

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну та дослідженням термодинаміки процесу десульфурзації металу»

Виконав здобувач вищої освіти II-го
курсу групи ПМ-23М-1
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Максим КОНОНЧУК

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Олександр СКРИПНИК

Рецензент:

Центральноукраїнський національний технічний університет
 Факультет Механіко-технологічний .
 Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва .
 Рівень вищої освіти другий (магістерський) .
 Галузь знань 13 Механічна інженерія .
 Спеціальність 131 Прикладна механіка .
 Освітньо-професійна програма «Прикладна механіка» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

«_____» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
 ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
 ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Конончука Максима Сергійовича _____.

1. Тема роботи: «Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну та дослідженням термодинаміки процесу десульфурації металу»
2. Керівник роботи: Скрипник Олександр Вікторович, канд. техн. наук, доцент.
3. Строк подання роботи до захисту: 15.12.2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну та підвищення якості литва на основі дослідження термодинаміки процесу десульфурації металу. Виконати огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із високоміцного чавуну. Розробити технологію лиття в піщано-глинисту форму. Дослідити вплив температури, тиску та концентрації реагентів на зміщення рівноваги процесів десульфурації чавуну. На основі виконаних досліджень розробити рекомендації щодо удосконалення процесу десульфурації металу .
5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок; 2) модельний комплект; 3) стержневий ящик №1; 4) стержневий ящик №2; 5) ливарна форма в зборі.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Оглядовий	Скрипник О.В.		
Технологічний	Скрипник О.В.		
Науковий	Скрипник О.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	30.09.2024	
2	Розрахунки по технологічній частині	10.10.2024	
3	Креслення по технологічній частині	20.10.2024	
4	Розрахунки і дослідження по науковій частині	30.10.2024	
5	Плакати по науковій частині	10.11.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2024	
7	Перевірка на анти плагіат	30.11.2024	
8	Оформлення рецензії	10.12.2024	
9	Захист дипломного проекту	20.12.2024	

Дата видачі завдання

«___»_____ 2024 р.

Підпис керівника

_____ Скрипник О.В.

Завдання прийнято до виконання

«___»_____ 2024 р.

Підпис здобувача

_____ Конончук М.С.

Анотація

КОНОНЧУК Максим. Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну та дослідженням термодинаміки процесу десульфурації металу. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. 84 с.

Обґрунтовано вибір місця для будівництва ливарного цеху. Описано роботу обладнання, яке використовується для виготовлення виливків. Розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму для виливка з високоміцного чавуну «Кришка задня». Проведено дослідження термодинамічних характеристик процесу десульфурації чавуну за допомогою магнію та оксиду марганцю. Розроблено рекомендації для інтенсифікації процесу десульфурації металу.

Актуальність роботи: полягає в розробці технології лиття в піщано-глинисту форму для виливка «Кришка задня». Досліджено вплив температури, тиску та концентрації реагентів на зміщення рівноваги процесу десульфурації чавуну.

Практичне значення: полягає в тому, що розроблені рекомендації сприяють ефективному проведенню процесу десульфурації металу.

Ключові слова: обладнання, виливок, ливникова система, термодинаміка, ентальпія, десульфурація, рівновага.

Summary

KONONCHUK Maksym. The foundry complex of the agricultural machinery plant with the development of the process of manufacturing castings from high-strength cast iron and the study of the thermodynamics of the metal desulfurization process. Qualification work for the second (master's) level of higher education: CNTU, 2024. 91 p.

The choice of a place for the construction of a foundry is justified. The operation of the equipment used for the manufacture of castings is described. The technology of casting in a sand-clay mold for high-strength cast iron casting "Rear cover" is developed. The thermodynamic characteristics of the process of desulfurization of cast iron using magnesium and manganese oxide are studied. Recommendations for intensification of the metal desulfurization process are developed.

Relevance of the work: consists in the development of a technology of casting in a sand-clay mold for the casting "Rear cover". The influence of temperature, pressure and reagent concentration on the equilibrium shift of the cast iron desulfurization process was investigated.

Practical significance: lies in the fact that the developed recommendations contribute to the effective implementation of the metal desulfurization process.

Keywords: equipment, casting, sprue system, thermodynamics, enthalpy, desulfurization, equilibrium.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	8
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	10
1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху	10
1.2. Плавильне відділення	11
1.3. Формувально заливно вибивне відділення	22
1.4. Стержневе відділення	24
1.5. Сумішоприготувальне відділення	25
1.6. Очисне відділення	30
1.7. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху	34
1.8. Висновки по розділу	35
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ	36
ВИЛИВКА «КРИШКА ЗАДНЯ»	
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	36
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	37
2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи	42
2.4. Опис технологічного процесу виготовлення виливка	45
2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення	47
2.6. Контроль якості виливка	49
2.7. Висновки по розділу	50
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ	51
ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ МЕТАЛУ	
3.1. Загальні відомості про високоміцний чавун	51
3.2. Вплив сірки і фосфору на властивості чавуну	56
3.3. Способи десульфурації чавуну	57
3.4. Основи десульфурації магнієм	60
3.5. Методика дослідження термодинаміка процесу	64
десульфурації металу	
3.6. Термодинаміка десульфурації оксидом марганцю	75

	7
Висновки по розділу	78
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	81
ДОДАТКИ	84

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво - це основа для багатьох галузей промисловості, як в Україні, так і за кордоном, забезпечуюча сировиною та готовою продукцією. Чавунне литво в піщано-глинисту форму займає значну частину ринку. Чавун, завдяки своїм властивостям - високій рідинотекучості, малій усадці, стійкості до ліквідації та невеликому угару елементів під час плавки - є добрим матеріалом для лиття. Під час плавки чавуну можна проводити його очищення, дегазацію, легування, модифікування та видаляти шкідливі домішки, такі як сірка і фосфор.

Виливки з чавуну мають однорідну дрібну структуру, високі механічні властивості, добре піддаються механічній обробці та мають високий коефіцієнт використання металу. Лиття в піщано-глинисту форму характеризується високим рівнем автоматизації та економічністю, оскільки багато матеріалів використовується повторно. Наприклад, у формувальній суміші використовується до 95% відпрацьованого і регенованого кварцового піску та лише 5% свіжих матеріалів.

Однак, чавунне литво має й недоліки. Під час плавки, при використанні доменного та ваграночного чавуну, метал може насичуватися шкідливими домішками, такими як фосфор і сірка. Їх можна видалити шляхом дефосфорації та десульфурзації, але це вимагає використання основної кладки в плавильній печі, високоосновного шлаку, що призводить до збільшення тривалості плавки і, як наслідок, до зростання собівартості литва. Тому дослідження, спрямовані на удосконалення процесів десульфурзації металу, є надзвичайно актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну та дослідженням термодинаміки процесу десульфурзації металу.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- проведено огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із високоміцного чавуну методом лиття в піщано-глинисту форму;
- розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка задня PVH» ;
- досліджено термодинаміку процесу десульфурації чавуну магнієм і оксидом марганцю;
- розроблено рекомендації щодо спрямування процесу десульфурації чавуну у необхідному напрямку.

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття високоміцного чавуну в піщано-глинисту форму.

Предмет дослідження – залежності термодинамічних характеристик процесу десульфурації металу від температури, тиску та концентрації реагентів.

Практичне значення – розроблені рекомендації дозволяють ефективно проводити процес десульфурації металу.

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка задня PVH». Досліджено вплив температури, тиску та концентрації реагентів на зміщення рівноваги процесу десульфурації чавуну.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

При виборі розташування ливарного цеху важливо враховувати кілька ключових факторів, які впливають на ефективність його роботи. Ось основні з них:

1. Інфраструктура:

- Можливість під'єднання до електричної мережі.
- Наявність систем водопостачання та водовідведення.
- Доступ до газопостачання.
- Наявність транспортних шляхів (автомобільних та залізничних).

2. Екологічні аспекти:

- Вплив виробництва на екологію та навколишнє середовище.

3. Локація:

- Рекомендується вибрати місце на північно-західній околиці міста в промисловій зоні, що забезпечить віддаленість від житлових районів та наявність достатньої кількості транспортних розв'язок.

4. Постачання матеріалів:

- Шихтові матеріали планується постачати залізничним транспортом Одеської залізниці та автомобільним транспортом з Криворізького басейну.
- Формувальні матеріали доцільно постачати залізницею з Дніпровського, Черкаського, Миколаївського та інших кар'єрів.

5. Водопостачання:

- Технічну воду можна отримувати з водоочисних споруд, а питну воду постачати водогоном Дніпро-Кропивницький або з свердловини.

6. Опалення:

- Опалення ливарного цеху планується здійснювати через систему теплопостачання від котельної.

7. Режим роботи:

- Режим роботи цеху залежить від виду литва, річної програми, серійності виробництва та особливостей технологічного процесу. Виробництво передбачає виготовлення дрібних та середніх виливків із високоміцного чавуну методом лиття в піщано-глинисту форму, зазвичай з використанням автоматичних формувальних ліній.
- Вибрано паралельний трьохзмінний режим роботи, де:
 - Перша зміна: плавка металу та виготовлення форм.
 - Друга зміна: продовження плавки, виготовлення форм, заливка, вибивка.
 - Третя зміна: вибивка, ремонт плавильних печей, підготовка до наступних плавок, обрубка та фінішна обробка виливків, а також регенерація формувальних матеріалів.

8. Виробнича програма:

- Включає річну кількість усіх виготовлених виливків для основної продукції заводу, запасних частин та внутрішніх потреб (ремонтне литво).

1.2. Плавильне відділення.

1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється.

Згідно з завданням на випуск кваліфікаційну роботу розглянемо високоміцний чавун марки ВЧ-450 ДСТУ 3925-99. Високоміцний чавун - це залізо-вуглецевий сплав, який має найбільшу міцність серед усіх чавунів. Він має унікальну структуру, де вуглець знаходиться у вигляді графіту, але не пластинчастого, а компактної (кулястої) форми. Це ключова відмінність від сірого чавуну, де пластинчастий графіт послаблює метал, створюючи концентрацію напружень.

Завдяки кулястому графіту, високоміцний чавун має такі переваги:

- Високі механічні властивості: практично на рівні ливарних сталей.
- Добру рідинотекучість: легко заповнює складні форми.
- Меншу усадку: ніж у сталі, що важливо для точних виробів.

- Хорошу оброблюваність: добре піддається механічній обробці.
- Високу зносостійкість: довговічний і стійкий до зносу.
- Хороші віброгасильні властивості: зменшує вібрації.
- Стійкість до циклічних навантажень: витримує повторювані навантаження.

Високоміцний чавун випускається в різних марках, таких як ВЧ350, ВЧ400, ВЧ450, ВЧ500, ВЧ600, кожна з яких має свої характеристики міцності.

Таким чином, високоміцний чавун - це універсальний матеріал, який знаходить широке застосування у різних галузях, де потрібна міцність, зносостійкість та надійність..

Хімічний склад та механічні властивості сплаву приведено у табл. 1.1, 1.2.

Таблиця 1.1

Хімічні властивості сплаву ВЧ 450-10

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
ВЧ 450-10	3,3 – 3,8	1,9 – 2,9	0,2 – 0,6	0,02	0,1

Таблиця 1.2

Механічні властивості сплаву ВЧ 450-10

Марка сплаву	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Твердість HB·10 ⁻¹ , МПа
ВЧ 450-10	450	10	1400...2250

Високоміцний чавун з кулястим графітом отримують шляхом додавання до рідкого металу модифікаторів, що містять магній (від 0,03 до 0,07 відсотків), або магнієвих лігатур з нікелем та феросиліцію. Крім того, на структуру модифікованого чавуну впливає його хімічний склад, зокрема ступінь евтектичності, або вуглецевий еквівалент, а також швидкість охолодження. При однаковому ступені евтектичності, більший вміст вуглецю і менший вміст кремнію сприяють отриманню чавуну з меншою схильністю до ливарних

дефектів. Збільшення вмісту кремнію, навпаки, підвищує міцність і твердість за рахунок зміцнення фериту. Швидкість охолодження виливка залежить від товщини його стінок і матеріалу форми, в якій він охолоджується (сира, суха піщана, металева тощо).

Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧ) відрізняється поєднанням високих механічних і технологічних властивостей. Він має кращу рідинотекучість, ніж сірий чавун високих марок, що дозволяє виготовляти виливки з тонкими стінками (3...5 мм). Однак цей чавун схильний до утворення усадочних раковин і тріщин, а вільна лінійна усадка становить приблизно 1 відсоток. Виливки з ВЧ успішно замінюють виливки з ковкого і сірого чавуну, кольорових сплавів і ливарних сталей. Високоміцний чавун широко використовується в різних галузях промисловості для виготовлення деталей відповідального призначення, від кількох кілограмів до кількох тонн, таких як колінчасті вали, деталі прокатного обладнання, деталі для роботи під високим тиском.

Високі властивості ВЧ зумовлені кулястою формою графіту, яка менше послаблює переріз виливки і не створює таких концентрацій напруги, як пластинчастий графіт. Таку структуру отримують за допомогою модифікаторів: магнію, магнієвих лігатур і комплексних модифікаторів з магнієм. При виробництві чавуну з кулястим графітом до шихтових матеріалів і плавильних агрегатів висуваються підвищені вимоги: підвищена температура рідкого чавуну, низький вміст сірки та фосфору, відсутність у шихті елементів-деглобуляризаторів.

1.2.2. Розрахунок балансу металу

Зазвичай баланс металу складають на річну програму випуску придатного литва. Але, оскільки дані щодо річної продуктивності цеху відсутні, розраховуємо загальну масу металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків, т:

$$M = \frac{100 \cdot (\Pi + Л + Б)}{100 - c - y}, \quad (1.1)$$

де $\Pi, Л, Б$ – відповідно придатне литво, ливники та брак, т;

c – зливи та сплески, %;

y – угар та безповоротні втрати, %.

$$M = \frac{100 \cdot (1 + 0,55 + 0,05)}{100 - 2,5 - 5} = 1,73 \text{ т}$$

Одже, для отримання 1 т придатного литва потрібно 1,73 т металеві завалки.

Відносний вміст придатного литва в металозавалці визначаємо за формулою:

$$n = \frac{\Pi}{M} \cdot 100 \quad (1.2)$$

$$n = \frac{1}{1,73} \cdot 100 = 57,8 \%$$

Відносний вміст ливників в металозавалці визначаємо за формулою:

$$л = \frac{Л}{M} \cdot 100 \quad (1.3)$$

$$л = \frac{0,55}{1,73} \cdot 100 = 31,8 \%$$

Відносний вміст браку в металозавалці визначаємо за формулою:

$$б = \frac{Б}{M} \cdot 100 \quad (1.4)$$

$$б = \frac{0,05}{1,73} \cdot 100 = 2,9 \%$$

Угар, безповоротні втрати та зливи і сплески для високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 розраховуємо за формулами, т:

$$Y = \frac{y}{100} \cdot M; \quad (1.5)$$

$$C = \frac{c}{100} \cdot M. \quad (1.6)$$

$$Y = \frac{5}{100} \cdot 1,73 = 0,08 \text{ т}$$

$$C = \frac{2,5}{100} \cdot 1,73 = 0,04 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу, т:

$$Q_p = M - Y; \quad (1.7)$$

$$Q_p = 1,73 - 0,08 = 1,65 \text{ т}$$

Баланс металу сплаву ВЧ 450 зводимо до табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Баланс металу сплаву ВЧ 450

№ п/п	Компоненти	ВЧ 450-10	
		%	т
1	Придатне литво	57,8	1
2	Ливники	31,79	0,55
3	Брак	2,89	0,05
4	Угар та безповоротні втрати	4,62	0,08
5	Зливи та сплески	2,89	0,04
Всього		100	1,73

1.2.3. Вибір плавильного обладнання

Індукційна тигельна піч - це ідеальний вибір для плавки сплавів, які потребують високої однорідності, точності складу, чистоти та механічних

властивостей. Вона забезпечує як плавку, так і перемішування металу, що дозволяє підтримувати необхідні параметри. Перемішування та відсутність температурних перепадів є ключовими факторами для отримання однорідного та точного складу сплаву, а також для забезпечення повторюваності результатів окремих плавів.

Індукційна піч дозволяє легко створити вакуум, а також поєднати атмосферну плавку з вакуумною обробкою, як з використанням захисної атмосфери, так і без неї. Це дає змогу виробляти безкисневу мідь, напівпровідники, а також особливо міцні та жаростійкі сплави.

Індукційна тигельна піч має ряд переваг:

Отримання максимально чистого сплаву: відсутність джерел забруднення забезпечує високу чистоту металу.

Зменшення поглинання водню: поглинання водню металом на 40% менше, ніж в дугових і мартенівських печах.

Мінімальна кількість неметалевих включень: метал з індукційної печі без сердечника містить мінімальну кількість неметалевих включень.

Однорідний склад: електродинамічні сили забезпечують перемішування металу, що призводить до отримання однорідного сплаву та рівномірного хімічного складу.

Висока температура: всі частини металу нагріваються до максимально високої температури.

Мінімальний угар: нагрівання металу зсередини зводить до мінімуму угар, особливо важливий при плавці сплавів з дорогими та рідкісними легуючими добавками.

Високий ККД: індукційні печі мають високий коефіцієнт корисної дії.

Компактні розміри: індукційні печі займають менше місця, ніж інші типи печей.

Просте регулювання: просте і широке регулювання потужності та температури.

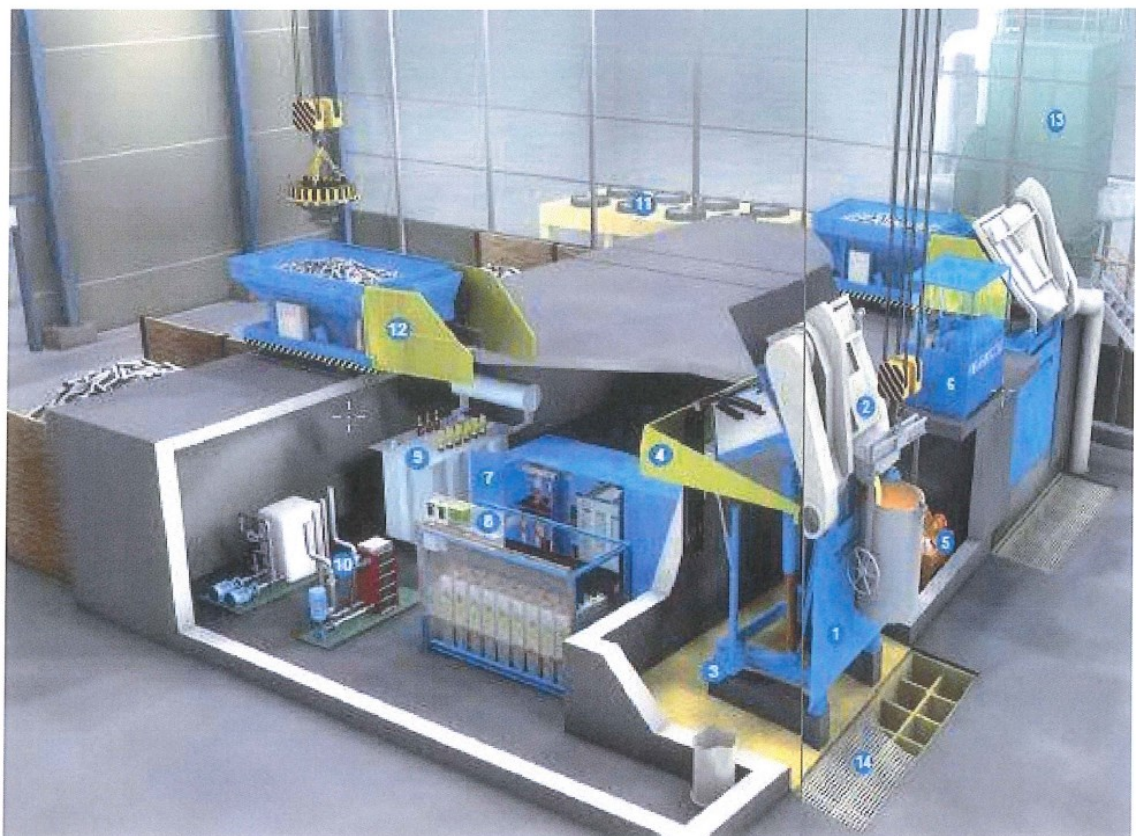
Можливість вакуумної плавки: плавка можлива у вакуумі або в спеціальному газовому середовищі.

Високі техніко-економічні показники: індукційні печі мають високі техніко-економічні показники.

Завдяки своїм перевагам, індукційні тигельні печі ідеально підходять для виплавки як звичайних, так і високоміцних чавунів з мінімальними витратами легуючих елементів. Швидкість плавки та можливість видачі металу невеликими порціями в рівні проміжки часу роблять ці печі дуже вигідними для виробництва дрібного чавунного фасонного литва.

Завдяки своїм перевагам, плавка в індукційних тигельних печах стає все більш популярною.

Для плавки застосовуємо індукційний плавильний комплекс MFTGe 5,00. Технічні характеристики комплексу наведено в табл. 1.4.



1- піч; 2 – витяжний конус; 3 – ваги; 4 – прямок; 5 – гідросистема; 6 – панель управління комплексом; 7 – генератор частоти; 8 – блок конденсаторів; 9 – трансформатор; 10 – система водяного охолодження; 11 – аерокулер; 12 – завантажувач; 13 – система уловлювання пилю

Рис. 1.1. Плавильний комплекс MFTGe 5,00

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики плавильного комплексу

Параметр	Величина	Од. вим.
Ємність електропечі	5,0	т
Номінальна потужність	3000	кВт
Частота живлячого струму	250	Гц
Продуктивність плавки й перегріву	4,95	т/год
Витрата охолоджуючої води	2	м ³ /год
Кількість печей	2	-
Діаметр тигля	860	мм
Глибина тигля	1665	мм
Теплова потужність	1100	кВт
Циркуляційна вода	52	м ³ /Г
Тиск насосу	6,5	бар
Температура подачі води	20	°С
Температура відведення при максимальній темп.	58	°С
Об'єм охолоджуючого контура	4	м ³
Температура повітря	30	°С
Рівень звукового тиску	65	db
Витрата води	2	м ³ /год
Необхідний тиск на вході	2	бар
Температура підведення макс.	25	°С
Відвідна потужність	17	кВт
Циркуляційна кількість	22	м ³ /год

Індукційні плавильні печі працюють за принципом нагрівання металу за допомогою змінного електромагнітного поля, що створюється індуктором – котушкою, підключеною до мережі змінного струму. При проходженні струму по котушці в металі виникають вихрові струми (струми Фуко), які, відповідно до закону Ленца-Джоуля, виділяють тепло,

що й нагріває метал. Швидкість нагрівання залежить від теплофізичних властивостей металу та параметрів електромагнітного поля.

Індукований в провіднику змінний струм розподіляється по перерізу нерівномірно: найбільша густина струму спостерігається в поверхневих шарах, а найменша – на осі. Ця нерівномірність зростає зі збільшенням частоти струму, діаметра провідника, його електричної провідності та магнітної проникності. При високих частотах і великих діаметрах практично весь струм проходить тільки в тонкому поверхневому шарі.

Індукційні тигельні печі застосовуються в ливарному виробництві для виплавки різних металів і сплавів (сталь, чавун, мідь, бронзу, алюміній тощо). У цих печах тигель з вогнетривкого матеріалу розташований всередині індуктора, а його внутрішній простір заповнений розплавленим металом. Тигель захищає індуктор від контакту з рідким металом. Товщина стінки тигля впливає на електричні параметри печі: чим товстіше стінка, тим менше магнітних силових ліній бере участь у нагріванні металу, а отже, менше коефіцієнт корисної дії (ККД) печі. ККД тигельних печей становить $0,05 \div 0,2$.

Для зменшення індуктивної потужності печі паралельно індуктору підключають конденсатори, кількість яких змінюється в процесі плавки, оскільки електричний опір шихти, а іноді й її магнітні властивості, змінюються під час нагрівання.

Індукційні печі використовують потужний струм, що проходить по контуру, який включає індуктор і конденсаторну батарею. Для з'єднання цих елементів застосовують шини та кабель великого перетину.

Магнітний потік, що створюється індуктором, проходить по замкнутих лініях як усередині нього, так і зовні. Залежно від напрямку цього потоку ззовні, розрізняють три типи конструкцій печей: відкриту, екрановану та закриту.

Відкрита конструкція характеризується тим, що магнітний потік проходить по повітрю. Силові лінії магнітного поля пронизують простір навколо індуктора. Тому конструктивні елементи печі, наприклад, каркас, повинні бути неметалевими або розташовуватися на достатній відстані від індуктора, щоб уникнути впливу магнітного поля. Біля індуктора використовують дерев'яні або азбоцементні елементи, а сталеві деталі розміщують на відстані не менше одного діаметра індуктора. Печі відкритої конструкції мають невеликі габарити.

Екранована конструкція відрізняється тим, що магнітний потік ззовні індуктора відокремлюється від сталевих конструкцій мідним екраном. Оскільки мідь має низький електричний опір, вона поглинає менше енергії з електромагнітного поля. Це дозволяє розміщувати сталеві конструкції ближче до індуктора, зменшуючи габарити печі.

Закрита конструкція передбачає проходження магнітного потоку ззовні індуктора по радіально розташованих пакетах трансформаторної сталі – магнітопроводах. Трансформаторна сталь має високу магнітну проникність, тому практично весь магнітний потік проходить саме по магнітопроводах. Їх розміщують якнайближче до індуктора, що зменшує розміри печі та підвищує жорсткість індуктора. Кількість магнітопроводів та їх розміри залежать від потужності печі, частоти струму, характеристик трансформаторної сталі тощо. Закриту конструкцію часто використовують в печах великої місткості.

Для кожного значення місткості печі та електричного опору шихти існує оптимальна частота струму. При її виборі враховують, що внутрішній діаметр тигля має бути не менше 3,5 глибин проникнення струму в шихту.

Плавка - це складний процес, який передбачає розплавлення шихтових матеріалів для отримання сплаву з потрібними властивостями.

Зазвичай, спочатку розплавляють основний компонент сплаву, а потім додають інші компоненти шихти. Однак, якщо метали в сплаві мають значно різні температури плавлення, кипіння та хімічну активність, одночасне завантаження їх в піч може призвести до великих втрат, випаровування та окислення розплаву.

Щоб отримати сплав потрібного хімічного складу, необхідно ретельно розрахувати шихту. Її склад може включати свіжі чушкові метали, металобрухт, лігатури, відходи власного виробництва та брухт.

Для розрахунку шихти використовують наступні дані: хімічний склад сплаву за ГОСТ або ТУ; хімічний склад вихідних шихтових матеріалів; угар або пригар окремих складових сплаву в процесі плавки.

Вміст окремих компонентів в сплаві вказується в певних межах. Величина угару металу залежить від складу шихти, її якості, типу плавильного агрегату, тривалості плавки та інших факторів. Склад шихти для плавки високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 в індукційній печі наведено в табл. 1.5:

Таблиця 1.5 – Розрахунок шихти для високоміцного чавуну ВЧ450 при плавці в MFTGe 5,000 (DISA)

№ п/п	Найменування матеріалу	Марка	Вміст матеріалу в шихті, кг	Вміст матеріалу в шихті, %	Масова частка елементу, %													
					C		Si		Mn		S		P		Cr		Mg	
					У мат.	У шихті	У мат.	У шихті	У мат.	У шихті	У мат.	У шихті	У мат.	У шихті	У мат.	У шихті	У мат.	У шихті
1	Чавун переробний	П1(ПЛ2) ГР2 Клас А, Кат ГОСТ 805-95	252,1	15	4	0,6	0,5	0,075	0,4	0,06	0,02	0,003	0,05	0,0075	0,01	0,0015	-	-
2	Брухт сталевий	Вид 10 ДСТУ 4121-2002	697,98	41,53	0,2	0,0831	0,2	0,0831	0,5	0,2077	0,02	0,008306	0,04	0,0166	0,1	0,0415	-	-
3	Повернення власного виробництва	ВЧ450-10 ДСТУ 3925-99	630,25	37,5	3,5	1,3125	2,7	1,0125	0,5	0,1875	0,015	0,005625	0,04	0,015	0,06	0,0225	0,02	0,0075
4	Феросиліцій	ФС-45-4 ДСТУ 4127-02	40,67	2,42	0,2	0,0048	40	0,968	0,3	0,0073	0,01	0,000242	0,03	0,0007	-	-	-	-
5	Феромарганець	ФМн-78-4 ДСТУ 3547-97	3,36	0,2	7	0,014	6	0,012	75	0,15	0,01	0,00002	0,18	0,0004	-	-	-	-
6	Графіт подрібнений ГІ-4	ТУ У 26.8-05394618-026:2011	56,3	3,53	75	2,5125	-	-	-	-	0,05	0,001675	-	-	-	-	-	-
7	Всього	-	1680,67	100	4,527		2,151		0,612		0,019		0,04		0,0655		0,0075	
8	Угар(-), пригар(+)	-	-	-	-13	-0,588	-13	-0,28	-13	-0,08	-6	-0,001	-	-	-	-	-90	-0,007
9	Вміст у рідкому чавуні	-	-	-	3,938		1,871		0,533		0,018		-		0,0655		0,0008	
10	До модифікування	-	-	-	3,7-3,9		1,9-1,7		0,4-0,8		До 0,02		До 0,1		До 0,085		До 0,004	
11	Модифікатор	VL 63(M), Фракція 4-10 мм	30,25	1,8	-	-	45	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	6	0,108
12	Модифікатор	ФС65Ba4, Фракція 02-0.7 мм	5,04	0,3	-	-	65	0,195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Угар(+),пригар(-)				-7	-0,276	-	-	-	-	-20	0,00354	-	-	-	-	-40	-0,044
Остаточний хім.склад					3,663		2,876		0,533		0,014		0,04		0,066		0,065	
Необхідний хім.склад					3,5-3,7		2,7-2,9		0,4-0,6		До 0,015		До 0,05		До 0,0085		0,03-0,07	

1.3. Формувально заливно вибивне відділення

В даному відділені послідовно відбуваються технологічні операції формовки, простановки стержнів, збирання форм, їх заливки, охолодження і вибивки виливків.

Виливки в ливарних цехах масового та крупносерійного виробництва виготовляються у формах, які створюються за методом "по-сирому". Цей процес передбачає комбіноване ущільнення з використанням єдиних бентонітових сумішей. Формування відбувається на автоматичних та комплексно-механізованих формувальних лініях, які оснащені автоматичними і механізованими пристроями для заливки.

Для виготовлення форм застосовуємо автоматичну машину DISA MATCH 24/28, яка входить до складу автоматичної ливарної лінії (рис.1.6).



Рисунок 1.6 – Формувальна машина DISA MATCH 24/28

DISA MATCH 24/28 – це машина безопчного формування за двосторонніми модельними плитами із сирих піщано-глинистих сумішей, яка призначена для виготовлення точних виливків з чавуну, сталі та кольорових металів. В даній машині формувальна суміш засипається з обох боків модельної

плити, після чого суміш ущільнюється пресуванням за допомогою пресувальних плит з двох боків у напрямку до модельної плити. Таким чином одночасно виготовляється одразу дві напівформи.

Автоматична ливарна лінія складається (рис.1.7) з формувальної машини, заливної ланки, охолоджуючої ланки, які з'єднані циклічно за допомогою візкового конвеєра. В залежності від виду виливків, що виготовляються на лінії можливе застосування допоміжних пристроїв: стержневого укладача і пристрою швидкої заміни модельних плит. Час виготовлення і охолодження виливків до вибивки на лінії DISA MATCH складає 60 хв.

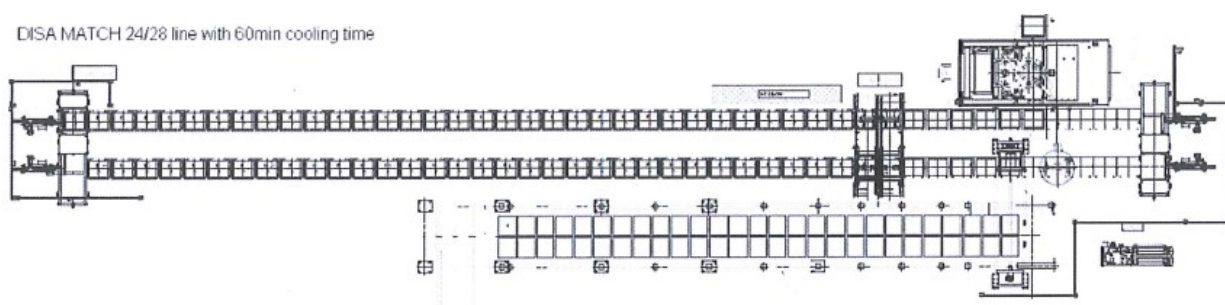


Рисунок 1.7 – План автоматичної формувальної лінії з ливарним конвеєром

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики автоматичної лінії DISA MATCH

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Розміри форми	711x611x178-254	мм
Продуктивність	120	форм/годину
Максимальна вага форми після заливки	390	кг
Габаритні розміри	46770x6600x3956	мм

На автоматичній лінії для заливки форм використовується індукційна канална розливочна піч PR-V3/200kW місткістю 3 т. Модифікатор у вигляді порошку або проволочки подається автоматично в струмінь металу під час заливки форми.

Для транспортування рідкого металу від плавильних печей до розливочної печі використовуємо барабанний ківш ємністю 1 т. Під час транспортування проводимо десульфuraцію чавуну.

Більш детально роботу відділення описано у розділі 2.

1.4. Стержневе відділення

Проектування стержневого відділення – це комплексна задача, що включає в себе вибір технологічного процесу виготовлення стержнів та розрахунок необхідної кількості обладнання, зокрема стержневих машин, сушильних агрегатів та іншого, для виконання виробничої програми цеху.

Сучасні ливарні цехи використовують різні технологічні процеси виготовлення стержнів, які можна розділити на три групи: з нагріванням (у гарячих ящиках, з короткочасним або тривалим сушінням), з обробкою зовнішніми реагентами (продування вуглекислим газом чи каталізаторами) та з твердненням в атмосфері цеху в ящиках (з використанням гаряче- і холоднотвердіючих, а також рідких самотверднучих сумішей).

Вибір устаткування для стержневого відділення залежить від обраного технологічного процесу виготовлення стержнів та характеру виробництва виливків. У ливарних цехах, де виготовляють великі партії деталей (масове та багатосерійне виробництво), трудомісткість виготовлення стержнів може досягати 30-40% від загальної трудомісткості отримання виливків. У таких випадках доцільно використовувати високопродуктивне багатопозиційне та автоматизоване обладнання, наприклад, піскодувні та піскодувно- піскострільні автомати та напіваавтомати.

Для виготовлення стержнів застосовуємо стержневу машину DISA CORE 10 EP (рис. 1.8), технічні характеристики якої наведено в табл. 1.7.



Рисунок 1.8 – Стержнева машина DISA CORE 10 EP

Дана машина застосовується для виготовлення піщаних стержнів за Cold Box процесом з продуванням каталізатором для ящиків з горизонтальною лінією роз'єму.

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики стержневої машини.

Параметр	Значення	Од.вим.
Об'єм дози піску	10	дм ³
Параметри стержневого ящика:		
Максимальна висота ящика	480	мм
Мінімальна висота ящика	230	мм
Максимальна ширина ящика	695	мм
Максимальна глибина	650	мм
Розміри бокових затискних плит	200x400	мм
Розміри затискної зони	440x500	мм
Розміри піскострільної площі макс	300x500	мм
Розміри піскострільної площі мін	60x300	мм
Масові характеристики:		
Максимальна маса ящика	150	кг
Маса машини	5000	кг
Робоче переміщення:		
макс хід столу	275	мм
Максимальний хід бокових циліндрів	550	мм
Максимальний хід плити виштовхувачів	40	мм
Базовий час циклу:		
При горизонтальній лінії роз'єму	13	сек
При вертикальній	17	сек

1.5. Сумішоприготувальне відділення

Для проектування даного відділення необхідно керуватись потребами формувального і стержневого відділень у відповідних сумішах.

Визначення загальнорічних витрат формівних сумішей у масовому, крупносерійному виробництві відбувається з урахуванням розмірів і кількості виготовлюваних форм для всієї номенклатури виливків, виключаючи об'єм, зайнятий виливком з ливниковою системою і стержнями. Витрати стержневих сумішей визначають за технологічною відомістю необхідних стержнів на програму, розподіляючи їх за видами сумішей. Для врахування витрат сумішей під час транспортування, формування тощо, загально річні витрати формівних і стержневих сумішей збільшують на 10...15 % (ПСС і CO₂-процес – 8... 12 %, ХТС). Використовуючи дані про повні річні витрати сумішей і їх склад, розраховують витрати компонентів сумішей. Ці дані є необхідними для розрахунку складів і сумішоприготувального обладнання. Готова суміш із змішувачів автоматично подається в бункери, а потім розподіляється по бункерах, розміщених над формівними або над стержневими машинами. Після виходу з бункерів, для розпушування суміші застосовують аератори. У ливарних цехах багатосерійного і масового виробництва виливків, формівні і стержневі суміші виготовляють безпосередньо біля ліній по виготовленню форм і стержнів. Це технологічно необхідно для самотверднучих сумішей, а для піщано-глинистих сумішей дозволяє скоротити витрати на транспортні засоби і зменшити висихання суміші при перевезеннях. Формувальну і стержневу суміші готують у змішувачах різних конструкцій періодичної і неперіодичної дії.

1.5.1. Вибір формувальної та стержневої суміші. Формувальні суміші мають наступну класифікацію:

- за призначенням – для виливків з чавуну, сталі, кольорових сплавів;
- за призначенням при виготовленні форм – єдина, облицювальна, наповнююча;
- за станом форми перед заливкою – сирі, сухі, підсушені і хімічно-твердіючі форми.

Для виготовлення ливарних форм на автоматичній лінії вибираємо єдину формувальну піщано-глинисту суміш, характеристика якої наведена в табл.1.8.

Таблиця 1.8 – Склад і властивості єдиної формувальної піщано-глинистої суміші для виготовлення форм.

Найменування матеріалу	ГОСТ	Кількість			Властивості суміші		
		В об'ємних відсотках	В одинцях об'єму (л)	В вагових одиницях, %	Газпроникність од.	Границя міцності при стисненні в вологому стані, МПа	Масова частина вологи, %
1) Оборотна формівна суміш	2138-91	92,72	500	94,0	не менше 85	0,05-0,08	3,5-4,3
2) Пісок кварцевий К016		4,64	23	4,09			
3) Бентонітова суспензія (щільність 1,06-1,12г/см ²)		2,64	13	1,91			
Всього		100	536	100			
4) Паливо нафтове (понад 100%)	10585-75	0,3	2	0,22			

Стержневі суміші, на відміну від формувальних, мають більш високі вимоги до міцності, податливості, газопроникності та вогнетривкості. Для їх приготування, як правило, використовують свіжі формувальні матеріали, лише зрідка додаючи невелику кількість оборотної суміші.

Для виготовлення стержнів використовуємо стержневу суміш, склад і властивості якої наведено в табл.1.9

Таблиця 1.9 – Склад і властивості стержневої суміші призначеної для виготовлення стержнів по ХТС процесу.

Масова частка складових,			Характеристика суміші		
Кварцовий пісок	Газхарц 7241	Активатор 6324	Вологість, %	Границя міцності при розтязі МПа	Обсипаємість
100	0,8	0,8	1,2	0,5	0,06

1.5.2. Вибір обладнання для приготування формувальної і стержневої суміші. Для приготування формувальної суміші вибираємо змішувач ТМ-240-90 (рис. 1.9). Характеристика даного змішувача наведена в таблиці 1.10.

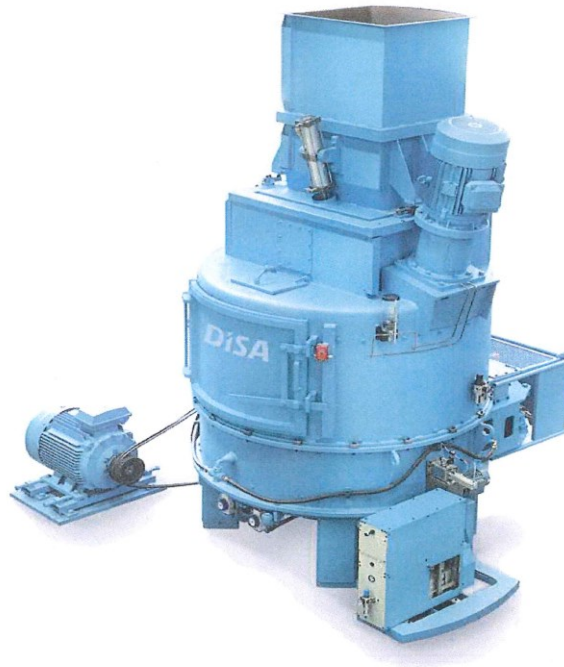


Рисунок 1.9 – Змішувач для приготування формувальної суміші ТМ-240-90

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики змішувача ТМ-240-90

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Об'єм замісу	1400	кг
Продуктивність	30	м ³ /год
Час змішування	70-80	сек
Турбіна	45	кВт
Габаритні розміри:		
- довжина	5357	мм
- ширина	3155	мм
- висота	3381	мм

Змішувач ТМ-240-90 призначений для приготування піщаних сумішей на основі бентонітової суміші.

Великий подвійний S-подібний плуг, що працює в парі з розташованими зверху турбінами, забезпечує швидке та ефективно перемішування формувальної суміші. Компоненти суміші та добавки надходять у змішувач за допомогою зважуючого механізму, рухаючись по вертикальних і горизонтальних траєкторіях, що гарантує якісне перемішування.

Установка для приготування суміші складається з чаші змішувача, двигуна, верхньої частини корпусу, пневматичної панелі керування, змішувальних деталей, бункера для суміші та системи для дозування води.

Важливим етапом у технологічному процесі виготовлення ливарних піщаних стержнів є приготування суміші. Змішувач повинен забезпечувати швидке та якісне перемішування компонентів стержневої суміші з різноманітними технологічними добавками. Після завершення процесу перемішування, готова суміш повинна вивантажуватися з змішувача з мінімальними залишками, щоб запобігти її висиханню та забрудненню наступної дози.

Для приготування стержневої суміші використовуються змішуючі бігуни моделі 1A11, які мають нерухому чашу, в яку завантажуються компоненти суміші в певній послідовності. Катки, обертаючись навколо вертикального валу, переміщуються по завантажених матеріалах і обертаються навколо своїх осей, що сприяє подрібненню грудок. Плужки безперервно перевалюють матеріали, що завантажуються в чашу, і направляють їх під катки. У дні чаші є вікно, яке закривається під час роботи бігунів дверцятами.

Для вивантаження готової суміші дверцята відкриваються за допомогою пневматичного пристрою, розташованого в кожусі, а плужки, обертаючись, вигрібають суміш через вікно. Передача суміші до місць споживання здійснюється стрічковим транспортером. Плужки бігунів не торкаються дна чаші, що запобігає роздрібненню зерен піску. Катки встановлюються на відстані приблизно 6 мм від дна чаші за допомогою спеціальних кривошипів і болтів.

Бігуни мають високу герметичність, що запобігає поширенню пилу в відділенні для приготування суміші. Змішувач оснащений апаратурою управління, яка дозволяє працювати як в автоматичному, так і в поопераційному режимі. Ця конструкція забезпечує високий рівень якості перемішування компонентів стержневої суміші.

Технічні характеристики даного типу змішувача наведено в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Технічні характеристики змішувача 1A11

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Об'єм замісу	0,25	м ³
Сила тиску катка на суміш	200-600	кг
Тривалість замісу	6-8	хв
Продуктивність	1,8	м ³ /год
Кількість катків	2	шт
Кількість плужків	2	шт
Швидкість обертання ротора	28	об/хв
Потужність електродвигуна	10	кВт
Маса суміші	0,3	кг
Габаритні розміри:		
- довжина	1700	мм
- ширина	1700	мм
- висота	2200	мм
Маса	3200	кг

1.6. Очисне відділення

Виливки, які вибивають з ливарних форм, проходять певний цикл охолодження, після чого їх передають до термообрубного відділення. Тут проводять ряд операцій, які покращують фізико-механічні властивості виливків і надають їм товарного вигляду. Технологічний процес обробки виливків

визначається з урахуванням роду сплаву, габаритних розмірів, маси та конфігурації.

Після видалення елементів ливникових систем, подальша обробка виливків включає:

- Очищення поверхні від формувальних і стержневих сумішей.
- Видалення залишків ливникових систем і підживлювачів.
- Усунення нерівностей на поверхні та підготовка до фарбування (грунтовки).

Очищення поверхні виливків є важливою технологічною операцією, що забезпечує отримання виливків високої якості. Серед методів очищення найбільш поширеними є:

- Очищення в барабанах.
- Дробоструйний метод.
- Дробометний спосіб.

Ці методи дозволяють ефективно видаляти забруднення та покращувати зовнішній вигляд виливків.

1.6.1. Вибір галтовочних барабанів. При виборі конструкції і типу барабана враховують масу, конфігурацію і товщину стінок виливків. Так, для очищення литва масою 1–25 кг застосовують прохідні барабани безперервної дії.

Для очищення і охолодження виливок обираю охолоджуючий барабан DISA COOL 2900.

Охолоджуючий барабан DISACOOL 2900 поєднує вибивку, охолодження суміші і виливок в одному процесі. Галтування має ефект попередньої очистки виливок. До того ж охолоджуючий барабан розрушує форми і просіює суміш. Барабан виготовлений в формі циліндра який обертається за рахунок фрикційного приводу. Охолоджувальний ефект виконується за рахунок випаровування води і потоку повітря.

Таблиця 1.12 – Характеристика охолоджуючого барабану DISACOOOL 2900

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Габаритні розміри	3,3x12,5	м
Продуктивність	7	т/год
Середній час обробки	20-30	хв
Вага	23	т

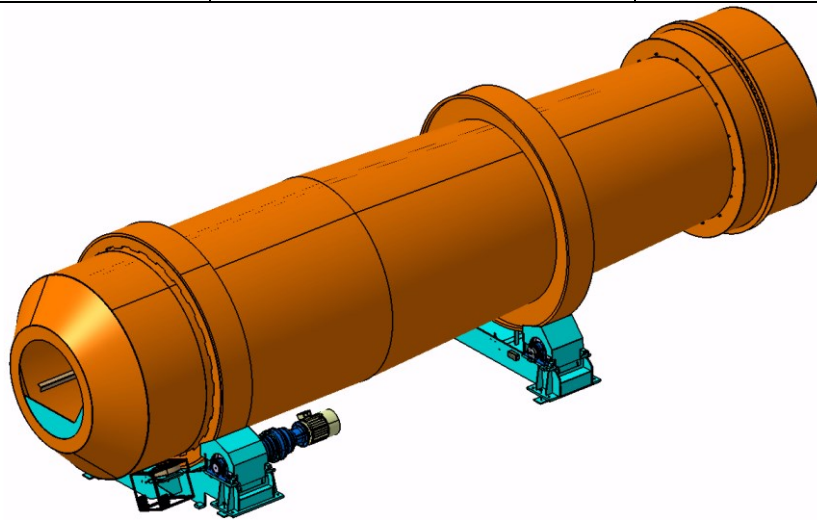


Рисунок 1.10 – Схема охолоджуючого барабана.

1.6.2. Вибір дробометних барабанів. Для очищення виливків від пригорілої суміші обираємо дробометну установку SHLIK MB 900S (рис.6.2).

Принцип дії дробометної установки полягає в наступному: деталі завантажуються в навантажувач, який переміщує їх у барабан і повертається в початкове положення. Після закриття дверей установки та досягнення турбіною номінальних обертів, розпочинається процес очищення.

Під час дробометної обробки конвеєрна стрічка починає рухатися вперед, що забезпечує безперервну обробку виливків. Після завершення процесу обробки двері автоматично відкриваються, і виливки переміщуються назовні завдяки поверненню стрічки в початкове положення.

Цей процес забезпечує ефективне очищення виливків від забруднень та підготовку їх до подальшої обробки. Технічна характеристика дробометної установки наведена в таблиці 1.13.



Рисунок 1.11 – Дробометна установка SHLIK MB 900S..

Таблиця 1.13 – Технічна характеристика дробометної установки SHLIK MB 900S.

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Місткість	0,9	м ³
Найбільша маса очищуємої деталі	150	кг
Кількість дробометних апаратів	1	шт
Габаритні розміри	4,6x3,5x5,3	м
Максимальна вага загрузки	2500	кг
Продуктивність	18	т/год

1.6.3. Вибір верстатів для зачистки виливків. Стационарні верстати для зачистки виливків випускаються з одним і двома шліфувальними кругами або з одної сторони встановлюється шліфувальний круг, а з іншої сторони – пила для відрізки підживлювачів. Верстат з індивідуальним приводом (рис. 6.3) має масивну чавунну станину зі столиками 2 для виливків і шпиндель з двома кругами 3 по кінцях (діаметр 500–600 мм). Щоб при зносі кругів можна було зберігати в межах норм їх окружні швидкості, на робочому валу є східчастий шків. Напрямок обертання повинен бути таким, щоб виливки тертям круга притискалися вниз до столика. На верстатах подібної конструкції обробляють дрібні виливки масою до 30 кг, які можна утримати в руках. Продуктивність таких верстатів 0,1–0,5 т/год.

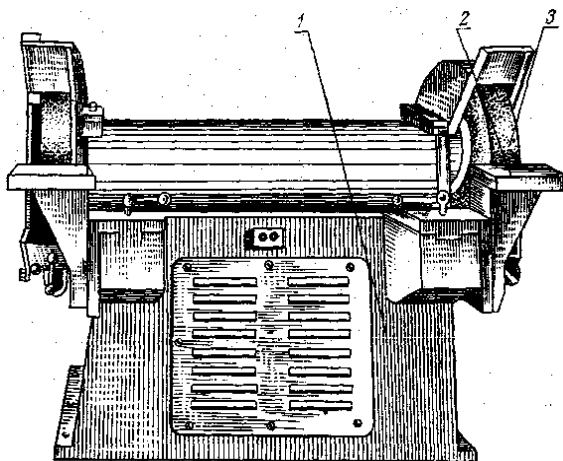


Рисунок 1.12 – Шліфувальний верстат для зачистки виливків.

1.7. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху

У ливарних цехах використовують різноманітні матеріали для виготовлення форм і отримання рідкого металу. Проектні завдання передбачають, що запас матеріалів для безперервної роботи зберігається на складах, розміщених у прольотах, що прилягають до плавильного та сумішоприготувального відділень. Також проектується склади для ливарної та стержневої оснастки, стержнів і виливків.

У ливарних цехах повинні бути передбачені: комори та лабораторії, допоміжні дільниці - ремонту обладнання, ремонту модельного оснащення, ковшова, ремонту електричного устаткування, підготовки шихти, регенерації відпрацьованих сумішей.

Для розрахунку площ складів та систем механізації необхідно знати кількість матеріалів, які використовує цех. Річну витрату основних матеріалів визначають на основі розрахунків металу завалки, компонентів шихти та кількості всіх сумішей, що використовуються.

Дільниця футеровки ковшів і ремонту ковшових печей призначена для капітального ремонту та футеровки ковшів, а також для ремонту плавильних печей. Для футеровки використовують вогнетривкі матеріали, які зберігаються на складі, а маси для футеровки готують на спеціальній дільниці підготовки

ковшів, що зазвичай розміщується у плавильному відділенні. Площу дільниці беруть із розрахунку 8-10 м² на 1000 т придатного литва на рік.

Дільниця регенерації відпрацьованих сумішей складається з вибивної решітки, барабанного решета та магнітного сепаратора, і розміщується під вибивним відділенням у підвальному приміщенні цеху. Після регенерації підготовлена суміш повторно подається у сумішоприготувальне відділення, що дозволяє повторно використовувати до 95% оборотної формувальної суміші.

1.8. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
2. Описано роботу плавильного, формувально-заливно-вибивного, стержневого, сумішоприготувального, очисного відділень, дільниць обрубки виливків, склади і допоміжні відділення ливарного цеху.
3. Для плавки металу було обрано електричний індукційний тигельний плавильний комплекс MFTGe 5,00 ємністю 5 т. Описано будову плавильної печі, наведено її технічні характеристики.
4. Для виготовлення форм обрано автоматичну ливарну лінію DISA MATCH на основі формувальної машини DISA MATCH 24/28. Описано будову лінії та її технічні характеристики.
5. Для виготовлення стержнів обрано стержневу машину DISA CORE 10 EP. Описано будову стержневого автомата та його технічні характеристики.
6. Для приготування формувальної та стержневої сумішей вибрано змішувачі. Описано склад і властивості формувальної та стержневої суміші.
7. Для відбивання ливників та очистки поверхні відливків застосовується галтувальний охолоджуючий барабан DISA COOL 2900, відбивання ливників здійснюється пневмокліщами, очистка поверхні здійснюється також в дробометній установці SHLIK MB 900S, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ ВИЛИВКА «КРИШКА ЗАДНЯ»

2.1. Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на виливок

Виливок «Кришка задня PVH» [додаток МР-131.24.03.02.01.00] відноситься до VIII класу точності за ГОСТ 26645 – 85, виготовляється із ВЧ 450-10 за ДСТУ 3925 – 99 [13]. На виливку не допускається наявності формувальної суміші і пригару, задири і нарости повинні бути видалені. Виливок повинен бути очищений до блискучого металу. Включення кулястого графіту не більше 100 мкм. Присутність вільного цементиту не допускається. Форма перлиту – зернистий перлит. Допускаються окремі, які не виходять за поля раковини: на оброблювальних поверхнях – глибиною не більше $2/3$ величини припуску на механічну обробку, діаметром до 1 мм, в кількості не більше 10 штук, на відстані одна від одної не менше 5 мм; на не оброблювальних поверхнях – глибиною до 1,5 мм, діаметром 3 мм в кількості не більше 10 штук, на відстані одна від одної не менше 5 мм.

Деталь "Кришка задня PVH" представляє собою корпусну деталь в якій розташовано механізм обертання. Верхня і нижня частини кришки плоскі. Кришка має центральний отвір для виходу привідного валу гідромотора. Знизу кришка має два місяцеподібні отвори, які мають виходи на бокові платики. Ці отвори призначені для подачі робочої рідини в гідросистему. Всі отвори кришки (крім отворів під болти) отримуються за допомогою стержнів і мають литу необроблену поверхню. Отвори під болти не проливаються і отримуються в деталі при подальшій механічній обробці в механоскладальному цеху. Маса деталі 12,91 кг, габаритні розміри $219 \times 200 \times 74$ мм, твердість 170...220 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал, отвори. Інші поверхні не оброблюються. Даний виливок є технологічним. Зовнішні поверхні виливка представляють собою прямокутні та циліндричні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію виливка

при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Виливок має три стержня, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми плоский, один, і співпадає з віссю симетрії бокових отворів.

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

2.2.1. Особливості роботи технологічного обладнання. Для виготовлення виливка "Кришка задня PVH" застосовуємо безопочну автоматичну ливарну лінію DISA MATCH 24/28 (див. розд. 1). На цій лінії весь процес отримання виливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір кому в світлі 711×610 мм. Висота верхньої опоки рівна висоті нижньої – 178 мм. Модельні плити двосторонні, на плиті змонтовані частини моделі для оформлення низу форми та верха.

Принцип роботи DISA MATCH 24/28 слідуючий: у початковому положенні верхня і нижня півформи відкриті. Модельна плита розташовується ліворуч позаду в стані готовності. На першому етапі модельна плита, переміщаючись між верхньої і нижньої напівформами, рухається нагору в напрямку нерухомої верхньої півформи, за модельною плитою рухається нижня напівформа. Розташування вертикального ливника уздовж поверхні форми може вибиратися будь-яким. Як уже було описано раніше, форми закриваються за допомогою двох центрованих напрямних колон. Потім інтегрована система упорскування камери зволожує поверхні двох закритих камер форми, щоб знизити зношування і спростити наступне виштовхування моделі.

Після закриття система повертається назад на 90° . Щілини для надуву суміші у верхню і нижню напівформи примикають безпосередньо до двох отворів у бункері для формувальної суміші. Потім здійснюється впорскування і пресування формувальної суміші, відповідно до заданого процесу DISAMATIC, під час якого пресування контролюється з використанням системи, яка добре зарекомендувала себе.

Після пресування система повертається в початкове положення, у якому модель знімається з верхньої напівформи. У ході цього процесу модельна плита і нижня напівформа опускаються гідропресом для розділення (із заздалегідь заданими прискоренням, швидкістю і на задану відстань). Після того, як модельна плита МП досягне свого початкового положення, нижня напівформа відділяється від неї – технологічні параметри задані для процесу вилучення. Жорстка конструкція формувальної машини і внутрішньокамерна система впорскування забезпечують якісне відділення. Тепер модельна плита вертається в позицію готовності, після цього стержень може бути встановлений у форму у відкриту нижню напівформу, яка перебуває на оптимально ергономічній висоті від підлоги в 900 мм, як вручну, так і автоматичним простановщиком стержнів (CSE).

Під час установки стержнів простановщик переміщається в машині на позицію над нижньої напівформою і зупиняється. Нижня напівформа рухається до простановщика для введення стержня. Підтримка вакууму в простановщику припиняється для того, щоб стержень міг бути розміщений точно у формі. Потім нижня напівформа вертається у вихідне положення, і простановщик виводиться з машини. Тепер шлях для нижньої напівформи вільний, і вона може переміщатися до нерухомої верхньої напівформи зі швидкістю, яка індивідуально задається, і дві напівформи з'єднуються. Повна форма видавлюється із системи нижньої і верхньої напівформ (по заданих параметрах), виводиться з машини і транспортується на палету. Потім робочий цикл повторюється. Для економії часу деякі фази робочого циклу можуть проводитися паралельно.

Під формувальною лінією розміщені стрічкові конвеєри для збору суміші, які транспортують суміш до вибивної решітки. Далі нахилений конвеєр підіймає суміш на рівень іншого стрічкового конвеєра, що подає її на полігональне сито. Після просіювання суміш збирається в проміжний бункер, який розміщено знизу. Із проміжного бункера суміш за допомогою реверсивного стрічкового конвеєра подається до охолоджувача суміші, де проходить її охолодження приблизно до

+20° С. Вологість та температура суміші контролюється за допомогою датчиків. Вміст води суміші на виході не повинен перебільшувати 2...3 %. Далі стрічковий конвеєр транспортує охолоджену суміш до бункера на зберігання. Перед подачею суміші на змішувач, вона зволожується до потрібного рівня та зважується. Після змішування суміш транспортується до бункера перед формувальними автоматами. Усі стрічкові конвеєри оснащені аварійними тросами, містками та захисними ковпаками.

Оскільки маса стержнів не перевищує 10 кг, то для їх виготовлення використовуємо універсальний стержньовий автомат моделі DISA CORE 10 EP.

Стержні виготовляються у холодних ящиках з швидкотвердіючих сумішей, що дає можливість підвищити точність стержнів, а відповідно і точність виливків.

Втрати температури сплаву ВЧ 450-10 при випуску із плавильної печі, транспортуванні і переливі із ковша в ківш повинні бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску сплаву ВЧ 450-10 з плавильної печі втрати температури складають від 20 до 40°С, а при переливі з ковша в ківш – 30...50 °С.

Рекомендована температура заливки сплаву ВЧ 450-10 при середній товщині стінки виливки 15 мм і з врахуванням втрат тепла складають 1320 – 1380 °С [15].

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків, однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, виливок охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. За час руху у виливку закінчуються усі перетворення. Виливки із сплаву ВЧ 450-10 необхідно вибивати при температурі 200°С.

Виливки потрапляють в барабан для остаточного відділення від суміші. Із барабанів виливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і обробки.

Перед очищенням виливки попередньо оглядаються, брак видаляється і не поступає на очистку.

Технологічний процес очищення виливка складається із наступних операцій:

- видалення стержнів із виливків;
- відділення ливників, випарів;
- очищення виливків від прилиплої формувальної суміші;
- остаточного контролю якості виливків після очищення і обрубки.

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання виливків здійснюється на стаціонарних обдирочнозачисних станках.

Контроль якості виливків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Ґрунтовка виливків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки.

Виливки перед фарбуванням промиваються в мийній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується ґрунтовка виливків з зануренням у ванну і просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування виливки направляються на склад готових виробів.

2.2.2. Визначення положення виливка у формі. Положення виливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним, оскільки оброблювані циліндричні поверхні – посадочні місця на валу – повинні бути розташовані вертикально, для запобігання отримання раковин, дефектів через забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає горизонтальне положення і являється єдиною для даного виливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що виливок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

2.2.3. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків. Розміри виливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сплаву ВЧ 450-10 вибираємо по ГОСТ 26645-85. На кресленні межі припусків обводяться тонкою червоною лінією [додаток МР-131.24.03.02.01.00] і вказується величина припуску, яка по ГОСТ 26645-85 для даної деталі складає 3 – 4 мм [15].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру виливка. Значення величини ливарної усадки для сплаву ВЧ 450-10 вибираємо з [16]. Для середніх виливків вільна усадка рівна 1,5...2,0 %.

Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах 2...6 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [17].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі [додаток МР-131.24.03.02.01.00], не вказані радіуси вказуємо в технічних вимогах на кресленні.

Формівні уклони призначаємо в залежності від лінійних розмірів виливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-57. Величини мінімальних формувальних уклонів вибираємо із [17]. Для даного виливка, при висоті виливка від поверхні роз'єму, величина клону бокових поверхонь складає 2°...3° Величини уклонів вказуємо на кресленні, не вказані уклони проставляємо у технічних вимогах креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку [додаток МР-131.24.03.02.01.00]. Розміри стержневих знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [16]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо горизонтальні знаки стержнів довжиною 35 мм [17].

Величини уклонів знакових частин вибираємо із [17], які складають при висоті знаку до 50 мм – 7°. Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [17]. Для горизонтального знака

зазори між знаковими поверхнями форми і стержня рівні 0,3 мм, а для вертикального – 0,4 мм.

2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи

2.3.1. Визначення габаритних розмірів кому. Габарити кому визначаються габаритами виливка, числом виливків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів виливка і знаходиться у межах 0,25...1,2.

Відстань між окремими моделями дорівнює $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формовці в одній опоці декількох виливків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути $\leq 20...25$ мм [17]. Відстань від тіла виливка до стінок опок складає 50...100 мм, від стержньового знаку до бокової стінки опоки 0...50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна 60...120 мм [17]. Враховуючи, що для виготовлення виливка застосовуємо автоматичну лінію DISA MATCH 24/28., з розмірами кому $711 \times 610 \times 178$ мм приймаємо кількість виливків отримуємо в одній опоці рівним 1 шт.

2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки. Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [13]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (2.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 0,9$ [17];

δ – середня товщина стінок виливка, $\delta = 23$ мм;

C_1 – вага одного виливка з ливниковою системою, кг.

$$C_1 = C_{\text{г}} + 0,4 \cdot C_{\text{г}} + C_{\text{під}} \quad (2.2)$$

$$C_1 = 12,91 + 0,4 \cdot 12,91 + 16 = 33,97 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 0,9 \cdot \sqrt[3]{23 \cdot 33,97} = 8,3 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (2.3)$$

де C – висота виливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{74}{8,3} = 8,91 \text{ мм/сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [14].

2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.

Загальна площа живильників на один виливок:

$$\sum F_{\text{жс}} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \gamma \sqrt{2gH_p}}, \quad (2.4)$$

де G – вага одного виливка, з ливниками і т.п., кг;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,35$ [13];

g – прискорення вільного падіння, м/сек²;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{C}; \quad (2.5)$$

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 178$ мм;

p – висота виливка над рівнем підйому металу, $p = 36$ мм;

C – загальна висота виливка, $c = 74$ мм.

$$H_p = 178 - \frac{36^2}{74} = 160,5 \text{ мм} = 16,05 \text{ см}$$

$$\sum F_{\text{жс}} = \frac{33,97}{0,35 \cdot 8,3 \cdot 7800 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1605}} = 0,000845 \text{ м}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію [додаток МР-131.24.03.02.01.00].

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{\text{жс}} : \sum F_{\text{ш}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,15 \quad (2.6)$$

$$\sum F_{\text{ш}} = \sum F_{\text{жс}} \cdot 1,1 = 6,16 \cdot 1,1 = 6,8 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{\text{ст}} = \sum F_{\text{ш}} \cdot 1,15 \quad (2.7)$$

$$F_{cm} = 6,8 \cdot 1,15 = 7,82 \text{ см.}$$

Оскільки:

$$F_{cm} = \frac{\pi \cdot d_{cm}^2}{4} \quad (2.8)$$

Діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}} \quad (2.9)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,82}{3,14}} = 3,15 \text{ см}$$

Приймаємо $d_{cm} = 32 \text{ мм.}$

Визначимо діаметр чаші для одного виливка:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm} \quad (2.10)$$

$$D = 3 \cdot 32 = 96 \text{ мм}$$

2.4. Опис технологічного процесу виготовлення виливка

2.4.1. Вибір формувальної та стержневої суміші. У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формівну суміш.

На автоматичній лінії DISA MATCH 24/28 використовується формівна суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості стержньової та формувальної суміші приведені у розділі 1.

2.4.2. Формовка. Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким шляхом:

Формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Порожні опоки подаються за допомогою рольгангів. Нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах. Потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. Потім напівформи транспортують на збирання.

2.4.3. Збирання форм. Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів виливки. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

- 1) збирання форми;
- 2) спарювання верхньої та нижньої опок.

2.4.4. Заливка форм. Температура сплаву ВЧ 450-10 при заливці повинна бути 1320 – 1380 °С. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з міксера потрапляє у попередньо нагрітий ківш конічного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані 150 – 200 мм. При заливці швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20 мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми.

2.4.5. Вибивка і обрубка. Після закінчення заливки форм, та по закінченні часу охолодження, повний комплект опок підіймається та переміщується відповідним пристроєм на вибивку, витискається з форми гідроциліндром, після чого ком з виливками проштовхується до вібраційного столу. На столі під дією вібрації виливки звільняються від формувальної суміші. Вибивний конвеєр транспортує виливки на пластинчатий конвеєр для подальшого охолодження та переміщення.

Потім виливки поступають в дробометні барабани де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції виливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

Далі вони поступають на дільниця контролю де проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і виливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуна марки СЧ 20. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку виливка – 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів виливка модель виливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 900×600 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм.

Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [17].

Моделльні плити виготовляються із чавуна. Товщина плит складає 50 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори свердяться одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюються отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей установлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верха – моделі шлаковловлювачів. Підмоделльні плити повинні мати елементи спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони – центруючий, з іншої – направляючий штирі. На другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Моделльні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [16]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [16] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик виливається у відповідності з розмірами і піддається

механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венти. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \div 0,9, \quad (2.11)$$

де $F_{\text{вент}}$ – сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$ – сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа однієї венти при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм². Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

2.6 Контроль якості виливка.

Зовнішній контроль:

- Проводиться на двох етапах: перед очисткою та відпалом, а також після очищення.
- 100% виливків порівнюють з еталоном, щоб виявити дефекти:
- Шлакові, газові, земельні, усадочні раковини
- Короблення, зміщення, підриви, пригари
- Хімічний склад визначають в лабораторії один раз на плавку кожного виду сплаву.

- Геометричні розміри контролюють один раз після встановлення нового модельного оснащення та виготовлення експериментальної партії.

Контроль структури металу:

- Визначають за допомогою мікроскопу на шліфах один раз в місяць.

Контроль механічних властивостей:

- Перевіряють твердість, відносне видовження, згин, ударну в'язкість та ін.
- Проводять раз на тиждень на стандартних зразках та зразках, вирізаних з тіла виливка.

Контроль параметрів технологічного процесу:

- Здійснюється контрольно-вимірювальними приладами, встановленими на обладнанні.
- Параметри формівної та стержневої суміші перевіряються 1 раз в 6 годин.

2.7. Висновки по розділу

1. Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок.
2. Описано особливості роботи технологічного обладнання.
3. Розроблені технічні умови на виливок.
4. Виконано розрахунок ливниково-живильної системи.
5. Описано процес проектування ливарного оснащення.
6. Описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, приведено параметри заливки форми, вибивки, обрубки виливків.
7. Наведено параметри та способи технічного контролю якості виливків.
8. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок (додаток МР-8.131.24.03.02.01.00), модельного комплекту (додаток МР-8.131.24.03.02.02.00), стержневого ящика №1 (додаток МР-8.131.24.03.02.03.00), стержневого ящика №2 (додаток МР-8.131.24.03.02.04.00), та форми в зборі (додаток МР-8.131.24.03.02.05.00).

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ МЕТАЛУ

3.1. Загальні відомості про високоміцний чавун

Чавун, який містить графітні включення у формі кульок, називають високоміцним. Досягають цього шляхом додавання до розплавленого металу спеціальних речовин, які називають модифікаторами. Ці модифікатори діють як штучні центри кристалізації, рівномірно розподіляючись по всьому об'єму розплавленого металу. Це призводить до того, що кристалізація починається не тільки від стінок форми, але й всередині самого об'єму. Оскільки штучний зародок під час кристалізації чавуну оточений рідким металом з усіх боків, це сприяє формуванню кристалів кулястої форми..

Для отримання високоміцного чавуну використовують різні методи, зокрема додавання чистого магнію (0,02-0,08%) або церію в піч або ківш. Введення магнію супроводжується його інтенсивним випаровуванням, горінням з виділенням світла та білого диму. Оскільки модифікація чистим магнієм супроводжується сильним піроефектом, його замінюють лігатурами, наприклад, сплавами магнію з нікелем або кальцієм. Це значно зменшує піроефекти. Також можливе модифікування всередині форми за допомогою автоклавів або герметизованих ковшів [18].

Головна відмінність високоміцного чавуну – його високі механічні властивості. Це зумовлено кулястим графітом, який, на відміну від пластинчастого графіту в сірому чавуні, менше послаблює робочий переріз матриці. Це призводить до менших концентрацій напружень навколо сфероїдів графіт.

Високоміцний чавун, як і інші види чавуну, можна отримати з різними структурами матриці. Це досягається шляхом вибору складу металу, його легування, технології виробництва та методів термічної обробки. Завдяки цьому можливо досягти дуже високих механічних властивостей, які не доступні в

інших типах чавуну. Деякі марки високоміцного чавуну також демонструють високу зносостійкість, добру корозійну стійкість, теплостійкість, жаростійкість, холодостійкість, антифрикційні властивості, оброблюваність та здатність до зварювання. Крім того, високоміцний чавун має добрі ливарні властивості, такі як висока рідинотекучість, мала величина ливарної усадки, незначна схильність до утворення гарячих тріщин. Проте, слід зазначити, що він має більшу схильність до утворення усадкових раковин і ливарних напружень у порівнянні з сірим чавуном.

Ключовим фактором для механічних властивостей високоміцного чавуну є графіт кулястої форми. Хоча в деяких випадках допускається графіт змішаної форми, правильна форма графіту залежить від кількох факторів, зокрема складу металу, умов модифікування, шихтових матеріалів, умов плавки. Особливо важливим є вміст залишкового Mg, Ce або інших сфероїдизаторів. Швидкість охолодження відливків також має значний вплив на форму графіту: чим вища швидкість, тим правильніша форма. Розміри графіту можуть варіюватися: при високій швидкості охолодження – приблизно 50 мкм, при середній швидкості – близько 100 мкм, при низькій швидкості (в масивних відливках) – досягає 400-500 мкм.

Механічні властивості високоміцного чавуну регламентуються держстандартом України (ДСТУ 3925-99). Згідно з цим стандартом, високоміцний чавун рекомендується плавити, переважно в електропечах, із застосуванням шихти з високим вмістом сталі або чисто синтетичного чавуну з додатковим легуванням молібденом у кількості 0,2-0,4%. Вміст вуглецю в кінці плавки підвищується за допомогою карбюризаторів.

Механічні властивості високоміцного чавуну суттєво залежать від хімічного складу металу.

Вуглець у високоміцному чавуні не потребує зниження для отримання високих механічних властивостей. Навпаки, для високих марок його вміст зазвичай витримується в межах 3,2-3,6%. Це полегшує процес одержання металу у вагранках або електропечах, підвищує ливарні властивості чавуну і не впливає

негативно на його механічні властивості, як це має місце при пластинчастому графіті.

Кремній значно впливає як на структуру, так і на механічні властивості високоміцного чавуну. Регулювання кількості фериту в чавуні здійснюється підбором вмісту кремнію в металі. При вмісті 3,0-3,3% кремній сприяє отриманню стійкої феритної структури, проте пластичність чавуну при цьому знижується. При кількості кремнію вище 3,5% він сприяє появі крихкості, навіть при звичайному вмісті марганцю і фосфору. Тому з точки зору пластичності краще застосовувати 2,0-2,4% кремнію, а для отримання чистого фериту застосовувати термічну обробку [18].

Марганець також впливає на структуру високоміцного чавуну, але його вплив протилежний впливу кремнію. Він зменшує кількість фериту, збільшуючи кількість перліту, що підвищує границю міцності на розтяг. Для отримання високої пластичності вміст марганцю не повинен перевищувати 0,4%, що скорочує, а іноді зовсім виключає термічну обробку. Якщо ж деяка кількість перліту в литій структурі допустима, як це має місце в більшості випадків на практиці, кількість марганцю може знаходитися в межах 0,4-0,8%. Однак, для зниження порогу холодноламкості слід допускати вміст марганцю не вище 0,3%.

Фосфор істотно впливає на структуру і властивості високоміцного чавуну, знижуючи подовження і ударну в'язкість. Тому його вміст не повинен перевершувати 0,1% і навіть, якщо можливо, повинен бути нижче, особливо в товстостінних відливках, де широко розвивається його ліквація. Якщо ж високе подовження в чавуні не обов'язково, вміст Р може бути підвищений до 0,12-0,15%

Вміст сірки у вихідному рідкому чавуні до модифікування повинен бути на низькому рівні (не вище 0,02% або навіть нижче). Вона ускладнює процес модифікування і отримання кулястого графіту, а також знижує механічні властивості високоміцного чавуну внаслідок утворення сфероїдизаторами сульфідів.

Магній або церій, що застосовуються як сфероїдизатори, зазвичай залишаються у високоміцному чавуні в кількості не менше 0,03% і 0,02% відповідно. В іншому випадку графіт кристалізується в кулясту форму тільки частково, що знижує механічні властивості чавуну. Однак, занадто високий залишковий вміст магнію або церію призводить спочатку до утворення цементита, а потім до перемодифікування (утворення пластинчастого графіту). Тому їх вміст не повинен перевищувати 0,08% і 0,05% відповідно.

Густина високоміцного чавуну, внаслідок наявності графіту, дещо менше, ніж у вуглецевої сталі (приблизно на 8%), і лише трохи перевершує густину сірого чавуну при однаковій матриці і складі.

Зносостійкість є позитивною особливістю високоміцного чавуну. Тому його часто застосовують для виготовлення деталей, що працюють в умовах абразивного зносу і тертя при високих питомих тисках. Найбільш сприятливою в цьому випадку матрицею нелегованого високоміцного чавуну є перлітна, яка характеризується меншим зносом і меншим коефіцієнтом тертя.

В умовах сухого тертя при зворотньо-обертальному русі зносостійкість високоміцного чавуну з перлітною структурою в два-три рази вище зносостійкості загартованої сталі. Те ж саме спостерігається при терті з мастилом і при абразивному зношуванні. Зносостійкість можна ще більше підвищити за допомогою легування молібденом, нікелем, міддю та іншими елементами, які сприяють подрібненню перліту і утворенню бейнітної структури [18].

Високоміцний чавун має ряд важливих властивостей, які роблять його надзвичайно корисним у різних галузях промисловості. Ось основні з них:

Антифрикційні властивості: Високоміцний чавун демонструє відмінні антифрикційні характеристики, що особливо важливо для деталей, які працюють в умовах тертя, наприклад, у підшипниках. Це забезпечується високою зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, високою теплопровідністю та здатністю утримувати змазку у вигляді безперервної плівки.

Герметичність: Завдяки відсутності графітної пористості, високоміцний чавун має значно кращу герметичність у порівнянні з сірим чавуном. Це робить

його ідеальним матеріалом для відливків, які працюють під великим тиском, таких як деталі дизелів, насосів, гідравлічних і газових установок.

Корозійна стійкість: Високоміцний чавун має високу корозійну стійкість, яка не нижча, ніж у сірого чавуну, і значно перевищує стійкість вуглецевої сталі. При корозії на поверхні чавуну швидко утворюється міцний окислений шар, що перешкоджає подальшому розвитку корозії. Особливо висока корозійна стійкість спостерігається в атмосферних умовах, зокрема при впливі морської атмосфери.

Жаростійкість: Високоміцний чавун має вищу жаростійкість, ніж сірий, завдяки меншому окисленню металу на межах роз'єднаних включень графіту.

Рідинотекучість: Цей матеріал має вищу рідинотекучість, ніж ковкий та сірий чавуни високих марок, що дозволяє відливати деталі з товщиною стінки 3-4 мм зі складною конфігурацією та отримувати відливки з чистою зовнішньою поверхнею.

Усадка: Загальна усадка високоміцного чавуну є практично меншою, ніж у сірого, хоча різниця не є суттєвою.

Завдяки цим властивостям, високоміцний чавун знаходить широке застосування в різних галузях промисловості, часто замінюючи сталеве литво, ковкий та сірий чавуни. Його висока міцність у поєднанні з відмінними експлуатаційними, фізичними та технологічними характеристиками робить його ідеальним вибором для багатьох промислових застосувань.

Високоміцний чавун має ряд суттєвих переваг у порівнянні зі сталлю та іншими матеріалами, що робить його ідеальним вибором для багатьох промислових застосувань. Ось основні переваги:

Менша густина: Високоміцний чавун має меншу густину, що призводить до зменшення маси відливків. Це особливо важливо для тонкостінних деталей, які можна виготовляти завдяки високій рідинотекучості цього матеріалу.

Низька температура плавлення: Високоміцний чавун плавиться при нижчих температурах, що спрощує і здешевлює процес плавки. Це також зменшує енергетичні витрати на виробництво.

Сприятливі ливарні властивості: Цей матеріал має меншу ливарну усадку, що зменшує ризик утворення гарячих тріщин та усадкових раковин. Це робить його більш надійним для виготовлення складних форм.

Високі механічні властивості: Високоміцний чавун демонструє кращі механічні властивості в порівнянні з ковким чавуном, що дозволяє обходитися без термічної обробки в багатьох випадках. Це знижує витрати на виробництво.

Універсальність: Високоміцний чавун може використовуватися для виготовлення деталей будь-яких перерізів, маси і розмірів, що робить його дуже гнучким у застосуванні.

Заміна сірого чавуну: Завдяки високим механічним властивостям, високоміцний чавун може замінювати сірий чавун у багатьох випадках, що розширює його застосування.

Завдяки цим перевагам, високоміцний чавун активно використовується для виготовлення деталей, що підлягають високим статичним, ударним і циклічним навантаженням, а також в умовах зношування і агресивного середовища. Це включає деталі, які можуть важити від кількох кілограмів до кількох тонн, що робить його важливим матеріалом у сучасній промисловості.

3.2. Негативний вплив сірки на властивості чавуну

Сірка - це шкідлива домішка, яка негативно впливає на властивості чавуну. Вона погіршує зварюваність, антикорозійні та електротехнічні властивості, знижує міцність, твердість, в'язкість, ударну в'язкість, підвищує крихкість. Крім того, сірка знижує рідинотекучість чавуну, що ускладнює заповнюваність форми. Вона також збільшує усадку, сприяючи утворенню раковин та тріщин. При вмісті сірки 0,12-0,14% утворюється відбіл в тонких перерізах відливка, що пов'язано з утворенням легкоплавкої евтектики $\text{Fe}+\text{FeS}$. Сірка утворює з'єднання FeS , яке при затвердінні чавуну утворює легкоплавку евтектику, що призводить до червоноламкості, тобто крихкості при підвищених температурах. Високий вміст сірки ускладнює отримання кулястої форми графіту, що знижує механічні

властивості. Оскільки сірку неможливо видалити розкисленням, застосовують десульфуратори, які зв'язують сірку у шлак. Таким чином, низький вміст сірки є ключовим фактором високої якості чавуну.

3.3. Способи десульфурації чавуну

Десульфурація є важливим процесом у металургії, що сприяє видаленню сірки з розплавленого металу, зокрема чавуну та сталі. Цей процес полягає в переведенні розчиненої в металі сірки в сульфід, які є нерозчинними або малорозчинними у рідкому металі.

Десульфурація чавуну має давню історію. Раніше для цього використовували соду та вапно, але методи введення реагентів були примітивними, а їх використання — малоефективним. З підвищенням вимог до якості чавуну зросла важливість десульфурації, що спонукало до пошуку нових реагентів і розробки сучасних методів їх введення, які забезпечують практично повне видалення сірки.

З початку 60-х років у промисловості почали використовувати карбід кальцію, який має високу хімічну спорідненість до сірки, що дозволило зменшити витрати реагенту. Оскільки карбід кальцію не розчиняється в рідкому чавуні, для його ефективного перемішування були розроблені спеціальні пристрої, такі як віброковші та механічні мішалки.

У 70-ті роки акцент став на перемішуванні металу газами та інжекційних методах введення реагентів. З кінця 60-х років почали використовувати магній для десульфурації, оскільки його хімічна спорідненість до сірки забезпечує ефективність процесу. Однак, низька температура кипіння магнію та активне газоутворення при його введенні у рідкий чавун ускладнюють цей процес.

Сьогодні десульфурація чавуну є поширеною практикою в країнах з розвиненою металургійною промисловістю. Вона зазнала значних змін, зокрема збільшилася глибина десульфурації, що дозволяє досягати майже повного видалення сірки. Традиційні реагенти, такі як сода, поступаються місцем більш

ефективним карбїду кальцію та магнію. Сучасне обладнання забезпечує механізацію всіх операцій і зменшує забруднення навколишнього середовища.

Проте, досі не існує єдиних стандартів у технології десульфурзації, реагентах та методах їх введення. Отримання чавуну з низьким вмістом сірки пов'язане з високими витратами, і сьогодні використовують різні реагенти, такі як порошкоподібне вапно, сода, карбід кальцію, гранульований магній або їх суміші.

Згідно з дослідженнями [20], було отримано рівняння десульфурзації чавуну порошкоподібним вапном, що вдувається в метал струменем природного газу:

$$S_k = 0,005 + 4,05 \cdot \frac{S_p}{2,2} \cdot q + 0,23 \cdot S_{\text{вап.}}, \quad (3.1)$$

де S_k – кінцевий вміст сірки, %;

S_p – початковий вміст сірки, %;

$S_{\text{вап.}}$ – вміст сірки в вапні, %;

q – витрата вапна, кг/т чавуну.

Аналіз рівняння дійсно підтверджує, що для отримання чавуну з низьким вмістом сірки необхідно використовувати вапно з дуже низьким вмістом сірки, що не перевищує 0,007%. Це важливо, оскільки:

Значна кількість вапна, необхідна для десульфурзації, може призвести до втрат тепла. Це, в свою чергу, знижує температуру чавуну, що може негативно вплинути на процес лиття та якість готового продукту.

Вапно повинно використовуватися тільки у свіжовідпаленому вигляді. Це пов'язано з його схильністю до гідратації, що може зменшити його ефективність як десульфуратора. Гідратоване вапно не зможе забезпечити необхідну реакцію для видалення сірки з чавуну.

Таким чином, для досягнення оптимальних результатів у процесі десульфурзації важливо дотримуватися цих умов, щоб забезпечити високу якість чавуну з мінімальним вмістом сірки.

Використання вапна в суміші з магнієм дійсно може знижувати ефективність десульфурації. Це пов'язано з тим, що вапно містить до 10% карбонату кальцію (CaCO_3), який може вступати в реакцію з магнієм. Це призводить до кількох важливих наслідків:

Взаємодія магнію з карбонатом кальцію може зменшити кількість магнію, доступного для реакції з сіркою, що знижує загальну ефективність процесу десульфурації.

Зменшення ефективності магнію може призвести до необхідності використання більшої кількості реагентів для досягнення бажаного рівня десульфурації, що збільшує витрати.

Використання великої кількості вапна може також призвести до втрат тепла, що негативно вплине на температуру розплавленого металу, ускладнюючи процес лиття.

Використання соди для десульфурації чавуну має свої недоліки, такі як значне випаровування, що вимагає високого ступеня очищення відхідних газів, і велика витрата матеріалу. Крім того, при використанні соди відбувається реакція взаємодії содового шлаку з вогнетривами, що скорочує термін служби футеровки майже вдвічі. Тому соду як десульфуратор зазвичай застосовують тільки для незначного зменшення вмісту сірки або в особливих випадках, наприклад в поєднанні з окалиною для отримання чавуну з пониженим вмістом сірки і фосфору одночасно.

Використання карбїду кальцію потребує спеціальних заходів безпеки при обробці чавуну і збереженні отриманого шлаку, в якому міститься залишок карбїду, який не прореагував.

В наш час найбільш ефективним способом десульфурації чавуну є видалення сірки за допомогою магнію. Цей спосіб дозволяє отримувати низький і наднизький вміст сірки в чавуні. Магній екологічно безпечний, як і продукти його взаємодії з чавуном.

3.4. Основи десульфурзації магнієм

Магній – найбільш ефективний і перспективний елемент для десульфурзації чавуну. Він дозволяє отримати чавун з низьким та наднизьким вмістом сірки. Використання лише 0,2% магнію від маси чавуну може знизити вміст сірки від 0,150% до 0,003%.

Проблема в тому, що магній дуже швидко випаровується при температурі рідкого чавуну (1380-1440 °C), що може призвести до викидів металу. Тому важливо подавати магній на максимальну глибину (300-400 мм від дна ковша).

Існує два основних методи обробки чавуну магнієм:

1. Поступове інжектування диспергованого магнію в розплав.
2. Введення окремих порцій кускового або брикетованого магнію.

Останній метод використовує спеціальні камери, де магній плавиться та випаровується. Тиск парів магнію регулює подачу чавуну в камеру, забезпечуючи поступове випаровування та обробку металу.

Цей процес саморегулюється, запобігаючи викидам чавуну. Магній випаровується, утворюючи пари, які видаляють сірку з чавуну. Сульфід магнію (MgS) не розчиняється в чавуні і спливає на поверхню у вигляді шлаку:



При позапічній десульфурзації чавуну найбільше поширення отримав спосіб обробки чавуну в ковшах реагентами, які вводяться в метал через фурми. Ефективність цього способу визначається стійкістю фурм, які в процесі експлуатації піддаються різким тепловим ударам, ерозійному і хімічному впливу рідких чавуну і шлаку в ковші, а також механічним навантаженням при вібрації і поштовхах фурм під час обробки металу.

При десульфурзації чавуну порошкоподібним або гранульованим магнієм механічні навантаження на фурми особливо великі в зв'язку з бурним

протіканням процесу випаровування магнію в чавуні. Тому для цих фурм розроблена, в першу чергу, посилена конструкція каркаса, яка складається з товстостінної несучої труби з випаровувальною камерою і арматурою, яка забезпечує додаткове збільшення жорсткості каркасу і надійності утримання на ньому вогнетривкої футеровки.

Розробка технології десульфурації чавуну інжектуванням в нього порошкового магнію була розпочата ще в 1965 році Інститутом чорної металургії. Магній вдувають в чавун через футеровану вогнетривким матеріалом фурму разом з наповнювачем – вапном або доломітом. Наповнювач екранує порошок магнію від теплового випромінювання рідкого металу і сприяє очищенню вихідного отвору фурми від налипаючих частинок магнію (заварювання фурми металом в цьому випадку не відбувається). Недоліки порошкового магнію як реагенту для десульфурації чавуна методом інжектування (висока вартість виготовлення, складність вдування в чистому вигляді без розчинників) стимулювали розробку більш економічного виду диспергованого магнію.

Інститутом чорної металургії був створений гранульований магній, особливістю якого являється відносно великий розмір частинок (від 0,5 до 2,0 мм) і форма, близька до сферичної, яка сприяла його текучості. А також наявність захисної соляної плівки на поверхні частинок, що полегшує умови його введення в рідкий чавун. Гранульований магній вводять шляхом вдування в струмені газу через фурму або у вигляді порошкової проволочки за допомогою трайб-апарата. Перший спосіб з'явився значно раніше (приблизно на 30 років), а спосіб введення порошкової проволочки почав розвиватися в останні 10 років.

При розробці технологічного процесу інжектування гранульованого магнію в струмені природного газу особливу увагу приділяють умовам роботи фурм. Відсутність кисню і азоту в газоносії виключає протікання екзотермічних реакцій в камері фурми, а дисоціація метану в ній додатково забирає тепло. Заміна повітря природним газом приводить до зниження температури в камері фурми приблизно на 200 °С. Це сприяє охолодженню металу під камерою, що

впливає на розчинення магнію в металі, оскільки його розчинність в чавуні підвищується з зниженням температури рідкого чавуну. Надійність роботи фурми підвищується при роботі на природному газі, а необхідна кількість газу, що транспортується знижується.

Заміна повітря природним газом при інжектуюванні гранульованого магнію в чавун має ряд переваг. Сажистий вуглець, який утворюється при дисоціації метану в випаровувальній камері фурми, екранує канал, зменшує нагрів магнію, що транспортується, і дозволяє знизити швидкість витікання реагенту. Це, в свою чергу, дозволило зменшити витрату газу-носія на 20% або, при тій же витраті газу-носія, збільшити хвилинну витрату магнію. Процес обробки чавуну магнієм в струмені природного газу протікає спокійно, кількість сплесків з ковша не перевищує 0,05% від маси металу.

Однією з особливостей процесу обробки чавуну магнієм в струмені природного газу є утворення відновлювальної атмосфери над металом і шлаком в ковші, що впливає на хімічний склад шлаку. При обробці чавуну магнієм, який інжектуюється у струмені стисненого повітря, кількість оксидів заліза у шлаку збільшується, а при обробці чавуну магнієм, який інжектуюється у струмені природного газу, вона майже не змінюється. Згорання водню у ковші також відіграє позитивну роль, оскільки перешкоджає охолодженню сплесків металу і шлаку.

Для введення порошкової проволочки використовується компактне обладнання, яке включає в себе трайб-апарат, розмотувач і направляючу трубу, яке може бути встановлено на площі не більше 5-8 м². На підприємство надходять вже готові бухти порошкової проволочки і їх розміщення не потребує значних складських приміщень.

При вдуванні порошкового магнію неможливо обробляти повні чавуновозні і заливочні ковші, так як газ займає частину об'єму ковша, і крім того, виникає сильне бурління. Тому при вдуванні магнію ківш заповнюють не більш ніж на 75% корисного об'єму або збільшують об'єм ковша за рахунок його висоти, що не завжди можливо. При введенні порошкової проволочки, як показала практика,

можливо обробляти ковші з повним наливом (висота вільного борту повинна бути 200-300 мм).

При вдуванні магнію кількість відхідних газів приблизно вдвічі більше, ніж при введенні порошкової проволочки, так як об'єм відхідних газів збільшується за рахунок вдуває мого газу. Це тягне за собою необхідність збільшення пропускної здатності газоочищення і призводить до додаткових витрат.

При введенні порошкової проволочки зниження температури чавуну за час обробки (без врахування природних втрат температури ковшом) складає 5-10°C. При вдуванні магнію охолодження досягає 15-20°C, а це досить суттєво.

Процес введення порошкової проволочки автоматизований і режим можна оперативно змінювати по ходу процесу. Це дозволяє встановити параметри ефективної оптимізації технології десульфурзації чавуну порошкової проволочки з магнієм.

Перевага способу вдування полягає в тому, що магній надходить в об'єм чавуну точно на глибині занурення фурми. При введенні порошкової проволочки на глибину її занурення впливають фізико-хімічні властивості чавуну, і частково його хімічний склад та температура, але вплив цих параметрів можна скоригувати, змінюючи швидкість введення проволочки.

Як при вдуванні, так і при введенні порошкової проволочки, магній випаровується практично миттєво через високий тиск насичених парів магнію при температурах 1300°C (0,4 МПа) і 1350°C (0,8 МПа), що відповідає феростатичному тиску стовпа рідкого чавуну.

Рівень виробничих витрат при використанні порошкової проволочки є суттєво нижчим, ніж при вдуванні гранульованого магнію, навіть з урахуванням вищих витрат на саму проволочку. Це свідчить про економічну вигоду використання порошкової проволочки. Співставлення обох способів показало, що при однакових умовах десульфурзації (початковий і кінцевий вміст сірки) метод десульфурзації порошковою проволочкою є більш економічним у порівнянні з продувкою.

Порівняння способів десульфурзації з точки зору капітальних витрат, витрат на матеріали, зниження температури чавуну та організації виробництва підтверджує економічну і організаційну перевагу введення порошкової проволочки перед вдуванням гранульованого магнію.

Таким чином, використання порошкової проволочки для десульфурзації чавуну дійсно має значні переваги, що робить цей метод більш привабливим для промислового застосування.

3.5. Методика дослідження термодинаміка процесу десульфурзації металу

Якщо в термодинамічній системі відбувається хімічна реакція, то це означає, що початкові речовини, які беруть участь у реакції, зникають, а кінцеві речовини, або продукти реакції, утворюються. Такий процес, в загальному випадку, супроводжується зміною всіх параметрів стану системи, і до нього в повній мірі можуть бути застосовані закони термодинаміки.

Якщо процес протікає необоротно і при сталому об'ємі чи тиску, причому продукти реакції мають ту ж температуру, що і початкові речовини, то теплоту, що виділяється чи поглинається при цьому процесі, називають тепловим ефектом хімічної реакції.

Існує дві системи знаків теплових ефектів хімічних реакцій: термохімічна і термодинамічна. В наш час в хімічній термодинаміці використовується виключно термодинамічна система знаків, згідно з якою додатним вважається тепловий ефект ендотермічної реакції, а від'ємним – екзотермічної реакції [22, 28].

Розрізняють теплові ефекти при сталому об'ємі і теплові ефекти при сталому тиску.

Якщо $V = \text{const}$, то $dV = 0$ і

$$\delta Q_V = dU, \quad (3.5)$$

або для скінченного процесу

$$Q_V = \Delta U \quad (3.6)$$

Таким чином, згідно з виразами (3.5) і (3.6), тепловий ефект хімічної реакції при сталому об'ємі дорівнює зміні внутрішньої енергії системи.

Слід зауважити, що при хімічному перетворенні, на відміну від простих фізичних процесів з ідеальними газами (стиснення, розширення тощо), внутрішня енергія системи змінюється, в загальному випадку, не тільки за рахунок зміни кінетичної енергії частинок, але й за рахунок зміни енергії взаємодії між молекулами і атомами в різних молекулах, а також енергії електронних оболонок [19, 20].

Тепловий ефект реакції, яка відбувається в системі при сталому тиску, коли $p = \text{const}$ і $dp = 0$, дорівнює зміні ентальпії:

$$\delta Q_p = dH; \quad (3.7)$$

$$Q_p = \Delta H \quad (3.8)$$

Зв'язок між тепловими ефектами при сталому об'ємі і сталому тиску можна знайти, якщо рівняння $H = U + pV$ продиференціювати при сталій температурі:

$$dH = dU + d(pV) \quad (3.9)$$

Величина $d(pV)$ не дорівнює нулю з огляду на зміну маси реагентів.

Проінтегрувавши (3.9) від початкового стану 1 до кінцевого стану 2, одержимо:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV), \quad (3.10)$$

де

$$\Delta H = H_2 - H_1; \quad (3.11)$$

$$\Delta U = U_2 - U_1; \quad (3.12)$$

$$\Delta(pV) = p_2V_2 - p_1V_1. \quad (3.13)$$

Якщо кількість газоподібних реагентів у початковому стані n_1 , а в кінцевому стані n_2 , то, застосувавши до обох станів рівняння Менделєєва-Клапейрона $pV = nRT$, одержимо:

$$\Delta(pV) = \Delta nRT, \quad (3.14)$$

де $\Delta n = n_2 - n_1$.

Підставивши (3.14) у (3.10), одержимо:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta nRT \quad (3.15)$$

Таким чином, згідно з формулою (3.15), якщо реакція не супроводжується зміною числа газоподібних молекул, то теплові ефекти при сталому тиску і сталому об'ємі співпадають. При $\Delta n > 0$ $\Delta H > \Delta U$, а при $\Delta n < 0$, навпаки, $\Delta H < \Delta U$.

Закон Геса. Згідно з рівняннями (3.5)...(3.8), теплові ефекти хімічних реакцій, якщо останні ідуть при сталому об'ємі або сталому тиску, не залежать від шляху процесу, а визначаються тільки початковим і кінцевим станами системи, оскільки U і H – функції стану системи, і їх зміни ΔU і ΔH , яким дорівнюють теплові ефекти реакцій при відповідних умовах, не залежать від шляху процесу.

Теплотою (ентальпією) утворення реагента називається тепловий ефект реакції утворення моля даного реагента з простих речовин. Теплоти утворення майже всіх речовин наводяться у довідниках з термодинамічних властивостей речовин.

Для того, щоб вивести правило для розрахунку теплового ефекту будь-якої хімічної реакції за допомогою теплот утворення реагентів, розглянемо схему утворення складної речовини ABCD із простих речовин A, B, C і D (рис.3.1) при деякій температурі $T = \text{const}$.

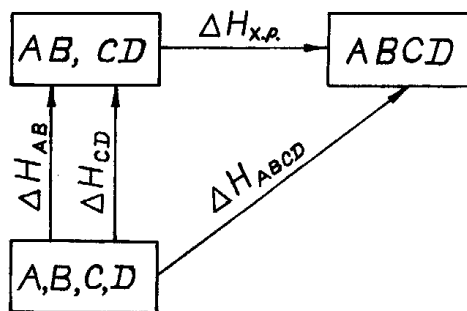


Рисунок. 3.1 – Схема утворення складної речовини з простих

Згідно з рис.3.1, складну речовину ABCD можна одержати з простих речовин A, B, C і D двома шляхами. Перший шлях полягає в тому, що прості речовини A, B, C і D зразу з'єднуються, утворюючи кінцеву речовину ABCD, причому тепловий ефект цієї реакції буде дорівнювати теплоті утворення ABCD ΔH_{ABCD} . Другий шлях передбачає спочатку утворення проміжних сполук AB і CD з тепловими ефектами, які дорівнюють, відповідно, теплотам утворення цих сполук ΔH_{AB} і ΔH_{CD} . Потім сполуки AB і CD вступають в хімічну реакцію, утворюючи ABCD з відповідним тепловим ефектом $\Delta H_{x.p.}$.

Згідно з законом Геса, тепловий ефект хімічної реакції не залежить від шляху процесу, тому можна записати [22, 28]:

$$\Delta H_{ABCD} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{x.p.}, \quad (3.16)$$

звідки для реакції $AB + CD = ABCD$

$$\Delta H_{x.p.} = \Delta H_{ABCD} - (\Delta H_{AB} + \Delta H_{CD}), \quad (3.17)$$

тобто виявилось, що тепловий ефект хімічної реакції дорівнює різниці між теплою утворення продукта реакції і сумою теплот утворення початкових речовин.

Цей результат можна узагальнити за допомогою такого правила:

Тепловий ефект будь-якої хімічної реакції при сталій температурі дорівнює різниці між сумою теплот утворення продуктів реакції з урахуванням їх стехіометричних коефіцієнтів і аналогічною сумою теплот утворення початкових речовин.

Тобто

$$\Delta H_{x.p.} = \Sigma \Delta H_{\text{кін.}} - \Sigma \Delta H_{\text{поч.}} \quad (3.18)$$

Теплові ефекти хімічної реакції ΔU при $V = \text{const}$ і ΔH при $p = \text{const}$, як зміни функцій стану, повинні залежати від параметрів стану, зокрема від температури.

Розглянемо залежність від температури теплового ефекту при $p = \text{const}$ реакції



де A, B, C і D – реагенти;

a, v, c і d – стехіометричні коефіцієнти.

Для кожного з реагентів справедливе рівняння (3.20) $dH = C_p dT$, інтегруючи яке від 298 К до T , одержуємо

$$H_T^o = H_{298}^o + \int_{298}^T C_p dT \quad (3.20)$$

Зміну ентальпії за реакцією (3.19) можна представити як різницю між сумою ентальпій продуктів реакції і сумою ентальпій початкових речовин. Застосувавши при цьому для кожного реагента рівняння (3.20), після перетворень одержуємо:

$$\Delta H_T^o = \Delta H_{298}^o + \int_{298}^T \Delta C_p dT, \quad (3.21)$$

де ΔH_{298}^o і ΔH_T^o – теплові ефекти реакції при, відповідно, 298 і T К;

ΔC_p – зміна теплоємності системи внаслідок проходження в ній хімічної реакції.

Якщо залежність теплоємності речовин виражати у формі $C_p = a + v \cdot 10^{-3} T + c \cdot 10^5 T^{-2}$, то таку ж форму набуває і вираз для ΔC_p :

$$\Delta C_p = \Delta a + \Delta v \cdot 10^{-3} T + \Delta c \cdot 10^5 T^{-2}. \quad (3.22)$$

Підставивши (3.22) до (3.21) і виконавши інтегрування, після перетворень одержуємо:

$$\Delta H_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ + (T - 298) \left[\Delta a + 0,5 \Delta b \cdot 10^{-3} (T + 298) + \frac{\Delta c \cdot 10^5}{298 \cdot T} \right] \quad (3.23)$$

Величини Δa , Δb і Δc в рівняннях (3.22) і (3.23) знаходяться за загальним правилом як різниці між сумами відповідних величин продуктів реакції (з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів реагентів) і такими ж сумами для початкових речовин.

Якщо температурний інтервал $298 \dots T$, для якого визначається тепловий ефект хімічної реакції, досить великий і включає в себе температури фазових перетворень реагентів T_1 , $T_2 \dots$, то тоді весь вказаний температурний інтервал розбивається на ділянки (рис.3.2): перша з них простягається від $T_0=298$ К до T_1 , друга – від T_1 до T_2 і т. ін. [22, 28].

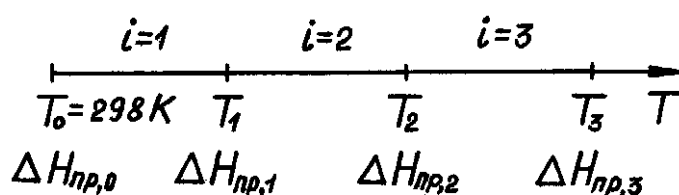


Рисунок 3.2 – Температурні ділянки на інтервалі $298-T$ К

Початкова температура кожної температурної ділянки дорівнює кінцевій температурі попередньої.

Кожній температурі фазового перетворення відповідають певні значення ентальпій фазових перетворень ΔH_{np} .

Початкова ентальпія реакції на першій температурній ділянці дорівнює ΔH_{298}° , а початкова ентальпія реакції на всіх інших ділянках визначається як ентальпія реакції при кінцевій температурі попередньої ділянки “плюс-мінус” ентальпія фазового перетворення: “плюс” – для продуктів реакції і “мінус” – для початкових речовин.

Тепловий ефект реакції при температурі T на i -ій температурній дільниці буде визначатись за формулою:

$$\Delta H_T^\circ = \Delta H_{T_{i-1}}^\circ \pm L_{i-1} + (T - T_{i-1}) \left[\Delta a_i + 0,5 \Delta b_i \cdot 10^{-3} (T + T_{i-1}) + \frac{\Delta c_i \cdot 10^5}{T \cdot T_{i-1}} \right] \quad (3.24)$$

де Δa_i , Δb_i , Δc_i – зміни коефіцієнтів температурної залежності ΔC_p на i -ій температурній дільниці.

Знак “плюс” в рівнянні (3.24) відноситься до кінцевих речовин, а “мінус” – до початкових.

Зміна ентропії системи при проходженні в ній хімічної реакції – це різниця між сумою ентропій продуктів реакції і сумою ентропій початкових речовин з урахуванням їх стехіометричних коефіцієнтів.

Так, для реакції (3.19)

$$\Delta S^\circ = cS_C^\circ + dS_D^\circ - (aS_A^\circ + bS_B^\circ), \quad (3.25)$$

де ΔS° – ентропія реакції для стандартних умов, коли активності реагентів дорівнюють одиниці;

$S_A^\circ, S_B^\circ, \dots$ – абсолютні стандартні ентропії речовин.

Абсолютна ентропія будь-якої речовини залежить від температури. Цю залежність можна представити у вигляді:

$$S_T^\circ = S_{298}^\circ + \int_{298}^T C_p(T) dT / T \quad (3.26)$$

Застосувавши (3.26) до кожного з реагентів рівняння (3.19), після перетворень одержуємо:

$$\Delta S_T^\circ = \Delta S_{298}^\circ + \int_{298}^T \Delta C_p(T) dT / T, \quad (3.27)$$

де ΔS_{298}° – ентропія реакції при 298 К.

Після підстановки (3.22) до (3.27) і перетворень маємо:

$$\Delta S_T^\circ = \Delta S_{298}^\circ + \Delta a \ln(T/298) + (T - 298) \left[\Delta b \cdot 10^{-3} + \Delta c \cdot 10^5 (T + 298) / (2 \cdot 298^2 \cdot T^2) \right] \quad (3.28)$$

Якщо в межах температурного інтервалу $298...T$ мають місце фазові перетворення реагентів при температурах $T_1, T_2, \dots$, то ентропія реакції при температурі T на i -ій температурній ділянці буде визначатись за формулою:

$$\Delta S_T^\circ = \Delta S_{T_{i-1}}^\circ \pm \Delta H_{\text{пр}, T_{i-1}} / T_{i-1} + \Delta a_i \ln(T/T_i) + (T - T_{i-1}) [\Delta b \cdot 10^{-3} + \Delta c_i \cdot 10^5 (T_{i-1} + T) / 2T_{i-1}^2 \cdot T^2] \quad (3.29)$$

В даній формулі $\Delta S_{T_{i-1}}^\circ$ – кінцева ентропія реакції на попередній температурній ділянці. При $i = 1$ початкова ентропія реакції дорівнює ΔS_{298}° .

На другій температурній ділянці ΔS° дорівнює ентропії реакції при кінцевій температурі першої ділянці “плюс-мінус” $\Delta H_{T_1} / T_1$ і т. ін.

Знак “плюс” перед ентропією фазового перетворення $\Delta H_{\text{пр}, 1} / T_1$ відноситься до продуктів реакції, а “мінус” – до початкових речовин.

Вільна енергія хімічної реакції. Запишемо повний диференціал функції G при сталій температурі:

$$dG = dH - TdS \quad (3.30)$$

Диференціали функцій стану в рівнянні (3.30) є нескінченно малими змінами цих функцій внаслідок відповідного хімічного перетворення. Проінтегруємо (3.30) при $T = \text{const}$ від 0 до скінченної кількості реагентів, коли, наприклад, за реакцією (3.19) прореагували a молів речовини А і b молів речовини В з утворенням c молів речовини С і d молів речовини D. Тоді одержимо:

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - T\Delta S_T^\circ \quad (3.31)$$

За рівнянням (3.31), підставляючи в нього значення ΔH_T° і ΔS_T° можна вчислити зміну вільної енергії при проходженні реакції при будь-якій температурі.

Оскільки при $p = \text{const}$ і $T = \text{const}$ система самодовільно може рухатись тільки в напрямку зменшення G , знак величини ΔG° може служити критерієм

спрямованості процесу: при $\Delta G^{\circ} < 0$ реакція іде вправо, при $\Delta G^{\circ} > 0$ – вліво, а при $\Delta G^{\circ} = 0$ система буде знаходитись в стані рівноваги [19, 20, 22, 28].

По величині ΔG° можна також вичислити константу рівноваги хімічної реакції.

Розрахуємо термодимічні характеристики реакції $\text{FeS} + \text{Mg} = \text{Fe} + \text{MgS}$ для кімнатної температури. Початкові дані для розрахунку наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Початкові дані для розрахунку

Реагент	$\Delta H_{\text{утв}}^{\circ}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	ΔS° , $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	T , К	$\Delta H_{\text{пр}}^{\circ}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	Коефіцієнти рівняння $C_p = a + b \cdot 10^{-3} T + c \cdot 10^5 T^{-2}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$		
					a	b	c
FeS_{α}	-95,46	67,41	411	2,38	21,73	110,53	0
Mg_{T}	0	32,53	923	8,79	22,31	10,26	-0,43
Fe_{α}	0	27,17	1033	1,71	14,11	29,72	1,80
MgS_{T}	-347,50	42,70	-	-	-	0	0

Розрахунки проводимо в такому порядку.

За формулою (3.18) знаходимо ΔH_{298}° :

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^{\circ} &= (\Delta H_{\text{утв, Fe}}^{\circ} + \Delta H_{\text{утв, MgS}}^{\circ}) - (\Delta H_{\text{утв, FeS}}^{\circ} + \Delta H_{\text{утв, Mg}}^{\circ}) = -347,5 + 95,46 = \\ &= -252,04 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} = -252040 \text{ Дж/моль} \end{aligned}$$

Розраховуємо аналогічно ΔS_{298}° , Δa , Δb і Δc :

$$\begin{aligned} \Delta S_{298}^{\circ} &= (S_{\text{утв, Fe}}^{\circ} + S_{\text{утв, MgS}}^{\circ}) - (S_{\text{утв, FeS}}^{\circ} + S_{\text{утв, Mg}}^{\circ}) = (27,17 + 42,70) \\ &- (67,41 + 32,53) = 69,87 - 99,94 = -30,07 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \cdot \text{К}; \\ \Delta a &= 14,11 - 21,73 - 22,31 = -29,93; \end{aligned}$$

$$\Delta b = 29,72 - 110,53 - 10,26 = -70,55;$$

$$\Delta c = 1,80 - 0 + 0,43 = 2,23.$$

Знаходимо вільну енергію хімічної реакції для кімнатної температури:

$$\Delta G_{298}^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} - 298 \cdot \Delta S_{298}^{\circ} = -252040 - 298 \cdot (-30,07) = -243079 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Прийнявши нульове наближення для залежності ΔG_T° від температури маємо:

$$\Delta G_T^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} - T \cdot \Delta S_{298}^{\circ}$$

$$\Delta G_T^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot T$$

Розраховуємо ΔG_T° на інтервалі температур 500...2100 К. Результати розрахунків вносимо до таблиці 3.2.

$$\Delta G_{500}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 500 = -237005 \text{ Дж/моль};$$

$$\Delta G_{700}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 700 = -230991 \text{ Дж/моль}$$

$$\Delta G_{900}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 900 = -224977 \text{ Дж/моль};$$

$$\Delta G_{1100}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 1100 = -218963 \text{ Дж/моль};$$

$$\Delta G_{1300}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 1300 = -212949 \text{ Дж/моль};$$

$$\Delta G_{1500}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 1500 = -206935 \text{ Дж/моль};$$

$$\Delta G_{1700}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 1700 = -200921 \text{ Дж/моль};$$

$$\Delta G_{1900}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 1900 = -194907 \text{ Дж/моль};$$

$$\Delta G_{2100}^{\circ} = -252040 + 30,07 \cdot 2100 = -188893 \text{ Дж/моль}.$$

Таблиця 3.2

Результати розрахунку

$T, \text{ К}$	500	700	900	1100	1300	1500
$\Delta G_T^{\circ}, \text{ Дж/моль}$	-237005	-230991	-224977	-218963	-212949	-206935
$T, \text{ К}$	1700	1900	2100			
$\Delta G_T^{\circ}, \text{ Дж/моль}$	-200921	-194907	-188893			

Знаходимо температуру, при якій система знаходиться в стані рівноваги.

$$T_p = \frac{252040}{30,07} = 8382 \text{ К}$$

Розраховуємо логарифм константи рівноваги за формулою:

$$\ln K_p = -\Delta G^\circ / RT$$

$$\ln K_p = \frac{243079}{8,314} \cdot 298 = 98,11$$

Результати розрахунків вносимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Термодинамічні характеристики реакції $\text{FeS} + \text{Mg} = \text{Fe} + \text{MgS}$

$T, \text{ К}$	$\Delta H_T^\circ, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	$\Delta S_T^\circ, \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	$\Delta G_T^\circ, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	$\ln K$
298	-252,04	-30,07	-243,079	98,11

На підставі даних табл. 3.3 можна зробити такі висновки:

1. Екзотермічний характер: Реакція екзотермічна, що підтверджується від'ємною величиною при кімнатній температурі. Це характерно для реакцій горіння.
2. Самодовільний перебіг: Вільна енергія реакції є від'ємною при кімнатній температурі, а її модуль зменшується з підвищенням температури. Це вказує на те, що реакція з початкового стандартного стану самодовільно йде вправо.
3. Практично необоротна: Реакція практично необоротна, тобто при звичайних температурах металургійного і ливарного виробництва вона йде практично повністю до кінця вправо.
4. Принцип Потилицина–Ле-Шательє–Брауна: Згідно з цим принципом, для глибокої десульфурзації металу необхідно:
 - Збільшити концентрацію магнію.
 - Зменшити активність MgS , зв'язуючи його у шлаку або збільшуючи кількість шлаку.
 - Проводити десульфурацию при низьких температурах, оскільки реакція сильніше зміщується у потрібному напрямку.
 - Забезпечити підвищений тиск в автоклавах.

3.6. Термодинаміка десульфурзації оксидом марганцю

Десульфурацию чавуну також можна проводити за допомогою оксиду марганцю за реакцією $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{MnS} + \text{FeO}$.

Згідно з приведеною вище методикою виконаємо детальний розрахунок термодинамічних характеристик реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{MnS} + \text{FeO}$ комп'ютері за допомогою програми REAGENT [19, 20]. В комп'ютерній програмі необхідно вибрати із спливаючих вікон відповідні реагенти, їх стехіометричні коефіцієнти, та розподілити їх у праву чи ліву частину хімічного рівняння. Після натискання кнопки «Розрахунок», програма виводить результати розрахунку температурних залежностей ентальпії, ентропії, вільної енергії Гібса та логарифму константи рівноваги для температурного інтервалу від 298 до 3000 К.

Результати розрахунку наведено на рис. 3.3–3.6.

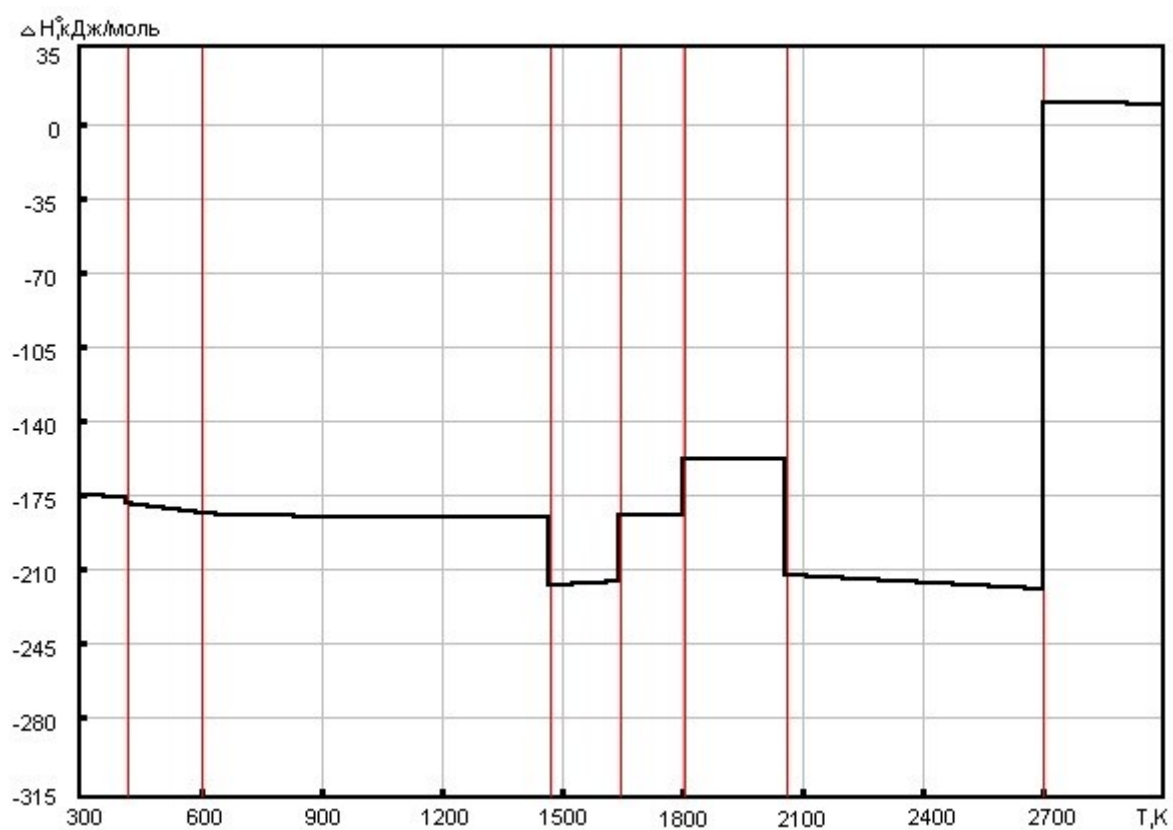


Рисунок 3.3 – Залежність ΔH° реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$ від температури

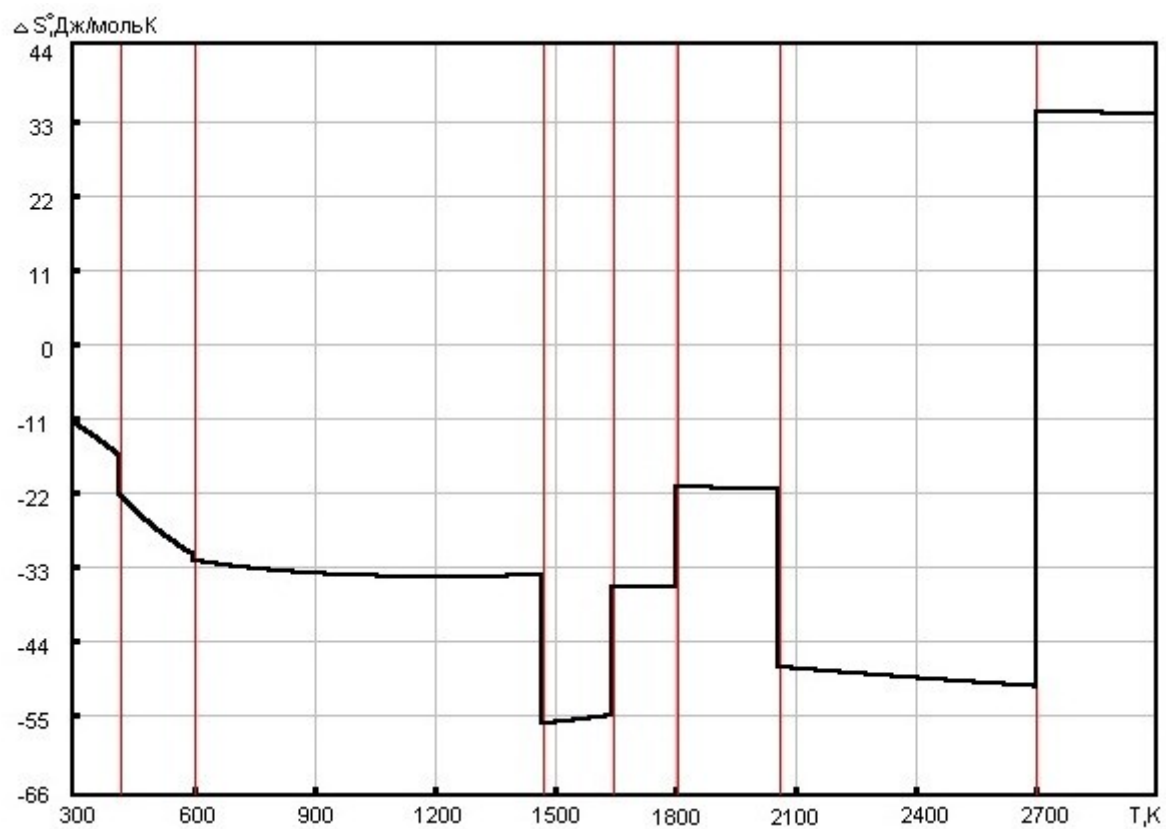


Рисунок 3.4 – Залежність ΔS° реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$ від температури

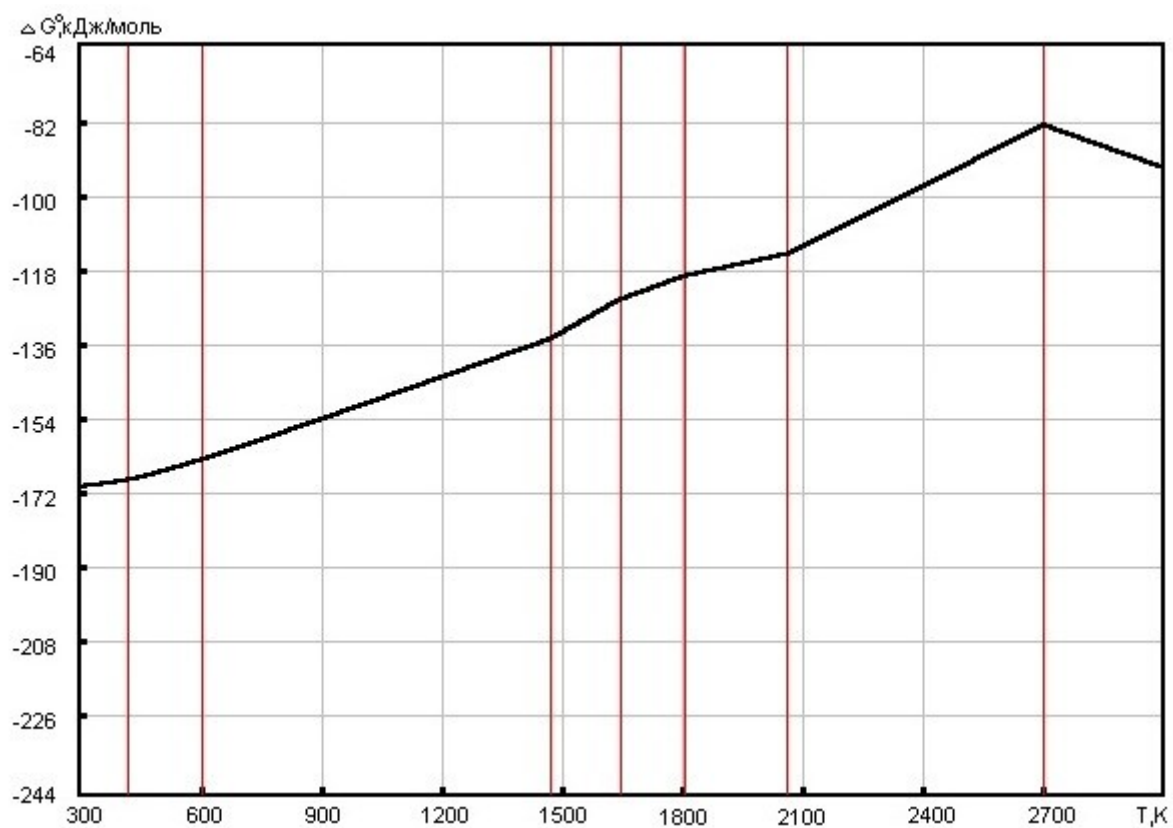


Рисунок 3.5 – Залежність ΔG° реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$ від температури

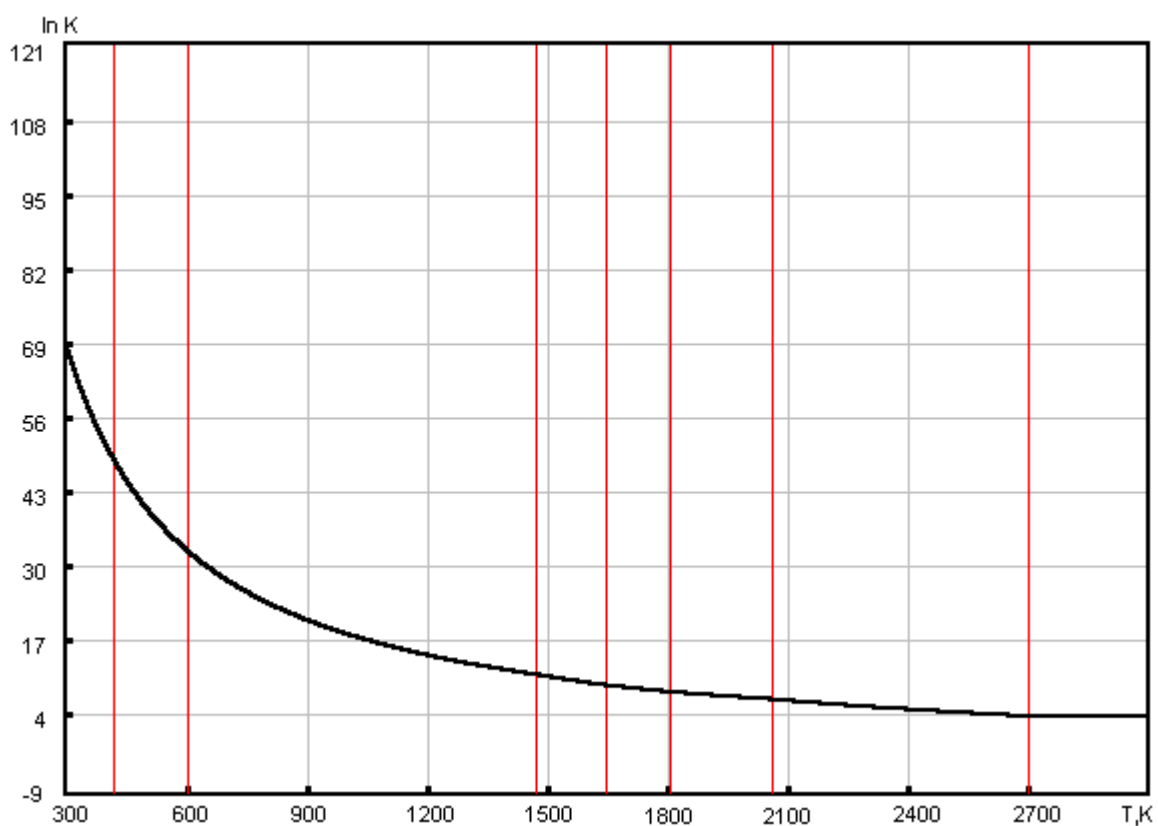


Рисунок 3.6 – Залежність $\ln K_p$ реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$ від температури

Одержані результати дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Екзотермічний характер: Реакція десульфурації переважно екзотермічна, тобто виділяє тепло, за винятком невеликого температурного діапазону 2700...3276 K, де реакція слабоендотермічна.
2. Фазові перетворення: Спостерігаються стрибки на графіку залежності ентальпії від T при температурах фазових перетворень.
3. Зміна вільної енергії: Вільна енергія є від'ємною величиною на всьому дослідженому інтервалі температур, що вказує на те, що реакція з початкового стану йде вправо. Збільшення температури сприяє процесу десульфурації.
4. Константа рівноваги: Константа рівноваги є спадаючою функцією температури, що означає, що при підвищенні температури рівновага реакції зміщується вправо. Реакція практично необоротна.
5. MnO як ефективний десульфуратор: Оксид марганцю (MnO) є одним з кращих десульфураторів як для чавуну, так і для сталі.
6. Рекомендації щодо десульфурації: Враховуючи отримані дані, рекомендовано проводити десульфурацію магнієм, використовуючи порошкову проволоку, що підвищує ефективність процесу і є економічно вигідним.
7. Процес десульфурації магнієм: Оскільки процес екзотермічний, його можна проводити шляхом додавання порошкоподібних добавок у ківш перед випуском металу з плавильної печі. Видалення сірки та спливання шлаку відбувається під час транспортування металу в ковші. Перед переливкою чавуну в розливочну установку необхідно скачати шлак.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе науково-технічне завдання проектування ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну та дослідженням термодинаміки процесу десульфурації металу.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- проведено огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із високоміцного чавуну методом лиття в піщано-глинисту форму;
- розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка задня PVH» ;
- досліджено термодинаміку процесу десульфурації чавуну магнієм і оксидом марганцю;
- розроблено рекомендації щодо удосконалення процесу десульфурації чавуну.

У першій частині магістерської роботи проведено огляд і вибір ливарного обладнання для виготовлення виливків із високоміцного чавуну методом лиття в піщано-глинисту форму. Описано роботу основних та допоміжних відділень ливарного цеху. Для плавки металу було обрано індукційний тигельний плавильний комплекс MFTGe 5,00 ємністю 5 т. Для виготовлення форм обрано автоматичну ливарну лінію DISA MATCH на основі формувальної машини DISA MATCH 24/28. Для виготовлення стержнів обрано стержневу машину DISA CORE 10 EP. Для відбивання ливників та очистки поверхні відливків застосовується галтувальний охолоджуючий барабан DISA COOL 2900, відбивання ливників здійснюється пневмокліщами, очистка поверхні здійснюється також в дробометній установці SHLIK MB 900S, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах. Описано будову вищеперерахованого обладнання та наведено технічні характеристики.

В другій частині магістерської роботи виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок; описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка; розроблено технічні умови на виливок; виконано розрахунок ливниково-живильної системи; описано процес проектування ливарного оснащення; описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, приведено параметри заливки форми, вибивки, обрубки виливків; наведено параметри та способи технічного контролю якості виливків; розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок, модельного комплекту, стержневих ящиків, та форми в зборі.

В третій частині магістерської роботи наведено загальні відомості про високоміцний чавун, вплив окремих елементів на його структуру і властивості. Описано негативний вплив сірки на властивості чавуну. Описано відомі способи десульфурації чавуну. Досліджено вплив температури, тиску та концентрації реагентів зміщення рівноваги процесу десульфурації чавуну магнієм і оксидом марганцю. На основі результатів досліджень термодинамічних характеристик процесу розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності процесу десульфурації чавуну.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. М.А. Рибальченко. Проектування ливарних цехів. Харків: ІОТКЗ Державного університету ім. А.М. Горького, 1965. 307с.
2. Логвінов І.З. Проектування ливарних цехів. Мінськ: Вища школа, 1975. 320с.
3. Методичні вказівки до практичних зайняття з дисципліні «Проектування ливарних цехів» для студентів спеціальності 8.090205 / В.І. Кудя, О.В. Скрипник. Кіровоград: КДТУ. 1999. 27с.
4. В.К. Могильов, О.І. Лев. Довідник ливарника. М: Машинобудування, 1988. 271с.
5. Проектування машинобудівних цехів та заводів: Довідник / За ред. Є.С. Ямпільського. М: Машинобудування, 1984. 414с.
6. Туманський Б.Ф. Проектування ливарних цехів. К.: НМКВО, 1992. 188с.
7. Сазонов В.Я. Довідник з ливарного обладнання. М: Машинобудування, 1985. 320с.
8. Основи проектування ливарних цехів та заводів / за ред. Б.В. Кнорре. М: Машинобудування, 1985. 320с.
9. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. До: ІСДО, 1993. 552с.
10. Обладнання ливарних цехів/П.М. Аксьонов. М: Машинобудування, 1977. 510с.
11. Зейгерів І.Б. Обладнання ливарних цехів. М: Вищ. школа, 1980. 368с.
12. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності 0502/І.Н. Москальов, А.П. Володимиров, В.С. Миронов. Кіровоград: КІСМ, 1985. 75с.
13. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни "Технологія ливарної форми" для спеціальностей 0202. Упорядники: В.С. Миронов, В.М. Телін, В.І. Кудя. Кіровоград: КІСМ, 1995. 75с.
14. В.М. Шестопа, Я.Т. Поляков. Технологія та обладнання ливарного виробництва. М.: ВІНІТІ, 1979. 271с.

15. Москальов І.Н. Ліварні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. К.: НМКВО, 1993. 368с.
16. Титов І.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва. М: Машинобудування, 1966. 271 с.
17. Могильов В.К., Лев О.І. Довідник ливарника. М: Машинобудування, 1988. 271 с.
18. Гіршович Н.Г. Довідник з чавунного лиття. / Н.Г. Гіршович. 3-тє вид., перераб. та дод. Л.: Машинобудування. Ленінгр. отд-ня, 1978. 758 з.
19. Конончук С.В. Фізико-хімічні дослідження металургійних процесів: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізико-хімічні основи ливарного виробництва» для студентів-ліварників спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.В. Конончук, О.В. Скрипник. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. 76 с.
20. Конончук, С.В. Фізико-хімічні основи ливарного виробництва: навч. посіб. / С.В. Конончук, В.М. Кропивний, О.В. Скрипник; за ред. професора В.М. Кропивного. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. 338 с.
21. Воронова Н.А. Десульфурація чавуну магнієм. М.: "Металургія", 1980. 239 с.
22. Сабірзянов Т.Г. Теплотехніка ливарних процесів/Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропивний. Кіровоград: КНТУ, 2005. 402 с.
23. Конончук С.В. Властивості формувальних матеріалів та сумішей: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Технологія ливарного виробництва» для студентів-ліварників спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.В. Конончук, О.В. Скрипник. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. 116 с
24. Ямпільський Є.С. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Довідник У шести томах. Т. 2./Є.С. Ямпільський, В.М. Шестипалий. М: Машинобудування, 1974. 294 с.
25. Куликов І.С. Десульфурація чавуну. Москва, 1962. 306с.

26. Конончук, С.В. Термодинамічні дослідження металургійних процесів: метод. указ. до виконання лаб. робіт з курсу «Фізико-хімічні основи ліварного виробництва»: для студ.-ліварників спец. 131 "Прикладна механіка", 133 "Галузеве машинобудування" / С.В. Конончук, О.В. Скрипник М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. матеріалознавство та ліварне виробництво. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. 44 с.

27. Дюдкін Д.А. Виробництво сталі. Том 2. Раптова обробка рідкого чавуну / Д.А. Дюдкін, В.В. Кисиленко. М.: "Теплотехнік", 2008. 400 с.

28. Термодинамічні властивості неорганічних речовин: Довідник/За ред. А.П. Зефірова. М.: Атоміздат, 1965. 460 с.

ДОДАТКИ