

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму
виливка «Кришка передня Ц100х200» з підвищенням
якості литва на основі дослідження термодинаміки
процесів десульфурзації та дефосфорації металу»**

Виконав здобувач вищої освіти II-го

курсу групи ПМ-22М-1

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Олександр ГЛОВАЦЬКИЙ

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

Анотація

ГЛОВАЦЬКИЙ Олександр. Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка передня Ц100х200» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2023. 91 с.

Обґрунтовано місце побудови ливарного цеху. Вибрано та описано роботу обладнання для виготовлення виливків. Розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка передня Ц100х200». Досліджено термодинамічні характеристики процесів десульфурації чавуну магнієм і оксидом марганцю, а також, процесу дефосфорації чавуну оксидом заліза у присутності СаО. Розроблено рекомендації щодо інтенсифікації процесів десульфурації та дефосфорації металу.

Актуальність роботи: розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка передня Ц100х200». Досліджено вплив температури, тиску та концентрації реагентів зміщення рівноваги процесів десульфурації і дефосфорації чавуну.

Практичне значення: розроблені рекомендації дозволяють ефективно проводити процеси десульфурації та дефосфорації металу.

Ключові слова: плавка, виливок, термодинаміка, ентальпія, десульфурація, дефосфорація.

Summary

HLOVATSKYI Oleksandr. Development of a sand and clay casting technology for the "Front Cover I100x200" casting with improved casting quality based on the study of the thermodynamics of metal desulfurisation and dephosphorisation processes. Qualification work at the second (master's) level of higher education: CUNTU, 2023. 91 p.

The location of the foundry shop is substantiated. The operation of equipment for the production of castings is selected and described. The technology of casting in a sand-clay mold "Front cover Ts100x200" was developed. The thermodynamic characteristics of the processes of desulfurization of cast iron with magnesium and manganese oxide, as well as the process of dephosphorization of cast iron with iron oxide in the presence of CaO, were studied. Recommendations for intensification of metal desulphurization and dephosphorization processes have been developed.

Keywords: melting, casting, thermodynamics, enthalpy, desulfurization, dephosphorization.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	8
1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху	8
1.2. Плавильне відділення	9
1.3. Формувально заливно вибивне відділення	27
1.4. Стержневе відділення	28
1.5. Сумішоприготувальне відділення	30
1.6. Очисне відділення	35
1.7. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху	39
1.8. Висновки по розділу	40
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ	41
ВИЛИВКА «КРИШКА ПЕРЕДНЯ Ц100х200»	
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	41
2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення	41
ВИЛИВКА	
2.3. Вибір поверхні роз'єму форми	42
2.4. Вибір припусків на механічну обробку	43
2.5. Вибір ливарних радіусів та ливарних уклонів	43
2.6. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи	43
2.7. Вибір місця підведення металу та типу ливникової системи	44
2.8. Визначення оптимальної швидкості заливки	45
2.9. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи	45
2.10. Технологічний процес виготовлення виливка	48
2.11. Опис процесу проектування ливарного оснащення	49
2.12 Контроль якості виливка	50
2.13. Висновки по розділу	51

	5
3. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТВА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ТА ДЕФОСФОРАЦІЇ МЕТАЛУ	52
3.1. Загальні відомості про високоміцний чавун	52
3.2. Вплив сірки і фосфору на властивості чавуну	57
3.3. Способи десульфурації та дефосфорації чавуну	59
3.4. Основи десульфурації магнієм	61
3.5. Термодинаміка десульфурації магнієм	67
3.6. Термодинаміка десульфурації оксидом марганцю	78
3.7. Термодинаміка дефосфорації чавуну оксидом заліза	83
3.8. Висновки по розділу	86
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	89
ДОДАТКИ	92

ВСТУП

Актуальність роботи. Як відомо, ливарне виробництво є основним постачальником сировини та готової продукції для усіх галузей промисловості як в Україні, так і в усьому світі. Суттєва частка виливків припадає на чавунне литво в піщано-глинисту форму. Чавун має гарні ливарні властивості – високу рідинотекучість, малу усадку, не схильний до ліквації, має відносно невеликий угар елементів під час плавки. Під час плавки чавуну можна проводити його очищення, дегазацію, легування, модифікування та видалення шкідливих домішок – сірки і фосфору. Виливки з чавуну мають однорідну дрібну структуру, високі механічні властивості, добре піддаються механічній обробці, мають високий коефіцієнт використання металу.

Лиття в піщано-глинисту форму має високий рівень автоматизації та характеризується високою економічністю оскільки багато матеріалів використовується повторно. Наприклад, у складі формувальної суміші використовується до 95% відпрацьованого і регенованого кварцового піску і до 5 % свіжих матеріалів.

До основних недоліків чавунного литва слід віднести здатність до насичення металу шкідливими домішками (фосфором і сіркою) в процесі плавки при використанні в якості шихтових матеріалів доменного та ваграночного чавуну. Зазвичай, ці домішки можна видалити з металу шляхом дефосфорації та десульфурації. Але при цьому необхідно використовувати в плавильній печі основну кладку, наводити високоосновний шлак, що призводить до збільшення тривалості плавки і, як наслідок, до збільшення собівартості литва. Тому дослідження, спрямовані на удосконалення процесів десульфурації і дефосфорації металу є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка передня Ц100х200» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки процесів десульфурації та дефосфорації 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 передня Ц100х200» ;
- досліджено термодинаміку процесів десульфурації чавуну магнієм і оксидом марганцю та дефосфорації чавуну оксидом заліза у присутності СаО;
- розроблено рекомендації щодо спрямування процесів десульфурації та дефосфорації чавуну у необхідному напрямку.

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

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

Практичне значення – розроблені рекомендації дозволяють ефективно проводити процеси десульфурації та дефосфорації металу.

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка передня Ц100х200». Досліджено вплив температури, тиску та концентрації реагентів зміщення рівноваги процесів десульфурації і дефосфорації чавуну.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

При виборі розташування ливарного цеху необхідно керуватись такими факторами, як можливість під'єднання до електричної мережі, системи водопостачання та водовідведення, газопостачання, наявність транспортних шляхів, можливість забезпечення необхідними матеріалами та трудовими ресурсами. Також важливе значення має вплив виробництва на екологію та навколишнє середовище. Виходячи з перерахованих факторів, місце розташування ливарного цеху доцільно вибрати на північно-західній околиці міста, в промисловій зоні. Дане місце достатньо віддалене від житлових районів, має достатньо транспортних розв'язок як автомобільних, так і залізничних. Є можливість водозабезпечення, водовідведення, під'єднання до електричної і газової мереж.

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

Технічну воду доцільно здійснювати з водоочисних споруд із забором води у місцевих річках. Питну воду можна постачати водогоном Дніпро-Кропивницький, або брати із свердловини.

Опалення ливарного цеху планується здійснювати системою теплопостачання від котельної.

Режим роботи ливарного цеху залежить від виду литва, річної програми, серійності виробництва, а також від особливостей технологічного процесу та роботи обладнання і представляє собою всі види робіт і операцій, які рівномірно розподілені у просторі і часі при виготовленні виливків.

Ливарний цех призначений для виготовлення дрібних та середніх виливків із високоміцного чавуну методом лиття в піщано-глинисту форму. Таке

виробництво зазвичай передбачає застосування автоматичних формувальних ліній.

Виливки представляють собою заготовки деталей машин і механізмів різноманітної сільськогосподарської техніки. Типовими представниками таких деталей є різноманітні кришки, втулки, муфти, ступиці, важілі, корпуси, тощо.

Виробнича програма ливарного цеху представляє собою річну кількість усіх виготовлених виливків: для основної продукції заводу, для запасних частин, для внутрішніх потреб (ремонтне литво), тощо.

Враховуючи всі розглянуті вище чинники, вибираємо паралельний трьох змінний режим роботи цеху, при якому всі операції виконуються паралельно. В першу зміну відбувається плавка металу в плавильному відділенні та виготовлення форм у формувальному відділенні. Після розплавлення металу відбувається заливка форм. У другу зміну продовжується плавка, виготовлення форм, заливка, вибивка. У третю зміну відбувається вибивка, ремонт плавильних печей, їх підготовка до наступних плавок, вибивка форм, обрубка та фінішна обробка виливків. Також після вибивки форм паралельно відбувається регенерація формувальних матеріалів.

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 чавун, в якому вуглець перебуває у вільному стані у вигляді графіту компактної (кулястої) форми. Завдяки цьому, в такому чавуні на відміну від сірого чавуну, який має пластинчасту форму графіту, кулястий графіт не послаблює металеву основу оскільки не є концентратором механічних напружень. Високоміцний чавун випускається марок ВЧ350, ВЧ400, ВЧ450, ВЧ500, ВЧ600. Високоміцний чавун має високі механічні властивості (на рівні ливарних сталей), добру

рідинотекучість, меншу ніж у сталі усадку, добре обробляється механічно, має високу зносостійкість, добре гасить вібрації, витримує циклічні навантаження.

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 введення в рідкий метал модифікаторів на основі магнію (0,03...0,07 %) або введенням магнієвих лігатур з нікелем, феросиліцію.

На структуру модифікованих чавунів також впливає хімічний склад, що характеризується ступенем евтектичності або вуглецевим еквівалентом і швидкістю охолодження. Слід урахувати, що при даному ступені евтектичності більш високий вміст вуглецю і більш низький вміст кремнію дозволять одержати чавун з відносно меншою схильністю до ливарних дефектів. При більшому вмісті кремнію досягається дещо більша міцність і твердість за рахунок зміцнення фериту. Швидкість охолодження виливка у формі залежить від товщини стінок і матеріалу цієї форми (сира, суха піщана, металева, тощо) [5].

Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧ) характеризується поєднанням високих механічних і технологічних властивостей. Рідинотекучість чавуну з кулястим графітом краща, ніж у сірого чавуну високих марок, що дозволяє виготовляти виливки із товщиною стінок 3...5 мм. Але цей чавун

схильний до утворення усадочних раковин і тріщин, вільна лінійна усадка складає приблизно 1 %. Виливки з цього чавуну успішно замінюють виливки із ковкого і сірого чавуну, кольорових сплавів і ливарних сталей. Високоміцний чавун знаходить широке застосування у різних галузях промисловості для виготовлення деталей відповідального призначення масою від кількох кілограмів до кількох тон, колінчастих валів, деталей прокатного обладнання, деталей для роботи під високим тиском.

Підвищені властивості високоміцного чавуну зумовлені кулястою формою графіту, що у меншій мірі послаблює переріз виливки і не дає таких концентрацій напруги, як пластинчастий графіт. Таку структуру отримують з допомогою модифікаторів: магнію, магнієвих лігатур і комплексних модифікаторів з магнієм. При виробництві чавуну з кулястим графітом до шихтових матеріалів і плавильних агрегатів ставляться підвищені вимоги (підвищена температура рідкого чавуну, низький вміст сірки та фосфору, відсутність у шихті елементів–деглобуляризаторів).

1.2.2. Розрахунок балансу металу

Оскільки дані щодо річної продуктивності цеху відсутні, розраховуємо загальну масу металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків, т:

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

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

c – зливи та сплески, %;

y – угар та безповоротні втрати, %.

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

Таким чином, для отримання 1 т придатних виливків необхідно 1,73 т металозавалки.

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:

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

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

Відносний вміст браку в металозавалці визначаємо за формулою:

$$\sigma = \frac{B}{M} \cdot 100 \quad (1.4)$$

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

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

Основним вимогам (однорідність, точність складу, чистота, механічні властивості) задовольняють сплави, що виплавляються в індукційній печі, в якій забезпечується як сама плавка, так і перемішування ванни, що і дозволяє підтримувати вказані параметри в заданих межах. Перемішування ж і відсутність температурних перепадів є, як відомо, тими чинниками, які необхідні для отримання однорідного і точного складу сплаву, а також повторюваності результатів окремих плавок.

В індукційній печі легко здійснити вакуум, а також поєднувати атмосферну плавку і вакуумну обробку, як без застосування, так і з застосуванням захисної атмосфери.

Крім того, поєднання атмосферної індукційної плавки і вакуумної обробки під шаром захисної атмосфери дає добрі результати у виробництві без-кисневої міді, напівпровідників, а також особливо міцних і жаростійких сплавів.

Індукційна тигельна піч має наступні переваги. Отримання максимально чистого сплаву завдяки відсутності джерел забруднення; поглинання водню металом на 40 % менше, ніж в дугових і мартенівських печах; готовий метал з індукційної печі без сердечника містить:

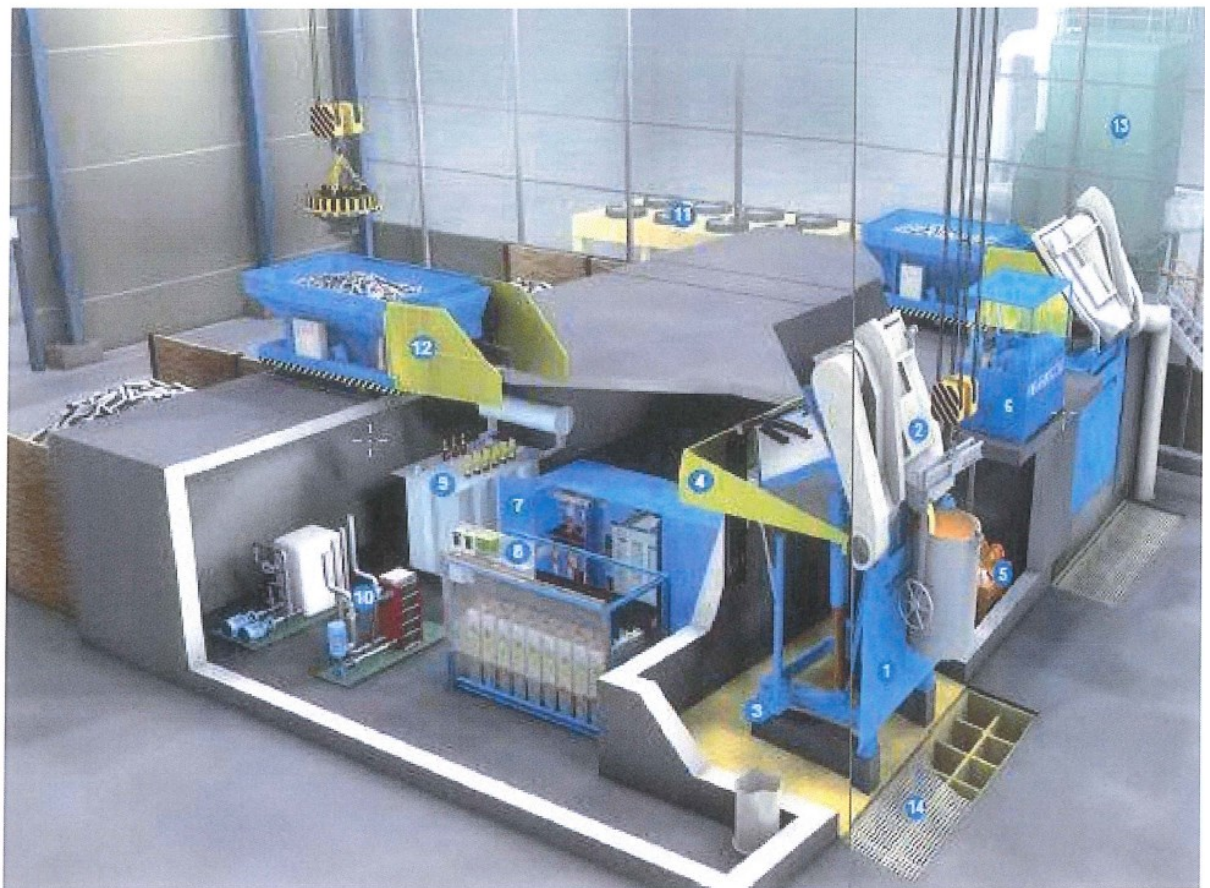
- 1) порівняно мало неметалевих включень; окислення ванни слабкіше, ніж в інших печах, внаслідок нижчої температури і досконаліших умов нагріву;
- 2) отримання однорідного сплаву і рівномірного хімічного складу ванни внаслідок перемішування, викликаного електродинамічними силами. Перемішування в свою чергу полегшує протікання реакцій між металом і шлаком;
- 3) отримання максимально можливих високих температур у всій масі металу, а не в окремих частинах, як це відбувається в дугових печах;
- 4) мінімальний угар металу внаслідок нагрівання металу зсередини, що особливо важливо при плавлі сплавів з дорогими і рідкісними легуючими добавками (угар нікелю, хрому, ванадію, вольфраму в індукційних печах приблизно вдвічі менший, ніж в дуговій печі);
- 5) високий ККД печі;
- 6) зменшення займаємої площі внаслідок невеликих в порівнянні з іншими печами габаритів;
- 7) просте і широке регулювання потужностей і температур;
- 8) можливість плавки у вакуумі або в спеціальному газовому середовищі;
- 9) високі техніко-економічні показники плавки у порівнянні з іншими печами.

Переваги індукційних тигельних печей дозволяють найефективніше виплавляти в них як звичайні чавуни, так і високоміцні при мінімальних витратах легуючих елементів.

Завдяки швидкості плавки і можливості видачі металу невеликими порціями в рівні проміжки часу, ці печі дуже вигідні у виробництві дрібного чавунного фасонного литва.

Завдяки описаним перевагам плавку в індукційних тигельних печах застосовують все ширше.

Для плавки обираю плавильний комплекс MFTGe 5,00. Технічні характеристики печі наведено в табл. 1.4.



1- піч; 2 – витяжний ковпак; 3 – система зважування; 4 – захист ями; 5 – гідравлічна установка; 6 – панель керування оператора; 7 – перетворювач частоти; 8 – модуль конденсаторів; 9 – трансформатор; 10 – система водяного охолодження; 11 – повітряний охолоджувач; 12 – загрузочний пристрій; 13 – система обезпилювання 14 – аварійна яма

Рис. 1.1. Плавильний комплекс MFTGe 5,00

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики плавильного комплексу

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Ємність електропечі	5,0	т
Номінальна потужність (споживана з мережі)	3000	кВт
Частота струму	250	Гц
Номінальна напруга живильної мережі	6000-10000	В
Швидкість розплавлення й перегріву	4,95	т/год
Витрата холодної води	2	м ³ /год
Кількість печей	2	-
Діаметр тигля в світлі	860	мм
Глибина тигля в світлі	1665	мм
Потужність відводу тепла	1100	кВт
Циркуляційна кількість	52	м ³ /Г
Тиск насосу	6,5	бар
Температура подачі	20	°С
Температура відведення при максимальній темп.	58	°С
Об'єм охолоджуючого контуру	4	м ³
Температура повітря	30	°С
Рівень звукового тиску	65	db
Потрібна кількість води	2	м ³ /год
Потрібний тиск на вході	2	бар
Температура підводу макс.	25	°С
Відвідна потужність	17	кВт
Циркуляційна кількість	22	м ³ /год

Індукційні плавильні печі мають індуктор – котушку, яку підключають до мережі змінного струму. При протіканні по котушці струму в оточуючому її

просторі виникає змінне електромагнітне поле, при взаємодії з яким металеві тіла нагріваються. Швидкість нагрівання залежить від теплофізичних властивостей металу, що нагрівається, і параметрів електромагнітного поля. Причиною нагрівання металу в змінному електромагнітному полі є виникнення в металі вихрових струмів (струмів Фуко – за ім'ям вченого, який відкрив це явище). При проходженні цих струмів всередині металу в останньому виділяється, у відповідності із законом Ленца-Джоуля, теплота, за рахунок якої і відбувається нагрівання металу.

Індукований в провіднику змінний електричний струм, на відміну від постійного струму, розподіляється по перерізу провідника нерівномірно. Найбільша густина струму спостерігається в поверхневих шарах провідника, а найменша – на осі. Нерівномірність розподілу струму по перерізу тим більша, чим більша частота струму, діаметр провідника, його електрична провідність і магнітна проникність. При дуже високих частотах і великих діаметрах провідників практично весь струм проходить тільки в тонкому поверхневому шарі провідника.

В індукційних тигельних печах у ливарному виробництві виплавляють різні метали і сплави (сталі, чавун, мідь, бронзу, алюміній і т.д.). В цих печах усередині індуктора розташований тигель з вогнетривкого матеріалу. Внутрішній простір тигля заповнюється розплавленим металом. Тигель захищає індуктор від впливу рідкого металу. Товщина стінки тигля, тобто відстань між індуктором і рідким металом, впливає на електричні параметри печі: чим товстіше стінка, тим більша кількість магнітних силових ліній, що пронизують котушку, не бере участі у нагріванні металу і тим, отже, менше $\cos \varphi$ печі. У тигельних печей $\cos \varphi = 0,05 \div 0,2$.

Для зменшення індуктивної потужності печі, паралельно індуктору підключають конденсатори, число яких по ходу плавки змінюється, тому що в процесі нагрівання міняється електричний опір шихти, а в деяких випадках і її магнітні властивості.

По контуру, що включає індуктор і конденсаторну батарею, проходить струм великої сили. Тому для з'єднання індуктора з конденсаторною батареєю використовують шини і кабель великого перетину.

Магнітний потік, створюваний індуктором, проходить по замкнених лініях як усередині його, так і зовні. У залежності від проходження магнітного потоку з зовнішньої сторони індуктора розрізняють відкриту, екрановану і закриту конструкції печей.

При відкритій конструкції магнітний потік із зовнішньої сторони індуктора проходить по повітрю. Силові лінії магнітного поля пронизують простір, що оточує індуктор. Конструктивні елементи печі, наприклад, деталі її каркаса, повинні бути неметалевими, або їх слід розташовувати на такому видаленні від індуктора, щоб магнітне поле не впливало на них. Поблизу індуктора використовують елементи конструкції з дерева або азбоцементу. Елементи з вуглецевої сталі повинні бути розміщені на достатньо великій відстані від індуктора (не менше одного його діаметра). Печі відкритої конструкції будують невеликих габаритних розмірів.

При екранованій конструкції магнітний потік із зовнішньої сторони індуктора відокремлюється від сталевих конструкцій екраном з міді. Мідь має невеликий електричний опір, а оскільки виділення потужності в тілі, поміщеному в електромагнітне поле, залежить від його опору, в мідному екрані енергія поглинається в меншій кількості. Сталеві конструкції при наявності екрана можуть бути розташовані ближче до індуктора, що зменшує габаритні розміри печі.

При закритій конструкції магнітний потік із зовнішньої сторони індуктора проходить по радіально розташованих пакетах трансформаторної сталі – магнітопроводах. Магнітна проникність трансформаторної сталі в багато разів більше магнітної проникності повітря, тому практично весь магнітний потік проходить по магнітопроводах. Магнітопроводи доцільно розташовувати якнайближче до індуктора. Це зменшує розміри печі і збільшує жорсткість індуктора.

Число магнітопроводів і їх розміри визначають в залежності від потужності печі, частоти живильного струму, характеристики трансформаторної сталі і т.д. Закриту конструкцію широко застосовують в печах великої місткості.

Велике значення для роботи індукційної печі має частота живильного струму. Кожному значенню місткості печі й електричному опору шихти відповідає певна частота струму. При виборі частоти струму враховують, що внутрішній діаметр тигля має бути не менше 3,5 глибин проникнення струму в шихту. Орієнтовні співвідношення між місткістю тигля в межах індуктора і частотою струму для сталі і чавуну наводяться нижче.

Індукційні тигельні печі складаються з наступних основних частин: індуктора, магнітопроводів, каркасу, футеровки, механізму нахилу, електроустаткування і системи охолодження печі.

Індуктор являє собою циліндричну котушку з мідної трубки. Індуктор виготовляють з міді тому, що нею поглинається менше енергії електромагнітного поля, ніж сталлю й іншими матеріалами. Профіль мідної трубки різноманітний: круглий, квадратний, прямокутний. Товщину стінки мідної трубки вибирають у залежності від частоти живильного струму. Виходячи з необхідності забезпечення мінімальних втрат енергії в трубці, товщина її стінки повинна бути на 30 % більше глибини проникнення струму. Розмір отвору в трубці обумовлений витратою охолоджуючої її води. Поперечний переріз трубки залежить від струму, що протікає в індукторі.

Для підводу і відводу води й електроенергії індуктор має припаяні штуцери. Між витками індуктора встановлюють електроізоляційні прокладки. Індуктор покривають шаром епоксидної смоли, чим забезпечується надійна електрична ізоляція одного витка від іншого.

Індуктор 1, підготовлений до монтажу в індукційну тигельну піч промислової частоти для плавки чавуну місткістю 5т, показаний на рис. 1.2 у зібраному виді з верхньою і нижньою водоохолоджуваними котушками 10 і 3, верхнім і нижнім кільцями 9 і 2 і натяжним пристроєм.

Індуктор має 23 витки і виготовлений із мідної трубки прямокутної форми 62×50 мм зі стінкою товщиною 11 мм. Між витками встановлені ізоляційні прокладки 8. Зовнішня поверхня індуктора обклеєна листовим азбестом 6 товщиною 10 мм. Натяг індуктора здійснюється штангами 7, гайками 4 і тарілчастими пружинами 5. Штанги (12 штук) рівномірно розташовані по зовнішньому колу індуктора.

Охолоджувані кільця 9 і 2 і котушки 10 і 3 призначені для охолодження футеровки печі по усій висоті індуктора.

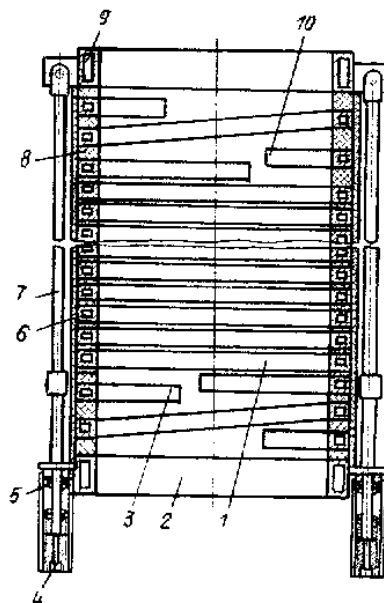


Рис. 1.2. Індуктор тигельної печі у зборі

В печах промислової частоти верхній рівень індуктора встановлюють нижче рівня металу, внаслідок чого зменшується меніск на поверхні ванни і виключається викид металу з тигля через електродинамічну циркуляцію.

Крім показаної на рис. 1.2 конструкції кріплення індуктора, застосовують і інші, в яких кожний виток індуктора прикріплений до вертикальних стійок латунними шпильками. Стійки виготовляють із азбоцементу або твердих порід дерева.

Магнітопровід. Щоб уникнути нагрівання металевих частин печі полями розсіювання навколо індуктора встановлюють зовнішній магнітопровід з листової трансформаторної сталі. Магнітопровід складається з окремих пакетів, розташованих рівномірно по периметру індуктора. На печах промислової

частоти магнітопроводи виготовляють зі сталі товщиною 0,5 мм, а на печах підвищеної частоти – товщиною 0,35 мм.

Довжина пакетів магнітопроводу більше висоти індуктора. Пакети кріплять до каркаса печі болтами і установлюють уприутл до індуктора, що забезпечує жорсткість конструкції і мінімальне розсіювання магнітного потоку. Розташування пакетів магнітопроводу по периметру печі показане на рис. 1.3.

Каркаси печей невеликої місткості виконують з дерева й азбоцементу, а також з немагнітних металів. Каркаси печей великої місткості повинні мати велику твердість і міцність, тому їх виготовляють із профільної сталі, тобто швелера, кутка, балки. На рис. 1.3 видно вертикальні ребра жорсткості каркаса. Каркас сприймає всі навантаження, що виникають при розширенні печі (при нагріванні), її нахилі, зливі металу і шлаку.

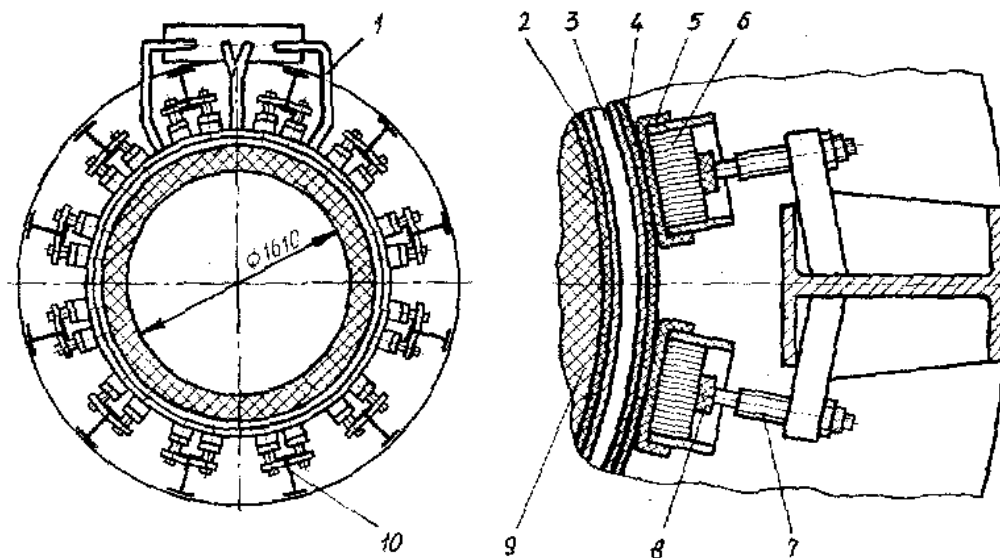


Рис. 1.3. Поперечний розріз індукційної тигельної печі:

- 1 – електровивід; 2, 4 – азбест; 3 – індуктор; 5, 8 – ізолятори; 6 – магнітопровід;
7 – прижимний гвинт; 9 – футеровка печі; 10 – балка каркаса печі

Футеровка. Умови роботи індукційної печі висувають певні вимоги до її футеровки. Футеровка повинна витримувати механічний вплив рідкого металу, що особливо важливо для печі великої місткості (понад 10 т). Футеровка з боку рідкого металу повинна мати щільну спечену поверхню, через яку він не зможе просочитися. З боку індуктора футеровка повинна бути неспеченою. Це

запобігає утворенню в ній наскрізних тріщин. В процесі експлуатації в щільному спеченому шарі футеровки можуть утворитися тріщини. Рідкий метал, потрапляючи по них у неспечений шар, розігрівляє його, і футеровка, спікаючись, закриває тріщину. Наявність неспеченого шару виключає проникання рідкого металу до індуктора.

Стійкість футеровки визначає термін служби печі до чергового ремонту. В залежності від металургійного процесу застосовують кислі або основні вогнетривкі матеріали. Футеровка печі складається з поду 1, тигля 2, верхнього кільця 4 і кришки 3 (рис. 1.4). Як правило, при виготовленні футеровки печі застосовують вогнетривкі маси і для поду – фасонні вогнетривкі вироби.

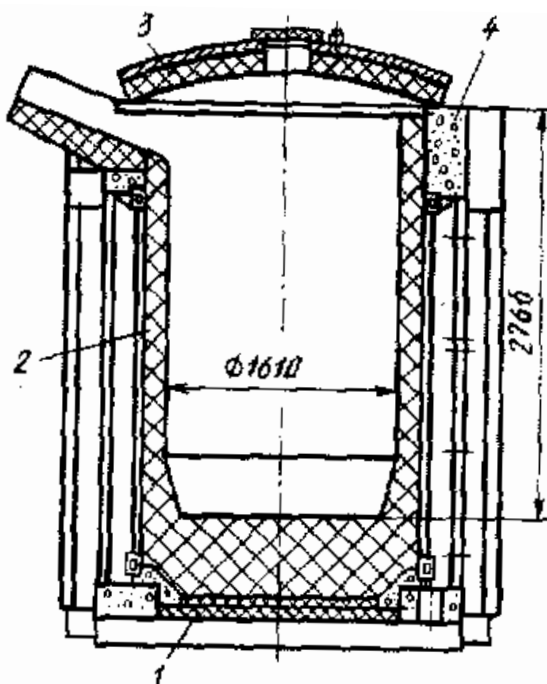


Рис. 1.4. Футеровка індукційної тигельної печі

Індукційні тигельні печі для плавки чавуну футерують сухою кварцитовою масою. Спочатку з фасонних вогнетривких виробів виконують під печі, потім на внутрішню поверхню індуктора наносять шар густої кварцитової обмазки товщиною 10 мм, який після затвердіння обклеюють листовим азбестом або плитками з теплоізоляційного матеріалу.

Футеровку тигля виготовляють методом ущільнення вібрацією з використанням ручних або механічних вібраторів. Для виготовлення тигля

застосовують сухі кварцитові маси. Спочатку виконують нижню частину тигля. Потім на під тигля встановлюють металевий шаблон і простір між індуктором і шаблоном заповнюють вогнетривкою масою. Щоб уникнути поділу маси на фракції її подають у піч по матер'яному або гумовотканинному рукаву.

Після футеровки тигля металевий шаблон залишається в печі і розплавляється при її нагріванні або витягається і використовується повторно.

Зерновий склад набивної маси дуже впливає на довговічність набивної футеровки. Так, при використанні дрібних фракцій одержують якісне спікання і більш щільну футеровку, яка добре протистоїть впливу металу і шлаку. Однак при високому вмісті дрібних фракцій стінки футеровки швидко і глибоко спікаються, що значно зменшує термічну стійкість футеровки і приводить до утворення в ній наскрізних тріщин.

При значній кількості великих фракцій футеровка менш щільна, спіклівість маси знижена.

Кришку печі виготовляють набивною з вогнетривкої маси або з фасонних вогнетривких виробів. Кришку 10-тонної тигельної печі футерують набивною мулітокорундовою масою, що містить: Al_2O_3 не менше 80, Fe_2O_3 не більше 1,2 і P_2O_5 – в межах 3,0 – 3,5 % за масою.

Футеровку печі сушать, плавно підвищуючи температуру, що виключає відшаровування футеровки. Піч нагрівається при включенні індуктора в електричну мережу. Попередньо в піч завантажують декілька сталевих чи чавунних блоків, що, нагріваючись вихровими струмами, розігрівають футеровку печі. Звичайний час нагрівання до температури 1000 °С не перевищує 10 год. Потім піч переключають на більш високу ступінь напруги і розплавляють метал, що завантажується в піч, або в піч заливають рідкий метал з іншої печі. Футеровка печі спікається при робочій температурі протягом 1 год. Температура спікання футеровки при плавлі в печі чавуну – 1500 °С.

Механізм нахилу. При випуску металу каркас печі з індуктором і футеровкою в зборі необхідно нахилити на 95 – 100°. Індукційні печі невеликої місткості мають ручні механізми нахилу (лебідки). Великі печі мають, як

правило, механізм нахилу з гідравлічним приводом. Піч нахиляють гідравлічним циліндром, з'єднаним за допомогою шарнірів з її каркасом і рамою, установленною на фундаменті. Гідравлічний циліндр гнучкими шлангами з'єднаний з насосною станцією; тиск, створюваний у ньому, досягає 20 МПа. З протипожежних міркувань у гідросистемах замість масла доцільніше застосовувати негорючу рідину.

Електроустаткування. До комплекту пічної установки входять трансформатор, конденсаторні батареї, перетворювач частоти струму, щити керування і живильні кабелі. Піч підключається до мережі високої напруги (до 35 кВ) через високовольтний вимикач. Трансформатор має декілька регульовальних ступенів на вторинній стороні (до 10), що дозволяє підводити необхідну напругу до індуктора в залежності від режиму роботи печі. Для компенсації індуктивної потужності індуктора призначені дві конденсаторні батареї. Одна батарея включена постійно, іншу включають частинами, у міру необхідності. Це дає можливість для будь-якого режиму роботи печі одержувати $\cos \varphi$, близький до одиниці.

Індукційні тигельні печі, що працюють на підвищеній або високій частоті, мають додатковий перетворювач частоти (тиристорний або машинний).

Система охолодження печі. Такі елементи печі, як індуктор, конденсатори, кабелі можуть працювати тільки при їх інтенсивному охолодженні. Для охолодження використовують переважно воду. Невеликі печі охолоджуються звичайною водою. Великі печі охолоджуються спеціально підготовленою водою.

На рис. 1.5 показана схема охолодження індукційної тигельної печі. Вода для охолодження печі проходить по замкнутому контуру, що включає піч 1, трубчастий теплообмінник 2, конденсатори 10. Циркуляція води в первинному контурі забезпечується роботою насоса 9 або насоса 8. Обидва насоси працюють поперемінно і як привод мають електродвигун. При відсутності електроенергії включається насос 7 із приводом від поршневого двигуна.

Для компенсації витоків води з первинного контура передбачена система добавки спеціально підготовленої води. Система включає бак 4, регулювальний клапан 5 і перетворювач тиску 6. Рівень води в баці автоматично регулюється поплавковим пристроєм 3.

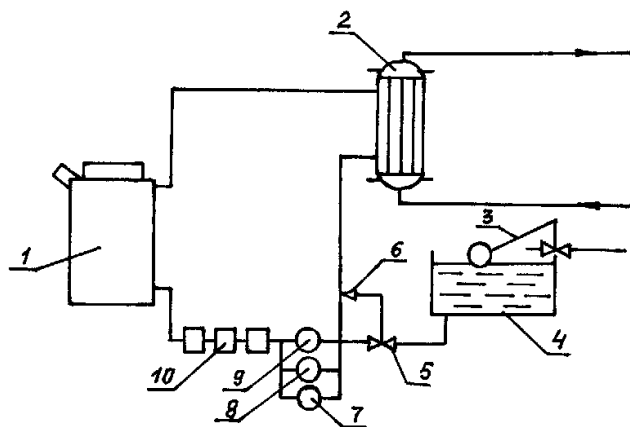


Рис. 1.5. Схема охолодження індукційної печі

Плавка. Як правило, попередньо розплавляють шихтові матеріали, які вміщують основний компонент сплаву, а потім в цей розплав вводять інші компоненти шихти.

Якщо метали, які входять до складу сплаву, сильно відрізняються по температурі кипіння та хімічній активності по відношенню до газів, футеровки та флюсів, а попередити взаємодію розплаву неможливо, то одночасне завантаження їх в піч недопустиме, оскільки це призведе до великих втрат, випаровування та окислення розплаву.

Розрахунок шихти. Шихта може складатися з свіжих чушкових металів, металобрухту, лігатур, відходів власного виробництва та брухту. Визначають кількість окремих видів шихтових матеріалів, необхідних для отримання сплаву необхідного хімічного складу. Вихідними даними для розрахунку є: хімічний склад сплаву по ГОСТ або ТУ; хімічний склад вихідних шихтових матеріалів; угар або пригар окремих складових сплаву в процесі його виготовлення;

Вміст окремих компонентів в сплаві вказується у певних межах. Величина угару металу залежить від складу шихти, її якості, від типу плавильного агрегату, тривалості плавки і ряду інших причин. Середній склад шихти при плавці чавуну 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 цьому відділені виконують технологічні і організаційно зв'язані між собою операції формовки, збирання і заливки форм, охолодження і вибивки виливків.

Виливки в ливарних цехах масового і крупносерійного виробництва виготовляють в формах, виготовлених “ по-сирому” методом комбінованого ущільнення з використанням єдиних бентонітових сумішей на автоматичних і комплексно-механізованих формівних лініях, які обладнанні автоматичними і механізованими пристроями заливки.

Для формовки обираю автоматичну машину DISA MATCH 24/28 (рис.1.6).



Рисунок 1.6 – формувальна машина DISA MATCH 24/28

DISA MATCH 24/28 – це безопочна формовочна машина з двосторонньою модельною плитою, для сирих пісчано-глинистих сумішей призначена для точних виливок з чавуну, сталі та кольорових металів. В цій машині виконується горизонтальна заливка форм і вертикальне струшування и доприсовка формівної суміші. Лінія складається (рис.1.7) з заливної лінії, послідууючої охолоджуючої лінії на піддонах і послідууючого охолодження форм на стрічковому або

пластинчатому конвеєрі. В залежності від типу формуємих виливок можуть застосовуватись допоміжні пристрої стержневий укладчик (CSE) і пристрій швидкої зміни модельних плит (QMC). Час охолодження виливок на лінії DISA MATCH 60 хв.

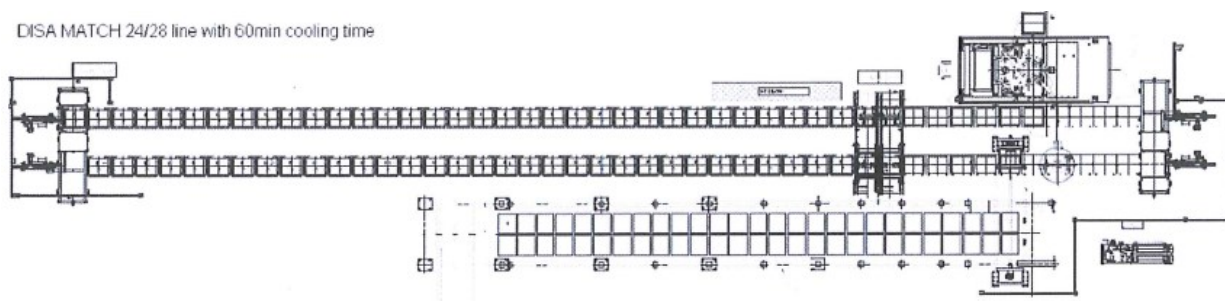


Рисунок 1.7 – План автоматичної формувальної лінії з ливарним конвеєром

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 заливочна піч PR-V3/200kW місткістю 3 т. Для транспортування використовуємо роздаточний ківш місткістю 1 т.

1.4. Стержневе відділення

Проектування стержневого відділення полягає в підборі технологічного процесу виготовлення стержнів і розрахунку потрібної кількості стержневих машин, сушильних агрегатів та іншого обладнання для виконання заданої програми цеху.

Технологічні процеси виготовлення стержнів, які застосовують у сучасних ливарних цехах, поділяють на три групи:

- із застосуванням нагріву – в гарячих ящиках; з короткочасним сушінням; з тривалим сушінням;
- з обробкою зовнішніми реагентами – з продуванням вуглекислим газом чи каталізаторами;
- з твердненням в атмосфері цеху в ящиках – з гаряче- і холоднотверднучих, а також рідких самотверднучих сумішей.

Устаткування для стержневого відділення, вибирають згідно з прийнятим технологічним процесом виготовлення стержнів з урахуванням характеру виробництва виливків.

У ливарних цехах масового та багатосерійного виробництва, коли трудомісткість виготовлення стержнів досягає 30...40 % загальної трудомісткості отримання виливків, у стержневих відділеннях необхідно застосовувати високопродуктивне багатопозиційне і автоматизоване технологічне устаткування на базі піскодувних і піскодувно, піскострельних автоматів і напівавтоматів.

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



Рисунок 1.8 – Машина для виготовлення стержнів DISA CORE 10 EP

Стержнева машина використовується для виробництва ливарних стержнів по Cold Box процесу с продувкою каталізатором для ящиків з горизонтальною лінією рознімання.

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики стержневої машини.

Об'єм піскострельної головки	Значення	Од.вим.
Об'єм вистрілу	10	дм ³
Оснащення		
max висоту ящика	480	мм
min	230	мм
max ширина ящика	695	мм
max глибина	650	мм
Розміри бокових затискних плит	200x400	мм
Розміри затискної зони	440x500	мм
Розміри піскострельної площі макс	300x500	мм
Розміри піскострельної площі мін	60x300	мм
Вага		
Макс вага ящика	150	кг
Вага машини	5000	кг
Робоче переміщення		
макс хід столу	275	мм
макс хід бокових циліндрів	550	мм
макс хід виштовхуючої плити	40	мм
Базовий час циклу		
При горизонтальній лінії рознімання	13	сек
При вертикальній	17	сек

1.5. Сумішоприготувальне відділення

Для проектування такого відділення необхідно визначити потреби формівного і стержневого відділення у відповідних сумішах.

Загальнорічні витрати формівних сумішей у масовому, крупносерійному виробництві визначають, виходячи з 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, поділяючи за видами сумішей.

Загально річні витрати формівних і стержневих сумішей збільшують на 10... 15 % (ПСС і CO₂-процес – 8... 12 %, ХТС) для врахування витрат сумішей під час транспортування, формування тощо. Знаючи повні річні витрати сумішей і їх склад, розраховують витрати компонентів сумішей. Ці дані використовують у розрахунках складів і сумішоприготувального обладнання.

Готова суміш із змішувачів автоматично видається і доставляється в бункери, а потім розподіляється по бункерах, розміщених над формівними або над стержневими машинами. Для розпушування суміші після виходу з бункерів 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. Формівні суміші розрізняють:

- за призначенням – для виливків з чавуну, сталі, кольорових сплавів;
- по застосуванню при формовці – єдина, облицювальна, наповнююча;
- в залежності від стану форми перед заливкою в них сплав – для сирих, сухих, підсушених і хімічно-твердіючих форм.

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 частинка вологи, %
1) Оборотно формівна суміш	2138-91	92,72	500	94,0	не менше 85	0,05-0,08	3,5-4,3
2) Пісок кварцевий K016		4,64	23	4,09			
3) Бентонітова суспензія (щільність 1,06-1,12г/см ²)		2,64	13	1,91			
Итого		100	536	100			
4) Паливо нафтове (понад 100%)	10585-75	0,3	2	0,22			

До стержневих сумішей висувають більш високі вимоги, ніж до формувальних по міцності, податливості, газопроникності і вогнетривкості. Готують стержневі суміші в основному зі свіжих формувальних матеріалів і тільки іноді з використанням невеликої кількості оборотної суміші.

Для виготовлення стержнів на машині DISA CORE 10 EP 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	Осипаємість
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 застосовуємо установку для

приготування формівної суміші марки ТМ-240-90 (рис. 1.9). Характеристика даного змішувача наведена в таблиці 1.10.



Рисунок 1.9 – Змішувач для приготування формівної 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 і розташовані зверху турбіни забезпечують швидке перемішування формівної суміші. Суміші і добавки в змішувач додаються за допомогою зважуючого механізму. Частина суміші і

добавок рухаються в змішувачі по вертикальним і горизонтальним траєкторіям для забезпечення відповідного перемішування.

Установка для приготування суміші складається з чаші змішувача, двигуна, верхня частина корпусу, пневматична панель керування, змішувальні деталі, бункер для суміші, система для дозування води.

У технологічному процесі виготовлення ливарних піщаних стержнів важливе місце займає технологія приготування суміші. Змішувач повинен забезпечувати швидке і якісне перемішування компонентів стержневої суміші зі всілякими технологічними добавками. Крім того, після завершення процесу перемішування, приготована суміш повинна бути вивантажена з змішувача з мінімальними її залишками в змішувачі для запобігання висихання її і забруднення подальшої дози суміші.

Для приготування стержневої суміші обрано змішуючі бігуни моделі 1A11.

Змішуючі бігуни моделі 1A11 являють собою нерухому чашу, в яку завантажуються в певній послідовності складові суміші. Катки 1 і 4, обертаючись навколо вертикального валу 8, переміщуються по завантажених матеріалах; крім того, вони обертаються навколо своїх осей, сприяючи подрібненню грудок матеріалів. Плужки 2 і 7 безперервно перевалюють завантажені в чашу матеріали та направляють їх під катки. У дні чаші є вікно 3, що закривається при роботі бігунів дверцятами.

Для вивантаження з бігунів готової суміші дверцята за допомогою пневматичного пристрою, розташованого в кожуху 5, і тяги 6 відкривається, і плужки при своєму обертанні вигрібають суміш через вікно 3. Передача суміші до місць споживання здійснюється стрічковим транспортером. Плужки бігунів не стикаються з дном чаші, що оберігає зерна піску від роздрібнення. За допомогою спеціальних кривошипів і болтів катки встановлюються приблизно на відстані 6 мм від дна чаші.

Бігуни максимально герметичні, що запобігає поширенню пилу в сумішоприготувальному відділенні. Змішувач оснащено апаратурою управління, яка забезпечує його роботу як в автоматичному, так і поопераційному режимі. Даний вид

конструкції 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, вибиті з ливарних форм, проходять певний за тривалістю цикл охолодження, після чого їх передають до термообрубного відділення, де проведенням ряду операцій покращують їх фізико-механічні властивості і надають їм товарного вигляду. Технологічний процес обробки виливків, який характеризується кількістю, послідовністю і особливостями виконання операцій, установлюють з урахуванням роду сплаву, габаритних розмірів, маси і конфігурації виливків.

Після видалення елементів ливникових систем подальша обробка виливків полягає в наступному:

- а) поверхню виливків очищають від формувальних і стержневих сумішей;
- б) видаляють залишки (сліди) ливникових систем, підживлювачів;
- в) усувають нерівності на поверхні виливків і готують їх до фарбування (грунтовки).

Очищення поверхні виливків від формувальної і стержневої сумішей, які пристали і пригоріли, придання їй товарного вигляду – важлива технологічна операція, що забезпечує отримання виливків високої якості.

Існує багато способів очищення поверхні виливків, з яких найбільше розповсюдження отримали очищення в барабанах, дробоструйний і дробометний способи.

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 DISACOOL 2900

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

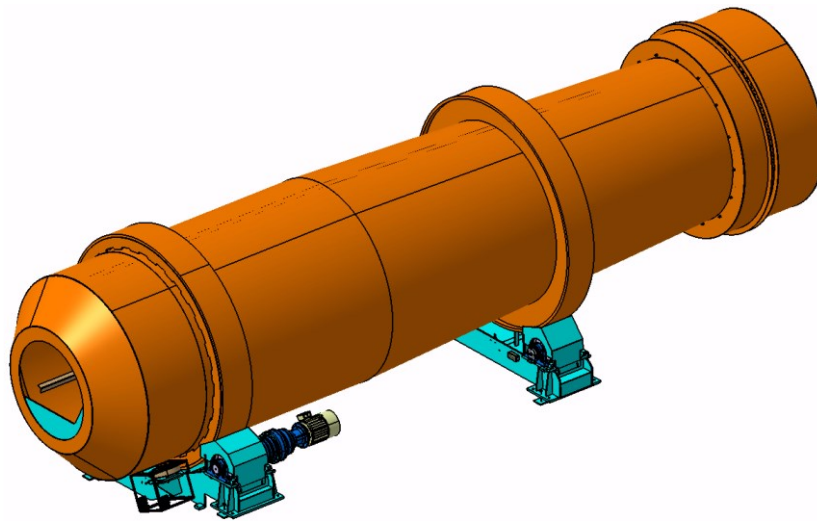


Рисунок 1.10 – Схема охолоджуючого барабана.

1.6.2. Вибір дробометних барабанів. Для очищення виливок від пригорілої суміші обираю дробометну установку SHLIK MB 900S.

Висока продуктивність очищення литва досягається при встановленні дробометних установок (рис.6.2).

Принцип дії: деталі завантажуються в навантажувач, який переміщує деталі в барабан і повертається в вихідне положення. Двері установки закриваються і після виходу турбіни на номінальні оберти починається процес очистки. Під час процесу дробометної обробки конвеєрна стрічка починає рухатись вперед, що дозволяє безперервно вести обробку виливків. Після закінчення процесу обробки двері автоматично відчиняються, виливки переміщуються на зовні за рахунок повернення стрічки в вихідне положення. Технічна характеристика дробометної установки наведена в таблиці 1.13.



Рисунок 1.11 – Дробометна установка SHLIK MB 900S..

Таблиця 1.13 – Технічна характеристика дробеметної 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. Стаціонарні верстати для зачистки виливків випускаються з одним і двома шліфувальними кругами або з одної сторони встановлюється шліфувальний круг, а з іншої сторони – пилка 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. Напрям 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.

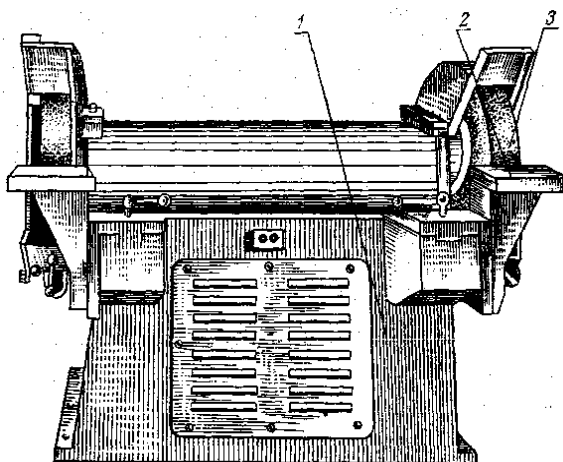


Рисунок 1.12 – Стаціонарний верстат для зачистки виливків та відрізки підживлювачів.

1.7. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху

В ливарних цехах використовують велику кількість різноманітних матеріалів для виготовлення форм і отримання рідкого металу. Проектними завданнями для цих цехів передбачено, що необхідний для безперервної роботи запас матеріалів зберігається на складах цеха, які розміщуються в прольотах, що примикають до плавильного і сумішоприготувального відділень. Крім того, в ливарних цехах проектують склади ливарної і стержневої оснастки, стержнів і виливків. В ливарних цехах повинні бути передбачені комори і лабораторії і цілий ряд допоміжних дільниць: ремонту обладнання, ремонту модельного оснащення, ковшова, дільниця ремонту електричного устаткування, дільниця підготовки шихти, дільниця регенерації відпрацьованих сумішей і т.д.

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

Дільниця футеровки ковшів і ремонту ковшових печей призначена для капітального ремонту й футеровки ковшів, а також для ремонту плавильних печей. Для футеровки ковшів застосовують вогнетривкі матеріали. Ці матеріали зберігають на складі, а маси для футеровки готують на спеціальній дільниці підготовки ковшів. Цю дільницю найчастіше розміщують у плавильному відділенні, у тому самому прольоті, де розливають рідкий метал.

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, магнітного сепаратора і розміщується під вибивним відділенням у підвальному приміщенні цеху. Після регенерації підготовлена суміш повторно подається у сумішоприготувальне відділення. Таким чином повторно використовується до 95 % оборотної формувальної суміші.

1.9. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
2. Описано роботу плавильного, формувально заливно вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, ділень обробки виливків, складів шихтових матеріалів, модельного оснащення та готової продукції, відділу технічного контролю та лабораторії, адміністративних та побутових приміщень.
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 і стержневої сумішей вибрано обладнання 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.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ ВИЛИВКА «КРИШКА ПЕРЕДНЯ Ц100x200»

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок

Виливок – Кришка передня Ц100x200.021 [додаток МР-8.131.23.03.02.01.00] виготовляється литтям у безопочних формах із високоміцного чавуну марки ВЧ450 3925-99. Точність виливка 10-8-7-3 ГОСТ 26645-85. Твердість 170-220 НВ, не вказані ливарні радіуси не більше 5 мм, не вказані ливарні уклони $1^{\circ}30'$. Маса виливка 6,22 кг, габаритні розміри 162x128x78 мм.

Кришка передня Ц100x200.021 представляє собою частину гідронасосу, який служить для нагнітання тиску робочої рідини. Деталь має 5 отворів, 4 із них $\varnothing 17,5$ мм було прийнято не проливати а виконувати механічною обробкою, ступінчатий отвір $\varnothing 49$ мм виконується стержнем. На оброблюваних поверхнях допускаються раковини глибиною не більше 1,5 мм, не більше 2-х штук на кожній поверхні. На не оброблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини глибиною не більше 1,5 мм не більше 2-х штук розташовані від країв не ближче 3 мм.

2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка

Розташування виливка у формі показано на рис. 2.1. З технологічних міркувань циліндричні частини, найбільш відповідальну і складну за конфігурацією частину виливка було вирішено розмістити у нижній напівформі. При обиранні положення виливка у формі під час її заливання металом треба враховувати дію сил земного тяжіння. У нижній частині виливка метал кристалізується більш щільним і чистим, а у верхній частині можуть зосереджуватися легкі шлакові включення та залишки формувального бруду, газові та усадкові раковини і поруватість. Тому, навіть якщо формування симетричної деталі зручно робити за моделями з горизонтальною площиною

рознімання, після збирання та скріплення форму кантують на 90° і заливають у вертикальному положенні площини симетрії.

2.3. Вибір поверхні роз'єму форми

Для отримання якісного виливка, необхідно вибрати раціональний роз'єм форми. Поверхня роз'єму визначається конструкцією виливка, технологічними вимогами та місцевими конструктивними особливостями виливка. Але слід користуватись загальними положеннями з технології ливарної форми та теорії ливарного виробництва:

- число поверхонь роз'єму повинно бути мінімальним;
- вибираючи роз'єм форми треба забезпечити зручність контролю розмірів форми;
- поверхня роз'єму повинна по можливості бути плоскою;
- роз'єм форми повинен бути таким, щоб не було підвісних стержнів, а головні стержні мали зручне розташування;
- роз'єм повинен бути вибраний так, щоб бази механічної обробки розташовувались в одній частині форми з оброблюваними поверхнями та не перетинались площиною роз'єму.

Проаналізувавши всі вимоги, вибираємо поверхню роз'єму: вона має горизонтальне розташування. Поверхню роз'єму форми показано на кресленні виливка [додаток МР-8.131.23.03.02.01.00]. та рис. 2.1.

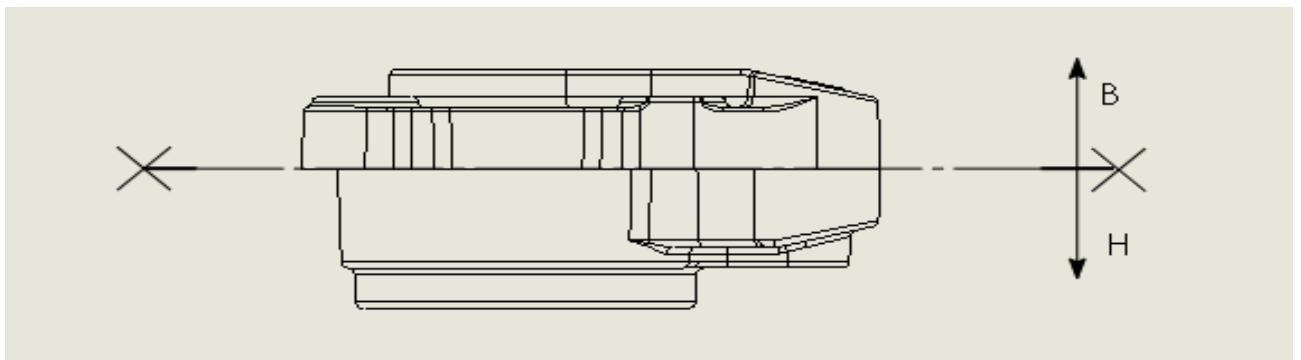


Рисунок 2.1- Поверхня роз'єму виливка

2.4. Вибір припусків на механічну обробку.

Розміри виливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків вибираємо по ГОСТ 26645-85. Припуски на механічну обробку показано на кресленні [додаток МР-8.131.23.03.02.01.00], межі припусків обводяться тонкою червоною лінією і вказується величина припуску, для даної деталі величина припусків нижніх 2 мм, бокових 2,5 мм, верхніх 3 мм.

2.5. Вибір ливарних радіусів та ливарних уклонів.

Радіуси закруглень регламентовані ГОСТ 10948-64, які показано на кресленні [додаток МР-8.131.23.03.02.01.00], які становлять внутрішні 2, зовнішні 5 мм. Не вказані ливарні радіуси записані в технічних вимогах.

Формівні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів виливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-57. Величини ливарних ухилів для даного виливка вказано в технічних вимогах креслення виливка [додаток МР-8.131.23.03.02.01.00], вони становлять $1^{\circ}30'$.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку. Розміри стержньових знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо вертикальні знаки стержнів довжиною верхній 20 мм, нижній 30 мм. Величини ухилів знакових частин нижніх -10° , верхніх 15° . Величина зазорів між знаками і формою становить 0,3 мм.

2.6. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи

Ливниково-живильна система складається з послідовно з'єднаних каналів між собою, за допомогою яких рідкий метал підводять у порожнину ливарної форми. Зазвичай ливникова система складається з: ливникової чаші або воронки, стояка, шлаковловлювача та живильника. Живильник безпосередньо примикає

до робочої порожнини форми та повинен бути виконаний так, щоб живильник можна було легко відокремлювати від виливка не пошкоджуючи його. Виливок Кришка передня Ц100х200.021 виготовляється з високоміцного чавуну марки ВЧ 450 ДСТУ 3925-99, через це в потовщених місцях виливка при кристалізації буде утворена об'ємна усадочна раковина. Щоб уникнути об'ємної усадки потрібно біля потовщеного місця встановити підживлювач. Для розрахунку розмірів підживлювача визначаємо за допомогою програми NOVA FLOW модуль затвердіння виливка $M_{затв.}=1,4$. У відповідності до модулю затвердіння з табл.2.1 визначаємо розміри і масу підживлювача Ø75 і висотою 145мм, масою 5,1 кг.

Таблиця 2.1- Розміри підживлювачів

CYLINDER			
No.	Diameter D_F (mm)	Volume V_F (cm ³)	Module M_F (cm)
1	20	9.4	0.38
2	25	18.4	0.47
3	30	31.8	0.56
4	35	50.5	0.66
5	40	75.4	0.75
6	45	107.3	0.84
7	50	147.3	0.94
8	55	195.9	1.03
9	60	254.4	1.13
10	65	323.4	1.22
11	70	403.9	1.31
12	75	496.8	1.41
13	80	602.9	1.50
14	85	723.1	1.59
15	90	858.4	1.69
16	95	1009.6	1.78
17	100	1177.5	1.88

2.7. Вибір місця підведення металу та типу ливникової системи.

Місце підводу металу вибираємо по лінії роз'єму напівформ. Конструкцію ливникової системи вибираємо типову: звужуючу. Конструкцію ливникової системи наведено на кресленні [додаток МР-8.131.23.03.02.01.00]. При проектуванні ливників враховувались габаритні розміри виливка і габаритні розміри форми 610х710х356 мм. При цьому прийнято розмістити у кожній ливарній формі по чотири виливка. Ливникова система для даного виливка

складається з ливникової чаші, стояка, шлаковловлювача, двох живильників та двох підживлювачів.

2.8. Визначення оптимальної швидкості заливки.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [3]:

$$t = S \cdot \sqrt{G} \quad (2.1)$$

де S – коефіцієнт, що враховує товщину стінок виливка, $S = 2,2$ [3];

G – маса металу, що заливається в форму, кг;

$$G = M_{\text{відл}} \cdot n + M_{\text{підж}} \cdot n + M_{\text{шл}} + M_{\text{ст.}} \quad (2.2)$$

де $M_{\text{відл}}$ – маса виливка;

n – кількість відповідного елемента;

$M_{\text{підж.}}$ – маса підживлювача;

$M_{\text{шл.}}$ – маса шлаковловлювача;

$M_{\text{ст.}}$ – маса стояка.

$$G = 6,22 \cdot 4 + 5,1 \cdot 2 + 0,63 + 1,5 = 37,21$$

$$t = 2,2 \cdot \sqrt{37,2} = 13,42 \text{ сек}$$

2.9. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Загальна площа живильників на форму:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{G}{\gamma \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{2gH_p}}, \quad (2.3)$$

де G – маса металу, що заливається, кг;

γ – густина сплаву для високоміцного чавуну 7300 кг/м³;

μ – коефіцієнт опору ливникової системи і порожнини форми $\mu = 0,8$;

g – швидкість вільного падіння 9,81 м/с²;

H_p – статичний напір, м.

Визначення статичного напору:

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C} \quad (2.4)$$

де Н- висота напівформи, см;

Р – висота вилівка від місця підводу металу у форму;

С- висота вилівка, см.

На рис. 2.2. показана схема для розрахунку статичного напору.

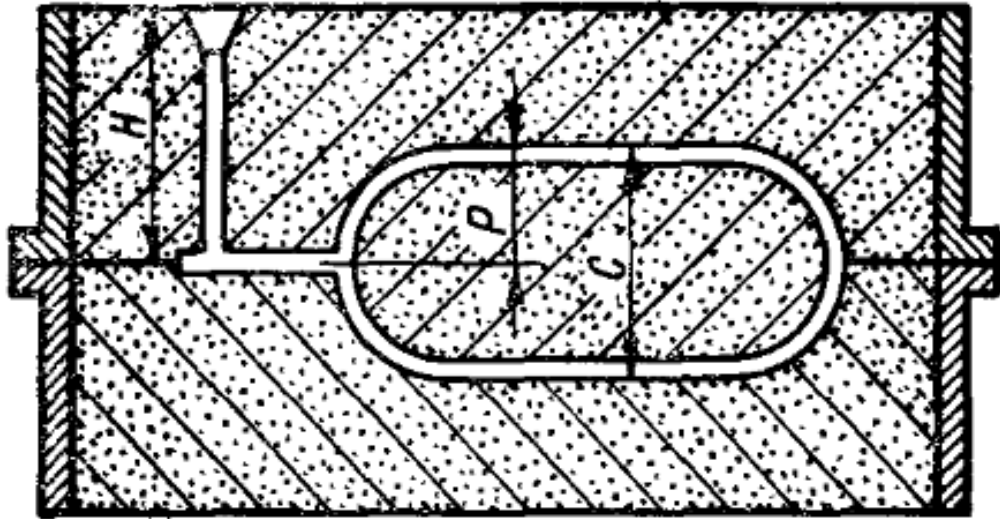


Рисунок 2.2- Схема для розрахунку гідростатичного напору

$$H_p = 0,178 - \frac{0,12^2}{2 \cdot 0,145} = 0,128 \text{ м}$$

$$F_{\text{жив}} = \frac{37,21}{7300 \cdot 0,8 \cdot 13,42 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,128}} = 3,99 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 3,99 \text{ см}^2$$

Визначаємо площу перерізу одного живильника:

$$F_{\text{жив}} = \frac{\sum F_{\text{жив}}}{2} = \frac{3,99}{2} = 1,99 \text{ см}^2 \quad (2.5)$$

Визначаємо розміри живильника прийнявши форму поперечного перерізу трапеція

На рис. 2.3- зображено живильник з розмірами.

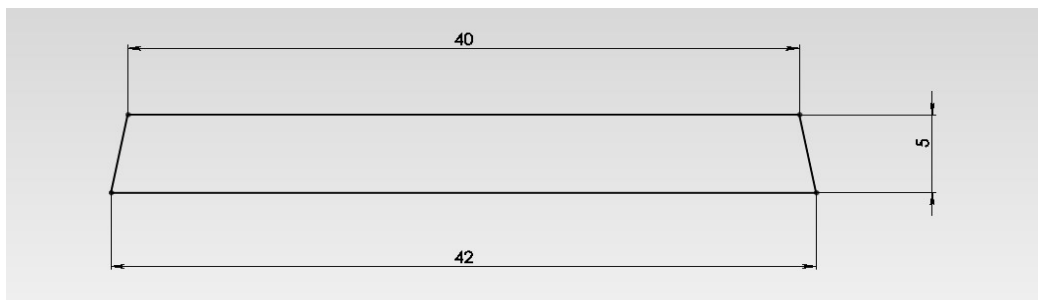


Рисунок 2.3 – Живильник з розмірами

Уточнюємо площу перерізу живильника з урахування прийнятих розмірів:

$$F_{жив} = \frac{a+b}{2} \cdot h = \frac{4+4,2}{2} \cdot 0,5 = 2,05 \text{ см}^2 \quad (2.6)$$

$$\sum F_{жив} = F_{жив} \cdot n = 2,05 \cdot 2 = 4,1 \text{ см}^2 \quad (2.7)$$

Площа перерізу шлаковловлювача і стояка визначається зі співвідношення:

$$\sum F_{жив} : \sum F_{шл} : \sum F_{ст} = 1 : 1,3 : 1,4 \quad (2.8)$$

$$\sum F_{шл} = 1,3 \cdot \sum F_{жив} = 1,3 \cdot 4,1 = 5,7 \text{ см}^2$$

$$\sum F_{ст} = 1,4 \cdot \sum F_{жив} = 1,4 \cdot 4,1 = 5,7 \text{ см}^2$$

Розрахунок геометричних розмірів шлаковловлювача:

$$a = \sqrt{\frac{F_{шл}}{6}} = \sqrt{\frac{370}{6}} = 10 \text{ мм} \quad (2.9)$$

На рисунку 2.4 – зображено схему для розрахунку геометричних розмірів шлаковловлювача.

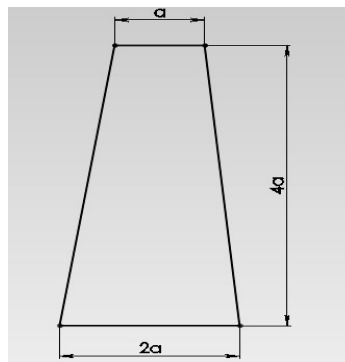


Рисунок 2.4 – схема для розрахунку геометричних розмірів шлаковловлювача

Округлюємо розміри шлаковловлювача до більшого цілого числа.

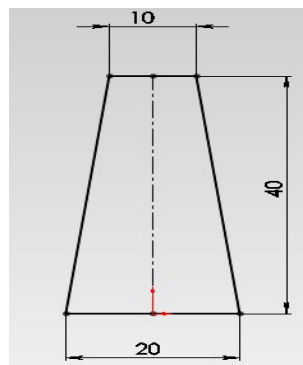


Рисунок 2.5 – Шлаковловлювач з розмірами

Отримуємо площу шлаковловлювача $F_{\text{шл}}=6 \text{ см}^2$.

Визначаємо діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4F_{cm}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,7}{3,14}} = 0,27 \text{ м} \quad (2.10)$$

Приймаємо діаметр стояка $\varnothing 30 \text{ мм}$, тоді площа поперечного перерізу $7,06 \text{ см}^2$.

2.10. Технологічний процес виготовлення виливка.

Технологічний процес виготовлення виливків включає в себе такі операції: виготовлення напівформ, огляд форм, виготовлення та встановлення стержнів, збирання форм, охолодження виливка, видалення виливка, очистка і контроль якості виливка.

1. Виливок Кришка передня Ц100х200.021 виготовляється на безопочній формівній машині DISA MATCH 24х28 з застосуванням двосторонньої модельної плити, технічна характеристика якої приведена в розділі 1. Модельна плита за допомогою центрувальних і напрямних втулок монтується на пресувальних штоках, модельна плита повертається в вертикальне положення і з бункера починається вдування суміші з подальшим пресуванням. Після чого роз'єднуються верхня і нижня напівформи, вилучається модельна плита, потім за допомогою автоматичного стержнеукладача у форми встановлюються стержні. Після збирання форма виштовхується на транспортну лінію.

2. Метал високоміцний чавун марки ВЧ 450 ДСТУ 3925-99 заливається у форми з розливочної печі Fomet марки PR3/2.

3. Залиті форми охолоджуються протягом 60 хв на конвеєрі АМН.

4. Після охолодження виливка форма потрапляє на вибивну решітку, де виливок з ливниковою порожниною відділяють від формувальної суміші.

5. З вибивних решіток виливок із ливниковою системою і залишками формівної суміші потрапляє у галтовочний барабан DISA COOL 2900.

6. Після обробки виливки з ливниковою системою потрапляють на конвеєр де за допомогою гідроклинів іде відділення ливникової системи від виливка.

7. Відокремлені виливки транспортуються до дробометної установки DISA марки SHLICK MB 900S.

8. Після очистки проводиться контроль якості і виливки транспортують на склад.

2.11. Опис процесу проектування ливарного оснащення.

Особливості конструювання модельного оснащення для формовочної машини DISA MATCH 24/28 пов'язані з підвищеною точністю виготовлення форм виливків при вертикальному формуванні. Особлива увага приділяється точності і чистоті виготовлення моделей і модельних плит, точності прив'язки, фіксації і кріплення моделей на модельних плитах.

Модельний комплект складається з двосторонньої модельної плити на якій змонтовано моделі та ливникову систему. Двостороння модельна плита в машині встановлюється за допомогою центрувальних і напрямних втулок.

До модельного оснащення для ліній ставлять такі вимоги:

- Стояк повинен розміщуватися у визначених місцях які передбачені конструкцією машини;
- Мінімальні відстані між моделями залежать від габаритних розмірів моделі;
- в модельному оснащенні в темних кутках слід передбачати венти і канали для відведення повітря із формувальної камери при вдуванні і пресуванні суміші;
- точність обробки внутрішніх вертикальних площин моделей (западині під болвани) повинні бути не нижче 9-го класу, зовнішніх вертикальних площин - 8-го класу, а горизонтальних - 7-го класу точності за ГОСТ 2780-73;
- Шорсткість моделей та піл модельних плит Ra 1,мкм;
- величини допусків на розміри знаків моделей і стержнів повинні відповідати ГОСТ 3606-80;
- формувальні ухили на робочій поверхнях моделей повинні бути виконані у відповідності з вимогами ГОСТ 3212-80;
- формувальні ухили знаків моделей і стержневих ящиків повинні бути виконані за ГОСТ 3606-80;

- чистота обробки моделей елементів ливникової системи повинна бути не нижче 7-го класу чистоти за ГОСТ 2739-73;
- Під модельні плити рекомендується виготовляти із алюмінієвих сплавів марки АЛ9, АЛІ2 ГОСТ 2685-63.

Модельний комплект верху і низу відображено на кресленнях [МР-8.131.23.03.02.02.00], [МР-8.131.23.03.02.03.00]. Форма в зборі наведена на кресленні [МР-8.131.23.03.02.04.00].

При проектуванні стержневого ящика для стержневої машини марки DISA CORE 10EP слід враховувати мінімальні і максимальні габаритні розміри стержневого ящика. Матеріал стержневого ящика повинен мати магнітні властивості, так як ліва і права половини стержневого ящика закріплюються в машині на магнітних плитах. Також для вентилявання ящика потрібно передбачити венти. Стержневий ящик відображено на кресленні [МР-8.131.23.03.02.05.00].

Застосування спроектованого модельного комплексу дозволяє забезпечити у виготовлених формах достатню точність при виготовленні форм на формівній машині DISA MATCH 24x28.

2.12 Контроль якості виливка.

Контроль якості починають з зовнішнього контролю в два етапи: попередньо перед очисткою і відпалом, потім безпосередньо після очищення виливка. Зовнішній контроль проводять 100% порівнюючи отриманий виливок з еталоном на шлакові, газові, земельні, усадочні раковини, короблення, зміщення, підриви, пригари. Хімічний склад виливка визначають в лабораторії методами хімічного і спектрального аналізу, один раз на плавку кожного виду сплаву. Геометричні розміри виливків контролюють шаблонами та спеціальними вимірювальними приладами один раз після встановлення нового модельного оснащення та виготовлення експериментальної партії.

Структуру металу виливків визначають при вивченні підготовлених зразків шліфів, за допомогою мікроскопу один раз в місяць. При контролі механічних

властивостей перевіряють твердість, відносне видовження, згин, ударну в'язкість та ін., періодичність раз на тиждень, на стандартних зразках, а також 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 год.

2.13. Висновки по розділу

1. Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок.
2. Описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка.
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-8.131.23.03.02.01.00), модельних комплектів верху (додаток МР-8.131.23.03.02.02.00), низу (додаток МР-8.131.23.03.02.03.00), стержневого ящика (додаток МР-8.131.23.03.02.04.00), та форми в зборі (додаток МР-8.131.23.03.02.05.00).

3. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТВА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ТА ДЕФОСФОРАЦІЇ МЕТАЛУ

3.1. Загальні відомості про високоміцний чавун

Високоміцним називають чавун, в якому графітні включення мають кулясту форму. Отримують високоміцні чавуни шляхом введення в ківш з рідким металом спеціальних присадок, що одержали назву модифікаторів. Модифікатори грають роль штучних центрів кристалізації і, рівномірно розподіляючись в об'ємі рідкого металу, призводять до початку кристалізації не тільки від стінок ливарної форми, а й усередині самого об'єму цієї форми. Оскільки штучний зародок у момент кристалізації чавуну з усіх боків оточений рідким металом, це створює умови для формування кристалів кулястої форми.

Серед методів отримання високоміцного чавуну можна зазначити застосування чистого магнію в кількості 0,02-0,08 %, або церію у печі чи ковші. Введення магнію в чавун супроводжується значним його випаровуванням, він згорає з піроефектом та виділенням білого диму. Враховуючи те, що модифікування чистим магнієм супроводжується сильним піроефектом, його заміняють лігатурами (наприклад, сплавом магнію і нікелю чи магнію і кальцію). При цьому значні піроефекти майже зникають. Крім того також можливе внутрішньо-формове модифікування із застосуванням автоклавів або герметизованих ковшів [18].

Основною відмінною особливістю високоміцного чавуну є його високі механічні властивості, обумовлені кулястим графітом, який у меншій мірі, ніж пластинчастий графіт в сірому чавуні, послаблює робочий переріз матриці, внаслідок чого навколо сфероїдів графіту в меншій мірі створюються концентрації напружень.

При цьому високоміцний чавун, як і інші чавуни, можна отримувати з усіма відомими структурами матриці, вибираючи склад металу, в тому числі і його належне легування, технологію виробництва і методи термічної обробки. Все це створює можливість отримання дуже високих механічних властивостей, недосяжних ні в одному з існуючих видів чавуну. Крім того, деякі марки цього чавуну мають також високу зносостійкість і хорошу корозійну стійкість, теплостійкість, жаростійкість, холодостійкість, антифрикційні властивості та оброблюваність і можуть піддаватися зварюванню.

Дуже важливо також, що високоміцний чавун має добрі ливарні властивості: високу рідинотекучість, малу величину ливарної усадки, незначну схильність до утворення гарячих тріщин. Разом з тим, треба відмітити його схильність до утворення усадкових раковин і ливарних напружень вище, ніж у сірого чавуну.

Найбільш важливим для механічних властивостей високоміцного чавуну є отримання графіту кулястої форми, хоча в деяких випадках допускається графіт змішаної форми. Правильна куляста форма графіту залежить від ряду факторів (складу металу, умов модифікування, шихтових матеріалів та інших умов плавки), але в першу чергу вона пов'язана з вмістом залишкового Mg, Ce або інших сфероїдизаторів. Значний вплив на форму графіту має також швидкість охолодження відливків: чим більше швидкість, тим правильніша куляста форма графіту. Крім того, при цьому зменшуються розміри графіту (приблизно до 50 мкм); при середній швидкості охолодження розмір графіту виходить близько 100 мкм; при малій швидкості (в масивних відливках) – досягає 400-500 мкм.

Механічні властивості високоміцного чавуну, регламентовані держстандартом України (ДСТУ 3925-99), згідно з яким високоміцний чавун доцільно плавити (переважно в електропечах) із застосуванням шихти з високим вмістом сталі або виплавки чисто синтетичного чавуну з додатковим легуванням молібденом в кількості 0,2-0,4 % і введенням при модифікуванні комплексних

модифікаторів. Тобто шихта складається із сталевого брухту, а вміст вуглецю в кінці плавки підвищується за допомогою карбюризаторів.

Склад металу є одним з основних факторів, який визначає механічні властивості високоміцного чавуну.

Вуглець у високоміцному чавуні не треба підтримувати на низькому рівні для отримання високих механічних властивостей. Навпаки, він зазвичай витримується для високих марок в межах 3,2-3,6%, що полегшує процес одержання металу у вагранках або електропечах, підвищує ливарні властивості чавуну і в той же час 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, і при практично регулювання кількості фериту в чавуні здійснюють, підбором вмісту кремнію в металі. При вмісті 3,0-3,3% кремній сприяє отриманню стійкої феритної структури, проте пластичність чавуну при цьому все-таки знижується, і 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 має вплив на структуру високоміцного чавуну, який є протилежний впливу кремнію, зменшуючи кількість фериту, і збільшуючи кількість перліту, в зв'язку з чим підвищується границя міцності на розтяг. Тому для отримання високої пластичності вміст марганцю не повинен перевищувати 0,4%, що скорочує, а іноді зовсім виключає термічну обробку. Коли 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%, але 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 ліквіація. 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 знаходитися на низькому рівні (не вище 0,02% або навіть нижче), вона ускладнює процес модифікування і отримання кулястого графіту та знижує механічні властивості високоміцного чавуну внаслідок утворення сфероїдизаторами сульфідів.

Магній або церій, що застосовується як сфероїдизатори, зазвичай залишаються у високоміцному чавуні в кількості не менше 0,03 і 0,02% відповідно, в протилежному випадку графіт кристалізується в кулястій формі тільки частково, внаслідок чого механічні властивості чавуну знижуються. Але 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].

До числа важливих властивостей нелегованого або низьколегованого високоміцного чавуну відносяться, крім високих механічних, антифрикційні властивості, які проявляються при роботі деталей в умовах тертя в підшипниках. Матеріал, який працює в таких умовах, крім високої зносостійкості повинен мати низький коефіцієнт тертя, високу теплопровідність, добру оброблюваність та здатність утримувати змазку у вигляді безперервної плівки.

За герметичністю високоміцний чавун значно перевершує сірий, внаслідок відсутності графітної пористості і тому є сприятливим матеріалом для відливків, які працюють під великим тиском. Це дозволяє використовувати його для виробництва деталей дизелів, насосів, гідравлічних і газових установок.

Корозійна стійкість високоміцного чавуну досить висока: не нижче ніж у сірого чавуну, і значно вище, ніж у вуглецевої сталі. При корозії чавуну дуже швидко утворюється поверхневий окислений шар, який міцно зв'язаний з матрицею і перешкоджає подальшому розвитку корозії, на відміну від сталі, на поверхні якої утворюється шар, який легко відокремлюється, не перешкоджає подальшому поширенню корозії. Особливо велика корозійна стійкість високоміцного чавуну в атмосферних умовах, що найбільш помітно при впливі морської атмосфери, тоді високоміцний чавун перевершує навіть мідису сталь. При цьому високоміцний чавун з перлітною структурою має вищу корозійну стійкість, ніж при феритній структурі.

Жаростійкість високоміцного чавуну вище ніж у сірого, внаслідок меншого окислення металу по границях роз'єднаних включень графіту.

Рідинотекучість високоміцного чавуну вище ніж у ковкого та сірого чавунів високих марок, і значно вище ніж у сталі, що дозволяє відливати з цього чавуну деталі з товщиною стінки 3-4 мм зі складною конфігурацією, крім того, сприяє отриманню відливків з чистою зовнішньою поверхнею.

Загальна усадка високоміцного чавуну практично менше, ніж у сірого, але різниця ця порівняно невелика.

Завдяки високим показникам и хорошему поєднанню експлуатаційних, фізичних та технологічних властивостей з міцністю, високоміцний чавун

знаходить дуже широке застосування в усіх галузях промисловості. Ним в багатьох випадках замінюють сталеве литво, ковкий та сірий чавуни.

Перевагою високоміцного чавуну перед сталлю є менша густина, а відповідно й менша маса відливків, яка ще більше знижується в зв'язку з тим, що з цього чавуну можна відливати більш тонкостінні деталі завдяки його більш високій рідинотекучості. Важливою перевагою в цьому відношенні являється також більш низька температура плавлення, що полегшує і здешевлює процес плавки. Великою перевагою також є його більш сприятливі ливарні властивості, у тому числі менша ливарна усадка і відповідно менша схильність до утворення гарячих тріщин та усадкових раковин.

В порівнянні з ковким чавуном перевагами високоміцного чавуну є кращі ливарні і більш високі механічні властивості, можливість в багатьох випадках обходитися без термічної обробки, а також можливість застосування для деталей будь-яких перерізів, маси і розмірів.

Високі значення механічних властивостей високоміцного чавуну дають також можливість замінити ним сірий чавун.

По всіх вказаних причинах високоміцний чавун застосовується в наш час для великої номенклатури деталей відповідального призначення масою від декількох кілограм до декількох тон для роботи при високих статичних, ударних і циклічних навантаженнях в умовах зношування, а також при впливі агресивного середовища і високих температур.

3.2. Вплив сірки і фосфору на властивості чавуну

Відомо, що сірка відноситься до числа шкідливих домішок, які погіршують властивості металу. Вона негативно впливає на зварюваність металу, антикорозійні та електротехнічні властивості. Сірка знижує рідинотекучість чавуну, внаслідок чого погіршується заповнюваність форми. Також вона збільшує його усадку, що призводить до утворення раковин, та підвищує схильність до утворення тріщин. При вмісті 0,12-0,14 % сірки збільшується

кількість цементиту та перліту в структурі чавуну – з’являється відбіл в тонких перерізах відливка. Відбіл утворюється внаслідок того, що сульфід заліза, маючи низьку температуру плавлення, кристалізуються по границям зерен і перешкоджають розчиненню вуглецю, кремнію в залізі і розпаду цементиту.

Сірка утворює з’єднання FeS , яке при затвердінні чавуну утворює з залізом легкоплавку евтектику $\text{Fe}+\text{FeS}$, яка плавиться при 985°C . В рідкому чавуні сірка може розчинятися в необмеженій кількості, а в твердому – незначно. Вона твердне в чавуні останньою і розміщується між зернами, викликаючи крихкість і зниження міцності чавуну при підвищених температурах. Це явище називають червоноламкістю.

Чим вищий вміст сірки, тим складніше отримати повністю кулясту форму графіту і, як наслідок, високі механічні властивості.

Однак внаслідок негативного впливу сірки на якість литва звичайно прагнуть отримати чавун з мінімальним вмістом сірки. При плавці в полум’яних печах та електропечах кількість сірки не перевищує 0,03-0,04 %, а при плавці у вагранках вміст сірки досягає 0,1-0,12 %.

Спорідненість сірки до кисню менша, ніж заліза, і її неможливо видалити розкисленням. Тому шкідливий вплив сірки нейтралізують введенням десульфураторів, з’єднання яких з сіркою переходить в шлак і тільки частково залишається у відливках у вигляді неметалевих включень, які знижують механічні властивості чавуну [18].

Таким чином, низький вміст сірки являється одним з найважливіших показників високої якості чавуну.

Фосфор – шкідлива домішка в чавуні, оскільки підвищує крихкість чавуну при нормальній температурі, сприяє *холодноламкості* – утворенню крихкої фосфідної евтектики по границях зерен.

Крім цього, фосфор підвищує міцність, твердість, зносостійкість, рідкотекучість (в художніх відливках – до 1% фосфору), дуже мало впливає на графітизацію.

Вміст фосфору в сірих чавунах складає не більше 0,12-0,2%.

Одним з напрямків покращення якості металу є його десульфурація та дефосфорація.

3.3. Способи десульфурації та дефосфорації чавуну

Десульфурація – сукупність фізико-хімічних процесів, які сприяють видаленню сірки з розплавленого металу (чавуну, сталі). Вона полягає в переведенні розчиненої в металі сірки, в сульфіді, які є нерозчинними або малорозчинними в рідкій металевій ванні.

Десульфурація чавуну не є новою технологічною операцією, вона застосовувалась здавна. В якості реагенту зазвичай використовували соду, рідше вапно. Способи введення реагенту були примітивними, механізми, що застосовувалися – малопродуктивними, степінь використання реагентів низькою, а витрата їх висока. По мірі підвищення вимог до якості чавуну і зниження якості матеріалів, які використовуються під час плавки, зросло значення десульфурації чавуну, що призвело до пошуку нових реагентів і розробки нових способів їх введення в метал, які забезпечують не тільки часткове, але практично повне видалення сірки з чавуну [19].

З початку 60-х років для десульфурації чавуну в промислових масштабах застосовували карбід кальцію, який володіє високою хімічною спорідненістю з сіркою, що дозволило значно зменшити витрату реагенту. В зв'язку з тим, що даний реагент в рідкому чавуні не розчиняється і взаємодія з сіркою відбувається на поверхні його твердих частин, були створені спеціальні пристрої для ефективного перемішування його в рідкому металі: віброковші, механічні мішалки, барабани.

В 70-ті роки стали більшу уваги приділяти перемішуванню металу газами і інжекційними способам введення в нього реагенту.

З кінця 60-х років для десульфурації чавуну стали використовувати магній. Висока хімічна спорідненість магнію з сіркою і сприятливі умови їх взаємодії зумовили ефективне використання його з найбільш низькою витратою. Однак

застосування магнію для десульфурзації ускладнилося низькою температурою його кипіння і бурним газоутворенням при введенні його в рідкий чавун [19].

В наш час десульфурацию чавуну застосовують в більшості країн з розвиненою металургійною та ливарною промисловістю. Відбуваються не тільки кількісні, але й якісні зміни цього процесу. Збільшується глибина десульфурзації майже до повного видалення сірки з чавуну. Традиційний десульфуруючий реагент сода витісняється більш ефективним карбідом кальцію та магнієм. На зміну примітивним пристосуванням для введення реагенту в рідкий чавун приходить більш складне обладнання, яке забезпечує механізацію всіх операцій і охорону навколишнього середовища від забруднення. Однак, до нашого часу, немає однотипності в технології десульфурзації, реагентах та способах їх введення в чавун [20].

Отримання чавуну з низьким вмістом сірки пов'язано з значними витратами. В наш час в якості десульфураторів використовують порошкоподібне вапно, соду, карбід кальцію, гранульований магній або суміші декількох реагентів.

Відповідно до результатів американських дослідників, було виведено рівняння десульфурзації чавуну вапном, яке інjektується в струмені 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 даного рівняння показав, що для отримання чавуну з низьким вмістом сірки необхідна достатньо велика кількість вапна з низьким вмістом в ньому сірки (до 0,007%). Значна витрата вапна призводить до великих втрат тепла і зниженню температури чавуну. Крім того, вапно повинно

використовуватися тільки у свіжовідпаленому вигляді через його схильність до гідратації.

Використання вапна в суміші з магнієм призводить до зниження ефективності впливу магнію, так як у вапні міститься до 10% CaCO_3 , який буде вступати в реакцію з магнієм:



Відомий спосіб десульфурації чавуну содою малопривабливий через її значне випаровування, що потребує високого ступеня очищення відхідних газів, і великої витрати матеріалу. Крім того, при використанні соди розвивається 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 [20].

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

3.4. Основи десульфурації магнієм

Магній являється сильним десульфуратором, застосування якого дозволяє отримувати низький і наднизький вміст сірки в чавуні. При витраті магнію в кількості 0,2 % від маси чавуну, можна досягти зниження вмісту сірки в чавуні від 0,150 до 0,003%.

Магній плавиться при температурі близько 650°C , а при температурі 1107°C кипить. Температура рідкого чавуну знаходиться в межах $1380\text{--}1440^{\circ}\text{C}$. При такій температурі занурений в чавун магній миттєво випаровується, прямуючи у вигляді пари з шару металу, часто утворюючи викиди чавуну, а пари магнію окислюються (згорають) в кисні повітря. Отже, ефективна обробка чавуна магнієм можлива тільки при подачі його в розплав на максимально можливу глибину (300-400 мм від дна ковша). Тому в процесі видалення сірки з чавуну, магнієм, відповідну технологічну складність являє собою присадка магнію до металу.

Технологічні процеси обробки чавуну магнієвими реагентами, що застосовуються в наш час, можуть бути розділені на дві групи: одна включає процеси, основані на поступовому, регульованому інжектуванні в розплав диспергованого магнію, друга – процеси, які передбачають введення в розплав окремих порцій кускового або брикетованого магнію.

Процес розчинення кускового магнію в металі саморегулюється тиском парів магнію і висотою шару чавуну, на яку завантажено магній в ківш з рідким металом.

В камері, яка виконує роль випарника магнію, поміщається чушковий магній в кількості, яка необхідна для досягнення відповідного вмісту сірки в чавуні.

В нижній частині камери є гострокутні отвори, які розміщені кутами вгору, а у верхній – круглі отвори діаметром 12-15 мм. При наповненні ковша чавун прагне заповнити порожнину камери, однак в результаті плавлення і випаровування магнію в камері виникає тиск парів магнію, які, вириваючись через отвір і відтісняючи метал вниз, перешкоджають доступу великої кількості рідкого чавуну в камеру, чим і попереджається негайне випаровування всієї маси магнію [21].

Якщо випаровування магнію йде дуже інтенсивно і для виходу з камери парів магнію отворів недостатньо, рівень металу в камері тиском парів магнію

буде знижено до вершин гострих кутів, і пари магнію почнуть виходити через отвір.

При витісненні чавуну випаровування магнію поступово слабшає, тиск парів зменшується, і порожнина камери знову поступово заповнюється рідким чавуном, викликаючи випаровування магнію, тобто здійснюється саморегулювання процесу випаровування магнію і обробки чавуну парами магнію.

У випадку бурного кипіння магнію через отвір може вийти частина рідкого магнію, що іноді призводило до викиду чавуну з ковша. Тому для попередження потрапляння рідкого магнію в чавун в камері встановлені додаткові перегородки.

Реакція видалення сірки з чавуну протікає без викидів чавуну з практично повним використанням магнію. Як відомо, сульфід магнію MgS в чавуні не розчиняється і спливає на поверхню в 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 [21].

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.

Це можна пояснити тим, що сажистий вуглець, який утворюється в випаровувальній камері при дисоціації метану, екранує канал фурми, зменшує нагрів частинок магнію, що транспортуються, і дозволяє знижувати швидкість витікання реагенту на зрізі каналу фурми. Заміна повітря природним газом дозволила зменшити на 20 % витрату газу-носія 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 інжектуються у струмені стисненого повітря, кількість оксидів заліза у шлаку збільшується, а при обробці чавуну магнієм, який інжектуються 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 неможна 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 ковшем) 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.

Слід відмітити, що і при вдуванні, і при введенні порошкової проволочки магній практично відразу випаровується. Це пояснюється тим, що тиск насичених парів магнію при 1300°C дорівнює 0,4 МПа, при 1350°C вже 0,8 МПа, що відповідає феростатичному тиску стовпа рідкого чавуну – 6 і 12 м. Оскільки висота наливу чавуна в чавуновозних ковшах не перевищує 2,5 м, а в заливочних – до 5 м, то йде інтенсивне виділення парів магнію з розплаву.

Рівень виробничих витрат при використанні порошкової проволочки суттєво нижче, ніж при вдуванні гранульованого магнію, навіть з врахуванням значно більших витрат на порошкову проволочку.

Співставлення обох способів показало, що при рівних умовах десульфурзації (початковий і кінцевий вміст сірки) спосіб десульфурзації порошковою проволочкою більш економічний в порівнянні з продувкою [21].

Таким чином, порівняння способів десульфурзації, виходячи з капітальних затрат, затрат на матеріали, зниження температури чавуну, організації виробництва, показало економічну і організаційну перевагу введення порошкової проволочки перед вдуванням гранульованого магнію.

3.5. Термодинаміка десульфурзації магнієм

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.

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 $T = \text{const}$.

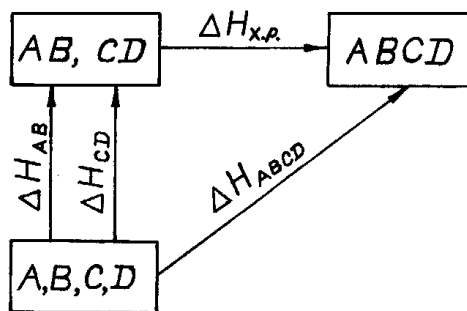


Рисунок. 3.1 – Схема утворення складної речовини з простих

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 продукту 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

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

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].

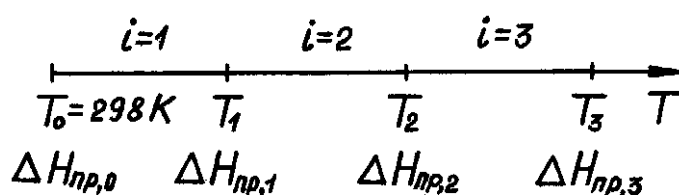


Рисунок 3.2 – Температурні ділянки на інтервалі $298-T$ К

Початкова температура кожної температурної ділянки дорівнює кінцевій температурі попередньої.

Кожній температурі фазового перетворення відповідають певні значення ентальпій фазових перетворень $\Delta H_{пр}$.

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 K.

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 [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	$\Delta H_{\text{пр}}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	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 :

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

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

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

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.

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

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 $\text{FeS} + \text{Mg} = \text{Fe} + \text{MgS}$

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

На підставі даних табл. 3.3 можна зробити такі висновки:

1. Величина ΔH_T° при кімнатній температурі від'ємна, отже реакція екзотермічна, тобто вона супроводжується виділенням теплоти, що є природним для реакції горіння.

2. Вільна енергія реакції при кімнатній температурі – величина від'ємна, причому з підвищенням температури модуль величини ΔG_T° зменшується, це вказує на те, що реакція із початкового стандартного стану самодовільно повинна йти вправо.

3. Досліджувана реакція – практично необоротна, і можна вважати, що при звичайних температурах металургійного і ливарного виробництва вона іде практично повністю, до кінця вправо.

За допомогою принципу Потилицина–Ле-Шательє–Брауна можна сформулювати вимоги для проведення глибокої десульфурзації металу:

- збільшення концентрації магнію;
- зменшення активності MgS за рахунок хімічного зв'язування MgS у шлаку або збільшення кількості шлаку;
- чим нижча температура, тим сильніше реакція зміщена у потрібному напрямку. Тому для підвищення ефективності десульфурзації її необхідно проводити на початку плавки;

– в автоклавах необхідно забезпечувати підвищений тиск.

3.6. Термодинаміка десульфурзації оксидом марганцю

Десульфурация металу також може проходити за реакцією $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{MnS} + \text{FeO}$.

За вище наведеною методикою проведемо детальний розрахунок термодинамічних характеристик реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{MnS} + \text{FeO}$ за допомогою комп'ютера. Комп'ютерна програма передбачає проведення розрахунку без попереднього введення додаткових даних.

Результати розрахунку наведено в табл. 3.4 і на рис. 3.3–3.6.

Таблиця 3.4

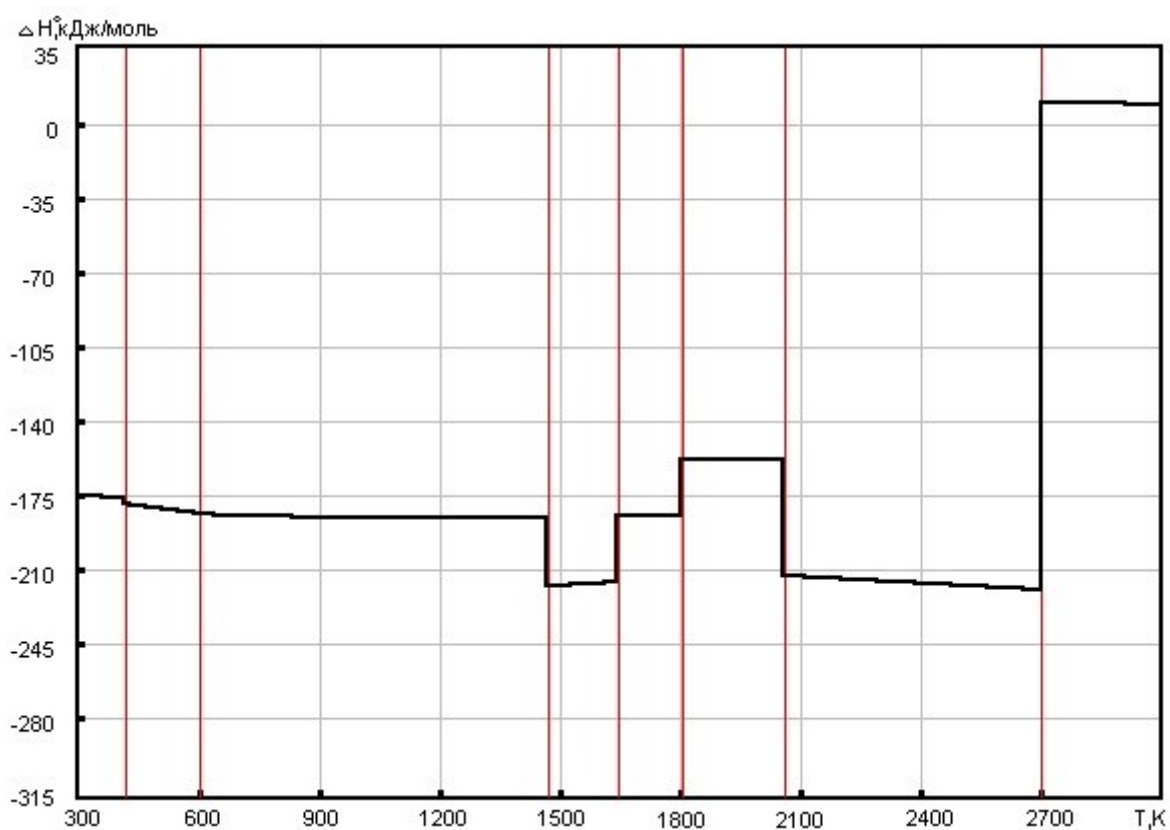
Термодинамічні характеристики реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$

T, K	$\Delta H_T^\circ, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	$\Delta S_T^\circ, \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot K}$	$\Delta G_T^\circ, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	$\ln K_p$
298	-173,750	-11,310	-170,380	68,769
335	-174,177	-12,657	-169,937	61,14
372	-174,728	-14,214	-169,440	54,785
411	-175,443	-16,39	-168,851	49,414
411	-177,859	-21,916	-168,851	49,414
457	-178,998	-24,541	-167,782	44,159
503	-180,120	-26,881	-166,599	39,838
549	-181,200	-28,936	-165,314	36,218
598	-182,303	-30,862	-163,848	32,956
598	-182,809	-31,708	-163,848	32,956
646	-183,90	-32,159	-162,315	30,221
694	-183,353	-32,552	-160,762	27,862
742	-183,593	-32,886	-159,191	25,805
790	-183,809	-33,169	-157,605	23,996
838	-184,2	-33,407	-156,7	22,392
886	-184,172	-33,604	-154,399	20,960
934	-184,319	-33,765	-152,782	19,657
982	-184,442	-33,894	-151,158	18,514
1030	-184,541	-33,993	-149,529	17,461
1078	-184,618	-34,66	-147,895	16,502

1126	-184,671	-34,114	-146,259	15,623
1174	-184,701	-34,140	-144,620	14,817
1222	-184,707	-34,145	-142,982	14,73
1270	-184,690	-34,132	-141,343	13,386
1318	-184,650	-34,101	-139,705	12,749
1366	-184,587	-34,54	-138,69	12,157
1414	-184,500	-33,991	-136,436	11,606
1468	-184,374	-33,904	-134,603	11,29
1468	-216,724	-55,941	-134,603	11,29
1511	-216,291	-55,650	-132,204	10,524
1554	-215,827	-55,347	-129,817	10,48
1597	-215,341	-55,39	-127,444	9,599
1641	-214,821	-54,718	-125,29	9,164
1761	-183,379	-35,559	-120,761	8,248
1803	-183,367	-35,552	-119,267	7,956
1803	-156,998	-20,926	-119,267	7,956
1845	-157,18	-20,938	-118,388	7,718
1887	-157,54	-20,957	-117,509	7,490
1929	-157,104	-20,983	-116,628	7,272
1971	-157,169	-21,16	-115,746	7,63
2013	-157,248	-21,56	-114,862	6,863
2058	-157,348	-21,105	-113,914	6,658
2058	-211,789	-47,558	-113,914	6,658
2107	-212,291	-47,800	-11,578	6,369
2156	-212,804	-48,40	-109,230	6,94
2205	-213,317	-48,276	-106,870	5,830
2254	-213,830	-48,506	-104,499	5,576
2303	-214,344	-48,731	-102,116	5,333
2352	-214,857	-48,951	-99,723	5,100
2401	-215,370	-49,167	-97,319	4,875
2450	-215,883	-49,379	-94,905	4,659
2499	-216,396	-49,586	-92,480	4,451
2548	-216,909	-49,789	-90,45	4,251
2597	-217,422	-49,989	-87,601	4,57
2646	-217,935	-50,185	-85,147	3,871
2700	-218,500	-50,396	-82,431	3,672
2700	11,766	34,888	-82,431	3,672
2748	11,568	34,815	-84,104	3,681
2796	11,367	34,742	-85,773	3,690
2844	11,165	34,671	-87,439	3,698

Продовження таблиці 3.4

2892	10,963	34,601	-89,102	3,706
2940	10,762	34,531	-90,761	3,713
2988	10,560	34,463	-92,417	3,720
3036	10,359	34,397	-94,69	3,727
3084	10,157	34,331	-95,719	3,733
3132	9,955	34,266	-97,365	3,739
3180	9,754	34,202	-99,8	3,745
3228	9,552	34,139	-100,648	3,750
3276	9,351	34,77	-102,286	3,755

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

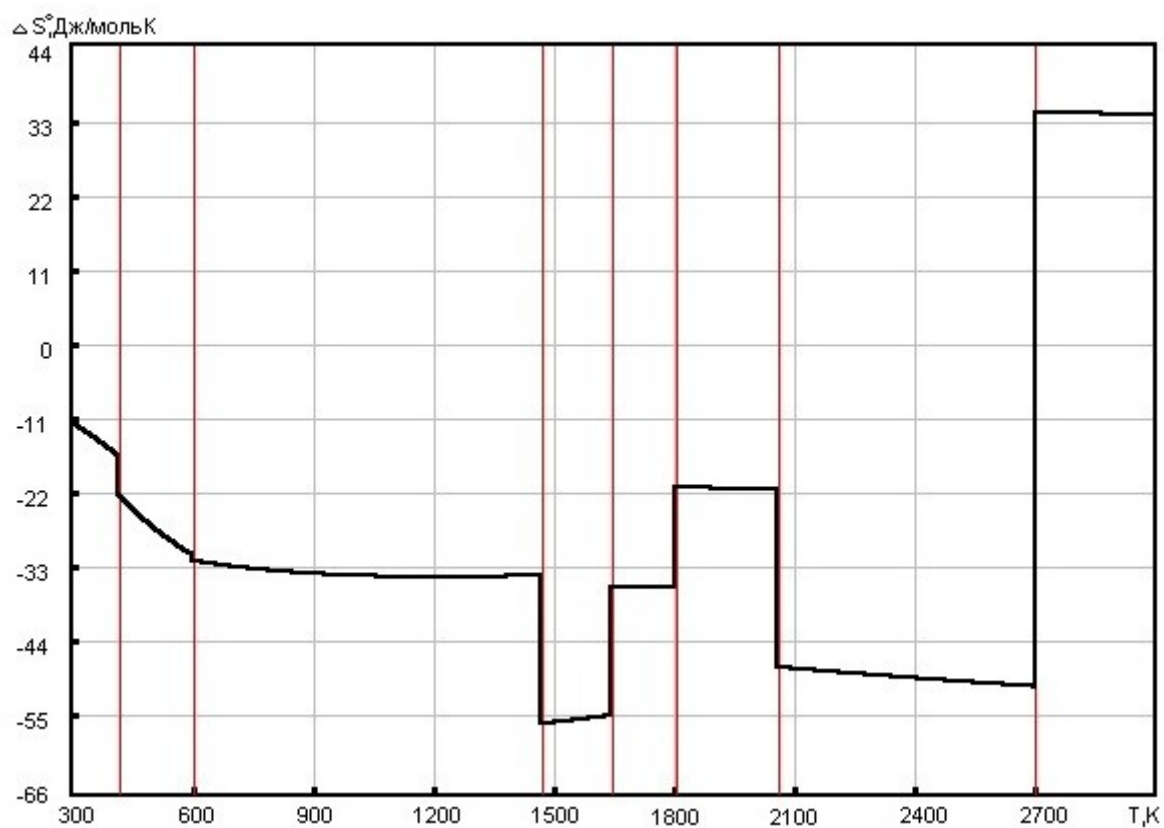


Рисунок 3.4 – Залежність ΔS° реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$ від температури

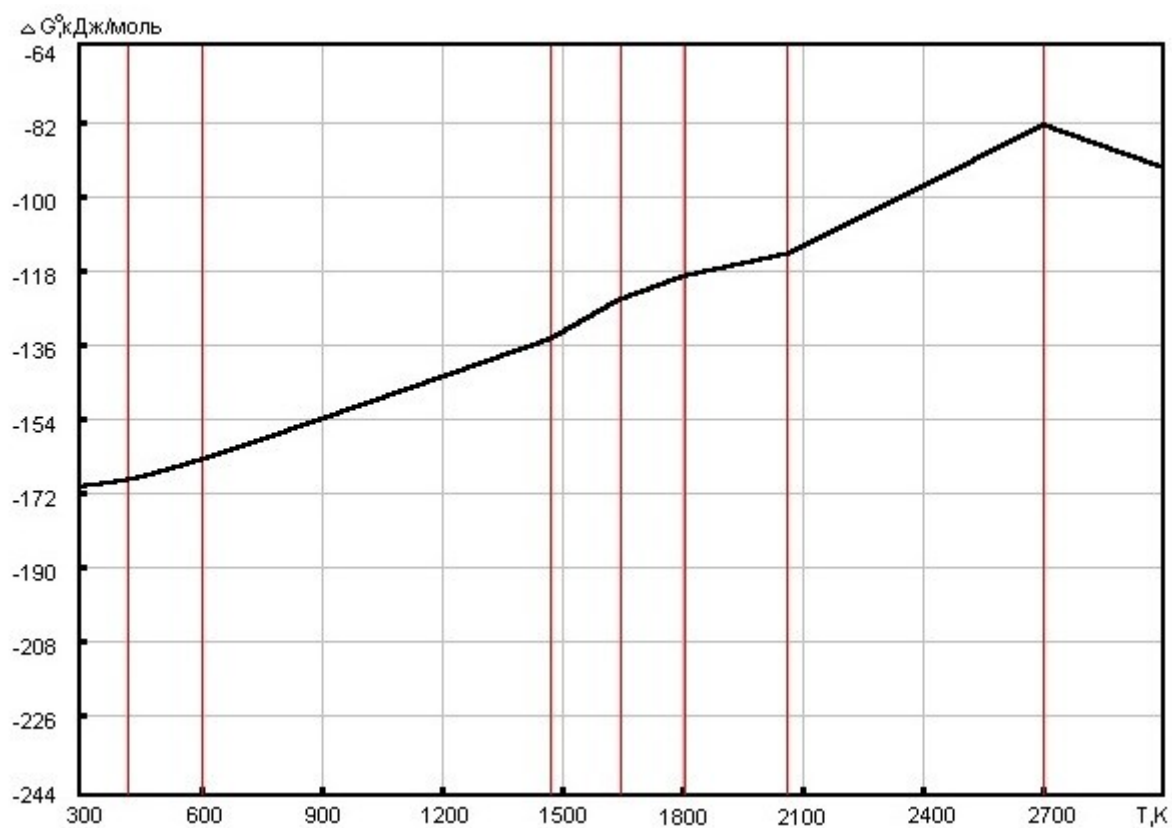


Рисунок 3.5 – Залежність ΔG° реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$ від температури

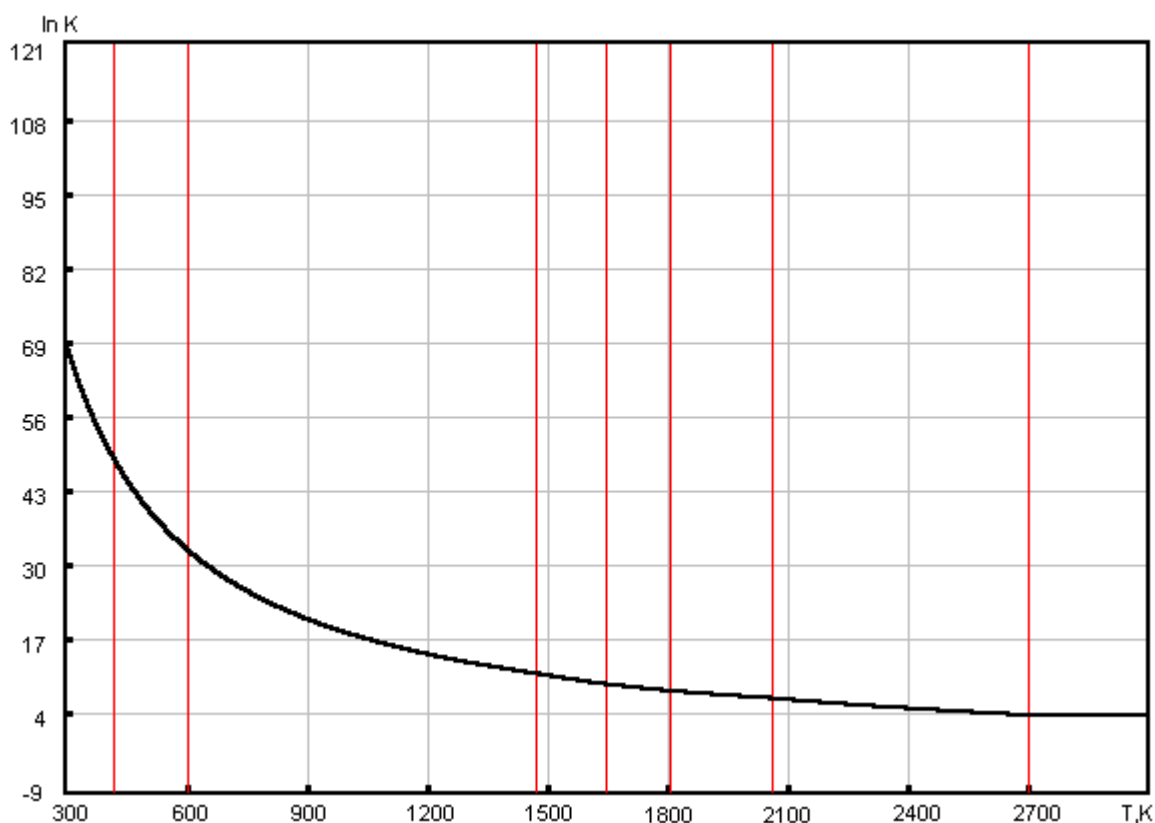


Рисунок 3.6 – Залежність $\ln K_p$ реакції $\text{FeS} + \text{MnO} = \text{Fe} + \text{MnS}$ від температури

Одержані дані дозволяють зробити такі висновки:

1. Досліджувана реакція майже на всьому температурному інтервалі екзотермічна, тобто супроводжується виділенням теплоти. Виняток становить лише невеличка температурна дільниця 2700...3276 К, де реакція – слабоендотермічна і супроводжується поглинанням дуже малої кількості теплоти. При температурах фазових перетворень на графіку залежності ΔH_T° від T спостерігаються стрибки: при 411, 598, 1468 і 2058 К – вниз, а при 1641, 1803 та 2700 К – вгору, у відповідності до знаку величин $\Delta H_{\text{пр},i}^\circ$.

2. Функція ΔS_T° поводиться практично так же, як і функція ΔH_T° .

3. ΔG_T° – зростаюча функція температури. На всьому дослідженому інтервалі температур вільна енергія є від’ємною величиною. Все це вказує на те, що на всьому температурному інтервалі реакція з початкового стану йде вправо, а збільшення температури сприяє процесу десульфурзації.

4. Константа рівноваги – спадаюча функція температури. Це вказує на те, що при підвищенні температури рівновага реакції зміщується вправо. Дана реакція практично необоротна. Тому MnO є одним з кращих десульфураторів як для чавуну, так і для сталі.

Таким чином, при використанні методично точних формул були розраховані термодинамічні характеристики реакцій десульфурації металу магнієм та оксидом марганцю. На підставі аналізу одержаних даних сформульовані умови для найбільш ефективного процесу видалення сірки та дано чіткі рекомендації.

Враховуючи світову практику і одержані термодинамічні данні деяких реакцій десульфурації в магістерській роботі, видалення сірки рекомендовано проводити магнієм. Тому у технологічному процесі передбачено використання порошкової проволоки, що дає можливість суттєво збільшити ефективність десульфурації чавуну та є економічно вигідним.

3.7. Термодинаміка дефосфорації чавуну оксидом заліза

Дефосфорація металу проходить за реакцією $2[P] + 5(FeO) = (P_2O_5) + 5Fe$. Для зв'язування оксиду фосфору і виведення його у шлак застосовують високоосновний шлак з високим вмістом CaO : $(P_2O_5) + 3(CaO) = 3CaO \cdot P_2O_5$. Результуючою реакцією процесу дефосфорації чавуну буде: $2[P] + 5(FeO) + 3(CaO) = (3CaO \cdot P_2O_5) + 5Fe$.

За вище наведеною методикою проведемо детальний розрахунок термодинамічних характеристик реакції $2[P] + 5(FeO) = (P_2O_5) + 5Fe$ за допомогою комп'ютерної програми Reagent. Комп'ютерна програма передбачає проведення розрахунку без попереднього введення додаткових даних.

Результати розрахунку представлено на рис. 3.7 – 3.10.

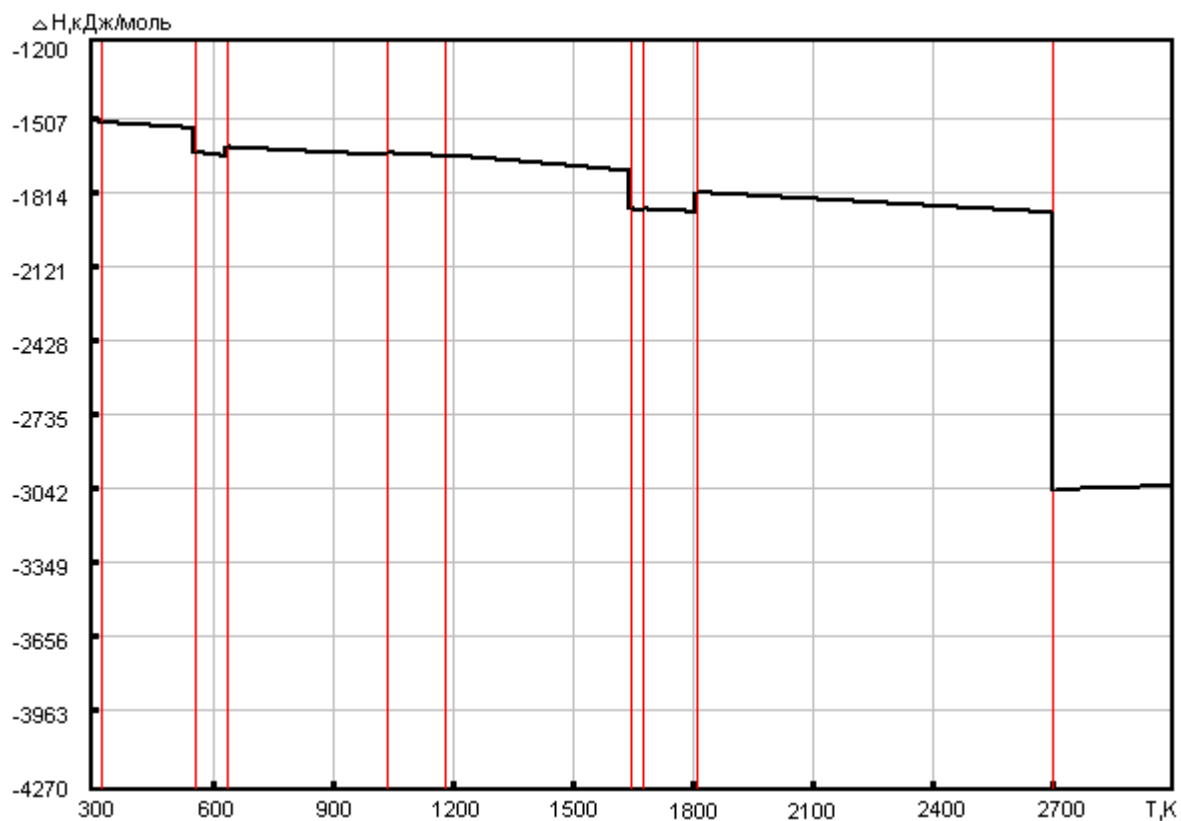


Рисунок 3.7 – Залежність ΔH° реакції $2[P] + 5(FeO) = (P_2O_5) + 5Fe$ від температури

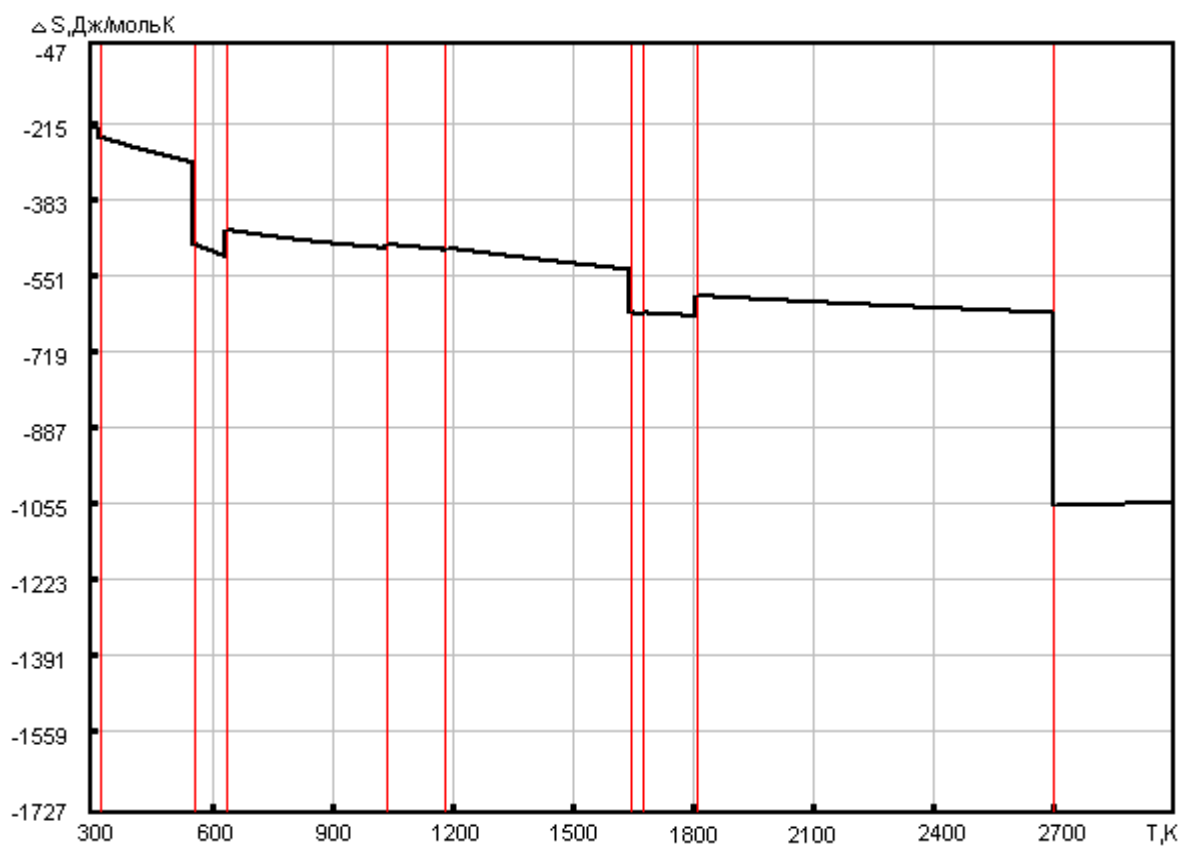


Рисунок 3.8 – Залежність ΔS° реакції $2[P] + 5(FeO) = (P_2O_5) + 5Fe$ від температури

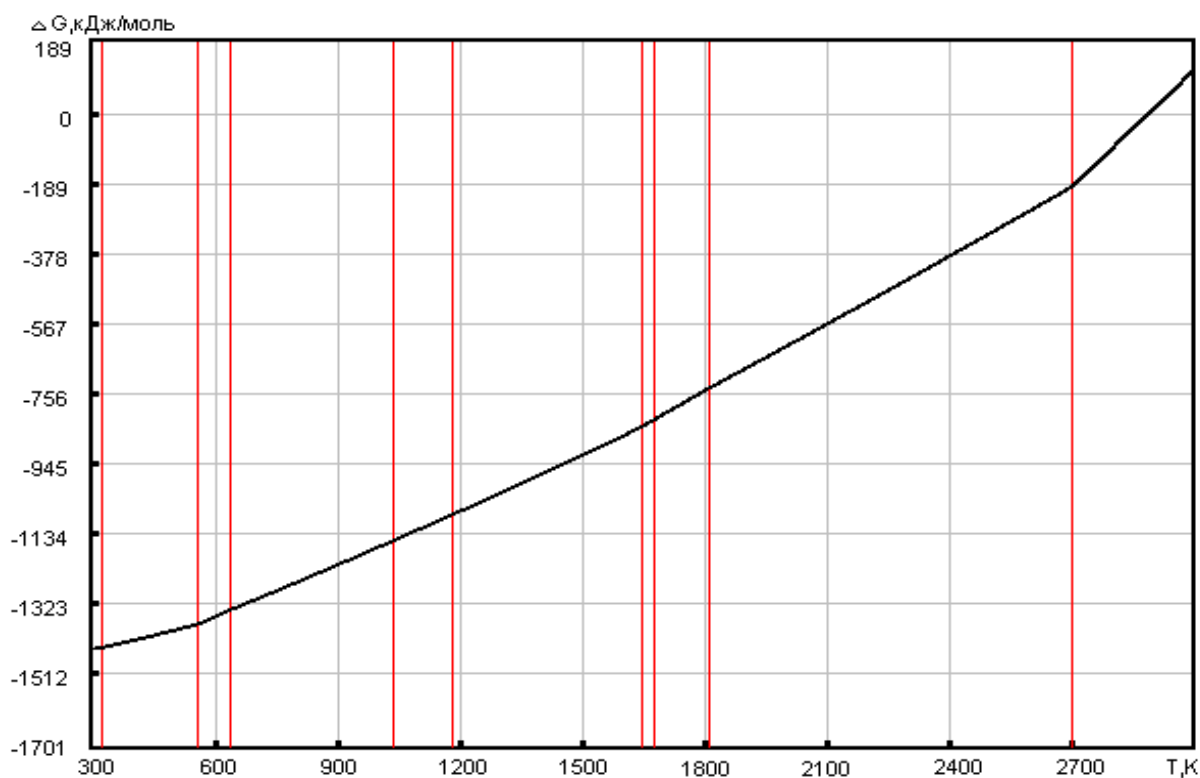


Рисунок 3.9 – Залежність ΔG° реакції $2[P] + 5(FeO) = (P_2O_5) + 5Fe$ від температури



Рисунок 3.10 – Залежність $\ln K_p$ реакції $2[P] + 5(FeO) = (P_2O_5) + 5Fe$ від температури

Одержані дані дозволяють зробити такі висновки:

1) Досліджувана реакція майже на всьому температурному інтервалі екзотермічна, тобто супроводжується з виділенням теплоти. При температурних фазових перетворень на графіку ΔH_T спостерігаються стрибки: при 631 і 1808 К – вгору, а при 553, 1641 і 2700 К – вниз, у відповідності до знаку величин $\Delta H_{пр.і}$. В межах кожної температурної ділянки тепловий ефект реакції при зростанні температури падає.

2) Функція ΔS_T поводитьсь практично так же, як і функція ΔH_T .

3) ΔG_T – зростаюча функція температури. Реакція необоротна, протікає в одному напрямку.

4) Константа рівноваги – спадаюча функція температури. Реакція необоротна, протікає в одному напрямку.

5) З першого слідства з принципу Потилицина-Ле-Шательє-Брауна слідує, що при охолодженні йде екзотермічний процес, тобто процес, в якому теплота виділяється. Оскільки реакція екзотермічна із значним виділенням теплоти, процес дефосфорації потрібно проводити на початку плавки відразу після розплавлення металу, коли температура металу відносно низька.

6) З другого слідства з принципу Потилицина-Ле-Шательє-Брауна слідує, що тиск впливає на зміщення рівноваги коли є газоподібні молекули. Оскільки газоподібні молекули відсутні тиск не впливає на процес дефосфорації.

7) З третього слідства з принципу Потилицина-Ле-Шательє-Брауна слідує, що для того щоб реакція протікала якомога повніше вправо, треба мати підвищений вміст FeO і наводити високоосновний шлак з високим вмістом основних оксидів, а саме CaO.

8) Оскільки процеси десульфурації магнієм і дефосфорації оксидом заліза екзотермічні, їх можливо проводити одночасно шляхом додавання відповідних порошкоподібних добавок у ківш перед випуском металу з плавильної печі. Видалення сірки і фосфору а також спливання шлаку відбувається під час транспортування металу в ковші від плавильної печі до розливочної установки. 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 розробки технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Кришка передня Ц100х200» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки процесів десульфурації та дефосфорації 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 передня Ц100х200» ;
- досліджено термодинаміку процесів десульфурації чавуну магнієм і оксидом марганцю та дефосфорації чавуну оксидом заліза у присутності СаО;
- розроблено рекомендації щодо спрямування процесів десульфурації та дефосфорації чавуну у необхідному напрямку.

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, модельних комплектів верху, низу, стержневого ящика, 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 фосфору і сірки на властивості чавуну. Описано відомі способи десульфурації та дефосфорації чавуну. Досліджено вплив температури, тиску та концентрації реагентів зміщення рівноваги процесів десульфурації чавуну магнієм і оксидом марганцю, а також, процесу дефосфорації чавуну оксидом заліза у присутності CaO . На основі результатів досліджень термодинамічних характеристик процесів десульфурації та дефосфорації чавуну розроблено рекомендації щодо спрямування їх у необхідному напрямку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Н. А. Рибальченко. Проектирование литейных цехов. Харьков: ИОТКЗ Государственного университета им. А.М. Горького, 1965. 307с.
2. Логвинов И. З. Проектирование литейных цехов. Минск: Высшая школа, 1975. 320с.
3. Методичні вказівки до практичних занять по дисципліні «Проектування ливарних цехів» для студентів спеціальності 8.090205 / В.І. Кудя, О.В. Скрипник. Кіровоград: КДТУ. 1999. 27с.
4. В.К. Могилев, О. И. Лев. Справочник литейщика. М.: Машиностроение, 1988. 271с.
5. Проектирование машиностроительных цехов и заводов: Справочник / Под ред. Е. С. Ямпольского. М.: Машиностроение, 1984. 414с.
6. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. К.: НМКВО, 1992. 188с.
7. Сазонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. 320с.
8. Основы проектирования литейных цехов и заводов / под ред. Б. В. Кнорре. М.: Машиностроение, 1985. 320с.
9. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. К: ІСДО, 1993. 552с.
10. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. М.: Машиностроение, 1977. 510с.
11. Зейгер И. Б. Оборудование литейных цехов. М.: Высш. школа, 1980. 368с.
12. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502 / И. Н. Москалев, А. П. Владимиров, В. С. Миронов. Кіровоград: КИСМ, 1985. 75с.
13. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине “Технология литейной формы” для специальностей 0202. Составители: В. С. Миронов, В. М. Телин, В. И. Кудя. Кіровоград: КИСМ, 1995. 75с.

14. В. М. Шестопа́л, Я. Т. Поляков. Технология и оборудование литейного производства. М.: ВИНТИ, 1979. 271с.
15. Москалев І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. К.: НМКВО, 1993. 368с.
16. Титов И. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. М.: Машиностроение, 1966. 271 с.
17. Моги́лев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика. М.: Машиностроение, 1988. 271 с.
18. Гиршович Н.Г. Справочник по чугу́нному литью. / Н. Г. Гиршович. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. 758 с.
19. Куликов И.С. Десульфурация чугуна. Москва, 1962. 306с.
20. Дю́дкин Д.А. Производство стали. Том 2. Внепечная обработка жидкого чугуна / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиле́нко. М.: “Теплотехник”, 2008. 400 с.
21. Воро́нова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. М.: “Металлургия”, 1980. 239 с.
22. Сабі́рзянов Т.Г. Теплотехніка ливарних процесів / Т.Г. Сабі́рзянов, В.М. Кропівний. Кіровоград: КНТУ, 2005. 402 с.
23. Коно́нчук С.В. Властивості формувальних матеріалів і сумішей: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Технологія ливарного виробництва» для студентів-ливарників спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.В. Коно́нчук, О.В. Скри́пник. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. 116 с
24. Ямпольский Е.С. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник. В шести томах. Т. 2. / Е.С. Ямпольский, В.М. Шестипал. М.: Машиностроение, 1974. 294 с.
25. Коно́нчук С.В. Фізико-хімічні дослідження металургійних процесів: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізико-хімічні основи ливарного виробництва» для студентів-ливарників спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.В. Коно́нчук, О.В. Скри́пник. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. 76 с.

26. Конончук, С.В. Термодинамічні дослідження металургійних процесів : метод. вказ. до виконання лаб. робіт з курсу «Фізико-хімічні основи ливарного виробництва» : для студ.-ливарників 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 ливарне виробництво. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. 44 с.

27. Конончук, С.В. Фізико-хімічні основи ливарного виробництва : навч. посіб. / С.В. Конончук, В.М. Кропівний , О.В. Скрипник ; за ред. професора В.М. Кропівного. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 338 с.

28. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник / Под ред. А.П. Зефирова. М.: Атомиздат, 1965. 460 с.