

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет


(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

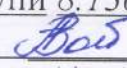
(повна назва кафедри)

До захисту
04.03.2024 р.


**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи**

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
(другий (магістерський) рівень)

на тему «Виплавлення малогабаритних заготовок на основі
високоміцного чавуну»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-мчм-дн
Войцехович А.Р. 
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія чорних металів

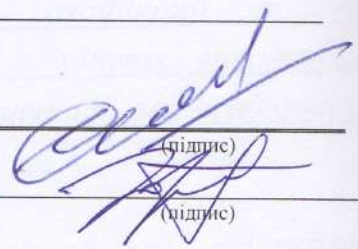
(шифр і назва)

Керівник Скачков В.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Явтушенко А.В.

(прізвище та ініціали)



Запоріжжя – 2024 року

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень

Спеціальність 136 металургія

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма металургія чорних металів

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

"07"05 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ**

Войцеховича А.Р.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи «Виплавлення малогабаритних заготовок на основі високоміцного чавуну»)

керівник роботи (проекту) Скачков Віктор Олексійович, д.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 01.05.2023 року № 632-с

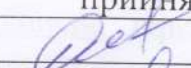
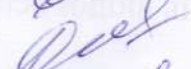
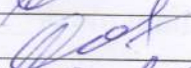
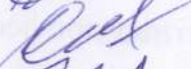

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.03.2024

3. Вихідні дані до роботи (проекта) технологія процесу виплавки високоміцного чавуну, хімічний аналіз системи газофікації спіненого полістиролу в процесі заливання розплаву чавуну в умовах випалюваних моделей, введення виготовлення моделей для розливання малогабаритних заготовок із застосуванням адитивних технологій.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина, Практична частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 11 слайдах (на 11 сторінках)

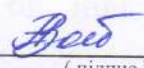
6. Консультанти розділів проекту (роботи)

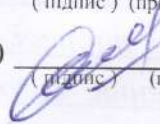
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Загальна частина	Скачков В.О., професор	
Технологічна частина	Скачков В.О., професор	
Практична частина	Скачков В.О., професор	
Охорона праці та техногенна безпека	Скачков В.О., професор	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	22-28.01.2024	
2	Реферат	22-28.01.2024	
3	Загальна частина	29.01-04.04.2024	
4	Технологічна частина	05-11.02.2024	
4	Практична частина	12-18.02.2024	
5	Охорона праці та техногенна безпека	19-25.02.2024	
6	Висновки	26.02.2024-03.03.2024	

Студент  Войцехович А.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту(роботи)  Скачков В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 87 с., 11 рис., 7 табл., 21 джерел посилання.

ВИСОКОМІЦНИЙ ЧАВУН, АДТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МОДИФІКАЦІЯ ЧАВУНУ, СПІНЕНИЙ ПОЛІСТИРОЛ

Об'єкт дослідження – технологія отримання виливок на основі високоміцного чавуну.

Метою роботи є всебічний аналіз способів отримання виливків із високоміцного чавуну та оцінка можливості використання адитивних технологій.

Наведено технологія процесу виплавки високоміцного чавуну з використанням технології лиття за моделями, що випалюються.

Представлені хімічний аналіз системи газофікації спіненого полістиролу в процесі заливання розплаву чавуну в умовах випалюваних моделей, хімічний та гранулометричний аналіз сировинних компонентів та їх вплив на якість пінополістирольних моделей.

Розроблено раціональні шляхи модифікування передільного чавуну. Встановлено механізми хімічних реакцій в процесі спінювання полістиролу.

У розділі охорона праці наведено характеристику шкідливих умов виробництва, розробку заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів виробничої середовища з виплавки виливків із високоміцного чавуну.

ЗМІСТ

1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛИТТЯ ПО МОДЕЛЯМ ЯКІ ГАЗИФІКУЮТЬСЯ	6
1.1 Застосування адитивних технологій у процесах лиття малогабаритних заготовок	6
1.2 Особливості технології виливків за моделями, що випалюються	13
1.3 Термічна деструкція пінополістиролу	14
1.4 Виготовлення виливків у піщаних формах без сполучного	17
1.5 Властивості сипких вогнетривких матеріалів	19
1.6 Розливання розплавів металів у форми із сухого піску	20
1.7 Особливості проектування литникової системи	21
1.8 Розливання розплавів металів у магнітні форми	23
1.9 Феромагнітні формувальні матеріали та магнітні форми	24
1.10 Легування чавуну	28
1.11 Модифікування чавуну	29
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ МОДЕЛЕЙ, ЩО ВИПАЛЮЮТЬСЯ	31
2.1 Особливості отримання виливків за моделями, що випалюються	31
2.2 Вибір матеріалів виготовлення моделей	32
2.3 Технологічні засади виготовлення моделей	36
2.4 Особливості конструкції прес-форми	37
2.5 Виготовлення моделей у прес-формах	40
2.6 Методи спінювання полістиролу	41
2.7 Особливості конструкції прес-форми	42
2.8 Виготовлення моделей з пінопласту механічною обробкою	43
3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИПЛАВКИ МАЛОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ	45
3.1 Газовий режим ливарної форми при заливанні розплаву	45
3.2 Взаємодія продуктів розкладання пінополістиролу з металом	49
3.3 Вплив продуктів розкладання моделі на якість поверхні виливків	50
3.4 Вибір формувальної суміші та методу виготовлення форми	53
3.5 Вибір положення моделі у формі	55
3.6 Розрахунок та конструювання літникової системи	56
3.7 Підготовка форми до заливання металом	57
3.8 Технологія десульфурації чавуна	58
3.9 Вплив перегріву, температури розливання та швидкості кристалізації на структуру чавуну	62
3.10 Практична реалізація та якість ливарних виробів	64
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	70
4.1 Основні шкідливості та небезпеки	70
4.2 Методи усунення шкідливостей та небезпек	73
4.3 Безпечна експлуатація електричного обладнання	74
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	85

ВСТУП

Актуальність. Інноваційні методи розвитку ливарного виробництва вимагають створення нових ресурсозберігаючих технологій, підвищення механічних та функціональних властивостей відлитих заготовок, геометричної точності та підвищення параметрів металоємності. В обсязі ливарного виробництва випуск виливків із чавуну перевищують 70%. Широке застосування виливків з усіх марок чавуну обумовлено високою економічністю виробництва, хорошими ливарними властивостями, здатністю працювати в умовах вібрації, досить високими характеристиками за міцністю та пружністю, гарною зносостійкістю.

Структура шихтових матеріалів для виплавки чавуну змінюється рік у рік у бік скорочення обсягів застосування доменних чавунів та заміною їх сталевим брухтом. У цьому випадку відбувається підвищення характеристик міцності металу за рахунок зростання дисперсності графіту і одночасно зростає схильність до усадки, відбілу і утруднюється оброблюваність. Тому виникає завдання отримання чавуну високих марок без відбілу, з високими технологічними властивостями і, як правило, вводом модифікаторів, що вирішується в розплав.

Науково-технічна задача одержання чавуну з гарною оброблюваністю вирішується розробкою методу модифікування на основі збільшення хімічної активності вуглецю та кремнію в компонентах змішувального модифікатора. Розробка складу, технології введення та розподілу порошкових компонентів дозволила забезпечити ефективне спрямоване модифікування у всьому обсязі виливки.

Класична теорія процесу будови сплавів неспроможна досить повно пояснити формування структури виливки під впливом модифікування. Вона не враховує хімічну взаємодію елементів розплаву та фізичний стан фаз. Це лише наголошує на складності модифікування, деталі якого мають свої принципові особливості. Крім того, в даний час існує кілька теорій та моделей будови розплаву рідкого чавуну. Аналіз літературних джерел показує, що створено

понад десять теорій модифікування, але науково обґрунтованого механізму модифікування немає. В результаті створено понад 500 типів модифікаторів, що діють, що містять від 2 до 15 компонентів. Аналіз джерел показує, що кремній є одним із ефективних модифікаторів і залишається бажаним компонентом багатьох модифікаторів. Добавки інших елементів, таких як Са, Ва, Mg, Sr тощо, використовують лише для посилення ефекту модифікування та підвищення часу дії модифікаторів.

Мета роботи Метою роботи є всебічний аналіз способів отримання виливків із високоміцного чавуну та оцінка можливості використання адитивних технологій.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан виробництва та використання адитивних технологій під час виробництва малогабаритних оливок.
2. Дослідити фізико-хімічні та технологічні особливості отримання випалюваних моделей із застосуванням спіненого полістиролу.
3. Провести оцінку характеристик виливків з ВЧШГ, отриманих методом лиття за моделями, що випалюються.

Об'єкт дослідження: фізико-хімічні особливості процесу виплавки високоміцного чавуну з використанням адитивних технологій.

Предмет дослідження: технологія процесу виплавки високоміцного чавуну з використанням технології лиття за моделями, що випалюються.

Методи дослідження: хімічний аналіз системи газофікації спіненого полістиролу в процесі заливання розплаву чавуну в умовах випалюваних моделей, хімічний та гранулометричний аналіз сировинних компонентів та їх вплив на якість пінополістирольних моделей.

Наукова новизна:

1. Встановлено механізми процесів виробництва форм для заливання розплаву чавуну на основі спіненого полістиролу порошків вогнетривів.
2. Розроблено раціональні шляхи модифікування передільного чавуну.

3. Встановлено механізми хімічних реакцій в процесі спінювання полістиролу.

Практичне значення:

1. Запропоновано введення виготовлення моделей для розливання малогабаритних заготовок із застосуванням адитивних технологій.

2. Встановлено зниження собівартості та часу підготовки виробництва за рахунок впровадження адитивних технологій.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки.

Відомості про публікації: основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і статей, і 1 тезах конференцій.

1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛИТТЯ ПО МОДЕЛЯМ ЯКІ ГАЗИФІКУЮТЬСЯ

1.1 Застосування адитивних технологій у процесах лиття малогабаритних заготовок

Лиття за моделями, що випаляються (або газифікуються), є одним із спеціальних способів лиття. Даний метод добре підходить для створення точних, тонкостінних, складних за конфігурацією виливків в індивідуальному та серійному виробництві з різних сплавів. Сутність методу полягає у виготовленні моделі з полімерного синтетичного матеріалу, як правило з полістиролу, яка в процесі заливання рідкого металу у форму, що вигоряє (газифікується) і заміщається розплавом у міру його надходження.

Традиційними методами виготовлення моделей, що випаляються є: вирізування з формованої полістирольної плити (спосіб не вимагає великої точності і великих витрат при виготовленні, проте підходить лише для виготовлення моделей з простою геометрією і нескладною поверхнею) і виготовлення моделей в прес-формах з полістиролу, що спінюється (спосіб застосовується у серійному виробництві моделі мають високу точність, проте при цьому потрібна тривала і витратна підготовка до випуску – розробка та виготовлення дорогих пресформ).

В останні роки в ливарному виробництві все ширше використовуються адитивні технології, один із напрямків їх застосування – «вирощування» полістирольних моделей із застосуванням 3D-друку. 3D-друк дає можливість виготовляти унікальні об'єкти складної геометрії для отримання високоякісних виливків, що часто нездійсненно при використанні традиційних методів. Моделі, які створені адитивними методами, можуть бути набагато складнішими і тоншими, ніж пінополістирольні моделі, виготовлені в прес-формах. При цьому виключається необхідність

виготовлення прес-форм, а час виготовлення моделей на 3D-принтері становить від 1-2 до 6-8 годин, залежно від розмірів моделі [1].

Ливарні моделі для подальшого лиття за моделями, що випаляються, можуть бути отримані з порошкового полістиролу або фотополімерних композицій. 3D-друк полістирольних моделей набула особливої популярності в галузі прототипування, при виготовленні пілотних виливків, відпрацюванні технології для освоєння промислового випуску нових виливків, при випуску штучної та малосерійної продукції. Полістирольні моделі «вирощуються» найчастіше на AF-машинах, що працюють за технології SLS – Selective Laser Sintering – пошарове спікання порошкових матеріалів [2].

Суть технології полягає у наступному. Модельний матеріал (полістирольний порошок з розміром частинок 50-150 мкм), накочується спеціальним роликком на робочу платформу, встановлену в герметичній камері з атмосферою азоту чи інертного газу. Лазерний промінь «пробігає» там, де комп'ютер «бачить» у цьому перерізі САD-моделі «тіло», ніби заштриховуючи перетин деталі. Лазерний промінь є джерелом тепла, під впливом якого відбувається спікання частинок полістиролу (робоча температура близько 120 ° С). Потім платформа опускається на 0,1-0,2 мм і нова порція порошку накочується поверх затвердженого, формується новий шар, який спікається з попереднім. Процес повторюється до повної побудови моделі, яка наприкінці процесу виявляється укладеною у шар неспеченого порошку. Потім модель витягається з машини та очищається від порошку.

Перевагою даної технології є відсутність підтримки – вони не потрібні, оскільки модель і всі шари, що будуються, під час побудови утримуються масивом порошку. Наявні на ринку машини дозволяють будувати досить великі моделі розмірами до 550x550x750 мм. Досить висока і деталізація побудови моделей: можуть бути побудовані елементи (номери деталей, умовні написи та ін.) з товщиною фрагментів до 0,6 мм, а гарантована товщина стінки моделі становить до 1,5 мм [2].

До недоліків технології потрібно віднести наступне: нерівномірність розподілу тепла по робочій камері, масиву матеріалу і, відповідно – небезпека викривлення внаслідок температурних деформацій; порошок полістиролу не сплавляється, а спікається - тому структура моделі виходить пористою, схожою на структуру пінопласту, і тендітною, тому "вирощена" модель вимагає дуже акуратного поводження при очищенні та подальшій підготовці до формування.

Для надання міцності та зручності роботи з нею (зчленування з литниковою системою, формування) модель просочують спеціальним складом на восковій основі – процес називається інфільтрацією: просочення проводять у спеціальній печі при температурі близько 80°C. Це потребує додаткових витрат і також несе небезпеку деформування моделі. Однак останнім часом з'явилися полістирольні модельні порошки, які не потребують інфільтрації.

Суть технології створення моделей із світло- або фото-полімерів полягає у використанні спеціальних світлочутливих смол, які затверджуються вибірково та пошарово у точках або місцях, куди за заданою програмою підводиться промінь світла. Способи засвічення шару різні (лазер, ультрафіолетова лампа, видиме світло). Існує дві основні технології створення моделей з фотополімерних композицій: лазерна стереолітографія (SLA-технологія) – затвердіння шару за допомогою лазера, та «моментальне» засвічення шару – затвердіння шару фотополімеру спалахом ультрафіолетової лампи або прожектора [3].

SLA-технологія передбачає послідовне «пробігання» лазерного променя по всій поверхні шару моделі, що формується. Відповідно до другого способу затвердіння всього шару відбувається відразу після або в процесі його формування за рахунок випромінювання від керованого джерела світла - видимого або ультрафіолетового.

Швидкість вирощування другим способом вища. Однак SLA-технологія точніша і застосовується там, де вимоги до чистоти поверхні та

точності побудови моделі є основними та визначальними. Основою у SLA-процесі є ультрафіолетовий лазер. Лазерний промінь є джерелом світла. Промінь "штрихує" поточний переріз CAD-моделі і затверджує тонкий шар рідкого полімеру в місцях свого проходження. Потім платформа, на якій виробляється побудова, занурюється у ванну з фотополімером на величину кроку побудови і новий шар обробляється лазером за відповідним контуром.

При вирощуванні моделі, що має нависаючі елементи, одночасно з основним тілом будуються підтримка у вигляді тонких стовпчиків, на які укладається перший шар елемента, що нависає, корда приходить черга його побудови. Процес повторюється до завершення побудови. Потім модель витягується, залишки смоли змиваються ацетоном або спиртом, а підтримки видаляються механічним способом. Якість поверхні стереолітографічних моделей вище за спекувані за SLS-технологією і, як правило, модель не вимагає додаткової обробки.

У деяких випадках, якщо кут між поверхнею моделі, що будується, і вертикаллю менше 30° , модель може бути побудована і без підтримки. Провідним виробником SLA-машин є американська компанія "3D Systems", яка випускає широку гаму машин з розмірами зони побудови від 250x250x250 мм до 1500x570x500 мм [3].

Останнім часом все більшої популярності набувають так звані Quick-Cast-моделі, тобто моделі для «швидкого лиття». Моделі Quick-Cast мають стільникову структуру масиву стінок: зовнішні та внутрішні робочі поверхні виконують суцільними, а саме тіло стінки формують у вигляді набору сотів. Така структура забезпечує при литті за моделями, що випалюються, додаткові переваги: при збереженні необхідної маніпуляторної міцності істотно, на 70 % знижується загальна маса моделі, а це крім економії модельного матеріалу і зниження вартості моделі означає, що менша кількість матеріалу доміно бути газифіковано в процесі заливання форми розплавом. відповідно знижується ймовірність появи газових дефектів у тілі

виливки і зменшується навантаження на систему знешкодження аспірованих газів [3].

1.2 Особливості технології виливків за моделями, що випалюються

Полістирол може мати низьку якість та підвищену щільність. При цьому виявляються специфічні поверхневі дефекти, що погіршують товарний вид виливків. У цьому випадку доцільно модель видалити з форми шляхом випалювання перед заливкою металу. Розглянемо три основні способи випалювання моделі з форми: а) нагріванням у сушильній печі; б) ацетиленокисневим полум'ям; в) струменем кисню.

На підставі експериментів було встановлено, що при нагріванні форми в сушильній печі час видалення моделі пропорційно температурі; наприклад, при 300 °С час повного видалення моделі з форми становить 4 години, а при 500 °С – лише 1 год. Тому вказаний спосіб видалення моделі можна рекомендувати тільки для отримання виливків середньої ваги, форми яких можна виконувати підвищеної щільності без протипригарного покриття.

Випалювання ацетиленокисневого пламени не дало позитивних результатів. Найкращі результати були отримані при випалюванні моделей спрямованим струменем кисню. Стояк (випор) з пінополістиролу підпалюють, і в осередок горіння за допомогою різача або трубки спрямовують струмінь кисню. Модель швидко вигоряє. Тривалість видалення моделі залежить від її об'єму і зазвичай становить 1...5 хв.

Так як випалювання супроводжується рясним виділенням диму, цей процес необхідно проводити під витяжною парасолькою. Форми слід виготовляти з рідинноскляних самотвердіючих сумішей. Вогнетривке покриття з цирконової фарби, приготовленої на гідролізованому розчині етилсилікату, мало хорошу стійкість; протипригарне покриття на рідкому склі відшаровувалося, що пов'язане з великою усадкою рідкого скла.

Формування виливки відбувається в результаті взаємодії форми,

металу та моделі. Модель навіть із легкого поропласту істотно змінює процеси тепломасообміну системи металформу. Це підтверджується практикою застосування даного методу, наприклад, утворення на поверхні виливки такого дефекту, як ужиміни. При отриманні виливків можуть утворитися дефекти внаслідок взаємодії розплаву із продуктами газифікації моделі. Це - блискучі плівки вуглецю і глибокі раковини, заповнені сажею, на чавунних виливках, рихлоти і спаї на поверхні виливків з алюмінієвих сплавів, цементація поверхневого шару в сталевих виливках і т. д. У результаті газової фази, що утворюється, та газового тиску в самій порожнині форми уповільнюється швидкість заливання її металом.

1.3 Термічна деструкція пінополістиролу

Пінополістиролова модель при заливці руйнується, і продукти цього процесу видаляються із форми газовим потоком. Процес руйнування моделі у формі складний, характеризувати його лише як газифікацію було б неправильно, хоча сам термін «моделі, що газифікуються» міцно увійшов до термінології ливарного виробництва. У процесі нагрівання в полістиролі відбуваються фазові, а потім і хімічні перетворення. При 164 °C він плавиться, при 316 °C розкладається, а при 576 °C горить і руйнується до водню та вуглецю. Процес термічного руйнування полістиролу, що є твердою основою модельного матеріалу, підпорядковується законам теплообміну та залежить як від потужності джерела теплової енергії та початкових умов навколишнього середовища (газового складу атмосфери та тиску), так і від теплофізичних констант самої речовини (теплоємності), теплопровідності та температуропровідності). На механізм та кінематику процесів термічного руйнування будуть впливати також хімічні та фазові перетворення, що відбуваються при нагріванні речовини.

Деструкція полістиролу за умов повільного нагрівання. При повільному нагріванні до температури вище 80 °C пінополістирол

розм'якшується настільки, що пари пороутворювача проривають стінки форми та випаровуються, внаслідок чого пінополістирол поступово зменшується в об'ємі більш ніж у 40 разів. При подальшому нагріванні пінополістирол втрачає весь пороутворювач і повітря і по суті перетворюється на полістирол, який не має певної точки плавлення, проте близько 164 °С повністю переходить у рідкий рухомий стан; при цьому його молекулярна вага залишається постійною.

При термічній деструкції полістиролу в умовах вакууму та температурах нагріву до 350...420 °С відбувається виділення чотирьох фракцій. Найлетючіша фракція складається з окису вуглецю, що утворюється в результаті взаємодії полістиролу з адсорбованим киснем. Дві наступні фракції мають однакову молекулярну вагу (263...264), але мають різні структури і летючість. Перша фракція летюча як при температурі реакції (350...420 °С), так і при кімнатній температурі (20 °С). Вона складається з 92...96 % стиролу (мономера), 4...8 % толуолу та містить сліди етилбензолу та метилстиролу. Друга фракція летюча лише за температури реакції; до її складу (поряд з мономером стиролом) входять димер (19,32%), трімер (23,08%) та тетрамер (3,85%). Четверта рідка фракція нелетуча і складається з осколків полімерного ланцюга з молекулярною вагою близько 2000.

Умови досвіду не дали зробити повний аналіз продуктів деструкції пінополістиролу, однак було встановлено, що при 1000 °С газотворність пінополістиролу становить 105 см³/г, а залишок, що не газифікується, 0,015 % загальної маси.

Четверта рідка фракція нелетуча і складається з уламків полімерного ланцюга з молекулярною вагою близько 2000.

За даними досліджень методом термічного диференціального аналізу пінополіуретану та фенольно-резольного пінопласту ці пінопласти утворюють великий негазифікований залишок (14 і 44 % відповідно) і мають високу газотворність (730 і 600 см³/г при 1000 °С), а тому малоприйнятні для виготовлення моделей, що газифікуються.

Деструкція полістиролу в умовах високотемпературного теплового удару. Аналіз продуктів деструкції наведено у табл. 1.1. За даними хроматографічного дослідження газу в процесі деструкції полістиролу при температурі 800 °С газ складається з 25,8 % CH_4 ; 14,6% C_2H_4 ; 2,6% C_3H_6 . Виділення газу при 800...1200 °С відбувається з постійною швидкістю, кількість його зростає пропорційно до температури.

Таблиця 1.1 – Вихід продуктів при деструкції полістиролу

Температура, °С	Вихід, газу, $\text{см}^3/\text{г}$	Склад газу, % об.			Вихід, % ваг.		
		C_nH_2	H_2	CH_4	газа	Рідких продуктів	Коксово залишку
800	165	20,5	37	34,6	11,1	70,8	18,1
1000	500	2,5	74,3	19,3	15,1	23,5	61,4
1200	738	1,5	82,3	9,3	18,5	16,5	65,0

Питома швидкість газовиділення залежить від маси зразка полістиролу та визначається температурою середовища. Наприклад, для навішування 0,53 г при 1000 °С питома швидкість газовиділення становить 14,6 $\text{см}^3/(\text{г } ^\circ\text{C})$, при 1 200 °С 29 $\text{см}^3/(\text{г } ^\circ\text{C})$.

Таблиця 1.2 – Газотворність пінополістиролу марки ПСБ за високотемпературного удару

Температура, °С	450	750	1300	1550
Газотворність, $\text{см}^3/\text{г}$	25	40	300	500-600

Газотворність пінополістиролу залежить від температури деструкції. У табл. 1.2 наведено значення газотворності пінополістиролу марки ПСБ при високотемпературному ударі, а в табл. 1.3 – його склад залежно від температури рідкого металу.

Таблиця 1.3 Склад газів при термоударі пінополістиролу розплавами металів

Розплави	Силумін 700 °С	Чавун 1 350 °С	Сталь 1 550 °С
Компоненти газу	Складв, об. %		
CO ₂	1,2	1,0	0,6
CnH2n	---	13,2	6,0
O ₂	19,2	6,6	5,0
CO	0,2	6,0	6,2
H ₂	0,6	32,8	48,0
CH ₄ + C ₂ H ₆	---	9,4	7,4
N ₂	78,8	31,0	26,8

Теплове розширення газів, що знаходяться в порожнині форми, та газифікація складових формувальної суміші визначають газовий тиск у порожнині, який протидіє гідростатичному натиску металу, збільшуючи тривалість заливки. У цей час починаються і хімічні реакції межі металлоформа. Перший період газового режиму мало вивчений навіть за лиття у звичайні піщані (порожністі) форми.

1.4 Виготовлення виливків у піщаних формах без сполучного

При отриманні виливків у піщаних формах без сполучного значно спрощуються операції виготовлення та вибивання форми, а їхня тривалість різко зменшується. Система метал-модель-форма розбивається на низку температурних зон:

- 1) зону випаровування полістиролу, де він перетворюється на газ;
- 2) зону зіткнення металу зі стінками форми або вогнетривким покриттям;
- 3) зону перебігу газу з утворенням газового тиску;
- 4) зону конденсації, тут пісок конденсує пари моделі.

На підставі запропонованої схеми вважається, що пісок у статичному стані підтримується газовим тиском, що утворюється в результаті газифікації моделі, продуктами конденсації, які зв'язують пісок у холодніших його шарах, протипригарним покриттям і, нарешті, самим металом внаслідок його кристалізації.

Відповідно до теорії механіки ґрунтів, пісок є сипучим тілом, що не має сил зчеплення між частинками, але має сили внутрішнього тертя. Деформація необмеженої піщаної маси відбудеться у тому випадку, якщо напруга зсуву досягне граничної напруги. За законом Кулона між нормальною напругою та напруженням зсуву існує таке співвідношення:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.1)$$

де τ – напруга зсуву; σ – нормальна напруга; φ – кут внутрішнього тертя.

У механіці ґрунтів під напругою мається на увазі вплив сили, віднесеної до одиниці площі, на площину перерізу тіла $\operatorname{tg} \varphi$ є коефіцієнтом тертя між частинками. Кут внутрішнього тертя піску зазвичай зростає зі збільшенням його щільності, розмірів, твердості та незграбності. Для круглого сухого піску щільністю 1,5 і 1,7 г/см³ кут внутрішнього тертя становить відповідно 28,5 і 35 °, для незграбного піску 34 і 46 °.

Кут внутрішнього тертя чистих сухих пісків близький за значенням до кута природного скосу, що визначає положення вільного насипного піску і не залежить від висоти засипки.

Таким чином, пісок як сипкий матеріал у замкнутому обсязі може витримувати значні навантаження без деформацій, причому величина граничного навантаження залежить від щільності піску та кута внутрішнього тертя.

Стискання піску дуже незначна. Це пояснюється тим, що реальні піски мають різноманітну форму, що значно відрізняється від круглої. В результаті

при вільному засипанні піщинки, заклинюючись, створюватимуть «арки» та «містки», які здатні витримувати порівняно високі статичні навантаження. Тому при застосуванні статичних навантажень пісок практично не ущільнюється.

У разі незначної вібрації відбувається значне ущільнення піску за рахунок руйнування «містків» та «арок». Якщо в циліндр засипати пісок і навантажувати його зверху поршнем, то переміщення поршня не буде помітним і його можна зафіксувати тільки приладами. Якщо ж циліндр помістити на вібраційний стіл, то об'єм піску значно зменшиться. Внаслідок вібрації або струшування об'єм піску зменшиться на величину, що становить до 200 % початкового об'єму після вільного засипання.

1.5 Властивості сипких вогнетривких матеріалів

Останнім часом знаходять застосування нові формувальні склади на основі олівініту, хроміту, магнезиту, циркону, силіманіту та деяких інших вогнетривких матеріалів.

Олівінітові породи є магнезіальними силікатами, що мають загальну хімічну формулу R_2SiO_4 . Найбільшого поширення нині отримав олівін (Mg, Fe) $_2SiO_4$ з температурою плавлення 1750...1830 °С.

Хроміт (хромистий залізняк) застосовують для приготування облицювальних сумішей та фарб при сталевому литті. Температура плавлення хроміту 1450 ... 1850 °С. Чим менше оксидів FeO міститься в хроміті, тим вище температура його плавлення. Хромистий залізняк має гарну вогнетривкість, не взаємодіє з оксидами заліза, що забезпечує чистоту поверхні вилівка.

Магнезит $MgCO_3$ при випаленні розкладається; MgO, що залишився, має температуру плавлення 2800 оС. На практиці застосовують металургійний магнезит, який містить значну кількість інших мінералів, що зменшують його температуру плавлення.

Циркон $ZrSiO_4$ має високі фізичні та хімічні властивості. Температура плавлення його $2000\text{ }^\circ\text{C}$, коефіцієнт ливарного розширення $0,5$. Він не змочується рідкими металами, внаслідок чого не утворює пригару.

1.6 Розливання розплавів металів у форми із сухого піску

Основним фактором, що утримує пісок у статичному положенні, є фільтраційні сили газового потоку, який створюється внаслідок значного тиску в зазорі між моделлю та металом при їх взаємодії.

Основним параметром, що дозволяє регулювати процес, є швидкість підйому металу в порожнині форми, що визначає a , m , δ . При збільшенні швидкості заливки зменшується зазор δ , отже, збільшується r_f , але швидкість підйому металу перевищує оптимальну.

Для збереження рівноваги піщаної основи в період фільтрації газу необхідною умовою є щільність упаковки, в іншому випадку сили фільтрації, впливаючи на скелет піску, ущільнюють його, що викликає переміщення маси піску і порушення рівноваги системи. Фільтраційні сили потоку не повинні видувати дрібні фракції, що також призведе до порушення статичного стану. Однак стінки опоки повинні бути газопроникними, оскільки тиск Росії дуже швидко встановиться у всьому обсязі опоки і фільтрація газу припиниться.

При щільності піску $1,5\text{ г/см}^3$ (форма не ущільнена) є ймовірність порушення рівноваги системи метал-форма у бік подуття виливки, тоді як за щільності піску $1,7\text{ г/см}^3$ така можливість виключена.

В кінці заливки завжди існує небезпека підйому верхнього шару піщаної форми металом, так як гідростатичний напір металу завжди більший за тиск з боку верхнього шару піску. Особливо це стосується лиття чорних сплавів, щільність яких значно перевищує щільність піску. Тому необхідно навантажувати верх форми застосуванням металевих жорстких кришок, які перешкоджали б підняттю піску, але самі не чинили б тиску на форму.

1.7 Особливості проектування литникової системи

Під час розробки литникової системи необхідно особливу увагу звертати на усунення розрідження у її елементах під час заливання металу. Найбільша небезпека розрідження створюється у верхній частині стояка, що завжди призводить до обвалу піску через інжекцію повітря. Тому конструкція стояка повинна виконуватись з урахуванням усіх вимог, що усувають розрідження.

Турбулентність металу у стояку є причиною руйнування піщаної стінки. Зменшення турбулентності можливе лише за рахунок зниження швидкості металу в стояку та зменшення діаметра стояка, що визначається часом заливання форми. Для виливків середніх розмірів на стояк необхідно наносити міцне керамічне покриття; Литникову систему для великих виливків потрібно робити з керамічних трубок.

Живильник менш схильний до руйнування, так як перебіг металу в живильнику зазвичай ламінарний. Розрідження в живильнику буває тільки в місцях різкого повороту. Отже, навіть для великих виливків живильник можна робити з пінополістиролу. Однак місця з'єднання живильника з виливком повинні виконуватися плавними або фарбуватися (покриватися керамічною оболонкою).

Розрахунок площі перерізу живильника проводиться за такою схемою:

- 1) визначаємо положення моделі у формі λ , характеристики застосовуваного піску γ_n , φ , параметри опоки та інші дані;
- 2) знаходимо мінімально допустимий газовий тиск $r_{доп}$ у зазорі між металом та моделлю;
- 3) визначаємо час заливання форми виходячи з оптимальної швидкості підйому металу в порожнині форми;
- 4) знаходимо коефіцієнти газовиділення a і m і розраховуємо $r_{ф}$.

При $r_{ф} \geq r_{доп}$ визначаємо переріз живильників. Якщо $r_{ф} < r_{доп}$, то необхідно або збільшити швидкість заливання, або змінити C , l та інші

параметри та зробити повторний розрахунок.

Кульові прибутки. Перевага прибутків сферичної форми відома давно, проте застосування їх донедавна було утруднено внаслідок значної трудомісткості виготовлення їх у формі.

Процес лиття за моделями, що газифікуються, дозволяє вирішити проблему широкого застосування прибутків сферичної форми. Модель прибули, залишаючись у формі після видалення з неї постійної моделі, під дією розплаву газифікується.

Ці переваги пояснюються тим, що прибутки сферичної форми мають найкращий модуль затвердіння порівняно з модулями затвердіння прибутків іншої конфігурації за умови рівності обсягів:

$$M = \frac{V}{S} \quad (1.2)$$

де M – модуль затвердіння прибутку; V – обсяг прибутку; S – поверхня прибутку, що охолоджується.

Прибуток сферичної форми має у середньому відносну тривалість затвердіння, на 30...60 % більшу, ніж прибутки іншої зміни за умови рівності їх обсягів.

Заливання форм потрібно робити особливо ретельно. Не можна допускати розриву струменя металу під час заливання, а саме заливання слід здійснювати рівномірно, при постійному гідростатичному натиску. При виробництві дрібних виливків форму заливають зпід пробки. Великі форми повинні заливати робітники-заливники високої кваліфікації.

1.8 Розливання розплавів металів у магнітні форми

При лиття в магнітні форми за пінополістироловими моделями замість сухого піску використовують сипучий матеріал, який зміцнюється під дією магнітного поля. Природно, що цей матеріал має бути магнітним. Після засипки пінополістиролової моделі таким формуючим матеріалом накладається магнітне поле, під дією якого частинки матеріалу зв'язуються в єдине ціле. Заливку роблять як завжди. Після зняття магнітного поля формувальний матеріал висипається з опоки. Такий спосіб одержання виливків зберігає основні переваги лиття у форми із сухого кварцового піску і водночас усуває його основний недолік – утворення засорів.

Відомо, що сили, що діють на феромагнітні частинки з боку магнітного поля, виникають лише у разі його неоднорідності. Феромагнітна куля, поміщена в однорідне магнітне поле, буде спочивати, якщо на неї не діють сили інших полів. Проте вже дві феромагнітні кулі, що знаходяться в такому полі, притягуються один до одного, розташовуючись уздовж силової лінії. Це пояснюється тим, що феромагнітні кулі, перебуваючи в однорідному магнітному полі, самі намагнічуються і створюють навколо себе локальні неоднорідні магнітні поля, які і призводять до їх взаємодії. Щоб відірвати один від одного кулі, необхідно докласти певного зусилля, величина якого залежить за інших рівних умов від величини індукції магнітного поля. Сили взаємодії між кулями залежать і від кута орієнтації лінії, що проходить через центри куль щодо напрямку магнітного поля α . У разі зростання цього кута α сила тяжіння F зменшується, проходить через нульове значення і далі стає від'ємною. Це означає, що за певних умов, коли кут близький до 90° , феромагнітні кулі відштовхуються один від одного. Однак між кулями, що становлять, наприклад, щільноупаковану систему, діють лише сили тяжіння (рис. 1.1, а). Ці сили здатні протистояти не лише вазі куль, а й навіть певним навантаженням (рис. 1.1, б, в).

Очевидно, завдяки дії сил тяжіння між частинками форми з чавунного

або сталевому дробу набувають міцності в однорідному магнітному полі.

Якщо за допомогою моделі з немагнітного матеріалу в такій формі створити порожнину, то конфігурація збережеться. Це пояснюється тим, що великі сили тяжіння між феромагнітними частинками, що знаходяться в магнітному полі, виникають лише за безпосереднього контакту. При збільшенні відстані між частинками сили тяжіння значно послаблюються. Тому частинки, що оформляють порожнину, фіксуються у певному положенні, не прагнуть з'єднатися з більш далекими частинками, що знаходяться на межі порожнини, завдяки чому зберігається контур форми.

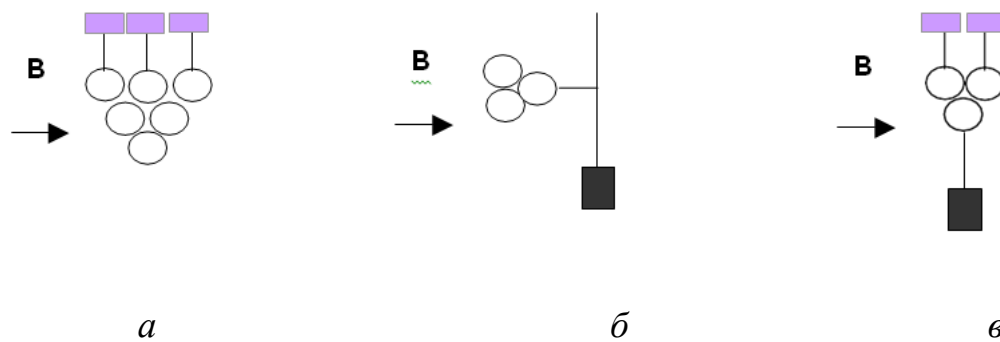


Рисунок 1.1 – Взаємодія магнітних куль у постійному однорідному магнітному полі

1.9 Феромагнітні формувальні матеріали та магнітні форми

Як феромагнітні формувальні матеріали використовують дріб сталевий, колотий або литий (ДСК і ДСЛ) і чавунний, колотий або литий (ДЧК і ДЧЛ), залізний порошок ПЗ (ГОСТ 11964-66 і 9849-61). Всі ці матеріали магнітом'які, тобто при знятті магнітного поля їх залишкова намагніченість практично стає рівною нулю, а сипучі властивості повністю відновлюються. Наочно простежити зміну відносної магнітної проникності таких матеріалів можна за кривими на рис. 1.2.

З енергетичної точки зору для магнітного формування більш вигідні матеріали, що мають найбільшу величину магнітної проникності в робочому діапазоні зміни напруженості магнітного поля.

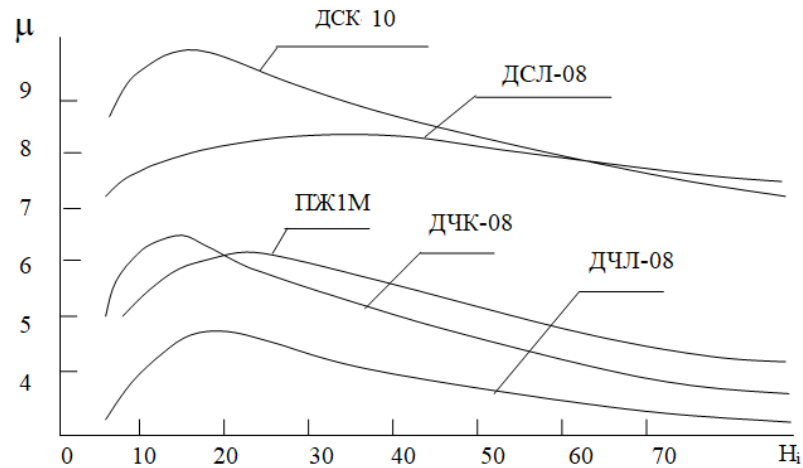
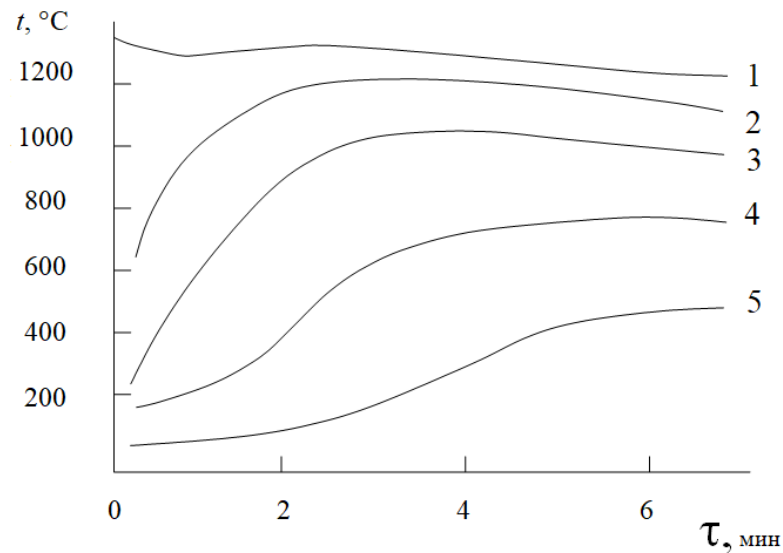


Рисунок 1.2. Залежність відносної магнітної проникності μ від напруженості поля H_i

Термофізичні властивості. При контакті із розплавом матеріал магнітної форми швидко нагрівається. При нагріванні феромагнітного матеріалу до температур вище 600°C форма починає розміцнюватися, а при досягненні температур, близьких до точки Кюрі, розміцниться повністю. Це можна простежити на прикладах (рис. 1.3 – 1.4).



1 – на межі "вилівка-форма"; 2 – на відстані 4 мм від поверхні; 3 – на відстані 8 мм; 4 – 12 мм; 5 – 22 мм

Рисунок 1.3 – Криві розподілення температури в магнітній формі з дробу марки ДСК-08 при твердінні чавунної плити розмірами $15 \times 150 \times 150$

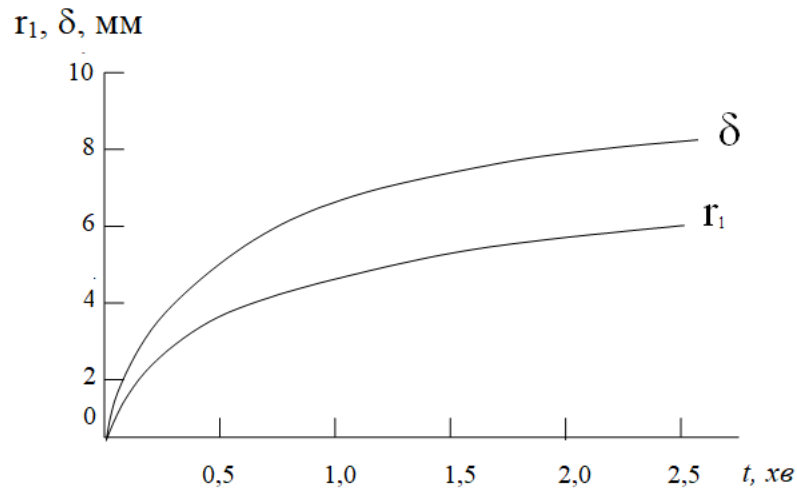


Рисунок 1.4 – Залежність товщини кірки виливки Γ_1 та товщини розміщеного шару форми з ДСК-08 від часу затвердіння чавунної плити розмірами 15x150x150 мм

З рис. 1.3 видно, як прогривається форма із дробу марки ДСК-08. Тому, до того як відбудеться прогрівання шарів форми, близьких до поверхні виливки до температур точки Кюрі, має бути сформована кірка виливки достатньої товщини.

На рис. 1.4 показано, як змінюються товщини затверділої кірки виливки та розміщеного шару форми від часу.

Розуміщення шарів форми, прилеглих до виливки, як правило, не призводить до шлюбу виливків, оскільки розміщений шар виявляється затиснутим між "монолітною" масою форми, що зберегла магнітні властивості, і кіркою виливки, товщина і міцність якої швидко збільшуються. При вимірі твердості магнітної форми деталі твердоміра повинні бути немагнітними.

Здатність ливарних форм протистояти впливу металу характеризується свідченням твердості. Твердість магнітних форм залежить від величини індукції та напрямку магнітного поля, магнітної проникності матеріалу, його форми та щільності укладання, а також ступеня засміченості іншими матеріалами, температурного поля та ін.

При підвищенні певного значення індукції магнітного поля, характерного для кожного матеріалу, магнітна форма втрачає стійкість. Це явище виявляється в тому, що відбувається заростання порожнини форми, причому тільки з боку поверхонь, перпендикулярних магнітним силовим лініям. Заростання полостей в магнітній формі, спостерігається зі збільшенням індукції поля, можна пояснити тим, що у процесі формування частки феромагнітного матеріалу фіксуються у різних положеннях.

При поміщенні матеріалу в магнітне поле ці частинки повертаються довгими сторонами вздовж силових ліній. У відносно слабких магнітних полях моменти сил, що виникають, недостатні для повороту частинок, оскільки цьому перешкоджають сили тертя і сили зчеплення, що виникають внаслідок тяжіння частинок. При збільшенні індукції магнітного поля момент сил зростає та досягає значень, достатніх для подолання сил опору частинок. Першими повертаються частинки, що знаходяться біля поверхні порожнини. Щільність упаковки частинок зменшується, найбільш намагнічені частинки (великі та подовжені) притягують сусідні, і відбувається впровадження у порожнину форми. Величина заростання залежить від геометрії порожнини та її орієнтації в магнітному полі.

Негативний вплив заростання при отриманні виливків у магнітних формах проявляється в утворенні специфічного дефекту: у виливок впроваджуються частинки дробу. Для зменшення ймовірності утворення таких дефектів модель, що випаляється, в процесі формування потрібно орієнтувати по можливості таким чином, щоб при поміщенні форми в магнітне поле більш довгі сторони моделі розташовувалися вздовж силових ліній магнітного поля. Для більш щільної упаковки формувального матеріалу формування доцільніше проводити на вібростолі.

1.10 Легування чавуну

Легування чавунів застосовують для підвищення їх міцності, надання виливків ряду спеціальних властивостей: зносостійкості, твердості, пластичності, стійкості проти корозії в різних середовищах і т.д. В даний час випускаються чавуни, модифіковані невеликою кількістю рідкісноземельних елементів.

Області застосування низьколегованих чавунів дуже різноманітні. З чавунів, легованих спільно нікелем (1,75%), хромом (0,8%) і вольфрамом (0,2%) відливають штампи; з чавуну з одним відсотком нікелю та 0,25% Cr – основні деталі металорізальних верстатів високої точності; з чавунів, комплексно легованих Ni, Cr, Mo і Cu відливають циліндри автомобільних двигунів і т. д. Введенням великої кількості легуючих компонентів в сірі чавуни з пластинчатим графітом надаються різноманітні спеціальні властивості. Наприклад, немагнітні виливки для спеціального електромашинобудування, що мають аустенітну структуру металевої фази, виготовляють з чавуну, легованого до 7,0% марганцю і до 12% нікелю, а при виливці ряду корозійно-стійких деталей для хімічного машинобудування, добре витримують вплив мурашиною. Для роботи в умовах дії каустичної соди, деяких солей та лугів, а також морської води використовуються чавуни, леговані молібденом, міддю, нікелем та хромом.

Термічною обробкою сірих чавунів, так само як легуванням або модифікуванням, можна істотно змінити їхню структуру, а отже, і властивості. Так, у виливків з високоміцного чавуну з феритно-перлітно-графітової структурою, в якій переважає ферит (75 – 80 %), загартуванням, що полягає в нагріванні струмами високої частоти до 975 – 1000 °C та швидкому охолодженні, можна отримати однорідну структуру мартенситу. загартований шар. Мартенсит - мікроструктура голкового вигляду, що надає металу дуже високу твердість. Є твердим пересиченим розчином вуглецю в α -залозі.

1.11 Модифікація чавуну

Модифікація чавуну відповідає процесу, при якому при випуску чавуну з плавильної печі в ківш, а іноді і в литейну систему при заливанні форм в чавунний розплав вводиться модифікатор. При цьому відбувається подрібнення структурних компонентів чавуну та перетворюється форма графітових включень. Як модифікатор використовуються феросиліцій ФС75, силікокальцій та ряд інших комплексних сполук. Модифікації піддається розплавлений чавун зі зниженим вмістом вуглецю та кремнію. Без модифікаторів цементит з'являється в структурі чавуну в процесі кристалізації. Але модифікатор має графітизуючу дію, і графіт виділяється у формі дрібних включень та їх загальна кількість у металевій основі невелика, оскільки вміст вуглецю у вихідному чавуні було низьким. В результаті розм'якшувачий ефект включення графіту проявляється меншою мірою, ніж у звичайному сірому чавуні, і досягаються вищі механічні властивості літнього металу. Особливо ефективна модифікація магнієм або його сплавами, дія яких на чавун така, що графіт, що виділяється при кристалізації виливки, набуває сферичної форми, а чавун стає пластичним та високоміцним. На рис. 5.3д, е показана структура відповідно до перлітно-феритного і перлітного високоміцного чавуну з кулястим графітом. Виливки з високоміцного модифікованого чавуну мають кулясту форму графіту в результаті введення в рідкий чавун модифікаторів типу Mg, Ca, Li, Na і т.д. Широке поширення набув чавун, модифікований магнієм із вмістом 0,03 - 0,05%. Графіт кристалізується у чавуні як сферичних включень. Такий чавун називається магнієвим.

Оскільки магній легко спалахує при підвищених температурах, введення його в розплавлений чавун пов'язане з певними труднощами. Незважаючи на те, що кількість магнію, що вноситься, невелика (0,15-0,45% від маси чавуну), переробку його розплаву проводять з великою обережністю. Найчастіше щоб уникнути розбризкування металу модифікацію виробляють

у спеціальних герметично закритих ківшах. При введенні магнію як сплавів (Mg-N; Mg-Fe-Si) процес модифікації протікає спокійніше.

Для отримання високоміцного чавуну з кулястим графітом застосовують також модифікацію церієм, вводячи його у вигляді шматків безпосередньо в ківш. Витрата церію становить трохи більше 0,3% від маси модифікованого розплаву, а церіевий чавун перевищує за якістю магнієвий чавун. Однак церій дорогий, рідкісний і рідко використовується як модифікатор.

Для поліпшення структури металевої основи чавуну після модифікування його магнієм або церієм рекомендується вводити в розплав кускової феросиліції ФС75 в кількості 0,3-1,0%.

Високочастотний сфероїдальний графіт (ДСТ 7293-85) застосовується для таких високонавантажених виливків відповідального призначення, як колінчасті вали автомобільних двигунів, деталі турбін, що працюють в умовах ударних, знакозмінних навантажень, шатуни, прокатні валки і т.п.

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ МОДЕЛЕЙ, ЩО ВИПАЛЮЮТЬСЯ

2.1 Особливості отримання виливків за моделями, що випалюються

Лиття по моделях, що випалюються виконується в нероз'ємні форми, а модель видаляється шляхом випалювання. У процесі заливання рідкого металу форму під дією високої температури відбувається термодеструкція полімерного матеріалу форми, з якого виготовляється модель. Полімерна модель поступово заміщається розплавом у міру надходження розплаву металу у форму. Такий спосіб виробництва виливків за моделями, що випалювалися, був запропонований ще в 1958 р. Г.Шрейером.

Лиття за моделями, що випалюються, можна виробляти у форми різного типу. Модель може бути вирізана з пінопласту або виготовлена з полістиролу, спіненого в пресформах. Модель, отримана механічною обробкою, точно не відрізняється від дерев'яної моделі, але не вимагає великих витрат при виготовленні. Моделі, виготовлені шляхом спінювання у пресформах, застосовуються у масовому виробництві та мають точність, що відповідає точності пресфори. Відмінним фактором лиття за моделями, що випалюються, є процес термодеструкції, який характеризується виділенням продуктів розкладання матеріалу моделі.

Для виготовлення моделей в прес-формах використовується полістирол, що спінюється, який представляється у вигляді гранул. Для ливарного виробництва випускають спеціальні марки пінополістиролу, що спінюється. У пресформу засипають розрахункову кількість гранульованого полістиролу та подають пару. Полістирол спінюється, збільшуючись обсягом до 5...7 разів, і заповнює обсяг пресформи. У практиці ливарного виробництва розроблені та виробляються механізовані лінії для виготовлення моделей з полістиролу, що спінюється. Така технологія отримання моделей

широко застосовується в масовому виробництві виливків. В одиничному виробництві модель може бути виготовлена з пінопласту шляхом механічної обробки, а форма може бути відформована в опоках із застосуванням звичайної формувальної суміші. Для підвищення якості поверхні виливки модель фарбується без підігріву фарбою, що швидко сохне.

Цим способом виходять виливки без стрижнів, без нахилів, без заток і швів з більш точними розмірами без припусків на механічну обробку. Такі виливки значно відрізняються від виливків, отриманих литтям у піщані форми дерев'яними або металевими моделями.

Лиття по моделях, що випаляються, дає можливість застосовувати для форми сухий пісок. Для підвищення якості виливків може застосовуватися вакуумування форми, яке забезпечує практично повністю видалення продуктів термодеструкції. У деяких випадках замість сухого піску можливе використання порошку феромагнітного сплаву, який дозволяє застосувати магнітне поле для утримання форми в процесі заливання металу.

Взаємодія в процесі заливки розплавленого металу з продуктами деструкції матеріалу моделі нерідко призводить до появи дефектів виливків таких як поверхневі та газові раковини; Якість поверхні виливків значно залежить від властивостей моделі: характеристик матеріалу, розмірів пористої структури, щільності, властивостей розділового шару і т.д.. Помилковий підбір характеристик моделі може призвести до зменшення жорсткості та міцності моделі. Такий факт збільшує ймовірність деформації заливальної форми при використанні піщано-глинистих сумішей, що ущільнюються.

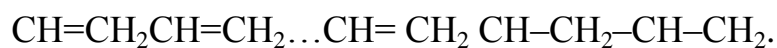
2.2 Вибір матеріалів виготовлення моделей

Виготовлення моделей з піноматеріалів на основі епоксидних смол, поліуретану, фенольноформальдегідних новолачних або резольних смол, полістиролу та інших матеріалів показало, що найбільш прийнятним для

лиття за моделями, що випалюються є пінопласти на основі полістиролу, Спінений полістирол має найменшу відрізняється високою швидкістю газифікації.

Полістирол виходить в результаті полімеризації стирулу - ароматичного з'єднання з ненасиченим бічним зв'язком $C_6H_5CH = CH_2$. Стирол - безбарвна рідина щільністю 0,905 г/см³ і температурою кипіння 1450С. Для отримання стирулу використовується бензолетилен. Відомо три методи отримання полістиролу: метод полімеризації чистого стирулу, метод полімеризації його в розчиннику та метод емульсійної полімеризації.

Найбільш поширений метод емульсійної полімеризації стирулу при температурі 70 ... 90 оС за наступною схемою:



Полістирол – безбарвний та прозорий пластик, розчиняється в ароматичних вуглеводнях, у багатьох ефірах і не розчиняється у спиртах та бензині. За нормальних умов полістирол є твердим пружним матеріалом щільністю 1,05 г/см³. Температура його склювання близько 80 °С; при 80...90 °С він стає еластичним. Такі параметри, як вид пороутворювача та спосіб введення його в полістирол, молекулярна вага полістирольної основи та ін, суттєво впливають на властивості пінополістиролу. У промисловості пінополістирол отримують зазвичай двома способами.

При пресовому методі емульсійний полістирол механічно змішують з пороутворюючою речовиною та іншими добавками. Після цього суміш пресують при нагріванні. Продукти розпаду, що виділяються пороутворювача насичують розплавлений полістирол. Після охолодження отримують заготовки полістиролу, які при повторному нагріванні в замкнутому об'ємі прессформ спінюються, заповнюючи її порожнину.

Таким методом одержують пінопласти ПС-1, ПС-2, ПС-3. При великій молекулярній вазі вихідного емульсійного полістиролу і значної щільності

спіненого матеріалу ($0,08...0,20 \text{ г/см}^3$) пінополістирол неможливо використовувати для лиття за моделями, що газифікуються.

Використанням безпресового методу отримують моделі як газифіковані, так і попередньо видалені з ливарної форми розчиненням або випалюванням. Вихідним матеріалом є суспензійний або гранульований полістирол ПСБ для спінювання в замкнених осередках яких міститься пороутворювач.

Полістирол (ПСБ) марок А1, А2, Б та В поставляється Горлівським хімкомбінатом та Кусковським хімзаводом. Спінюванням бісерного полістиролу (попереднім та остаточним) можна виготовляти плити та інші заготівлі пінополістиролових моделей будь-якого розміру, а також моделі з об'ємною масою $0,015...0,065 \text{ г/см}^3$.

Як сировину для виготовлення моделей доцільно використовувати полістирол марки ПСБ-А1 внаслідок найменшої об'ємної маси його у спіненому стані, більш однорідного зернового складу та найменшого вмісту мономеру. Властивості пінополістиролу наведено у табл. 2.1.

Плити, що поставляються з спіненого полістиролу мають об'ємну масу $0,025...0,040 \text{ г/см}^3$. Для ливарних цілей можна виготовляти плити об'ємною масою $0,015...0,025 \text{ г/см}^3$ із гранул полістиролу ПСБ-А1. Пінополістиролові плити виготовляють зазвичай автоклавним способом. Попереднє спінювання гранул ПСБ можна здійснювати в різних теплоносіях. Найбільш поширене попереднє спінювання у гарячій воді та пором на спеціальних установках. Обов'язковою умовою попереднього спінювання вихідних гранул є їх безперервне механічне перемішування для забезпечення більш рівномірної плівкової обробки гранул і попередження злипання гранул в грудки.

Таблиця 2.1 – Властивості спіненого полістиролу

Властивості пеностиролу	ПСБ-А1	
Об'ємна маса, г/см ³	0,020	0,030
Межа міцності, кг/см ² при стисканні	1,8 – 1,5	2,0 – 2,5
Межа міцності, кг/см ² при розтягуванні	1,8 – 2,0	2,6
Межа міцності, кг/см ² при статичному вигині	1,3 – 1,5	2,0 – 2,5
Ударна в'язкість, кг·см/см ²	1,0 – 0,3	0,3
Коефіцієнт теплопровідності, ккал/(м.ч.град)	0,025	0,027
Теплостійкість, °С	70 - 80	70 - 80

Залежність обсягу V спінених гранул від розміру вихідного (бісерного) полістиролу, температури та тривалість спінювання наочно простежується на рис. 2.1. Попереднє спінювання можна проводити у ваннах при температурі води 95...100 оС протягом 1...10 хв. залежно від розміру вихідних гранул та необхідної насипної маси гранул. Попереднє спінювання можна здійснювати парою при 100...110 °С. Вибір температури пари залежить від розмірів гранул, молекулярної ваги вихідного полістиролу та вмісту в ньому залишкового стирулу.

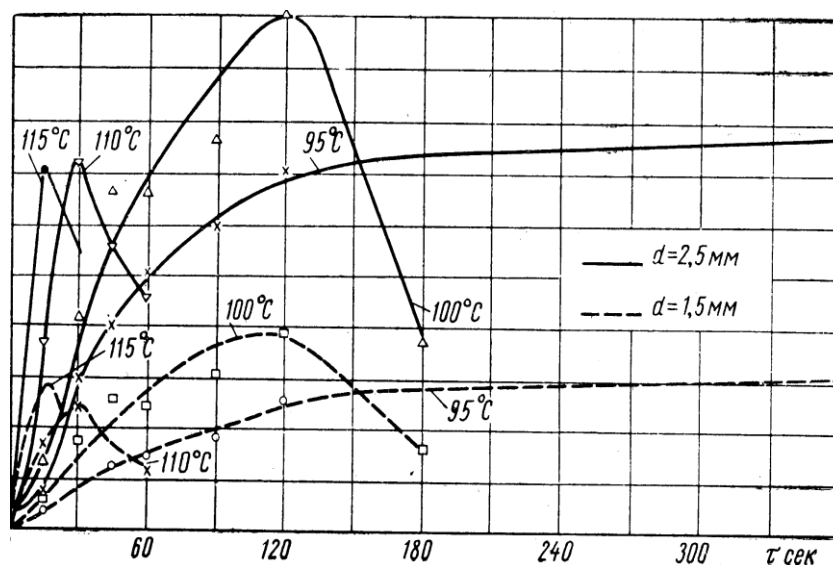


Рисунок 2.1 – Зміна об'єму спінених гранул в залежності від розміру гранул вихідного полістиролу, температури та часу спінювання

2.3 Технологічні засади виготовлення моделей

Підготовка прессформи до роботи починається зі змащення робочих поверхонь розділовим мастилом. Кращими мастилами є розчини СКТ, силіконова рідина, гліцерин, пластичне мастило ЦІАТІМ. Можливо використовувати як мастило для роздільного шару мильну емульсію, що складається з 25 г тальку і 25 г господарського мила розчинених в одному літрі води. Така емульсія наноситься на робочу поверхню прессформи перед кожною заливкою моделі.

Мастило на основі розчину синтетичного термостійкого каучуку (СТК) в уайт-спіриті добре утримується на поверхні прессформи. Це дозволяє наносити мастило після виготовлення 15 моделей та більше. Прессформи рекомендується заповнювати спіненими гранулами методом простого засипання або вдуванням за допомогою спеціальних головок. Заповнення об'єму прессформи гранулами визначається тиском повітря в системі та розташуванням перфорації у стінках прессформ. Тиск повітря вибирається дослідним шляхом та становить до $3,5 \text{ кг/см}^2$.

Існує чимало методів спінювання полістиролу в прессформах. Найбільш простим є ванний метод спінювання. В цьому випадку остаточне спінювання гранул пінополістиролу здійснюється шляхом витримки заповнених прессформ у гарячій воді.

Часто використовується автоклавний метод спінювання. При автоклавному методі як теплоносії використовуються перегріта водяна пара з температурою $110...115 \text{ }^\circ\text{C}$ та робочим тиском $1,3...1,45 \text{ кг/см}^2$. Прессформи, заповнені спіненими гранулами, поміщають в автоклав і витримують до спінювання полістиролу. Тривалість остаточного спінювання збільшується зі збільшенням товщини моделі, що виготовляється. При виготовленні моделі з товщиною стінки до 100 мм тривалість спінювання становить близько 30 хв.

У методі теплового удару теплоносії у вигляді перегрітої водяної пари з температурою в межах $105...115 \text{ }^\circ\text{C}$ вводиться безпосередньо в прессформу,

заповнену витриманими на повітрі гранулами ПСБ. Заповнюючи простір між гранулами пар нагріває їх одночасно по всьому об'єму порожнини прес-форми.

Метод нагрівання гранул струмами високої частоти реалізується в такий спосіб. Заповнені гранулами пресформи встановлюють у полі високочастотного генератора. Енергія змінного електричного поля в діелектричних матеріалах перетворюється на теплову енергію. Пінополістирол має низьке значення діелектричних параметрів, тому слабо нагрівається в електричному полі високої частоти.

Для підвищення швидкості нагрівання використовують різноманітні методи. Найбільш простим є змочування водою попередньо спінених гранул. Кількість води має становити до 4...6 г/дм³, у деяких випадках 8 г/дм³. З метою ще більшого збільшення ефекту змочування у воду іноді додають солі та інші речовини. Тонкий шар води при впливі на нього високочастотного електричного поля нагрівається, пари води, що утворюються, розігрівають гранули до необхідної температури.

2.4 Особливості конструкції прес-форми

Пресформи для пінополістиролових моделей можуть бути виготовлені зі сталі, алюмінієвих, мідних сплавів, пластиків та армувальних пластиків, наповнених скляними, базальтовими, вуглецевими довгими та штапельними волокнами. Температура розм'якшення полімерних матеріалів повинна бути не нижче 150 °С. Матеріали пресформ повинні мати високу теплопровідність, стійкість проти корозії, достатню механічну міцність і слабку адгезію в контакті з розігрітим пінополістиролом.

Прес-форми при використанні високочастотного нагрівання повинні бути виконані з струмопровідних матеріалів. Для зниження вмісту вологи в пінополістиролових моделях, особливо при ванному або автоклавному нагріванні при спінюванні гранул в пресформах необхідно виконувати

перфорацію у вигляді отворів діаметром в межах 0,5...2,0 мм. Крок перфораційних отворів має бути в межах 30...100 мм залежно від розмірів прес-форм.

Пресовий метод. Емульсійний полістирол механічно змішують з пороутворюючою речовиною та іншими добавками. Потім суміш пресують при нагріванні. Продукти розпаду пороутворювача, що виділяються, насичують розплавлений полістирол. Після охолодження одержують заготівлі полістиролу, які при повторному нагріванні в замкнутому об'ємі прес-форм спінуються, заповнюючи її порожнину. Цим методом одержують пінопласти ПС-1, ПС-2, ПС-3. При великій молекулярній вазі вихідного емульсійного полістиролу та значної щільності спіненого матеріалу ($0,08...0,2 \text{ г/см}^3$) пінополістирол неможливо використовувати для лиття за моделями, що газифікуються.

Безпресовий метод. Цим методом отримують моделі як газифіковані, так і попередньо видаляються з ливарної форми розчиненням або випалюванням. Вихідним матеріалом є суспензійний або бісерний полістирол ПСБ для спінування, що виготовляється у вигляді гранул, у замкнених осередках яких міститься пороутворювач (легкокиплячий компонент).

Бісерний полістирол (ПСБ) марок А1, А2, Б та В поставляється Горлівським хімкомбінатом (м. Горлівка, Україна) та Кусковським хімзаходом. Спінуванням бісерного полістиролу (попереднім та остаточним) можна виготовляти плити та інші заготівлі пінополістиролових моделей практично будь-якого розміру, а також у спеціальних прес-формах – моделі з об'ємною масою $0,015...0,065 \text{ г/см}^3$.

Як сировину для виготовлення моделей доцільно використовувати полістирол марки ПСБ-А1 внаслідок найменшої об'ємної маси його у спіненому стані, більш однорідного зернового складу та найменшого вмісту мономеру. Властивості пінополістиролу наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Властивості пінополістиролу

Марка полістиролу	ПБС-А	ПБС-А	“Exsporit”	“Polystyrolshaum”
Властивості	T1	T2		
Об'ємна маса, г/см ³	0,020	0,030	0,015-0,020	0,020
Межа міцності при стисканні, кг/см ²	1,8...1,5	2,0...2,5	0,9...1,1	1,0...1,2
Межа міцності при згині, кг/см ²	1,3...1,5	2,0...2,5	3,0...3,5	1,2
Межа міцності при розтягуванні, кг/см ²	1,8...2,0	2,6	2,1...3,3	
Ударна в'язкість, кг·см/ см ²	1,0...0,3	0,3	0,1...0,4	–
Коефіцієнт теплопровідності, ккал/(м·год·град)	0,025 (+20 °C)	0,027 (+20 °C)	0,038 (+20 °C)	0,027 (+20 °C)
Теплостійкість, °C	70...80	70...80	70...80	70...80
Водопоглинання, % об'єм	0,24 – 2,35	0,24 – 2,35		

Плити, що поставляються, зазвичай мають об'ємну масу 0,025...0,040 г/см³. Однак для ливарних цілей можна виготовляти з гранул полістиролу ПБС-А1 плити об'ємною масою 0,015...0,025 г/см³. Пінополістиролові плити виготовляють зазвичай автоклавним способом. Попереднє спінювання гранул ПБС можна здійснювати у різних теплоносіях. Найбільш поширене попереднє спінювання у гарячій воді (ваннах) та пором на спеціальних установках. Обов'язковою умовою попереднього спінювання вихідних гранул є їх безперервне механічне перемішування для забезпечення більш рівномірної теплової обробки гранул та попередження злипання гранул у грудки. Залежність об'єму V спінених гранул від розміру вихідного (бісерного) полістиролу, температури та тривалість спінювання наочно простежується на рис. 2.2. Попереднє спінювання можна проводити у ваннах

при температурі води 95...100 °С протягом 1...10 хв залежно від розміру вихідних гранул та необхідної насипної маси гранул. Попереднє спінювання можна здійснювати також парою при 100...110 °С. На вибір температури пари впливають розміри гранул, молекулярна вага вихідного полістиролу та вміст у ньому залишкового стиролу.

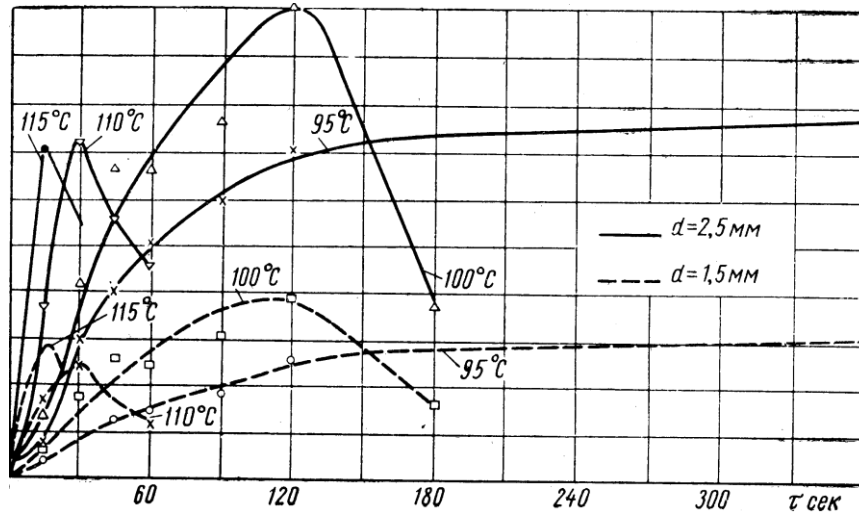


Рисунок 2.2 – Залежність об'єму V спінених гранул від розміру грані вихідного (бісерного) полістиролу, температури тривалість спінювання.

2.5 Виготовлення моделей у прес-формах

Перед початком роботи прес-форму необхідно змастити розділювальним мастилом. Зі значної кількості застосовуваних мастил кращими є розчин СКТ, силіконова рідина № 5, гліцерин, мастило ЦІАТІМ. Одеським ЦПКБ рекомендується використовувати як розподільчий шар мильну емульсію (25 г тальку та 25 г господарського мила на 1 л води). Емульсія наноситься на поверхню прес-форм перед кожною операцією виготовлення моделей.

Мастило з 4...10 %-го розчину синтетичного термостійкого каучуку (СКТ) в уайт-спіриті, а також 5 % силіконової рідини, що часто застосовується як роздільне покриття модельного оснащення при литті в

оболонкові форми, добре утримується на поверхні прес - форми, що дозволяє наносити її періодично, після виготовлення 10...15 моделей та більше.

Прес-форми бажано заповнювати попередньо спіненими гранулами повністю простим засипанням або вдуванням за допомогою спеціальних дутьових головок. Повнота заповнення прес-форм гранулами залежить від тиску повітря в системі і розташування перфорації в стінках пресформ. Зазвичай тиск повітря становить 2-3,5 кг/см² і вибирається дослідним шляхом.

2.6 Методи спінювання полістиролу

Існують різні методи спінювання полістиролу в пресформах. Розглянемо деякі з них.

Ванний метод спінювання. При ванному методі остаточне спінювання гранул пінополістиролу здійснюється шляхом витримки заповнених ними прес-форм у гарячій воді. У порівнянні з іншими методами виготовлення пінополістиролових моделей у прес-формах ванна найбільш проста, тому що при її застосуванні не потрібно дорогого і складного спеціального обладнання.

Автоклавний метод спінювання. В автоклавному методі в якості теплоносія використовують перегріту водяну пару (110...115 °С), що вводиться під тиском 1,3...1,45 кг/см². Прес-форми, заповнені попередньо спіненими гранулами, поміщають в автоклав і витримують до закінчення процесу спінювання полістиролу. Тривалість витримки зазвичай вибирають досвідченим шляхом. Так само як і при ванному методі, тривалість остаточного спінювання підвищується з збільшенням товщини моделі, що виготовляється, а також стінок прес-форм; для моделі товщиною стінки до 100 мм тривалість спінювання становить 20...30 хв.

Метод теплового удару. Цей метод полягає в наступному: теплоносій, зазвичай перегріта водяна пара з температурою 105...115 °С, вводиться

безпосередньо в прес-форму, заповнену попередньо спіненими та витриманими на повітрі гранулами ПСБ. Проходячи між гранулами, пара нагріває їх практично одночасно по всьому об'єму порожнини прес-форми, що видно з даних про нагрівання та охолодження центральної зони та поверхні моделі.

Нагрів гранул струмами високої частоти. Заповнені гранулами прес-форми розміщують у полі високочастотного конденсатора. Ступінь нагрівання струмопровідних матеріалів в електричному полі високої частоти визначається їх діелектричною проникністю. Енергія змінного електричного поля завдяки діелектричним втратам матеріалу перетворюється на теплову енергію. Пінополістирол має низьке значення тангенсу кута діелектричних втрат ($\text{tg} = 0,0001$), тому практично не нагрівається в електричному полі високої частоти. Для підвищення tg використовують різні добавки, наприклад попередньо спінені гранули змочують водою, кількість якої становить $4\text{--}6 \text{ г/дм}^3$, в деяких випадках 8 г/дм^3 . З метою збільшення тангенсу кута діелектричних втрат tg у воду іноді додають солі та інші речовини. Тонкий шар води або розчину на поверхні гранул пінополістиролу при впливі на нього високочастотного електричного поля нагрівається, а пари води, що утворюються при цьому, розігрівають гранули.

2.7 Особливості конструкції прес-форми

Матеріалом прес-форм для пінополістиролових моделей може бути сталь, алюмінієві, мідні та інші сплави. Прес-форми можна також виготовляти із пластиків та склопластиків із наповнювачами, що підвищують їх теплопровідність. Температура розм'якшення пластику має бути вищою $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Загальною вимогою до всіх матеріалів є висока теплопровідність, стійкість проти корозії при контакті з теплоносієм (водою, паром, пароповітряною сумішшю), достатня механічна міцність та мінімальна адгезія при контакті з пінополістиролом. Сталеві прес-форми слід хромувати

для запобігання корозії. Прес-форми для ванного, автоклавного методів і методу теплового удару спінювання гранул виготовляють з різних алюмінієвих сплавів, найбільш прийнятних за теплофізичними властивостями та корозійної стійкості. Прес-форми для високочастотного нагріву повинні обов'язково виконуватись із струмопровідних матеріалів.

З метою зниження вмісту вологи в пінополістиролових моделях при ванному та автоклавному спінюванні гранул бажано виконувати в прес-формах перфорацію у вигляді отворів діаметром 0,5...2,0 мм, з кроком 30...100 мм, залежно від розмірів прес-форми та вимог до якості поверхні моделей. Щілинні отвори вент, що встановлюються на поверхнях, перпендикулярних до роз'єму пресформи, бажано орієнтувати у напрямку виймання моделі для полегшення її вилучення з прес-форми.

2.8 Виготовлення моделей з пінопласту механічною обробкою

Моделі для лиття за газифікованими моделями можуть бути виготовлені будь-яким цехом, що виробляє постійні дерев'яні моделі, оскільки пінополістирол легко обробляється вручну і на деревообробних верстатах.

На верстатах із пінополістиролових плит виконують окремі найпростіші конструктивні елементи моделей, які з'єднують при збиранні моделей склеюванням. Для різання пінополістиролу рекомендується використовувати пили з дрібним або зі сточеним зубом та загостреною ріжучою кромкою. Дискові та стрічкові пилки застосовують для розпилювання блоків на заготівлі. Пінополістирол може бути легко оброблений на спеціальних установках, де ріжучим інструментом є дріт, що нагрівається, наприклад, з ніхрому. Обробка пінополістиролу абразивним інструментом дає хорошу якість поверхні і практично не вимагає доведення. За допомогою фігурних абразивних інструментів можна виконувати різні піднутрення складної конфігурації, отвори та жолобники.

Оздоблювальні роботи, доведення розмірів, а також виконання зовнішніх ливарних радіусів можна проводити на шліфувальних верстатах. Оздоблення важкодоступних місць моделей слід проводити вручну наждачним папером різних розмірів. Поверхневі дефекти у вигляді вм'ятин, заглиблень у результаті викрашування гранул, а також технологічні отвори, що виходять під час механічної обробки, можна усунути заклеюванням тонким малозольним папером. Дефекти на поверхні моделей можна закладати восковими складовими, желатиною або малозольними смолами, що самотвердіють, тонкою поліхлорвініловою клейкою стрічкою.

Галтелі моделей виконують різними способами, залежно від радіусу сполучення стінок моделей та довжини. Якщо радіус жолобника менше 5 мм, то його можна виконати паперовою або поліхлорвініловою стрічкою. Якщо радіус жолобника більше 5 мм, його виконують безпосередньо в моделі механічною обробкою. Галтелі радіусом, що значно перевищує 5 мм, доцільно виготовляти у вигляді конструктивних елементів механічною обробкою, вирізкою за шаблоном гарячим дротом або спінюванням у спеціальних пресформах, а потім наклеювати на модель.

3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИПЛАВКИ МАЛОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

3.1 Газовий режим ливарної форми при заливанні розплаву

У будь-якій разовій ливарній формі можна розрізнити два періоди газового режиму. Перший період газового режиму ливарної форми визначається тривалістю заливання металом форми. Газова фаза у порожнині форми активно впливає на дзеркало рідкого металу. При цьому в висимості від складу газу можуть відбуватися процеси окислення та відновлення на межі метал-газ, а також розчинення та виділення різних газів.

Теплове розширення газів, що знаходяться в порожнині форми, та газифікація складових формувальної суміші визначають газовий тиск у порожнині, який протидіє гідростатичному напору металу, збільшуючи тривалість заливання. У цей період розпочинаються і хімічні реакції на межі метал-форми. Перший період газового режиму мало вивчений навіть за лиття у звичайні піщані (порожністі) форми.

Кінетика газовиділення при деструкції моделі. Пінополістирол інтенсивно дестругує в період заповнення форми \square в. Але й після закінчення процесу заливання відбувається газовиділення і навіть його зростання. Подальше зростання газовиділення вказує на те, що леткі продукти деструкції пінополістиролу конденсуються на стінках форми і в міру прогрівання форми розкладаються, збільшуючи її газотворність. Таким чином, у другій стадії газового режиму необхідно враховувати, крім газотворності стрижня (форми), додаткову газотворність від розкладання продуктів конденсації полістиролу.

Емпіричне рівняння газовиділення:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \tau_3^m, \quad (3.1)$$

де Q - обсяг газів, що виділилися, см^3 ; α - відносний коефіцієнт газовиділення; F - площа поверхні взаємодії між металом та моделлю, см^2 ; τ_3 - тривалість заливання, с.

Відносний коефіцієнт газовиділення визначає обсяг газів, що виділилися з одиниці поверхні моделі в одиницю часу під час заємодії металу та моделі у порожнині форми $\alpha = 1 \text{ см}^3/(\text{см}^2\text{с})$. Залежність коефіцієнтів газовиділення α , m від швидкості підйому металу в порожнині форми можна простежити на рис. 3.1.

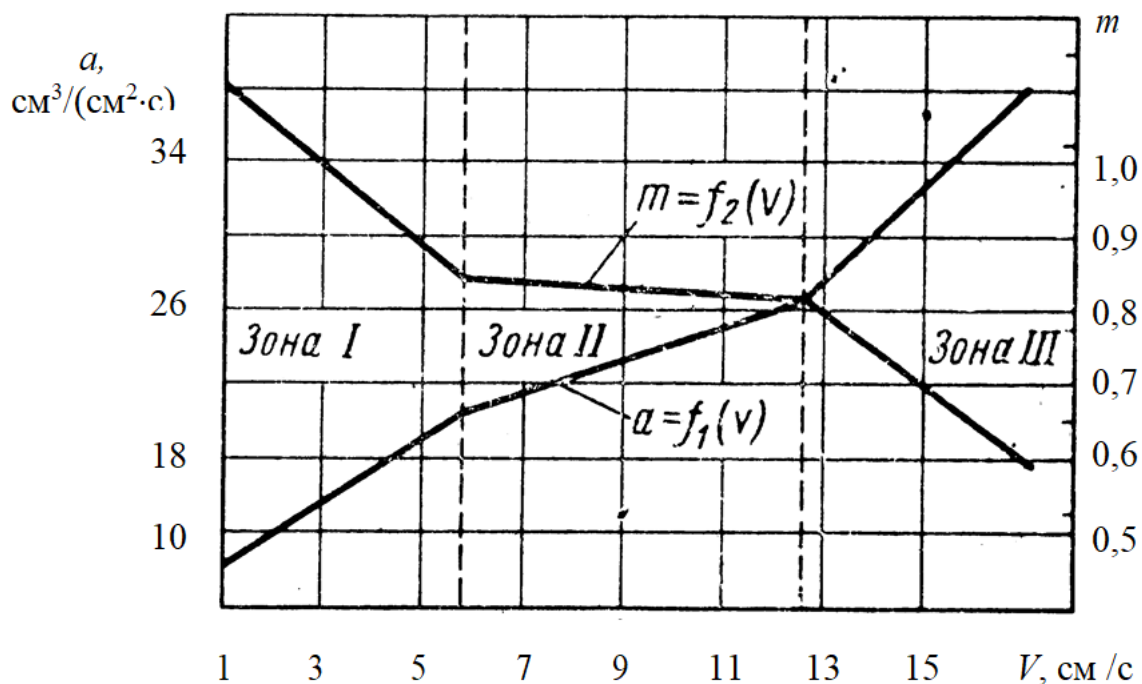


Рисунок 3.1 – Залежність коефіцієнтів газовиділення α , m від швидкості підйому металу в порожнині форми

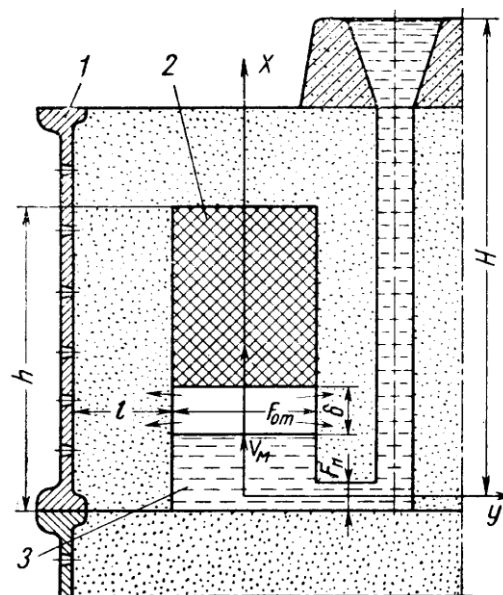
Між металом та моделлю утворюється зазор, де формується газова фаза продуктів деструкції полістиролу. Величина зазору залежить від температури металу, об'ємної маси моделі та її теплофізичних констант, гідравлічних властивостей форми швидкості підйому металу в порожнині.

При взаємодії моделі з пінополістиролу з розплавленим металом вона розкладається з утворенням газової, рідкої та твердої фаз; назвемо ці фази первинними. Рідка фаза під дією високої температури деструє з постійною

швидкістю, утворюючи вторинні газову та тверду фази. Вторинна газова фаза складається в основному з водню, метану та летких осколків розкладання пінополістиролу у вигляді стиrolу та його похідних з малою молекулярною вагою. Вторинна тверда фаза, як і первинна, складається з сажистого вуглецю та коксового залишку. Летючі продукти при температурі матеріалу форми будуть конденсуватися в її порах, утворюючи вторинну рідку фазу.

Так як швидкість розкладання пінополістиролу на леткі (вторинні та первинні) і тверду фазу цілком визначена, то вона може бути більшою, меншою або дорівнює розрахунковій швидкості підйому металу в порожнині форми.

При збільшенні розрахункової швидкості підйому металу швидкість розкладання пінополістиролу починає відставати від підйому металу, тому на дзеркалі металу накопичується рідка фаза, але вона, як і раніше, встигатиме розкладатися в зазорі. Водночас наявність рідкої фази на дзеркалі металу розширює площу взаємодії між моделлю та металом, що збільшує швидкість та кількість утворення газоподібних продуктів розкладання (рис. 3.2).



1 – опка; 2 – модель з пінополістиролу; 3 – метал меншою молекулярною вагою

Рисунок 3.2 – Схема взаємодії металу та моделі у формі:

У зоні контакту моделі та металу в порожнині форми виникає газовий тиск, від якого залежить фактична швидкість заливання форми. Ця швидкість значно відрізняється від швидкості, визначеної на підставі розрахунку тривалості заливки порожнистої форми газовий тиск, від якого залежить фактична швидкість заливання форми. Ця швидкість значно відрізняється від швидкості, визначеної на підставі розрахунку тривалості заливання порожнистої форми.

Другий період газового режиму ливарної форми починає розвиватися в першому періоді і особливо інтенсивно після закінчення заливання форми металом, коли відбувається кристалізація виливка та її охолодження. У цей період розвиваються процеси хімічної взаємодії між газами і поверхневим шаром виливки, що кристалізується, які носять в основному дифузійний характер. Другий період досить добре вивчений для лиття у звичайні разові форми.

При лиття за моделями, що газифікуються, другий період представляє небезпека через утворення газових дефектів у виливках. З'являється небезпека утворення газових дефектів, особливо в товстостінних виливках, оскільки до кінця заливки на межі метал-форма не встигає утворитися скоринка металу. Небезпека утворення газових дефектів збільшується ще тим, що до загальної газотворності суміші додається газотворність сконденсованих у стінках форми продуктів розкладання моделі. Потужність газоутворення у формі (стрижні) пропорційна прогріву форми (стрижня), а оскільки розподіл тепла описується законом квадратного кореня, то потужність газовиділення пропорційна квадратному кореню.

3.2 Взаємодія продуктів розкладання пінополістиролу з металом

При малій газопроникності форми чавун трохи насичується вуглецем деструкції полістиролу. Особливо це помітно у нижній частини виливки, у місці підведення металу, тобто в той період, коли рух металу ще не встановився і відбувається захоплення металом рідкої та твердої фаз продуктів розкладання моделі. Вуглець розкладання пінополістиролу, дифузуючи в рідкий чавун, виступає як готові центри графітизації, що веде до укрупнення та зміни форми графіту в структурі виливки.

Таким чином, для збереження фізико-механічних властивостей виливків із чавуну необхідно застосовувати високогазопроникні суміші.

Газова і тверда фази ще більшою мірою впливають на структуру сталевих виливків, особливо на поверхневий шар. Як зазначалося раніше, тверда фаза деструкції пінополістиролу складається з вуглецю. Що температура середовища, то більше утворюється твердої фази, бо глибина розпаду молекул стирола збільшується. При заливці сталю форми з моделлю з пінополістиролу вуглецю утворюється значно більше, ніж при заливанні чавуном. Тверда вуглецева фаза взаємодіє зі сталлю у вже розплавленому стані. У процесі фільтрації газового потоку в поверхневому шарі форми затримуються тверді частинки вуглецю, а також адсорбуються легкі фракції деструкції полістиролу, які в міру нагрівання частково руйнуються до вуглецю і водню, а частково переміщуються і конденсуються в глибших, холодних форми.

Таким чином, сталевий вилівок до моменту кристалізації оточений щільним шаром високоактивного карбюратора та відновною газовою атмосферою, що постійно виділяє атомарний вуглець. Висока температура та висока якість карбюратора створюють хороші умови для вуглеродження поверхневого шару виливка.

В даний час ще недостатньо досліджено вплив продуктів деструкції моделі на фізико-механічні властивості виливків з алюмінієвих та мідних

сплавів. Можна припускати, що даний метод не впливає на структуру та механічні властивості виливків з алюмінієвих сплавів, принаймні не знижує їх якості, оскільки при температурах заливки алюмінію полістирол розкладається в основному до легких пароподібних рідких фракцій і утворює дуже мало газоподібних продуктів.

3.3 Вплив продуктів розкладання моделі на якість поверхні виливків

Вплив продуктів розкладання пінополістиролу на формування поверхні виливки залежить від температури заливки та виду металу, гідравлічних властивостей форми та газового режиму тощо.

Чавун. При отриманні чавунних виливків продукти розкладання моделі мають подвійну дію. Тверда фаза, що складається з вуглецю, у разі рівномірного відкладення на стінках форми оберігає виливки від пригару. Відновна газова фаза, будучи джерелом виділення твердого вуглецю в результаті розкладання вуглеводнів під дією високої температури, також зменшує пригар на виливках. У той самий час грубі локальні відкладення вуглецю сприяють утворенню раковин лежить на поверхні виливки, а скупчення рідкої фази – утворенню хвилястої поверхні, газових раковин і дефекту типу випіт.

При температурах 650...1000 °С із газової фази випадає блискучий вуглець, що має дрібнокристалічну структуру, сажистий вуглець та кокс. Блискучий вуглець має вогнетривкість трохи нижче сріблястого графіту, але вище сажистого вуглецю. Він не змочується металом. При товщині плівки 0,1 мкм він щільно утримується на зернах піску і таким чином оберігає вилив від пригару. Виливки з чавуну, отримані за моделями з пінополістиролу, як правило, покриті плівками блискучого вуглецю. Дослідження показали, що з газової та рідкої фази виділяється чорний сажистий вуглець, який, стикаючись з металом, за високих температур 800...1200 °С перетворюється

на форму блискучого вуглецю. При значному скупченні сажистого вуглецю на поверхні виливка під ним завжди розташовується плівка блискучого вуглецю, причому плівки тим товщі, чим більше скупчення сажевого вуглецю і більше товщина стінки виливки. Після видалення плівки та скупчень вуглецю з поверхні виливки виявляються раковини різної глибини, частіше зібрані у хвилясту поверхню.

Якщо швидкість розкладання пінополістиролу можна порівняти зі швидкістю заливання форми металом, то процес розкладання до летких речовин і твердої фази відбувається в об'ємі зазору (рис. 3). Утворений вуглець захоплюється газовим потоком і в залежності від проникності суміші осідає на стінках форми або в глибших її шарах. У першому випадку на поверхні виливка з'являється тонкий шар блискучого вуглецю, який не спотворює поверхні і захищає її від пригару. У другому випадку виливок буде без специфічних дефектів, але можливий сильний пригар поверхні.

Якщо швидкість заливання перевищує швидкість розкладання пінополістиролу до летких речовин, то рідка фаза накопичується на дзеркалі металу. Вуглець, що утворюється в результаті розкладання рідкої фази на дзеркалі металу, почне накопичуватися на його поверхні, коагулюючи великі сполуки. З іншого боку, процес розкладання рідкої фази викликає переохолодження прилеглого шару металу та його місцеву кристалізацію. Ці локальні ділянки, що закристалізувалися, у вигляді лунок, заповнені сажистим вуглецем, при спокійному підйомі металу збираються у верхній частині виливка, утворюючи дефекти. За наявності турбулентних потоків продукти деструкції моделі збираються в якій-небудь частині виливки, утворюючи хвилясту поверхню, западини між гребінцями якої заповнені сажистим вуглецем.

При подальшому збільшенні швидкості заливки форми на поверхні металу, особливо в перший момент заливки, утворюється велика кількість рідкої фази, що викличе значне переохолодження поверхневого шару металу та утворення міцної скоринки, процес накопичення рідкої фази на якій

триватиме. . Під дією гідростатичного напору металу скоринка розірветься і відіжметься до поверхні форми, захоплюючи за собою рідку фазу, що накопичилася. Надалі процес накопичення рідкої фази може продовжуватися, тобто процес утворення твердої скоринки та її відтискання до поверхні форми може повторюватися.

Сталь. Внаслідок високої температури заливки стала глибина розкладання пінополістиролу значно більшою, ніж при заливанні чавуну. Однак через дифузію вуглецю в поверхневі шари сталевого виливка поверхневі дефекти, подібні до дефектів на чавунних виливках, не утворюються. При дуже швидкій заливці та низькій газопроникності форми на виливку з'являються дрібні газові раковини як результат впливу газової фази деструкції полістиролу.

Алюмінієві метали. За правильної технології заливки у високогазопроникні форми на виливках із алюмінієвих сплавів слідів взаємодії продуктів деструкції з поверхневим шаром виливки не спостерігається.

У зоні контакту моделі та алюмінієвого сплаву температура не перевищує 500 °С, тому розкладання моделі відбувається до рідких складових, летких при температурі контакту та при невеликій кількості продуктів горіння CO та CO₂. Твердої фази при розкладанні полістиролу не утворюється.

Якщо швидкість заливання перевищує швидкість просування фронту перетворення, то рідка фаза не встигне розкластися до летких і збирається на поверхні виливки або притискається до вертикальної стінки, утворюючи місцеві дефекти. В результаті переохолодження металу в місці контакту з рідкою фазою утворюються спаї, глибокі підкіркові раковини, зазвичай витягнутого типу. При отриманні алюмінієвих виливків необхідно враховувати, що розкладання полістиролу до летких йде з поглинанням тепла, а реакції горіння, які б компенсували втрати тепла, відсутні.

Найкращі умови для формування якісного виливка створюються у

випадку, якщо модель дестругує тільки до летких (пароподібних) продуктів, як у випадку взаємодії пінополістиролу з алюмінієвими сплавами.

Технологічний процес формування за моделями з пінополістиролу складається з наступних підготовчих та виробничих операцій: вибору формувальної суміші та методу формування; визначення необхідності застосування протипригарного покриття моделі та її товщини; визначення положення моделі у формі в процесі її заливання; вибору місця підведення живильників, конструювання та розрахунку літникової системи; вибору положення, конструювання та розрахунку прибутків, а також випорів; розрахунку вантажу для форми, особливо у разі виготовлення її із сухого піску, без сполучної добавки; визначення температури заливання форми металом.

3.4 Вибір формувальної суміші та методу виготовлення форми

При виборі формувальної суміші та методу формування необхідно враховувати низьку міцність матеріалу та легку деформованість моделі під дією зовнішніх навантажень, які не повинні перевищувати 1 кг/см². Тому такі методи формування, як струшування, пресування, формування піскометом та ін., неприйнятні для виробництва виливкі в моделям з пінополістиролу. Навіть формування ручними простими та пневматичними трамбуваннями потрібно виконувати дуже обережно, щоб не пошкодити модель. Найкраще застосовувати сипкі або рідкорухливі самотвердні суміші, що не вимагають додаткового ущільнення або для ущільнення яких достатньо вібрація.

Формувальна суміш повинна забезпечувати високу газопроникність форми в межах 200...500, мати хорошу податливість і вибивання, а також високу міцність при слабкому ущільненні як у холодному, так і нагрітому стані, зберігати властивості при багаторазовому використанні. Витрати на регенерацію мають бути мінімальними. Піщано-глиниста формувальна суміш

не має всіх зазначених властивостей, тому її рідко застосовують для даного методу лиття. Найбільше застосування знаходять різні самотверді суміші. Їхні склади та властивості можуть бути знайдені у будь-якому довіднику ливарника чи спеціальної літератури.

Противпригарні покриття. Одна з особливостей лиття за газифікованими моделями – це нанесення противпригарних покриттів на модель, оскільки форма не має роз'єму, а модель залишається у формі в процесі заливання. Противпригарне покриття виконує дві функції: захищає відливання від пригару (при заливці чавуну та сталі) та оберігає від утворення грубої поверхні внаслідок нерівномірного ущільнення суміші. Форми з наливних самотвердіючих сумішей мають рівномірну щільність, проте через високу пористість суміші необхідно застосовувати противпригарне покриття. Противпригарні покриття повинні відповідати таким вимогам: 1) мати високу газопроникність; 2) мати гарну адгезію до матеріалу моделі; 3) мати здатність швидко висихати і самозміцнюватися на повітрі; 4) мати високу міцність. Для цього методу лиття зазвичай рекомендуються швидковисихаючі фарби (табл. 5). Можна застосовувати й звичайні водні фарби: типу ГБ-2 при лиття чавуну, СТ-2, ЦБ - при лиття сталі та ТБ.

Кольорові сплави. Після фарбування модель витримується протягом доби. Фарбу наносять у кілька прийомів із підсушуванням кожного шару. Залежно від маси виливків товщина противпригарного шару може коливатися від 0,3 до 2,5 мм. Наприклад, завод Станколіт для чавунного лиття рекомендує фарбу, що складається з 91,6 % аморфного графіту, 5 % сріблястого графіту, 5,5 % деревного пеку, 1,9 % полівінілбутиралу, 11 % розчинника 646, 45 % гідролізованого. Щільність готової фарби 1,14...1,16 г/см³.

3.5 Вибір положення моделі у формі

Якщо прийняти кількість газів, що виділилися при розкладанні моделі пропорційним величині фронту перетворення речовини $F_M \xi$ (де F_M – наведена середня площа поперечного перерізу моделі, а ξ – глибина фронту перетворення), то гази будуть видалятися із зазору між металом і моделлю через площу, утворену периметром моделі Π_M та величиною зазору δ , тобто величиною $\Pi_M \delta$:

$$\frac{F_M \cdot \xi}{\Pi_M \cdot \delta} = \lambda. \quad (3.1)$$

Формула характеризує відношення кількості газів, що утворюються на одиницю площі початку фільтрації. Ця величина названа напруженістю газового режиму. Чим більше λ , тим більше продуктів розкладання накопичується у зазорі δ ; в результаті збільшується небезпека появи дефектів на поверхні виливків та ймовірність зміни їх фізико-механічних властивостей. Для спрощення виразу λ можна припустити, що $\xi = \delta$, тобто глибина фронту перетворення моделі дорівнює зазору між моделлю та металом. Це припущення можна зробити також тому, що $\Pi_M \gg \delta$ і $F_M \gg \xi$; тоді

$$\lambda = \frac{F_M}{\Pi_M} \quad (3.2)$$

Досліди показали, що чим менше λ , тим якісніше виходить вилівок. Основна умова визначення положення моделі у формі – це створення мінімальної напруженості газового режиму у формі. Модель потрібно розташовувати так, щоб відношення площі поперечного перерізу її щодо напрямку підйому металу у формі до периметра у цьому перерізі було мінімальним. Це означає, що модель необхідно розташовувати вертикально у

формі відносно більшого розміру або похило, що легко можна здійснити за даного методу лиття.

Робочі поверхні виливки слід розташовувати у нижній частині форми або вертикально. Положення моделі у формі має забезпечувати зручність підведення литникової системи та встановлення прибутків.

3.6 Розрахунок та конструювання літникової системи

При лиття по моделях, що газифікуються, до литникових систем пред'являють ті ж вимоги, що і при лиття в разові форми. Розрахунок будь-якої литникової системи заснований на визначенні оптимального часу заливання форми металом, яке можна знайти виходячи з умов оптимальної швидкості підйому металу в порожнині форми:

$$\tau_{\text{зал}} = \frac{H}{v} \quad (3.3)$$

где $\tau_{\text{зал}}$ – час заливання форми металом; H – наведена висота виливки; v – оптимальна швидкість підйому металу в порожнині форми.

На підставі проведених експериментів встановлено, що оптимальна швидкість підйому металу дорівнює 3...5 см/с при температурі заливки чавуну 1320...1380 °С та щільності моделі з пінополістиролу 0,018...0,024 г/см³. Великі значення швидкості відповідають меншим перерізам виливки. Для виливків зі сталі оптимальна швидкість має бути вищою, а алюмінієвих – нижче. При дуже швидкому заливанні у виливку з'являються газові дефекти та неметалеві включення, а при повільній заливці – спаї та недоливи. При розрахунку елементів литникової системи можна користуватися традиційними формулами, що враховують час заливання або швидкість підйому металу у формі. Ю. А. Степанов [5, 6] запропонував розрахунок вузького перерізу литникової системи при лиття за

газифікованими моделями за формулою:

$$K_{\text{пит}} = \frac{K_{\text{Пвилл}} \rho_{\text{вилл}}^2 H_{\text{р}} S_{\text{мод}} \cdot 2,56 \sqrt{\alpha_{\text{мод}} \tau_{\text{зал}}}}{G_{\text{вилл}} \rho^2 g^2 \mu \sqrt{2gH_{\text{р}}}} \quad (3.4)$$

де K – газопроникність форм; $\rho_{\text{вилл}}$ и $\rho_{\text{мод}}$ – щільність виливки та моделі відповідно; g – газотворна здатність матеріалу моделі; $\alpha_{\text{мод}}$ – коефіцієнт теплопровідності моделі; $G_{\text{вилл}}$ - вага виливки; $\Pi_{\text{вилл}}$ – периметр виливки у напрямку, перпендикулярному до руху розплаву; $S_{\text{мод}}$ – поверхня моделі; $H_{\text{р}}$ - розрахунковий напір металу; μ – коефіцієнт витрати литникової системи.

Щоб уникнути рясного диму та кіптяви, необхідно перекривати випори газопроникними пробками. У міру заповнення випору металом пробка видавлюється ним і відкриває вільний вихід металу.

3.7 Підготовка форми до заливання металом

Форма, приданому, методі лиття не має роз'єму, проте часто виконується з декількох опок. У порожнині форми в перший момент заливки розвивається значний тиск газу, величина якого залежить від багатьох факторів. Якщо газовий тиск перевищить силу опору форми розриву, то може відбутися видавлювання верху форми або її розрив у найслабшому місці. Тому форму потрібно навантажувати. Розрив форми можна запобігти при дотриманні наступної умови:

$$p_{\text{ф}} F_{\text{ф}} < \sigma_{\text{в}} S_{\text{ф}} + G_{\text{ф}} + Q_{\text{г}}, \quad (3.5)$$

де $F_{\text{ф}}$ - площа моделі в небезпечному перерізі, см^2 ; $\sigma_{\text{в}}$ – межа міцності на розтягування формувальної суміші, $\text{кг}/\text{см}^2$; $S_{\text{ф}}$ – площа поперечного перерізу форми без урахування $F_{\text{ф}}$, см^2 ; $G_{\text{ф}}$ – вага формувальної суміші вище небезпечного перерізу, кг ; $Q_{\text{г}}$ - вага вантажу, кг .

З нерівності (3.5) визначимо вагу вантажу:

$$Q_{\Gamma} = p_{\phi} F_{\phi} - \sigma_{\text{в}} S_{\phi} + G_{\phi}. \quad (3.6)$$

Значення коефіцієнтів a і m , що характеризують газовиділення, наведено у табл. 3.1, в інших випадках ці коефіцієнти є досідним шляхом; $F_{\text{оп}}$ – площа взаємодії моделі з формою, можна прийняти як площу поверхні виливки; T_{ϕ} – температура в зоні перетворення.

У разі наявності у виливку піднутринь та інших розвинених частин, на які діє підйомна сила металу, у формулу (3.6) необхідно ввести ще $\gamma H S'$:

$$Q_{\Gamma} = p_{\phi} F_{\phi} + \gamma_{\text{м}} H_{\text{р}} S_{\phi} - \sigma_{\text{в}} S_{\phi} + G_{\phi} \quad (3.7)$$

де $H_{\text{р}}$ – гідростатичний напір металу, см; S_{ϕ} – площа перерізу форми, що піддіється дії здіймаймальної сили металу, см^2 .

Таблиця 3.1 Значення коефіцієнтів газовиділення a та m при $T = 1350$ °С

Швидкість підйому металу у формі, см/с		a , см/с	m
Розрахункова	Фактична		
4,0	3,43	17,2	0,824
5,85	5,06	21,3	0,755
12,5	5,56	26,3	0,735
17,3	8,90	37,6	0,553

3.8 Технологія десульфурації чавуна

У світі використовується ціла низка методів десульфурації чавуну, проте три методи нині використовуються у виробничому комплексі. Процес Kanbara Reactor (KR), з вапном в якості агента, моноприск магнію (ММІ), з магнієм в якості агента (також згадується в літературі як Ukraina-Desmag process) і процес спільного впорскування, з використанням магнію і вапном

або карбида кальцію (всі три агенти) як реагент. Реагентами, використаними в KR, MMI та спільної ін'єкції, є вапно, карбід кальцію та магнію. Усі процедури ґрунтуються на наступних хімічних реакціях:

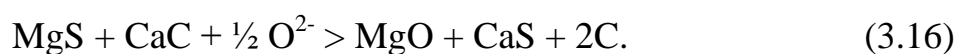


Реакція (3.10) у три рази швидше, ніж реакція (3.9) і в 20 разів швидше реакції (3.8). Це означає, що магній є більш швидким реагентом для видалення сери, ніж карбид кальцію або вапном.

Після реакції між реагентом і розчиненою серою, що утворюються CaS і MgS (які мають більш низьку щільність, ніж рідкий чавун) спливають на поверхню, щоб сформувати шлаковий шар. Коли MgS досягає поверхні, він контактує з кислородом, що призводить до наступної реакції:



Отримана сера розповсюджується оборотно в рідкий чавун. Цей процес називається ресульфуратія. Ресульфуратія за допомогою реакції (3.11) може бути підтримана двома шляхами - уникати контакту між MgS і повітрям, що призводить до технічних проблем, або пов'язувати серу з кальцієм, щоб сформувати більш стабільні CaS:



Обладнані CaS і MgO залишаються в шлаку в більш стабільних твердих водять у чавун через обертові фірми (середня швидкість 100-120 об/хв) разом

з газом носителем (обічно азотом), або реагент добавляють сверху.

Через кінетику реакції магній – більш швидкий агент, чим альтернативні варіанти на основі кальцію, але вапно і карбид кальцію мпають більш низьку рівність з серою в рідкому чавуну, чим магній.

Для процесса десульфурзації це означає, що магній необхідний для скорочення процесу, а вапно або карбид кальцію необхідні для досягнення низьких концентрацій сери.

Процес KR було розроблено в Японії компанією Nippon Steel в 1963 році. Відсотковість магнію в Японії стало приводом шукати альтернативи.

В процесі KR вапно використовуються в якості основного агента. Іноді також CaF_2 (близько 10% потоку) і / або додають Al_2O_3 . Реагент або в Фурма озброєна чотирма масивними лопатками, які створюють турбулітність в гарячому металі.

В умовах турбулентності розмір пухирців транспортного газу менше, а час перетворення CaO в чавуні більше, ніж при статичній інжекції. Збільшення часу перебування вапна має велике значення для процесу, так як відповісти відносно повільний реагент. Вапно в процесі KR використовується більш ефективно, це означає, що для процесу потрібно менше вапна і воно може бути не кращої якості. Також стінки ковша страждають від підвищеного зносу. В наслідок турбілентності потрібно робити більший надводний борт (звичайно на 1 м більше, ніж для сумісної інжекції) в ковші.

Процес MMI був розроблений в 1969-1971 гг. в Національній академії наук України. Процес Ukraine-Desmag, як це іноді називають, сьогодні використовуються в основному в Польщі і Україні, а також у кількох європейських странах. Тести з цим методом в Північній Америці не пішли з-за і високого рівня небезпеки.

У процесі MMI гранульований магній з покриттям вводять через форму у формі дзвону. Колокол на кінці фірми використовується в якості іспитової камери для магнію (який має точку кипіння $1107\text{ }^\circ\text{C}$). Також

використовуються фірми із виховної камери. В обох випадок викорінення магнію викликає достатню турбулентність, щоб забезпечити найкраще розподіл реагентів в гарячому місці.

Для того, щоб зменшити шлак на більшості металургійних заводів у верхню його частину додають вапно або флюс.

Соінжекція магнію - метод, який поєднує перевагу обох способів. Магній дозволяє видалити серу, а сповільнення процесу дозволяє досягти малих її концентрацій. Сірку іноді замінюють карбідом кальцію, який є не тільки ефективним, але з-за проблем з шкідливістю цей варіант практично не використовується на нових металургічних заводах. Сумісне введення використовуються у всьому світі, і процес вважається стандартною практикою.

Реагенти зберігаються в різних розпилювачах і змішуються тільки всередині нагнітальної лінії. Реагенти вводять в гарячий метал за допомогою прямої фірми з одним відкриттям на дні або двох або чотирьох відтворень за сторонами. Транспортно-газовий газ (органічний азот) використовується для забезпечення плавної інжекції. Турбулентність в гарячому металі створюється газом-носієм і магнієм, який вноситься. Це забезпечує достатню турбулентність, розділення розплаву по всьому ковші. Перевага сумісної інжекції в тому, що відношення між магнієм і карбонатом CaC_2 можуть бути змінені, якщо цього потребує ситуація. Наприклад, якщо є достатньо часу, можна ввести більше соди і менші магнію, що робить процес більш гнучким і економічнішим.

Всі вищезазначені методи десульфатції мають свої сильні і слабкі сторони. Це залежить від конкретних обставин і вимог сталелітійного заводу. Тим не менше три спокоба можна порівнювати по кількох важливим технічним і металургійним суперечкам дефікації чавуну.

Стан проблеми залежить від того, як складові можуть реагувати зі сіркою. Так як магній набагато швидший, то процес MMI і сумісне введення швидше, ніж процес KR. Процес KR вимагає більшого часу, щоб запобігти

поверненню домішок з доменного шлаку в рідкий стан під час перемішування. Процес КР займає в середньому на 10–20% більше часу, ніж поєднаний.

Процес ММ займає менше часу, ніж сумісна інжекція. Тим не менше оба процеса можуть бути реалізовані тільки тоді, коли всі частинки MgS досягнуть шару шлаку (що може займати до 8 хв). В цілому процес ММІ швидчий, ніж сумісна інжекція з магнієм та вапном (приблизно на 5%; але сумісне додавання магнія и карбїду кальцію в загалі швидче, ніж ММІ). Процес КР є найбільш трудомістким. Втрата заліза під час видалення шлаку є розрізною проблемою для металургійних заводів. Залізо тривається двома різними способами. Про час орозування шлаку краплі заліза потрапляють у пастку в шлаку, оражаючи емульію зі шлаком. У цілому близько 50% маси шлаку - це залізо в емульсії. Це означає, що втрати емульсії можуть бти сведені до мінімальних шляхів скорочення іншого кількості шлаку.

З-за кількості шлаку, що створюється в процеці КР, очі втрати заліза, як правило, в 2-3 рази більше, чим для сумісної ін. Процес ММІ має низькі втрати заліза емульсії, так як орозрізняється трохи шлаку (в 7 разів менше, ніж у інжекції). Тим не менше через низьку основність ММІ шлак може мати б більше заліза в емульції, чим шлак, який містить кальцій. У дійсності втрати залози в процесі ММІ приблизно однакові, як у сумісній ін'екції - близько 1% загальної маси. Для процесу КР очі втрати заліза становлять 2 - 3%.

3.9 Вплив перегріву, температури розливання та швидкості кристалізації на структуру чавуну

Нагрів рідкого чавуну вище за температуру ліквідус, супроводжується розчиненням графіту і кристалів цементиту. При малому перегріві чавуну та його розливом у форму формуються великі платівки графіту. При збільшенні температури перегріву платівки стають дрібнішими.

При розливанні сплаву у форму з температурою перегріву 1450° у чавуні з'являється більше зв'язаного вуглецю, ніж умовах низького перегріву. Структура графіту стають дрібною, а характеристики чавуну із підвищенням температури перегріву покращуються.

Перегрів чавуну в електричній печі за високої температури призводить до спінювання шлаку з подальшим кипінням ванни. Це призводить до подрібнення графіту і зумовлює рясна виділення окису вуглецю. Перегрів чавуну до $1500-1550^{\circ}$ С призводить до утворення пористості. Цей процес вимагатиме запровадження нової операції - розкислення та усунення активного закису заліза. При високій температурі розливу чавуну з доменної печі в межах $1500-1550^{\circ}$ С графіт кристалізується у вигляді великих пластин, розплав гранично насичений розчиненими газами. Тому чавун має низькі властивості. Температура розливання чавуну у форми визначається товщиною стінок виливків. Для виливків з меншою товщиною стінок температура заливки має бути вищою.

Для чавуну та його сплавів застосовно загальне правило: мала швидкість кристалізації призводить до укрупнення первинних зерен аустеніту в чавуні доевтектичного типу та первинних зерен графіту або цементиту в чавуні заевтектичного складу. При максимальній швидкості кристалізації чавун твердне у вигляді білого. Об'єм вільного графіту наближається до нуля, а вуглець перетворюється на пов'язану форму - цементит. При зниженні швидкості кристалізації утворюється так званий половинчастий чавун, який у своїй структурі має як білий, так і сірий чавун.

При більшому уповільненні швидкості кристалізації чавун стає сірим. У такому чавуні вуглець виділяється у вигляді пластинчастого графіту, а також у вигляді евтектичного графіту. При значному уповільненні процесу кристалізації графіт виділяється у формі прямих пластин на феритовому полі металофази. При малій швидкості охолодження розмір пластінок збільшується.

3.10 Практична реалізація та якість ливарних виробів

Основна перевага лиття по адитивних моделях, що випаляються, в порівнянні з традиційною технологією, що передбачає виготовлення виплавлених моделей в пресформі, полягає в скороченні часу отримання першої виливки на величину до 90 %, зниження витрат і різних ризиків.

Використання FDM-моделей, що випаляються, передбачає виконання робіт у наступній послідовності:

– побудова тривимірної графічної моделі ливарної моделі та конвертація її у формат поверхневої моделі, необхідний для роботи 3D-принтера;

- вирощування моделі виливки;
- постобробка поверхні моделі;
- виготовлення традиційної моделі стояка та складання модельного блоку;
- формування ливарної оболонки;
- видалення з ливарної оболонки модельного складу;
- випалювання моделі виливки та видалення незгорілих залишків;
- формування ливарної форми в опоку та її прокалювання;
- заливання розплаву в ливарну форму.

Формування ливарної оболонки, заливка розплаву і всі наступні операції ідентичні традиційній технології лиття за моделями, що виплаваються. Нижче наведено опис робіт, які мають суттєві особливості через використання пластикових моделей.

Пошарове вирощування деталей має специфічні особливості, які необхідно враховувати для отримання необхідної якості поверхні. Причому FDM-технології це виражено особливо яскраво.

Сутність цього процесу полягає у укладанні розігрітої полімерної

нитки. У площині свого столу 3D-принтер може відтворювати контур деталі з високою точністю, що визначається точністю приводів. В результаті криволінійні поверхні у горизонтальних перерізах виходять гладкими (рис. 3.1, а). У вертикальних перерізах похилих поверхонь досягти такої ж якості неможливо, кривизна поверхонь тут формується за допомогою зсуву шарів щодо один одного. Якщо нахил поверхонь щодо горизонталі досить великий, то нитки вищерозміщених шарів зміщуються і поверхня стає ступінчастою (рис. 3.1, б). У цьому випадку з одного і того ж файлу з тривимірною графічною моделлю можна отримати різні вироби. Тому перед вирощуванням моделі необхідно оцінити геометрію майбутнього вилівка, наявність припусків на поверхнях та встановити модель на столі принтера оптимальним чином. Зменшення похибок також сприяє використанню мінімального діаметра нитки. Для найпоширеніших моделей принтерів мінімальне значення становить 0,178 мм. Варто відзначити, що зменшення товщини шару призводить до збільшення часу вирощування виробу та відповідно до збільшення його вартості.

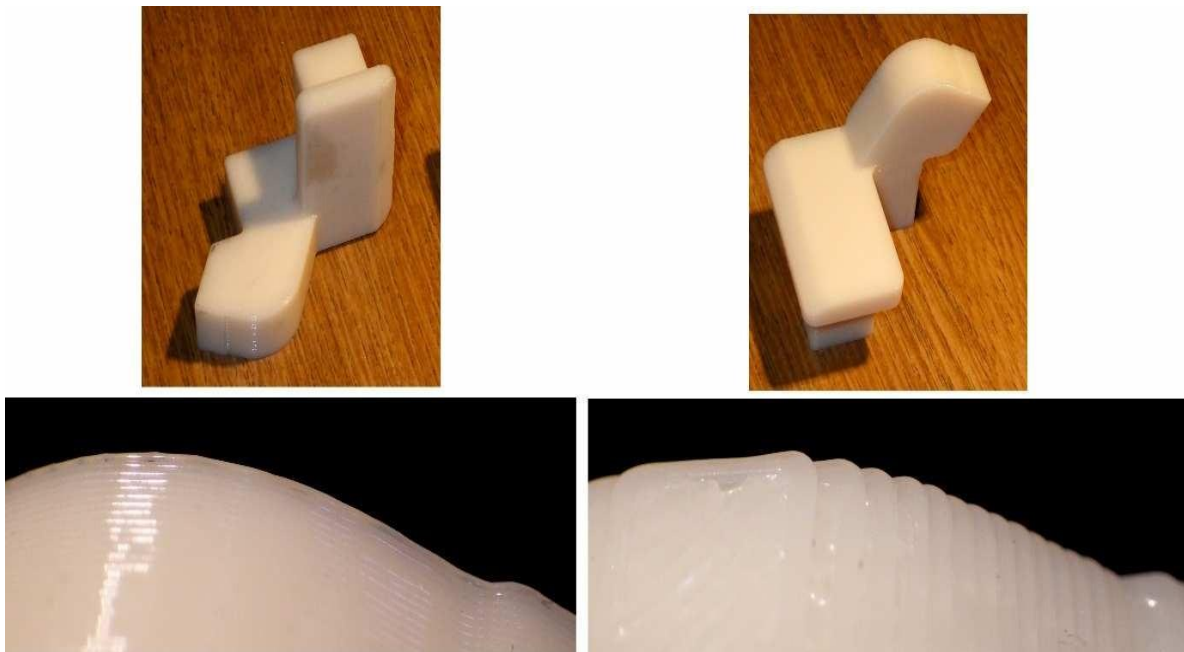


Рисунок 3.1 – Залежність похибок контуру деталі від її орієнтації на столі 3D-принтера

При використанні FDM технології навіть оптимально встановлена на

столі принтера деталь матиме мікрорельєф поверхні, обумовлений схемою укладання ниток. Оскільки ливарна оболонка точно копіює поверхню моделі, ця текстура буде відтворена на поверхні виливки.

Для згладжування поверхні FDM-моделей в основному використовуються три способи доопрацювання:

- шпаклівка та/або зачистка поверхні;
- хімічне оплавлення поверхні у парах розчинника;
- хімічне оплавлення поверхні шляхом занурення у розчинник.

Перший спосіб для вирішуваного завдання нераціональний через велику трудомісткість, утруднення подальшого випалювання моделі, зміни її розмірів.

Хімічне оплавлення поверхні вимагає мінімальних трудовитрат, забезпечує гарне згладжування. Обробка в парах розчинника до того ж є найбільш «м'якою» з точки зору збереження форми та розмірів тонкостінних моделей. Продати її просто. Достатньо залити в ультразвукову ванну з підігрівом розчинник та створити над ванною замкнутий об'єм, у якому помістити деталь. Проте таке встановлення буде вибухопожежонебезпечним.

Спосіб занурення в розчинник вдало поєднує в собі простоту реалізації, відносну безпеку, достатню ефективність та м'якість на деталь. У цьому варіанті моделі виготовлялися з АБС-пластика. У цьому випадку можливе використання будь-яких розчинних його рідин. Насправді найчастіше використовується ацетон. Однак проведені експерименти показали, що він має дуже вузьке «вікно» часу обробки. Крім чіткого витримування часу обробки виникає проблема визначення цього часу для конкретної деталі з відповідними наслідками як псування перших зразків і т.п.

В результаті пошуку кращого рішення було зроблено вибір на користь суміші метиленхлориду та трихлоретилену. Цей склад м'яко впливає на модель, тривалість обробки в ньому становить десятки секунд, що забезпечує стабільність якості та зручність роботи. Для роботи з цими речовинами

досить звичайної витяжної шафи, яка є в будь-якому цеху. Занурювати модель слід таким чином, щоб розчинник не проникав у її внутрішні порожнини. Після занурення в розчин модель піддається сушінню природним способом протягом кількох годин.

Короткочасна обробка зберігає мікрорельєф та надає блиску поверхні. У міру збільшення часу обробки мікрорельєф згладжується або зникає повністю, пори між растрами і контурами запливаються, поверхня стає глянсовою (рис. 3.4). На якість результату значно впливає людський фактор.

Необхідно відзначити, що за кордоном у подібному розчині використовується в невеликій кількості третій компонент - мономер, що забезпечує створення на поверхні моделі тонкого блискучого шару і прекурсором. Він був виключений із розчину, оскільки необхідний результат вдалося отримати і без нього.

Стояк литникової системи має більші габарити. У чинному ливарному виробництві завжди є набір пресформ для уніфікованих стояків кількох типорозмірів, що поряд із багаторазовим використанням воску забезпечує мінімальні витрати.

Складання модельного блоку здійснюється вручну із застосуванням паяльника. Адитивні моделі виливків монтуються шляхом вплавлення в модель стояка кінців живильників. Для надійної фіксації на кінці живильників передбачаються невеликі лапки.



Рисунок 3.2 – Поверхня FDM-моделі до та після обробки

Особливе значення для отримання якісних виливків має чистота ливарної форми, що характеризується повнотою видалення матеріалу моделі. За наявності високої температури та повітряної атмосфери ABS-пластик вигоряє з утворенням вуглекислого газу та в менших кількостях інших сполук. За відсутності кисню він також зазнає термічного руйнування, що має дещо інший механізм. Необхідно відзначити, що ABS-пластик за своєю природою не є найкращим матеріалом для випалювання. У певних умовах може давати сполуки, стійкі до дії високих температур. За даними зарубіжних досліджень спалювання ABS-пластика при температурі 575 ° C у кисні дає зольність 0%, а в безкисневій атмосфері – 2%.

Зменшення маси матеріалу, що випалюється і продування форми після прожарювання стисненим повітрям підвищують чистоту ливарної форми. Однак найкращі результати показують охолодження форми після випалювання та промивання водою. У цьому випадку перед заливкою прокалювання проводиться за стандартним циклом. Отримані виливки мають гарну якість поверхні (рис. 3.5). зольність 0%, а в безкисневій атмосфері – 2%.



Рисунок 3.3 – Виливки, отримані за технологією FDM-моделей, що випалюються

Описана технологія дозволяє скоротити термін отримання першої

виливки з 3 ... 4 місяців до тижнів, знизити ризики витрат на виготовлення і доопрацювання прессформ, пов'язаних зі зміною конструкції деталі.

Таким чином, лиття за випалюваними (або газифікованими) моделями має широкі можливості. Якщо необхідно виготовити одну вилівку складної конфігурації та досить великих розмірів, для якої потрібне виготовлення складної моделі, що веде до великих витрат, то можна виготовити модель з пінополістиролу, який легко обробляється. Тому витрати на виготовлення моделі знижуються.

Особливість лиття за моделями, що випалюються, полягає в тому, що у формі може бути відсутнім роз'єм. Тому виключаються дефекти, пов'язані з цим недоліком, а саме: зміщення частин вилівоків, розташованих у верхній та нижній напівформах. Видалення моделі проводиться випалюванням. При цьому продукти згоряння моделі осідають на стінках форми і фільтруються через формувальну суміш. Ця особливість накладає специфічні вимоги до розробки технології. Насамперед матеріал моделі має бути по можливості найменш газотворним. Найбільш підходящим матеріалом для цих цілей є пінополістирол, який має низьку щільність (0,01...0,05).

Викладені в роботі особливості при термодиструкції моделі для різних температурно-часових режимів дають повне уявлення про ці процеси, що дозволяє врахувати їх при розробці технології. Модель форми може видалятися після операції формування шляхом випалювання або залишатися у формі до самої заливки. У процесі заливання вона видаляється випалюванням (термодиструкцією) від тепла рідкого металу. Це дозволяє використовувати форму з невисоким ступенем ущільнення або із сухого піску. Це знижує трудомісткість формування.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Основні шкідливості та небезпеки

При виробництві ливарних сплавів на основі чавуну основними шкідливими факторами є світлове тепло-, газо-випромінювання, пиловиділення, а також шуми та вібрація. Найбільше тепловипромінювання відбувається при виплавці і приготуванні сплавів, виливці продукту, плавці фільтростатків і різних лігатур, розливу металу, що виробляється менше, проте достатня кількість тепловиділень при процесах сушіння ковшів і різних технологічних операціях.

Найбільшого теплового опромінення піддається робочий персонал, перебуваючи на близькій відстані в зоні розливу розплаву. Інтенсивність теплової радіації при цьому коливається від 28,5 до 37 Дж/(см²·хв) залежно від ступеня наповнення рідким металом розливного ковша, температури та величини струменя металу, що випускається з печі. Таким чином, наявність потужного обладнання для нагрівання розплавленого металу зумовлює величезне тепловиділення, інтенсивне інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання. У промислових корпусах температура повітря на обслуговуючих майданчиках нерівномірна, відносна вологість низька менше 30%. Створення нормальних метеорологічних умов у корпусах вирішується у комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень та організації аерації, припливно – обдувної вентиляції та кондиціонування повітря.

Другим за значимістю, але більш шкідливим фактором при виробництві сплавів на основі чавуну є газопиловиділення, яке залежить від фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів і сплаву, що

виплавляється. За розрахунками матеріального балансу плавки, газу становлять 75-70% всіх продуктів плавки.

До наступних чинників, що впливають умови праці робітників, відносять шум, вібрація, висока інтенсивність світіння нагрітого сплаву. Джерелами шуму є установки гуркотіння, дроблення, розмелювання, рух конвеєрів і кранів, робота вентиляторів, машини з чищення ковшів та багато іншого. Рівень шуму обладнання коливається від безпечного 60дБ до небезпечного понад 100 дБ та регламентується ГОСТом 12.1.003-83.

Вібрація на ділянці плавки та розливання спостерігається в основному середньо- та низькочастотна. Викликається вона працюючими потужними механізмами (редуктора, електродвигуни та інших.), і зазвичай не поширюється великі відстані.

При операціях з обслуговування печей та міксерів можлива сліпуча дія променів видимого спектру у поєднанні з інфрачервоним та ультрафіолетовим випромінюванням. Основним джерелом випромінювання є вакуум - фільтрувальні печі, міксера, печі ІАТ, гарячий метал та шлак, а також небезпечне випромінювання на робочому місці зварювальника.

До основних небезпек належить робота з рідким і гарячим металом, а також робота в безпосередній близькості до переміщення сировини, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва, пов'язаних із застосуванням різних підйомних та транспортних пристроїв, що створюють потенційну небезпеку. За ступенем впливу на організм людини сировина, що використовується при виробництві сплавів, здебільшого відноситься до 4 класу небезпеки, тобто малонебезпечні речовини.

Вибухонебезпечними є водоохолоджувані елементи печей, при порушенні герметичності яких вода, потрапляючи в робочий простір печі під дією високої температури, призводить до бавовни або вибуху з викидами рідкого металу. До вибуху також може призвести добавка шихти і легуючих елементів як в піч, в міксер, так і виливання в ківш або ливарні форми не

прожарені, сирі, замерзлі, а також скупчення в печі легкозаймистих речовин, що утворюються в ході технологічного процесу.

Перелічені потенційні небезпеки найчастіше виявляються при екстремальних відхиленнях, які нерідко виникають у результаті температурних напруг фазових та хімічних процесів, при технологічних порушеннях виробництва. Все викладене зумовило віднесення цехів з підготовки та виплавки алюмінієвокремнієвих сплавів до цехів з підвищеною небезпекою, тому допуск дозволяється лише особам, які знають специфіку виробництва у поєднанні з питаннями безпеки праці. У таблиці 4.1 наведено фактори виробничого середовища трудового процесу та заходи щодо їх усунення, які мають місце на металургійній ділянці електротермічного цеху.

Таблиця 4.1 Технічні заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце встановлення
1	Запиленість	Витяжна вентиляція	Вентилятор типу УЛ7	$N=1460\text{мін}^{-1}$ $Q=21700\text{м}^3/\text{ч}$ $V_k=5,94\text{м/с}$	Разливочний конвейер
2	Запиленість	Респіратор	' Респіратор Пелюстка 40		Індивідуально
3	Шум	Навушники протишумові		Придатний до 110 дБ	Індивідуально
4	Температура	Утеплена куртка, ватяні штани			Індивідуально

5	Шкідливі хімічні речовини	Витяжна вентиляція, респіратор костюм х/б, рукавиці			Індивідуаль но
---	---------------------------------	-----------------------------------------------------------------	--	--	-------------------

4.2 Методи усунення шкідливостей та небезпек

Усі методи усунення шкідливостей і небезпек діляться на колективні та індивідуальні. Боротьба з тепловим випромінюванням, що походить від обладнання, полягає в облаштуванні захисних екранів, що закривають персонал від джерела випромінювання. Так, на горнових майданчиках застосовують водоохолоджувані екрани, які помітно знижують теплове випромінювання. Також використовують екрани з прошарком з азбокартону, які є досить ефективними при менших теплових випромінюваннях. Крім того, персонал використовує індивідуальні засоби захисту тіла, рук, очей, голови, обличчя та органів дихання, що застосовуються постійно.

Для забезпечення нормального утримання повітряного середовища робочих місць застосовується припливна та витяжна вентиляція, а також аспірація та аерація. Витяжна вентиляція видаляє шкідливі пил і гази з робочої зони, а припливна - забезпечує необхідний приплив повітря, попередньо охолодженого, підігрітого, зволоженого і очищеного, на робочі місця для компенсації забрудненого і нагрітого повітря, що пішло.

Аерація застосовується для обміну та часткового видалення забрудненого повітря з корпусу цеху. Аспірація є місцевою витяжною системою і проектується в найбільш несприятливих місцях по пилегазовиделенню і служить для виключення попадання пилу і газу в робочу зону. При роботі в сильно запилених умовах, де колективні засоби не справляються із завданням, додатково використовують засоби

індивідуального захисту - респіратори, а при необхідності фільтруючі протигази.

Джерела шуму мають величезні габарити, які нереально ізолювати від робочої зони. Для зменшення рівня шуму влаштовуються спеціальні пульти з шумоізолюючими стінами, а також застосовують шумоізолюючі навушники. По можливості шумне обладнання розташовують за шумопоглинаючими стінами.

Для захисту органів зору від яскравих відблисків металу та вогню персонал використовує затемнені окуляри, що поглинають ультрафіолетові та видимі промені. Для огороження робочої зони плавильника та зварювальника використовують спеціальні непрозорі екрани.

Для запобігання травмуванню персоналу від механічних пошкоджень та впливу на нього розплаву сплавів до роботи повинен допускатися навчений персонал у відповідному спецодязі. Також на всі елементи механізмів, що рухаються, встановлюють захисні огороження, наносять попереджувальні сигнали і колірні покажчики, використовують звукову сигналізацію. Категорично забороняється перебування сторонніх осіб у виробничих корпусах.

Основною вимогою до безпечного ведення технологічного процесу та використання сировини є виключення концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони вище ГДК. Це досягається за допомогою витяжної вентиляції.

4.3 Безпечна експлуатація електричного обладнання

Електрозахисні заходи повинні спрямовуватись на забезпечення безпеки як при нормальному режимі роботи, так і при аварійній ситуації.

Небезпека ураження електричним струмом посилюється умовами довкілля. У гарячих цехах тяжкість поразки збільшується оскільки при перегріві організму знижується його опір.

З метою захисту від ураження електричним струмом необхідно взяти заходів безпеки під час роботи з електроустаткуванням. Для цього конструктивні деталі електроустаткування виконуються із ізолюючих матеріалів. Проводи та кабелі, що застосовуються, повинні відповідати умовам експлуатації. Для захисту від дотику здійснюють недоступне розташування струмопровідних частин. Застосовують огорожі та заземлюють електроустаткування. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, електроізолюючі плівки, емалеві та масляні фарби. Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з поверхнею, що покривається, утворювати токонепровідну, вологонепроникну і механічно міцну плівку.

При аварійній ситуації для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист, вимикачі, встановлені автомати та плавкі запобіжники.

Дотримання всіх норм та правил електробезпеки, залучення навченого та атестованого персоналу призводить до значного зниження випадків ураження електричним струмом.

4.4 Природне та штучне освітлення

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці та працездатності і може стати причиною нещасного випадку та захворювання очей.

Висвітлення ділиться на природне та штучне. Для створення природного освітлення будівлі цеху передбачаються отвори у стінах (вікна) та на даху (ліхтарі). Таким чином, у цеху використовується комбіноване природне освітлення.

На промислових підприємствах використовується штучне освітлення двох типів:

- загальне – рівномірне чи локалізоване з урахуванням розміщення робочих місць;

- комбіноване - загальне в комплексі з місцевим освітленням.

крім того, на підприємствах використовують:

- робоче - щодо робіт у темний час доби чи місцях без достатнього природного висвітлення;

- аварійне – для роботи при аварійному відключенні робочого висвітлення;

- евакуаційне – аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення.

При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення може використовуватись для чергового освітлення.

Вибір джерела світла залежить від характеру роботи, умов середовища, розмірів приміщення та інших чинників.

Вимоги безпеки, що пред'являються до освітлювальних приладів, вибухозахищеність, електробезпека та інші. Норма освітленості робочих поверхонь плавильно-розливного виробництва становить від 20 до 200 лк.

4.5 Вентиляційні установки

У структурі засобів боротьби із загазованістю, запиленістю та теплонадлишком у цеху велике значення мають вентиляційні пристрої. Вони проектуються з метою забезпечення на робочих місцях та у робочих зонах нормальних метеорологічних умов (температури, вологості, швидкості руху повітря), а також виключення шкідливих речовин із повітря. З урахуванням специфіки виробництва в цеху, що проектується, використовується змішана санітарно - гігієнічна вентиляція. Змішана вентиляція складається з природної вентиляції приміщень (через аераційні ліхтарі та отвори у вікнах) та механічної вентиляції (припливно – витяжної, аспіраційної).

Природна вентиляція здійснюється завдяки різниці температур повітря в приміщенні та поза ним, а також впливу вітру. Механічна вентиляція здійснює обмін повітря за допомогою

спеціальних пристроїв. Так, вентилюються всі закриті приміщення на ділянках (майстерні, комори, технологічні приміщення).

За особливих вимог до якості повітря (у комп'ютерних залах, апаратних) здійснюється його кондиціонування.

4.6 Побутові та допоміжні приміщення

Санітарні вимоги до виробничих приміщень залежить від їх призначення. Обсяг виробничого приміщення однієї робочого, на металургійному ділянці, становить щонайменше 15 м³, за нормами площа однієї робочого припадає 4,4 м², що відповідає фактичним значенням.

За санітарною характеристикою всі виробничі процеси поділяються на 4 групи:

- з нормальними умовами праці (до складу санітарно-побутових приміщень повинні входити вбиральні та умивальники, якщо є забруднення, то ще й душові);

- з несприятливими умовами праці, метеоумовами, виділенням шкідливих речовин, напруженою фізичною роботою, (гардеробні, умивальники, душові, в сирих приміщеннях - кімната для сушіння одягу, в заповишених - кімната для знепилення, при роботі на холоді - кімната для обігріву і т.п. д.);

- з різко вираженими шкідливими факторами (отруйні речовини, радіація); склад: вбиральні, умивальники, душові, кімната для знезараження, знепилення або дезактивації одягу;

- з особливим режимом для забезпечення якості продукції (харчова, медична, напівпровідникова промисловість); склад: умивальники, гардероби

(окреме зберігання робочого та домашнього одягу), у цехах із шкідливими виділеннями обов'язковий ізольований вихід на вулицю, санітарно-побутові приміщення розташовують з навітряного боку до цеху.

Виробництво сплавів на основі чавуну відноситься до другої групи, і цим обґрунтовано склад санітарно-побутових приміщень, що приймаються в даному проекті. Побутові та допоміжні приміщення відіграють важливу роль у забезпеченні виробничої санітарії плавильно-розливного цеху.

Конструкція стін, вікон, стель тощо. у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії та забезпечують сприятливі умови праці робочого персоналу. Скління металургійної ділянки створює необхідне природне висвітлення.

До побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних та побутових потреб трудящих під час перебування їх на роботі: помешчення для прийому їжі, вбиральні, душові, вбиральні, умивальні, курильні, обігрів трудящих та питного водопостачання. Так як металургійна ділянка має велику кількість людей, побутові приміщення розташовуються в безпосередній близькості з виробничою будівлею.

Склад обладнання та влаштування побутових приміщень залежить від санітарної характеристики виробничих процесів. Металургійна ділянка відноситься до другої групи, в якій виробничі процеси відбуваються за несприятливих умов (гарячий запилений цех). Площа та обладнання санітарно-побутових приміщень відповідає числу працівників, які працюють в одну зміну, крім гардеробного приміщення, площа якого розрахована на весь персонал. У цеху є буфет з цілодобовим режимом роботи на 20 місць, в якому робітники можуть придбати гарячу їжу. Крім того, на ділянці є кімната їди, забезпечена електрокип'ятильниками, сатураторами газ води, холодильником.

Зазвичай побутові приміщення розташовуються другою для жінок, третьому поверсі - чоловікам. Підлога вбиральних, умивальних, душових водонепроникна, з ухилом до стікового трапу, стіни вологостійкі. Санітарно-

побутові приміщення обладнані фенами для сушіння волосся. У туалетах систематично проводиться санобробка розчином хлорного вапна. У цеху є здравпункт, на ділянках обладнані санітарні пости, укомплектовані аптечками та необхідними медичними препаратами.

Усі працівники безкоштовно забезпечуються молоком із розрахунку 0,5 л за зміну. У теплий період робочі ділянки забезпечуються полівітамінами для підтримки водно-сольового балансу в організмі.

4.7 Індивідуальні засоби захисту

Поряд із колективними засобами захисту працівниками цеху планується застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

Згідно з картою умов праці дана професія має три ступені за факторами шкідливості та небезпеки праці – пил, шум, температура повітря.

Фактичні значення факторів шкідливості:

- пил переважно фіброгенної дії – 4,39 мг/м³;
- рівень шуму досягає – 92 дБ;
- температура повітря в приміщенні досягає - 37°C.

Наведені вище шкідливості спричиняють появу окремих ознак профзахворювань (силікоз, глухота), а також спричиняють зростання патологій з короткочасною втратою працездатності (теплові удари).

Згідно з гігієнічною класифікацією праці робоче місце плавильника відноситься до III класу, в якому шкідливі умови праці перевищують гігієнічні нормативи шкідливих факторів, і мають три фактори шкідливості. За показниками робоче місце металурга належить до шкідливих та важких умов праці.

4.8 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об'єкта, у якому виключається можливість пожежі, а разі виникнення запобігається вплив на людей небезпечних чинників пожежі та забезпечується захист матеріальних цінностей (ГОСТ 12.1.004-76).

У силу своєї специфіки в цеху багато джерел пожежної небезпеки високотемпературний напівфабрикат або продукт при виході з льотки печі або при його розливі, потужне електрообладнання, горючі шихтові матеріали, стиснутий кисень та інше.

Технологічні та інші фактори не допускають застосування радикальних протипожежних заходів. Тому приміщення цеху відносять до пожежної категорії Р.

Основні причини виникнення пожеж та вибухів:

- порушення нормальних режимів технологічних операцій;
- загоряння олій;
- викиди металу та гарячих шихтових матеріалів;
- неправильне проведення робіт з ремонту обладнання;
- самозаймання деяких речовин та матеріалів;
- порушення вимог пожежної безпеки.

З урахуванням вищепереліченого основними заходами щодо профілактики пожеж у цеху є суворе дотримання вимог пожежного режиму всіма працюючими відповідно до розроблених типових правил для промислових підприємств.

Для зменшення небезпеки виникнення та поширення пожеж важливе значення має раціональний устрій цеху. Так розміщення корпусів зроблено в такий спосіб, щоб обмежити поширення пожежі.

У разі ліквідації пожежі велике значення має узгодженість дій людей, які беруть участь у пожежогасінні. Тому кожен працівник цеху повинен добре знати правила пожежної безпеки для цеху та конкретно для робочого місця, місцезнаходження найближчого сповіщувача та номер пожежної

охорони та вміти ними користуватися. Ретельне вивчення плану ліквідації аварій, який розробляється з урахуванням специфіки виробництва.

Головне у протипожежному захисті – здійснення профілактичних заходів, що виключають виникнення та розповсюдження пожежі.

Ділянка з виробництва ливарних сплавів має категорію з пожежонебезпечності Г (не горючі речовини розжарені або розплавлені, і горючі речовини спалюються або утилізуються як паливо. Будівля ділянки відноситься до 1 ступеня вогнебезпечності (будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних) залізобетону із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів).

До первинних засобів пожежогасіння в цеху належать: вогнегасники, пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири та ін.).

Цех має внутрішній протипожежний водопровід із пожежними кранами та рукавами, а також пожежні шунти.

На території комбінату забороняється:

- палити у недозволених місцях, а курити необхідно у спеціально відведених місцях;
- закривати та захарашувати проїзди, під'їзди та підходи до будівель, водопроводів та пожежних гідрантів;
- вимикати окремі ділянки водопровідної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб, які не пройшли інструктаж пожежного мінімуму;
- користуватися водою з пожежних водойм та засобами пожежогасіння не за прямим призначенням;
- застосовувати відкритий вогонь під час огляду обладнання та комунікацій, які можуть спричинити виникнення пожежі.

4.8.1 Профілактичні протипожежні заходи

Профілактичні організаційні заходи поділяються на дві групи: організаційні та інженерні.

Організаційні профілактичні заходи передбачають видання керівником підприємства наказу про призначення пожежно-технічної комісії, до складу якої входять: головний інженер, начальник пожежної охорони, енергетик, технолог, механік, інженер з техніки безпеки, будівельник та інші спеціалісти.

Завданнями пожежно-технічної комісії є:

- виявлення відхилень та недоліків технологічного режиму;
- розробка заходів щодо їх усунення; сприяння органам пожежного нагляду у їх роботі та створенні протипожежного режиму.

Ця комісія проводить інспекційні протипожежні заходи, у тому числі й у цеху, що проектується.

Інженерні протипожежні заходи включають:

- Залежно від категорії пожежної небезпеки процесу обирають ступінь вогнестійкості будівлі. Для проектованого виробництва рівень вогнестійкості будівлі – III;
- Для виконання будівельних конструкцій використовується цегла, залізобетон, скло, метал;
- до III категорії вогнестійкості відносяться будівлі до трьох поверхів із площею поверху між протилежними стінами 2600 м².

Так як будівля відноситься до класу В, вона повинна мати захист від блискавки по I категорії пристрою типу А.

- монтажні конструкції електроустановок виготовляються із сталі, що ліквідує пожежну небезпеку;
- використовуються як протипожежна сигналізація димові сповіщувачі;
- раціональне та найкоротше розташування евакуаційних виходів.

4.8.2 Засоби гасіння пожеж

У разі виникнення пожежі до прибуття пожежного підрозділу необхідно максимально використовувати наявні на ділянці засоби пожежогасіння. До них відносяться, насамперед, ручні вогнегасники марки ОВП-10, які призначені для гасіння твердих горючих матеріалів, а також різних горючих рідин.

Пожежі металів важко гасять. Поливання пального металу водою може викликати вибух і розлітання частинок металу, що горять, на великі відстані. Для гасіння палаючого металу застосовують сухі вогнегасні порошки. Для цього використовують вогнегасники марки ОПС.

Причиною пожежі в цеху може стати спалах електроустановок. Для гасіння таких пожеж використовується вуглекислота, яка є неелектропровідною. З цією метою застосовують вогнегасники ОУ-5 та ОУ-8. Усі засоби пожежогасіння повинні бути у справному стані та легкодоступними до використання.

Вогнегасники, пісок, інвентар розміщуються на пожежних щитах. Пожежні трубопроводи вирізняються червоною фарбою.

ВИСНОВКИ

У дипломі розглянуто класифікацію виробничих шкідливостей, їх вплив на організм працівників, а також наведено основні шляхи захисту людини від виробничих шкідливостей.

Швидке та ефективне вирішення питань охорони праці та техніки безпеки забезпечує підвищення продуктивності праці, значно скорочує тимчасові втрати, покращує стан здоров'я працівників, здоровий психологічний клімат у колективі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Энциклопедия неорганических материалов. В 2-х томах, том 1. Киев, «Высшая школа», 1977.
2. Энциклопедия неорганических материалов. В 2-х томах, том 1. Киев, «Высшая школа», 1977.
3. Захарченко Э.В., Левченко Ю.Н., Горенко В.Г., Вареник П.А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Киев: Наукова думка, 1986 248 с.
4. Леках С. Н., Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. Наука і техніка, 1992. С.269.
5. Бубликов В. Б. Высокопрочному чугуну – 60. Литейное производство, 2008. №11. С. 2–8.
6. Ковалевич Е.В., Петров Л.А., Андреев В.В. Современные способы модифицирования для получения в чугуне шаровидного графита. Литейное производство, 2014. №2. С. 2–5.
7. Lerner Y. S. Overview of ductile iron methods. Foundry Trade Journal, 2003. V.177. P.25–27.
8. Solonenko L., Usenko R., Dziubina A., Uzlov K., Repiakh S. Sodium silicate solute foaming in a flat slot-type capillary under microwave radiation influence. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020. №4. P. 40-46.

9. Repyakh S.I., Solonenko L.I., Biliy O.P., Usenko R.V., Uzlov K.I. The power and structure of the components in food-and-business formal sums Theory and practice, 2019. №4. P. 81-92.

10. Усенко Р.В., Мазорчук В.Ф., Репях С.И. Прочность спекающегося опорного наполнителя для оболочковых форм. Литейное производство, 2016. №2. 12-22.

11. Р.В. Усенко, С.И. Репях, В.Е. Хрычиков Коэффициент линейного расширения керамических оболочковых форм на основе жидкого стекла. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2012. № 2. С.29-32.

12. Жегур А.А., Репях С.И., Усенко Р.В. Условная вязкость жидкостекольной суспензии. *Металл и литье Украины*, 2011. №2. С. 29-33.

13. Солоненко Л.І., Реп'ях С.І., Узлов К.І., Білий О.П., Усенко Р.В. Прогнозування властивостей піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані в паро-мікрохвильовому середовищі. *Теорія і практика металургії*, 2011. №5. С.65-72.

14. Солоненко Л.І., Білий О.П., Узлов К.І. Властивості і структури компонентів піщано-рідкоскляних формувальних сумішей. *Теорія та практика металургії*, 2015. №2. С.81-92

15. Hrichikov V.E., Seliverstov V.Y., Dotsenko Y.V., Mazorchuk V.F., Usenko R.V. Application of rental dross in phosphatic coldly hardening mixtures for making of forms lost wax process. *Metalurgija*, 2007. № 45 (3). P. 267.

16. Povorotnii V., Shcherbyna I., Zdanevych S., Diachenko N., Kimstach T. Determining the thermally-stressed state of motor-driven bowls for transporting liquid slag. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024. P.99-106.

17. Усенко Р.В., Кулеба А.В., Чорнокнижний О.С. Матеріали техногенного походження в точному литві. The 12 th International scientific and practical conference “European scientific congress” (December 25-27, 2023) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2023. P. 11.

18. Не відходи, а ресурси: що робити з мільярдами тонн металургійних шлаків України: веб-сайт. URL:

<https://ecopolitic.com.ua/ua/news/ne-vidhodi-aresursi-shho-robiti-z-milyardami-tonn-metalurgijnih-shlakiv-ukraini/> (дата звернення: 18.12.2023).

19. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. Днепр: Лира, 2006. 1056 с.

20. Usenko R. V., Repyakh S. I., Mazorchuk V. F. The relative viscosity of the liquid-glass slurry filled with cooper slag. Metallurgical and Mining Industry, 2017. №3. P. 20-22.

21. Жегур А. А. Репях С. И., Усенко Р. В. Условная вязкость жидкостекольной суспензии. Металл и литье Украины, 2011. №4. С. 29–32.