
Ароматичні вуглеводні	0,05
HCN	0,03
Формальдегід	0,02
Сполуки сірки (при використанні паратолуолсульфонової кислоти)	0,10
Леткі органофосфорні сполуки (при використанні фосфорної кислоти)	0,11

Таблиця 3.46: Фактори викидів для лиття чавуну в піщаних формах холодного тверднення зі зв'язуванням смолою (полімерами) [110, Віто, 2001]

Фактори та коефіцієнти викидів під час заливання, охолодження та вибивання для змішаної піщаної системи були визначені за допомогою інтенсивної програми вимірювань на двох автомобільних заводах Мексики. Досліджувані ливарні виготовляли чавунні виливки, використовуючи форми із сирової формувальної суміші та стрижні з хімічним зв'язуванням. Коефіцієнти викидів дуже специфічні для процесу і змінюються залежно від змін форми або складу стрижня, або змін параметрів процесу, таких як час охолодження, або застосовуваних методик, таких як тип пристрою, що застосовується для вибивання. Утім, отримані фактори та коефіцієнти викидів дають корисну інформацію про тип викидів і про відносну важливість різних етапів процесу. Коефіцієнти викидів для найважливіших виявлених забруднювачів повітря представлені на рис. 3.6. Дані показують, що найвищі викиди відбуваються під час вибивання, і лише незначні викиди виникають під час заливання. Нафталін та монометильовані нафталіни здебільшого сприяють викидам РАН. Подальший аналіз цієї категорії виявив, що не було виявлено багато канцерогенних РАН, таких як бензо(а)пірен.

Основні викиди металів включають марганець, свинець, нікель, мідь і хром, при цьому найбільші значення мають свинець та марганець. [141, Програма зниження викидів від ливарної промисловості (CERP), 1999]

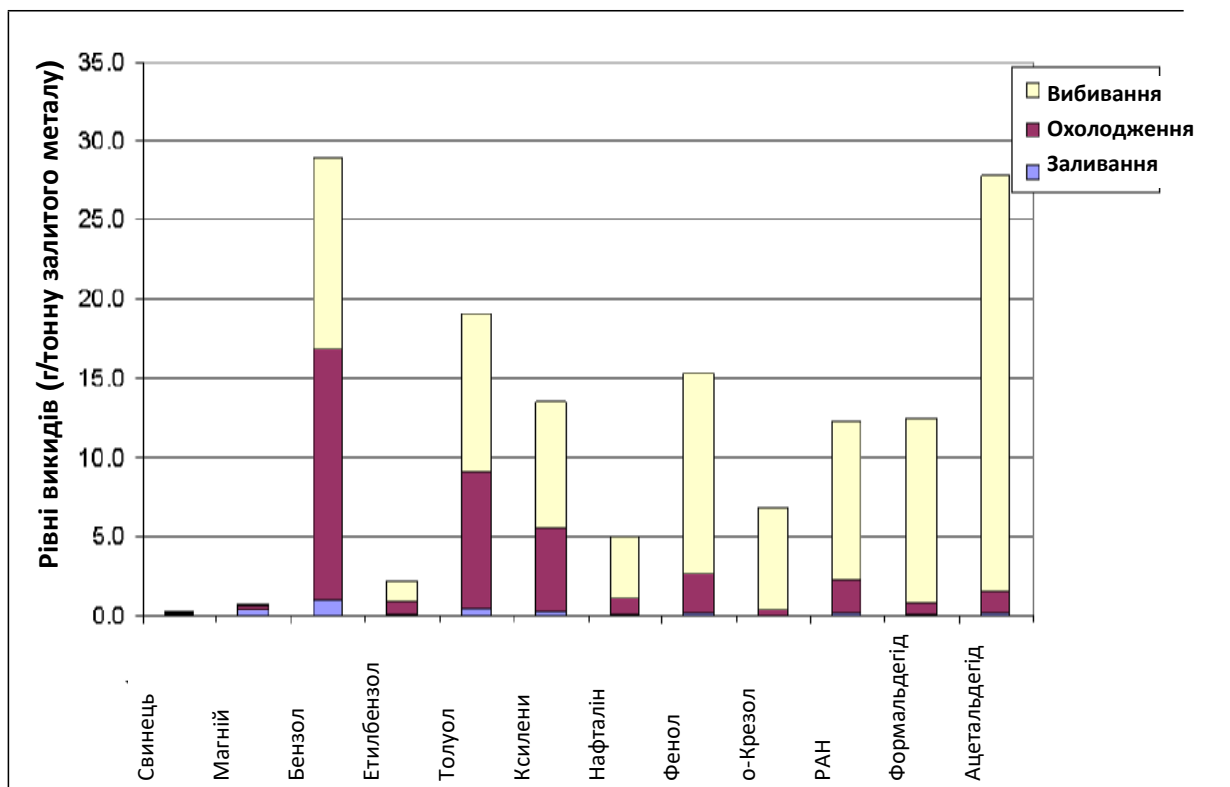


Рис. 3.6: Рівень викидів забруднюючих речовин при наливанні, охолодженні та вибиванні для ливарного виробництва чавуну із сирової формувальної суміші [141, Програма зниження викидів від ливарної промисловості (CERP), 1999]

Коефіцієнти викидів для твердих речовин показані на Рис. 3.7. Вони ґрунтуються на вимірах загальної пилу, PM_{10} (тверді частинки, які менше або дорівнюють 10 мкм) та $PM_{2.5}$ (тверді частинки, які менше або дорівнюють 2,5 мкм). Зауважимо, що за визначенням PM_{10} включає $PM_{2.5}$. [141, Програма зниження викидів від ливарної промисловості (CERP), 1999]

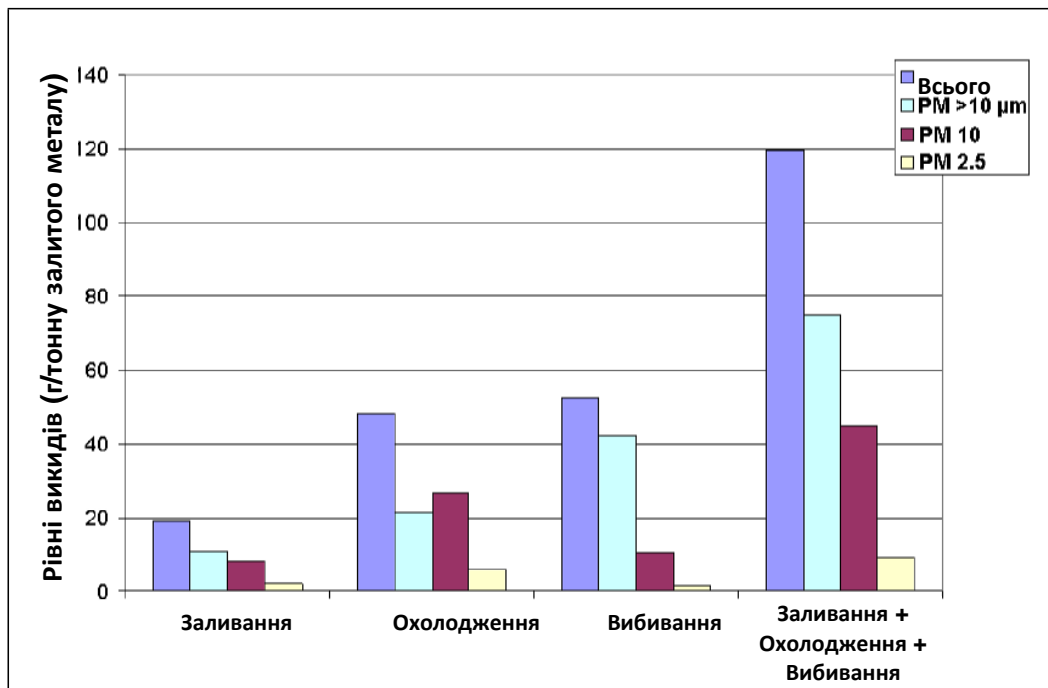


Рис. 3.7: Рівень викидів твердих частинок при наливанні, охолодженні та вибиванні для ливарного виробництва чавуну із сирової формувальної суміші (Всього = PM₁₀ + PM_{>10}) [141, Програма зниження викидів від ливарної промисловості (CERP), 1999]

Дані, представлені вище, стосуються сирого газу. За результатами огляду в італійському секторі в таблиці 3.47 зібрано дані про викиди очищених потоків вихлопних газів та їх подання [180, Assofond, 2002]. Усі типи очищення вихлопів досягають рівня викидів пилу <20 мг/нм³. Вологі скрубери демонструють найкращі показники, хоча слід зазначити, що дані базуються лише на трьох вимірюваннях.

Обладнання для очищення відпрацьованих газів	Концентрація (мг/нм ³)			Коефіцієнт викидів (г/тонну)*		
	середня	мінімальна	максимальна	середній	мінімальний	максимальний
Мішковий фільтр	5,8	1,0	16,8	68,5	7,8	206,9
Вологий скрубер	2,3	1,8	2,8	16,3	13,3	18,0
Вологий мультициклон	18,6	14,6	21,9	202,2	163,6	224,4
Волога система Вентурі	11,7	6,2	16,9	116,3	38,2	187,7

* Коефіцієнт викидів подано в г/тонну виливків належної якості

Таблиця 3.47: Значення та фактори викидів для викидів пилу від вибивання після очищення відпрацьованих газів [180, Assofond, 2002]

3.10.1.2 Співвідношення піску до рідини

Надмірна кількість піску в системі формування призводить до зайвих капітальних та експлуатаційних витрат. Нижче відношення піску до рідкого металу зменшить загальний об'єм піску в системі і, отже, зменшить витрату нових матеріалів.

Розподіл співвідношення піску до рідкого металу для сирової формувальної суміші в галузі виробництва чавуну показано на рис. 3.8. Дані були зібрані з огляду ливарного сектору Великобританії. Незважаючи на те, що середнє відношення піску до рідкого металу в цьому секторі становить 9:1, деякі ливарні працюють або значно вище, ніж нижче цього показника. Нижнє співвідношення, як правило, пов'язане з певними типами металевих форм або вузькоспеціалізованих заводів, де комбінації розмірів ящика/вилівки легше оптимізуються. Вищі коефіцієнти, як правило, спричинені або працевлаштуванням, або короткочасними ситуаціями. Тут в оригінальний мікс продукції і в саму оригінальну продукцію було залучено багато конфігурацій лиття (і, відповідно, конфігурацій моделей), що суттєво змінилися з моменту створення заводу.

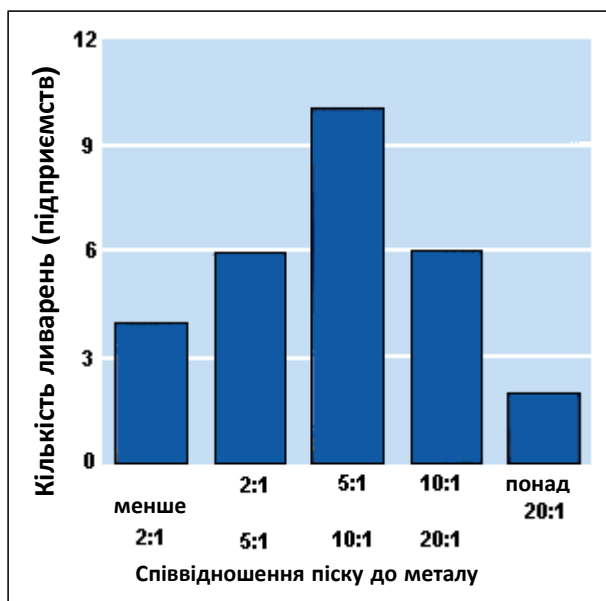


Рис. 3.8: Співвідношення сирій формувальної суміші до рідкого металу у ливарних виробництвах чавуну [73, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995]

На рис. 3.9 показано розподіл загального співвідношення в суміші піску до рідкого металу для «зеленого піску» в секторі виробництва з міді, де середнє співвідношення піску до рідкого металу становило близько 4:1. Причина того, що це значення нижче ніж для сектору чавуну, багато в чому полягає в тому, що більшість мідних ливарних виробів орієнтовані на оптимізований розмір ящика.

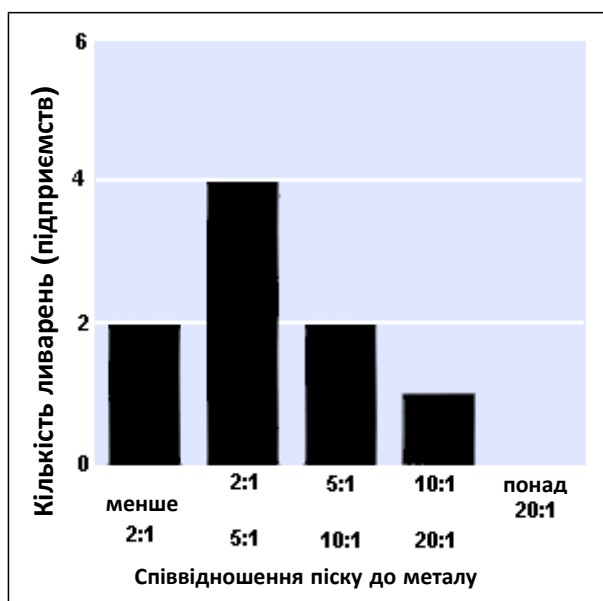


Рис. 3.9: Співвідношення сирій формувальної суміші до рідкого металу у ливарних виробництвах міді [73, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995]

Дані щодо співвідношення металів із піском до рідких металів для різних типів металів наведено на рис. 3.10.

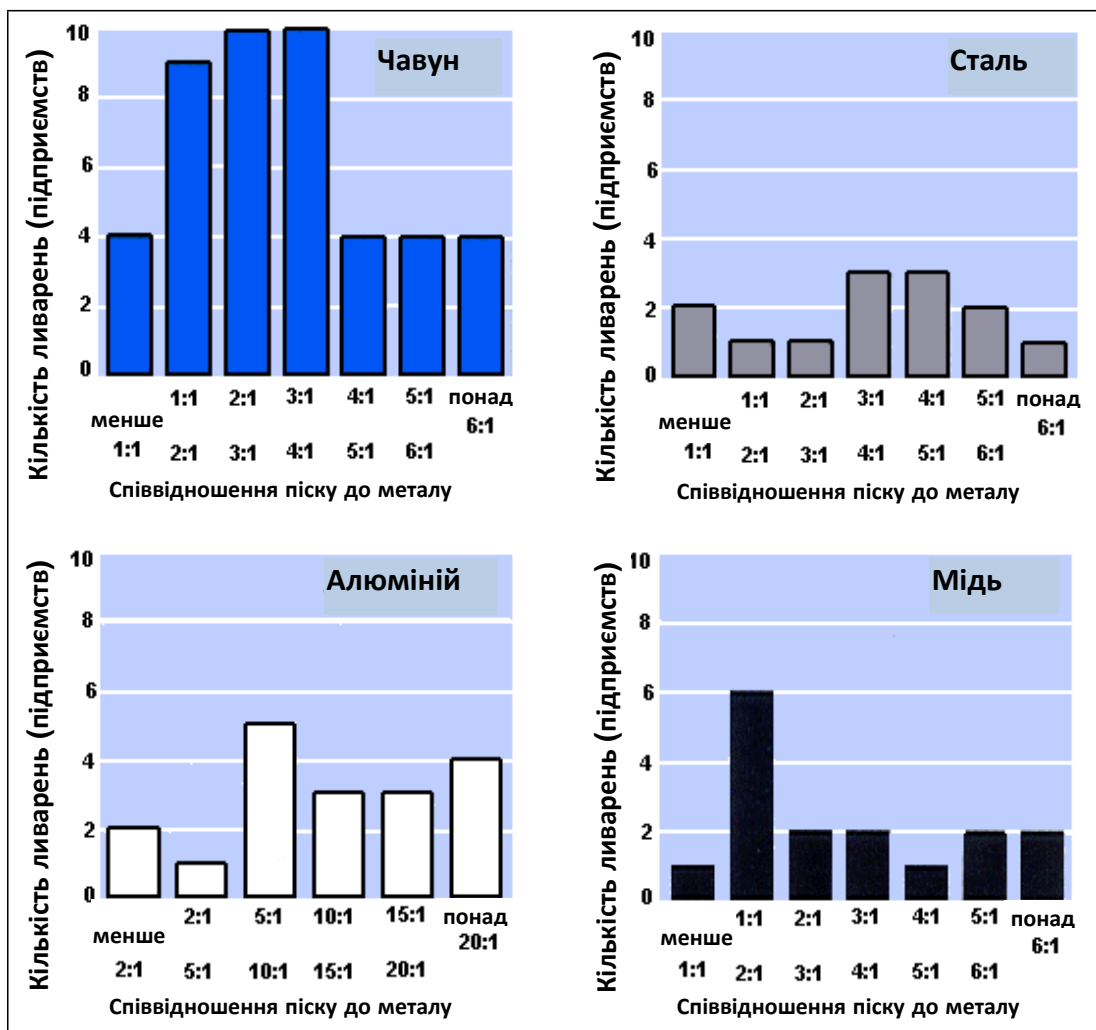


Рис. 3.10: Співвідношення загальної піщаної суміші до рідкого металу у ливарних виробництвах Великобританії [72, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995]

3.10.1.3 Вихід металу належної для використання якості

Вихід металу – це відношення кількості розплавленого металу до ваги готових виливків належної якості. На вихід металу впливають п'ять основних факторів, а саме:

- вимоги до якості
- вибір розміру ящика для форми
- ступінь розширення ливникової системи
- усадка металу
- норма лиття скрапу

Вихід металу не має прямого впливу на використання піску. Однак збільшення виходу може призвести до отримання меншої кількості форм, а це означає, що в цілому витрачається менше піску. Зниження виходу металів, як правило, пов'язане з продуктами підвищеної цілісності, де можуть знадобитися вищі стандарти якості, що потребує розширенішої системи живлення (подачі). Однак нижчий вихід може також свідчити про вищі норми скрапу та надмірні системи живлення (подачі). За цих обставин ливарним підприємствам необхідно переглянути свої методи управління процесами та способи виробництва форм. Середній вихід металу для основних галузей за сплавами наведений в таблиці 3.48.

Сектор	Середній вихід металу (%)	Діапазон виходів, представлений у звітності (%)
Чавун із пластинчастим графітом	68	40 – 90
Чавун із вермикулярним графітом	63	40 – 90
Алюміній	57	40 – 80
Мідь	58	30 – 90
Сталь	45	дані відсутні

Таблиця 3.48: Вихід металу у секторах основних сплавів [73, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995], [225, ТРГ (TWG), 2003]

Дані були зібрані в ході опитування у ливарному секторі Великобританії та у Португальській асоціації ливарних виробництв (ця асоціація – для сталі). Значна кількість респондентів відмовилася надавати дані про виходи, особливо у секторах алюмінію та міді. Однак можна зробити кілька загальних коментарів щодо виходу металу:

- діапазон виходів, зафіксованих для чавуну із пластинчастим та вермикулярним графітом, становив від 40 % до понад 90 %
- вихід металів, щодо якого повідомляли алюмінієві ливарні, був досить рівномірно розподілений між 40 % і 80 %. Понад 50 % ливарних виробництв у секторі алюмінію вирішили не надавати дані
- половина невеликої кількості ливарних виробництв у секторі міді, які надали дані, досягають виходу від 50 % до 60 %, хоча звітний діапазон становить від 30 % до понад 90 %.

[73, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995]

3.10.1.4 Використаний пісок у ливарному виробництві

У Фінляндії було проведено огляд і вивчення якості й складу ливарних відходів піску. Дані збирали з літератури та з власних експериментів [169, Оркас, 2001].

У кількох дослідженнях були проведені хімічні аналізи на використаних ливарних пісках з різних джерел. Узагальнення найзначущіших результатів представлено у таблиці 3.49. Дані показують, що вміст металевих та органічних шкідливих сполук у використаному ливарному піску зазвичай низький. Як правило, вміст органічних і металевих шкідливих сполук вищий у «зелених пісках» порівняно з хімічно зв'язаними пісками. Неорганічні піски зазвичай дуже чисті.

Сполуки	Сира формувальна суміш (мг/кг)	Органічний пісок (мг/кг)	Неорганічний пісок (мг/кг)
Ba	35 – 118	2,4 – 5,5	дані відсутні
Cr	1,7 – 13,5	1,2 – 7,2	<5
Fe	2950 – 21000	640 – 16300	530 – 1700
Zn	1,5 – 1450	1,6 – 49	<10 – 30,0
Cd	0,03 – 6,7	0,01 – 0,03	0,02
Pb	1,6 – 390	0,4 – 2,1	1,3
Cu	4,7 – 5,0	2,7 – 4,4	<1,5 – 6,0
Ni	<2,5 – 20,0	0,3 – 8,5	2,5 – 8,3
Mn	76 – 78	22 – 79	25 – 34
As	0,2 – 2,1	0,2 – 1,8	<0,5 – 0,51
Фенол	1,1 – 29,6	0,1 – 14	0,03
Всього РАН	1,0 – 206,6	0,1 – 8,8	<1,75

Таблиця 3.49: Результати аналізу використання формувальних сумішей із кількох джерел [169, Оркас, 2001]

Центр розвитку лиття (CDC) проаналізував значення РАН (всього РАН, нафталін та канцерогенний РАН) і вміст фенолу з різних використаних ливарних пісків. Результати представлено в таблиці 3.50. Для даної лінії виробництва піску варіації вмісту РАН і вмісту фенолу у використаному піску відносно невеликі.

Система піщаної суміші	Поліциклічні ароматичні вуглеводні, (мг/кг)			Фенол	
	Нафталін	Канцерогенні РАН	Всього РАН	Всього (мг/кг)	Підається вилуговуванню (Нг/л)
Зелений пісок	<1,0 – 7,4	0,03 – <1,0	<10 – 11	1,4 – 63	26 – 1600
Лужна фенольна	1,1 – 4,8	0,026 – 0,096	2,3 – 8,1	1,4 – 210	0,025 – 4400
Фуран	0,87 – <1,0	0,014 – 1,5	1,0 – <10	0,18 – 15	1,2 – 19
Оболонка зі смоли	0,11 – 7,1	0,01 – 0,67	0,75 – 9,3	3,7 – 3300	0,025 – 3200

Таблиця 3.50: РАН і вміст фенолу у використаній формувальній суміші [169, Оркас, 2001]

Випробування на вилуговування показали, що вилуговування металів, як правило, низьке і що вилуговування хрому, спричинене наявністю хромітного піску, незначне [169, Оркас, 2001].

3.10.2 Лиття в багаторазові форми

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– вивільняючий агент на водній основі	– виливок
– охолоджуюча вода	– маслянистий туман від розпорскування вивільняючого агента
– розплавлений метал	– органічні забруднювачі від термічної деградації зв'язуючої речовини стрижня
– стрижні	– оксид металу, що містить пил від печі витримання
	– пил від вибивання стрижнів
	– стічні води
	– шлак
	– відходи від вогнетривких матеріалів

Дані масового балансу для трьох різних заводів, що використовують лиття під тиском розплавленого алюмінію, наведені в таблиці 3.51.

	Ливарня А	Ливарня В	Ливарня С
Елементи на вході			
Вода	802 л/тонну	935 л/тонну	1709 л/тонну
Вивільняючий агент	16 л/тонну	8,26 л/тонну	1,12 л/тонну
Електроенергія	1103 кВт·год/тонну	1380 кВт·год/тонну	652 кВт·год/тонну
Елементи на виході			
Стічні води ¹		122 л/тонну	
COD	18000 мг/л		126 мг/л
pH	7,5		7,5
SS	1300 мг/л		1 мг/л
Олія та жир	3000 мг/л		1 мг/л (всього вуглеводнів)
BOD5	2000 мг/л		78 мг/л
Al	5 мг/л		0,6 мг/л
Вихлопні гази			
NO _x		0,006 кг/тонну	
VOC		0,28 кг/тонну	0,14 – 0,27 кг/тонну
Пил		1,8 кг/тонну	0,030 – 0,16 кг/тонну
Усі значення наведено на тонну виливків належної якості або в мг/л потоку			
¹ Для ливарного заводу С якість стічних вод після очищення, що проходить в дистиляційній установці та баштах охолодження-випаровування			

Таблиця 3.51: Дані масового балансу, склад вихлопних газів і рідких викидів для установок із лиття алюмінію під тиском [177, Сільва Рібейро, 2002], [202, TRG (TWG), 2002]

В сучасній практиці лиття під тиском, агенти вивільнення на водній основі розпорскують на відкриту модель після розведення до співвідношення 1:50 – 1:200. Крім покриття моделі це обпорскуювання використовується для охолодження моделі. Це пояснює різницю використання води, відображену в таблиці. Ця практика спричиняє втрати й розливання води та до 40 % витоку води/агента в систему ливарних стічних вод.

Рівень викидів і витрат для постійних процесів лиття залежить від типу сплаву, що використовується, площі поверхні розплаву, кількості піщаних стрижнів, які вставляються у форму, та норми поверхні/об'єму вилівка. Піщані стрижні є основними джерелами викидів. Немає суттєвої різниці між різними методами лиття. Через велику різноманітність процесів і застосувань не можна надати середні дані. [202, ТРГ (TWG), 2002]

Споживання електроенергії залежить від аспектів процесу, таких як сила замикання моделей, які обираються з технічних причин.

Коефіцієнти викидів для лиття бронзи, латуні та замаку, що використовуються в Бельгії, наведені в таблиці 3.52.

Сплав	CuO	SnO	PbO	ZnO	Al ₂ O ₃	MnO
Бронза	0,06	0,04	2 – 20	625 – 6250	не	не
Латунь	0,01	не	0,007 – 1	125 – 21500	не	не
Замак	не	не	не	0,004	0,2	0.01

Всі дані наведено в г/тонну розплавленого металу

Таблиця 3.52: Орієнтовні коефіцієнти викидів для лиття з бронзи, латуні та замаку [110, Віто, 2001]

3.11 Оздоблення/операції після лиття

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– необроблені вилівки	– оброблені вилівки
– абразивні матеріали	– пил (<i>пісок, металеві частинки</i>) від механічних операцій
– вода, мило	– летючі метали, продукти згоряння від термічних операцій
– електроенергія	– стічні води

3.11.1 Ковзке шліфування

Таблиця 3.53 показує дані за схемою «елементи й матеріали на вході – елементи й матеріали на виході» для ковзкого шліфування алюмінієвих вилівок. Стічні води надходять у систему очищення води та повторно циркулюють в обладнанні для шліфування. Абразивні породи використовуються і виходять незмінними, більше того, для мінімального зносу.

Елементи на вході	
Електроенергія	20,7 кВт·год
Очисний засіб	0,5 л
Вода	490 л
Елементи на виході	
Рідина	400 л
Усі значення наведено на тонну вилівок належної якості	

Таблиця 3.53: Баланс вхідних та вихідних елементів для ковзкого шліфування вилівок з алюмінію [177, Сільва Рібейро, 2002]

3.11.2 Механічне травлення

Рівень викидів із вихлопних газів механічного травлення були зібрані в італійському опитуванні ливарного виробництва. Результати відображаються в таблиці 3.54. Всі методи досягають максимального рівня викидів пилу нижче 30 мг/нм³. Середнє значення нижче 15 мг/нм³. Волога система Вентурі – найменш ефективна система, яка залишає коефіцієнт викидів набагато вище, ніж у випадку інших методик. З іншого боку, пристрій також є захисним пристроєм для запобігання «вибуху алюмінієвої пудри» [225, ТРГ (TWG), 2003].

	Концентрація (мг/нм ³)			Коефіцієнт викидів (г/тонну)*		
	середня	мінімальна	максимальна	середній	мінімальний	максимальний
Мішковий фільтр	5,3	0,4	19,3	53,1	0,3	327,3
Волога фільтрація	12,0	4,2	16,4	21,9	7,9	30,1
Вологий мультициклон	8,2	4,2	14,8	54,9	18,5	135,4
Волога система Вентурі	12,8	1,1	22,3	149,0	2,3	523,5

* Коефіцієнт викидів подано в г/тонну виливків належної якості

Таблиця 3.54: Дані щодо викидів вихлопних газів від механічного травлення, з використанням різних технологій обезпилення [180, Assofond, 2002]

3.11.3 Зачищення

Рівень викидів із вихлопних газів зачищення були зібрані в італійському опитуванні ливарного виробництва. Результати відображено в таблиці 3.55. Усі методи досягають рівня викидів пилу нижче 30 мг/нм³. Мішковий фільтр і Вентурі дозволяють максимальні рівні нижче 10 мг/нм³. Вологий багатоциклон є найменш ефективною системою, що залишає коефіцієнт викидів набагато вище, ніж для інших методик. Коефіцієнт викидів у значній мірі залежить від необхідної кількості обробки, а, отже, від типу виготовлених виливків.

	Концентрація (мг/нм ³)			Коефіцієнт викидів (г/тонну)*		
	середня	мінімальна	максимальна	середній	мінімальний	максимальний
Мішковий фільтр	3,0	0,4	7,5	17,0	2,3	85,6
Вологий мультициклон	14,8	7,6	23,3	275,6	96,2	497,2
Волога система Вентурі	2,5	1,1	5,9	45,5	35,5	63,4

* Коефіцієнт викидів подано в г/тонну виливків належної якості та для очищеного газу

Таблиця 3.55: Дані щодо викидів вихлопних газів від футеровки, з використанням різних технологій обезпилення [180, Assofond, 2002]

3.11.4 Операції з оздоблення у ливарних виробництвах зі сталі

Що стосується сталеливарних виробів, то на них застосовуються специфічні процеси різання, вогневого зачищення та зварювання. Середні значення викидів пилу наведені в таблиці 3.56. Вони стосуються використання таких технологій:

- *Різання* (линикової системи): Тетрен-ацетилено-оксид заліза для різання неіржавної сталі
- *Видалення дефектів металу вогневим зачищенням*: Вуглецевий електрод, покритий міддю
- *Зварювання*: Використання електродів або дроту.

Техніка оздоблення	Викиди пилу (кг/тонну)
Тетренове різання	11 – 13
Вогневе зачищення	9 – 11
Електрод/дріт	3 - 3,5
Усі значення надано на кг за тонну виливків належної якості	

Таблиця 3.56: Середній рівень викидів пилу від оздоблення сталі [202, ТРГ (TWG), 2002]

3.12 Термічна обробка

Елементи й матеріали на вході	Елементи й матеріали на виході
– оброблені виливки	– оброблений виливок (із термічною обробкою)
– енергія (електрична, газ чи паливні матеріали)	– продукти згоряння від полум'я
– гартування: вода, олія/оліфа, повітря	– водяний туман, пари/дими, маслянистий туман
	– NO _x , SO ₂

Викиди з печей термічної обробки здебільшого складають гази згоряння, особливо з газових і масляних печей. Склад газів, що спалюються, залежить від типу палива. Печі, що працюють на маслі, будуть генерувати викиди SO₂, яких немає для пальників із природним газом. Там, де здійснюються процеси гартування, також будуть виникати викиди диму, водяної пари або масляного туману, залежно від середовища гасіння.

Печі термічної обробки, як відомо, є постійними джерелами добре відомих неповітряних компонентів. Рівень викидів тісно пов'язаний зі споживанням енергії, дизайном і технічним обслуговуванням пальника. Збір викидів є досить тривіальним у печах відпалу. Захоплення викидів у різних печах не сильно відрізняється, і викиди викидаються через трубу відпрацьованих газів. Загалом, подальше очищення відходів не застосовується.

Як правило, гасіння – це серійний процес. Через це рівень викидів істотно змінюється. Викиди з ванночок для гасіння вважаються здебільшого неважливими для навколишнього середовища, хоча вони можуть стати актуальнішими при великому масштабі виробництва. Дані про потужність джерела (коефіцієнт викидів) та хімічні сполуки не знайдено. [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]

3.13 Стічні води

3.13.1 Джерела стічних вод

Кількість технологічної води, що використовується в ливарних виробництвах, невелика і зазвичай залежить від вибору методики обезпилення. Стічні води утворюються здебільшого в системах видалення пилю та очищення відпрацьованих газів, які застосовуються у плавильному цеху, підготовці та рекультивації формувальних матеріалів і в цеху очищення. Стічні води також утворюються при виробництві стрижнів, якщо застосовуються вологі скрубери (залежно від технології, що використовується для виготовлення стрижня та зв'язуючих речовин, що використовуються). На більшості заводів (2 заводи, про які повідомлялося в Європі) воду використовують для регенерації вологого піску. Крім того, вода, як правило, використовується для охолодження оболонки вагранки та для охолодження ванн для лиття (штампів).

Можливими джерелами стічних вод є:

- площа для зберігання скрапу і дренажу ділянки
- підготовка піску
- вологі скрубери, які використовуються для обезпилення в різних районах ливарного виробництва
- охолодження машин та інструментів для лиття під тиском
- вібраційне оздоблення (ковзке шліфування)
- охолоджуючі ванни, що використовуються для термічної обробки.

Специфічна для виробництва кількість стічних вод складає в середньому **0,5 м³/т виливків належної якості**.

[160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002],

[195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

3.13.2 Стічні води від зберігання скрапу

Скрап може приліпати до ґрунту, а зовнішній скрап, як правило, має домішки, характерні для виробництва. Домішки, що прилипають, можуть змиватися, коли йде дощ, а потім можуть потрапляти у ґрунт і ґрунтові води. Огляд можливих домішок наведено в таблиці 3.57:

Тип скрапу	Домішки, що прилипають
Стружка	Олії/оліфи для різання, емульсії (можуть містити хлор)
Висічений скрап	Олії/оліфи для висікання (можуть містити хлор)
Зламані машинні виливки, що не відповідають специфікаціям	Гідравлічні масла, редукторні масла
Скрап від холодного формування та ковальської промисловості	Фосфати, цинкове мило, графіт, що утворюють масла

Таблиця 3.57: Можливі домішки для окремих типів скрапу [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

Якщо домішки, що прилипають, – це речовини, що становлять небезпеку для води (олії, емульсії), то повинні бути дотримані вимоги щодо зберігання речовин, які становлять небезпеку для води.

3.13.3 Стічні води від вологих скрубєрів, що використовуються під час плавлення у вагранках

Вологі скрубєри використовуються у плавильних цехах для очищення вагранки від відпрацьованих газів. Вологі скрубєри використовують воду для видалення твердих частинок пилу (середнє завантаження: 10 – 15 г/м³) та газів, таких як діоксид сірки з вагранкового газу. У відстійниковому резервуарі значна частина твердих частинок захоплюється і тим самим майже повністю видалється з води для скрубєра.

Частково кислотні гази, вимиті з вагранкових відпрацьованих газів, такі як діоксид сірки, накопичуються в очищувальній воді, внаслідок чого концентрація солі в ній збільшується (наприклад утворення сульфату натрію), а її рН знижується. Це накопичення солі підтримується втратами випаровування, тому воду потрібно періодично відводити.

Стічні води з вологого обезпилення у плавильних цехах містять переважно:

- тверді речовини, такі як оксиди кремнію, заліза й алюмінію, карбонати кальцію та ціаніди
- важкі метали, хоча за винятком цинку, вони присутні лише в дуже низьких концентраціях
- органічні забруднювачі, які можуть потрапляти у стічні води через брудний скрап.

Рівень АОХ (органічних галогенідів, що легко поглинаються) у воді, що використовується для очищення вапняного відхідного газу, може становити кілька міліграм. Можливими причинами АОХ є покриття скрапу та прилипання хлорованих органічних сполук, що потрапляють у воду під час газового очищення скрубєром. Хлоровані органічні сполуки також можуть потрапити до води за допомогою таких засобів як соляна кислота комерційного класу або хлориди заліза й алюмінію, які використовуються як флокулянти.

В таблиці 3.58 наведено огляд концентрацій забруднюючих речовин у фільтруючих стоках від зневоднення мулу з вологих скрубєрів вагранок.

Аналіт	Одиниці	Значення
значення рН		7,2 - 9,9
Ел. провідність	μS/см	1400 - 18400
Свинець	мг/л	<0,01 - 2,5
Кадмій	мг/л	<0,01 - 0,03
Хром	мг/л	<0,01 - 0,13
Мідь	мг/л	0,02 - 0,89
Нікель	мг/л	0,04 - 0,23
Ртуть	мг/л	<0,001
Цинк	мг/л	1,8 - 27,9
Сульфат	мг/л	430 - 1550
Хлорид	мг/л	1330 - 3947
COD	мг/л	154 - 7580

Таблиця 3.58: Концентрації забруднюючих речовин у відфільтрованих рідких відходах від зневоднення мулу з вологих скрубєрів у вагранках [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

3.13.4 Стічні води із зони лиття, охолодження та вибивання, а також від виготовлення форм / підготовки піщаної формувальної суміші

У литті, охолодженні та вибиванні, а також у виробництві форм / підготовці піску нерозчинні сипучі речовини з формувального матеріалу уловлюються під час обезпилення разом з невеликими органічними пропорціями від використовуваного зв'язуючого агента. Якщо застосовується вологе обезпилення, ці сполуки знаходяться в потоці стічних вод. Неорганічні тверді речовини – це оксиди заліза та глини, які частково є дрібнодисперсними та важко видаляються.

3.13.5 Стічні води від виготовлення ливарних стрижнів

У цехах для виготовлення стрижнів застосовують хімічні скрубєри. Вони використовують або кислотні (холодний процес), або базові (SO₂-процес та фенолформальдегідне зв'язування). Кількість стічних вод, що скидаються, залежить від накопичення забруднюючих речовин і солей в оборотній воді. Якщо рівень забруднення занадто високий, частина забрудненої води повинна бути відведена.

Розчини для скрубєрів з виготовлення стрижнів холодного та гарячого ящика містять аміни та феноли, що легко розкладаються.

Обробка розчином для скрубєра, що містить амін, потребує стадії нітрифікації/денітрифікації. Ці етапи очищення можна також здійснити на зовнішній біологічній очисній станції. Альтернативою є відновлення амінів.

Після окислення очищувальні розчини для скрубєра з процесу SO₂ зазвичай містять сульфат натрію. Оскільки високі концентрації сульфату (> 600 мг/л) можуть призвести до пошкодження каналізаційних систем, відповідний компетентний орган встановлює граничне значення відповідно до місцевих умов (наприклад наявність сульфат-резистентних трубопроводів і розведення іншими відходами).

[195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

4 ТЕХНІКИ ТА ПРИЙОМИ, ЯКІ СЛІД ВРАХОВУВАТИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НДТМ ДЛЯ ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ

У цьому розділі наведено методи захисту навколишнього середовища та заходи з енергозбереження для окремих етапів обробки. Різні методи згруповано по загальних темах, що допомагає використовувати тематичний підхід для оцінки різних ливарних процесів та етапів.

Усі ці методи спрямовані або на оптимізацію процесу, або на зменшення впливу на навколишнє середовище, наприклад:

- ретельний підбір та оптимізація роботи кожного агрегату, тобто в: зберіганні, плавленні та обробці металів, виробництві форм та стрижнів, литті
- скорочення викидів у повітря та воду
- збільшення ефективного використання енергії
- мінімізація та повторне використання залишків.

Відповідно до тематичного підходу, інформація була організована у наступні розділи:

- 4.1. Зберігання та обробка сировини
- 4.2. Плавлення металу та обробка розплавленого металу
- 4.3. Формування та виготовлення ливарних стрижнів, включаючи підготовку піщаної формувальної суміші
- 4.4. Лиття металу
- 4.5. Уловлювання та обробка диму, димових і вихлопних газів
- 4.6. Обробка стічних вод
- 4.7. Енергоефективність
- 4.8. Пісок: відновлення, переробка, повторне використання та утилізація
- 4.9. Пил і тверді залишки: обробка та повторне використання
- 4.10. Зменшення рівня шуму
- 4.11. Виведення з експлуатації
- 4.12. Інструменти екологічного менеджменту

Щоб дозволити вибір найкращих доступних методик, всі методи, що будуть враховані у рішенні про НДТМ, представлені відповідно до стандартної структури. Елементи цієї структури пояснюються в таблиці 4.1.

Назва виду інформації	Вид інформації, що включено
Опис	Технічний опис методики/технології
Досягнуті переваги для довкілля	Основні види впливу на довкілля, на які спрямована дана технологія
Експлуатаційні дані	Дані щодо рівня споживання та викидів із діючих заводів, де використовують цю технологію Будь-яка додаткова інформація щодо експлуатації, технічного обслуговування та контролю даної технології
Міжсередовищні наслідки	Будь-які побічні дії чи недоліки даної технології порівняно з іншими. Наслідки для довкілля цієї технології порівняно з іншими
Застосування	Зазначення типу заводів, на яких може застосовуватися технологія, враховуючи, наприклад, вік заводу (новий або наявний), розмір заводу (великий чи малий), вже впроваджені методи (тобто тип печі, технологія лиття ...) і тип виробу (чорний, кольоровий)
Економічні дані	Інформація про витрати (інвестиційні й оперативні) та можливі заощадження, включаючи детальну інформацію про те, як були розраховані ці витрати
Рушійна сила для впровадження	Місцеві умови або вимоги, які призводять до або можуть стимулювати впровадження. Інформація про причини для впровадження, окрім екологічних (наприклад підвищення продуктивності, безпеки)
Приклади установок	Посилання на заводи (установки), де застосовується технологія та з яких була зібрана інформація
Довідкова література	Література, яка була використана при написанні розділу та в якій представлено детальнішу інформацію

Таблиця 4.1: Інформація, що міститься в обговоренні кожної методики, яка представлена в розділі 4

Цей розділ містить інформацію щодо кожної методики чи технології. Пізніше в Розділі 5 буде розглядатися подальше балансування та вибір технологій, але це обговорення засноване на інформації з Розділу 4.

4.1 Зберігання та обробка сировини

4.1.1 Вступ

Зберігання і поводження із твердими матеріалами, газами та рідинами обговорюється в ДД НДТМ щодо зберігання [205, Європейське бюро ІЗКЗ, 2003]. У документі обговорюються наявні методи, наприклад купи, бункери, резервуари та матеріали, які мають бути упаковані (наприклад небезпечні та легкозаймисті речовини). Вони застосовуються для ливарної сировини, такої як пісок, брухт, кокс, паливо (газ, нафта), хімічних речовин, добавок, а також для залишків, таких як використаний ливарний пісок, фільтрувальний пил і шлаки. У цьому розділі ми обговорюватимемо лише конкретні питання щодо ливарного виробництва, які не охоплені ДД НДТМ для зберігання.

4.1.2 Критий склад і герметична база для брухту (скрапу)

Опис

Зона зберігання скрапу може бути структурована і керована так, щоб враховувалися такі фактори:

- склад шихти вимагає знання сировинного матеріалу. Застосування окремого сховища для різних типів або марок металу дає змогу контролювати склад заряду. Цього можна досягти, використовуючи відсіки або ящики в зоні зберігання, або ж бункера
- введення мінеральних і оксидних матеріалів, таких як іржа, ґрунт або бруд, викликає підвищене зношення вогнетривких матеріалів. Використання цементованого скрапу перешкоджає потраплянню ґрунту, бруду чи води
- дах, побудований над сховищем, може допомогти запобігти виходу дощової води та запобігти викиду пилу.
- для запобігання забрудненню ґрунту чи води може використовуватися система збору й очищення води.

Досягнуті переваги для довкілля

Використання покрівлі й армованого підвір'я дає змогу збирати стічну воду, а отже, запобігає неконтрольованим викидам у воду та ґрунт. Прямі викиди у ґрунт також мінімізовані, оскільки не допускається змішування матеріалу із ґрунтом.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Для зберігання скрапу у всіх нових і наявних ливарних закладах може застосовуватися використання непроникного двору для скрапу. Скрап зберігається під дахом або із забезпеченням системи збору та очищення води для запобігання забрудненню води та ґрунту.

Рушійна сила для впровадження

Контроль складу шихти покращує контроль роботи печі, а отже, і металевого складу. Також допомагає мінімізувати знос вогнетривких матеріалів.

Приклади установок

Ця технологія застосовується на більшості ливарних виробництв.

Довідкова література
[202, TRG (TWG), 2002]

4.1.3 Заходи з належного зберігання зв'язуючих хімічних речовин

Опис

Зв'язуючі хімічні речовини відповідають конкретним рекомендаціям виробника щодо зберігання. Недотримання цих рекомендацій призведе до непридатності або появи нестандартних продуктів, які або вимагають утилізації як спеціальних відходів, або призводять до поганої якості лиття через нестандартні форми/стрижні. Таблиця 4.2 підсумовує проблеми якості, що виникають внаслідок неналежного зберігання рідких сполучних хімічних речовин. Належне зберігання враховує ці проблеми.

Проблема	Вплив на продукт	Можливі наслідки	Вплив на виливки
Перебування на надмірному холоді	Продукти на водній основі можуть замерзнути	Може відбутися сегрегація продукту, що спричинить брак моделі. Такі продукти вимагають утилізації	Виробництво виливків може бути неможливим
Вплив надмірного тепла та сонячних променів	Передчасне старіння, зшивання (з'єднання) смоли та підвищення в'язкості	Погані властивості змішування, низька міцність моделі та погана стійкість до високих температур	Дефекти оздоблення
Тривале зберігання або зберігання на холоді	Збільшена в'язкість	Розсіювання на піщані зерна ускладнене. Піщана суміш гірше тече і важко ущільнюється. Форми низької міцності	Ерозія, екзогенні (піщані) вклучення, проблеми з оздобленням або розмірами
Забруднення вологою	Продукти, що містять ізоціанати, будуть погіршуватися внаслідок реакції з водою	Продуктивність зв'язування є низькою, і продукт може потребувати утилізації	Підвищений ризик газових дефектів (дірок)
Утилізація осаду в резервуарах для зберігання силікатів	Перекачана рідина може стати неоднорідною	Форми низької міцності	Негабаритні виливки та усадка

Таблиця 4.2: Проблеми, що виникають внаслідок неправильного зберігання рідких зв'язуючих хімічних речовин [71, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998]

Деякі основні заходи включають:

- зону з дахом і вентиляцією
- збір розливої рідини
- заблоковану чи огорожену зону зберігання.

Слід враховувати аспекти клімату, впливу надмірного холоду чи спеки та сонячного світла. Необхідні додаткові заходи безпеки для зберігання легкозаймистих рідин, таких як метилформат, триетиламін (ТЕА), диметилетиламін (DMEA) та покриттів для моделі, що містять ізопропіловий спирт.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення кількості відходів хімічних речовин, що утворюються та які непридатні для використання.

Більшість зв'язуючих хімічних речовин є небезпечними та характеризуються за однією або кількома з таких властивостей: токсичні, корозійні, горючі. Ці властивості означають, що навіть невеликі розливи можуть становити небезпеку для здоров'я та безпеки працівника, тоді як більші викиди можуть спричинити серйозні випадки. Великий розлив, який може потрапити у стік поверхневих вод, може спричинити серйозне забруднення водотоків.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх наявних установок.

Рушійна сила для впровадження

Заходи безпеки та оптимізація ливарних процесів.

Приклади установок

Ця технологія застосовується на більшості ливарних виробництв.

Довідкова література

[75, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1996]

4.1.4 Використання чистого брухту для плавлення та видалення піску з відходів виробництва

Опис

Плавлення чистого скрапу запобігає ризику потрапляння неметалевих сполук до шлаку та/або їх негативної дії на футеровку печі. Ці сполуки, як правило, є вапном, оксидами заліза, оксидами марганцю й основними оксидами (наприклад MgO від повернення вермикулярного чавуну) у поєднанні з вогнетривкими матеріалами із кремнієм (кислотою). Якщо кількість забруднень обмежена, це зменшить кількість шлаку, що утворюється, і допоможе збільшити строк експлуатації печей та ковшів. Для отримання вермикулярного чавуну сприятливий ефект може дати використання печі з кислою футеровкою, де прилипає кремнеземний пісок, оскільки він нейтралізує MgO, що надходить із ливарних повернень.

Наявність забруднень і оксидів у шихті буде споживати частину енергії плавлення. Крім того, видалення шлаків вимагає підвищення температури ванни, щоб зберегти шлаки в рідкому стані.

Внутрішньо перероблений скрап складається з елементів ливникової системи та забракованих виливок. Ливникові елементи збиваються після струшування. Як правило, вони не зберігають прилиплий пісок завдяки своїй геометрії. Забраковані виливки виключаються при контролі якості, який проводиться після очищення виливків за допомогою піскострумінної або дробоструйної обробки (механічного травлення), щоб видалити весь прилиплий пісок. Використання зворотного матеріалу вже йде без піску, тому, як правило, не потребує додаткової обробки.

Досягнуті переваги для довкілля

Ця методика зменшує кількість шлаків і пилу, які потребують утилізації та обмежують викиди VOC. Завдяки зменшенню кількості шлаку витрата енергії знижується (на 10 – 15 %). Додатково може бути зменшена витрата повітря, що витягується.

Для скрапу може бути рекомендоване механічне травлення скрапу, коли його забруднення призведе до надмірної кількості шлаку. Для використання шлаку фактично потрібні шлакоутворюючі добавки для створення шлаку.

Міжсередовищні наслідки

Якщо ливарні виробництва приймають лише чистий скрап, загальний коефіцієнт переробки брудного скрапу зменшиться. Це породжує потребу в додаткових операціях з очищення та збільшить утилізацію скрапу.

Використання методів очищення для видалення піску з поверненого матеріалу споживає енергію. Однак це зрівноважується енергією, отриманою на стадії плавлення.

Експлуатаційні дані

Від ливарного заводу, що знаходиться в експлуатації, повідомляється про споживання енергії на рівні 12 – 15 кВт·год для очищення 30 – 40 кг піску з 1 тонни лиття. Рівень споживання залежить від розміру і типу лиття.

Для ливарних виробництв сталі, що використовують плавлення в EAF, повідомлялося про збільшення відновлення розплавленого металу (залитого металу/завантаженого металу) на рівень від 2 до 3 %.

Типовим складом металевої шихти для EAF є: 55 % скрапу ливарної сталі; 40 % внутрішнього повернення; 5 % добавок для корекції металу.

Застосування

Видалення піску із внутрішнього скрапу може застосовуватися у всіх нових і наявних ливарних виробництвах. Використання чистого скрапу для плавлення може застосовуватися у всіх видах ливарного виробництва, однак вибір марки скрапу повинен бути пов'язаний із методиками, встановленими для плавлення та очищення газів. Якщо весь сектор перейде на чистий скрап, це створить проблему для переробки брудного скрапу.

Використання чистого чорного скрапу (як сталі, так і чавуну) призведе до збільшення витрат на закупівлю і потребуватиме інвестицій у нове очисне обладнання. Під час плавлення у вагранках (процес відновлення) не виникає труднощів, спричинених поверхневим окисленням скрапу, а також використанням злитків чавуну. Електричні печі матимуть труднощі лише із забрудненим скрапом, який не відповідає параметрам сталевих скрапу, що використовується в ливарних підприємствах.

Вагранки легко розплавляють скрап, який не є чистим. Якщо належно обробляти гази, то буде мало надмірного споживання коксу і наслідків для навколишнього середовища.

Обмежуючий шлак дуже важливий для роботи тигельної індукційної печі. На експлуатацію більшою мірою впливає чистота скрапу, ніж інші типи печей.

Використання брудного скрапу не має негативного впливу на роботу ротаційної печі, але є головним визначальним фактором викидів пилу. За умови правильної обробки газів екологічних наслідків буде мало.

Економічні дані

Ціна на чистий скрап (тобто клас 1) на 20 – 30 % вища, ніж на забруднений скрап (тобто клас 2). Крім того, завдяки використанню цієї методики зменшуються витрати на утилізацію шлаків і пилу.

Рушійна сила для впровадження

Висока вартість утилізації залишків і високі ціни на вогнетривкі матеріали.

Приклади установок

Ця технологія широко застосовується в ливарних виробництвах.

Довідкова література

[103, Vereniging van Nederlandse Gemeenten, 1998], [110, Bito, 2001], [202, TRG (TWG), 2002]

4.1.5 Внутрішня переробка скрапу чорних металів

Опис

Внутрішній скрап виробляється з вибивання живильників і транспортерів, при контролі якості та в оздоблювальних роботах. Відносну кількість виробленого внутрішнього скрапу можна обчислити з виходу металу, як визначено й описано у пункті 3.10.1.3. З метою мінімізації виробництва залишків внутрішній скрап повертається до шихти печі.

Для сталеливарних заводів стовідсоткове використання зворотного металу нечасте, через кількість розчиненого газу. Оператори вважають 60 % максимальною кількістю повернутого металу (живильники, лиття скрапу, ...) у металевій шихті. Стружка і залишки токарної обробки можуть спричинити надмірне окислення розплавленого металу.

Внутрішня переробка скрапу може також обмежуватися в разі плавлення вермикулярного чавуну, оскільки в рідкий метал під час обробки додається велика кількість кремнію (приблизно 1 % у більшості випадків). У деяких випадках повторне плавлення всього внутрішнього скрапу неможливе, оскільки кінцевий рівень кремнію був би занадто високим (у виливках зазвичай 2,5 – 3 %).

У випадку із сірим чи вермикулярним чавуном, свинцем чи вісмутом властивості металу після затвердіння дуже шкідливі. Якщо сталося забруднення, то відходи (внутрішній скрап) не повинні перероблятися.

Досягнуті переваги для довкілля

Мінімізація залишків за допомогою переробки сировини.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх наявних установок.

Економічні дані

Ця технологія не вимагає жодних додаткових видатків.

Рушійна сила для впровадження

Мінімізація залишків, оптимальне використання металу.

Приклади установок

Цю технологію застосовують на всіх європейських ливарних виробництвах.

Довідкова література

[202, TRG (TWG), 2002]

4.1.6 Внутрішня переробка скрапу магнію

Опис

Переробка «В окремих блоках»:

Чисті живильники можна безпосередньо розтопити у плавильних печах. Через оксиди та інші включення можлива кількість переробки обмежена. Необхідно спеціалізоване обладнання для точного аналітичного та металографічного контролю.

«Переробка всередині заводу»:

Тут скрап обробляється й переробляється на окремому заводі з переробки на території ливарного виробництва. Можна застосувати дві методики:

- *Повторне плавлення без флюсу:* Повторне плавлення скрапу Mg під буферним газом у печі; застосовується лише до скрапу класу 1. Переваги – низькі додаткові інвестиції та низьке споживання енергії
- *Соляне повторне плавлення:* Повторне плавлення скрапу під соляним буфером. Застосовується для переробки всіх класів скрапу, крім використаних флюсів і мулу (не обробляються). Якщо використовується лише скрап 1 – 2 класу, можуть вироблятися магнієві сплави НР (з високою чистотою).

Обидва методи можуть бути використані для отримання злитків Mg або розплавленого металу для рідкого завантаження.

Як у флюсовому, так і в соляному повторних плавленнях утворюються дрос (плаває на розплаві) та шлам (занурений в розплав), а також залишки, що містять залишковий вміст металу (70 – 80 % Mg для шламу, 60 – 90 % Mg для дросу). Для відновлення вмісту металу існує три варіанти:

- переплавлення солі (у тій самій або окремій печі)
- повторне плавлення в алюмінієвій промисловості
- утилізація при десульфурзації заліза або сталі.

Якщо скрап переплавляють у безфлюсовій плавильній печі, то для сольового переплавлення осаду і шламу потрібне функціонування окремої печі.

Повторне плавлення скрапу змішаного класу проводиться за допомогою переплавлення солі. Змішаний скрап потребує попередньої обробки. В таблиці 4.3 представлено опис вхідних і вихідних даних установки для попередньої обробки.

Елементи на вході	Обладнання	Елементи на виході	Технологія обробки в кінці процесу
- жирні чи вологі залишки від токарної обробки Mg (>2 % жиру/води) - електроенергія	Центрифуга	- залишки токарної обробки Mg (<2 % жиру/води) - емульсія жиру/води	
- залишки токарної обробки на центрифугі та іншому обладнанні - електроенергія	Токарне обладнання– прес (T = 400 °C)	- спресовані - вихлопне повітря	Сепаратор частинок для випареної олії/оліфи
- живильники, виливки поганої якості - дрос (без солі, з ливарного процесу) - електроенергія	Шредер (якщо необхідно)	- подрібнений матеріал - пил	

Таблиця 4.3: Вхідні та вихідні елементи для установки з обробки скрапу магнію [202, TRG (TWG), 2002]

Відновлення металу із соляного повторного плавлення проводиться за допомогою сухого дроблення та відсіву магнітним поділом або за допомогою системи мокрої промивання. Волога система утворює фракцію магнію та мул (шлам), які після зневоднення можуть бути використані в промисловості у вигляді добрив.

Досягнуті переваги для довкілля

Основна перевага – оптимізована переробка магнію. Внутрішня переробка має додаткову перевагу від усунення транспортування до зовнішньої переробної станції. Ефективність металів при переробці підвищується завдяки типовим процесам плавлення.

Міжсередовищні наслідки

Безфлюсове повторне плавлення включає використання захисних газів, що містять сірку та сприяють глобальному потеплінню (SF₆) або є отруйними (SO₂). Це питання обговорюється в пункті 4.2.7.1.

Експлуатаційні дані

На рис. 4.1 та 4.2 наведено експериментальні схеми масопотоків для повторного плавлення скрапу класу 1. До них належить внутрішнє переплавлення шламу і дросу.

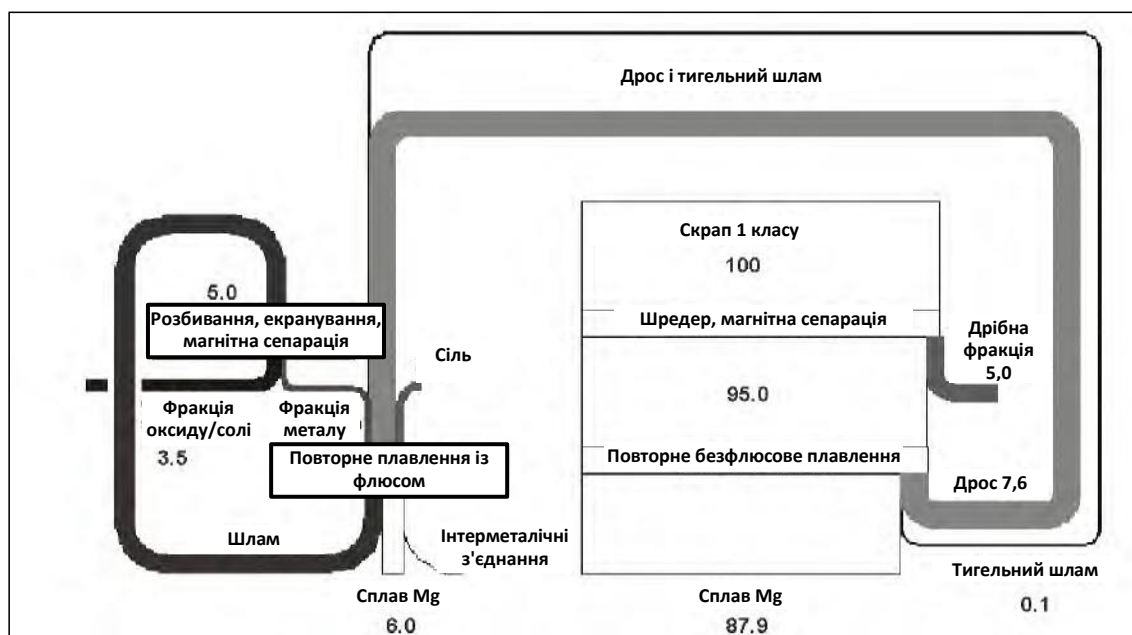


Рис. 4.1. Схема масопотоків для безфлюсового повторного плавлення скрапу магнію 1 класу [206, Дітце та Шарф, 2000]

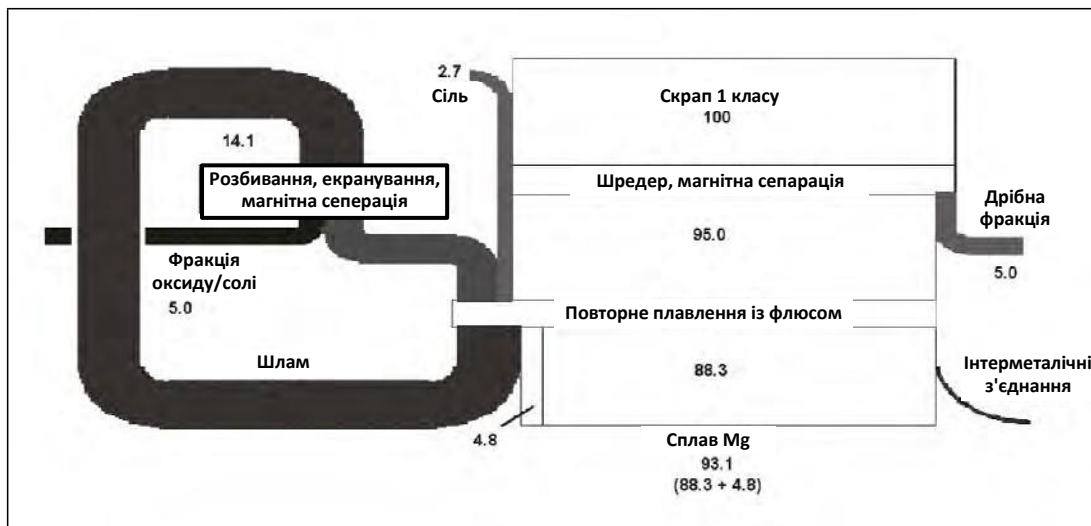


Рис. 4.2. Схема масопотоків для соляового повторного плавлення скрапу магнію 1 класу [206, Дітце та Шарф, 2000]

Експлуатаційні дані від установки із соляового повторного плавлення потужністю від 2000 тонн/рік для змішаного обробленого скрапу (3 печі потужністю 600 кг кожна) дає рівні споживання солі: 3,4 кг/т скрапу та природного газу: 26,5 нм³/т скрапу.

Вологість обробки соляової фракції утворює фракцію магнію (43 %) та шламу (57 %). Осад зневоднюється за допомогою мембранного фільтрувального преса, і вода повторно циркулює в процесі.

Застосування

Цю технологію можна застосовувати для нових і наявних установок, що працюють із магнієм.

Економічні дані

Витрати на зовнішню переробку оцінюються приблизно в 1200 євро на тонну, залежно від виду транспорту, що використовується, відстані транспортування та місцевого ринку. Витрати на внутрішню переробку – 500 євро на тонну, різниця – 700 євро на тонну. Для одного заводу з потужністю 1500 тонн/рік матеріалу переробки це означає потенційну економію понад мільйон євро на рік.

Наведені дані є загальними і повинні бути адаптовані для кожного підприємства індивідуально. Залежно від продуктів і процесів, що використовуються, необхідно враховувати витрати, необхідні для розділення відходів. Відходи потрібно збирати окремо для кожного сплаву та кожної процедури.

Подальші фактори, що мають найбільший вплив включають наступне:

- амортизаційні витрати (приблизно 10 % за амортизаційний період у 5 років)
- витрати на оплату праці (35 – 40 %)
- витрати на новий матеріал (приблизно 30 %) для заміни матеріальних втрат (орієнтовно 7 %)
- витрати на енергію, технічне обслуговування, запасні частини, сіль, утилізацію (20 – 25 %).

Амортизація установки, що працює із флюсом, з двома печами знаходиться в межах від 8 до 11 місяців. Амортизація установки із безперервним литтям з потужністю 500 кг магнію на годину ймовірно займе на кілька місяців більше.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація використання магнію зі зменшенням кількості магнію, відправленого на утилізацію.

Приклади установок

TCG Unitech, Kirchdorf/Krems (A): використовує власне обладнання для переробки. В Європі не повідомлялося про жодні безфлюсові установки повторного плавлення, хоча технологія плавлення доступна на ринку.

Довідкова література

[202, TRF (TWG), 2002], [206, Дітце та Шарф, 2000], [223, Раух та ін., 2003]

4.1.7 Переробка використаних контейнерів

Опис

Постачальники хімікатів і добавок можуть забирати свої порожні контейнери (пластик, дерево, метал) для переробки. Може бути розглянута можливість використання контейнера найбільшого розміру.

Досягнуті переваги для довкілля

Запобігає відходам і додатково стимулює переробку.

Міжсередовищні наслідки

Якщо контейнери повертаються без подальшого очищення, жодних міжсередовищних наслідків не застосовується.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових і наявних установок.

Економічні дані

Економічний дані відрізняються від підприємства до підприємства і залежать від умов, узгоджених із постачальником.

Рушійна сила для впровадження

Профілактика та схеми переробки відходів і правила щодо відходів від упаковки.

Приклади установок

Ця технологія широко застосовується в ливарних виробництвах.

Довідкова література

[110, Віто, 2001]

4.2 Плавлення металу та обробка розплавленого металу

4.2.1 Вагранки

У цьому пункті будуть розглянуті методи, що стосуються методів плавлення та експлуатації печі. Ці методи можуть застосовуватися або до холодного, або до гарячого дуття, або до обох. Технології, пов'язані з димовими газами, такі як післяспалювання та очищення димових газів, обговорюються в пункті 4.5.2. Цей пункт також обговорює перетворення вагранки з холодним дуттям на вагранку з гарячим дуттям.

4.2.1.1 Оптимізація експлуатації печей

Опис

Кількість пилу та вихлопних газів, що утворюються, безпосередньо пов'язана з кількістю коксу, зарядженого на тонну чавуну. Тому всі заходи, що покращують тепловий коефіцієнт корисної дії, також зменшать викиди з печі.

Заходи належної практики плавлення можуть включати наступне:

- *Експлуатація печі в оптимальному режимі наскільки це можливо:* Для будь-якої вагранки вплив швидкості дуття і коксової шихти на температуру випуску плавлення металу та швидкість плавлення можна виразити у вигляді сітчастої діаграми або діаграми Юнгблота. Сітчаста діаграма кількісно справедлива лише для тієї вагранки, для якої вона була отримана. Вона показує, як змінюється температура металу та швидкість плавлення при зміні швидкості дуття і коксової шихти, а також дає змогу визначити точку (або лінію) оптимального теплового ККД
- *Уникнення надмірних температур* розплаву та відновлення температури перегріву шляхом вжиття заходів під час поводження з випуском плавлення металу
- *Уніфіковане завантаження:* Дбати під час завантаження, щоб був рівномірний розподіл металу та коксу
- *Поліпшення контролю* ваги шихти, повітряного потоку і температури металу
- *Мінімізація втрат повітря:* Правильна подача повітря має важливе значення для ефективної роботи вагранки. Часто цьому перешкоджають втрати повітря. Тому для забезпечення ефективної роботи важливо приділяти пильну увагу запобіганню всіх витоків. Шлакові отвори у вагранках з періодичним відкриттям льотки часто залишають відкритими, і вони часто мають великі розміри, що призводить до значних втрат повітря. Втрати повітря особливо характерні для вагранок із гарячим дуттям. Вони відбуваються в теплообміннику. Наслідком цього є те, що кисень повинен бути введений до фурм замість втраченого повітря
- *Уникання «арочного ефекту» вагранки:* Арочний ефект і зависання шихти – це підвищення або затвердіння шихти в районі фурм. Це спричиняє втрату ефективності плавлення, а у важких випадках плавлення треба повністю припинити
- *Використання належної практики футеровки:* Поки триває плавлення, діаметр і площа зони плавлення збільшуються внаслідок ерозії та зносу футеровки. Це впливає на операцію, віддаляючи її від оптимального рівня. Отже мінімізація впливу на футеровку є мірою економії енергії. Для задовільної та економічної експлуатації вагранок зону плавлення потрібно ефективно ремонтувати після кожного розплаву.

Досягнуті переваги для доквілля

Збільшена енергоефективність, скорочення споживання коксу, зменшення залишків.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не було зафіксовано.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових і наявних вагранок.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація експлуатації печей.

Приклади установок

Заходи належної практики плавлення застосовуються у всіх ливарнях із вагранками.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарників, 2002], [202, ТРГ (TWG), 2002]

4.2.1.2 Контроль якості при подачі коксу

Опис

Якість використовуваного коксу безпосередньо впливає на ефективність роботи вагранок. Особливо це впливає на початкову температуру надходження вуглецю та вміст сірки в чавуні. Визначення ливарного коксу включає випробування наступного вмісту:

- *Твердий (нелетючий) вуглець*: Чим вищий вміст вуглецю, тим вища теплотворна здатність
- *Зольність*: Високий вміст золи (попелу) небажаний, оскільки це знижує теплотворну здатність коксу і створює у вагранці більший об'єм шлаку
- *Летючі речовини*: Летючі речовини небажані, оскільки знижують вміст фіксованого вуглецю, а отже, і теплотворну здатність коксу
- *Сірка*: Сірка добре відома як небажаний елемент будь-якого типу чавуну і призводить до викидів SO₂. Чим нижчий вміст сірки у вихідному коксі, тим краще. Вміст сірки в коксі залежить від вмісту сірки в сировинному вугіллі. На жаль, не існує відомого способу видалення сірки з вугілля
- *Волога*: Волога в коксі при відправці з коксової печі небажана, оскільки це зменшує кількість вуглецю, наявного у вазі. Але кокс повинен містити трохи вологи для уникнення пожеж на конвеєрних стрічках, а також у вантажівках і вагонах
- *Розмір*: Розмір ливарного коксу безпосередньо впливає на витрату коксу на тонну розплавленого чавуну, а також на швидкість плавлення. Для досягнення оптимальної продуктивності розмір коксу, що відправляється з коксової печі, зазвичай повинен бути таким, щоб коксовий пік був із середнім розміром діаметру більше 90 мм, не більше ніж на 4 % менше 50 мм. Вміст дрібної фракції впливатиме на викиди пилу під час завантаження (розвантаження) та обробки.

Досягнуті переваги для довкілля

Оптимізація введення коксу приводить до підвищення ефективності процесу.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

Типові властивості ливарного коксу представлено в таблиці 4.4:

Належність	Типове значення (%)	Граничне значення (%)
Зола (попіл)	5,8 – 5,9	макс. 6,5
Летючі речовини	0,3 – 0,4	макс. 0,8
Сірка	0,68 – 0,70	макс. 0,75
Волога	1,5 – 2,5	макс. 3,0
Міцність		
M80 за індексом міцності (Micus index)	81 – 82	макс. 78,0
M10 за індексом міцності (Micus index)	8 – 8,5	макс. 9,0
Твердий вуглець	93,7 – 93,8	93,0 хв
Більший тепловий ККД	32200 кДж/кг	32200 кДж/кг

Таблиця 4.4: Типові властивості ливарного коксу [197, Nalanchem, 2002]

Дані в таблиці 4.4 взяті зі специфікацій постачальника. В місцевих стандартах можуть міститися вищі граничні значення.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових і наявних вагранок.

Економічні дані

Загалом, сировина з низьким вмістом сірки дорожча.

Рушійна сила для впровадження

Для покращення ливарного процесу.

Приклади установок

Ця технологія широко застосовується в ливарних виробництвах, де використовують вагранки.

Довідкова література

[44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [225, ТРГ (TWG), 2003]

4.2.1.3 Поводження з кислими або базовими шлаками

Опис

Флюс використовується для того, щоб шлакова рідина була достатньою для відокремлення від чавуну і щоб вона вільно стікала з вагранки. Найпоширеніший флюс – це вапняк (карбонат кальцію) основного оксиду, який прожарюється в куполоподібному валові з утворенням вапна, і який потім поєднується з іншими шлакоутворюючими компонентами (переважно кислими за характером) для отримання рідкого шлаку.

Основність шлаку визначається наступним співвідношенням: $(CaO\% + MgO\%)/SiO_2\%$

Більшість вагранок працюють із кислим або дещо основним шлаком (основність <1,2).

Основні або базові вагранки (основність до 2) дають 3 переваги:

- більше вуглецю
- нижчий рівень сірки
- можливість завантаження скрапу нижчої якості.

Але вони також мають наступні недоліки:

- втрати кремнію великі
- витрати вогнетривких матеріалів високі, якщо не працювати з вагранкою без футеровки
- потік матеріальних витрат є вищими
- аналіз металу важче контролювати, ніж при плавленні в кислій вагранці.

Досягнуті переваги для довкілля

Для кислих вагранок може бути використано сухі фільтри. Шлак основних вагранок має вищу температуру плавлення. Тож зазвичай використовується флюс на основі CaF_2 для того, щоб зробити його рідким. У вагранці цього типу є викиди компонентів, що містять фтор. Це зумовлює необхідність застосування вологих скрубєрів для ефективного вловлювання цих компонентів.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових і наявних вагранок. Якщо використовується базовий шлак, необхідно провести вологе обезпилення.

Приклади установок

Ця технологія широко застосовується у ливарних виробництвах, де використовують вагранки.

Довідкова література

[44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003]

4.2.1.4 Збільшення висоти шахти у вагранках із холодним дуттям (СВС)

Опис

Необхідна висота шахти для вагранок при різних швидкостях плавлення наведена в таблиці 4.5. Ці висоти шахти оптимізують попереднє нагрівання спадної тяги. Однак, якщо газ буде спалюватися в колошниковому отворі, може бути розглянута коротша висота шахти. Взагалі, чим коротша шахта, тим гарячіший верхній газ і тим більша легкість горіння – або мимовільного, або за допомогою післяспалювача.

Швидкість плавлення вагранки (т/год)	Висота від фурми до основи колошникового отвору дверей (м)
До 5	4,9
5 – 8	5,8
>8	6,7

Таблиця 4.5: Вимоги щодо висоти шахти

Теплова ефективність (ККД) вагранки з холодним дуттям може бути підвищена завдяки збільшенню висоти шахти. Взагалі, чим вище шахта печі, тим довше газу згорання залишаються в контакті із шихтою, і тим більше тепла передається на заряд.

Досягнуті переваги для довкілля

Залежно від типу установки висота повинна бути оптимізована, щоб забезпечити вигорання газів та ефективний нагрів шихти.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані наведено в таблиці 4.6. Модифікація передбачає подвоєння обсягу верхньої зони. Це приводить до зменшення споживання коксу з 140 до 115 кг/т, що є відносним зниженням на 18 %. Слід зазначити, що в цілому оптимальна висота шахти відповідає правилу: «висота = 5 x діаметр у фурмах». Тому у випадку цієї печі початкова ситуація була неоптимальною.

	Вагранка перед модифікацією	Вагранка після модифікації
Діаметр		
- зона плавлення(м)	1,4	1,4
- верхня зона (м)	1,4	1,7
Висота над фурмами (м)	5	6,5
Співвідношення коксу	140	115

Таблиця 4.6: Приклад даних для зміни витрат коксу при збільшенні висоти шахти [202, TRG (TWG), 2002]

Застосування

Оптимізацію висоти печі потрібно виконати на етапі проектування печі, інакше збільшення висоти зазвичай буде здійснюватися лише під час великих робіт з відновлення печі.

Рушійна сила для впровадження

Для покращення ефективності експлуатації печі.

Приклади установок

Експлуатаційні дані взяті з прикладу заводів у Франції.

Довідкова література

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993], [202, TRG (TWG), 2002]

4.2.1.5 Встановлення вторинного ряду тюрів (фурм) для вагранок із холодним дуттям (СВС)

Опис

Теплова ефективність вагранки з холодним дуттям може бути підвищена завдяки встановленню вторинного ряду фурм. Вони забезпечують надлишок кисню над зоною згорання, що індукує окислення СО в газах згорання, при цьому СО утворюється при ендотермічному зниженні СО₂ на С (кокс). Ця методика звільняє «приховану» теплоту газів, що згоряють, покращуючи в такий спосіб теплову ефективність вагранки.

Розділена вагранка оснащена двома рядами фурм, у кожному з яких вимірюється та контролюється кількість повітря дуття. Порівняно зі звичайною вагранкою, оснащеною одним рядом фурм, розділена вагранка дає змогу:

- створити вищу температуру відливу металів і вищий збір вуглецю, який можна отримати при заданому витраті коксу
- зменшити споживання зарядного коксу і, якщо потрібно, збільшити швидкість плавлення, підтримуючи задану температуру відводу металу.

Для отримання максимальної вигоди від розділеної експлуатації дуття слід розділити на 25 – 50 % верхнього та 75 – 50 % нижнього. 2 ряди повинні бути на відстані приблизно від 1 м один від одного (холодне дуття) до 0,5 м (гаряче дуття). Кожен ряд фурм повинен бути забезпечений власною системою подачі дуття.

Досягнуті переваги для доквілля

Скорочення споживання коксу та підвищення теплової ефективності.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

При використанні двох рядів правильно розташованих фурм із дуттям, рівномірно розділеним між ними, температура випуску плавлення металу може бути збільшена приблизно на 45 – 50°C для цього споживання коксу. Крім того, споживання коксу можна зменшити на 20 – 32 %, а швидкість плавлення збільшити на 11 – 23 %. При роботі з розділеним дуттям, але без зниження кількості коксу, завдяки чому отримується вища температура плавлення, збір вуглецю має тенденцію до незначного збільшення (приблизно на 0,06 %), водночас втрати плавлення кремнію також мають тенденцію до збільшення, приблизно на 0,18 %.

При розділеній роботі дуття, вигоряння футеровки поширюється далі в шахту печі. Тому на початку плавлення необхідно виміряти і відрегулювати висоту коксового шару. На плавленнях короткої тривалості, тобто менше ніж 2-3 години, економія шихти коксу зазвичай не компенсує додаткові вимоги до коксу. Утім, навіть на коротких режимах плавлення, вища температура випуску плавлення та вищий відбір вуглецю, які можна отримати при розділеному режимі дуття, можуть бути перевагою для багатьох заводів.

Іншими перевагами, про які повідомлялося, є наступні:

- температура вихідного газу становить лише 250°C, порівняно зі звичайною вагранкою, де температура 450°C
- може знадобитися на 100 % більший шматок скрапу для повторного плавлення
- можна збільшити співвідношення скрапу і сталі в шихті.

Додаткові експлуатаційні дані наведені в Додатку 1.

Застосування

Другий ряд фурм застосовується як стандартна техніка для нових вагранок із холодним дуттям і може застосовуватися до наявних установок під час реконструкції. Ця методика зазвичай не застосовується для роботи з гарячим дуттям

Економічні дані

Вагранки, в яких є роздільне дуття, добре зарекомендували себе на практиці як засіб забезпечення економічної експлуатації за невеликі інвестиційні витрати.

Капітальна вартість перетворення наявних вагранок на експлуатацію з роздільним дуттям на низьких розмірах низька порівняно з отриманими заощадженнями. BCIRA надавали інформацію про один британський ливарний завод, де строк окупності становив лише чотирнадцять тижнів. Великий канадський ливарний завод заощадив 170 000 CAD за один рік при вартості переходу лише у 18 000 CAD. Додатковою перевагою від зменшення використання коксу на тонну заліза є нижчий вміст сірки, що допомагає економити на десульфурації та дає чавун більшої якості.

Додаткові економічні дані представлено в Додатку 1.

Рушійна сила для впровадження

Для покращення ефективності процесів плавлення.

Приклади установок

У Франції всі нещодавно встановлені вагранки з холодним дуттям використовують 2 ряди фурм: STAUB (комуна Мервіль), FONTE ARDENNAISE (муніципалітет Вів'єр-о-Кур), BERNARD HUET (Вів'єр-о-Кур). Також є 1 вагранка з гарячим дуттям із 2 рядами: FIDAY GESTION (муніципалітет Шассе-ле-Се)

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [196, Unido, 2002], [202, TRG (TWG), 2002], [225, TRG (TWG), 2003]

4.2.1.6 Збагачення дуття киснем

Опис

Теплова ефективність вагранки з холодним дуттям може бути підвищена завдяки збагаченню киснем повітря для горіння. Це приводить до підвищення температури горіння коксу. В такий спосіб можна знизити споживання коксу або отримати вищі температури оброблюваного металу.

Порівняно з нормальною експлуатацією, безперервне використання кисню дає змогу зробити одне з таких удосконалень:

- вищу температуру металу, вищий вміст вуглецю і менші втрати плавлення кремнію при однаковій витраті коксу, або
- меншу витрату коксу для заданої температури металу без збільшення викидів вуглецю або зменшення втрат плавлення кремнію, або
- збільшення виходу з наявної вагранки внаслідок збільшення швидкості плавлення.

Впорскування кисню забезпечує можливість швидкого реагування на потік під час процесу, а потім компенсує невеликі зміни в технологічних умовах. У такий спосіб впорскування кисню часто використовується з перервами, як правило, коли процес вимагає коригування.

Ефективність кисню залежить від способу, за допомогою якого він вводиться до вагранки. Розроблено три процеси:

- *Пряме (безпосереднє) збагачення подачі дуття:* Кисень подається в основне дуття, ця методика застосовується в більшості вагранок із холодним дуттям
- *Введення в шахту:* Кисень вводиться в коксовий шар від кільцевого з'єднання, яке постачає інжектори з водяним охолодженням, кількість яких залежить від розміру вагранки. Кисень, який використовується, принаймні вдвічі ефективніший, ніж коли він використовується безпосередньо для збагачення дуття. Однак цей тип введення обмежується вагранками з безперервним випуском, оскільки при переривчастому випуску існує ризик того, що шлаки та метали можуть піднятися до рівня інжекторів. Методика була розроблена у Великобританії, але вона не знайшла широкого застосування
- *Введення у фурми:* Кисень вводиться у вагранку через інжектори, вставлені в кожну фурму або в альтернативні фурми. Ефективність цього методу знаходиться між методом прямого вдування і введення в шахту. Ця методика застосовується в 20 – 30 % випадків, але більше в режимі гарячого дуття.

Принципи введення кисню представлено на рисунку 4.3.

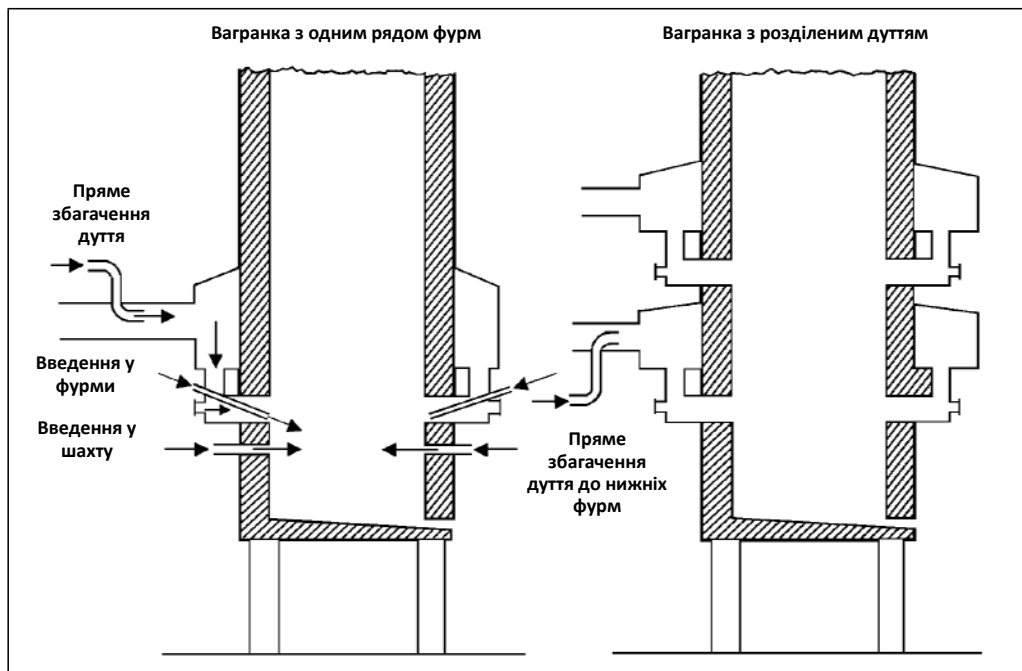


Рис. 4.3. Різні методи кисневого дуття
[44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993]

Досягнуті переваги для довокілля

Застосування кисню приводить до зменшення споживання коксу та кращого контролю процесу. Крім того, повідомлялося про зменшення викидів діоксинів і фуранів із вагранок із холодним дуттям (див. пункт 4.5.1.4).

Міжсередовищні наслідки

Метод вимагає кисню, який виробляється поза межами заводу та передбачає споживання електричної енергії.

Експлуатаційні дані

Порівняно з експлуатацією звичайної вагранки з холодним дуттям та одним рядом фурм, є збільшення температури випуску плавлення, отримане для заданої шихти з коксом. Це збільшення можна очікувати на такому рівні:

- пряме введення + 15°C
- введення в шахту + 85°C
- введення у фурми + 40°C

Розділене дуття з прямим збагаченням доменного повітря приводить до підвищення температури випуску на 85°C порівняно з холодною експлуатацією. При розділеному режимі дуття ані введення в шахту, ані введення у фурми не дають більшої користі, ніж простий метод прямого введення.

Важливим аспектом застосування кисню було підвищення швидкості плавлення для наявної вагранки, що значно перевищує її звичайну оптимальну здатність плавлення. У розділених вагранках швидкість плавлення збільшується приблизно на 6,8 %, а температура випуску – приблизно на 20 °C на кожен 1 % прямого збагачення дуття киснем. Якщо підвищення температури не потрібно, а заряд коксу знижений, можна отримати ще більше збільшення швидкості плавлення за тієї ж швидкості дуття та збагачення киснем.

Додаткові експлуатаційні дані наведено в Додатку 1.

Застосування

Сьогодні майже всі європейські вагранки з гарячим дуттям впорскують кисень через фурми. Для печей холодного дуття використання збагачення киснем може вважатися стандартною технікою. У цьому випадку зазвичай застосовується збагачення дуття в момент подачі. Рівень кисню окиснювальної повітряної суміші зазвичай становить від 22 до 25 % (тобто збагачення від 1 % до 4 %).

Економічні дані

Ефект від використання кисню на витрати плавлення сильно залежить від ціни кисню, що, зі свого боку, пов'язане з витраченою кількістю. Заводи, що мають більший обсяг виробництва, як правило, можуть купувати кисень дешевше. Економічні аспекти використання кисню слід встановлювати у кожному конкретному випадку.

Значне збільшення обсягів випуску продукції дало змогу ливарним підприємствам збільшити випуск продукції без великих капітальних вкладень у новий завод, а також зменшити витрати й оплату понаднормових робіт настільки, що загальне скорочення витрат просто виправдає витрати на кисень. Такі вдосконалення повинні враховувати пов'язану з ними здатність до виготовлення стрижня та форми.

Рушійна сила для впровадження

Для оптимізації ефективності та контролю процесу плавлення.

Приклади установок

Ця технологія широко застосовується в ливарних виробництвах, де використовують вагранки.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [156, Годіно, 2001]

4.2.1.7 Перегрівання повітря під час дуття у вагранках з гарячим дуттям (НВС)

Опис

Альтернативна методика збільшення температури полум'я призначена для перегрівання дуття повітря до 800 – 900°C. Для цього застосовується нагнітання повітряної плазми або нагрівання в трубчастих нагрівачах опору. Досвід показує, що підвищення температури дуття на 200°C, з 550°C до 750°C, що вимагає 60 кВт·год на тонну заліза, економить 10 кг коксу на тонну розплавленого металу. Основна перевага, важливіша, навіть, ніж економія коксу, – це гнучкість: погодинний вихід можна збільшити на 30 % без зміни плавильного шару. Крім того, застосування (плазмового) перегріву дає змогу змінити сировину з чистого чавуну на сталь із подальшим позитивним економічним ефектом.

Досягнуті переваги для довкілля

Зниження споживання коксу та підвищення ефективності процесу.

Міжсередовищні наслідки

Електричне нагрівання призводить до збільшення споживання електроенергії (58 кВт·год/т).

Експлуатаційні дані

У Додатку 1 наведено експлуатаційні дані. Нагрівання дуттям повітря випускає менший об'єм димових газів порівняно із тривалою дією плавлення з гарячим дуттям. Порівняно із впорскуванням кисню об'єм димових газів та споживання електроенергії більші.

Застосування

Методика застосовується на нових і наявних печах НВС.

Методика (як з електричним, так і з плазмовим нагріванням) досягає аналогічного ефекту, як впорскування кисню через канали, але може застосовуватися у складніших установках і створює більший об'єм димових газів. Крім того, впорскування кисню дає змогу компенсувати витоки в повітряному контурі. Методика (як з електричним, так і з плазмовим нагріванням) досягає аналогічного ефекту, як впорскування кисню через канали, але може застосовуватися у складніших установках і створює більший об'єм димових газів. Крім того, впорскування кисню дає змогу компенсувати витоки в повітряному контурі.

Економічні дані

Економічні дані представлено у Додатку 1.

Рушійна сила для впровадження

Для оптимізації ефективності та контролю процесу плавлення.

Приклади установок

PSA, Септ-Фонс, Франція

Три ливарні у Франції застосовують нагрівання із трубчатим опором.

Довідкова література

[156, Годіно, 2001]

4.2.1.8 Мінімальні періоди перекривання дуття для НВС

Опис

Вагранки, що продуваються з перервами, не будуть ефективно працювати, і це призводить до зниження температури випуску плавлення металу, як показано на рис. 4.4.

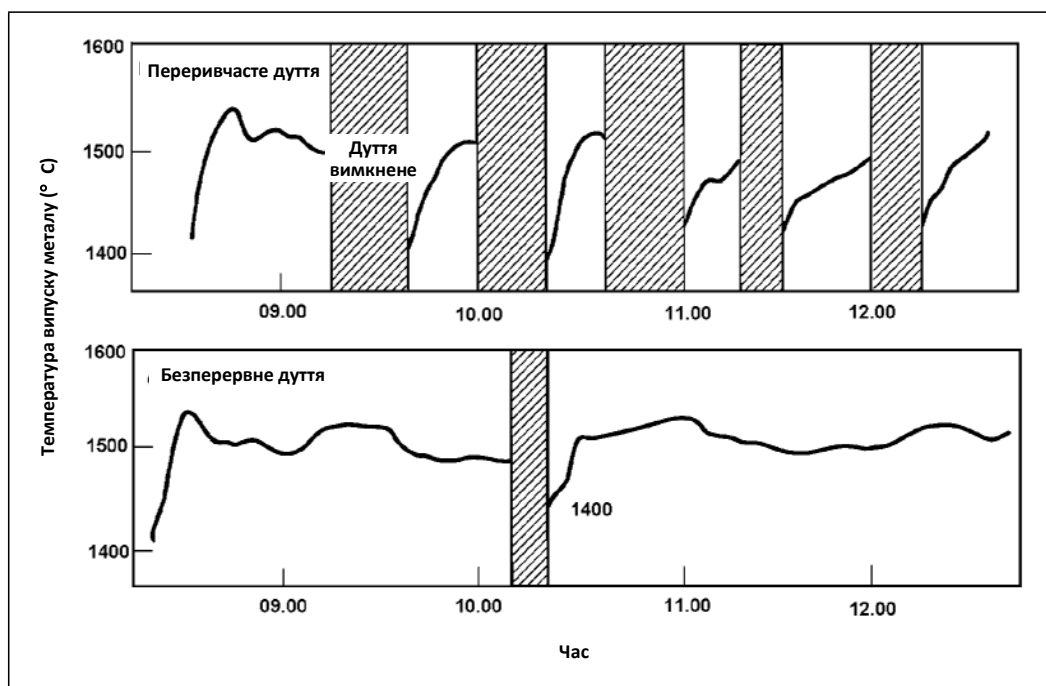


Рис. 4.4. Вплив періодів простою від дуття на температуру випуску металу у вагранці [44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993]

Часте вимкнення дуття та переривчасте його вимкнення:

- зменшує середню температуру випуску плавлення та виливання і збільшує ступінь їх коливань, що зумовлює ризик отримання дефектних виливків
- збільшує зміну складу металу, зокрема вміст вуглецю та кремнію, з небезпекою того, що потім метал вийде «несортний»
- збільшує споживання коксу через спробу операторів поліпшити температуру випуску
- впливає на ступінь зародження центрів кристалізації в чавуні та збільшує його тенденцію до усадки.

Тому графіки формування і лиття запрограмовані так, щоб виробляти досить постійний попит на метал, і тим самим мінімізувати або навіть усунути потребу в періодах відключення дуття або великих варіаціях швидкості дуття.

Там, де великі коливання попиту неминучі, можна розглянути встановлення електричної печі витримування. Це може забезпечити великий буферний резервуар для металу, щоб прийняти зміни попиту, так що вагранка може працювати безперервно при досить стійкій швидкості дуття. Він також може бути використаний для вирівнювання перепадів температур і складу.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення споживання коксу. Більша енергоефективність процесу.

Міжсередовищні наслідки

Експлуатація електричної печі вимагає більше енергії.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових і наявних вагранок.

Економічні дані

Економічна частина встановлення печі витримування повинна бути дуже ретельно продумана, особливо в ливарних підприємствах з відносно низькими показниками виробництва.

Рушійна сила для впровадження

Для підвищення ефективності ливарного процесу.

Приклади установок

Режим дуття, що застосовується, зазвичай розглядається для експлуатації у всіх європейських ливарних підприємствах, що використовують вагранки.

Довідкова література

[44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993]

4.2.1.9 Безкоксва вагранка

Опис

У безкоксівій вагранці металева шихта нагрівається шляхом спалювання природного газу. Замість традиційного коксового шару металеву шихту підтримує ліжко з вогнетривких кульок на водяній охолодженій сітці. Розплавлені металеві краплі пробігають через цей шар і збираються в горн на дні печі. Строк служби сфер, що зазнають температур перегріву металу, обмежений. У такий спосіб безкоксіві вагранки працюють при зниженій температурі (1400°C замість 1500°C), а перегрів рідкого металу проводиться у приєднаній газовій або індукційній печі (дуплексна експлуатація).

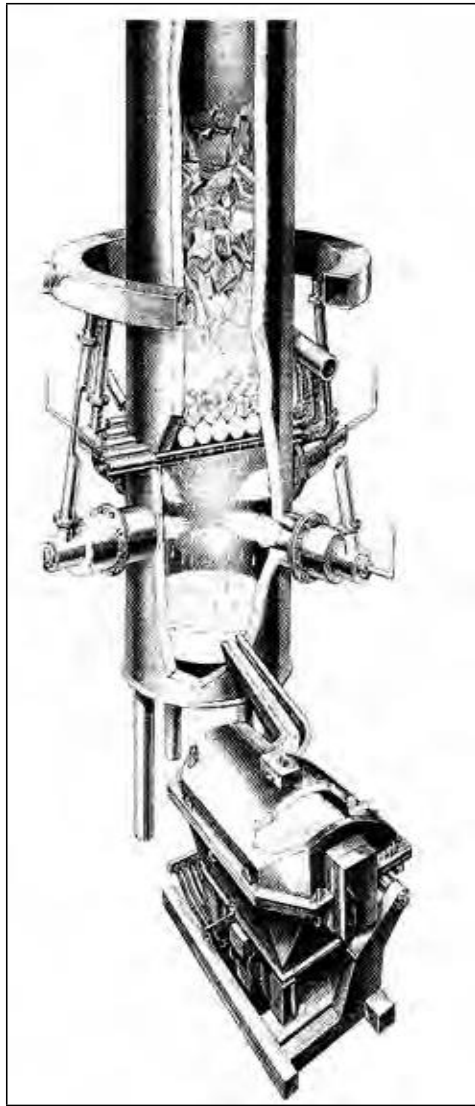


Рис. 4.5. Безкоксва вагранка в дуплексному режимі експлуатації [110, Віто, 2001]

Важливим експлуатаційним фактором є те, що безкоксові вагранки повинні працювати безперервно. Існує високий ризик засмічення та блокування на охолоджених решітках. Якщо є необхідність зупинити потік металу (наприклад через проблеми у формувальному цеху), потужність пальника може бути зменшена до 35 – 40 %, щоб компенсувати втрати тепла на стінах. Необхідність безперервності повинна бути збалансована з використанням вогнетривких матеріалів у зоні плавлення. Тому зазвичай використовують плавильні кампанії на один тиждень.

Окислювальна атмосфера та відносно низька температура полум'я призводять до збільшення втрат окислення. Це обмежує можливість подачі у випадку сталі. Максимум 35 % сталі використовується у виробництві вермикулярного чавуну, хоча 20 % можна вважати загальною практикою. Якість матеріалу, що подається, потрібно добре контролювати, оскільки плавлення без коксу є чутливішим до арного ефекту, ніж плавлення з коксом.

У виробництві вермикулярного чавуну важливою перевагою безкоксової вагранки є те, що немає повторного сульфування, тому розплав можна використовувати одразу після переплавлення.

Досягнуті переваги для доквілля

Окрім більшої теплової ефективності, ця піч має також інші екологічні переваги. Спалювання природного газу замість коксу має такі наслідки для димових газів:

- менше пилу (металевий заряд 0,8 кг/т замість 10 до 15 кг/т металеві шихти для вагранки з холодним дуттям)
- відсутність CO або SO₂ і менше CO₂ (заряд металевого 120 кг/т замість металеві шихти 450 кг CO₂/т для холодного дуття)
- швидкість виходу димових газів менша (металевий заряд 495 м³/т замість 770 м³/т металеві шихти для вагранки з холодним дуттям без вогнетривких матеріалів із водним охолодженням), а отже установка для обезпилення може бути спроектована значно меншою.

Міжсередовищні наслідки

Застосування плавлення в безкоксових вагранках вимагає дуплексної експлуатації, щоб забезпечити перегрів чавуну. Для перегріву в індукційній печі існує підвищена потреба в електроенергії порівняно з процесами гарячого дуття.

Експлуатаційні дані

В таблиці 4.7 наведено експлуатаційні дані. Піч, як правило, працює при коефіцієнті повітря $\lambda = 1,15$. Потужність печі може бути високою (часто в межах 10 – 12 т/м²/год). Кількість сфер становить 1 – 1,4 % від металевого шихти. Енергоефективність вагранки без урахування зв'язаної індукційної печі знаходиться в межах 70 %.

	Одиниці	Споживання (на тонну розплавленого металу)
Споживання природного газу		
Попереднє нагрівання печі	м ³	600
Плавлення	м ³	48,0
Споживання електроенергії		
а) Пристрій перегріву		
Перегрів	кВт·год	64,0
Витримування	кВт·год	15,0
б) Додаткове обладнання		
	кВт·год	25,0
Споживання матеріалу футеровки		
Шахта печі	кг	5 – 8
Сифон	кг	0,7
Пристрій для перегріву	кг	0,5
Споживання води	м ³	0,4
Споживання кисню	м ³	19,7
Металева шихта	Компоненти	Частина (%/т)
	сталь	25 – 35
	чавунні чушки	20 – 30
	повернення/чавунний скрап	35 – 55
Легування і домішки	Компоненти	Частина (%/т)
	Навуглецьовувач	1,1
	Брикети – Si	0,8
	Керамічні кульки	0,95
	Шлакоутворюючі речовини	0,3

Таблиця 4.7: Типові експлуатаційні дані для безкоксової вагранки [202, TRG (TWG), 2002]

Внаслідок відсутності коксів (і CO) із системи коксової печі не втрачається прихованого тепла. Повна рекуперация тепла від димових газів відбувається у шахті. У дуплексних конфігураціях (наприклад у поєднанні з індукційною піччю) можна отримати ефективність в межах від 40 до 60 %. Теплова ефективність для вагранок на коксі варіюється між 25 % (холодне дуття) і 45 % (гаряче дуття, тривале плавлення).

Дані про викиди для безкокскових вагранок і вагранок із гарячим дуттям порівнюються в таблиці 4.8. Ці дані можна застосувати для наступних конфігурацій:

- безкоксова вагранка: вловлювання вихлопів під колошниковим отвором; окислювальна атмосфера ($\lambda = 1,15$); відсутність післяспалювання; суха фільтрація
- вагранка з гарячим дуттям: вловлювання вихлопів під колошниковим отвором; післяспалювання в окремій камері з подальшим відновленням і сухою фільтрацією.

	Безкоксова вагранка				Вагранка з гарячим дуттям			
	Робочі умови		нм ³ /т	кг/т	Робочі умови		нм ³ /т	кг/т
Газ	50 нм ³ /тонну							
Енергія	500 кВт·год/нм ³							
λ	1,15							
Кокс					12 %			
Сталь					50 %			
Повторне науглецьовування					1,9 %			
Всього горючого вуглецю					9 %			
Димовий газ			550				2930	
CO ₂		9,1 %	50	98		6 %	176	346
H ₂ O		18,2 %	100			-		
O ₂		2,7 %	15			15 %		
CO		<1 %	<5,5	<6,9		10 мг/нм ³		29 г/т
NO _x		155 – 375 мг/нм ³		85 – 210 г/т		205 мг/нм ³		150 г/т
SO ₂		--100 %				100 мг/нм ³		300 г/т

Таблиця 4.8: Дані щодо викидів для безкоксової вагранки та вагранки з гарячим дуттям [170, Годіно та Карлі, 1999]

Можна відмітити наступні спостереження:

- безкоксіві вагранки виділяють в п'ять разів менше димових газів ніж вагранки з гарячим дуттям. Зазвичай це відбувається через післяспалювання, яке надходить надлишком повітря в камеру згоряння вагранки. Як наслідок, безкоксіві вагранки можуть бути обладнані меншою системою очищення димових газів
- безкоксіві вагранки виділяють у 3 – 4 рази менше CO₂, ніж вагранки з гарячим дуттям
- безкоксіві вагранки виділяють більше CO, який спалюється у випадку вагранки з гарячим дуттям
- NO_x і рівні викидів SO₂ низькі порівняно з поточними граничними значеннями викидів (наприклад, для Франції це 500 мг/нм³ та 300 мг/нм³ відповідно)
- якщо застосовується суха фільтрація, обидві методи мають низькі значення викиду пилу.

Застосування

Ця методика застосовується до нових установок, що випускають середні та великі серії. Безкоксіві вагранки потребують постійного і безперервного режиму роботи. Через високі втрати на окислення та високий ризик аروحного ефекту, техніка потребує чистого завантаження із вмістом сталі макс. 35 %. Оскільки сульфурізація не відбувається, то техніка представляє особливий інтерес для виробництва вермикулярного чавуну.

Економічні дані

В таблиці 4.9 представлені дані щодо експлуатаційних витрат (за 1999 рік) відносно експлуатаційних витрат вагранок із гарячим дуттям (встановлено на 100 %). Ці значення застосовуються для обладнання потужністю 12 тонн/год і ґрунтуються на дослідженні 3 безкоксівих вагранок в Європі.

		Сировина (%)	Додаткові матеріали (%)	Енергія плавлення + Рідини (%)	Порівняльний індекс
Сірий чавун	Безкоксва газова вагранка	83	6	11	116
	Коксова вагранка з гарячим дуттям	69	8	23	100
Чавун із вермикулярним графітом	Безкоксва газова вагранка	81	6	13	104
	Коксова вагранка з гарячим дуттям	69	8	23	100

Таблиця 4.9: Операційні витрати для безкоксвої вагранки, по відношенню до вагранки з гарячим дуттям (налаштування на 100 %) [202, ТРГ (TWG), 2002]

Табличні значення були розраховані в 1999 році, однак відтоді спостерігається зростання ціни коксу. З цієї таблиці можна зробити висновок, що в Європі безкоксва вагранка потужністю 12 т/год:

- плавить дорожчий сірий чавун
- плавить вермикулярний чавун за ціною, дуже схожою до вагранки з гарячим дуттям.

Порівняння дуже залежить від місцевої ціни на енергію та матеріали.

Рушійна сила для впровадження

Для зменшення викидів вагранок.

Приклади установок

- Düker, м. Лауфак (Німеччина): 15 тонн/год вермикулярного чавуну
- Düker-Kuttner, Lingotes Especiales, м. Вальядолід (Іспанія): 16 тонн/год сірого вермикулярного чавуну
- Hayes Hydraulic Castings (Великобританія), 5-6 тонн/год пластинчатого та вермикулярного чавуну.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001], [170, Годіно and Carlier, 1999]

4.2.1.10 Коксова вагранка із газовим пальником

Опис

Принцип коксової газової вагранки полягає в заміні частини коксу на газ. Існує дві методики спалювання природного газу у вагранці:

- за допомогою повітряно-газових пальників, розташованих над фурмами
- використовуючи пальники з кисневим газом, розташовані у фурмах.

Зараз коксва/газокиснева вагранка знаходить обмежене застосування в Європі. Це може бути пов'язано з труднощами в управлінні процесом і посиленням ускладненням оболонки печі.

Газокисневий пальник був представлений у 1994 році. Крім випалу оксигазу, він дає змогу вносити пил у фурми для рециркуляції, хоча на практиці цей варіант не застосовується. Пальники з кисневим газом розміщуються в 1/3 – 1/2 фурм. Близько 10 % енергії коксу замінюється природним газом, що призводить до споживання газу від 8 до 16 нм³/т. Це пов'язано із загальним споживанням кисню (пальники + кисневі фурми) від 40 до 60 нм³/т. Застосування цієї методики забезпечує більшу гнучкість у виробництві та/або металургії.

Ефект і використання газокисневого пальника залежить від відповідної вагранки. У вагранках із холодним дуттям методика застосовується для забезпечення легкого перезавантаження або зменшення частки коксу. У режимі гарячого дуття техніка використовується для збільшення потужності печі без зміни плавильного шару. Заміна частини коксу СН₄ призводить до зменшення об'єму димових газів. Це використовується як засіб підвищення потужності печі без перенасичення встановленої системи очищення димових газів.

Метод приводить до збільшення вмісту вуглецю в розплаві і допомагає збільшити кількість сталі в шихті. Процес забезпечує засіб для введення FeSi, який у вигляді порошку коштує дешевше, ніж у руді. Ці властивості приводять до сприятливого економічного ефекту.

Досягнуті переваги для довокілля

Заміна частини коксу C_H_4 приводить до зменшення об'єму димових газів. Крім того, димовий газ стає горючішим завдяки підвищеному вмісту CO та H_2 . Якщо є післяспалювання, то в результаті в димових газах буде нижчий рівень органічних сполук і CO.

Заміна коксу природним газом знижує рівень викидів SO_2 .

Методика допускає можливість рециркуляції вагранкового пилу в розплаві. Хоча після деяких початкових випробувань ця програма не була повністю розроблена.

Зниження рівня коксу у вагранці збільшує ризик аروحного ефекту.

Міжсередовищні наслідки

Виробництво, зберігання та використання кисню збільшує ризики для безпеки. Виробництво кисню відбувається за допомогою криогенної дистиляції або вакуумної (короткоциклової) адсорбції без нагрівання, і обидва методи пов'язані зі споживанням електроенергії. Витрата цієї техніки становить 0,35 – 0,38 кВт·год/нм³ O_2 . Виробництво кисню часто здійснюється зовнішнім постачальником, який постачає кисень до резервуару або безпосередньо трубопроводом.

Експлуатаційні дані

Ливарний завод AGA-Rayburn (с. Коалбрукдейл, Великобританія) обладнав 3 з 8 фурм вагранки з холодним дуттям кисневими пальниками. Це допомогло зменшити загальну частку коксу з 15 % до 10 %. У результаті відбулося падіння вмісту сірки в залізі, що допомогло зменшити кількість використовуваного чавуну та отримати економічну вигоду.

Ливарний завод Fritzwinter (Німеччина) обладнав 3 з 6 фурм вагранки з гарячим дуттям з газокисневими пальниками потужністю 20 – 25 тонн/год. Це допомогло збільшити виробничі потужності до 28 т/год без необхідності зміни плавильного шару, а також системи очищення димових газів. Вплив на склад димових газів перед спалюванням представлено в таблиці 4.10.

	З киснем без газокисневих пальників	З киснем з газокисневими пальниками
H_2	0,8 – 1,2	2,2 – 2,4
CO	14 – 15	19
O_2	2	2

Таблиця 4.10: Вплив газокисневих пальників на склад димових газів для вагранки з гарячим дуттям [184, Годіно and Ressant, 2002]

Застосування

Ця методика може застосовуватися як для вагранок із холодним, так і з гарячим дуттям, як у нових, так і в наявних установках. Переваги, отримані в застосуванні (підвищена гнучкість, економічна вигода, зменшення об'єму димових газів, збільшення потужності), залежатимуть від конкретних умов плавлення розглянутої установки. Повідомляється, що методика створює труднощі для контролю над процесом, а також збільшує ускладнення необхідної оболонки печі.

Економічні дані

Експлуатаційні витрати до і після перемикавання вагранки з холодним дуттям на газокисневий пальник для вищезгаданого ливарного складу Aga-Rayburn (Великобританія) наведені в таблиці 4.11. Ціни – це прогнози в розрахунку за допомогою STIF (Франція).

Вхідні елементи	Одиниці	Ціна одиниці євро	Без пальників		З пальниками	
			Споживання на тонну	Ціна євро/тонну	Споживання на тонну	Ціна євро/тонну
Кокс	тонна	198	0,15	29,7	0,1	19,8
Газ	нм ³	0,15	0	-	16,5	2,5
Кисень	нм ³	0,38	14	5,4		
		0,23			40	9,2
Чавунні чушки	тонна	164,6	0,2	32,9	0	-
Чавунний скрап	тонна	125,8	0,2	37,7	0,5	62,9
Усього	євро/тонну			105,7		94,4
Усі значення за тону розплавленого металу						

Таблиця 4.11: Операційні витрати для вагранки з холодним дуттям із або без газокисневих пальників [184, Годіно та Ресан, 2002]

Експлуатаційні (операційні) витрати зменшуються від 105 євро/тонну до 94 євро/тонну розплавленого металу. Економічну вигоду здебільшого можна віднести до зменшення частки чавуну. Це також підкреслює той факт, що баланс буде відрізнятися для кожного конкретного ливарного виробництва.

Рушійна сила для впровадження

Для підвищення гнучкості ливарного виробництва та/або збільшення виробничих потужностей наявних установок без зміни плану-схеми розміщення установки.

Приклади установок

- Ливарний завод «AGA-Rayburn Foundry» (с. Коалбрукдейл, Великобританія)
- Ливарний завод «Fritzwinter foundry» (Німеччина)

Довідкова література

[156, Годіно, 2001], [184, Годіно та Ресан, 2002]

4.2.2 Електрична дугова піч

4.2.2.1 Скорочення часу плавлення та обробки

Опис

Поліпшення методів контролю може привести до скорочення строків плавлення або обробки. Деякі приклади:

- пильніший контроль вмісту (наприклад вміст С, S, P) та ваги шихти і шлакоутворюючих матеріалів
- надійний контроль температури розплаву може покращити вихід реакцій рафінування та уникнути перегріву
- ефективніші методи відбору проб і знежирення можуть скоротити час простою печі.

Вторинна металургія, використовуючи обробку AOD/VODC, скорочує час роботи EAF і позитивно впливає на енергозбереження. Методика розглядається далі в пункті 4.5.7.1.

Досягнуті переваги для довкілля

Збільшена ефективність печі завдяки скороченню часу плавлення та скороченню часу простою.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових і наявних EAF.

Рушійна сила для впровадження

Для покращення ефективності процесів плавлення та обробки.

Приклади установок

Ця технологія широко розповсюджена серед європейських ливарних виробництв, що використовують плавлення в EAF.

Довідкова література

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [202, ТРГ (TWG), 2002]

4.2.2.2 Практика використання пінистого шлаку

Опис

Практика використання пінистого шлаку, яка зараз використовується у металургійній галузі, полягає в одночасному введенні кисню та вуглецю (у вигляді вугільного пилу) у шлак в кінці плавлення. Пінистий шлак утворюється під дією бульбашок CO. Газ CO з'являється від окислення вуглецю в металі завдяки впорскуванню кисню, а також від відновлення оксидів заліза (FeO) введеним вугіллям.

Створення пінистого шлаку покращує передачу тепла до завантаженого устаткування і захищає вогнетривкий матеріал всередині печі. Через кращу стійкість дуги та менший вплив випромінювання шлакове піноутворення приводить до зниження споживання енергії, споживання електродів, рівня шуму та підвищення продуктивності.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення споживання енергії та електродів, зниження рівня шуму та зменшення обсягу димових газів.

Міжсередовищні наслідки

Через те, що об'єм шлаку збільшується, можуть знадобитися великі ковші для шлаку. Після випуску плавлення шлак знову дегазується. Про негативний вплив на можливість повторного використання шлаку не повідомлялося.

Експлуатаційні дані

Таблиця 4.12 представляє експлуатаційні дані для електродугової печі місткістю 60 т, які вказують на економію електроенергії, часу, вогнетривких матеріалів та електродів.

	Одиниці	Звичайний шлак	Пінистий шлак
Загальна потужність	МВт	25	30
Дуга втрат в навколишнє середовище на димових газах	МВт	6	0
Потік димових газів	м ³ /год	41000	28000
Кінцева температура	°C		
- метал		1630	1630
- шлаки		1603	1753
- вуглекислий газ		1463	1607
- вогнетривкі матеріали		1528	1674
Енергія – вхід	кВт·год/тонну		
- електроенергія		50,8	37,7
- копалини (вугілля)		37,1	22,6
Енергія - вихід	кВт·год/тонну		
- метал(ΔH)		10,4	10,4
- шлаки(ΔH)		1,1	9,4
- втрати печі		20,7	14,1
- втрати димових газів		53,6	24,8
- інші втрати		2,5	1,6
Час нагрівання 1584 – 1630 °C	хв	11хв 45сек	7хв 30сек
Швидкість нагріву	°C/хв	3,9	6,1

Таблиця 4.12: Дані щодо енергії та температури для печі EAF з нормальним шлаком і пінистим шлаком [202, ТРГ (TWG), 2002]

Щільність шлаку знижується з 2,3 т/м³ до 1,15 – 1,5 т/м³.

Застосування

Ця техніка застосовується на нових і наявних заводах з EAF, які практикують впорскування кисню.

Рушійна сила для впровадження

Для покращення ефективності експлуатації печі.

Приклади установок

Не повідомлялося про конкретні приклади заводів, але техніка знаходить застосування на кількох європейських ливарних виробництвах.

Довідкова література

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [202, TRG (TWG), 2002], [211, Європейське бюро ІЗКЗ, 2000]

4.2.3 Індукційна піч (IF)

4.2.3.1 Оптимізація процесів: оптимізація матеріалів для завантаження, власне завантаження та експлуатація

Опис

Варіанти оптимізації процесу для тигельних індукційних печей включають наступне:

- *Оптимізуйте стан сировини:* Це включає уникнення іржавих і брудних елементів на вході, використовуючи оптимальні розміри та щільність ввідних матеріалів/скрапу та використання чистіших навуглецьовувачів. Ці заходи скорочують час плавлення, зменшують питому енергію, необхідну для плавлення та/або зменшують кількість шлаку, що утворюється
- *Закрийте кришку (засувку) печі:* Окислення зменшується шляхом уникнення погано прилягаючих кришок і непотрібних/тривалих отворів, швидкого завантаження або використання захисної атмосфери над розплавом (N₂). Для запобігання втрат енергії потрібно скоротити час роботи. Час, необхідний на відкриття для завантаження, видалення шлаку, вимірювання температури, відбору проб і заливки, варіюється між 50 % і 25 % часу зміни. Останній показник стосується нових печей, що працюють в оптимізованих умовах. Добре встановлена закрита кришка обмежує втрати тепла на поверхні приблизно до 1 % від вхідної потужності. Відкриті втрати тепла можуть становити до 130 кВт·год/тону для установки потужністю 10 тонн. Під час плавлення під закритою кришкою слід стежити за тим, щоб піч не перегрівалася
- *Обмежити витримування до мінімуму:* З моменту плавлення це перший крок у ланцюзі ливарного процесу, скорочення часу витримування може бути досягнуто лише за допомогою інтегрованої оптимізації для всього ливарного процесу та мінімізації затримок, проблем і нерівностей у будь-якому з ливарних відділів/цехів. Під час проведення проводиться коригування складу на основі результатів аналізу, зробленого із проб холодних виливків. Оптимізація процедур відбору проб, тестування та коригування є ще одним заходом для скорочення часу витримування
- *Працюйте при максимальному рівні вхідної потужності:* Печі ефективніші у використанні енергії, коли вони працюють на максимальних рівнях введеної потужності, а найкращі результати отримуються, коли наявна потужність може бути повністю використана для найбільшої частки циклу плавлення. Сюди також входить зменшення плавлення з холодного пуску (оптимізація виробничої програми) та забезпечення подальшого контролю за допомогою моніторингу та комп'ютерного контролю
- *Уникайте надмірної температури і зайвого перегріву:* Це важливо, щоб метал досягав необхідної температури саме в той момент, коли формувальний цех в змозі його отримати. Гарне співробітництво між плавильним і ливарним цехами має важливе значення для мінімізації споживання електроенергії
- *Оптимізуйте високу температуру розплаву для видалення шлаків (хороший баланс):* Низька точка плавлення накопичення шлаків може бути зменшена нагріванням печі до підвищених температур (до 1580°C проти 1450°C за нормальних умов). Це призводить до більшого споживання енергії та може впливати на металургійні аспекти розплаву. Якщо дозволити накопичення шлаку на футеровці, це може вплинути на електричну ефективність печі. Видалення шлаку вимагає відкриття кришки печі, спричиняючи цим теплові втрати. Необхідно знайти відповідний баланс між підвищенням температури розплаву та практикою видалення шлаків

- *Запобігайте утворенню шлаків вгорі:* Поширенішими та проблемнішими є випадки, коли передбачається збільшення температури плавлення. Зазвичай це відбувається завдяки завантаженню піску, а у випадку плавлення чавуну – металевого алюмінію в розплав. Деякі оператори намагаються доповнити процес флюсом і процедурами очищення, але запобігти в цьому плані краще, ніж «ліквати». Це передбачає мінімізацію наявності в сировині піску і Al
- *Виконуйте впорскування кисню:* Замість використання звичайного навуглецьовування
- *Мінімізуйте і контролюйте знос вогнетривкої футеровки:* Строк експлуатації вогнетривких матеріалів залежить від вибору матеріалів як функції хімії шлаку (кислої або основної), робочої температури (сталь, чавун, кольоровий колір), а також уваги до повторного нанесення матеріалів (спікання). Строк експлуатації може варіюватися від 50 (сталь, чавун) до 200 – 300 (чавун) розплавів. Вживаються оперативні заходи контролю з метою контролю зносу вогнетривких матеріалів. До них відносяться візуальний огляд, фізичні вимірювання та програми інструментального моніторингу. Правильні заходи щодо завантаження запобігають накопичувальному впливу фізичних забруднень і механічних навантажень. Сюди входить використання автоматичних систем завантаження, гарячого завантаження, уникнення скрапування з великої висоти та використання компактного і сухого скрапу.

Досягнуті переваги для доквілля

Збільшена ефективність печі завдяки скороченню часу плавлення та скороченню часу простою.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

Типова тигельна піч може розплавити тонну чавуну і підвищити температуру рідкого металу до 1450°C, використовуючи електроенергію менше 600 кВт·год. Однак на практиці лише деякі ливарні підприємства можуть досягти цього рівня питомого споживання щотижня. Деякі ливарні споживають в районі 1000 кВт·год на кожен тонну чавуну, виробленого їхніми тигельними печами. Переважаючи обставини в багатьох ливарних підприємствах можуть обмежити можливості для високого рівня управління енергоресурсами, але насправді майже всі беззвучні плавильні операції можна в певний спосіб удосконалити, щоб досягти гідної економії кількості електроенергії, яка використовується на тонну переробленого чавуну.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових і наявних індукційних печей.

Рушійна сила для впровадження

Для покращення ефективності експлуатації печі.

Приклади установок

Заходи оптимізації процесів зазвичай застосовуються в європейських ливарних підприємствах, що використовують індукційні печі.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992], [110, Bito, 2001], [145, Inductotherm], [225, TRG (TWG), 2003]

4.2.3.2 Перехід від печі промислової частоти до печі середньої частоти

Опис

Середньочастотні (250 Гц) печі мають більшу щільність потужності (до 1000 кВт·год/т), ніж печі промислової (50 Гц) частоти (300 кВт/т). Це допомагає використовувати менший тигель (до трьох разів менше), що приводить до менших загальних втрат тепла. Тепловий ККД середньочастотних печей на 10 % вище, ніж для промислових. Крім того, пристрої промислової частоти повинні експлуатуватися із дзеркалом розплавленого металу до 2/3 ємності тигля, щоб оптимізувати питоме споживання енергії, а також вимагати конкретних блоків стартера для холодного пуску. Печі середньої частоти можна легко запустити з холодною шихтою, їх можна спорожнити в кінці кожної робочої зміни або плавильної партії.

Коли ливарне виробництво переходить із плавлення на промисловій частоті до середньої частоти, важливо, щоб персонал печі провів певну перепідготовку. Наразі від технологій експлуатації, що офіційно використовуються, доведеться відмовитися, і слід адаптувати нові конкретні процедури, призначені для забезпечення ефективного споживання енергії. Якщо недооцінити необхідність перекваліфікації, можливі покращення використання енергії можуть бути не повністю реалізовані.

Досягнуті переваги для довкілля

Покращення енергоефективності процесів плавлення.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані представлено у пункті 3.2.4.

Застосування

Ця техніка застосовується до нових установок та для капітальних реконструкцій наявних установок

Рушійна сила для впровадження

Для підвищення ефективності ливарного процесу.

Приклади установок

Методика зазвичай застосовується в ливарних установках, що встановлюють нову піч.

Довідкова література

[47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992]

4.2.4 Ротаційна піч

4.2.4.1 Підвищення потужності печі

Опис

Усі заходи, що збільшують теплову ефективність печі зі свого боку приведуть до зниження виходу CO₂. Значного поліпшення було досягнуто введенням кисню замість повітря як середовища горіння. Про це йдеться в пункті 4.2.4.2.

Подальші вдосконалення виходу печі можна отримати за допомогою жорсткого контролю та оптимізації:

- режиму роботи пальника
- положення пальника
- завантаження
- металевого вмісту
- температури.

Досягнуті переваги для довкілля

Оптимізація приводить до зменшення кількості пилу та залишків і до підвищення енергоефективності.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

Програма оптимізації роботи печі для плавлення чавуну при 3 т/год запропонувала такі елементи як добру експлуатаційну практику:

- використання чистого скрапу та завантаження у такому порядку: (1) зливки та матеріали з низьким вмістом Si; (2) внутрішній матеріал повернення та ливарний скрап; (3) легуючі елементи та захист від розплаву; (4) сталевий скрап
- захист від розплаву: використання антрациту для захисту від розплаву (2 % металевої шихти) та кремнію (2 %)
- обертання: в переривчастій фазі 1/3 обертання щохвилини загалом 7,5 обертів до зміни фази. Під час безперервного обертання: 1,7 обертів/хвилина
- потужність і кут пальника: використовуйте паралельне положення головки пальника для нижніх форсунок. Почніть із максимальної потужності протягом 20 хвилин, зменшуючи на 10 % кожні 20 хвилин до зміни фази (60 хвилин після початку).

Із використанням цих заходів ефективність металу (розплавлений метал/завантажений метал) може бути збережена на рівні > 95 %.

Застосування

Принципи оптимізації, як правило, діють для плавлення чавуну в ротаційних печах із використанням газокисневих пальників. Експлуатаційні дані встановлені для печі з потужністю 3 т/год. Для печей інших розмірів необхідна оптимізація для певної локації.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація експлуатації печі та підвищення ефективності плавлення.

Приклад установок

Заходи щодо оптимізації процесу зазвичай застосовуються в європейських ливарних заводах із використанням ротаційних печей.

Довідкова література

[204, Карнікер Альфонсо, 2001]

4.2.4.2 Використання кисневого пальника

Опис

Температура полум'я підвищується шляхом застосування чистого кисню замість повітря в пальниках, що використовуються для плавлення або попереднього нагрівання заливних ковшів. Це допомагає ефективніше передавати тепло в розплав і скорочувати споживання енергії.

Якщо подача повітря блокується щільним закриттям, через окислення атмосферного азоту не може утворюватися NO_x. Крім того, загальний потік димових газів з кисню є меншим через відсутність баласту азоту. Це дає змогу застосувати меншу установку з обезпилення.

Досягнуті переваги для довкілля

Методи зменшують споживання енергії та знижують викиди NO_x і CO₂ завдяки вищій температурі згорання.

Міжсередовищні наслідки

Виробництво, зберігання та використання кисню збільшує ризики для безпеки. Виробництво кисню відбувається за допомогою криогенної дистиляції або вакуумної (короткоциклової) адсорбції без нагрівання, обидва методи пов'язані зі споживанням електроенергії. Витрата цієї техніки становить 0,35 – 0,38 кВт·год/нм³ O₂. Виробництво кисню часто здійснюється зовнішнім постачальником, який постачає кисень до резервуару або безпосередньо по трубопроводу.

Паливо або важка олія/масло/оліфа дають викиди SO₂ або NO_x, залежно від вмісту в них S або N. Використання чистіших навуглецьовувачів, таких як природний газ і пропан, не спричинить додаткового забруднення, крім CO₂, як це стосується всіх процесів горіння.

Експлуатаційні дані

Таблиця 4.13 представляє дані щодо теоретичного споживання декількох видів палива та кисню на тонну розплавленого металу для «газоксинового» плавлення чавуну та різних потужностей печі:

Джерело енергії	Одиниці	Потужність печі (тонни)				
		3	5	8	12	20
Легкі паливно-мастильні матеріали	кг/тонну	33 – 38	33 – 38	33 – 38	32 – 37	32 – 37
Природний газ	нм ³ /тонну	38 – 43	38 – 43	38 – 43	38 – 42	38 – 42
Пропан	нм ³ /тонну	15 – 17	15 – 17	15 – 17	14 – 16	14 – 16
Кисень	нм ³ /тонну	130 – 150	130 – 150	130 – 150	130 – 145	130 – 145

Таблиця 4.13: Таблиця щодо показників споживання енергії (мінімальне плавлення) [148, Eurofine, 2002]

Збагачення киснем, що використовується спільно з рекуператором, як правило, допомагає досягти економії 30 % енергії. Крім того, вища температура згоряння сприяє зменшенню загальних викидів. Обсяг вихлопних газів також зменшується. Повні викиди оксиду/палива можуть забезпечити економію енергії до 50 %, а також можуть зменшити обсяг вихлопних газів до 72 %.

Перехід німецької установки від масляно-повітряного пальника до газоксинового спричинив зменшення шумових викидів на 15-18 дБ (А) в безпосередній близькості від печі, залежно від точки аналізу. На межі установки було виміряно значення в 48 дБ (А). Застосовуючи рекуперацію енергії для попереднього підігріву, було зафіксовано загальну економію енергії 53 %.

Застосування

Ця техніка може застосовуватися на будь-якій ротаційній печі та при попередньому нагріванні заливних ковшів. Газоксинові пальники не знаходять застосування в кольорових ливарних заводах, хоча вони використовуються, наприклад, при вторинній виплавці міді.

Економічні дані

Інвестиційні витрати: 3400 – 4500 євро.

Операційні витрати: залежно від ходу процесу.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація експлуатації печі та підвищення ефективності плавлення.

Приклади установок

Ця техніка знаходить широке застосування в чорних ливарних заводах із використанням ротаційних печей.

Довідкова література

[23, Бреттшнайдер та Феннебуш, 1992], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001], [103, Vereniging van Nederlandse Gemeenten, 1998], [148, Eurofine, 2002], [163, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002], [232, Novem, 2000]

4.2.5 Вибір між вагранкою, індукційною та ротаційною печами для плавлення чавуну

Опис

Враховуючи той факт, що різні методи плавлення мають інколи однакові сфери застосування, основним моментом є вибір технології плавлення. У цьому відборі визначальними критеріями є:

- тип металу
- безперервне або серійне виробництво
- розмір серії
- пропускна здатність або потужність металу
- гнучкість до типу і чистоти вхідного матеріалу
- гнучкість до зміни сплавів
- тип виготовленого продукту
- викиди та інші екологічні міркування
- доступність сировини
- доступність пального/електроенергії.

Застосування різних методик плавлення дуже залежить від зазначених критеріїв. З вищезгаданих обговорень можна вивести наступні загальні аспекти:

- *Тип металу:* Електродугову піч краще встановлювати для вермикулярного або легованого чавуну
- *Безперервне виробництво:* Краще встановлювати вагранку
- *Серійне виробництво:* Краще встановлювати електродугову або ротаційну піч
- *Гнучкість до типу і чистоти вхідного матеріалу:* Краще встановлювати вагранку
- *Гнучкість до зміни сплаву:* Краще встановлювати індукційну та ротаційну (обертову) піч
- *Екологічні міркування:*
 - краще встановлювати вагранку тільки, якщо є хороше обезпилення, безкоксіві вагранки виявляють кращі екологічні показники ніж НВС або СВС
 - індукційна піч має нижчий вміст CO, SO₂, NO_x, діоксину, шлаку, але слід мати на увазі, що також будуть викиди від необхідного виробництва електроенергії.
- *Наявність сировинних матеріалів:* Коли є недорогий скрап, краще встановлювати вагранку

Фактично всі ці критерії потрібно розглядати разом. Таблиця 4.14 дає резюме, виходячи з технічних міркувань. Економічні дані для різних типів вагранок та індукційної печі наведені в Додатку 1.

На підставі заявлених критеріїв може розглядатися заміна вагранки індукційними або ротаційними (обертовими) печами. Вибору індукційних або обертових печей надається пріоритет порівняно з вагранками з холодним дуттям для невеликих ливарних виробництв, що відливають різноманітну продукцію в декількох європейських країнах (наприклад Австрія, Бельгія (Фландрія)).

КРИТЕРІЙ		ТІЛЬКИ СІРИЙ ЧАВУН					СІРИЙ + ВЕРМИ- КУЛЯРНИЙ	ТІЛЬКИ ВЕРМИКУЛЯРНИЙ ЧАВУН			ТІЛЬКИ КОВКИЙ ЧАВУН
		Противаги	Каналізаційні виливки, труби, міські меблі	Емальовані виливки, опалювальні прилади	Механічні деталі		Механічні деталі	Каналізаційні виливки, труби, міські меблі	Механічні деталі		Механічні деталі
Від середніх до великих	Всі				Від середніх до великих	Серійне до малого			Від середніх до великих	Всі	
Вагранка	з холодним дугтям	++	++ (<10 – 15 т/год)	++ (<10 – 15 т/год)		++ (<10 – 15 т/год)		(+)			
	з гарячим дугтям	+	++ (>10 – 15 т/год)	++ (>10 – 15 т/год)	0	++ (>10 – 15 т/год)	++ (>10 – 15 т/год)	0		+ (>10 – 15 т/год)	
	безкоксова				0	+	+	0	+		
Індукційна піч			+	+	++	++	++	+	++	++	
Ротаційна піч		(+) серійне			++	+	++	(+) серійне або малі серії	++	++	
++: технічно адаптованіший; +: технічно адаптований (+): адаптований в деяких випадках 0: не адаптований											

Таблиця 4.14: Технічний вибір плавильного обладнання для плавлення чавуну [202, TRG (TWG), 2002]

Досягнуті переваги для довкілля

Заміна вагранки на індукційну або ротаційну печі приводить до зменшення прямих викидів CO та SO₂ та зменшення кількості шлаку. Індукційні печі демонструють знижену емісію NO_x і менший ризик утворення діоксину. Непрямі викиди, що утворюються при використанні індукційних печей, залежать від місцевої інфраструктури виробництва електроенергії.

Міжсередовищні наслідки

Заміна вагранки індукційною піччю породжує сильне збільшення споживання електроенергії.

Застосування

Заміна вагранки з холодним дуттям індукційною або ротаційною піччю застосовується відповідно до вищезазначених критеріїв та при капітальному ремонті установки.

Для нових установок, окрім місцевих і конкретних міркувань щодо розміщення й території, також застосовуються критерії з таблиці 4.14. Якщо вагранки та індукційні або ротаційні печі вказані як найпристосованіші, то перевагу можна надати індукційним та ротаційним типам на основі екологічних переваг.

Економічні дані

Огляд економічних даних для різних типів вагранок та індукційної печі наведено в Додатку 1.

В таблиці 4.15 наведено короткий опис даних про витрати, зібраних на прикладі іспанського ливарного виробництва, на якому хотіли замінити наявну вагранку на ротаційну або електричну піч. Не включаються витрати на обладнання для збору або фільтрації викидів. Дані подано з 1997 по 1998 роки. Порівняння включає в себе наступні три системи:

- вагранка з холодним дуттям: потужністю 3,5 т/год
- газокиснева ротаційна піч: місткістю в 3 т
- 2 індукційні печі середньої частоти: місткістю в 2 + 1 т.

Розрахунок витрат проводився щодо витрат на плавлення при виробництві плавлення 1 т/год, при роботі 8 годин на добу. Для індукційної печі проводиться розмежування між витратами на електроенергію в піковий (максимальний) час та поза піковим часом. Оскільки електроенергія є основною складовою витрат, ця різниця значною мірою залежить від кінцевих витрат. Експлуатація індукційної печі в непіковий час (нічний час) приводить до витрат, порівнянних із витратами на обертову піч. Дані показують, що інвестиції мають строк окупності 5 – 9 років.

Витрати в євро/тонну розплавленого металу	Вагранка	Ротаційна піч	Індукційна піч	
Енергія	30,7	29,8	40,8 27,2	(макс.) (мін.)
Вогнетривкі матеріали	3,6	1,3	1,4	
Людські ресурси	52,9	22,7	22,7	
Сировина	205	205	205	
Всього витрат	292	259	270	
Витрати на рік, в євро				
Витрати на плавлення 1320 тонн/рік	385000	341000	356000 338000	(макс.) (мін.)
Заощадження	Немає	44000	29000 47000	(макс.) (мін.)
Інвестиції	Немає	250000	260000	
Будівництво		Не потрібно	Потрібно	

Таблиця 4.15: Приклад даних щодо вартості заміни наявної вагранки на ротаційну або індукційну піч
Дані щодо 1997 - 1998 років, Іспанія [202, ТРГ (TWG), 2002]

Рушійна сила для впровадження

Зменшення прямих викидів від плавлення чавуну.

Приклади установок

Більшість австрійських заводів, невеликі та середні підприємства, перейшли від плавлення у вагранках до індукційних печей. Як наслідок, залишилися лише три австрійські ливарні, які досі використовують плавлення у вагранці.

Довідкова література

[202, ТРГ (TWG), 2002], [110, Віто, 2001], [225, ТРГ (TWG), 2003]

4.2.6 Подова піч

4.2.6.1 Використання кисневого пальника

Див. пункт 4.2.4.2.

4.2.7 Інші види печей

4.2.7.1 Альтернативи використанню SF₆ в ролі буферного (захисного) газу для плавлення Mg

Опис

Альтернативні буферні гази для плавлення магнію представляють великий інтерес через високий потенціал впливу SF₆, що зазвичай використовується, на глобальне потепління. Заміна SF₆ була темою дослідження протягом кількох років. Всесвітній дослідницький проект із розробки та пропонування альтернатив нині координується Міжнародною асоціацією магнію та буде завершений у 2004 році. Газові суміші, що містять HFC-134a (CF₃CH₂F) та Novac 612 (перфторкетон, C₃F₇C(O)C₂F₅) були успішно випробувані. Тривають дослідження щодо застосування обох сполук. HFC-134a підпадає під обмеження Кіотського протоколу. Обидві сполуки демонструють нижчий глобальний потенціал попередження ніж SF₆: SF₆ GWP = 23900; HFC-134a GWP = 1300; Novac 612 GWP = 1.

На сьогодні життєздатною альтернативою є SO₂. Деякі ливарні виробництва, що працюють із магнієм, мають довгий досвід роботи із цим газом і ніколи не зверталися до SF₆, коли цей газ вперше був уведений на початку 1970-х. SO₂ вступає в реакцію з рідким магнієм і створює захисну плівку на поверхні. На ринку є змішувальна установка для змішування суміші повітря з низькою концентрацією SO₂. Крім того, були встановлені процедури поводження з SO₂ для зменшення шкідливого впливу та ризику працівників.

Захисний газ подається через колектор із декількома розетками. Позиції розеток обираються для захисту всіх ділянок поверхні металу. Ділянки, що ближче до люків, які будуть часто відкриватися під час експлуатації, потребують більшого потоку газу, ніж райони, де взаємодія з навколишньою атмосферою невелика.

Для оптимізації безпеки та мінімізації споживання газу застосовуються повністю інкапсульовані процеси плавлення та лиття.

Якщо заміна неможлива, наступні технічні заходи допомагають зменшити споживання та викиди SF₆:

- покращена герметизація печей
- повністю автоматичне дозування буферного газу
- електронний контроль як газової суміші, так і витрат
- скорочення передозування

Досягнуті переваги для довкілля

Заміна SF₆ допомагає уникнути використання цього парникового газу, який має потенціал у глобальному потеплінні (GWP) 22200 протягом 100 років.

Міжсередовищні наслідки

SO₂ є токсичним газом, і слід враховувати граничні значення впливу для працівників. Межа професійного опромінення в більшості країн становить 2 проміле (5 мг/м³) протягом 8 годин. На стінці печі можуть утворюватися сірчисті та кисневі відкладення. За несприятливих умов ці відкладення можуть бути занурені в розплавлений метал, де вони викликають реакції, що призводять до виверження металу з поверхні. Часте усунення масштабування може запобігти цьому.

Метод призводить до викидів невеликих кількостей SO₂, кількості залежать від потужності й кількості печей. Кошторисний розрахунок може бути 50 – 500 кг на рік для захисту розплаву.

Експлуатаційні дані

Споживання SF₆ залежить від методики плавлення, що використовується і коливається між менш ніж 0,1 та 11 кг/т готових виливків. Технічні вдосконалення та заходи привели до зменшення середнього питомого споживання SF₆ з понад 3 кг/т виливків до 0,9 кг/т. Дані наведені у пункті 3.4.1.

При непорушеному розплаві використання SO₂ було б зазвичай 0,7 % у повітрі при витраті від 5 до 10 літрів на хвилину. У закритих (але не герметичних) печах, таких як плавильні та дозувальні печі, машинах для лиття під тиском застосовується чистий SO₂. Невелика кількість повітря, що потрапляє через кришку, необхідна для забезпечення дії покриття. Якщо використовується газ-носіє, то азот є кращим газом через свою інертність. Потім змішують SO₂ в концентраціях 1 – 2 %.

Дані масового балансу для переплавлення скрапу магнію без флюсу наведено у пункті 4.1.6.

Застосування

Є великий потенціал для зменшення споживання SF₆, але зараз не представляється можливим повністю замінити його під час нестандартних ситуацій. SO₂ може застосовуватися під час звичайних операцій плавлення. Під час ремонту печі SF₆ залишається необхідним як захисний газ через ризики для здоров'я, пов'язані із впливом SO₂. Крім того, SO₂ не можна використовувати для гасіння пожеж із магнієм. І в цьому випадку SF₆ теж залишається у використанні.

Економічні дані

Ціна SF₆ різко зросла за останні кілька років. Отже перехід з SF₆ в SO₂ матиме супутні економічні витрати. В таблиці 4.16 представлено оцінки поточних витрат на використання SF₆ та SO₂, засновані на інформації від ливарного виробництва, що працює на трьох машинах для лиття під тиском, і результатах випробувань промислового масштабу. Незважаючи на те, що дані є лише приблизними оцінками, вони чітко показують, що при заміні SO₂ на SF₆ існує великий потенціал економії витрат.

Властивість	Одиниці	SF ₆	SO ₂
Концентрація газу	%	0,4	0,7
Ціна	євро/кг	36,5	4,5
Інверсна щільність (при 0°C і 1 атм)	л/кг	153	350
Щорічне споживання газу	кг/рік	339	259
Вартість/рік	євро	12373	1165
Дані для 3 машин для лиття під тиском, що працюють в режимі 300 днів/рік, 24 год/день із витратою газу до кожної машини 10 л/хв.			

Таблиця 4.16: Порівняння вартості між SO₂ та SF₆, що використовуються для середовища із захисним газом [190, Шуберт та Гйстланд]

Якщо розглядається нова інвестиція, то система з газом SO₂, що відповідає всім сучасним вимогам щодо безпеки та дозування, коштує 70 000 євро на завод із потужністю 1000 тонн/рік. Нова система SF₆ коштує 23 300 євро. Експлуатаційні дані, що враховують цю інвестицію та використання 1,5 % SO₂ та 0,2 % SF₆, обидві в азоті, наведені в таблиці 4.17. Загальна річна вартість SO₂ на 2500 євро більше, ніж для SF₆, але, з іншого боку, цей варіант допомагає уникнути викидів 12 300 тонн еквіваленту CO₂. Чим більший завод, тим менше відрізняються між двома системами річні витрати. При щорічному виробництві в 1500 тонн/рік перехідний момент закінчується, а вартість зниження CO₂ стає негативною.

Загальні дані щодо лиття		
Ємність печей	2000 кг	
Максимальна потужність плавлення	1000 кг/год	
Час лиття в день (холодна камера)	13,2 год	
Кількість робочих днів	250/рік	
Утилізація	76 %	
Вага брутто-плавлення (вага пострілу/дугтя)	2000 т/рік	
Коефіцієнт скрапу	50 %	
Вага нетто частин Mg	1000 т/рік	
Реалізація на рік (15,00 євро/кг)	15 млн євро	
Поверхня ванн Mg	6 м ³	
Газ (носії + буферний газ) на м ² поверхні	300 літрів на годину, протягом усього року	
Зайве дозування газу під час завантаження	+ 25 %	
Дані щодо газу	SF₆	SO₂
Газ-носії	азот	азот
Концентрація буферного газу в газі-носії	0,2 % об.	1,5 % об.
Дозування буферного газу на годину	46,9 г	154,2 г
Дозування буферного газу на рік	514 кг	1688 кг
Співвідношення буферний газ/нетто Mg на виході	0,51 кг/т	1,69 кг/т
Викиди в тоннах еквіваленту CO ₂	12278	-
Дані про витрати	SF₆	SO₂
1 кг буферного газу	20,00 євро	3,00 євро
1 м ³ газу-носія (азот)	0,20 євро	0,20 євро
Інвестиційна вартість нового газового обладнання	23333 євро	70000 євро
Відсоток знижки на рік	10 %	10 %
Амортизаційний період	10 років	10 років
Середньорічна вартість інвестицій в обладнання	3797 євро	11392 євро
Операційна вартість буферного газу	10274 євро	5065 євро
Річна поточна вартість (без азоту)	14072 євро	16457 євро
Додаткові загальні витрати використання SO ₂	-	2385 євро
Характерні витрати на скорочення викидів	-	0,19 євро /тонну CO ₂ -екв.
Частка додаткових витрат у продажах		0,02 %
Примітка: Більшість даних справедливі лише для цього заводу потужністю 1000 тонн/рік і змінюватимуться з розміром заводу		

Таблиця 4.17: Дані щодо експлуатації та вартості нової ливарної установки з випуском у 1000 тонн Mg /рік [218, Гарніш та Шварц, 2003]

Для наявних установок зменшені витрати на споживання SO₂ потребують відшкодування інвестиційних витрат на заміну установки з буферного газу. Час окупності залежить від фактичного споживання газу. Виходячи зі споживання SF₆, що становить 0,9 кг/тонну, переломний момент, коли загальні витрати на використання SO₂ стають нижчими відповідних витрат SF₆, нижче 900 т/рік випуску. При 500 т/рік SO₂ все ще дорожчий, але питома вартість скорочення за 1 т CO₂-екв. становить 0,31 євро. Частка додаткових витрат у продажах заводу становить 0,04 %. Тому навіть із цієї точки зору слід розглянути цю технологію.

Як висновок, вважається, що економічно вигідно використовувати SO₂ замість SF₆ в ролі буферного газу при литті магнію, принаймні на заводах із щорічним виробництвом металів 500 тонн і більше, незалежно від того, чи це новозбудований завод або той, що працює з SF₆.

Рушійна сила для впровадження

Заходи щодо скорочення викидів парникових газів, зокрема Кіотський кліматичний протокол, що контролює використання фторованих газів: HFC, PFC та SF₆. Ці гази мають високий потенціал впливу на глобальне потепління, але не є озоновими деплекторами. Це стане основою для Директиви ЄС щодо використання фторованих газів. Крім того, деякі регіони вже випустили пропозиції щодо заборони його використання, наприклад Німеччина, Австрія і Данія.

Приклади установок

LM Leichtmetall Systemtechnik, м. Фелльбах (Німеччина)

Австрія, Данія та Швеція більше не використовують SF₆ як буферний газ.

Довідкова література

[182, Клоссет, 2002], [190, Шуберт та Гйештланд], [191, ІМА та ін.], [192, Гйештланд та Вестенген, 1996], [194, Програма ООН з довкілля (UNEP) ІЗКЗ, 2002], [218, Гарніш та Шварц, 2003]

4.2.8 Обробка кольорових металів

4.2.8.1 Дегазація та очищення алюмінію за допомогою крильчатки

Опис

Дегазація алюмінію необхідна для видалення водню з розплаву. Видалення або зменшення невеликої кількості небажаних елементів і домішок вимагає обробки розплаву галогенами, такими як хлор, фтор або бром. Ця обробка називається очищенням і зазвичай поєднується з дегазацією.

Адекватна дегазація із фізично працюючими процесами обробки не допомагає досягти достатнього очищення для більшості алюмінієвих виливів. Вакуумна дегазація досягає дуже низького вмісту водню в розплаві, але, в той же час, менша кількість ядер означає, що кристалізація є менш ефективною.

Під час комбінованого процесу дегазації та очищення в розплав вводять газові суміші аргону та хлору або азоту та хлору. Концентрація хлору в газі-носії повинна бути оптимізована, щоб забезпечити якісне очищення, а також низькі викиди. У більшості випадків необхідна лише дегазаційна обробка. Ця обробка проводиться без Cl_2 -газу. Залежно від очисної ємності, ефективність дегазації може бути підвищена за допомогою пористих пробок і крильчаток.

В деяких окремих випадках застосовували суміш Ar/SF_6 . Останній – це парниковий газ із високим потенціалом впливу на глобальне потепління, який підпадає під дію Кіотського протоколу. (див. також пункт 4.2.7.1)

Досягнуті переваги для довкілля

Використання крильчатки з Ar/Cl_2 або N_2/Cl_2 допомагає уникнути використання гексахлоретану в очисній обробці алюмінію. Вживання гексахлоретану було заборонено в ЄС з 30 червня 2003 року.

Міжсередовищні наслідки

Застосування цього типу дегазаційного обладнання допомогло припинити використання гексахлоретану для цілей дегазації та очищення.

Експлуатаційні дані

Суміш азоту з 3 % Cl_2 зазвичай використовується для комбінованої дегазації та очищення. Виключно для дегазації Cl_2 не є необхідним.

Пересувна крильчатка може використовуватися для печей витримування і ковшів вмістом 50 – 250 кг Al. Обробка займає від 3 до 5 хвилин. Установка для обробки металу використовується для потужностей від 400 до 1000 кг Al. Розплав обробляють протягом 1,5 – 5 хвилин із потоком газу між 8 і 20 л/хв. Графітовий ротор має строк служби у 100 – 150 обробок, залежно від температури розплаву.

Застосування

Розроблені крильчатка для печей витримування і ковшів від 50 до 1000 кг розплавленого алюмінію.

Економічні дані

Інвестиційні витрати представлено в таблиці 4.18

Опис	Витрати (євро)
Станція з крильчаткою, включаючи додаткові елементи	15000
Виробничі потужності для змішування газу аргону із хлором	40000
Всього	55000

Таблиця 4.18: Інвестиційні витрати на станцію з крильчаткою [178, Венк, 1995]

Рушійна сила для впровадження

Європейська Директива 97/16/ЄС про заборону використання гексахлоретану у виробництві або переробці кольорових металів.

Приклади установок

Ця технологія широко застосовується в ливарних виробництвах з алюмінієм.

Довідкова література

[175, Браун, 1999], [178, ТРГ (TWG), 1995],

4.3 Формування та виготовлення ливарних стрижнів, включаючи підготовку піщаної формувальної суміші

4.3.1 Вибір форми

Вибір типу форми зазвичай ґрунтується на технічних критеріях. Застосування різних типів лиття узагальнено в таблиці 4.19. Крім того, таблиця 4.20 показує загальні властивості різних систем.

	Разові форми				Кокілі				
	Методи формування				Технології лиття				
	Формування сирих сумішей	Оболонки та фенол/Фуран	Твердіння на Рер/рідке скло		Лиття під низьким тиском	Лиття під тиском (гаряче)	Лиття під тиском (холодне)	Відцентрове лиття	Безперервне лиття
Чавун									
Сірий чавун	X	X	X	X	O			X	X
Вермикулярний чавун	X	X	X	X				X	X
Ковкий чавун	X	O	X	O					
Білий чавун	X	X	X						
Сталь									
Нелегована	X	X	X	X					X
Низьколегована сталь	X	X	X	X					X
Високолегована марганцева	X	X	X	X					X
Неіржавна та жаростійка	X	X	X	X			O	X	
Важкі метали									
Латунь	X	X	X	X	X				
Бронза	X	X	X	X					
Мідь	X	X	X	X	X		X	X	X
Сплави цинку					O		X	X	
Легкі сплави									
Сплави алюмінію	X	X	X	X	X		X		X
Сплави магнію	X	O	X	X	X	X	X		
Титан	O	O	X	X	O				

X: Метод можна використовувати
O: Метод можливий, але не часто застосовується

Таблиця 4.19: Сфера застосування різних типів форм [126, Датський технологічний інститут (Teknologisk), 2000]

	Лиття у форми із сирової піщаної суміші	Хімічно зв'язаний пісок	Лиття під низьким тиском і гравітаційне лиття	Лиття під високим тиском
Відносна вартість в кількості	Низька	Середньовисока	Низька	Найнижча
Відносна вартість за невелику кількість	Найнижча	Середньовисока	Висока	Найвища
Допустима вага вилівка	Приблизно до 1 тонни	До кількох сотень тонн	50 кг	30 кг
Найтонший ливарний переріз, сантиметри	0,25	0,25	0,3	0,08
Типовий розмірний допуск, сантиметри (без урахування ліній проділу)	0,03	0,02	0,07	0,02
Відносна обробка поверхні	Від непоганої до хорошої	Від непоганої до хорошої	Хороша	Найкраща
Відносні механічні властивості	Хороша *	Хороша *	Хороша *	Найкраща
Відносна легкість складної конструкції вилівка	Від непоганої до хорошої	Хороша	Задовільна	Хороша
Відносна легкість зміни дизайну у виробництві	Найкраща	Задовільна	Низька	Найнижча
Діапазон сплавів, які можна лити	Необмежений	Необмежений	Бажано на основі міді та метали нижчої температури плавлення	Бажано на основі алюмінію та метали нижчої температури плавлення

(*)Механічні властивості можуть бути покращені термічною обробкою

Таблиця 4.20: Технічні властивості різних типів форм [42, Управління з охорони довкілля США (US EPA), 1998]

4.3.2 Формування з глинистим піском (формування сирової формувальної суміші)

4.3.2.1 Підготовка глинистого піску завдяки вакуумному змішуванню та охолодженню

Опис

Процес перемішування й охолодження об'єднують в один етап процесу. Це досягається дією змішувача піску при зниженому тиску, що приводить до охолодження за допомогою контрольованого випаровування води. Спеціальний змішувач потрібно герметично закрити. Він має напірний кожух і підключений до вакуумної системи. Схема системи наведена на рисунку 4.6.

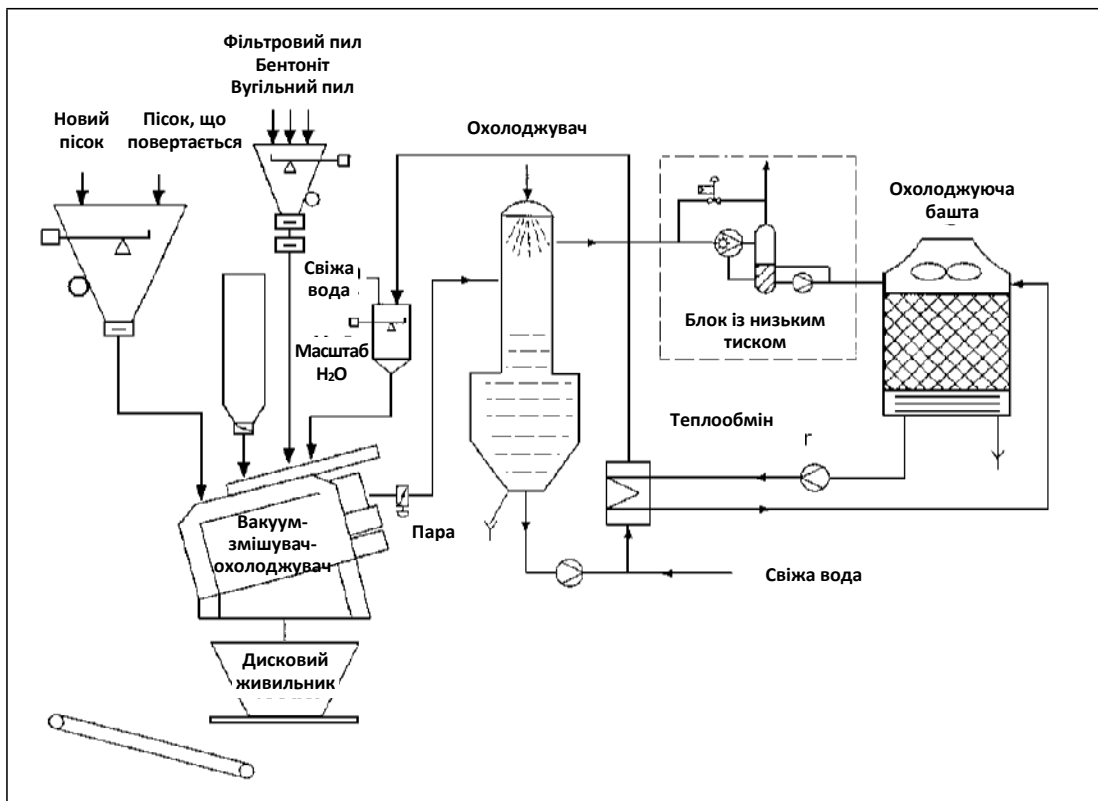


Рис. 4.6. Установа з підготовки піщаної формувальної суміші з вакуумним змішувачем-охолоджувачем [207, Дрювс, 1996]

Порівняно з нормальною сумішню (рис. 2.28) ця технологія не потребує окремого охолоджувача та супутнього обладнання. Тому вакуумна установка має компактніший розмір. Оскільки загальний потік повітря зменшується, у вакуумній установці є менший центральний фільтр для видалення пилу. Розмір і енергоспоживання фільтра становлять 50 % від звичайної установки. Скорочення потоку повітря приводить до зменшення виведення активного бентоніту і тому до загального скорочення споживання добавок. Через закриту роботу на техніку не впливають зовнішні кліматичні умови.

Використання пари при відсутності повітря приводить до швидкої активації бентоніту, що зі свого боку приводить до дуже швидкого досягнення оптимальної міцності на стиск для пов'язаного піску.

Вода додається у два окремі етапи:

- Вода змочує зворотний пісок до підготовленого вмісту вологи
- Вода охолоджує пісок шляхом випаровування до необхідної температури у 38 – 40°C.

Недоліком системи є експлуатація та управління вакуумною системою. Процес також впливає на технічні властивості піску (наприклад міцність на стиск і розрив, проникність), які зменшуються через 72 год. («ефект 72 годин»). Цього можна запобігти повторним перемішуванням протягом приблизно 90 секунд.

Досягнуті переваги для довкілля

Зниження загальних результатів повітряного потоку у зменшеному обсязі відпрацьованого газу та кількості пилу для утилізації, а також у зменшеному споживанні сполучної речовини порівняно зі звичайними охолоджувальними та змішувальними установками (хоча це також залежить від ефективності установки з відновлення). Крім того, система використовує менше енергії.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Цю технологію застосовують до всіх нових установок із сировою формувальною сумішшю.

Економічні дані

Комерційні обмеження застосування представляють собою процеси, в яких необхідне охолодження піску та які мають потужність >60 тонн піску на годину.

Рушійна сила для впровадження

Зменшення пилу для утилізації та мінімізації споживання добавок. Обмеження простору.

Приклади установок

В Японії вакуумна змішувально-охолоджувальна установка працює з 1993 року з підготовленою пропускною здатністю піску 100 м³/год.

Зараз різні установки працюють в Італії, Франції, Німеччині й Англії.

Довідкова література

[143, Inasmet та STIF, 2002], [207, Дрювс, 1996], [214, Герл, 2003]

4.3.3 Формування та виготовлення стрижнів із формувальної суміші з хімічними зв'язуючими речовинами

4.3.3.1 Мінімізація споживання зв'язуючих речовин та смол

Опис

Мінімізація споживання хімічних речовин може бути досягнута завдяки оптимізації управління процесами та обробки матеріалів. Остання категорія розглядається в пункті 4.1. В цьому розділі обговорюються заходи процесу.

Надмірне використання для компенсації поганого контролю за процесом зустрічається найчастіше серед способів витрачання зв'язуючих хімічних речовин. Наприклад до основних параметрів, які відносяться до належного управління сполучними речовинами, належать:

- *Консистенція піску:* Використовуйте пісок такої якості, що відповідає системі зв'язування. Гарне управління зберіганням піску і тестування піску (чистота, розмір зерна, форма, вологість) мають головне значення. Низький вміст дрібнозернистих речовин і максимальна кількість повторно використаного піску зменшить кількість необхідної смоли
- *Регулювання температури:* Температуру піску потрібно підтримувати у вузькому діапазоні, регулярно перевіряючи та регулюючи кількість додавання затверджувача. Позиція нагрівача для піску безпосередньо перед змішувачем дає змогу контролювати температуру
- *Технічне обслуговування та очищення змішувача*
- *Якість моделі:* Перевірка, усунення та запобігання дефектів лиття
- *Норми додавання:* Відповідне додавання зв'язуючої речовини залежить від типу зв'язуючої речовини, площі поверхні піску та розміру виливку
- *Робота змішувача:* Оптимізація роботи змішувача включає моніторинг і контроль його роботи.

Таблиця 4.21 показує змінні процесу змішування, які легко виміряти, використовуючи легкодоступні прилади. Поєднання елементів управління із системою сигналізації дає змогу оператору оповіщати про будь-які умови «поза специфікацією». Такі випадки потрібно виправляти очищенням, технічним обслуговуванням та повторним калібруванням, перш ніж виникне велика проблема.

Змінні процесу	Коментарі	Необхідні інструменти
Потік піску	Може змінюватися в результаті перешкод на запірному отворі, що зменшують/зупиняють потік піску або зношення/розслаблення стопорної гайки, що пришвидшує потік	Витратоміри
Температура піску	Визначає швидкість затвердіння та необхідну кількість/тип затверджувача	Пристрій управління процесом може використовуватися для регулювання добавок затверджувача для компенсації змін температури піску
Потужність споживання	Забезпечує показник чистоти змішувача	Монітор навантаження двигуна
Норма потоку смоли і затверджувача	Може змінюватися внаслідок зношених насосів, зміни в'язкості при температурі, закупорки або витоку в трубопроводі та насадках, приклеювання зворотних клапанів тощо.	Позитивний зсув, електромагнітний або інші витратоміри
Години роботи	Корисно для оцінки ефективності капітальних та експлуатаційних витрат	

Таблиця 4.21: Змінні процесу та як вони вказують на продуктивність змішувача [71, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998]

Для ливарних підприємств, які потребують більшої складності, доступний цілий ряд повністю автоматизованих систем управління змішувачами. Ці системи використовують мікропроцесорну технологію для автоматичного корекційного контролю змішування піску та потребують лише обмеженого залучення операторів. Додаткові переваги, яких можна досягти за допомогою автоматизованих систем управління, пов'язані переважно зі значно зменшеною залежністю від оператора та швидшою корекцією змін в умовах експлуатації. Останнє також виконується без припинення виробництва.

Досягнуті переваги для довкілля

Оптимізація використання зв'язуючих речовин та смол призводить до мінімізації споживання хімічних добавок.

Летючі органічні сполуки утворюють до 50 – 60 % від маси сполучених компонентів. Кількість залежить від типу системи зв'язування. Більшість викидається під час перемішування піску та висипання металу. Скорочення використання зв'язуючих речовин приводить до відповідного скорочення викидів VOC.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

У більшості випадків, зменшення на 5 % рівня зв'язуючої речовини та 1 % у моделях для скрапу легко досягти за допомогою сучасних систем управління змішувачами. Багато ливарних виробництв досягли економії, що була значно вищою. Повідомлялося про зниження кількості додавання зв'язуючих речовин на 5-25 % для різних заводів, а також майже виключення виробництва скрапу.

Встановлення автоматизованої системи управління змішувачем на чавунному ливарному заводі із застосуванням холодоутворюючих смол допомогло ливарному виробництву знизити швидкість додавання смоли з 10 кг/хвилину (1,22 % смоли до маси піску) до 8,89 кг/хвилину (1,09 %), що відповідно привело до економії у 10 % кількості використовуваного катализатора. Кількість дефектних форм знизилася на понад 60 %, та було досягнуто економії понад 37 000 фунтів стерлінгів / рік (ціни у Великобританії 1995 року).

Застосування

Ця методика застосовується до всіх нових та наявних ливарних матеріалів із застосуванням хімічно зв'язаних пісків. Наявні установки можуть бути дооснащені обладнанням для контролю та моніторингу змішування.

Економічні дані

Для тонни змішаного піску додавання зв'язуючих речовин, як правило, становить лише 1 – 3 % від ваги, але з точки зору собівартості зв'язуючі речовини становлять 30 – 60 % від загальної вартості сировини. За оцінками економія витрат на 5 – 10 % може бути досягнута завдяки кращому управлінню зв'язуючими матеріалами.

Включення всього обладнання, запропонованого в таблиці 4.21 в системі змішувачів, коштує близько 10 000 фунтів стерлінгів (ціни у Великобританії 1997 року). Однак, завдяки значному вдосконаленню контролю над процесом, ці капітальні вкладення матимуть відносно короткий строк окупності. Хоча вартість встановлення автоматизованої системи управління приблизно вдвічі більша за простий онлайн моніторинг, можливі значні заощадження витрат.

Деякі приклади економічних даних приведено в таблиці 4.22. Вони стосуються ливарного виробництва чавуну, описаного в заголовку «експлуатаційні дані» цього розділу.

Тип витрат	євро
Економія завдяки зниженню на 60 % дефектних форм	6416
Економія завдяки зниженню використання смоли на 10 %	29966
Економія завдяки зниженню використання каталізатора на 10 %	9050
Загальна економія матеріальних витрат	45433
Щорічні поточні витрати	320
Розрахункова вартість щорічного обслуговування	24
Економія чистої вартості	45088
Закупівельна вартість одиниці	24166
Період окупності	7 міс.

Таблиця 4.22: Щорічна економія, витрати й окупність на прикладі установки з управлінням змішувачем (ціни 1995 року)

[75, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1996]

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація експлуатаційних витрат і мінімізація викидів VOC.

Приклади установок

Належні заходи управління зв'язуючими речовинами використовуються на переважній більшості ливарних підприємств з використанням зв'язаного піску.

Довідкова література

[71, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998], [75, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1996], [202, TPG (TWG), 2002], [225, TPG (TWG), 2003]

4.3.3.2 Мінімізація втрат піску з форми та ливарного стрижня

Опис

Сучасні машини для виготовлення форм і стрижнів дають змогу зберегти виробничі параметри різних видів продукції в електронній базі даних. Це допомагає легко переходити на нові продукти, не втрачаючи часу і матеріалів на пошук правильних параметрів, просто використовуючи пробні та помилкові. Для нових продуктів з метою скорочення часу оптимізації можуть бути використані параметри для подібних продуктів.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення кількості відпрацьованого піску та енергії завдяки мінімізації періоду випробування.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Серійне виробництво невеликих серій з високою виробничою продуктивністю. Перехід без помилок вимагає належного контролю та безперервності якості піску.

Економічні дані

Інвестиційна вартість для машини з виготовлення стрижнів залежить від об'єму стрижня і становить від 150 000 (5 л) до 400 000 євро (100 л). Операційні витрати становлять 5 – 10 % інвестиційних витрат на рік.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація процесів, які потребують часті зміни стрижня або типу моделі.

Приклади установок

Ця технологія застосовується на кількох ливарних заводах по всій Європі.

Довідкова література

[110, Віто, 2001]

4.3.3.3 Найкращі практики для процесів затвердіння при охолодженні

- *Фенол*: Температуру піску підтримують максимально постійною, тобто близько 15°C – 25°C, яка є достатньо низькою для запобігання викидів, спричинених випаровуванням. Необхідно уникати прямого контакту між смолою та каталізатором, оскільки реакція екзотермічна і може бути бурхливою
- *Фуран*: Температура піску є дуже важливою для цього процесу і підтримується максимально постійною, близько 15 – 25°C; щоб контролювати час встановлення зв'язування та мінімізувати каталітичні добавки. Необхідно уникати прямого контакту між смолою і каталізатором, оскільки реакція екзотермічна і може бути бурхливою
- *Поліуретан (фенольний ізоціанат)*: Температура піску підтримується від 15 до 25°C, щоб підтримувати контроль процесу та мінімізувати викиди. Найкраща практика – робота із трьома насосами та змішування каталізатора і фенольної смоли з ізоціанатом та піском безпосередньо у змішувачі [202, ТРГ (TWG), 2002]
- *Резол – складний ефір* (лужний фенольний ефір затверділий): Температура піску контролюється і витримується на оптимальному рівні 15 – 35°C. Процес менш чутливий до перепадів температури, ніж інші системи самозатвердіння. Швидкість затвердіння регулюється вибором типу затверджувача [225, ТРГ (TWG), 2003]
- *Ефірний силікат*: Температура піску контролюється в межах 15 – 25°C. Оскільки моделі та стрижні набирають вологу, їх потрібно використовувати якомога швидше після досягнення повної міцності. Тривале зберігання можна робити тільки в сухих умовах.

4.3.3.4 Найкращі практики для процесів затвердіння при подачі газу

- *Холодний ящик*: Пари аміна потрібно вловлювати на машині для виготовлення стрижня. Будь-який надлишок аміна захоплюється через стрижневий ящик. Крім того, також може знадобитися провітрювати місця для зберігання стрижнів. Коли це можливо, витяжки розміщують над машинами із виготовлення форм і стрижнів, а також над тимчасовою зоною зберігання стрижнів. Споживання аміна може бути мінімізоване до тієї міри, в якій його споживання відповідає потребам виробництва піщаних стрижнів, оскільки витрати на сировину та її очищення високі. Мінімізації споживання аміна сприяє оптимізація процесу розподілу аміна в стрижні, як правило, шляхом моделювання та оптимізації потоку газу [202, ТРГ (TWG), 2002].

Температуру піску потрібно підтримувати якомога постійнішою, між 20 і 25°C, інакше занадто низька температура зажадає тривалішого часу газоутворення, що призводить до збільшення споживання аміна. Занадто висока температура різко скорочує строк експлуатації підготовленого піску.

Вода згубно впливає на цей процес. Вологість піску слід підтримуватися на рівні нижче 0,1 %, а повітря, що випускає газоподібний та продувний газ, повинне бути висушеним.

Примітка: Аміни є горючими та вибухонебезпечними в деяких пропорціях із повітрям. Потрібно дотримуватися значної обережності при їх зберіганні та поводженні з ними, також необхідно постійно дотримуватись інструкції постачальника.

- *Резол (лужний фенольний затверділий метилформат):* Доцільно провітрювати робочу зону, принаймні, щоб не допустити небезпеки пожежі. Споживання метилформату необхідно мінімізувати до такої міри, щоб його споживання відповідало потребам виробництва піщаних стрижнів. Температуру піску потрібно підтримувати вище 20°C, щоб запобігти конденсації метилформату. Пари метилформату важчі за повітря; це слід пам'ятати при проектуванні витяжної системи.

Примітка: Метилформат є легкозаймистим, коли його концентрація у повітрі досягає від 6 до 20 %, і вибухонебезпечним у деяких пропорціях із повітрям. Потрібно дотримуватися значної обережності при його зберіганні та поводженні з ним, також необхідно постійно дотримуватись інструкції постачальника.

- *Резол-CO₂:* Смола має низький вміст фенолу і формальдегіду, що не прореагували, а також дуже низький рівень їх викидів, навіть у періоди газоутворення та продування. Доцільно провітрювати робочу зону. [225, ТРГ (TWG), 2003]

- *Фенолформальдегідна смола або фуран затверділий на SO₂:* Робочу зону необхідно провітрювати, а викиди слід збирати безпосередньо в точці викидів, огородивши цілком машини для виготовлення форм або стрижнів та застосовуючи вентиляцію. Ці зібрані гази необхідно обробити перед викидом. Це легко виконати скруберами, що містять розчин гідроксиду натрію. Значення рН та концентрації розчину для очищення слід постійно контролювати. Розчин для очищення потрібно періодично замінювати, щоб видалити концентровані солі, після чого він потребує утилізації як небезпечних відходів.

Потреби споживання діоксиду сірки мають бути зведені до мінімуму, наскільки його споживання відповідає потребам виробництва піщаних стрижнів.

Зазвичай цикл продувки триває в 10 разів довше, ніж цикл газування.

- *Епоксидні / акрилові суміші, затверділі на SO₂ (затвердіння вільними радикалами):* Як і для газоутворення та продувки, питання збору й обробки описано в пункті щодо фуранових смол, затверділих на SO₂. Найкращі умови для газоутворення в контексті виготовлення стрижнів з хорошими характеристиками вимагають наступних компонентів:

- пісок повинен бути сухим перед використанням
- повітря, що дме або стріляє, також слід висушити
- концентрація діоксиду сірки в CO₂ або азоті повинна становити від 5 % до 100 %, залежно від смоли, що використовується (мінімальна для акрилу, максимальна для епоксиду/акрилу)
- цикл продувки триватиме в 10 разів довше, ніж цикл газоутворення.

4.3.3.5 Заміна спиртового покриття на водоемульсійне покриття

Опис

Наносять покриття на поверхню форм і стрижнів, щоб створити вогнетривкий бар'єр на межі металу та забезпечити гарний зовнішній вигляд поверхні. Покриття слугують для зменшення дефектів, таких як жилки, ерозії та проникнення металів, а також сприяють зменшенню оздоблювальних робіт. Спиртовмісні покриття здебільшого засновані на ізопропілалкоголі. Покриття сушать випарюванням або спалюванням розчинника. Це призводить до викидів VOC. Покриття на водній основі були розроблені як альтернатива.

Перевагами покриттів на водній основі є:

- безпека (без пожежонебезпеки)
- здоров'я робітників (менше впливу органічних парів)
- зменшено витрати реагентів (вода проти спирту)
- переважно краща обробка поверхні виливків.

Труднощі щодо впровадження:

- потреба у більшому (технологічному) часі та просторі. Також стрижні потребують тривалішого часу сушіння, що призводить до потреби в лінії сушіння, що проходить через сушильну піч
- змінюючись, процес вимагає періоду оптимізації в кожному конкретному випадку
- ріст бактерій, які викликають короткий строк зберігання покриттів (1 – 2 тижні) і спричиняють викиди запаху
- вартість повторного затвердження конкретними клієнтами в аерокосмічних та оборонних додатках.

Покриття на водній основі можна сушити на зовнішньому повітрі або за допомогою сушильної печі, мікрохвильової печі або інфрачервоної печі. Зазвичай вони потребують тривалішого часу висихання порівняно з покриттями на основі спирту. Сушка не створює шкідливих викидів, але може спричинити викиди запаху. Сушка проводиться за допомогою сушильної лінії, яка транспортує стрижні від моменту виготовлення стрижня до складання форми, забезпечуючи в такий спосіб необхідний час висихання. Лінія може також проходити через сушильну піч. Мікрохвильова піч та інфрачервона сушка застосовується для малих, середніх та великих серій.

Різні реологічні властивості покриттів на водній основі порівняно з покриттями на основі розчинника зумовили необхідність розробки нових методів нанесення. Вони допомагають забезпечити постійну якість покриття.

Досягнуті переваги для довкілля

У дослідженні оцінки життєвого циклу (LCA) було оцінено вплив покриттів на водній та спиртовій основі. Використання покриттів на водній основі із сушінням у навколишньому повітрі показує явні переваги для навколишнього середовища, переважно через зменшення викидів VOC та низьке споживання енергії. Коли піч використовується для сушіння, зменшені викиди частково врівноважуються на рівні LCA завдяки збільшенню споживання енергії. Загальний екологічний індекс, що використовує сушильну піч, показує невелику користь від використання ізопропілового спирту (IPA) та згорання.

Міжсередовищні наслідки

Водні покриття містять різноманітні (органічні) хімічні речовини для посилення їх властивостей. Це може вплинути на профіль викидів при вибиванні.

Сушіння покриття на водній основі призводить до підвищеної летючості сполучних розчинників. Це може спричинити збільшення викидів запаху через випаровування розчинників для стрижнів, що містять ВТХ.

Покриття на водній основі вимагають більшого використання енергії завдяки транспортуванню (під час сушіння на повітрі) та сушінню в печі.

Сушіння в навколишньому повітрі може призвести до зниження температури повітря в ливарному виробництві. У голландському ливарному виробництві спостерігалось загальне зниження температури навколишнього середовища до 2° С. Це призводить до збільшення споживання палива для опалення в зимовий час.

Експлуатаційні дані

Перехід від IPA-покриттів до водоемульсійних покриттів набуває все більшого поширення на різних ливарних підприємствах. Автомобільні заводи змінили покриття у більшості своїх виробництв на ті, що на водній основі, залишивши використання покриттів на основі розчинників лише для конкретних застосувань (див. Застосування).

Експлуатаційні дані були отримані від голландського ливарного заводу. Під час сушіння в навколишньому повітрі швидкість повітря є головним фактором (а не температура або вологість). Щоб забезпечити достатню швидкість повітря по маршруту сушіння, у ливарному виробництві встановлено додаткові вентилятори. Щоб досягти гарної та постійної якості, зменшено вміст тонких частинок (відновленого) піску, що утворюють стрижні. Покриття на водній основі можуть спричинити набрякання дрібних залишкових частинок (бентоніт та вугільний пил), що потім спричиняє дефекти стрижня.

Експлуатаційні дані були отримані від ливарного заводу у Франції, що працює з піччю місткістю 540 стрижнів холодильного стрижневого ящика, яка нагрівається пальником із природним газом. Дві вентилятори використовуються для видалення випарів та перемішування свіжого повітря. Проектна температура гарячого повітря – 165°C. Тепловий баланс був встановлений на основі вимірювань з використанням 0,4 кг стрижнів із вологістю повітря 5,5 %. Баланс, як це зазначено на рис. 4.7, застосовується для пропускну здатності 390 стрижнів, що еквівалентно 72 % повної потужності.

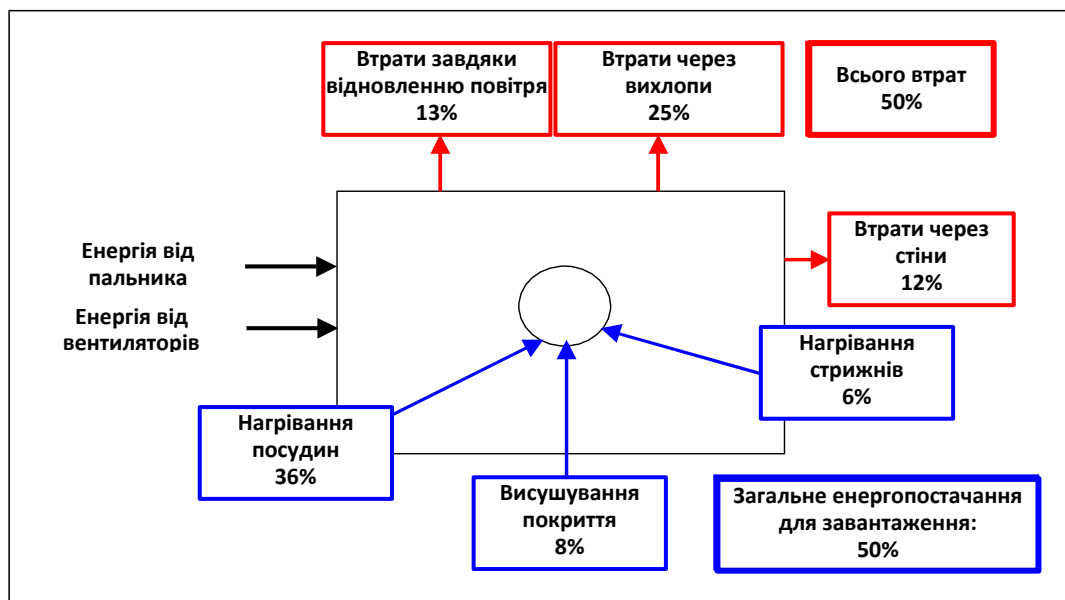


Рис. 4.7: Тепловий баланс печі для сушіння стрижнів, що працює на потужності у 72 % [143, Inasmet та СТИФ, 2002]

Баланс показує, що 50 % енергії втрачається, фактично менш ніж 10 % використовується для сушіння стрижня. Баланс дає споживання 8,5 кВт-год на кг випарованої води, що відповідає 465 кВт-год на тону стрижнів при пропускну здатності 156 кг/год. Коли піч працює з меншою потужністю, втрати збільшуються ще більше. Подібні вимірювання на іншому ливарному виробництві підтвердили високі (>50 %) втрати та низьке (<10 %) ефективне використання енергії. Енергоефективність можна підвищити за допомогою мікрохвильової сушки. Про це мова піде в пункті 4.3.3.6.

Застосування

Розчинники на водній основі можуть використовуватися в більшості ситуацій. Хоча покриття на основі спирту не можуть бути замінені в деяких конкретних областях, та їх все одно потрібно використовувати:

- для великих або складних форм/стрижнів, де можуть виникати проблеми із сушінням через ускладнене проникнення повітря, що сушить
- для пісків, зв'язаних рідким склом
- при литті Mg: вода створює $Mg(OH)_2$ і тому викликає технічні проблеми
- у виробництві марганцевої сталі з покриттям MgO .

Покриття на водній основі застосовується для нових і наявних великосерійних ливарних виробництв великих масштабів. Для нових і наявних невеликих заводів впровадженню можуть перешкоджати технічні чи економічні фактори.

Економічні дані

Інвестиційна вартість залежить від кількох факторів, таких як наявний простір для сушильної лінії в ливарному виробництві, вибір технології сушіння та необхідність адаптації піщаної суміші.

Повна заміна спиртовмісних покриттів на покриття на водних основах у голландському ливарному виробництві чавуну з використанням сушіння навколишнього повітря передбачала загальні інвестиції в розмірі 71 000 євро. Це включало встановлення вентиляторів та оптимізацію якості піску. Скорочення викидів ІРА на 161 т/рік відповідало 62,5 євро/т скороченню викидів ІРА.

Експлуатаційні витрати передбачають посилений контроль покриття і стрижнів (в'язкість, товщина шару, вміст води, якість продукції) і становлять 9000 євро/рік. На висихання 1 тонни покриття витрачається 2100 кВт·год енергії.

Перевагою економічної сторони балансу є зменшення витрат на придбання розчинника. Для великих заводів існують приклади, коли інвестиції в систему на водній основі окупилися за 2 роки на основі зменшених витрат на придбання спирту.

Операційна вартість сушіння становить 0,01 євро/кг (ливарне кольорове виробництво у Франції).

Рушійна сила для впровадження

Тиск із боку влади посилює увагу до викидів органічних речовин.

Приклади установок

- PSA Sept-Fons (Франція)
- Fonderie Bréa, м. Монлюсон (Франція)
- De Globe b.v., м. Верт (Нідерланди).

Довідкова література

[129, infoMil, 1999], [143, Inasmet та CTIF, 2002], [149, Буве та Шоплі, 2001]

4.3.3.6 Мікрохвильове сушіння для покриття на водній основі

Опис

Покриття на водній основі вимагають сушіння. Застосування мікрохвильових печей для цієї мети дає експлуатаційні переваги перед застосуванням сушки на навколишньому або нагрітому повітрі. Використовуються мікрохвилі частотою 2450 МГц і мають такі властивості:

- хороша вибірковість передачі енергії: Енергія мікрохвильової печі передається переважно молекулам води, а не матеріалу піску. Це передбачає переважне й однорідне висихання поверхні навіть для складних стрижнів
- самоадаптивна муфта: механізм сушіння забезпечує самоконтролююча гомогенізація вологості матеріалу
- швидке висихання: швидкість висихання залежить від прикладеної потужності. Висока швидкість висихання приводить до обмеження часу контакту з водою. Зі свого боку це приводить до високого рівня механічної стійкості стрижнів.

Застосування мікрохвильової сушки має труднощі в наступних випадках:

- неоднорідне завантаження печі (з діапазоном основних мас і об'ємів)
- використання стрижнів або вставок із залізом
- неоднорідне висихання товстіших частин покриття
- ризик деформації складних стрижнів.

Досягнуті переваги для довкілля

Збільшена енергоефективність процесу сушіння.

Міжсередовищні наслідки

Сушіння в мікрохвильовій печі також приносить реакції полімеризації для подальшого завершення. Це зменшує викиди газів на наступних стадіях ливарного процесу (тобто заливання, охолодження, вибивання).

Експлуатаційні дані

Використання мікрохвильової сушки не було впроваджено у промислових масштабах, хоча проводились масштабні промислові випробування. Результати цих тестів наведені нижче. Одну тестову кампанію проводили за допомогою мікрохвильової печі потужністю 50 кВт. Піч завантажувалася до 50 % своєї потужності із зарядом 800 кг стрижнів. Стрижні розміщувалися на пластикових лотках, які не нагріваються мікрохвильовими печами. Тепловий баланс наведено на рис. 4.8.

Він показує, що більше ніж 30 % введеної енергії використовується на сушку. Крім того, стрижні лише злегка нагріваються (температура на виході = 40°C), що дає змогу негайно працювати. Дані двох вимірвальних кампаній наведені в таблиці 4.23, і порівняно з аналогічними кампаніями на печах із гарячим повітрям (як обговорено в 4.3.3.5).

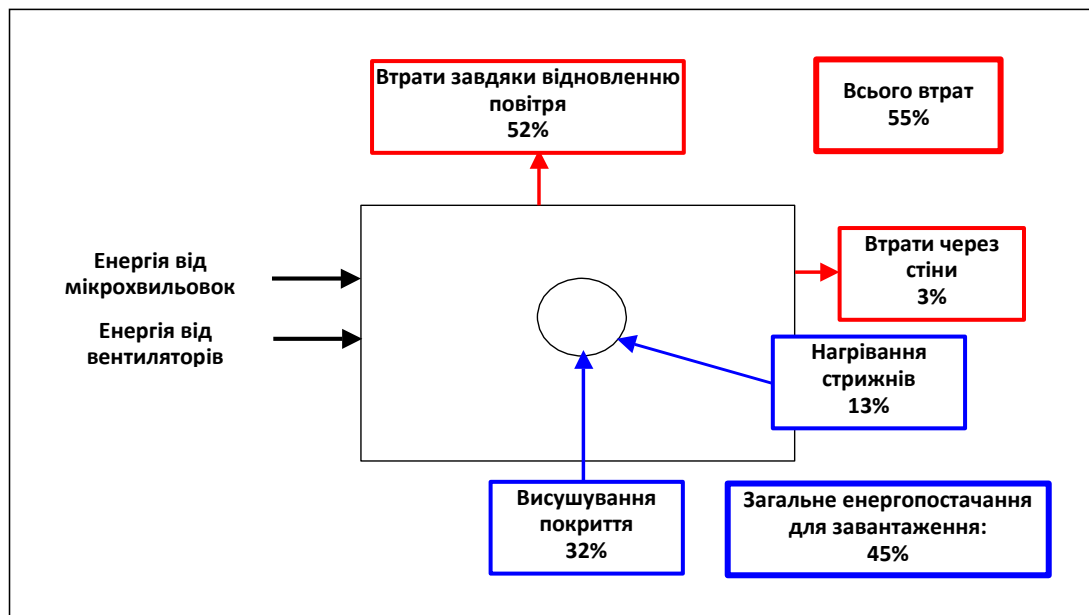


Рис. 4.8. Тепловий баланс печі для мікрохвильового сушіння стрижнів для печі на 50кВт, що працює на 50 % потужності [143, Inasmet та СТІФ, 2002]

Тип печі	Ливарня А	Ливарня В	Ливарня В	Ливарня С
	Гаряче повітря	Гаряче повітря	Мікрохвильові печі	Мікрохвильові печі
Основне навантаження	156 кг/год	270 кг/год	800 кг/год	500 – 900 кг/год
Вологість	5,5 %	2,7 %	2,7 %	2 – 3,2 %
Теплове енергопостачання	73 кВт	70 кВт	50 кВт	40 кВт
Тривалість	48 хв	113 хв	8 хв	8 хв
Характерні витрати на кг випареної води	8,5 кВт·год	9,3 кВт·год	2,3 кВт·год	2 кВт·год
Характерне споживання на тону вологих стрижнів	465 кВт·год	280 кВт·год	63 кВт·год	-

Таблиця 4.23: Результати кампаній з тестування висушування стрижнів із використанням печей з гарячим дуттям та мікрохвильових печей [143, Inasmet та СТІФ, 2002]

Дані показують, що час висихання значно скорочується від 1–2 годин до менш ніж 10 хвилин. Крім того, споживання енергії зменшується в 4–5 разів, а пропускна здатність збільшується.

Застосування

Ця технологія застосовується для висихання всіх покриттів на водній основі. Крім того, вона дає змогу частіше застосовувати покриття на водній основі до складніших форм стрижнів і менших серій.

Економічні дані

Мікрохвильова сушка має високі інвестиційні витрати. Фактична інвестиція пропорційна потребі в електроенергії, яка відповідає кількості води, що підлягає випаровуванню. Високі інвестиції частково врівноважуються:

- вищою енергоефективністю, хоча техніка використовує електрику, а не газ у печі з гарячим повітрям
- зменшенням вартості розчинника (на водній основі відносно розчинника)
- зменшенням витрат на обслуговування завдяки компактнішій установці порівняно з використанням (гарячого) сушіння повітрям або лінії охолодження.

Рушійна сила для впровадження

Тиск із боку влади, приділення все більше уваги викидам органічним речовин в поєднанні з потребою підвищення енергоефективності.

Приклади установок

Повідомляється, що методику застосовують на ливарних виробництвах Франції та Іспанії.

Довідкова література

[143, Inasmet та CTIF, 2002], [225, TPG (TWG), 2003]

4.3.3.7 Використання неароматичних розчинників для виробництва стрижнів у холодних ящиках

Опис

Класичні системи холодного ящика використовують органічні розчинники. Вони спричиняють викид шкідливих і пахучих VOC під час виробництва та зберігання стрижнів. Крім того, викиди VOC (бензолу, толуолу, ксилолу) виникають під час виливання, охолодження та вибивання. Альтернативні розчинники для одержання стрижня в холодному ящику засновані на білкових або тваринних жирах (наприклад метилових ефірах рослинної олії) або на силікатних ефірах. Ці розчинники не шкідливі для здоров'я працівників, не запалюються, а тому транспортування та зберігання простіше.

Низька летючість метилових ефірів рослинної олії збільшує можливості зберігання у вологих атмосферах та їх стійкість при нанесенні покриттів на водній основі.

Отримані стрижні мають більшу міцність, менше прилипання піску і гарні властивості вибивання.

Досягнуті переваги для довкілля

Не відбувається випаровування через високу температуру кипіння (близько 300°C) і тому не відбувається виділення запаху розчинника під час зберігання.

Викиди VOC зменшуються під час виготовлення та зберігання стрижня і (що ще важливіше) під час заливки, охолодження та вибивання.

Міжсередовищні наслідки

Розчинники на основі рослинного походження викликають посилення виробництва диму під час заливки та (у випадку лиття під тиском) після відкриття моделі. Це пояснюється низьким випаровуванням і, отже, високим вмістом залишкового розчинника при заливці. Цей ефект не виникає при силікатних ефірних розчинниках.

Білок і розчинники на основі тваринного жиру виділяють характерний запах, і, як повідомляється, вони викликають проблеми із запахом всередині ливарного виробництва.

Експлуатаційні дані

Таблиця 4.24 показує експлуатаційні значення викидів бензолу, толуолу, ксилолу і фенолу, виміряні на одному ливарному виробництві алюмінію, що працює із «зеленим піском». Вимірювання проводилися як на решітці, так і у відстійнику. Дані наводяться як для традиційної системи холодного ящика, так і для системи з використанням розчинників на основі рослинної олії. Спостерігається чітке зменшення викидів ВТХ та С (25 – 50 % викидів у шахті).

Сполука	При вибиванні			У шахті вихлопних газів		
	На ароматичній основі (мг/м ³)	На рослинній основі (мг/м ³)	Різниця (%)	На ароматичній основі (мг/м ³)	На рослинній основі (мг/м ³)	Різниця (%)
Бензол	0,08	0,05	- 44	0,1	0,07	- 30
Толуол	0,12	0,05	- 58	0,08	0,06	- 25
Ксилол	0,09	0,04	- 56	0,09	0,05	- 41
Фенол	14,8	14,6	- 2	7,2	6,57	- 9
Всього С	61,0	29,5	- 52	37,0	18,5	- 50

Таблиця 4.24: Дані щодо викидів для систем із холодним стрижневим ящиком у ливарних виробництвах алюмінію, виміряних на решітці для вибивання та у димовій трубі [189 , Hüttenes-Albertus ,2002]

Результати вимірювань викидів німецького ливарного заводу подано в таблиці 4.25. Для цієї таблиці вимірювана емісія кожної сполуки виражається відносно викиду тієї ж сполуки для системи на основі ароматичних речовин. Наприклад: викид толуолу при другому охолодженні становить лише 58 % викиду толуолу для системи на ароматичній основі. У таблиці показано чітке зменшення викидів VOC у другій фазі охолодження та вибивання.

	Бензол	Толуол	Ксилол	Фенол
Наливання та охолодження 1	83	100	100	100
Охолодження 2	78,5	58	46	74
Вибивання	78	78	78	12
Дані щодо викидів виражені у %, відносно викидів системи на ароматичній основі (встановлено 100 % для кожного вимірювання)				

Таблиця 4.25: Викиди (%) обраних сумішей із систем із холодним стрижневим ящиком на рослинній основі [216, Гобельсбергер на ін., 1997]

Загальне скорочення масового потоку зазначених сполук становило:

- бензол: - 21 %
- толуол: - 26 %
- ксилол: - 30 %
- фенол: - 62 %

На рис. 4.9 наведено огляд вимірювання загальних викидів вуглецю протягом повного ливарного процесу. Дані показують, що розчинники на основі рослинного походження частково призводять до переміщення викидів із зони виготовлення стрижня в зону обробки. Проте є загальне скорочення викидів вуглецю на 17 %.

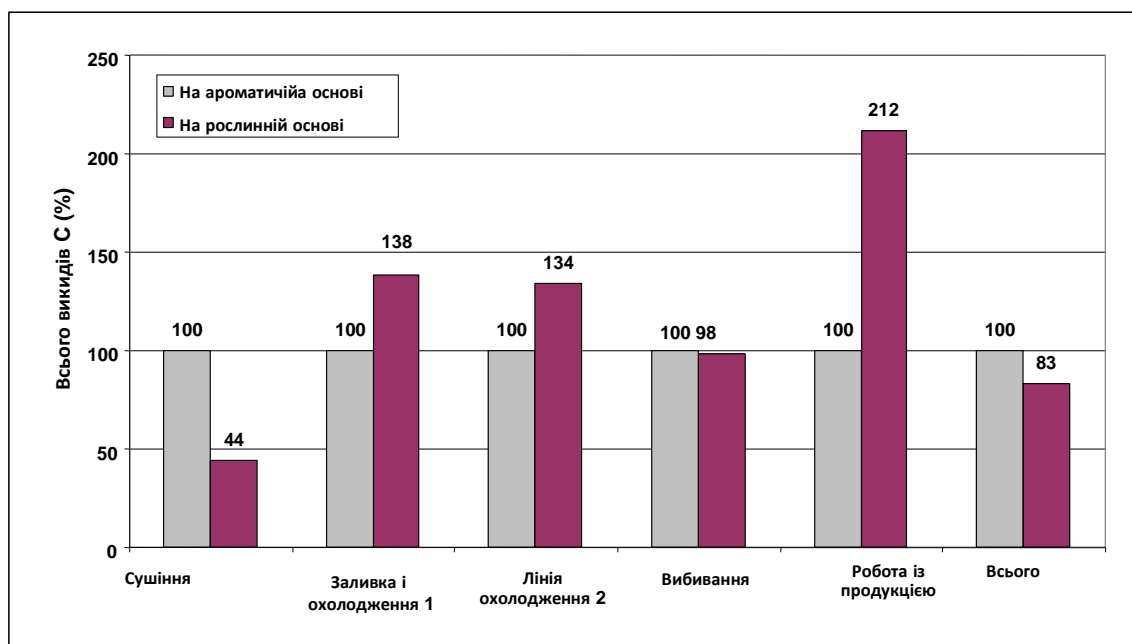


Рис. 4.9: Загальні викиди вуглецю на різних стадіях процесу, з використанням розчинників на ароматичній та рослинній основі (значення у %, виражені відносно викиду системи на ароматичній основі) [216, Гобельсбергер на ін., 1997]

Застосування

Неароматичні розчинники можуть застосовуватися у всіх процесах, де використовується пісок холодного ящика. Методика є відносно новою, а результати експлуатації, як зазначено вище, потрібно підтверджувати повторним застосуванням. Методика впроваджена в ливарних заводах для повного спектру автомобільних виливків, у виливках для машин, а також у будівництві та електроніці. Повідомляється як про застосування для чорних, так і для кольорових металів.

Економічні дані

Дані від італійської асоціації ливарних виробників вказують, що неароматичні розчинники мають вдвічі вищу вартість порівняно з вартістю ароматичного еквівалента, наприклад 0,82 євро/кг проти 0,36 – 0,48/кг.

Експлуатаційні дані від чорного ливарного заводу з великосерійним виробництвом показали, що ціни на зв'язуючі речовини для ароматичного холодного ящика склали близько 2 євро/кг (2001 рік) і зросли приблизно на 30 %, змінившись на неароматичну систему. Однак через рік (2003) ціна знову знизилася до рівня на 10 % вище ціни традиційної системи.

Рушійна сила для впровадження

Зменшення викидів VOC та запаху.

Приклади установок

Як повідомляється, цю техніку використовують на великих масштабних ливарних заводах в Німеччині.

Довідкова література

[143, Inasmet та CTIF, 2002], [189, Hüttenes-Albertus, 2002], [202, TPG (TWG), 2002], [216, Гобельсбергер на ін., 1997], [225, TPG (TWG), 2003]

4.3.4 Альтернативні методи формування/виготовлення ливарних стрижнів

4.3.4.1 Лиття у разові форми (газифіковані моделі)

Опис

Загальні принципи лиття в одноразові (газифіковані) моделі були описані в пункті 2.5.7.1. Внаслідок відсутності зв'язуючих речовин, ця техніка виробляє зменшену кількість твердих відходів і викидів порівняно з методами лиття у піщані форми.

Ця технологія допомагає виготовляти деталі з жорсткішими допусками, меншими каналами подачі та кращими характеристиками для лиття. Це все приводить до скорочення часу на обробку та очищення.

Виробництва з лиття по газифікованих моделях включають цех для виготовлення моделей, плавильний цех і ливарний цех. У них немає розширеного цеху для виготовлення стрижнів та оздоблення. Цех для виготовлення газифікованих моделей включає піноутворювачі, парогенератори, охолоджувачі та сушарки навколишнього повітря.

Газифіковані моделі виготовлені з полістиролу (EPS) або PMMA з невеликою кількістю пентану, клею та мінерального покриття. Оскільки і EPS, і пентан є чистими вуглеводнями, органічні вуглеводи утворюються при піролізі моделі. З метою мінімізації викидів продуктів органічного розпаду EPS проводять після згоряння відпрацьованих газів.

У цій техніці використовується незмішаний пісок, що не призводить до викидів, пов'язаних зі сполучною речовиною після заливки та вибивання, і його можна внутрішньо повторно використовувати без капітальної обробки. Піроліз EPS призводить до повільного накопичення органічного матеріалу в піску. Цьому можна запобігти обезпиленням та частковим оновленням циркулюючого піску. 5 % оновлення достатньо для підтримки якості піску. Прибраний пісок може бути термічно відновлений для внутрішнього повторного використання.

Досягнуті переваги для довкілля

Оскільки використовується неміцний пісок, методика не виявляє викидів, пов'язаних із зв'язуючими речовинами при заливці. Однак піроліз EPS або PMMA призводить до отримання продуктів органічного розпаду, які потребують післяспалювання.

Використання енергії в процесі значно менше, ніж у звичайних методах лиття. Здебільшого це пов'язано зі зменшенням споживання енергії для операцій після лиття, плавлення та підготовки піску. Виробництво стрижнів для звичайних методів лиття відносно енергоємніші, ніж виробництво для газифікованих моделей.

LCA аналіз підтвердив, що екологічна вигода, як зазначено вище, може поширюватися на загальну кращу екологічну ефективність процесу для виливання піску, що стосується лиття виливків зі стрижнями. Для простих виливків (наприклад кришок) підхід до життєвого циклу показує, що не існує загального ефективного процесу.

Міжсередовищні наслідки

Метод являє собою зменшення споживання енергії та зменшення операцій виготовлення форм і лиття. Вихідні гази показують підвищені значення ВТЕХ і формальдегіду, але викиди виникають лише під час заливки, і їх можна легше вловити та обробити. Ця методика допомагає зменшити кількість залишків піску та пилу, і пісок може бути легше відновлений (скорочена термічна обробка).

Оцінка процесу лиття по газифікованих моделях на основі LCA (також з урахуванням процесів за межами ливарних виробництв) демонструє менший загальний вплив на навколишнє середовище для появи основних інтенсивних виливків.

Експлуатаційні дані

Дані про викиди і дані про виробництво залишків наведено у пункті 3.9.6.1. Метод приводить до зниження осаду залишків порівняно з литтям у піщані форми однакової потужності. Відпрацьовані гази потребують інтенсивнішого очищення (після згоряння), та процес (після очищення) призводить до викидів органічних сполук (ВТЕХ, формальдегід).

У таблиці 4.26 наведено порівняння рівня споживання для виробництва кожуха з компресором, що використовує лиття у піщані форми та лиття по газифікованих моделях. Є більша кількість повернутого матеріалу в розплаві і менша вага виливка. Для методу газифікованих моделей загальна кількість формувальної піщаної суміші значно збільшується, при цьому не використовуються стрижні.

Матеріал на вході	«Зелений пісок»	Хімічно зв'язаний пісок	Газифіковані моделі
Чавун	98,0	98,0	96,1
Повернення ливарного виробництва	30,0	30,0	38,1
Вагові виливки	68,0	68,0	58,0
Формувальна піщана суміш	256,8	233,0	1101,4
Пісок для стрижнів	122,0	150,7	п.а.
Вагова модель з пінопласту +	п.а.	п.а.	0,212
Усі дані в кг п.а: не застосовується			

Таблиця 4.26: Експлуатаційні дані для виробництва подібного корпусу компресора з чавуну з використанням різних методів [130, де Вільде та тен Хаутен, 1999]

Застосування

Ця технологія застосовується до серійного виробництва дрібної та середньої продукції з чорних і кольорових металів. Максимальні розміри лиття – 1000 x 1000 x 550 мм. Ця технологія знаходить більшу частину свого впровадження в ливарних виробництвах з алюмінію і має 2 % частки алюмінієвого лиття.

Оскільки техніка передбачає основні зміни в процедурі виготовлення форми та інфраструктури, вона стосується насамперед нових установок. Застосування в наявних ливарних заводах вимагає перетворення ливарного процесу з урахуванням операцій формування, заливки та оздоблення й огляд цих етапів для кожного з вироблених виливків. Для введення лиття за методом газифікованих моделей потрібні кошти, робоча сила, необхідний час і гнучкість, а також співпраця замовника.

Економічні дані

Економічні дані для алюмінієвої установки з методом газифікованих моделей наведено в таблиці 4.27. Інвестиційні витрати включають обладнання, установку, пуск і навчання.

Інвестиційні витрати	Опис	євро
Обладнання для виробництва моделей	Машина для виготовлення моделей Парогенератор Установка для покриття	1300000
Обладнання для лиття	Машина для автоматичного лиття	2540000
Очищення відпрацьованих газів	Сухе обезпилення Термічна відновлювальна обробка	608000
Підготовка піщаної формувальної суміші	Просіювання, охолодження, транспортування	160000
<i>Усього</i>	<i>Інвестиції, монтаж, пуск, навчання</i>	<i>4608000</i>
Операційні витрати		євро/тонну виливків належної якості
Споживання	EPS-гранули, клей, покриття, пар, горючі речовини	202
Деталі ливарного заводу: алюмінієві виливки, 5500 тонн виливків належної якості/рік, розплавлений метал 6864 т/рік		

Таблиця 4.27: Економічні дані для лиття алюмінію по газифікованих моделях [96, Шпільнер, 1997]

Рушійна сила для впровадження

Зменшення відходів від лиття у піщані форми та зменшення споживання енергії.

Приклади установок

Повідомляється про кілька прикладів на заводах в Німеччині та Франції.

Довідкова література

чавун: [130, де Вільде та тен Хаутен, 1999]

алюміній: [96, Шпільнер, 1997], [143, Inasmet та CTIF, 2002]

4.3.4.2 Лиття в керамічні оболонкові форми

Опис

Формування керамічної оболонки являє собою запатентований процес (Replicast®), при якому виготовляється полістирольна модель, покрита керамічною оболонкою (товщиною 2 – 3 мм) на основі етилсилікату і вогнетривкого піску. Оболонка твердне за допомогою аміаку і спікається при температурі 1000°C. Спікання затверджує оболонку і випалює модель полістиролу. Потім метал заливається в оболонку.

Піч для спікання обладнана післяспалюванням для зменшення викидів.

Ця технологія дає змогу лити конструкцію без прорізних ліній, стрижнів і кутів тяги та з меншою кількістю металу. Це зменшує потребу в оздоблювальних та механічних роботах.

Досягнуті переваги для довкілля

Ця методика призводить до мінімізації викидів пилу від лиття та обробки, порівняно з литтям в піщані форми. Викиди VOC виключаються, оскільки для інертної керамічної форми не виділяється газу. Додатково зменшується кількість відходів (пил, метал). Скорочення систем подавання приводить до більшого виходу виливків на розплав.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

В таблиці 4.28 представлено експлуатаційні дані від власника техніки для лиття клапанів порівняно з литтям у піщані форми.

Приналежність	Відносне зниження ваги (%)
Готова вага виливків	20 – 26
Метал, що подається	24 – 60
Залитий метал	24 – 50

Таблиця 4.28: Відносне скорочення ваги виливка арматури з керамічною оболонкою порівняно з литтям у піщані форми [219, Компанія «Castings Technology International», 2003]

Застосування

Ця методика застосовується для виготовлення виливків, які потребують високої обробки поверхні, у низьковуглецевих сплавах, таких як ультранизьковуглецева неіржавна сталь і сплави на основі нікелю з готовою вагою до 550 кг. Процес із керамічною оболонкою є запатентованим процесом і може використовуватися лише відповідно до умов ліцензії, наданої ліцензіату.

Рушійна сила для впровадження

Регулювання викидів VOC та високих витрат на захоронення залишків.

Приклади установок

- CMS srl, муніципалітет Урбізалія (Італія): 2 автоматизовані лінії, що виробляють сталеві клапани до 150 кг готової ваги
- Saint-Gobain SEVA, м. Шалон-сюр-Сон (Франція): деталі зі сталі та суперсплаву для скляної промисловості.

Довідкова література

[110, Біто, 2001], [219, Castings Technology International, 2003]

4.3.5 Багаторазові (металеві) форми та підготовка лиття під тиском

4.3.5.1 Мінімізація вивільняючого агента і споживання води

Опис

Розчин вивільняючого агента на водній основі розпоршується на відкриту матрицю HPDC перед закриттям. Це дає змогу охолоджувати і покривати модель (штамп). Деякі прості технологічні заходи допомагають мінімізувати вивільняючий агент і витрату води. Вони також запобігають утворенню туману. Ці заходи включають наступне:

- *Автоматизований процес обприскування*: Роботизація процесу обприскування дає змогу ретельно контролювати кількість використовуваного вивільняючого агента й адаптувати кількість, що використовується, до потреб виливка
- *Оптимізація коефіцієнту розведення*: Коефіцієнт розведення вивільняючого агента слід обирати так, щоб розпилювальна дія мала необхідний баланс між покриттям та охолодженням штампу
- *Застосування охолодження в матриці*: Можливе охолодження частково переймається внутрішнім охолодженням за допомогою інтегрованого водяного контуру.

Досягнуті переваги для довкілля

Мінімізація споживання води та хімікатів. Запобігання та/або зменшення (дифузних) викидів.

Міжсередовищні наслідки

В даному випадку міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Ця технологія стосується ливарних продуктів HPDC. Те, наскільки може бути застосована мінімізація, залежить від типу виливків і машин, що використовуються.

Рушійна сила для впровадження

Мінімізація споживання та викидів.

Приклади установок

Ця технологія застосовується на великих підприємствах HPDC, наприклад у виробництві деталей автомобілів (Німеччина, Франція).

Довідкова література

[202, TRG (TWG), 2002]

4.3.5.2 Застосування вивільняючого агента при закритій формі

Опис

Вивільняючий агент наноситься на закриту форму (лиття під тиском) у випареному вигляді. Висока температура приводить до конденсації та осадження плівки агента, що виділяється. Ця методика є альтернативою розбризкування розчину вивільняючого агента на водній основі на відкриту матрицю. Це допомагає скоротити споживання води, а також зменшує споживання агентів, що виділяються. Активні речовини для процесу, тобто для виливку з моделі, дуже схожі на техніку відкритої форми: парафіновий віск, аліфатичні вуглеці, полісилоксани, полігліколь.

Розпилення води, однак, також викликає необхідність охолодження поверхні штамп. Отже альтернативна методика вимагає посиленого регулювання температури (переважно завдяки охолоджуючому ефекту) за допомогою внутрішньої системи охолодження штамп. Це можна зробити завдяки зниженню температури теплового масла. Комбіноване розпилення води і застосування вивільняючого агента із закритою формою можливе в тих місцях, коли форми не можуть досягти повної теплової рівноваги лише за допомогою внутрішніх систем охолодження.

Досягнуті переваги для довкілля

Ця методика допомагає зменшити використання води й агента. Це приводить до меншої кількості стічних вод і зменшення викидів пари, що містить маслянисті частинки. Активні сполуки вивільняючого агента можна порівняти із традиційними. Отже викиди внаслідок розкладання вивільняючого агента (також після відкриття матриці для витягування виливка), за своєю сутністю схожі на викиди при технології відкритої форми.

Міжсередовищні наслідки

Техніка вимагає посилення зусиль для охолодження штампів. У простих випадках це може означати зниження температури теплового масла, але для складніших штампів це може включати застосування додаткового контуру охолодження.

Експлуатаційні дані

Деякі приклади експлуатації є в алюмінієвих ливарних заводах. Це приводить до скорочення часу розпорскування на 50 – 80 % і до зменшення споживання агента під час розділення кожуха на 80 %.

Застосування

Методика може використовуватися в наявних установках, але може вимагати виготовлення конкретних штампів з інтегрованим або адаптованим контуром охолодження. Застосування обмежується конкретними типами ливарних, штампових і ливарних машин і зазвичай ґрунтується на технічних міркуваннях. Ця методика не є загальною альтернативою для застосування вивільняючих агентів.

Рушійна сила для впровадження

Стратегія ливарної промисловості зменшити виробництво стічних вод і зменшити споживання води й хімічних речовин.

Приклади установок

Наводяться деякі приклади експлуатації на алюмінієвих заводах.

Довідкова література

[189, Hüttenes-Albertus, 2002], [202, TPG (TWG), 2002]

4.4 Лиття металу

4.4.1 Покращення показників виходу металу належної для використання якості

Опис

Вихід металу визначається як відношення розплавленого металу до ваги готових виливків. Різниця між двома значеннями обумовлена втратами металу (наприклад втратами при плавленні, розлитому металі, втратами шліфування) та металом повернення (наприклад чушками, ливниковими елементами, виливками). Поліпшення виходу металу включає зменшення втрат металу та кількості поверненого металу.

Поліпшення виходу металу можливе за допомогою одного або декількох з наступних заходів:

- застосування ефективного методу: належне проектування ливникової системи, стояків, каналів, басейну та оптимізованого виходу ящика (виливки/метал, залитий у форму). Цінним інструментом при розробці ефективного методу є використання комп'ютерного моделювання заливки та затвердіння
- застосування належних процедур при операціях плавлення та виливання: з метою зменшення втрат при плавленні, надмірної пігментації, норми скрапу тощо.
- застосування належної практики в ливарному цеху та цеху з виготовлення стрижнів: з метою зменшення скрапу через проблеми в операціях виготовлення форм і стрижнів.

Досягнуті переваги для довкілля

Збільшений вихід металів приводить до зниження споживання енергії, піску і добавок на одиницю виливків належної якості. Загальна ефективність процесу підвищується.

Міжсередовищні наслідки

До цієї технології не застосуються жодні міжсередовищні наслідки.

Експлуатаційні дані

Таблиця 4.29 представляє огляд типових виходів, що було одержано для різних видів виробництва чавуну. Не можна рекомендувати цільовий показник виходу, який може бути корисно прийнятий конкретним ливарним виробництвом, оскільки багато що залежить від типу металу, типу виливка, виробничих потужностей та ринку, якій потрібно обслуговувати. Тому необхідно, щоб ливарне виробництво встановлювало індивідуальні цілі на основі аналізу власних поточних показників діяльності.

Тип виливків	Вихід (%)
Важкий, сірий чавун, проста форма	85 – 95
Середній розмір, сірий чавун, або невелика партія	65 – 75
Механізоване повторення, загальна якість, розміри від малого до середнього сірий чавун і виливки для комунальних потреб	65 – 75
Механізоване повторення, висока якість, розміри від невеликих до середніх, інженерні виливки із сірого чавуну, відносно проста конструкція	60 – 65
Механізоване повторення, висока якість, розміри від невеликих до середніх, технічних виливки із сірого чавуну, складна конструкція стрижня	55 – 60
Середні за розмірами, чавун із вермикулярним графітом, або невеликі партії	50 – 60
Маленьке або дуже маленьке повторення, сірий чавун	45 – 55
Механізоване повторення, ковкий чавун та малі виливки з чавуну з вермикулярним графітом	40 – 50

Таблиця 4.29: Типовий вихід металу для різних типів виливків із чавуну [45, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1990]

Даючи відповіді в анкеті, 82 британські ливарні підприємства повідомили про свої показники виходу металів за період 1981 – 1987 рр. Покращення виходу на тип металу (середньозважене значення) наведено в таблиці 4.30.

	Вихід у 1981 році (%)	Вихід у 1987 році (%)	Поліпшення виходу (%)
Сірий чавун	60,5	63,0	2,5
Чавун із вермикулярним графітом	51,8	55,7	3,9
Ковкий чавун	36,4	39,2	2,8

Таблиця 4.30: Середньозважений показник продуктивності на 82 ливарних виробництвах чорних металів, 1981 - 1987 роки [45, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1990]

Застосування

Методика застосовується у всіх наявних чорних і кольорових заводах.

Економічні дані

Поліпшення виходу металу можливе завдяки простим недорогим практичним заходам і контролю. Переваги можуть бути високими, оскільки кожне відсоткове покращення приводить до відповідного зменшення споживання енергії на плавлення, а також зменшення споживання піску та хімічних речовин.

Впровадження комп'ютерного моделювання виливання та затвердіння вимагає інвестицій та витрат на навчання.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація ефективності процесу.

Приклади установок

Міркування щодо виходу металу є частиною належної експлуатаційної практики більшості європейських заводів.

Довідкова література

[45, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1990], [140, EU Thematic Network Foundry Wastes, 2001]

4.5 Уловлювання та обробка диму, відпрацьованих (димових) і вихлопних газів

4.5.1 Загальні принципи


Різні технологічні етапи в ливарному виробництві можуть призводити до утворення пилу, диму та інших газів, наприклад під час зберігання, транспортування і переробки матеріалів. Методи зменшення викидів в атмосферу включають в себе запобігання, мінімізацію та збір диму.

Для запобігання чи обмежування викидів від технологічних установок може застосовуватися герметизація печі (або використання герметичних печей) в поєднанні з контролем технологічного процесу. У пунктах 4.5.2 — 4.5.6 цього розділу, де описано печі, зазначено, де можлива герметизація печі й де можуть використовуватися інші методи збору для забезпечення комплексного збору газу.

Існують інші методи збору тих викидів, появи яких неможливо запобігти або які неможливо стримати. Гази й дими, які виробляються в процесах, вивільняються в робочу зону і потім потрапляють в навколишнє середовище. Вони можуть вплинути на здоров'я і безпеку оператора, а також сприяти тому, що процес негативно впливатиме на навколишнє середовище. Методи збору технологічних газів використовуються для запобігання та мінімізації цих неконтрольованих викидів. Витяжки спроектовані так, щоб бути якомога ближче до джерела викидів, залишаючи місце для технологічних операцій. У деяких приладах використовуються рухливі витяжки, а у деяких процесах використовуються витяжки для збору первинних і вторинних димів.

Неконтрольовані викиди можуть бути дуже важливими, але їх важко виміряти і визначити кількісно. Для їхньої оцінки можуть використовуватися методики оцінки обсягів вентиляції або швидкості осадження. Один з надійних методів, який був застосований для первинного плавлення міді, показує, що величина неконтрольованих викидів може бути набагато більшою, ніж зібрані та усунені викиди. Неконтрольовані викиди можуть більш ніж у два-три рази перевищувати обсяги контрольованих викидів [155, Європейське бюро з ІЗКЗ, 2001].

Значними джерелами викидів є плавильний цех, цех із виготовлення стрижнів, установка для підготовки піщаної суміші та цех для обробки після лиття. Основними забруднювачами повітря є пил (може містити частинки важких металів), діоксид сірки, окис вуглецю і запашні органічні сполуки. У табл. 4.31 наведені результати огляду забруднюючих речовин, що утворюються в різних моментах процесу лиття чорних металів. Як неорганічні, так і органічні сполуки перераховані самі по собі та у групових поєднаннях. Викиди пилу мають особливе значення, оскільки в результаті термічних процесів можуть утворюватися значні кількості важких металів.

<u>ДЖЕРЕЛО</u>  <u>ВИКИД</u>	Зберігання та обробка сировини	Робота в печі	Десульфурізація розплавленого чавуну	Сфероїлізування	Підготовка ливарних стрижнів та форм	Лиття	Вибивання, пересортування	Очищення, фарбування та оздоблення виливків
Оксиди сірки		X	X		X	X	X	
Оксиди азоту		X			X	X	X	
Двоокис вуглецю		X	X	X	X	X	X	
Монооксид вуглецю		X	X	X	X	X	X	
Сульфід водню					X	X	X	
Аміак					X	X	X	
Оксиди заліза		X	X	X		X	X	X
Лужні сполуки металів		X	X					
З'єднання лужноземельних металів		X	X	X		X		
Частинки оксиду металу		X	X	X		X	X	X
Неметалеві частинки	X	X	X		X	X	X	X
Металева руда		X						X
Ціаністий водень					X			
Сірка			X					
Аміни/аміди					X	X		
Діоксини		X						
Летючі органічні речовини		X			X	X	X	
Кислотні пари		X			X	X		
Шум		X			X		X	X
Речовини також включають в себе їх сполуки, окрім тих випадків, коли є окреме посилання на сполуку. Викиди в повітря можуть також потрапляти в землю або у воду, залежно від технології, яку використовують у боротьбі із забрудненням, наприклад за допомогою вловлювання пилу, шламу або рідини. Деякі викиди стосуються конкретної системи зв'язування сумішей.								

Таблиця 4.31: Огляд атмосферних викидів від різних етапів ливарного виробництва чорних металів [160, Агентство з навколишнього середовища Великобританії, 2002].

Принципи та методи збору та обробки відпрацьованих газів однакові для ливарного виробництва і (первинної) кольорової металургії, тому читачеві пропонується ознайомитись із повним обговоренням принципів в ДД НДТМ з кольорової металургії. У пункті 4.5.1.3 цього розділу наводиться короткий огляд методів, які використовуються у виробництві.

4.5.1.1 Зменшення неконтрольованих викидів

Опис

Неконтрольовані викиди відбуваються тоді, коли викиди від конкретних технологічних джерел не збираються. Крім пов'язаних із процесом джерел викидів, згаданих у пункті 4.5.1, до потенційних джерел неконтрольованих викидів в атмосферу відносяться:

- складські приміщення (наприклад відстійна частина печі, склади, відвали).
- навантаження і відвантаження транспортних контейнерів
- перенесення матеріалу з однієї посудини в іншу (наприклад піч, ківш, силоси).
- змішування і затвердіння хімічних з'єднуючих речовин (викиди неорганічних і органічних хімічних речовин)
- покриття прес-форм (розчинники)
- конвеєрні системи для переміщення матеріалу
- трубопровідні й каналізаційні системи (наприклад насоси, клапани, фланці, пастки, сливи, оглядові люки та ін.) цей тип викидів детально обговорюється в ДД НДТМ у масштабній органічній хімічній промисловості (LVOC-BREF)
- погана герметизація будівель і витягування
- відвідне обладнання для боротьби із забрудненням (яке потрапляє до повітря або води)
- випадкова розгерметизація в результаті виходу з ладу установки або обладнання, включаючи витоки, наприклад, з боку установки із пересортування піску
- розливи.

Для мінімізації викидів легкої пилу можуть бути використані наступні методи:

- покриття контейнерів і посудин
- уникнення відкритого зберігання запасів або відсутність покриття на них
- використання спреїв, з'єднуючих речовин, методів управління запасами, вітрозахисних смуг тощо у тих випадках, де неминуче розміщення запасів на відкритому просторі
- очищення коліс і доріг (тобто уникнення потрапляння забруднення у воду та повітря)
- використання закритих конвеєрів, пневматичного транспортування (однак слід звернути увагу на більші потреби в енергії), і мінімізація падінь
- вакуумне прибирання формувально-залівального цеху в ливарних виробництвах з литтям у піщані форми, за винятком тих зон, де пісок виконує технічну або пов'язану з безпекою функцію, наприклад зона заливання, а також за винятком ливарних цехів із ручним формуванням
- тримання зовнішніх дверей закритими, наприклад за допомогою автоматичної системи з жалюзі або затулки
- належне ведення господарства, тобто забезпечення проведення регулярних інспекцій відповідальним і вповноваженим персоналом як практики належного ведення господарства і зберігання актуальних облікових записів.

Неконтрольовані викиди у воду можуть виникати через підземні структури або дефекти поверхні. Ці типи неконтрольованих викидів можуть бути зведені до мінімуму наступними діями:

- встановлення і реєстрація джерел, напрямки та місця призначення всіх стоків установки
- ідентифікація і реєстрація всіх підземних відстійників і складських ємностей
- проведення планових перевірок, передбачених програмою
- використання програми технічного обслуговування та інспекції протифільтраційних поверхонь і обмежувальних ліній герметизації
- належне обґрунтування місця, де експлуатаційні зони не обладнані:
 - непроникною поверхнею
 - бордюрами (обмежувальними лініями) для локалізації розливів
 - герметичними будівельними швами
 - підключенням до герметичної дренажної системи.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення неконтрольованих викидів.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не стосуються цього питання.

Застосування

Ці методи можна застосувати до всіх нових і вже наявних установок.

Рушійна сила для впровадження

Зменшення неконтрольованих викидів обмежить загальні викиди запахів і пилу в безпосередній близькості від заводу/підприємства. Тому для установок у місцях скупчення людей підтримання добрих відносин із сусідами може стати рушійною силою для впровадження.

Приклади установок

Вакуумне очищення формувально-заливального цеху: застосовується в різних ливарних виробництвах із використанням сирової формувальної суміші, які було відвідано.

Довідкова література

[160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002], [163, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002], [155, Європейське бюро з ІЗКЗ, 2001]

4.5.1.2 Використання димових труб із кількома димохідними каналами

Опис

Для отримання максимальної переваги від теплової плавучості, гарячі викиди можна об'єднати в мінімально можливу кількість димоходів. Так можна уникнути великої кількості місць викидів. Це особливо важливо при проектуванні нових установок або внесенні змін у наявні процеси.

Досягнуті переваги для довкілля

Збір декількох потоків відпрацьованих газів в одну трубу дає змогу контролювати викиди і збільшує загальний обсяг (і навантаження), що йде на обробку, і в такий спосіб знижує загальний рівень викидів.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не стосуються цього питання.

Застосування

Дана технологія може бути впроваджена тільки на нових установках або коли наявні установки вимагають істотних змін.

Рушійна сила для впровадження

Для збільшення можливості вимірювання та контролю роботи ливарного виробництва.

Приклади установок

Цей метод знаходить багаторазове застосування по всій Європі.

Довідкова література

[160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

4.5.1.3 Методики скорочення відходів

Опис

Для очищення зібраних відпрацьованих газів можуть використовуватися різні вологі та сухі системи. Вибір відповідної технології залежить від складу, обсягу й умов потоку відпрацьованих газів. Формат (структура) методики скорочення відходів має вирішальне значення. При цьому використовуються такі чинники, як ефективність, придатність методу (методики), а також вхідне і вихідне навантаження зібраного матеріалу. Повне обговорення принципів роботи наведено у ДД НДТМ для кольорової металургії. У ливарній промисловості використовуються наступні методики.

- Вловлювання пилу та частинок:

- ∞ циклони
- ∞ рукавні фільтри або фільтри з мішкщини
- ∞ очищення зволоженою щіткою (скруберами)

- Системи газоочищення (SO₂, Cl, видалення аміна):

- ∞ вологе очищення за допомогою порожніх скруберами, скруберами Вентурі та дезінтеграторів.

- Сепаратори масляного туману:

- ∞ вологий електрофільтр

- Видалення CO та органічних речовин:

- ∞ допалювання
- ∞ біофільтр.

Для вловлювання пилу і частинок використовуються як вологі, так і сухі системи. Основною перевагою використання сухих систем є те, що пил уловлюється у сухому стані, що дає змогу надалі повторно його використовувати. Крім того, жодні забруднення не переносяться на інше середовище, як у випадку вологих систем. Для газоподібних сполук, таких як SO₂ і хлориди, рукавні фільтри неефективні, оскільки ці речовини не адсорбуються на поверхні фільтра. Експерименти із вдуванням вапна не дали хороших результатів. Нижче описана система, яка використовується для вловлювання пилу та частинок:

- *Циклони*: При прийнятті правильних заходів (тобто термостійка сталь, вогнетривка футеровка) можна використовувати циклонний фільтр для обезпилення (знепилення) гарячих димових газів (500 – 600 °С). Ефективність занадто низька для досягнення рівня викидів у діапазоні 20 мг/нм³. Циклон зазвичай використовується як іскровий сепаратор перед рукавним фільтром. Циклони використовуються як етап попередньої обробки в інших системах очищення.
- *Мультициклони*: Ефективність сепарації циклону збільшується зі зменшенням діаметра. Використання паралельної серії малих циклонів допомагає відокремлювати дрібні частинки пилу без різкого збільшення перепаду тиску на очисному обладнанні.
- *Рукавний фільтр*: Цей тип сепаратора широко застосовується в різних частинах ливарного процесу, завдяки його гарній ефективності та низькому значенню викидів. Він може бути високоефективним у роботі з дрібнодисперсними речовинами, виявленими в процесі плавлення. Можуть також відокремлюватися субмікронні частки, такі як оксиди металів. Для правильної роботи необхідно вжити таких заходів: охолодження димових газів (T = 130 – 160 °С) і сепарація іскор (за допомогою циклону). Для відпрацьованих газів із високим вмістом летючих органічних речовин (VOC), можна застосовувати допалювання органічного матеріалу (для зниження ризику пожежі). У деяких випадках повідомлялося про допалювання в ролі «брандмауера» для захисту рукавних фільтрів відпрацьованих газів при розпакуванні бочок. В цілому цей метод не застосовується; замість цього потоки відпрацьованого газу з високим пиловим навантаженням змішуються з потоками газу з підвищеним вмістом летючих органічних речовин, щоб запобігти злипанню фільтра та випускних клапанів. Вид зсередини та зовні блоку рукавного фільтра представлений на рисунку 4.10.



Рис. 4.10: Елементи мішкового фільтру; вид зсередини (л.) та зовні (п., г.) [237, НУТ, 2003].

- *Високотемпературні фільтрувальні системи (з використанням керамічного фільтруючого середовища)*: Вони доступні на ринку, але нині не застосовуються в ливарній промисловості.
- *Електростатичні фільтри (ЕФ, ESP)*: Вони широко не застосовуються для обезпилення димових газів у ливарному виробництві. Завдяки своїй чутливості до потоку газу, температури та вологості газу, вони підходять тільки для режимів безперервного плавлення. Вони також несуть значну небезпеку вибуху через великий об'єм газу, який вони містять. Вловлювання пилу для зниження цього ризику потребує частого очищення, що може бути проблематичним з економічної точки зору. Основною областю застосування електростатичних фільтрів у ливарному виробництві є видалення олії/туману з відпрацьованих газів, що утворюються при литті під тиском.

Для очищення димових газів застосовуються вологі очищувальні системи, такі як Вентурі та дезінтегратори. Порожні скрубери використовуються для обезпилення неплавких відпрацьованих газів. У порівнянні із сухими системами вологі системи мають такі недоліки: більше енергоспоживання, вищий рівень технічного обслуговування (корозія, бактерії), в результаті чого утворюються стічні води й осад для утилізації.

Перевагами є вловлювання водорозчинних сполук (таких як SO₂, хлориди), швидке охолодження, що запобігає утворенню діоксину, низькі інвестиційні витрати і менше обмеження температури на вході.

- *Скрубери Вентурі*: Вода розпорошується в газі, коли вони проходять через труби Вентурі. Прискорення потоку газу в трубі Вентурі викликає інтенсивне змішування обох середовищ. Частинки пилу звожуються, що робить їх важчими, так що вони можуть бути відокремлені в циклоні або іншій системі, розташованій нижче за напрямком потоку. Якщо потік газу падає, труба Вентурі регулюється для підтримки ефективності збору.
- *Дезінтегратори*: Ці так звані динамічні скрубери складаються з концентричного ротора і встановлених на статорі штифтів, через які потік газу приводиться в рух за допомогою вентилятора, розташованого нижче за напрямком потоку, або за допомогою лопатей вентилятора, розташованих на зовнішньому кінці ротора. Вода, що вводиться в центр ротора, розбивається штифтами на дрібні краплі та розсіюється в газовому потоці. Вологі частки вдаряються об стінки статора і збираються на дні дезінтегратора. Система працює ефективно, коли потік газу зменшується.

Системи допалювання та біофільтри будуть обговорюватися в пунктах 4.5.2 і 4.5.9, відповідно.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення викидів в атмосферу.

Міжсередовищні наслідки

В результаті роботи мокрих скрубєрних систем утворюється потік стічних вод, який потім потребує обробки. Очищена вода може бути рециркульована в процесі. Шламкові кеки, що утворюються при очищенні стічних вод, потрібно утилізувати.

Якщо ливарний цех розташований в холодному кліматі (опалювальний сезон більше 6 місяців), то збільшення вентиляції повітря також призведе до зростання енергоспоживання, оскільки буде необхідно більше обігрівати робоче місце.

Використання всіх систем видалення шкідливих речовин вимагає використання енергії для стимулювання тяги газів через систему видалення шкідливих речовин.

Експлуатаційні дані

Порівняння властивостей вологих і сухих систем наведено в таблиці 4.32. У наступних розділах будуть розглянуті методики, характерні для різних плавильних печей і різних стадій процесу.

Методики скорочення відходів	Сухі системи		Вологі системи	
	Мультициклон	Рукавний фільтр	Вентурі	Дезінтегратор
Рівень викидів пилу*	100 – 200 мг/нм ³	<5 – 20 мг/нм ³	<20 – 150 мг/нм ³	<20 – 150 мг/нм ³
Інвестиційна вартість	Низька	Висока	Низька	Середня
Споживання енергії	Низьке	Низьке-середнє	Високе	Високе
Переваги / причина вибору	Застосовується для попереднього очищення газів перед іншими методами	Хороша продуктивність для відповідного пилу, якщо добре контролюється. Потенціал утилізації пилу в процесі	Часткове захоплення SO ₂ Низький ризик синтезу <i>de novo</i>	Компактна установка Низький ризик синтезу <i>de novo</i>
Недоліки	Низька ефективність при порушенні схеми потоку (блокування пилу розподільника). Обмежена ефективність для дрібних часток	Небезпека пожежі, великий об'єм, блокування від конденсату	Вологий мул, очищення стічних вод, втрата продуктивності при зносі	Підвищене енергоспоживання, зношування, вологий осад, очищення стічних вод
* Значення з практики експлуатації, які можуть підтримуватися протягом всього строку служби установки				

Таблиця 4.32: Властивості вологих та сухих скрубєрів для ливарних виробництв [110, Віто (Vito), 2001], [155, Європейське бюро з ІЗКЗ, 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002].

На рис. 4.11 наведено порівняння умов експлуатації печей гарячого доменного дуття із системою вологого і сухого обезпилення. Основними відмінностями є температурний профіль димових газів і енергоспоживання.

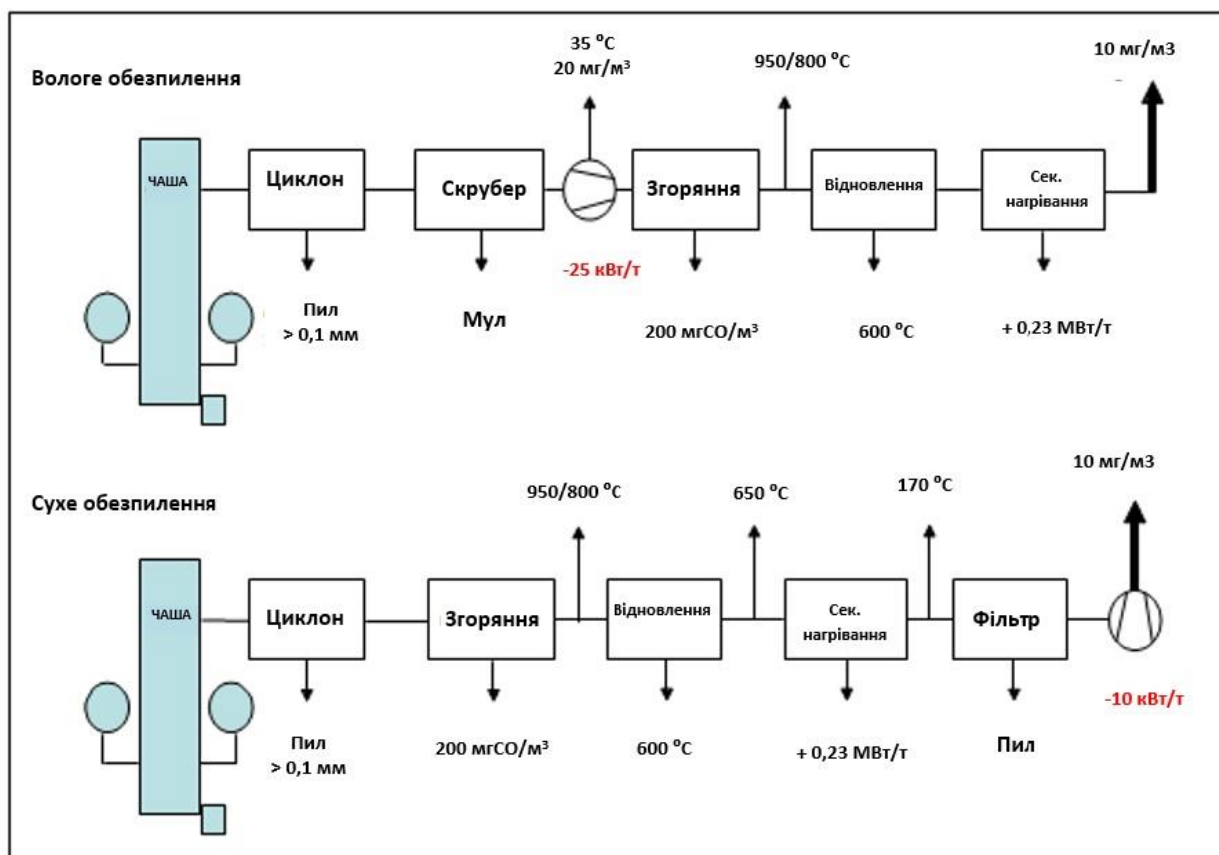


Рис. 4.11: Умови проведення мокрого та сухого обезпилення відпрацьованих газів вагранки з гарячим дуттям [230, Комітет асоціацій європейських ливарників (CAEF), 2003].

Застосування

Вживання різноманітних систем боротьби із забрудненням навколишнього середовища буде розглянуте в наступних пунктах цього розділу.

Економічність

Інвестиційні витрати і витрата енергії на рукавні фільтри і вологі сепаратори порівнюються в таблиці 4.33.

Техніка боротьби із забрудненням	Інвестиційна вартість * (євро/нм ³)	Споживання енергії (кВт/1000 нм ³)
Рукавний фільтр	2,5 – 5	1 – 3
Вологий сепаратор	1,5 – 5	1 – 3
Біофільтр	7,5 – 10	

* Виключаючи труби і трубопроводи, але включаючи збірку.

Таблиця 4.33: Дані щодо інвестицій та споживання енергії для різних скрубєрів [32, Комітет асоціації європейських ливарників (CAEF), 1997], [110, Віто (Vito), 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002].

Рушійна сила для впровадження

Правила щодо викиду шкідливих речовин в атмосферу.

Приклади заводів

Цей метод знаходить широке застосування в європейських ливарних цехах.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарників (CAEF), 1997], [110, Віто (Vito), 2001], [155, Європейське бюро з ІЗКЗ, 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002].

4.5.1.4 Попередження та зменшення рівня діоксинів

Опис

Діоксини мають значення для теплових процесів, в яких є метали. Діоксини або їхні прекурсори можуть бути присутніми в деяких сировинах, та існує можливість синтезу *de novo* в печах або системах зменшення. Діоксини легко адсорбуються на тверду речовину і можуть збиратися всіма навколишніми середовищами у вигляді пилу, твердих речовин скрубєрів та пилу фільтрів. Випробування в реальних умовах експлуатації показали, що утворення діоксинів у вагранках не може бути співвіднесено з одним (або кількома окремими) робочими параметрами. Необхідна комбінація заходів, щоб мінімізувати ризик утворення діоксину.

Внутрішньопроектні або первинні заходи щодо запобігання викидів діоксину включають:

- допалювання печі відпрацьованого газу в шахті СВС (вагранки з холодним дуттям) або в камері згоряння НВС (вагранки з гарячим дуттям).
- Спалювання ваграночного відпрацьованого газу повністю описано в пунктах 4.5.2.2 та 4.5.2.3
- постійний моніторинг температури та контроль в камері згоряння НВС ($T > 850$ °C) та максимізація збільшення часу перебування (бажано > 2 с)
- підтримання концентрації твердих часток у рекуператорі на рівні < 20 мг/м³, це можливо для НВС при використанні мокрого пилу.
- забезпечення швидкого гасіння пильних відпрацьованих газів через діапазон температур синтезу *de novo* 250 – 450 °C
- запобігання або мінімізація накопичення пилу по траєкторії охолодження димових газів, особливо в теплообмінниках, наприклад використання вертикальних труб обмінника, ефективне внутрішнє очищення, високотемпературне обезпилення
- плавлення чистого брукхту. Ця методика описана в пункті 4.1.4
- використання впорскування кисню для забезпечення повного згоряння. Ця методика описана в пункті 4.2.1.6.

Хоча діоксини руйнуються при високій температурі (тобто вище 850 °C) у присутності кисню, процес синтезу *de novo* все ще можливий, оскільки гази охолоджуються через вікно реформації (250 – 450 °C). Це вікно може бути присутнім у теплообмінниках або системах відведення, а також у холодніших частинах печі, наприклад у зоні подачі. Слід бути обережними при розробці систем охолодження, щоб мінімізувати час перебування у вікні та уникнути накопичення пилу для запобігання синтезу *de novo*. Альтернативою є обезпилення газів шляхом швидкого гасіння за допомогою мокрої системи. У гарячих газах також має бути достатня кількість кисню, і для цього введення кисню можна використовувати для забезпечення повного згорання. Утім, надлишку кисню слід запобігати, оскільки це може підтримувати синтез *de novo*.

Сірка здійснює гальмуючий вплив на утворення діоксинів, через виснаження молекулярного хлору. Є свідчення, що використання вугілля з більшим вмістом сірки у великих установках згорання забезпечує менші концентрації поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів. Відновлюючий інгібуєчий ефект пов'язаний зі співвідношенням S/Cl з критичним співвідношенням 0,64. Подальше збільшення не призводить до меншої кількості діоксинів та фуранів. Цей ефект не був продемонстрований у ливарнях, але він може бути вивчений. [231, UNEP, 2003]

Велике розповсюдження та велика мінливість рівнів викидів діоксину (навіть для однієї і тієї ж установки) показують, що виключно первинні заходи не достатні для досягнення стабільного та низького значення викидів діоксину. Тому, крім первинних заходів, можна розглядати наступні заходи щодо зменшення:

- *впорскування порошкоподібних домішок* у газовий потік, наприклад активованого вугілля, коксу мартенівських печей або цеоліту, завдяки чому діоксини всмоктуються на поверхню. Потім для вловлювання пилу та діоксинів використовується вискоелективна фільтрація пилу. Домішку вводять у потік відпрацьованого газу перед фільтрацією. Процес адсорбції зазвичай відбувається, поки абсорбенти тримаються фільтрувального мішку. Пил фільтра може бути рециркульований назад до димових газів, щоб досягти більшого ККД. При використанні домішки на основі вуглецю слід вживати спеціальних заходів для запобігання пожежі та вибуху. Вловлений пил може мати високі концентрації діоксину, і його потрібно обережно утилізувати чи обробляти

- *каталітичні системи окислення* доступні для руйнування діоксинів. Тканинні фільтри, що містять каталітичний шар, використовуються для руйнування діоксинів. В інших галузях (наприклад гартування сталі, спалення комунальних відходів) ця методика успішно впроваджена, натомість впровадження в ливарній галузі також вважається можливим. Однак для запобігання дезактивації шару каталізатора може знадобитися попереднє видалення грубих пилових частинок.

Ці методи слід розглядати залежно від застосування. Всі вони можуть бути включені до наявних процесів. Вибір найефективнішої та економічно найвигіднішої методики залежатиме від конкретного місця, аспектів безпеки та експлуатаційної стабільності, а також від економічних факторів.

Хоча відсутність однієї з п'яти вищезгаданих умов побудови діоксину перешкоджає синтезу діоксину, наразі неможливо точно передбачити викиди діоксину, враховуючи відомі робочі параметри. Тому будівництво нової печі потребує ретельного розгляду первинних заходів, а також можливості додавання вторинних заходів у разі несподівано високих значень.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення викиду діоксинів та фуранів у повітря.

Міжсередовищні ефекти

Адсорбція діоксинів і фуранів на активованому вугіллі породжує пиловий потік, навантажений поліхлорованими дибензодіоксидами та фуранами. Для запобігання ризику вибуху в мішковому фільтрі може знадобитися змішування активованого вугілля з

вапном. Це збільшить загальну кількість залишків для утилізації та обмежить можливість повторного використання відфільтрованого пилю.

Експлуатаційні дані

Проведені в процесі вимірювання діоксинів у вагранці з гарячим дуттям із сухим обезпиленням засвідчили, що високі рівні поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів (5 нг КЕТ/нм^3) відбуваються в теплообміннику. Інші частини системи димових газів демонструють значно нижчі значення. Тому заходи щодо скорочення повинні бути спрямовані на мінімізацію контакту між пилом і димовими газами в цій зоні завдяки мінімізації пилю або скороченню часу перебування пилю.

Рівень викидів поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів в $0,5 \text{ нг КЕТ/нм}^3$ можна досягти, використовуючи первинні заходи; а краще ніж $0,5 \text{ нг КЕТ/нм}^3$ можна досягти за допомогою однієї або декількох з цих методик. Німецьке опитування дійшло до висновку, що без вторинних заходів рівень $0,1 \text{ нг КЕТ/нм}^3$ передається лише в обмеженій кількості установок та лише в обмеженому обсязі. Однак експлуатаційні дані, наведені в 3.8.2, показують, що рівень слід оцінювати на основі кожної установки.

Доведено, що вторинні заходи в інших секторах допомагають зменшити їх нижче, ніж до $0,1 \text{ нг КЕТ/нм}^3$.

Для швидкості виходу димових газів $8000 \text{ м}^3/\text{год}$ при швидкості дуття $3000 \text{ м}^3/\text{год}$ для швидкого гасіння відхідних газів вагранки від $800 \text{ }^\circ\text{C}$ до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ потрібна витрата води $4 \text{ м}^3/\text{год}$.

Застосування

Ці методики застосовуються в інших галузях промисловості, таких як виробництво сталі, кольорових металів та спалювання відходів. Зважаючи на технічну основу, вони можуть бути перенесені на типи ливарних печей, які мають ризик утворення діоксину: вагранки, ротаційні та електричні дугові печі, що розплавляють залізо та сталь (пункт 3.8.2). Для нових і наявних установок у кожному конкретному випадку, перш ніж переходити до вторинних заходів, слід враховувати первинні заходи щодо зменшення діоксину, такі як ефективне згоряння, модифікації конструкції печі та контроль якості брукхту.

Застосування впорскування домішок передбачає встановлення силосу домішок, системи впорскування, а, у випадку впорскування вуглецю, ще й заходів щодо контролю для запобігання накопичення домішок. З метою запобігання ризику виникнення пожежі можна змішати активоване вугілля з вапном і впорскувати після першої фільтрації, але перед спеціалізованим вторинним фільтром.

Застосування каталітичної фільтрації передбачає найменший ступінь технічної модифікації для наявних установок, оскільки лише фільтруючі мішки потребують заміни на каталітичний тип.

Економічні дані

Первинні заходи не передбачають додаткових інвестиційних витрат. Операційні витрати обмежуються використанням кисню або вищою ціною для очищення брукхту.

Було проведено оцінку витрат для вагранки з гарячим дуттям, як це наведено в таблиці 4.34. Експлуатаційні витрати залежать від застосовуваної дози коксу та наведені в таблиці 4.35. Витрати на персонал, технічне обслуговування, запчастини, а також, можливо, необхідний ранній обмін мішків або встановлення іншого типу якості мішків не враховані.

Параметр	Одиниці	Значення
Об'ємний потік	нм ³ /год	50000
Години роботи	год/рік	6250
Порошкоподібна домішка		Піч із відкритим подом
Ціна домішки	євро/т	400
Ціна сміттєзвалища	євро/т	300
Витрати на енергію	євро/кВт/год	0,09
Вміст частинок		2 г/нм ³ – 100 кг/год
Інвестиційні витрати: зокрема силос, обладнання для безпеки, рециркуляція, інтеграція	євро	350000
- загальна вартість		
- щорічні витрати	євро/рік	52500
Споживання енергії	кВт	10
Вартість споживання енергії	євро/рік	6000

Таблиця 4.34: Прогноз інвестиційних витрат для інжектора вуглецевмісних матеріалів, доданого до НВС [230, Комітет асоціацій європейських ливарників, 2003]

Параметр	Одиниці	Величини			
Вміст коксу	г/нм ³ вологий	0,2	0,3	0,4	0,5
Споживання коксу	т/рік	63	94	126	156
Вартість придбання	євро/рік	25200	37600	50400	62400
Витрати на сміттєзвалище	євро/рік	18900	28200	37800	46800
Знижені інвестиційні витрати	євро/рік	52500	52500	52500	52500
Вартість енергії	євро/рік	6000	6000	6000	6000
Загальна вартість	євро/рік	102600	124300	146700	167700

Таблиця 4.35: Загальні витрати для інжектора вуглецевмісних матеріалів, доданого до НВС [230, Комітет асоціацій європейських ливарників, 2003]

Системи фільтрування каталітичних мішків застосовуються в секторі спалювання сміття. Дані про витрати для цієї установки переносяться на основі обсягу димових газів, які підлягають обробці, але без урахування таких експлуатаційних параметрів, як співвідношення повітря до тканини. На амортизаційний період у 5 років інвестиційні та експлуатаційні витрати можуть бути оцінені в розмірі 0,4 – 0,5/т розплавленого металу для НВС та 0,9 – 1,3/т розплавленого металу для СВС. Ця вартісна оцінка не була ані підтверджена, ані відкинута постачальником каталітичних мішкових фільтрів.

Рушійна сила для впровадження

Регулювання обмеження викидів діоксину та фурану при плавленні металів.

Приклади установок

Скорочення викидів завдяки встановленню інжектора кисню: 3 приклади з установками СВС у Нідерландах. Інжектор активованого вугілля: 1 приклад установки у Німеччині

Довідкова література

[155, Європейське бюро Інтегрованого запобігання та контролю забруднення, 2001], [161, Британське агентство з навколишнього середовища, 2002], [202, ТРГ (TWG), 2002], [224, Хельбер та ін., 2000], [230, Комітет асоціацій європейських ливарників, 2003]

4.5.1.5 Зменшення утворення неприємного запаху

Викиди у формі запахів зазвичай пов'язані з процесами, які пов'язаними зі зв'язуючими піщаними сумішами. Фактичні пахучі (запашні) продукти піролізу можуть змінюватися залежно від типу використовуваної системи, але зазвичай фенольні продукти розпаду, тобто крезолі та ксиленолі, є найпоширенішим джерелом скарги на неприємний запах через дуже низькі пороги виявлення запаху. Розсіювання запахів під час лиття, охолодження та вибивання передбачає змішування з великими обсягами повітря, що ускладнює збір та обробку. Використання неорганічних зв'язуючих речовин, таких як силікат натрію, може істотно зменшити викиди. Зараз не відомо

жодного абсолютно ефективного перевіреного способу усунення неприємних запахів, що утворюються на ливарному виробництві. Загальний підхід полягає в забезпеченні належної вентиляції та швидкості зміни повітря, що забезпечує швидку та ефективну дисперсію викидів в атмосферу. Комплексні заходи включають заміну зв'язуючих речовин або сполучних розчинників (див. пункт 4.3.3.7). Методи очищення в кінці виробничого циклу мають на меті зменшити продукти піролізу (див. пункт 4.5.8.5) та аміни (див. пункт 4.5.8.4). До них відносяться методи адсорбції, допалювання, мокрі скрубери та біофільтри (див. пункт 4.5.8.6).

4.5.2 Вагранка

4.5.2.1 Збір, очищення та охолодження газу

Опис

Конструкція системи збору та очищення газу базується на умовах, що виникають під час продукції, оскільки це часто найважчі умови, що виникають під час роботи системи. Після завершення процесу плавильної печі піч більше не заповнюється завантажувальними матеріалами. Температури газу будуть зростати поступово, оскільки вони більше не охолоджуються холодним зарядом у доменній шахті. При контакті з киснем CO буде горіти автоматично. Температури можуть досягати 1200 °C або навіть вище. Система збору та очищення відпрацьованих газів повинна бути в змозі впоратися з цими важкими умовами.

Збір

Для збору колошникового газу використовуються дві системи:

- *Вище завантажувального отвору:* Вихлопні гази виводяться в кінці доменної шахти вагранки за допомогою каналів та вентилятора, розміщеного нижче. Отвір над завантажувальним отвором забезпечує важливий приплив повітря, необхідний для запобігання викиду ваграночних газів із зони. Цей об'єм зайвого повітря може бути набагато більшим за потік ваграночного газу. Це збільшує розмір і вартість системи збору та очищення. Зменшення розмірів завантажувальних отворів може мати певну користь, але ця опція може бути обмежена через небезпеку вибуху, коли занадто мало кисню змішується з ваграночними газами, що містять CO (пульсуюче горіння)
- *Нижче завантажувального отвору:* Колошникові ваграночні гази збираються через кільце під завантажувальним отвором. Надходження повітря не потрібне, оскільки викид газів через отвір не здійснюється, за умови, що система управління достатньо чутлива, щоб нормально функціонувати під час зміни швидкості дуття вагранки. Занадто мала швидкість забору може призвести до викиду неочищених газів через ваграночну доменну шахту, занадто великий потік забору може призвести до потрапляння повітря, що призведе до горіння та перегріву газів (тобто небезпеки вибуху).

Охолодження

Після збору газам може знадобитися охолодження залежно від системи зменшення рівня пилу, що використовується. У режимі гарячого дуття тепло, відведене від охолодження, може використовуватися для попереднього нагріву повітря дуття.

Можливі кілька варіантів охолодження зібраних газів, включаючи:

- *Використання трубних охолоджувачів:* Проганяючи зібрані гази по довгих каналах, знижується температура завдяки природній конвекції та випромінюванню. Ця система проста, але займає багато місця і не пропонує регульованого охолодження (тому існує ризик конденсації)
- *Використання примусового теплообмінника повітря/газу:* Холодне навколишнє повітря затягується через розташування труб або пластин, щоб охолоджувати гази. Вловлювання пилу та подальша потреба в очищенні теплообмінних поверхонь можуть призвести до складної та дорогої конструкції системи. Однією з переваг цієї системи є можливе використання нагрітого повітря для зовнішніх цілей опалення. Рекуперативні вагранки з гарячим дуттям обладнані блоком допалювання і теплообмінником (рекуператором) для нагрівання повітря дуття
- *Використання нафтогазового теплообмінника:* Це схоже на вищевказану систему, але дорожче через необхідність вторинної системи охолодження. Теплообмінник, як

правило, охолоджується циркуляцією мінерального масла. Охолодження за допомогою теплообмінника води/газу не практикується (або дуже рідко практикується)

- *Насичення водою*: Тут гази охолоджуються випаровуванням води, що розпорошується в газовий потік. Вологі скрубери працюють краще, якщо гази охолоджуються в камері насичення до проведення очищення. Якщо використовувати лише тканинні фільтри, можливе часткове насичення для запобігання засмічення тканини через конденсацію води. Для забезпечення правильного функціонування системи необхідна хороша система управління. Перевага гасіння газів полягає в тому, що швидке охолодження зменшує ризик утворення діоксину.

Обезпилення

Пиловлловачі різних типів можуть використовуватися для видалення твердих частинок із відпрацьованих газів. Як правило, вологі скрубери мають низькі капітальні витрати та витрати на обслуговування, але потребують високого рівня подачі енергії для досягнення прийнятної ефективності збору. Видалення мулу є складним, і воду скруберів перед зливом слід очистити. Системи сухого збору мають дорожчі капітальні витрати і потребують кращого контролю над вхідними газами (температура, конденсація води або органічних парів, співвідношення CO:O₂, іскри), але зазвичай вони використовують менше енергії, ніж потрібно для вологого очищення скруберами. Крім того, сухий ваграночний пил може бути перероблений у вагранці (див. 4.9.4.2).

Як скрубери Вентурі, так і дезінтегратори використовуються з ваграночними системами. Описи цих систем наведені в пункті 4.5.1.3. Сепаратор для видалення дрібних частинок, захоплених крапельками води, розташовується після вологого скрубера.

Що стосується сухих систем, то можна зробити наступні зауваження:

-*Мультициклони*: Вони часто використовуються разом із тканинним фільтром, виконуючи функцію затримки грубого пилу. Вони допомагають запобігти потраплянню частинок коксу, що розжарюються, до фільтрувальної тканини. За умови, що в конструкції циклону використовуються вогнетривкі накладки та сталь високого класу, вони можуть працювати при високих температурах. Майте на увазі, що ефективність збору лише за допомогою циклонів недостатня для того, щоб відповідати сучасним нормам, тому вони зазвичай використовуються в поєднанні з іншими системами обезпилення

-*Мішкові фільтри*: Вони ідеальні, коли гази спалюються перед обезпиленням. Це допомагає уникнути проблем осадження вуглецевого матеріалу або небезпеки пожежі. Мішкові фільтри можуть бути розроблені так, щоб забезпечити високу ефективність збору металевих частинок диму, таких як ZnO

-*Електростатичні осаджувачі*: Ці системи рідше зустрічаються в європейській ливарній галузі. Ця система найкраще підходить для більш-менш постійних умов праці, наприклад у вагранках тривалих кампаній, через її чутливості до змін температури, потоку та вологості газу. Існує небезпека вибуху при обезпиленні неспалених газів, змішаних із повітрям, через відносно великий об'єм осаду. Саме тому, осаджувач потрібно промити перед застосуванням електричної енергії.

Схематичне зображення вагранки з холодним дуттям з рекуперацією тепла та мішковим фільтром наведено на рисунку 4.12.

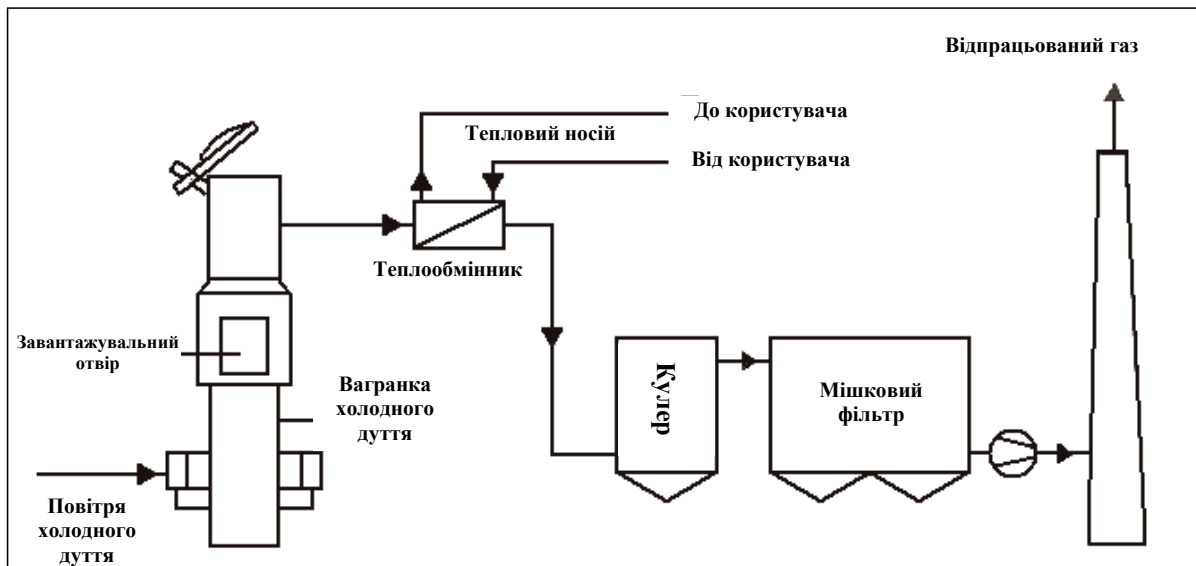


Рис. 4.12: Карта технологічного процесу вагранки з холодним дуттям з рекуперацією тепла, охолодженням і мішковим фільтром [29, Батц, 1986]

Допалювання (спеціальні заходи після згорання)

Допалювання відпрацьованих газів використовується для оптимізації рекуперації тепла (хімічне зв'язування як CO) та забезпечення чистіших вихлопних газів. При спалюванні CO будь-який залишковий вуглецевий матеріал одночасно окислюється до CO_2 та H_2O . Вироблене тепло може бути відновлене за допомогою теплообмінника і потім транспортуватися до внутрішнього споживача (наприклад попереднього підігріву видувного повітря).

Типовими розташуваннями є:

- камера допалювання, розміщена перед (мішковий фільтр) або після (мокрый фільтр) блоку очищення (для відводу нижче завантажувального отвору), це обговорюється в пункті 4.5.2.2
- (природний газ) пальники або контрольоване впорскування повітря в шахті вагранки (для забору вище завантажувального отвору), це обговорюється в пункті 4.5.2.3.

Конструкція системи повинна забезпечити збереження відпрацьованих газів при температурі понад 800°C та з відповідним часом перебування, тобто 2 секунди, щоб гарантувати повне окислення відпрацьованих газів. Різні системи повністю описані та обговорені нижче.

Досягнуті переваги для довкілля

Уловлення та очищення вихлопів – необхідний захід для зменшення викидів продуктів від спалювання коксу, таких як NO_x, SO₂, HF, PCDD/F та піл.

Допалювання СО допомагає одержати рекуперацію тепла (додаткову) від ваграночного відпрацьованого газу. Крім того, воно дає змогу плавити брухт, забруднений маслами та жиром, без додаткових впливів на навколишнє середовище і тим самим стимулює переробку металів. Допалювання без рекуперації тепла має негативний баланс для навколишнього середовища (див. міжсередовищні ефекти).

Міжсередовищні ефекти

Системи очищення пилу видаляють залишки пилу для утилізації. На тонну рідкого заліза виробляється 5 – 13 кг пилу. Пил може повторно циркулювати у вагранці. Про це йдеться в Пункті 4.9.4.2. Характеристики пилу вже наведені у Пункті 3.2.2.2.

Допалювання СО без відбору тепла негативно впливає на навколишнє середовище, оскільки необхідно встановити потужні пальники потужністю в десятки кВт. Пальники генерують викиди газів, що спалюються, і споживають додатковий кисень.

Експлуатаційні дані

Тканинні фільтри мають ефективність понад 99 %. Середньодобові значення викидів пилу залишаються значно нижче 10 мг/м³. Сума Pb, Zn, Cr, Cu, Mn, V, Sn, Cr, Ni, As і Cd досягає приблизно 20 % від загального вмісту пилу. Дані, представлені в Таблиці 4.36, були зібрані в рамках досліджень експлуатаційних установок Федерального агентства з охорони навколишнього середовища в Німеччині. Наводяться дані для 3-х заводів-прикладів.

	Одиниці вимірювання	Завод D		Завод E	Завод F
		Початкові показники	Після перебудови		
Продуктивність					
- проєктні значення	т/год	7,5 – 8	12,0	6 – 7	4 – 5
- фактичні значення	т/год	7,0	11,0	5,5	3,7
Потік вихлопних газів					
- проєктні значення	нм ³ /год	25000	30000	20000	дані відсутні
- фактичні значення	нм ³ /год	19800	22300	17400	14300
Рік побудови фільтра		1981 рік	1995 рік	1988 рік	1985 рік
Остання зміна полотна фільтра		дані відсутні	1995 рік	1988 рік	1993 рік
Дата проведення вимірювань		07/1981	11/1997	03/1993	03/1993
Викиди	мг/нм ³				
- пил		1623 – 2674		дані відсутні	дані відсутні
- неочищений газ					
- очищений газ					
∞ середне ¹		21,5	<1	3	3
∞ мін.		18,0	<1	1	2
∞ макс.		25,4	<1	5	4
- газоподібний ²					
∞ SO ₂		288	дані відсутні	174	227
∞ NO _x		43	дані відсутні	24	31
∞ C _{всього}		дані відсутні	дані відсутні	22	7
∞ CO		700	дані відсутні	11890	18980
∞ CO ₂	%	7	дані відсутні	4,9	3,9

	Одиниці вимірювання	Завод D		Завод E	Завод F
		Початкові показники	Після перебудови		
Викиди важких металів	мг/нм ³	Неочищені	Очищені	Очищений газ	дані відсутні
- Cd		0,0184	0,0019	0,00313 (ΣCu, Mn, Cr, V)	дані відсутні
- Cr		0,7287	0,0384		
- Pb		29,895	0,2952	0,00057	дані відсутні
- Zn		16,464	0,2862		
- Ni		0,2024	0,0077		
- As		0,7665	0,0149		
- Mo		0,2672	0,0420		
викиди поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів	нг КЕТ/нм ³			дані відсутні	0,512
- очищений газ ³					0,085
- коефіцієнт викидів	аg КЕТ/т Fe				1,620
Мішковий фільтр					
- вловлена кількість	кг/т Fe	6,5 знешкодження	8,2 повторне використання	4,850	0,960
- PCDD/F-Gehalt	аg КЕТ/кг				
Фільтруючий матеріал		Поліестерне полотно з покриттям ПА	Синтетичне волокно	Поліестер	Голкова тканина
Очищення фільтра		Імпульсний струмінь	Протитік із середнім тиском	Пневматичне з регулюванням падіння тиску	
Капітальні витрати	тис. євро	385 (1981)	370 (1995/96)	дані відсутні	350
Операційні витрати	євро/т виливків належної якості	9,8 (1982) = 3 % витрат на виливок	9,04 (1998) = 2,8 % витрат на виливок	дані відсутні	дані відсутні

¹ Середня кількість пилу обчислюється на основі даних 3 – 5 півгодинних вимірювань
² Концентрації діоксиду сірки, оксиду азоту, загального вуглецю, оксиду вуглецю та діоксиду вуглецю обчислюються як середнє значення з постійних вимірювань протягом декількох годин під час відбору проб для пилу або поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів
³ Час відбору проб 6 годин
д.в.: дані відсутні

Таблиця 4.36: Експлуатаційні дані вагранок із холодним дуттям із мішковим фільтром для зниження рівня пилу, джерела: [43, Батц, 1996] та [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003]

Дані для вагранок із гарячим дуттям наведені в пункті 4.5.2.2.

Застосування

Ця методика застосовується до всіх нових і наявних вагранок.

Економічні дані

У таблиці 4.36 наведені значення викидів та економічні дані. Найважливішими чинниками експлуатаційних витрат є вимоги до електричної енергії для подолання падіння тиску та для фільтруючого матеріалу.

Для плавильної установки, що включає дві вагранки з холодним дуттям зі швидкістю плавлення 4,5 т/год, було складено кошторис з такими даними:

- обладнання для зменшення викидів для обробки до 12400 м³/год, з камерою згоряння при температурі 820°C, що приймає до:
 - летючі органічні речовини – 1 г/нм³
 - CO – 59100 г/Нм³
- дві конфорки для використання з метаном – Потужність/пальник 390 кВт

Ціна встановлення та введення в експлуатацію: 350000 євро.

Передбачено експлуатаційні витрати з урахуванням виробництва 4500 тонн виливків, строку окупності 5 років плюс 10 % на енергоресурси та технічне обслуговування на рік: 23,3 євро/т.

Рушійна сила для впровадження

Регулювання викидів в атмосферу з ливарних заводів.

Приклади установок

Зазначені методики, як правило, застосовуються в європейських ливарнях із вагранками.

Довідкова література

[29, Батц, 1986], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001], [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003]

4.5.2.2 Допалювання (спеціальні заходи після згоряння) у камері згоряння НВС

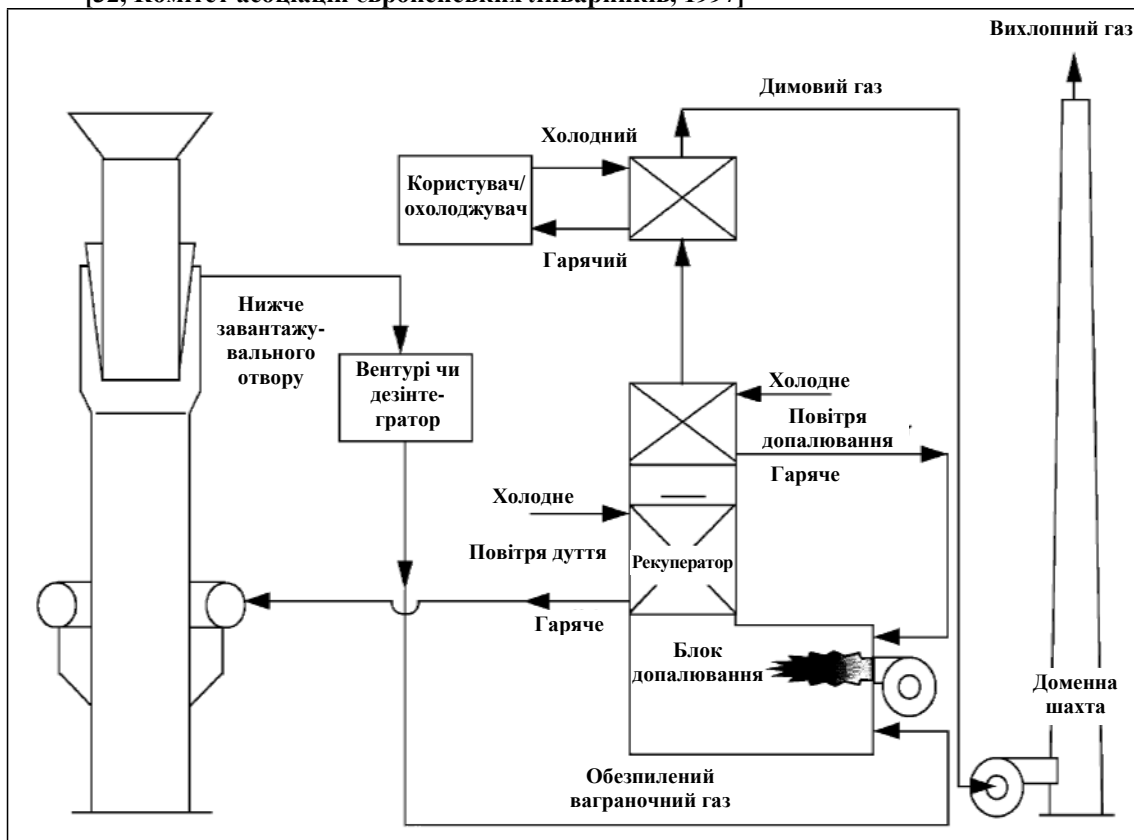
Опис

Після вагранки встановлюється камера допалювання з пальником. Зазвичай окремий блок допалювання повинен бути попередньо нагрітий пальником. Після того, як вагранка встановлена та працює, менший пальник підтримує горіння відпрацьованих газів або газів самоzapalюються.

Тип і положення камери можуть змінюватися залежно від складу процесу. Існують як горизонтальні, так і вертикальні камери згоряння.

- Вагранка з гарячим дуттям з рекуператором та вологим скруббером (див. Рис. 4.13): При такому розташуванні газів відводяться до спалювання. Це зменшує накопичення пилу в рекуператорі, що покращує швидкість передачі тепла. Одним з недоліків є більша витрата енергії в установці допалювання, викликана тим, що газів охолоджуються у вологому скруббері. Постійно здійснюється раннє охолодження відпрацьованих газів для зменшення розміру блоку обезпилення.

Рис. 4.13: Вагранка з гарячим дуттям з рекуператором та вологим скруббером [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997]



- Вагранка з гарячим дуттям з рекуператором та мішковим фільтром (див. Рис. 4.14):
Гарячі, пилозахищені колошникові гази подаються безпосередньо до блоку допалювання. Ретельний контроль процесу необхідний для запобігання припикання частинок пилу до стінок рекуператора, які потрібно регулярно очищувати. Гази потребують подальшого охолодження перед входом у мішковий фільтр, оскільки вони виходять з рекуператора при температурі від 500 до 600 °С.

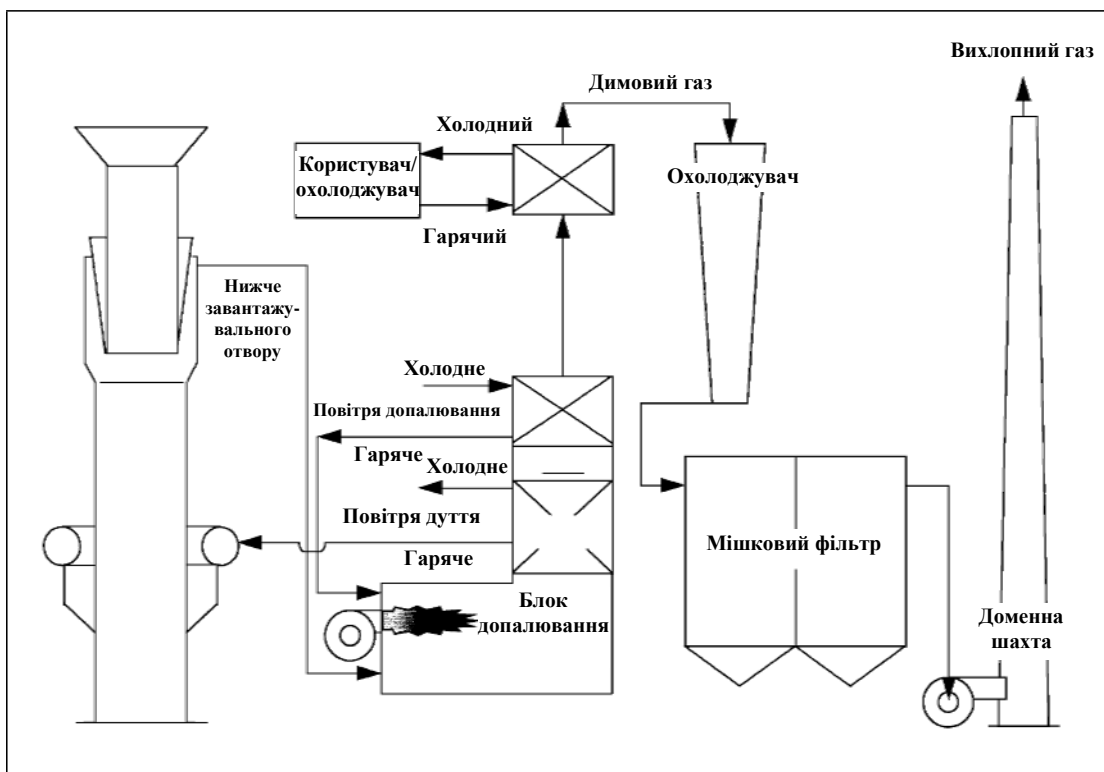


Рис. 4.14: Вагранка з гарячим дуттям з рекуператором та мішковим фільтром [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997]

Досягнуті переваги для довкілля

Допалювання обмежує викиди CO та ліквідує більшість органічних сполук. Якщо їх не спалити, вони потраплять у пил або викидатимуться через димар. Крім того, допалювання зменшує ризик пожежі у фільтрі.

Міжсередовищні ефекти

Методи сухого обезпилювання видаляють пил для утилізації (4 – 12 кг/т рідкого заліза). Пил може повторно циркулювати у вагранці. Про це йдеться у пункті 4.9.4.2. Вологі системи виробляють фракцію мулу.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані для вагранок із гарячим дуттям наведені в таблиці 4.37. Наводяться дані для двох заводів, обраних у якості прикладів:

1. Ливарня G – це ливарне виробництво з продуктивністю 50 т/год, яке працює у 3 зміни на день 5 днів на тиждень. Відпрацьований газ збирається під вхідним отвором і спалюється в рекуператорі. Потім відпрацьований газ відокремлюється: одна частина надходить у виробництво з гарячим дуттям ($T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$), інша частина – у паровий котел. Пара подається в турбіну, яка живить генератор або компресор. Залишкове тепло використовується для попереднього нагрівання повітря для горіння рекуператора. Потім відпрацьований газ очищається в мішковому фільтрі. Технологічна схема та подальше обговорення щодо установки наведені в пункті 4.7.3. Пил переробляється у вагранці, після змішування з нафтококсом. Про це йдеться в пункті 4.9.4.2.

2. Ливарня Н – це ливарне виробництво з продуктивністю 70 т/год, яке працює у 3 зміни на день 5 днів на тиждень. Відпрацьований газ збирається нижче завантажувального отвору і промивається в дезінтеграторі перед допалюванням в рекуператорі. Тепло використовується для попереднього нагріву повітря дуття і йде до подальшого відновлення тепла, перш ніж виходити через доменну шахту при температурі 220 °С. Подальше обговорення щодо установки рекуперації тепла подано в пункті 4.7.3. Стічні води повторно циркулюють після відстоювання. Об'єм води, що циркулює, становить 440 м³/год. Перед утилізацією шлам із відстійника висушують у фільтрувальному пресі до вмісту 50 % сухого залишку. До системи очищення комунальних стічних вод утилізують близько 80 м³/добу стічних вод.

	Одиниці вимірювання	Завод G	Завод Н
Продуктивність	т/год	50	50
Потік відпрацьованих газів	нм ³ /год	75000	55000
Температура гарячого дуття	°С	600	570
Температура вихлопних газів	°С	127	220
Рік побудови очистки димових газів		1989 рік	1983 рік
Дата проведення вимірювань		10/1990	Контрольне вимірювання 09/1993
Викиди - Пил ∞ Неочищений газ ∞ Очищений газ: середнє ¹ максимальне - Газоподібний ² • SO ₂ • NO _x • Свсього • CO • O ₂	мг/нм ³	1300 – 4300 1.1 1.8 33 44 <5 32 12,2	8000 – 20000 6.1 7.3 15,6 52,5 28,6 (FID) <100 6.4
Викиди важких металів - Cr - Cr _{всього} - Pb - Zn - Ni	мг/нм ³	Очищений газ ³ <0,001 <0,001 <0,001 <0,011 дані відсутні	Очищений газ <0,0022 дані відсутні 0,11 0,36 <0,004
викиди поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів ¹ - Очищений газ ⁴ - Коефіцієнт викидів	нг КЕТ/Нм ³ аг КЕТ/т Fe	0,048 0,089	0,003 0,004
Пил/шлак фільтру - одиночна кількість - вміст поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів	кг/т Fe аг КЕТ/кг	Переробка пилу 4.5 0,176	Фільтрувальні кеки до утилізації 5.5 1.4
Утилізація відпрацьованого тепла		Повітря гарячого дуття, пара для виробництва електроенергії до 3 МВт електричної потужності	Гаряче дуття, термальне масло для перетворення відпрацьованого тепла для опалення та сушіння до 21 МВт
Інвестиційні витрати	тис. дойчмарок	26400	22700 у 1980/81 роках
Операційні витрати	ДМ/т виливків належної якості	Дивіться дані в тексті для ливарні G	Дивіться дані в тексті для ливарні Н
¹ Середній рівень пилу обчислюється на основі даних 5 – 6 півгодинних вимірювань та 2х2 годинних значень для поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів ² Концентрації діоксиду сірки, оксиду азоту, загального вуглецю, оксиду вуглецю та діоксиду вуглецю обчислюються як середнє значення з постійних вимірювань протягом декількох годин під час відбору проб для пилу або поліхлорованих дибензодіоксинів та фуранів ³ На момент вимірювання переробка пилу не працювала ⁴ Час вибірки – 2 години д.в.: дані відсутні Примітка: Відбір проби неочищеного газу проводився перед мішковим фільтром у G та перед дезінтегратором для Н; Відбір очищеного газу проводився після мішкового фільтра для G та після рекуператора для Н			

Таблиця 4.37: Експлуатаційні дані вагранок із гарячим дуттям з використанням мішкового фільтру та дезінтегратора для захоплення пилу [17, Штраус, 1983], [27, Кран та ін., 1995], [202, TRG (TWG), 2002]

Спалювання відхідних газів та парів у камері допалювання не потребує багато енергії, за умови, що в димах достатньо окису вуглецю, а зазвичай так і є. Однак вся система очищення газів і парів (камера згоряння + теплообмінник + фільтр або вологий скруббер + вентилятори) також потребує електричної енергії та регулярного обслуговування. У таблиці 4.38 наведено кілька прикладів споживання енергії для вагранок із гарячим дуттям.

Погодинна норма вагранки	Тип обезпилення	Витрата газу для камери згоряння (кВт·год/т, що подано)	Споживання електроенергії для системи очищення диму (кВт·год/т, що подано)
12	Фільтр	59	46
12	Фільтр	124	72
26	Фільтр	42	дані відсутні
17	Електрофільтр (мокрый)	16	38

Таблиця 4.38: Споживання енергії у вагранках із гарячим дуттям

Застосування

На етапі проектування необхідно приділити значну увагу мінімізації загального потоку газів, що підлягають обробці. Забір повітря для горіння повинен бути зведений до мінімального рівня. Із цієї причини завжди встановлюється окремий агрегат згоряння в поєднанні з відводом нижче завантажувального отвору.

З економічних причин (див. нижче) камера допалювання використовується лише на вагранках з гарячим дуттям.

Економічні дані

Високе споживання енергії допалювання є економічно обґрунтованим лише у тому випадку, якщо виділене тепло відпрацьованих газів може бути використане повторно, як це відбувається у відновлювальній вагранці з гарячим дуттям. Однак перехід від вагранки з холодним дуттям до вагранки з гарячим дуттям виключно через спалювання газу в певних ситуаціях може зіткнутися з економічними обмеженнями. Вагранки з гарячим дуттям, бажано в конфігурації тривалого використання, передбачають вищі інвестиційні витрати і використовуються лише при швидкості виробництва 10 тонн Fe/год або більше. У менших ливарних виробництвах цей спосіб виробництва може бути неправильним вибором.

У таблиці 4.37 наведені економічні дані для заводів, що обрані у якості прикладів. Для ливарні G наведено інвестиційні витрати на вагранку з гарячим дуттям із мішковим фільтром та великою рекуперацією тепла. Операційні витрати за 1994 рік (після відновлення плавильного цеху) були на 25 % нижчими, ніж за 1985 рік, тобто зі старою плавильною піччю. Для ливарні H наведено інвестиційні витрати за 1980–1981 роки. Після ремонту експлуатаційні витрати знизилися на 2 % /т рідкого чавуну.

Русійна сила для впровадження

Граничні значення викидів та постійний моніторинг CO, а також граничні значення викидів для органічних сполук.

Приклади установок

Ця методика знаходить загальне застосування у НВС по всій Європі.

Довідкова література

[17, Штраус, 1983], [27, Кран та ін., 1995], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [157, Годіно та ін., 1999], [202, TRG (TWG), 2002]

4.5.2.3 Допалювання в шахті вагранки

Опис

Гази спалюються за допомогою вдування повітря у верхню частину отвору для завантаження або вище верхнього рівня завантаження. Потік повітря регулюється так, що відпрацьовані гази спалюються мимоволі, завдяки вмісту в них CO та їхній температурі. Форсунки для впорскування можуть бути розміщені на одному або двох рівнях. Розбиття потоку повітря на різні рівні, вибір діаметра та

положення форсунок базується на досвіді. Метою оптимізації є спалювання СО без займання коксу. Тяга також буде всмоктувати повітря із завантажувальної засувки. Цей надлишок повітря допомагає СО повніше вигоряти.

Для підтримки полум'я може бути передбачений опорний палик. При дуже низьких витратах коксу (тобто <math>< 6 - 8 \%</math>) доцільно використовувати запобіжні заходи.

Якщо використовується мішковий фільтр, допалювання відпрацьованого газу необхідно поєднувати з охолодженням газу. Для вагранок із гарячим дуттям охолодження поєднується з попереднім підігрівом повітря дуття. У режимі холодного дуття може бути застосовано швидке охолодження, використовуючи впорскування води в шахту печі. Крім того, може використовуватися теплообмінник (відпрацьованого газу – повітря). Це проілюстровано на рисунку 4.15.

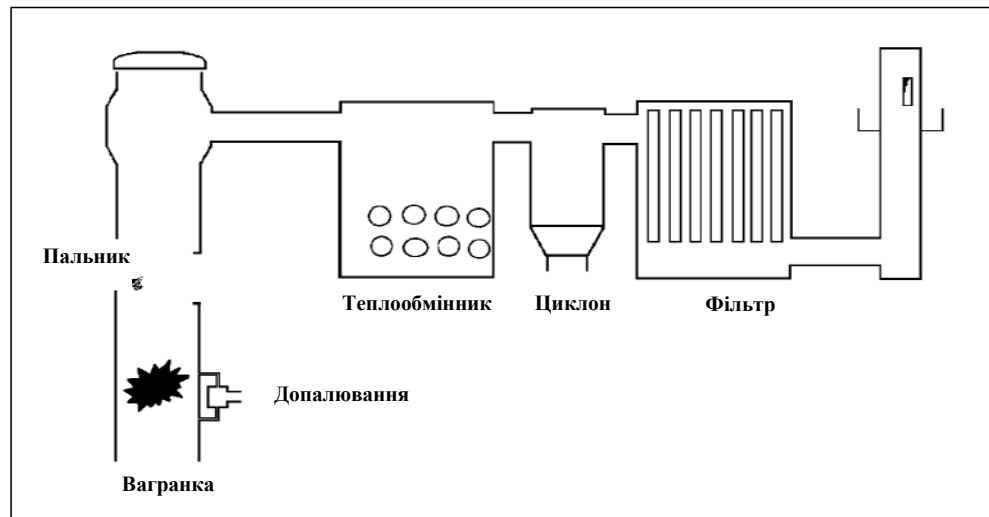


Рис. 4.15: Принцип охолодження продуктів згоряння та відпрацьованих газів у вагранках із холодним дуттям [157, Годіно та ін., 1999]

Встановлення допалювання на вагранках із холодним дуттям може поєднуватися з повною модернізацією до гарячого дуття. Взагалі цей вибір заснований на міркуваннях щодо експлуатації. Характеристики гарячих доменних печей і тих, що довго працюють, обговорюються в пункті 2.4.1.

Досягнуті переваги для довкілля

Допалювання обмежує викиди СО та ліквідує більшість органічних сполук. Якщо їх не спалити, вони потраплять у пил або викидатимуться через димар. Крім того, допалювання зменшує ризик пожежі у фільтрі.

Відомо, що ця методика за певних обставин допомагає уникнути ризиків вибуху. Позитивний вплив на навколишнє середовище обмежується тими випадками, коли більшу частину часу відпрацьований газ горить автотермічно. В іншому випадку споживання енергії буде врівноважувати зниження СО.

Міжсередовищні ефекти

Якщо відпрацьований газ вагранки не запалюється мимоволі, необхідно встановити палики запалювання або опорні палики. Вони забезпечують значне споживання електроенергії та збільшують загальний об'єм димових газів.

Експлуатаційні дані

Дві конфігурації (допалювання в шахті та охолодження на вагранках із холодним дуттям) були вивчені в промислових масштабах і порівняні СТИФ; вагранка І була обладнана впорскуванням води у шахті вагранки, циклоном та мішковим фільтром, вагранка J оснащена газоповітряним теплообмінником, циклоном та мішковим фільтром. Експлуатаційні дані наведені в таблиці 4.39. Результати кампаній з вимірювання та посилення на чинне законодавство наведено у таблиці 4.40.

Параметр	Одиниці вимірювання	Ливарня І	Ливарня J
Продуктивність	т/год.	10,3	9,2
Первинний + вторинний повітряний потік	нм ³ /год.	7389	6484
Потік повітря допалювання	нм ³ /год.	2372	1549
Водний потік	л/год.	2678	
Витрата димових газів (димохід)	нм ³ /год.	26780	39179
Тривалість обробки горінням до мішкового фільтру	с	10,5	12,3
Тривалість обробки на стадії охолодження	с	<1,7	6,01
Загальна ефективність спалювання СО	%	66	96,5

Таблиця 4.39: Експлуатаційні дані для двох зразків конфігурацій з використанням заходів після згоряння із застосуванням охолодження водою (І), та охолодження повітрям (J) [157, Годіно та ін., 1999]

Сполука	Ливарня І		Ливарня J		Зупинено 02.02.98	
	аналіз	плавні	аналіз	плавні	граничне значення	значення, на яке слід звернути увагу*
Пил	1,7 – 2,8 мг/нм ³ 3 – 5 г/т	0,04 – 0,07 кг/год	1 мг/нм ³ 34 г/год		100 мг/нм ³ 200 г/т	<1 кг/год розплаву = 8 т/год
СО	450 нм ³ /год	560 кг/год	35 нм ³ /год	44 кг/год		50 кг/год
HCl	22 мг/нм ³	0,4 кг/год	9,2 мг/нм ³	0,35 кг/год	50 мг/нм ³	1 кг/год
HF	13 мг/нм ³	0,24 кг/год	4,8 мг/нм ³	0,18 кг/год	5 мг/нм ³	0,5 кг/год
HCN	<0,007 мг/нм ³	0,13 кг/год	<0,01 мг/нм ³	0,38 кг/год	5 мг/нм ³	50 кг/год
NH ₃	0,61 мг/нм ³	12 г/год	0,10 мг/нм ³	3,8 г/год	50 мг/нм ³	100 г/год
NO _x	9 мг/нм ³	0,17 кг/год	15 мг/нм ³	0,57 кг/год	500 мг/нм ³	25 кг/год
летючі органічні речовини, не метан	13 мг/нм ³	0,25 кг/год	6 мг/нм ³	0,23 кг/год	110 мг/нм ³	2 кг/год

*: Якщо потік нижче значення, на яке слід звернути увагу, вимірний показник може перевищувати граничне значення

Таблиця 4.40: Аналітичні результати та відповідне (французьке) законодавство, для заходів після згоряння у вагранці з холодним дуттям із охолодженням відпрацьованих газів водою (І), та повітрям (J) [157, Годіно та ін., 1999]

Охолодження розпилювачем води досягає ефективності знищення СО 66 % і допомагає виконувати чинне законодавство. Охолодження димових газів над теплообмінником забезпечує кращу ефективність (98 %). Для обговорення продуктивності охолодження див. також 4.5.2.1.

Застосування

У наявній вагранці замінити систему відводу з такої, де він здійснюється вище завантажувального отвору, на таку, де нижче, в більшості випадків неможливо. Тому допалювання відпрацьованих газів у шахті печі є життєздатнішим рішенням для вагранок із відводом вище завантажувального отвору.

З економічних причин застосування допалювання, насамперед стосувалося вагранок із гарячим дуттям. Однак останнім часом була також розроблена система допалювання для печей з холодним дуттям без складної установки блоку гарячого дуття. Ця система зараз діє у Франції. Отже допалювання у шахті застосовується як до роботи вагранки з гарячим дуттям, так і для холодного дуття.

У Чехії вивчали весь спектр вагранок із холодним дуттям на предмет застосування допалювання в шахті. Горіння не було спонтанним у жодній з установок протягом усього періоду плавлення. У кожному випадку потрібно було встановити пальники запалювання значної потужності. Обсяг викидів вагранки також збільшився.

Економічні дані

Високе споживання енергії допалювання потрібно оцінювати з урахуванням її переваг. У режимі гарячого дуття виділене тепло відпрацьованих газів може бути повторно використане, що робить інвестиції життєздатнішими.

Високе споживання енергії допалювання є економічно обґрунтованим лише у тому випадку, якщо виділене тепло відпрацьованих газів може бути використане повторно, як це відбувається у відновлювальній вагранці з гарячим дуттям. Однак перехід від вагранки з холодним дуттям до вагранки з гарячим дуттям виключно через спалювання газу неможливе.

Вагранки з гарячим дуттям, бажано в конфігурації тривалого використання, передбачають вищі інвестиційні витрати і використовуються лише при швидкості виробництва 10 тонн Fe/год або більше. Для менших ливарень цей спосіб виробництва може бути неправильним вибором. Інвестиційна вартість вагранки з подвійним холодним дуттям та внутрішнім діаметром 850 мм, що виробляє 4,5 тонни на годину, працює 10 годин на день, 5 днів на тиждень, становить близько 300000 євро.

Рушійна сила для впровадження

Граничні значення викидів та постійний моніторинг CO, а також граничні значення викидів для органічних сполук.

Приклади установок

Про техніку повідомляється у Франції у 2 ливарнях, які наведено як приклади.

Довідкова література

гаряче дуття: [150, ETSU, 1998], [202, ТРГ (TWG), 2002]

холодне дуття: [157, Годіно та ін., 1999], [202, ТРГ (TWG), 2002]

4.5.3 EAF (електрична дугова піч)

4.5.3.1 Збір відпрацьованих газів

Опис

В EAF частинки дуже дрібні і важко забираються. Вловлювання диму та пилу є найскладнішою проблемою, яку слід вирішити при встановленні системи запобігання пилу на електродуговій печі. Існує кілька методів, які мають різні переваги та недоліки. На рисунку 4.16 зображено принцип витяжних ковпаків, встановлених на даху чи збоку, а також прямого виведення через четвертий отвір.

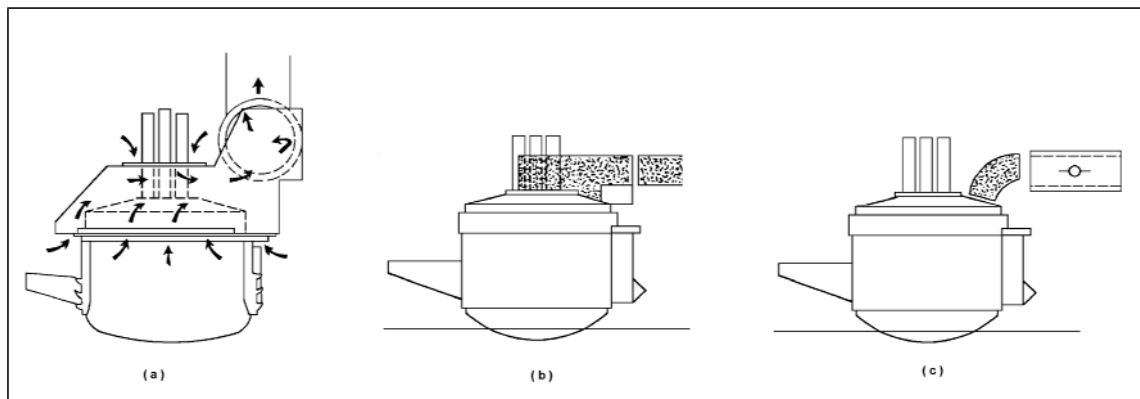


Рис. 4.16: Принципові креслення (а) витяжного ковпака, встановленого на даху, (б) витяжного ковпака, встановленого збоку, та (с) прямого виведення через четвертий отвір

[173, Хюльсен, 1985]

- *Витяжні ковпаки, встановлені на даху:* Ковпак закріплюється на даху печі і збирає дими через зазор між оболонкою печі й дахом. Крім того, також уловлюються дими, що виникають біля робочої двері та випускного отвору. Витяжні ковпаки, встановлені на даху, важкі та спотворюються від тепла. Якщо він встановлений на EAF, проблеми можуть виникнути через збільшення конструкційного навантаження дахового механізму підйому та обертання. Типові норми вловлювання для цієї системи складають від 7500 до 15000 $\text{nm}^3/\text{т}$
- *Витяжні ковпаки, встановлені збоку:* Витяжний ковпак встановлюється на даху печі та збирає дими, що виділяються через електродні порти. Лопаті направляють повітряний потік до витяжки. Для вловлення викидів у цих місцях використовуються додаткові витяжки над робочими дверима та випускним отвором. Тут необхідні вищі показники витягування, порівняно з витяжними ковпаками під дахом, оскільки для вловлювання випарів потрібні великі швидкості тяги повітря. Можна очікувати деякого витоку забруднюючих речовин в атмосферу, якщо ущільнення не буде достатньо щільним. Повідомлялося, що витяжні ковпаки з бічною тягою збільшують споживання електродів

- *Витяжні ковпаки під дахом:* Загалом над піччю та над системою завантаження розміщується великий витяжний ковпак. Це створює велику відстань між піччю та системою витяжки, утруднюючи контроль над димом, що підіймається, та пилом, навіть при використанні високих швидкостей вловлювання. Перехресні тяги можуть серйозно погіршити ефективність збору. Ці недоліки роблять використання цих систем збору непривабливим
- *Пряме виведення з печі або виведення через «четвертий отвір»:* Гази збираються через канал із охолодженням водою або канал із вогнетривкою прокладкою, з'єднаний з четвертим отвором на даху печі. Навколишнє повітря всмоктується через з'єднувальний елемент у повітропровід, тим самим забезпечуючи кисень для спалювання газу CO у нерозведеному та гарячому забірному газі. Це запобігає вибухам в системі збору пилу. Розміри камери згоряння є вкрай важливими, щоб гарантувати достатнє згоряння на всіх стадіях циклу плавлення. Випалений газ (900°C) охолоджується внизу шляхом розведення повітрям навколишнього середовища, впорскуванням води, теплообмінниками (водяними кожухами) або використанням довгих каналів. Цей процес охолодження необхідний для захисту обладнання пилового фільтру. Використання системи контролю тиску в пічці забезпечує відносно невелику швидкість вилучення в печі при 2000 до 4000 нм³/т. Споживання електродів, як правило, вище через вплив окислення
- *Часткове обв'язування печі:* Пересувні або нерухомі каркаси монтуються навколо печі та зони випуску плавлення. Перші втягуються для того, щоб розмістити завантаження та випуск плавлення, а другі з тією ж метою оснащені мобільним дахом та бічними стінками. Вихлопні газы збираються через магістральний витяжний канал у верхній частині корпусу, якому допомагають вентилятори всередині каналу для направлення диму до витяжки. За допомогою цих типів системного збору можна досягнути ефективності до 98 %
- *Загальне обв'язування печі:* Ця система складається з великого нерухомого очищеного приміщення, яке повністю оточує плавильну піч і ковшову яму. Корпус оснащений рухомим дахом та/або боковими панелями для розміщення як операцій завантаження, так і випуску плавлення. Вони можуть бути обладнані повітряними завісами для зменшення втрат газу. Недоліками є високі температури та рівень шуму всередині корпусу. Однак до переваг можна віднести низький рівень зовнішнього шуму та низьке споживання енергії. Споживання енергії оцінюється на 30-50 % менше, ніж потрібно для витяжного ковпака під дахом.

Досягнуті переваги для довкілля

Уловлення димових газів дає змогу контролювати виведення та обробку потоку димових газів, а також призводить до мінімізації як вибухонебезпечних, так і контрольованих викидів.

Міжсередовищні ефекти

Уловлювання вихлопних газів збільшує споживання енергії. Оскільки це допомагає очистити вихлопні газы, це також створить пил для утилізації або повторного використання.

Експлуатаційні дані

У таблиці 4.41 наведено типові витрати вихлопу та ефективність видалення для різних систем уловлювання.

	Вихлопний потік для заданої продуктивності печі			Ефективність видалення твердих частинок (%)	
	3,9 т/год	9,1 т/год	22,7 т/год	Діапазон	Типовий макс.
Витяжний ковпак з бічною тягою	12,9	19,8	50,00	90 – 100	99
Витяжний ковпак на даху	7,7	11,9	30,00	95 – 100	99
Пряме виведення	3,2	5,0	12,5	90 – 100	99
Загальне обв'язування			35 – 42		

Таблиця 4.41: Типові потоки вихлопних газів (в м³/с) та ефективність видалення твердих частинок у системах збору вихлопних газів EAF [173, Хюльсен, 1985]

На польській ливарні загальне обв'язування двох EAF з потужністю 8,5 тонни кожна привело до зниження рівня шуму від плавлення з 91 дБА до рівня нижче 85 дБА.

Застосування

Вищезазначені методики можна застосувати до всіх нових і наявних печей EAF із такими обмеженнями:

- при встановленні ковпака на даху наявної печі можуть виникнути проблеми через збільшення конструкційного навантаження від дахового механізму підйому та обертання.
- пряме виведення з печі за допомогою четвертого отвору обмежується великими дуговими печами, оскільки дах повинен бути достатньо великим, щоб вмістити четвертий отвір без будь-якого конструктивного ослаблення. Ця методика не застосовується для плавлення чавуну, оскільки надходження свіжого повітря створює надмірне окислення вуглецю.

Економічні дані

Будівництво та встановлення ковпака на двох EAF потужністю 8,5 тонни кожна передбачало інвестиції в розмірі 275000 євро (ціни 1996 року), без урахування витрат на подальше оновлення системи каналізації та фільтрації.

Рушійна сила для впровадження

Заходи щодо профілактики здоров'я працівників. Методика застосовує техніку очищення газу, керуючи потоком відпрацьованих газів.

Приклади установок

шумопилозахисний кожух: Ливарня Metalodlew, Краків (Польща)

збір відпрацьованих газів: Metso Lokomo Steels and Sulzer Pumps Karhula Foundry (Фінляндія)

Довідкова література

[29, Батц, 1986], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [173, Хюльсен, 1985], [199, Metalodlew s.a., 2002]

4.5.3.2 Очищення вихлопних газів

Опис

Системи очищення газу для димових газів EAF потребують високої ефективності, оскільки розмір частинок невеликий. Тканинні фільтри широко використовуються для вловлювання пилу з вихлопних газів. Скрубери Вентурі або дезінтегратори менше використовуються через більшу витрату енергії, необхідність очищення води перед викидом і через необхідність утилізації або переробки мокрого фільтрувального мулу. Тканинні фільтри широко використовуються на користь електростатичних фільтрів, завдяки великим коливанням температури газу та концентрації частинок відпрацьованих газів.

Якщо використовується фільтр із тканини, необхідно вжити кількох запобіжних заходів для захисту фільтруючого середовища, як це обговорюється в пункті 4.5.1.3. До них належать:

- використання високотемпературного циклону або мультициклону
- використання обладнання для охолодження газу. Тут вихлопні гази охолоджуються шляхом розведення повітрям навколишнього середовища, впорскуванням води (гасінням), теплообмінниками або використанням довгих каналів. Впорскування води, зокрема, має додаткову перевагу у тому, що швидке охолодження вихлопних газів перешкоджає рекомбінації будь-яких частково спалених органічних речовин, що приводить до чистішого викиду. Система охолодження потребує ефективної системи управління для запобігання надходженню занадто гарячих газів у тканинні фільтри.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення викидів твердих часток від EAF.

Міжсередовищні ефекти

Застосування методів вологого обезпилення викликає більшу витрату енергії, необхідність очищення води перед викидом, а також необхідність утилізації або переробки мокрого фільтрувального мулу.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані наведені у пункті 3.2.3.4. Сучасні мішкові фільтри мають співвідношення повітря і тканини, що коливається між 2:1 та 3:1. Відношення повітря до тканини – це відношення

об'ємного потоку повітря, що проходить через фільтр, до площі середовища і виражається в $(\text{м}^3/\text{с})/\text{м}^2$, що дає такий самий результат, як і швидкість повітря через фільтруюче середовище.

Застосування

Ці методи можуть застосовуватися до всіх нових і наявних установок.

Економічні дані

Витрати на встановлення нового блоку збору та фільтрації пилу на польській ливарні EAF з використанням двох плавильних печей потужністю 8,5 т/год. зведені в таблиці 4.42. Викиди пилу зменшилися з 10 – 13 кг/год та 145 – 150 мг/м³ до 0,2 – 0,25 кг/год та 2,8 – 2,9 мг/м³. Також відбулося значне скорочення дифузних викидів від цеху плавлення.

Інвестиційні витрати	євро*
Побудова та реконструкція старого колектору	115000
Будівництво та складання корпусів кожухів над 2-ма печами	275000
Придбання і складання фільтраційного блоку та електричних пристроїв	560000
Дослідження, впровадження та нагляд	80000
Операційні витрати	євро/рік
Амортизація	100000
Електроенергія	88000
Ремонт і обслуговування	1500
* Ціни, конвертовані зі злотих 1999 року	

Таблиця 4.42: Дані щодо витрат на обладнання для збирання та очищення димових газів EAF [199, Metalodlew s.a., 2002]

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо викидів пилу від плавлення металів.

Приклади установок

кожух із мішковим фільтром: Ливарня Metalodlew, Краків (Польща)
Metso Lokomo Steel and Sulzer Pumps Karhula Foundry (Фінляндія)

Довідкова література

[173, Хюльсен, 1985], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [29, Батц, 1986], [199, Metalodlew s.a., 2002]

4.5.4 Індукційна піч

4.5.4.1 Збір відпрацьованих газів

Опис

Вловлювання диму та пилу є найскладнішою проблемою, яку можна вирішити при встановленні системи збору відпрацьованих газів на тигельній індукційній печі, оскільки немає вихлопної шахти. За останнє десятиліття було розроблено кілька методів, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

- *Загальна вентиляція робочого місця:* Комбінація настінних жалюзі та вентиляторів, розташованих над платформою печі, використовується для підвищення природної конвекції диму та випарів, а також для направлення їх назовні. Навіть при наявності перекриття, що підвішене до даху, та за умови використання високих коефіцієнтів вловлювання, ефективність часто є поганою і легко порушується протягами.
- *Витяжний ковпак під дахом:* Оскільки розміщені нижче витяжні ковпаки будуть заважати крановим завантажувальним системам, над місцем подачі потрібно встановити більші витяжні ковпаки. Це створює велику відстань між піччю та системою витяжки, ускладнюючи контроль над димом, що підіймається, та пилом, навіть при використанні високих швидкостей вловлювання. Перехресні тяги можуть серйозно погіршити ефективність збору. Ці недоліки роблять використання цих систем збору непривабливим.
- *Відкидні витяжні ковпаки:* Ці ковпаки є ефективнішими при використанні разом з вібраційною системою подачі. Вирізи у ковпаку можуть полегшити завантаження. Під

час випуску плавлення ковпак перекидається над ківшом, що дає змогу ефективно витягувати дим.

- *Витяжні ковпаки з бічною тягою:* Розміщення витяжного ковпака біля печі забезпечує такі переваги, як доступність печі та відсутність втручання в системи завантаження. Завдяки високій плавучості вихлопних газів досягаються високі значення показників вловлювання, тому забезпечується хороший ККД, особливо коли витяжка розміщена за межами платформи печі. У цьому випадку під час випуску плавлення контроль витяжного ковпака низький. Прикріплення до платформи печі долає цю проблему, але може заважати виконувати завантаження. Ефективність може бути підвищена встановленням на протилежній стороні витяжки повітродувки для видування пилу та парів у витяжний ковпак під дахом. На жаль, якщо в повітряному потоці є якісь перешкоди, що виникають під час завантаження, цей пристрій не працює.
- *Кромкова витяжка:* Всмоктувальне кільце розміщується нагорі в печі та розташовується так, щоб воно рухалося разом з піччю під час операцій видалення шлаку або випуску плавлення. Ця система не заважає операціям завантаження. При закритті засувці кромкова витяжка забезпечує дуже хороший рівень контролю, оскільки вона максимально наближена до джерела викидів і передбачає найнижчу швидкість вилучення. Гази не проходять через зону, де дихають оператори печі. Однак контроль витяжки значно знижується при відкриванні засувки печі, наприклад під час завантаження.

Щодо конструкції цього витяжного обладнання проведено багато досліджень.

Постачальники пропонують рішення для подолання деяких недоліків.

- *Просте ковпакове вилучення:* Газ виводиться через ковпак над піччю. Цей метод дуже ефективний. Його використовують більшість виробників печей. Вловлювання здійснюється згідно з пічним режимом: плавлення, завантажування, наливання.

Необхідно звернути увагу на матеріал, який використовується для витяжок та каналів, оскільки газу можуть мати високу температуру, коли впускний отвір системи розташовується близько до печі. Нагрівання, якого вимагають від розплавленого металу випромінювання або конвекція, слід враховувати на стадії проектування. Правильне обслуговування в поєднанні з датчиками тепла знижує ризик пожежі.

Чистота брухту знову відіграє важливу роль. Коли брухт містить органіку, температура зібраного газу може зростати через згоряння матеріалу, що вимагає використання жароміцної сталі або навіть вогнетривких прокладок. Масляні відкладення, що утворюються в результаті конденсації масляних парів у каналізаційних трубах, накопичують пил і можуть становити небезпеку пожежі, якщо їх не видаляти регулярно. При використанні чистого брухту м'яка сталева конструкція є достатньою і не потребує передбачення доступу для очищення.

Досягнуті переваги для довкілля

Уловлення димових газів дає змогу контролювати викачування та обробку потоку димових газів, а також приводить до мінімізації як вибухонебезпечних, так і контрольованих викидів.

Міжсередовищні ефекти

Застосування вловлювання вихлопних газів збільшує споживання енергії. Крім того, оскільки це допомагає очистити вихлопні газу, це також створить пил для утилізації або повторного використання.

Експлуатаційні дані

Завдяки використанню специфічних систем уловлювання, таких як витяжні ковпаки з боковою тягою, рухомі витяжки та часткове обв'язування корпусу печі, можна досягнути ефективності вловлювання понад 95 %.

Досвід експлуатації німецького ливарного заводу показав, що ковпак печі в середньому відкритий протягом 25 % робочого часу печі. Під час періодів відкриття проводяться етапи процесу пилоутворення, такі як подача домішок, видалення шлаку та розливання. Система кромкової витяжки, встановлена на ковпаку печі, не дає змогу витягувати дими, що утворюються. Встановлення телескопічного витяжного ковпаку на даху допомогло зробити ефективно витяжне вловлювання під час відкриття пічного ковпака.

Застосування

Установка обладнання для вловлювання вихлопних газів застосовується для всіх нових і наявних індукційних печей, як у ливарнях чорної металургії, так і в кольоровій металургії.

Рушійна сила для впровадження

Правила щодо викидів в атмосферу.

Приклади установок

Ці методики зазвичай застосовуються на індукційних печах у Європі. Конкретний приклад – «Walter Hundhausen GmbH & co KG» (D)

Довідкова література

[29, Батц, 1986], [18, Радемахер, 1993], [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997]

4.5.4.2 Очищення вихлопних газів

Опис

Системи очищення газу для димових газів індукційної печі повинні бути високоефективними, оскільки розміри частинок, які потребують уловлювання, невеликі. Тканинні фільтри широко використовуються для вловлювання пилу з вихлопних газів. Тканинні фільтри використовуються частіше за електростатичні, оскільки вони більше підходять для широких коливань температури газу та концентрації частинок відпрацьованих газів.

При використанні тканинних фільтрів слід бути обережними щодо наявності у брукті масла/олії, оскільки жирна пара може конденсуватися на фільтрувальній тканині, де може перекрити пори і унеможливити вловлювання пилу, що прилипає. Також можлива небезпека пожежі. Швидке збільшення втрати тиску в системі, коли пори блокуються, суттєво знижує швидкість вловлювання в системі. Тому, щоб запобігти забрудненню на робочому місці, фільтруючі середовища потрібно змінювати чи регенерувати (очищати) набагато частіше, ніж при використанні чистого брукту. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати тканини з покриттям або впорскування вапна у повітропроводи. Крім того, якщо ймовірно, що масляні пари згорять у повітропроводі, в процесі повинен бути закладений достатній час для завершення горіння, перш ніж пара потрапить у корпус фільтра. Температура газу може не перевищувати проектну температуру тканини, тому, в цьому випадку може знадобитися охолодження газів.

Вологі скрубери, які використовуються, зазвичай мають бути високоенергетичного типу (Вентурі), оскільки вуглекислий та металургійний дим складається з дуже дрібних частинок. Для цього потрібна значна потужність вентилятора, щоб створити достатню турбулентність у скрубери для збирання частинок. У такий спосіб витрата вихлопних газів зводиться до мінімуму, використовуючи системи вловлювання вихлопних газів із найменшим вмістом атмосферного повітря. У нормальних умовах корозія не є проблемою. Якщо бури, що містять ріжучі рідини, завантажуються в піч, слід зазначити, що частина цих рідин може містити сірку, що може призвести до утворення SO₂. Це може спричинити проблеми в обладнанні, оскільки поглинання SO₂ у скрубери призводить до підкислення води та, зрештою, до корозії обладнання, якщо не буде застосовуватися очищення води.

Деякі алюмінієві ливарні розплавляють матеріали, отримані після електролізу алюмінію. У цьому випадку можуть утворюватися неорганічні забруднювачі, такі як фторид водню. Вони можуть бути очищені від димових газів за допомогою етапу хемосорбції, який може бути доданий до системи зменшення пилу. У цій обробці в ролі адсорбенту може використовуватися гідрат кальцію або оксид алюмінію.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшити викиди підкислювачів і твердих часток від індукційних плавильних печей.

Міжсередовищні ефекти

Очищення вихлопних газів збільшує споживання енергії. Обезпилення вихлопних газів утворює пил для утилізації або повторного використання. Застосування методів вологого обезпилення призводить до більшого споживання енергії, необхідності очищення води перед скидом, а також необхідності утилізації або переробки вологого фільтрувального мулу.

Експлуатаційні дані

Очищення уловлених газів зазвичай проводиться за допомогою фільтрів. Середньодобові значення викидів пилу залишаються значно нижче 10 мг/нм³. Експлуатаційні дані наведені в пункті 3.2.4.1.

У таблиці 4.43 наведені експлуатаційні дані для німецької чавунної ливарні, в якій встановлена централізована система відбору димових газів, тоді як обезпилення проводиться за допомогою мішкового фільтра. Система збирає вихлопні гази з різних частин ливарні, включаючи: чотири індукційних печі (кожна з кромковою витяжкою і витяжним ковпаком під дахом), накопичення та попереднє нагрівання брухту, обробка металів, відновлення піску та зони лиття. Наводяться дані про неочищене плавлення відпрацьованих газів печі, потік неочищеного комбінованого газу та потік очищеного газу.

Сполуки	Відпрацьований газ розплавлення	Комбінований вихлопний газ	Очищений газ*
Пил	89,3	237	<1
NO _x	1.6	8.3	7.9
CO	2.2	4.2	3.8
SO ₂	3.5	3.9	3.7
Всього С	21,8	34,7	34,9
Поліхлоровані дибензо-діоксини та фурани		0,036 x 10 ⁻⁶	0,0027 x 10 ⁻⁶

* NO_x, CO, SO₂ і загальний С не фіксуються у фільтрі мішка. Різниця між сирими та очищеними газами пояснюється дещо зміненою газовою сумішшю після витяжного вентилятора
Потужність плавлення 14 т/год, загальний потік димових газів 240000 м³/год. Усі дані в мг/нм³

Таблиця 4.43: Дані щодо викидів для ливарного виробництва чавуну з використанням індукційного плавлення та централізованої вихлопної системи з мішковим фільтром [18, Радемахер, 1993]

Застосування

Ця методика застосовна для всіх нових і наявних індукційних печей, як у чорних, так і у кольорових ливарнях.

Економічні дані

Дані про витрати та споживання для установки мішкового фільтра на плавильній установці тигельних індукційних печей, плавленням 15 т/год, здатних обробляти 120000 нм³/год., наведені в таблиці 4.44.

Рівень викидів пилу (мг/нм ³)	Інвестиційна вартість (євро)	Споживання електроенергії (кВт)
<5	350000	250
<20	200000	150

Таблиця 4.44: Інвестиційні витрати й енергоспоживання для мішкового фільтрувального агрегату на індукційних печах із різними рівнями кінцевих викидів пилу дані для Португалії станом на 2003 рік [225, ТРГ (TWG), 2003]

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо викидів пилу від плавлення металів.

Приклади установок

Очищення димових газів застосовується в більшості ливарень чорної металургії за допомогою індукційної печі та в обмеженій кількості ливарень кольорової металургії.

Довідкова література

[18, Радемахер, 1993], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [29, Батц, 1986]

4.5.5 Ротаційна піч

4.5.5.1 Збір відпрацьованих газів та очищення вихлопних газів

Опис

У більшості випадків обладнання для обезпилення необхідне для відповідності діючим нормам. Зазвичай для цього встановлюють мішкові фільтри, але технічно також можна використовувати методи вологого обезпилення.

Для зниження температури відпрацьованих газів їх розбавляють навколишнім повітрям. Це досягається завдяки надходженню повітря через зазор між витяжкою печі та витяжною трубою у формі ліктя. Цей зазор завжди присутній, оскільки дає змогу корпусу печі мати можливість обертатися й нахилитися. Часто витяжна труба висувна. Загалом, розведення для скорочення викидів неприпустиме. Якщо для охолодження використовується (і є необхідним) розведення, система очищення в кінці виробничого циклу повинна мати правильні розміри для збільшення потоку газу. Іноді розведені відпрацьовані газу потім подаються через теплообмінник повітря-газу для подальшого охолодження. У такий спосіб температура газу знижується від початкових 1500°C до 200°C або нижче. При цій температурі газу можуть бути введені в мішковий фільтр для зневоднення.

Застосування збільшення тяги допомагає зменшити викиди органічного вуглецю та горючих частинок. Ця методика також може бути ефективною для зниження ризику утворення діоксину при охолодженні газів. Системи збільшення тяги встановлюються після печі та перед теплообмінником. Може використовуватися один із таких типів збільшення тяги:

- камера допалювання: згорання на відкритому вогні
- каталітичне допалювання: спалювання при нижчих температурах завдяки використанню каталізатора, що приводить до підвищення ефективності та зниження викидів NO_x
- рекуператійне допалювання: спалювання з рекуперацією тепла для попереднього нагрівання повітря для горіння, в результаті чого підвищується тепловий ККД та знижується витрата палива
- каталітичне рекуператійне допалювання: комбінація попередніх двох типів.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення викидів твердих часток із ротаційних печей.

Міжсередовищні ефекти

Очищення вихлопних газів збільшує споживання енергії. Обезпилення вихлопних газів утворює пил для утилізації або повторного використання.

Експлуатаційні дані

Дані щодо експлуатаційних викидів наведені в пункті 3.2.5.3.

Можна очікувати, що система збільшення тяги буде досягати від 80 % до 98 % ефективності для спалювання горючих частинок, що виділяються з ротаційної печі. Гарячі газу від системи збільшення тяги можуть надходити через рекуператор і можуть сприяти попередньому нагріванню повітря для горіння до основного пічного пальника. Рекуператори дають економію енергії до 15 %.

Застосування

Ця методика може використовуватися для всіх нових і наявних установок із ротаційною піччю, як у ливарних виробництвах із чорними, так і з кольоровими металами.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо викидів пилу від плавлення металів.

Приклади установок

Ця методика зазвичай застосовується в ливарних виробництвах з використанням ротаційної печі.

Довідкова література

[23, Бреттшнейдер та Веннебуш, 1992], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997],

4.5.6 Тигельна, подова печі та радіантно-конвекційна трубчаста піч зі стельовим екраном

4.5.6.1 Попередження видимих і неконтрольованих викидів під час плавлення та обробки металу

Опис

У нормальних робочих умовах у процесі плавлення з використанням розплавів чистого металу видимий дим не виділяється. Однак утворення видимого диму можливе під час завантаження печі. Це може відбуватися або через спалювання забруднювачів у шахті, таких як олія чи фарба, або через гасіння полум'я палика та випалення незгорілого палива, як це може бути у випадку з твердим чи рідким паливом. За цих обставин можна встановити збільшення тяги.

Також можна встановити витяжні ковпаки під дахом для вловлювання видимих димових і неконтрольованих викидів. Плавлення чистого брухту запобігає або мінімізує такі види викидів.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення викидів у повітря продуктів неповного згорання.

Міжсередовищні наслідки

Вловлювання диму передбачає використання електричної енергії.

Застосування

Ця методика застосовується для нових і наявних печей тигельного та подового типу.

Для впровадження необхідно враховувати будь-які обмеження внаслідок поточної конструкції та експлуатації печі. До них відносяться фізичні обмеження, наприклад через кранові колії, наявні конструктивні елементи будівлі або через саму піч. Для ефективності витяжний ковпак необхідно встановити так, щоб він рухався разом із тілом печі при нахилі до заливання, оскільки відкачування є однією з операцій із піковими викидами. Це не завжди легко досягти за допомогою наявних печей. Також можуть бути фізичні проблеми, пов'язані з розташуванням відповідних повітропроводів. У деяких випадках, щоб уможливити встановлення повітропровода, можуть знадобитися великі зміни платформи печі та прилеглої до неї ділянки.

Економічні дані

Компанія СТІ зробила оцінку витрат на екстремальний сценарій (найгірший випадок), тобто необхідність утримувати весь пил з моменту завантаження та заливання. Таблиця 4.45 узагальнює ці фінансові дані для «середнього ливарного виробництва» з витратами, що амортизуються протягом передбачуваного 10-річного строку експлуатації обладнання для вловлювання та скорочення відходів. Однак ця оцінка може бути різною, залежно від схеми лиття та методів, що використовуються.

Швидкість витягування, м ³ /хв	Продуктивність, т/год	Витрати, євро		Потужність, кВт	Витрати, євро/т розплавленого чавуну		
		Капітальні	Будівельно-монтажні		Робочі	Фінансові	Всього
142	0,5	117573	15676	40	15,24	18,81	34,05
	(1150 тонн на рік)						

Примітка:

- Будівельно-монтажні витрати приймаються на рівні 12 % від капітальних витрат
- Поточні витрати ґрунтуються на витратах на обслуговування та утилізацію відходів і еквівалентні 10 % капітальних витрат і потужності при 0,06 євро/кВт/год.
- Фінансові витрати ґрунтуються на амортизаційному періоді заводу в десять років із нарахуванням відсотків у розмірі 10 %

Таблиця 4.45: Кошторис витрат на встановлення скрубєрів для видимих випарів під час заряджання (подачі) та відведення [161, Британське агентство з навколишнього середовища, 2002]

У цьому прикладі, за використаних попередніх умов, витрати на зменшення цих видимих викидів становитимуть близько 34,05 євро на тунну розплавленого металу.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо появи видимих викидів.

Приклади установок

Ця методика зазвичай застосовується на ливарних виробництвах по всій Європі.

Довідкова література

[161, Британське агентство з навколишнього середовища, 2002]

4.5.7 Металообробка

4.5.7.1 Конвертерний агрегат AOD: захоплення та обробка вихлопних газів

Опис

Обладнання для контролю забруднення повинно бути розроблене так, щоб воно могло працювати з умовами пікових стоків, хоча пік може зберігатися лише порівняно короткий період.

Витяжні ковпаки для контролю парів посудів AOD мають різноманітні форми та розміри. Альтернативою прямому витяжному ковпаку є ковпак під дахом. Ковпаки під дахом використовуються в декількох установках AOD і ефективно захоплюють як технологічні дими AOD, так і дим від інших операцій, таких як завантаження та заливання. Ці ковпаки під дахом можуть використовуватися разом із штативами прискорювачів над гирлом AOD. Штатив прискорювачів виконує декілька корисних функцій, включно із формуванням узгодженішого шлейфу з AOD, зменшенням необхідного розміру ковпака, а також захистом навколишнього обладнання та персоналу від інтенсивного випромінювання полум'я AOD. Основна перевага витяжного ковпака під дахом – це захоплення (вловлювання) в одній витяжці як технологічних, так і неконтрольованих викидів.

Досягнуті переваги для довкілля

Захоплення димових газів дає змогу контролювати викачку та обробку потоку димових газів, а також приводить до мінімізації як вибухонебезпечних, так і контрольованих викидів.

Міжсередовищні наслідки

Очищення вихлопних газів збільшує споживання енергії. Обезпилення вихлопних газів утворює пил для утилізації або повторного використання.

Застосування

Ця методика застосовується до всіх нових і наявних установок AOD.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо викидів пилу від плавлення металів.

Приклади установок

Повідомляється про приклади установок в Італії та Фінляндії.

Довідкова література

[202, ТРГ (TWG), 2002]

4.5.7.2 Сфероїдизування: збір відпрацьованих газів та обезпилення

Опис

Тип збору вихлопних газів, який застосовується, залежить від методики, яка використовується для сфероїдизування (див. 2.4.12.4). Залежно від методики, значна кількість MgO може виділятися у вигляді білого диму. Властивості різних методів сфероїдизування наведені в таблиці 3.20. В цілому методи з більшою ефективністю поглинання приводять до зниження викидів. Це стосується процесу «у формі», коли сфероїдизування відбувається під час заливання.

Для сфероїдизування «в тиглі» ті методи, де використовується кришка або покриття, призводять до значного зменшення викидів.

Якщо не буде вловлено вуглекислий газ, це може призвести до заповнення плавильного цеху білим димом і випадання пилу MgO. Відкачування газів без фільтрації може призвести до видимого викиду з ливарного виробництва. Великий об'єм видимих часток може утворюватися за відносно короткий проміжок часу, але, як правило, тривалість його невелика (5-10 хвилин на кожну партію, що обробляється).

Сфероїдизування в тиглі може проводитися на певній підставці або в окремому місці у плавильному цеху. Тигель з розплавленим металом доводиться до цього пункту після заливання, але перед тим, як віднести його до ливарної печі або станції. Це дає змогу встановити нерухомих витяжний ковпак для вловлювання вихлопних газів.

Вловлюванню диму MgO перешкоджає той факт, що гази дуже гарячі, а також те, що інтенсивна реакція Mg викликає іскри. Через велику швидкість, спрямовану вгору, і температуру також доводиться витягувати велику кількість навколишнього повітря. Для цього потрібна установка великого розміру та високої вартості.

Суха фільтрація (з використанням мішкових фільтрів) відпрацьованих газів призводить до отримання порошку MgO, який може бути повторно використаний в пігментах або для виробництва вогнетривких матеріалів.

Досягнуті переваги для довкілля

Mg не чинить шкідливого впливу на навколишнє середовище і в малих концентраціях є важливою поживною речовиною для тварин і рослин. Граничне значення величини шкідливого виробничого чинника у Великій Британії дає граничне значення (8 годин, середня зважена за часом) 4 мг/м³ для пилу MgO та диму, що може вдихатися (вираженого як Mg).

Міжсередовищні наслідки

Захоплення диму оксиду магнію вимагає збільшення споживання енергії, а отже призводить до збільшення викидів від виробництва енергії. Зовнішнє повторне використання порошку MgO приводить до зменшення потреби в первинному матеріалі.

Експлуатаційні дані

Типова норма додавання магнію до розплаву становить близько 0,1 % від ваги розплаву, вимірюється як магній (фактичне додавання сплаву, що містить магній, наприклад феросиліцій магнію, може становити до 2 % від ваги розплаву відповідно до сплаву, що використовується).

Це додавання забезпечує близько 0,05 % магнію в розплаві, більшість залишків окислюється і виходить в атмосферу як MgO, де він досить швидко агломерується в повітрі. Там, де немає випару диму, дими можуть поширюватися через ливарню, і частина випаде у ливарні як пил. Немає точної інформації щодо цієї кількості, але розумний показник може становити 50 % випущеного диму. Отже на кожну тонну обробленого металу було б близько 500 г магнію, що виділяється в повітря в ковші як MgO (тобто 833 г MgO, що виділяється на тонну обробленого металу), і близько 400 г MgO, що виділяється у зовнішню атмосферу.

Застосування

Техніка захоплення та фільтрації вихлопів застосовується для ливарень із застосуванням методів сфероїдизування тигелів. Не було надано жодної інформації щодо можливості застосування для ливарної форми або дактилятора.

Економічні дані

При застосуванні цієї методики потужність витягування, яка необхідна для успішного вловлювання більшості викидів MgO з ковша для обробки, становитиме близько 280 м³/хв. Сукупні капітальні та будівельно-монтажні витрати на ливарне виробництво становитимуть близько 180000 євро.

У таблиці нижче наведені фінансові дані для «середнього ливарного виробництва» з амортизованими витратами протягом передбачуваного 10-річного строку експлуатації обладнання для збору та скорочення викидів.

Швидкість витягування, м ³ /хв	Продуктивність, т./год	Витрати, євро		Потужність, кВт	Витрати, євро/т розплавленого чавуну		
		Капітальні	Будівельно-монтажні		Робочі	Фінансові	Всього
280	0,5	180280	23514	50	21,95	29,35	51,30
	(1000 тонн на рік)						

Примітка:
Будівельно-монтажні витрати приймаються на рівні 15 % від капітальних витрат. Поточні витрати ґрунтуються на витратах на обслуговування та утилізацію відходів і еквівалентні 10 % капітальних витрат і потужності при 0,06 євро/кВт/год. Фінансові витрати ґрунтуються на амортизаційному періоді заводу в десять років із нарахуванням відсотків у розмірі 10 %

Таблиця 4.46: Розрахунок витрат на зменшення димових газів MgO [161, Британське агентство з навколишнього середовища, 2002]

Витрати на скорочення викидів диму оксиду магнію оцінюються приблизно в 51,30 євро за тонну обробленого металу.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо видимих викидів та заходи щодо якості атмосфери на робочому місці.

Приклади установок

- Römheld & Moelle – Майнц (D)
- Fuchosa – Атоксондо (E).

Довідкова література

[161, Британське агентство з навколишнього середовища, 2002], [110, Віто, 2001]

4.5.8 Виготовлення форми та стрижня

4.5.8.1 Відсмоктування пилу від підготовки сирої піщаної формувальної суміші (установка з приготування формувальної суміші) та обезпилення

Опис

Лише деякі з різних етапів підготовки сирої піщаної формувальної суміші спричиняють значне утворення пилу, а саме: вібраційний екран, стадії очищення та охолодження. Ці етапи оснащені обладнанням для захоплення та очищення пилу. Агрегати огорожені та підключені до централізованого блоку обезпилення. Встановлення системи обезпилення повинно враховувати точку конденсації відпрацьованого повітря і тип пилу.

Вихлопне повітря, отримане під час підготовки сирої піщаної формувальної суміші, насичується водою. Тому вологі системи (часто низького тиску) здаються найпридатнішими для захоплення вихлопних газів. Однак часто вологу систему замінюють варіантами для зменшення сухого пилу. Перевага останніх в тому, що частина пилу може рециркулювати, і не утворюється потоку стічних вод. Крім того, вологі системи схильні до внутрішньої корозії, накопичення пилу та продуктів окислення. Вологе розділення домішок повітря, що вловлюються, може призвести до проблем з очищенням стічних вод. Пил містить бентоніт, який важко утилізувати через його антиседиментаційні ефекти. [225, ТРГ (TWG), 2003]

Застосовуючи тканинні фільтри потрібно запобігати проблемам із конденсацією. Конденсація може спричинити осідання пилу, засмічення та/або розрив фільтра. Додавання охолоджувальної води до піску потрібно здійснювати контрольовано, щоб мінімізувати утворення пари. Точка конденсації повітряного потоку може бути збільшена при нагріванні газовими пальниками.

Одна з переваг полягає в тому, що зібраний пил сухий, і тому його можна легко транспортувати. Після розділення за розмірами груба фракція та частина дрібної фракції можуть бути рециркульовані в суміш піску.

Досягнуті переваги для довкілля
Зменшення викидів пилу в повітря.

Міжсередовищні наслідки

Використання вологих систем спричиняє появу потоку стічних вод – частини, яку потрібно обробити, і появу фракції мулу – частини, яку потрібно утилізувати. Деякі системи працюють, не утворюючи стічних вод. Шлам загущується і, якщо він містить достатню кількість бентоніту, повторно використовується в циклі формування піску.

Експлуатаційні дані

Використовуючи фільтрувальне тканинне обладнання можна досягти залишкової концентрації, що знаходиться значно нижче 10 мг пилу/нм³ у витяжному повітрі. Для вологих скрубберів ефективність дещо менша, що, як правило, приводить до рівня викидів 50-100 мг пилу/нм³, хоча повідомлялося також про нижчі значення (див. також таблицю 4.47)

Обладнання	Потік вихлопних газів (м ³ /год)	Методика скорочення	Рівень викидів (мг/м ³)
Підготовка піску 160 т/год.	64000	Вентурі	4
Підготовка піску 11 т/год.	48080	Вологий скруббер	7
Підготовка піску	57400	Мішковий фільтр	6
Блок вибивання	51070	Вологий скруббер	7
Блок вибивання	50000	Мішковий фільтр	2
Зачищення/шліфування	54000	Мішковий фільтр	5
Механічне травлення	17000	Мішковий фільтр	4

Таблиця 4.47: Значення викидів пилу від цехів формування та операцій після лиття [29, Батц, 1986]

Дані постійного моніторингу для великого автомобільного ливарного виробництва наведені у Додатку 2. Ці дані показують моніторинг пилу для підготовки піску, транспортування піску та механічного травлення.

Застосування

Ця методика може застосовуватися на нових і наявних заводах із підготовки сирової піщаної формувальної суміші.

Рушійна сила для впровадження

Регулювання викидів пилу.

Приклади установок

Знаходить загальне застосування по всій Європі.

Довідкова література

[29, Батц, 1986], [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [110, Віто, 2001], [225, TRG (TWG), 2003]

4.5.8.2 Відсмоктування пилу із зони формувального цеху, де використовується сира піщана формувальна суміш, та від обезпилення

4.5.8.3 Відсмоктування викидів від виготовлення ливарних стрижнів – загальні моменти

Тип речовин, що використовується для зв'язування та затвердіння, визначає тип викидів, що виникають. Вихлопний газ, що утворюється від виготовлення стрижнів із хімічними сполучними речовинами, складається переважно із суміші органічних розчинників. Викиди фенолу, формальдегіду або аміаку тощо значно менші та залежать від типу сполучної речовини. Змішування, механічне травлення та сушіння стрижнів в різній мірі можуть бути огорожені, залежно від викидів. Застосовуються різні методи, що стосуються зв'язуючих речовин, і про них ідеться в наступних пунктах. Викиди легкоого органічного вуглецю відбуваються з усіма хімічно зв'язаними типами піску, за винятком піщаних сумішей з рідким склом. Для зв'язуючих

речовин самостійної осадки та холодної осадки викиди при змішуванні низькі, за умови низького рівня використання смоли (1-2 % співвідношення смола : пісок). Викиди під час затвердіння, покриття та висихання можуть враховуватися для захоплення та обробки.

Після відновлення хімічно зв'язаного піску в барабані для вибивання відбувається утворення пилу. Охолодження та обезпилення піску, як правило, проводять у сухому агрегаті, оскільки немає проблем з конденсацією води. Рециркулювати пил неможливо. [110, Віто, 2001]

4.5.8.4 Холодний стрижневий ящик: захоплення парів аміна та обробка вихлопних газів

Опис

Під час обдування газом стрижнів холодного стрижневого ящика виробляються відпрацьовані гази, які потребують очищення перед викидом в атмосферу. З метою захисту робочої атмосфери піскострільні стрижневі машини закриваються, а стрижні обдуваються повітрям для видалення всіх залишків газу перед відкриттям машини, щоб витягнути щойно виготовлений стрижень.

Для забезпечення належних умов праці під час перевірки, транспортування та зберігання свіжовироблених стрижнів можуть бути встановлені системи захоплення вихлопних газів. Для цього, наприклад, за контрольним столом, над зоною транспортування та над зоною тимчасового зберігання (зона очікування для лотка з готовими стрижнями) встановлюються витяжні ковпаки під дахом або системи відкачування.

Відкачані чи вловлені пари аміна вимагають обробки, щоб запобігти неприємному запаху. Для цього може застосовуватися один із наступних методів:

- *Адсорбція на активованому вугіллі:* Цей процес є дуже ефективним, але експлуатаційні витрати є надмірними, тому він може бути здійсненим лише у тому випадку, якщо обсяг вловлювання невеликий
- *Горіння:* Щоб цей процес був ефективним, камера збільшення тяги повинна бути правильно спроектована, щоб забезпечити температуру не менше 800 °С, при мінімальному часі перебування у 2 секунди. Споживання енергії високе, і тому процес є дорогим для експлуатації. У ливарних виробництвах, що працюють із вагранками, для горіння у вагранку можуть подаватися відпрацьовані гази
- *Хімічне скрубєрне очищення:* Аміни – це сильні органічні основи, і вони реагують із сірчаною або фосфорною кислотою. Рівень рН розчину зазвичай контролюється на рівні нижче 3. Як наслідок, розчин для скрубєрного очищення час від часу замінюється для видалення концентрованих солей, які згодом потребують утилізації як небезпечні відходи. Розчин для скрубєрного очищення можна технічно обробити, щоб повернути амін для повторного використання. Це питання обговорюється в пункті 4.6.5
- *Біофільтр:* Див. пункт 4.5.8.6.

Взимку може знадобитися нагрівання відпрацьованого повітря з метою запобігання конденсації аміна всередині каналів. Це можна зробити за допомогою відпрацьованого тепла від компресорів або інших пристроїв, що знаходяться неподалік.

Досягнуті переваги для довкілля

Захоплення вихлопних газів допомагає зменшити викиди аміна та пов'язані із цим викиди запаху.

Міжсередовищні наслідки

При використанні кислотних скрубєрів амін поміщають в розчин для очищення, який потім потребує подальшої обробки. Однак відновлення аміна з розчину можливе. Про це йдеться в пункті 4.6.5.

Експлуатаційні дані

Який би метод обробки не застосовувався, викиди аміна можуть бути меншими ніж 5 мг/м³.

Дані щодо викидів для цеху із виготовлення стрижнів методом холодного стрижневого ящика із застосуванням кислотного скрубєра наведені в таблиці 4.48. Для скрубєра використовується 75 %-ний розчин ортофосфатної кислоти. При нормальних умовах роботи через скрубєрний розчин щодня скидається 15 кг аміна. Розчин насичують і зберігають у ємності для зовнішньої обробки або утилізації. Установка працює з потужністю 35,5 кВт та 2000 год/рік.

Сполуки	Рівень викидів, мг/м ³
Пил	0,42
Амін	2,4
Фенол	0,53
Кисень	21 %
Об'єм вихлопних газів	25100 м ³ /год.

Таблиця 4.48: Дані щодо викидів для цеху з виготовлення ливарних стрижнів із використанням холодного ящика, застосовуючи кислотний скруббер [29, Батц, 1986]

Застосування

Ця методика застосовується для всіх наявних і нових цехів із виготовлення стрижнів методом холодного стрижневого ящика.

Економічні дані

Експлуатаційні витрати на монтаж, згаданий у розділі «Експлуатаційні дані», становлять 6,3 євро за тонну.

Інвестиційна вартість для установки, що наводиться як приклад і використовує вологий скруббер, наведена в таблиці 4.49.

Природа елемента	Значення
Вихлопний потік повітря	30000 м ³ /год
Концентрація аміна в неочищеному колошниковому газі	150 мг аміна/нм ³
Концентрація аміна в неочищеному газі	<1 мг аміна/нм ³
Електричне живлення	45 кВт
Інвестиційні витрати	187000 євро

Таблиця 4.49: Специфікація та інвестиційні витрати для амінного скрубера на вихлопних газах цеху з виготовлення стрижнів із використанням холодного ящика Дані щодо Португалії, 2003 рік

Рушійна сила для впровадження

Забезпечення здоров'я працівників та запобігання викидам запаху.

Приклади установок

Ця методика зазвичай застосовується ливарними виробництвами, що застосовують зв'язуючі речовини для холодного стрижневого ящика.

Довідкова література

[29, Батц, 1986], [32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997], [15, Гвясда, 1984]

4.5.8.5 VOC-збирання та усунення

Опис

Викиди VOC (переважно розчинники, ВТЕХ і, меншою мірою, фенол, формальдегід та ін.) є результатом хімічно зв'язаного піску, а також виникають далі в процесі виливання, охолодження та вибивання (див. таблицю 3.35 та таблицю 3.45). Ці сполуки шкідливі та створюють викиди запаху.

Зменшенню VOC перешкоджає той факт, що системи збору (наприклад навісні витяжні ковпаки), що використовуються, залучають великі обсяги атмосферного повітря.

Для видалення VOC застосовуються такі методи:

- адсорбція активованим вугіллям
- допалювання
- біофільтр.

Для адсорбції активованим вугіллям вихлопний газ протікає через вуглецевий шар. Після насичення вугілля термічно відновлюється. Активоване вугілля має дуже високу ефективність адсорбції (та зниження рівня). Для бензолу ефективність становить >99 %. Утім, у метода є такі недоліки:

- великі обсяги димових газів потребують великих кількостей активованого вугілля
- пил і аерозолі потрібно відфільтрувати з відпрацьованих газів перед адсорбцією вугіллям. Оскільки дуже дрібні пилові частки проявляють тенденцію до прилипання, фільтрування можливе лише за допомогою методів вологого обезпилення, і в такий спосіб створюється потік стічних вод.

Для успішної експлуатації допалювання для усунення VOC з відпрацьованих газів необхідно використовувати вказані мінімальні концентрації. Ці граничні значення є індивідуальними для сполук і залежать від обраної методики. Допалювання можливе для вихлопних газів, що утворюються від формування в оболонці. Як правило, вихлопний газ з ливарного цеху не має достатньо високих рівнів VOC для допалювання. Однією з альтернатив допалювання є використання відпрацьованого повітря зі стрижневої повітродувки як повітря, необхідного для допалювання у випадку вагранки.

Використання біофільтрів детально обговорюється в пункті 4.5.8.6.

Досягнуті переваги для довкілля
Скорочення викидів VOC у повітря.

Міжсередовищні наслідки

Енергія витрачається на збір потоку відпрацьованого газу, що також може спричинити залучення великих обсягів атмосферного повітря.

Рушійна сила для впровадження
Законодавство про викиди VOC.

Довідкова література
[20, Гапп, 1998], [110, Віто, 2001]

4.5.8.6 Очищення вихлопних газів з використанням біофільтру

Опис

Біофільтрація заснована на здатності мікробів, що живуть у волокнисто-торф'яному фільтрувальному шарі, окислювати шкідливі гази та перетворювати їх у сполуки без запаху. Газ, що підлягає очищенню, витягується вентилятором через шар вологого фільтруючого матеріалу, виходячи з верхньої сторони вже без запаху. Запахні речовини адсорбуються у водній фазі та розкладаються мікроорганізмами, що живуть на фільтрувальному матеріалі. Хороша продуктивність фільтра залежить від балансу між запасом поживних речовин (розчинів для зменшення/розкладання) та кількістю мікроорганізмів.

На ливарних підприємствах застосовують біофільтри для видалення неприємних пахучих газів, які складаються здебільшого з амінів, що надходять від газу з процесу виготовлення стрижнів методом холодного стрижневого ящику, і для видалення VOC (наприклад бензолу) з відпрацьованих вихлопних газів.

Критичними параметрами для хорошого функціонування біофільтра є:

- *Проникність фільтруючого шару:* Гази повинні стікати через шар, що добре контактує з матеріалом фільтруючого шару. Надлишок тонкого матеріалу у фільтрувальному шарі може спричинити засмічення, накопичення тиску та видудання матеріалу шару
- *Змочування фільтруючої середовища:* Для постійного або періодичного змочування матеріалу шару може бути встановлена вододисперсна система
- *Кондиціонування вихлопних газів:* Вихідні гази потрібно зволожувати перед входом у фільтр. Для оптимальної роботи необхідно підтримувати постійну температуру (30°C). Для цього може знадобитися попереднє нагрівання відпрацьованих газів

- *Адекватне очищення води:* Біофільтр виробляє залишкову воду, що містить фенол та крезол. Вона очищується в системі стічних вод перед утилізацією чи повторною циркуляцією. Рециркуляція потребує додаткового етапу видалення солі.

Впровадження технології біофільтра в німецькій ливарні вимагало тривалого періоду оптимізації, поки вона не змогла функціонувати задовільно. Було встановлено, що важливими вважаються такі характеристики:

- закриття шарів біофільтра кришкою, щоб уникнути проблем CO та конденсату по всій довжині установки. Відфільтроване повітря викачується через централізований димохід
- ретельний контроль якості води (наприклад на вміст солі), особливо при застосуванні системи, що не виробляє стічних вод
- додавання поживних солей до спринцовальної води для підтримки активності шару
- контроль значення рН матеріалу шару і додавання вапна для підтримки нейтрального значення рН.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення викидів неприємних речовин, аміна та/або VOC зі стрижневих та ливарних цехів. Елімінація бензолу та інших VOC відбувається в біофільтрах, але не може вважатися надійною. Ефективність значно відрізняється залежно від широкого спектру факторів, таких як погодні умови, вік субстратів тощо. Тому використання біофільтрів само собою не є належною методикою зменшення VOC. Основне їх призначення полягає у зменшенні запаху.

Міжсередовищні наслідки

Біофільтр створює потік стічних вод. Він може бути внутрішньо рециркульований після обробки, даючи шламовий осад для утилізації.

Під час передачі відпрацьованого газу на фільтр і через нього, а також на обладнання, що знаходиться поруч, споживається енергія.

Повідомлялося, що викиди N₂O, парникового газу, можуть бути проблемою.

Експлуатаційні дані

Дані пілотної шкали для вилучення аміна були надані Фінляндією. Агрегат біофільтра (діаметр 0,8 м, висота 1 м) було встановлено в лінії відхідного газу виробництва стрижнів, після кислотного скрубера. Обладнання включало вентилятор і агрегат для відливу, за допомогою якого вологість блоку біофільтрації була налаштована до оптимального рівня. Видалення запаху вимірювали за допомогою ольфактометра. Результати щодо запаху та загального вмісту вуглеводнів наведені в таблиці 4.50. Варіанти вхідного аналізу зумовлені різницею процесів. Результати показують, що фільтрація приводить до значного зменшення запаху і вуглеводнів.

Сполуки	Одиниці вимірювання	Перед біофільтром	Після біофільтра
Запах	OU/м ³	410 - 3000	150 - 310
Всього вуглеводнів	мг С/м ³	20 - 35	5 - 10

OU = одиниці вимірювання запаху

Таблиця 4.50: Експлуатаційні дані для біофільтрації відпрацьованих газів холодного стрижневого ящика [112, Салмінен і салмі, 1999]

Дані промислового масштабу щодо видалення VOC надала Німеччина. Для очищення відпрацьованих вихлопних газів від заливання та охолодження в ливарні, що працює із чавуном та сировою піщаною формувальною сумішшю, а також використовує лиття з формами на фенолформальдегідному зв'язуванні та методи холодного стрижневого ящика, встановлено біофільтр (характеристики: поверхня 300 м², висота 1 м, у 5 прямокутних пластах, загальною пропускною здатністю 32330 нм³/год сухого газу). Дані про викиди наведено в таблиці 4.5.1. Ольфактометричні вимірювання показали середнє зменшення викидів запаху на 94,5 %.

Параметр	Одиниці	Перед біофільтром	Після біофільтра	Зменшення %
O ₂	%	20,74		
CO ₂	%	0,17		
NO _x	мг/м ³	3,65		
CO	мг/м ³	382	299	21,7
Бензол	мг/м ³	15,80	1,44	90,9
Толуол	мг/м ³	9,37	0,92	90,1
Етилбензол	мг/м ³	3,00	0,46	84,7
Ксилол	мг/м ³	4,90	1,54	68,6
Формальдегід	мг/м ³	0,37	0,01	68,6
Пил	мг/м ³	13,63	2,03	85,1
Аміак	мг/м ³	8,97	0,16	98,2
Фенол	мг/м ³	4,67	<0,02	>99,6
Крезол	мг/м ³	3,73	<0,02	>99,5
Поліхлоровані дибензодіоксини та фурані	нг/м ³	0,0056	0,0041	26,8
Бензо(а)пірен	мг/м ³	0,0001	0,00003	70,0

Таблиця 4.51: Дані щодо викидів для біофільтрації вихлопних газів від наливання сирової формувальної суміші та лінії охолодження [20, Гапп, 1998]

Застосування

Ця техніка знаходить своє застосування в ливарних виробництвах, що працюють із сировою піщаною формувальною сумішшю, та цехах для виготовлення стрижнів методом холодного стрижневого ящика. Можливість застосування обмежується великосерійними ливарнями, що працюють у 3 зміни, оскільки біофільтри потребують дуже стабільних умов протягом року. Слід зазначити, що у кожному відомому випадку застосування для досягнення прийнятних показників потрібні великі індивідуальні зусилля в галузі досліджень та розробок.

Економічні дані

Інвестиційні витрати на агрегат біофільтра на прикладі Німеччини (характеристики: поверхня 300 м², висота 1 м, у 5 прямокутних пластах, загальна пропускна здатність сухого газу 32330 нм³/год), включаючи блок очищення води, що дає змогу працювати без виробництва стічних вод, оцінено в 3 247 000 євро. Сюди входить 2 333 000 євро для фільтра й оточуючого обладнання та 914 000 євро для захоплення вихлопів та каналізації. При проєктному навантаженні 40 000 нм³/год експлуатаційні витрати оцінюються в 170 000 євро/рік (витрати на основі дойчмарок за 1998 рік).

Ці кошторисні експлуатаційні витрати набагато вищі, ніж загальновизначені інвестиційні та експлуатаційні витрати для агрегатів біофільтрів. Це може бути пов'язане з великою пропускною здатністю та масштабом оточуючого обладнання. У документі 1998 року вартість біофільтру з відкритим шаром, що обробляє 17 000 нм³/год., оцінювалася у 70 000 – 100 000 доларів США у вигляді початкових інвестицій та 15 000 – 25 000 доларів США на щорічні експлуатаційні витрати на воду та робочу силу, а також накладні витрати.

Рушійна сила для впровадження

Зменшення неприємних наслідків (здебільшого запаху) на сусідніх місцях.

Приклади установок

Halberg Guss, Саарбрюккен-Бребах (D)

Довідкова література

[20, Гапп, 1998], [112, Салминен та Салмі, 1999], [202, ТРГ (TWG), 2002], [208, Девінні, 1998]

4.5.8.7 Виготовлення коків (багаторазових форм): збір викидів від вивільняючого агента

Опис

Розпилення вивільняючого агента на водній основі на матриці для лиття під тиском утворює туман з низькою концентрацією продуктів розпаду. Туман збирають за допомогою витяжного ковпака під дахом і електростатичного осаджувача.

Досягнуті переваги для довкілля

Зниження викиду вивільняючого агента, що містить органічні сполуки. Запобігання дифузним викидам.

Міжсередовищні наслідки

Захоплення та збирання туману вимагає споживання енергії.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані із заводу, який є прикладом, наведені в таблиці 4.52. Дані стосуються речовини, що змішується з водою (коефіцієнт розведення 1:40) на основі синтетичного полімеру та полісилоксану. Кожна машина для лиття під тиском оснащена окремим витяжним ковпаком та електростатичним осаджувачем. Гаряче й очищене повітря подається назад до зали (тобто для рекуперації тепла).

Сполуки	Значення вимірювань, які проводились щопівгодини (мг/м ³)	Маса – витрата (г/год)
Пил	1,5 - 4,3	5,5
Органічні речовини (значення у формі загального вмісту вуглецю) (мг/м ³)	4 - 6	9

Таблиця 4.52: Дані щодо викидів від відпрацьованих газів HPDC, очищених EP [202, TRG (TWG), 2002]

Застосування

Ця методика застосовується до наявних установок. Це захід, що застосовується в кінці труби, у тих випадках, коли не вдалося досягти запобігання або мінімізації туману. Заходи щодо запобігання та мінімізації обговорюються у пункті 4.3.5.1.

Рушійна сила для впровадження

Мінімізація дифузних викидів і законодавство щодо викидів масляного туману (наприклад у Швеції).

Приклади установок

Базовий (зразковий) завод: TCG Unitech, Кірхдорф/Кремс (А)

Загальна практика для старіших установок для лиття під тиском (D, F, B, ...) та для всіх установок для лиття під тиском в Італії.

Довідкова література

[202, TRG (TWG), 2002], [225, TRG (TWG), 2003]

4.5.9 Лиття/охолодження/вибивання

4.5.9.1 Вступ

Викиди під час виливання, охолодження та вибивання різноманітні та різняться за якістю й кількістю від одної ливарні до іншої. Зазвичай утворюються пилові викиди, а також неорганічні та органічні газоподібні сполуки. Здебільшого це продукти реакції, викликані високою температурою та відновленням атмосфери при заливанні та охолодженні. Склад заливних випарів складний. Вони складаються переважно з CO, CO₂, H₂ та метану як основних варіацій продуктів органічного розпаду. Залежно від складу формувальної та стрижневої системи трапляються поліциклічні ароматичні вуглеводні та бензол.

На цих стадіях захоплення та обробка відпрацьованих газів цих стадій, як правило, можливі для автоматизованих установок для лиття та виливання. [29, Батц, 1986]

Відносні викиди (у форматі кг/т розплавленого металу) збільшуються за послідовністю виливання-охолодження-вибивання. Ці зусилля щодо захоплення вихлопних газів необхідно взяти до уваги.

4.5.9.2 Капсуляція ліній для заливання та охолодження

Опис

Збір викидів під час виливання, охолодження та вибивання, як правило, є більшим, оскільки завод стає більшим.

Чим більше можна обмежити процес заливання певною нерухомою ділянкою або положенням, тим меншою буде кількість повітря, що вловлюється, і тим легше буде захоплювати викиди вентиляторами і кожухами, а отже, обробку повітря можна проводити ефективніше.

При серійному заливанні викиди збільшуються зі збільшенням виробничих потужностей. Без належного витягування повітря на заводі рівні концентрації шкідливих речовин можуть в якийсь момент стати неприйнятними. Щоб зменшити забруднення в робочій зоні, вентилятори витяжки або поверхні витяжки встановлюються якомога ближче до форм, але без перешкодження процесу заливання. Елементи витяжної системи розміщені так, що всі викиди, що виникають під час заливання, відразу переміщуються з робочої зони до витяжного обладнання. Швидкість повітря на поперечному перерізі вільного витягу підтримується на рівні від 0,5 до 1 м/с.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення дифузних викидів CO, PAH та інших продуктів органічного розпаду.

Міжсередовищні наслідки

Витягування відпрацьованого повітря споживає електричну енергію.

Застосування

Ця методика може застосовуватися на нових і наявних установках, де використовується серійне заливання та охолодження.

Рушійна сила для впровадження

Скорочення дифузних викидів. Збір викидів з метою очищення.

Приклади установок

Метод зазвичай застосовується на великосерійних ливарних виробництвах.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997]

4.5.9.3 Захоплення вихлопних газів та обробка від вибивання

Опис

Техніка, яка використовується для збору викидів від вибивання, залежить від ступеня механізації, викидів, що підлягають витягу, та діапазону розміру виливків, зокрема найменшого та найбільшого виливків, що відливаються на одній і тій самій машині.

Серед систем зменшення викидів, що використовується найчастіше, слід зазначити розміщення панелі вентилятора збоку від пристрою для вибивання. Зазвичай панелі встановлюються з обох боків пристрою для вибивання, незалежно від розміру пристрою для вибивання. Якщо можливо, задня частина пристрою для вибивання огорожується так само. Часто під пристроєм для вибивання у скриньці для формувальної суміші розміщено точку для витягування, яка працює через виступаючу трубу. Це створює ризик витягування піску, якщо скринька (стрижневий ящик) наповнена піском до труби. Крім того, входу до труби часто перешкоджають грудочки піску або прилипання пари та пилу.

Найкращий спосіб досягти хороших рівнів викидів при відносно невеликих коефіцієнтах вентиляції – це коли вибивання проводиться в закритих блоках. Отвори на даху, які можуть мати рухомий екран, із дверцятами та жолобами входу/виходу дають змогу використовувати кран або інший транспортний засіб. Крім того, закриті кабіни знижують рівень шуму.

На заводах з автоматичним формуванням пакет із прес-формою для лиття під тиском часто випресовують із опоки гідравлічним підіймачем із вмонтованою пресуючою пластиною. Після цього виливок відокремлюється від піску спочатку на зажимі-пристрої для вибивання, а потім передається на ротаційний барабан чи трубу або на охолоджувач піску. Витяжні барабани або трубні барабани, які зараз все частіше використовуються, набагато більше підходять для збору викидів, ніж звичайні пристрої для вибивання, але в них є недолік можливих викидів запаху.

Кількість повітря, що витягується, визначається не тільки необхідними граничними значеннями на робочому місці, а й технологічними вимогами. Для охолодження та захисту фільтрувальних мішків можуть знадобитися великі обсяги повітря. Це необхідно збалансувати у відповідності до вимог щодо будь-яких методів зменшення забруднення, які, щоб бути ефективними, як правило, потребують високозарядних відпрацьованих газів із невеликими потоками повітря.

Відповідними прийомами обезводнення є циклони, поєднані з вологими скруберами або сухими фільтрами. Також використовуються біофільтри, що обговорюються в пункті 4.5.8.6.

Для гравітаційного лиття та відцентрового лиття застосовують допалювання, хімічну промивку та адсорбцію активованим вугіллям для зменшення органічних викидів та запаху. Ці системи вже були описані вище.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення викидів VOC та пилу в повітря.

Міжсередовищні наслідки

Збір пилу утворює залишки для утилізації.

Експлуатаційні дані

За допомогою окремо розміщених витяжних пристроїв для вибивання шириною до 2 м у випадку одностороннього вентиляційного екрану на кожен м² поверхні пристрою для вибивання витягується від 7000 до 9000 нм³/год повітря. При двосторонньому екрані встановлено 5000 нм³/год на м² поверхні пристрою для вибивання.

Якщо точка витягування знаходиться під пристроєм для вибивання у скриньці для формувальної суміші, то кількість повітря, що витягується на м² поверхні пристрою для вибивання, розраховано на приблизно 700 нм³/год.

У польській ливарні, що наведена як приклад, де виготовляють виливки великого розміру з чавуну над решіткою для вибивання було сконструйовано знімний кожух. Кожух складається з двох дверей, що рухаються з боку в бік, відкриваються та закриваються гідравлічно, як це показано на рисунку 4.17. Покриття зменшує викиди пилу та шуму в ливарну залу. Вихлоп очищується за допомогою сухого обезпилення. Рівень шуму для вибивання був знижений зі 100 дБА до нижче 85 дБА.



Рис. 4.17: Кожух для решітки для вибивання, для виливків із великих партій [209, Metalodlew s.a., 2003]

Застосування

На заводах, де проводиться вибивання глиняних піщаних форм, викид пари є значним. Поєднання пилу і пари може призвести до появи величезних перешкод в каналізаційних трубах, якщо температура опуститься нижче точки конденсації або ще гірше, нижче температури замерзання. Щоб подолати цю проблему, в повітроводи потрібно вводити гаряче повітря, тоді як трубопроводи та корпус фільтра повинні бути ізольовані, або вода (без пилу) повинна бути розпорошена в труби вентилятора, щоб запобігти появі цих перешкод.

Економічні дані

Як зазначено вище, на польській ливарні, наведеній як приклад, інвестиційна вартість для кожуху становила 220 000 євро, включаючи деяке додаткове обладнання.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі норми щодо викидів VOC та пилу.

Приклади установок

Metalodlew s.a., Краків (PL)

Довідкова література

[16, Гербер та Гвасда, 1981], [32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997], [209, Metalodlew s.a., 2003]

4.5.9.4 Очищення відпрацьованого газу з використанням біофільтру

Опис

Біофільтри використовуються для очищення викидів VOC та бензолу і тому використовуються для очищення відпрацьованих газів від виливання, охолодження та вибивання. Повний опис та обговорення цієї методики наведено в пункті 4.5.8.6.

Приклади установок

Кілька прикладів у Німеччині.

Довідкова література

[225, TRG (TWG), 2003]

4.5.10 Оздоблення/операції після лиття: збір та обробка відходів

4.5.10.1 Завершення збору відпрацьованих газів

Опис

Значну кількість диму необхідно вловити та витягнути при використанні методів терморозриву. Робоча зона може бути максимально закритою, але при цьому має бути забезпечена свобода пересування та допомога в подачі повітря для його вдихання працівником. Методи збирання пилу при абразивному різанні та зачищенні/шліфуванні розрізняють за використанням стаціонарних і ручних машин. Жорсткі витяжні ковпаки часто використовуються на стаціонарних машинах, частково у зв'язку з некомплектними корпусами.

Для стаціонарних шліфувальних верстатів жорстко обмежений абразивний струмінь переходить у витяжну воронку і витягується. У випадку з абразивними станціями відсікання в інтересах здоров'я та безпеки працівника доцільно додатково відсмоктувати викиди з кабіни. Викиди в ручних машинах час від часу витягуються через пластинчастий захисний витяжний ковпак. Це ефективний, але непопулярний метод, оскільки він збільшує вагу машини і погіршує її керованість. Машини для ручного шліфування та відсікання зазвичай розміщуються в кабінах (тобто в некомплектних/часткових корпусах).

Збір пилу відбувається через витяжні стіни, дахові куполи, рухомі витяжки або автоматизовані витяжні робочі місця. При збиранні викидів ефективно допомагає повітряно-теплова завіса, яка направляє додаткове повітря в кабінку. З метою економії теплової енергії може додатково використовуватися очищене рециркульоване повітря, що відсмоктується. Однак слід зазначити, що все одно завжди треба бути надавати порцію свіжого повітря ззовні.

Для пиляння, простукування, пресування, вирізання (чеканки), штампування та фрезерування збір пилу чи забруднювачів у більшості випадків не потрібен. Екрани іноді можуть використовуватися для захисту оператора від жорстких часток. Зварювання поділяється на процеси з додатковими матеріалами та без них. Для більшості процесів існують правила охорони праці щодо операцій, які потребують витяжки.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення дифузних викидів металевих часток і пилу.

Міжсередовищні наслідки

Збір та витяг відпрацьованого газу із вмістом пилу споживає енергію.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані наведено в пункті 3.11, вони засвідчують, що викиди від різання, вогневого зачищення та зварювання (без очищення відпрацьованих газів) низькі порівняно з футеровкою та механічним травленням.

Застосування

Як зазначено в таблиці 4.53, деякі методи обробки не утворюють пилу, отже не потребують системи збору відпрацьованих газів.

	Дахова вентиляція	Куполоподібний дах	Жорсткий втяжний ковпак	Регульований втяжний ковпак	Корпус
Абразивне різання			х	х	х
Горіння	х	х	х	х	х
Вирізання (чеканка), пробивання отворів	Збір відпрацьованих газів рідко необхідний				
Футеровка		х	х	х	х
Фрезерування	Не потрібно збирати відпрацьований газ				
Простукування, пресування	Не потрібно збирати відпрацьований газ				
Розпилювання	Не потрібно збирати відпрацьований газ				
Зсувне шліфування (зачищення)	х	х	х	х	х
Механічне травлення					х
Штампування	Не потрібно збирати відпрацьований газ				
Зварювання	х		х	х	х

Таблиця 4.53: Сфера застосування технології із захоплення пилу для різних операцій з оздоблення [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [225, ТРГ (TWG), 2003]

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі норми щодо викидів пилу та охорони праці.

Приклади установок

Методика застосовується в переважній більшості європейських ливарень.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997]

4.5.10.2 Техніка очищення повітря з вихлопними газами

Опис

- *Механічне травлення*: Механічне травлення утворює багато пилу. Захоплення вихлопних газів є безпроблемним через повне закриття процесу механічного травлення в закритій кабіні. Звичайні процеси знезараження відпрацьованого повітря – це вологе миття та сухі фільтри, як правило, з циклоном у якості попереднього фільтру
- *Зсувне шліфування, обробка в барабані*: Обидва процеси не вимагають скорочення викидів у нормальних умовах. Аерозолями, які можуть утворюватися в барабанах, що швидко рухаються, можна знехтувати
- *Різка*: Усі процеси теплового поділу генерують викиди. Захоплення вихлопів досягається за допомогою закриття робочого місця та проведення інтенсивного витягування диму, що виникає. Важливо розмістити елементи вловлювання якомога ближче до джерела викидів, але не перешкоджаючи робочому процесу. У деяких випадках доречно та вигідно поєднати мобільний рукав для прямого витягування та додаткове витягування в кабіні. Ретельно розташувавши елементи системи витягування, заповнене пилом повітря можна відвести від зони, де дихає працівник. Звичайні процеси знезараження відпрацьованого повітря – це вологе миття та сухі фільтри. Слід зазначити, що системи створені для менших розмірів зерен викидів (парів). Інерційні сепаратори сили застосовуються як попередні роздільники
- *Абразивне різання*: Виконується витягування у стаціонарних абразивних ріжучих установках. Звичайні процеси знезараження витяжного повітря – циклони, вологе миття та сухі фільтри
- *Розпилювання, простукування, пресування*: Ці процеси обробки викликають мало викидів і в нормальних умовах не вимагають заходів щодо їхнього зменшення
- *Вирізання (чеканка), пробивання отворів*: У цих процесах зазвичай утворюються грубі частки, які важко видалити шляхом витягування. З приводу безпеки, робота здебільшого проводиться в кабінах. В особливих випадках, наприклад при видаленні обпаленого піску, пил, що утворився, може бути витягнутий витяжним рукавом. Вихлопне повітря знезаражується в циклонах, у вологому митті та сухих фільтрах

- *Шліфування*: Вловлювання викидів при шліфуванні на стаціонарних верстатах відбувається аналогічно, як і при абразивному різанні, тобто через нерухомі воронки, в які спрямований абразивний струмінь. Закрите робоче місце використовується для ручного шліфування й абразивного різання. Потім витяжні стінки можна застосувати в корпусі. Процесами знезараження повітря є циклони, вологе миття та сухі фільтри
- *Штампування, фрезерування*: Ці процеси викликають мало викидів і в нормальних умовах не вимагають заходів щодо їхнього зменшення
- *Зварювання*: Відповідно до типу обраного способу зварювання виникає більше або менше викидів, які, як правило, найкраще збирати витяжними рукавами. Для очищення витяжного повітря використовуються вологе миття та сухі фільтри, а іноді й електростатичні фільтри.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення викидів пилу.

Міжсередовищні наслідки

Витягнення та очищення відпрацьованого газу, заповненого пилом, споживає енергію.

Експлуатаційні дані

Вологі скрубери і тканинні фільтри були встановлені та успішно функціонують протягом багатьох років. Без сумніву можна використовувати футеровочні кабінки з високоефективними пристроями для затримки пилу, оскільки вихід з них чистіший, ніж звичайне прохолодне повітря цеху футеровки. Вони також допомагають покращити умови на робочому місці.

Експлуатаційні дані наведено в пункті 3.11, вони засвідчують, що викиди від різання, вогневого зачищення та зварювання (без очищення відпрацьованих газів) низькі порівняно з футеровкою та механічним травленням.

Використовуючи тканинне фільтрувальне обладнання можна досягти рівнів викидів нижче 10 мг пилу/нм³. За допомогою вологої системи видалення пилу можна досягти рівня викидів нижче 20 мг пилу/нм³.

Застосування

Ці методи можна застосовувати в нових і наявних ливарнях. Як правило, ливарні кольорової металургії не використовують інтенсивних (пилоутворюючих) оздоблювальних операцій.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі норми щодо викидів пилу та охорони праці.

Приклади установок

Методика застосовується в переважній більшості європейських ливарень.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997], [180, Асофонд, 2002]

4.5.11 Збір та очищення відпрацьованих газів від термічної обробки

4.5.11.1 Використання чистих палив у печах термічної обробки з пальником

Опис

Основним інтегральним процесом для зменшення викидів у печах термічної обробки з пальниками є використання чистого палива, тобто природного газу або палива з низьким вмістом сірки.

Крім того, автоматизована робота печі дає змогу ретельно контролювати режим роботи та температуру і мінімізувати надмірне споживання енергії.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення забруднюючих речовин на основі горіння, таких як CO, SO₂, NO_x.

Міжсередовищні наслідки

Жодних міжсередовищних наслідків немає.

Експлуатаційні дані

На ливарні з Польщі, яку наведено у якості прикладу, до 1998 року термічну обробку проводили у 3 вугільних газових печах із пальниками, що контролювались вручну. Вугільний газ надходив безпосередньо з коксової печі та був різної якості (наприклад, вміст СО до 15 %). Це призвело до високих викидів та ризику інтоксикації разом із поганим контролем температурного профілю.

У 1998 році 2 з 3-х печей були оснащені пальниками природного газу з комп'ютерним управлінням. Крім того, було поновлено облицювання печі. Ці зміни в роботі привели до наступних результатів:

- автоматизоване управління температурним профілем
- зменшення споживання газу (обсягу) на 40 %
- зниження собівартості завдяки використанню дешевшого природного газу
- зменшення викидів SO₂, NO_x, СО та запашних речовин (див. таблицю 4.54).

Сполуки	Коксові пічні газові пальники		Пальники з природним газом	
	Концентрація (г/нм ³)	Викиди (кг/год)	Концентрація (г/нм ³)	Викиди (кг/год)
СО	0,006	0,074	0,000	0,000
SO ₂	0,011	0,136	0,003	0,064
NO _x	0,016	0,197	0,004	0,085
Запашні речовини	0,001	0,012	0,00025	0,0054

Таблиця 4.54: Рівні викидів від нагрівальної печі до та після переходу на систему пальників із природним газом

Застосування

Цю методику можна застосовувати до печей термічної обробки на пальниках.

Рушійна сила для впровадження

Регулювання викидів SO₂, NO_x, СО.

Приклади установок

Metalodlew, Краків (PL)

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997]

4.5.11.2 Гартівна піч-ванна

Опис

В даному випадку захоплення та скорочення викидів по суті передбачає захоплення диму в гартівних печах-ваннах, особливо у масляних гартівних печах-ваннах. Використовуються вентиляція на даху, витяжні куполи та крайові витяжки. Тут виникають подібні труднощі, як і з решітками для вибивання. Ванни повинні часто завантажуватися краном, тому витяжні ковпаки потрібно встановлювати високо над підлогою залу.

Для цих елементів загалом не широко та не часто застосовуються системи скорочення викидів, але якщо проводиться якесь скорочення викидів, то зазвичай застосовуються електростатичні фільтри.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення дифузних викидів масляних туманів.

Міжсередовищні наслідки

Витягування вихлопних газів споживає енергію.

Застосування

Методи, що застосовуються для різних типів ванн, охарактеризовано у таблиці 4.55.

	Дахова вентиляція	Куполоподібний дах	Купол, жорсткий	Купол, регульований	Крайова витяжка
Вода	х				
Емульсія	х	х	х	х	х
Гартувальна олива	х	х	х	х	х
Примітка: х : застосовується					

Таблиця 4.55: Сфери застосування технологій збору диму для гартівних печей-ванн [32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997]

Крайові витяжки ефективні лише до певного розміру і втрачають свою ефективність майже повністю в момент найвищих викидів, тобто коли гарячий елемент занурений у ванну. Незважаючи на це, крайове витягування є найчутливішим варіантом вловлювання, адже використовує великі ванни в поєднанні зі струменевим покривом та куполом на даху.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі норми щодо викидів та гігієни праці.

Приклади установок

Ця методика використовується на кількох ливарнях по території Європи.

Довідкова література

[32, Комітет асоціації європейських ливарень, 1997]

4.6 Попередження появи та обробка стічних вод

4.6.1 Заходи щодо запобігання утворенню стічних вод

Опис

Нижчезказані заходи приводять до помітного скорочення стічних вод:

- *Використання систем сухого обезпилення:* Для більшості потоків вихлопних газів можна використовувати сухі системи обезпилення. Однак у виняткових випадках може знадобитися використовувати вологий скруббер для видалення залізовмісних ультрадисперсних фракцій пилу. Застосування сухих і вологих методів очищення вихлопів обговорюється в пункті 4.5
- *Біологічні скрубери для відпрацьованого газу або компостні фільтри:* Використання біологічного скрубера для відпрацьованих газів можна розглянути, якщо гази, які підлягають обробці, містять речовини, що легко розкладаються, такі як феноли тощо. Біологічні скрубери генерують менше стічних вод, ніж звичайні вологі очищувачі, оскільки біологічно очищені стічні води можуть частіше рециркулюватися.
Примітка: Компостні фільтри (біофільтри) не утворюють стічних вод, хоча компостний матеріал повинен бути достатньо вологим. Техніка біофільтрації обговорюється в пункті 4.5.8.6
- *Внутрішня рециркуляція технологічної води:* Велика рециркуляція скруберної води вимагає використання очисних споруд. До них відносяться відстійники, можливо, з інтегрованою стадією флокуляції, а також обладнання для фільтрації. Залежно від процесу може знадобитися охолодження. Втрати випаровування та надходження речовин від очищення газу призводять до накопичення солі у воді, що циркулює. Залежно від концентрації солі та відповідних граничних значень скиду (у разі непрямого скиду) воду, що циркулює, можливо, доведеться відводити. Випаровування цих стічних вод та використання конденсату для компенсації втрат від випаровування може бути економічно вигідним

- *Багаторазове використання очищених стічних вод:* Необхідно враховувати багаторазове використання очищених стічних вод, наприклад використання технологічної води для підготовки піску в циклі формування піску або грануляції шлаку. Також можна розглянути використання охолоджувальної води у вологому скруберному очищенні
- *Використання відпрацьованого тепла для випаровування стічних вод:* Цю методику можна застосовувати лише тоді, коли відпрацьоване тепло доступне постійно. Для оцінки можливості його застосування та економічної життєздатності необхідна оцінка конкретних випадків
- *Запобігання стічним водам від зберігання брухту:* Утворенню стічних вод зі сховища забрудненого брухту можна запобігти, перекиваючи дахом зону зберігання. Вода, що стікає, збирається як незабруднена дощова вода. Усі методи зберігання обговорюються в пункті 4.1
- *Уникнення утворення АОХ у стічних водах:* Ретельний підбір видів брухту може запобігти поглинанню у виробничому циклі хлорованих сполук. Корисним є проведення аналізу сполук АОХ до придбання брухту. АОХ також може міститися в допоміжних засобах, що використовуються для очищення стічних вод, наприклад у соляній кислоті комерційного класу, хлориді заліза або хлориді алюмінію
- *Відокремлення різних типів води:* Різні потоки води з різними рівнями забруднювачів відокремлюються один від одного, щоб мінімізувати потребу в очищенні стічних вод та оптимізувати використання води.

Досягнуті переваги для довкілля

Запобігання виробництву стічних вод.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки можуть застосовуватися залежно від обраної методики. Інформація наведена у зазначених розділах.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані наведено в описі прикладу установки в пункті 4.6.3.

Система стічних вод на прикладі ливарного виробництва алюмінію складається з 4 окремих потоків:

- поверхневий стік: приєднується до центрального каналу дощової води через масляний сепаратор (2xNG80) та до річки, що знаходиться поблизу
- використана вода = технологічна вода (відкриті охолоджуючі ванни) та санітарна вода: проходить через місцевий відкритий канал в комунальний канал, а потім до міського комунального підприємства з водовідведення (каналізації)
- охолоджуюча вода: спочатку вона поступає із сусідньої річки, через піщаний фільтр, і проходить через установку в замкнутому контурі охолодження перколяції, а потім назад у річку, при цьому її температура обмежується 28°C. Вода на даху також потрапляє в контур охолодження води
- вода зі скруберів відпрацьованих газів (сира піщана формувальна суміш, після відливання): частково випаровується, так що установку залишає лише шлам, що залишився.

Застосування

Цю методику можна застосовувати до всіх нових і наявних установок.

Економічні дані

Економічні дані наведено в зазначених розділах щодо альтернативних методик та в частині «Приклади установок» у пункті 4.6.3.

Рушійна сила для впровадження

Мінімізація виробництва стічних вод.

Приклади установок

Honsel, Мешед (D)

Довідкова література

[195, UBA, 2003]

4.6.2 Обробка очисних вод та інших стічних вод

Опис

Для очищення пічного газу сухі фільтраційні системи усувають потенційні потоки стічних вод, однак у системі вологого очищення немає необхідності у водному скиді, якщо будуть вжиті відповідні заходи для очищення води та її рециркуляції. Поки тверді речовини видаляються до рівня, прийняттого для скрубєрного очищаючого пристрою, розчинні сполуки, зазвичай, можуть спокійно досягати насичення без будь-яких несприятливих наслідків. Існує безліч методів або їх комбінацій, за допомогою яких можна було б адекватно розділяти тверді речовини.

Застосовуються наступні методи обробки:

- осідання
- осадження гідроксиду
- багатоступеневе осадження
- вологе окислення
- процедури фільтрації.

Стічні води можуть містити нерозчинені та розчинені важкі метали, феноли та ціаніди. Обробку слід адаптувати до типу забруднюючих речовин.

Нерозчинені важкі метали повинні бути видалені зі стічних вод фізичними методами (осадження, фільтрація, та, можливо, флотація). За допомогою цих методів можна досягнути концентрації на рівні значно нижче 0,5 мг/л.

Розчинені важкі метали спочатку повинні бути перетворені в малорозчинні сполуки за допомогою відповідних осадників. Особливо міцні основи (вапняне молоко, розчин каустичної соди, сода) використовуються як осаджувачі для гідроксидного осадження. Якщо цього недостатньо, слід проводити сульфідне осадження з органічними сульфідами або лужними сульфідами.

Феноли та ціаніди можуть бути біологічно деградовані або видалені за допомогою фізико-хімічної обробки. Зазвичай вони присутні в настільки низьких концентраціях, що немає необхідності в цільовій попередній обробці. Цілком достатньо комбінованого очищення на досить великій біологічній очисній станції.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення навантаження забруднюючих речовин у стічних водах.

Міжсередовищні наслідки

Обробка стічних вод утворює фракцію мулу для утилізації.

Експлуатаційні дані

Стічні води з ливарень, додатково до заліза, переважно містять цинк. Гідроксидне осадження в діапазоні рН від 8,5 до 11 може знизити концентрацію цинку до значень нижче 2 мг/л. Слід дотримуватися саме цього діапазону рН, оскільки при рН, що перевищує цей діапазон, амфотерний цинк повторно розчиняється у вигляді цинкатів.

На рисунку 4.18 як приклад показана комбінована реакція кондиціонування та осадження неочищеного мулу з вологих скрубєрів купольних печей. Після вилучення із системи очищення вологих скрубєрів шлам відбирається на окремій стадії очищення за допомогою їдкового вапна. Це приводить до збільшення значення рН та осадження важких металів. В цей момент також адсорбуються органічні забруднювачі. Потім шлам зневоднюється в камерному фільтр-пресі. Після вимірювання помутніння фільтрат передається у накопичувальний бак, який включає моніторинг рН та провідність. Залежно від його стану та фактичних потреб фільтрат повертається в силосний шлам, направляється на грануляцію шлаку або відправляється для зволоження сухого пилу через вирівнювальні резервуари, або скидається для зливу як надлишок (на комунальні водоочисні споруди відповідно до встановлених вимог щодо скидання).

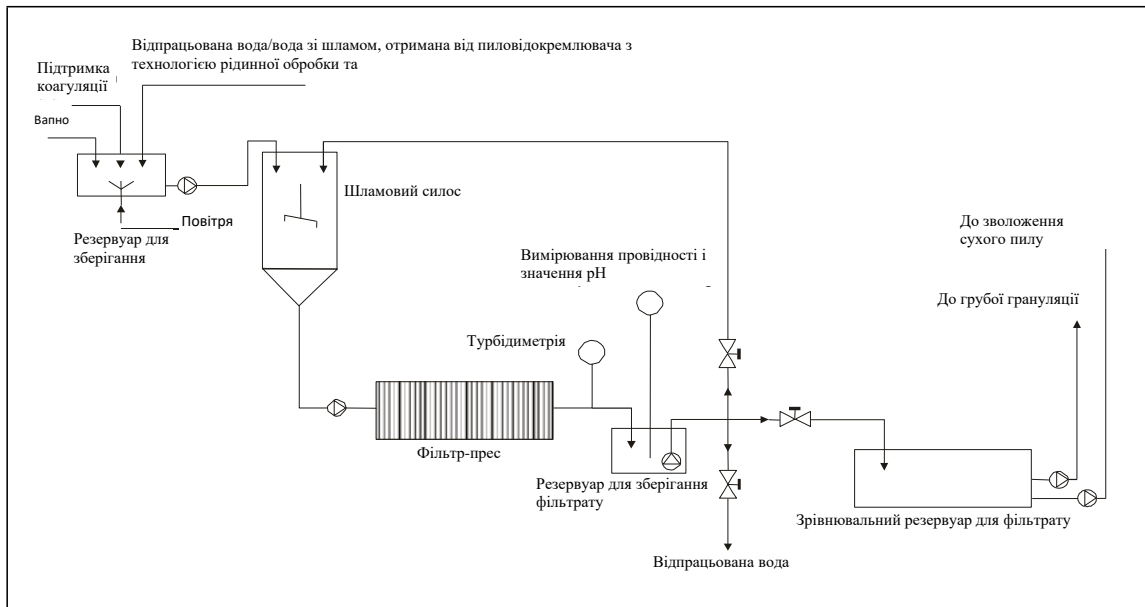


Рис. 4.18: Обробка стічних вод і рідких викидів із системи вологого обезпилення вагранки [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

Додаткові експлуатаційні дані наведені в описі прикладу установки в пункті 4.6.3.

Застосування

Тип застосовуваної обробки стічних вод необхідно обирати на основі складу стічних вод і місцевих умов для стоку води з установки до водоприймачника.

Економічні дані

Економічні дані наведені в описі прикладу установки в пункті 4.6.3.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо викидів забруднюючих речовин у воду.

Приклади установок

Див. пункт 4.6.3

Довідкова література

[195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003], [160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

4.6.3 Приклад установки для запобігання та зменшення кількості стічних вод

Опис

На німецькому заводі виробляються деталі з чавуну (сірий чавун і чавун з вермикулярним графітом) і лиття алюмінію під тиском.

Виконуються наступні операції:

- *Плавлення*: газові плавильні печі та установка очищення відпрацьованих газів (сухий фільтр)
- *Виробництво литих деталей*: автоматичні ливарно-штампувальні камери для лиття алюмінію під тиском
- *Лиття в піщані форми*: виробництво спеціальних сплавів
- *Чавунне лиття* (основне виробництво): для основного виробництва використовуються процеси криогенного блока і способи виготовлення оболонкових форм із суміші піску і термореактивних фенольних смол. Очистні концентрати утворюються при очищенні амінів
- *Чавунне лиття* (плавлення): плавильний цех складається зі змішувальної установки, вагранки з гарячим дуттям, декількох електричних печей, конвертера і міксерів.
- *Чавунне лиття* (лиття): використання одноразових форм з бентонітового піску.

Дані про виробництво і споживання води наведені в таблиці 4.56.

Виробництво	
Чавунні виливки, всього	46710 т
Виливки з кольорових металів, всього	2355 т
Споживання води	
Питна вода (водопровідна вода)	59630 м ³
Поверхневі/підземні води	64998 м ³

Таблиця 4.56: Дані про виробництво та споживання води (щорічні), на прикладі ливарного виробництва [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

Вологі скрубери застосовуються у випадках, де утворюються великі обсяги відпрацьованого газу, що містить відносно високі концентрації органічних речовин (відпрацьований газ, що утворюється при виробництві стрижнів), або коли виникають високі температури відпрацьованих газів (гази з вагранки з гарячим дуттям).

Схематичне зображення циркуляції води в системі вологого обезпилення вагранки наведено на рисунку 4.19. Відпрацьований газ із вагранки екстрагується і подається в циклонний сепаратор і скрубер із трубами Вентурі для обезпилення. Подальше видалення газоподібних забруднювачів досягається в скрубері з насадкою. Стічні води зі скрубера Вентурі попередньо очищаються в сепараторі важких середовищ, а потім направляються до відстійника для вторинного очищення. Рідина з насадок подається безпосередньо до відстійника. Шлам з відстійника можна періодично перекачувати в сепаратор важких середовищ. Шлам із сепаратора важких середовищ перекачується на скребковий конвеєр, агломерується при додаванні флокулянтів і подається в резервуар для зберігання. Звідти шлам надходить в шламовий силос і потім твердне в змішувальній установці шляхом додавання сухого пилу.

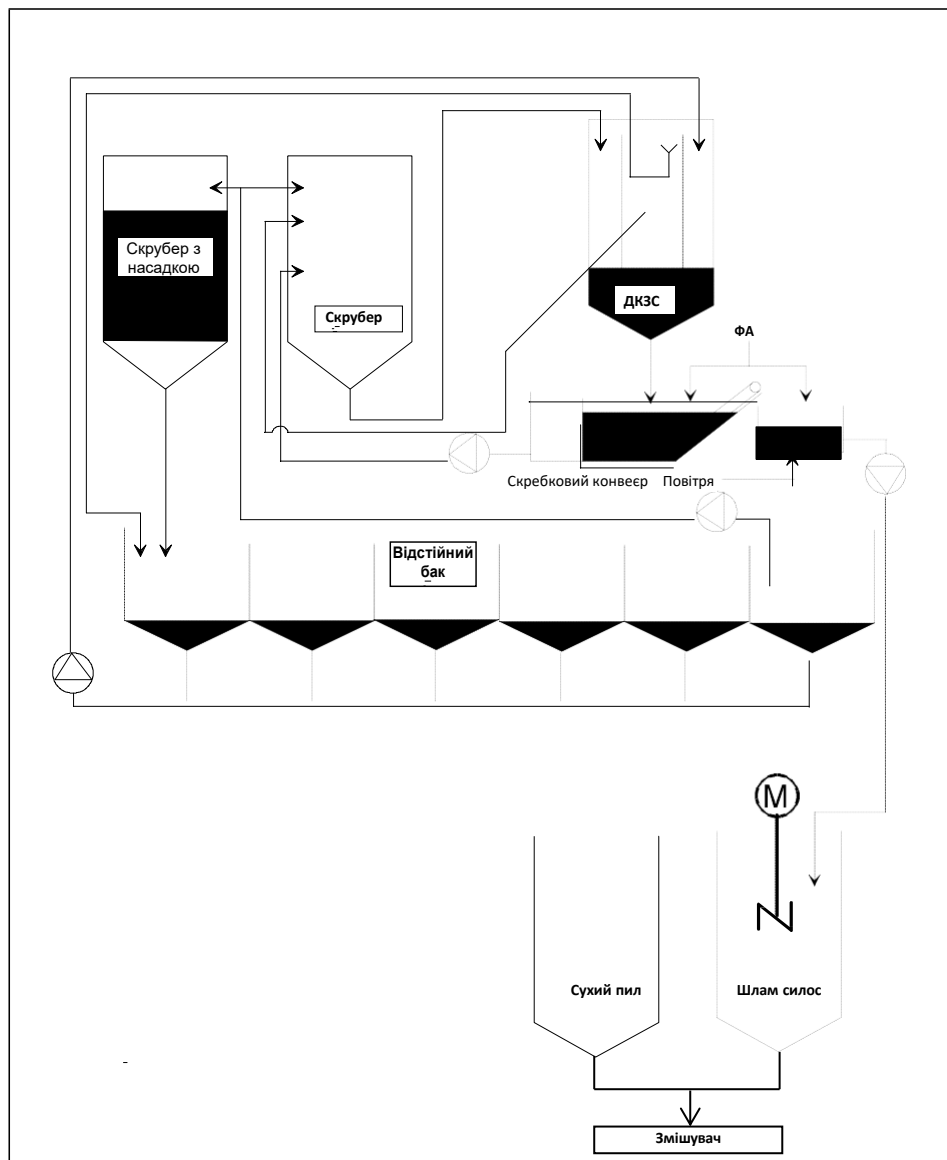


Рис. 4.19 Цикл використання води для системи вологого обезпилення вагранки DSSS: двокорпусний занурювальний сепаратор; ФА: флокулянт, М: мотор [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

Працюючи згідно з цієї базовою схемою на заводі зіткнулися з деякими експлуатаційними проблемами через накопичення солі та низьку якість кінцевої води. Було впроваджено зміни з метою:

- збільшення швидкості осадження завдяки використанню інших флокулянтів
- зниження вмісту забруднюючих речовин в очисному середовищі
- ефективнішого зневоднення шламу
- повторного використання очисного середовища з циклу очищення газу.

Для цього були встановлені камерний фільтр-прес об'ємом 2 м³ і резервуар для збору шламу (об'ємом 30 м³) зі змішувачем. Шлам був переданий зі скребкового конвеєра безпосередньо в резервуар для зберігання і оброблений вапном.

В ході експериментальної фази, яка тривала кілька місяців, було встановлено, що для досягнення найкращого результату з точки зору зневоднення і видалення важких металів потрібно приблизно 25 кг вапна на партію. Середній вміст сухої речовини становив 70 %. Аналіз фільтрату на важкі метали показав значення в діапазоні меж виявлення. Однак відносно високі концентрації сульфату, які становлять близько 1 г/л, створюють проблему для повторного використання фільтрату в циклі очищення.

В ролі практичної альтернативи до методів обробки шламу додатково включено інші сполуки, як показано на рис. 4.20. Суміші «вода/тверді речовини» з вологого очищення були попередньо кондиціоновані шляхом додавання флокулянта, а отриманий шлам подавали в змішувальний резервуар за допомогою скребкового апарата. Вапно додається в змішувальний резервуар в тій кількості, яка була попередньо визначена за допомогою випробувань, а шлам надходить в шламовий бункер за допомогою насоса (насос P1 на рис. 4.20). Насос P2 подає його на фільтр-прес.

Фільтрат пропускається через вимірювач каламутності в резервуар-сховище, в якому контролюється рН і провідність. Є три варіанти, куди він може звідти потрапити:

- через зрівняльний резервуар для гранулювання шлаку або зволоження сухого пилу
- назад в силос для шламу (якщо перевищено межу каламутності)
- на стоки (тільки аварійні заходи).

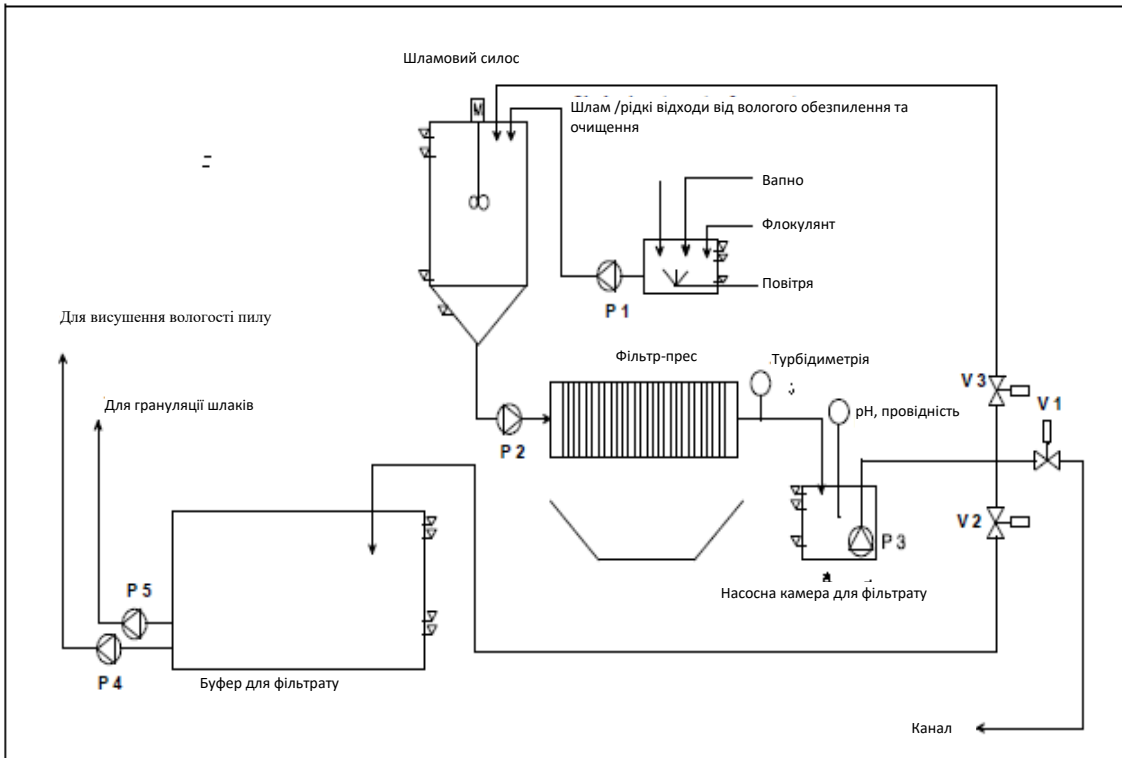


Рис. 4.20: Система обробки рідких викидів від вологого обезпилення відпрацьованих газів вагранки [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

Економічні дані

Економічні дані про розширення системи обробки рідких викидів наведені в таблиці 4.57.

До розширення		Після розширення	
Утворені рідкі викиди із вмістом сухої речовини 30 %	2000 т/рік	Утворені рідкі викиди із вмістом сухої речовини 70 %	850 т/рік
Сухий пил для затвердіння рідких викидів	1100 т/рік	Сухий пил для затвердіння рідких викидів	0 т/рік
Ціна розміщення відходів	100 євро/т	Ціна розміщення відходів	100 євро/т
Вартість утилізації відходів на рік	310 000 євро		85000 євро

Таблиця 4.57: Вартість утилізації відходів у випадку доповнення системи стічних вод елементами обробки мулу [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

Шлам із вмістом сухої речовини 70 % не потребує подальшої стабілізації перед утилізацією. Вологий шлам потребує затвердіння з використанням сухого пилу. Економія на витратах утилізації становить 310 000 євро – 85 000 євро = 225 000 євро. Це можна порівняти з інвестиційними витратами на доповнення до системи на загальну суму 175 000 євро і додатковими річними експлуатаційними витратами в розмірі близько 50 000 євро. В такий спосіб загальна економія витрат становить 175 000 євро на рік, окупність 1 рік. Розрахунок не включає економію коштів від повторного використання фільтрату.

Приклади установок

Sach Giesserei GmbH, Кітцинген (Німеччина).

Довідкова література

[195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

4.6.4 Перехоплювачі мастил

Опис

Стоки з усіх відкритих зон, але особливо із зон зберігання сировини, містять тверді частки, які можна видалити за допомогою осадження або іншими методами. В дренажних зонах використовуються перехоплювачі мастил. Дренажні відстійники проєктують достатніх розмірів для обробки дощової води та протидії будь-якій штормовій хвилі, щоб запобігти винесенню невідстояного матеріалу.

Перехоплювачі мастил використовуються на стічних водах від ливарних цехів безперервного лиття. Гідравлічні системи автоматів для лиття під тиском можуть потенційно пропускати мастила. Система збору води спроектована так, що будь-яке мастило з витоків збирається і отриманий потік стічних вод обробляється з використанням перехоплювача мастил.

Досягнуті переваги для довкілля

Запобігання забрудненню води.

Міжсередовищні наслідки

Перехоплення мастил створює відділенню залишку для утилізації.

Застосування

Дана методика застосовується на нових та наявних ливарних виробництвах з литтям під тиском (кокілі) і до всіх інших ливарних виробництв, де стічні води стікають безпосередньо у поверхневі води.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо викидів забруднюючих речовин у воду.

Приклади установок

Honsel, м. Мешедє (Німеччина).

Довідкова література

[160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

4.6.5 Відновлення аміна зі скрубєрної води

Опис

При кислотній промивці відпрацьованого газу холодного ящика утворюється сульфат аміна (див. пункт 4.5.8.4). Цей амін можна отримати шляхом нейтралізації гідроксидом натрію з подальшою перегонкою.

Як зображено на рисунку 4.21, сіль, яка утворюється з третинного аміна (наприклад, DMEA, DMA і TEA (TEA)) в кислотному скрубєрі, і очищувальна кислота (наприклад, сірчана кислота) ретрансформується шляхом реакції з сильною основою (наприклад, розчином їдкового натрію), в результаті чого утворюється вільний амін і, наприклад, сульфат натрію. Амін виділяється із водяною парою, а потім очищається і концентрується в направляючій колонці до такої міри, що допомагає використовувати його повторно. Розчин сульфату натрію (разом із забрудненим промивним розчином) може бути відновлений або утилізований.

Якщо амін не переробляється, очищувальні концентрати можна обробляти на водоочисній станції біологічних відходів з видаленням азоту.

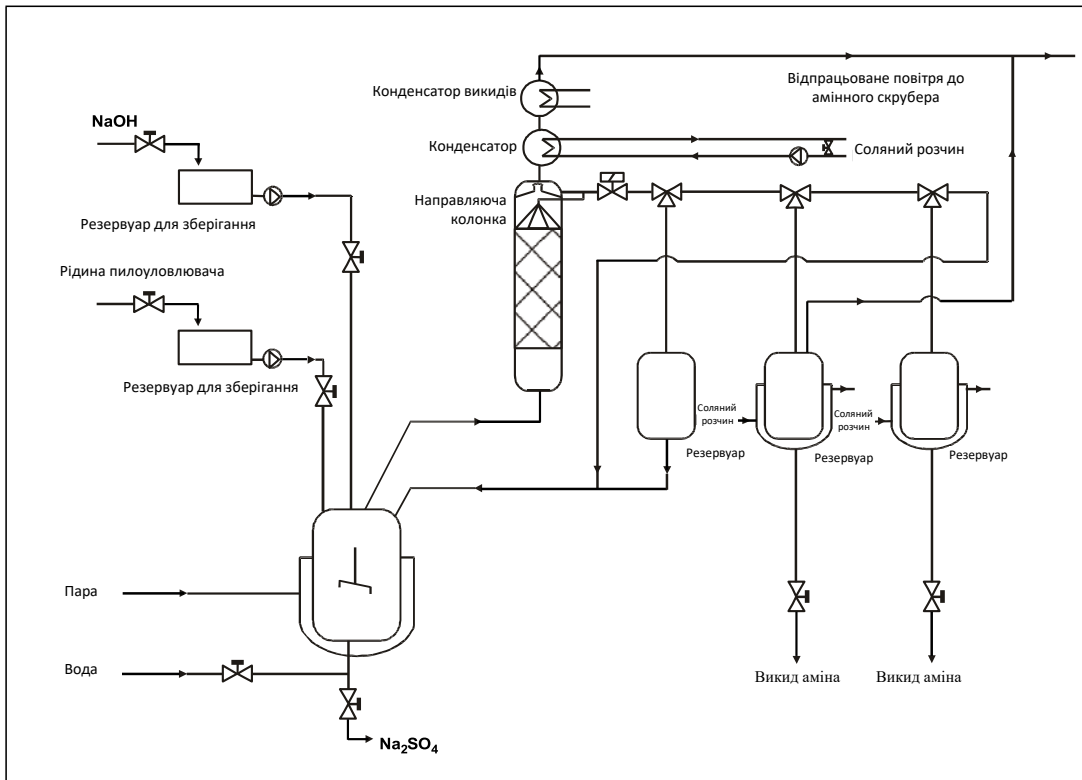


Рис. 4.21: Установа з амінопереробки [195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

Досягнуті переваги для довкілля

Відновлення хімічної сполуки, яка може бути використано повторно.

Міжсередовищні наслідки

Якщо операція виконується на централізованій установці, вона включає транспортування рідини скрубера до блоку обробки.

Застосування

Дану методику можна застосовувати до всіх аміновмісних відходів із вихлопів стрижневої машини. Реалізація обмежена економічними чинниками (наприклад, транспортними витратами), оскільки необхідно мати достатню кількість рідини для очищення аміна. Загалом обробку застосовують централізовано, обробляючи стічні води кількох ливарних заводів. Оскільки операція має небезпеку вибуху, слід вжити будь-яких необхідних заходів для запобігання ризикам появи вибуху.

Рушійна сила для впровадження

Відновлення хімічних сполук. Витрати на утилізацію промислових відходів.

Приклади установок

- Централізовані переробні установки Voerde (Німеччина)
- Централізована установка для групи автомобільних ливарних заводів: Пуату (Франція).

Довідкова література

[195, Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA), 2003]

4.6.6 Зниження кількості гліколів в потоках стічних вод під час лиття

Опис

В гідравлічних системах для лиття під тиском використовуються водно-гліколеві суміші, такі як гідравлічна рідина. Витоки в гідравлічній системі та, як наслідок, транспортування витікаючої рідини у систему води можуть призвести до наявності гліколів у стічних водах ливарного виробництва. Видалення гліколів неможливе з використанням методів фільтрації або флотації.

Застосовними методами обробки є:

- дистиляція або вакуумне випаровування
- біологічний розпад.

Очищена стічна вода може бути повторно використана як розчинник для вивільняючого агента.

Досягнуті переваги для довкілля

Зниження рівня забруднення води.

Міжсередовищні наслідки

При очищенні стічних вод утворюється шламовий осад, який необхідно утилізувати.

Експлуатаційні дані

На бельгійському ливарному заводі технологічна вода обробляється в вакуумній паровій установці (продуктивність 3 м³/день). В установку надходять три джерела: надлишковий вивільняючий агент (збирається під установками лиття під високим тиском), рідина для витоку гідравлічної рідини з автоматів лиття (вода + гліколь) і вода, очищена Е-фільтром. Вакуумне випаровування призводить до утворення осаду і відходів. Стоки мають високу ХПК і низьку твердість (лужність). Це робить його придатним для повторного використання в ролі розчинника для вивільняючого агента.

Застосування

Цей метод можна застосовувати до всіх нових та наявних ливарних цехів.

Рушійна сила для впровадження

Законодавчі обмеження щодо викидів забруднюючих речовин у воду

Приклади установок

Metaalgieterij Giessen, м. Гобокен (Бельгія): ливарний цех алюмінієвих сплавів із використанням лиття під високим тиском і лиття в постійні форми (кокілі).

Довідкова література

[202, TRG (TWG), 2002]

4.7 Енергоефективність

4.7.1 Вступ

Плавлення металу і витримувannya металу в розплавленому стані зазвичай займають значну частину енергоспоживання ливарного виробництва. У багатьох ливарних цехах для витримувannya металу в розплавленому стані використовується більше енергії, ніж в реальному процесі плавлення. Крім того, значна частина енергії витрачається в зонах, відмінних від зон подачі металу. Наприклад, ливарні заводи зазвичай є великими споживачами стисненого повітря. Іншими великими споживачами енергії, ймовірно, будуть машини для лиття під високим тиском, гідравлічні агрегати яких також зазвичай приводяться в дію електрикою. В установках для приготування формувальної суміші та установках кокільного лиття можуть використовуватися процеси гарячого виготовлення литих стрижнів, такі як насадний або гарячий стрижневий ящик, з використанням газу або електрики для нагрівання ящиків. Нагрівання форми, футеровок ковшів і печей може становити значну частку усієї використовуваної енергії. Типовий відносний розподіл використання енергії в двох типах ливарного виробництва наведено в таблиці 4.58. [64, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1997]

Операція	Лиття кольорових металів (%)	Ливарне виробництво з EAF (10000 т виливків/рік) (%)
Плавлення	30	44
Витримування	30	
Пуск установки	15	
Стиснення повітря	14	10
Нагрівання інструмента	3	
Термічна обробка (газ)		7
Інше *	8	39
(*)Включає всі види операцій та дій, для яких не вказані значення в цьому ж стовпці		

Таблиця 4.58: Типові показники використання енергії на ливарних виробництва кольорових металів та сталі з EAF [64, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1997], [202, TRG (TWG), 2002]

Згідно з цими даними ливарні операції (тобто все, крім плавлення і витримування) відповідальні за споживання половини енергії ливарним виробництвом. Це включає в себе діяльність з використанням таких елементів, як двигуни і приводи, стиснене повітря, освітлення, опалення приміщень і котельня. Заходи з підвищення енергоефективності повинні стосуватися як плавлення, так і сфери послуг. [46, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995]

Енергоефективна робота досягається завдяки застосуванню заходів належної практики щодо зменшення використання енергії на всіх згаданих етапах. Підвищення енергоефективності є однією з основних переваг для навколишнього середовища, згаданих в обговореннях методів в цьому розділі. У наступних пунктах розглядаються конкретні методи, спрямовані на регенерацію і передачу тепла іншим цехам ливарного заводу.

4.7.2 Індукційна піч: утилізація відпрацьованого тепла

Опис

Значна частина електричної енергії, яка подається в індукційну плавильну піч, перетворюється у відпрацьоване тепло. Близько 20-30 % всієї енергії, що надходить на установку, розсіюється через систему охолодження. Контур охолодження печі не тільки справляється з електричними втратами в індукційному соленоїді, але також захищає соленоїд від тепла, що проходить через футеровку печі, від гарячого металу в тиглі. В деяких установках, тепло в системі охолодження печі використовується для опалення приміщень, нагрівання води для оприскування, а також для сушіння сировини.

- *Сушіння сировини:* якщо металеві матеріали завантажуються в дзеркало розплавленого металу в індукційно-плавильній печі, присутність води в скрапі може бути дуже небезпечною. Хоча скрап може зберігатися в закритому місці на ливарному заводі, цілком можливо, що він може бути отриманим вологим при доставці дилером. Тепло, присутнє у воді для охолодження печі, може бути вилучено в повітряно-водяному теплообміннику, а вентилятор може використовуватися для подачі нагрітого повітря до піддонів на складі бункерів. Схематичне розташування такої установки показано на рисунку 4.22.

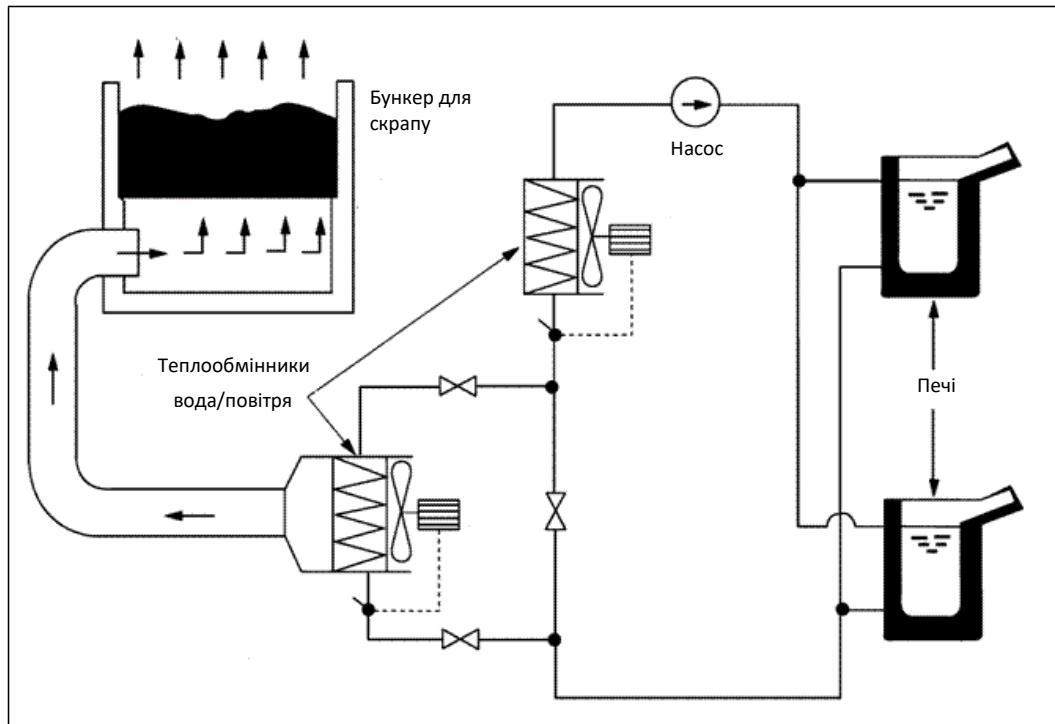


Рис. 4.22: Використання відпрацьованого тепла для сушіння скрапу [47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992]

- *Опалення приміщення та гаряче водопостачання*: система, аналогічна розглянутій вище, може використовуватися для подачі гарячого повітря в ливарний цех для опалення приміщення. В ролі альтернативи теплообмін вода-вода використовується для нагріву водяного контуру для радіаторів або для гарячого водопостачання.

Оскільки температура охолоджуючої води в негерметичній системі, як правило, навряд чи перевищить 60-70 °С, для ефективної передачі тепла радіаторам знадобиться дуже велика площа поверхні. В ролі альтернативи, температура води може бути підвищена за допомогою будь-якого іншого джерела тепла, такого як додаткові газові або масляні лампи або електричний нагрівач. Може знадобитися альтернатива системі опалення, коли печі не працюють; наприклад, рано-вранці, щоб підняти температуру робочих зон до належного рівня.

Звичайні холодильні установки повинні працювати в літній період і в інший час, коли опалювальні установки не відводять достатню кількість тепла з системи охолодження печі. Важливо забезпечити цілісність системи охолодження печі. Вся установка повинна бути надійною і забезпечувати постійну цілісність печей. Також вода, що повертається в печі, не повинна бути дуже холодною (тобто не нижче 30 °С). Мають бути передбачені аварійні датчики температури і встановлений аварійний обхідний трубопровід з легкодоступними клапанами ручного управління, щоб гарантувати, що об'єкти регенерації тепла можуть бути швидко ізольовані від первинного контуру охолодження в разі будь-яких проблем.

Досягнуті переваги для довкілля

Підвищена енергоефективність.

Міжсередовищні наслідки

Про міжсередовищні наслідки не повідомлялося.

Експлуатаційні дані

Система регенерації тепла з використанням охолоджуючого мастила індукційних печей була встановлена на ливарному заводі в Бельгії. Ливарний цех експлуатує дві індукційні печі в дуплексній комплектації з вагранкою.

Індуктори електричних печей охолоджуються термомастилами. Термальне мастило нагрівається до 200-300 °С і втрачає тепло над зовнішнім масляно-повітряним теплообмінником. Перед установкою системи регенерації тепла в повітря було відведено 1 МВт тепла. Була встановлена альтернативна система використання відпрацьованого тепла для опалення приміщень. Нагріте повітря вводиться в основний цех. Це дає змогу регенерувати 1/3 розсіяного тепла і замінює оригінальну газову систему опалення. Реалізація була можлива при низьких витратах, тому що масляно-повітряний теплообмінник встановлений поряд з основним цехом. Опалення приміщень в інших частинах ливарного цеху може бути розглянуто пізніше, але для цього буде потрібно більше труб (і, отже, це потягне за собою додаткові втрати)

Застосування

Перш ніж застосувати регенерацію тепла, необхідно виконати ряд критеріїв:

- належна установка для відпрацьованого тепла має бути досить близько, і час, коли це відпрацьоване тепло може бути використано, має збігатися з часом, коли піч працює. Проте, зазвичай кількість доступного тепла є досить незначною. Температура охолоджуючої води не повинна перевищувати 70 °С
- відносно низькі температури означають, що теплообмінники повинні бути набагато більшими, ніж звичайні
- вода з печі не повинна повертатися в печі при температурі нижче приблизно 30 °С, в іншому випадку це може викликати проблеми з конденсацією
- підтримка цілісності контурів охолодження є абсолютно необхідною. Контур охолодження призначений для захисту соленоїда – якщо він не справляється зі своїм завданням, результати можуть бути катастрофічними.

Вищевказані аспекти, зокрема питання цілісності печі, не дозволяють більшості операторів печі навіть розглядати використання тепла з контуру охолодження.

Економічні дані

Якщо на ливарному заводі намагаються використовувати тепло від контуру охолодження, необхідно повністю оцінити переваги, а потім порівняти їх з вартістю додаткового обладнання та безпекою печі та операторів.

Рушійна сила для впровадження

Підвищення енергоефективності на ливарному виробництві.

Приклади установок

Опалення приміщення за допомогою гарячого повітря: Profetto, м. Ауденарде (Бельгія). Ливарний завод Metso Paper в м. Ювяскюля (Фінляндія).

Довідкова література

[47, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1992]

4.7.3 Вагранка: утилізація відпрацьованого тепла

Опис

Необхідність охолоджувати відпрацьовані гази від вагранки до їх потрапляння в перехоплювач пилу призводить до можливості приєднання вторинного користувача і застосування утилізації тепла. Вторинним користувачем може бути, наприклад:

- паровий котел
- контур термомастила
- опалювальний контур
- контур гарячої води.

Досягнуті переваги для довкілля

Відновлення відпрацьованого тепла, яке в іншому випадку було б втрачено при викиданні зовні, що дозволило б скоротити споживання палива (або інших джерел енергії).

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Експлуатаційні дані

Два приклади установки, описані в пункті 4.5.2.2, оснащені системою утилізації тепла. Дані про установку наведені в таблиці 4.37.

Установка G використовує тепло вагранки для виробництва електроенергії. Частина потоку продуктів згоряння подається в паровий котел, який приводить в рух турбіну, з'єднану з генератором або компресором. Схематичне зображення установки приведено на рисунку 4.23. Всього 29 % введеного тепла від коксу перетворюється в додаткову утилізацію. Виробляється близько 2,9 МВт електричної енергії. Це означає, що електростанція виробляє електроенергію в 75 кВт • год/т рідкого чавуну.

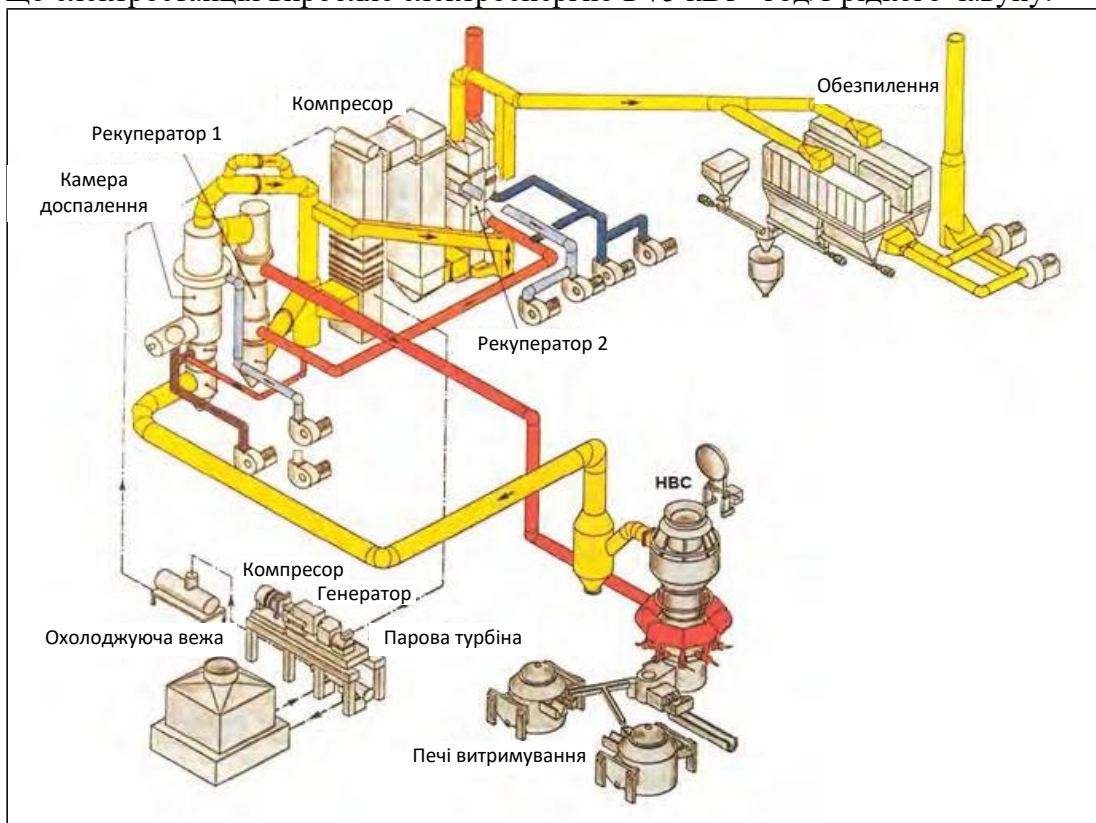


Рис. 4.23: Схематичне зображення вагранки з гарячим дуттям з паровим котлом, турбіною та генератором [27, Кран та ін., 1995]

Установка H використовує тепло від печі в контурі термального мастила. Після теплообміну для попереднього нагріву відпрацьований газ проходить через теплообмінник з газомасляним паливом. Нагріте мастило використовується для сушіння стрижнів. Максимальна рекуперация тепла становить 21 МВт. Схема технологічного процесу наведена на рисунку 4.24.

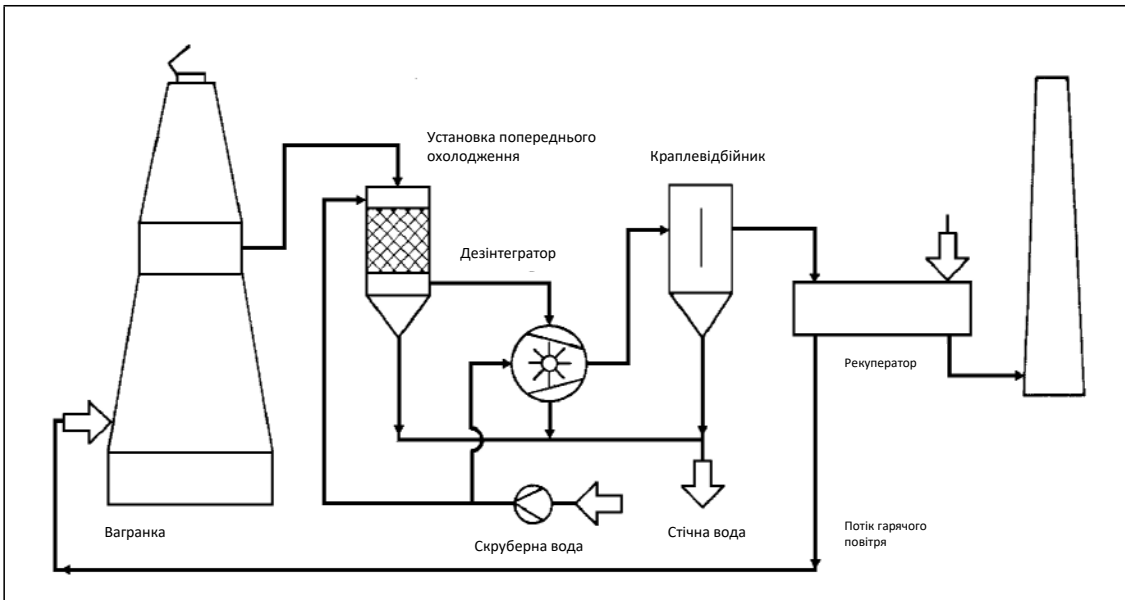


Рис. 4.24: Технологічна схема вагранки з гарячим дуттям із рекуперацією тепла [17, Штраус, 1983]

Застосування

Ця методика може бути застосована до нових установок і повинна враховуватися при проектуванні процесу. Для наявних установок цей метод може бути застосований під час капітального ремонту установки, однак невеликі наявні додаткові пристрої зазвичай можуть бути розміщені на наявних установках.

Економічні дані

Наведені приклади були встановлені в рамках масштабної реконструкції даної установки. Тому неможливо отримати конкретні дані про витрати.

Рушійна сила для впровадження

Підвищення енергоефективності виробничих процесів.

Приклади установок

Дві згадані установки знаходяться в Німеччині.

Довідкова література

[17, Штраус, 1983], [27, Кран та ін., 1995], [202, ТРГ (TWG), 2002].

4.7.4 Скорочення втрат енергії/покращення практики попереднього нагрівання ковшів

Опис

Енергія витрачається даремно, якщо система транспортування розплавленого металу допускає надмірну втрату температури металу за період від випуску металу із печі та заливкою в форму. Втратам можна запобігти за допомогою заходів належної практики. Мається на увазі наступне:

- використання чистих ковшів, попередньо нагрітих до яскраво-червоного тепла
- використання розподільних і розливних ковшів максимальних розмірів, забезпечених теплоутримуючими кришками
- тримати кришки на порожніх ковшах, або ставити ковші догори дном, коли вони не використовуються
- мінімізація необхідності перенесення металу з одного ковша в інший
- завжди транспортувати метал якомога швидше, при цьому дотримуючись вимог безпеки.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшити втрати енергії.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не виникають.

Застосування

Оскільки цей метод включає заходи, пов'язані з кращими практиками, він застосовується до всіх нових та наявних ливарних виробництв.

Економічні дані

Економічні дані не можуть бути надані.

Рушійна сила для впровадження

Енергоефективне управління ливарним виробництвом.

Приклади установок

Ці заходи певною мірою застосовуються в європейських ливарних виробництвах.

Довідкова література

[44, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1993]

4.8 Пісок: відновлення, переробка, повторне використання й утилізація

4.8.1 Вступ

Оскільки в ливарних виробництвах інтенсивно використовується пісок в ролі інертного первинного матеріалу, відновлення (регенерація) цього піску є важливим фактором, що впливає на його екологічні показники. Необхідно чітко розрізняти «зелений пісок» від формувальної суміші з хімічним зв'язуванням. «Зелений пісок» легко відновлюється після використання. Дійсно, рециркульований «зелений пісок» демонструє кращу технічну якість, ніж новий пісок. На більшості ливарних підприємств проводять первинну регенерацію «зеленого піску».

Первинна регенерація, також відома як стирання або формування частинок, включає руйнування піску із форм або стрижнів до його початкового розміру зерна. Вона включає в себе просіювання піску, видалення металевих стороннього предмета, а також відділення та видалення дрібних фракцій і агломератів надмірного розміру. Потім пісок охолоджують перед відправкою на зберігання, повертають у піщану систему або змішують із новим піском. На цьому етапі піщинки, швидше за все, збережуть часткове покриття відпрацьованої зв'язуючої речовини (сполучного компоненту). Це впливає на кількість регенованого піску, яку можна використовувати для виготовлення форм і, зокрема, стрижнів. Тому необхідно додавати новий пісок для гарантії, що піщана суміш забезпечує достатню міцність форми і стрижня і, отже, сприяє хорошій якості лиття. Первинний регенований пісок зазвичай не має достатньої якості, щоб його можна було використовувати для виготовлення стрижнів, без подальшої обробки для видалення залишкових сполучних матеріалів, і тому його використовують здебільшого для форм. Основними первинними методами регенерації є вібрація, обертовий барабан або піскоструменева обробка (механічне травлення).

Вторинна регенерація включає в себе подальшу обробку попередньо подрібненого піску для видалення залишкового сполучного компоненту. Піску повертається якість, наближена до або краща ніж у нового піску. Ливарні виробництва, в яких використовують вторинну регенерацію, в деяких випадках практично виключають необхідність додавання нового піску. Для видалення залишкового сполучного компонента необхідні агресивніші методи, ніж для первинної регенерації. Основними методами вторинної регенерації є:

- холодна механічна обробка:
 - низькоенергетичне стирання: тертя, удар (для смол холодного затвердіння)
 - високоенергетичне стирання: пневматичне тертя, шліфування, відцентрове тертя
- термічна обробка (зазвичай у псевдозрідженому шарі)
- вологе очищення.

Піски, зв'язані зі смолами холодного затвердіння, можуть бути регенеровані з використанням простих методів обробки через крихкість сполучного шару. Системи механічної регенерації (наприклад системи з псевдозрідженим шаром) засновані на терті або впливі частинок.

Піски, зв'язані з термореактивними смолами, затверділим газом, потребують інтенсивнішої обробки для видалення сполучного шару. Ця обробка включає шліфування, пневматичне тертя і відцентрове тертя. Силікатні піски можна регенерувати тільки механічно за допомогою пневматичної обробки.

Термічна обробка включає спалювання органічного сполучного матеріалу. Бентоніт інактивується високою температурою обробки. Тому для потоків обробки «зеленого піску» будь-яка термічна обробка має поєднуватися з механічною обробкою.

Волога регенерація включає видалення сполучного матеріалу за допомогою подрібнення між частинками. Цей метод застосовується тільки для «зелених пісків» і силікатних або CO₂-зв'язаних пісків, він не є широко застосовним.

Вторинна регенерація «зеленого піску» (поток чистого піску) показує обмежену реалізацію. Для хімічно зв'язаних пісків найбільше застосовується механічна регенерація (>200 установок в Німеччині в 1999 році) [80, ERM Lahmeyer International GmbH, 1999]. Застосування різноманітних методів регенерації та регенованого піску узагальнені в таблиці 4.59 (чистий пісок) і таблиці 4.60 (змішаний пісок). Кожен із представлених методів буде обговорюватися докладніше в наступних пунктах.

Найбільшими потоками чистого піску для вторинної регенерації є стрижні в кольорових ливарних виробництвах. Завдяки низькому тепловому навантаженню вони легко відділяються від «зеленого піску». Крім того, чисті піски виготовляються із форм і стрижнів із використанням виключно органічних систем, таких як метод лиття із застосуванням оболонкових стрижнів і форм, фуранова смола й уретановий криогенний блок. Менший потік чистого піску – необроблена стрижнева суміш, що спостерігається на зламаних або забракованих стрижнях у цеху виробництва стрижнів, і залишковий пісок в стрижневих машинах.

Змішані піски зазвичай містять бентонітовий пісок, а також хімічно зв'язаний пісок. Вони зазвичай виробляються на чавуноливарних заводах і складають близько 75 % від загального обсягу виробництва піску.

Тип піску	Методика регенерації	Обладнання для регенерації	Утилізація	Прикордонні умови	Мінімальна кількість (т/год)
Органічні моносистеми					
Смола, яка затвердіває в природних умовах	Механічна чи термічна	<u>Механічне:</u> тертя, удари, пневматичне тертя <u>Термічне:</u> турбулентний шар, киплячий шар або ротаційна піч	– для виготовлення форм із використанням смол холодного затвердіння – 20–25 % заміна нового піску на стрижні холодного затвердіння	– механічні: лише якщо оболонки сполучної речовини стали досить крихкими після заливки – цільові значення якості регенерації повинні бути виконані	1,5
Кріогенний блок, SO ₂ , гарячий стрижневий ящик і пісок оболонкового лиття	Механічна чи термічна	<u>Механічне:</u> пневматичне тертя, відцентрове (центрифужне) тертя, тертя киплячого шару <u>Термічне:</u> турбулентний шар, киплячий шар або ротаційна піч	При виготовленні стрижнів, як замітник нового піску	– механічні: лише якщо оболонки сполучної речовини стали досить крихкими після заливки – повинні дотримуватися орієнтовні значення якості регенерату – повторне використання дрібних часток	0,75
Пісок, затверділий метилформіатом	Механічна	<u>Механічне:</u> тертя, удари, пневматичне тертя	З обмеженнями, при формуванні з пісками метилформіату	– регенерація у вигляді холодного затвердіння, але з нижчим виходом – крихке руйнування сполучних компонентів	
Неорганічні моносистеми					
«Зелений пісок» (сиря формувальна суміш)	Механічна	Пневматичне тертя, шліфування	Пісок відновлення для контуру «зеленого піску»	– вимагає попереднього сушіння – повторне використання дрібних фракцій	0,75
Пісок силікату натрію	Механічна		Тільки для виготовлення форм і стрижнів із використанням піску силікату натрію	Крихке руйнування сполучних компонентів при температурі 200 °С	0,5

Таблиця 4.59: Сфери застосування різних систем відновлення чистого піску [128, ІНОВЕ, 1998], [225, ТРГ (TWG), 2003]

Тип піску	Методика регенерації	Обладнання для регенерації	Утилізація	Прикордонні умови	Мінімальна кількість (тонн/год)
Змішані органічні системи	Механічна або термічна	<u>Механічне:</u> пневматичне тертя, відцентрове тертя, тертя киплячого шару <u>Термічне:</u> турбулентний шар, киплячий шар або ротаційна піч	– заміна нового піску на використання стрижнів	– механічні: лише якщо оболонки сполучної речовини стали досить крихкими після заливки – повинні дотримуватися орієнтовні значення якості регенерату – повторне використання дрібних фракцій	0,75
Змішані піски, що містять бентоніт	Механічні або механічно-термічна - механічна	<u>Механічне:</u> шліфування, пневматичне тертя, тертя киплячого шару <u>Термічне:</u> турбулентний шар, киплячий шар або ротаційна піч	– заміна нового піску на використання стрижнів – оновлення піску для контуру «зеленого піску»	– вимагає попереднього сушіння – комбінована термічна регенерація вимагає ефективної механічної регенерації для видалення активного бентоніту – повторне використання дрібних фракцій	0,75

Таблиця 4.60: Сфери застосування різних систем відновлення піщаних сумішей [128, ІНОВЕ, 1998]

Застосування різних систем очищення узагальнено в таблиці 4.61 і далі буде обговорено в конкретних пунктах щодо застосування.

	Прості механічні системи	Холодна механічна			Волога регенерація	Термічна	Механічна – Термічна – Механічна
		Шліфування	Ударний барабан	Пневматичне тертя			
Чисті піски							
Затвердіння на холоді	x	x	x	x	x	x	0
Кріогенний блок, SO ₂ , гарячий стрижневий ящик, оболонкове лиття	0	x	x	x	0	x	0
Силікат (CO ₂ або складний ефір)	0	0	0	x	x	0	0
«зелений пісок» (первинний)	x	0	0	0	0	0	0
«зелений пісок» (вторинний)	0	x	0	x	x	0	0
Піщані суміші							
Органічна суміш	0	x	x	x	0	x	0
Суміш «зелених» + органічних пісків	0	x	0	x	x	0	x
x: застосовується; 0: не застосовується							

Таблиця 4.61: Сфери застосування різних технологій відновлення піску щодо різних типів піску

Застосування як первинної, так і вторинної регенерації піщаних сумішей в ливарному виробництві для досягнення загальної регенерації 92 % показано на рисунку 4.25. Ця спрощена схема не включає різні втрати на етапах обробки. Додавання нового піску можна звести до мінімуму завдяки інтеграції (грубої фракції) піску з пилових фільтрів (від вихлопу рукотворних ліній, ліній вибивання стрижнів, силосів для зберігання тощо).

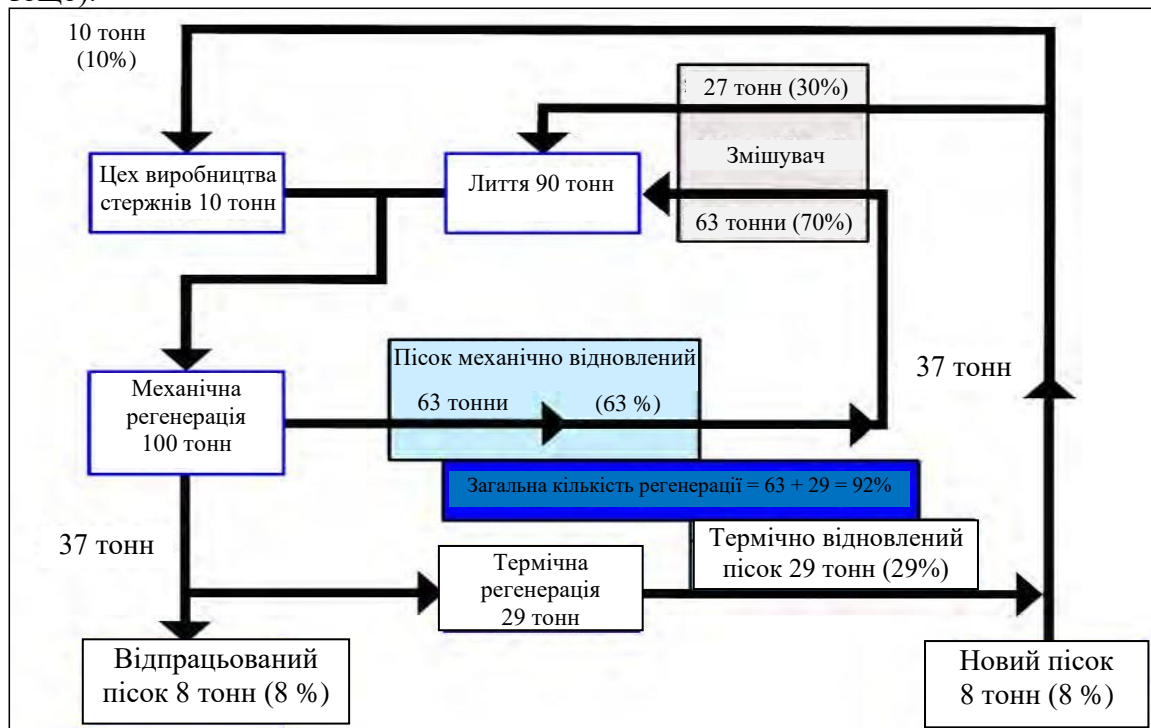


Рис. 4.25: Балансова схема щодо піску для системи теплового/механічного відновлення [70, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998]

Загальний коефіцієнт регенерації 92 %, як зазначено вище, є нормальним значенням для змішаних систем «зеленого піску» – хімічно зв'язаних пісків. Повідомлялося про коефіцієнти регенерації до 98 %. Фактичне співвідношення залежить від об'єму та хімічного складу стрижнів, що використовуються. Щодо чистого піску із затвердінням фурану на холоді повідомляється про значення регенерації близько 78 %.

Взагалі змішування різних типів пісків негативно впливає на міцність стрижнів і згодом форм, виготовлених із регенованого піску, хоча є кілька винятків із цього загального принципу. Для отримання якісного регенованого піску важливо зберігати несумісні типи піску окремо. Оптимізація потенціалу регенерації може означати перехід на сумісні системи сполучних речовин при використанні піщаної суміші, або застосування методик (вибивання), що дає змогу розділяти різні типи піску. У таблиці 4.62 наведено перехресну сумісність.

Система-джерело \ Система-ціль		Бентоніт	Силікат	Затвердіння на холоді	Гарячий ящик	Оболонкові форми та фенол-формальдегідне зв'язування	Кріогенний блок		
							Метилформіат	Амін	SO ₂
Бентоніт		+	0	0	-	0	0	0	
Силікат		0	+	-	-	-	-	-	
Затвердіння на холоді		+	-	+	-	0	0	+	
Гарячий стрижневий ящик		0	-	+	+	+	-	0	
Оболонкове лиття		+	+	+	+	+	+	+	
Кріогенний блок	Метилформіат	0	+	0/-	-	-	0	0	
	Амін	+	+	+	+	+	0	+	
	SO ₂	+	-	+	-	0	0	+	

+: Сумісність, 0: Обмежена сумісність, -: Несумісність

Таблиця 4.62: Сумісність відновлених пісків із різними зв'язуючими речовинами [37, Вінтергальтер та ін., 1992], [225, ТРГ (TWG), 2003] [37, Вінтергальтер та ін., 1992], [70, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1998], [128, ІНОВЕ, 1998], [138, Metaalgieterij. Giesen B.V., 1996], [153, Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 2002], [202, ТРГ (TWG), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003]

4.8.2 Відновлення сирової піщаної суміші за оптимізованих умов (первинне відновлення)

Опис

Однією з основних переваг використання формування із сирової піщаної суміші є те, що пісок із форм може бути відновлений після заливки для багаторазового повторного використання. Додається мінімальний відсоток свіжого піску, щоб зберегти якість формувального піску. Кількість додавання свіжого піску визначається затратами стрижнів і втратами в процесі. Для формування без використання стрижнів середній ступінь поновлення піску складає 2–5 %. У процесах лиття з використанням стрижнів, оновлення піску відбувається шляхом введення стрижневої суміші в петлю. У будь-якому випадку надлишки піску видаляються з контуру піску після вибивання або зі сховищ. Загальна обробка зображена на рисунку 2.28. Ця внутрішня рециркуляція сирової піщаної суміші з мінімальною обробкою називається первинним відновленням. Дане відновлення здебільшого має три цілі: (1) надати піску вихідний розмір зерна або подрібнити його, (2) видалити дрібні частинки і (3) охолодити пісок перед змішуванням зі свіжим піском.

Для подрібнення і розділення піску застосовуються різні методи:

– *Вібрація*. Вібраційна решітка або обладнання для просіювання є

найвикористовуванішою технікою для цілей первинного відновлення. Просіяний пісок видаляють для подальшої обробки, наприклад для охолодження, класифікації за розмірами і теплового відновлення, а залишковий матеріал збирається для утилізації.

- *Барабан*. Пісок після вибивання завантажується в обертовий барабан, оснащений як підйомними, так і рухливими штангами. По мірі того, як пісок рухається уздовж барабана, під впливом ротації та підйому частинки піску розтираються одна об одну і розколюються на окремі зерна. Піщинки падають через сита в кінці барабана, а негабаритні та металеві матеріали видаляються для поховання на звалищі.
- *Піскоструменева обробка (механічне травлення)*. Форма і виливок завантажуються безпосередньо в піскоструменеву машину. Така обробка приводить до повної дезінтеграції форми, а також очищає поверхню виливку. Пісок і сферичний порошок згодом відокремлюють. Однак ця методика не дуже поширена.

Під час охолодження виливків пісок нагрівається. Щоб досягти хороших умов змішування піску, пісок необхідно охолодити до 40–45 °С. Випарні охолоджувачі використовуються із турбулентним і псевдозрідженим шаром, а також із теплообмінниками. Якщо вибивання проводиться з використанням вібраційних транспортерів ротаційних барабанів, охолодження може відбуватися одночасно.

Якщо використовується охолоджувач із псевдозрідженим шаром, повітря для сушіння може нагріватися з використанням газу або електрики. Середній час обробки становить 10 хвилин. Як правило, пісок надходить у псевдозріджений шар із вологістю 2–3 % і температурою 250–300 °С. Контроль температури і вологості може виконуватися перед охолоджувачем із псевдозрідженим шаром із подальшим додаванням контрольованої кількості води. Це допомагає мінімізувати кількість дрібних частинок, які видаляються під час сушіння у псевдозрідженому шарі. Дрібні частинки містять бентоніт, який може бути повторно активований. Рівень вологості відновленого піску повинен підтримуватися в межах від 2 до 2,2 % при температурі 35 °С. Отже під час зберігання починає активуватися бентоніт, що міститься в охолодженому і вологому піску, а під час змішування необхідна менша кількість води і бентоніту, а також скорочується час циклу.

Хороша гомогенізація піску забезпечує постійну якість піску, кращу і легшу його підготовку. Системи гомогенізації складаються з використання декількох невеликих бункерів замість одного великого або з рециркуляції піску в бункері.

У системах, в яких використовуються хімічно зв'язані стрижні, змішування стрижневого піску може спричинити негативний вплив на якість піску залежно від типу сполучної речовини і кількості змішаного стрижневого піску. Негативні наслідки значніші при використанні кислотних і лужних стрижнів, ніж у випадку нейтральних систем (SO₂-епоксид, криогенний блок PUR). Під час вибивання стрижневий пісок і формувальний пісок неминуче будуть змішуватися. Однак незатверділі та не подрібнені стрижні можуть бути залишені або вилучені з піску перед подачею на первинне відновлення.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшено використання первинних матеріалів (пісок і бентоніт), зменшено кількість матеріалу для утилізації.

Міжсередовищні наслідки

Для відновлення піску використовується електроенергія, тому збільшується загальне споживання електроенергії установкою. Оскільки зазвичай застосовуються механічні методи, це збільшення є незначним.

Охолодження піску та відділення дрібних частинок призводить до забруднення відпрацьованих газів. Вихлоп повинен бути відфільтрований для запобігання викидів пилу. Зібраний пил відправляється на утилізацію або використовується повторно (див. пункт 4.8.12).

Експлуатаційні дані

У той час як рівень додавання свіжого піску залежить від ряду факторів, звичайний діапазон становить 10–20 % від ваги залитого металу. Проте зручніше розглядати додавання свіжого піску у відсотках від виробничої потужності піску. Для більшості ливарних процесів додавання в 5 % вважається достатнім, але багато ливарних заводів працюють із використанням нижчих відсотків такої добавки.

Моносистема з використанням сирого піску може досягти коефіцієнту відновлення 98 %. Системи з високим ступенем несумісності стрижнів можуть досягати ступеня відновлення 90–94 %.

Застосування

Цей метод можна застосовувати до всіх ливарних установок із використанням сирого піску, в нових і наявних установках.

Економічні дані

Потенційна економічна вигода від відновлення для ливарного заводу, який зараз не відновлює свій пісок, узагальнена в таблиці 4.63.

Опис	Вартість (євро/тону піску)
Середня ціна кремнистого піску	32,64
Середня вартість утилізації відпрацьованого піску	14,56
Загальна вартість купівлі та утилізації піску	47,2
Орієнтовна амортизаційна вартість окупності	18,24
Витрати на обладнання за один рік	
Середня вартість експлуатації	7,76
Очікувана економія коштів у перший рік	21,2
Очікувана економія в наступні роки	39,44

Таблиця 4.63: Економічні переваги від первинного вилучення корисних речовин із відходів (оцінка Великобританії за 1995 рік)

Інвестиції у змішувач, дозатор і блок управління процесом становлять від 0,05 до 1 мільйона євро. Інвестиції в зменшення розміру подрібнення стрижнів складають 0,1 млн євро, хоча це може бути застосовано тільки в тому випадку, якщо зменшення розміру неможливо при наявності механічної або пневматичної установки відновлення. Експлуатаційні витрати (на щорічній основі) можуть бути оцінені в 5–10 % від вартості інвестицій.

Рушійна сила для впровадження

Багато операторів ливарного виробництва заявляють, що зниження витрат це єдина причина запуску різних програм щодо отримання корисних речовин із відходів піску. Згідно з обмеженнями, слід скоротити кількість відсіпки матеріалу завдяки збільшенню витрат на утилізацію.

Приклади установок

Первинне відновлення використовується практично всіма ливарними підприємствами, де використовується сира формувальна суміш, хоча ступінь складності відновлювальної установки варіюється в широких межах; від простого ручного управління до повністю автоматизованого з комп'ютерним управлінням.

Довідкова література

[72, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995], [73, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1995], [108, Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF), 1999], [110, Віто, 2001], [128, ІНОВЕ, 1998], [140, Тематична мережа ЄС щодо відходів ливарного виробництва, 2001], [143, Inasmet і СТІФ, 2002]

4.8.3 Просте механічне відновлення формувальної суміші холодного тверднення

Опис

Прості механічні методики використовуються для відновлення чистого піску холодного затвердіння (наприклад фуранова формувальна суміш) і необробленої стрижневої суміші. Ці методи включають подрібнення грудок, відділення зерен піску й очищення міжзерновим тертям із подальшим очищенням від пилу й охолодженням до робочої температури. Використовуються різні типи подрібнювачів і млинів, наприклад ударний подрібнювач, щековий подрібнювач, кульовий млин.

Досягнуті переваги для довкілля

Скорочення кількості піску для утилізації та витрат свіжого піску первинного відновлення.

Міжсередовищні наслідки

Відновлення піску вимагає додаткової енергії, викликає збільшення викидів пилу і пилу для утилізації.

Експлуатаційні дані

Для фуранової формувальної суміші холодного затвердіння коефіцієнт відновлення складає близько 78 %.

Застосування

Методика може використовуватися для всіх піщаних сумішей холодного затвердіння, крім силікатної суміші. Відновлений пісок можна повторно використовувати в тому ж циклі формування з невеликими добавками свіжого піску для вирівнювання втрат якості.

Дана методика може використовуватися для необробленої стрижневої суміші з органічними сполучними речовинами. Відновлений пісок може бути повторно використаний для виготовлення стрижнів із використанням того ж типу сполучної речовини, після змішування зі свіжим піском. У певних межах його також можна використовувати для оновлення формувальної суміші.

Рушійна сила для впровадження

Законодавство застосовує високі збори за утилізацію для зменшення кількості відходів для утилізації.

Приклади установок

Просте механічне відновлення фуранової формувальної суміші застосовується в багатьох ливарних виробництвах по всій Європі та особливо широко поширене в Німеччині та Фінляндії.

Довідкова література

[153, Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 2002],
[202, TRG (TWG), 2002]

4.8.4 Холодне механічне відновлення за допомогою шліфувального блоку

Опис

Це широко застосовувана комерційна система помелу (див. рис. 4.26). Система була спочатку розроблена для відновлення змішаних бентоніт-органічних піщаних сумішей. У цій системі використовується горизонтально-обертальний шліфувальний диск для видалення твердого оолітового шару бентоніту з піщаної суміші. При помелі також можуть видалитися хімічні сполучні речовини з піщинок. Навколо шліфувального диску повільно обертається лопатеве колесо, яке безперервно переміщує пісок на шліфувальний диск. Вище нього знаходиться мішок, в який витягується пил і дрібні частинки. Пісок повинен бути сухим, щоб бути придатним для обробки. Етап попереднього сушіння з використанням псевдозрідженого шару або інший тип сушіння необхідні для зниження вмісту вологи до рівня нижче 0,2 %.

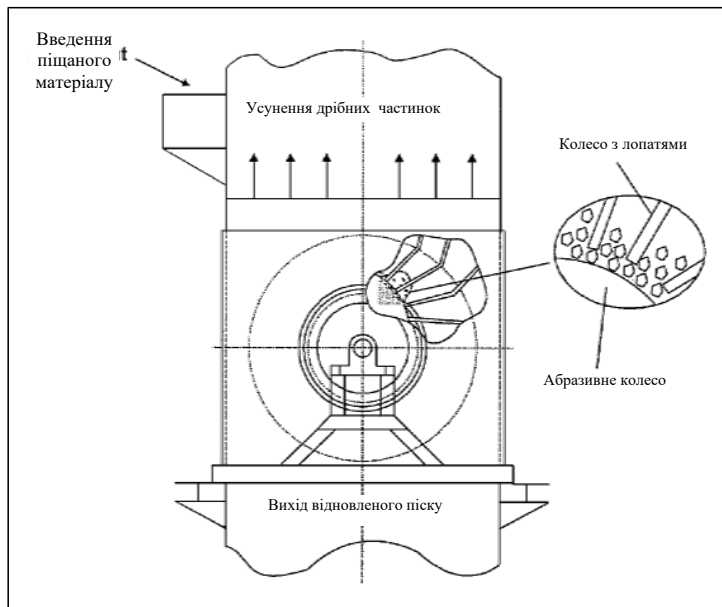


Рис. 4.26: Холодне механічне відновлення з використанням шліфування
[128, ІНОВЕ, 1998]

Потік газів, що відходять від регенератора, очищається від пилу за допомогою циклону і рукавного фільтра. Пил від фільтра містить залишковий активний бентоніт і вугільний пил. Він може бути відновлений для виробництва стрижнів, що допомагає знизити використання блискучого вуглецю. Крім того, форми демонструють кращу технічну якість (міцність на розтягнення у вологому стані, текучість) завдяки залишковому вмісту бентоніту, що, крім того, приводить до зменшення кількості дефектних форм і зменшення дрібних частинок на виливках.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення кількості піску для утилізації і використання свіжої піщаної суміші первинного відновлення. Зменшення використання блискучого вуглецю, в разі сирової піщаної суміші.

Покращення властивостей формувального піску, що приводить до зменшення кількості відходів і кількості браків готових виливків.

Міжсередовищні наслідки

Відновлення піщаної суміші вимагає додаткової енергії та призводить до додаткових викидів пилу й утворення пилу для утилізації. Однак використання відновленої піщаної суміші в процесі формування допомагає знизити кількість використання блискучого вуглецю.

Експлуатаційні дані

Для глинистого піску максимальний відсоток відновлення становить 65–75 %. Це відповідає вмісту кварцового зерна в матеріалі. Для хімічно зв'язаного піску кількість переробного кварцового піску складає 90–95 %.

Загальний потік піску і потреба у свіжому піску залежить від кількості стрижнів (і стрижневої суміші), що використовуються. Тому дані про піщаний контур дуже специфічні. На рисунку 4.27 наведено дані установки в Нідерландах.



Рис. 4.27: Оперативні дані щодо циклу використання піщаної суміші для ливарного виробництва із сирової суміші у Нідерландах [140, Тематична мережа ЄС відходи ливарного виробництва, 2001 рік]

Як правило, відпрацьована сира формувальна суміш складається з близько 80 % зерен кварцового піску і близько 20 % дрібних частинок (бентоніт, вугільний пил і т. д.). Зі 100 % відпрацьованого піску близько 70 % передається назад на виробництво стрижнів у вигляді відновленого піску. Ступінь ефективності відносно кварцу становить близько 88 %.

Фільтрувальний пил містить приблизно 40 % активного бентоніту, який має втрати займання (LOI) 17 % і містить 43 % дрібних частинок. Повторне використання пилу в піщаній установці приводить до зниження потреби в блискучому вуглеці до 30 %. Згідно з результатами поліпшення якості піску на прикладі ливарного виробництва кількість бракованих форм була практично вдвічі меншою.

Циклонний пил (20 % від маси відновленої сирової піщаної суміші) містить 25–30 % бентоніту і високий рівень органічних речовин, але його хімічний склад виходить за межі необхідної специфікації, що дає змогу використовувати його в ролі вторинного будівельного матеріалу. У Нідерландах дозволено спеціальне нанесення шарів покриття на місця захоронення. В інших регіонах ця фракція буде потребувати утилізації. Однак законодавство, що обмежує органічний вміст матеріалу для утилізації, може обмежувати варіанти утилізації.

Шліфування піску викликає прискорений знос піщинок. Це, разом із рециркуляцією фільтрувального пилу, викликає зрушення в гранулометричному складі піску. Тому загальний склад піску вимагає хорошого контролю і спостереження.

Застосування

Холодне механічне відновлення зазвичай застосовується для видалення бентонітових шарів із сирової піщаної суміші та для видалення хімічних компонентів у системах ХТС. Техніка шліфування є найзастосовуванішою холодною механічною обробкою. Також для хімічно пов'язаних пісків використовуються системи вібрації та удару, але вони виробляють пісок тільки низької або середньої якості. Ці методи більше підходять для звичайної піщаної петлі (первинне відновлення). Вторинне відновлення сирової піщаної суміші впроваджується обмежено.

Економічні дані

Інвестиційні витрати на установку потужністю 50 тонн/добу, включаючи сушіння, охолодження, відновлення, циклонний і рукавний фільтр, складають близько 1 135 000 євро. За даними Німеччини інвестиційні витрати складають 600 000 євро за установку потужністю 1,5 тонни/год.

Рівні споживання наступні (згідно з середньорічними показниками):

- Електроенергія: 39 кВт·год/т
- Природний газ: 3 нм³/тонну (залежно від вмісту піску у вологому стані)
- Стисле повітря: 36 нм³/тонну
- Деталі, що зношуються: 1,18 євро/тонну
- Рівень укомплектування персоналом: 0 %
- Обслуговування: звичайне.

Криві витрат на механічне відновлення піску з органічними речовинами наведені на рисунку 4.28. Постійні витрати залежать від загальної потужності й інвестицій. Змінні витрати можуть становити близько 11 євро/тонну, хоча фактичні витрати залежать від конкретних установок і місцевих умов. Загальні витрати (постійні плюс змінні) коливаються від 12–40 євро/тонну відновленого піску, залежно від розміру і типу обладнання.

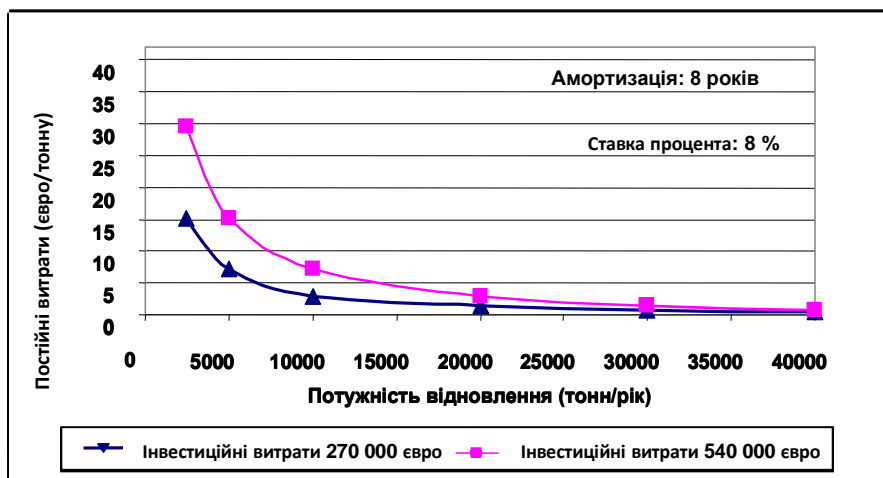


Рис. 4.28: Постійні витрати в євро за тонну відновленого піску для механічного відновлення піску зі зв'язуючими речовинами холодного тверднення [82, IfG – Institut für Gießereitechnik, 1996]

Рушійна сила для впровадження

Законодавство застосовує високі збори за утилізацію для зменшення кількості відходів для утилізації.

Приклади установок

- De Globe, м. Верт, Нідерланди, 60 тонн в день, використовуючи дві лінії, працює з 1995 року.
- Eisenwerk Brühl, м. Брюль; Німеччина (1,5 т/год), 1999.
- Giesserei Fritz Winter GmbH & Co KG, м. Штадталлендорф, Німеччина (9,5 т/год)
- Mercedes-Benz AG, м. Мангайм, Німеччина (9 т/год).

Довідкова література

[82, IfG – Institut für Gießereitechnik, 1996], [110, Віто, 2001], [128, ІНОВЕ, 1998], [133, De Globe B.V., 1999], [140, Тематична мережа щодо викидів ливарної промисловості ЄС, 2001], [151, Gemco, 1999]

4.8.5 Холодне механічне відновлення за допомогою барабана

Опис

Цей метод механічного відновлення заснований на міжзерновому шліфуванні піску і дає кращі результати для чистого піску з хімічними речовинами. Пісок подається в барабан невеликими лопатями і з обертальною внутрішньою віссю. Піщинки вдаряються об стінку барабана й одна до одної. Ці удари виконують механічне абразивне очищення. Дрібні частинки видаляються з відпрацьованими газами. Барабан працює посерійно. Установка двох блоків дає змогу проводити безперервну роботу.

При використанні змішаної бентоніт-органічної піщаної суміші перед відновленням застосовують магнітний сепаратор для видалення сирової піщаної суміші. Через присутність бентоніту, що не вступив у реакцію, сира формувальна суміш демонструє дуже слабкий магнетизм, що не дає змогу проводити магнітне розділення. Система відновлення дає змогу вводити обмежену кількість (15 %) необробленої стрижневої суміші (подрібнення стрижнів при виробництві). Комбінація магнітного розділення й очищення барабаном допомагає оптимізувати відновлення піску з хімічними речовинами зі змішаного потоку піску з повторним використанням відновленого піску при виробництві стрижнів.

Досягнуті переваги для довкілля

Внутрішнє повторне використання стрижневої суміші обмежує кількість матеріалу для утилізації та зменшує потреби в сировині.

Міжсередовищні наслідки

Відновлення піску вимагає додаткової енергії та викликає додаткові викиди пилу й утворення пилу для утилізації.

Експлуатаційні дані

Регенераційний барабан має періодичний режим роботи з 20-хвилинною обробкою для кожної 1,5 тонн піску. Енергоспоживання всієї установки (включаючи магнітну сепарацію, обробку відпрацьованих газів, транспортування піску) становить 55 кВт·год/тонну обробленого піску, з яких 35 % може бути віднесено на транспортування і подачу (живлення) піску. В установці використовується стиснене повітря з витратою 48 нм³/т піску.

Відновлений пісок має наступні якості:

- середній розмір зерна: 0,30-0,33 мм
- частка дрібних частинок: 0,4-1 %
- рН: 8,7
- втрати при прожарюванні: 0,25-0,5 %.

Стрижні зі 100 % відновленої піщаної суміші мають прийнятні властивості. На практиці 10–70 % відновленого піску використовується для виробництва нових стрижнів, фактична кількість залежить від типу стрижнів.

Утворення пилу в установці становить 10 % від вхідної потужності регенератора. Цей пил збирається за допомогою циклонного (90 %) і рукавного фільтра (10 %).

Застосування

Комбінована технологія розподілу-відновлення може застосовуватися для обробки змішаної сирової піщаної суміші та піску з хімічними речовинами. Відновлення виконується на потоці формувальної суміші з хімічними сполучними речовинами і може включати необроблену стрижневу суміш. Дана технологія може застосовуватися в нових і наявних установках.

Економічні дані

Інвестиційні витрати на установку продуктивністю 3 т/год з 1 барабаном, магнітною сепарацією, очищенням від пилу, видаленням відпрацьованих газів і системою подачі складають 1,3 млн євро. Експлуатаційні витрати на цю установку складають 10 євро/тонну. До них відносяться енергоспоживання, зношення деталей, технічне обслуговування та утилізація відходів. Це дає чистий прибуток в розмірі 37 євро за тонну порівняно з витратами на покупку свіжого піску й утилізацію використаного піску (в обох випадках, включаючи транспортування).

Для установки 380 тонн/добу у Франції були вказані експлуатаційні витрати в розмірі 15 євро/тонну. Для цієї установки це являє собою чистий прибуток в розмірі 18 євро за тонну порівняно з витратами на покупку свіжого піску й утилізацію використаного піску (в обох випадках, включаючи транспортування).

Рушійна сила для впровадження

Законодавство застосовує високі збори за утилізацію для зменшення кількості відходів для утилізації.

Приклади установок

Ця технологія використовується на наступних установках:

- PSA, Септ-Фонс (Франція): 6 магнітних сепараторів і 2 подрібнювача, що працюють альтернативно
- GF, м. Лейпциг (Німеччина): 2 магнітних сепаратора і 1 шліфувальна машина
- Döktas – Туреччина: 5 магнітних сепараторів і 2 шліфувальні машини.

Довідкова література

[185, Шпітц, 2002], [122, Кірст, 1999], [153, Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 2002]

4.8.6 Холодне відновлення за допомогою пневматичної системи

Опис

У пневматичній системі сполучні речовини видаляються з піщинок за допомогою стирання й ударів. Кінетична енергія забезпечується потоком стисненого повітря. Це приводить до одночасного очищення від пилу. Перевага цього типу системи полягає в тому, що можна контролювати напрямок і швидкість піску. Через низьку енергетичну ефективність стиснення повітря споживання енергії вище порівняно із чисто механічною обробкою. Принцип роботи реактора зображений на рисунку 4.29.

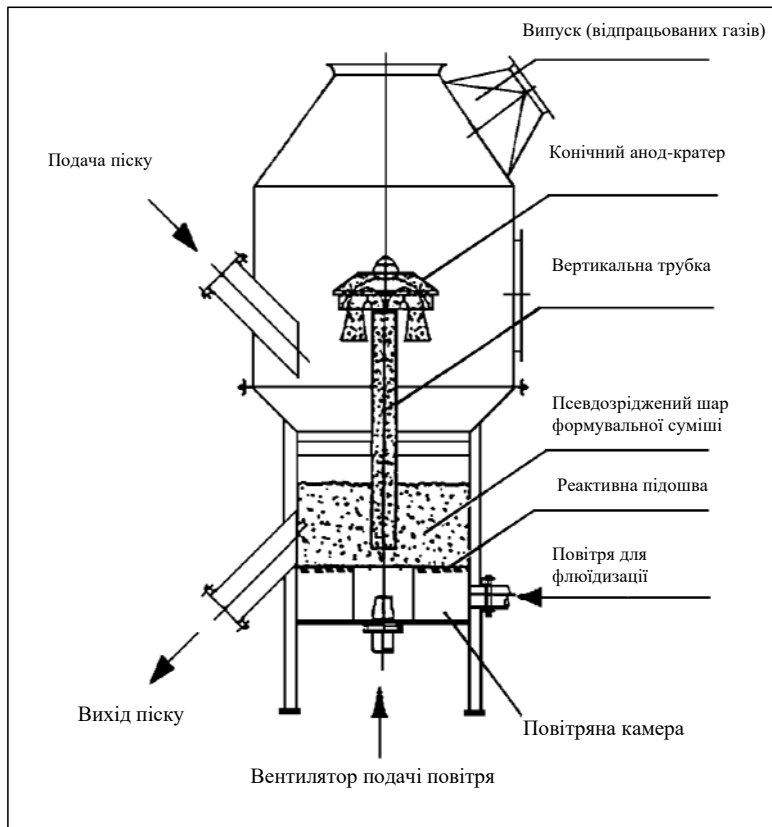


Рис. 4.29: Холодне механічне відновлення з використанням пневматичної системи [122, Кірт, 1999]

У реакторі використовується псевдозріджений шар із центральною вертикальною трубкою. Пісок вдувається в трубу стисненим повітрям і вдаряє по гумовому листу відбивача або по конічному аноду-кратеру. Звідти пісок знову падає, і цикл починається знову. Чистка відбувається за допомогою міжзернового тертя, тертя до ударної пластини і «чистого» удару. Форма пластини визначає основний механізм очищення: методом ударів (у вигляді дзвону) або стирання (конус). Утворений пил видаляється повітряним потоком через рукавний фільтр. Обробка проводиться посерійно або за допомогою ряду пов'язаних пневматичних установок. В цьому випадку очищений пісок відсмоктується з реактора через дефлектор під ударної пластини.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення кількості піску для утилізації та використання свіжої піщаної суміші первинного відновлення.

Міжсередовищні наслідки

Відновлення піску вимагає додаткової енергії та викликає додаткові викиди пилу й утворення пилу для утилізації.

Загальна оцінка внутрішнього відновлення порівняно із зовнішнім повторним використанням і відповідні міжсередовищні наслідки обговорюються окремо нижче.

Експлуатаційні дані

Суміш відпрацьованого піску, що складається із сирого піску і стрижневої суміші з хімічними речовинами, має такі характеристики: вміст дрібних фракцій 8-12 %, LOI 3-5 %, вологість <2 %; виробляє регенерат з наступними характеристиками:

- вихід регенерату, виходячи зі вмісту SiO_2 в відпрацьованому піску: 70-80 %
- вміст ультрадисперсних частинок (<0,063 мм): макс. 2 %
- вміст дрібних частинок: <2 %
- втрати при прожарюванні: <0,5 %
- середній розмір зерна: без змін.

У технології використовується збірка модульної установки з використанням базових установок потужністю 0,8-1,2 т/год. Постачальник зазначає, що споживання електроенергії становить 15-20 кВт·год/т (без урахування обладнання для обезпилення). Згідно з німецькими експлуатаційними даними споживання електроенергії 41 кВт·год/т для установки 8 т/год і 62 кВт·год /т для установки 0,75 т/год. Повідомляється, що ефективність відновлення піску заснована на введенні піску в діапазоні від 65 % до 85 %. Згідно з іспанськими даними загальне енергоспоживання становить 120 кВт·год/т відновленого піску для установки 1,2 т/год.

Застосування

Пневматична система може бути використана для відновлення органічних сумішей, чистого піску, а також змішаних піщаних сумішей, що містять бентоніт. Вона також знаходить застосування в ролі попередньої або наступної обробки в комбінованій механіко-термомеханічній обробці. Тут основним застосуванням є видалення зайвого пилу з піщинок і охолодження. Пісок, отриманий методом простого механічного відновлення, може бути використаний для виготовлення форми (з використанням 100 % відновленого піску) або змішаний зі свіжим піском при виробництві стрижнів (з використанням 40-60 % відновленого піску).

Крім того, методика може бути застосована для відновлення стрижневої суміші типу CO₂-рідке скло з алюмінієвих ливарних виробництв. Це обговорюється окремо нижче.

Економічні дані

Інвестиційні витрати на одну установку 0,8-1,2 т/год становлять 330 000 євро. Експлуатаційні витрати оцінюються в 22 євро/т, що дає загальну вартість відновлення в розмірі 36,5 євро/т піску.

Рушійна сила для впровадження

Законодавство застосовує високі збори за утилізацію для зменшення кількості відходів для утилізації.

Приклади установок

Цей тип обладнання виготовляється різними постачальниками: наприклад KGT Jet Reclaimer, Künkel-Wagner GmbH Turbo Dry, Kernfest Webac AB. Технологія використовується на декількох установках у Західній Європі та Китаї.

Довідкова література

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [82, IfG – Institut für Gießereitechnik, 1996], [108, Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF), 1999], [110, Віто, 2001], [122, Кірст, 1999], [128, ІНОВЕ, 1998]

4.8.7 Термічне відновлення

Опис

Термічне відновлення використовує тепло для спалювання сполучних речовин і домішок. Всі термічні процеси вимагають початкового механічного кроку, щоб привести пісок до правильного розміру зерна і відсіяти будь-які металеві домішки. Ця попередня обробка може також включати (часткове) стирання бентоніту й обезпилення. Нагрівання піску зазвичай досягається за допомогою печі із псевдозрідженим шаром, що працює при температурі здебільшого від 700 до 800 °С. Також використовуються ротаційні печі або багатоподові печі. Тепло може забезпечуватися спалюванням газу, електричними нагрівачами або короткохвильовими інфрачервоними випромінювачами. Продуктивність цих систем коливається від 250 кг/год до більше 5 т/год.

Утворені гази спалюються з метою видалення окису вуглецю і будь-яких летючих органічних речовин, які можуть бути присутніми. Це може відбуватися в шахті печі, якщо вона досить велика, шляхом додавання додаткового повітря або газовими камерами спалювання. Якщо температура газів згоряння недостатньо висока або якщо недостатньо часу, протягом якого гази знаходяться за високої температури, додають окремий пристрій допалювання. У всіх випадках викиди можна вважати незначними.

Відпрацьовані гази фільтруються зазвичай допомогою тканинних фільтрів. Тому необхідно охолодження, яке може бути виконане з використанням вприскування води, теплообміну/рекуперації або шляхом змішування з повітрям, природним шляхом введення через отвори/щілини і т. д. Охолодження може включати попередній нагрів повітря для псевдозрідження.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення кількості піску для утилізації та зниження затрат на свіжий пісок первинного відновлення.

Міжсередовищні наслідки

Термічне відновлення вимагає палива і створює викиди пилу та сполук, пов'язаних зі спалюванням (NO_x , CO ; а в разі мастила: SO_2).

Високе енергоспоживання і складність установки компенсуються низьким зносом піщинок і відновленням пилу в термічно інертній формі.

Термічне відновлення фуранової суміші з паратолуолсульфоновою кислотою в ролі затверджувача вимагає очищення димових газів: тобто після спалювання CO й адсорбції SO_2 .

Експлуатаційні дані

Пісок зазвичай нагрівають до температури 700-850 °С. Теоретично для цього потрібно 200 кВт·год/т. На практиці повідомляється про енергоспоживання 150 – 350 кВт·год/т, залежно від теплотворної здатності піску і рекуперації енергії.

Експлуатаційні дані від 3-х установок терморегуляції, що обробляють різні типи піску і різної потужності, наведені в таблиці 4.64.

Властивість	Одиниці	Установка		
		Ливарне виробництво К	Ливарне виробництво Л	Ливарне виробництво М
Референсні установки		Ливарне виробництво К	Ливарне виробництво Л	Ливарне виробництво М
Тип піску		Установки з виготовлення стрижнів із криогенними блоками охолодження	Формування із сирого піску, стрижні з холодних ящиків	Ручне формування фуранової піщаної суміші
Постачальник установки відновлення		SEC/VAW	Richards	Siempelkamp
Технологія		Багатоподова піч (500 °C) із просіюванням та класифікацією	Піч із псевдозрідженим шаром (780 °C), механічне зменшення розмірів і обезпилення	Флюїдируюча камера згорання з магнітним попереднім розділенням, одночасна обробка піску та пилу після механічного відновлення фуранової піщаної суміші
Виробнича потужність піску	т/год	12 – 16	1,0	2,0 використаного піску, 0,5 пилу
Потужність установки	т/рік	28600	3840	5000
Коефіцієнт відновлення на основі виробничої потужності піску	%	95	95 (99 ⁽¹⁾)	95
Застосування відновленого піску		Виготовлення стрижнів	Виготовлення стрижнів	Виготовлення форм і стрижнів
Критерії якості відновленого піску		Пил <1 % AFS 60–70 LOI <0,1 %	Ідентично свіжому піску F33	LOI <0,5 % pH 6,0–6,5 Міцність форми при додаванні 1 % сполучної речовини і 0,3 % в твердому стані: 350 Н/см ² через 24 год
Споживання електричної енергії	кВт·год/т	119	65	
Споживання природного газу	м ³ /т	24,5	38	
Виробництво залишків	т/рік	660	Пил: 10 Бентонітовий пісок: 1700	200
Кінцеве призначення залишків		Закопування	Виробництво цементу	Будівельна промисловість/місце утилізації
Потік відпрацьованих газів	нм ³ /год	7000	16509	6560
Температура відпрацьованих газів	°C	75	60	35
Тип фільтра		Тканинний фільтр після догорання	Тканинний фільтр	Введення вапна + тканинний фільтр
Рівні викидів ⁽²⁾				
- пил	мг/нм ³	0,1	4,9	0,4
- С _{всього}		2,2	5,7	10
- CO		2,3	1,6	0
- O ₂	%	14	дані відсутні	20,95
- ПХДД/Ф	нг ТЕQ/нм ³	0.006	дані відсутні	дані відсутні.
(1) Вищий коефіцієнт відновлення (99 %) досягається при відновленні тільки внутрішньої (стандарт компанії) стрижневої суміші. Коефіцієнт 95 % застосовується для змішаної внутрішньої та зовнішньої стрижневої суміші				
(2) Рівні викидів обчислюються середніми значеннями даних безперервного моніторингу протягом декількох годин під час відбору проб для пилу або ПХДД/Ф				

Таблиця 4.64: Експлуатаційні дані щодо 3 німецьких заводів, обраних за зразок, де застосовується термічне відновлення піску [153, Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 2002]

Продуктивність технології відновлення і вимоги до якості відновленого піску оцінюються на основі конкретного місця виробництва. Конкретні дані можна знайти в посиланнях: [186, Стефан, 1996], [187, Стефан, 1997], [188, Стефан, 2000].

Застосування

Термічні системи зазвичай використовуються для піщаних систем із хімічними речовинами і змішаних піщаних систем, за умови, що частка піщаної суміші з хімічними речовинами (стрижнів) досить висока. Проте можна зробити відмінність:

- деякі сполучні речовини можуть давати залишки неорганічної солі на поверхні зерна. Коли температура піднімається вище температури плавлення, вони поширюються поверхнею піску і можуть викликати оплавлення піщинок при охолодженні. Відомими прикладами є піщані суміші з резольними смолами і силікатними смолами
- при термічній переробці фуранових смол утворюється викид SO_2 , якщо для затвердіння використовуються сульфонові кислоти. Температура вихлопної системи повинна бути досить високою, щоб запобігти конденсації сірчаної кислоти. Якщо рівень викидів високий, може знадобитися вологе очищення відпрацьованих газів. Фосфор (із фосфорної кислоти, використовуваної для затвердіння) не випаровується, а залишається на поверхні у формі солі. Це може привести до накопичення P при переробці. Якщо концентрація P піднімається вище 0,5-0,7 %, може статися металургійна реакція, яка викликає відхилення виливки.

Ступінь здійснення термічного відновлення є низьким порівняно з механічним відновленням. У Німеччині повідомлялося, що в 1999 році тільки 10 установок застосували цю технологію (порівняно з 200 механічними установками).

Установка термічного відновлення Siempelkamp у Крефельді здатна обробляти пил від ливарного виробництва разом із відпрацьованим піском. Випробування були проведені також на інших типах мінеральних відходів.

Економічні дані

Інвестиції варіюються залежно від розміру і типу обладнання і наведені на рисунку 4.30. Дані відносяться до термічних систем із механічним етапом попередньої або наступної обробки, а також до інтенсивного механічного відновлення (наприклад шліфувальні установки). Малі установки мають продуктивність 0,75 т/год або 1500 т/рік. Ливарний цех середнього розміру – від 2500 до 5000 т/рік. Для невеликої установки капітальні витрати (з 8-річною амортизацією і 8 % процентною ставкою) складуть 55 євро/т. Ці витрати не включають затрати на енергію, персонал і утилізацію відходів.

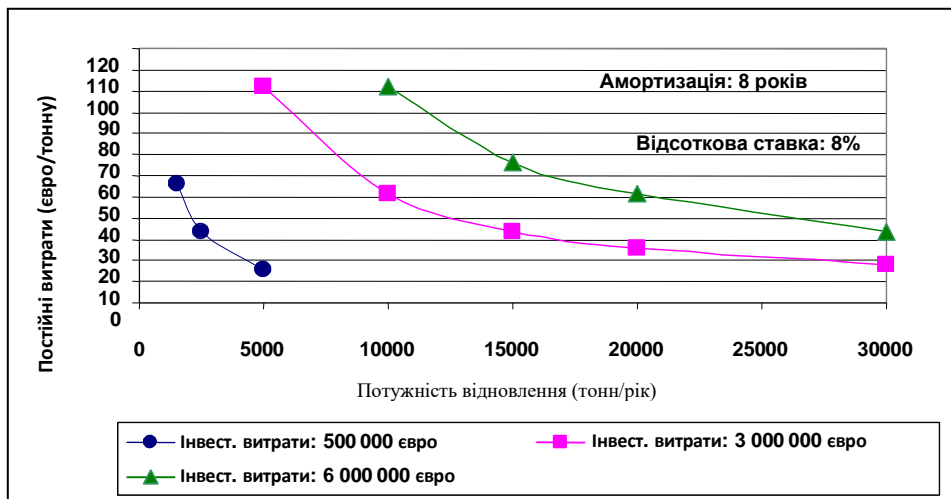


Рис. 4.30: Постійні витрати в євро за тону відновленого піску для термічного відновлення піску та високого рівня механічного відновлення піщаної суміші [82, IfG - Institut für Gießereitechnik, 1996]

Рушійна сила для впровадження

Законодавство застосовує високі збори за утилізацію для зменшення кількості відходів для утилізації.

Приклади установок

- киплячий шар, Metaalgieterij Giesen, Нідерланди
- установка централізованого відновлення із псевдозрідженим шаром, м. Білефельд, Німеччина
- VAW Alucast GmbH, м. Діллінген, Німеччина, система CEC/VAW
- Werner Rietschle GmbH, м. Шопфгайм, Німеччина, система Richards
- Siempelkamp Giesserei gmbH & Co, м. Крефельд, Німеччина, система Siempelkamp
- Sofogir, система Ronchamp (Франція) Reuntem 500
- Duranton Sicfond, м. Венісьє (Франція), система Richards
- FOAM, Leumann (Італія), система Eco-rec
- Fonderie Bréa, м. Монлюсон (Франція).

Довідкова література

[9, Шнайдер, 1993], [32, Комітет асоціації європейських ливарників, 1997], [80, ERM Lahmeyer International GmbH, 1999], [128, ІНОВЕ, 1998], [138, Metaalgieterij Giesen B.V., 1996], [186, Стефан, 1996], [187, Стефан, 1997], [188, Стефан, 2000]

4.8.8 Комбіноване відновлення (механічне–термічно–механічне) для змішаних органічних-бентонітових пісків

Опис

У змішаних органічно-бентонітових пісках на піщинках присутні затверділий бентоніт і органічні сполучні речовини. Пил складається з активного і затверділого бентоніту, вугільного пилу (тільки для чавуноливарних заводів), кварцових частинок і залишків органічних сполучних речовин. Змішані піски зустрічаються зазвичай на чавуноливарних заводах і складають близько 75 % від загального обсягу виробництва використовуваного піску. Відновлення може бути виконано з використанням механічних, пневматичних, теплових або комбінованих систем.

Пісок попередньо обробляють (просіювання, магнітне розділення) і сушать, щоб знизити вміст води до <1 %. Після цього пісок механічно або пневматично очищається для видалення частини сполучних речовин. На термічному етапі органічні складові спалюються, а неорганічні складові переносяться в пил або спалюються на зернах. При остаточній механічній обробці ці шари видаляються механічно або пневматично і викидаються у вигляді пилу. Типова схема системи, що використовує пневматичну обробку і термічну обробку в псевдозрідженому шарі, зображена на рисунку 4.31.

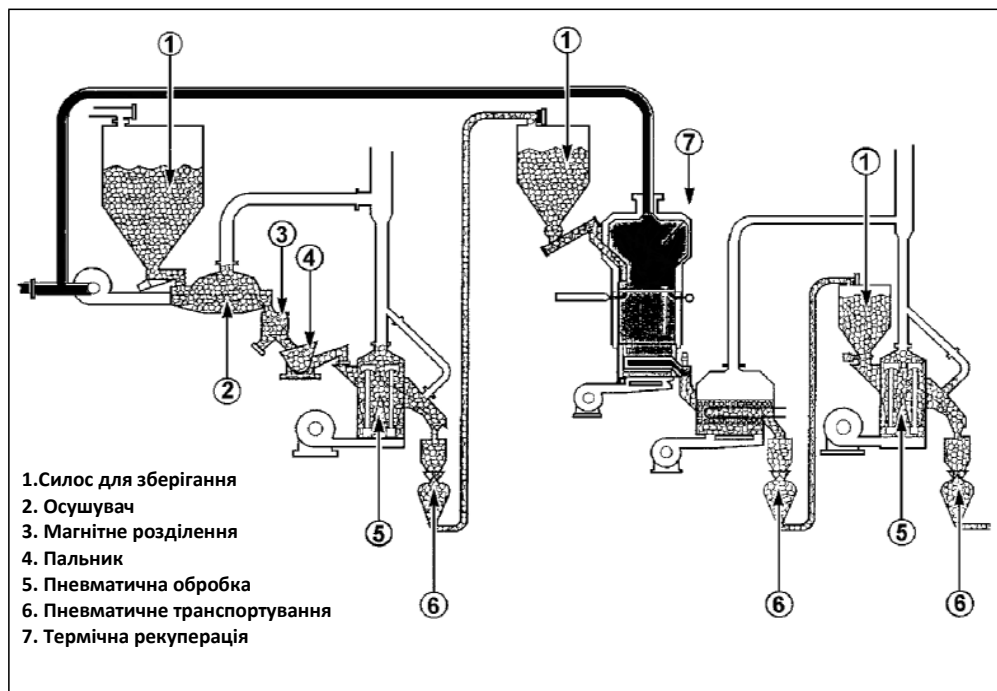


Рис. 4.31: Установка з механічного-термічного-механічного відновлення піску [108, Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF), 1999]

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення кількості піску для утилізації і використання свіжого піску первинного відновлення.

Міжсередовищні наслідки

Відновлення піску вимагає додаткової енергії і викликає додаткові викиди пилу й утворення пилу для утилізації.

Загальна оцінка внутрішнього відновлення в порівнянні з зовнішнім повторним використанням, а також відповідні міжсередовищні наслідки обговорюються окремо нижче.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані механічної-термічної-механічної обробки наведені в таблиці 4.65.

Параметр	Одиниці вимірювання	Ливарний завод N	Ливарний завод O	Ливарний завод P
Потік піску	(тонн/год)	1	2	3
Максимальна вологість введення піску	(%)	1	1	1
Загальна встановлена електрична потужність	(кВт)	150	215	400
Природний газ	(нм ³ /год)	31	62	155
Термічна обробка-середній потік повітря (псевдозрідження + спалювання)	(нм ³ /год)	700	1200	3000
Температура обробки	(°C)	800	800	800
Середній час обробки	(хв)	20	20	20
Потік відпрацьованого газу	(нм ³ /год)	200	300	500
Охолодження - тип - витрата води в контурі	(м ³ /год)	Псевдозріджений шар з циркуляцією води 15 30 75		
Температура піску на виході	(°C)	30 – 40		
Загальне споживання енергії: - електроенергія - газ		100 260	90 260	70 260
Потік стисненого повітря	(нм ³ /год)	150	210	330
Ефективність установки		70 – 80 %		
Відновлення якості піску: - гранулометрія - втрати від запалювання		Без змін ≤0,1 %		
Повторне використання відновленого піску: - виготовлення форм - виготовлення стрижнів		100 % 70 – 80 %		

Таблиця 4.65: Експлуатаційні дані щодо систем механічної-термічної-механічної обробки (пневматична – в киплячому шарі – пневматична)

[108, Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF), 1999]

Німецькі дані щодо установки 85000 тонн/рік (13-15 тонн/год) забезпечують наступний склад відпрацьованих газів:

- SO₂: 118 мг/нм³
- NO_x: 150 мг/нм³
- всього С: 10 мг/нм³
- CO: 30 мг/нм³

Застосування

Цей метод відновлення використовується для змішаних пісків, що містять бентоніт. Економічний і технічний успіх відновлення залежить від вибору піску для відновлення. Не підходить для відновлення всього обсягу піску. Пісок, який не пошкоджений термічно, може бути повторно використаний безпосередньо для підготовки свіжого піску. Його не можна відновлювати, тому що активні сполучні речовини і добавки будуть видалені. Вибір і поділ повинні проводитися під час вибивання, до гомогенізації. Цей метод не може бути застосований до стрижневих сумішей, які порушують характеристики бентоніту (сполучні речовини кислотної природи) або які змінюють характеристики сирової піщаної суміші (наприклад, рідке скло).

Відновлений пісок можна використовувати для виготовлення стрижнів в оригінальному процесі, для стрижнів з низькими або середніми геометричними вимогами. Застосування для виготовлення стрижня пов'язане з початковою кількістю піщаної суміші з хімічними речовинами. Застосування в інших системах сполучних речовин має бути перевірено в кожному випадку. Крім того, ці піски можуть застосовуватися без обмежень для заміни втрат в циклах формування з сирим піском. Обмеження можуть застосовуватися в тих процесах, в яких використовуються суміші з рідким склом або метилформіатом.

В останні роки були розроблені різні типи установок для обробки змішаних пісків, але вони ще не знайшли широкого застосування в цьому секторі. Деякі працюють тільки в напівпромисловому масштабі. Інші були розроблені для конкретного ливарного виробництва і виробляють відновлений пісок, придатний для повторного використання тільки в тому ж процесі, і результати не можуть бути перенесені на інші ливарні заводи.

Економічні дані

Витрати на триступеневу установку (механічну-термічну-механічну) з використанням пневматичного очищення в ролі механічного ступеня (3 трубки в 1 камері, реактивний регенератор типу KGT) з потужністю 2,5 т/год наступні: експлуатаційні витрати (споживання, персонал, технічне обслуговування) — 21 євро/т, інвестиційні витрати (амортизація за 8 років) — 30 євро/т, що дає загальну вартість відновлення 51 євро/т.

Рівні споживання наступні:

- Електрика: 50 кВт·год/т
- Природний газ: 18 нм³/т (залежно від вологості піску)
- Стиснене повітря: 60 нм³/т
- Зношення деталей: 5 євро/т

Рушійна сила для впровадження

Законодавство застосовує високі збори за утилізацію для зменшення кількості відходів для утилізації.

Приклади установок

Halberg Guss GmbH, м. Саарбрюкен (Німеччина), термомеханічна система. Ця установка обробляє 13-15 т/год змішаного 30 % органічного, 70 % неорганічного піску. Органічний пісок являє собою суміш 50/50 піску для оболонкового лиття і для холодного ящика. Вихід відновлення в розрахунку на кількість використаного обробленого піску складає 78 %. Відновлений пісок застосовується для виготовлення стрижнів (100 % оболонкове лиття; 70-100 % холодний ящик).

Первинне механічне відновлення + відділення хроміту (від стрижнів) і кварцового піску (в обох випадках з хімічними речовинами) + термічна/механічна обробка кварцового піску були продемонстровані в експериментальному масштабі в Німеччині (1993). Відділення піску обох типів було необхідно, оскільки в змішаному піску відбувалося спікання і утворення евтектики. Пізніше завод був закритий за іншими економічними причинами.

Довідкова література

[11, Шахтнер та Мюллер-Шпетх, 1993], [37, Вінтерхальтер та ін., 1992], [108, Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF), 1999], [122, Кірст, 1999], [128, ІНОВЕ, 1998], [153, Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003]

4.8.9 Відновлення вологої піщаної суміші

Опис

Після видалення металу пісок змішують з водою, щоб отримати осад для легкого відділення зв'язуючої речовини і подальшого вологого просіювання (1,6 мм). Видалення залишків зв'язуючої речовини зерна виконується в установці вологого відновлення шляхом інтенсивного міжзернового тертя. Зв'язуючі речовини випускаються в промивальну воду. Промитий пісок сушать до кінцевої вологості не більше 0,3 %, просівають в сухому вигляді (при 1,2 мм), а потім охолоджують. Це може супроводжуватися додатковим отриманням магнітного заліза і остаточним збором пилу. Залишок зв'язуючої речовини відокремлюють від суспензії і обробляють для забезпечення його безпечної утилізації.

Основною перевагою процесу перед механічними і термічними процесами є те, що він дає змогу здійснювати моніторинг процесу в режимі реального часу. Завдяки контролю рН можливе безперервне відстеження процесу, що дає змогу при необхідності коригувати дії в реальному часі та виробляти відновлений пісок постійної якості. Технологія допомагає видалити шар зв'язуючої речовини за допомогою вологого механічного впливу в поєднанні з хімічним впливом, коли це необхідно, що не загрожує зносу піщинок.

Цей процес зазвичай спрямований на зниження як ступеня утилізації відпрацьованого піску (максимальна межа втрат становить 1 %), так і вмісту кислоти.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення кількості піску для утилізації і використання свіжого піску первинного відновлення.

Міжсередовищні наслідки

Процес вологого очищення призводить до утворення осаду і стічних вод. Серйозною проблемою цього потоку стічних вод є погане осадження бентоніту і його важке видалення зі стічних вод. Стічні води після відновлення скляних піщаних сумішей показують наявність лужних іонів. Ці іони важко відокремити від стічних вод.

Застосування

Система вологого відновлення може застосовуватися тільки для сирової піщаної суміші та силікатних або СО₂-зв'язаних піщаних сумішей. Відновлення цих типів процесів дає змогу повністю повторно використовувати відновлений пісок як в формах, так і в стрижнях. Випробування на відновленому сирому піску показали можливість отримання якісних стрижнів холодного ящика з прийнятною кількістю зв'язуючої речовини (всього 1,8 %).

Економічні аспекти

На італійському ливарному ринку з допомогою централізованої установки вологого відновлення можна отримати відновлений пісок за нижчою ціною, ніж ціна на свіжий пісок.

Рушійна сила для впровадження

Повідомляється, що ця система здатна справлятися зі змінами якості відпрацьованого піску краще, ніж механічні або термічні процеси. Це робить її придатною при розгляді централізованої установки відновлення піску.

Приклади підприємств

Safond – централізована установка вологого відновлення сирової піщаної суміші, яка з 1981 року переробляє 230000 тонн/рік відпрацьованого піску.

Один польський ливарний завод (Odlewnia Zeliwa Srem s.a., Srem (Польща)) здійснює вологе відновлення фуранової суміші. Операція регулюється специфічними для місця виробництва факторами, і цей метод не можна розглядати для перенесення на інші місця виробництва.

Довідкова література

[37, Вінтерхальтер та ін., 1992], [140, Тематична мережа щодо викидів ливарної промисловості ЄС, 2001], [225, ТРГ (TWG), 2003]

4.8.10 Відновлення скляного піску за допомогою пневматичних систем

Опис

Скляний пісок традиційно важко відновити. Використання пневматичної системи дозволило налаштувати регенераційні установки, що працюють з коефіцієнтом відновлення 60 %. Система працює за тим же принципом, що і згаданий вище (див. пункт 4.8.6). Для цього типу зв'язуючої речовини, однак, пісок повинен бути нагрітий до 220 °С перед регенерацією, щоб зробити силікатний шар крихким. Пісок повинен мати вологість нижче 0,3 % до відновлення. Відновлений пісок може бути повторно використаний в тій же системі. Для того, щоб складний ефір належно працював, відновлений пісок повинен бути охолоджений до температури нижче 20 °С перед подачею назад в цикл формування.

Системи відновлення рідкого скла складаються з наступних технологічних етапів: подрібнення – сушіння/нагрівання – (пневматичне) відновлення – охолодження – фільтрація.

Цей метод показує нижчу продуктивність, ніж термічне відновлення пісків з органічно зв'язаними речовинами. Існують наступні обмеження:

- нижча миттєва міцність на стиск
- коротші строки застосування основних піщаних сумішей
- втрата стабільності при зберіганні стрижнів
- втрата кінцевої міцності на стиск, особливо при використанні зв'язуючих речовин з високою здатністю до руйнування.

Щоб компенсувати ці проблеми, необхідно внести зміни до схемі обробки або сумішей зв'язуючих речовин.

Досягнуті переваги для довкілля

Застосування скляного піску в ролі зв'язуючої речовини чинить менший вплив на навколишнє середовище в порівнянні з застосуванням органічних зв'язуючих речовин. Цей метод допомагає (частковому) відновленню скляного піску і в такий спосіб зменшує необхідність утилізації відпрацьованого піску і використання первинної сировини.

Міжсередовищні наслідки

Для розігрівання піску спалюється природний газ. Відповідний викид CO₂ оцінюється в 18 кг/т відпрацьованого піску. Також спостерігаються викиди NO_x.

Експлуатаційні дані

На німецькому заводі використовується пневматична установка з покроковим циклом. Пісок спочатку сушать шляхом введення нагрітого повітря (5 хв/220 °С). Після цього починається пневматичне очищення шляхом уприскування стисненого повітря (70 хв). Потім іде заключна фаза обезпилення, під час якої вводиться тільки розріджене повітря (2 хвилини). Немає необхідності в подальшому охолодженні, так як пісок остигає до робочої температури.

Повідомляється, що вихід відновленого піску за один цикл складає 85 % від початкової ваги (в розрахунку на SiO₂). Для отримання стабільних стрижнів і з урахуванням подальшого зниження якості піску в другому циклі відновлення може бути досягнутий максимальний коефіцієнт відновлення 62 % (залишаючи 38 % на додавання свіжого піску).

Рівні питомих споживання наступні (для 1500 т/рік; 0,5 т/год):

- витрата природного газу: 104,4 кВт·год/т відпрацьованого піску
- споживання електроенергії: 74,5 кВт·год/т відпрацьованого піску.

Польський завод (виробництво сталі) складається з наступних установок: вібраційний подрібнювач – осушувач – регенератор ударної пластини – каскадний пиловловлювач – електромагнітний сепаратор. Технічні характеристики установки наведені в таблиці 4.66. Відновлений пісок повторно використовується для приготування силікатно-формульованого піску. Силікатний пісок використовується як допоміжний пісок при виготовленні форм, а лужний пісок використовується в ролі контактного піску. Загальний баланс піску (на річній основі) показує використання 45-47 % відновленого піску.

Характеристика	Значення
Виробнича потужність	10 тонн/год
Коефіцієнт відновлення	90 %
Вміст відновленого піску в формувальному піску	50 – 60 %
Робоче живлення	76 кВт
Ефективність системи видалення пилу (2 рукавних фільтра)	99.4 %
Місце для установки відновлення	220 м ²

Таблиця 4.66: Експлуатаційні дані щодо установки з відновлення кремнеземного піску [200, Metalodlew s.a., 2002]

З іспанського заводу (ливарний цех) повідомили про повторне використання 80-88 % (при середньорічному показнику додавання свіжого піску 12,5 %) відновленого силікатно-складноєфірного піску на лінії ручного формування, використовуваної для лиття великих форм. Система відновлення складається з: вібраційної подрібнювачі – нагрівання в реакторі з непрямим нагріванням ("Quemador" з газовим пальником в бічній камері) – охолодження в водоохолоджуючій теплообмінній вежі – ударне очищення в обертальній змішувальній камері.

На італійських заводах також використовують спеціальне обладнання для нагріву піску до температури від 140 °С до 150 °С, щоб забезпечити видалення дефектів і затвердіння рідкого скла. Потім іде механічна обробка обертовим диском, обезпилення і, нарешті, охолодження. Схематичне зображення установки з ротаційного механічного відновлення наведено на рисунку 4.32.

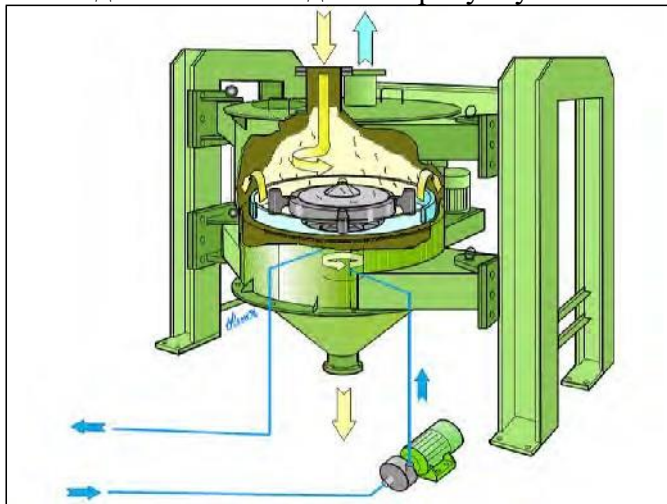


Рис. 4.32: Установка з ротаційного механічного відновлення [225, TRG (TWG), 2003]

Енергоспоживання обладнання становить 35 кВт/т відновленого піску. Експлуатаційні втрати піску складають близько 5 %. Для формувальних і стрижневих сумішей можна використовувати більше 90 % відновленого піску. Досяжний коефіцієнт відновлення залежить від інтенсивності та часу відновлення й від експлуатаційних втрат піску. Втрати піску відбуваються під час кожної частини всього циклу змішування, підготовки, транспортування, виробництва і відновлення форми.

Застосування

Застосування відновлення для скляного піску залежить від використовуваного каталізатора. З класичними складними ефірами поліацетата гліцерину відновлення після ряду циклів стає неможливим. У разі вуглецевих ефірів відновлення можливе і навіть простіше, ніж для силікатного-СО₂-піску. Якщо пісок неможливо охолодити до температури нижче 20 °С перед поверненням в змішувач, необхідно використовувати складні ефіри з повільною реакцією. В даному випадку відновлення не відбувається. Така ситуація може виникнути влітку при спекотному кліматі.

Повторне використання відновленого скляного піску для приготування форм органічно зв'язаних речовин або стрижнів є проблематичним. Підвищений вміст електролітів (зв'язуючих речовин) не дозволяє їх використання в інших системах зв'язуючих речовин стрижнів. Високоосновні залишки рідкого скла чинять негативний вплив на зв'язування і стабільність стрижнів як в нейтральних, так і в лужних зв'язуючих системах. Застосування в циклах сирої піщаної суміші та кислотних стрижневих зв'язуючих речовин систем ще не було успішно реалізовано. Це може бути пов'язано із невеликою зацікавленістю в розробці цієї програми.

Через низьку якість піщаної суміші вторинного відновлення під час очищення від піску і збору піску необхідно визначити кількість відновленого піску і його походження (наприклад, кількість циклів), а тоді викинути будь-який непридатний пісок.

Через високу вартість і відносно низький коефіцієнт відновлення знос установки в розумні строки може бути гарантований тільки для установок із потужністю > 2500 тонн на рік.

Економічні аспекти

Вартість обробки цього методу для німецького заводу становить близько 60 євро за тонну. Ця висока вартість була причиною того, що один оператор закриття своєї установки і повернувся до утилізації скляного піску, що він міг зробити за меншу вартість – 30 євро за тонну.

Заявлені експлуатаційні витрати на іспанському заводі складають 10 євро за тонну.

Рушійна сила для впровадження

Для забезпечення можливості відновлення скляного піску, який має хороші екологічні показники в певних застосуваннях.

Приклади підприємств

- централізована відновлювальна установка KGT Jet Reclaimer для 4 ливарних заводів, побудована в 1998 році в Fa. Bröer, м. Шветцинген (Німеччина), але припинила роботу в 2001 році
- Metalodlew s.a., м. Краків (Польща)
- Lur Sue s.l., м. Лора-дель-Ріо (Іспанія)
- Fonderia Arno Metallurgia, муніципалітет Сан-Вітторе-Олона (Італія)
- Faser Spa, комуна Роджено (Італія)
- Talleres De Amurrio S.A., муніципалітет Амурріо (Іспанія)
- Daros Piston Rings AB, муніципалітет Ла-Паррілья (Іспанія).

Довідкова література

[128, ІНОВЕ, 1998], [152, Notzon and Heil, 1998], [154, Баум, 2002], [200, Metalodlew s.a., 2002], [210, Мартінез де Морентін Ронда, 2002], [225, ТРГ (TWG), 2003], [228, Галанте та ін., 1997]

4.8.11 Внутрішнє повторне використання неочищеного стрижневого піску

Опис

При виробництві стрижнів утворюються залишки піску у вигляді подрібнених стрижнів, стрижні з невеликими дефектами і надлишок піску з машин для виготовлення стрижнів. Надлишок піску можна піддати затвердінню в певній установці. Потім різні невикористовувані потоки піску стрижнів надходять в подрібнювач. Отриманий пісок може бути змішаний зі свіжим піском для виробництва нових стрижнів.

Досягнуті переваги для довкілля

Внутрішня повторна циркуляція стрижневої суміші становить 5-10 %, яку в іншому випадку могли б утилізувати.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не виникають.

Застосування

Цей метод можна застосовувати для поліуретанових (холодний ящик) і фуранових смол. Інші зв'язуючі речовини не дозволяють використання даної технології.

Впровадження цієї технології вимагає змін в управлінні процесом. Необхідно визначити оптимальне співвідношення рециркульованого і свіжого піску. Крім того, можуть знадобитися зміни в додаванні зв'язуючої речовини або в її складі.

Економічні аспекти

Технологія вимагає інвестицій у розмірі 250 000 – 500 000 євро для комбінованої установки обробки і подрібнення. Експлуатаційні витрати становлять близько 12 євро/т. Ці витрати балануються зниженням витрат на утилізацію та витрат на покупку свіжого піску.

Дана технологія підходить тільки для інтенсивного виробництва.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізація використання первинних матеріалів і зниження кількості відходів для утилізації.

Приклади підприємств

Про технологію повідомили кілька великих ливарних виробництв.

Довідкова література

[82, IfG – Institut für Gießereitechnik, 1996], [110, Віто, 2001]

4.8.12 Повторне використання пилу із циклу використання сирової формувальної суміші для виготовлення форм

Опис

Пил збирається через фільтрацію вихлопних газів з установки для вибивання виливок і станцій дозування і обробки сухого сирового піску. Зібраний пил містить активні зв'язуючі речовини і може бути повернений в цикл сирового піску.

Досягнуті переваги для довкілля

Зменшення використання зв'язуючих речовин (бентоніт) та добавок (вуглець) завдяки внутрішній повторній циркуляції (рециркуляції).

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не спостерігаються.

Експлуатаційні дані

Чавуноливарний автомобільний завод, який використовує автоматичну лінію формування із виробничою потужністю 8000 т/рік виливків, виробляє 480 т/рік пилу. Цей пісок збирається, охолоджується і транспортується в змішувач для піску. Зібраний пил містить 23 % активного бентоніту і 10 % вуглецю. 50 % пилу можна рециркулювати без ризику втрати якості через дрібний пил.

Застосування

Технологія може застосовуватися на нових та наявних установках, що використовують свіжий пісок.

Економічні аспекти

Дана технологія вимагає інвестицій розміром 25 000 євро на складське та транспортне обладнання. Строк амортизації становить 8 років з процентною ставкою 8 % для установки з виробничою потужністю в 240 тонн/рік, що призводить до капітальних витрат в 17 євро/тону обробленого піску. Додаткові експлуатаційні витрати відсутні, так як робота всієї установки не змінюється.

Рушійна сила для впровадження

Оптимізувати використання первинних матеріалів і зменшити кількість відходів для утилізації.

Приклади підприємств

Залізоплавильний автомобільний завод в Німеччині.

Довідкова література

[82, IfG – Institut für Gießereitechnik, 1996]

4.8.13 Зовнішнє повторне використання відпрацьованого піску та зниження відходів від циклу використання піщаної суміші та процесів відновлення

Опис

Відпрацьований пісок і пісок меншого розміру з піщаного циклу або відновлення піску можуть знайти деякі зовнішні види застосування, при цьому основними областями застосування є наступні:

- будівельна галузь (дорожнє будівництво, будівництво доріг)
- промисловість будівельних матеріалів (виробництво цементу, цегли, вапняку)
- засипання ям (шахт)
- будівництво полігонів (дороги на полігонах, постійні укриття).

Межі цих застосувань визначаються технічними критеріями для будівельних матеріалів і/або екологічними критеріями для цього застосування. Екологічні критерії зазвичай засновані на властивостях промивання і вмісті органічних сполук. Вони відрізняються у різних європейських регіонах. Відпрацьовані піски зазвичай показують низький потенціал вилугування металу. Перевищення граничних значень може мати місце для матеріалів з високим вмістом органічної зв'язуючої речовини або зі спеціальними добавками, такими як блискучий вуглець.

Завдяки високому вмісту кварцу і відповідній гранулометрії, відпрацьований пісок може застосовуватися в ролі замітника чистого піску в дорожньому будівництві. Застосування у виробництві будівельних матеріалів (бетон, цегла, плитка, скловата, ...) технічно можливо, але вимагає вищого рівня контролю складу і логістики. Промислові випробування успішно застосовувалися як:

- дорожнє полотно
- наповнюючий матеріал
- дренажний матеріал
- бетонні елементи
- у виробництві цементу (залежно від потреби процесу в кремнії. У Німеччині це застосування має велике значення)
- засипання ям (шахт) (завдяки гарній несучій здатності. Відпрацьований пісок в Німеччині використовується за даним призначенням)
- кінцеве засипання звалищ (у суміші з рідким склом та іншими відходами, наприклад в Нідерландах)
- будівельний матеріал для зміцнення дамб
- для перетворення небезпечних відходів на скло.

Детальну інформацію для різних типів піску наведено в таблиці в пункті 4.9.

Іншими областями застосування є виробництво цегли, вторинна виплавка міді та рекуперація цинку.

Слід підкреслити, що обговорення (типу) зовнішнього використання виходить за рамки цього довідкового документа. Однак в цілому можна стверджувати, що пісок зазвичай не вимагає попередньої обробки і вивозиться з ливарного цеху після збору і проміжного зберігання. Зазвичай, щоб гарантувати постійну якість матеріалу, розробляється окрема система збору та зберігання. Крім того, якість матеріалу необхідно контролювати за допомогою регулярного аналізу.

Досягнуті переваги для довкілля

При зовнішніх застосуваннях відпрацьований пісок замінює і, отже, економить первинні матеріали. Як правило, зовнішнє застосування не вимагає будь-якої обробки піску, тому не створює додаткових енергетичних витрат для ливарного виробництва.

Міжсередовищні наслідки

Залишки органічного покриття є можливими джерелами ароматичних вуглеводнів.

Застосування

Цей метод можна застосовувати для нових та наявних установок, якщо знайти покупця для відходів піску не складає труднощів.

Використання надлишків формувальної суміші не знижує зносостійкість асфальтобетону. Використання надлишків формувальної суміші разом з пилом з того ж ливарного процесу можливе при виробництві портландцементного бетону. При виробництві мінеральної вати можливе використання надлишків формувальної суміші разом з летючої золою та металовмісним шлаком. Використання надлишків формувальної суміші в процесі компостування біовідходів не чинить негативного впливу на екологічні або технічні характеристики кінцевого продукту, зокрема верхнього шару ґрунту. Використання надлишків сирого піску в мінеральних шарах можливе технічно і екологічно в верхніх шарах полігону.

Економічні аспекти

Витрати на зовнішнє використання залежать від місцевого ринку і необхідних витрат на транспортування і зберігання.

Інвестиційні витрати на роздільний збір і зберігання мінімальні. Часто це можна реалізувати за допомогою організаційних заходів. Операційні витрати на аналіз і адміністрування можуть становити до 5 000 євро на рік. Є також додаткові вигоди, зокрема зниження витрат на утилізацію (до 125 євро/т).

Рушійна сила для впровадження

Законодавство застосовує високі збори за утилізацію для зменшення кількості відходів для утилізації.

Приклади підприємств

По всій Європі було зареєстровано кілька прикладів, наприклад, Фінляндія, Нідерланди, Бельгія, Німеччина, Великобританія.

Довідкова література

[82, IfG – Institut für Gießereitechnik, 1996], [110, Віто, 2001], [128, ІНОВЕ, 1998], [169, Оркас, 2001], [171, Центр розвитку лиття, 1999]

4.9 Пил і тверді залишки: обробка та повторне використання

4.9.1 Вступ

Хороше розділення (сегрегація) матеріалів має важливе значення для забезпечення можливостей для відновлення, переробки та повторного використання. Відходи завжди повинні бути перероблені або поновлені, якщо регулюючий орган не прийме задовільне обґрунтування того, що відновлення є «технічно й економічно неможливим».

Як правило, потоки відходів включають в себе:

- пил сировини, що збирається в рукавні або картриджні фільтри
- шлак від десульфурзації
- шлак/відходи від плавлення
- пил і дим від плавлення, що збираються в фільтрувальній установці
- пилу і дим від заливки, що збираються в фільтрувальній установці
- пил від очищення, що збирається в очисній установці
- обрізки і стружка від очищення
- використані абразиви від дрібноструменевої обробки
- скрубєрні розчини та шлами і вихід із установки очищення стоків
- тугоплавкі відходи від жолобів і ковшів
- пісок
- контейнери для хімічних речовин та мастил
- загальні інертні промислові відходи.

У випадках, де це практично можливо, відходи повинні бути відновлені. Крім піску, найзначнішими відходами є:

- шлак від процесів плавлення й обробки металів
- пил, зібраний на очисних установках
- зібраний осад
- тугоплавкі відходи (відходи вогнетривких матеріалів).

[160, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2002]

4.9.2 (Попередня обробка для) повторного використання твердих залишків

Опис

Щоб можна було зовнішньо повторно використовувати тверді залишки, матеріал потребуватиме обробки. В таблиці 4.67 наведено необхідну обробку для різних (не піщаних) твердих відходів та можливі обмеження для їх повторного використання.

Для шлаку вагранки фізична форма і, отже, в деякій мірі її варіанти повторного використання залежать від типу використовуваного видалення шлаку. Сухий шлак, зокрема розливання шлаку в ковші для охолодження і затвердіння, дає кристалічний непористий мінерал. За технологічним аспектами цей шлак можна порівняти з доменним шлаком. Мокрий шлак утворює гранульований шлак, охолоджуючи його струменем води.

Тип залишку	Обробка	Обмеження
Ваграночний шлак, охолоджений повітрям	Подрібнення	- відновлення скляного пилу - вимоги до поводження через скляний характер
Ваграночний шлак, затверділий у воді	Не застосовується	- відновлення скляного пилу - вимоги до поводження через скляний характер
Шлак індукційного плавлення	Подрібнення	- відновлення скляного пилу - вимоги до поводження через скляний характер - недостатні дані про продукти вилуговування
Шлак EAF	Подрібнення	- відновлення скляного пилу - вимоги до поводження через скляний характер - недостатні дані про продукти
Шлак десульфурації	Вилучення металу та інших великих частинок	- вимоги до поводження, CaC ₂ потребує обережного поводження, щоб уникнути травм - стікання - можуть бути спеціальні відходи
Пил і мул (шлам)	Пресування шламу, сушіння та грануляція, необхідні для більшості застосувань	- вимоги здоров'я і безпеки до поводження з деякими видами пилу - проблеми з транспортуванням матеріалів з пилом - - високий потенціал вилуговування завдяки природі продукту і великій площі поверхні

Таблиця 4.67. Необхідна обробка та можливі обмеження для зовнішнього повторного використання твердих залишків [171, Центр розвитку лиття, 1999]

Досягнуті переваги для довкілля

При зовнішньому застосуванні матеріал, що використовується повторно, буде слугувати вторинним будівельним матеріалом і може замінити первинні матеріали. Повторна циркуляція приводить до зменшення кількості матеріалу для утилізації.

Міжсередовищні наслідки

Попередня обробка потребує енергії та може генерувати викиди пилу.

Застосування

Технологія може бути застосована для нових і наявних установок, якщо існує відповідний місцевий ринок для залишків.

Огляд зовнішнього повторного використання для різних твердих відходів наведено в таблиці 4.68.

ОГЛЯД ВАРИАНТІВ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ	ПСОК						ШЛАКИ					ІНШЕ	
	Сира формувальна суміш	Лужний фенол	Фенольний уретан	Фуран	Оболонка та смоли	Силікат натрію	Вагранка з повітряним охолодженням	Вагранка з водним охолодженням	Індукційна	Електродугова піч	Десульфуралія	Оболонкове лиття з випаленими моделями	Пил і мул (шлам)
Використання в таких типах конструкцій /будівництва													
Асфальт	x	x	+	+	+	O	x						
Баласт							+			+			
Виготовлення блоків	+	x	+	+	x	+		x					
Виготовлення цегли	x	x	+	+	+		+	+					
Цемент	x	x	+		x	x							
Замінник крупного наповнювача							x		x	x		x	
Бетон		x	+	+	+								
Замінник дрібного наповнювача	x	x	+	+	+	+							
Пінобетон, тощо	x	x	+										
Ізоляційні/мінеральні/скляні вати	+	+	+	+	+	+	+	+					+
Виробництво легких наповнювачів													+
Виробництво розчину						+							
Будівництво дорожнього полотна		x	+		+	x	x		x	x		x	
Рулонний покрівельний матеріал				x									
Повторне використання в іншому ливарному виробництві													
В ролі нової добавки піску до сирого піску				x									
В типі ґрунту використано													
Штучні верхні шари ґрунту	x	+	+	x	+								+
Декоративне ґрунтове покриття							+	+					
Наземний покрив в стайнях								+					
Наповнювач добрив													x
Полігон – верхній шар	x	x	+										+
Полігон – щоденне покриття	x	x	+	x	x	x							
Полігон – захисний шар	+												+
Модифікатор/поліпшувач ґрунту	+	+	+	+	+	+		+		+			+
Різне													
Абразиви/вибухові матеріали		x	+					x	+				
Поглинаючі середовища												+	
Виробництво цементу із доменних шлаків						+				+			
Хімічне/промислове застосування													x
Заміна гашеного вапна										+			+
Плавильні флюси		+	+		+	+							
Заскловування відходів	+	+	+		+	+							
x Доведене повторне використання з успішними проєктами, створеними у Великобританії + Повторне використання, яке було доведено теоретично, але наразі жоден проєкт повторного використання у Великобританії не запущено O Непридатне для повторного використання в необробленому вигляді													

Таблиця 4.68: Підсумок щодо зовнішнього повторного використання твердих залишків ливарного виробництва (дані 1999 року)

[171, Центр розвитку лиття, 1999], [202, TRG (TWG), 2002]

Економічні аспекти

Витрати, пов'язані з повторним використанням – це переважно витрати на обробку і транспортування, але вони можуть бути зменшені з урахуванням доходу, отриманого від продажу матеріалу. Проте, останній, як правило, може бути низьким або близьким до нуля, тоді як зазвичай витрати на механічну обробку знаходяться в діапазоні 8 євро/т.

Чим далі будуть транспортуватися матеріали, тим більшими будуть витрати. Щоб оцінити економічну життєздатність варіантів повторного використання, повинні бути прийняті до уваги відповідні витрати на утилізацію. Вони відрізняються в різних регіонах і залежать від типу залишку.

Рушійна сила для впровадження

Законодавство заохочує переробку мінеральних відходів, частково шляхом встановлення високих зборів за утилізацію з метою зменшення кількості залишків для утилізації.

Приклади підприємств

В Європі було зареєстровано безліч прикладів повторного використання піску і шлаку, наприклад у Фінляндії, Нідерландах, Бельгії, Німеччини, Великобританії.

Довідкова література

[171, Центр розвитку лиття, 1999]

4.9.3 Мінімізація шлакоутворення

Опис

Виробництво шлаку можна звести до мінімуму, використовуючи наступні технологічні заходи:

- використання чистого скрапу
- використання нижчої температури металу
- запобігання викидам (тимчасові високі температури)
- запобігання тривалому перебуванню розплавленого металу в плавильній печі
- належне використання флюсів
- належне використання/вибір вогнетривкої футеровки
- застосування водяного охолодження стінки печі, щоб уникнути використання вогнетривкої футеровки.

Досягнуті переваги для довкілля

Мінімізація виробництва залишків і скорочення викидів в атмосферу.

Міжсередовищні наслідки

Ці заходи щодо мінімізації не викликають міжсередовищних наслідків. В частині, що стосується плавлення чистого скрапу, слід враховувати міркування, викладені в пункті 4.1.4.

Застосування

Цей метод застосовується до всіх нових і наявних установок. Використання чистого скрапу широко обговорено в пункті 4.1.4.

Економічні аспекти

Цей метод не потребує будь-яких інвестицій, так як він стосується оперативних заходів.

Рушійна сила для впровадження

Високі витрати на утилізацію залишків.

Приклади підприємств

Цей метод є частиною наявних операційних процедур в більшості європейських ливарних виробництв.

Довідкова література

[103, Vereniging van Nederlandse Gemeenten, 1998]

4.9.4 Вагранка

4.9.4.1 Збір і переробка коксо-мінерального активатора

Опис

Обробка, транспортування і завантаження коксу призводить до виробництва коксо-мінерального активатора. Для збору і переробки цього матеріалу можуть бути застосовані конкретні заходи, наприклад системи збору під конвеєрними стрічками або в точках завантаження.

Зібраний матеріал може бути повернутий у процес шляхом уприскування у вагранку або його утилізації для повторного збагачення вуглецем.

Досягнуті переваги для довкілля

Мінімізація виробництва залишків.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Цей метод застосовується на нових і наявних установках.

Рушійна сила для впровадження

Висока плата за утилізацію твердих відходів.

Приклади підприємств

Повідомляється про використання технології в декількох ливарних виробництвах у Європі.

4.9.4.2 Повторна циркуляція фільтрувального пилу до вагранки

Опис

Фільтрувальний пил повторно вводиться до вагранки. Метою цього методу є накопичення цинку в пилу до рівня, що дає змогу проводити переробку з вилученням цинку (>18 %). Відновлення Zn виконується з використанням вельц-процесу.

Повторна циркуляція пилу може бути здійснена шляхом повторного введення до фурм або шляхом завантаження гранул пилу через дверцята колошникового отвору. Обидва методи застосовуються в промисловому масштабі. Аналіз балансу маси може використовуватися, щоб показати, що цинк сублімується і знову з'являється в рекуперованому пилу. Після декількох циклів пил досить збагачений цинком для забезпечення відновлення. Технічно можливо відновлення при рівні вище 18 % Zn.

Існує два обмеження для переробки пилу:

- цинк, по суті, з'являється у формі Zn_2SO_4 , з'єднання, що містить 64 % Zn. У такий спосіб це дає максимальний рівень збагачення
- пил також збагачується лугом, що викликає згасання полум'я в камері згорання. Цей ефект може бути вирішений шляхом введення водяної пари в повітря для спалювання.

Введення до фурм може ґрунтуватися на декількох принципах. П'ятнадцять (станом на травень 2001 року) європейських ливарних підприємств переробляють пил шляхом його введення до фурм. Одинадцять використовують техніку позитивного тиску, а четверо – техніку всмоктування Вентурі. Перевага методу Вентурі полягає в тому, що він споживає менше повітря для введення і тому менше охолоджує зону плавлення. При обох методах пил стає липким після проведення послідовних циклів. Тому в разі методу Вентурі пил має бути змішаний із нафтовим коксом, щоб його можна було транспортувати трубами.

Повторна циркуляція пилу через агломерацію і завантаження зустрічається набагато рідше, ніж введення до фурм. Це тому, що процес набагато складніше автоматизувати. Крім того, необхідний високий рівень контролю і знань процесу гранулювання, щоб надати гранулам необхідної консистенції. Можна додавати феросиліцій для

отримання гранул із належною консистенцією. У практичних випробуваннях для забезпечення гарної роботи була потрібна суміш 2/3 FeSi з 1/3 пилу. З іншого боку, метод гранул може бути використаний для обробки великих кількостей. Для вагранок більшого діаметра введення пилу в центр вогню являється непростим, тому це сприяє використанню гранул.

Властивості обох методів порівнюються в таблиці 4.69.

Повторне використання дрібних частинок, зібраних при очищенні відпрацьованих газів вагранки	Введення через фурми	Введення у вигляді гранул	Спостереження
Вплив відходів			
Обмеження щодо введення кількості дрібних частинок	7 – 8 кг/тонну металу		Проблема гасіння полум'я
Зменшення кількості виробництва дрібних частинок	40 %	50 %	Прибл. ⁽¹⁾
Збільшення вмісту цинку в дрібних частинках	30 %	20 %	Прибл. ⁽¹⁾
Збільшення виробництва шлаків	?	?	
Вплив на роботу вагранок			
Кількість коксу, необхідна для протидії втратам температури	0,5 – 0,6 %	0,2 – 0,3 %	Прибл. ⁽¹⁾
Різниця в аналізі відпрацьованих газів	Ні	Ні	п.а.
Вплив на розплавлений метал			
Збільшення вмісту металів (Zn, Pb) в залізі	Обмежено	Ні	(в порядку тисячних)
Вплив втрат на спалювання	10 – 30 %	Ні	Прибл. ⁽¹⁾⁽²⁾
Ефективність додавання інших продуктів (C, FeSi) тим самим методом	Так	Ні	п.а.
Витрати			
Зниження вартості утилізації дрібних частинок	60 %	50 %	Прибл. ⁽¹⁾
Операції			
Можливість автоматизації процесу	Так	Ні	п.а.
Додаткова проблема	Ні	Так	Удароміцність гранул
Впровадження технології			
Наявні засоби	Так	Так	Переважно вагранки
Нові засоби	Так	Так	великих розмірів
⁽¹⁾ Приблизні значення (апроксимація), реальна величина залежить від початкового вмісту оксиду цинку в дрібних частинках, ступеня необхідного збагачення для його повторного використання та від характеристик вагранки			
⁽²⁾ Функція кількості сталі у завантаженні вагранки			
п.а.: не застосовується			

Таблиця 4.69: Властивості технологій лиття під тиском для рециркуляції пилу у вагранці [108, Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF), 1999]

Досягнуті переваги для довкілля

Основною перевагою методу є зменшення чистої кількості пилу, що відправляється ливарним заводом для утилізації або відновлення. Ливарний завод зазвичай відправляє меншу кількість пилу, але з вищим завантаженням металів. Це дає змогу витягувати Zn з пилу від вагранки. Методика приводить до збагачення цинку у складі пилу від вагранки, в той час як велика частка свинцю залишається в залізі. Якщо Zn ефективно відновлюється з пилу, методика знижує навантаження важкого металу на кінцевий пил для утилізації, а також його кількість. З іншого боку, збільшується кількість вироблення шлаку.

Міжсередовищні наслідки

Обидва методи споживають енергію, зокрема кокс, щоб розплавити продукт. Повідомляється про збільшення використання коксу від 0,15 до 0,25 кг коксу/кг пилу при тепловому ККД печі 40 %.

Крім того, введення холодного пилу в зону гарячого плавлення призведе до зниження температури полум'я, яка, відповідно, повинна бути відновлена шляхом введення кисню. Також збільшиться загальна кількість вироблення шлаку.

Завантаження липкого пилю в кілька внутрішніх частин системи призведе до середньострокової втрати ефективності та, можливо, експлуатаційних проблем. Вони не визначаються кількісно.

Експлуатаційні дані

Аналіз вхідного і вихідного потоків французьких вагранок допоміг сформувати масовий баланс, показаний на рисунках 4.33 і 4.34. Внесок кожного потоку до внесення/виведення Zn – наведено разом із рівнем цинку (у вигляді маси і %). Зазначені відсотки є середніми значеннями за вказаний період вимірювання.

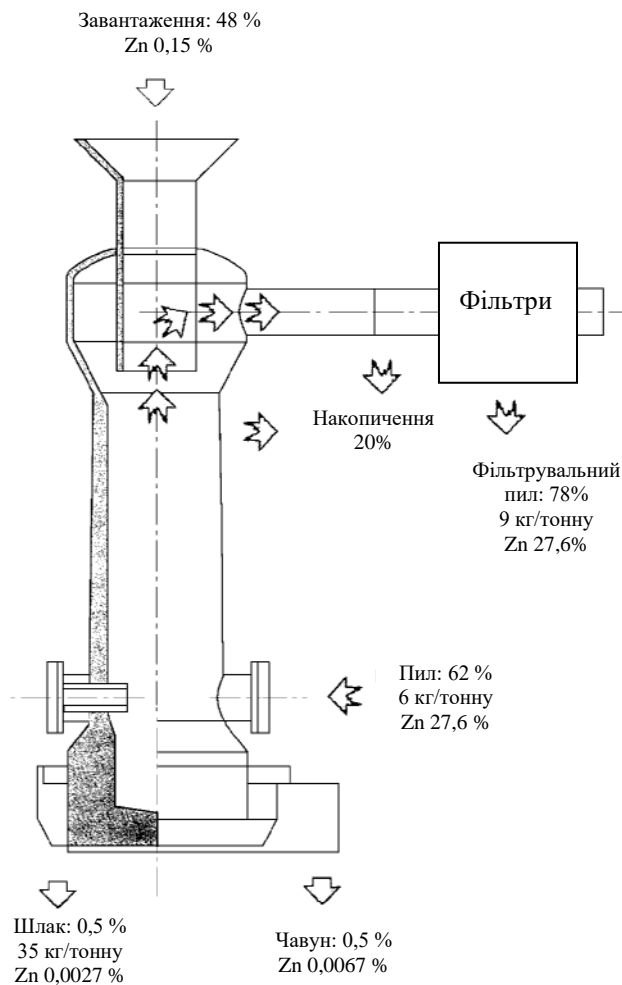


Рис. 4.33: Розподіл цинку для вдування через фурму, через 20 днів після вдування [156, Годіно, 2001]

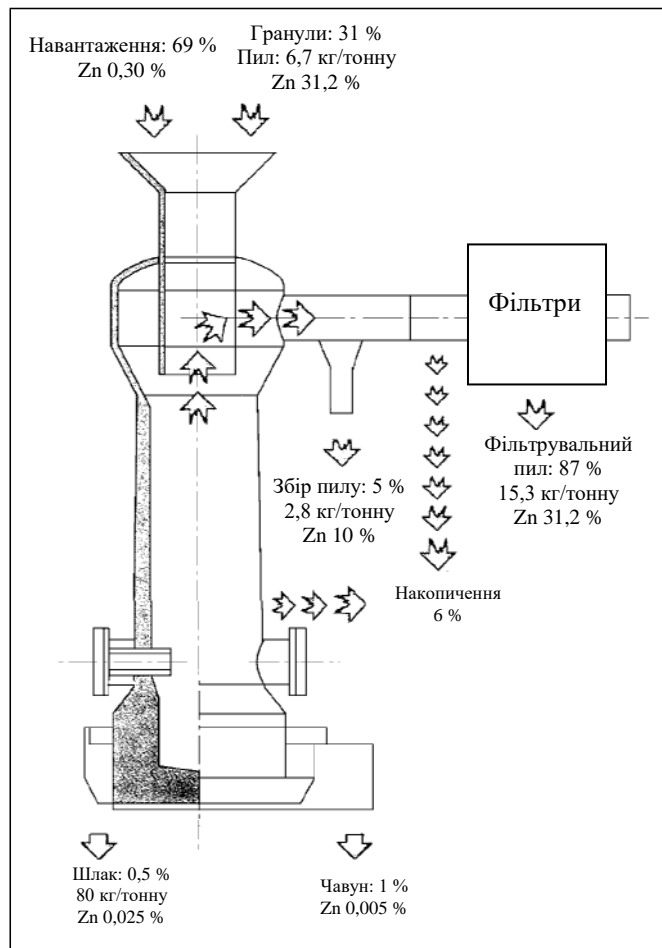


Рис. 4.34: Розподіл цинку для повторного використання через завантаження, після завантаження протягом 11 днів [156, GodiHit, 2001]

Аналіз вхідного і вихідного потоків не дає змогу повністю закрити баланс цинку. Це вказує на те, що значна частина цинку (20 % при вдуванні через фурми, 10 % при завантаженні гранул) залишається і накопичується в системі. При повторній циркуляції пил стає липким і осідає в камері згоряння, теплообміннику і фільтрах. Тому повторна циркуляція потребує підвищених зусиль з очищення та призведе до отримання матеріалу для утилізації на цій стадії очищення.

Повторна циркуляція пилу з вагранки (річний обсяг виробництва чавуну: 30 000 тонн) на голландському чавуноливарному заводі допомогла скоротити чисту кількість пилу на 156 т на рік без будь-якого істотного впливу на екологічні та будівельні властивості шлаку.

Застосування

Технічно можливо відновлення вище рівня 18 % Zn. Вагранки із завантаженням, багатим на Zn, мають рівні Zn в пилу >20 %, без повторної циркуляції. Необхідний мінімальний вміст цинку 40 % для відновлення без витрат.

Неможливо повторно провести повне виробництво пилу в печі. Введення більше 8 кг/т металу призводить до гасіння полум'я.

Наявні та нові вагранки з безперервною роботою можуть бути обладнані цими установками повторної циркуляції пилу.

Економічні аспекти

Технічно можливе відновлення при рівні вище 18 % Zn. Оператори повідомляють про рентабельність повторної циркуляції і відновлення Zn для рівня Zn >40 %.

Із практичних даних двох ливарних заводів у Франції були розраховані додаткові експлуатаційні витрати. Вдування до фурм дало додаткові експлуатаційні витрати в розмірі 0,35 євро за тону чавуну; вдування гранул 0,90 євро/тону чавуну. Цей розрахунок не включає будь-які додаткові витрати на утилізацію шлаку або технічне обслуговування.

У разі вдування через трубку Вентурі застосовуються такі дані. На німецькому референсному заводі протягом 5 років в обробну промисловість можна було доставити в середньому 7,5 кг цинкового пилю на тону розплавленого заліза. В такий спосіб витрати на утилізацію були знижені на 1,97 євро за тону рідкого заліза. Крім того, 20 % кількості коксу замінено на нафтовий кокс. Це допомогло знизити вартість палива на 15 %, що відповідає зниженню витрат на 2,56 євро/тону рідкого чавуну. Цей розрахунок не включає будь-які додаткові витрати на утилізацію шлаку або технічне обслуговування.

Рушійна сила для впровадження

Високі витрати на утилізацію пилю із печі.

Приклади підприємств

Вентурі (NPT):

комуна Понт-а-Муссон, Бребах (Франція)

Позитивний тиск (VELCO):

John Deere, м. Мангайм (Німеччина)

Довідкова література

[108, Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF), 1999], [110, Віто, 2001], [140, Тематична мережа щодо викидів ливарної промисловості ЄС, 2001], [156, Годіно, 2001], [181, Руффін і Годіно, 1998], [198, Georg Fischer], [202, TRG (TWG), 2002]

4.9.5 EAF

4.9.5.1 Переробка фільтрувального пилю та рідких викидів (від плавлення в EAF)

Опис

Сухий зібраний пил із печі при певних обставинах може бути перероблений в печі. Пил переважно буде попередньо оброблений, наприклад шляхом гранулювання або брикетування, оскільки це зменшить кількість пилю, яка видувається через піч. Ідея полягає в тому, щоб відновити металеву частину пилю і розплавити неорганічну частину на шлак. Як правило, пил додається на початку кожного циклу плавлення.

Як обговорювалося щодо вагранок і EAF, в деяких випадках, коли використовуються значні кількості скрапу із вмістом Zn, повторна циркуляція може привести до збагачення пилю печі цинком до рівня, при якому він може використовуватися в цинковій промисловості для відновлення Zn, якщо це економічно доцільно (до 30 – 40 %).

Досягнуті переваги для довкілля

Основною перевагою методу є зменшення чистої кількості пилю, що відправляється ливарним заводом для утилізації або відновлення. Отриманий пил містить вище навантаження металів. Це дає змогу відновлювати Zn з пилю EAF. Технологія приводить до збагачення Zn пилю вагранки, в той час як велика частка Pb потрапляє в залізо. Якщо Zn ефективно відновлюється з пилю, дана технологія допомагає знизити навантаження важкого металу в кінцевому отриманні пилю для утилізації, а також його кількість. З іншого боку, збільшується кількість виробленого шлаку.

Міжсередовищні наслідки

Повторна циркуляція пилю, можливо, знижує ефективність печі та збільшує споживання електричної енергії (близько 20-30 кВт·год/тону). Дані технологія призводить до збільшення виробництва шлаку.

Експлуатаційні дані

Згідно з експлуатаційними даними з виробництва сталі в EAF установка переробляє 75 % пилю з EAF з початковим виходом 20-22 кг/т, і тому вона може переробляти лише 50 % пилю із середнім вмістом цинку 35 %.

Застосування

Дана технологія зазвичай застосовується для пилу з високим металевим навантаженням. Проте фактична придатність залежить від багатьох факторів, які можуть відрізнятися залежно від заводу.

Економічні аспекти

Дана технологія не вимагає додаткових інвестицій.

Рушійна сила для впровадження

Високі витрати на утилізацію пилу з печі.

Приклади підприємств

Дана технологія виконується на декількох європейських ливарних виробництвах.

Довідкова література

[32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997], [211, Європейське бюро ІЗКЗ, 2000]

4.9.5.2 Переробка шлаків і залишків Al

Опис

Можливості переробки залежать від продукту і відходів, що утворюються. Стружки зазвичай використовуються для внутрішньої переплавлення, в той час як інші відходи (містять занадто багато іншого металу) зазвичай продаються для виробництва вторинного алюмінію.

Досягнуті переваги для довкілля

Мінімізація виробництва залишків.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не застосовуються.

Застосування

Цей метод застосовується на нових і наявних установках.

Рушійна сила для впровадження

Висока плата за утилізацію твердих відходів.

Приклади підприємств

Дана технологія зазвичай застосовується на алюмінієвих ливарних виробництвах.

Довідкова література

[225, TRG (TWG), 2003]

4.10 Зниження рівня шуму

Опис

Ливарний процес включає різні точкові джерела шуму. До них належать:

- переробка скрапу
- завантаження печі
- пальники
- автомати HPDC
- вибивання
- піскоструменева обробка (механічне травлення)
- перфорація стрижнів (і форми)
- обробка
- всі двигуни і гідравлічні системи
- транспортування (перекидання, завантаження і т. д.).

Загальне зниження рівня шуму включає розробку плану зниження шуму. Тут необхідно перевірити й оцінити кожне джерело. Можуть застосовуватися альтернативні методи з нижчим рівнем шуму та/або можуть бути включені точкові джерела. Приклади альтернативних методів наведені в пунктах 4.2.4.2 (кисневий пальник в RF) і 4.2.2.2 (пінистий шлак для EAF). Деякі приклади включення джерел наведені для печей (пункт 4.5.3.1) і вибивання (4.5.9.3).

Загальні заходи включають в себе:

- використання шумозахисних клапанів на всіх зовнішніх дверцятах (засувках) і закриття всіх дверцят (і максимально можливе їх закриття), особливо вночі
- активне вдування повітря в ливарний цех. Це викликає невелике підвищення тиску в приміщенні та утримує шум всередині
- огорожувальні вентилятори, ізоляція вентиляційних труб і використання заслінок
- мінімізація кількості транспортувальних заходів у нічний час.

Також може бути розглянута повна огорожа будівлі ливарного заводу. Це також вимагатиме налаштування системи клімат-контролю для обмеження температури всередині будівлі.

Досягнуті переваги для довкілля

Зниження шумового забруднення.

Міжсередовищні наслідки

Закриття (частини) ливарного будівлі може потребувати установки системи клімат-контролю, для роботи якої потрібна енергія.

Експлуатаційні дані

Бельгійський алюмінієвий завод зараз розробляє план зниження шуму. Метою є зниження загального рівня шуму з 50 дБА до 40 дБА. Це передбачає вивчення 170 джерел. Особливі заходи вживаються для зниження загального рівня шуму в часі від 22:00 год вечора до 6:00 ранку. Крім того, повітря надходить у ливарний цех, створюючи невелику різницю тиску, щоб утримати шум всередині. Загальний обсяг внутрішнього повітря оновлюється 36 разів кожен годину.

Ще один бельгійський ливарний завод реалізує проєкт щодо зниження рівня шуму шляхом повного закриття ливарної будівлі. Це вимагає налаштування системи клімат-контролю для досягнення максимальної різниці температур всередині та зовні 8 °C. Система зараз проходить наступні перегляди, тому випробування ще тривають.

Застосування

Дана технологія може застосовуватися на всіх нових і наявних установках. Рівень, до якого повинні бути вжиті заходи, залежить від місця розташування ливарного виробництва.

Рушійна сила для впровадження

Регулювання рівня шуму від промислових установок.

Приклади підприємств

- MGG, Гобокен (Бельгія): план зниження шуму
- Hayes-Lemmertz, Гобокен (Бельгія): загальна огорожа будівлі.

Довідкова література

[225, TRG (TWG), 2003]

4.11 Виведення з експлуатації

Опис

Розгляд деяких технологій:

- розгляд можливості подальшого виведення з експлуатації на етапі проектування, що зводить до мінімуму ризику і надмірні витрати при подальшому виведенні з експлуатації
- для наявних установок, де були виявлені потенційні проблеми, впроваджується програма поліпшень. Ці поліпшення конструкції повинні гарантувати, що:
 - за можливості не використовують підземні резервуари і трубопроводи (якщо вони не захищені вторинною захисною оболонкою або відповідною програмою моніторингу)
 - передбачені злив і очищення суден і трубопроводів перед демонтажем
 - лагуни і звалища спроектовані з метою їх можливого очищення або передачі
 - використовується ізоляція, яка може бути легко демонтована без виникнення пилу або небезпеки
 - будь-які використані матеріали підлягають вторинній переробці (хоча і враховується, що вони як і раніше відповідають експлуатаційним або іншим екологічним цілям)
- розробка та підтримка плану закриття майданчика, щоб продемонструвати, що у свій поточний стан установка може бути виведена з експлуатації, щоб уникнути будь-якого ризику забруднення, і привести місце експлуатації в задовільний стан. План повинен оновлюватися в міру істотних змін. Однак навіть на ранній стадії план закриття може включати:
 - видалення або промивку трубопроводів і суден, де це необхідно, та їх повне спорожнення у випадку будь-якого можливого небезпечного вмісту
 - плани всіх підземних труб і суден
 - метод і ресурси, необхідні для очищення лагун
 - метод забезпечення того, що будь-які захоронення на майданчику можуть відповідати умовам передачі
 - видалення азбесту або інших потенційно шкідливих матеріалів, якщо не вирішено, що такі зобов'язання можуть бути залишені майбутнім власникам
 - методи демонтажу будівель та інших споруд для захисту поверхневих і підземних вод на майданчиках будівництва і знесення
 - тестування ґрунту для визначення ступеня будь-якого забруднення, викликаного діяльністю, і необхідність будь-яких відновлювальних робіт для повернення майданчиків у задовільний стан, як визначено в першому звіті виробничого майданчика.

Досягнуті переваги для довкілля

Запобігання екологічним проблемам при виході з експлуатації.

Застосування

Згадані тут технології можна застосувати протягом усього строку експлуатації установки, на етапі проектування і будівництва майданчика і робіт, а також одразу після закриття майданчика.

Довідкова література

[236, Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2001]

4.12 Інструменти екологічного менеджменту

Опис

Найкращі екологічні показники зазвичай досягаються шляхом впровадження найкращої технології та її експлуатації в найефективніший і найдієвіший спосіб. Це зазначається у визначенні «методів» в Директиві ІЗКЗ (Директиві Ради ЄС щодо всеохоплюючого запобігання і контролю забруднень) «і технологія, що використовується, і спосіб проектування, збірка, обслуговування, експлуатація та виведення з експлуатації установки».

Для установок ІЗКЗ система екологічного менеджменту (СЕМ) – це інструмент, який оператори можуть використовувати для систематичного і наочного вирішення проблем проектування, будівництва, обслуговування, експлуатації та виведення з експлуатації. СЕМ включає в себе організаційну структуру, обов'язки, практику, процедури, процеси й ресурси для розробки, реалізації, підтримки, аналізу та моніторингу екологічної політики. Системи управління навколишнім середовищем є найефективнішими і найдієвішими, якщо вони є невід'ємною частиною загального управління і експлуатації установки.

В Європейському Союзі багато організацій на добровільній основі вирішили впровадити системи управління навколишнім середовищем на основі стандарту EN ISO 14001:1996 або схеми ЄС з екологічного менеджменту та аудиту EMAS. EMAS включає в себе вимоги до системи менеджменту EN ISO 14001, але при цьому приділяє додаткову увагу дотриманню законодавства, охороні навколишнього середовища та залученню співробітників; це також вимагає зовнішньої перевірки системи управління та валідації звіту про вплив на навколишнє середовище (в EN ISO 14001 самостійна декларація є альтернативою зовнішній верифікації). Є також багато організацій, які вирішили впровадити нестандартизовані СЕМ.

У той час як стандартизовані системи (EN ISO 14001:1996 і EMAS), так і нестандартизовані («спеціалізовані») системи в принципі сприймають організацію як одне ціле, в цьому документі використовується вужчий підхід, що не включає всі види діяльності організації, наприклад що стосується їх продуктів і послуг, у зв'язку з тим, що установка є регульованою організацією відповідно до Директиви ІЗКЗ (як визначено в статті 2).

Система управління впливом на навколишнє середовище (СЕМ) для установки ІЗКЗ може містити такі компоненти:

- (a) визначення екологічної політики
- (b) планування і постановка цілей і завдань
- (c) впровадження і функціонування процедур
- (d) перевірка і коригувальні дії
- (e) аналіз із боку керівництва
- (f) підготовка регулярного звіту про вплив на навколишнє середовище
- (g) валідація органом із питань сертифікації або зовнішнім верифікатором СЕМ
- (h) конструктивні міркування щодо виведення з експлуатації установки з вичерпаним строком експлуатації
- (i) розробка чистіших технологій
- (j) порівняльний аналіз.

Ці особливості детальніше пояснюються нижче. Для отримання докладної інформації про компоненти від (a) до (g), що всі включені в EMAS, читачеві слід розглянути довідкову літературу, зазначену нижче.

- (a) Визначення екологічної політики

Вище керівництво несе відповідальність за визначення екологічної політики для установки і забезпечення того, щоб вона:

- відповідала характеру, масштабу і впливу діяльності на навколишнє середовище
- включала зобов'язання щодо запобігання забруднення і боротьби з ним
- включала в себе зобов'язання дотримуватися всіх відповідних застосовних природоохоронних законодавчих і нормативних актів, а також інших вимог, до яких організація приєднується
- забезпечувала основу для встановлення та перегляду екологічних цілей і завдань
- була задокументована і доведена до відома всіх співробітників
- була доступна для громадськості та всіх зацікавлених сторін.

(b) Планування, зокрема

- процедури для визначення екологічних аспектів установки, для визначення тих видів діяльності, які надають або можуть мати значний вплив на навколишнє середовище, і для підтримки цієї інформації в актуальному стані
- процедури для визначення і доступу до юридичних та інших вимог, яким відповідає організація та які можна застосувати до екологічних аспектів її діяльності
- встановлення й аналіз задокументованих екологічних цілей і завдань з урахуванням правових та інших вимог і думок зацікавлених сторін
- створення і регулярне оновлення програми управління навколишнім середовищем, включаючи визначення відповідальності за досягнення цілей і завдань на кожній відповідній функції та рівні, а також засоби і строки, в які вони повинні бути впроваджені.

(c) Впровадження та функціонування процедур

Важливо мати системи для забезпечення того, щоб процедури були відомі, зрозумілі та дотримані, тому ефективно управління впливом на навколишнє середовище включає в себе такі пункти:

(i) Структура і відповідальність

- визначення, документування й оголошення посад, обов'язків і повноважень, що включає в себе призначення одного конкретного представника керівництва
- надання ресурсів, необхідних для впровадження і контролю системи управління навколишнім середовищем, включаючи людські ресурси і спеціальні навички, технології та фінансові ресурси.

(ii) Навчання, поінформованість і компетентність

- визначення потреб у навчанні для гарантії того, що весь персонал, чия робота може істотно вплинути на вплив діяльності на навколишнє середовище, пройшов відповідну підготовку.

(iii) Зв'язок

- встановлення і підтримання процедур для внутрішнього зв'язку між різними рівнями і функціями установки, а також процедур, які сприяють діалогу із зовнішніми зацікавленими сторонами, процедур для отримання, документування і, де це доцільно, відповіді на відповідні повідомлення від зовнішніх зацікавлених сторін.

(iv) Залучення співробітників

- залучення співробітників до процесу націлено на досягнення високого рівня екологічних показників, шляхом застосування відповідних форм участі, таких як система «книга пропозицій» або групові роботи на основі проєктів або екологічні комітети.

(v) Документація (документування)

- створення і підтримка актуальної інформації, в паперовій або електронній формі, для опису основних елементів системи управління та їх взаємодії, а також для направлення відповідних документів.

(vi) Ефективний контроль процесу

- належний контроль процесів при всіх режимах роботи, зокрема підготовка, запуск, звичайна робота, відключення й аномальні умови
- визначення ключових показників ефективності й методів вимірювання та контролю цих параметрів (наприклад потік, тиск, температура, склад і кількість)
- документування й аналіз аномальних умов експлуатації для виявлення основних причин, а потім їх усунення для гарантії, що події не повторяться (цьому може сприяти політика відмови від пошуку винних, де виявлення причин важливіше, ніж розподіл провини між окремими особами).

(vii) Програма технічного обслуговування

- розробка структурованої програми технічного обслуговування на основі технічних характеристик обладнання, норм і т. д., а також будь-яких несправностей обладнання і наслідків
- підтримка програми технічного обслуговування за допомогою відповідних систем обліку і діагностичного тестування.
- чітке розподілення відповідальності за планування і виконання технічного обслуговування.

(viii) Готовність до аварій та реагування

- встановлення і підтримання процедур для виявлення потенційно аварійних ситуацій і реагування на них, а також для запобігання і пом'якшення впливів на навколишнє середовище, які можуть бути з ними пов'язані.

(d) Перевірка і коригувальні дії, зокрема:

(i) Моніторинг і вимірювання

- встановлення й підтримання документованих процедур моніторингу і вимірювальної техніки на регулярній основі ключових характеристик операцій та видів діяльності, які можуть істотно вплинути на навколишнє середовище, включаючи запис інформації для відстеження продуктивності, відповідні експлуатаційні контролю та відповідності з екологічними цілями і завданнями установки (див. також довідковий документ із моніторингу викидів)
- встановлення й підтримання документованої процедури періодичної оцінки дотримання відповідних природоохоронних законодавчих і нормативних актів.

(ii) Коригувальні та запобіжні дії

- встановлення й підтримання процедур для визначення відповідальності й повноважень для обробки і розслідування невідповідності умовам дозволів, іншим юридичним вимогам, а також цілям і задачам, вжиття заходів для пом'якшення будь-яких впливів, а також для ініціювання та завершення коригувальних і запобіжних дій, які є доречними для масштабу проблеми та пропорційні впливу на навколишнє середовище.

(iii) Записи

- встановлення й підтримання процедур ідентифікації, ведення та утилізації розбірливих записів про стан навколишнього середовища, які можна ідентифікувати і відслідкувати, включаючи записи (звіти) про навчання та результати аудитів і перевірок.

(iv) Аудит

- створення і ведення (а) програми і процедур для періодичних аудитів системи управління навколишнім середовищем, які включають в себе обговорення з персоналом, перевірку умов експлуатації та обладнання та перевірку записів і документації, що приводить до виконання письмового звіту, що має здійснюватися неупереджено й об'єктивно співробітниками (внутрішні аудити) або зовнішніми сторонами (зовнішні аудити), що охоплюють сферу аудиту, періодичність і методології, а також обов'язки та вимоги щодо проведення аудиту й результатів звітності, щоб визначити, чи відповідає система екологічного менеджменту запланованим заходам, і чи була вона належно реалізована, і чи підтримується
- завершення аудиту або циклу аудиту, залежно від обставин, з інтервалами не більше трьох років, залежно від характеру, масштабу і складності заходів, значущості пов'язаних із цим впливів на навколишнє середовище, важливості й терміновості проблем, виявлених у ході попередніх аудитів та історії проблем навколишнього середовища — частіше перевіряються складніші види діяльності зі значнішим впливом на навколишнє середовище
- наявність відповідних механізмів для забезпечення контролю результатів аудиту.

- (v) Періодична оцінка дотримання законодавства
 - перевірка дотримання застосовного природоохоронного законодавства й умов дозволу (дозволів) природоохоронних органів щодо установки
 - документація про оцінку.
- (e) Огляд управління, зокрема
 - перевірка з боку вищого керівництва через певні проміжки часу системи управління навколишнім середовищем для забезпечення її постійної придатності, належності й ефективності
 - забезпечення збору необхідної інформації, щоб дозволити керівництву провести цю оцінку
 - документація огляду.
- (f) Підготовка регулярного звіту про вплив на навколишнє середовище
 - підготовка звіту про вплив на навколишнє середовище, в якому особлива увага приділяється результатам, досягнутим установкою, порівняно з її екологічними цілями і завданнями. Він регулярно проводиться — від одного разу на рік залежно від значимості викидів, утворення відходів і т. д. В ньому враховуються інформаційні потреби відповідних зацікавлених сторін, і він є загальнодоступним (наприклад в електронних публікаціях, бібліотеках і т. д.).

При складанні звіту оператор може використовувати відповідні наявні індикатори результативності екологічної діяльності, переконавшись, що обрані індикатори:

- i. дають точну оцінку виробничої продуктивності установки
 - ii. зрозумілі й однозначні
 - iii. дають змогу здійснювати порівняння з минулим роком для оцінки розвитку екологічних показників установки
 - iv. допускають порівняння з галузевими, національними або регіональними стандартами залежно від ситуації
 - v. дають змогу проводити порівняння з нормативними вимогами в разі потреби.
- (g) Валідація органом із сертифікації або зовнішнім верифікатором СЕМ
 - при наявності системи управління, процедура аудиту й екологічний висновок будуть перевірені та затверджені акредитованим органом із питань сертифікації або зовнішнім верифікатором СЕМ, при правильному виконанні це може підвищити довіру до системи.
 - (h) Питання проектування для зняття з експлуатації установки зі строком експлуатації, що закінчився
 - з урахуванням впливу на навколишнє середовище в результаті можливого виведення установок з експлуатації на етапі проектування нової установки, якщо вихід із експлуатації передбачити, то він пройде легше, завдасть менше викидів і буде дешевшим
 - виведення з експлуатації створює екологічні ризики забруднення ґрунту (і підземних вод) і призводить до утворення великої кількості твердих відходів. Профілактичні методи залежать від конкретного процесу, але загальні міркування можуть включати:
 - vi. уникнення підземних споруд
 - vii. включення функцій, які полегшують демонтаж
 - viii. вибір обробки поверхні, яка легко дезактивується
 - ix. використання конфігурації обладнання, яка мінімізує захоплені хімічні речовини і полегшує стоки або промивання
 - x. розробку гнучких, автономних установок, які забезпечують поетапне закриття
 - xi. використання, де це можливо, матеріалів, які здатні до біорозкладання та підлягають переробці.
 - (i) Розробка технологій, що зменшують кількість відходів

- захист навколишнього середовища має бути невід'ємною рисою будь-якої діяльності з проектування процесу, що виконується оператором, оскільки методи, впроваджені на найраннішій стадії проектування, є одночасно ефективнішими і дешевшими. Врахування розвитку технологій, що зменшують кількість відходів, може відбуватися, наприклад, за допомогою досліджень і розробок. В ролі альтернативи внутрішньої діяльності можуть бути досягнуті домовленості, яких необхідно дотримуватися — і за необхідності — проводити вихід з експлуатації іншими операторами або дослідними інститутами, що діють у відповідній області.

(j) Порівняльний аналіз, зокрема

- проведення систематичних і регулярних порівнянь із галузевими, національними або регіональними контрольними показниками, зокрема щодо енергоефективності й заходів з енергозбереження, вибору вихідних матеріалів, викидів в атмосферу і стоків у воду (з використанням, наприклад, Європейського реєстру викидів і скидів забруднювачів, EPER), споживання води та утворення відходів.

Стандартизовані та нестандартизовані СЕМ

СЕМ може приймати форму стандартизованої або нестандартизованої («спеціалізованої») системи. Впровадження і дотримання міжнародно визнаної стандартизованої системи, такої як EN ISO 14001:1996, може підвищити довіру до СЕМ, особливо за умов належного виконання зовнішньої перевірки. EMAS забезпечує додаткову довіру завдяки взаємодії з громадськістю за допомогою звіту про вплив на навколишнє середовище і механізму, що забезпечує дотримання відповідного природоохоронного законодавства. Однак нестандартизовані системи, в принципі, можуть бути однаково ефективними за умови, що вони належно спроектовані та впроваджені.

Досягнуті переваги для довкілля

Впровадження й дотримання СЕМ акцентує увагу оператора на екологічних характеристиках установки. Зокрема, постійне виконання умов дозволу установки та інших екологічних цілей і завдань має забезпечувати підтримку і дотримання чітких робочих процедур, як у випадку нормальних, так і аномальних ситуацій, і пов'язаних із ними напрямів відповідальності.

Системи управління навколишнім середовищем зазвичай забезпечують постійне поліпшення екологічних характеристик установки. Чим гірше вихідна точка, тим більше значних короткострокових поліпшень можна очікувати. Якщо установка вже має високі загальні екологічні показники, система допомагає оператору підтримувати високий рівень виробничої продуктивності.

Міжсередовищні наслідки

Методи управління навколишнім середовищем розроблені з урахуванням загального впливу на навколишнє середовище, що узгоджується з комплексним підходом Директиви ІЗКЗ.

Експлуатаційні дані

Конкретна інформація не повідомляється.

Застосування

Компоненти, описані вище, зазвичай можуть застосовуватися до всіх установок ІЗКЗ. Галузь застосування (наприклад рівень деталізації) і характер СЕМ (наприклад стандартизовані або нестандартизовані), як правило, будуть пов'язані з характером, масштабом і складністю установки, а також із діапазоном можливого впливу на навколишнє середовище.

Економічні аспекти

Важко точно визначити витрати й економічні вигоди від впровадження і підтримки СЕМ. Ряд досліджень представлений нижче. Однак це всього лише приклади, а їх результати не зовсім послідовні. Вони можуть бути не репрезентативними для всіх секторів в ЄС, тому до них слід ставитися з обережністю.

У шведському дослідженні, проведеному в 1999 році, були розглянуті всі 360 сертифікованих ISO і зареєстрованих EMAS компаній в Швеції. З рівнем відгуку 50 % було зроблено висновок, що:

- витрати на впровадження й експлуатацію СЕМ високі, але це виправдано, за винятком невеликих компаній. Очікується, що в майбутньому витрати скоротяться.
- вищий ступінь координації та інтеграції СЕМ з іншими системами управління розглядається як можливий спосіб зниження витрат
- половина всіх екологічних цілей і завдань окуповується протягом одного року завдяки економії витрат і/або збільшенню доходів
- найбільша економія була досягнута завдяки зниженню витрат на енергію, переробку відходів і сировини
- більшість компаній вважають, що їхня позиція на ринку зміцнилася завдяки СЕМ. Третина компаній повідомляють про збільшення доходів завдяки СЕМ.

У деяких державах-членах стягується зменшена плата за перевірку, якщо установка має сертифікацію.

У ряді досліджень встановлено⁵, що існує зворотна залежність між розміром компанії і вартістю впровадження СЕМ. Аналогічна зворотна залежність існує для періоду окупності інвестованого капіталу. Обидва елементи припускають менш вигідне співвідношення витрат і вигод для впровадження СЕМ в об'єкти SME порівняно з більшими компаніями.

За даними дослідження, проведеного у Швейцарії, середня вартість розробки і реалізації СЕМ згідно зі стандартом ISO 14001 знаходиться в межах:

- для компанії, чисельність персоналу якої становить від 1 до 49 осіб: CHF 64 000 (44 000 євро) на розробку СЕМ і CHF 16 000 (11 000 євро) на рік на її реалізацію;
- для іншого промислового виробництва, де чисельність персоналу перевищує 250 осіб: CHF 367 000 (252 000 євро) на розробку СЕМ і CHF 155 000 (106 000 євро) на рік на її реалізацію..

Наведені значення є усередненими і не обов'язково відображають дійсний рівень витрат для конкретного підприємства, оскільки при цьому необхідно враховувати ряд важливих факторів (забруднюючі речовини, витрати енергії та ін.) і складність розглянутих проблем.

Дані нещодавнього німецького дослідження (Schaltegger, Stefan та Wagner, Marcus, Umweltmanagement in deutschen Unternehmen — der aktuelle Stand der Praxis, лютий 2002, с. 106) вказують на наступний рівень витрат на EMAS у різних галузях. Можна відзначити, що ці значення нижче, ніж отримані швейцарськими дослідниками. Це слугує підтвердженням того, що визначення витрат на СЕМ представляє певні складності.

Витрати на розробку (євро):

- мінімальні: 18 750;
- максимальні: 75 000;
- середні: 50 000.

Витрати на валідацію (євро):

- мінімальні: 5000;
- максимальні: 12 500;
- середні: 6000.

⁵Результати ряду досліджень (наприклад, Dyllick і Hamschmidt (2000, 73), цит. За Klemisch H. I R. Holger, Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen – Befunde bisheriger Umsetzung, KNI Papers 01/02, січень 2002, с. 15; Clausen J., M. Keil і M. Jungwirth, The State of EMAS in the EU Eco-Management as a Tool for Sustainable Development — Literature Study, Інститут еколого-економічних досліджень (Берлін) і Ecologic — Інститут міжнародної та європейської природоохоронної політики (Берлін), 2002, с. 15.

У дослідженні, проведеному Німецьким інститутом підприємництва (Unternehmerinstitut/Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer UNI/ASU, 1997, Umweltmanagementbefragung — Oko-Audit in der mittelstandischen Praxis — Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxis, Bonn.), міститься інформація про досягнуту завдяки впровадженню СЕМ величину річної економії коштів і про повний загальний середній період окупності. Так, при витратах на впровадження, рівних 80000 євро, середня величина економії коштів становить 50 000 євро на рік, що дає період окупності близько півтора року.

Оцінку додаткових витрат, пов'язаних із верифікацією системи, можна провести згідно з керівними настановами, випущеними Міжнародним форумом з акредитації (<http://www.iaf.nu>).

Рушійна сила для впровадження

Системи екологічного менеджменту можуть надати ряд переваг, наприклад:

- чіткішу картина екологічних аспектів діяльності компанії;
- міцнішу основу для прийняття рішень;
- підвищення рівня мотивації персоналу;
- додаткові можливості щодо зниження експлуатаційних витрат і поліпшення якості продукції;
- вищу екологічну результативність;
- поліпшення іміджу компанії;
- зменшення витрат за зобов'язаннями, штрафами за невідповідність і страхуванням відповідальності;
- підвищення привабливості в інвесторів, споживачів і потенційних працівників;
- підвищення рівня довіри з боку перевіряючих органів, результатом чого можуть стати нечасті перевірки;
- поліпшення відносин із захисниками довкілля.

Приклади підприємств

Перераховані параметри від (а) до (е) є елементами як EN ISO 14001:1996, так і схеми еко-менеджменту та аудиту (EMAS) Європейського співтовариства, параметри з (f) по (g) входять тільки в СЕМА. Обидві ці стандартизовані системи знайшли застосування на цілому ряді підприємств, які підпадають під дію Директиви КПКЗ. Так, у липні 2002 року в СЕМА було зареєстровано 357 організацій хімічної промисловості ЄС (код NACE 24), у більшій частині яких є виробничі майданчики, що підпадають під дію Директиви КПКЗ.

Агентством по захисту навколишнього середовища Англії та Уельсу в 2001 році серед підприємств, які підпадають під дію ІРС (попередник КПКЗ), було проведено дослідження, згідно з результатами якого 32 % респондентів були сертифіковані за ISO 14001 (21 % від загального числа підприємств ІРС), 7 % були зареєстровані в EMAS. Всі заводи з випуску цементу в Великобританії (близько 20) сертифіковані згідно ISO 14001, велика їх частина – також згідно з СЕМА. В Ірландії, де введення системи екологічного менеджменту (СЕМ) (необов'язково стандартизованої) є однією з умов видачі комплексного природоохоронного дозволу, близько 100 з приблизно 500 ліцензованих підприємств впровадили СЕМ відповідно до ISO 14001, на що залишилися 400 підприємствах застосовують нестандартизованого СЕМ.

Довідкова література

[78, Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU), 1996]

(Положення (ЄС) № 761/2001 Європейського Парламенту і Ради Європейського союзу про добровільну участь організацій в схемі еко-менеджменту й аудиту Європейської Співдружності (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm)

(EN ISO 14001:1996, <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>; <http://www.tc207.org>)

5 НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ

Щоб краще зрозуміти зміст цієї глави, необхідно повернутися до вступу і, зокрема, до п'ятого пункту «Як слід розуміти і використовувати даний документ». Технічні й технологічні рішення та відповідні їм рівні або діапазони рівнів викидів і скидів і/або споживання, наведені в цьому розділі, пройшли багаторазову оцінку за такою схемою:

- виявлення ключових екологічних проблем для ливарного сектора
- вивчення найзначущіших способів і методів вирішення цих питань
- визначення найбільшої екологічної результативності на підставі європейських та світових даних
- визначення умов, при яких вдається досягти такої результативності (витрати, побічні явища, основні причини, що зумовлюють необхідність впровадження цих рішень)
- вибір найкращих доступних технологій та методів (НДТМ) і відповідних рівнів викидів та/або споживання для цього сектору в загальному сенсі відповідно до статті 2 (11) та Додатком IV Директиви.

Експерти Європейського Бюро ІЗКЗ і технічна робоча група (ТРГ) зіграли ключову роль на кожному з етапів, а також при визначенні того, в якому вигляді буде представлена зібрана інформація.

На основі зібраних даних в розділі викладені прийнятні в цілому для сектору технічні й технологічні рішення, а також, наскільки можливо, відповідні їм рівні викидів, скидів і споживання ресурсів. У багатьох випадках розглянуті рішення відображають практику, прийняту на деяких підприємствах галузі. «Відповідні НДТМ щодо рівнів викидів, скидів і споживання ресурсів» слід розглядати тільки як таку екологічну результативність, досягти якої вдається в результаті впровадження описаних технологій у цій галузі, з урахуванням балансу закладених у визначенні НДТМ витрат і переваг. Ці значення викидів, скидів і споживання, однак, не є гранично допустимими, а тому не слід трактувати їх так само. Технічно, шляхом застосування тих чи інших прийомів можливо досягти кращих показників із викидів і скидів або споживання, утім, через пов'язані із цим витрати або побічні явища вважати їх НДТМ для сектору в цілому не можна. Такі рівні викидів, скидів і споживання, втім, слід враховувати й оцінювати у спеціальних випадках, коли необхідність впровадження цього прийому або технології зумовлена особливими причинами.

Відповідні НДТМ щодо рівнів викидів, скидів і споживання ресурсів необхідно розглядати з урахуванням вихідних умов (наприклад періоду, за який береться середнє значення).

В основі викладеної тут концепції «відповідних рівнів НДТМ» лежить поняття «досяжний рівень», що використовується в даному документі. Якщо якийсь рівень значень охарактеризований як «досяжний» за допомогою певного способу або комбінації способів, це слід розуміти як можливість досягти цього рівня шляхом їх застосування за певний період часу на підприємстві, яке належно експлуатується та яким відповідно управляють, або при грамотному проведенні процесу.

Разом з описом поданих у попередньому розділі технічних рішень там, де це можливо, наведені дані витрат, за якими можна скласти наближене уявлення про необхідний обсяг інвестицій. Проте справжні витрати на застосування того чи іншого технологічного рішення або методу в значній мірі залежать від конкретної ситуації – податків, зборів, технічних характеристик підприємства. Провести повну оцінку таких специфічних факторів в даному документі неможливо. У разі відсутності відомостей про витрати висновок про придатність методів зроблено на основі діяльності наявних підприємств.

Передбачається, що загальні НДТМ в цьому розділі слугуватимуть відправною точкою для оцінки поточної діяльності наявних підприємств або внесення пропозицій щодо створення нових підприємств. Це буде сприяти виявленню відповідних для підприємства умов «на основі НДТМ» і встановлення загальних правил регулювання в рамках статті 9 (8) Директиви.

Очікується, що підприємства, на яких проводяться нові розробки, будуть функціонувати на тому ж або на вищому рівні, ніж відповідний представлений тут НДТМ. Також вважається, що показники наявних підприємств вдасться привести до відповідного НДТМ або вищого рівня, враховуючи техніко-економічні особливості застосування різних методів в кожному випадку.

Довідкові документи по НДТМ не накладають підзаконних зобов'язань, їх мета – надати підприємствам галузі, країнам-членам ЄС і широкому загалу інформацію про досяжні рівні викидів, скидів і споживання ресурсів завдяки застосуванню тих чи інших технологічних рішень і технічних прийомів. Застосовні в конкретних випадках граничні рівні слід визначати з урахуванням місцевих особливостей і завдань Директиви ІЗКЗ.

Ливарна промисловість включає велику різноманітність діючих підприємств. Елементи НДТМ, що використовуються на конкретному ливарному заводі, повинні обиратися відповідно до типу його діяльності. Ливарний завод зазвичай складається із плавильного цеху і ливарного цеху, причому обидва вони мають свої системи поставок. При литті в одноразові форми, така система поставок включає всі ділянки, пов'язані з формуванням і виготовленням стрижнів. У цьому розділі усе буде розглядатися з таким розділенням: плавлення або чорних, або кольорових металів, і лиття або в разові (тимчасові), або в багаторазові (постійні) ливарні форми. Кожен ливарний завод можна класифікувати як комбінацію різних процесів плавлення і формування. Для кожного процесу визначається НДТМ, та, водночас, основна НДТМ, загальна для всіх ливарних заводів.

5.1 Загальні НДТМ (для ливарної промисловості)

Деякі елементи НДТМ є загальними і застосовуються на всіх ливарних заводах, незалежно від процесів, що використовуються, і типу продукції, яку вони виробляють. Це стосується потоку сировини, остаточної обробки виливків, шуму, стічних вод, екологічного контролю та порядку виведення з експлуатації.

Управління потоками сировини

Процес ливарного заводу включає в себе використання, споживання, об'єднання і змішування різних типів матеріалу. НДТМ вимагає мінімізації споживання сировини і переробки, а також повторного використання відходів. Тому НДТМ вимагає оптимізації управління та контролю внутрішніх потоків.

Отже, при використанні НДТМ необхідно:

- застосовувати методи зберігання й обробки твердих речовин, рідин і газів, які відповідають методам, описаним у довідниках з найкращих доступних технологій зі зберігання.
- використовувати методи роздільного зберігання різних матеріалів, що надходять, і диференціювати їх за сортами (пункт 4.1.2), запобігаючи їх пошкодженню та пов'язаним із цим ризикам (пункт 4.1.3)
- використовувати такі методи зберігання, за допомогою яких металевий скрап, що зберігається на складі, мав би відповідну якість для його завантаження у плавильну піч, і при яких забезпечено запобігання забрудненню ґрунту, як описано в пункті 4.1.2. При використанні НДТМ необхідно мати непроникний навіс над місцем зберігання відходів із системою збору та відведення води. Дах може зменшити або повністю виключити необхідність такої системи
- використовувати внутрішню рециркуляцію металобрухту, за умов, описаних в пунктах 4.1.4, 4.1.5 та 4.1.6
- використовувати окремі місця зберігання для різних типів відходів, щоб забезпечити можливість повторного їх використання, переробки або утилізації
- використовувати насипні контейнери або такі, що використовуються багаторазово (пункт 4.1.7)
- використовувати імітаційні моделі системи контролю і робочих процесів, щоб поліпшити вихід металу (пункт 4.4.1) й оптимізувати потоки вхідних матеріалів
- впроваджувати добрі практики до способів транспортування розплавленого металу і роботи розливного ковша (пункт 4.7.4).

Кінцева обробка виливків (оздоблення)

При абразивній різці, механічному травленні та футеровці, НДТМ рекомендує вловлювати й оброблювати відпрацьовані гази, використовуючи вологі або сухі системи очищення. НДТМ визначає рівень викидів для пилу як 5–20 мг/нм³. Технології збору відпрацьованих газів та їх очищення обговорюються в пунктах 4.5.10.1 і 4.5.10.2.

Для термічної обробки вимоги НДТМ такі:

- використання очищеного палива (тобто природного газу або палива з низьким вмістом сірки) в печах для термічної обробки (пункт 4.5.11.1)
- використання автоматизованих печей і систем керування пальниками й нагрівачами (пункт 4.5.11.1)
- вловлювання та вилучення відпрацьованих газів із печей для термічної обробки.

Зниження рівня шуму

НДТМ передбачає таке:

- розробка і впровадження стратегії зменшення рівня шуму, із загальними й конкретними заходами
- використання системи з огорожею для операцій з високим рівнем шуму, наприклад процес вибивання виливок зі форм (див. пункт 4.5.9.3)
- використання додаткових заходів, описаних у пункті 4.10, відповідно до місцевих умов.

Стічні води

НДТМ передбачає таке:

- роздільну обробку стічних вод відповідно до їх складу і наявності забруднюючих речовин
- збір поверхневих вод і використання в системі збору перехоплювачів мастила, перед їх випуском, як обговорюється в пункті 4.6.4
- збільшення внутрішньої рециркуляції промислової води і багаторазове використання оброблених стічних вод (пункт 4.6.1)
- використання систем обробки води, що надходить із системи очищення, а також інших потоків стічних вод, застосовуючи одну або більше методик, описаних у пунктах 4.6.2 і 4.6.3.

Зменшення викидів

НДТМ передбачає мінімізацію викидів, що виникають від різних джерел у процесі, використовуючи комбінації таких заходів. Викиди здебільшого включають у себе втрати при транспортуванні та зберіганні, а також витік, і обговорюються в пункті 4.5.1.1.

- не зберігайте запаси на відкритому повітрі, але в разі, коли зовнішнє зберігання неминуче, використовуйте аерозолі, зв'язуючі речовини, методи контролю складських запасів, захист від вітру і т. д.
- закривайте відриті конвертери і ємності
- використовуйте вакуумне очищення формувального і ливарного цехів на ливарних заводах, що використовують піщані форми, відповідно до критеріїв, описаних у пункті 4.5.1.1
- проводьте очищення коліс і доріг
- тримайте зовнішні двері закритими
- виконуйте регулярні операції із внутрішнього прибирання території
- контролюйте можливі джерела викидів до вод і контролюйте їх.

Ці технології описані в пункті 4.5.1.1. Додаткові методики зберігання докладно описані в документі ДД НДТМ щодо зберігання.

Крім того, викиди можуть з'явитися в результаті неповного відбору відпрацьованого газу із внутрішніх джерел, наприклад викиди з печей під час відкриття або випуску плавлення. НДТМ передбачає мінімізацію цих летючих викидів, шляхом оптимізації відбору й очищення, з урахуванням відповідних рівнів емісії, зазначених у пунктах 5.2 і 5.3. Для цієї оптимізації використовуються одна або більше з наступних методик, віддаючи перевагу вловлюванню диму/парів по можливості ближче до їх джерела:

- створення кожухів і систем відбору для уловлювання диму, що з'являється від рідкого металу, при завантаженні печі, видаленні шлаку і випуску плавлення;
- застосування огорожень навколо печі, які запобігають виходу диму в атмосферу;
- застосування систем відбору за допомогою загальноцехової вентиляції, хоча це дуже енергозатратна технологія, і вона має застосовуватися тільки у крайньому випадку.

Система управління навколишнім середовищем

Багато методів екологічного контролю визначені як НДТМ. Область їх застосування (наприклад рівень деталювання) і природа СЕМ (наприклад стандартизована або нестандартизована система) зазвичай пов'язані із сутністю, масштабом і складністю установки, а також ступенем її впливу на навколишнє середовище.

НДТМ рекомендує впроваджувати і додавати до Системи екологічного менеджменту (СЕМ), що використовується, відповідно до конкретних обставин, такі методи: (див. пункт 4.12)

- визначення екологічної політики підприємства вищим керівництвом (згода вищого керівництва розцінюється як попередня умова для успішного застосування інших можливостей СЕМ)
- планування та впровадження необхідних процедур;
- реалізація процедур, звертаючи особливу увагу на:
 - структуру і відповідальність;
 - навчання, інформованість і компетентність;
 - комунікацію;
 - залучення персоналу;
 - документацію;
 - ефективне управління технологічним процесом;
 - програму технічного обслуговування;
 - підготовку і реакцію на аварійні ситуації;
 - відповідність екологічному законодавству.
- перевірка робочих параметрів і коригуючий вплив, звертаючи особливу увагу на:
 - контроль і вимірювання (також див. Довідник із контролю за викидами)
 - коригувальні та запобіжні дії;
 - записи (зокрема підготовку звітів);
 - незалежний (де це можливо) внутрішній аудит відповідності екологічної системи контролю запланованого методу її роботи і відповідної реалізації;
- аналіз із боку керівництва.

Наступні методи, які можуть доповнити вищевказані, розглядаються як додаткові заходи. Однак їх відсутність зазвичай не впливає на роботу НДТМ. Це три додаткові заходи:

- наявність системи і процедури контролю, перевіреної та затвердженої акредитованим органом або зовнішньою системою управління навколишнім середовищем;
- підготовка і регулярне видання (і, можливо, зовнішня перевірка) даних про екологічну ситуацію, що описують усі наявні екологічні аспекти підприємства, з урахуванням щорічного порівняння з екологічними цілями і завданнями, а також із галузевими вимогами
- впровадження міжнародної системи стандартизації, наприклад EMAS та EN ISO 14001:1996. Цей добровільний крок може надати системі управління навколишнім середовищем вищий рівень значимості. Конкретна EMAS, яка втілює в собі всі вищевказані характеристики, матиме вищий рівень довіри. Однак нестандартизовані системи можуть бути, в принципі, однаково ефективними за умови, що вони належно організовані та впроваджені.

Для ливарної галузі також важливо розглядати такі потенційні можливості системи управління навколишнім середовищем:

- вплив на навколишнє середовище при можливому виведенні з експлуатації на стадії проектування нового заводу;
- розробка чистіших технологій;
- при можливості, використання галузевих перевірок, що проводяться на регулярній основі, включаючи перевірку ефективності використання енергоресурсів і дії з енергозбереження, вибір вхідних матеріалів, викиди в навколишнє середовище, викиди у воду, споживання води й утворення відходів.

Процес виведення з експлуатації

При використанні НДТМ слід застосовувати всі необхідні заходи для запобігання забрудненню навколишнього середовища після списання установки. Ці заходи описані в пункті 4.11 і включають у себе:

- мінімізацію наступних ризиків і витрат шляхом ретельного розрахунку на початковій стадії проектування;
- розробку і впровадження вдосконалених програм для наявних підприємств;
- розробку і впровадження планів для нових і наявних підприємств, прив'язаних до конкретного місцезнаходження.

У цих випадках необхідно розглядати, принаймні, такі ділянки процесу: резервуари, сміття, системи трубопроводів, ізоляцію, відстійники і полігони.

5.2 Плавлення чорних металів

Вибір печі

Сталь плавиться як у дугових (ЕАФ), так і в індукційних (ІФ) печах. Вибір типу печі заснований на технічних вимогах (наприклад допустиме навантаження, марка сталі). ЕАФ дає змогу проводити плавлення низькосортнішого брухту. Це є перевагою при вторинному переплавленні металів, але вимагає відповідного видалення відпрацьованих газів і систем очищення, як буде описано нижче.

Для плавлення чавуну можна використовувати: вагранку, електродугову, індукційну або ротаційну печі. Вибір повинен ґрунтуватися на технічних і економічних вимогах. Елементи НДТМ, для роботи будь-якого з обраного типу печей, представлені нижче.

Плавлення чавуну у вагранці

При роботі вагранок із використанням НДТМ, рекомендується таке:

- використання системи роздільного дуття (2 ряди фурм) для вагранок із холодним дуттям (пункт 4.2.1.5)
- збагачення киснем повітря для дуття, безперервно або періодично, при рівні кисню від 22 до 25 % (тобто 1 % – 4 % -е збагачення) (пункт 4.2.1.6)
- мінімізація періодів випуску газів для вагранок із гарячим дуттям, застосовуючи безперервне дуття або тривалу роботу (пункт 4.2.1.8). Залежно від вимог лінії формування та лиття, потрібно розглядати дуплексні методи роботи
- використання доброї практики плавлення при роботі печі, як описано в пункті 4.2.1.1
- використання коксу з відомими властивостями і перевіреною якістю (пункт 4.2.1.2)
- очистка відпрацьованих газів печі шляхом їх безперервного відбору, охолодження й обезпилення, використовуючи комбінацію методів, описаних у пункті 4.5.2.1. НДТМ рекомендує для обезпилення використовувати рукавний фільтр або вологий скрублер. Рекомендовані при використанні НДТМ рівні викидів представлені нижче (таблиці 5.1 і 5.2)
- застосування системи допалювання в шахті вагранки СВС, якщо відпрацьовані гази можуть самозайматися, і подальша рекуперация теплової енергії для внутрішнього використання (пункт 4.5.2.3). Для НВС, використання окремої камери для допалювання (пункт 4.5.2.2) і рекуперация тепла з метою попереднього нагріву повітряного потоку для дуття й інших внутрішніх споживачів (пункт 4.7.3)
- оцінка можливості використання вторинного тепла від печей витримування в дуплексній системі та рекуперация теплової енергії, якщо це можливо (пункт 4.7.2)
- запобігання та мінімізація вмісту діоксину і фурану у викидах, до рівня менше 0,1 нг ТЕQ/нм³, використовуючи комбінацію заходів, описаних у пункті 4.5.1.4. У деяких випадках це може призвести до вибору системи вологого очищення. Представники підприємств висловлюють сумніви з приводу виконання вторинних заходів, доцільність застосування яких була підтверджена тільки в інших галузях промисловості та, зокрема, щодо їх використання на дрібних ливарних заводах
- використання вологої системи очищення при плавленні з основним шлаком (ступінь основності до 2) (пункт 4.2.1.3).

Відходи, отримані при плавленні у вагранці, містять пил, шлаки і коксовий пил.

НДТМ для обробки відходів рекомендує таке:

- мінімізація процесу утворення шлаку, використовуючи один або більше методів, описаних в пункті 4.9.3
- попередня обробка шлаків з метою їх зовнішнього повторного використання (пункт 4.9.2)
- збір і переробка відходів коксу (пункт 4.9.4.1).

Плавлення сталі та чавуну в електродуговій печі

Для роботи електродугових печей НДТМ рекомендує таке:

- використання достовірних і ефективних методів контролю технологічного процесу, щоб скоротити час плавлення й обробки (пункт 4.2.2.1)
- використання режиму піноутворення шлаку (пункт 4.2.2.2)
- збір відпрацьованих газів, використовуючи один із методів, описаних у пункті 4.5.3.1
- охолодження відпрацьованих газів, а також їх обезпилення, використовуючи рукавні фільтри (пункт 4.5.3.2).

Відходи, отримані при плавленні в EAF, містять пил і шлаки.

Для контролю відходів НДТМ передбачає:

- переробку відфільтрованого пилу та його повторну подачу до EAF (пункт 4.9.5.1).
- рекомендовані при використанні НДТМ рівні викидів представлені нижче (таблиці 5.1 і 5.3)

Плавлення чавуну та сталі в індукційній печі

Для роботи індукційних печей НДТМ передбачає таке:

- плавлення чистого брухту, уникаючи використання іржавої та брудної сировини, а також налипання піску;
- використання добрих практик для завантаження та під час експлуатації, як це описано в пункті 4.2.3.1;
- використання середньої частоти мережі, а при монтажі нової печі здійснити перехід із промислової частоти на середній діапазон частот (пункт 4.2.3.2);
- оцінка можливості рекуперації вторинної теплової енергії та впровадження системи підтримки високої температури, якщо це можливо (пункт 4.7.2);
- використання кожухів, витяжок для зливних патрубків або кришок для всіх індукційних електропечей для збору відпрацьованих газів (пункт 4.5.4.1) і здійснення максимального збору відпрацьованих газів з печі протягом всього робочого циклу;
- використання сухого очищення димових газів (пункт 4.5.4.2), з урахуванням того, що НДТМ пропонує рівні емісії, представлені в таблиці 5.1;
- підтримання рівня викидів пилу менше 0,2 кг/тонну розплавленого чавуну.

Плавлення чавуну в ротаційній печі

Для роботи ротаційної печі НДТМ пропонує таке:

- реалізацію заходів щодо оптимізації виходу металу в печі, як описано в п. 4.2.4.1;
- використання газокисневих пальників (пункт 4.2.4.2);
- збір відпрацьованих газів із печі поблизу місця їх виходу, допалювання і подальше охолодження, використовуючи теплообмінники, подальше сухе обезпилення (пункт 4.5.5.1), з урахуванням того, що рекомендовані в НДТМ рівні викидів представлені в таблицях 5.1 і 5.4;
- запобігання та мінімізація вмісту діоксину і фурану у викидах до рівня менше 0,1 нг ТЕQ/нм³, використовуючи комбінацію заходів, описаних у пункті 4.5.1.4. У деяких випадках це може призвести до вибору системи вологого очищення. Представники підприємств висловлюють сумніви з приводу виконання вторинних заходів, доцільність застосування яких була підтверджена тільки в інших галузях промисловості та, зокрема, щодо їх використання на дрібних ливарних заводах.

Обробка чорних металів

При використанні АОД для очищення сталі, НДТМ передбачає

- вилучення та збір відпрацьованих газів, використовуючи навіси.

При виробництві чавуну з вермикулярним графітом здійснюється його сфероїдизація. НДТМ передбачає таке:

- вибір технології сфероїдизації без формування відпрацьованих газів або уловлювання утвореного диму MgO, використовуючи витяжку, обладнану системою витягування газів або використовуючи закріпленій чи рухомий витяжний ковпак, та
- обезпилення відпрацьованих газів, використовуючи рукавний фільтр, і підготовка пилу для його подальшої переробки.

Рекомендовані при використанні НДТМ рівні викидів представлені нижче (таблиця 5.1)

Рекомендовані при використанні НДТМ рівні викидів

Наступні рівні викидів пов'язані з вищевикладеними критеріями НДТМ. Всі рівні викидів представлені як середнє значення за даний період вимірювання. Якщо можливо проведення безперервного контролю, то використовується щоденне середнє значення. Викиди в навколишнє середовище перевіряються при стандартних умовах, тобто 273 К, 101,3 кПа і за умов сухого газу.

Параметр	Рівень викидів
Пил ⁽¹⁾	5 – 20 мг/нм ³
PCDD/PCDF	≤0,1 нг TEQ/нм ³
(1) Рівень викидів пилу залежить від його елементів, наприклад від наявності важких металів, діоксину і масової витрати.	

Таблиця 5.1: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення і обробки чорних металів

Тип	Параметр	Рівень викидів (мг/нм ³)
Гаряче дуття	Монооксид вуглецю	20 – 1000
	SO ₂	20 – 100
	NO _x	10 – 200
Холодне дуття	SO ₂	100 – 400
	NO _x	20 – 70
	NM – VOC	10 – 20
Безкоксова	NO _x	160 – 400

Таблиця 5.2: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення чорних металів у вагранці

Параметр	Рівень викидів (мг/нм ³)
NO _x	10 – 50
CO	200

Таблиця 5.3: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення чорних металів у EAF

Параметр	Рівень викидів (мг/нм ³)
SO ₂	70 – 130
NO _x	50 – 250
CO	20 – 30

Таблиця 5.4. Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення чорних металів у ротаційній печі

5.3 Плавлення кольорових металів

При плавленні кольорових металів в даному документі розглядається тільки плавлення виливків і внутрішнього скрапу, так як це є стандартною практикою для ливарних заводів, які здійснюють плавлення кольорових металів.

При плавленні алюмінію застосовуються різні типи печей. Вибір типу печі залежить від технічних умов (наприклад від режиму, допустимого навантаження, типу лінії для лиття). Різні типи печей представлені в пункті 3.3 і таблиці 3.21. На одному ливарному заводі може використовуватися кілька типів печей. Практика і логіка показують, що централізоване плавлення в печах, що мають вищу продуктивність, вигідніше з точки зору ефективного використання енергії, ніж плавлення в невеликих тиглях на великомасштабних заводах. Але для вибору цієї технології в ролі НДТМ немає ніяких підстав.

При плавленні міді, свинцю, цинку та їх сплавів, використовуються індукційні або тигельні печі. Для плавлення мідних сплавів використовуються також і подові печі. Вибір залежить від технічних умов.

При плавленні магнію використовуються тільки тигельні печі. Щоб запобігти окисленню використовується захисний газ.

Плавлення алюмінію та міді в індукційній електропечі

Для роботи індукційних електропечей НДТМ передбачає таке:

- використання якісних практичних методів завантаження і роботи, як це описано в пункті 4.2.3.1;
- використання електроенергії із середньою частотою, а при монтажі нової печі переведення робочої частоти в середній діапазон частот (пункт 4.2.3.2);
- оцінка можливості рекуперації вторинної теплової енергії та впровадження системи рекуперації теплової енергії, якщо це можливо (пункт 4.7.2);
- мінімізація викидів, відповідно до заданих рівнів, зазначених нижче, і, за необхідності, збір відпрацьованих газів (пункт 4.5.4.1), максимально можливий відбір відпрацьованих газів під час всього робочого циклу, і використання сухого обезпилення.

Плавлення алюмінію в ротаційних печах

Для роботи ротаційних печей НДТМ передбачає:

- реалізація заходів щодо оптимізації виходу печі, це як обговорюється в пункті 4.2.4.1;
- збір відпрацьованих газів, за можливістю ближче до місця їх виходу з печі, і відкачка їх через шахту, з урахуванням рівнів викидів, визначених для НДТМ, представлених нижче.

Плавлення алюмінію та міді в подовій печі

Для роботи подових печей НДТМ передбачає:

- збір відпрацьованих газів і відкачка їх через шахту, з урахуванням рівнів викидів, визначених для НДТМ;
- уловлювання легких і видимих викидів, відповідно до методики НДТМ для летючих викидів, зазначеної вище (пункт 5.1) і застосування захисних кожухів, як це описано в пункті 4.5.6.1.

Плавлення алюмінію в шахтній печі

Для роботи шахтних печей НДТМ передбачає:

- ефективний відбір відпрацьованих газів при нахилі печі та відкачка топкових газів через шахту, з урахуванням рівнів викидів, визначених для НДТМ.

Піч із випромінюючою кришкою для підтримки алюмінію в розплавленому стані

Для роботи печей із випромінюючою кришкою НДТМ передбачає:

- дотримання вимог НДТМ для летючих викидів, як зазначено вище (пункт 5.1) і застосування захисних кожухів, в умовах, описаних у пункті 4.5.6.1.

Тигельне плавлення і підтримка алюмінію, міді, свинцю та цинку в розплавленому стані

Для роботи тигельних печей, НДТМ передбачає:

- дотримання вимог НДТМ для летючих викидів, як зазначено вище (пункт 5.1) і застосування захисних кожухів, в умовах, описаних в пункті 4.5.6.1.

Дегазація й очищення алюмінію

Для дегазації та очищення алюмінію НДТМ передбачає:

- використання рухомих і закріплених імPELLерів із захисним газом Ar/Cl_2 або N_2/Cl_2 (пункт 4.2.8.1).

Плавлення магнію

Для плавлення магнію НДТМ передбачає:

- використання SO_2 в ролі захисного газу або заміна SF_6 на SO_2 в ролі захисного газу. Це стосується установок із річним обсягом виробництва 500 тонн і більше (пункт 4.2.7.1).
- для невеликих установок використання SO_2 в ролі захисного газу або прийняття заходів для мінімізації споживання і викидів SF_6 , як описано в пункті 4.2.7.1. У разі використання SF_6 рівень споживання, через використання НДТМ, становить $<0,9$ кг/т виливків при литті в піщані форми і $<1,5$ кг/т виливків при литті під тиском.

Примітка: на момент досягнення цього висновку інші альтернативи використання SF_6 тільки вводилися в дію (див. пункт 4.2.7.1). SO_2 може становити небезпеку для здоров'я та може викликати корозію обладнання.

Рівні викидів, зазначені в НДТМ

Наступні рівні викидів пов'язані з вищевикладеними критеріями НДТМ. Всі рівні викидів представлені як середнє значення за даний період вимірювання. Якщо можливо проведення безперервного контролю, то використовується щоденне середнє значення. Викиди в навколишнє середовище перевіряються при стандартних умовах, тобто 273 К, 101,3 кПа і за умов сухого газу.

НДТМ АЕЛ для пилу при плавленні кольорового металу й обробці становить 1 – 20 мг/нм³.

Додаткові значення для плавлення алюмінію представлені в таблиці 5.5.

Рівень викидів пилу, пов'язаний із НДТМ, при плавленні алюмінію, становить 0,1 – 1 кг/тонну розплавленого алюмінію.

Щоб виконати ці вимоги НДТМ за викидами, може знадобитися система очищення топкового газу; в цьому випадку в НДТМ слід використовувати сухе обезпилення.

Тип печі	Параметр	Рівень викидів (мг/нм ³)
Звичайна	Хлор	3
Шахтна	SO ₂	30 – 50
	NO _x	120
	CO	150
	VOC	100 – 150
Подова	SO ₂	15
	NO _x	50
	CO	5
	TOC	5

Таблиця 5.5. Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення алюмінію

5.4 Лиття у разові форми

Лиття в одноразові ливарні форми включає в себе формування, виготовлення стрижнів, заливання, охолодження та вибивання виливків з форм. Сюди включається виробництво сирої формувальної суміші або хімічно зв'язаних піщаних ливарних форм і хімічно зв'язаних піщаних стрижнів. Ливарна форма і стрижні збираються разом, і розплавлений метал заливається в зібрану ливарну форму. Виливку дають затвердіти й охолонути перед вибиванням із форм. Всі наявні технології та їх вплив на навколишнє середовище для формування і лиття тісно пов'язані. Елементи НДТМ будуть представлені у трьох категоріях: формування сирої формувальної суміші, формування хімічно зв'язаного піску, а також заливка/охолодження/вибивання виливків із форм.

Формування сирої формувальної суміші

Підготовка сирої формувальної суміші починається зі змішування піску, зв'язуючої речовини на основі глини і необхідних добавок/домішок. Це може виконуватися на відкритому повітрі – (найчастіше) або за допомогою вакуумних змішувачів (див. пункт 4.3.2.1). Передбачається, що обидва цих методи є НДТМ. При вакуумному змішуванні додатковою умовою є великий обсяг подаваного піску, вище 60 т/год.

Крім того, НДТМ для підготовки сирої формувальної суміші передбачає:

- огороження всіх робочих модулів цеху з підготовки піску (вібраційні решітки, система обезпилення піску, система охолодження, операції змішування) й обезпилення відпрацьованих газів (пункт 4.5.8.1), з урахуванням рівнів викидів, визначених для НДТМ і представлених у таблиці 5.6. Якщо місцевий ринок це дозволяє, то зібраний пил може передаватися для зовнішнього повторного використання (пункт 4.8.13). Пил, зібраний після просіювання, дозування й обробки, поставляється в цех для виготовлення сирої формувальної суміші, замінюючи до 50 % маси піску, що використовується (пункт 4.8.12);
- використання первинного відновлення, як це описано в пункті 4.8.2. Кількість додавання свіжої формувальної суміші залежить від кількості стрижнів, що використовуються, та їх сумісності. Для моносистем сирої формувальної суміші ступені регенерації (маса відновленого піску/загальна маса піску) становлять до 98 %, пов'язані з використанням НДТМ. Для систем із високим ступенем несумісних стрижнів, ступінь регенерації при використанні НДТМ становить 90 – 94 %.

Виготовлення ливарних форм і стрижнів із хімічно зв'язаного піску

Використовуються різні типи зв'язуючих речовин, всі вони мають свої властивості й застосування. Все зв'язуючі речовини визначаються як НДТМ, якщо вони використовуються відповідно до описаних практичних методів, які зазвичай включають контроль процесу і відпрацьованих газів, щоб мінімізувати викиди (пункти 4.3.3.3, 4.3.3.4). Рекомендовані при використанні НДТМ рівні викидів представлені нижче (таблиця 5.6)

Для підготовки хімічно зв'язаного піску НДТМ передбачає наступне:

- мінімізація кількості зв'язуючих речовин і смоли, що використовуються, і втрат піску, використовуючи заходи з контролю технологічного процесу, тобто управління змішувачами (ручне або автоматичне), як описано в пункті 4.3.3.1. Для серійного виробництва, що має часті зміни параметрів виробництва і високу продуктивність, в НДТМ повинен застосовуватися електронний спосіб збереження параметрів (див. пункт 4.3.3.2);
- уловлювання відпрацьованих газів на ділянці виготовлення стрижнів, його обробка і витримання перед випуском;
- використання на ливарних заводах, що виробляють середні та великі серії виливків, покриттів на водній основі та заміна спиртовмісних покриттів на вогнетривкі покриття для ливарних форм і стрижнів. Використання покриттів на спиртовій основі є НДТМ:
 - для великих або складних ливарних форм і стрижнів;
 - для піску, зв'язаного за допомогою рідкого скла;
 - при литті магнію;
 - у виробництві марганцевої сталі з покриттям із MgO.

Технології нанесення покриттів на водній основі та покриттів на спиртовій основі є НДТМ для дрібносерійних ливарних заводів і великомасштабних ливарних підприємств (див. пункт 4.3.3.5). Впровадження технології з покриттям на водній основі на цих двох типах заводів підтримується можливістю мікрохвильового сушіння (пункт 4.3.3.6) та іншими новими методами, за якими ще немає жодної інформації. При використанні покриттів на спиртовій основі НДТМ повинні забезпечувати вловлювання газів на ділянці нанесення покриття, використовуючи рухомі або закріплені кожухи. Зауважимо, що для дрібносерійних ливарних підприємств, що працюють за індивідуальними контрактами та використовують формування у ґрунті, застосування цього методу неможливе.

Крім того, при виготовленні стрижнів із використанням затвердіння на уретанових смолах і аміні (холодний стрижневий ящик), НДТМ передбачає наступне:

- обробка зібраного газу, що виходить із ділянки підготовки стрижнів із застосуванням холодного стрижневого ящика, використовуючи один із методів, описаних у пункті 4.5.8.4. Викид аміна повинен підтримуватися на рівні нижче 5 мг/м³;
- відновлення аміна з очисного розчину в технології холодного стрижневого ящика, з урахуванням, що відновлення повного обсягу дає економічний ефект (пункт 4.6.5);
- використання або ароматичних, або рослинних (тобто неароматичних) розчинників. Обидва методи є НДТМ (пункт 4.3.3.7).

НДТМ повинні мінімізувати кількість піску, що вимагає утилізації, з урахуванням стратегії регенерації та/або повторного використання (див. пункт 4.8.13) хімічно зв'язаного піску (як сумішей, так і монопіску). У разі регенерації застосовуються наступні вимоги:

- монопіски, які твердіють в холодному стані (наприклад пісок із фурфурановою смолою), відновлюються, використовуючи прості механічні методи, як це описано в пункті 4.8.3. Це стосується всіх монопісків, які тверднуть у холодному стані, крім кварцового піску. Може бути досягнутий ступінь регенерації 75 – 80 %;
- незатверділий пісок, який використовується в технології холодного стрижневого ящика, і стрижнева суміш, які тверднуть у холодному стані, обпікаються і розмелюються у спеціальному модулі, що допускає мінімальну внутрішню рециркуляцію 5 – 10 % стрижневої суміші (пункт 4.8.11);
- кварцовий монопісок відновлюється шляхом нагрівання і пневмообробки. Може бути

досягнутий ступінь регенерації 45 – 85 % (середнє за рік) (пункт 4.8.10). Використання повільно взаємодіючих складних ефірів має бути мінімізовано;

- піски, оброблені за допомогою холодного стрижневого ящика, SO₂, гарячого стрижневого ящика й оболонкових систем (на фенолформальдегідному зв'язуванні), а також змішані органічні піски відновлюються за допомогою однієї з наступних технологій: холодна механічна регенерація (наприклад подрібнення, ударний барабан, пневматичне подрібнення), або термічна регенерація (пункти 4.8.4, 4.8.5, 4.8.6, 4.8.7). Ступінь повної регенерації залежить від кількості стрижнів, що використовуються. При виготовленні стрижнів можна використовувати від 40 до 100 % відновленого піску; при виготовленні форм можна використовувати від 90 до 100 % відновленого піску;
- змішаний «зелений» і органічний пісок відновлюється шляхом механічної-термічної-механічної регенерації (пункт 4.8.8), шляхом подрібнення (пункт 4.8.4) або пневматичної системи (пункт 4.8.6).

При виготовленні стрижнів можна використовувати від 40 до 100 % відновленого піску; при виготовленні ливарних форм можна використовувати від 90 до 100 % відновленого піску;

- якість і склад відновленого піску повинні контролюватися;
- відновлений пісок слід повторно використовуватися тільки в сумісних складах піску. Несумісні типи піску зберігаються окремо (див. пункт 4.8.1).

Передбачається, що альтернативні методи формування (пункт 4.3.4) і неорганічні зв'язуючі речовини (пункт 6.5) мають перспективний потенціал для мінімізації впливу на навколишнє середовище у процесах формування та лиття металу.

Лиття, охолодження та вибивання виливків із форм

У процесах лиття, охолодження та вибивання виливків із форм утворюються викиди пилу, VOC та інших органічних продуктів.

НДТМ передбачає:

- огороження ліній лиття й охолодження і забезпечення збору відпрацьованих газів для серійних ліній лиття металів (пункт 4.5.9.2), а також
- огороження обладнання для вибивання виливків із форм і обробка відпрацьованих газів, використовуючи вологе або сухе обезпилення, як це описано в пункті 4.5.9.3. Рівні викидів пилу, визначені для НДТМ, представлені в таблиці 5.6.

Рівні викидів, визначені для НДТМ

Наступні рівні викидів пов'язані з вищевикладеними критеріями НДТМ. Всі рівні викидів представлені як середнє значення за даний період вимірювання. Якщо можливо проведення безперервного контролю, то використовується щоденне середнє значення. Викиди в навколишнє середовище перевіряються при стандартних умовах, тобто 273 K, 101,3 кПа і за умов сухого газу.

Джерело викидів	Параметр	Рівень викидів (мг/нм ³)
Звичайне виробництво	Пил	5 – 20
Цех із виготовлення стрижнів	Амін	5
Обладнання з відновлення	SO ₂	120
	NO _x	150

Таблиця 5.6: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для плавлення і лиття в одноразові ливарні форми

5.5 Лиття у багаторазові форми

Лиття в постійні ливарні форми (кокілі) включає введення розплавленого металу в кокіль. Ливарна форма відкривається після затвердіння металу, і виливки виймаються для остаточної обробки. Стрижні, виготовлені з хімічно зв'язаних формувальних сумішей, використовуються обмежено при гравітаційному литті й литті під тиском.

Щоб забезпечити якісні властивості затвердіння і виймання, HPDC не вимагає наявності покриття і додаткового охолодження. Для цих цілей внутрішня частина кокіля піддається обробці за допомогою спеціальних реагентів і охолоджуючої води.

НДТМ для підготовки постійних ливарних форм передбачає:

- мінімізація споживання реагентів і води для роз'єднання моделей HPDC, використовуючи один або більше методів, що обговорюються в пункті 4.3.5.1. Це запобігає формуванню туману. Якщо заходи із запобігання не допомагають досягти рівнів викидів, визначених у НДТМ для органічних речовин відповідно до таблиці 5.7, слід використовувати спеціальні кожухи і ЕР, як це описано в пункті 4.5.8.7;
- збір стічних вод у контур стічних вод для подальшої обробки;
- збір рідин, що стікають із гідравлічних систем у контур стічних вод для подальшої обробки, використовуючи перехоплювач мастила (пункт 4.6.4) і дистиляцію, вакуумне або біологічне очищення, як описано в пункті 4.6.6.

НДТМ для підготовки хімічно зв'язаних пісків подібні технологіям, описаним у пункті 5.4. У зв'язку з тим, що утворюється менша кількість піщаних викидів, НДТМ для просіювання і контролю відпрацьованої формувальної суміші різні. НДТМ для контролю відпрацьованої формувальної суміші на ливарних заводах, що використовують постійні ливарні форми, передбачає:

- огороження ділянки подрібнення стрижнів і обробку відпрацьованих газів, використовуючи вологе або сухе обезпилення, як це описано в пункті 4.5.9.3, з урахуванням рівнів викидів, пов'язаних із НДТМ, представлених у таблиці 5.7, і
- якщо дозволяють умови, підготовка піску, отриманого після подрібнення стрижнів, для повторного використання (пункт 4.8.13).

Рівні викидів, зазначені в НДТМ

Наступні рівні викидів пов'язані з вищевикладеними критеріями НДТМ. Всі рівні викидів представлені як середнє значення за даний період вимірювання. Якщо можливо проведення безперервного контролю, то використовується щоденне середнє значення. Викиди в навколишнє середовище перевіряються при стандартних умовах, тобто 273 К, 101,3 кПа і за умов сухого газу.

Параметр	Рівень викидів (мг/м ³)
Пил	5 - 20
Масляний туман, який вимірюється як загальна кількість С	5 - 10

Таблиця 5.7: Викиди в атмосферне повітря, пов'язані з використанням НДТМ для лиття в багаторазові форми (включаючи HPDC)

6 НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ, ЩО ВИНΙΚАЮТЬ, ДЛЯ ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ

6.1 Використання дешевих горючих матеріалів при плавленні в вагранці

Опис

Щоб знизити споживання (високоякісного) коксу, були розроблені методи, що дозволяють використовувати висококалорійні тверді відходи і кокс нижчого сорту як паливо.

У Бразилії був розроблений особливий тип вагранки, що називається FAR, яка дає змогу проводити плавлення звичайної шихти, використовуючи шини та пластмасові відходи (подрібнені автомобільні відходи — ASR-диски, паперовий пи́л, і т. д.), змішані з коксом другого сорту. Конструкція вагранки повністю відрізняється від звичайної печі. Зверху завантажується тільки металева шихта. Тверде паливо подається з боку, щоб воно потрапляло в гарячу зону дуже швидко. Тут вуглеводні руйнуються і спалахують.

Додаткові системи введення дають змогу здійснювати додавання паперових залишків або пилу безпосередньо через фурми або за допомогою спеціальних інжекторів.

Досягнуті переваги для довкілля

Зниження споживання коксу, який важко обробляється в звичайних системах спалювання, так як він замінюється твердими відходами (ASR, паперові залишки).

Експлуатаційні дані

Для печі FAR кращі результати були отримані, використовуючи 35 % паперових залишків і 65 % коксу. Ця технологія була доведена до експериментального масштабу.

Міжсередовищні наслідки

Застосування альтернативного палива викликає зміни у складі димових газів; що призводить до збільшеної кількості пилу, який вимагає утилізації, можливо з вищим вмістом забруднюючих речовин і збільшеним ризиком появи діоксину, РАН і важких металів. Термoeфективність установки зменшується.

Застосування

Застосування цього спеціального типу вагранки можливе лише в нових установках, так як він вимагає спеціального розміщення печі. Інжекційні системи для твердих частинок або паперових залишків можуть використовуватися і в наявних вагранках.

Економічні дані

Так як процес був доопрацьований лише до експериментального масштабу, немає жодних економічних даних, які інформують про промислове використання такої установки.

Рушійна сила для впровадження

Зниження витрат на палива і використання ливарними виробництвами політики управління відходами.

Довідкова література

[140, Тематична мережа ЄС щодо відходів ливарного виробництва, 2001]

6.2 Переробка металовмісного фільтрувального пилу (чорні метали)

Опис

Пил, який осідає на металоносних фільтрах, можна бути зв'язаний за допомогою будь-яких зв'язуючих речовин (переважно цемент) або шляхом його змішування зі стружкою, якщо ливарний завод має цех механічної обробки. В останньому випадку утворені частинки також можуть містити відходи металовмісного фільтруючого матеріалу. Ці частинки можна змішати з шихтою для індукційної печі та переплавити. Вихід металу може скласти більше 90 %. Інша частина пилу переходить у шлак. Відповідні пристрої для агломерації існують на ринку.

Досягнуті переваги для довкілля

Кількість відходів, що вимагають утилізації, зменшується, крім того зменшується потреба у придбанні металеві сировини за межами ливарного заводу. Частина металевого пилю, що містить мінеральні фракції, плавитися не буде, і виділяється зі шлаком. У такий спосіб вона перетворюється в менш небезпечну форму відходів.

Експлуатаційні дані

Дані щодо експлуатації до теперішнього часу не надані.

Міжсередовищні наслідки

Утворений шлак може збільшити знос футеровки. Також може трохи збільшитися кількість енергії, що використовується для плавлення. На сталеливарних заводах з'являється ризик поглинання вуглецю.

Застосування

Ця технологія використовується на нових і наявних ливарних заводах із виробництва сталі та чавуну, що використовують індукційні плавильні печі.

Економічні дані

На цій стадії розробки економічних показників ще немає. Однак, за попередніми оцінками, зробленими на одному чавуноливарному заводі, який має цех механічної обробки, розрахунковий термін окупності склав від двох до чотирьох років.

Рушійна сила для впровадження

Основна рушійна сила для впровадження цієї технології може полягати в тому, що пил, який утворився в процесі плавлення, може, принаймні в деяких випадках, потрапляти в категорію небезпечних відходів. Для ливарних заводів це може привести до дуже високих витрат на утилізацію.

Приклади установок

Приклади установок відсутні.

Довідкова література

Ця технологія знаходиться в стадії розробки в ЄС, (Програма зростання FP5 BRICETS «Відновлення металевих побічних продуктів в індукційних печах: комерційні, екологічні та технічні рішення» [FP5 Growth project BRICETS «Metal ByProduct Recovery in Induction Furnaces — Commercial, Environmental and Technical Solutions»], номер контракту G1RD-CT-2001-00482). Проектні роботи повинні завершитися навесні 2004 року. [140, Тематична мережа ЄС Відходи ливарного виробництва, 2001], [202, TRG (TWG), 2002]

6.3. Відновлення аміна з відходів від виготовлення ливарних стрижнів шляхом проникнення газу

На експериментальній установці амін (DMIA) відновлювався з повітря, що виходить із цеху виготовлення стрижнів шляхом інфільтрації газу. Він мав наступний склад:

- 80 – 90 % аміна (DMIA);
- 10 – 20 % розчинника;
- 0 % води.

Після декількох серій експериментів, відновлений амін використовувався для виготовлення стрижнів для гальмівних дисків. Було виявлено що між цими стрижнями і стрижнями, які були виготовлені при використанні стандартного комерційного аміна (DMIA), не було жодної різниці. Контрольні зразки відливалися за звичайних умов виробництва, і повністю оброблені гальмівні диски піддавалися звичайним технічним випробуванням.

Результати всіх перевірок виявлялися в межах допустимого допуску. Це показало, що перероблений DMIA може використовуватися у звичайному виробництві. Економічний ефект може бути досягнутий після подальшої оптимізації підприємства.

[217, Пауль та ін., 1994]

6.4 Окреме розпилення вивільняючого агента і води в литті алюмінію

Опис

При литті алюмінію в кокіль під тиском постійні ливарні форми охолоджуються, потім на них, до заливання металу, розпорошуються вивільняючі реагенти, щоб запобігти адгезії металу до ливарної форми. Звичайна технологія використання вивільняючих реагентів полягає в тому, що на гарячу ливарну форму розпорошується одночасно суміш вивільняючого агента і води, за допомогою декількох лінійно розташованих фурм (сопел). Частина води випаровується, охолоджуючи ливарну форму і сприяючи осадженню реагенту, в той час як інша частина суміші виходить із ливарної форми, що призводить до втрати реагенту і води. Випаровування також може сприяти утворенню туману (див. пункт 4.5.8.7).

В альтернативному процесі вода і вивільняючий (роз'єднувальний) реагент використовуються окремо. Із цією метою до розпилювальної голівки був доданий ряд сопел для роздільного розпилення роз'єднувального реагенту. Ці сопла можуть використовуватись окремо з комп'ютерним управлінням (див. рис. 6.1).

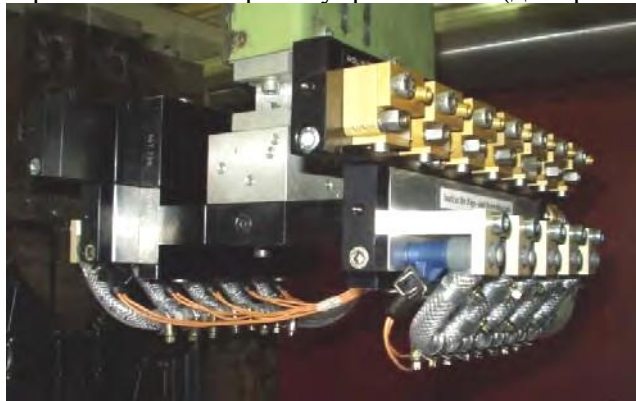


Рис. 6.1: Розпилювальна голівка з окремими фурмами для води і роз'єднувального реагенту

Спочатку вода розпорошується, охолоджуючи ливарну форму, приблизно до 20 °С, далі роз'єднувальний реагент наноситься шляхом розпилення. Попереднє охолодження сприяє зменшенню випаровування роз'єднувального реагенту і покращує його адгезію до ливарної форми. Це сприяє зниженню споживання реагенту приблизно на 25 %. Термографічні вимірювання показували, що при використанні цієї технології ливарні форми охолоджуються інтенсивніше та рівномірніше. Випробування довели, що при цьому відсутній витік роз'єднувального реагенту, який в іншому випадку повинен збиратися та утилізуватися.

Вивільняючий агент використовується тільки для тих ділянок ливарної форми, які входять в контакт із розплавленим алюмінієм. Це може знизити потребу в реагенті на 30 %.

Використання сопел із комп'ютерним управлінням для розпилення вивільняючого агента привело до можливості скорочення кількості фурм, що раніше використовувалися для стисненого повітря. Ця функція тепер передана фурмам, призначеним для розпилення вивільняючого агента.

У випадку малого серійного виробництва і частих замін ливарних форм перевага полягає в тому, що програма розпилення може бути збережена в пам'яті комп'ютера і тому може швидко відновлюватися після заміни ливарної форми.

Досягнуті переваги для довкілля

Споживання вивільняючого агента може бути знижене на 25 % при роздільному використанні реагенту і води. Роздільне використання фурм допомагає отримати додаткову економію до 30 %, залежно від геометрії виливку, так як роз'єднувальний реагент використовується тільки для тих ділянок ливарної форми, які входять у контакт із розплавленим металом.

Споживання води можна зменшити приблизно на 15 %. Втрати води або роз'єднувального реагенту, що вимагають утилізації, відсутні. Викиди газу, що зумовлені випаровуванням роз'єднувального реагенту, не утворюються.

Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки не спостерігалися. Не очікується жодного збільшення енергетичних витрат.

Застосування

Попередні випробування проводилися для лиття алюмінію під тиском. Ця технологія також може використовуватися при литті цинку під тиском і при формуванні пластмас. При використанні розпилювальної головки за вищих температур необхідно провести зміни. Цей варіант не досліджувався.

Економічні дані

Економічні переваги цього методу зумовлені значним скороченням потреби роз'єднувального реагента і води, а також відсутністю витрат на утилізацію.

Крім того, є переваги, зумовлені великою економією часу при заміні ливарної форми, внаслідок того, що програми розпилення можуть бути збережені в пам'яті комп'ютера і запущені повторно.

Капітальні витрати для впровадження цієї технології вищі порівняно з витратами на впровадження звичайного процесу. Як позитивний фактор, роз'єднувальний реагент може наноситися на різні ливарні форми індивідуально, за допомогою однієї і тієї ж розпилювальної головки.

Рушійна сила для впровадження

Значна економія сировини і води.

Виключені втрати суміші води і роз'єднувального реагента, які повинні збиратися.

Короткі інтервали часу, необхідні для запуску й адаптації установки.

Висока відтворюваність результатів (постійна якість).

Приклади установок

Розпилювальні головки виробляються і продаються німецьким виробником з кінця 2003 року. Запити від промисловості вже надійшли. Очікується, що використання в промисловому масштабі почнеться до кінця 2003 року.

Довідкова література

[234, Андерс, 2003]

6.5 Неорганічний зв'язуючий матеріал для виготовлення ливарних стрижнів

Опис

Щоб знизити споживання органічного зв'язуючого матеріалу, який міститься у викидах ароматичних речовин на ливарних заводах (що може призвести до скарг від жителів, що проживають неподалік), були розроблені різні склади неорганічних зв'язуючих речовин для їх використання при виготовленні стрижнів для алюмінієвого лиття під тиском, і які вже використовувалися в серійному виробництві впускних колекторів для двигунів автомобіля.

Стрижні виготовляються за допомогою зв'язуючої суміші, що містить сірчаноокислий магній і/або поліфосфат. Неорганічні зв'язуючі склади зазвичай містять водні розчини солей, а також невелику кількість присадок (наприклад керамічних), щоб запобігти адгезії піску або залипанню виливку. Пропорція зв'язуючої речовини до кількості піску, за вагою, становить 3 – 8 %. Приблизно половину цієї кількості становить розчинена і кристалізована вода.

Щоб зменшити проміжок часу, необхідний для сушіння, до 10-20 секунд, підігрітий пісок (60 – 80 °C) продувається в гарячу установку для приготувань стрижнів (120 – 140 °C), в якій розчинена і кристалізована вода випаровується і несеться повітряним шляхом. Стрижні, виготовлені з неорганічної кераміки, матимуть термічну стійкість при більш ніж 1000 °C, і збережуть високу міцність. При безпосередньому контакті з водою стрижні розпадаються протягом декількох секунд. Змішування і продування нагрітого піску є запатентованим методом виготовлення стрижнів.

Після заливки металу можливе мокре або сухе руйнування стрижнів. При сухому руйнуванні стрижнів велика кількість піску перетворюється до розміру гранул, при цьому для кварцового піску залишається значною мірою неушкоджений шар зв'язуючого складу. Тому, як тільки стрижнева суміш потрапляє на стадію приготування, до неї має бути додано лише 5 % зв'язуючих речовин, що початково використовувалися. При вологому руйнуванні стрижнів виливок швидко охолоджується при гартуванні. Це може викликати бажане поліпшення мікроструктури виливку і сприяє повній руйнації зв'язуючих речовин.

Різні властивості піску можуть вимагати перегляду стрижневих моделей і системи вентиляції при впровадженні цієї технології на наявному заводі. На стадії сушіння зі стрижнів повинна бути видалена вся волога, ця вимога може обмежити розміри стрижнів.

Досягнуті переваги для довкілля

На відміну від технології холодного стрижневого ящика, яка сприяє утворенню викидів органічних речовин, таких як аміни, продукти піролізу і диму, цей метод не сприяє утворенню викидів, що містять зв'язуючі речовини, ані в процесі виготовлення стрижнів, ані під час заливки металу. При переробці залишків піску не утворюється жодних відходів і відсутня необхідність у дорогій переробці піску. Кількість піску, що вимагає заміни, дуже незначна.

Керамічні добавки, що містяться у зв'язуючих речовинах, усувають необхідність покриття стрижнів.

У разі, коли для руйнування стрижнів використовується суха технологія, всі залишки зв'язуючих речовин можуть бути використані повторно.

Експлуатаційні дані

В'язкість суміші піску зі зв'язуючими речовинами достатня для створення складних форм, наприклад для створення стрижнів водяної сорочки (головки циліндрів). Міцність тестованих стрижнів становить 250 – 300 Н/см³. Щоб змінити міцність відповідно до вимог, що надаються до стрижнів, можна додати більше зв'язуючих речовин.

Якщо під час заливки металу не утворюється жодних газів, то не виникає жодних проблем з їх утилізацією. Отже при використанні зв'язуючих речовин можна використовувати дуже чисті піски, які значно покращують якість оброблюваної поверхні (наприклад ступінь шорсткості). Оскільки коефіцієнт регенерації дуже високий, економічно вигідно використовувати навіть дорогі синтетичні керамічні піски або, наприклад, цирконовий пісок.

Міжсередовищні наслідки

Через те, що при використанні зв'язуючих речовин не утворюється жодних газів, то не виникає жодної необхідності його збору й обробки. Підігрів суміші піску і зв'язуючих речовин і попередній підігрів інструменту для виготовлення стрижнів сприяють збільшенню енергетичних витрат, порівняно з іншими методами виготовлення.

Застосування

Ця технологія застосовується для створення стрижнів при литті алюмінію під тиском на нових і наявних заводах, після адаптації автоматизованих установок для виготовлення стрижнів. Подальші розробки мають на меті адаптацію зв'язуючих речовин для використання при литті чавуну і при підготовці формувального матеріалу.

Економічні дані

Незважаючи на потребу в попередньому підігріві інструментів із виготовлення стрижнів, ця технологія сприяє загальній економії витрат при виготовленні стрижнів, завдяки нижчій потребі у свіжій формувальній суміші та відсутності необхідності в дорогій регенерації теплової енергії або утилізації піску. Економії витрат також сприяє повторне використання зв'язуючих речовин. Значному зниженню витрат сприяє той факт, що відсутня необхідність у системах обробки вихідних газів для видалення органічних сполук, наприклад аміна і продуктів піролізу, які можуть утворюватися при виготовленні стрижнів і заливці металу, в разі коли використовуються органічні зв'язуючі речовини.

Згідно з приблизними оцінками використання цієї технології сприяє зниженню витрат на виготовлення стрижнів на 30 – 50 %, порівняно з технологією холодного стрижневого ящика.

Рушійна сила для впровадження

Значне зниження витрат.

Зменшення проблем із викидами ароматичних і органічних речовин.

Приклади установок

Завод VW AG, м. Ганновер, Німеччина

Довідкова література

[235, Бішофф, 2003]

7 КІНЦЕВІ ЗАУВАЖЕННЯ

7.1 Часові рамки роботи

Перше пленарне засідання ТРГ відбулося у квітні 1999 року. Однак незабаром проєкт був припинений із січня 2000 року через зміну головного експерта в ЕІРПСВ. Робота була відновлена в листопаді 2001 року. У січні 2002 року було організовано друге пленарне засідання ТРГ з метою огляду стану роботи і висновків першого засідання з урахуванням можливих нових зрушень у секторі. Перший проєкт ДД НДТМ був потім надісланий ТРГ для консультацій у листопаді 2002 року. Зауваження були оцінені та внесені до документа, а другий проєкт, включаючи пропозиції щодо висновків НДТМ, був надісланий у травні 2003 року. Заключне пленарне засідання ТРГ було організоване в жовтні 2003 року.

7.2 Джерела інформації

Науково-дослідними центрами, органами влади і промисловістю було надіслано багато документів у ролі інформаційної бази для цього документа. Документи НДТМ з Бельгії [110, Віто (Vito), 2001] та від представників галузі [32, Комітет асоціацій європейських ливарників, 1997] можуть розглядатися як основні документи. Вони були використані як відправна точка при написанні розділу про методи, які слід враховувати при визначенні НДТМ (Розділ 4). Вони були доповнені документами про НДТМ і посібниками з належної екологічної практики з Великобританії, Іспанії, Данії та Нідерландів. Цінна інформація про конкретні методи та їх реалізацію на прикладах заводів була надана Німеччиною. Протягом всього проєкту було встановлено щире та відкрите комунікацію з експертами-ливарниками науково-дослідних центрів і асоціацій у Франції, Німеччині, Іспанії, Великобританії, Фінляндії, Бельгії, Італії, Швеції та Португалії. Візити на місця здійснювались у Німеччині, Франції, Іспанії, Бельгії та Польщі. Консультаційні зустрічі дали змогу отримати конкретні відгуки від операторів ливарних підприємств, зауваження щодо застосовності та застосування деяких методик і додаткових експлуатаційних даних. Протягом проєкту особлива увага приділялася залученню нових країн-членів, які мають важливі сектори ливарного виробництва. Це привело до активної участі Польщі, Чехії та Угорщини, зокрема в обміні інформацією.

Для того, щоб краще зрозуміти, яка інформація була доступна про викиди і зменшення викидів діоксину, у вересні 2003 року галузева делегація організувала спеціальний семінар. У цьому семінарі взяли участь понад 30 учасників, як члени ТРГ, так і експерти галузі. Він надав додаткові експлуатаційні дані та корисну технічну інформацію.

Більшість документів, що виникли в результаті обміну інформацією, стосувалися ливарного виробництва чорних металів. Ливарні процеси кольорових металів були недостатньо представлені протягом всього процесу. Утім, було результативне спілкування з кількома галузевими експертами, хоча вони не відвідували пленарні засідання ТРГ. Цінна інформація була зібрана під час відвідувань на місця до ливарних виробництв у Німеччині, Франції та Бельгії. Міжнародна асоціація магнію надала корисні матеріали щодо буферних газів для плавлення магнію.

Якість даних цього документа має певний дисбаланс, оскільки, наприклад, рівень споживання та викидів, згаданий у розділі 3 та розділі 4, відрізняється від даних опитування для сектору по країні, починаючи з даних, що охоплюють декілька прикладних установок, і до конкретних даних про поодинокі заводи.

Дані про викиди кольорових металів ґрунтуються переважно на поодиноких установках. Для плавлення міді та цинку подавались лише коефіцієнти викидів (наведені у кг/т металу чи кг/т виливків). Для плавлення магнію та свинцю не було передбачено рівнів споживання та викидів. Для плавлення алюмінію не було надано даних про викиди для індукційних, ротаційних або термічних печей (відпалу).

За наявності, коефіцієнти викидів згадуються в розділі 3. Однак чіткого співвідношення між згаданими коефіцієнтами викидів і застосовуваними методами не було. Тому висновки про НДТМ із відповідним рівнем викидів для плавлення кольорових металів, крім алюмінію, були неможливі.

Документ містить інформацію про методи профілактики й очищення стічних вод. Однак не було надано даних про рівні викидів, пов'язаних із цими методами. Жодних експлуатаційних даних щодо якості стічних вод щодо застосованого очищення не надано. Тому для стічних вод неможливо визначити рівень викидів, пов'язаних із НДТМ.

Не було надано жодної інформації щодо методів зменшення викидів VOC. Відсутність інформації щодо методів скорочення та пов'язаних із цим рівнів викидів унеможливила формулювання висновку про НДТМ. Методи зменшення викидів VOC, пов'язаних із процесами нанесення покриттів (застосовуються до стрижнів і форм), можна знайти в ДД НДТМ щодо обробки поверхонь із використанням розчинників.

Під час обговорення повторного використання пилю та залишків не було надано інформації щодо методів очищення чи повторного використання пилю із процесів плавлення в індукційній печі, для дроту із плавлення алюмінію, порошку, абразивних матеріалів або для решітки дуття, хоча повторне використання більшості цих матеріалів у вторинному виробництві металів можливе.

Огляд законодавства був спрямований на дві країни-члена ЄС, але вони не обов'язково є репрезентативними для всього Європейського Союзу. Інформацію про чинне законодавство у цих двох державах-членах можна знайти за такими посиланнями:

- Австрія: <http://www.ris.bka.gv.at/>
- Німеччина: http://www.bmu.de/de/txt/download/b_taluft/

7.3 Рівень консенсусу, якого було досягнуто

Висновки роботи були узгоджені на підсумковому пленарному засіданні у жовтні 2003 року та було досягнуто високого рівня консенсусу. Промисловість висловила стурбованість питанням діоксину, про що детально описано в пункті 5.2. Окрім цього занепокоєння, було досягнуто повної згоди щодо всіх висновків про НДТМ, представлених у цьому документі.

Основні питання обговорення на заключному засіданні стосувалися методів збору та поводження з відпрацьованими газами, мінімізації викидів, зменшення шуму, ролі екологічних питань у технічному виборі та рівнях викидів, пов'язаних із НДТМ. Для деяких процесів, переважно в галузі плавлення кольорових металів, інформація була неповною, і тому не можна було погодитися щодо жодних НДТМ AEL. Під час зустрічі технології, особливі для ливарних виробництв кольорових металів, обговорювалися мало, частково через відсутність галузевих експертів.

Ретельно розглядалося питання про те, чи відіграють екологічні міркування згубну роль для основного вибору плавильних печей і методів лиття, сформульованих у Розділі 4 документа. Існувала загальна згода, що ці варіанти вибору є складними та повинні ґрунтуватися на технічних причинах і ринкових міркуваннях у кожному конкретному випадку. Тому питання не було обрано як НДТМ.

Обговорення щодо обробки відпрацьованих газів завершилося домовленістю, що для більшості операцій у чорних ливарних підприємствах НДТМ вважатимуться як сухі системи, так і добре працюючі вологі системи. Пов'язані рівні викидів базувалися на інформації, наявній у документі.

Що стосується зменшення рівня димових викидів і шумів, було обговорено презентацію тем і рівень деталізації, які слід навести у Розділі 4 та Розділі 5. Існує загальна згода не задавати конкретний рівень шуму, який міг би бути асоційованим із НДТМ.

7.4 Рекомендації для майбутньої роботи

Обмін інформацією та результат цього обміну, тобто цей документ, є важливим кроком уперед у досягненні комплексного (інтегрованого) запобігання та контролю забруднення у ливарній промисловості. Однак про деякі теми інформація є неповною, і це не дало змогу дійти висновків про НДТМ. Основні питання представлені у пункті 7.2. Майбутня робота може з користю зосередитись на зборі такої інформації:

- *Методики зменшення VOC:* Викиди VOC утворюються при термічному розкладанні в'язких речовин при заливанні, покритті стрижнів і форм, а також при плавленні брудного скрапу, вони є однією із ключових екологічних проблем галузі. Викиди VOC у ливарних виробництвах зазвичай включають потоки великого об'єму та низьких рівнів, що представляють значне навантаження на навколишнє середовище і можуть спричинити викид неприємного запаху. Необхідна інформація про методи ефективного збору й обробки цих потоків, а також супутні дані щодо викидів та економічних аспектів. Попередження викидів VOC завдяки використанню альтернативних зв'язуючих матеріалів і покриття також заслуговує на подальше вивчення. Слід збирати дані та повідомляти про впровадження цих методик на практиці
- *Обробка стічних вод:* Переробка стічних вод у цьому документі представлена загальним описом, більше того, дані про експлуатацію наведені лише для однієї прикладної установки. Основу для обговорення слід розширити, обмінюючись інформацією про продуктивність ширшого кола очисних споруд і надаючи подальші експлуатаційні дані. З огляду на вибір вологого очищення як частини НДТМ, слід отримати інформацію про супутнє очищення стічних вод і про рівень викидів у поверхневі та стічні води.
- *Плавлення кольорових металів:* Дискусія про плавлення кольорових металів ґрунтується на плавленні чистих зливків і чистого внутрішнього зворотного матеріалу (ливарного брухту). Виходячи з цього, передбачається низький рівень викидів. Необхідна повніша інформація як щодо контрольованих, так і неконтрольованих викидів (наприклад металів, органічних речовин) від плавлення кольорових металів у ливарних виробництвах, заснованих на даних із практики та виражених як рівень викидів (маса/об'єм вихлопів) та як масовий потік (маса/вихід металу або виливків)
- *Економічні дані:* Для багатьох методів, представлених у розділі 4, бракує економічних даних. Цю інформацію потрібно збирати від представників промисловості та від країн-членів ЄС із наявних проєктів, що стосуються впровадження представлених методик
- *Енергоефективність:* В цьому документі наведені приклади технологій рекуперації тепла для індукційних печей і вагранок. Необхідні додаткові приклади щодо систем рекуперації тепла з даними про продуктивність. Слід зібрати інформацію про споживання енергії та втрати енергії для всіх типів печей, пов'язані з конкретними методами підвищення енергоефективності. Це може дати можливість визначити споживання енергії, пов'язане з НДТМ, на плавлення металу.

7.5 Теми, що пропонуються для науково-дослідних проєктів

Обмін інформацією також виявив деякі сфери, де можна отримати додаткові корисні знання в рамках наукових досліджень і розробок. Вони стосуються наступних тем:

- *Моніторинг і зменшення рівня діоксину:* Щоб дозволити повну реалізацію первинних заходів щодо профілактики діоксину, необхідно краще зрозуміти внесок параметрів процесу в утворення діоксинів. Для цього потрібен моніторинг викидів діоксину для різних установок і за різних умов. Крім того, існує потреба у дослідженні використання та ефективності вторинних заходів в ливарній промисловості. В інших галузях (наприклад сталь, спалювання відходів, виробництво кольорових металів) було впроваджено вторинні заходи (наприклад введення добавок, каталітичні мішкові фільтри), але досвід їх роботи дуже малий, і немає даних щодо можливих експлуатаційних проблем, які можуть виникнути при застосуванні в ливарних виробництвах

- *Викиди ртуті:* Викиди металів у великій мірі пов'язані з пилом. Отже мінімізація викидів пилу, представлена в ДД НДТМ, також мінімізує можливі викиди металів. Це стосується всіх металів, які можуть виникати в цьому секторі, крім ртуті. Що унікально для металів, висока летючість ртуті може спричинити викиди газів, які не пов'язані з пилом. З огляду на реалізацію європейської політики щодо ртутних викидів, існує потреба у дослідженні викидів ртуті від процесів плавлення взагалі та з ливарних виробництв (кольорових металів) зокрема.
- *Кисневі пальники та їх використання у вагранках:* Застосування кисневих пальників у вагранках описано в пункті 4.2.1.10. Методика показує деякі екологічні переваги. Однак труднощі, що виникають у впровадженні цієї методики, обмежують її широке використання. ТРГ повідомила, що в результаті постійних досліджень були створені нові програми. Тут є спектр для подальших досліджень і розробок, щоб довести цю методику до того рівня розвитку, який дозволить її подальше впровадження.
- *Альтернативні гази-замінники для SF₆ при плавленні магнію:* Альтернативні буферні гази для заміни SF₆, такі як HFC-134a та Novac 612, були розроблені й успішно випробувані, з деякими нещодавніми прикладами промислового застосування. Ці гази представляють альтернативу для заміщення SO₂. Подальші дослідницькі та демонстраційні проекти дадуть детальніше уявлення про захисні властивості в рамках поведінки розкладання та про схему викидів цих сполук. Це повинно чіткіше вказувати на можливість застосування і може підтримати промислове впровадження.

ЄК запускає та підтримує за допомогою своїх програм НДДКР низку проектів, що стосуються екологічно чистих технологій, нових технологій очищення та переробки, а також стратегій управління. Потенційно ці проекти можуть стати корисним внеском у майбутні огляди ДД НДТМ. Тому читачам пропонується повідомити ЕІРПСВ про будь-які результати досліджень, що стосуються сфери застосування цього документа (також див. передмову цього документа).

8 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 2 Хоффмайстер, Й. (Hoffmeister, J.); Райхардт, Н. (Reichardt, N.) та Алваст, Х. (Alwast, H.) (1997). «NE-Metallindustrie – Betreiberleitfaden für Anlagen zum Gießen in verlorenen Formen – Sandgußverfahren», Ministerium Umwelt, Raumordnung u. Landwirtschaft NRW. (німецькою)
- 9 Шнайдер, Б. (Schneider, B.) (1993). «Verwertung von Gießereialsanden durch thermisch- mechanische Aufbereitung in einer zentralen Anlage», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 30 441-5/9. (німецькою)
- 11 Шахтнер, Й. (Schachtner, J.) та Мюллер-Шпетх, Г. (Müller-Späth, G.) (1993). «Demonstrationsanlage zur thermischen Altsandregenerierung mit Komponententrennung für Quarz- und Chromerzsand (Демонстраційна установка для термічної регенерації використаного піску з компонентним поділом на кремнеземний і хромітовий пісок – Підсумковий звіт 9010)», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), УВА3 0 441-2/4. (німецькою)
- 15 Гвясда, Ф. (Gwiasda, F.) (1984). «Erfassung und Reinigung von Abgasen bei der Kernfertigung einer Gießerei», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt). (німецькою)
- 16 Гербер, Е. (Gerber, E.) та Гвясда, Ф. (Gwiasda, F.) (1981). «Erfassung und Reinigung von Abgasen an Ausschlagrosten einer Gießerei», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt). (німецькою)
- 17 Штраусс, Д. (Strauß, D.) (1983). «Emissionsminderung durch Umbau einer Kupolofenanlage (Скорочення викидів шляхом реконструкції плавильного заводу з вагранкою – Підсумковий звіт 1018)», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt). (німецькою)
- 18 Радемахер, Х. (Rademacher, H.) (1993). «Errichtung und Betrieb einer Absaugung der Induktionsofen-Schmelzerei und Nebenbetriebe (Створення й експлуатація витяжних конструкцій установок для плавлення з індукційними печами та їх компонентів – Підсумковий звіт 1107)», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 50 441-5/168. (німецькою)
- 20 Гапп, Х. (Gapp, H.) (1998). «Reduzierung des Gehaltes an Benzol in den Abgasen von Gieß- und Kühlstrecken durch den Einsatz eines Bio Filters (Зниження вмісту бензолу у вихлопних газах з ливарних та охолоджувальних ліній за допомогою біологічного фільтра - Підсумковий звіт 2041)», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 50 441-7/10. (німецькою)
- 21 Штраусс, Д. (Strauß, D.) (1994). «Emissionsminderung durch Anwendung moderner Prozesstechniken in einer Gießerei (Зменшення викидів пилу та газів у ливарному виробництві шляхом застосування сучасних технологій – Підсумковий звіт 1095)», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 0 441-5/145. (німецькою)
- 23 Бреттшнайдер, Д. (Brettschneider, D.) та Феннебуш, Б. (Vennebusch, B.) (1992). «Luftreinhaltung – Verbesserung der Emissionssituation eines Gießereischmelzbetriebes mit zwei Drehtrommelöfen (Поліпшення умов для викидів діапазону плавлення із двома ротаційними печами) – Підсумковий звіт 1119», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 50 441-1/56. (німецькою)
- 27 Кран, Х.-П. (Kran, H.-P.); Рудольф, А. (Rudolph, A.) та Рейнольд, М. (Reinhold, M.) (1995). «Скорочення викидів вагранки з гарячим дуттям за допомогою застосування тканинного фільтру, а також використання відходів тепла і залишків – Підсумковий звіт», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), УВА 0 441-7/II 1.1-50 441-5/178. (англійською)
- 29 Батц, Р. (Batz, R.) (1986). «Stand der Technik bei der Emissionsminderung in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt). (німецькою)
- 32 Комітет асоціацій європейських ливарників (1997). «НДТМ для зменшення забруднення атмосфери в ливарній промисловості чорних металів», Європейська Комісія - DG XI.E.1. (англійською)
- 34 Біннінгер, В. (Binninger, W.) (1994). «Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Reststoffe aus Schelzanlagen für Nichteisenmetalle (NE- Schwermetallguß)», Abfallberatungsagentur (ABAG). (німецькою)

- 36 Вінтерхальтер, Й. (Winterhalter, J.); Мауерсбергер, Г. (Mauersberger, G.); Барс, П. (Bars, P.) і Туссен, Д. (Toussaint, D.) (1992). «Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Gießereialsande aus Nichteisenmetallgießereien», Abfallberatungsgagentur (ABAG). (німецькою)
- 37 Вінтерхальтер, Й. (Winterhalter, J.); Мауерсбергер, Г. (Mauersberger, G.); Барс, П. (Bars, P.) і Туссен, Д. (Toussaint, D.) (1992). «Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Gießereialsande aus Eisen-, Stahl- und Tempergießereien», Abfallberatungsgagentur (ABAG). (німецькою)
- 42 Управління з охорони довкілля США (US EPA) (1998). «Проект «Записник» відділу EPA з питань відповідності: Профіль ливарної промисловості», EPA США, EPA/310-R-97-004. (англійською)
- 43 Батц, Р. (Batz, R.) (1996). «Dioxin- und Furanemissionen aus Schmelzanlagen in Eisen-, Temper- und Stahlgießereien», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), 0722 186X. (німецькою)
- 44 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1993). «Плавлення чавуну у вагранках на ливарному виробництві чавуну (Належна практика – керівні настанови 58)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 45 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1990). «Досягнення високого рівня випуску на ливарних виробництвах чавуну (Належна практика – керівні настанови 17)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 46 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1995). «Енергозбереження в послугах ливарних виробництв (Належна практика – керівні настанови 166)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 47 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1992). «Нотатки до керівних настанов для ефективної експлуатації тигельної індукційної печі (Належна практика – керівні настанови 50)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 48 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1994). «Покращення утилізації металу на ливарних виробництвах алюмінію (Належна практика – керівні настанови 142)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 55 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1993). «Електричне витримування гарячого металу на ливарних виробництвах чавуну», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 64 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1997). «Кольорові ливарні виробництва (друге видання)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 70 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1998). «Оптимізація використання піску на ливарних виробництвах», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 71 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1998). «Економне управління хімічними зв'язуючими речовинами на ливарних виробництвах (GG104)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 72 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1995). «Пісок із хімічним зв'язуванням: Використання та зневоднення (EG4)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 73 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1995). «Сира формувальна суміш для ливарень: Використання і зневоднення (Керівні настанови EG 5)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 75 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1996). «Поліпшений процес контролю знижує втрати у формах», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 78 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1996). «Системи управління навколишнім середовищем на ливарних виробництвах (Керівні настанови EG 43)», Відділ з енергоефективності – Департамент охорони навколишнього середовища. (англійською)
- 80 ERM Lahmeyer International GmbH (1999). «Aufkommen und Entsorgung von Gießereialsanden (Кількість залишкового ливарного піску та його утилізація)», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt). (німецькою)

- 82 IfG – Institut für Gießereitechnik (1996). «Untersuchung von Eisen- und NE- Metallgießereien – Branchengutachten», Ministerium Baden-Württemberg, 0941-780 X. (німецькою)
- 96 Шпільнер, А. (Spillner, A.) (1997). «Vermeidung von Kernsandem und Aminabfällen durch den Einsatz des Lost-foam-Verfahrens im Leichtmetall-Serienguß», Abfallberatungsagentur (ABAG). (німецькою)
- 103 Vereniging van Nederlandse Gemeenten (1998). «Werkboek milieumaatregelen Metaal - en Elektrotechnische Industrie», VNG Uitgeverij. (нідерландською)
- 108 Іспанська федерація асоціацій ливарників (FEAF) (1999). «Fundición de Metales Ferrosos», Fundación Entorno Empresa y Medio Ambiente. (іспанською)
- 110 Віто (Vito) (2001). «Beste Beschikbare Technieken voor de Gieterijen», Vito, ISBN 90 382 0312 8. (нідерландською)
- 112 Салмінін, С. (Salminen, S.) та Салмі, Дж. (Salmi, J.) (1999). «Система біологічного очищення повітря під час вилучення запахів у ливарному процесі», Varo Oy Biotech. (англійською)
- 122 Кірт, Й. (Kirst, J.) (1999). «Regenerierung von Kernformstoffen und Formstoffen», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), UBA III 2.2-50441-14/7. (німецькою)
- 126 Датський технологічний інститут (Teknologisk) (2000). «Опитування щодо рівня забруднення й екологічних умов ливарної промисловості», Датський технологічний інститут. (англійською)
- 128 ІНОВЕ (1998). «Arenas de Moldeo en Fundiciones Ferreas», Gobierno Vasco. (іспанською)
- 129 infoMil (1999). «Reductie van de uitstoot van isopropylalcohol door ijzergieterijen», infoMil. (нідерландською)
- 130 де Вільде, Й. М. (de Wilde, J. M.) та тен Хаутен, М. Р. (ten Houten, M. R.) (1999). «LCA van drie gietsystemen voor gietijzer op basis van de LCA van een compressor casing ten behoeve van een rotorhuis Z3», TNO Industrie. (нідерландською)
- 133 De Globe B.V. (1999). «Aanvraag revisievergunning Wet milieubeheer», Provincie Limburg. (нідерландською)
- 138 Metaalgieterij Giesen B.V. (1996). «Emissiemeetprogramma Thermische Zandregeneratie», Provincie Limburg. (нідерландською)
- 140 Тематична мережа щодо викидів ливарної промисловості ЄС (2001). «Можливості щодо викидів ливарних виробництв у майбутньому», Inasmet.
- 141 Програма зниження викидів від ливарної промисловості (CERP) (1999). «Фактори, що впливають на викиди в ливарному процесі: Нормативні викиди з автомобільних ливарних виробництв у Мексиці», Програма зі зниження викидів ливарної промисловості. (англійською)
- 143 Inasmet та СТІФ (2002). «Єврофонд 2002: Формування з використанням піщаних сумішей: Ключ до конкурентоспроможності» *Eurofond 2002, San Sebastian (E)*. (англійською)
- 144 Міністерство енергетики США (1998). «Складне лиття в одноразові форми», Відділ промислових технологій (англійською), <http://www.oit.doe.gov/factsheets/metacast/pdfs/lostfoam.pdf>.
- 145 Inductotherm (2002). «Онлайн-посібник із безпеки Inductotherm», Inductotherm (англійською), <http://www.inductotherm.com/safety/safety.htm>.
- 148 Eurofine (2002). «Інтернет-мережа європейських ливарень» (англійською), http://eurofine.reflexe.fr/BDdebut_an.html.

- 149 Буве, П. (Beauvais, P.) та Шоплі, Л. (Choplin, L.) (2001). «Нові технології для використання із покриттями на водній основі», Fonderie Fondateur Aujourd'hui, 201, сс. 9-29. (англійською)
- 150 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1998). «Вагранки з гарячим дуттям для тривалого плавлення в ливарних виробництвах чавуну», GPCS366. (англійською)
- 151 Gemco (1999). «Чистіший пісок», Ливарні проекти інженерів Gemco. (англійською)
- 152 Нотцгон, І. (Notzon, I.) та Хайль, Д. (Heil, D.) (1998). «Verminderung von Kernsand aus dem CO₂-Wasserglas-Verfahren durch mechanische Regenerierung», Abfallberatungsagentur (ABAG). (німецькою)
- 153 Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt) (2002). «Techniken zur Regenerierung von Mono- und Mischsand aus Giessereien», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt), особисті комунікації. (німецькою)
- 154 Баум (Baum) (2002). «особисте спілкування», фірма Bröer, особисте спілкування.
- 155 Європейське бюро ІЗКЗ (2001). «Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління в галузях промисловості, що працюють із кольоровими металами», Європейська Комісія. (англійською)
- 156 Годіно, П. (Godinot, P.) (2001). «Еволюція вагранки в Європі», Fonderie Fondateurs Aujourd'hui, 205, сс. 28-40. (англійською)
- 157 Годіно, П. (Godinot, P.); Шарбоньє, М. (Charbonnier, M.); Дервін Б. (Dervin, B.) та Морін, А. (Morin, A.) (1999). «Le traitement des fumées de cubilot», Fonderie Fondateurs d'Aujourd'hui, 188, сс. 37-43. (французькою)
- 158 Шарбоньє, М. (Charbonnier, M.); Годіно, П. (Godinot, P.) та Стефан, Ж. (Stephan, J.) (1998). «Devenir des poussières de cubilots dépourssiérés à sec», Fonderie Fondateur Aujourd'hui, 174, сс. 44-52. (французькою)
- 160 Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії (2002). «Проміжні керівні настанови для ливарного сектору чорних металів класу А2 – Проект документа за результатами зовнішнього консультування», IPPC S(A2)2.01 (2002). (англійською)
- 161 Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії (2002). «Попередні примітки про керівні настанови щодо процесу в електричних, тигельних і відбивних печах», Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, PG 2/3 (2002). (англійською)
- 163 Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії (2002). «Попередні примітки про керівні настанови щодо процесу: Вагранки з гарячим і холодним дуттям і ротаційні печі», Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 163. (англійською)
- 164 Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії (2002). «Попередні примітки про керівні настанови щодо процесів плавлення і виробництва алюмінію та його сплавів», Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, PG 2/6a(2002). (англійською)
- 165 Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії (2002). «Попередні примітки про керівні настанови щодо процесів плавлення і виробництва магнію та його сплавів», Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, PG 2/6b(2002). (англійською)
- 168 Комітет асоціацій європейських ливарників (CAEF) (2002). «Дані щодо європейської ливарної промисловості», Комітет асоціацій європейських ливарників (англійською), <http://www.caef-eurofoundry.org/industry.htm>.
- 169 Оркас, Дж. (Orkas, J.) (2001). «Технічні та екологічні вимоги щодо утилізації надлишкового ливарного піску», Гельсінський університет технологій.
- 170 Годіно, П. (Godinot, P.) та Карльє, П. (Carlier, P.) (1999). «Le Cubilot sans Coke», Fonderie - Fondateurs d'Aujourd'hui, 185, сс. 32-38. (французькою)
- 171 Центр розвитку лиття (The Castings Development Centre) (1999). «Вигідне повторне використання для менеджерів», Центр розвитку лиття. (англійською)
- 172 Нойманн, Ф. (Neumann, F.) (1994). «Gusseisen», expert verlag. (нідерландською)

- 173 Хьюлсен, В. Б. (Huelsen, W. B.) (1985). «Контроль викидів дугової печі», Британський ливарник (The British Foundryman), липень 1985 року, сс. 302-309. (англійською)
- 174 Браун, Дж. Р. (Brown, J. R.) (2000). «Настільна книга ливарника чорних металів Fosco», Butterworth-Heinemann, ISBN0 7506 4284 X. (англійською)
- 175 Браун, Дж. Р. (Brown, J. R.) (1999). «Настільна книга ливарника кольорових металів Fosco, 11 видання», Butterworth Heineman, ISBN 0 7506 4286 6. (англійською)
- 176 Технічна служба з питань енерготехнологій (ETSU) (1998). «Індукційне плавлення алюмінію», керівні настанови щодо належної практики 229. (англійською)
- 177 Сільва Рібейро, Ц. А. (Silva Ribeiro, C. A.) (2002). «Дані щодо масового балансу в кольорових ливарних виробництвах», Associação Portuguesa de Fundição. (англійською)
- 178 Венк, Л. (Wenk, L.) (1995). «Використання гексахлоретану для рафінування алюмінієвих сплавів та очищення зерна алюмінієвих сплавів, що містять магній», Verein Deutscher Giessereifachleute (VDG), особисте спілкування. (англійською)
- 179 Хоппенштедт (Hoppenstedt) (2002). «Guss Produkte Jahreshandbuch», Giessereien – Zulieferer – Ausstatter. (німецькою)
- 180 Assofond (2002). «Дані щодо викидів пилу італійської ливарної промисловості», Assofond.
- 181 Руффін, А. (Ruffin, A.) та Годіно, П. (Godinot, P.) (1998). «Recyclage des poussières du cubilot», Fonderie Fondateurs Aujourd'hui, 175, сс. 18-41. (французькою)
- 182 Клосет, Б. (Closset, B.) (2002). «Заміщення SF6», Міжнародна асоціація магнію, особисте спілкування. (англійською)
- 183 Говертс, Л. (Goovaerts, L.) (2002). «Дані щодо викидів із візитів на місця», Віто (Vito), особисте спілкування. (англійською)
- 184 Годіно, П. (Godinot, P.) та Рессен, С. (Ressent, S.) (2002). «Бібліографічне дослідження й опитування щодо вагранок із коксовим газом», Fonderie fondeur d'aujourd'hui, 216, сс. 32-41. (англійською)
- 185 Шпітц, Г. (Spitz, G.) (2002). «Експлуатаційні дані ливарні PSA», PSA Sept-Fons, особисте спілкування. (англійською)
- 186 Стефан, Ж. (Stephan, J.) (1996). «Régénération thermique des sables de fonderie – caractérisation d'une installation Regetherm 500», Fonderie Fondateurs d'Aujourd'hui, 158, сс. 37-47. (французькою)
- 187 Стефан, Ж. (Stephan, J.) (1997). «Régénération thermique des sables de fonderie - caractérisation d'une installation Richards PX800», Fonderie Fondateurs d'Aujourd'hui, 170, сс. 21-53. (французькою)
- 188 Стефан, Ж. (Stephan, J.) (2000). «Régénération thermique des sables de fonderie – caractérisation d'une installation Fataluminium Eco-Rec», Fonderie Fondateurs d'Aujourd'hui, 198, сс. 54-69. (французькою)
- 189 Hüttenes-Albertus (2002). «Die neue Cold-box Generation». (німецькою)
- 190 Шуберт, В. (Schubert, W.) та Гйєштланд, Х. (Gjestland, H.) «Використання SO₂ у ролі захисного газу в литті магнію під тиском». (англійською)
- 191 ІМА; Еріксон, С.Е. (Erickson, S. E.); Кінг, Дж. Ф. (King, J. F.) та Меллруд, Т. (Mellerud, T.) «Рекомендовані практики для збереження гексафториду сірки при плавленні магнію», Міжнародна асоціація магнію, звіт технічного комітету. (англійською)

- 192 Гйештланд, Х. (Gjestland, H.) та Вештенген, Х. (Westengen, H.) (1996). «Використання SF6 у промисловості магнію, екологічний виклик» 3 Міжнародна конференція щодо магнію, Манчестер. (англійською)
- 194 Програма ООН із довкілля (UNEP) ІЗКЗ (2002). «Кліматичні зміни 2001: наукова основа», Міжурядова панельна дискусія щодо кліматичних змін (англійською), http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/001.htm.
- 195 Німецька агенція з навколишнього середовища (UBA) (2003). «Стічні води від ливарних виробництв чавуну, сталі та ковкого чавуну», Німецька агенція з навколишнього середовища (Umweltbundesamt). (англійською)
- 196 Unido (2002). «Чистіше виробництво у металообробці (ливарна промисловість)», Інформаційні джерела Unido щодо чистішого виробництва (англійською), <http://www.unido.org/ssites/env/sectors/sectors303.html#1>.
- 197 Nalonchem (2002). «Ливарний кокс» (англійською), <http://www.nalonchem.com/productos.htm>.
- 198 Georg Fischer «Einsaugsystem für Kupolöfen», GF.
- 199 Metalodlew s.a. (2002). «Система обезпилення електродугових печей у ливарному виробництві чавуну Metalodlew s.a.», Metalodlew s.a. (англійською)
- 200 Metalodlew s.a. (2002). «Зона для відновлення формувальних піщаних сумішей для стрижнів, що самостійно твердіють, у ливарному виробництві чавуну Metalodlew s.a.», Metalodlew. (англійською)
- 201 Європейський комітет зі стандартизації (CEN) (2000). «Визначення та класифікація класів сталі (EN10020)», Європейський комітет зі стандартизації, EN10020. (англійською)
- 202 ТРГ (TWG) (2002). «Коментарі до першого проєкту документа».
- 203 Лінксе, Д. (Linxe, D.) (2002). «Le prototypage rapide et ses applications en fonderie», СТІФ. (французькою)
- 204 Карнікер Альфонсо, П.Л. (Carnicer Alfonso, P. L.) (2001). «Emisiones de un Horno Rotativo de Oxigas para la fabricación de fundición férrea. Diagnóstico y medidas correctoras.», Universidad del Pais Vasco. (іспанською)
- 205 Європейське бюро ІЗКЗ (2003). «Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для викидів із резервуарів», Європейська Комісія.
- 206 Дітце, А. (Ditze, A.) та Шарф, К. (Scharf, C.) (2000). «Повторне плавлення скрапу магнію типу 1 з або без флюсу?», вебсайт магнієвої промисловості (англійською), <http://www.magnesium-industry.com/Library/Highlights/Paper%20of%20the%20Month/papers/Remelting%20of%20Magnesium%20Type%201%20Scrap%20with%20or%20without%20Flux.pdf>.
- 207 Дрювс, Б. (Drews, B.) (1996). «Однчасне змішування та охолодження формувального піску під вакуумом», Casting Plant+Technology International, 2, сс. 4-10. (англійською)
- 208 Девінні, Дж. С. (Devinnu, J. S.) (1998). «Очищення повітря, біологічно», Цивільне будівництво (Civil Engineering), вересень, сс. 46-49. (англійською)
- 209 Metalodlew s.a. (2003). «Належні екологічні умови та покращення умов праці», Metalodlew (англійською), <http://metalodlew.nss.pl/eng/produkcja/srodowisko/index.php>.
- 210 Мартінез де Морентін Ронда, Х. (Martínez de Morentin Ronda, J.) (2002). «Експлуатаційні дані ливарного виробництва Lur-Sue», Lur-Sue, особисте спілкування.
- 211 Європейське бюро ІЗКЗ (2000). «Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва чавуну та сталі», Європейська Комісія.

- 212 Заленсас, Д.Л. (Zalensas, D. L.) (1993). «Технологія алюмінієвих виливків, 2 видання», Товариство американських ливарників. (англійською)
- 213 CTIF та CQRDA (2002). «Сплави ливарного алюмінію – Нормативні керівні настанови», інженерний документ Artescomm. (англійською)
- 214 Герл, С. (Gerl, S.) (2003). «Aufbereitung von Feststoffmischungen mit Evactherm-Vakuummischern», Giesserei-Praxis, 1-2003, сс. 17-22. (німецькою)
- 215 Мюллер, Г. (Müller, G.) (1996). «Direkterfassung von Emissionen aus Formkästen im Groß- und Einzelguß (Hohl- und Vollform)», BIA, ISBN 3-88383-425-4. (німецькою)
- 216 Хобельсбергер, Х. (Hobelsberger, H.); Крюгер, Х. (Kröger, H.) та Нісі, Д. (Nisi, D.) (1997). «Erste Erfahrungen mit einem weiterentwickelten umweltverträglichen Cold-Box-System bei Daimler-Benz», Giesserei, 84/21, сс. 48-49. (німецькою)
- 217 Пауль, Х. (Paul, H.); Нісі, Д. (Nisi, D.) та Тім, Й. (Timm, J.) (1994). «Утилізація розчинника (аміна) з відпрацьованого повітря основного цеху за допомогою газопроникності» GIFA-Kongress Giessereitechnik '94, Дюссельдорф (Німеччина). (англійською)
- 218 Гарніш, Й. (Harnisch, J.) Та Шварц, В. (Schwarz, W.) (2003). «Витрати і вплив потенційної нормативної бази щодо скорочення викидів вуглеводнів, перфторвуглеводів та гексафториду сірки на рівень фактичних викидів», Ecofys GmbH, Око-Recherche, B4-3040/2002/336380/MAR/E1. (англійською)
- 219 Компанія «Castings Technology International» (2003). «Replicast (R)», СТІ (англійською), http://www.castingsdev.com/tech_services/replicast/replicast.htm.
- 223 Раух, Е. (Rauch, E.); Сігмунд, А. (Sigmund, A.) та Галовські, У. (Galovsky, U.) (2003). «Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte des Inhouse-Recycling von Mg-Legierungen» (німецькою), http://www.lkr.at/german/news/news1/pdf/technische_betriebswirtschaftliche.pdf.
- 224 Гельбер, Й. (Helber, J.); Баутц, Х. (Bautz, H.) та Вольф, Г. (Wolf, G.) (2000). «PCDD-/PCDF-Emissionen bei Kupolöfen» Conference Internationale sur le Cubilot, Страсбург. (німецькою)
- 225 ТРГ (TWG) (2003). «Коментарі до другого проєкту документа». (англійською)
- 226 CTIF (1997). «Evolution des moyens d'élaboration de la fonte liquide», Ademe, 4.02.0025. (французькою)
- 227 Годіно, П. (Godinot, P.) (2004). «Економічне майбутнє вагранки», Міжнародна конференція щодо вагранок, м. Трір. (англійською)
- 228 Галанте, Г. (Galante, G.); Міхіллі, О. (Michilli, O.) та Маспетто, Р. (Maspeto, R.) (1997). «Жодного випікання, як ми це бачимо», Impianti Machine Fonderia. (англійською)
- 229 Ліля, Б. Г. (Lilja, B. G.); Вестберг, Х. (Westberg, H.) та Найштрём, П. (Naström, P.) (2000). «Огляд ізоціанатів у ливарних виробництвах, частини 1-5», Шведська асоціація ливарників - Svenska Gjuteriföreningen, 000317. (англійською)
- 230 Комітет асоціацій європейських ливарників (CAEF) (2003). «Презентації семінару щодо діоксину» Семінар щодо діоксину від 24.09.2003, (англійською) Брюссель.
- 231 Програма ООН з довкілля (UNEP) (2003). «Формування PCDD та PCDF – огляд», Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі, експертна група з ВАТ та ВЕР, Трикутник науки (Research Triangle Park) (США). (англійською)

- 232 Новем (Novem) (2000). «Vervangen cokes-gestookte kroesoven door aardgas/zuurstof-gestookte trommeloven», Tenders Industriële Energiebesparing, 39520/0047. (нідерландською)
- 233 Міжнародне агентство з дослідження раку (IARC) (1997). «Кремній, деякі силікати, вугільний пил і пара-арамідні волокна», Міжнародне агентство з дослідження раку. (англійською)
- 234 Андерс, У. (Anders, U.) (2003). «Ökologisch und ökonomisch optimierter Trennstoffeinsatz beim Aluminium-Druckguss», Integrierter Umweltschutz in Gießereien, Verein Deutscher Gießereifachleute. (німецькою)
- 235 Бішофф, У. (Bischoff, U.) (2003). «Untersuchungen zum Einsatz eines wasserlosen, anorganischen Kernbinders auf Basis von Magnesiumsulfat in einer Aluminiumleichtmetallgießerei», Universität Bergakademie. (німецькою)
- 236 Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії (2001). «Керівні настанови щодо відновлення й утилізації небезпечних і безпечних викидів (крім спалювання та полігонів/сміттєзвалищ)», SEPA, ІЗКЗ S5.06.
- 237 Гельсінський університет технологій (HUT) (2003). «База даних ливарних фотографій», Гельсінський університет технологій.

Примітка: Цифри не відповідають послідовності представлення. Вони стосуються номерів документів, що знаходяться в базі даних ЕІРПСВ (Технічний матеріал щодо «Ковальської та ливарної промисловостей»). Тут цитуються лише посилання, використані в цьому документі.

9 СЛОВНИК

9.1 АБРЕВІАТУРИ

AEL	рівні викидів, що відповідають технології/методу
ADI	аустенітний високоміцний чавун
AFS	Асоціація американських ливарників
номер AFS	система вимірювання розподілу за розміром часток формувальних пісків
конвертер AOD	конвертерний агрегат газокисневого рафінування
AOX	вимірювання вмісту органічних галогенідів у зразку
НДТМ	найкращі доступні технології та методи управління
ДД НДТМ	довідковий документ НДТМ
VTEX	бензол, толуол, етилбензол, ксилол
BTX	бензол, толуол, ксилол
CAD	(перед цифровим значенням): канадський долар – валюта ISO
CAD	(в загальному значенні): технологія автоматизованого проектування
CAEF	Комітет асоціацій європейських ливарників
CAM	автоматизована система технологічної підготовки виробництва
CVC	вагранка з холодним дуттям
CNC (ЧПК)	числове програмне керування
DEM	німецька марка (Deutsche Mark – валюта ISO)
DMEA	диметил етиламін
DMIA	диметил ізопропіламін
DMPA	диметилпропіламін
DS	сухий залишок
EAF	електрична дугова піч
EEA	Європейська агенція довкілля
EFR	оцінка за коефіцієнтом викидів
EIPPCB	Європейське бюро із запобігання та контролю промислового забруднення (EIPPCB)
EMS	Система екологічного управління
EP	електростатичний осаджувач
EPER	Європейський реєстр викидів і скидів забруднюючих речовин
EPS	пінополістирол
EUR	євро
FA	фурфуриловий спирт
GWP	потенціал глобального потепління
GBP	фунт стерлінгів – валюта ISO
HVC	вагранка з гарячим дуттям
HCE	гексахлоретан
HFC	гідрофторвуглець
HIP (ГПП)	гаряче ізостатичне пресування
HP	висока чистота (для сплавів магнію)
HPDC	лиття під тиском
ID-fan	витяжний вентилятор
IEF	Форум обміну інформацією (неформальний консультаційний орган у рамках Директиви ІЗКЗ)
IF	індукційна піч
IMA	Міжнародна асоціація магнію
IPA	ізопропіловий спирт
IPPC	інтегроване запобігання та контроль забруднення
IPTS	Інститут перспективних технологічних досліджень
JRC	Спільний дослідницький центр
l.	ліве/зліва
LCA	оцінка життєвого циклу
LOI	втрати після прокалювання

m.	той, що посередині
MDI	метил ди-ізоціанат
n.a	не застосовується
n.d	дані відсутні
NM-VOC	неметанові леткі органічні сполуки
OU	одиниці вимірювання сили запаху
PAH	поліциклічний ароматичний вуглеводень
PCDD/F	поліхлоровані дибензодіоксини та фурани
PCB	поліхлорований біфеніл
PE	поліетилен
PEVA	поліетилен вінілацетат
PF	фенол - формальдегід
PFC	перфторований вуглець
PM	тверді частинки
PMMA	поліметилметакрилат
ppm	частинок на мільйон
г.	праве/справа
RF	ротажна піч
RP	швидке прототипування
RPM	тверді частинки розміром менше 2,5 мікрона, що негативно впливають на дихальні шляхи
SG	кулястий (сфероїдальний) графіт
SME	малі та середні підприємства
TEA	триетиламін
TEQ	коефіцієнт еквівалентної токсичності
TWA	середня зважена за часом
TWG	технічна робоча група (TRG)
VOC	летючі органічні речовини
VODC	конвертерний агрегат вакуумно-кисневого рафінування
UF	карбамідоформальдегідні смоли
USD	долар США – валюта ISO

9.2 Терміни

Відпал або відпалювання	це операція термічної обробки (термооброблення) металів і сплавів, яка полягає в нагріванні металевих напівфабрикатів, виробів до певної температури, витримуванні при цій температурі та повільному охолодженні з метою наближення структури до рівноважного стану
Аустенітизація	це операція термічної обробки (термооброблення), при якій сплав витримується вище критичної температури протягом достатнього періоду часу, щоб забезпечити повне перетворення матриці сталі на аустеніт
Коефіцієнт надлишку повітря	λ , відношення дійсної кількості повітря, що подається для спалювання одиниці палива, до стехіометричної кількості, тобто теоретично необхідної для повного окислення.
Чавун	сплав заліза з вуглецем та іншими елементами, який характеризується наявністю евтектичного перетворення, будь-якого хімічного складу, але за нормальних умов в ньому є понад 2 % вуглецю за масою
Виливок або відливка (іменник)	загальний термін, що застосовується до різних заготовок виробу, напівфабрикатів або готових виробів, отриманих при заливанні рідкого матеріалу в ливарну форму, в якій він твердіє (стандарт ISO 3134-4:1985)
Дифузні викиди	викиди, що виникають при прямому контакті летких речовин або непостійних пилових речовин із навколишнім середовищем (за нормальних умов експлуатації обладнання, атмосферою). Вони можуть виникнути в результаті: <ul style="list-style-type: none"> - початкової конструкції обладнання (наприклад фільтрів, сушарок...) - умов експлуатації (наприклад під час транспортування матеріалу між контейнерами) - типу експлуатації (наприклад технічного обслуговування) - або поступових викидів до інших середовищ (наприклад до води, що охолоджується, або до стічних вод). Неконтрольовані викиди – це один із видів дифузних викидів
Викиди	пряме або опосередковане надходження в довкілля, тобто атмосферне повітря, воду або землю, будь-яких речовин, вібрації, тепла або шуму з індивідуальних або дифузних джерел в устаткуванні/пристроях/установках
Технологія очищення в кінці виробничого циклу (очищення в місці викиду шкідливих речовин)	технологія, яка зменшує кінцеві викиди або споживання в рамках певних додаткових процесів, але не змінює принципової схеми основного технологічного процесу. Синоніми: «вторинна технологія», «методика скорочення викидів». Антоніми: «технологія, інтегрована до процесу», «первинна технологія» (технологія, яка в певний спосіб змінює хід основного технологічного процесу, зменшуючи при цьому викиди або споживання)
Існуюче обладнання/існуюча установка	установка, що знаходиться в експлуатації, або така, яка, відповідно до законодавства, існувала до дати набуття цією Директивою чинності, дозволена установка або така, яка, на думку компетентного органу, потребує отримання дозволу, за умови, що ця установка введена в дію не пізніше одного року після дати набуття цією Директивою чинності
Чорні метали	матеріали (метали й сплави) на основі заліза, тобто такі, де вміст заліза (Fe, % м/м) вище, ніж будь-якого іншого елемента (відповідно до стандарту EN10020:2000; §2.1)
Лиття за повними моделями	технологія лиття із застосуванням разових моделей, що виготовляються з пінопласту і розміщуються у форми з піску із хімічним зв'язуванням, в якому модель втрачається після заливання, зазвичай використовується лише для великих виливків
Технологія «подрібнення зерна»	обробка рідким металом, проведена на пізній стадії процесу плавлення, щоб під час затвердіння отримати тонше зерно із більш рівновісною (глобулярною) формою
Сира формувальна суміш	суміш піску, глини та спеціальних добавок для виготовлення ливарної форми. Синонім – «зелений пісок»
Сірий (ливарний) чавун	чавун, що має сірий колір зламу; буває із пластинчастим, кулястим чи вермикулярним графітом, але найчастіше цей термін використовують для пластинчастого чавуну
Подова піч	стаціонарна паливна полуменева піч, яку також називають паливною відбивною піччю чи «роздатковою» піччю

Включення	(окремий термін для цієї галузі промисловості) домішки, що знаходяться в металах і сплавах у вигляді окремих фаз, утворюючи певні дефекти структури; зазвичай використовуються для кольорових металів (наприклад оксиди магнію, водень в алюмінії)
Юнгбют або сітчаста діаграма	діаграма, що представляє вплив швидкості продування та завантаження коксу на температуру випуску і швидкість плавлення металу; використовується для вагранок
Пластинчастий чавун	чавун, в якому вуглець формується у вигляді вигнутих пелюсток, пластинок
Лиття за моделями, що газифікуються	технологія лиття із застосуванням разових моделей, що виготовляються з пінопласту і розміщуються у форми з сухого піску без зв'язуючого матеріалу, в якому модель втрачається після заливання, зазвичай використовується для серійного виробництва
Одноразова форма	або ливарна форма одноразового використання, це форми, які виготовлені спеціально для кожного виливку та які знищуються після заливання. Зазвичай, ці форми виготовлені із формувальних сумішей на основі піску, зі зв'язуванням на основі хімічних речовин або глини, або без зв'язуючого матеріалу. Лиття за виплавлюваними моделями також можна включити до цього типу форм
Лиття в одноразові форми	всі процеси в ливарному та формувальному цехах у ливарному виробництві з використанням одноразових форм, зокрема підготовка піску, формування, виготовлення ливарних стрижнів, заливання, охолодження та вибивання
Ковкий чавун	чавун, що здатний розширюватися або формуватися під дією молоту; одержують завдяки термічній обробці чавуну без вмісту графіту з білим кольором зламу (білого чавуну) зі зневуглецюванням (структурнобілий ковкий чавун) або без зневуглецювання (структурночорний ковкий чавун)
Плавильна здатність	сукупна «металево покрита» потужність печей на установці; де в тих випадках, коли це доречно, повинна використовуватися годинна норма, помножена на 24
Модуль	співвідношення діоксиду кремнію до оксиду натрію SiO_2/Na_2O , що використовується для характеристики силікатів (натрію)
Кулястий чавун	чавун, в якому вуглець (графіт) знаходиться в кулястій/сферичній формі, зазвичай його називають високоміцним чавуном
Сфероїдизування або сфероїдизація	обробка магнієм чавуну для переходу кристалів вуглецю у глобулярну (сферичну) форму
Кольорові матеріали	всі матеріали, які не є чорними
Нормалізація	процес теплообробки, при якому сплав охолоджується у повітрі від температури, що перевищує його критичні значення
Використання за межами майданчика та повторне використання	використання піску різними способами
Багаторазова форма	або ливарна форма багаторазового використання, або кокіль; це форми, які використовуються для гравітаційного заливання та лиття під низьким тиском, взагалі лиття під тиском, або відцентрового лиття; зазвичай ці форми виготовлені з металу.
Лиття в кокіль, кокільне лиття	всі процеси в ливарному цеху та цеху з виготовлення ливарних стрижнів у ливарному виробництві з використанням багаторазових форм, зокрема підготовка піску, виготовлення стержнів, заливання, виймання та витягання стержнів
Забрудник	окремо взята речовина або група речовин, які можуть завдати шкоди або в певний спосіб вплинути на навколишнє середовище
Допалювання (спеціальні заходи після згоряння)	займання і спалювання відпрацьованих газів шляхом вдування повітря або використання пальника; використовується для зменшення кількості CO та (летких) органічних сполук
Первинна регенерація	переробка використаної сирової формувальної суміші для внутрішнього повторного використання в піщаному ланцюгу з використанням відсіву, просіювання, охолодження та змішування з новим піском, свіжим бентонітом та іншими добавками
Виробнича потужність	виробництво «вилітків належної якості» та потужність, заснована на теоретичних можливостях ливарного виробництва, якщо воно експлуатується протягом 24 годин, за умови, що воно технічно здатне так працювати
Коефіцієнт відновлення	співвідношення між масою регенованого (відновленого) піску та загальною масою піску, що використовувався у формуванні та виготовленні ливарного стрижня, виражене у відсотках

Піщаний ланцюг (цикл)	різні елементи (частини) установки для зберігання, транспортування, підготовки та обробки піску
Переробка піску	підготовка піску, що використовується на майданчику, для зовнішнього повторного використання
Вторинне відновлення або регенерація (піску)	заходи (механічні, пневматичні, термічні та з використанням вологи), спрямовані на видалення відпрацьованих сполучних шарів із піщаного нашарування (= пересортування); повернення піску належного рівня якості, схожого або навіть кращого за якість нового піску
Сталь	сплав заліза, який твердне за попередньою реакцією. Вміст (маса) заліза тут більший, ніж у будь-якого іншого елемента, а вміст вуглецю, як правило, нижче 2%; сплав також зазвичай містить інші домішки
Відпуск сталей	операція термічної обробки, яка полягає в нагріванні загартованих сталей до температур, що не перевищують температури утворення аустеніту (A_{c1}), і наступного охолодження на повітрі; після аустенізації та гартування рідиною, це забезпечує сплаву максимально можливу твердість і міцність

9.3 Лексика

Англійська	Німецька	Французька	Нідерландська	Іспанська	Італійська	Угорська
бентоніт (bentonite)	Bentonit	bentonite	bentoniet	bentonita	bentonite	bentonit
арочний ефект (bridging)	Brückenbildung	accrochage	brugvorming	colgadura	formazione di corona	adagfennakadás
задилок (burr)	Grat	barbe	braam	rebarba	bava	fánc
чавун (cast iron)	Gusseisen	fonte	gietijzer	hierro	ghisa	öntöttvas
ливарна сталь (cast steel)	Stahlguss	acier moulé	gietstaal	acero moldeado	getti d'acciaio	öntött acél
виливок (casting)	Giessen	couler	het gieten	fundición	colata	öntés
скошена кромка (chamfer)	Abschrägung	chanfrein	gietsysteem	chaflán	cianfrinatura	formázási ferdeség
індукційна канална піч (channel induction furnace)	Rinnenofen	four à induction à canal	kanaal inductieoven	horno de inducción de canal	forno a canale	csatornás indukciós kemence
покриття (coating)	Schlichte	enduit, poteyage	coating/deklaag	pintura	vernice, verniciatura	formabevonó anyag
холодний стрижневий ящик (cold-box)	kalter Kernkaste, Cold-box	boîte froide	cold-box	caja fría	cassa fredda	cold-box
ливарний стрижень (core)	Kern	noyau	kern	macho	anima	mag
стрижневий ящик (corebox)	Kernkasten	boîte à noyaux	kerndoos	caja de macho	cassa d'anima	magszékény
виготовлення ливарного стрижня (core-making)	Kernfertigung	noyautage	kernmakerij	macheria	formatura di anime	magkészítés
тигельна піч (crucible furnace)	Tiegelofen	four à creuset	kroesoven	horno de crisol	forno a crogiolo	tégelykemence
вибивання стрижня (decoring)	Entkernen	debouillage	ontkernen	extracción de macho	sterratura delle anime	kimagozás
напівштамп (die)	Druckgiessform	moule	vorm	mole metálico	stampo	kokilla, nyomásos öntvforma
змащування для напівштампа (die lubricant)	Druckgiessschlichte	poteyage	koelsmeermiddel	lubricante	distaccante	kokilla-, nyomásos öntvforma kenvanyag
термічна шафа, сушильна піч (drying oven)	Backofen	étuve	droogstoof	estufa	essiccatore	szárító kemence
футеровка (fettling)	putzen	ébarbage	ontbramen	desmazarotado	sbavatura	tisztítás
шліфування (grinding)	schleifen	meulage	slijpen	esmerilada	molatura	csiszolás, köszörülés
індукційна піч (induction furnace)	Induktionsofen	four à induction	inductieoven	horno de inducción	forno ad induzione	indukciós kemence
пластинчастий чавун (lamellar iron) або сірий (ливарний) чавун (grey cast iron)	Grauguss, GGL	fonte lamellaire, fonte grise	lamellair gietijzer	hierro gris	ghisa a grafite lamellare, ghisa grigia	lemezgrafitos vagy szürke öntöttvas
блискучий вуглець (lustrous carbon)	Glanzkohlenstoff	carbone brillant	glanskoolvormer	carbono brillante	carbonio brillante	fényes karbon
ковкий чавун (malleable iron)	temperguss (GT)	fonte malléable	smeedbaar gietijzer	fundición maleable	ghisa malleabile	tempervas
змішувальна камера (mixer)	Menger	malaxeur	menger	mezclador	mescolatore	keverv
форма (mould)	Form	mote	vorm	molde	forme	forma
високоміцний або кулястий чавун (nodular iron, ductile iron, SG iron)	GGG, Gusseisen mit Kugelgraphit	fonte à graphite sphéroidal, fonte ductile	nodulair gietijzer	hierro nodular	ghisa sferoidale	gömbgrafitos öntöttvas
заливання (pouring)	Giessen	couler	gieten	colada	colata	öntés
пісок (sand)	Sand	sable	zand	arena	sabbia	homok

Англійська	Німецька	Французька	Нідерландська	Іспанська	Італійська	Угорська
шахтна піч (shaft furnace)	Schachtofen	four à cuve	schachtoven	horno de cuba	forno a tino	aknás kemence
вибивання (shake-out)	Ausleeren	décochage	uitschudden	desmoldeo	distaffatura	űrítés, kirázás
механічне травлення (shot blasting)	Schleuderstrahlen	grenailage	gritstralen	granallado	granigliatura	szemcseszórás
канал літникової системи (sprue)	Einguss	canal de coulée	voedingskanaal	canal de colada	canale di colata	álló beömlv
стружка (turnings)	Späne	copeaux	spanen	viruta	trucioli	forgács
тріщини, заповнені мінеральною масою (veins)	rissen	gerces	vinnen	venas	crestine	repedések

10 ДОДАТКИ

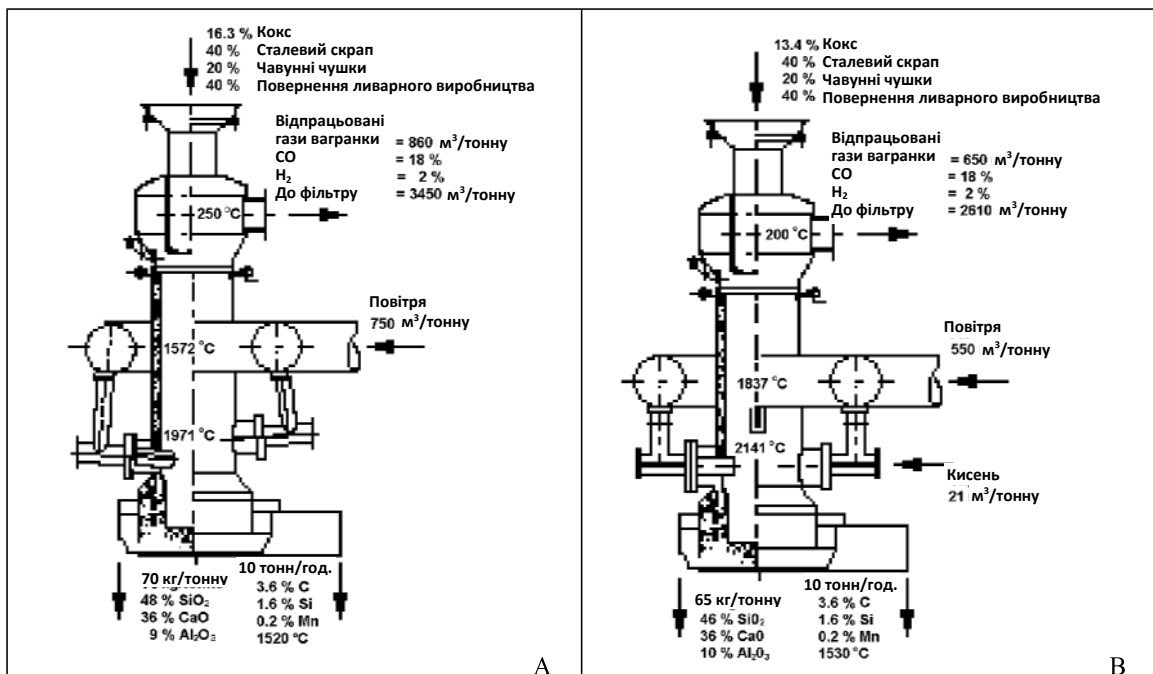
10.1 Додаток 1. Огляд даних для розплавлення чавуну у різних типах вагранок та в індукційній печі

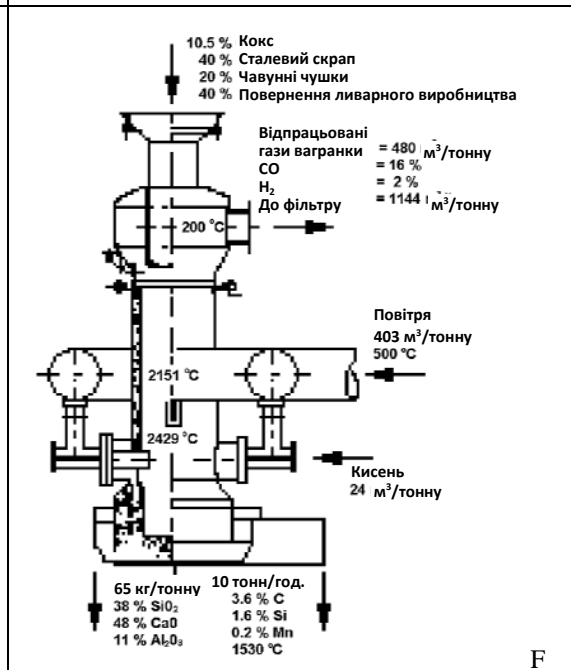
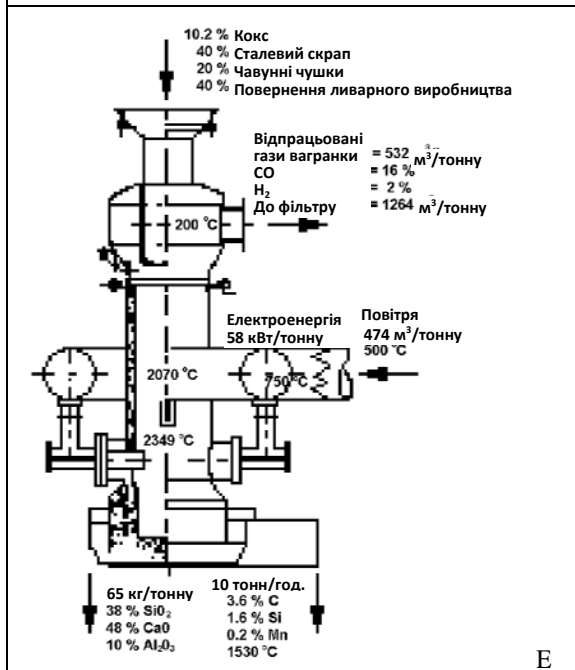
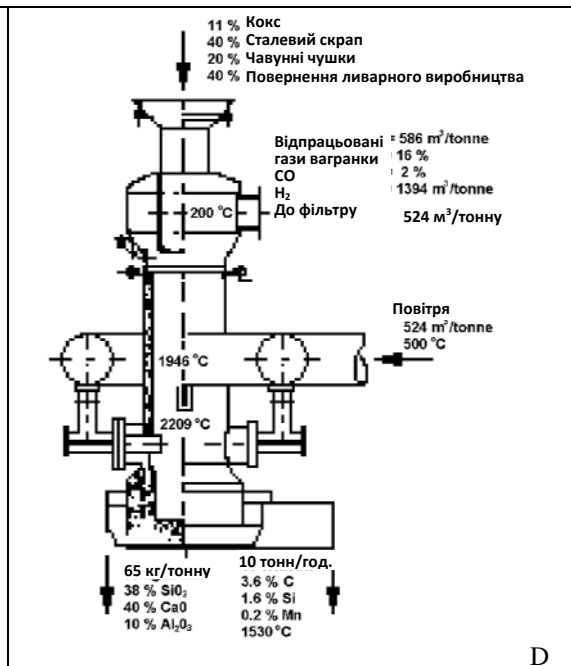
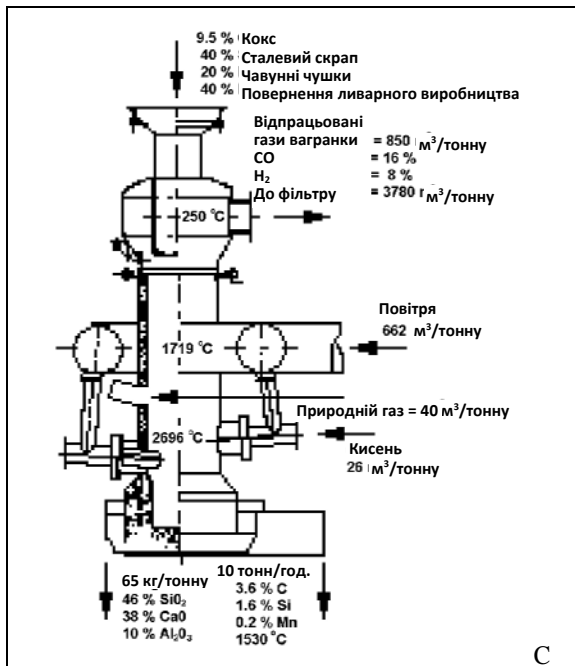
Огляд рівня споживання та викидів різних технічних модифікацій плавлення у вагранці було створено Нойманном у 1994 році, як наведено нижче. Всі дані стосуються системи для виробництва чавуну з вермикулярним графітом з 3,6 % C та 1,6 % Si при 10 тонн/год та при температурі розливу 1530°C. Баланси на рисунку 10.1 показують вхідні елементи, вихідні елементи і температури процесу. Останні будуть вищими порівняно зі звичайною практикою експлуатації. Порівняння різних балансів дає змогу оцінити наслідки для всіх модифікацій.

Додаткові експлуатаційні дані для вагранок із холодним і гарячим дуттям, з різними видами обладнання для очищення димових газів, наведено та обговорюється в пункті 4.5.2. Ці дані взяті щодо діючих установок.

На рисунках показані наступні прийоми:

- (A): холодне дуття, вторинний ряд фурм
- (B): холодне дуття, впорскування кисню
- (C): холодне дуття із газовим пальником, впорскування кисню
- (D): гаряче дуття (500°C), тривале плавлення
- (E): гаряче дуття з електричним підтримуючим нагріванням (750°C)
- (F): гаряче дуття, впорскування кисню (6 %)
- (G): гаряче дуття, із плазмовим нагріванням (1450°C)
- (H): безкоксова вагранка в дуплексній експлуатації (електричний перегрів).





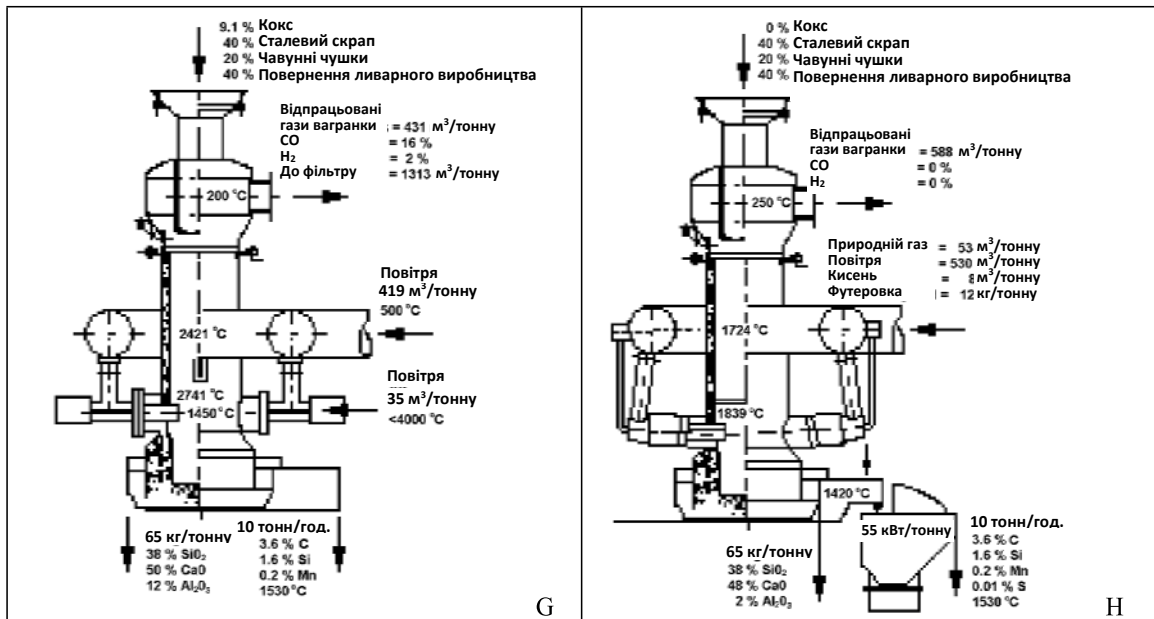


Рис. 10.1: Баланс вхідних та вихідних елементів для різних технічних модифікацій плавлення у вагранці [172, Нойманн, 1994]

В таблицях 10.1, 10.2 і 10.3 наведено експлуатаційні дані. Вони також включають економічні дані на основі заявлених витрат на одиницю. Експлуатаційні дані ґрунтуються на виробництві чавуну з 3,3 % С та 2 % Si. У режимі з холодним дуттям використовується 35 % сталевих скрапу, тоді як в режимі з гарячим дуттям може бути 60 %. Це враховується під час розгляду необхідної цементації (науглецьовування). Для цього також постачається С завдяки додаванню брикетів SiC.

Розрахунок теплового балансу приводить до зазначеної ефективності передачі тепла. Вагранка з холодним дуттям виявляє ефективність <30 %. Застосування кисню або вторинного повітря підвищує ККД до 37 – 40 %. Вагранка з гарячим дуттям демонструє подальше підвищення ефективності, забезпечуючи стінку печі вогнетривкою футеровкою. У режимі без футеровки ефективність падає нижче 40 %, що може дещо компенсуватися додаванням кисню. Безкоксіві вагранки з індуктивним перегріванням приводять до дуже високої ефективності, близько 60 %.

Розрахункові експлуатаційні витрати включають обґрунтування інвестиційної вартості, але виключають витрати на оплату праці. Різниця у вартості між різними методиками досить мала. Калькуляція враховує більшу витрату коксу та дорожчі витрати скрапу/сировини для вагранки з холодним дуттям. У разі попереднього нагрівання повітря за допомогою плазмотрона, збільшення споживання електроенергії призводить до збільшення витрат. На практиці це збільшення може бути зрівноважене збільшенням використання металеві стружки як сировини. Безкоксіві вагранки демонструє найнижчу вартість. Однак у цій оцінці наслідки та невизначеності місцевих витрат, такі як наслідок погодинної ставки, не були враховані, натомість їх потрібно врахувати. Подані дані розраховано для установок зі значною погодинною ставкою. Це спотворює дані щодо ефективності вагранок із холодним дуттям.

	Одиниці чи ціна за од.	Норма	O ₂	Другорядний ряд	Другорядний + O ₂
Питома кількість					
Плавлення коксу	кг/тонну	150	125	120	105
Кокс для цементування	кг/тонну	10	10	10	10
Природний газ	м ³ /тонну				
Електроенергія	кВт·год./тонну	20	20	20	20
Кисень	%	-	3	-	2
Повітря дуття	м ³ /тонну	711	562	604	517
Відпрацьовані газі вагранки	м ³ /тонну	902	724	731	628
Відфільтровані відпрацьовані газі	м ³ /тонну	3022	2150	1765	1646
Шлаки	кг/тонну	36	35	46	45
Вогнетривкі матеріали	кг/тонну	5.2	5.2	4.8	4.8
SiC-брикети (45 % SiC)	кг/тонну	28.5	28.5	31.3	30.3
Загальний вхід тепла	МДж/тонну	5003	3643	3588	3416
Передача тепла на чавун	%	26.9	37.2	37.8	39.8
Витрати					
Інвестиції	млн євро	2.81	2.91	3.06	3.16
Сплав	332 євро/т	9.44	9.44	10.36	10.36
Домішки (добавки)	10 євро/т	0.20	0.20	0.20	0.20
Кокс	204 євро/т	32.65	27.55	26.53	23.47
Сталевий скрап	128 євро/т	44.64	44.64	44.64	44.64
Чавунний скрап	128 євро/т	12.76	12.76	12.76	12.76
Чавунні чушки	194 євро/т	38.78	38.78	38.78	38.78
Природний газ	153 євро/1000 м ³	0.31	0.31	0.31	0.31
Електроенергія	89 євро/МВт·год	1.79	1.79	1.79	1.79
Кисень	179 євро/1000 м ³	-	3.01	-	1.84
Графіт	561 євро/т	-	-	-	-
Вогнетривкі матеріали	765 євро/т	3.98	3.98	3.67	3.67
Капітал	10 років/8 %	11.22	11.63	12.24	12.65
Загальні витрати плавлення	євро/тонну	155.77	154.08	151.28	150.46
Склад чавуну: 3.3 % C; 2.0 % Si; 0.3 % Mn; 0.1 S; 1500 °C Склад навантаження: 35 % сталевих скрапу; 35 % повернень ливарного виробництва; 20 % чавунних чушок; 10 % чавунного скрапу					

Таблиця 10.1: Експлуатаційні дані вагранки з холодним дуттям (10 т/год.) [172, Нойманн, 1994]

	Одиниці чи ціна за од.	Тип А*	Тип В	Тип С	Тип D	Тип Е
Характеристики						
Щоденна зміна печі		Так	Ні	Ні	Ні	Ні
Збагачення киснем		Ні	Ні	Так	Ні	Так
Футеровка		Так	Так	Так	Ні	Ні
Питома кількість						
Плавлення коксу	кг/тонну	95	100	85	115	100
Кокс для цементування	кг/тонну	8	7	7	8	8
Кисень	%	-	-	3	-	3
Повітря	м ³ /тонну	571	566	425	626	473
Відпрацьовані газі вагранки	м ³ /тонну	680	667	519	746	586
Відфільтровані газі	м ³ /тонну	1798	1471	1134	1819	1473
Шлак	кг/тонну	60	60	60	60	60
Вогнетривкі матеріали	кг/тонну	15	6	6	1.5	1.5
SiC-брикети (45 % SiC)	кг/тонну	50	53	53	50	50
Загальний вхід тепла	МДж/тонну	3756	3630	3076	4098	3534
Передача тепла на чавун	%	39.8	40.2	44.9	36.5	38.7
Витрати						
Інвестиції	млн євро	3.42	3.57	3.65	3.49	3.55
Сплав	332 євро/т	16.58	17.60	17.60	16.58	16.58
Домішки (добавки)	10 євро/т	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Кокс	204 євро/т	21.02	21.84	18.78	25.10	22.04
Сталевий скрап	128 євро/т	76.53	76.53	76.53	76.53	76.53
Чавунний скрап	128 євро/т	12.76	12.76	12.76	12.76	12.76
Кисень	179 євро/1000 м ³	-	-	3.06	-	3.42
Вогнетривкі матеріали	765 євро/т	11.48	4.59	4.59	1.12	1.12
Капітал	10 років/8 %	13.67	14.29	14.59	13.98	14.18
Загальні витрати плавлення	євро/тонну	152.24	147.81	148.11	146.28	146.84
* Вже не вважається побудованим як нове виробництво Склад чавуну: 3.3 % С; 2.0 % Si; 0.3 % Mn; 0.1 S; 1530 °С Склад навантаження: 60 % сталевого скрапу; 30 % повернень ливарного виробництва; 10 % чавунного скрапу						

Таблиця 10.2: Експлуатаційні дані вагранки з гарячим дуттям (10 т/год.)
[172, Нойманн, 1994]

	Одиниці чи ціна за од.	Безкоксова вагранка з O ₂ + індукц. перегрів.	Вагранка з гарячим дуттям	
			попереднє нагрівання повітря з вик-ням плазми	попереднє нагрівання повітря з вик-ням електр. опору
Питома кількість				
Плавлення коксу	кг/тонну	-	81	90
Кокс для цементування	кг/тонну	-	10	12
Природний газ	м ³ /тонну	55	2	2
Електроенергія	кВт·год/т	80	175	82
Кисень	%	1.5	-	-
Повітря	м ³ /тонну	5.30	419	474
Відпрацьовані газі вагранки	м ³ /тонну	692	451	531
Очищені відпрацьовані газі	м ³ /тонну	815	1313	1264
Шлаки	кг/тонну	58	59	60
Вогнетривкі матеріали	кг/тонну	16	9.3	4.3
SiC-брикети (45 % SiC)	кг/тонну	-	13.7	15.4
FeSi- брикети (1 кг Si на брикет)	кг/тонну	8	-	-
Загальний вхід тепла	МДж/тонну	2562	3952	3320
Передача тепла на чавун	%	58.4	41.4	41.5
Витрати				
Інвестиції	млн євро	2.81	5.10	3.83
Сплав	332 євро/т		4.54	5.10
Fe-Si-брикети	454 євро/т Si	3.62		
Домішки (добавки)	10 євро/т	0.56	0.56	0.56
Кокс	204 євро/т		18.57	23.06
Електроенергія	89 євро/МВт·год.	7.14	15.61	7.30
газ	128 євро/1000 м ³	6.99	0.31	0.31
Сталевий скрап	128 євро/т	44.64	44.64	44.64
Чавунний скрап	128 євро/т	44.64	44.64	44.64
Графіт	561 євро/т	6.73		
Кисень	179/1000 м ³	1.43		
Вогнетривкі матеріали	102 євро/т	0.61	0.31	0.20
Вогнетривкі матеріали	765 євро/т	7.65	4.80	1.79
Капітал	10 років/8 %	11.22	20.41	15.31
Загальні витрати плавлення	євро/тонну	135.26	154.39	142.91
Склад чавуну: 3.3 % C; 2.0 % Si; 0.3 % Mn; 0.1 S; 1530 °C Склад навантаження: 35 % сталевого скрапу; 30 % повернень ливарного виробництва; 35 % чавунного скрапу				

Таблиця 10.3: Експлуатаційні дані безкоксової вагранки та вагранки з гарячим дуттям із попереднім нагріванням [172, Нойманн, 1994]

СТІФ також розраховували витрати на рідкий чавун у порівняльному дослідженні про різні способи плавлення [226, СТІФ, 1997]. Це дослідження, проведене в 1997 році, було оновлено в 2003 році [227, Годіно, 2004].

Одиниці	КЛАС	Сірий чавун (з пластинчастим графітом) (ENGJL 250)				Чавун з вермикулярним графітом (ENGJS 400 – 15)		
		Вагранка з холодним дутьям	Вагранка з гарячим дутьям	Безкоксва вагранка	Індукційна піч	Вагранка з холодним дутьям	Вагранка з гарячим дутьям	Індукційна піч
євро/т	Металева шихта	95.80	59.52	96.68	72.97	49.75	73.52	59.80
	Феросплави + домішки	7.62	13.09	27.22	25.72	5.27	24.17	24.85
	Енергія та рідини	33.14	35.26	20.29	27.28	40.12	21.07	27.28
	Футеровка	3.73	4.29	8.79	1.47	4.55	8.79	1.47
	Витрати на оплату праці	10.05	10	11	9.10	10.42	11	9.10
	Технічне обслуговування	1.55	3.15	0.16	0.93	3.15	0.16	0.93
	Довкілля	4.50	4.30	3.15	0.55	4.30	3.15	0.55
	Десульфуризація					10.33		
	Обезцінювання інвестицій	5.92	14.81	8.89	8.89	14.81	8.89	8.89
	Всього на тонну завантаження	162.31	144.42	176.78	146.91	142.70	150.75	132.97
%	Втрата маси при прокалюванні	5	5	5	3	5	5	3
євро/т	Всього на тонну рідини	170.85	152.02	185.45	151.45	150.21	158.68	136.98
%	Відсоток повернень ливарного виробництва	35	40	35	40	50	50	50
євро/т	Всього на тонну виливків	262.85	253.36	285.31	252.42	300.42	317.37	273.96

Таблиця 10.4: Порівняння витрат на рідкий чавун – червень 2003 року Масове виробництво – 10 т/год.

Характеристики	Одиниці	Вагранка з холодним дуттям			Індукційна піч			Тигельна піч			Вагранка з гарячим дуттям			Безкоксва вагранка		
		Ціна євро/од.	Спів- відно- шення	Ціна євро/т	Ціна євро/од.	Спів- відно- шення	Ціна євро/т	Ціна євро/од.	Спів- відно- шення	Ціна євро/т	Ціна євро/од.	Спів- відно- шення	Ціна євро/т	Ціна євро/од.	Спів- відно- шення	Ціна євро/т
Кокс	тонна	210	0.145	30.45							210	0.125	26.25			
Електроенергія	кВт·год.	0.0513	20	1.027	0.0448	609	27.28	0.0448	609	27.28	0.0513	128	6.57	0.0513	165	8.46
Кисень	нм ³	0.535	2	1.07							0.535	2	1.07	0.23	11	2.53
Газ	кВт·год. (NCV)	0.0296	20	0.59							0.228	60	1.37	0.0186	500	9.30
Підсумок				33.14			27.28			27.28			35.26			20.29
Повернення ливарного виробництва	тонна	0	0.35	0	0	0.40	0	0	0.50	0	0	0.40	0	0	0.35	0
Чавунні чушки	тонна	185	0.20	37	185	0.15	27.75	200	0.10	20				185	0.25	46.25
Чавунний скрап	тонна	167	0.20	33.4										167	0.15	25.05
Сталевий скрап (E3)	тонна	101.5	0.25	25.4	101.5	0.225	22.83				101.5	0.30	30.45	101.5	0.25	25.38
Сталевий скрап (E8)	тонна				99.5	0.225	22.39	99.5	0.40	39.80						
Сталевий скрап (E1 C)											96.9	0.30	29.07			
Підсумок				95.8			72.97			59.80			59.52			96,68
Графіт	кг				0.70	16.7	11.69	0.80	17.92	14.34				0.7	8.12	5.68
FeSi	кг Si	0.68	8	5.44	1.13	10.6	11.98	1.13	9.39	10.61	0.68	15.8	10.74	0.68	11.71	7.96
FeMn	кг Mn	0.595	2.7	1.60	0.79	2.6	2.05				0.59	3.2	1.89	0.595	1.45	0.86
CaCO ₃ + пох.	тонна	12.2	0.048	0.58							12.2	0.0375	0.46			12.72
Кульки	тонна															
Підсумок				7.62			25.72			24.95			13.09			27.22

Таблиця 10.5: Ціна сірого чавуну (з пластинчастим графітом): Метал, що завантажується + енергія

	Одиниці	Вагранка з гарячим дуттям			Безкоксва вагранка		
		Ціна євро/од.	Співвідношення	Ціна євро/т	Ціна євро/од.	Співвідношення	Ціна євро/т
Кокс	тонна	210	0.14	29.40			
Електроенергія	кВт·год.	0.0513	140.5	7.21	0.0513	180	9.23
Кисень	нм ³	0.535	4	2.14	0.23	11	2.53
Газ	кВт·год. (NCV)	0.0228	60	1.37	0.0186	500	9.30
Підсумок				40.12			21.07
Повернення ливарного виробництва	тонна	0	0.40	0	0	0.40	0
Чавунні чушки	тонна				199	0.20	39.8
Чавунний скрап	тонна				167	0.05	8.35
Сталевий скрап (E3)	тонна	99.55	0.50	49.75			
Сталевий скрап (E8)	тонна				101.5	0.25	25.38
Підсумок				49.75			73.52
Графіт	кг				0.7	12.37	8.66
FeSi	кг Si	0.68	7	4.76	0.68	4.11	2.79
FeMn	кг Mn						
CaCO ₃ + пох.	тонна	12.2	0.042	0.51			12.72
Кульки	тонна						
Підсумок				5.27			24.17

Таблиця 10.6: Ціна чавуну з вермикулярним графітом: Метал, що завантажується + енергія

Таблиця 10.4 підсумовує витрати на чавун, розраховані для 3 основних типів вагранок порівняно з тигельною індукційною піччю. Деякі елементи сильно залежать від плавильного пристрою та класу: енергії та рідин, металеві шихти та феросплавів. Вони детально описані в таблиці 10.5 і таблиці 10.6.

Плавильні пристрої, що розглядаються в порівнянні, плавлять при 10 – 12 т/год у 2 зміни, переважно для масового виробництва, наприклад для автомобільної промисловості. Окупність інвестицій становить 10 років, та інвестиції відповідають виробничій практиці в кожному конкретному випадку, а саме:

Вагранка з холодним дуттям

- 2 щоденні проміжні вагранки (одна на день)
- обробка димів: спалювання, охолодження, суха фільтрація.

Вагранка з гарячим дуттям

- вагранка для тривалого плавлення
- обробка димів: спалювання, підігрів дуття, охолодження, суха фільтрація
- витримування в канальній індукційній печі.

Безкоксва вагранка

- вагранка для тривалого плавлення
- обробка димів: охолодження, суха фільтрація
- нагрівання і повторне збагачення вуглецем в пристрої для перегріву
- витримування в канальній індукційній печі.

Індукційна піч

- 2 печі 12 тонн
- 1 блок живлення 10МВт – 250 Гц.

Вартість чавуну повинна враховувати його повторне збагачення вуглецем (безкоксва вагранка), його витримування, а також важливість системи очищення диму.

Ціну на чавун порівнювали для двох різних сплавів у випадку масового виробництва в автомобільній промисловості:

- сірий чавун (з пластинчастим графітом) (ENGJL 250)
- чавун з вермикулярним графітом (основа для ENGJS 400-15).

Вагранка з холодним дуттям все менше використовується для чавуну з вермикулярним графітом і в цьому випадку не розглядалася.

Порівнюючи розрахунки СТІФ і Нойманна:

Положення плавильних пристроїв, від найменших до найдорожчих, неоднакове залежно від типу сплаву та авторів:

- сірий чавун (із пластинчастим графітом) (чавун LG)
СТІФ: індукційна піч, гаряче дуття, холодне дуття, безкоксова вагранка
Нойманн: безкоксова вагранка, гаряче дуття, вагранка з холодним дуттям
- чавун з вермикулярним графітом
СТІФ: індукційна піч, гаряче дуття, безкоксова вагранка (трохи інакше).

Порівняння різних пунктів для Нойманна та Годіно допомагає дійти таких висновків:

1. Енергії та рідини

- безкоксова вагранка є найменш дорогою у всіх випадках
- помітно, що енерговитрати сильно залежать від країни, особливо щодо ціни та наявності електроенергії та газу. У дослідженні СТІФ витрати на енергоресурси відповідають французькому випадку (ціни, опубліковані в огляді «Енергія плюс»).

2. Металева шихта і феросплави

Методика класифікації, що була застосована, відмітила недоліки безкоксової вагранки для СТІФ, а не для Нойманна. Основні відмінності полягають у наступних моментах:

- Нойманн вказує на 0 % чавунних чушок для безкоксових вагранок, тоді як Годіно вказує як мінімум 25 % відповідно до промислової практики. Чавунні чушки – найдорожчий варіант металу для завантаження.
- Нойманн вказує однакову ціну на сталевий скрап і чавунний скрап. У французькому випадку співвідношення між цими двома цінами становить від 2 до 1,3 протягом 10 років. Це співвідношення становив 1,6 у червні 2003 року, на дату, коли проводився розрахунок, як зазначено на доданому рисунку 10.2.

Слід відмітити, що вартість сировини, включаючи скрап, станом на сьогодні фіксується на міжнародному рівні.

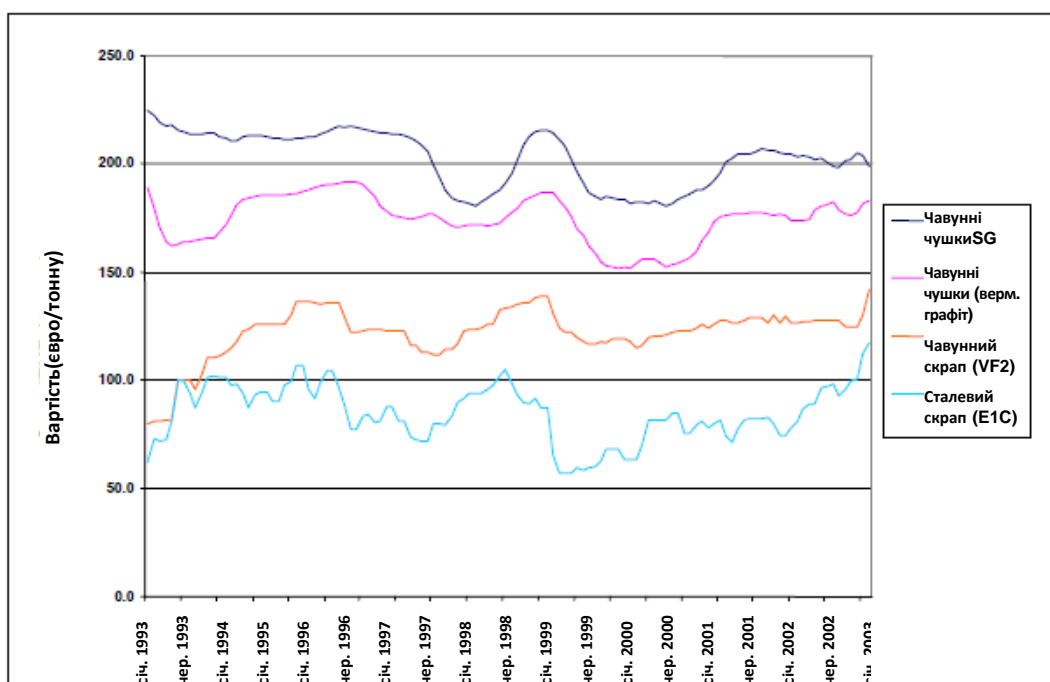


Рис. 10.2. Ціна сировини (Франція: з 1993 по 2003 рік)

3. Інші елементи

Інвестиції є менш важливими, ніж для холодного дуття, безкокскових вагранок та тигельної індукційної печі.

- у випадку рідини у печі з холодним дуттям чавун виготовляється при хорошій температурі та аналіз можливий у льотці печі; крім того, металургійні результати мало залежать від погодинної продукції. Не потрібно витримувати чавун в каналній індукційній печі
- у випадку вагранки з гарячим дуттям або безкоксової вагранки важко модифікувати виробництво щогодини. Між вагранкою та формувальним цехом потрібен резервуар з рідким металом, тобто, як правило, канална індукційна піч
- у випадку безкокскових вагранок питомий об'єм парів, які підлягають обробці, є низьким і немає потреби спалювати СО
- нарешті, у випадку коксової вагранки (з гарячим або холодним дуттям) перед витриманням базового рідкого чавуну з вермикулярним графітом зазвичай проводять десульфуризацію. Вартість цієї операції висока, що є плюсом для коксової вагранки, в якій чавун не містить жодної сірки.

4. Висновок

Зважаючи на виробничу практику, за словами Годіно, безкоксова вагранка має перевагу в низькому споживанні енергії, але вона вимагає додаткових витрат на сировину для завантаження (шихту).

У випадку з базовим чавуном з вермикулярним графітом, коксова вагранка виробляє метал без сірки і з рівнем витрат, подібним до технології гарячого дуття. Що стосується сірого чавуну (з пластинчастим графітом), то у Франції цей плавильний пристрій виробляє дорожчий метал, ніж коксові вагранки.

Сьогодні для цього виду виробництва у Франції межа між вагранкою та індукційною піччю становить 10 т/год (пластинчастий чавун) і, ймовірно, більше у випадку з вермикулярним чавуном (вагранки дешевше на 20 т/год.).

Ці розрахунки були проведені для масового виробництва в автомобільній промисловості. Для інших застосувань їх потрібно дещо змінити. Принаймні можна сказати, що відносний порядок залежить від місцевих умов, особливо витрат на енергію, які сильно залежать від країни, де застосовується технологія.

10.2 Додаток 2. Обладнання для контролю рівня пилу на масштабному ливарному виробництві для автомобільної галузі

Дані моніторингу викидів пилу були надані великим шведським автомобільним ливарним заводом. У ливарному виробництві використовується безперервна система контролю викидів твердих часток на 17 витяжних мішкових фільтрах. Дані було представлено на графіку для різних часових діапазонів та для 4 точок вимірювання, як показано на рисунках 10.3, 10.4 і 10.5. На рисунках показано постійний рівень пилу значно нижче 1 мг/м³ для підготовки піску та механічного травлення. Для транспортування піску було отримано в середньому 1,3 – 1,6 мг/м³ за 24 години.

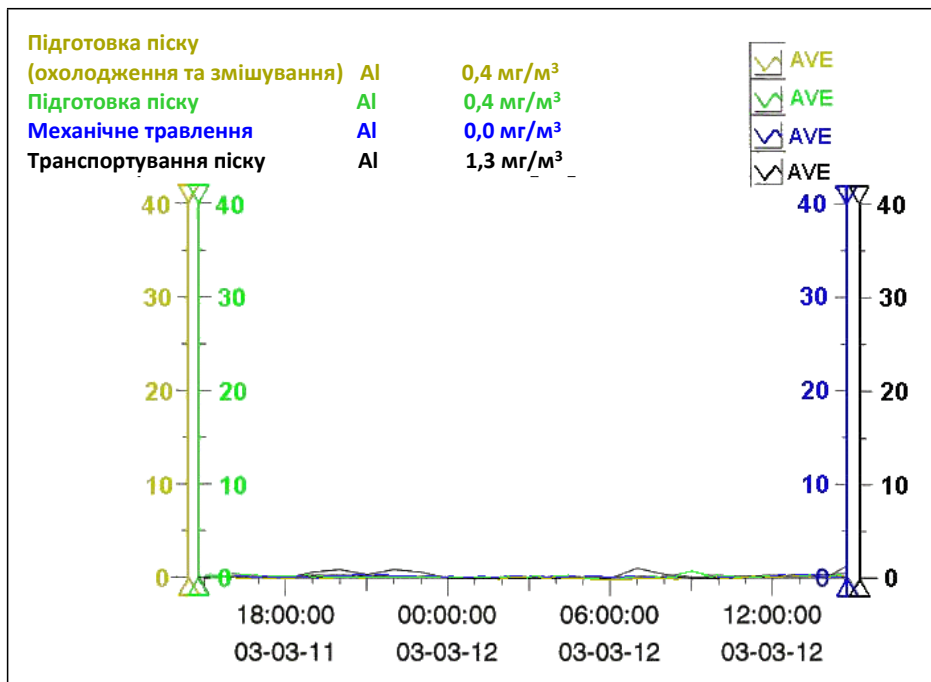


Рис. 10.3. Дані моніторингу викидів пилу з чотирьох місць на установці з підготовки піщаної формувальної суміші (цілодобовий безперервний моніторинг протягом 1 доби)

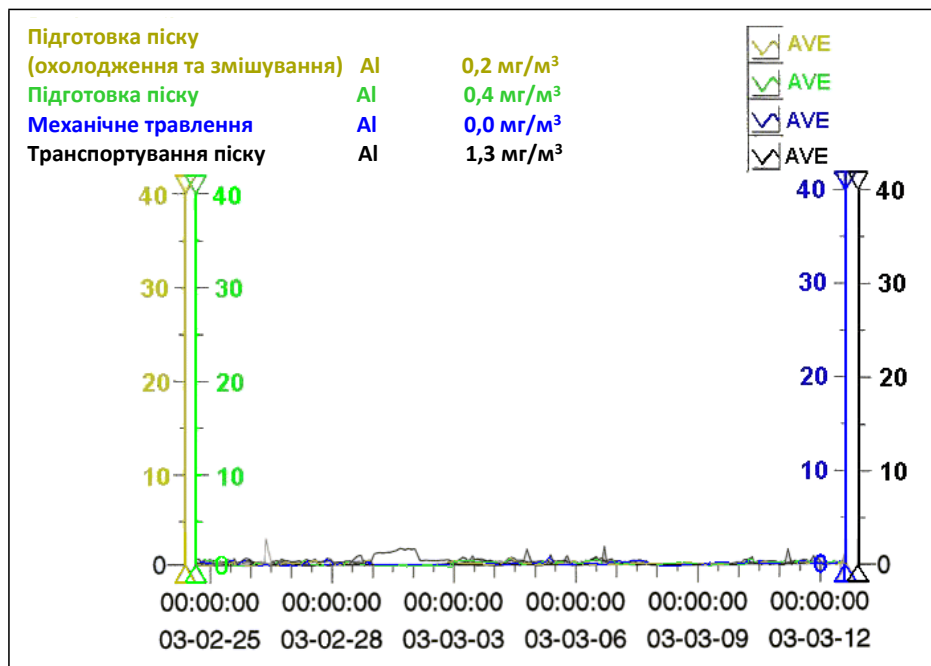


Рис. 10.4. Дані моніторингу викидів пилу з чотирьох місць на установці з підготовки піщаної формувальної суміші (безперервний моніторинг протягом 2 тижнів)

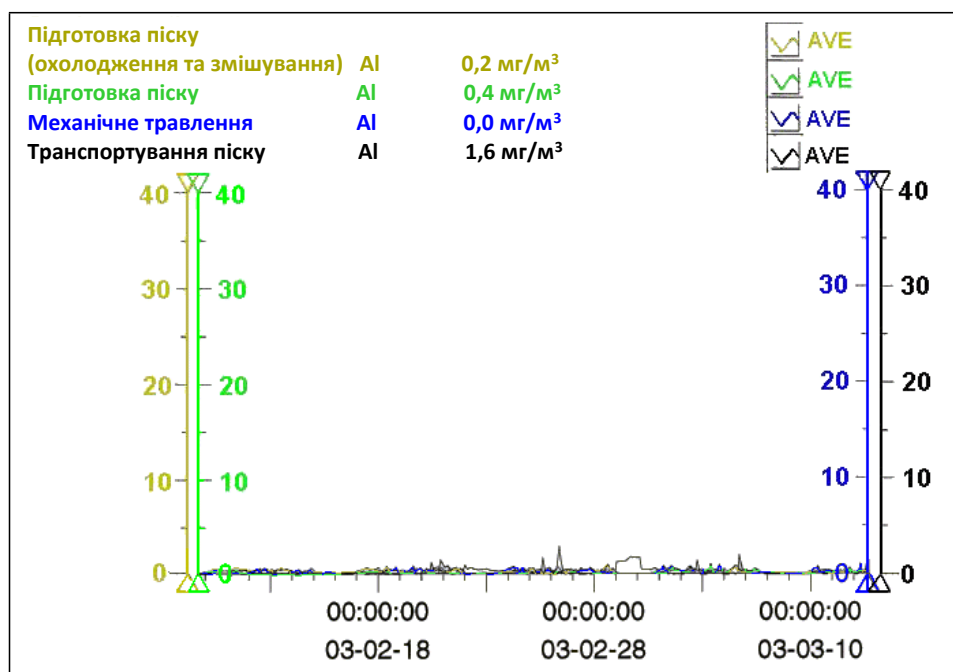


Рис. 10.5. Дані моніторингу викидів пилу з чотирьох місць на установці з підготовки піщаної формувальної суміші (безперервний моніторинг протягом 30 днів)

Цей завод, який наведено у якості прикладу, має дозволене граничне значення викидів для пилу 10 мг/м³. Система моніторингу має так звану «межу тривоги» 5 мг/м³. Якщо ця межа буде перевищена, фільтр перевіряється і тестується флуоресцентним матеріалом. Якщо виміряне значення перевищує 10 мг/м³, виробництво та фільтрування припиняються. Калібрування обладнання для моніторингу проводиться двічі на рік зовнішнім підрядником.

Інструкції з технічного обслуговування та експлуатацію включають наступне:

- щоденно
 - перевірка на падіння тиску
 - візуальна перевірка
 - магнітна перевірка клапана
 - стік (отвори) для конденсованої води
- щомісяця
 - перевірка герметичності
- щоквартально (що три місяці)
 - контроль за допомогою флуоресцентного матеріалу.