

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології лиття в кокіль виливка
«Корпус» з підвищенням якості литва на
основі дослідження термодинаміки процесу
рафінування металу»**

Виконав здобувач вищої освіти II-го
курсу групи ПМ-23М-1

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Вадим МАНУЙЛОВИЧ

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

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

_____ Мануйловича Вадима Валерійовича

1. Тема роботи: «Розробка технології лиття в кокінь виливка «Корпус» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки процесу рафінування металу»
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 15.12.2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття в кокінь виливка «Корпус» з забезпеченням рафінування металу. Виконати огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів методом лиття в кокінь. Розробити технологію лиття в кокінь виливка «Корпус». Дослідити термодинамічні характеристики основних хімічних реакцій які протікають при рафінуванні алюмінієвих сплавів. На основі отриманих результатів дослідження розробити рекомендації щодо удосконалення процесу рафінування металу.
5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок; 2) права половина кокіля; 3) ліва половина кокіля; 4) креслення стержня центрального; 5) креслення ливарної форми в зборі.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Оглядовий	Конончук С.В.		
Технологічний	Конончук С.В.		
Науковий	Конончук С.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Дата видачі завдання

«___»_____2024 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

«___»_____2024 р.

Підпис здобувача

_____ Мануйлович В.В.

Анотація

МАНУЙЛОВИЧ Вадим. Розробка технології лиття в кокіль виливка «Корпус» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки процесу рафінування металу. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. 85 с.

Вибрано ливарне обладнання та описано роботу ливарного цеху. Розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Корпус». Досліджено дослідження термодинаміки процесу рафінування металу.

Актуальність роботи полягає у розробці технології лиття в кокіль виливка «Корпус» з використанням сучасного високопродуктивного ливарного обладнання. На основі комп'ютерного аналізу термодинамічних характеристик хімічних реакцій що протікають при рафінуванні алюмінієвих сплавів досліджено вплив хімічного складу рафінуючих препаратів на інтенсивність процесу рафінування та розроблено рекомендації щодо удосконалення процесу..

Ключові слова: плавильна піч, кокільний верстат, алюміній, виливок, кокіль, ливникова система, підживлювач, термодинаміка.

Summary

MANUILOVYCH Vadym. Development of the technology of casting in the "Corpus" casting mold with an increase in the quality of the casting based on the study of the thermodynamics of the metal refining process. Qualification work at the second (master's) level of higher education: CUNTU, 2024. 85 p.

Foundry equipment was selected and the work of the foundry was described. The technology of die casting of the "Korpus" casting was developed. The study of the thermodynamics of the metal refining process was investigated.

The relevance of the work lies in the development of the technology of die casting of the "Korpus" casting using modern high-performance foundry equipment. Based on a computer analysis of the thermodynamic characteristics of chemical reactions occurring during the refining of aluminum alloys, the influence of the chemical composition of refining preparations on the intensity of the refining process was studied and recommendations for improving the process were developed..

Keywords: melting furnace, die casting machine, aluminum, casting, die casting, sprue system, feeder, thermodynamics.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	8
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	10
1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху	10
1.2. Плавильне відділення	11
1.3. Відділення лиття в кокіль	21
1.4. Відділення лиття під високим тиском	28
1.5. Відділення відрізки та обрубки ливників	32
1.6. Відділення фінішної очистки виливків	34
1.7. Допоміжні відділення	36
1.8. Висновки по розділу	38
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ ВИЛИВКА «КОРПУС»	39
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	39
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка	40
2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи	44
2.4. Технологічний процес виготовлення виливка	50
2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення	52
2.6. Висновки по розділу	53
3. ПІДВИЩЕННЯМ ЯКОСТІ ЛИТВА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ РАФІНУВАННЯ МЕТАЛУ	54
3.1. Шляхи забруднення алюмінієвих сплавів неметалевими включеннями та газами при плавці	54
3.2. Загальні відомості про способи рафінування алюмінієвих сплавів	59
3.3. Методика досліджень впливу хімічного складу рафінуючих препаратів на інтенсивність рафінування на основі аналізу термодинамічних характеристик реакцій рафінування алюмінієвих сплавів	61

3.4. Розрахунок термодинамічних характеристик реакцій рафінування алюмінієвих сплавів	72
3.5. Висновки по розділу	77
ВИСНОВКИ	80
ЛІТЕРАТУРА	82
ДОДАТКИ	85

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво є однією з основних заготівельних баз машинобудування. У всіх галузях машинобудування використовують литі заготовки. Лиття отримують заготовки будь якої складності з мінімальними припусками на механічну обробку та високими службовими якостями.

Для ливарного виробництва характерна різноманітність способів лиття, технологічних процесів, обладнання, пристроїв, матеріалів. Вона є відображенням не лише складності самого процесу, але й різноманітності деталей сучасної техніки, їх виробництва та експлуатації. Зміна якісних показників йде в напрямку отримання більш легких, складних та точних відливків за рахунок використання високоміцних, в тому числі кольорових сплавів, високоефективних технологій та оснастки.

Основним направленням удосконалення та розвитку ливарного виробництва є розширення використання відомих та створення нових технологічних процесів, що дозволяють зменшити витрати матеріалів та енергії, знизити витрати праці, підвищити продуктивність та умови праці, усунути шкідливу дію на оточуюче середовище та в результаті підвищити ефективність виробництва.

Очищення алюмінієвих ливарних сплавів від зважених неметалічних включень і водню до встановлених норм здійснюють за допомогою хлористих солей і флюсів, вакуумуванням, фільтруванням і іншими способами.

Ефективність рафінування залежить від багатьох факторів, таких як температура розплаву, час взаємодії флюсу з металом, час витримки, хімічний склад рафінуючого флюсу та його кількість, ступінь забруднення металу, та багато інших. Зі зниженням температури ефективність рафінування зменшується в зв'язку з підвищенням в'язкості розплаву; рафінування при більш високих температурах недоцільно, так як воно пов'язане з інтенсивним окисленням

розплаву. Тому дослідження, спрямовані на удосконалення процесу рафінування алюмінієвих сплавів є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в кокіль виливка «Корпус» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки процесу рафінування металу.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного цеху;
- розробка технології лиття в кокіль виливка «Корпус»;
- дослідження термодинамічних характеристик хімічних реакцій, що протікають при рафінуванні алюмінієвих сплавів;
- розробка рекомендацій щодо регулювання інтенсивності процесу рафінування алюмінію.

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів.

Предмет дослідження – регулювання процесу рафінування алюмінієвого сплаву варіюванням температури та хімічного складу рафінуючих препаратів.

Практичне значення – розроблені рекомендації дозволяють підвищувати якість металу за рахунок інтенсифікації хімічних реакцій, що протікають при рафінуванні алюмінієвих сплавів.

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Корпус», виконано дослідження термодинамічних характеристик хімічних реакцій, що протікають при рафінуванні алюмінію.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

Розташування ливарного цеху істотно впливає на вартість продукції, що випускається. Фактори, що впливають на вибір місця: об'єм, вага, тип виливка, екологічність матеріалу, обладнання та технології, матеріально-технічні можливості доставки матеріалів і відвантаження готової продукції, наявність енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів, екологічність виробництва. Враховуючи ці фактори, ливарний завод доцільно розташувати на околиці міста, в промисловій зоні, відокремленій від житлової забудови лісосмугами.

Усі відходи виробництва повинні бути уловлені, перероблені або утилізовані. Промзона має доступ до мереж електроенергії, газу, централізованого водопостачання та водовідведення. Технічну воду можна брати зі свердловини або очищати з місцевих річок. Близькість до житлових районів і сусідніх сіл забезпечує потребу в трудових ресурсах. Дорожні вузли та Одеська залізниця сприяють транспортуванню матеріалів, обладнання та продукції. Опалення цеху забезпечуватиметься власною котельнею на системі водяного опалення.

Ливарний цех призначений для виготовлення алюмінієвих виливків для сільськогосподарського та автомобільного машинобудування методом лиття в металеві форми. У такому виробництві зазвичай використовуються механізовані, автоматизовані або роботизовані одно- чи багатопозиційні охолоджувальні машини. Кокілі можуть мати дві і більше знімних частин, з механізмами фіксації форми, видалення стрижня, тощо. Виливки включають заготовки для деталей гідромашин і агрегатів: кришки, корпуси, втулки, обойми, розпірки для шестеренчастих насосів, гідромоторів.

Режим роботи ливарного цеху залежить від обсягу виробництва (серійності), середньої маси виливка, типу металу, продуктивності та особливостей плавильної печі, особливостей технологічного процесу.

Враховуючи номенклатуру лиття, серійність виробництва, ступінь механізації та автоматизації технологічного процесу, доцільним є двозмінний режим роботи. При необхідності технічне обслуговування або ремонт обладнання може проводитися в третю зміну.

1.2.Плавильне відділення

1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється

Згідно з завданням на випускну кваліфікаційну роботу для виготовлення виливків використовуються сплави АК5М2Ц4 – для лиття в кокіль та АК12М2 – для лиття під високим тиском. Хімічний склад та механічні властивості сплавів наведені у таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву

Сплав	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	Zn	Fe	Al
АК5М2Ц4	4,0–6,0	0,2–0,8	1,5–3,5	0,2–0,8	0,05–0,2	3,5–8,0	< 1,3	Основа
АК12М2	11,0–13,0	до 0,2	1,8–2,5	до 0,5	до 0,2	до 0,8	0,6–1,0	Основа

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву

Сплав	Вид ТО	Границя міцності при розтягу, кгс/мм ² (Па)	Відносне видовження, %	Твердість, НВ	Лінійна усадка, %	Рідинотекучість (мм) по спіральній пробі
АК5М2Ц4	Т1	22 (216)	1,3	95–125	1,25	410
АК12М2	Без ТО	19 (186)	1,0	75–110	1,0	750

В результаті плавки частина металу втрачається в результаті утворення шлаку, оксидних плівок та угару. Втрати при плавці алюмінієвого сплаву приведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Втрати при плавці алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Види втрат, %			
	Шлак	Оксидні плівки	Угар	Загальні втрати
AK5M2Ц4	4,500		1,610	6,110
AK12M2	2,470	4,100	1,130	7,700

Алюмінієві сплави - це різновид кольорових сплавів, що мають алюмінієву основу та додатково містять один або декілька легуючих елементів. Ці елементи покращують як механічні характеристики (твердість, міцність, пластичність), так і технологічні властивості (оброблюваність різанням, рідинотекучість, зварюваність).

Залежно від типу легуючих елементів, алюмінієві сплави поділяються на: алюмінієво-мідні, алюмінієво-кремнієві, алюмінієво-магнієві, алюмінієво-марганцеві

Додатково до основних легуючих елементів, до складу алюмінієвих сплавів можуть входити титан, олово, цинк та інші.

Наприклад, сплав AK5M2Ц4 містить 5% кремнію, 2% міді, 0,5% марганцю та до 8% цинку. Також він містить невелику кількість титану (до 0,2%). Залізо, навпаки, є шкідливою домішкою, що призводить до підвищеної крихкості сплаву.

Алюміній, як основа цих сплавів, має ряд переваг, що роблять його цінним матеріалом: доступність (алюміній широко поширений у земній корі), мала густина (алюміній легший за чорні метали, що робить його ідеальним для виробництва легких конструкцій), висока міцність (незважаючи на легкість, алюміній має достатньо високу міцність), багаторазове використання (алюміній піддається повторній переробці, що робить його екологічно чистим матеріалом), корозійна стійкість (алюміній стійкий до корозії, що робить його придатним для використання в різних агресивних умовах), оброблюваність різанням (алюміній легко обробляти різними інструментами), високі ливарні властивості (алюміній

має добру рідинотекучість, порівняно невелику усадку та його легко лити в різні ливарні форми), зварювальна здатність (алюміній легко зварювати), та багато інших.

Завдяки своїм перевагам, алюмінієві сплави широко використовуються в різних галузях промисловості, як в Україні, так і у всьому світі. Їх застосовують у: автомобільній промисловості, хімічній промисловості, авіаційній промисловості, машинобудуванні, приладобудуванні, та інших галузях.

1.2.2. Вибір плавильного агрегату

Для плавлення алюмінієвих сплавів обираємо індукційну тигельну піч ІАТ-2,5/1,15. Індукційні тигельні печі, завдяки своїм численним перевагам, широко використовуються для плавлення алюмінієвих сплавів у ливарних цехах. Втрати металу на угар, зливи та сплески є незначними, а продуктивність і коефіцієнт корисної дії — високими. Також забезпечуються добрі санітарно-гігієнічні умови праці. Постійне перемішування металу, яке відбувається завдяки дії індукційних струмів, дозволяє отримати сплав, однорідний за температурою та хімічним складом. Це також сприяє швидшому засвоєнню легуючих елементів під час введення лігатур у розплав.

Індукційні печі зарекомендували себе як надійні та практичні установки для плавлення в ливарній індустрії. При використанні промислової частоти вони особливо ефективні для плавлення малорозмірних матеріалів, таких як стружка. Відмінна рівномірність температури розплаву та його гомогенність є додатковими перевагами. Ці печі виготовляються з урахуванням конкретних потреб виробників високоякісних литих виробів з легких металів та напівфабрикатів, забезпечуючи покращену гнучкість у роботі, високу продуктивність і широкі можливості регулювання процесу плавлення.

Сьогодні провідні ливарні підприємства вже кілька років успішно використовують індукційні тигельні печі фірми OTTO JUNKER для плавлення та обробки широкого спектра сплавів. Безканальна тигельна індукційна піч має

замінний керамічний тигель для розплавлення та перегріву металу за допомогою зовнішнього спірального водоохолоджувального індуктора.

Зазвичай піч обладнана магнітопровідними екранами, системою гідравлічного нахилу, замкненою системою водяного охолодження індуктора та силових кабелів, системою безперервного зважування, що дозволяє автоматизувати завантаження печі шихтовими матеріалами, а також системою контролю параметрів процесу, термopарами для контролю температури розплаву та системами автоматизованого керування процесом плавлення.

Завдяки багаторічному досвіду виробництва, тигельні індукційні печі фірми OTTO JUNKER зарекомендували себе як високонадійне, легко встановлюване та добре експлуатоване обладнання. Електропіч індукційна тигельна ІАТ–2,5/1,15 призначена для розплавлення та перегріву сталі, чавуну та кольорових сплавів. Плавлення кольорових сплавів виконується в графітових тиглях, тоді як плавлення чорних металів — в набивних тиглях. Технічні характеристики печі наведені в таблиці 1.4, а її зображення представлено на рисунку 1.1.



Рис. 1.1. Індукційна тигельна піч 2,5/1,15

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика індукційної печі
IAT–2,5/1,15 OTTO JUNKER

Технічний параметр	Показник	
	Плавка в гарячому тиглі	Плавка в холодному тиглі
Ємність печі, т:		
по сталі	2,5	2,5
по міді	2,8	2,8
по алюмінію	0,85	0,85
Потужність, кВт :		
живлючого перетворювача	320	320
споживаєма	250	250
Температура перегріву, °С :		
сталі	1600	1600
міді	1200	1200
алюмінію	760	760
Питома втрата електроенергії на розплавлення та перегрів, кВт·год/т :		
сталі	665	750
міді	480	700
алюмінію	380	600
Максимальна швидкість плавки, т/год :		
сталі	1,5	1,0
міді	2,25	1,6
алюмінію	1,15	0,85
Час розплавлення та перегріву, год		
сталі	1,3	2,0–2,2
міді	1,0	1,4–1,8
алюмінію	0,6	0,8–1,0

1.2.3. Розрахунок балансу металу

Баланс металу розраховуємо на 1 т придатних виливків.

Загальна маса металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків розраховується за формулою, т:

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

де Π – маса придатного литва,

$\mathcal{L}$ – маса ливників,

$\mathcal{B}$ – маса браку,

$у$ – відсоток угару при плавці, в зв'язку з тим що цей сплав дуже активний до окислення,

$з$ – відсоток зливів, метал що залишається в ковші та іде на переплав.

Для сплаву АК5М2Ц4:

$$M = \frac{100 \cdot (1,000 + 0,354 + 0,058)}{100 - 1,61 - 4,5} = 1,504 \text{ т}$$

Тобто, для отримання 1т придатних виливків із сплаву АК5М2Ц4 необхідно розплавити 1,504 т металу.

Для сплаву АК12М2:

$$M = \frac{100 \cdot (1,000 + 0,436 + 0,037)}{100 - 1,13 - 6,57} = 1,596 \text{ т}$$

Тобто, для отримання 1т придатних виливків із сплаву АК12М2 необхідно розплавити 1,504 т металу.

Визначаємо відносний вміст складових балансу:- придатного литва,
ливників та браку:

$$\pi = \frac{\Pi}{M} \cdot 100\%; \quad \mathcal{L} = \frac{\mathcal{L}}{M} \cdot 100\%; \quad \mathcal{B} = \frac{\mathcal{B}}{M} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Для сплаву АК5М2Ц4:

$$\pi = \frac{1,000}{1,504} \cdot 100\% = 66,48\%,$$

$$\text{л} = \frac{0,354}{1,504} \cdot 100\% = 23,54\%,$$

$$\text{б} = \frac{0,058}{1,504} \cdot 100\% = 3,86\%$$

Для сплаву АК12М2:

$$\text{п} = \frac{1,000}{1,596} \cdot 100\% = 62,64\%,$$

$$\text{л} = \frac{0,436}{1,596} \cdot 100\% = 27,34\%,$$

$$\text{б} = \frac{0,037}{1,504} \cdot 100\% = 2,34\%$$

Визначаємо масу угару та зливів, т

Для сплаву АК5М2Ц4:

$$\text{у} = \frac{1,61}{100\%} \cdot 1,504 = 0,024 \text{ т}$$

$$\text{з} = \frac{4,5}{100\%} \cdot 1,504 = 0,068 \text{ т}$$

Для сплаву АК12М2:

$$\text{у} = \frac{1,13}{100\%} \cdot 1,596 = 0,018 \text{ т}$$

$$\text{з} = \frac{6,57}{100\%} \cdot 1,596 = 0,105 \text{ т}$$

Таблиця 1.5

Відомість балансу металу сплаву АК5М2Ц4

Складові балансу	т	%
Придатне литво	1,000	66,48
Ливники	0,354	23,54
Брак	0,058	3,86
Угар	0,024	1,61
Зливи	0,068	4,52
Всього	1,504	100,00

Відомість балансу металу сплаву АК12М2

Складові балансу	т	%
Придатне литво	1,000	62,64
Ливники	0,436	27,34
Брак	0,037	2,34
Угар	0,018	1,13
Зливи	0,105	6,57
Всього	1,596	100,00

Перед тим, як розпочати плавку алюмінієвого сплаву, шихтові матеріали проходять ретельну підготовку. Їх подрібнюють, очищають від бруду, мастила та сторонніх включень, а також сушать та підігрівають (особливо лігатури).

Важливо зберігати шихтові матеріали в сухому та чистому місці, захищеному від атмосферних опадів. Навіть невелика кількість вологи може призвести до насичення розплаву воднем і зіпсувати весь метал.

Шихтові матеріали повинні відповідати сертифікату якості. Склад зберігання шихти зазвичай розташовують в окремому приміщенні, яке безпосередньо з'єднане з плавильним відділенням.

Складання шихти:

Свіжі метали: сплав алюмінію відповідного хімічного складу в чушках.

Відходи та брухт: включаючи ливники, зливи та стружку.

Лігатури: для коригування хімічного складу сплаву.

Розрахунки шихти:

Хімічний склад сплаву: визначається ГОСТом або ТУ.

Хімічний склад шихтових матеріалів: потрібно враховувати можливі зміни складу відходів.

Угар та пригар: втрати металу в процесі плавки.

Наприклад, для приготування сплаву АК5М2Ц4 використовують 65% свіжого чушкового алюмінію та 35% відходів власного виробництва. Важливо стежити за хімічним складом відходів, оскільки при багаторазовому використанні деякі елементи можуть вигорати (наприклад, цинк).

Важливо:

Регулярно перемішувати метал: щоб уникнути нерівномірного розподілу елементів у розплаві.

Не допускати тривалого відстоювання: щоб уникнути насичення розплаву залізом з тигля.

Дотримання цих рекомендацій дозволить отримати якісний сплав з потрібним хімічним складом.

Для рафінування металу перед заливкою та розливкою у кокілі важливо забезпечити належну підготовку. Ось основні моменти, які варто врахувати:

Необхідно передбачити дві роздаточні печі на одне робоче місце дільниці лиття в кокіль. Перша піч використовується для заливки форм, друга піч – для переливання розплаву з плавильного відділення за допомогою барабанного ковша, рафінування розплаву, витримки розплаву, зняття шлаку.

В якості роздаточної печі обрано електричні печі опору НО-136, технічна характеристика яких показана у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика печі НО–136

Технічний параметр	Показник
Загальна маса печі без фундаменту і тигля	1365 кг
Продуктивність печі (у режимі плавки)	70 кг/год
Напруга жиличої мережі	380 В
Число фаз	3
Частота струму	50 Гц
Максимальна робоча температура	850° С
Число теплових зон	1
Час розігріву печі до робочої температури при потужності:	
40 кВт	3,5–4 год
48 кВт	2,5–3 год
55 кВт	1,5–2 год
Маса одноразового завантаження (по алюмінію)	200–220 кг
Розміри робочого простору :	
діаметр	500 мм
глибина	604 мм
Габаритні розміри печі :	
діаметр	1700 мм
довжина	2300 мм
висота	1770 мм

Плавлення алюмінієвого сплаву в індукційній печі - це відносно простий процес, який включає кілька етапів:

1. Підготовка:

Пуск печі: Перед запуском нової печі важливо її добре просушити та поступово нагріти до 900°С. Це допоможе уникнути тріщин у футеровці та забезпечить довговічність печі.

Підготовка шихти: Підготуйте шихтові матеріали (чушкові метали, відходи, лігатури) та завантажте їх в піч.

2. Плавлення:

Завантаження шихти: Завантажте шихту обережно, щоб не пошкодити тигель.

Плавлення: Розплавте шихту, отримавши необхідний об'єм, хімічний склад та температуру сплаву.

Довантаження: Додайте присадки легкоплавких металів до розплавленого сплаву.

3. Рафінування:

Очищення: Щоб уникнути газових раковин та інших дефектів, проведіть рафінування сплаву за допомогою пробат флюса АЛ224.

Процес рафінування:

Відберіть флюс спеціальною міркою.

Загорніть навіску флюса в папір у вигляді конверта (товщина не більше 10 мм).

Підготуйте плавильний інструмент: дзвоник, зчищалка та виливниця.

Занурте конверт з флюсом у розплавлений метал на глибину 50-100 мм (температура металу 720-730°C).

Рухайте дзвоник по спіралі протягом 5-8 хвилин.

Після завершення рафінування витягніть дзвоник і очистіть його.

Витримайте розплав 10-15 хвилин для спливання шлаку та виходу газів.

Очистіть поверхню сплаву від шлаку зчищалкою.

4. Розливка:

Розливка: Розлийте очищений сплав у форми.

Важливо пам'ятати: Оксидна плівка Al_2O_3 , що утворюється на поверхні розплаву, захищає його від насичення киснем і воднем з атмосфери печі. Однак, її захисні властивості можуть змінюватися під дією різних металів.

1.3. Відділення лиття в кокіль

Лиття в металеві форми - це прогресивний метод, який дозволяє отримувати високоякісні виливки з високою точністю.

До основних переваг лиття в кокіль слід віднести:

Висока стійкість: металеві форми можуть витримувати багаторазове використання, що значно зменшує витрати на виробництво.

Точність: можливість отримати виливки 5-го класу точності, завдяки стабільним розмірам робочої порожнини.

Швидкість охолодження: металеві форми ефективно відводять тепло, що дозволяє отримати виливки з дрібною структурою та високими механічними властивостями.

Для захисту металевих формують поверхонь від роз'їдаючої дії розплавленого алюмінію та високих температур необхідно використовувати вогнетривкі покриття на основі окису цинку, графіту, вогнетривкої кераміки, тощо.

Оксид цинку – забезпечує захист від корозії та високих температур.

Графіт – підвищує зносостійкість та теплопровідність покриття.

Кераміка – додає міцності та стійкості до температурних перепадів.

Важливо пам'ятати, що склад вогнетривкого покриття залежить від типу металу, який заливається.

Товщина покриття впливає на швидкість охолодження виливка.

Вогнетривке покриття запобігає термічному угару поверхні форми, що покращує якість виливка.

Застосовуються покриття наступного складу (табл. 1.7):

Таблиця 1.7 – Склад вогнетривких покриттів для кокілів та плавильного інструмента

Складова покриття	Номер покриття			
	П1	П2	П3	П4
Оксид цинку	50 г	250 г	450 г	—
Вода технічна	1 л	1 л	1 л	1 л
Рідке скло	—	100 г	—	—
Gillolin A1223	—	—	—	250 г

Приготування покриттів:

Покриття на основі окису цинку (П1, П2, П3):

- Нагріти воду до 60-80°C.
- Просіяти окис цинку через сито з діаметром 0,5 мм.
- Додати окис цинку до води, ретельно перемішуючи.
- Для покриття П2 додати рідке скло, знову ретельно перемішуючи.

Покриття на основі препарату Gillolin A1223 (П4):

- Змішати одну частину препарату Gillolin A1223 з 3-5 частинами води кімнатної температури (20°C).
- Ретельно перемішати до однорідної консистенції.

Нанесення покриття:

На плавильний інструмент:

- Очистити інструмент від старого покриття, настилів, шлаку, окислів та інших забруднень.
- Нанести тонкий рівномірний шар покриття пульверизатором, пензлем або зануренням.
- Нагріти інструмент до 150-200°C.
- Відновлювати покриття по мірі його руйнування.

На кокіль:

- Очистити формоутворюючу порожнину кокіля від забруднень.
- Продути половини кокіля стиснутим повітрям.
- Утеплити підживлюючу частину кокіля азбестовим листом (5 мм).
- Встановити інжекційну горілку всередину кокіля.
- Нагріти кокіль до 150-200°C (можливо нагрівати рідким металом).
- Провести 6-7 промивочних заливок металом.
- Нанести вогнетривке покриття.
- Встановити інжекційний пальник всередину кокіля.
- Просушити кокіль протягом 5-7 хвилин.
- Фарбувати кокіль по мірі руйнування покриття.

Всі етапи приготування та нанесення покриття слід виконувати ретельно, дотримуючись вказаних пропорцій та температурних режимів. Регулярне відновлення покриття забезпечує його ефективність та довговічність.

Після нанесення вогнетривкого покриття, форма підлягає підігріву до температури не більше 200° С. Коли виливок досягає температури 400° С, форму розкривають і видаляють виливок.

Важливі аспекти процесу:

Температура заливки – залежить від хімічного складу сплаву, конфігурації та товщини стінок виливка.

Тривалість витримки виливка визначається з урахуванням розмірів і маси виливка. Передчасне розкриття може призвести до руйнування виливка через його малу міцність. Занадто велика витримка може викликати тріщини усадочного характеру через непіддатливість форми.

Тривалість витримки визначається розрахунком і коригується експериментально.

Для лиття дрібних та середніх виливків масою до 7 кг використовуються кокільні машини моделі 59K613.

Характеристики машин 59K613:

- Шестипозиційні карусельні.
- Призначені для масового виробництва виливків з чорних і кольорових сплавів.
- Кокілі мають вертикальний роз'єм.
- Кожна позиція обладнана рухомою і нерухомою плитами для кріплення частин кокілю.
- Привід машин – гідравлічний.
- Цикл роботи – напівавтоматичний.

Технологічні операції в одному циклі:

- Заливка розплаву в кокіль.
- Охолодження виливка в кокілі.
- Виштовхування виливка з кокілю.

- Очищення та нанесення вогнетривкого покриття на робочу поверхню кокілю.

Всі ці операції виконуються за заданою програмою на певних позиціях і регулюються за часом.

Технічна характеристика шестипозиційних кокільних машин призначених для виробництва фасонних виливків приведена в таблиці 1.8:

Таблиця 1.8

Технічна характеристика шестипозиційних кокільних машин

Параметри	59K613
Кількість позицій	6
Розмір робочого місця для кріплення частини кокілю (ширина x висота), мм	500x400
Найменша відстань між плитами, мм	500
Хід плити, мм	400
Зусилля розмикання кокілю, кгс	4000
Час повороту каруселі на 1 позицію, с	6
Діаметр каруселі, мм	4600
Продуктивність, заливок/год	до 180
Максимальна металоємність кокілю, кг:	
• для чорних сплавів	40
• для кольорових	10
Висота машини над рівнем підлоги, мм	2350
Спільна висота, мм	2900
Маса машини, кг	25000

На рис. 1.3 представлена **шестипозиційна кокільна машина моделі 59K613**, призначена для виробництва фасонних виливків з алюмінієвих сплавів широкої номенклатури.

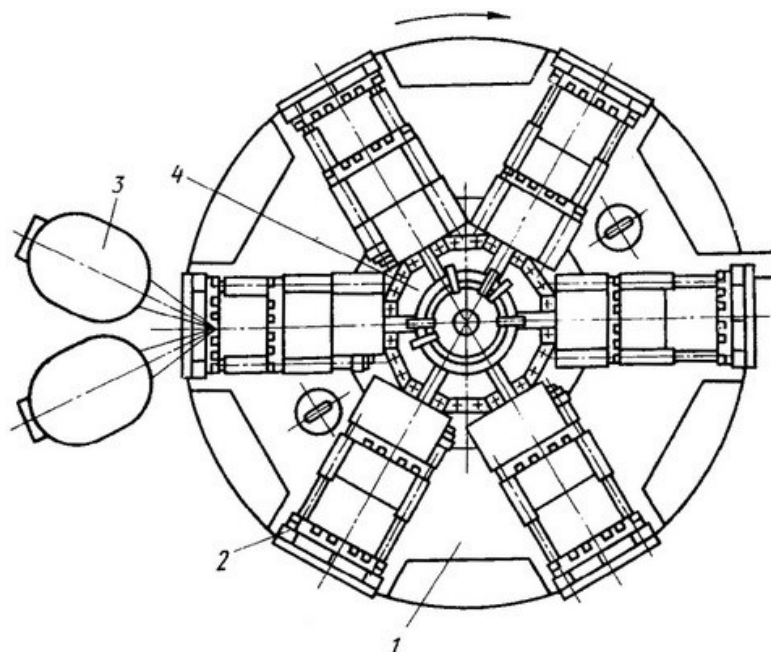


Рис. 1.3 – Карусельна кокільна машина моделі 59K613:
1 – платформа, 2 – кокільна секція, 3 – дозатор розплаву, 4 – гідравлічна розподільна колонка управління

Основа 1 кокільної машини 59K613 (рис. 1.3) монтується на колоні. Вага основи приходить на центральний підшипник. Періодичне обертання основи між позиціями реалізовано за допомогою гідромеханічного пристрою, що дозволяє точно повертати її на необхідний кут і позиціонувати на окремих позиціях. Кокільні позиції в машині для забезпечення встановлення стержнів виконуються похилими і працюють по копіру.

Заливка розплаву на машині виконується за допомогою двохпозиційного заливочного пристрою, який дистанційно контролюється з єдиного пульта управління. Для виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів можуть використовуватися стандартні дозатори.

Основні типи машин для лиття:

Карусельні кокільні машини:

- Існує понад 30 моделей з різними рівнями автоматизації та продуктивності.
- Деякі з них активно експлуатуються в вітчизняній промисловості.
- Оснащені пневматичними та гідравлічними приводами.

- Можуть мати вертикальний, рідше горизонтальний або похилий роз'єм матриці кокілю.
- Деякі моделі мають електричний привід для повороту каруселі.

Карусельні кокільні машини з програмним управлінням:

- Дозволяють змінювати параметри технологічного процесу в широкому діапазоні.
- Можна отримувати виливки різної складності з чорних і кольорових сплавів.

Однопозиційні універсальні кокільні машини моделі 82А403:

- Призначені для лиття крупних виливків масою понад 7 кг.
- Оснащені гідравлічним приводом.

Ці технології забезпечують високу продуктивність та якість виливків, що робить їх важливими для сучасного виробництва. Технічна характеристика машини моделі 82А403 представлена в табл. 1.9:

Таблиця 1.9 – Технічна характеристика однопозиційної кокільної машини мод. 82А403

Параметр, од. вим.	Значення
Продуктивність, відл./год	25
Зусилля запирання форми, т	25
Розміри підкокільних плит, мм	200x800
Хід піддона, мм	530
Розміри кокіля, мм	200x1000x800
Габаритні розміри машини, мм:	
довжина	2860
ширина	1650
висота	1550
Маса машини, т	5

На рис. 1.4 представлена однопозиційна універсальна кокільна машина моделі 82А403 з гідравлічним приводом. Машина має дві рухомі підкокільні

плити, рухомий піддон, плити для кріплення нижнього, бокових і верхнього стержнів, а також з'ємник виливків з форми. Дана машина призначена для виробництва виливків складної конфігурації з алюмінієвих сплавів широкої номенклатури.

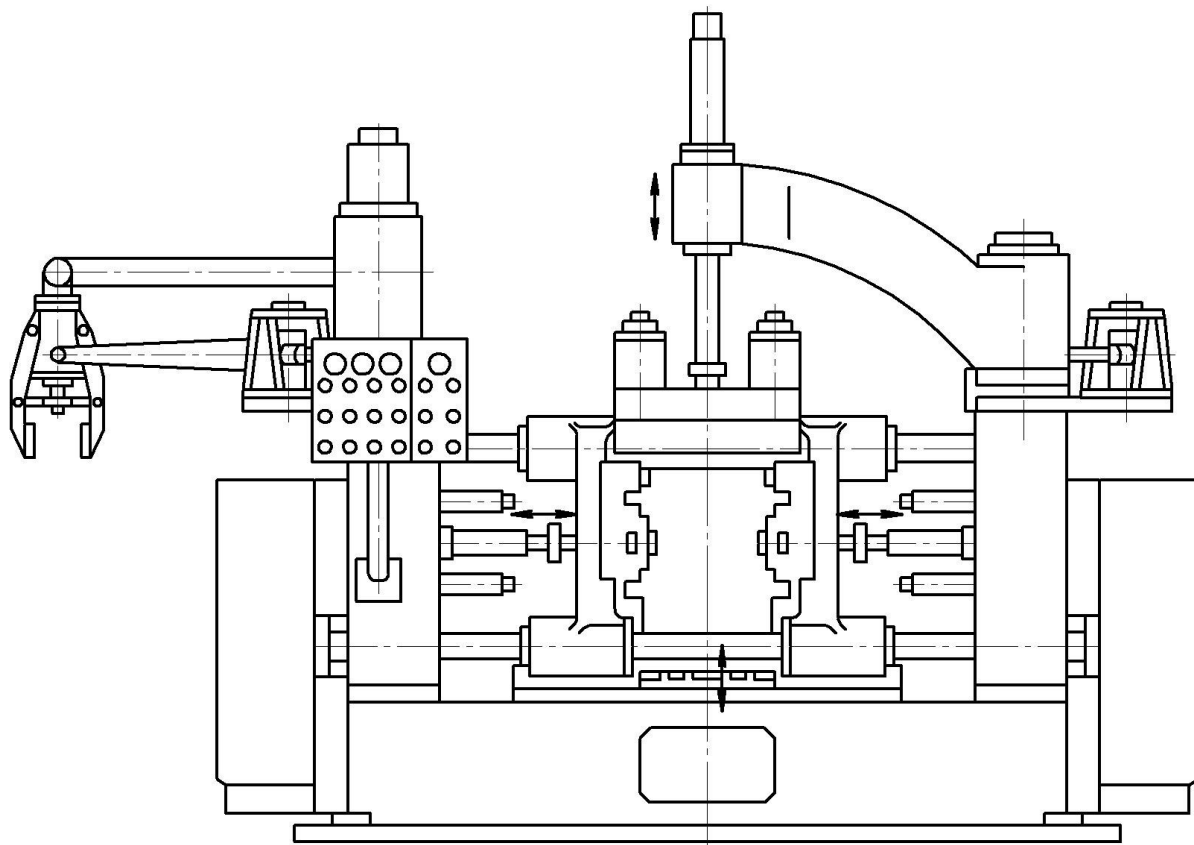


Рисунок 1.4 – Загальний вид однопозиційної універсальної кокільної машини мод. 82А403

1.4. Відділення лиття під високим тиском

Лиття під тиском є одним з найефективніших методів виготовлення відливків, що забезпечує високу точність і чистоту поверхні. Цей процес дозволяє повністю автоматизувати технологічний процес, що значно покращує санітарно-гігієнічні умови праці.

Основні етапи процесу лиття під тиском:

1) Заливка розплавленого металу:

- Розплавлений метал вводиться в камеру спеціальної машини.

- Під дією тиску поршня, що рухається в цій камері, метал заповнює порожнину прес-форми через ливникову систему.

2) Затвердження під тиском:

- Затвердження відливка відбувається під надлишковим тиском, що сприяє отриманню відливоків високої якості.

3) Витягування відливка:

- Після завершення процесу затвердження, прес-форма відкривається, і відливок витягується.

Переваги лиття під тиском:

- Висока точність: Відливки можуть досягати 5-го класу точності, а іноді навіть 3-го класу.
- Чистота поверхні: Шорсткість поверхні відповідає 5-7 класам точності.
- Мінімальні припуски: У деяких випадках відливки можуть бути виготовлені без механічної обробки.

Лиття під тиском є важливим процесом у сучасному виробництві, що дозволяє отримувати деталі з високими експлуатаційними характеристиками.

Перед заливкою розплаву в прес-стакан важливо дотримуватись кількох ключових етапів, щоб забезпечити якість відливоків.

Перед заливкою розплаву, продувають прес-стакан та поверхні прес-форми стиснутим повітрям. Це допомагає видалити пил і забруднення, що можуть вплинути на якість відливоків. Пресовий поршень змащують мастилом або тваринним жиром. Це зменшує тертя і полегшує процес виштовхування відливка.

Кількість рідкого розплаву дозується мірним ковшем, що забезпечує точність у заповненні форми.

Після розкриття прес-форми, відливок видаляється за допомогою робота-виймача. Це автоматизує процес і зменшує ризик пошкодження відливка.

Пресовий залишок обрубують на пресі, що дозволяє отримати чисті та готові до використання деталі.

Для лиття виливків із сплаву АК12М2 вибираємо машину лиття під високим тиском з холодною горизонтальною камерою пресування моделі ITALPRESSE IP 550 SC, технічна характеристика представлена в табл. 1.10.

Таблиця 1.10

Технічна характеристика машин лиття під тиском

Габарити машини, м	7,65x2,51x2,95
Вага машини, кг	24100
Максимальне зусилля пресування, т (кН)	550 (5395)
Максимальне зусилля відкриття форми, кН	1800
Максимальна вага відливків з алюмінієвих сплавів, кг	15
Номінальна площа проекції відливка, см ²	1,375
Продуктивність, запресовок/год	30

Типова машина з горизонтальною камерою пресування (рис.1.5) складається з двох блоків. Лівий горизонтальний блок представляє собою механізм запирання форми. Після розкриття форми відливки з рухомої половини форми виштовхується.

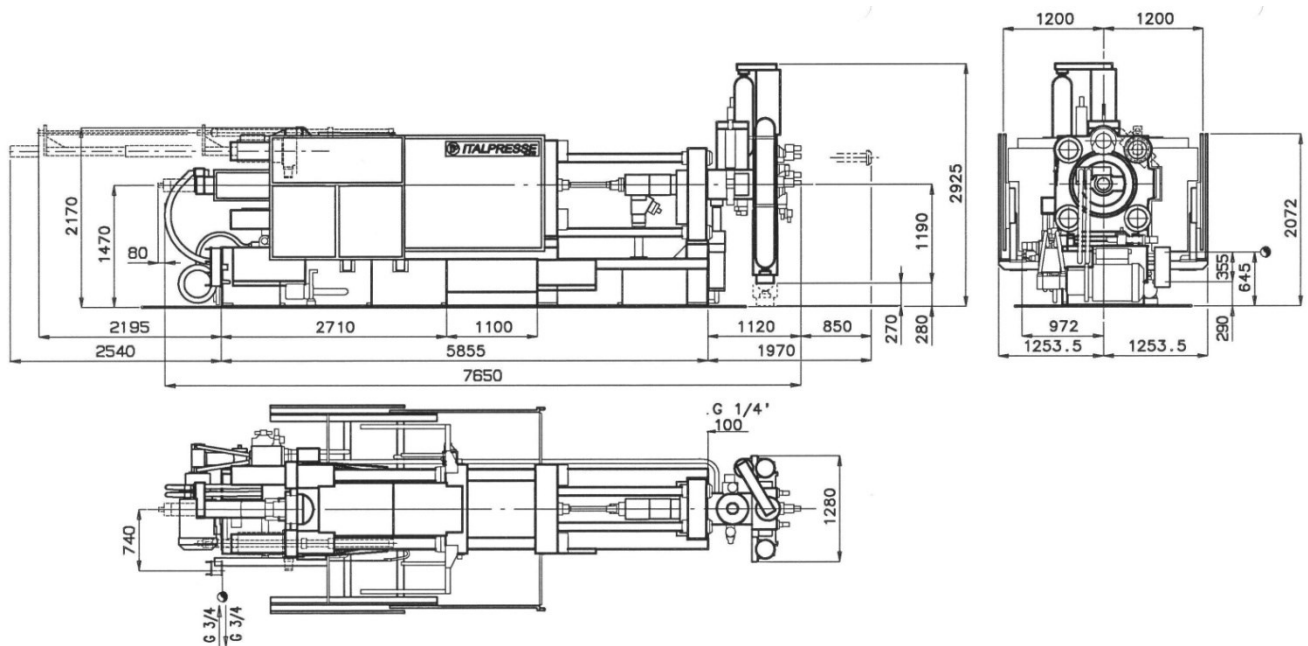


Рис. 1.5. Машина з холодною горизонтальною камерою пресування

Права частина машина складається з нерухомої плити та механізму пресування.

Також машина оснащена роботами: заливщиком, виймачем, змащувачем форми.

Автоматизований комплекс для лиття під тиском об'єднує в собі різні механізми, які працюють синхронно, забезпечуючи безперебійний цикл від розплаву металу до готового виробу.

Основою комплексу є машина з холодною камерою пресування, що оснащена швидкодіючим механізмом пресування та системами контролю та налагодження, які гарантують точність і надійність процесу. Робоча поверхня прес-форми змащується автоматично, що запобігає прилипанню металу та покращує якість поверхні відливків. Розплав подається з роздаточної печі за допомогою заливочно-дозуючого пристрою, який забезпечує точне заповнення форми. Після затвердіння та охолодження відливка відбувається розкриття прес-форми, виштовхування відливка та його знімання маніпулятором. Далі відливок транспортується конвеєром до прийомного столу, де оператор його оглядає та переносить у штамп обрубного преса для видалення ливників та облоя. Готовий відливок потрапляє в тару.

Вся система керується централізованою системою управління, яка забезпечує синхронність роботи всіх механізмів. Для підтримки необхідних температурних режимів машина оснащена системою охолодження прес-форми та системою регулювання температури розплаву в роздаточній печі.

Комплекс обслуговується двома операторами: один контролює роботу машини, заливочно-дозуючого пристрою, маніпулятора, розкриття прес-форми тощо, а другий стежить за роботою охолоджувального конвеєра, транспортуванням відливків до обрубного преса та обробкою їх на пресі.

1.5. Відділення відрізки та обрубки ливників

Для комплексів лиття під високим тиском приймаємо обрубний гідравлічних преси РА35N, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Технічна характеристика гідравлічного пресу РА35N

Основні данні	Величина
Величина ходу рухомої траверси, м	1
Зусилля пресу, т	100
Габаритні розміри, м	1,9х1,2х2,5
Продуктивність, шт/год	50
Закрита висота, мм	750

Для відрізання ливників системи та підживлювачів використовуємо стрічковий верстат моделі JET HVBS-812 R, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 1.5, а технічна характеристика вказана у табл. 1.12.



Рис. 1.5. Стрічковий верстат JET HVBS-812 R

Таблиця 1.10 – Технічна характеристика
стрічкопильного верстата JET HVBS-812 R

Зона обробки при 90°	Діаметр 200 мм
	180x305 мм
Зона обробки при 45°	Діаметр 127 мм
	120x125 мм
Розміри полотна пили	19x0,9x2362 мм
Регулювання лещат	0 - 45°
Діаметр шківів пили	290 мм
Швидкості пластин	25, 40, 60, 80 мм/хв
Потужність мотору	600 Вт/с
Ємність для охолоджувальної рідини	8 літрів
Продуктивність	0,2 т/год
Габаритні розміри верстата	1780x790x1120 мм
Маса	120 кг

Стрічкопильний верстат по металу JET HVBS-812RKT є універсальним інструментом, призначеним для розрізання різноманітних матеріалів, які використовуються в машинобудуванні, включаючи алюміній, кольорові метали та сплави чорних металів. Цей верстат відзначається високою надійністю, жорсткістю конструкції та високою продуктивністю, що робить його ідеальним вибором для промислового використання, незважаючи на його компактні розміри та зручність монтажу.

Основні конструктивні особливості JET HVBS-812RKT включають:

- Великі шківів зі зменшеною масою та механізованим упором для легкого натягування полотна пили.
- Подвійні регульовані роликові підшипники, які забезпечують точне направлення полотна стрічкової пили.
- Гідравлічна система регулювання подачі різання матеріалу з кінцевим вимикачем для безпеки.

- Зручні лещата з можливістю регулювання губок, швидкості затискання та кута повороту до 45° .
- Широкий діапазон регулювання швидкості різання і подачі, що дозволяє адаптувати процес під різні матеріали.
- Автоматичне вимикання різання при досягненні наскрізного пропилю заготовки, що підвищує безпеку.
- Система охолодження, яка запобігає перегріву полотна пилки і заготовки, особливо при роботі з великими розмірами.

Цей верстат є відмінним вибором для тих, хто шукає надійний та ефективний інструмент для різання металу в промислових умовах.

1.6. Відділення фінішної очистки виливків

Для фінішної очистки виливків від залишків ливникової системи, заусенців і облою використовуємо обдирно-шліфувальні верстати (рис. 1.6, табл. 1.12).

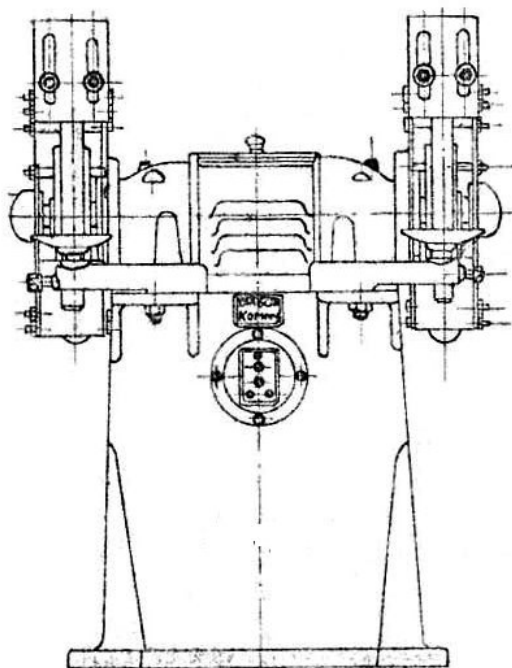


Рис. 1.6. Обдирно-шліфувальний верстат 3М634

Обдирно-шліфувальний верстат 3М634 є важливим інструментом у виробничих цехах, призначеним для виконання різноманітних завдань. Основні функції цього верстата включають:

- Зачищення та обдирка виливків від облоя та залишків ливниково-живильної системи.
- Видалення заусенців та інших виступів, що можуть заважати подальшій обробці.
- Виконання слюсарних робіт, таких як: зняття задирок, обробка фасок, обдирка литників, заточування металорізального та деревообробного інструменту, точіння та профілювання металевих матеріалів.

Цей верстат забезпечує високу продуктивність і точність, що робить його незамінним у процесах обробки металу.

Таблиця 1.12 – Технічна характеристика обдирно-шліфувального верстату

Характеристика	Величина	Одиниці
Кількість шліфувальних кругів	2	шт
Діаметр круга	400	мм
Максимальна ширина круга	40	мм
Посадковий діаметр круга	203	мм
Висота центру круга від підлоги	850	мм
Відстань між кругами	700	мм
Частота обертання шпинделя	1398	об/хв
Маса виливків	20	кг
Живлячий струм	380	В
Потужність двигуна	2,8	кВт
Годинна продуктивність	0,3...0,5	т/год
Габарити верстата	900x600x1200	мм
Маса	450	кг

1.7. Допоміжні відділення

1.7.1. Дільниця ремонту і футеровки ковшів

Дільниця ремонту і футеровки ковшів є важливою частиною ливарного цеху, розташованою безпосередньо біля плавильного відділення. Основні аспекти роботи цієї дільниці включають:

Футерувальні матеріали: Тут зберігаються різноманітні матеріали для ремонту і футеровки роздавальних барабанних ковшів, такі як: шамотна цегла (прямокутна і фасонна), шамот мелений, пісок, зв'язуючі матеріали, вогнетривкі обмазки і покриття.

Обладнання: Дільниця оснащена газовим пальником, який використовується для сушки і прокалки ковшів після їх футеровки та ремонту.

Ковші після футеровки і ремонту спочатку висушують на атмосферному повітрі цеху протягом 24 годин.

Потім ковші поступово прогрівають газовим пальником протягом 4-6 годин для повного видалення вологи.

Завершальний етап – прокалка ковшів до температури 800 °С протягом 1-2 годин.

Цей процес є критично важливим для забезпечення довговічності і надійності ковшів, що використовуються в ливарному виробництві.

1.7.2 Склад модельного оснащення

Склад модельного оснащення є важливою частиною процесу лиття в кокіль. Він розташовується безпосередньо біля відділення лиття, що забезпечує зручний доступ до кокілів.

Кокілі зберігаються на стелажах у зібраному вигляді, що дозволяє легко їх ідентифікувати та використовувати. Кожен кокіль розміщується навпроти робочого місця, де він буде встановлюватись, що оптимізує робочий процес.

Безпосередньо біля складу модельного оснащення розташована модельно-ремонтна майстерня. У цій майстерні проводяться ремонти кокілів, що є критично важливим для підтримки їхньої ефективності та довговічності.

У майстерні зазвичай використовуються різноманітні металообробні верстати, такі як: Шліфувальний верстат, Токарний верстат, Фрезерний верстат, Свердлильний верстат, Ручний металообробний інструмент, Слюсарний інструмент.

Ці інструменти дозволяють виконувати широкий спектр робіт, включаючи обробку, ремонт та налаштування кокілів, що забезпечує їхню високу якість та надійність у процесі лиття.

1.7.3. Лабораторії, службові та побутові приміщення

Лабораторія спектрального аналізу та відділ технічного контролю є важливими складовими частинами ливарного цеху.

Лабораторія спектрального аналізу розташована біля плавильного відділення і використовується для проведення аналізу матеріалів, що підлягають плавленню, що дозволяє контролювати якість сплаву.

Відділ технічного контролю знаходиться біля складу готової продукції і оснащений обладнанням для дослідження механічних властивостей матеріалів, вимірювальним інструментом, засобами контролю параметрів технологічних процесів, такими як: Термопари, Секундоміри, Аналітичні ваги. Цей відділ забезпечує контроль якості готової продукції та технологічних процесів.

Адміністративні приміщення розташовані в одній будівлі з ливарним цехом і включають приміщення: Начальника цеху, Головного металурга, Технолога, Енергетика, Кімната майстрів, Технологічне бюро

Побутові приміщення рівномірно розподілені по периметру цеху, що забезпечує комфорт для працівників.

Ця організація допомагає забезпечити ефективність роботи ливарного цеху, контроль якості продукції та комфорт працівників.

1.8. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
2. Описано роботу плавильного відділення, відділення лиття в кокіль, відділення лиття під тиском, відділення відрізки та обрубки ливників, відділення фінішних операцій, допоміжні відділення – дільниця ремонту і футеровки ковшів, склад модельного оснащення, відділу технічного контролю та лабораторії, адміністративних та побутових приміщень.
3. Для плавки металу було обрано індукційні тигельні печі ІАТ-2,5/1,15 ємністю 850 кг. Описано будову печі, наведено її технічні характеристики. Для розливання сплаву у форми вибрано роздавальні печі НО-136 ємністю 220 кг. Описано процес рафінування алюмінієвих сплавів.
4. Для виготовлення вибрано два типи кокільних вертатів. Для дрібних і середніх виливків масою до 7 кг обрано шестипозиційну кокільну машину моделі 59К613. Для крупних виливків масою понад 7 кг обрано однопозиційну універсальну кокільну машину моделі 82А403. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики кокільних машин. Описано процес підготовки кокілів до роботи та технологічний процес лиття.
5. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат JET HVBS-812RKT. Обдирка виливків, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ

ВИЛИВКА «КОРПУС»

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок

Корпус гідравлічного шестеренчатого насоса НШ32МА-3-01-01 (рис. 2.1), позначений як МР-131.24.09.02.01.00, виготовляється литтям у кокіль. Для цього використовується алюмінієвий сплав АК5М2Ц4, хімічний склад якого відповідає ДСТУ 2839-94. Відливок належить до другого класу точності за ДСТУ 3015-95, з точністю 9-0-0-0-8 відповідно до ГОСТ 26645-85. Допустимі відхилення: різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекис по роз'єму до 1,5 мм. Ливарні уклони становлять 3°, а ливарні радіуси - 3 мм. Загальна пористість не повинна перевищувати еталон №2 шкали пористості за ДСТУ 2839-94.

Корпус має складну форму як зовні, так і всередині. Бокові поверхні плоскі, а торцеві - у вигляді двох пересічних циліндрів. Внутрішня поверхня відливка також складна, її форма формується за допомогою виступів на металевому стержні. На поверхнях, які не підлягають механічній обробці, залишаються припуски. Обробка проводиться на внутрішніх і бокових поверхнях. Базові поверхні повинні бути чистими, без раковин, заливів та неметалічних включень. На не оброблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини та неметалічні включення в кількості не більше чотирьох штук, діаметром не більше 3 мм, глибиною не більше 10 мм, з відстанню між дефектами не менше 10 мм. Габарити деталі 141×112×71,5 мм. Маса деталі – 1,5 кг, вага відливка – 2,3 кг. Твердість – 75...115 НВ.

Допуск зміщення відливка по площині роз'єму – 0,8 мм. На поверхнях, які обробляються, допускаються різні дефекти, які не перевищують глибини в 0,5 мм на механічну обробку.

Допускається залишок після відрізання підживлювача до 3 мм.

Залишки ливників повинні бути зачищені.

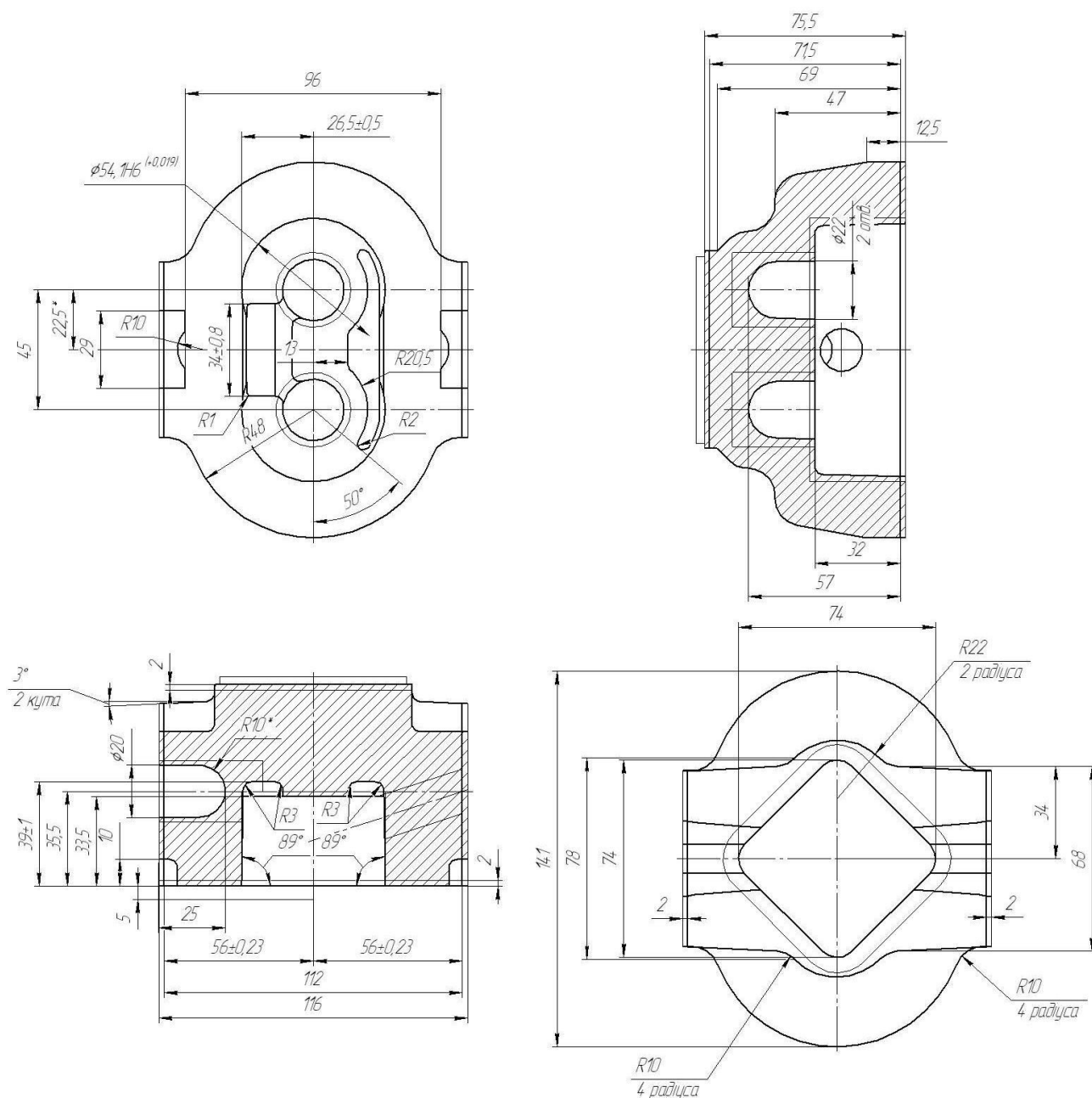


Рис. 2.1. Відливок корпус насоса НШ32МА-3-01-01

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

Перш ніж розпочати розробку технологічного процесу виготовлення відливка, необхідно ретельно проаналізувати його конструкцію та технологічні вимоги. Це допоможе зрозуміти особливості виробництва та визначити оптимальні шляхи досягнення бажаного результату.

Після детального аналізу, наступним кроком є визначення положення відливка у формі під час заливки та затвердіння. Це важливо для забезпечення

рівномірного розподілу металу та запобігання дефектів. Також необхідно визначити поверхні роз'єму форми, які будуть розділяти дві половини форми для вилучення готового відливка.

Важливим етапом є встановлення величини припусків на механічну обробку та усадку. Припуски на механічну обробку необхідні для того, щоб після лиття можна було видалити надлишки металу та отримати деталь потрібної форми та розмірів. Припуски на усадку враховують зміну об'єму металу під час охолодження.

На завершення, необхідно визначити радіуси скруглень та ливарні уклони. Радіуси скруглень застосовуються для згладжування гострих кутів, що покращує якість поверхні відливка та запобігає утворенню тріщин. Ливарні уклони забезпечують легке вилучення відливка з форми.

Правильне визначення всіх цих параметрів є ключовим фактором для отримання якісного відливка, який відповідатиме заданим вимогам.

2.2.1. Вибір поверхні роз'єму форми. Вибір раціонального роз'єму форми - це ключовий момент у процесі лиття. Правильне розташування роз'єму забезпечує легке вилучення відливка з форми, запобігає утворенню дефектів та спрощує контроль якості.

Вибір роз'єму ґрунтується на конструкції відливка, технологічних вимогах та конструктивних особливостях. Важливо дотримуватись загальних принципів ливарного виробництва:

- Вертикальне положення: Поверхня роз'єму повинна бути вертикальною, щоб забезпечити вільне вилучення відливка з форми.
- Мінімальне число поверхонь: Чим менше поверхонь роз'єму, тим простіше вилучати відливки і тим менше ризику виникнення дефектів.
- Зручність контролю розмірів: Роз'єм повинен бути розташований таким чином, щоб забезпечувати зручний доступ для контролю розмірів форми.
- Плоска поверхня: Плоска поверхня роз'єму спрощує процес вилучення відливка та зменшує ризик утворення дефектів.

- Відсутність підвісних стержнів: Роз'єм повинен бути розташований таким чином, щоб уникнути використання підвісних стержнів, які ускладнюють процес вилучення відливка.
- Розташування стержнів: Головні стержні повинні мати зручне розташування, щоб забезпечити їх легке вилучення з форми.
- Базис механічної обробки: Роз'єм повинен бути розташований таким чином, щоб базис механічної обробки знаходились в одній частині форми з оброблюваними поверхнями та не перетинались площиною роз'єму.

У нашому випадку, вибрана лінія роз'єму з вертикальним розташуванням та однією поверхнею роз'єму посередині деталі є раціональним рішенням. Це забезпечує легке вилучення відливка з форми без ускладнень. [11].

Поверхню роз'єму форми показано на кресленні відливка та на рис. 2.2.

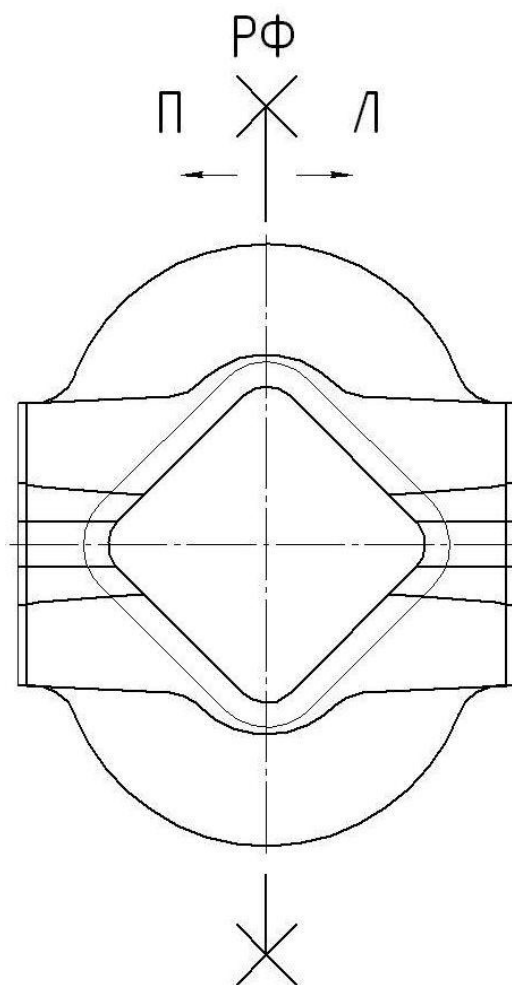


Рис. 2.2. Вибір поверхні роз'єму відливка

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку. Розміри відливоків визначаються на основі розмірів готової деталі, але з урахуванням величини припуску на механічну обробку. Цей припуск вибирається залежно від найбільшого розміру відливка, положення оброблюваної поверхні (зверху, знизу, збоку), способу отримання відливка та класу точності відливка. Вибір величини припуску на механічну обробку є ключовим для досягнення бажаних розмірів і якості готового виробу [12].

Величина припуску на механічну обробку для відливоків із алюмінієвих сплавів при литті в кокіль регламентується ГОСТ 26645-85. Припуски на механічну обробку для поверхонь зводимо у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Припуски механічну обробку відливоків із алюмінієвих сплавів при литті в кокіль

Найбільший розмір	Положення при заливці	Найменший розмір
2,0	Верх	1,6
2,0	Низ	1,6
2,0	Збоку	1,6
2,0	Внутрішня поверхня	1,6

2.2.3. Вибір радіусів скруглень та ливарних уклонів. Радіуси закруглень регламентовані ГОСТ 10948-64. На креслені вказані не всі значення скруглень, але вони занесені в технічні вимоги на відливок, як і ливарні уклони:

- невказані ливарні уклони – 3°;
- ливарні радіуси – 3 мм [13].

2.2.4. Припуски на усадку. Під припуском на усадку розуміють збільшення усіх ливарних розмірів моделі на величину ливарної усадки. Усадка виражається у % від розмірів відливка. Приймаємо лінійну усадку для алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 при литті в кокіль 1,00%, а об'ємну – 3,00%.

2.2.5. Розробка креслень модельно-ливарних вказівок. Креслення модельно-ливарних вказівок створюється на основі креслення деталі корпусу НШ32МА-3-01-01. Це технологічне креслення містить усі необхідні технологічні зазначення відповідно до ГОСТ 2.423-73. На кресленні деталі важливо вказати такі елементи:

- Розташування відливка у формі під час заливки та затвердівання.
- Величину припуску на механічну обробку.
- Розташування поверхонь моделі на формі.
- Грані стержнів та зазори.
- Місце установки та розміри елементів ливниково-живильної системи.

Проекція креслення відливки повинна відповідати її положенню під час заливки металом. Величина припуску на механічну обробку також вказується на кресленні. Отвори, які не виконуються литтям, закреслюються суцільною лінією. Відповідно до ГОСТу, на кресленні деталі відливка наносяться елементи ливарної форми, а роз'єм відливка та форми позначається прямим відрізком з літерним позначенням РФ.

Припуски на механічну обробку зображуються суцільною тонкою лінією, а величина припуску вказується цифрою перед знаком шорсткості поверхні або величиною уклону та ливарними розмірами. Позначення шорсткості поверхні та правила їх нанесення на креслення виконуються згідно з ГОСТ 2309-73. Якщо шорсткість всіх поверхонь однакова, то вона позначається в правому верхньому куті креслення.

Зображення ливникової системи, підживлювача та нанесення розмірів виконуються за ГОСТ 2423-73. Ливникову систему зображують на кресленні модельно-ливарних вказівок у масштабі креслення суцільною тонкою лінією. Площу перерізу елементів не штрихують, але в кожному перерізі допускається вказувати площу перерізу (см^2), кількість елементів та сумарну площу.

2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи

2.3.1. Основні положення при конструюванні ливниково-живильної системи. Ливниково-живильна система є важливим елементом у процесі лиття, оскільки вона забезпечує підведення рідкого металу до порожнини ливарної форми. Основні компоненти цієї системи включають:

Ливникова чаша або воронка - це елемент, який збирає рідкий метал перед його подачею в форму.

Стояк - вертикальний канал, що веде від ливникової чаші до ливникової порожнини.

Шлаковловлювач - пристрій, що затримує шлакові включення, які можуть потрапити в відливоч.

Живильник - елемент, що безпосередньо примикає до ливникової порожнини і забезпечує заповнення форми, а також дозволяє відокремити його від відливка без пошкоджень.

Ця система повинна бути спроектована так, щоб забезпечити оптимальний потік металу, уникнути утворення недоливів і забезпечити якість готового виробу. Правильне виконання ливниково-живильної системи є критично важливим для успішного лиття.

2.3.2. Вибір місця підводу металу. Місце підводу металу вибираємо в нижній частині відливка. При підводі розплаву знизу метал заповнює ливарну порожнину більш спокійно, окисні плівки спливають догори та поверхня відливка стає більш чистою та гладкою. Прийнята система називається сифонною і широко використовується для відливоків із алюмінієвих сплавів [14].

2.3.3. Тип ливникової системи. Конструкцію ливникової системи вибираємо типову: розширюючу, нижню, сифонну, горизонтальну (рис. 2.3).

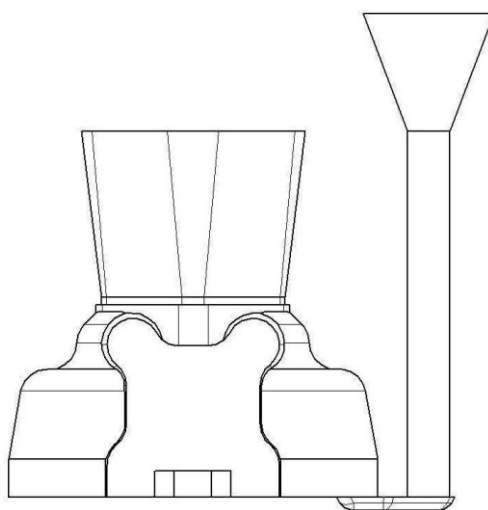


Рис. 2.3. Конструкція ливникової системи

2.3.4. Розрахунок конструкції підживлювача. Основне призначення підживлювача - попередження утворенню дефектів усадкового характеру. Підживлювач встановлюють над термічними вузлами виливка. В проектуємому відливку підживлювач раціонально встановлювати в верхній частині.

Розрахунок розмірів підживлювача ведемо за такою методикою.

Висота підживлювача розраховується за формулою:

$$H = \sqrt[3]{\frac{x_{\varepsilon}}{\varepsilon_{\varepsilon}} V_n}, \quad (2.1)$$

де x_{ε} - коефіцієнт усадочної раковини, $x_{\varepsilon} = 9 \dots 12$ [15];

$\varepsilon_{\varepsilon}$ - відношення об'єму усадочної раковини $\varepsilon_{\varepsilon} = 9 \dots 12$ [15];

V_n - необхідний об'єм підживлювача.

$$V_n = \frac{\beta}{k} V_{\text{від}}, \quad (2.2)$$

де β - коефіцієнт $\beta = 0,035 \dots 0,08$;

$k = 0,25$ [14];

$V_{\text{від}}$ - об'єм відливка $V_{\text{від}} = 875 \text{ см}^3$.

$$V_n = \frac{0,07}{0,25} \cdot 875 = 245 \text{ см}^3$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{10}{9,5}} \cdot 245 = 63,5 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача розраховується за формулою:

$$D = H \cdot (1,1 \dots 1,5) = 69,8 \dots 95,2 \text{ мм}$$

Для більш ефективного живлення термічних вузлів відливка та виходу газів із ливарної форми конструктивно приймаємо підживлювач, форма і розміри якого вказані на рис. 2.4.

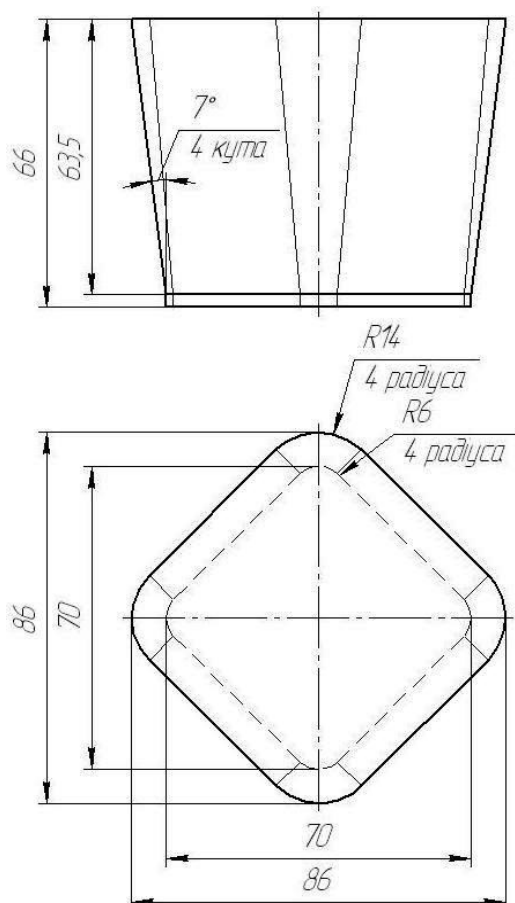


Рис. 2.4. Схема з розмірами підживлювача

2.3.5. Розрахунок ливникової системи. Розміри елементів ливникової системи для відливів із алюмінієвих сплавів визначають виходячі із положень:

- значення критерія Рейнольдса Re для різних елементів ливникової системи не повинно перевищувати мінімальне попадання окислів та неметалічних включень в форму внаслідок порушення щільності;
- швидкість руху розплаву у формі повинна забезпечувати її заповнення без утворення у відливку недоливів та спаїв.

Для отримання якісних відливоків швидкість руху розплаву повинна знижуватись від перерізу стояка до живильника. Тому для відливоків із алюмінієвих сплавів застосовують розширюючі ливникові системи зі співвідношенням:

$$F_c : F_k : F_{ж} = 1 : 2 : 3, \quad (2.3)$$

де F_c , F_k , $F_{ж}$ - відповідно площі поперечного перерізу стояка, колектора, живильника.

Для визначення середнього значення мінімальної швидкості підйому металу у формі u_0 використовують різні теоретичні та експериментальні залежності. Досить точною є залежність:

$$u_0 = (3,0 \dots 4,2) l_0, \quad (2.4)$$

де u_0 - початкова швидкість підйому розплаву у формі, см/с

l_0 - характерна товщина стінки відливка, см.

При литті мілких та середніх відливоків у кокіль площа поперечного перерізу стояка визначається за формулою:

$$F_c = \frac{(3,0 \dots 4,2)G}{\rho H_0 l_0 u_c}, \quad (2.5)$$

де G - вага відливка, г, $G=2300$ г;

ρ - густина розплаву, г/см³, $\rho=2,7$ г/см³ [12];

H_0 - висота відливка, см, $H_0=14$ см;

l_0 - характерна товщина стінки відливка, см, $l_0=2,3$ см;

u_c - швидкість руху розплаву, см/с.

Швидкість руху розплаву визначається за формулою:

$$u_c = \mu \sqrt{2gH_p}, \quad (2.6)$$

де μ - коефіцієнт витрати, $\mu=0,65\dots0,75$ (для нижнього підводу металу) [15];

$$H_p - \text{статичний напір, } H_p = H_0 - \frac{p^2}{2c}.$$

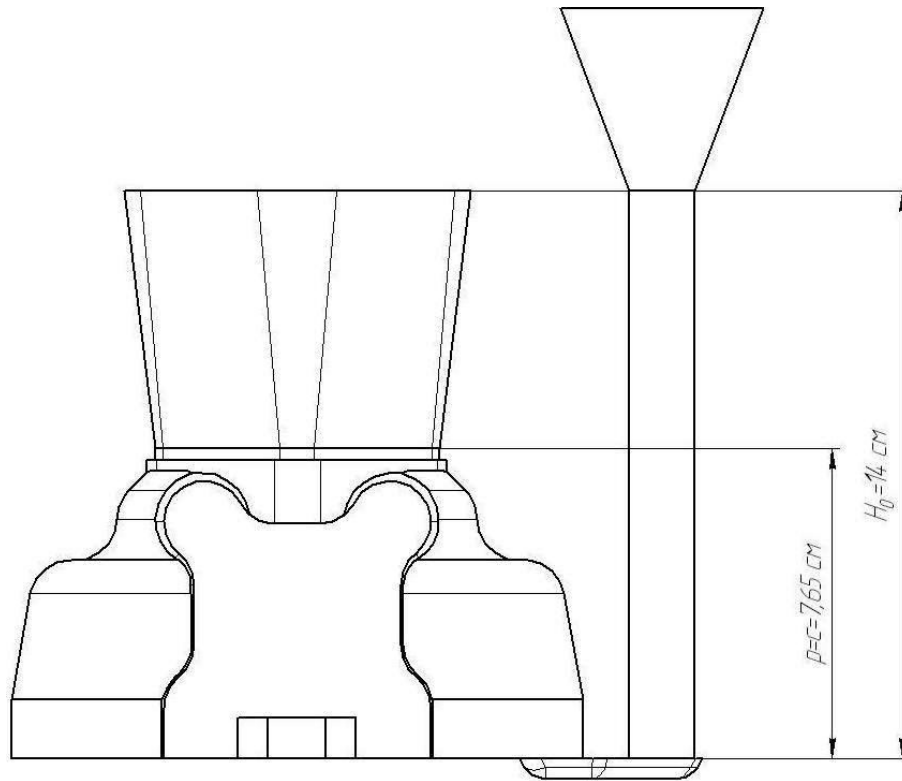


Рис. 2.5. Схема до розрахунку статичного напору

$$H_p = 14 - \frac{7,65^2}{2 \cdot 7,65} = 10,175 \text{ см}$$

$$u_c = 0,65 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 10,175} = 91,8 \text{ см/с}$$

$$F_c = \frac{(3,0\dots4,2)2300}{2,7 \cdot 14 \cdot 2,3 \cdot 91,8} = 0,86\dots1,21 \text{ см}^2$$

Приймаємо $F_{\text{жс}} = 2,60 \text{ см}^2$ (в нашому випадку ливникова система складається зі стояка та живильника).

Стояк приймаємо круглого перерізу, діаметром 16 мм.

Живильник приймаємо прямокутний з закругленими нижніми краями, ширина – 54 мм, довжина – 5 мм, з радіусом скруглень 5 мм.

Перерізи елементів ливникової системи показано на рис. 2.6.

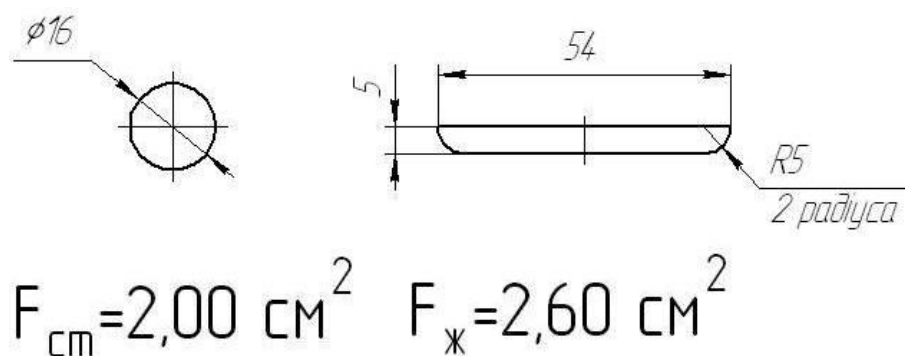


Рис. 2.6. Перерізи елементів ливникової системи

2.4. Технологічний процес виготовлення відливка

Технологічний процес виготовлення відливка в кокіль включає в себе такі операції: збирання кокілю, підготовка кокілю до роботи, заливка кокілю, охолодження відливка, видалення відливка, очистка і контроль якості відливка.

Процес виготовлення відливка корпусу НШ32МА-3-01-01 в кокілі включає кілька важливих етапів:

- 1) Монтаж кокілю: Відливочок виготовляється в кокілі, який монтується на кокільний верстат. Технічна характеристика цього верстата наведена в розділі 1. Кокіль встановлюється на плиті машини, також вмонтовані стержні. Напівформа та кокіль в зборі показані на рисунках 2.7 та 2.8 відповідно.
- 2) Розігрів кокілю: Після збирання кокілю його розігрівають до температури 150...200 °C за допомогою пальника.
- 3) Нанесення фарби: На розігрітий кокіль пульверизатором наноситься фарба Gillolin AL223 G, яка є протипригарною теплоізолюючою фарбою у вигляді порошку. Для нанесення фарби її необхідно розвести водою в пропорції 1:5. Фарбу наносять у два етапи з просушуванням після першого шару протягом 2-3

хв. Рекомендований шар фарби становить 0,2 мм. У разі потреби проводять повторне фарбування.

4) Закриття кокілю: Після просушування кокілю, за допомогою гідроприводу машини, кокіль закривається, і встановлюються стержні. Після цього можна проводити заливку металу.

5) Охолодження та затвердіння: Після заливки відливка охолоджується і затверджується протягом 10...15 хв. Після цього за допомогою гідроприводу видаляються стержні, і кокіль розкривається.

6) Зняття відливки: Відливки знімають з кокілю, захопивши його кліщами за підживлювач, і скидають у тару. Після заповнення тари вона транспортується цеховим транспортом на очисну дільницю.

7) Очищення відливок: На очисній дільниці відливки цеховим транспортом подаються на робоче місце біля стрічкопильного верстата для відділення підживлювачів. Залишок від підживлювача допускається висотою до 3 мм.

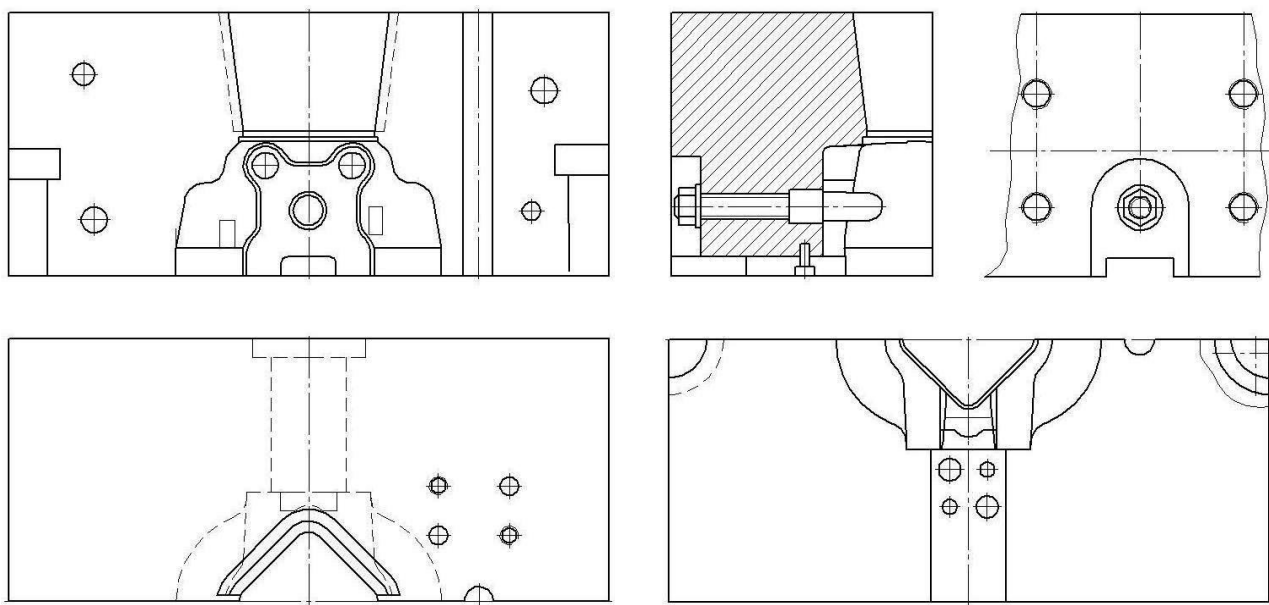


Рис. 2.7. Напівформа кокіля

8) Після очищення відливки, вони подаються цеховим транспортом на естакаду очисної дільниці для пред'явлення ВМТК (Внутрішньому контролю якості). Контроль відливок є вибіркоким, і під час перевірки контролюються такі ключові параметри:

Твердість: Вимірюється в частині підживлювача по центру відливка. Використовується прилад ТШ-2 з діаметром кульки 10 мм. Навантаження становить 1000 кгс з витримкою 30 секунд. Допустимий діапазон твердості: 75...115 НВ.

Візуальний огляд: Проводиться для виявлення видимих дефектів. Допускаються різні дефекти на оброблюваних поверхнях, але не більше 2/3 припуску на механічну обробку.

Замір базових розмірів: Перевіряються основні розміри відливка для відповідності технічним вимогам.

Перевірка на герметичність: Відливки перевіряються на герметичність на спеціальних випробувальних гідравлічних стендах..

2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки

Кокіль для виготовлення відливків корпусу НШ32МА-3-01-01 має кілька важливих характеристик та етапів виготовлення:

Матеріал кокілю: Кокіль виготовляється литтям зі сталі 15Л. Ця сталь є нелегованою і використовується для виготовлення відливків, таких як корпуси, блоки та інші деталі.

Механічна обробка: Після виготовлення відливка проводиться механічна обробка формують поверхонь кокілю, що забезпечує точність і якість відливків.

Конструкція кокілю: Кокіль має ребра жорсткості, які зменшують металоємкість і вагу, що є важливим для підвищення ефективності виробництва.

Матеріал основи кокілю: Основа кокілю також виготовляється зі сталі 15Л, що забезпечує однорідність матеріалу.

Стержні: Округлі стержні виготовляються шляхом механічної обробки круглої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом, піддаються поліруванню.

Плоскі стержні виготовляються шляхом механічної обробки плоских заготовок, також з поліруванням контактуючих поверхонь.

Матеріал стержнів — сталь 45 за ГОСТ 1050-74.

Термообробка: Всі стержні піддаються термообробці – азотуванню з товщиною $h=0,05$ мм та твердості HRC 30...35. Це підвищує їх зносостійкість та міцність.

2.6. Висновки по розділу

1. Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок.
2. Описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка.
3. Розроблені модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок.
4. Розроблено і сконструйовано ливниково-живильну систему та виконано перевірку її ефективності.
5. Описано процес проектування ливарного оснащення.
6. Описано технологічний процес виготовлення виливка.
7. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок, правої і лівої напівформ, стержня центрального та форми в зборі.

3. ПІДВИЩЕННЯМ ЯКОСТІ ЛИТВА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ РАФІНУВАННЯ МЕТАЛУ

3.1. Шляхи забруднення алюмінієвих сплавів неметалевими включеннями та газами при плавці

Алюміній і його сплави в процесі плавлення й лиття активно взаємодіють із газами навколишньої атмосфери, утворюючи хімічні сполуки або розчини. В останньому випадку мова йде про тверді розчини або суспензії, коли молекули газу коагулюють у пухирці й перебувають у металі (сплаві) у зваженому стані.

У процесі кристалізації такого розплаву на границі поділу твердої й рідкої фаз виникає газовий зародок, де він утримується капілярними силами й збільшується в обсязі за рахунок газів, що дифундують у нього. При досягненні певного регульованого крайовим кутом змочування розміру, коли сили відриву газового пухирця стають більше сил прилипання, він відривається від твердої поверхні, прагнучи нагору. Якщо газові пухирці в процесі кристалізації не встигають піднятися на поверхню розплаву, то вони залишаються в ньому, утворюючи у виливках газову пористість.

Хімічні сполуки газів з металами є джерелами утворення в сплавах твердих неметалічних включень [16].

Газові включення (під газовими включеннями ми розуміємо й хімічні сполуки металів з газами) у металах (сплавах) розташовуються переважно по границях зерен, порушуючи зв'язок між ними й знижуючи міцність виробів.

Взаємодія газів з металами (або сплавами) складається із трьох послідовних процесів: адсорбції, дифузії й розчинення (або абсорбції).

Адсорбцією газів називають процес, що відбувається на поверхні поділу метал – газ, який полягає в притяганні молекул газу з навколишньої атмосфери атомами, які перебувають на поверхні

кристалічних решіток (якщо мова йде про тверде тіло) або на поверхні рідини. Товщина адсорбованого газового шару рівна в основному діаметру газової молекули.

На поверхні твердого кристала або рідини є шар атомів, що утворюють силове поле. Наявністю силових полів у твердого (рідкого) тіла обумовлюється адсорбцією молекул газу. Адсорбовані молекули газу поступово можуть відриватися від поверхні тіла, тобто відлітати. Час, протягом якого молекули газу залишаються на поверхні адсорбенту, залежить від інтенсивності поля.

Ступінь адсорбції визначається рівновагою між конденсацією і випаровуванням молекул. Кількість адсорбованого газу залежить від проміжку часу між цими процесами. При розвиненому силовому полі швидкість випаровування вкрай мала і поверхня майже повністю покривається адсорбованими молекулами газу [16].

Найпростіший випадок, коли газ адсорбується і відлітає у вигляді молекул, є результатом дії сил Ван-Дер-Ваальса і називається фізичною адсорбцією. Фізична адсорбція відбувається тільки при температурах нижче нуля. З підвищенням температури фізична адсорбція знижується, а при температурі вище кімнатної нею можна зневажити.

При температурах вище нуля також у ряді випадків спостерігається явище адсорбції газів металами. Така адсорбція носить виборчий характер і називається хемосорбцією або активованою адсорбцією. Вона властива тільки деяким системам газ – метал. Гази і метали, нездатні до хімічних взаємодій, не можуть при температурах вище нуля адсорбуватися або служити адсорбентами. У цьому випадку проявляються сили хімічної спорідненості, які відбивають електронний зв'язок компонентів. Така адсорбція не може, щоправда, називатися хімічним процесом, оскільки її результатом не завжди є нова фаза, але, мабуть, вона повинна передувати хімічній реакції.

Розглядаючи схильність до хімічної взаємодії газів і металів, можна приблизно судити про здатність газу дифундувати в метал. Наприклад, інертні газы не дифундують у метали. Азот дифундує в залізо й марганець, які

утворюють нітриди, але не дифундує в мідь, нікель і срібло, які не утворюють нітридів і т.д.

До інших найбільш важливим факторів, що впливають на процес дифузії, відноситься різниця концентрацій, температура металу, парціальний тиск газу, а також товщина шару металу. Великий вплив на швидкість дифузії виявляють структура металу, а також фізичний і хімічний стан його поверхні. Швидкість дифузії швидко зростає з температурою [17].

Великий вплив на дифузію через твердий метал, як ми вже відзначали, виявляє фізичний стан поверхні цього металу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вплив обробки поверхні металу на швидкість дифузії водню

Метал	Обробка	Температура, °C	Тиск, <i>мм рт. ст.</i>	Швидкість дифузії, <i>мм/(див сек)</i>
Нікель	Полірування Окиснення і відновлення	750	0,04	$1,39 \times 10^{-6}$
			0,04	$2,70 \times 10^{-6}$
	Полірування Окиснення і відновлення	750	0,09	$2,91 \times 10^{-6}$
			0,09	$4,23 \times 10^{-6}$
Залізо	Полірування Травлення	400	0,8	$0,47 \times 10^{-6}$
			0,8	$4,40 \times 10^{-6}$

На швидкість дифузії газів у рідкий метал впливає головним чином хімічний стан поверхні розплаву. Якщо в результаті адсорбції на поверхні твердого металу або розплаву утворюється хімічна сполука, то швидкість дифузії перестає залежати від тиску. У цьому випадку вона залежить від здатності даного газу дифундувати через шар хімічної сполуки, що утворювалася, [18].

Якщо хімічна сполука на поверхні металу (сплаву) не адсорбує газ, то останній не здатний досягти поверхні металу (сплаву), яким би високим не був його парціальний тиск. Наприклад, дифузія кисню через нікель при 900 °C стає незалежною від тисків понад 0,25 мм рт. ст., оскільки на поверхні з'являється видимий шар закису нікелю.

Коефіцієнт дифузії різко знижується і у тому випадку, коли поверхня металу (сплаву) покривається речовиною більш хімічно активною. Якщо метал легко окислиться, то швидкість дифузії інших газів, наприклад азоту, знижується або припиняється повністю.

Нарешті, слід указати, що легуючі елементи й домішки в металах і сплавах впливають на швидкість дифузії газів. Відомо, наприклад, вплив вмісту берилію на швидкість дифузії кисню в алюмінієво-магнієві і магнієві сплави. Причина цих явищ, мабуть, у зміні кристалічних решіток внаслідок утворення нових фаз і в утворенні на поверхні плівок з хімічних сполук газів з легуючими компонентами і домішками [19].

У результаті дифузії газу попадають у внутрішні шари металу (сплаву) і частина атомів газу залишається там. Подібне поглинання газів металами (сплавами) називається розчиненням або абсорбцією.

Залежно від хімічної спорідненості з металами газу утворюють суспензії, тверді розчини або хімічні сполуки. Необхідно підкреслити значення хімічного складу сплаву, оскільки для простих газів ступінь спорідненості з металами визначається положенням металу в періодичній системі елементів.

По мірі зниження металевих властивостей метали виявляють все меншу схильність до взаємодії з газами. Те ж саме відбувається і з газами. По мірі втрати металоїдних властивостей вони робляться усе менш активними в реакціях з металами. Так, наприклад, утворення окислів відбувається з виділенням великої кількості тепла; нітриди залежно від активності металів можуть утворюватися не тільки екзотермічно, але й з поглинанням тепла; утворення гідридів багатьох металів – ендотермічний процес. Основні фактори, що впливають на розчинення газів у металах і сплавах (крім хімічної природи газів і металів) – температура і тиск.

Розглядаючи вплив температури і тиску, необхідно враховувати характер взаємодії між розчиненим газом і металом. Якщо є дійсне розчинення, то розчинність газу з підвищенням температури зростає [16]:

$$Ske^{-\frac{E_s}{RT}}, \quad (3.1)$$

де k - константа;

e - основа натуральних логарифмів;

E_s - теплота розчинення;

R - газова постійна;

T - абсолютна температура.

І навпаки, якщо відбувається утворення хімічних сполук, що супроводжується виділенням тепла, то розчинність газу з підвищенням температури падає.

У всіх випадках простого розчинення розчинність газів пропорційна $\sqrt{p}$. Залежність розчинності, наприклад водню, від його парціального тиску над металом і температури металу виражається наступним рівнянням [16]:

$$\lg \frac{C}{p^{1/2}} = \frac{A}{T} + B, \quad (3.2)$$

де C - вміст газу в 100 г металу, см^3

p - тиск газу, мм рт. ст.;

T - температура, $^{\circ}\text{K}$;

A й B - константи.

Залежність розчинності водню в рідких металах і сплавах від температури пов'язана ще з одним явищем. При температурах, близьких до температури кипіння, розчинність газів (у тому числі й водню) повинна відносно знижуватися, оскільки парціальний тиск пари металу зростає. Наприклад, розчинність водню, у цинку і кадмію з підвищенням температури, а отже, і з підвищенням парціальної пружності пари цих металів зменшується.

Адсорбція, дифузія і розчинення газів металами і сплавами є підготовчими стадіями хімічних реакцій. Тільки гази, схильні до хімічних реакцій з металами (сплавами), мають здатність до активованої адсорбції цими металами (сплавами). І тільки гази, схильні до активованої адсорбції, мають здатність дифундувати і розчинятися в металах (сплавах). Таким чином, активована адсорбція газів поверхнею металів (сплавів) – початок газонасичення. Щоб уникнути цього, необхідно перешкодити адсорбційним процесам на границі поділу метал (сплав) – газ, тобто проблему боротьби з неметалічними включеннями у виливках вирішувати насамперед з позицій попередження хімічної взаємодії. Рафінуванню повинна приділятися завершальна роль [20].

3.2. Загальні відомості про способи рафінування алюмінієвих сплавів

У процесі плавки алюмінієвих сплавів останні забруднюються оксидними включеннями і поглинають водень. Залежно від складу сплаву вміст водню в розплаві може бути від 1-1,5 см³ в 100 г сплаву (алюміній) до 45 см³/ 100 г сплаву (при плавці лігатури алюміній - 5% цирконію). В даний час встановлено, що чим більше сплав забруднений оксидними включеннями Al₂O₃ тим більше він містить водню і навпаки. Забрудненість сплаву оксидами і воднем приводить до отримання пористих виливків з низькими механічними властивостями.

Вважають, що придатні для розливання по ливарним формам алюмінієві розплави повинні містити, зокрема, водню не більше 0,15-0,4 см³/ 100 г сплаву (в залежності від хімічного складу сплаву). При такому змісті водню у вихідному розплаві буде також невисоким і зміст Al₂O₃ в ньому, що гарантує отримання виливків, низькою загальною пористістю і високими механічними властивостями.

Очищення алюмінієвих ливарних сплавів від зважених неметалічних включень і водню до встановлених норм здійснюють за допомогою хлористих солей і флюсів, вакуумированием, фільтруванням і іншими способами.

Для рафінування застосовують хлористий цинк, хлористий марганець, гексахлоретан, чотирьохлористий вуглець та інші хлориди. Через гігроскопічності хлористі солі перед рафінуванням піддають сушінню (MnCl_2) або переплавки (ZnCl_2). Введення їх в розплав виробляють за допомогою дзвіночка. При температурі розплаву $700-730^\circ\text{C}$ вводять $0,05-0,2\%$ ZnCl_2 або MnCl_2 при $740-750^\circ\text{C}$ в кілька прийомів вводять $0,3-0,7\%$ гексахлоретан.

Зі зниженням температури ефективність рафінування зменшується в зв'язку з підвищенням в'язкості розплаву; рафінування при більш високих температурах недоцільно, так як воно пов'язане з інтенсивним окисненням розплаву. Дзвіночок із сіллю занурюють на дно розплаву і для більш повного очищення безперервно перемішують розплав до припинення виділення газоподібних продуктів реакції. При цьому хлористі солі взаємодіють з алюмінієм за реакціями:



Бульбашки хлористого алюмінію, піднімаючись на поверхню розплаву, захоплюють зважені неметалеві включення; всередину бульбашок дифундує розчинений в металі водень, відбувається очищення розплаву. Після закінчення перемішування розплаву дають відстоятися протягом 10-15 хв при температурі $720-730^\circ\text{C}$ для видалення дрібних бульбашок газу. Рафінування хлоридами ведуть в печах або ковшах з малою питомою поверхнею розплаву. У печах з невеликим по висоті шаром розплаву рафінування введенням хлоридів малоефективно. Кращі результати в таких випадках дає рафінування флюсами.

Для рафінування більшості алюмінієвих сплавів використовують флюс, що містить 47% KCl , 30% NaCl і 23% Na_3AlF_6 . Для очищення алюмінієво-магнієвих сплавів застосовують флюси на основі карналіта: $80-85\%$ $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$, $15-20\%$ $\text{CaF}_2(\text{MgF}_2)$. Попередньо розплавлені і висушені флюси в кількості $0,5-1,0\%$ від маси металу засипають на поверхню розплаву при $700-750^\circ\text{C}$. Потім флюс протягом 3-5хв енергійно замішують в розплав, видаляють шлак і дають

розплаву відстоятися 10-15 хв. Після повторного видалення шлаку сплав використовують для заливки форм. При обробці великих обсягів металу флюс вводять за допомогою дзвіночка на дно розплаву. Очищення розплавів хлоридами і флюсами не забезпечує необхідну чистоту розплавів.

Більш високий рівень дегазації розплавів отримують **при вакуумуванні**. Сутність цього виду обробки полягає в тому, що виплавлений за стандартною технологією в звичайних печах метал переливають в ківш, який потім поміщають у вакуумну камеру. Метал в камері витримують при тиску 1-10 мм рт. ст. протягом 10-30 хв; температура розплаву при цьому підтримується 720-740 °С. У тих випадках, коли вакуумування здійснюють без підігріву, розплав перед обробкою перегрівають до 760-780 °С.

Загальний недолік перелічених способів: операцію рафінування проводять на такій стадії технологічного процесу, яка не виключає подальшого забруднення розплаву під час заливки.

3.3. Методика досліджень впливу хімічного складу рафінуючих препаратів на інтенсивність рафінування на основі аналізу термодинамічних характеристик реакцій рафінування алюмінієвих сплавів [21, 22]

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].

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 $T = \text{const}$.

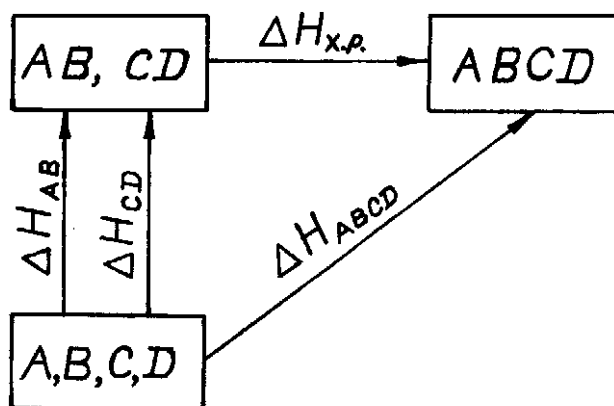


Рисунок. 3.1 – Схема утворення складної речовини з простих

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 $\Delta H_{\text{x.p.}}$.

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

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

звідки для реакції $\text{AB} + \text{CD} = \text{ABCD}$

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

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

Цей результат можна узагальнити за допомогою такого правила:

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

Тобто

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

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

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

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 $C_p = a + b \cdot 10^{-3} T + c \cdot 10^5 T^{-2}$, то таку ж форму набуває і вираз для ΔC_p :

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

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

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

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

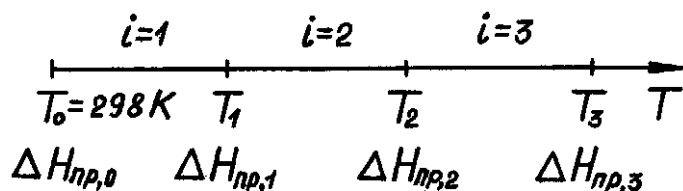


Рисунок 3.2 – Температурні дільниці на інтервалі 298- T К

Початкова температура кожної температурної дільниці дорівнює кінцевій температурі попередньої.

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

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

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

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

де Δa_i , $\Delta \epsilon_i$, Δc_i – зміни коефіцієнтів температурної залежності ΔC_p на i -й 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)

$$\Delta S^{\circ} = cS_{\text{C}}^{\circ} + dS_{\text{D}}^{\circ} - (aS_{\text{A}}^{\circ} + eS_{\text{B}}^{\circ}), \quad (3.25)$$

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

$S_{\text{A}}^{\circ}, S_{\text{B}}^{\circ}, \dots$ – абсолютні стандартні ентропії речовин.

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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].

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

$$\ln Kp = -\Delta G_T^\circ / RT. \quad (3.32)$$

Дослідити вплив хімічного складу рафінуючих препаратів на інтенсивність процесу рафінування алюмінієвих сплавів можна застосувавши до термодинамічної системи принцип адитивності. Згідно з цим принципом будь-яка екстенсивна характеристика системи, наприклад ентальпія, буде визначатись з урахуванням аналогічних характеристик компонентів системи та їх кількості.

Розглянемо процес рафінування алюмінієвих сплавів за допомогою флюсу, який складається з двох компонентів: хлористого цинку $ZnCl_2$ і хлористого марганцю $MnCl_2$. Причому процентне співвідношення цих компонентів у суміші може змінюватись.

Ентальпія процесу рафінування алюмінієвих сплавів згідно з реакціями (3.3, 3.4) з урахуванням кількості кожного з компонентів рафінуючого препарату:

$$\Delta H_{\text{сум}} = \sum \Delta H_i \cdot X_i, \text{ Дж/моль}, \quad (3.33)$$

де ΔH_i – ентальпія процесу рафінування і-го компонента рафінуючого флюсу;

X_i – мольна частка і-го компонента рафінуючого флюсу.

Тоді:

$$\Delta H_{\text{сум}} = \Delta H_{ZnCl_2} \cdot X_{ZnCl_2} + \Delta H_{MnCl_2} \cdot X_{MnCl_2}, \text{ Дж/моль}, \quad (3.34)$$

де, відповідно, ΔH_{ZnCl_2} , ΔH_{MnCl_2} – ентальпії процесів рафінування алюмінію хлористим цинком і хлористим марганцем, X_{ZnCl_2} , X_{MnCl_2} – їх мольні частки.

Мольною часткою компонента X_i у розчині називається відношення числа його молів до суми чисел молів всіх компонентів розчину:

$$X_i = n_i / \sum n,$$

де n_i – кількість молів i -го компонента в довільній кількості суміші; Σn – сума чисел молів всіх компонентів у даній довільній кількості суміші. Так, наприклад, в 100 г рафінуючого флюсу складу 20% за масою хлористого цинку і 80% хлористого марганцю будемо мати такі мольні частки компонентів:

$$X_{\text{ZnCl}_2} = n_{\text{ZnCl}_2} / (n_{\text{ZnCl}_2} + n_{\text{MnCl}_2}) = (20/136,3) / (20/136,3 + 80/125,86) = 0,188;$$

$$X_{\text{MnCl}_2} = n_{\text{MnCl}_2} / (n_{\text{ZnCl}_2} + n_{\text{MnCl}_2}) = (80/125,86) / (20/136,3 + 80/125,86) = 0,812;$$

$$\sum X_i = X_{\text{ZnCl}_2} + X_{\text{MnCl}_2} = 0,188 + 0,812 = 1.$$

3.4. Розрахунок термодинамічних характеристик реакцій рафінування алюмінієвих сплавів

Розрахунок термодинамічних характеристик (ентальпія ΔH , ентропія ΔS , вільна енергія Гібса ΔG , логарифм константи рівноваги $\ln K_p$) вказаних вище реакцій: $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$, $3\text{MnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$, здійснюємо в інтервалі температур 298...1198 К скориставшись довідковими даними термодинамічних властивостей реагентів [31]. Методика розрахунку описана в [12]. Результати розрахунку представлено на рис. 3.3 – 3.10.

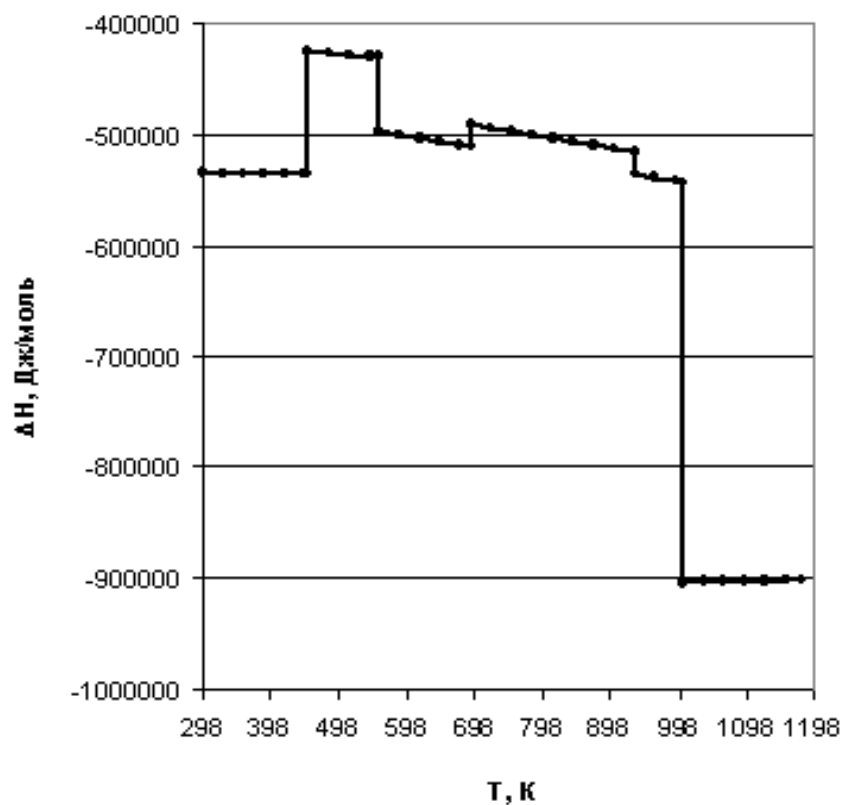


Рисунок 3.3 – Графік залежності ентальпії реакції $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ від температури

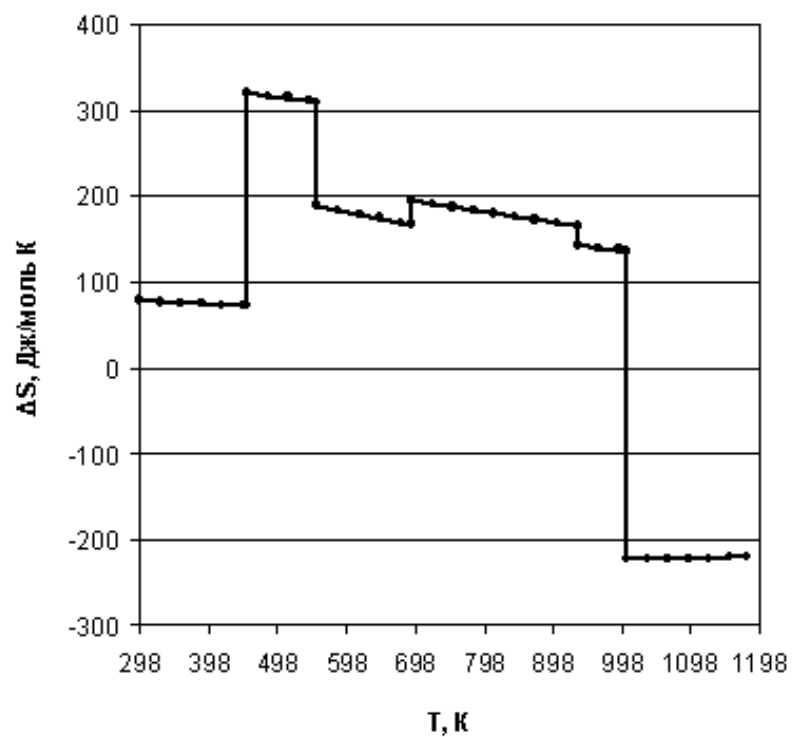


Рисунок 3.4 – Графік залежності ентропії реакції $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ від температури

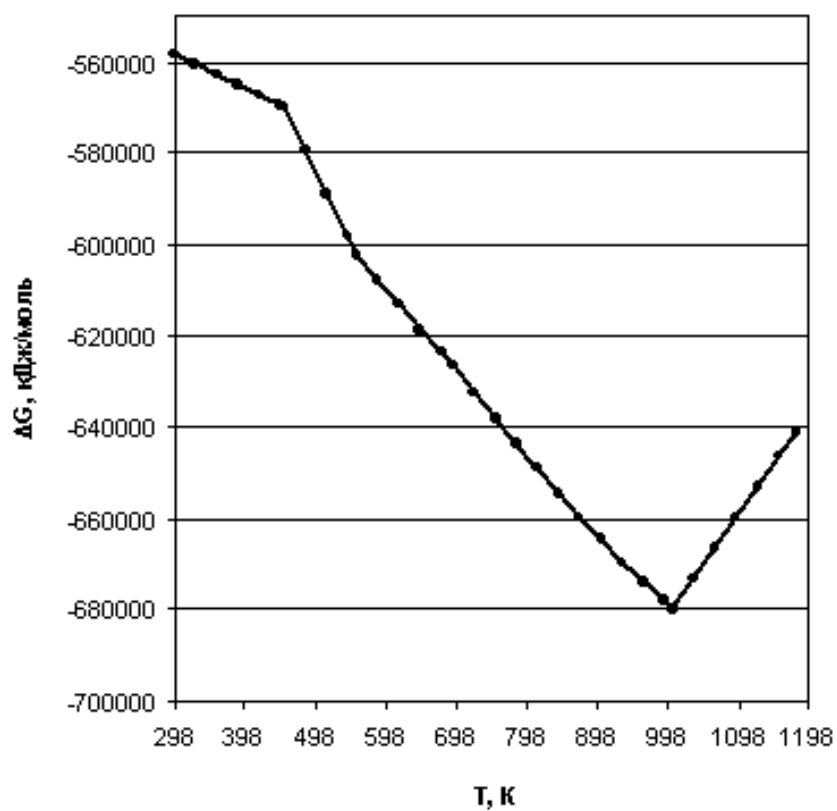


Рисунок 3.5 – Графік залежності енергії Гібса реакції
 $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ від температури

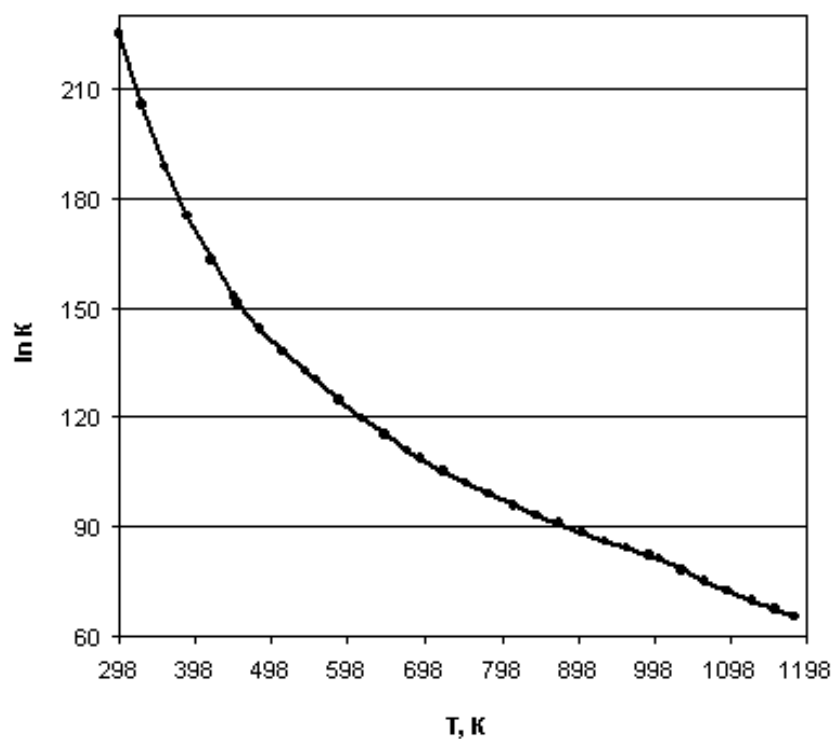


Рисунок 3.6 – Графік залежності логарифму K_p реакції
 $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ від температури

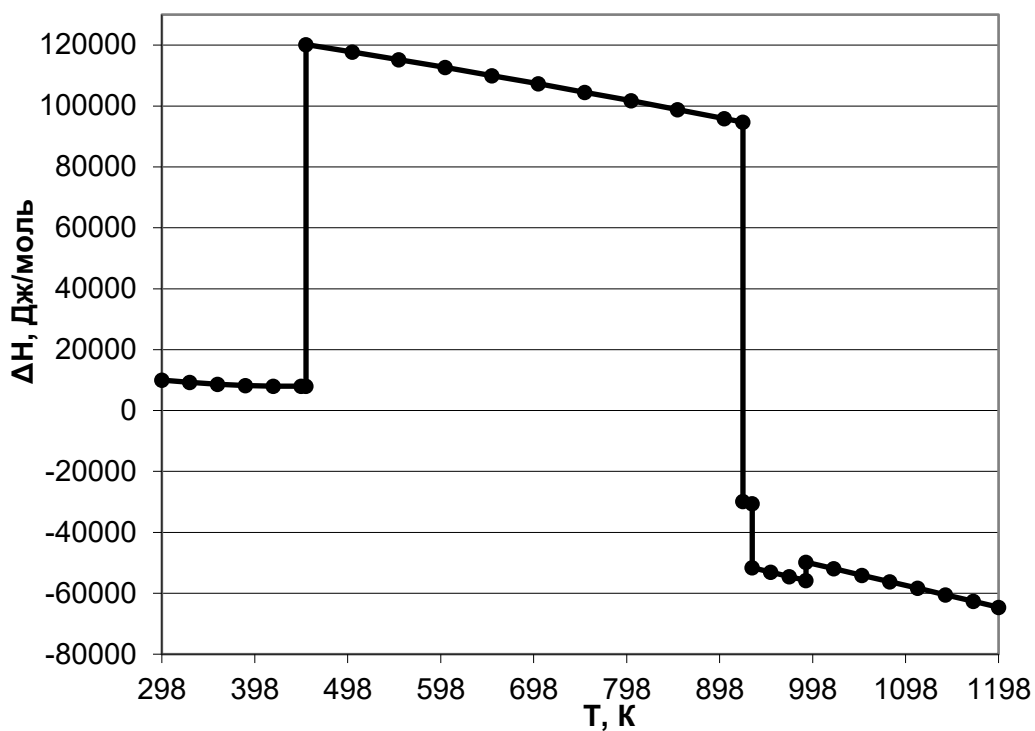


Рисунок 3.7 – Графік залежності ентальпії реакції $3\text{MnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$ від температури

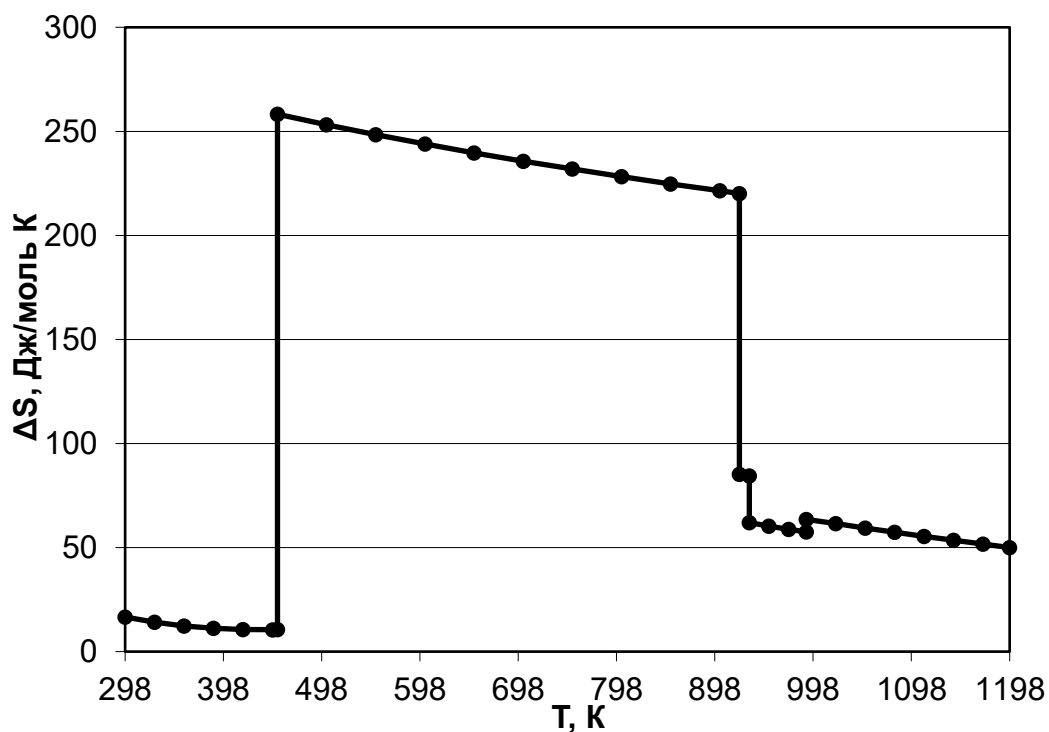


Рисунок 3.8 – Графік залежності ентропії реакції $3\text{MnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$ від температури

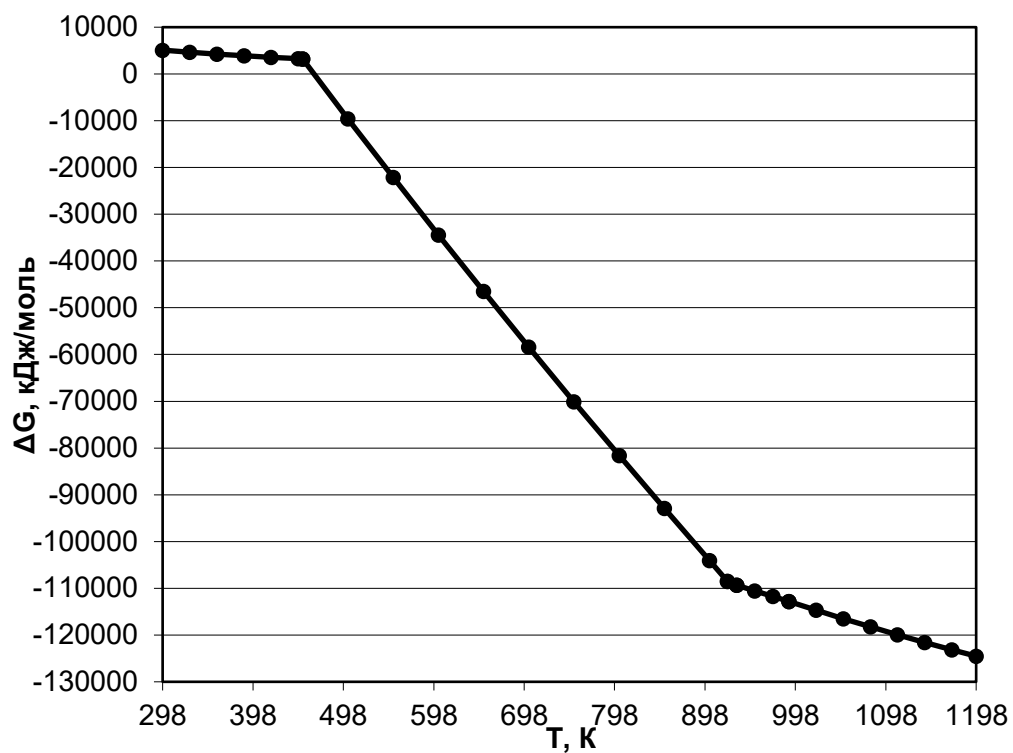


Рисунок 3.9 – Графік залежності енергії Гібса реакції

$3\text{MnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$ від температури

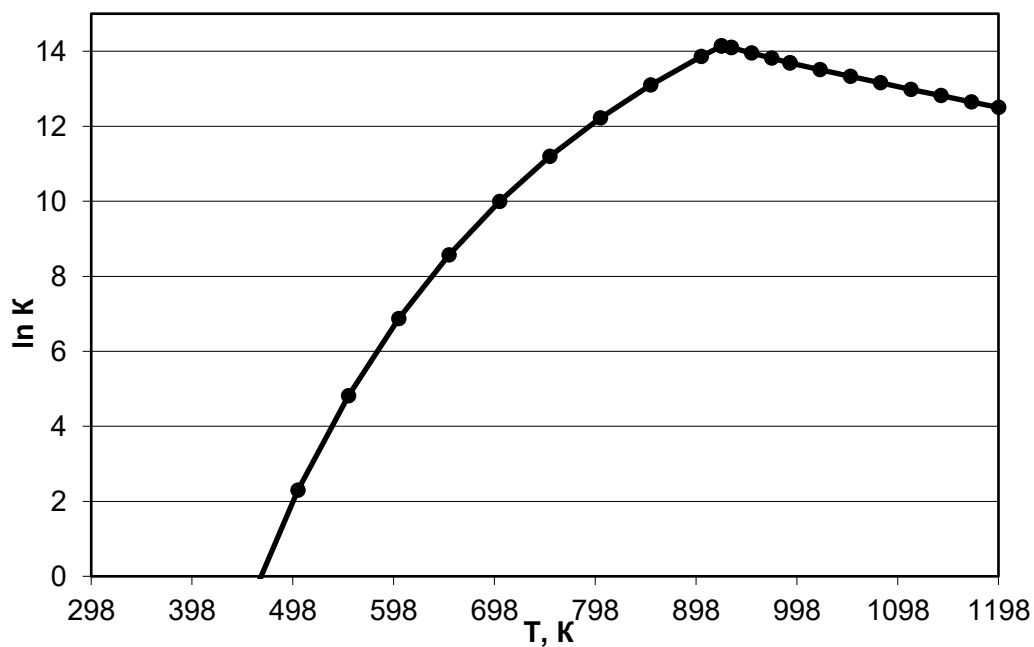


Рисунок 3.10 – Графік залежності логарифму K_p реакції

$3\text{MnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$ від температури

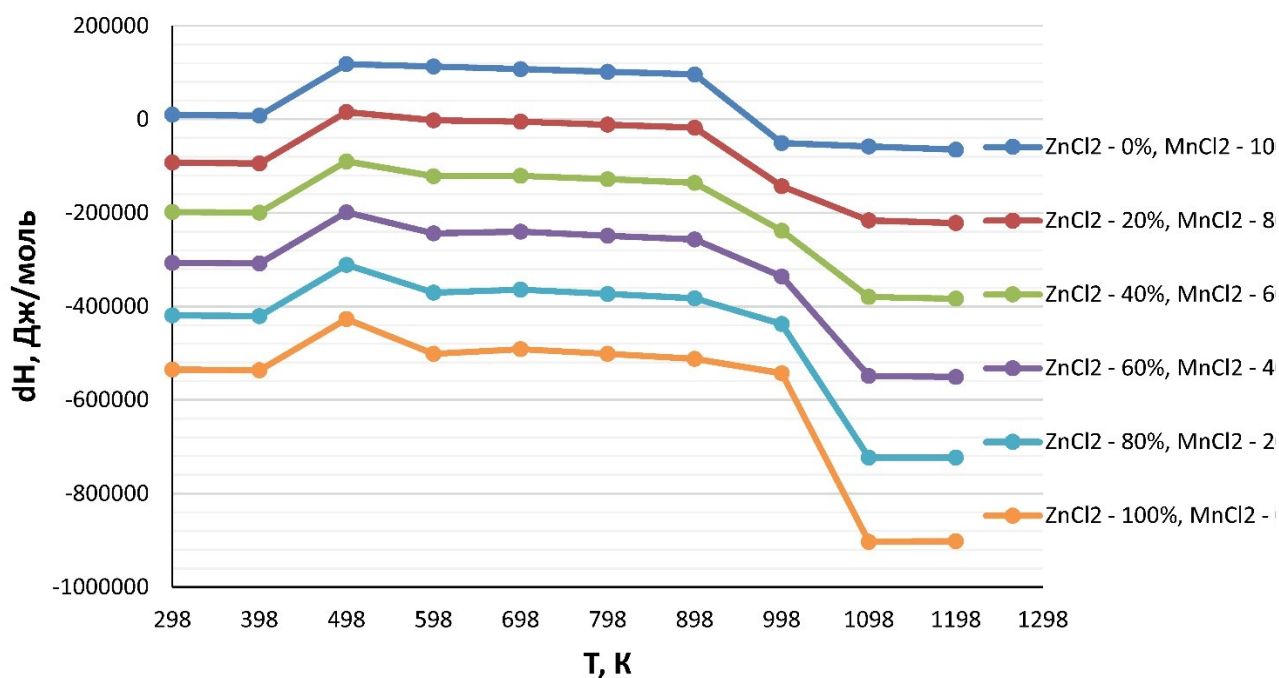


Рисунок 3.11 – Графік залежності ентальпії процесу рафінування від температури і хімічного складу рафінуючого препарату

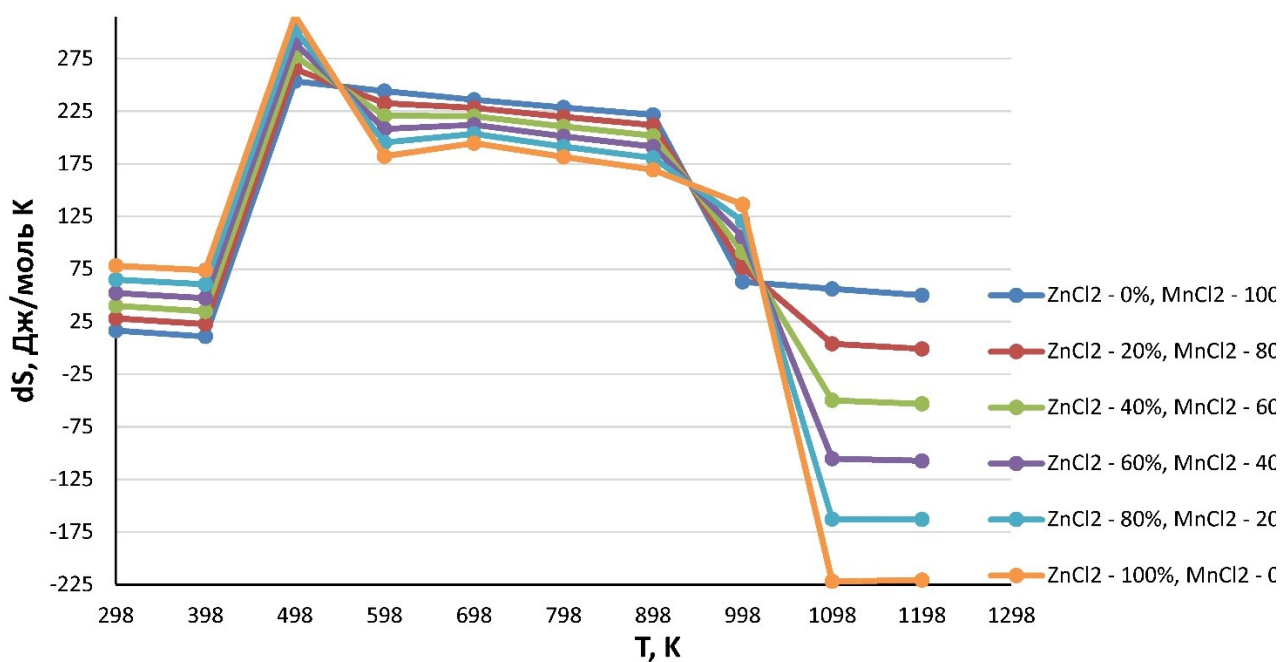


Рисунок 3.12 – Графік залежності ентропії процесу рафінування від температури і хімічного складу рафінуючого препарату

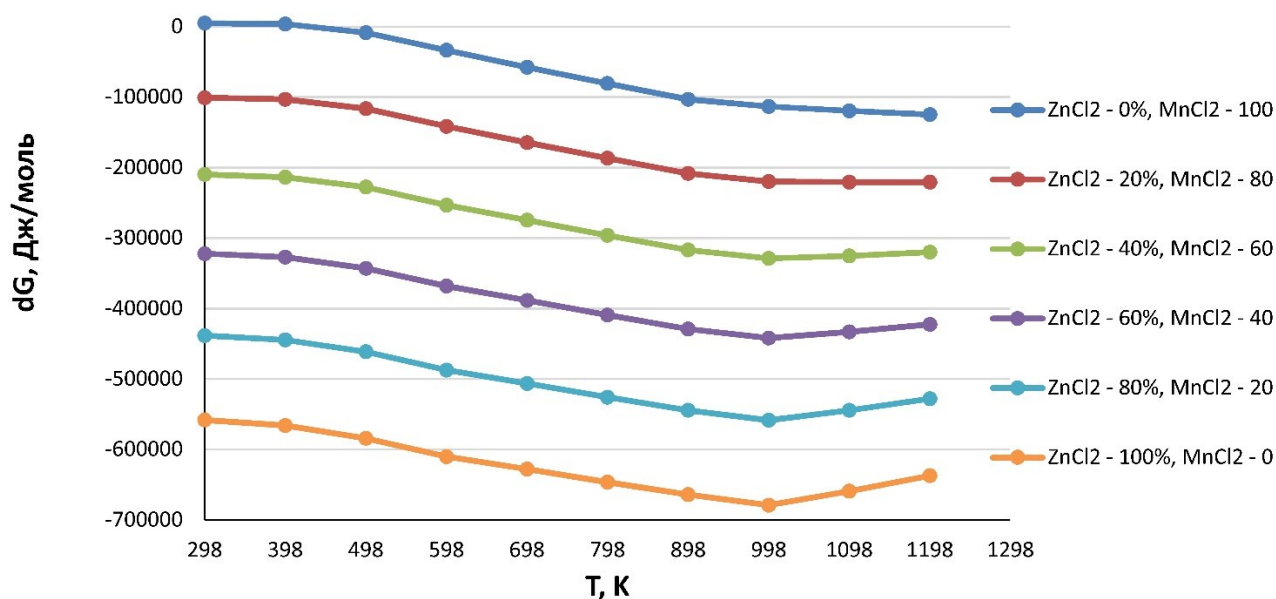


Рисунок 3.13 – Графік залежності енергії Гібса процесу рафінування від температури і хімічного складу рафінуючого препарату

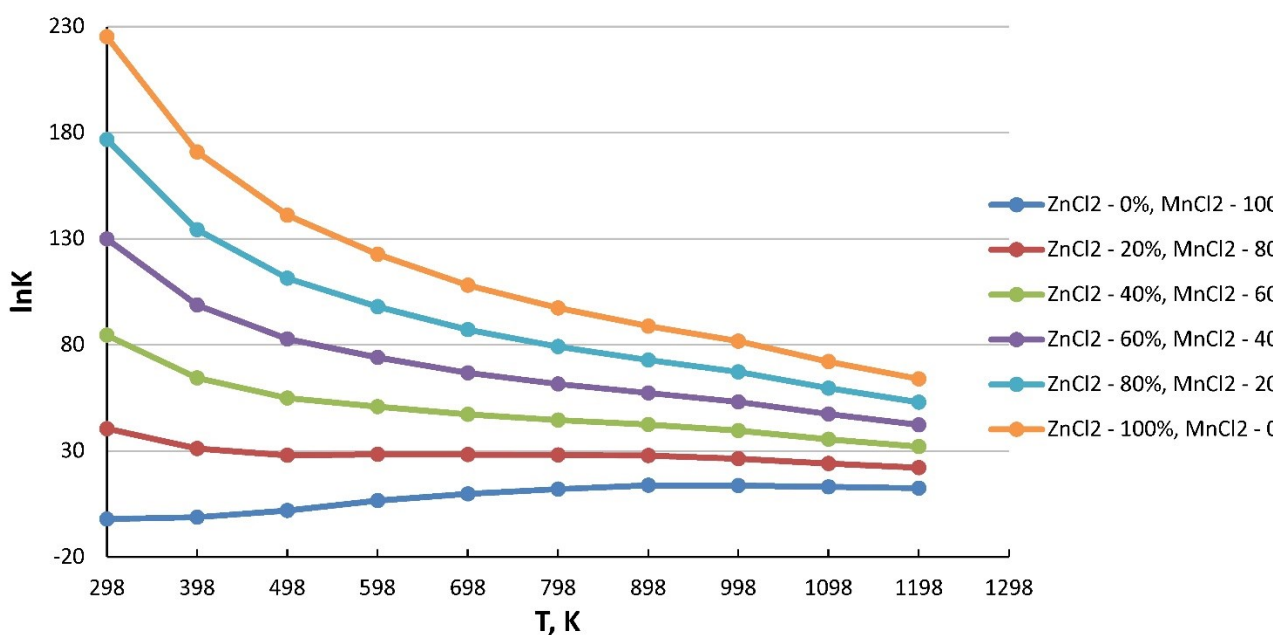


Рисунок 3.14 – Графік залежності логарифму K_p процесу рафінування від температури і хімічного складу рафінуючого препарату

3.5. Висновки по розділу

1. З графіка залежності $\Delta H = f(T)$ (рис. 3.3) видно, що реакція екзотермічна на всьому температурному інтервалі – протікає з виділенням теплоти, про що свідчать від'ємні значення ентальпії. При температурах фазових перетворень на графіку спостерігаються стрибки. Характер залежності ентропії

в цілому такий же, як і у ентальпії. Виходячи з першого слідства з принципу Потилицина–Ле-Шалельє–Брауна (ПЛБ) підвищення температури буде гальмувати протікання даної реакції. З графіка залежності $\Delta H = f(T)$ (рис. 3.7) видно, що реакція до температури 923 К (650 °С) ендотермічна, протікає з поглинанням теплоти, а при більш високих температурах екзотермічна – протікає з виділенням теплоти, про що свідчать від’ємні значення ентальпії. При температурах фазових перетворень на графіку спостерігаються стрибки. Характер залежності ентропії в цілому такий же, як і у ентальпії. Виходячи з першого слідства з принципу ПЛБ підвищення температури під час рафінування буде гальмувати протікання даних реакцій. Отже рафінування необхідно проводити відразу після розплавлення, коли температура металу відносно не висока.

2. Вільна енергія Гібса (рис. 3.5, 3.9) від’ємна майже на всьому температурному інтервалі, спадаюча функція. Реакція необоротна, протікає в прямому напрямку, на що вказують від’ємні значення вільної енергії Гібса. Збільшення вмісту хлористого цинку в суміші сприяє зменшенню значення вільної енергії Гібса (рис. 3.13). Отже, чим більший вміст хлористого цинку в рафінуючому препараті, тим інтенсивніше буде протікати процес рафінування. Це також підтверджується більшими значеннями логарифму константи рівноваги (рис. 3.14).

3. З другого слідства з принципу ПЛБ слідує, що при зменшенні тиску в системі повинен проходити процес, який супроводжується збільшенням кількості газоподібних молекул і навпаки. Оскільки, згідно з хімічними реакціями $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$, $3\text{MnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$ відбувається збільшення кількості газоподібних молекул, а саме AlCl_3 , то для інтенсифікації даного процесу необхідно зменшувати тиск і рафінування доцільно поєднувати з вакуумуванням.

4. З третього слідства з принципу ПЛБ слідує, що для того щоб реакція протікала якомога повніше необхідно підвищувати концентрацію вихідних

речовин, а саме ZnCl_2 , MnCl_2 і зменшувати концентрацію продуктів реакції, зокрема AlCl_3 .

5. Змінюючи вміст рафінуючих препаратів в суміші можна регулювати інтенсивність процесу рафінування: при підвищенні вмісту ZnCl_2 , інтенсивність процесу рафінування збільшується, при підвищенні вмісту MnCl_2 , інтенсивність процесу рафінування зменшується.

6. Також рекомендується перед завантаженням в піч шихту ретельно просушувати, не допускаючи потрапляння вологи у метал. Також шихта повинна бути чистою, без сміття, масла, емульсії.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе науково-технічне завдання розробки технології лиття в кокіль виливка «Корпус» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки процесу рафінування металу.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибрано обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного цеху;
- розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Корпус»;
- досліджено термодинамічних характеристик хімічних реакцій, що протікають при рафінуванні алюмінієвих сплавів;
- розроблено рекомендації щодо регулювання інтенсивності процесу рафінування алюмінію.

В оглядовій частині магістерської роботи обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху. Описано роботу плавильного відділення, відділення лиття в кокіль, відділення відрізки та обрубки ливників, відділення фінішних операцій, допоміжні відділення – дільниця ремонту і футеровки ковшів, склад модельного оснащення, відділу технічного контролю та лабораторії, побутових та адміністративних приміщень. Для плавки металу було обрано індукційні тигельні печі ІАТ-2,5/1,15 ємністю 850 кг. Описано будову печі, наведено її технічні характеристики. Для розливання сплаву у форми вибрано роздавальні печі НО-136 ємністю 220 кг. Описано процес рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливків із сплаву АК5М2Ц4 вибрано кокільні верстати моделі 59К613. Для виготовлення виливків із сплаву АК12М2 вибрано машину лиття під високим тиском ІТАLPRESSE IP 550. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики ливарного обладнання. Описано процес підготовки кокілів до роботи та технологічний процес лиття. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний

відрізний верстат JET HVBS-812RKT. Обдирка виливків, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

В технологічній частині магістерської роботи виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка, розроблені модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок, розроблено і сконструйовано ливниково-живильну систему та виконано перевірку її ефективності, описано процес проєктування ливарного оснащення, описано технологічний процес виготовлення виливка, розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок, правої і лівої напівформ, стержня центрального та форми в зборі.

В науковій частині магістерської роботи на основі аналізу термодинамічних характеристик хімічних реакцій що протікають при рафінуванні алюмінієвих сплавів досліджено вплив температури та хімічного складу рафінуючих препаратів на інтенсивність процесу рафінування та розроблено рекомендації щодо удосконалення процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування машинобудівних заводів та цехів / За ред. В.М. Шестопада. - М.: Машинобудування, 1974. - 294 с.
2. Логінов І.З. Проектування ливарних цехів.-Мінськ: Вища шк., 1975. - 230 с.
3. Рибальченко Н.А. Проектування ливарних цехів. - Вид-во Харк. ун-ту, 1965. - 306 с.
4. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник/Б.Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. -188 с.
5. Аксьонов П.М. Обладнання ливарних цехів. - М.: Машинобудування, 1997. - 510с.
6. Основи проектування ливарних цехів та заводів/Л. І. Фанталів, Б.В. Кнорре, С. І. Четвертухін: Під. ред. Б.В. Кнорре. - М.: Машинобудування, 1979. - 375 с.
7. Сафронов В.Я. Довідник з ливарного обладнання. - М.: Машинобудування, 1985. - 319 с.
8. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. Перероб. - М.: Машинобудування, 1978. - 432 с.
9. Степанов Ю.А., Баландін Г.Ф., Рибкін В.А. Технологія ливарного виробництва. - М.: Машинобудування, 1983. - 287 с.
10. Засоби та системи автоматизації ливарного виробництва / К.С. Богдан, В.М. Горбенко, В.М. Денисенко, Ю. П. Каширін. - М.: Машинобудування, 1981. - 287 с.
11. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. - К.: ІСДО, 1993. - 552 с.
12. Літниково-живильні системи. Конструювання та розрахунок літникових систем. Навчальний посібник/Л.А. Большаков. - Маріуполь: ПДТУ, 2007. - 125 с.

13. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни "Технологія ливарної форми" для студентів спеціальності 0502/Упоряд. В.С. Миронов, В.І. Кудя. - Кіровоград: КИСГМ, 1985. - 88 с.
14. Москальов І.Н. Ліварні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1993. - 368 с.
15. Гуляєв А.П. Металознавство. - М.: Машинобудування, 1984. - 545 с.
16. Рубцов М.М. Спеціальні види лиття. - М.: Машгіз, 1955. - 331 с.
17. Білопухів А.К. Технологічні режими лиття під тиском. - М.: Машинобудування, 1967. - 239 с.
18. Галдін М.М. Літникові системи для виливків із легких сплавів. - М.: Машинобудування, 1978. - 195 с.
19. Лиття в кокіль / За ред. А.І. Вейника. - М.: Машинобудув., 1980. - 415 с.
20. Лиття під тиском / За ред. А.К. Білопухова. - М.: Машинобудування, 1975. - 338 с.
21. 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.
22. 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.
23. Машина лиття під тиском/За ред. Б.Е. Розенберг. - М.:
24. Дубінін М.П. Беліков О.А та ін. Кокільне лиття - Довідковий посібник. М.: Машинобудування, 1967. - 456с.
25. Баландін Г.Ф. Теорія формування виливка. М. Видавництво МДТУ ім. Н.Е. Баумана, 1998 рік. 359 с.

26. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві метали. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1971. С. 352.
27. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві метали. Промислові деформовані, спечені та ливарні алюмінієві сплави. Довідник М.: Металургія. 1972. С. 552.
28. Фрідлєндер І.М. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1983. С. 560.
29. Колобнєв, І.Ф. Термічна обробка алюмінієвих сплавів/І.Ф. Колобнєв. М.: Металургія, 1966. - 394с.
30. Охорона праці: Навч. посібник для вищих навч. закладів/В. Ц. Жидецький [та ін.]; ред. Ст. Ц. Жидецький; Укр. держ. лісотехнічний ун-т, Укр. академія друкарства. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
31. Глиняна Н. М. Охорона праці в ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів 0904 “Металургія” / Н.М. Глиняна. - Краматорськ: ДДМА, 2009. - 184 с.

ДОДАТКИ