

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра: „Матеріалознавство та ливарне виробництво”

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр Кузик

“_____” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**“Дослідження ефекту рафінування алюмінієвого
сплаву в магнітодинамічній установці
з продувкою аргоном при приготуванні сплаву
для лиття корпусу насоса НШ50 в кокілі”**

Виконав здобувач вищої освіти

ІІ курсу, групи ПМ-22М-1

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

_____ Пустовий В.М.

“_____” _____ 2024 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____ Ломакін В.М.

“_____” _____ 2024 р.

Рецензент _____

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет _____ механіко-технологічний
Кафедра _____ матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти _____ магістр
Галузь знань _____ прикладна механіка
Спеціальність _____ 131 – Прикладна механіка
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма
_____ 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

“ _____ ” _____ 2024 р.

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

_____ Пустового Владислава Михайловича _____

прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: “Дослідження ефекту рафінування алюмінієвого сплаву в магнітодинамічній установці з продувкою аргоном при приготуванні сплаву для лиття корпусу насоса НШ50 в кокілі”, затверджена наказом по університету _____ вересня 2023 р., № _____
2. Керівник роботи: Ломакін Віктор Миколайович, к.т.н., доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 17.01.2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: вивчити і дослідити технологію рафінування алюмінієвого сплаву в магнітодинамічній установці із застосуванням продувки сплаву аргоном для зменшення вмісту водню; розробити технологію лиття корпусу насоса НШ50 в кокілі; розрахувати електричні параметри магнітодинамічної установки і необхідну кількість аргону при одно- і двозмінній роботі ливарного цеху.

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Огляд технологій плавки та рафінування алюмінієвих сплавів	Ломакін В. М.		
Розрахунки по технологічній частині	Ломакін В. М.		
Креслення по технологічній частині	Ломакін В. М.		
Спеціальна частина	Ломакін В. М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд технологій плавки та рафінування алюмінієвих сплавів		
2.	Розрахунки по технологічній частині		
3.	Креслення по технологічній частині		
4.	Спеціальний розділ		
5.	Оформлення пояснювальної записки		
6.	Оформлення рецензії		
7.	Захист кваліфікаційної роботи		

Дата видачі завдання:

“ ____ ” _____ 2023 р.

Підпис керівника

Ломакін В. М.

(прізвище та ініціали)

Підпис здобувача

Пустовий В. М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти складається із трьох розділів.

Ключові слова: АЛЮМІНІЙ, ТЕХНОЛОГІЯ, ПЛАВКА, КОКІЛЬ, ВИЛИВОК, РАФІНУВАННЯ, МАГНІТОДИНАМІЧНА УСТАНОВКА, ВОДЕНЬ, НЕМЕТАЛЕВІ ДОМІШКИ, АРГОН, ФІЛЬТР

Виконано критичний огляд існуючих способів плавки і рафінування алюмінієвих сплавів. Зроблено висновки щодо перспектив розвитку технологій рафінування.

Розроблена технологія виготовлення виливка «Корпус НШ50» в кокilі.

У спеціальному розділі запропоновано застосування в ливарному цеху новітньої технології рафінування алюмінієвого розплаву продувкою аргоном та циклічною його фільтрацією через пінокерамічний фільтр у магнітодинамічній установці МДН-6А. Узагальнено у вигляді графічних залежностей запозичені експериментальні дані щодо впливу різних режимів продувки розплаву аргоном і руху металу на вміст водню у сплаві і кількість неметалевих домішок у виливках. Встановлено раціональний режим рафінування. Загальний корисний ефект становить до 0,05 см³ водню на 100 г металу і до 0,07% неметалевих домішок у виливку. Розраховано основні електричні параметри роботи установки МДН-6А, та необхідну кількість аргону при різних режимах роботи ливарного цеху.

Кваліфікаційна робота містить:

стор. 68, рис. 25, табл. 8, літ. 13.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	7
1. Огляд процесів плавки і рафінування алюмінієвих сплавів	8
1.1. Алюмінієві ливарні сплави	8
1.2. Загальна характеристика печей для плавки алюмінієвих сплавів	16
1.3. Технологія плавки ливарних алюмінієвих сплавів	18
1.4. Водень в алюмінієвих сплавах	23
1.4.1. Розчинність водню в алюмінії	23
1.4.2. Воднева пористість алюмінію	24
1.4.3. Водень в алюмінієвих виливках	24
1.4.4. Джерела водню в алюмінії	24
1.4.5. Реакція алюмінію з воднем	25
2. Технологія лиття корпусу насоса НШ50 в кокіль	27
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок.....	27
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	29
2.2.1. Вибір поверхні роз'єму форми.....	29
2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку..	30
2.2.3. Вибір радіусів закруглень та ливарних кутів.....	31
2.2.4. Припуски на усадку.....	31
2.2.5. Розробка креслень технологічно-ливарних вказівок.....	31
2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи	33
2.3.1. Основні положення при конструюванні ливниково-живильної системи.....	33
2.3.2. Вибір місця підводу металу.....	33
2.3.3. Тип ливникової системи.....	33
2.3.4. Розрахунок конструкції підживлювача.....	34
2.3.5. Розрахунок ливникової системи кокіля	36
2.4. Процес виготовлення виливка	38
2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення	41
2.6. Аналіз ливникової системи	42

3. Технологія рафінування алюмінієвих сплавів продувкою аргоном і фільтрацією у магнітодинамічній установці МДН-6А	44
3.1. Основи магнітодинамічних технологій та обладнання для обробки і рафінування ливарних алюмінієвих сплавів	44
3.2. Управління процесами тепломасопереносу у металевих розплавах за допомогою магнітодинамічних пристроїв.....	48
3.3. Магнітодинамічна установка МДН-6А для алюмінієвих сплавів	52
3.4. Дослідження ефекту рафінування алюмінієвого сплаву у магнітодинамічній установці МДН-6А із застосуванням продувки аргоном і фільтрації	53
3.5. Розрахунок основних електричних параметрів установки МДН-6А	61
3.6. Розрахунок необхідної кількості аргону на добу при одно- і двозмінному режимі роботи ливарного цеху	65
Висновок	66
Список літератури	67
Додатки	69

ВСТУП

Сучасне ливарне виробництво кольорових сплавів, зокрема алюмінієвих, переживає в Україні надзвичайно важливий період розвитку та модернізації. В контексті росту глобального попиту на високоякісні вироби з алюмінієвих сплавів, українські підприємства мають унікальну можливість посилити свою конкурентоспроможність та забезпечити стабільність економічного розвитку [1].

Однак, однією з найбільш важливих проблем у виробництві алюмінієвих сплавів є питання плавки та рафінування. При цьому особливу увагу слід приділяти боротьбі з воднем, який може негативно впливати на властивості сплаву, а також зменшенню неметалевих домішок у виливках [2]. Вирішення цих завдань вимагає впровадження сучасних технологій та процесів рафінування.

У даній роботі розглядаються високі перспективи розвитку ливарного виробництва алюмінієвих сплавів в Україні, відзначається важливість розв'язання проблематики плавки та рафінування. Проаналізовано основні існуючі способи плавки та рафінування, зокрема, вивчено їх переваги та обмеження. Запропоновано застосування магнітодинамічної установки моделі МДН-6А, що здатна забезпечити циклічний рух розплаву через пінокерамічний фільтр з одночасною продувкою розплаву аргонном при приготуванні ливарного сплаву для лиття корпусу насоса НШ50 в кокіль [3].

Ця робота спрямована на розширення розуміння процесів виготовлення алюмінієвих сплавів, їх властивостей та можливостей в українському ливарному виробництві. Впровадження нових підходів до рафінування сприятиме підвищенню якості продукції та динамічному розвитку галузі.

Розділ 1. Огляд процесів плавки і рафінування алюмінієвих сплавів

1.1. Алюмінієві ливарні сплави

Ливарні алюмінієві сплави призначені для виробництва фасонних виливків. В якості ливарних матеріалів використовуються як первинні сплави, виготовлені легуванням чистого алюмінію, так і стандартні вторинні сплави, отримані зі скрапу і відходів алюмінієвих сплавів. В особливих випадках відливають деталі також з чистого алюмінію, в основному для хімічної і харчової промисловості, а також для електротехніки. Ливарні сплави в Україні в загальному обсязі виробництва алюмінієвих сплавів складають 20% [4].

В Україні алюмінієві ливарні сплави в чушках виробляють на алюмінієвих заводах з первинних металів. На підприємствах вторинної кольорової металургії - з вторинних брухту і відходів.

Частка алюмінієвих ливарних сплавів в чушках, вироблених в Україні з вторинних брухту і відходів, становить близько 50%.

На алюмінієвих заводах виробляють сплави-силуміни різної чистоти (АК12, АК12ч, АК12пч і АК12ОЧ); висококремністі сплави різної композиції і чистоти (АК9, АК9ч, АК9пч, АК8, АК7ч, АК7пч); сплави системи Al-Si-Cu-Mg (АК5М, АК5Мч, АК5М2, АК6М2, АК8М3ч, АК9М2); сплави різних композицій системи Al-Mg; жароміцні сплави (АК12М2МгН) та ін.

На підприємствах вторинної кольорової металургії з брухту і відходів виробляють сплави: АК9; АК7; АК9М2; АК8М3; АК5М2; АК5М4; АК5М7; АК12М2МгН і ін. Для підшихтовки сплавів у невеликих кількостях застосовуються первинні метали. Сплави АК9 і АК8 для підприємств вторинної кольорової металургії є дефіцитними марками (з брухту і відходів сплави виробляються з великими труднощами). Сплави АК5М2, АК5М4, АК9М2, АК8М3, АК12М2 за вмістом міді, заліза, цинку легко отримують з брухту і відходів різних сплавів. Серед них найбільш технологічні і дешеві сплави АК8М3 і АК5М4.

У багатьох промислово-розвинених країнах світу, включаючи США, Німеччину, Японію частка виробництва алюмінієвих ливарних сплавів із вторинної сировини досягає в даний час 85-90%. За кількістю стандартних алюмінієвих

ливарних сплавів в чушках (більше 40 марок) Україна поступається європейським країнам, а також США і Японії.

Великий сортамент алюмінієвих сплавів в чушках дозволяє використовувати їх в багатьох галузях промисловості, застосовуючи для їх виробництва різні види вторинної сировини, включаючи брухт і відходи різноманітних алюмінієвих сплавів, що деформуються, без трудомісткої операції сортування.

Для ливарних сплавів особливо важливі такі характеристики як висока текучість, здатність до заповнення ливарної форми, мала схильність до утворення усадкових і газових пустот, тріщин, раковин. Під рідкоплинністю сплаву мається на увазі здатність металевого розплаву заповнювати порожнину ливарної форми. Рідкоплинність розплаву вимірюється довжиною ділянки металу, що затекла в спеціальну виливницю. Застосовуються також вакуумний метод визначення рідкоплинності і лиття в стрижневу форму. Значний вплив на рідкоплинність має характер затвердіння сплаву і теплоємність розплаву. Величина рідкоплинності свідчить про ступінь чистоти розплаву. Підвищений вміст оксидів в розплаві негативно впливає на його рідкоплинність [5].

Здатність до заповнення форми - це важлива властивість розплаву, характеризує можливість відтворення радіусів заокруглення порожнини виливниці. Здатність до заповнення ливарної форми оцінюється частиною загальної довжини вилівка з чіткими гранями і виражається у відсотках.

При затвердінні і охолодженні розплаву відбувається зменшення його об'єму, що може привести до утворення усадкових раковин. Важливим при цьому є виникнення і розподіл усадкової раковини в литві. Розрізняють велику або макроусадочну раковину (як відкриту, так і закриту), дрібну або мікроусадочну раковину і усадкову пористість.

Для встановлення величини усадки використовують проби квадратної форми, відлиті в землю або в кокіль. Тип затвердіння алюмінієвих сплавів впливає на можливість підживлення вилівка і утворення усадкової раковини. Для чистого алюмінію і сплавів евтектичного складу переважає відкрита усадкова раковина. Сплави з широким інтервалом кристалізації мають сильну схильність до мікроусадкових раковин і пористості усадкового характеру.

Усадкові раковини можуть виникати під дією власної ваги виливка, або зовнішнього тиску, якщо зовнішня зона кристалізації (зовнішня кірочка) недостатньо міцна. Крім того, причиною усадкової раковини на поверхні виливка можуть бути неправильно набита земляна форма або занадто висока температура кокілю при литті.

Тріщини в литві утворюються при затвердінні розплаву через стискаючі напруги між уже затверділим і кашоподібним металом. Вони проходять уздовж первинно-затверділих кристалів і можуть прийняти сильно розгалуджену форму. Найбільш схильні до утворення гарячих тріщин сплави з великим інтервалом кристалізації і незначною часткою легкоплавких компонентів (евтектики), особливо сплави систем Al-Mg, Al-Mg-Zn і Al-Cu. Схильність до утворення гарячих тріщин може бути зменшена легуючою присадкою і вибором сприятливої форми виливка, в якому немає різких переходів від тонких перетинів до товстих і накопичення металу. Усунути небезпеку виникнення тріщин можна також слабким набиванням форм і стрижнів. Після повного затвердіння виливків при подальшому охолодженні до кімнатної температури відбувається їх лінійне стиснення або усадка, які вимірюються ступенем відхилення розмірів виливка від розмірів форми і виражаються у відсотках. Усадка алюмінієвих сплавів складає 1,25-1,4% проти 1,75% для чистого алюмінію. Усадка виливків залежить від складу сплаву, умов затвердіння і способу розливання. Якщо усадка утруднена настільки, що виникли напруження, які перевершують міцність і подовження литого металу, то виникають усадкові тріщини. Цьому дефекту може протидіяти рання вибивка форми і своєчасне витягування стержнів при кокільному литті і під тиском.

Поряд з вибором відповідної вихідної сировини, способів формовки й лиття якості металевого виливки визначають також властивості розплаву і процеси, що відбуваються під час затвердіння.

Доброякісний виливок повинен відповідати таким вимогам: наявність дрібнозернистої рівномірної щільної структури, відсутність раковин, неметалевих включень, пор, тріщин або внутрішніх напружень. Причини цих дефектів в значній мірі можуть бути усунені дотриманням режиму ведення плавки і обробки розплаву, а також певних умов при литті.

Найпоширеніші алюмінієві ливарні сплави містять понад 4,5% Si (так звані силуміни). Введення сотих часток відсотка натрію дозволяє модифікувати структуру доевтектичних і евтектичних силумінів: замість грубих тендітних кристалів кремнію з'являються кристали сфероїдальної форми і пластичність сплаву істотно зростає.

Силуміни охоплюють подвійні сплави системи Al-Si (АЛ2) і сплави на основі більш складних систем: Al-Si-Mg (АЛ9); Al-Si-Cu (АЛ3, АЛ6); Al-Si-Mg-Cu (АЛ5, АЛ10). Сплави цієї групи характеризуються хорошими ливарними властивостями, мають порівняно високу корозійну стійкість, високою щільністю, середньої міцністю і застосовуються для складних виливків.

До сплавів з високим вмістом магнію (понад 5%) відносяться подвійні Al-Mg сплави (АЛ8) системи Al-Mg-Si з добавкою марганцю (АЛ 13 і АЛ28), берилію і титану (АЛ22). Сплави цієї групи корозійностійкі, мають високу міцність і зниженою щільністю. Найбільш міцний сплав АЛ8, але технологія його виготовлення складна. Для зменшення окислюваності в рідкому стані в нього вводиться 0,05-0,07% Be, а для подрібнення зерна - така ж кількість титану. Сплав АЛ8 відливається головним чином в земляні форми. Сплави АЛ13 і АЛ28 мають кращі ливарні властивості, але меншу міцність і не здатні зміцнюватися термічною обробкою. Вони відливаються в кокіль під тиском і в землю.

Тривалі низькотемпературні нагріви можуть привести до погіршення корозійної стійкості алюмінієвих ливарних сплавів з високим вмістом магнію.

Сплави з високим вмістом цинку (понад 3%) систем Al-Si-Zn і Al-Zn-Mg-Cu (АЛ24) мають підвищену щільність і знижену корозійну стійкість, але володіють хорошими ливарними властивостями і можуть застосовуватися без термічної обробки. Ці сплави не набули широкого поширення.

Сплави з високим вмістом міді (понад 4%) - подвійні сплави Al-Cu (АЛ7) і сплави потрібної системи Al-Cu-Mn з добавкою титану (АЛ19) по жароміцності перевершують всі попередні плавни, але мають трохи знижену корозійну стійкість, ливарні властивості і герметичність.

Сплави систем Al-Cu-Mg-Ni і Al-Cu-Mg-Mn-Ni (АЛ1, АЛ21) відрізняються високою жароміцністю, але погано обробляються.

Властивості ливарних сплавів істотно змінюються в залежності від способу лиття: вони тим вищі, чим більше швидкість кристалізації. Як правило, найбільш високі характеристики досягаються при кокільному литті. Деякі елементи, які є легуючими для одних сплавів, мають шкідливий вплив на інші. Кремній знижує міцність сплавів систем Al-Mg і погіршує механічні властивості сплавів систем Al-Cu. Олово і свинець навіть в десятих частках відсотка значно знижують температуру початку плавлення сплавів. Шкідливий вплив на силуміни має залізо, що викликає утворення евтектики Al-Si-Fe, що кристалізується у вигляді пластин. Вміст заліза регулюється в залежності від способу лиття: він максимальний при литті під тиском і в кокіль, та сильно знижений при литті в землю. Властивості фасонних виливків з алюмінієвих сплавів можна істотно підвищити з застосуванням чистої шихти, рафінування, введенням малих добавок титану, цирконію, берилію, а також шляхом термічної обробки [6].

В Україні за ДСТУ 1573-05 алюмінієві ливарні сплави маркуються буквами, перша буква А - алюміній (основа сплаву); букви, наступні за нею, позначають легуючий елемент, цифра - його середній вміст.

Після позначення марок деяких сплавів вводиться показник їх ступеня чистоти: ч - чистий, пч - підвищеної чистоти; оч - особливої чистоти, р - рафінований.

Промислові алюмінієві ливарні сплави діляться на ті, що термічно зміцнюються і незміцнюювані.

Термічній обробці піддаються готові виливки, отримані з термічно зміцнюваних сплавів:

T1 - штучне старіння;

T2 - відпал;

T4 – гартування;

T5 - гартування і короткочасне (неповне) штучне старіння;

T6 - гартування і повне штучне старіння;

T7 - гартування і стабілізуючий відпуск.

Основним критерієм якості алюмінієвих ливарних сплавів в чушках є їх хімічний склад (вміст легуючих добавок, домішок), який визначає фізико-механічні, технологічні, корозійні та інші властивості, а також службові характеристики сплавів.

Поліпшення властивостей і службових характеристик сплавів досягається оптимізацією вмісту в них основних компонентів і легуючих добавок, регламентацією шкідливих домішок (металевих і неметалевих).

Оптимізація вмісту легуючих компонентів і легуючих добавок, граничний вміст допустимих шкідливих домішок досягається за рахунок якості вихідної сировини для приготування сплавів, високого рівня застосовуваних технологій і обладнання, сучасних методів хімічного аналізу сплавів та чіткого контролю виробництва.

Хімічний склад ливарних алюмінієвих сплавів в чушках з урахуванням складу і якості вихідної сировини, рівня техніки і технологій, що застосовуються в процесі виробництва і контролю продукції, що виробляється регламентується національними стандартами.

Силуміни в чушках мають наступний хімічний склад:

AK12ч - алюміній - основа, 10-13% Si; домішки,%, не більше: Fe - 0,5; Mn - 0,4; Ca - 0,08; Ti - 0,13; Si - 0,02; Zn - 0,06.

AK12пч - алюміній - основа, 10-13% Si; домішки,%, не більше: Fe - 0,35; Mn - 0,08; Ca - 0,08; Ti - 0,08; Si - 0,02; Zn - 0,06.

AK12ОЧ - алюміній - основа, 10-13% Si; домішки,%, не більше: Fe - 0,2; Mn - 0,03; Ca - 0,04; Ti - 0,08; Si - 0,02; Zn - 0,04.

AK12ж - алюміній - основа, 10-13% Si; домішки,%, не більше: Fe - 0,7; Mn - 0,5; Ca - 0,2; Ti - 0,2; Si - 0,03; Zn - 0,08

За згодою виробника зі споживачем в силуміні марки AK12ж допускається вміст, %: Fe - до 0,9; Mn - до 0,8; Ti - до 0,25.

Шкідливі домішки для всіх алюмінієвих ливарних сплавів - свинець і олово; залізо і нікель - для більшості сплавів систем Al-Si і Al-Si-Me (Mg, Cu). Свинець, олово, залізо і нікель знижують корозійну стійкість сплавів і помітно зменшують їх пластичність і в'язкість. Залізо і нікель також значно знижують електропровідність. Однак в жароміцних сплавах залізо в композиції з нікелем є вельми корисним елементом. Шкідливий вплив заліза в сплавах системи Al-Si-Me може бути частково локалізовано добавками марганцю.

Шкідливими домішками в алюмінієвих ливарних сплавах є також **водень**, оксиди елементів, натрій. Водень значно розчинний в алюмінії, особливо в розплавленому стані і призводить до браку литва по пористості. Натрій - шкідлива домішка для

сплавів системи Al-Mg. Він помітно погіршує фізико-механічні властивості і експлуатаційні характеристики алюмінієвих сплавів в готових виливках.

Алюмінієві ливарні сплави, вироблені на алюмінієвих заводах, відрізняються від вторинних сплавів не тільки за вмістом домішок, але і меншою кількістю основних легуючих елементів і дрібнозернистою кристалічною структурою, що регламентовано ДСТУ. Мілкозерниста структура формується за рахунок введення в розплави дисперсних інтерметалідів або за рахунок створення умов їх утворення в процесі технологічних операцій. Для цієї мети використовуються комплексні добавки титану і бору, а також - цирконію, хрому, берилію та інших елементів, які вводять у вигляді алюмінієвих лігатур Al-Ti-B, Al-Zr.

Незважаючи на досягнутий в світовій практиці високий рівень технології підготовки вторинної сировини для переплавки і подальшого рафінування розплаву, спостерігається істотна різниця в якості чушок з первинних і вторинних сплавів, обумовлена підвищеним вмістом домішок у сплавах, що виплавляються з брухту і відходів. Вміст домішок в первинних і вторинних сплавах регламентується стандартами.

Разом з тим необхідно відзначити, що для виробництва сплавів високої чистоти за кордоном застосовують первинні метали. Так, наприклад, в Японії для виробництва сплавів чистотою за класифікацією H2211 і H2218 застосовують алюмінієві зливки з вмістом алюмінію не нижче 99,5%.

У зарубіжній практиці при виробництві алюмінієвих ливарних сплавів велика увага приділяється стабільності і однорідності фізико-механічних властивостей і експлуатаційних характеристик, які забезпечуються низьким вмістом компонентів, зокрема кремнію, і зниженням вмісту домішок, особливо шкідливих, що досягається завдяки застосуванню сучасних високоефективних методів рафінування розплаву перед відливанням чушок. В цьому відношенні вітчизняні ливарні висококремністі алюмінієві сплави системи Al-Si-Mg марок АК9, АК8 і АК7 помітно поступаються зарубіжним сплавам-аналогам. Вміст шкідливих домішок в зазначених сплавах вище, ніж в зарубіжних сплавах-аналогах.

Сплави висококремнистої системи Al-Si-Mg підвищеної чистоти марок АК9пч і АК7пч, одержані на алюмінієвих заводах, не поступаються закордонним аналогам ні

за інтервалу вмісту кремнію, ні за вмістом шкідливих домішок, за якістю вони цілком конкурентоспроможні.

Необхідно відзначити, що не на всіх підприємствах країни, які виробляють алюмінієві ливарні сплави в чушках, відпрацьований раціональний процес рафінування розплаву перед відливанням сплавів в чушки (злитки). Тому в сплавах можливий підвищений вміст в порівнянні із зарубіжними аналогами таких шкідливих домішок, як **водень**, оксиди елементів, натрій (в сплавах Al-Mg), які особливо негативно впливають на характеристики міцності сплавів. Для видалення з розплаву водню, натрію і неметалевих включень рекомендується технологія, що передбачає обробку розплаву газопорошковою сумішшю, яка складається з вуглецевого порошку і інертного газу в поєднанні з МГД-перемішуванням. Перевага цього методу полягає в тому, що вуглецеві матеріали сорбують тільки лужні і лужноземельні метали і не знижують вмісту магнію в розплаві. При такому рафінуванні суміш азоту і порошку пекового коксу крупністю 80-160 мкм, утворену в апараті у псевдозрідженому шарі, вводять в струмінь металу під рівень розплаву, сформований МГД-перемешувачем. Витрата порошку і газу - 2 кг/т і 0,5 м³/т сплаву відповідно. В результаті концентрація натрію в сплаві знижується до 3-10% при ступені його видалення близько 90%. Ступінь видалення водню і оксидних включень - 15 і 60% відповідно.

Для підвищення якості одержуваних алюмінієвих ливарних сплавів на ряді алюмінієвих заводів приділяється увага вдосконаленню технології їх отримання. Зокрема розроблена технологія виготовлення промислових алюмінієвих ливарних сплавів: конструкційних АК5М2 і АК9М2 і поршневого АК12М2МгН з використанням до 90% шихти в рідкому стані. В результаті освоєння технології встановлена можливість приготування з використанням рідкої шихти високоякісних попередніх сплавів, призначених для приготування в ливарних цехах машинобудівних заводів робочих сплавів і отримання з них литих виробів з необхідними механічними властивостями.

Із зарубіжних сплавів-аналогів найбільш високою якістю володіють алюмінієві ливарні сплави Японії, в яких найнижчий вміст домішок, в тому числі шкідливих.

У більшості японських сплавів систем Al-Si-Mg і Al-Si-Cu-Mg класифікації по чистоті 2 вміст заліза, нікелю, свинцю і олова становить відповідно 0,3; 0,03; 0,03 і 0,03%, що значно нижче, ніж в сплавах-аналогах.

Алюмінієві ливарні сплави, що випускаються в Японії, відповідають міжнародним стандартам і мають аналоги практично у всіх провідних країнах-виробниках. У той же час багато вітчизняних алюмінієвих ливарних сплавів не мають аналогів серед провідних зарубіжних країн-виробників.

1.2. Загальна характеристика печей для плавки алюмінієвих сплавів

Індукційні тигельні печі промислової частоти використовують для плавки алюмінію у крупносерійному виробництві. Середньочастотні печі також використовуються для плавки алюмінієвих сплавів. За принципом дії індукційні тигельні печі для плавки алюмінію аналогічні печам, що використовуються для плавки чавуну і сталі. Слід, все ж, враховувати, що у зв'язку з високою електропровідністю алюмінію електричний ККД печі значно нижче, ніж при плавці залізовуглецевих сплавів (рис. 1.1) [7].

Індукційні каналні печі (рис. 1.2) дозволяють створити максимально сприятливі умови для плавки алюмінію при низькій витраті електроенергії на плавку. Але при цьому у процесі плавки алюмінію на стінках каналу печі відкладається тугоплавкий оксид алюмінію, це призводить до необхідності очищати канал від наросту кожні 3 - 4 плавки. Зниження продуктивності печей і збільшення витрати електроенергії на плавку, пов'язані з очищенням каналу від наросту, є серйозним недоліком, що перешкоджає широкому використанню таких печей для плавки алюмінієвих сплавів.

Електричні печі опору - нагрівальні елементи з хромонікелевих сплавів забезпечують температуру в робочому просторі печі не вище 1100 С, а керамічні - не вище 1300 ° С. При цьому тривалість плавки алюмінію складає 2,5 ... 4,5 ч. Печі опору у зв'язку з низькою продуктивністю в сучасних ливарних цехах використовуються, головним чином, як роздаточні. На рис. 1.3 а) показана тигельна піч опору з чавунним литим тиглем 1 і дротяним спіральним нагрівачем

2. На рис. 1.3 б), в), г) – відповідно полуменева, газова і шахтна відбивна печі. Щоб уникнути забруднення алюмінієвого розплаву залізом і роз'їдання тигля на його внутрішню поверхню наносять шар обмазки, що складається з 60% магнезитового порошку, 30% вогнетривкої глини, 10% графіту і рідкого скла в якості зв'язуючого. Замість магнезитового порошку часто використовують дрібний кварцевий пісок.

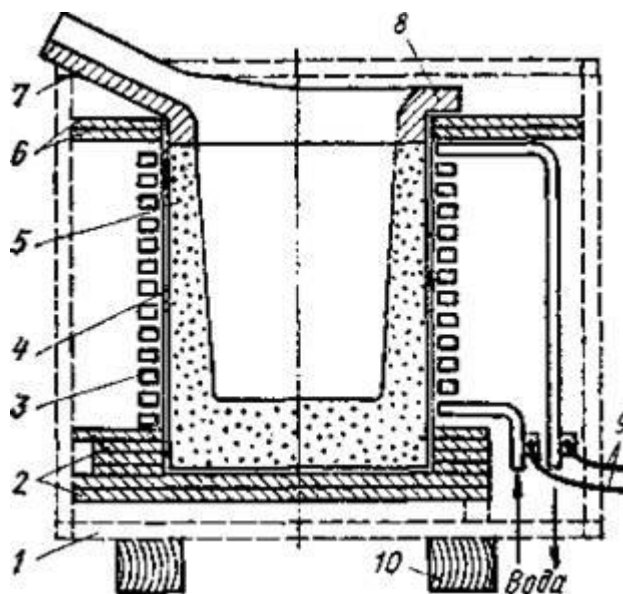


Рис 1.1 – Індукційна тигельна піч

1 - корпус; 2 - тримач; 3 - індуктор; 4 - тигель; 5 - набивка; 6 - плита; 7 - носик;
8 - футеровка; 9 - електропроводи; 10 - фундамент

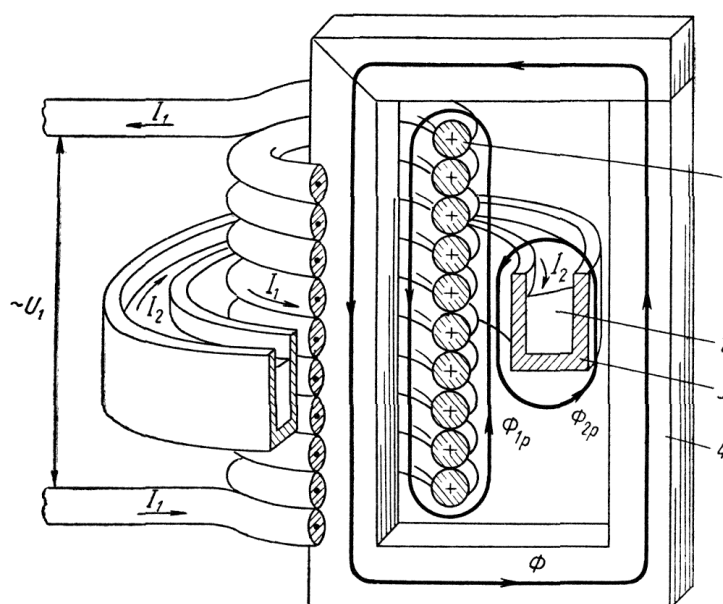


Рис. 1.2 – Індукційна канална піч

1 - індуктор; 2 - метал у каналі; 3 - футерований канал; 4 - магнітопровід

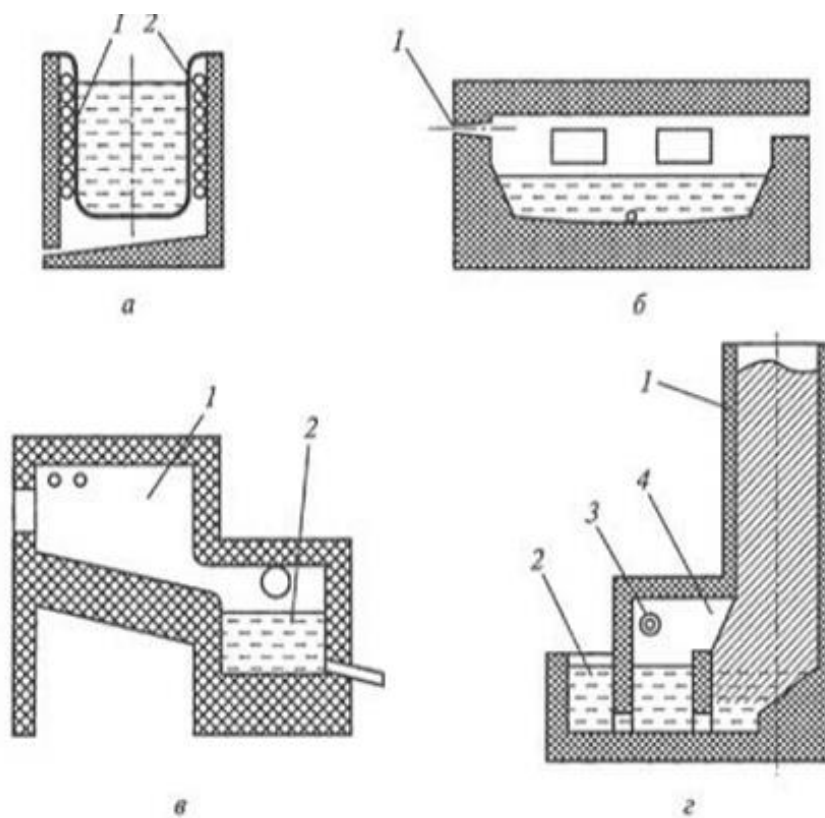


Рис. 1.3 – Печі для плавки алюмінію

а - тигельна піч опору: 1 - тигель; 2 - ніхромова спіраль; б - полуменева відбивна піч:

1 - пальник; в – двохкамерна газова піч: 1 – плавильна камера; 2 – накопичувальна камера; г – шахтно-відбивна піч: 1 - шахта; 2 – карман видачі металу; 3 – пальник; 4 – відбивна частина

1.3. Технологія плавки ливарних алюмінієвих сплавів

Алюміній та його сплави легко окислюються у рідкому стані, розчиняють гази і шкідливі домішки, тому шихта для них повинна бути сухою, без забруднення мастилом, піском. Усі матеріали перед завантаженням у піч необхідно нагрівати до температури не нижче 100... 150°C. Деякі флюси перед використанням у плавку переплавляють і подрібнюють [8].

У рідкому стані алюміній має підвищену схильність до розчинення водню, що утворюється при взаємодії рідкого алюмінію з парами води, які знаходяться у шихтових матеріалах, у футеровці печі та ковшів, у флюсах. Велика кількість водню може бути внесена у розплав лігатурами. Наприклад, алюмінієво-цирконієва лігатура може мати до 445 см³ водню на 100 г металу, алюмінієво-титанова - до 30 см³ водню на 100 г металу. Мідь та кремній зменшують

розчинність водню у розплаві, магній, цирконій, титан, літій, натрій, кальцій, барій, стронцій - збільшують.

Процес плавки алюмінієвих сплавів не викликає особливих труднощів. Оксидна плівка Al_2O_3 , що утворюється на поверхні розплаву, захищає його від насичення киснем і воднем з атмосфери печі. Необхідно мати на увазі, що захисні властивості оксидної плівки змінюються під дією різних матеріалів. Лужні та лужноземельні метали (калій, натрій та ін.), а також цинк, хлор, гексахлоретан, фториди бору і кремнію розжижують плівку і підвищують її газопроникність. Берилій, фтор і газоподібні фториди зменшують газопроникність оксидної плівки.

Для захисту алюмінієвих сплавів під час плавки та рафінування застосовують покривні, рафінуючі та універсальні флюси. Температура плавлення флюсу повинна бути нижчою від температури плавлення сплаву.

Покривні флюси застосовують для захисту розплавів від взаємодії з атмосферою. Вони повинні мати мінімальні густину, гігроскопічність, розташовуватись рівномірним шаром на розплаві, легко відокремлюватися від металу. Покривні флюси завантажують у піч разом із шихтою. При плавці усіх сплавів, крім сплавів системи Al-Cu, використовують флюси №1-3, для сплавів системи Al-Mg - флюси №4-6 (табл. 1.1).

Рафінуючі флюси (табл. 1.1) №7-10 можна наносити безпосередньо на поверхню розплаву у ковші або у тиглі роздаточної печі, але у цьому випадку вони відіграють роль більше покривних флюсів, ніж рафінуючих. Для підсилення рафінуючої дії їх необхідно уводити в середину розплаву при допомозі коробки, закріпленої на штанзі.

Універсальні флюси (табл. 1.1.) №11-13 - це такі флюси, при використанні яких суміщуються операції захисту, рафінування і модифікування сплаву. У їх складі є NaF, що діє як модифікатор.

Рафінування газами виконується при температурі 710... 730 °C протягом 5...20 хв. Найбільш ефективна продувка хлором, але він токсичний і у виробничих умовах не застосовується.

Таблиця 1.1 - Склад флюсів для алюмінієвих сплавів

№	Вміст компонентів, % за масою						
	NaCl	KCl	Na ₃ AlF ₆	CaF ₂	MgF ₂	MgCl ₂ KCl	NaF
1	45	55					
2	37	50	6,6	6,4			
3	35	50	15				
4						100	
5				15		85	
6					15	85	
7	30	47	23				
8				40		60	
9					15	85	
10	47,5	47,5	5				
11	25		15				60
12	45		15				40
13	50	15	10				30

Продувка хлором замінюється обробкою солями, у яких є хлор - хлоридами (хлористий цинк, хлористий марганець, гексахлоретан та ін.).

У зв'язку з високою гігроскопічністю хлориди перед використанням просушують. Витрати хлоридів становлять 0,05...2% від маси металу. Уводять їх за допомогою спеціального пристрою - відкритої знизу коробки, закріпленої на штанзі, при температурі 700... 730°C.

У ливарних цехах широке застосування знайшли гексахлоретан і пігулки "Дегазер". Гексахлоретан - органічна речовина з густиною 2,09 г/см³, з температурою плавлення 186,5°C. Гексахлоретан негігроскопічний, а тому не потребує особливих умов зберігання. Пігулки "Дегазер" містять гексахлоретан і хлористий барій (10% маси), постачаються у готовому вигляді у водонепроникній упаковці.

Хлористі сполуки у розплаві взаємодіють з алюмінієм:



Хлористий алюміній у вигляді бульбашок спливає у розплаві, захоплюючи неметалеві домішки.

Рафінування можна також виконувати фільтрацією, вакуумуванням, ультразвуком та іншими способами.

Плавку алюмінієвих сплавів ведуть при температурах 700...780°C. Температура заливання металу у форми – 700...730°C.

Багато алюмінієвих сплавів плавлять на базі двохкомпонентної шихти, що містить алюмінієвий сплав у чушках і власні відходи (до 60%).

Плавку можна виконувати у полумєневих відбивних і тигельних печах, електричних печах опору та індукційних тигельних і каналних печах.

При необхідності введення у сплав тугоплавких порівняно з алюмінієм, елементів (Cu, Ni та ін.) або активних легкоокислюваних елементів (Ti, Be, Zr, Cr) виготовляють проміжні сплави – лігатури. Лігатура повинна мати температуру плавлення, близьку до температури плавлення сплаву, у який її додають.

Лігатуру можна виплавляти у будь-якій плавильній печі. Тугоплавкі лігатури (Ti, Be, Zr, Cr) виплавляють у графітових тиглях. Виготовлення лігатури проводять у такому порядку: спочатку розплавляють алюміній, а потім малими порціями додають легуючу добавку, розплав перемішують, рафінують і розливають у виливниці.

Сплави системи Al-Si і Al-Si-Cu плавлять під покривним флюсом при температурі сплаву не вище від 780°C. Рафінують метал зазвичай пігулками "Дегазер". У роздаточних печах розплав необхідно витримувати під покривним флюсом.

При плавці сплавів системи Al-Mg у піч завантажують чушки алюмінію та лігатури. Після розплавлення усієї шихти сплав очищують від шлаку і при допомозі титанового пристрою при температурі не вище від 760°C вводять магній. При наявності у сплаві титану та берилію плавку можна проводити без захисту флюсами. У інших випадках використовують захисні флюси №4-6

(табл. 1.1.). Після уведення усіх компонентів сплав рафінують флюсами №8 або №9, скачують шлак і заливають форми при температурі 660...770°C в залежності від товщини стінок виливка.

Для подрібнення структури застосовують модифікування. Доевтектичні та заевтектичні сплави АЛІ2, АЛІ4, АЛІ9, АК9 та інші модифікують натрієм, але чистий натрій має високу хімічну активність і низьку температуру кипіння, а тому застосовують не натрій, а суміш натрієвих солей: 67% NaF і 33% NaCl або 62,5% NaCl, 25% NaF і 12,5% KCl. Модифікатор додають при температурах 750...820°C на поверхню розплаву. Для прискорення процесу розплав перемішують. У результаті реакцій, що протікають у розплаві, виділяється натрій, що модифікує розплав. Після закінчення модифікування шлак згущують добавками фторидів та хлоридів натрію і видаляють. Ефект модифікування зберігається 20...30 хв. З метою збереження ефекту модифікування на більший час розплав модифікують стронцієм, ітрієм, сурьмою. Це дозволяє зберігати ефект модифікування до 2... 3 год.

Для модифікування заевтектичних силумінів можна використовувати лігатуру Cu-P (9...11% P) у кількості 0,05. ..0,1% або суміш з 20% червоного фосфору, 10% K₂ZrF₆ і 10% KCl у кількості 1,5. ..2%.

Після рафінування і модифікування сплав розливають у форми. Перед розливанням у форми заливають пробу для визначення якості металу. Крупно-кристалічний злом проби і присутність пористості свідчать про те, що метал перегріто, що він окислений і недостатньо рафінований та модифікований.

1.4. Водень в алюмінієвих сплавах

1.4.1. Розчинність водню в алюмінії

Водень є єдиним газом, який помітно розчиняється в алюмінії і його сплавах. Його розчинність змінюється пропорційно величині температури і кореню квадратному з тиску. Як показано на рис. 1.4, розчинність водню в рідкому алюмінії значно вище, ніж в твердому: 0,65 і 0,034 мл / 100 г, відповідно. Ці величини незначно змінюються в залежності від хімічного складу сплавів. При охолодженні і затвердінні розплавленого алюмінію з вмістом водню значно вище, ніж його розчинність в твердому стані, він (водень) може виділитися в молекулярній формі, що призведе до утворення первинних або вторинних пор [9, 10].

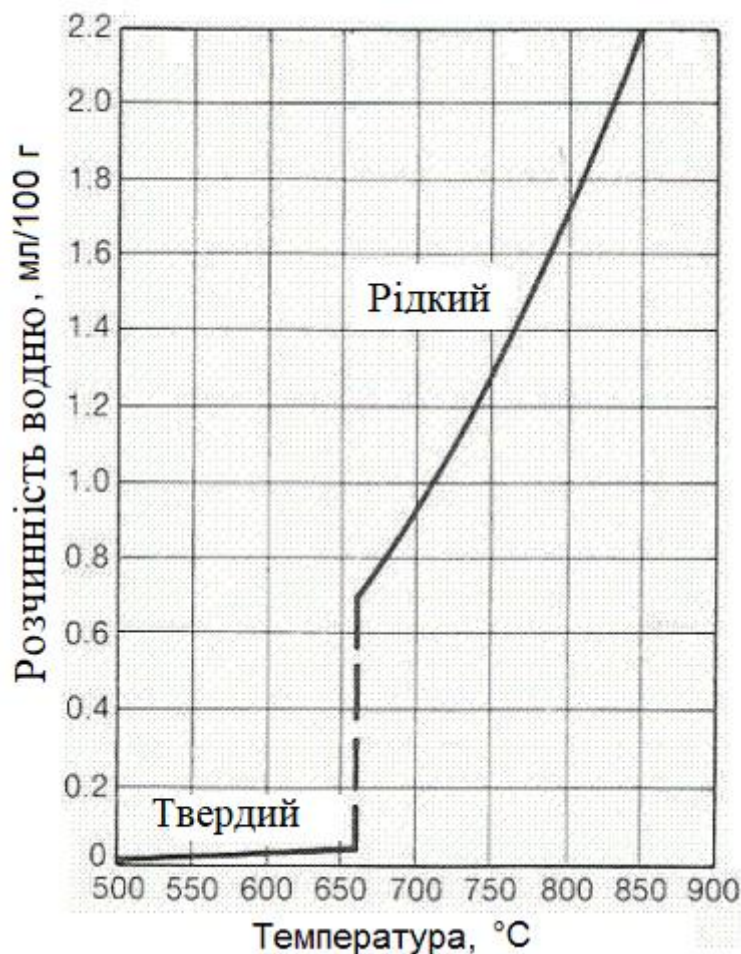


Рис. 1.4 – Розчинність водню в алюмінії

1.4.2. Воднева пористість алюмінію

Утворення бульбашок водню в алюмінії значно залежить від швидкості охолодження і затвердіння, а також від наявності центрів кристалізації для виділення водню, таких як захоплені всередину розплаву оксиди. Тому для утворення пористості потрібно значне перевищення вмісту розчиненого водню в порівнянні з розчинністю водню в твердому алюмінії. При відсутності центрів кристалізації для виділення водню потрібно відносно висока його концентрація - близько 0,30 мл / 100 г. У багатьох промислових сплавах пористість не виявляється і при такому досить високому вмісті водню, як 0,15 мл/100 г.

1.4.3. Водень в алюмінієвих виливках

Розміщення водню в твердому алюмінії залежить від рівня його вмісту в рідкому алюмінії і умов, при яких відбувалося затвердіння. Оскільки наявність водневої пористості є результатом механізмів зародження і зростання, які контролюються дифузією, то зниження концентрації водню і збільшення швидкості затвердіння пригнічують зародження і зростання пор. З цієї причини виливки, виготовлені в методом лиття в роз'ємний кокіль, більш схильні до дефектів, пов'язаних з воднем, ніж виливки, які виготовляли, наприклад методам лиття під тиском.

1.4.4. Джерела водню в алюмінії

Водень потрапляє в алюміній з багатьох джерел, включаючи атмосферу печі, шихтові матеріали, флюси, плавильні інструменти та реакції між розплавленим алюмінієм і ливарної формою.

Атмосфера печі. Якщо плавильна піч працює на природному газі або, скажімо, на мазуті, то можливо неповне згоряння палива з утворенням вільного водню.

Шихтові матеріали. Зливки, брукт, ливарні відходи можуть містити оксиди, продукти корозії, пісок, а також мастила, які застосовуються при механічній обробці. Всі ці забруднювачі є потенційними джерелами водню, який утворюється при відновленні органічних речовин або хімічному розкладанні парів води.

Флюси. Більшість флюсів - це солі, які є гігроскопічними, тобто готовими «із задоволенням» вбирати вологу. Тому вологий флюс неминуче вносить в розплав водень, який утворюється при хімічному розкладанні води.

Плавильні інструменти. Плавильні інструменти, такі як піки, скребки та лопати теж можуть бути джерелом водню, якщо не підтримувати їх чистими. Оксиди і залишки флюсів на таких інструментах є особливо «хитрими» джерелами забруднення, так як вони вбирають вологу прямо з навколишнього повітря. Пічні вогнетриви, жолоби і розподільні канали, вапняні і цементні розчини, ковші для відбору проб - всі вони є потенційними джерелами водню, особливо якщо вони недостатньо висушені.

Взаємодія між рідким алюмінієм і ливарної формою. Якщо в процесі заповнення ливарної форми рідкий метал тече надмірно турбулентно, то він може захоплювати повітря в її внутрішню порожнину. Якщо повітря не зможе або не встигне вийти звідти до початку затвердіння, то станеться потрапляння водню в метал. Причиною захоплення повітря може бути також неправильно виконані живильники ливарної форми. Ще одним джерелом водню є надмірно вологі піщані ливарні форми.

1.4.5. Реакція алюмінію з воднем

Вважається, що алюміній, як і більшість металів не реагує безпосередньо з воднем. Зазвичай метали утворюють сполуки, шляхом втрати електронів, які приймаються іншими елементами. Водень теж утворює сполуки, втрачаючи електрони (або ділячись електронами). Тому атоми водню не приймають електрони, які віддають метали для утворення сполук. Тільки деякі дуже реактивні метали, такі як натрій, калій, кальцій і магній можуть «примушувати» атоми водню прийняти їх електрони з утворенням твердих іонних сполук, які називають гідридами цих металів.

Для прямого синтезу гідриду алюмінію з водню і алюмінію потрібен дуже високий тиск і температура вище 800 К. Між тим таке з'єднання як гідрид алюмінію існує. Гідрид алюмінію - це нестабільне з'єднання, яке легко розкладається при температурі вище 100 °С. Його отримують не прямим шляхом, а в результаті реакцій інших з'єднань.

В даній кваліфікаційній роботі вивчається одна з важливих складових технологічного процесу виготовлення виливка корпусу насоса НШ50, а саме – приготування алюмінієвого розплаву для заливки в кокіль. Метою та завданням кваліфікаційної роботи є вивчення і дослідження технології рафінування алюмінієвого сплаву в магнітодинамічній установці із застосуванням продувки сплаву аргоном для зменшення вмісту водню; розробка технології лиття корпусу насоса НШ50 в кокілі; розрахунок основних електричних параметрів магнітодинамічної установки і необхідної кількості аргону при одно- і двозмінному режимі роботи ливарного цеху.

Розділ 2. Технологія виготовлення виливка корпусу насоса НШ50 в коклі

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок

Деталь – корпус гідравлічного шестеренчастого насоса НШ-50УК-3-00-02 (Рис. 2.1) [креслення ПМ-131.24.03.02.01.00.00] виготовляється литтям у кокіль із алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 (АЛ8), допускається виготовлення із сплаву АК5М2 (АЛ9) по ДСТУ 2839-05, хімічний склад яких приведений в табл. 2.1. Відливки IX по ДСТУ 3015-05 класу точності, точність відливка 9-0-0-0-8 ДСТУ 26645-05. Різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по роз'єму до 1,5 мм. Ливарні уклони-3°, ливарні радіуси-3 мм. Загальна пористість повинна бути не вище еталона №2 шкали пористості по ДСТУ 2839-05.

Корпус має досить складну конфігурацію ззовні і у внутрішній порожнині. Бокові поверхні мають плоску форму, а торцеві – форму двох циліндрів, що перетинаються між собою. У верхній частині відливка має форму двох конусів. Внутрішня поверхня відливка має складну конфігурацію, яка отримується за допомогою виступів на металевому стержні. В місцях, де не виконується механічна обробка, призначаються припуски, а обробка проводиться на внутрішніх і бокових поверхнях. На поверхнях, які є базовими не повинно бути раковин, заливів, неметалевих включень; вони повинні бути чистими. На деяких необроблюваних поверхнях відливка допускаються одиничні раковини, неметалеві включення. Габарити деталі 149x115x115 мм. Маса деталі – 2,9 кг. Твердість – 100...125 НВ.

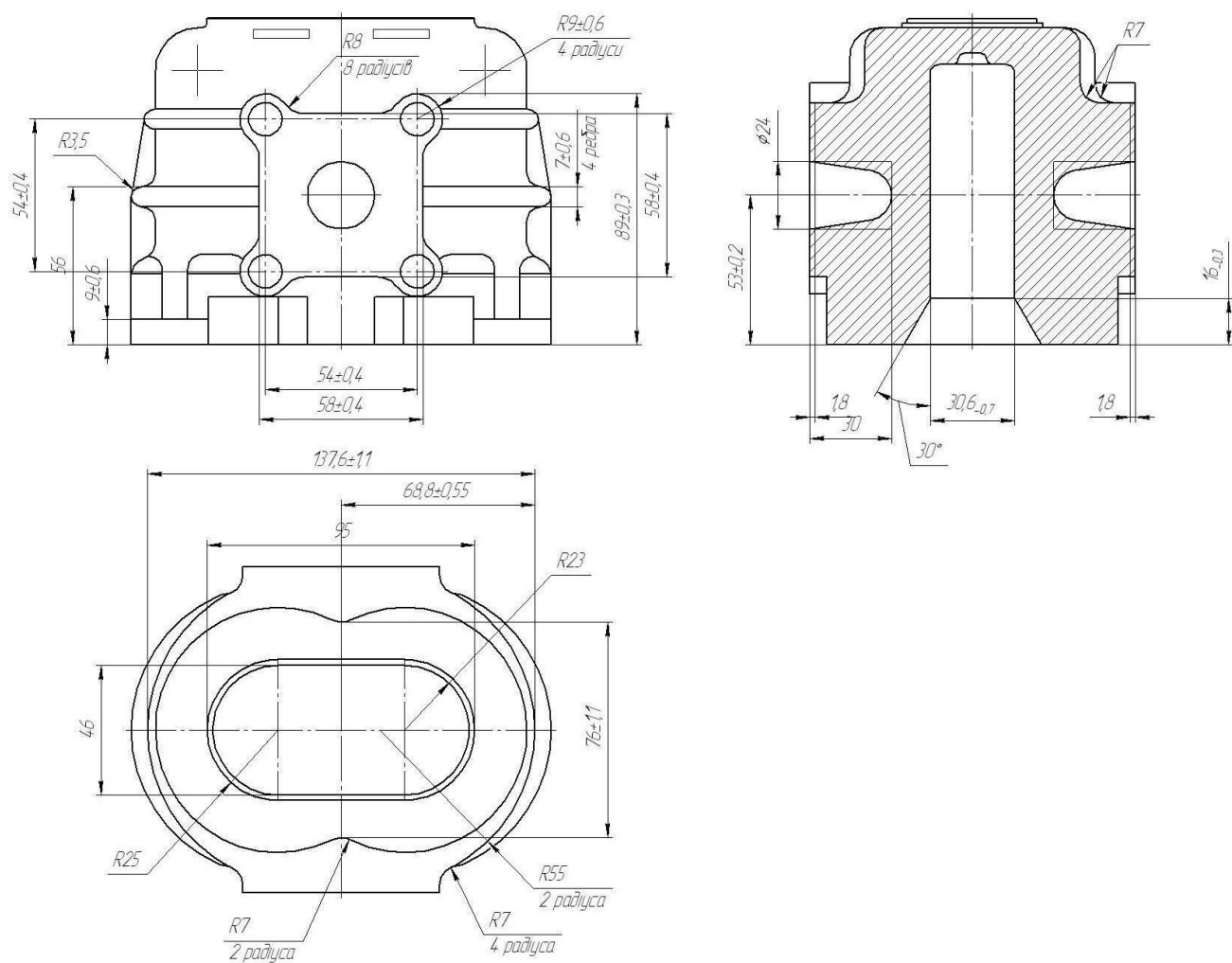


Рис. 2.1 – Виливок корпусу насоса НШ-50 УК-3-00-02

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.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплавів для виготовлення відливка

Сплав	Cu	Sn	Zn	Mg	Si	Mn	Fe	Ti
AK5M2Ц4	1,5-3,5	0	6,0-8,0	0,2-0,8	4,0-6,0	0,2-0,8	1,0-1,3	0,05-0,20
AK5M2	1,5-3,5	0	до 1,5	0,2-0,8	4,0-6,0	0,2-0,8	1,0-1,3	0,05-0,20

Механічні властивості цих сплавів приведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сплавів

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термообробки	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Твердість за Брінелем, НВ
Ак5М2Ц4	В кокіль	T5	196	0,5	80 – 115
AK5M2		T5	196	0,5	78 – 115

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

Перш ніж приступити до технологічного процесу виготовлення відливка потрібно проаналізувати і досконально вивчити його конструкцію та технологічні вимоги. Після того, як був виконаний аналіз, необхідно визначити положення відливка у формі в період заливки і затвердіння, поверхні роз'єму форми, встановити величину припусків на механічну обробку і усадку, радіуси закруглень і ливарні уклони [11].

2.2.1. Вибір поверхні роз'єму форми

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

- поверхня роз'єму повинна займати вертикальне положення;
- число поверхонь роз'єму повинно бути мінімальним;
- вибираючи роз'єм форми треба забезпечити зручність контролю розмірів форми;
- поверхня роз'єму повинна по можливості бути плоскою;
- роз'єм форми повинен бути таким, щоб не було підвісних стержнів, а головні стержні мали зручне розташування;

– роз’єм повинен бути вибраний так, щоб бази механічної обробки розташовувались в одній частині форми з оброблюваними поверхнями та не перетинались площиною роз’єму .

Проаналізувавши всі вимоги, вибираємо лінію роз’єму : вона має вертикальне розташування з однією поверхнею роз’єму по середині деталі, при якому не буде проблем з видаленням відливка із форми.

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

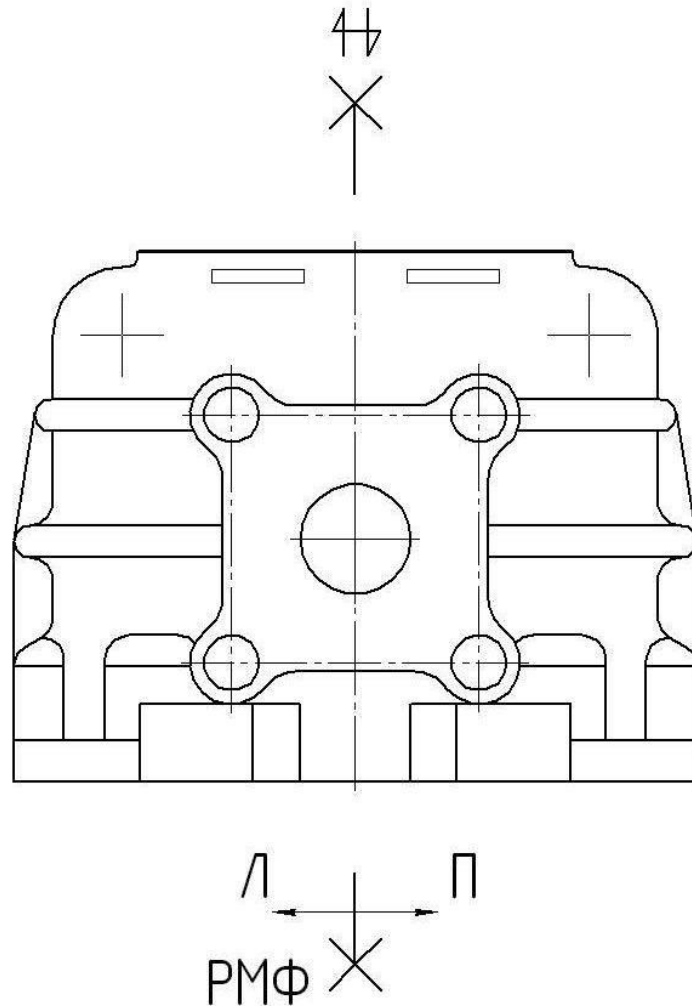


Рис. 2.2 – Поверхня роз’єму відливка

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку

Розміри відливків відраховують від розмірів готової форми на величину припуску на механічну обробку. Величина припусків вибирається від найбільшого розміру відливка, положення оброблюваної поверхні при заливці (зверху, знизу, збоку), способу отримання відливка, класу точності відливка.

Величина припуску на механічну обробку для відливків із алюмінієвих сплавів при литті в кокіль регламентується ДСТУ 26645-05. Припуски на механічну обробку для поверхонь зводимо у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Припуски механічну обробку відливків із алюмінієвих сплавів при литті в кокіль

Найбільший розмір	Положення при заливці	Найменший розмір
3	Верх	1,8
3	Низ	1,8
3	Збоку	1,8
3	Внутрішня поверхня	1,8

2.2.3. Вибір радіусів заокруглень та ливарних кутів

Радіуси заокруглень регламентовані ДСТУ 10948-05. На креслені вказані не всі значення заокруглень, але вони занесені в технічні вимоги на відливку, як і ливарні уклони:

- не вказані ливарні уклони – 3°;
- ливарні радіуси – 3 мм.

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 1,35%, а об'ємну – 4,06%.

2.2.5. Розробка креслень технологічно-ливарних вказівок

Креслення технологічно-ливарних вказівок розроблено на основі креслення деталі корпусу НШ 50УК-3-00-02. Технологічне креслення – це креслення з

технологічними зазначеннями у відповідності з ДСТУ 2.423-05. На кресленні деталі слід вказати:

- розташування відливка у формі в період заливки та тверднення;
- величину припуску на механічну обробку;
- розташування поверхонь моделі на формі;
- границі стержнів та зазори;
- місце установки, розміри елементів ливниково-живильної системи.

Розташування проєкції креслення відливки повинно відповідати положенню її при заливці форми металом. На кресленні відливка вказують величину припуску на механічну обробку. Отвори, які не виконують литтям, закреслюють суцільною лінією. На кресленні деталі відливка, відповідно ДСТУ, наносять елементи ливарної форми. Роз'єм відливка та форми показаний прямим відрізком, над яким проставляють літери РМФ. Всі елементи наносяться відповідно до ДСТУ 2423-05.

Припуски на механічну обробку зображуємо суцільною тонкою лінією, величину припуску вказують цифрою перед знаком шорсткості поверхні, або величиною уклону та ливарними розмірами.

Позначення шорсткості поверхні та правила нанесення їх на креслення відливка здійснюють згідно з ДСТУ 2309-05. Якщо шорсткість всіх поверхонь однакова, то вона повинна позначатись в правому верхньому куті креслення.

Зображення ливникової системи. підживлювача та нанесення розмірів виконують за ДСТУ 2423-05. Ливникову систему зображують на кресленні модельно-ливарних вказівок в масштабі креслення суцільною тонкою лінією. Площу перетину не елементів не штрихують, в кожному перетині елементів допускається вказувати площу перерізу (см²), кількість елементів, сумарну площу.

2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи

2.3.1. Основні положення при конструюванні ливниково-живильної системи

Ливниково-живильна система складається з послідовно з'єднаних каналів між собою, за допомогою яких рідкий метал підводять у порожнину ливарної форми. Зазвичай ливникова система складається з: ливникової чаші або воронки, стояка, шлаковловлювача та живильника. Живильник безпосередньо примикає до ливникової порожнини та повинен бути виконаний так, щоб живильник можна було б відокремлювати від відливка не пошкоджуючи його.

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 доверху та поверхня відливка стає більш чистою та гладкою. Прийнята система називається сифонною і широко використовується для відливків із алюмінієвих сплавів.

2.3.3. Тип ливникової системи

Конструкцію ливникової системи вибираємо типову: розширювальну, сифонну, горизонтальну з похилим стояком (рис. 2.3).

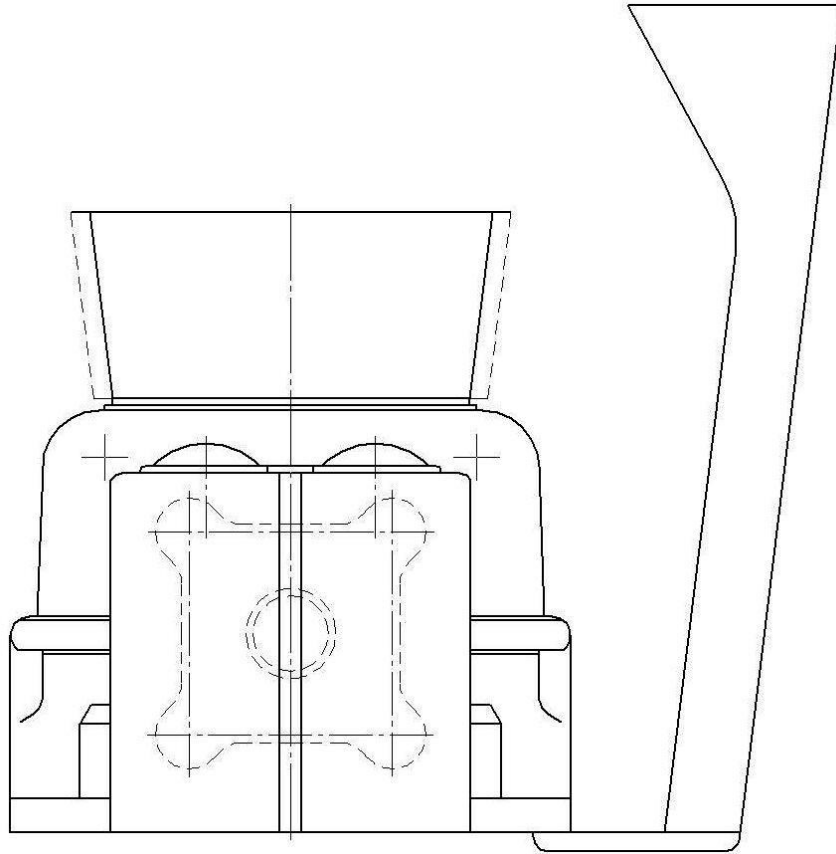


Рис. 2.3 – Конструкція ливникової системи

2.3.4. Розрахунок конструкції підживлювача

Основне призначення підживлювача попередити утворення раковини та пор у відливці, перевести усадочні раковини з робочої частини в підживлювач. Підживлювач встановлюють в тих частинах, які під час технологічного процесу тверднуть останніми. В проектному відливку підживлювач раціонально встановити у 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, $x_{\varepsilon} = 9 \dots 12$;

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

V_n - необхідний об'єм підживлювача.

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

де β - коефіцієнт $\beta=0,035\dots0,08$;

$k=0,25$;

$V_{\text{відл.}}$ - об'єм відливка $V_{\text{відл.}}=1075 \text{ см}^3$.

$$V_n = \frac{0,035}{0,25} \cdot 1075 = 150 \text{ см}^3$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{10,5}{9,5} \cdot 150} = 55 \text{ мм}$$

Ширина підживлювача розраховується за формулою:

$$L = H \cdot (1,7\dots1,9) = 93,5\dots104,5 \text{ мм}$$

Приймаємо підживлювач розміри якого вказані на рис. 2.4.

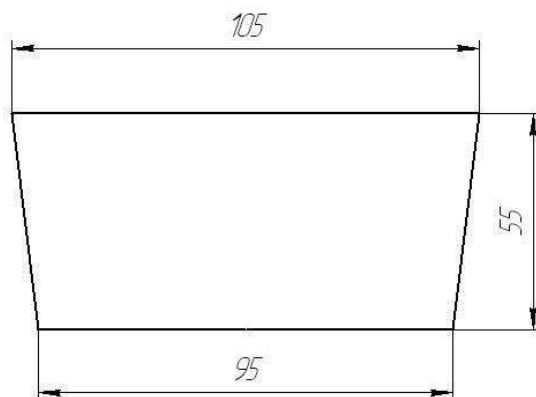


Рис. 2.4 – Схема з розмірами підживлювача

2.3.5. Розрахунок ливникової системи кокіля

Розміри елементів ливникової системи для відливок із алюмінієвих сплавів визначають виходячи із положень:

- значення критерію Рейнольдса Re для різних елементів ливникової системи не повинно перевищувати гарантуючих 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 відливків швидкість руху розплаву повинна знижуватись від перерізу стояка до живильника. Тому для відливків із алюмінієвих сплавів застосовують розширювальні ливникові системи зі співвідношенням:

$$F_{ст}:F_{к}:F_{жс} = 1:2:3, \quad (2.3)$$

де $F_{ст}$, $F_{к}$, $F_{жс}$ - площі поперечного перерізу стояка, колектора, живильника відповідно.

Для визначення середнього значення мінімальної швидкості підйому металу у формі u_{ϕ} використовують різні теоретичні та експериментальні залежності.

Досить точною є залежність:

$$u_{\phi} = (3,0 \dots 4,2)l_0, \quad (2.4)$$

де u_{ϕ} - початкова швидкість підйому розплаву у формі, см/с

l_0 - характерна товщина стінки відливка, см.

При литті мілких та середніх відливок в кокіль площа поперечного перерізу стояка визначається за формулою:

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

де G - вага відливка, г, $G=2900$ г;

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

H_0 - висота відливка, см, $H_0=11,5$ см;

l_0 - характерна товщина стінки відливка, см, $l_0=2,5$ 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, $\mu=0,65...0,75$ (для нижнього підводу металу);

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

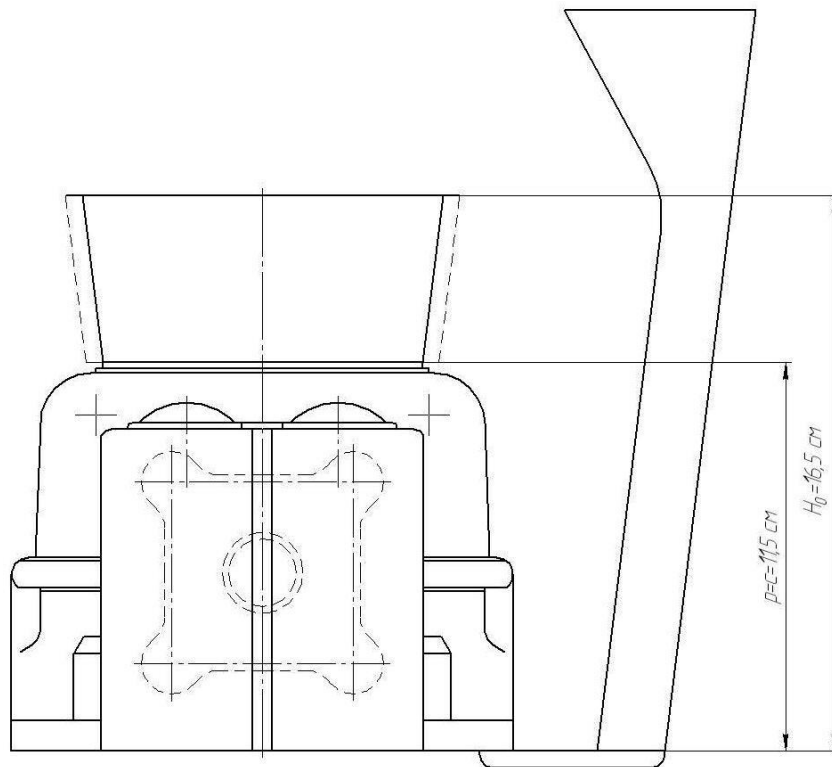


Рис. 2.5 – Схема до розрахунку статичного напору

$$H_p = 16,5 - \frac{11,5^2}{2 \cdot 11,5} = 10,75 \text{ см}$$

$$u_c = 0,70 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 10,75} = 102 \text{ см/с}$$

$$F_{\text{нб}} = \frac{(3,0 \dots 4,2) \cdot 2900}{2,7 \cdot 11,5 \cdot 2,5 \cdot 102} = 1,02 \dots 1,54 \text{ см}^2$$

Приймаємо $F_{\text{ст}} = 1,60 \text{ см}^2$, тоді $F_{\text{жс}} = 3,20 \text{ см}^2$ (в нашому випадку ливникова система складається зі стояка та живильника).

Стояк приймаємо прямокутного перерізу з закругленими краям. Ширина стояка – 8 мм, тоді його довжину приймемо – 22 мм.

Живильників приймаємо два, для підводу металу в ліву та праву напівформи одночасно. Переріз живильника – прямокутний, ширина – 8 мм, довжина – 20 мм.

Перерізи елементів ливникової системи показано на рис. 2.6.

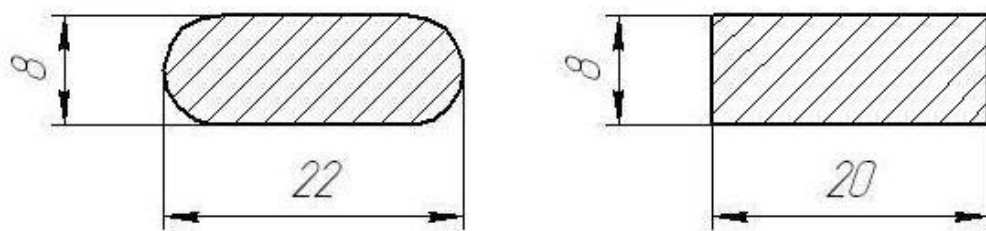


Рис. 2.6 – Перерізи елементів ливникової системи

2.4. Процес виготовлення виливка

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.

1. Відливок корпус НШ-50УК-3-00-02 виготовляється в кокіль, який монтується на автоматизований чотирьопозиційний кокільний верстат 4997К, технічна характеристика якої приведена в розділі 1, кокіль монтується на штоки бокових гідроциліндрів та на направляючі. Також вмонтовані стержні Напівформа та кокіль в зборі показані на рис. 2.7, 2.8 відповідно.

2. Після збирання кокілю проводиться його розігрів до температури 250...300 °С за допомогою пальника.

3. На розігрітий кокіль наноситься фарба CILLOLIN AL 223 пульверизатором. Протипригарна теплоізолююча фарба у вигляді порошку. Матеріал виготовлення фарби - оксидна кераміка і графіт. Для нанесення фарби на кокіль необхідно розвести її водою в пропорції 1:5. Фарбу наносити в два етапи з просушуванням після нанесення першого шару на протязі 2-3 хв. Рекомендований шар фарби - 0,2 мм. В процесі роботи в разі потреби проводити повторне фарбування.

4. Після просушування кокілю, за допомогою гідроприводу машини, кокіль закривається і встановлюються в необхідне положення стержні. Можна проводити заливку металу,

5. Метал – алюмінієвий сплав АК5М2Ц4 (хімічний склад, механічні властивості вказані таблицях 2.1, 2.2), Температура заливки сплаву 720 °С. Сплав заливається в форму ковшем ємністю 10 кг.

6. Після охолодження і повного затвердіння відливка, за допомогою гідроприводу видаляються стержні з і кокіль розкривається.

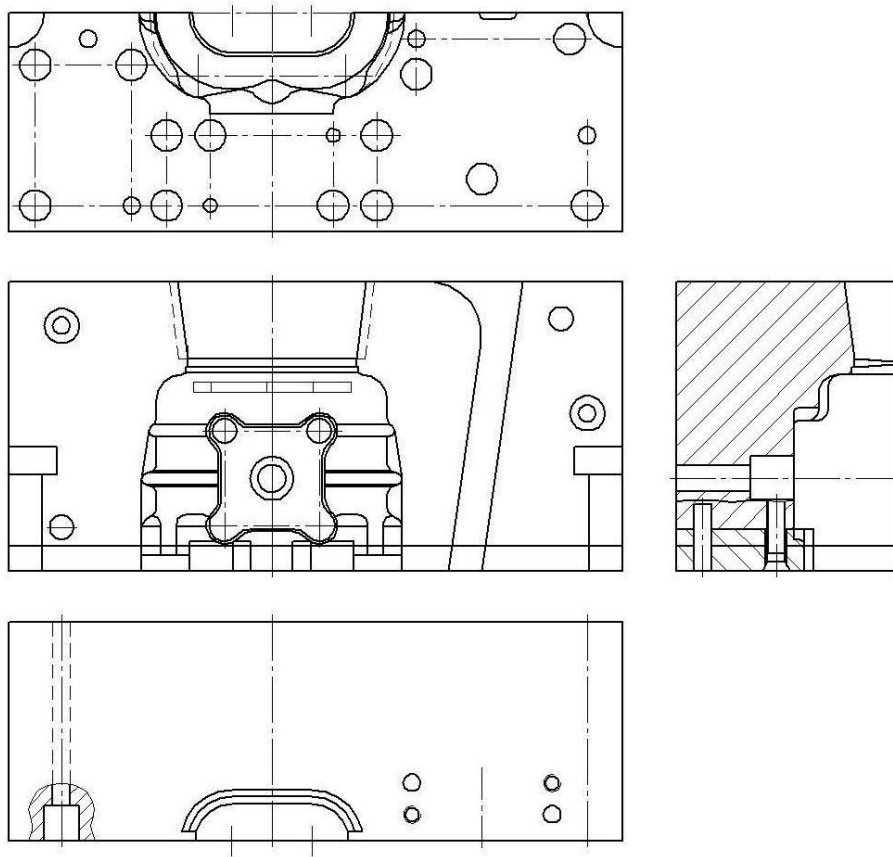


Рис. 2.7 – Напівформа кокля

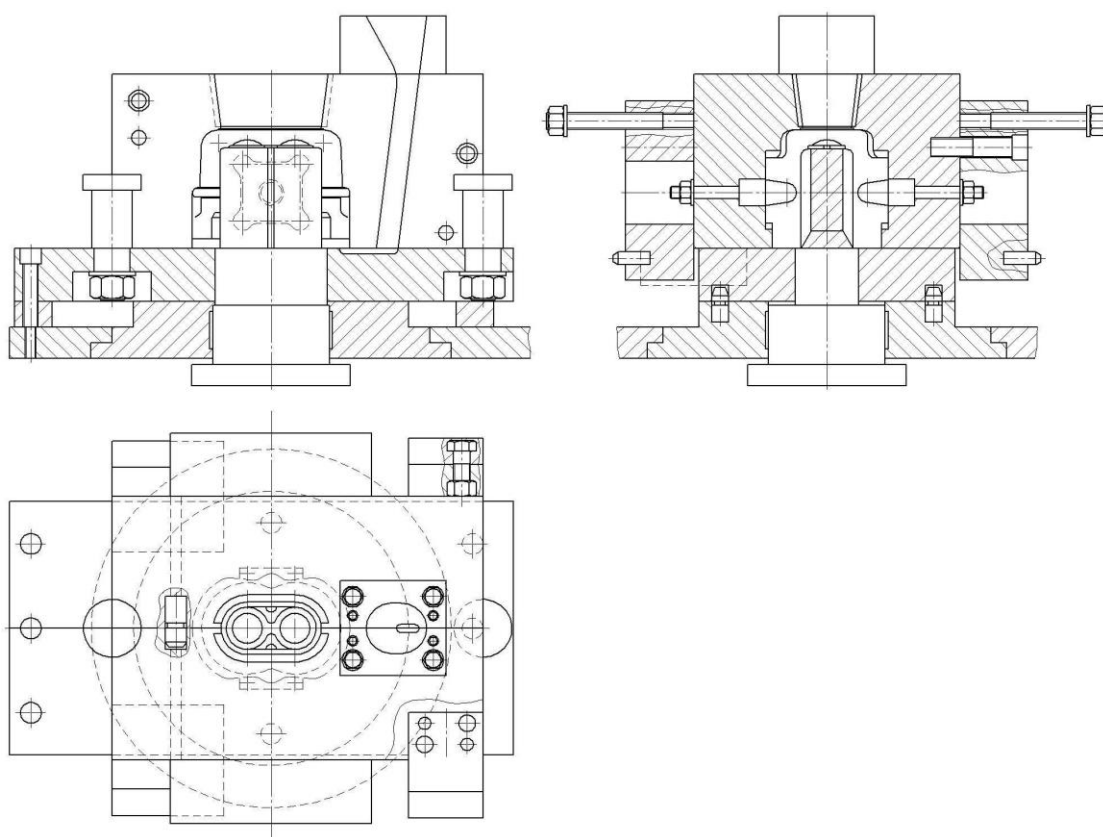


Рис. 2.8 – Кокіль в зборі

7. Відливок знімають з кокілю захопивши кліщами за підживлювач і скидають у тару. Після заповнення тари вона транспортується цеховим транспортом на очисну дільницю.

8. На очисній дільниці відливки цеховим транспортом подаються на робоче місце біля стрічковийного верстата для відділення підживлювачів. Залишок від підживлювача допускається висотою до 3 мм.

9. Після очистки відливки подаються цеховим транспортом на естакаду очисної дільниці для пред'явлення ВМТК. Контроль відливків вибірковий. Контролюються такі параметри:

- твердість (75...115 НВ) заміряється в частині підживлювача по центру відливка на приладі ТШ-2 при діаметрі шарика 10 мм навантажені 1000 кгс та витримці 30 с;
- візуальний огляд відливків для виявлення видимих дефектів (допускаються різні дефекти на поверхнях, що оброблюються, але не більше 2/3 припуску на механічну обробку);
- заміряються базові розміри;

10. Відливок перевіряється на герметичність на спеціальних випробувальних гідравлічних стендах.

2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення

Кокіль для виготовлення відливків корпус НШ-50УК-3-00-02 виготовляється литтям з сірого чавуну марки СЧ20. Для покращення властивостей чавуну його легують такими елементами: Cu - 1 %, V - 0,5 %, Ti - 0,1 %, Sn – 0.2 %, Al- 3 %. Легуючі елементи вводяться в ківш. Після виготовлення відливка проводиться механічна обробка формують поверхонь кокілю. Кокіль виготовляється без підживлювальної частини, ця частина виготовляється з нелегованого сірого чавуну марки СЧ 20 шляхом механічної обробки заготовки. Частина підживлювача прикріплюється болтами до кокіля.

Кокіль має ребра жорсткості для зменшення металоємкості і ваги. Основа кокілю виготовляється з чавуну СЧ 20 того ж складу, що і кокіль.

Стержні мають округлу форму виготовляються шляхом механічної обробки круглої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ДСТУ 1050-05.

Плоскі стержні виготовляються шляхом механічної обробки плоских заготовок. Контактуючі поверхні з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ДСТУ 1050-05.

Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ДСТУ 1050-05.

Всі стержні піддаються термообробці - азотування, товщиною $h=0,05$ мм (HRC 30...35).

2.6. Аналіз ливникової системи

При виготовленні відливка НШ-50 УК-3-00-02 основними видами браку можуть бути: газові раковини, газова пористість в підживлювальній частині а також неметалеві включення.

Утворення зазначених дефектів залежить від режимів заповнення форми, конструкції ливникової системи, якості шихтових матеріалів та застосування якісних фарб для покриття робочої порожнини, забезпечення вільного видалення газів з ливарної порожнини під час заливки і кристалізації.

Неметалеві включення є одним із самих розповсюджених дефектів, а їх усунення однією із найважливіших задач.

Причини утворення неметалевих включень: турбулентний рух розплаву по каналах ливникової форми, інжекція повітря та газів через роз'єм форми; проникнення (з заливального ковша завжди присутніх в розплаві оксидів та інших сполук.

Таким чином, не правильно спроектована ливникова система утворює турбулентний рух (великий переріз стояка), каскадне скидання розплаву (щілинний високий живильник).

Газова пористість під підживлювачем є наслідком недостатнього живлення верхньої частини відливка (недостатній об'єм існуючого підживлювача).

Отже, режим заповнення форми розплавом слід регулювати таким чином, щоб відбувалося плавне заповнення робочої порожнини форми і щоб в неї не надходило повітря, захват газів при плавці та розливі.

Таким чином, ливникова система даної конструкції і основними розмірами її елементів забезпечує режим заповнення форми розплавом, а саме виконується умова:

$$v_{\phi} > v_{\phi \min}, \quad (2.7)$$

де v_{ϕ} - середня швидкість підйому розплаву у формі, м/с;

$v_{\phi \min}$ - мінімально допустима швидкість підйому розплаву у формі, м/с.

Тобто

$$10,4 \text{ м/с} > 0,54 \text{ м/с}$$

Ламінарний потік забезпечується розмірами ливникової системи і її конструкцією.

Розділ 3. Технологія рафінування алюмінієвих сплавів продувкою аргоном і фільтрацією у магнітодинамічній установці МДН-6А

3.1. Основи магнітодинімічних технологій та обладнання для обробки і рафінування ливарних алюмінієвих сплавів

Магнітодинамічне обладнання, будучи розвитком конструкцій індукційних каналних печей і електромагнітних насосів, разом з тим унікальне і не має прямих аналогів в світі серед електротехнологічного обладнання того ж призначення. Конструкцію і принцип дії магнітодинамічних пристроїв можна розглянути на прикладі двох найбільш розповсюджених типів такого обладнання – магнітодинамічного насоса МДН-3 і магнітодинамічної установки МДН-6 [12].

Магнітодинамічні насоси є пристроями, що забезпечують транспортування рідкого металу по закритим трубопроводам та компенсацію тепловтрат розплаву.

При подачі напруги на обмотки індуктора 3 (рис. 3.1) і електромагніту 7 насоса МДН-3 в робочій зоні 1 створюється електромагнітна сила F , що забезпечує рух рідкого металу v .

Електромагнітна сила F генерується відповідно до правила лівої руки за рахунок взаємодії індуктуємого індуктором електричного струму I в рідкому металі, що знаходиться в індукційному каналі 2, з зовнішнім магнітним полем Φ , створюваним електромагнітною системою електромагніту 6, 7.

Магнітодинамічна установка МДН-6 (рис. 3.2) являє собою раздаточну каналну індукційну електропеч, поєднану з електромагнітним насосом.

Тигель 1 установки сполучений з з'єднаними між собою центральним каналом 7 і бічними каналами 4 і 8. Канали 4 і 8 охоплені індукторами, що складаються з замкнутих магнітопроводів 2 з обмотками 3. Ділянка з'єднання каналів 4, 7, 8 називається «робочою зоною» і знаходиться в міжполюсному зазорі електромагніту, що представляє собою С-подібний розімкнутий магнітопровід 5 з обмотками 6. Центральний канал 7 сполучений зі зйомник металопроводом 9. Тигель 1 закривається кришкою. Роздільне управління електромагнітними системами

дозволяє незалежно регулювати головні параметри процесу - масову швидкість при заливці і температуру металу. Електричний струм індуктує в розплаві відповідно до закону Ома:

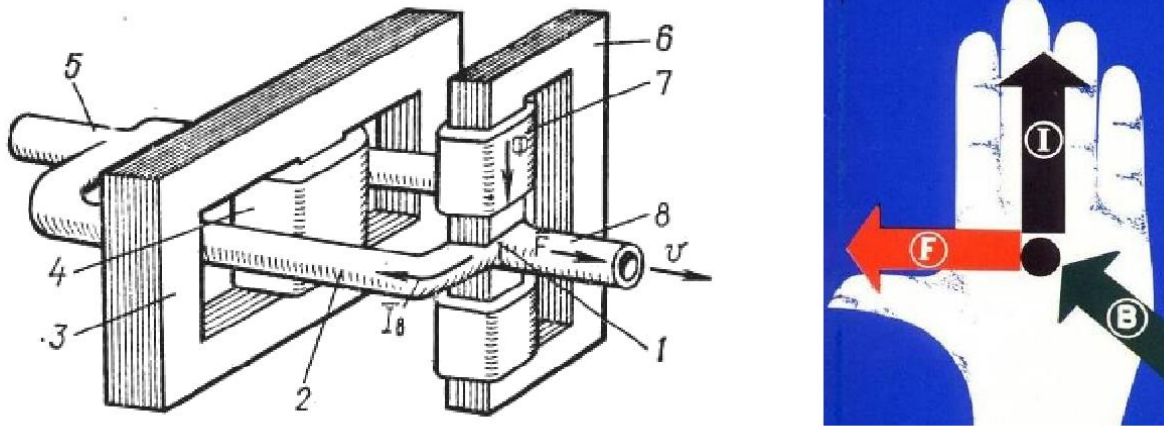


Рис. 3.1 – Магнітодинамічний насос МДН-3 і створення електромагнітної сили в розплаві:

- 1 - робоча зона (ділянка перетину каналів); 2 - індукційний канал;
- 3, 4 - відповідно магнітопровід і обмотка індуктора;
- 5 - підвідний металопровода;
- 6, 7 - відповідно магнітопровід і обмотка електромагніту; 8 - відвідний металопровіда;
- I - електричний струм в індукційному каналі (витку рідкого металу);
- Φ - магнітний потік, створюваний електромагнітом;
- F - результуюча електромагнітна сила;
- v - напрямок руху металу під дією результуючої електромагнітної сили

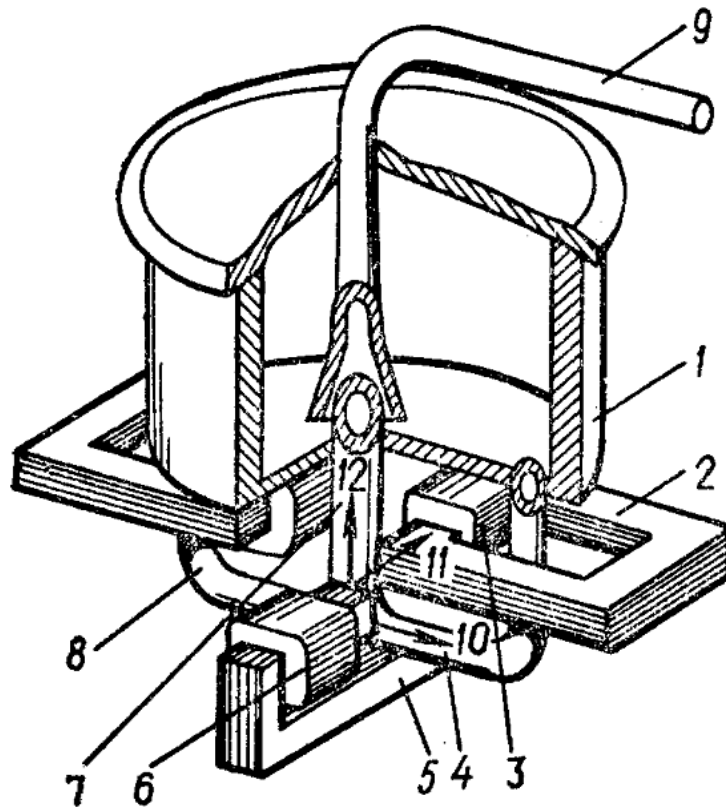


Рис. 3.2 – Магнітодинамічна установка МДН-6 і принцип її роботи:

- 1 - тигель; 2 - магнітопровід індуктора; 3 - обмотка індуктора;
 4 і 8 - бічні канали; 5 - магнітопровід електромагніта;
 6 - обмотка електромагніту; 7 - центральний канал;
 9 - зйомний металопровід; 10 - напрямок електричного струму;
 11 - напрямок магнітного поля; 12 - напрямок електромагнітної сили

$$J = \sigma(E + v \cdot B), A/m^2, \quad (3.1)$$

де j - щільність електричного струму в речовині, А/м; σ - електрична провідність середовища, См; E - напруженість електричного поля, В/м; v - швидкість руху речовини, м/с; B - індукція магнітного поля, Тл.

Нагрівання розплаву в магнітодинамічній установці відбувається згідно закону Джоуля-Ленца при проходженні через рідкий метал в каналах електротричних струму, збудженого індукційним шляхом:

$$q = J \cdot (E + v \cdot B) \quad (3.2)$$

або

$$Q = I_g^2 \cdot R \cdot \tau \quad (3.3)$$

де q і Q - тепловиділення в розплаві, Дж; I - електричний струм, А; R - опір, Ом; τ - час, с.

Ця особливість характерна для всіх індукційних пристроїв, проте принциповою відмінністю магнітодинамічних установок є наявність додаткової електромагнітної системи. Ця система створює в робочій зоні змінне магнітне поле, при взаємодії якого зі змінним електричним струмом, в каналі в розплаві виникає об'ємна однонаправленна пульсуюча електромагнітна сила:

$$F = \frac{B \cdot I \cdot L}{V} \cos \alpha, \quad (3.4)$$

де V - об'єм робочої зони, м; L - довжина ділянки накладення на провідник зі струмом зовнішнього магнітного поля (фактично довжина робочої зони), м; α - кут зсуву фаз між електричним струмом і магнітним полем.

Електромагнітний тиск, що розвивається в магнітодинамічних установках визначається так:

$$p = [J \cdot B] \cdot L \cdot \cos \alpha, \quad (3.5)$$

або

$$p = \frac{B \cdot I \cdot L}{S} \cos \alpha, \quad (3.6)$$

де S - площа робочої зони в напрямку дії магнітного поля, м.

Під дією цієї сили метал починає рухатися, причому характер, інтенсивність і напрямок переміщення розплаву залежать від параметрів включення індукторів і електромагніту установки. На практиці реалізується широкий діапазон руху металу: від різних режимів циркуляції в системі «канал - тигель» установки до електромагнітного розливання металу з заданими температурними і витратними параметрами.

3.2. Управління процесами тепломасопереносу у металевих розплавах за допомогою магнітодинамічних пристроїв

Електромагнітні і МГД впливи на рідкий метал, які реалізуються в магнітодинамічних агрегатах, подібні до тих, які спостерігаються в звичайних індукційних каналних печах (ІКП), проте в МДУ вони більш контрольовані в порівнянні з традиційними ІКП і можуть бути посилені і використані в позитивному аспекті для силового впливу на рідкометалеві системи.

Параметри обробки рідких алюмінієвих сплавів в робочій зоні магнітодинамічної установки МДН-6А приведено у табл. 3.1.

Залежно від напрямку індукційного струму в металі в каналі магнітодинамічного міксера-дозатора при різних варіантах включення індукторів і магнітного поля, яке генерується в робочій зоні електромагнітом, можуть бути реалізовані різні режими течії розплаву, обумовлені дією електромагнітних сил.

Таким чином, в магнітодинамічному міксері-дозаторі можна незалежно керувати тепловими і гідродинамічними факторами. Зокрема, температуру металу можна регулювати за рахунок зміни підведеної до індукторів потужності та інтенсивної примусової циркуляції розплаву через канал (основну зону тепловиділення).

Таблиця 3.1 – Параметри обробки рідких алюмінієвих сплавів в робочій зоні магнітодинамічної установки МДН-6А

№ п/п	Параметр	Величина	Примітка
1	Розміри робочої зони (довжина, ширина, висота), м	0,2×0,1×0,03	Розташована у місці сполучення бокових і центральної гілок індукційного каналу
2	Густина електричного струму, А/м ²	до 20·10 ⁶	Збуджується індуктором
3	Індукція зовнішнього магнітного поля, Тл	до 0,3	Створюється електромагнітом
4	Об'ємна електромагнітна сила, Н/м ³	(20...60)·10 ⁵	Генерується при взаємодії електричного струму в каналі і зовнішнього магнітного поля
5	Електромагнітний тиск, Па	(2.5...3)·10 ⁴	Має пульсаційний характер
6	Швидкість руху розплаву, м/с	до 5	Обумовлена постійною складовою електромагнітного тиску
7	Вібрація розплаву, Гц	100	Обумовлена змінною складовою електромагнітного тиску

Інтенсивність і напрям циркуляції розплаву в системі «канал-тигель-канал» можна змінювати за рахунок варіювання величиною і направленням електромагнітної сили. При цьому управління перемішуванням металевого розплаву в тиглі ініціюється затопленим струменем, що надходить з каналу.

Висока ефективність тепломасопереносу в МДН підтверджується також досвідом експлуатації промислових установок. Примусова циркуляція металу усуває утворення застійних зон навіть у тих випадках, коли ванна розташована несиметрично щодо каналу, як, наприклад, в заливочній установці для чавуну.

Природна ліквідація в рідких металах обумовлена флуктуаційної неоднорідністю сплавів або наявністю в них твердих домішок (наприклад, неметалеих включень), зазвичай протікає досить повільно, і швидкість перемішування металу є на порядок вище швидкості ліквідації, що забезпечує високу гомогенність металу. Це не стосується емульсій або суспензій, які містять порівняно великі частки, які різко відрізняються від основного металу за густиною. Такими, наприклад, є сплави системи алюміній - свинець, для гомогенізації яких необхідно застосовувати інтенсивне перемішування.

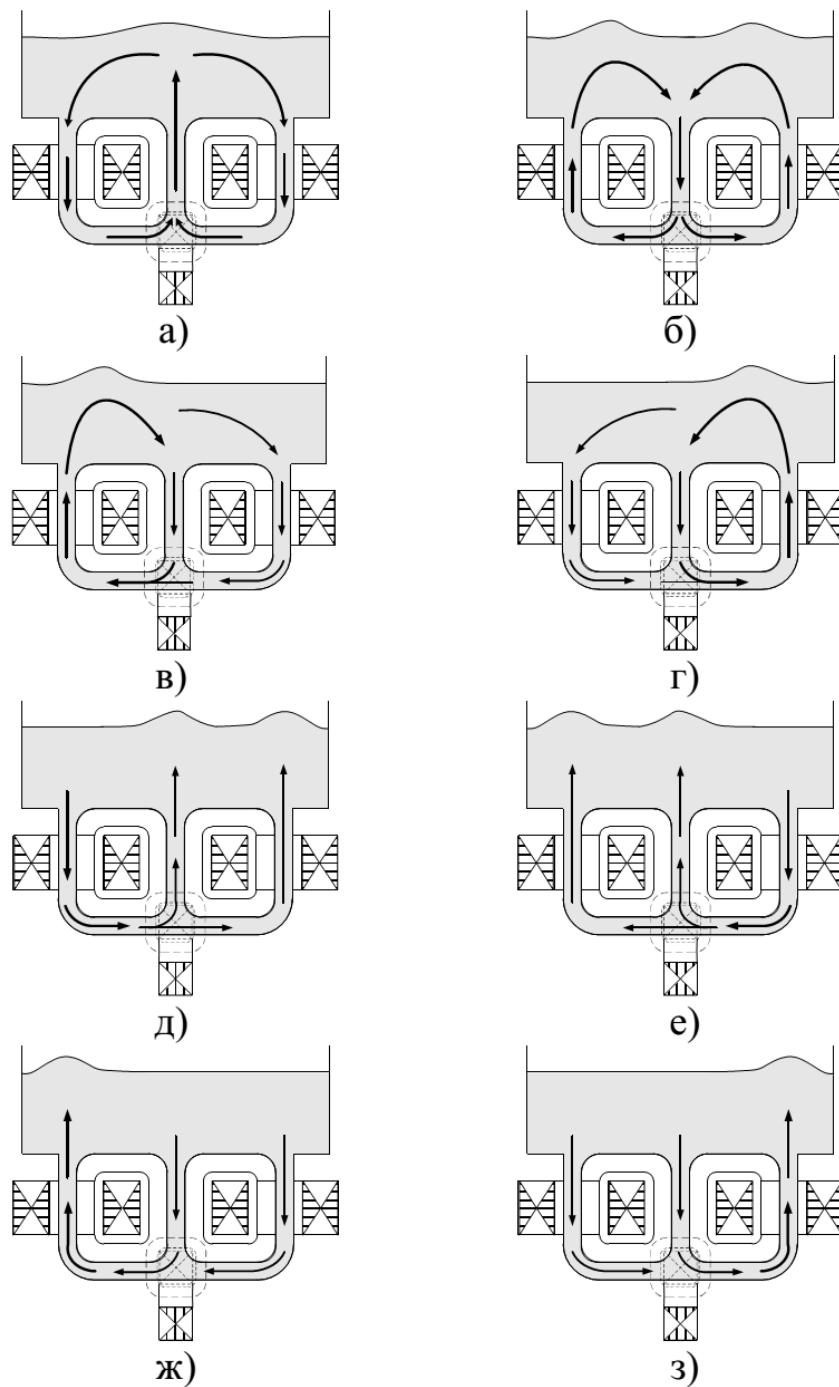


Рис. 3.3 – Схеми циркуляції розплаву
в магнітодинамічній установці МДН-6А:

- а) - режим нагнітання; б) - режим всмоктування;
- в), г) - режими бокового перемішування;
- в) - створення затопленого струменя, що тече з лівої гілки каналу;
- г) - створення затопленого струменя, що тече з правої гілки каналу;
- д) - з) - комбіновані режими перемішування;
- (д) - нагнітання з боковим перемішуванням; е) - режим дзеркально симетричний режиму д);
- ж) - всмоктування з боковим перемішуванням;
- з) - режим, дзеркально симетричний режиму ж).

Важливою обставиною є те, що циркуляція металу здійснюється в замкнутому контурі «канал-тигель-канал» і відповідно розплав може багаторазово проходити через реакційну зону або фільтри, які встановлені в гирлах каналів. Ініційовані з боків робочої зони вихреві структури створюють умови для видалення газу, а магнітодинамічні ефекти сприяють очищенню металів і сплавів від неметалевих домішок. Крім того, струйна течія з використанням спеціальних насадок дає можливість забезпечити різні варіанти прецизійного багаторазового підведення розплаву в реакційну зону і до міжфазної поверхні, наприклад, метал-розрідження, забезпечити диспергування розплаву або реагенту (флюс,шлак).

Не менш важливим є те, що після завершення операцій обробки металу цей же МГД-агрегат забезпечує керовану без окислення електромагнітну розливку розплаву в різні металоприймачі без додаткових переливів.

Таким чином, основні функціональні можливості магнітодинамічних пристроїв, що відрізняють їх від інших ливарних електротехнологічних пристроїв, можуть бути сформульовані так:

- безконтактна малоінерційна передача енергії в рідкий метал за допомогою змінних електромагнітних полів, що спрощує управління тепловими, гідравлічними і масообмінними процесами в магнітодинамічних агрегатах, дозволяє виключити необхідність застосування газових середовищ і механічних пристроїв для перемішування металу;

- можливість проведення в одному агрегаті різних операцій позапічної обробки і розливки рідких металів і сплавів;

- широкодіпазонне управління процесами тепло- і масопереносу в рідкометалевій системі за рахунок незалежного регулювання індукційного нагріву і електромагнітного перемішування розплаву дає можливість прискорити до 3 разів процеси нагрівання металу, плавлення шихти, розчинення легуючих добавок, гомогенізації температури і хімічного складу сплавів, а також інтенсифікувати міжфазні взаємодії в системі «метал-реагент», здійснювати силові електромагнітні і магнітогідродинамічні (МГД) впливи на рідкий метал і включення в ньому;

- управління електромагнітним тиском, що розвивається в установці, дає можливість регулювати процеси електромагнітної дозованої розливки металу по

герметичним трубопроводам, а також дозволяє створювати надлишковий тиск в гідравлічно-замкнутих системах.

Іншою важливою операцією в технологічному циклі отримання високоякісних металів і сплавів є їх рафінування від газів і неметалевих включень. При цьому необхідно забезпечити інтенсифікацію міжфазних взаємодій в системі одно- або багатокomпонентний металевий розплав - рафінуючий реагент (газ, плазма, флюс, вакуум або їх комбінації), а також реалізувати потрібний температурний режим такої обробки.

3.3. Магнітодинамічна установка МДН-6А для алюмінієвих сплавів

Установки МДН-6А призначені для роботи в комплексі з машинами лиття під тиском, робототехнічними комплексами і кокільними каруселями в процесах отримання різного типорозміру і розвісу виливків з алюмінієвих і цинкових сплавів. Поєднують в одному агрегаті функції індукційної каналної печі та електромагнітного насоса.

Установки забезпечують керовану дозовану електромагнітну подачу алюмінієвого або цинкового сплаву в камеру пресування машин лиття під тиском, кокіль або кристалізатор машин безперервного лиття заготовок.

Забезпечують інтенсифікацію процесів плавлення і розчинення легуючих і модифікуючих компонентів сплаву, а також гомогенізацію хімічного складу за рахунок керованого індукційного нагріву і електромагнітного перемішування.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики установки МДН-6А

Показники	Моделі			
Метал	Алюміній і його сплави		Цинкові сплави	
Модель	МДН-6А-0,40	МДН-6А-0,63	МДН-6-0,45	МДН-6-0,60
Ємність, кг	400	630	450	600
Доза при заливці, кг	0,3-250	0,3-450	1,0-300	
Найбільша частота дозування,				

(для машин під тиском), доз/год	240	-
Масова подача, кг/с	0,3-10	1,0-30,0
Надлишковий тиск, кПа не менше	30	-
Живлення	Змінний трифазний струм напруга 220/380 В частота 50-60 Гц	
Споживана потужність, кВт - при зберіганні металу	10-20	20
- при заливці	12-25	25

3.4. Дослідження ефекту рафінування алюмінієвого сплаву у магнітодинамічній установці МДН-6А із застосуванням продувки аргоном і фільтрації

Для широкого застосування технології автоматизованої електромагнітної заливки за допомогою магнітодинамічного устаткування, розроблені наукові основи рафінуючої обробки алюмінієвих розплавів.

Досить перспективною є технологія рафінування рідкого алюмінієвого металу безпосередньо в МДУ перед його електромагнітною розливкою за рахунок продувки аргоном і фільтрації через пінокерамічний фільтр.

Перевагою продувки розплаву аргоном в установці є можливість використання електромагнітних сил для рівномірного розподілення бульбашок аргону по всьому об'єму розплаву, а також істотного зниження швидкості їх спливання.

Перевагою фільтрування металу в МДН є можливість багаторазової циркуляції розплаву через фільтр з одночасним пропусканням через нього електричного струму.

Розроблено технологічні схеми нових методів комплексного рафінування рідких алюмінієвих сплавів в магнітодинамічних установках, які полягають у проведенні продувки рідкого алюмінієвого сплаву аргоном з одночасним фільтруванням

через пінокерамічні фільтри в умовах додаткових електромагнітних зовнішніх дій з використанням нових методик і спеціальних пристосувань.

В даній кваліфікаційній роботі було проаналізовано і узагальнено у вигляді графічних залежностей запозичені експериментальні дані, отримані дослідниками відповідного наукового напрямку . Згідно роботи [13] при реалізації розроблених схем буде забезпечено зниження вмісту водню (до $0,1\text{см}^3/100\text{г}$) за рахунок диспергування бульбашок аргону до 1 мм, рівномірного їх розподілу в об'ємі ванни і багаторазової циркуляції розплаву через пінокерамічний фільтр, по якому протікає електричний струм густиною близько $0,2\text{ А/мм}^2$. При цьому може бути досягнута економія аргону (до 50%), скорочення часу рафінування розплаву (на 20-30%), зниження вмісту неметалевих домішок в 2-2,5 рази. На підставі таких показників дану технологію рафінування запропоновано використовувати при підготовці сплаву для лиття корпусу насоса НШ50 в кокіль.

Схема рафінування алюмінієвих сплавів продуванням аргонem в магнітодинамічній установці показана на рис. 3.4. Схема рафінування алюмінієвих сплавів в магнітодинамічній установці фільтруванням через пінокерамічний фільтр показана на рис. 3.6. Схема рафінування алюмінієвих сплавів продуванням аргонem в магнітодинамічній установці перед розливкою (аргон+фільтр) показана на рис. 3.7.

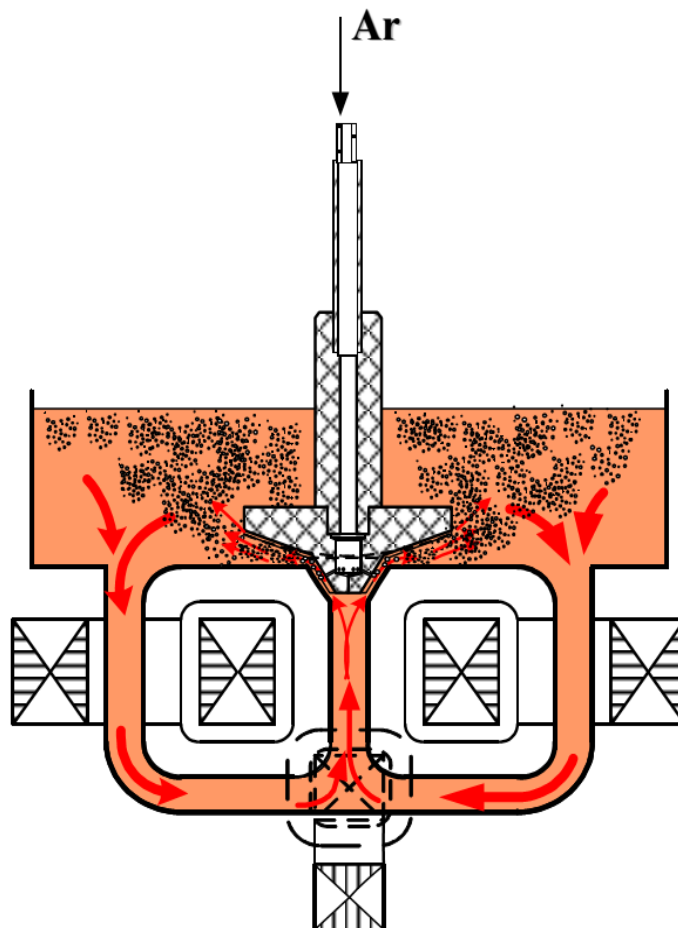


Рис. 3.4 – Схема рафінування алюмінієвих сплавів продуванням аргоном в магнітодинамічній установці МДН-6А

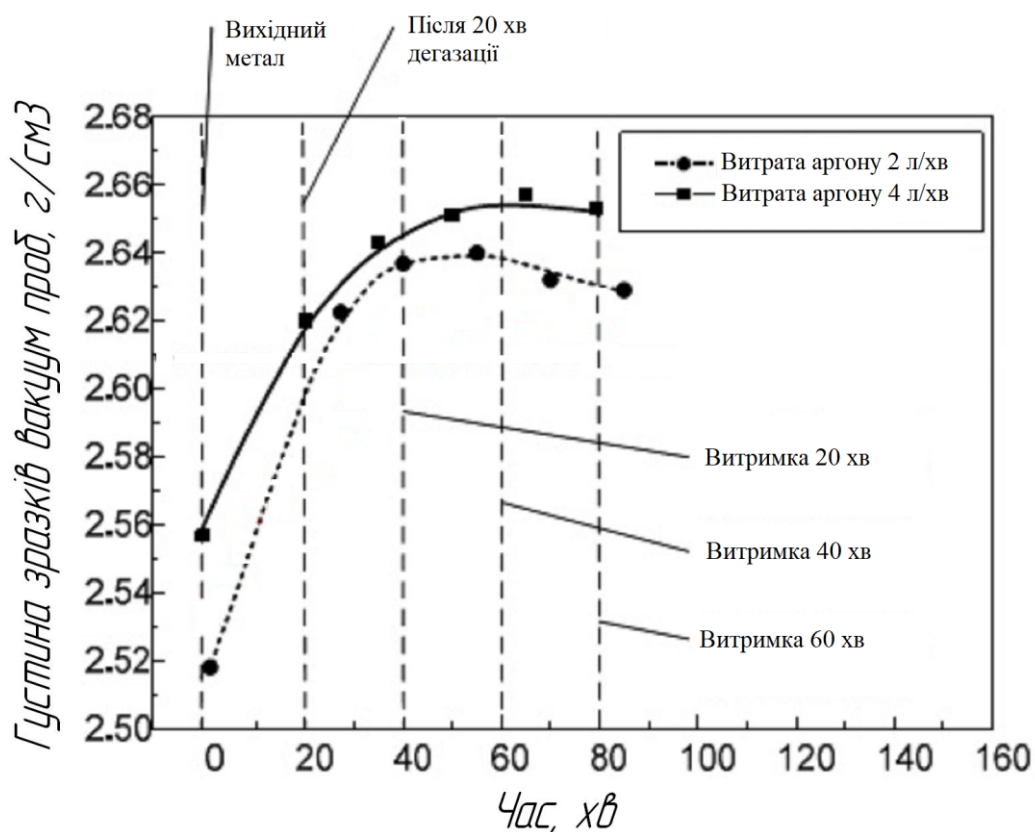


Рис. 3.5 – Швидкість видалення водню і густина алюмінієвого сплаву при різних схемах продування аргоном

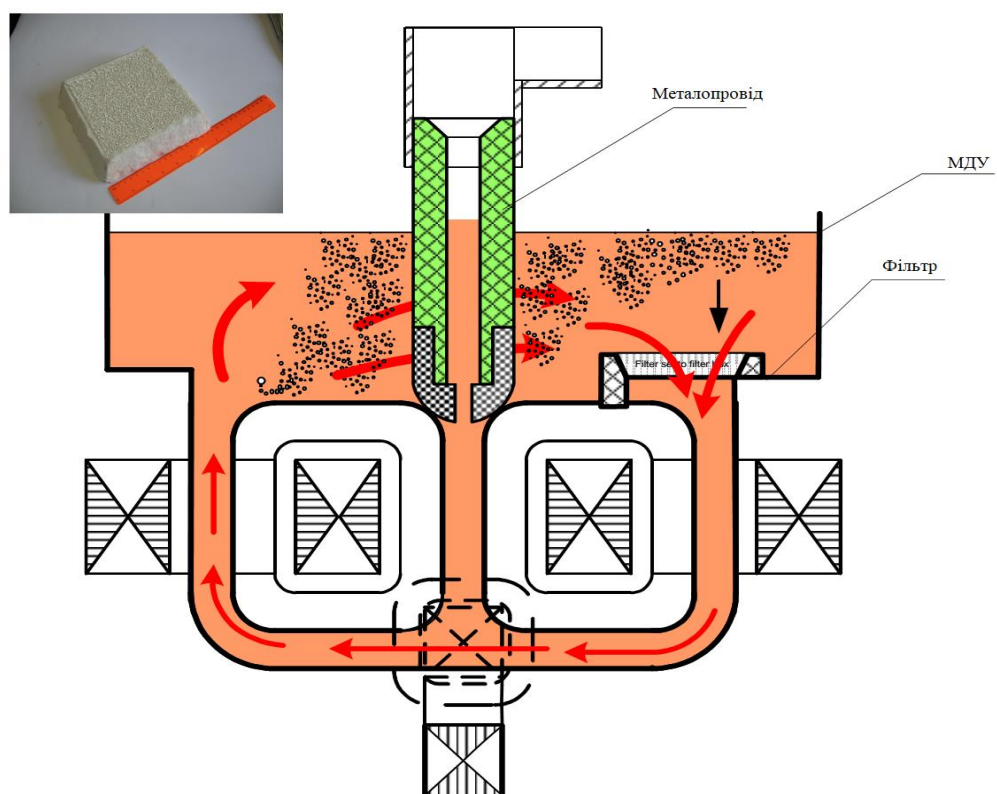


Рис. 3.6 – Схема рафінування алюмінієвих сплавів в магнітодинамічній установці МДН-6А фільтруванням через пінокерамічний фільтр

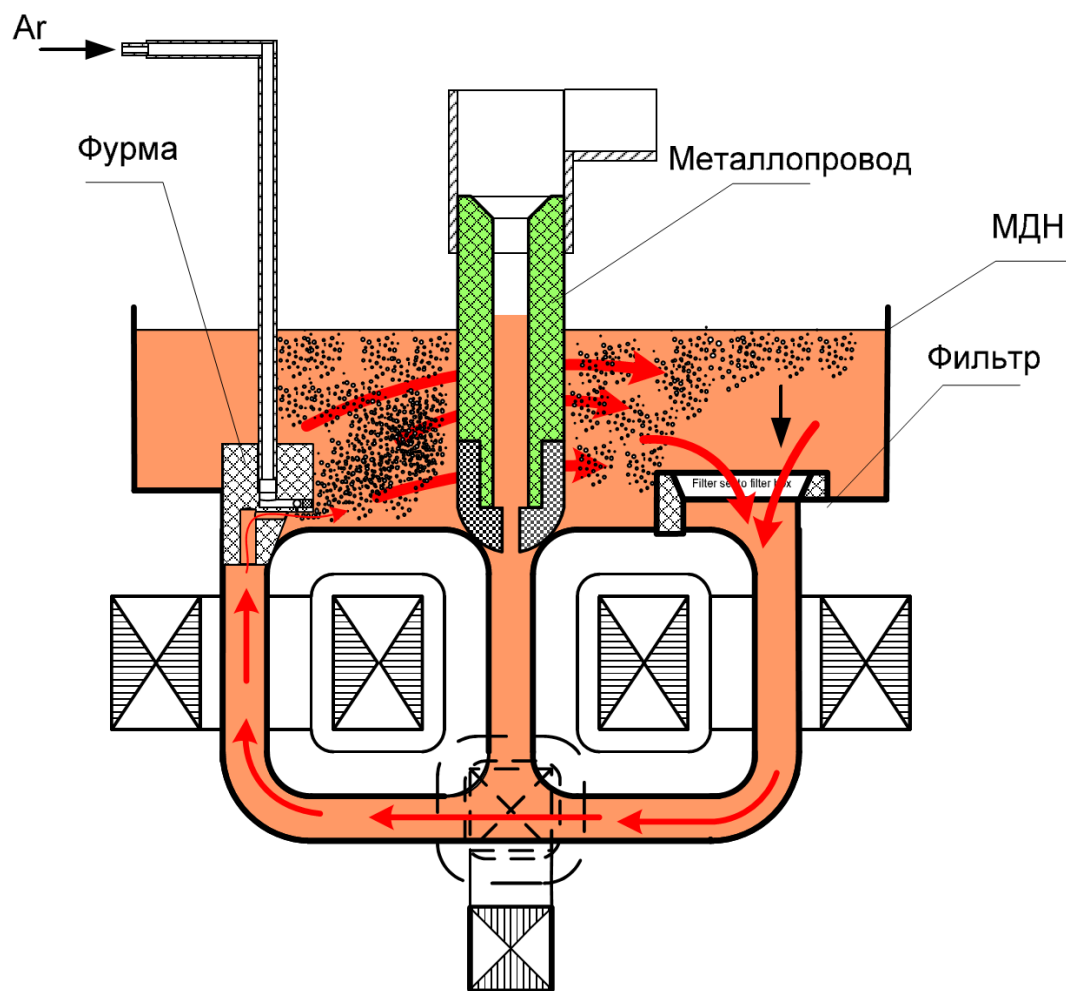


Рис. 3.7 – Схема рафінування алюмінієвих сплавів продуванням аргоном в магнітодинамічній установці МДН-6А перед розливкою (аргон+фільтр)

Вплив дегазації аргоном на густину литих зразків та на вміст водню у сплаві показано на рис. 3.8 і 3.9.

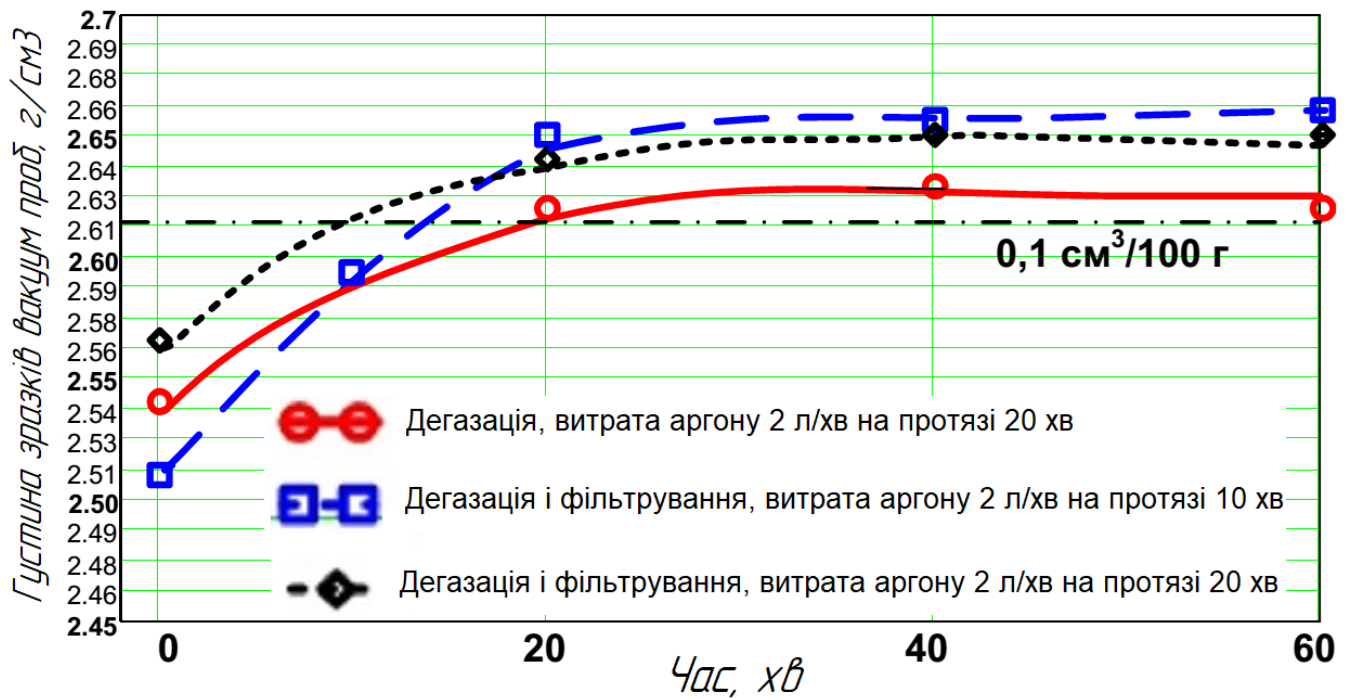


Рис. 3.8 – Вплив дегазації аргоном і фільтрації алюмінієвого розплаву в МДУ на густину твердого сплаву:
 0 - вихідний розплав; 20 хв - після зупинки дегазації;
 40 хв - після 20 хв витримки; 60 хв - після 40 хв витримки.

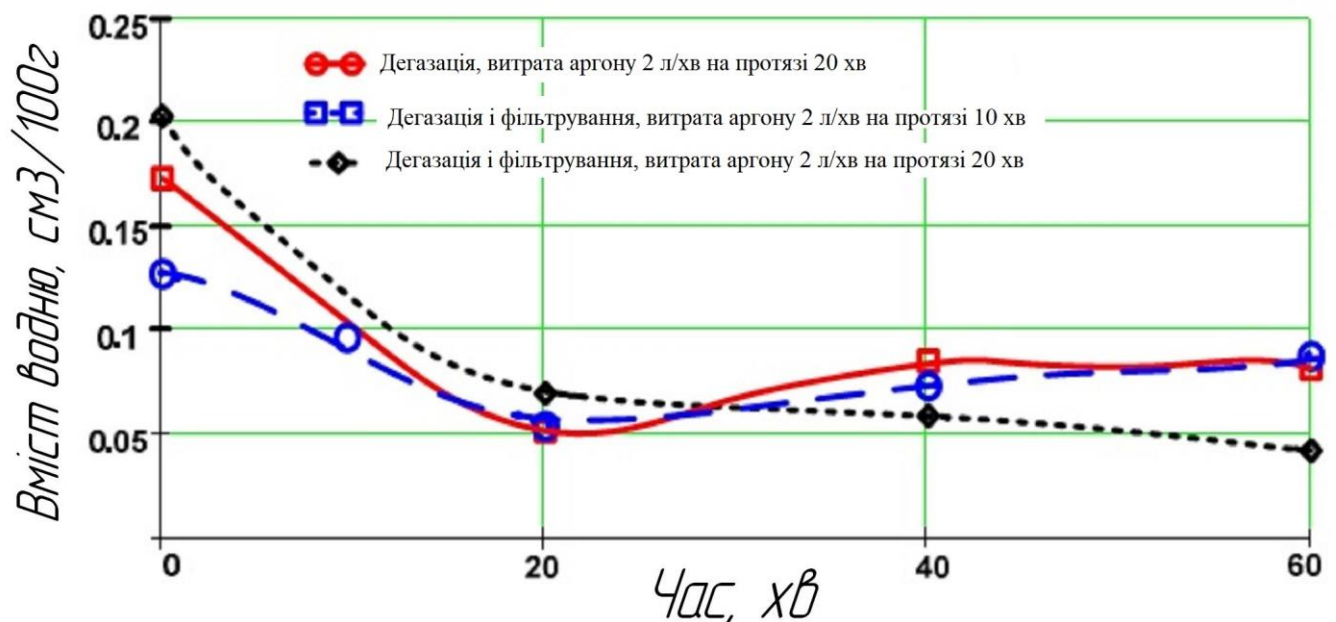


Рис. 3.9 – Вплив дегазації аргоном і фільтрації алюмінієвого розплаву в МДУ на вміст водню:
 0 - вихідний розплав; 20 хв - після зупинки дегазації;
 40 хв - після 20 хв витримки; 60 хв - після 40 хв витримки.

Таблиця 3.3 – Вміст водню в алюмінієвому сплаві після обробки в МДУ (газоаналізатор LECO)

Зразок	Вміст водню	
	ppm	см ³ /100 г
Вихідний метал	0,358	0,315
20 хв обробки	0,094	0,083
40 хв (20 хв обробки+20 хв витримки)	0,076	0,067
60 хв (20 хв обробки+40 хв витримки)	0,053	0,043

Вплив дегазації аргоном на утворення тріщин в алюмінієвому сплаві показано на рис. 3.10.



Рис. 3.10 – Зовнішній вигляд бокових поверхонь деформованих зразків:
зліва – зразок, отриманий із вихідного (нерафінованого) металу;
зправа – зразок, отриманий із рафінованого металу (продувка аргоном і фільтрація в МДУ).

Вплив дегазації аргоном на вміст неметалевих домішок в алюмінієвому сплаві показано на рис. 3.11, 3.12 та 3.13.

Неметалеві домішки

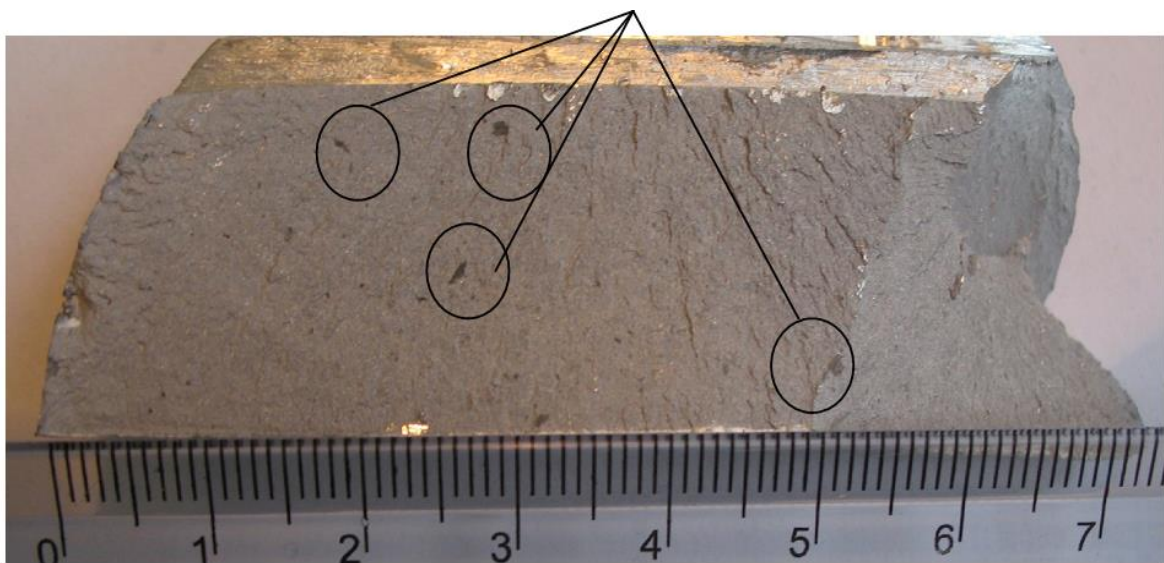


Рис. 3.11 – Злом зразка, отриманого із вихідного металу – показник вмісту неметалевих домішок 0,75%



Рис. 3.12 – Злом зразка, отриманого із металу після рафінування в МДУ з одночасним фільтруванням через пінокерамічний фільтр і продувкою аргоном на протязі 20 хв та відстоюванням в режимі зберігання на протязі 20 хв без видалення фільтра – показник вмісту неметалевих домішок 0,08%

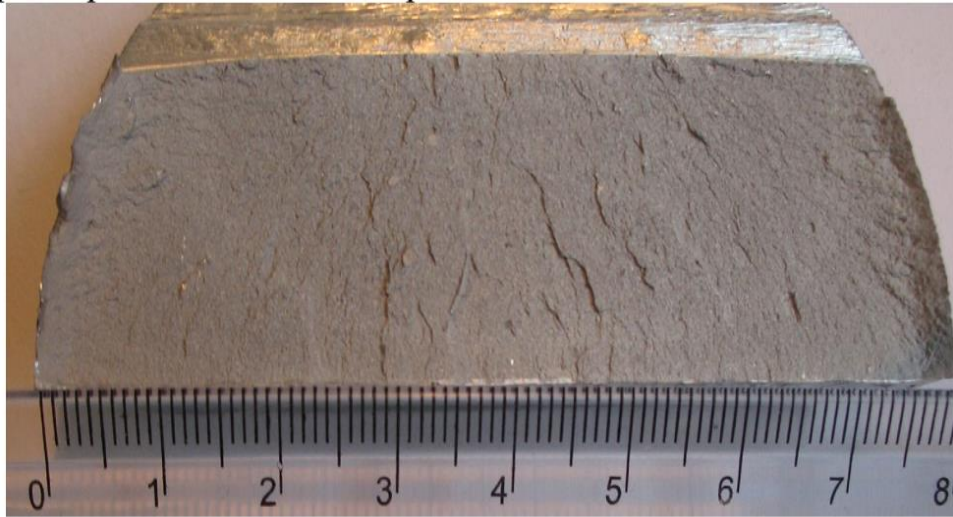


Рис. 3.13 – Злом зразка, отриманого із металу після рафінування в МДУ з одночасним фільтруванням через пінокерамічний фільтр і продувкою аргоном і продовженням фільтрації на протязі 1 год в режимі зберігання металу – показник вмісту неметалевих домішок 0,07%

Таким чином, застосування новітньої технології рафінування і МГД-обладнання в ливарному цеху має сприяти зниженню вмісту водню та інших неметалевих домішок в алюмінієвих розплавах і забезпечити високу якість литва.

3.5. Розрахунок основних електричних параметрів установки МДН-6А

Вихідні дані:

1. Параметри установки

- 1.1. Корисна маса завантаження ванни, кг, не менше 3000.
- 1.2. Продуктивність при перегріві (на 100 °С), кг/год, 3000.
- 1.3. Потужність індукторів, кВт, не більше 360.
- 1.4. Потужність електромагніта, кВт, не більше 60.

2. Характеристика металу

- 2.1. Алюмінієвий сплав марки АК5М2 такого хімічного складу: Cu -1,5-3,5%, Zn - до 1,5%, Mg - 0,2-0,8%, Si - 4,0-6,0%, Mn - 0,2-0,8%, Fe - 1,0-1,3%, Ti - 0,05-0,20%.
- 2.2. Температура розливаемого алюмінію, К (град С), не більше 1003 К (730 °С).
- 2.3. Температура доливаемого алюмінію, К (град С), не менше 1053 К (780 °С).
- 2.4. Питомий електроопір при температурі розливки, Ом·м, $1,5 \cdot 10^{-6}$.

2.5. Глибина проникнення електромагнітної хвилі при $f=50$ Гц, 0,087.

2.6. Густина при температурі розливки, кг/м^3 , $2,70 \cdot 10^3$.

3. Характеристика системи електроживлення

3.1. Напруга живлення мережі, В, 380.

3.2. Частота струму, Гц, 50.

3.3. Параметри вторинної обмотки трансформаторів живлення (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Паспортні і розрахункові характеристики вторинної обмотки силового трансформатора АОЭС3-180/420

Ступені		1	2	3	4	5	6	7	8
Паспортні дані	$U_{\text{тр2}}, \text{В}$	420	380	349	322	272	221	171	
	$I_{\text{тр2}}, \text{А}$	112,5							
	$P, \text{кВт}$	429	475	501	497	294	298	292	266
		180	180	175	160	80	66	50	30
Розрахункові після компенсації	$I_{\text{тр2}}, \text{А}$	505	459	420	386	327	266	208	
	$P, \text{кВт}$	138							
		191	156	132	112	80	53	32	14

4. Система індуктування струму в рідкому металі. Індуктор складається з двох 0-подібних магнітопроводів, зєднаних разом і двох обмоток, які є первинними в системі індуктування струму. Вторинним витком є канал з рідким алюмінієм, який замикається навколо індуктора.

4.1. Магнітопровід виконується шихтованим із листової електромеханічної сталі марки 3412 (ГОСТ 21427.1-83) з товщиною листа 0,35 мм.

4.2. Стержень, на якому розміщена катушка, виготовляється ступінчастим.

Площа перерізу заліза магнітопровода під катушкою (без врахування площі накладних пластин) $S'_{\text{FE}}=0,0420 \text{ м}^2$; площа перерізу заліза іншого магнітопровода (без врахування площі накладних пластин), $S'_{\text{FE}}=0,0420 \text{ м}^2$.

4.3. Обмотки індуктора однакові і кожна представляє собою катушку, розміщену на стержні магнітопровода, що проходить всередині витка. Виконується у вигляді одношарової циліндричної катушки, навитої із мідної трубки. Навивка виконується на циліндричний каркас із стіклотекстоліта товщиною 5 мм. Стяжка катушки по

висоті здійснюється за допомогою двох стіклотекстолітових шайб товщиною 25 мм.

Між витками передбачені прокладки товщиною 3 мм:

- кількість витків $W_u=25$;
- переріз обмоточної трубки $14 \times 17 \times 2$;
- висота обмотки (без врахування фланців) $f_u=422$ мм;
- товщина обмотки $l_u=17$ мм.

5. Параметри системи “індуктор-виток”. Для живлення обмоток індуктора вибрана напруга $U_u=349$ В

5.1. ЕДС, створювана індуктором у витку рідкого металу

$$E_e = \frac{2 \cdot U_u}{k_u \cdot W_u} = \frac{2 \cdot 349}{1,1 \cdot 25} = 25,38 \text{ В}, \quad (3.7)$$

де k_u – коефіцієнт, що враховує зниження напруги в обмотці індуктора.

5.2. Максимальна індукція в залізі магнітопроводу індуктора

$$B_{Feu} = \frac{E_e}{4,44 \cdot f \cdot 2 \cdot S_{Fe}} = \frac{25,38}{4,4 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 0,0420} = 1,36 \text{ Тл}. \quad (3.8)$$

5.3. Струм в рідкому металі

$$I_e = \frac{E_e}{z_e} = \frac{25,38}{17,39 \cdot 10^{-4}} = 14525 \text{ А}. \quad (3.9)$$

5.4. Активна потужність, що виділяється у витку

$$P_{ab} = I_e^2 \cdot R_e = 14525^2 \cdot 11,98 \cdot 10^{-4} = 255 \text{ кВт}. \quad (3.10)$$

6. Розрахунок системи створення зовнішнього магнітного поля в робочій зоні.

6.1. Характеристика магнітопровода. Магнітопровід має Т-подібну форму; площа перерізу шихтованого заліза під котушкою $S'_{Fe}=0,03819$ м²; розміри полюсного накінецьника: ширина пластини $2l_{\pi}=0,230$ м, товщина пакету $2a_{\pi}=0,183$ м; площа

інших частин магнітопроводу $S''_{Fe}=0,02196 \text{ м}^2$. Магнітопровід електромагніта виготовлений із тієї ж марки сталі, що і магнітопровід індуктора.

6.2. Характеристика обмотки електромагніта.

Обмотка намотана мідною трубкою $17 \times 14 \times 2$ у два шари, по 17 витків на кожному. $W_e=33$.

6.3. ЕРС на виток при номінальній напрузі живлення $U_e=380 \text{ В}$

$$E_0 = \frac{U_e}{K_u \cdot W_e} = \frac{380}{1,1 \cdot 33} = 10,37 \text{ В} \quad (3.11)$$

6.4. Максимальна індукція в магнітопроводі електромагніта

$$B_{Fee} = \frac{E_0}{4,44 \cdot f \cdot S_{Fee} \cdot 0,9} = \frac{10,37}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,03819 \cdot 0,9} = 1,36 \text{ Тл} \quad (3.12)$$

6.5. Струм в обмотці електромагніта. Із експериментальних даних струм в обмотці електромагніта при номінальній напрузі $U_e=380 \text{ В}$ дорівнює $I_e=1120 \text{ А}$.

6.6. Густина струму в обмотці

$$J_e = \frac{I_e}{S_{Cu_e}} = \frac{1120}{108} = 10,4 \text{ А/мм}^2 \quad (3.13)$$

6.7. Втрати потужності в обмотці електромагніта

$$P_{Cu_e} = I_e^2 \cdot R_e = 1120^2 \cdot 6,35 \cdot 10^{-3} = 7970 \text{ Вт} = 7,97 \text{ кВт} \quad (3.14)$$

6.8 Втрати потужності в залізі магнітопроводу

$$P_{Fee} = P \cdot \frac{B_{Fee}^2}{B_{Fee}^2 (ДСТУ)} \cdot G_{Fee} = 1,5 \cdot \frac{1,36^2}{1,5^2} \cdot 185 = 228 \text{ Вт} \quad (3.15)$$

3.6. Розрахунок необхідної кількості аргону на добу при одно- і двозмінному режимі роботи ливарного цеху

Необхідну кількість аргону K_{Ar} (л) розраховуємо за формулою:

$$K_{Ar} = W \cdot t \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (3.16)$$

де W - витрата аргону, 2 л/хв;

t - оптимальна тривалість продувки, 10 хв;

k_1 - кількість печей в цеху, 4 шт;

k_2 - кількість плавок на зміну, 2;

k_3 - кількість робочих змін на добу, 1 або 2.

При роботі цеху в одну зміну, маємо

$$K_{Ar} = 2 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1 = 160 \text{ л.}$$

При роботі цеху у дві зміни, маємо

$$K_{Ar} = 2 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 2 = 320 \text{ л.}$$

Отримані розрахункові дані можуть бути використані при визначенні місячної потреби ливарного цеху в аргоні.

ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі запропоновано застосувати в ливарному цеху новітню технологію рафінування алюмінієвого розплаву продувкою аргоном та циклічною його фільтрацією через пінокерамічний фільтр в магнітодинамічній установці МДН-6А. Узагальнено у вигляді графічних залежностей запозичені експериментальні дані щодо впливу різних режимів продувки розплаву аргоном і руху металу на вміст водню у сплаві і кількість неметалевих домішок у виливках. Встановлено раціональний режим рафінування. Загальний корисний ефект становить до $0,05 \text{ см}^3$ водню на 100 г металу і до 0,07% неметалевих домішок у виливку. Розраховано основні електричні параметри роботи установки МДН-6А, та необхідну добову кількість аргону при різних режимах роботи ливарного цеху.

Список літератури

1. Бялік О.М., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. Металознавство: Підручник. – 2-ге видання, перероб. і доп. – Київ: Політехніка, 2002. – 384 с. – ISBN: 966-622-090-3.
2. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво). Навчальний посібник. – Рівне, 2009. – 182 с.
3. Рабинович О.В. (ред.) Металургія кольорових металів. Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, Журфонд, 2009. – 154 с. – ISBN: 978-966-1696-09-8.
4. Хричиков В.Е., Меньяйло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с. Мі
5. Червоний І.Ф. (ред.) Металургія кольорових металів. Частина 7. Вторинна металургія кольорових металів. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009.– 454 с.
6. Бялік Г.А., Наумик В.В., Луньов В.В., Пархоменко А.В. Теорія ливарних сплавів. Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 156 с. – ISBN: 978-617-529-068-2.
7. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів. Навчальний посібник для студентів-ливарників вищих навчальних закладів III–IV рівнів акредитації. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 280 с. – ISBN 5-217-00850-4.
8. Парахнєвич Є.М., Сажнєв В.М., Тирса С.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи теорії плавки та виробництва виливків” (кольорові метали). – Запоріжжя: Запорізьк. нац. техн. ун-т, 2015. – 38 с.
9. Джемелінський В.В. та інші. Навчальне видання до лабораторних і практичних робіт для вивчення дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів". Ливарне виробництво. – Київ: НТУУ- «КПІ», 2012. – 44 с.
10. Сазонова О.В., Грешта В.Л. (укл.). Конспект лекцій із дисципліни:

Кольорові метали та сплави. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 98 с.

11. Корицький Г.Г., Маняк М.О., Пасічник С.Ю. Технологія ливарного виробництва. Навчальний посібник. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – 176 с. – ISBN: 978-966-377-057-4.

12. Полищук В.П., Цин М.Р. и др. Магнитодинамические насосы для жидких металлов. – Киев: Наукова думка, 1989. – 256 с.

13. Фикссен В.Н. Приготовление, рафинирование и заливка алюминиевых сплавов под действием электромагнитных сил // Металлургия машиностроения. – 2012. – №6. – С. 24-29.