Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти *перший бакалаврський рівень*
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему *Особливості виплавлення сплаву АК6М2 у печі опору типу САН із залученням до шихти вторинної сировини*

Виконав: студент *4* курсу, групи *6.1362-м*

Іванніков С.В. (підпис)
(ПІБ)

спеціальності
136 Металургія
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Металургія
(шифр і назва)

Керівник *Нестеренко Т.М.* (підпис)
(прізвище та ініціали)

Рецензент *Бєлоконь Ю.О.* (підпис)
(прізвище та ініціали)

Запоріжжя - 2026 року

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

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *перший бакалаврський рівень*
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність *136 Металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *Металургія*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ***МТЕТБ***
Ю.О. Бєлоконь

"__" _____ _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Іваннікову Сергію Валентиновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) *«Особливості виплавлення сплаву АК6М2 у печі опору типу САН із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини»*

керівник роботи (проєкту) *Нестеренко Тетяна Миколаївна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "23" *грудня* 2025 року № 1831-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) *12.06.2026 р.*

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) *Хімічний склад алюмінієвого сплаву АК6М2, %: 5,5−6,5 Si; 1,8−2,3 Cu; 0,35−0,5 Mg; 0,1−0,2 Ti; до 0,1 Mn; до 0,06 Zn; до 0,5 Fe; 0,05 Ni. Хімічний склад алюмінієвої стружки, %: 0,12 Si, 0,10 Fe, Al основа; металургійний вихід 75 %.*

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

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Загальна частина	*Нестеренко Т.М., доцент*	
Технологічна частина	*Нестеренко Т.М., доцент*	
Конструкційна частина	*Нестеренко Т.М., доцент*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Нестеренко Т.М., доцент*	
Нормоконтроль	*Бєлоконь Ю.О., завідувач кафедри*	

7. Дата видачі завдання *10.02.2026 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Вступ*	*08.06-12.06.2026*	*Виконано*
2	*Реферат*	*08.06-12.06.2026*	*Виконано*
3	*Загальна частина*	*11.05-17.05.2026*	*Виконано*
4	*Технологічна частина*	*18.05-24.05.2026*	*Виконано*
5	*Конструкційна частина*	*25.05-31.05.2026*	*Виконано*
6	*Охорона праці та техногенна безпека*	*01.06-07.06.2026*	*Виконано*
7	*Висновки*	*09.06-11.06.2026*	*Виконано*

Студент _____ (підпис) *Іванніков С.В.* (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ (підпис) *Нестеренко Т.М.* (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 94 с., 23 табл., 10 рис., 32 джерела.

ВТОРИННА СИРОВИНА, АЛЮМІНІЄВІ ЛІГАТУРИ, ПІЧ ОПОРУ, ТИГЕЛЬНА ПІЧ, СПЛАВЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, ШИХТА.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Особливості виплавлення сплаву АК6М2 у печі опору типу САН із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини.

Мета роботи – дослідити технологічні особливості та розробити технологію виплавлення сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини.

У розділі «Загальна частина» досліджено класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів, проаналізовано способи виробництва алюмінієвих сплавів і лігатур. Наведено особливості технології виробництва алюмінієвих сплавів і фактори, що впливають на чистоту металу. Надано характеристику складу і властивостей ливарного алюмінієвого сплаву АК6М2.

У розділі «Технологічна частина» розроблено технологічну схему і технологію виплавки сплаву АК6М2 шляхом сплавлення чушкових металів і алюмінієвої стружки як вторинної сировини для приготування алюмінієвих лігатур в індукційних тигельних печах, сплавлення та рафінування розплавів в електропечі опору САН-3Б. Виконано розрахунки шихти для виплавлення алюмінієвих лігатур і сплаву АК6М2 із залученням до шихти алюмінієвої стружки. Складено матеріальні баланси виробництва лігатур і сплаву АК6М2.

У розділі «Конструкційна частина» описано конструкцію, принцип дії та виконано конструктивні розрахунки плавильних печей САН та ІАТ. Складено енергетичний баланс індукційної установки для виробництва сплаву АК6М2.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проведено аналіз шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища під час виробництва сплаву АК6М2. Виконано розрахунок висоти аераційного ліхтаря будівлі. Пропонується встановити ліхтар, висота якого становить 1,67 м.

ЗМІСТ

Вступ…… 7
1 Загальна частина……..... 9
1.1 Класифікація алюмінієвих сплавів…… 9
1.2 Ливарні алюмінієві сплави.…… 11
1.3 Деформівні алюмінієві сплави…… 16
1.4 Характеристика алюмінієвого сплаву АК6М2……. 17
1.5 Виробництво алюмінієвих сплавів способом сплавляння…… 19
1.6 Спосіб електротермічного виробництва алюмінієво-кремнієвих сплавів……... 22
1.7 Способи виробництва алюмінієвих лігатур……... 23
1.8. Особливості виплавки алюмінієвих ливарних сплавів, якість сплавів та фактори, що впливають на чистоту металу…… 24
2 Технологічна частина……. 28
2.1 Технологічна схема виробництва сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної сировини……. 28
2.2 Технологія виробництва сплаву АК6М2…… 30
2.3 Розрахунки шихти для виготовлення алюмінієвих лігатур…… 39
2.4 Матеріальні баланси виплавки алюмінієвих лігатур…… 44
2.5 Розрахунок шихти для виплавки сплаву АК6М2……. 49
3 Конструкційна частина……... 58
3.1 Конструкція та принцип дії плавильної печі опору…….. 58
3.2 Конструктивний розрахунок поворотної відбивної електропечі опору САН-3Б……... 60
3.3 Конструкція та принцип дії індукційної тигельної печі…… 62
3.4 Конструктивний розрахунок індукційної тигельної печі…… 65
3.5 Енергетичний баланс індукційної установки……... 67
3.6 Розрахунок водоохолодження індуктора……. 72
4 Охорона праці та техногенна безпека……... 76

4.1 Шкідливі та небезпечні чинники виробничого середовища під час виробництва алюмінієвого сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної сировини..……. 76
4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища……...…… 78
4.3 Розрахунок аераційного ліхтаря будівлі…….. 86
Висновки……..... 91
Перелік джерел посилання…… 92

ВСТУП

Одна з найбільш переконливих характеристик алюмінію − його легкість. Зі щільністю приблизно 2,7 г/см³ алюміній має вагу, що становить близько третини ваги сталі [1]. Ця властивість робить його ідеальним матеріалом для застосування у транспортних засобах, де зменшення ваги є вирішальним фактором для підвищення паливної ефективності та зниження викидів. Так, в автомобільній промисловості використання алюмінієвих сплавів у кузовах та компонентах автомобілів призвело до значного зменшення ваги, що покращує експлуатаційні характеристики та стійкість транспортних засобів.

У транспортному секторі здатність алюмінію до точного механічного оброблення та збирання дозволяє створювати складні компоненти й вузли з жорсткими допусками, забезпечуючи оптимальну роботу й безпеку [2,3].

Легкість та міцність алюмінію, його стійкість до корозії, універсальність та сталість роблять його незамінним матеріалом у автомобілебудуванні, харчовій промисловості та будівництві.

У сучасному світі сталість є одним із найважливіших пріоритетів. Можливість вторинної переробки алюмінію робить його екологічно безпечним матеріалом, оскільки його можна переробляти необмежену кількість разів без втрати властивих йому характеристик [3-5]. Ця особливість ідеально відповідає зростаючому попиту на сталі матеріали в транспортному та будівельному секторах, сприяючи зменшенню вуглецевого сліду та розвитку циркулярної економіки.

Незважаючи на низьку щільність, алюміній виявляє вражаючу міцність, особливо коли його сплавляють з такими елементами, як магній, кремній, мідь. Ці сплави не лише покращують механічні властивості алюмінію, але й зберігають його переваги у вигляді малої ваги, що робить його придатним для застосування як конструкційній матеріал як у транспорті, так і в будівництві [1-3].

Так, алюмінієвий ливарний сплав АК6М2, що належить до системи Al-Si-Mg-Cu [4], широко використовується у машинобудуванні для виготовлення по-

ршнів, блоків циліндрів, картерів, корпусів насосів, у автомобілебудуванні для деталей двигунів і коробки передач, корпусних елементів, у авіабудуванні, приладобудуванні, а також для виробництва різноманітних компонентів промислового обладнання та товарів широкого споживання.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – дослідити технологічні особливості та розробити технологію виплавлення сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини.

Завдання роботи:

1. Дослідити класифікацію алюмінієвих сплавів та надати характеристику алюмінієвому сплаву АК6М2.

2. Проаналізувати способи виробництва алюмінієвих сплавів, їх технологічні особливості та розробити технологію виробництва сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини.

3. Описати конструкцію плавильних печей для виробництва сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини. Виконати конструктивні розрахунки електропечі опору типу САН та індукційної тигельної печі ІАТ.

4. Розрахувати склад шихти та скласти матеріальний баланс виплавки сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини.

5. Розрахувати енергетичний баланс індукційної установки для виробництва алюмінієвого сплаву АК6М2.

6. Виявити шкідливі і небезпечні фактори виробничого середовища під час виробництва сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної алюмінієвої сировини.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Класифікація алюмінієвих сплавів

Алюмінієві сплави характеризуються малою щільністю (до 3,0 г/см^3), високими технологічними властивостями, корозійною стійкістю, теплопровідністю, електричною провідністю, жароміцністю, міцністю й пластичністю за низьких температур, світловідбивною здатністю [1-3,5]. На вироби з алюмінієвих сплавів легко наносяться захисні й декоративні покриття. Сплави легко обробляються різанням і зварюються контактним зварюванням, а деякі й зварюванням плавленням. Ще більш сприятливе співвідношення виходить, якщо порівняти алюміній з важкими металами. Завдяки цьому стають легшими мобільні конструкції (наприклад, в залізничному транспорті, суднобудуванні і наземних транспортних засобах), а також часто замінювані і транспортуються деталі. Зменшення маси веде до зменшення витрати енергії, до більш низької вартості виготовлення і експлуатації. Часто значно знижується маса і статичних конструкцій. Чистий алюміній і алюміній підвищеної чистоти, а також алюмінієві сплави, що не містять мідь, відрізняють хімічна стійкість, атмосферна стійкість, стійкість до морської води [6-8].

Алюміній і його сплави не отруйні, вони легко очищаються, стерилізуються, задовольняють вимогам санітарії [1-4]. Висока теплопровідність дозволяє використовувати алюміній для поршнів циліндрів і циліндрових головок в камерах згоряє двигунів, компресорах, а також в теплообмінниках усіх видів. Завдяки електропровідності чистий алюміній успішно виступає в ролі струмопровідного матеріалу в електротехніці.

У техніці в основному застосовують не чистий алюміній, а сплави алюмінію (за винятком тих випадків, коли головною вимогою до матеріалу є, наприклад, підвищена електропровідність або яка-небудь інша спеціальна характеристика, а міцність може бути невисокою) [2].

Алюміній вигідно відрізняється від інших металів і сплавів з високими механічними властивостями тим, що дуже добре обробляється тиском і різанням [3,4]. Промисловість випускає широкий сортамент різних напівфабрикатів з деформованих алюмінієвих сплавів [1,6]. Можливість вибору напівфабрикату, який максимально наближається по своїй формі і розмірам до готового виробу і майже не вимагає механічної або якої-небудь іншої обробки, - одна з причин, по яких алюміній все частіше застосовують в різних галузях техніки і побуту.

Алюмінієвими називають сплави, основними компонентами яких є алюміній [1,2]. Щоб поліпшити властивості алюмінію, до нього додають мідь, магній, манган, силіцій, цинк, берилій, титан тощо [1,3-5]. За способом виготовлення заготовок і виробів алюмінієві сплави поділяють на ливарні, деформівні та спечені.

Ливарні сплави, призначені для виготовлення фасонних виливків, повинні мати такі властивості: високу рідкоплинність, малу схильність до утворення розсіяних усадкових порожнин і кристалізаційних тріщин. Для цього до кінця кристалізації вони повинні мати досить велику кількість евтектичної рідини. Сплави, що знаходяться поблизу евтектичної точки, мають найкращі ливарні властивості (рис. 1.1).

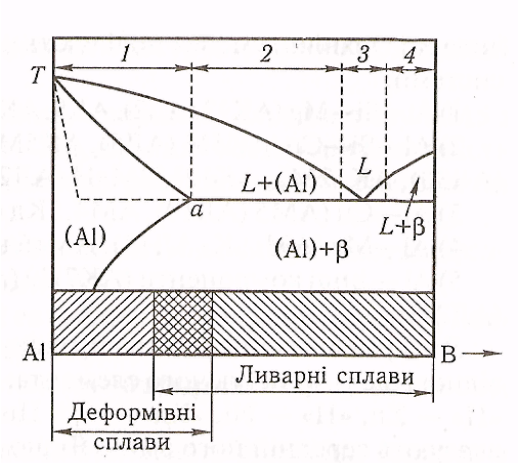


Рисунок 1.1 – Схема подвійної діаграми Al – B евтектичного типу:
B – другий компонент [11]

З деформівних сплавів методом напівбезперервного лиття виготовляють круглі й плоскі злитки, які піддають гарячій і холодній обробці тиском (прокатуванню, пресуванню, штампуванню, куванню тощо). Зона складів деформівних сплавів простягається від чистого алюмінію до сплавів поблизу точки граничної розчинності α (рис. 1.1, заштрихована ділянка). Основною структурною складовою частиною цієї групи сплавів є α - розчин на основі алюмінію, а об'ємна частка крихких інтерметалідів порівняно невелика (5-10 %), що забезпечує високу деформівність цих сплавів. Для підвищення міцності більшість алюмінієвих сплавів піддають гартуванню і старінню [6,11]. При нагріванні під гартування відбувається розчинення всіх або окремих надлишкових фаз, які називають фазами-зміцнювачами. При наступному прискореному охолодженні ці фази не встигають виділитися, і фіксується пересичений твердий розчин легуючих елементів в алюмінії. Під час старіння загартованого сплаву відбувається утворення вторинних виділень, як правило, метастабільних фаз, що і зумовлює зміцнення.

Основні домішки, наявні в усіх алюмінієвих сплавах, - це залізо і силіцій, що утворюють фази кристалізаційного походження голко- або скелетоподібної форми і, як правило, погіршують механічні та корозійні властивості [1,3-5,].

До складу алюмінієвих сплавів входять також так звані спечені алюмінієві сплави - замість злитка для подальшої деформації використовують брикет, спечений з порошків.

З вторинної алюмінієвої сировини виплавляють сплави трьох типів: ливарні, деформівні й розкислювачі (рис.1.2).

1.2 Ливарні алюмінієві сплави

Хімічний склад і галузі застосування ливарних алюмінієвих сплавів досить різноманітні. Залежно від вмісту основних компонентів ці сплави відповідно до ДСТУ 2839 «Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови» поділяють на п'ять груп, до яких входять такі системи [15]:



Рисунок 1.2 – Класифікація алюмінієвих сплавів [1-7]

1) AI-Si-Mg (АК12 (АЛ2), АК9, АК9ч (АЛ4), АК7, АК7ч (АЛ9) та ін.);

2) Al-Si-Cu (АК5М (АЛ5), АК5М2, АК5М7, АК9М2, АК12ММгН (АЛ3О), АК12М2, АК12М2МгН (АЛ25) та ін.); .

3)A1-Cu(АМ5(АЛ19),АМ4,5Кд(ВАЛ10));

4) Al-Mg (АМг5К (АЛ13), АМг6л (АЛ23), АМг10 (АЛ27) та ін.);

5) Al -інші компоненти (АК7Ц9, АК9Ц6 (АК9Ц6р), АЦ4Мг (АЛ24)).

Ливарні алюмінієві сплави маркують літерою А, наступна літера відповідає типу легуючого елемента: «К» - Si, «М» - Cu, «Мг» - Mg, «Ц» - Zn, «Н» - Ni, «Кд» - Cd. Цифри після позначення елемента вказують середній його вміст. Якщо концентрація елемента не перевищує 1,5 %, то після його позначення цифри не проставляють. Літери «ч» або «пч» наприкінці марки (чистий, підвищеної чистоти) означають знижений вміст домішок [11,15].

В інших країнах чинні власні системи позначення, наприклад, у США користуються тризначною системою (плюс додаткова цифра після крапки). Перша цифра визначає базову систему легування: 2 - алюмінієво-мідні сплави; 3 - леговані силуміни; 4 - подвійні силуміни; 5 - магналії. Оскільки нині у вітчизняному виробництві широко використовують закордонні сплави, вміння працювати з національними стандартами різних країн набуває великого значення.

Усі ливарні сплави можна класифікувати за структурою в литому стані па 4 групи [3,4]:

1) сплави типу твердих розчинів, наприклад сплави типу АМ5 і АМг6л на базі систем Al - Cu і Al - Mg, для яких характерна наявність і нерівноважної виродженої евтектики, що розчиняється при нагріванні під гартування;

2) доевтектичні сплави, у яких евтектика має, як правило, двофазну будову, наприклад силуміни типу АК7;

3) евтектичні сплави, у яких евтектика є основною структурною складовою, як у силумінах типу АК12;

4) сплави з первинними кристалами надлишкових фаз, наприклад заевтектичні силуміни [4].

Основну групу ливарних сплавів становлять силуміни (сплави з силіцієм у кількості 4…22 %), з яких виготовляють понад 90 % усіх виливків [2,11,14]. Це пояснюється їхньою технологічністю при використанні практично для всіх видів литва. Евтектика в системі А1 - Si, на відміну від більшості інших евтектик в алюмінієвих сплавах, що містять інтерметаліди, порівняно пластична [1,4]. Тому в силумінах евтектика, що забезпечує високі ливарні властивості, є основною структурною складовою.

Найважливішими характеристиками силумінів, які визначають їхню технологічність і галузі застосування, є механічні, корозійні та ливарні властивості. Усі вони визначаються хімічним складом і структурою силумінів. Структура, у свою чергу, формується залежно від умов плавлення, кристалізації та наступного термічного оброблення.

Силуміни за своєю природою є гетерофазними сплавами, масова частка силіцію в алюмінієвій матриці не перевищує 1-1,5 %, а більша його частина входить до складу фаз кристалізаційного походження, насамперед силіцієвого твердого розчину (Si) [5]. Основними легуючими елементами в силумінах (після кремнію) є мідь і магній, рідше цинк і нікель. Усі ці елементи сприяють підвищенню міцності й твердості, але знижують тією чи іншою мірою показники пластичності силумінів. Крім алюмінієвої матриці й (Si) у силумінах часто наявні надлишкові фази, що містять ферум, мідь, магній і манган, рідше - інші елементи, зокрема нікель і берилій.

Залежно від призначення алюмінієво-силіцієві сплави поділяють на такі категорії [4,5,13].

1. Конструкційні сплави (наприклад , АЛ4, АЛ9) використовують для виготовлення різних деталей, що працюють переважно в умовах нормальних температур і сприймають значні навантаження.

2. Жароміцні сплави (наприклад, АЛ30, АЛ25) застосовують здебільшого для виготовлення поршнів двигунів внутрішнього згоряння (автомобільних, тракторних та ін.).

3. Сплави спеціального призначення (наприклад, антифрикційні сплави) застосовують відповідно для кокільного литва монометалевих вкладишів підшипників ковзання і виробництву біметалевих вкладишів (плакування на сталь методом прокатування). До цієї групи входять алюмінієво-силіцієві сплави, які використовують як припої при паянні алюмінію та його сплавів (наприклад, алюмінієвий припій, що містить 12 % Si).

Більшість ливарних алюмінієвих сплавів є доевтектичними. Після лиття вони містять дві основні структурні складові – первинні кристали розчину на основі алюмінію і евтектику [4].

Через крихкість первинних інтерметалідів заевтектичні сплави використовують рідко. Оскільки ливарні сплави повинні мати високу рідкоплинність, алюміній легують елементами, які утворюють евтектику.

Структура доевтектичних сплавів системи A1-Si складається зі світлих первинних α-кристалів розчину силіцію в алюмінії в дендритній формі і барвистої евтектики [11]. Евтектика складається з α-розчину силіцію в алюмінії і виділень силіцію (точніше – розчину алюмінію в силіції).

Для підвищення міцності й пластичності силуміни модифікують сотими частками відсотка натрію або стронцію. Під дією цих модифікаторів силіцій у евтектиці кристалізується у формі сильно розгалудженого скелета з тонкими гілками волокнистої форми [14]. Перетини цих гілок у площині шліфа мають глобулярний або крапчастий вигляд.

Найшкідливішою домішкою в силумінах є залізо, оскільки воно з алюмінієм за наявності силіцію утворює крихкі сполуки Al_5FeSi (β-фаза) [3,5]. Ця сполука кристалізується у вигляді тонких пластин (на шліфі - голок), які є концентраторами напруг, чим різко знижують пластичність. Чим більше заліза в силуміні, тим довші ці пластини. Для підвищення пластичності в силуміни вводять манган (0,2…0,6 %), який зв'язує ферум у фазу $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$, що кристалізується в скелетоподібній формі у складі евтектики алюмінієвих сплавів у чушках (ДСТУ 2839) подібній формі. Іноді ця скелетна фаза нагадує ієрогліфи, і таку структурну складову називають «китайський шрифт» [4,14]. Більш компактні скелетні кристали надають менше крихкості силумінам порівняно з тонкими пластинами.

Евтектичні алюмінієво-кремнієві сплави є складно легованими [3]. При цьому вміст легуючих компонентів буває різним. Ці сплави використовують переважно як матеріал для поршнів двигунів внутрішнього згоряння. Типовими представниками подібних сплавів є АК12М2МгН (АЛ25) і АК12ММгН (АЛ30).

Заевтектичні алюмінієво-силіцієві сплави, як і евтектичні, є складнолегованими і застосовуються також переважно для виготовлення поршнів. Заевтектичні сплави відрізняються від евтектичних в основному підвищеним вмістом силіцію. Для підвищення жароміцності до складу заевтектичних легованих алюмінієво-силіцієвих сплавів вводять до 0,2 % Ti, 0,8 % Co або 0,4-0,6 % Cr, іноді підвищують вміст у сплаві міді до 3,5-4,5 % і нікелю до 2,5-3,5 %. Крім того, заевтектичні сплави мають дещо меншу щільність, нижчий коефіцієнт лінійного розширення і вищу жароміцність. За технологічними властивостями ці сплави дещо поступаються евтектичним.

Ливарні алюмінієві сплави, виготовлені з вторинної сировини, − це, як правило, силуміни, тобто сплави алюмінію із силіцієм і добавками міді, магнію, мангану та ін. [4,11]. За хімічним складом ливарні сплави, які виготовляють з вторинної алюмінієвої сировини, майже ідентичні сплавам з первинного алюмінію і відповідають вимогам ДСТУ 2839 [15]. Основна відмінність – підвищений вміст заліза й інших металевих домішок, що часто не враховують.

Відходи виробництва, особливо стружка, містять велику кількість оксидів, вологи, мастила та інших неметалевих домішок. Тому ливарні сплави, виготовлені з вторинної сировини (АК9, АК5М2, АК5М7, АК5М4, АК8М3, АК9М2 та ін.), порівняно зі сплавами на основі первинного алюмінію (АК9пч, АК7пч, АК5Мч) дещо більше забруднені оксидами, розчиненими газами.

У міру вдосконалення методів переробки алюмінієвих відходів і брухту ступінь забруднення отриманих сплавів металевими і неметалевими домішками знижується, і за якістю вони все більше наближаються до сплавів з первинної сировини [4,11,14].

Для підвищення механічних властивостей їх модифікують різними методами. В результаті модифікування доевтектичних силумінів α-твердий розчин набуває дендритної форми, а голки евтектичного силіцію – округлої. При модифікуванні заевтектичного силуміну подрібнюються кристали первинного силіцію, що виділяється.

1.3 Деформівні алюмінієві сплави

У литому стані основна структурна складова деформівних сплавів – дендрити α-розчину на основі алюмінію. Під мікроскопом зазвичай видно межі світлих дендритних комірок, що є перетинами гілок дендритів [3,11,14]. По цих межах розміщуються фази евтектичного походження. Евтектики в деформованих сплавах з'являються, як правило, через нерівноважну кристалізацію. Структури загартованих і зістарених деформівних напівфабрикатів одноманітніші порівняно зі структурами злитків.

Для позначення промислових деформівних сплавів широко використовують історично сформоване літерно-цифрове і літерне маркування, в якому цифри найчастіше є умовним номером сплаву і не визначають вміст легуючого елемента. Пізніше, відповідно до ДСТУ 4784 «Алюміній і сплави алюмінієві деформівні. Марки», було введене паралельне з традиційним, повністю цифрове маркування деформівних алюмінієвих сплавів. Марка сплаву склада-

ється з чотирьох цифр. Перша цифра у всіх марках (1) позначає основу сплаву – алюміній. Друга цифра несе головне смислове навантаження, вказуючи систему, що є основою цього сплаву: 0 - технічний алюміній; 1 - система Al-Cu-Mg; 2 - системи Al-Cu-Mn і Al-Li; 3 - системи Al-Mg-Si і Al-Mg-Si-Cu; 4 - система Al-Mn; 5 - система Al-Mg; 9 - системи Al-Zn-Mg і Al-Zn-Mg-Cu. Останні дві цифри в марці вказують порядковий номер сплаву. Останній цифрі надається додаткове навантаження - всі деформівні сплави позначаються непарними цифрами (в тому числі й «нуль»). Таке цифрове маркування досі не знайшло широкого застосування. Тому й надалі використовують традиційні позначення марок деформівних алюмінієвих сплавів.

Залежно від здатності зміцнюватися при гартуванні й наступному старінні деформівні алюмінієві сплави поділяють на термічно незміцнювані та термічно зміцнювані.

Термічно незміцнювані сплави піддають тільки відпалу, а термічно зміцнювані – гартуванню і старінню [12-14]. Прикладом термічно незміцнюваного є сплав АМг6. Він належить до групи магналіїв – сплавів на основі системи Al-Mg. Сплав випускається у вигляді різних деформівних напівфабрикатів – листів, плит, прутків, профілів, штамповок тощо. Широке використання цього сплаву зумовлене високою стійкістю проти атмосферної корозії та високою зварюваністю.

1.4 Характеристика алюмінієвого сплаву АК6М2

Сплав АК6М2 − ливарний алюмінієвий сплав системи алюміній-кремній-мідь, належить до силумінів. Його головне призначення є виготовлення чушок і складних фасонних виливків [12-14].

Ливарний алюмінієво-кремнієвий сплав АК6М2 випускають в чушках масою до 20 кг. Хімічний склад сплаву АК6М2 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву АК6М2 (ДСТУ 2839) [15]

Марка сплаву	Масова частка, %						
	Основні компоненти						
	Si	Mg	Mn	Cu	Ni	Ti	Al
1	2	3	4	5	6	7	8
АК6М2	5,5-6,5	0,35-0,50	-	1,8-2.3	-	0,1-0,2	основа

Продовження таблиці 1.1

Марка сплаву	Домішки, не більш %								
	Fe	Mn	Cu	Ni	Ti	Zn	Pb	Ca	Сума
1	9	10	11	12	13	14	15	16	17
АК6М2	0,5	0,10	-	0,05	-	0,06	-	0,002	0,70

Завдяки своїм фізичним та механічним властивостям активно використовується у різних галузях (рис.1.3):

- авіа- та суднобудування – для виготовлення міцних та легких корпусних елементів, конструкційних деталей;

- машино- та приладобудування – деталі, що вимагають високої точності лиття та корозійної стійкості;

- автомобілебудування – блоки, головки блоків циліндрів, поршні та інших деталей двигунів внутрішнього згоряння;

- побут та будівництво – різноманітні фасонні вироби та фурнітура.

Чушки сплаву АК6М2 на торці маркують два хрести синьою кольоровою фарбою, яка не змивається [12].

Основні механічні властивості сплаву АК6М2 у виливках [15]:

- тимчасовий опір розриву (σ_B): 196 МПа;

- відносне видовження (δ): 1,0-2,0 %;

- твердість за Брінеллем (НВ): 70-78,4 МПа.

Загартування сплаву рекомендовано проводити за режимом Т5 при температурі нагрівання 525±5 °С, часу витримки 3-5 годин, охолоджуваним середовищем має бути вода з температурою 20-100 °С.



Рисунок 1.3 – Напрями використання алюмінієвого сплаву АК6М2 у транспортній галузі [12-16]

Старіння сплаву рекомендовано проводити за режимами Т1, Т5 при температурах нагрівання 180±5 °С та 175±5 °С відповідно, часу витримки 5-10 годин [15].

1.5 Виробництво алюмінієвих сплавів способом сплавляння

До матеріалів шихти відносять всі матеріали, необхідні для отримання сплавів певного хімічного складу [11,12]: алюміній-сирець рідкий або твердий марки А7, А6, А5, АТ (ДСТУ 11069); кристалічний кремній марки Кр1, Кр2 і Кр3 (ДСТУ 2169); алюміній-сирець з підвищеним вмістом кремнію, отриманий при переплавлення знімань виробництва силуміну; легуючі матеріали, необхідні для приготування сплавів різних марок; алюмінієві лігатури або проміжні сплави; відходи виробництва (браковані деталі, стружка, обрізки тощо).

На алюмінієвих заводах для виробництва сплавів застосовують алюміній в рідкому стані. Перед використанням рідкий алюміній слід піддавати хімічному аналізу на домішку заліза. Крім того, потрібно перевірити температуру алюмінію, який заливають в печі [11,13].

Кристалічний кремній подрібнюють до шматків розміром в поперечнику 70-80 мм, який завантажують в печі, при підігріванні розтріскується, утворюючи дрібницю, здатну до сильного окисання. Щоб уникнути викидів, кремній повинен бути сухим і не повинен мати домішки шлаку, який є джерелами забруднення сплаву неметалічними включення і газами [4.12].

Легуючі матеріали для зручності складання шихти, завантаження в плавильні агрегати, а також для скорочення часу розчинення їх в рідкому алюмінії повинні бути доведені до певних розмірів. Так, листові матеріали (катодна мідь, нікель але ін.) розрізають на окремі частини розміром 1000 х 100 мм [11]. Кускові матеріали (наприклад, хром) повинні бути подрібнені на шматки, розміри яких в поперечнику дорівнюють 20-25 мм.

Всі легуючі матеріали повинні бути обов'язково очищені від різних забруднень піскоструминною обробкою і травленням [5,6]. Перед введенням матеріалів шихти в розплав їх необхідно просушити і підігріти до повного видалення вологу.

Всі первинні матеріали шихти, що отримуються безпосередньо на підприємстві (наприклад, алюміній-сирець, лігатури тощо), перед використанням слід піддавати аналізу на відповідні компоненти і домішку заліза [12]. Всі матеріали шихти потрібно зберігати окремо за марками, в закритих, сухих приміщеннях із забезпеченням захисту від попадання вологи.

Підготовка матеріалів шихти - достатньо відповідальний етап отримання якісних відливань, оскільки забруднення шихти (мазут, волога, продукти корозії і тому подібне) не тільки «успадковується» відливаннями, але і часто взагалі не може бути усунено навіть найефективнішими методами рафінування. Крім того, неметалічні включення не тільки самі утворюють дефекти у відливаннях, але і утрудняють фільтраційне живлення відливань на фронті кристалізації, збі-

льшуючи кількість дефектів газовсадного характеру. Матеріали шихти повинні бути обов'язково очищені, просушені і перед введенням в піч підігріті до 150-200 °С [12,14].

Під час підготовки шихти слід мати на увазі, що багаторазове переплавлення повернень без освіження шихти первинними металами може спричинити забруднення сплавів шкідливими домішками. Зниження механічних властивостей відбувається в основному через, забруднення сплаву включеннями і зростання газонасиченості. При виготовленні сплаву допустиме використання 40-50 % повернення [6]. Повторні переплавлення призводять до зниження механічних властивостей сплаву, що пов'язане з чадом основних легуючих компонентів - магнію і цинку.

Пояснення цьому явищу слід шукати в спадковості: структура початкової шихти виявляє спадковий вплив на кінцеві физико-механічні властивості виливок. Так, якщо затверділий у виливниці у вигляді злитка сплав має дрібнозернисту структуру, то після повторного розплаву і затвердіння в аналогічних умовах утворюється сплав такий же або майже такої структури [12].

Відповідно до теорії міжкристалічного фазового стану розплавлених металів, під час плавлення енергія міжатомної взаємодії змінюється трохи, і ділянки з перехідною структурою, які залишаються в розплаві, служать інтенсифікаторами процесу кристалізації. Встановлено генетичний зв'язок структури шихта-розплав-злиток. Характерні ознаки спадковості матеріалів шихти зберігаються в розплаві і при кристалізації фіксуються у виливках [3,16]. Раціональна підготовка шихти з використанням термооброблених відходів власного виробництву (напливів, відливань) дає можливість не тільки стабілізувати умови формування регламентованої структури відливань, але і значно підвищити їх механічні властивості. Метод попередньої обробки шихти полягає в тому, що передача спадкової структури термообробленої шихти в процесі плавлення і кристалізації металу і підвищення якості сплавів в результаті дегазації, яка відбувається під час нагрівання матеріалів шихти, дає можливість зменшити температуру нагрівання і скоротити тривалість витримки при термообробці виливок з

одночасним поліпшенням властивостей.

Більшість сплавів (корозійностійких, жароміцних, зварюваних і ін.) містять такі легуючі елементи, як цирконій, титан, марганець, хром, які вводять в алюміній під час плавлення переважно у вигляді бінарних лігатур. Лігатури - проміжні сплави з максимальним вмістом легуючих добавок. Введення багатьох легуючих елементів в чистому вигляді утруднене через високу температуру їх плавлення. Для розчинення таких легуючих елементів в рідкому алюмінії необхідний значний перегрів розплаву, який зумовлює підвищену витрату енергії, окисає алюмінію, забруднення сплаву оксидами [13].

Проте в певних випадках у виробництві ливарних сплавів знаходять застосування і складніші лігатури [16], наприклад, потрійні: алюміній-мідь-нікель (30-40 % Cu, 20-25 % Ni, решта - Al) або четвертні: алюміній-мідь-марганець-титан.

Алюмінієві лігатури отримують в основному сплавленням алюмінію з відповідними легуючими компонентами або електролітичним методом [1,16]. Виробництво лігатур методом сплавлення здійснюється в індукційних печах.

1.6 Спосіб електротермічного виробництва алюмінієво-кремнієвих сплавів

На Дніпровському алюмінієвому заводі (нині ВАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» - ВАТ «ЗАлК») у 1934 р. вперше у світовій практиці впроваджено промисловий спосіб отримання алюмінієво-кремнієвих сплавів прямим відновленням природних алюмосилікатів вуглецем у потужних рудно-термічних електропечах [3,4]. Спосіб значно вдосконалено на ВАТ «ЗАлК». Отриманий первинний алюмінієво-кремнієвий сплав (силікоалюміній), що містить близько 35…40 % силіцію, розбавляють потім електролітичним або вторинним алюмінієм до складу, що відповідає різним маркам конструкційних алюмінієвих сплавів (ливарних і деформівних сплавів), рафінують від домішок і розливають у чушки [5].

Такий спосіб виробництва дає змогу повністю використовувати кремній первинного алюмінієво-кремнієвого сплаву й одночасно скоротити витрату електролітичного алюмінію. Крім того, при виготовленні сплаву не потрібно спеціального добавляння заліза, оскільки воно міститься в необхідних кількостях у первинному сплаві.

Переваги цього способу порівняно зі способом сплавляння електролітичного алюмінію з кристалічним кремнієм такі [3,11]:

1) із застосуванням способу усувається протиріччя між значною поширеністю алюмінію в природі і практичною обмеженістю застосування його сировини для промислової переробки;

2) сучасна руднотермічна піч (потужність 22,5 МВт) еквівалентна за потужністю 20-30 великим електролізерам [11,16]. Оскільки електролізери працюють на низькій напрузі (5 В), потужності їх дуже незначні (не більш як 1,3 МВт). Введення в дію великої кількості електролізерів пов'язане зі значними капітальними затратами та втратами енергії на численних контактах, електродах і шинопроводах. Крім того, за електротермічного способу виключаються втрати на перетворення струму, а також витрати на інші види енергії (пара, паливо), на виробництво глинозему та кріоліту.

Добова продуктивність за алюмінієм на 1 $м^2$ череня електролізера становить близько 40-50 кг, у потужній електропечі – 1400 кг/($м^2$·добу) алюмінієво-кремнієвого сплаву (900 кг у перерахунку на алюміній) [1,4,16].

1.7 Способи виробництва алюмінієвих лігатур

Лігатури отримують двома основними способами: сплавлянням чистих компонентів і відновленням легуючого металу з його сполук. Відомий також спосіб порошкової металургії, за якого здійснюють змішування порошків металів і сплавів із наступним їх пресуванням і спіканням. Його застосовують вкрай рідко через значну трудомісткість і низьку продуктивність[1,4,11].

Спосіб безпосереднього сплавляння компонентів має п'ять різновидів:

1) у розплавлений алюміній із низькою температурою плавлення вводять тверді куски більш тугоплавкого металу;

2) у розплавлений тугоплавкий метал із високою температурою плавлення вводять тверді куски легкоплавкого алюмінію;

3) вихідні метали плавлять окремо і змішують у рідкому стані введенням легкоплавкої алюмінієвої основи в тугоплавку складову;

4) вихідні метали плавлять окремо і змішують у рідкому стані, введенням тугоплавкої складової у легкоплавку алюмінієву основу;

5) у рідку алюмінієву основу вводять складові плавленням електрода, що витрачається, або ж плавлять електрод із відповідної суміші металів.

Спосіб отримання лігатур відновленням легуючого металу з його сполук за своїми технологічними і конструктивними рішеннями має також декілька різновидів [3,11,16].

Вибір способу виробництва лігатур визначається його рентабельністю та якістю отриманого матеріалу. Наприклад, багатокомпонентні лігатури недоцільно отримувати способом алюмотермії, оскільки витримати необхідний хімічний склад досить складно [13]. Для цієї мети найбільш надійним способом є пряме сплавляння компонентів.

Алюмотермічним способом, як правило, готують бінарні лігатури з високим вмістом легуючого компонента [12]. Лігатури, отримані алюмотермічним відновленням оксидів, необхідно переплавляти з розбавлянням алюмінієм до досягнення потрібного хімічного складу.

1.8. Особливості виплавки алюмінієвих ливарних сплавів, якість сплавів та фактори, що впливають на чистоту металу

Ливарні алюмінієві сплави призначені для виробництва фасонних виливків. Як ливарні матеріали використовуються як первинні сплави, виготовлені легуванням чистого алюмінію, так і стандартні вторинні сплави, отримані зі скрапу та відходів алюмінієвих сплавів. В особливих випадках відливають де-

талі також із чистого алюмінію, в основному для хімічної та харчової промисловості, а також для електротехніки. Ливарні сплави у загальному обсязі виробництва алюмінієвих сплавів становлять 20 % [10].

В Україні алюмінієві ливарні сплави в чушках виробляють на алюмінієвих підприємствах із первинних металів, на підприємствах вторинної кольорової металургії – із брухту та відходів.

Частка алюмінієвих ливарних сплавів у чушках, що виробляються з вторинних брухту та відходів, становить близько 50 % [11].

На алюмінієвих підприємствах виробляються:

- сплави-силуміни різної чистоти (АК12, АК12ч, АК12пч та АК12оч);

- висококремнієві сплави різної композиції та 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 та відходів виробляють сплави: АК9; АК7; АК9М2; АК8М3; АК5М2; АК5М4; АК5М7; АК12М2МгН та ін [5,8] Для підшихтування сплавів у невеликих кількостях застосовуються первинні метали. Сплави АК9 і АК8 є для підприємств вторинної кольорової металургії дефіцитними марками (з брухту та відходів сплави виробляються з великими труднощами). Сплави АК5М2, АК5М4, АК9М2, АК8М3, АК12М2 за вмістом міді, заліза, цинку легко одержують із брухту та відходів різних сплавів. Серед них найбільш технологічні та дешеві сплави АК8М3 та АК5М4 [5].

У багатьох промислово-розвинених країнах світу, включаючи США, Німеччину, Японію, частка виробництва алюмінієвих ливарних сплавів із вторинної сировини сягає нині 85-90 % [12].

За кількістю стандартних алюмінієвих ливарних сплавів у чушках (понад 40 марок) Україна випереджає європейські країни, але поступається США (76

марок) та Японії (50 марок) [11].

Великий сортамент алюмінієвих сплавів у чушках у США дозволяє використовувати їх у 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 рідина, здатність до заповнення ливарної форми, мала схильність до утворення усадкових і газових порожнин, тріщин, раковин [8].

Значний вплив на рідину надає характер затвердіння сплаву і теплоємність розплаву. Величина рідинної свідчить про ступінь чистоти розплаву. Підвищений вміст оксидів у розплаві негативно впливає на його рідину [6].

Здатність до заповнення форми характеризує здатність розплаву до заповнення та відтворення радіусів закруглення порожнини виливниці.

При затвердінні та охолодженні розплаву відбувається зменшення його обсягу, що може призвести до утворення усадкових раковин. Істотним при цьому є виникнення та розподіл усадкової раковини у виливку. Розрізняють велику або макрозбіжну раковину (як відкриту, так і закриту), дрібну або мікросадинну раковину і садибну пористість [8].

Для встановлення розподілу величини усадки використовують проби квадратної форми, відлиті в землю або кокіль. Тип затвердіння алюмінієвих сплавів впливає на можливість підживлення виливки та розподіл усадкової раковини [13,14]. Для чистого алюмінію та сплавів евтектичного складу переважає відкрита садинна раковина. Сплави з широким інтервалом кристалізації мають сильну схильність до мікрозбіжних раковин і пористості усадкового характеру.

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

Схильність до утворення гарячих тріщин може бути зменшена легувальною присадкою та вибором сприятливої форми виливки, в якій немає різких переходів від тонких перерізів до товстих та накопичення металу. Усунути небезпеку виникнення тріщин можна також слабким набиванням форм і стрижнів. Після повного затвердіння виливків при подальшому охолодженні до кімнатної температури відбувається їхнє лінійне стиснення або усадка, які вимірюються ступенем відхилення розмірів виливків від розмірів форми і виражаються у відсотках. Усадка алюмінієвих сплавів становить 1,25-1,4 % проти 1,75 % для чистого алюмінію [8,11,12]. Усадка виливків залежить від складу сплаву, умов твердіння та способу розливання. Якщо усадка утруднена настільки, що сили, що виникли, перевершують міцність і подовження литого металу, то виникають усадкові тріщини. Цьому дефекту може протидіяти раннє вибивання форми та своєчасне витягування стрижнів при кокільному литті та під тиском.

Поряд з вибором відповідної вихідної сировини, способів формування та лиття якість металевого виливка визначають також властивості розплаву та процеси, що відбуваються під час твердіння.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологічна схема виробництва сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної сировини

Алюмінієві ливарні і деформовані сплави виготовляють методом сплавленням на ливарних ділянках металургійних і машинобудівних заводів, в плавильних цехах металургійних заводів, що переплавляють вторинну алюмінієву сировину [16,20].

Технологічний процес виробництва алюмінієво-кремнієву сплаву АК6М2 сплавленням рідкого електролітичного алюмінію і кристалічного кремнію складається з таких основних стадій [12]: підготовка матеріалів шихти; вибір і підготовка плавильних агрегатів; плавлення (приготування лігатур); плавлення (приготування сплаву); рафінування; модифікування; відстоювання; зняття шлаку; розливання сплаву в чушки (рис.2.1).

Для приготування лігатур використовують індукційну тигельну піч промислової частити [3,11,14]. В тигельні печі заливають рідкий алюміній, завантажують брухт і відходи алюмінію, алюмінієвих сплавів та інші шихтові матеріали в залежності від лігатур, що виготовляються. Розплав розігрівають і рафінують флюсом, ретельно перемішують. Лігатуру відстоюють та зливають в ківш при температурі 800 ºС [15].

Для приготування сплаву в попередньо очищену і розігріту піч САН завантажують розрахункову кількість шихтових матеріалів. Приготовані лігатури заливають у піч із ковшів через заливні кишені. Чушковий алюміній завантажують через спеціальні завантажувальні вікна в склепінні печі.

Після введення всіх компонентів сплаву у піч, її нагрівають до температури 830-850 °С, за якої відбувається інтенсивне перемішування і розчинення завантаженої шихти. Після повного розчинення завантажених шихтових матеріалів піч вимикають, розплав відстоюють упродовж 5-10 хв, з поверхні металу збирають шлак, відбирають пробу сплаву на експрес-аналіз [21]. Під час

проведення аналізу визначають основні компоненти сплаву і домішку заліза [17].

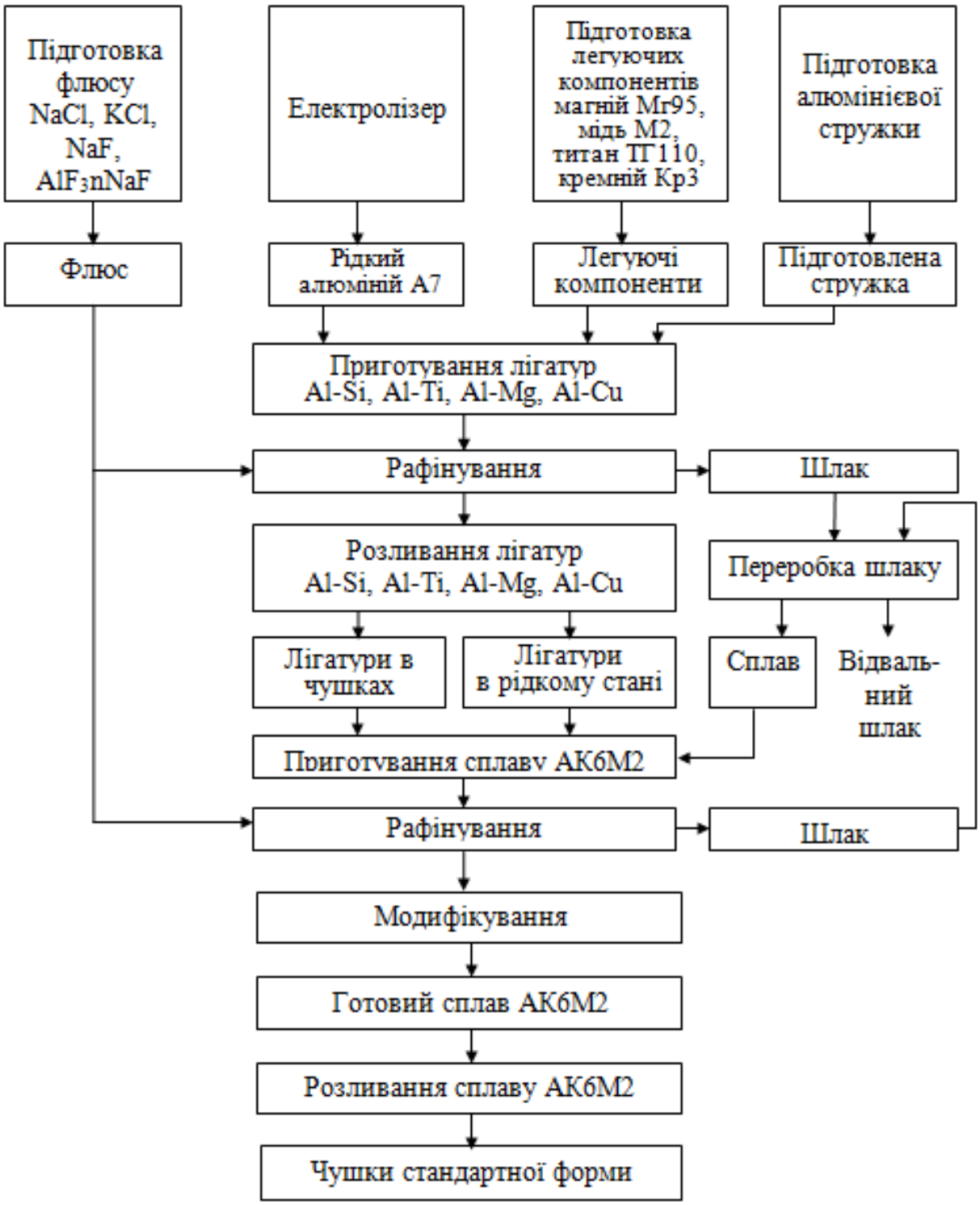


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва сплаву АК6М2 із залученням до шихти алюмінієвої стружки

Виготовлений сплав за температури 800-850 °С зливають з печі для розливання в чушки на ливарний конвеер (для розливання чушок масою 15 кг) [2,4,16].

2.2 Технологія виробництва сплаву АК6М2

Для виробництва алюмінієво-кремнієвих сплавів використовується електролітичний алюміній (або первинний) у рідкому стані або твердому стані, по хімічному складу відповідає ДСТУ 11069. Хімічний склад алюмінію електролітичного наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад алюмінію електролітичного за ДСТУ 11069 [7]

Марка	Домішки, не більше %									Алюміній, не менше %
	Кремній	Залізо	Мідь	Марганець	Магній	Цинк	Галій	Титан	Інші домішки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А85	0,06	0,08	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,008	0,02	99,85
А8	0,10	0,12	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	99,80
А7	0,15	0,16	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	99,70
А7е	0,08	0,20	0,01	-	0,02	0,04	0,03	0,01[1)]	0,02	99,70

Примітка: [1)] – для суми титану, ванадію, хрому і марганцю;

[2)] – допустима масова частка заліза не менше 0,18 %;

[3)] – в документі про якість указується фактичне значення масової частки заліза і кремнію окремо.

У виробництві кремнію і сплавів склад шихти дозволяється корегувати завантаженням (крім основної сировини) злитків сплаву або кремнію, які були забраковані на вигляд або хімічному складу.

У виробництві силуміну і сплавів використовують кремній технічний ГОСТ 2169-69. Хімічний склад кремнію технічного приведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад кремнію технічного (ДСТУ 2169) [7].

Марка кренію	Масова частка, %				
	Кремній, не меше	Домішки, не більш			
		Залізо	Алюміній	Кальцій	Сума визначуваних домішок
Кр 00	99,0	0,4	0,3	0,4	1,0
Кр 0	98,8	0,5	0,4	0,4	1,2
Кр 1	98,0	0,7	0,7	0,6	2,0
Кр 2	97,0	1,0	1,2	0,8	3,0
Кр 3	96,0	1,5	1,5	1,5	4,0

У якості легуючих добавок у виробництві алюмінієвих ливарних сплавів, використовують: магній, марганець, мідь катодна, титан губчастий, нікель, брухт магнію, лом міді, титанова стружка, лом нікелю (мідно-нікелево-цинкові відходи).

Магній первинний в чушках марки Мг90 по ДСТУ 2187 [8]. Допускають застосування лому магнію по ДСТУ 3211-95. Хімічний склад магнію приведений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад магнію (ДСТУ 804-93) [8]

Марка магнію	Масова частка, в %				
	Магній, не менше	Домішки, не більш			
		Залізо	Алюміній	Кремній	Мідь
Мг96	99,96	0,004	0,002	0,004	0,002
Мг95	99,95	0,004	0,006	0,004	0,003
Мг90	99,90	0,040	0,006	0,009	0,004

Мідь катодна (електролітична) по ДСТУ 859 марки не нижче М3, поставляють в листах. Для набору точного навішування шихти допускають використовувати обрізки мідних шин і стрічки, а також застосовують брухт міді по

ДСТУ 16393 (клас А, група 1, сорти 1, 2). Хімічний склад міді катодної приведений в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Хімічний склад катодної міді (ДСТУ 859) [9]

Марка міді	Масова частка, в %			
	Мідь, не менше	Домішки, не більш		
		Залізо	Нікель	Цинк
М0	99,95	0,005	0,002	0,005
М1	99,90	0,005	0,002	0,005
М2	99,70	0,050	0,020	-
М3	99,50	0,050	0,020	-
М4	99,00	0,100	-	-

Титан губчастий по ДСТУ 3079 допускається використовувати стружку титанову по ДСТУ 1639 (група 1, сорт 1), хімічний склад якого приведено в таблиці 1.5.

Таблиця 2.5 - Хімічний склад губчастого титану (ДСТУ 17746) [10]

Марка титану	Масова частка, в %						
	Титан, не менше	Домішки, не більш					
		Залізо	Нікель	Кремній	Водень	Азот	Кисень
ТГ-90	99,74	0,005	0,04	0,01	0,02	0,02	0,04
ТГ100	99,72	0,006	0,04	0,01	0,03	0,02	0,04
ТГ-110	99,67	0,09	0,04	0,02	0,03	0,02	0,05
ТГ-120	99,64	0,11	0,04	0,02	0,03	0,02	0,06
ТГ-130	99,56	0,13	0,04	0,03	0,03	0,03	0,08
ТГ-150	99,45	0,20	0,04	0,03	0,03	0,03	0,10
ТГ-тв	97,75	1,90	-	-	0,10	0,10	-

Алюміній фторид, флюс АФ-70 по ТУ У 27.4-001 1941220, призначення:

- очищення металу від зважених неметалічних включення і розчиненого в металі газу (водню) і зниження кальцію в сплавах;
- модифікація сплавів.

Флюс готується в механічній мішалці після зважування сипких складових. Для приготування обмазувальних розчинів, обсипання литейної оснасти і виливниць застосовується каолін збагачений.

Всі початкові матеріали, що поставляються постачальником повинні мати супровідну документацію – сертифікат якості, паспорт, підтверджуючі їх відповідність стандартам або внутрізаводським інструкціям і стандартам. У супровідних документах повинні бути вказані марки матеріалу або хімічний склад, сорт, кількість матеріалу і найменування відправника.

Забороняється застосовувати в шихті матеріали з наявністю в них вологи, снігу, льоду.

Алюмінієві сплави виробляють на справному і підлагодженому обладнанні плавильної ділянки: розливний конвеєр, індукційні тигельні печі, поворотні електропечі опору марки САН 3-Б, металургійні ковші[4,14,16].

Переплавлення вторинної сировини (брухту та відходів алюмінію) і приготування алюмінієвих лігатур проводять в індукційних тигельних печах ІАТ-6. У тигельні печі заливають рідкий алюміній, потім завантажують брухт і відходи алюмінію, алюмінієвих сплавів та інші шихтові матеріали в залежності від лігатур, що виготовляються.

Підготовка алюмінієвої стружки до металургійної переробки полягає в дробленні витої стружки, відсіванні сторонніх включень і землистого засмічення (тобто бруду), вилучення феромагнітних включень, видаленні залишків мастил, олив і емульсій, сушінні стружки. Ці операції здійснюють на спеціалізованих установках термічного знежирення та сушіння стружки [2,3,16].

В індукційній печі готують алюмінієво-кремнієву, алюмінієво-магнієву, алюмінієво-титанову, алюмінієво-мідну лігатури. Як шихтові матеріали застосовуються кремній кристалічний марки Кр3; титанова губка ТГ110; брухт міді

М2; магній марки Мг95; алюміній електролітичний рідкий марки А7; алюмінієва стружка група 1, сорт 2 (75 % - стружка).

В розігріту індукційну піч заливають електролітичний алюміній і нагрівають його до температури 850-880 ºС [13,16]. Після чого в піч вводять кремній. По розчиненню кремнію в алюмінії відбирають пробу для експрес-аналізу на зміст кремнію. Якщо взята проба відповідає заданому хімічному складу допускають завантаження інших порцій легуючих компонентів у піч ІАТ-6.

В індукційній печі готують алюмінієво-мідну лігатуру. Як шихтові матеріали вибираємо брухт міді М2; алюміній електролітичний рідкий марки А7, алюмінієву стружку, група 1, сорт 2 (75 % - стружка). Первинний алюміній завантажують в тигель печі ІАТ - 6, при температурі 800-850 °С вводять брухт і відходи міді [14]. Після розчинення міді розплав охолоджують до 700 ^{0}С і рафінують. З поверхні металу знімають шлак і при температурі 720-750 ^{0}С зливають розплав в ківш [16].

В печі ІАТ-6 готовлять алюмінієво-магнієву лігатуру для сплаву АК6М2. Як шихтові матеріали вибираємо магній Мг95; алюміній електролітичний рідкий марки А7, стружку алюмінієву, група 1, сорт 2 (75 % - стружка). В розігріту пічь завантажують алюміній, розплавляють і перегрівають його до температури 850…900ºС. Після цього декількома порціями загружають в піч подрібненні брухт і відходи магнію, розплав розігрівають і рафінують флюсом, ретельно перемішують. Лігатуру відстоюють та зливають в ківш при температурі 800 ºС.

Алюмінієво-титанову лігатуру готують для виплавлення сплаву АК6М2. Як шихтові матеріали вибираємо титанову губку ТГ110; алюміній електролітичний рідкий марки А7, стружку алюмінієву, група 1, сорт 2 (75 % - стружка). Всю розраховану кількість алюмінію підогрівають до температури 1200 °С під флюсом [3,12]. В перегріту піч вводять брухт та відходи титану. Після повного розчинення титану при температурі 950-1000 °С виконують рафінування лігатури флюсом, який вводять в розплав. З поверхні лігатури знімають шлак, перемішують лігатуру, відстоюють і зливають при температурі 1150 °С.

Для готування алюмінієво-силіцієвих сплавів у підготовлену і нагріту до температури не нижчої за 750 °С піч завантажують розрахункову кількість шихти. Як шихтові матеріали обираємо: електролітичний алюміній А7; лігатура алюміній-кремній; лігатура алюміній-магній; лігатура алюміній-мідь; лігатура алюміній-титан.

Електролітичний алюміній та приготовані лігатури заливають у піч із ковшів через заливні кишені. Чушковий алюміній завантажують через спеціальні завантажувальні вікна в склепінні печі.

Плавку вважають готовою, якщо температура сплаву стабілізувалася у межах 670-680 °С [11,16]. Розливання сплавів проводять при температурі від 680 до 700 ºС у виливниці конвеєрної машини, заздалегідь розігріті спеціальним пальником, охолоджування виливниць з металом проводять водою в нижній частині.

В процесі розливання відбирають проби на початку, середині і кінці литва. Вимір температур проводять переносною термопарою занурення в комплекті з потенціометром класу точності 0,5 відповідно до «Схеми контролю технологічних параметрів». Розлитий в чушки сплав відправляють на склад готової продукції і після отримання аналізу, маркують [2].

Маркування. На кожній чушці повинні бути нанесені [15,17]:

- товарний знак або найменування і товарний знак підприємства-виробника, номер плавки і маркування сплаву;
- по угоді із споживачем для великогабаритних чушок масою більше 200 кг незмивною фарбою цифрове значення маси чушки в кілограмах.

Допускається за угодою із споживачем наносити номер плавки, товарний знак або найменування і товарний знак підприємства-виробника на 80 % чушок за умови формування пакету з чушок однієї плавки.

Чушки, призначені для виготовлення виробів і обладнання, що контактують з харчовими продуктами, маркіруються за відсутності кольорового маркування додатковою буквою «П», яка ставиться після позначення марки сплаву.

Чушки на торці маркірують незмивною кольоровою фарбою (вертикальні

смуги, хрести, трикутники) або металевим клеймом на поверхні чушки сплаву АК6М2 – два сині хрести [23].

За угодою із споживачем допускається застосовувати інший спосіб нанесення маркування, а також наносити маркування тільки на чушки верхнього ряду пакету. На вимогу споживача на кожній частині ламаної чушки повинні бути нанесені номер плавки і кольорове маркування.

Пакування. Чушки масою до 20 кг формують в пакети масою не більше 1,5 т з урахуванням загальних вимог ДСТУ 21399, ДСТУ 24597.

Пакети повинні складатися з чушок однієї марки сплаву. Пакети скріплюють двома смугами по два витки алюмінієвою катанкою діаметром 9 мм [15]. При формуванні пакету вузол обв'язування повинен розташовуватися на бічній стороні пакету. Допускається за узгодженням із споживачем застосування інших засобів відкріплення, за умови збереження пакетів при транспортуванні. Маса алюмінієвої катанки, вживаної для обв'язування пакетів, входить в масу нетто пакету і партії.

Чушки масою більше 200 кг не формують в пакети.

Приймання. Чушки надають до приймання партіями. Партія повинна складатися з чушок однієї марки сплаву, однієї або декількох плавок і бути оформлена одним документом про якість, що містить: товарний знак або найменування і товарний знак підприємства-виробника; марку сплаву; номер плавки, плавок; результаты хімічного аналізу плавки, плавок; масу партії; вміст водню або бал пористості для рафінованих сплавів; дату виготовлення; позначення справжнього стандарту.

Кожну партію чушок масою більше 200 кг виробник супроводжує спеціально відлитими пробами для визначення хімічного складу і водню в рафінованих сплавах - по одній пробі від кожної плавки. У партії чушок масою по 20 кг допускається не більше 5 % ламаних чушок від маси всієї партії [17]. Ламані чушки на експорт не допускаються.

Перевірці зовнішнього вигляду піддають не менше 1 % чушок масою по 20 кг від кожної плавки, але не менше двох чушок і не менше однієї чушки ма-

сою більше 200 кг від кожної плавки. Для контролю якості зламу чушок масою до 20 кг від кожної плавки відбирають не менше двох чушок [18]. Контроль якості зламу проводиться на вимогу споживача.

Для перевірки хімічного складу і контролю змісту водню в рафінованих сплавах від кожної плавки відбирають не менше двох чушок. Допускається на підприємстві-виробнику відбирати проби від рідкого металу. Сплави в чушках підприємство-виробник контролює на зміст основних компонентів, домішки заліза, шкідливих домішок в харчових сплавах в кожній плавці. Масову частку решти домішок контролюють на вимогу споживача.

При отриманні незадовільних результатів випробувань хоч би по одному з показників по ньому проводять повторне випробування на подвоєній кількості зразків, узятих від тієї ж плавки. Результати повторного випробування поширюють на всю плавку.

Транспортування і зберігання. Чушки транспортують залізничним, водним, автомобільним транспортом відповідно до правил перевезення вантажів, що діють на кожному виді транспорту. Чушки масою до 20 кг транспортують в пакетах. Схеми і розміри пакетів, а також розміщення і кріплення їх в транспортних засобах повинні встановлюватися нормативною документацією. Великогабаритні чушки транспортують на відкритому рухомому складі.

На бічній стороні пакету до засобу обв'язування кріпиться ярлик.

При відвантаженні чушок в пакетах крупними партіями більше 50 т в адресу одного одержувача допускається за угодою з ним супровід ярликами не менше 10 % пакетів від всієї партії.

Кольорове маркування і маса великогабаритних чушок наноситься на бічній стороні чушки. На чушках, що мають скобу для вантажопідйомних механізмів, маркування і маса наносяться на торцевій верхній частині. На пакеті, що містить чушки різних плавок, на чушках верхнього ряду пакету незмивною фарбою наносять номери всіх плавок, що містяться в пакеті.

Чушки повинні зберігатися в критих приміщеннях. Допускається зберігання чушок нерафінованих сплавів на відкритих майданчиках терміном не більше двох місяців.

Перевірку якості поверхні і зламу чушок проводять візуально, без застосування збільшувальних приладів. Для отримання зламу допускається надрізати меншу сторону чушки не більше ніж на 1/3 її висоти. Відбір і підготовка проб для хімічного аналізу чушок масою до 20 кг [16,18].

Для контролю хімічного складу і змісту водню в рафінованих сплавах чушок масою більше 200 кг на підприємстві-виготівнику в середині розливання кожної плавки відливають проби масою (1 ± 0,2) кг у виливницю (рис.1.2). Відбір і підготовку проб для хімічного аналізу чушок масою більше 200 кг проводять від проби [5,6].

Хімічний склад сплавів визначають по ДСТУ 25086, ДСТУ 11739.1, ДСТУ 11739.24. Допускається визначати хімічний склад іншими методами, не поступливими по точності стандартним. При розбіжностях в оцінці хімічного складу аналіз проводять по ДСТУ 25086, ДСТУ 11739.1, ДСТУ 11739.24.

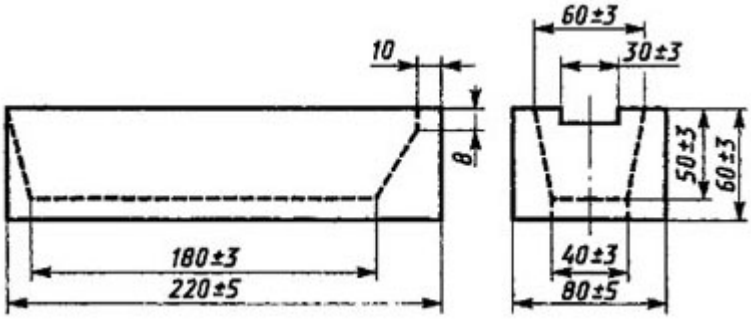


Рисунок 2.2 – Виливниця [18]

При відборі, підготовці проб і проведенні хімічних аналізів слід дотримувати вимоги безпеки, а також іншою нормативною документацією по безпечному веденню цих робіт з урахуванням використання засобів захисту.

Вхідному контролю піддають всю номенклатуру сировини і матеріалів, що поступають на плавильну ділянку. Вхідний контроль включає наступне [21]:
- контроль якості первинного алюмінію, що поступає з електролізного цеху;

- контроль якості технічного кремнію, що надходить;

- перевірку документації на те, що все легує компоненти, на відповідність їх вимогам вказаним на постачання;

- лабораторні випробування сировини і матеріалів (при необхідності);

- контроль якості отриманого сплаву перед його зливом

Дані, отримані в результаті проведення вхідного контролю реєструють в журналі вхідного контролю ВТК. Результати використання сировини і матеріалів у виробництві фіксують в журналах змінних рапортів ділянки цеху литва.

2.3 Розрахунки шихти для виготовлення алюмінієвих лігатур

Для приготування алюмінієво-кремнієвої лігатури у печі ІАТ, як шихтові матеріали вибираємо кремній кристалічний марки Кр3; титанову губку ТГ110; брухт міді М2; магній Мг95; алюміній електролітичний рідкий марки А7; стружку алюмінієву (75% - стружка) (табл.2.6). Угар елементів шихти становить, %: 0,8 Al; 1,0 Si [19]. Розрахунки проводимо за методикою, наведеною у роботі [22].

Таблиця 2.6 – Характеристика шихтових матеріалів [7-10]

Компонент шихти	Масова частка, %						Металургійний вихід %
	Si	Ti	Mg	Al	Fe	Cu	
Кремній Кр3	97,00	-	-	1,50	1,50	-	100,00
Титанова губка ТГ110	0,02	99,89	-	-	0,09	-	100,00
Брухт міді М2	-	-	-	-	0,05	99,95	100,00
Магній Мг95	0,004	-	99,983	0,006	0,004	0,003	100,00
Алюміній А7	0,15			99,68	0,16	0,01	100,00
Стружка алюмінієва	0,12	-	-	99,78	0,10	-	95,00

Розрахунковий склад шихти наведено в таблиці 2.7.

Шихту розраховуємо на 100 кг лігатури.

У шихту потрібно внести:

- кремнію Кр3: $20{,}20 \cdot 100 / 97 = 20{,}825$ кг,

вміст алюмінію у Кр3: $20{,}825 \cdot 1{,}50 / 100 = 0{,}312$ кг;

вміст заліза у Кр3: $20{,}825 \cdot 1{,}50 / 100 = 0{,}312$ кг.

Таблиця 2.7 – Склад шихти для приготування алюмінієво-кремнієвої лігатури

Найменування	Компонент		Всього
	Si	Al	
Середній хімічний склад, %	20,00	80,00	100,00
Маса компоненту на 100 *кг* шихти, кг	20,00	80,00	100,00
Угар, %	1,00	0,80	-
Угар, кг	0,20	0,64	0,84
Розрахунковий склад шихти, кг	20,20	80,64	100,84

Приймаємо, що 50 % алюмінію, необхідного для приготування лігатури Al –Si надходить у вигляді стружки, а решта вводиться у вигляді первинного алюмінію марки А7: $40{,}32 \cdot 100 / 99{,}68 = 40{,}449$ *кг*,

вміст кремнію у алюмінію: $40{,}449 \cdot 0{,}15 / 100 = 0{,}061$ *кг*;

вміст заліза у алюмінію: $40{,}449 \cdot 0{,}16 / 100 = 0{,}065$ *кг;*

вміст міді у алюмінію: $40{,}449 \cdot 0{,}01 / 100 = 0{,}004$ *кг*.

Кількість стружки алюмінієвої: $40{,}32 \cdot 100 / 099{,}78 = 40{,}409$ *кг*,

вміст кремнію у стружці: $40{,}409 \cdot 0{,}12 / 100 = 0{,}048$ *кг*;

вміст заліза у стружці: $40{,}409 \cdot 0{,}10 / 100 = 0{,}040$ *кг*.

Результати розрахунків наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунковий склад шихти алюмінієво-кремнієвої лігатури

Компонент шихти	Кількість, кг	Маса металу, кг	Масова частка елементів в шихті			
			Al		Fe	
			кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7
Стружка алюмінієва	40,409	38,388	38,303	99,78	0,038	0,10
Алюміній А7	40,449	40,449	40,319	99,68	0,065	0,16
Кремній Кр3	20,825	20,825	0,312	1,50	0,312	1,50
Всього	101,683	99,662	78,934	-	0,415	-
Угар	-	0,837	0,631	0,8	0,003	0,75
Після виплавки	-	98,825	78,303	79,234	0,412	0,417

Продовження таблиці 2.8

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті			
	Si		Cu	
	кг	%	кг	%
1	8	9	10	11
Стружка алюмінієва	0,047	0,12	-	-
Алюміній А7	0,060	0,15	0,005	0,01
Кремній Кр3	20,201	97	-	-
Всього	20,308	-	0,005	-
Угар	0,203	1,00	-	0,50
Після виплавки	20,105	20,344	0,005	0,005

Таким чином, для виплавлення 98,825 *кг* лігатури потрібно розрахувати кількість шихтових матеріалів. Потрібна кількість шихтових матеріалів наведена в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахункова кількість шихтових матеріалів

Компонент шихти	Дійсна кількість, кг	При 100 %, кг
Стружка алюмінієва	40,409	39,740
Алюміній А7	40,449	39,779
Кремній Кр3	20,825	20,481
Всього	101,683	100,000

Для приготування алюмінієво-мідної лігатури у печі ІАТ, як шихтові матеріали вибираємо брухт міді М2; алюміній електролітичний рідкий марки А7, стружку алюмінієву (75 % - стружка) (табл.2.1). Угар елементів шихти становить, %: 0,8 Al; 0,5 Cu [1,5,22].

Розрахунок алюмінієво-мідної лігатури проводимо по методиці викладеної у [22], аналогічно розрахунку алюмінієво-кремнієвої лігатури. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.10.

Для приготування алюмінієво-титанової лігатури у печі ІАТ, як шихтові матеріали вибираємо титанову губку ТГ110; алюміній електролітичний рідкий марки А7, стружку алюмінієву (75 % - стружка) (табл.2.1). Угар елементів шихти становить, %: 0,8 Al; 1,0 Ti [1,5,22].

Таблиця 2.10 – Розрахунковий склад шихти алюмінієво-мідної лігатури

Компонент шихти	Кількість, кг	Маса металу, кг	Вміст елементів в шихті			
			Al		Fe	
			кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7
Стружка алюмінієва	25,260	23,997	23,944	99,78	0,026	0,10
Алюміній А7	25,281	25,281	25,200	99,68	0,040	0,16
Брухт міді М2	50,275	50,275	-	-	0,025	0,05
Всього	100,816	99,553	49,144	-	0,091	-
Угар	-	0,646	0,393	0,8	0,001	0,75
Після виплавки	-	98,907	48,751	49,290	0,090	0,091

Продовження таблиці 2.10

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті			
	Si		Cu	
	кг	%	кг	%
1	8	9	10	11
Стружка алюмінієва	0,029	0,12	-	-
Алюміній А7	0,038	0,15	0,003	0,10
Брухт міді М2	-	-	50,250	99,95
Всього	0,067	-	50,253	-
Угар	0,001	1,00	0,251	0,50
Після виплавки	0,066	0,067	49,999	50,552

Розрахунок алюмінієво-титанової лігатури проводимо по методиці викладеної у [1, 5], аналогічно розрахунку алюмінієво-кремнієвої лігатури. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунковий склад шихти алюмінієво-титанової лігатури

Компонент шихти	Кількість, кг	Маса металу, кг	Вміст елементів в шихті			
			Al		Fe	
			кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7
Стружка алюмінієва	48,996	46,546	46,444	99,78	0,046	0,10
Алюміній А7	49,045	49,045	48,888	99,68	0,078	0,16
Титанова губка ТГ110	3,033	3,033	-	-	0,002	0,09
Всього	101,074	98,624	95,332	-	0,126	-
Угар	-	0,795	0,763	0,8	0,001	0,75
Після виплавки	-	97,829	94,569	96,668	0,125	0,127

Продовження таблиці 2.11

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті					
	Si		Cu		Ti	
	кг	%	кг	%	кг	%
1	8	9	10	11	12	13
Стружка алюмінієва	0,056	0,12	-	-	-	-
Алюміній А7	0,074	0,15	0,005	0,01	-	-
Титанова губка ТГ110	0,001	0,02	-	-	0,030	99,89
Всього	0,131	-	0,005	-	3,030	-
Угар	0,001	1,00	-	0,50	0,030	1,00
Після виплавки	0,130	0,133	0,005	0,005	3,00	3,067

Для приготування алюмінієво-магнієвої лігатури у печі ІАТ, як шихтові матеріали вибираємо магній Мг95; алюміній електролітичний рідкий марки А7, стружку алюмінієву (75 % - стружка) (табл.2.1). Угар елементів шихти становить, %: 0,8 Al; 2,0 Mg [1,5,22].

Розрахунок алюмінієво-магнієвої лігатури проводимо по методиці викладеної у роботі [22], аналогічно розрахунку алюмінієво-кремнієвої лігатури. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.12 – Розрахунковий склад шихти алюмінієво-магнієвої лігатури

Компонент шихти	Кількість, кг	Маса металу, кг	Вміст елементів в шихті			
			Al		Fe	
			кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7
Стружка алюмінієва	45,460	43,187	43,092	99,78	0,043	0,10
Алюміній А7	45,506	45,506	45,36	99,68	0,073	0,16
Магній Мг95	10,201	10,201	0,001	0,006	-	0,004
Всього	101,167	98,894	88,453	-	0,116	-
Угар	-	0,912	0,707	0,8	0,001	0,75
Після виплавки	-	97,982	87,746	89,554	0,115	0,117

Продовження таблиці 2.12

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті					
	Si		Cu		Mg	
	кг	%	кг	%	кг	%
1	8	9	10	11	12	13
Стружка алюмінієва	0,052	0,12	-	-	-	-
Алюміній А7	0,068	0,15	0,005	0,01	-	-
Магній Мг95	-	0,004	-	0,003	10,20	99,983
Всього	0,120	-	0,005	-	10,2	-
Угар	-	1,0	-	0,5	0,204	2,0
Після виплавки	0,120	0,122	0,005	0,005	9,996	10,202

2.4 Матеріальні баланси виплавки алюмінієвих лігатур

Розрахунки матеріального балансу виплавки лігатур проводимо за методиками наведеними у [22]. Загальне витягання металу з урахуванням механічних втрат (2,2 %) і угару шихти (0,6 %) складатиме:

$$100 - (2,2 + 0,6) = 97,2\ \%.$$

Для отримання 1000 кг лігатури необхідно мати в шихті металу:

$1000 / 0,972 = 1028,806$ кг,

в тому числі:

стружка алюмінієва: $1028,806 \cdot 0,39740 = 408,847$ кг;

алюміній А7: $1028,806 \cdot 0,39779 = 409,249$ кг;

кремній Кр3: $1028,806 \cdot 0,20481 = 210,709$ кг.

З урахуванням засмічення необхідно мати:

стружка алюмінієва: $408,847 / 0,95 = 430,365$ кг;

алюміній А7: 409,249 кг;

кремній Кр3: 210,709 кг.

Загальна маса шихти з урахуванням угару, механічних втрат, засміченості

складе:

430,365+409,249+210,709=1050,323 кг.

Визначимо кількість води і мастила, що поступає зі стружкою:

430,365-409,249=21,116 кг.

З них за даними практики 15 % мастил, а також води 20 % або $21{,}116 \cdot 20/100 = 4{,}223$ кг.

Мастило, за практичними даними [23] складається на 85 % з вуглецю і на 15 % з водню, що в перерахунку на кг складе:

$3{,}167 \cdot 0{,}85 = 2{,}692$ кг вуглецю, $3{,}167 \cdot 0{,}15 = 0{,}475$ кг водню.

При згоранні 0,475 кг H_2 витрачається $0{,}475 \cdot 16/2 = 3{,}800$ кг O_2, утворюється $0{,}475 \cdot 18/2 = 4{,}275$ кг води. При згоранні 2,692 кг вуглецю витрачається

$$2{,}692 \cdot 32/12 = 7{,}178 \text{ кг кисню,}$$

а утворюється $2{,}692 \cdot 44/12 = 9{,}871$ кг вуглекислого газу.

Використовуючи реакції окислення компонентів шихти визначимо кількість кисню, що витрачається на окислення шихти і кількість оксидів, що утворилися.

Метали окислюються за загальною реакцією:

$$2Me + O_2 = 2MeO, \qquad (2.1)$$

x y z

$x_1 = 0{,}789 Al$ $y_1 = 0{,}701 O_2$ $z_1 = 1{,}490 Al_2O_3$

$x_2 = 0{,}004 Fe$ $y_2 = 0{,}002 O_2$ $z_2 = 0{,}006 Fe_2O_3$

$x_3 = 0{,}203 Si$ $y_3 = 0{,}232 O_2$ $z_3 = 0{,}435 SiO_2$

Загальна сума кисню на окислення шихти ∑y=0,935 кг, а повітря 0,935/0,21=4,452 кг. У перерахунку на 1028,806 кг шихти кисню необхідне 9,460 кг, а повітря 9,460/0,21=45,047 кг.

Оксиди від окислення складає ∑z=1,931 кг, а в перерахунку на 1028,806 кг шихти складуть 19,537 кг.

Оксиди від засмічення складуть 21,116-(3,167+4,223)=13,726 кг. Під час

плавки в шлак також переходить 1000 кг металу. У шлак перейде $(1028{,}806 \cdot (2{,}2 + 0{,}6)/100) - 10{,}077 = 18{,}729$ кг.

У флюс необхідно ввести 1 % від кількості шихти, що складає 1050,323·0,01=10,503 кг, зокрема:

NaCl $10{,}503 \cdot 0{,}565 = 5{,}934$ кг;

KCl $10{,}503 \cdot 0{,}115 = 1{,}208$ кг;

NaF $10{,}503 \cdot 0{,}250 = 2{,}626$ кг;

Na_3AlF_6 $10{,}503 \cdot 0{,}070 = 0{,}735$ кг.

Таким чином, кількість шлаку складе:

18,729+13,726+19,537+10,503=62,495 кг.

Результати розрахунків наведено в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Матеріальний баланс виплавки лігатури Al- Si

Надходження		Витрачання	
Речовина	Кількість, кг	Речовина	Кількість, кг
Шихта, в тому числі:	1050,323	Лігатура Al – Si	1000,000
Кремній Кр3	210,709	Шлак, у тому числі:	62,495
Алюміній А7	409,249	солі, у тому числі:	10,503
Стружка алюмінієва, у тому числі:	430,365	NaCl	5,934
MeO	13,726	KCl	1,208
H_2O	4,223	NaF	2,626
мастило, у тому числі:	3,167	Na_3AlF_6	0,735
вуглець	2,692	Me	18,729
водень	0,475	оксиди від засмічення	13,726
Повітря, у тому числі:	97,323	оксиди від окислення	19,537
кисень	20,038	Димові гази, у тому числі:	95,654
азот	77,285	H_2O	8,498
Флюс, у тому числі:	10,503	азот	77,285
NaCl	5,934	CO_2	9,871
KCl	1,208		
NaF	2,626		
Na_3AlF_6	0,735		
Всього	1158,149	Всього	1158,149

Розрахунок матеріального балансу алюмінієво-мідної лігатури проводимо по методиці викладеної у [22,23], аналогічно розрахунку матеріального балансу алюмінієво-кремнієвої лігатури. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Матеріальний баланс виплавки лігатури Al – Cu

Надходження		Витрачання	
Речовина	Кількість, кг	Речовина	Кількість, кг
Шихта, в т.ч.:	1042,373	Лігатура Al – Cu	1000,000
Брухт міді М2	513,145	Шлак, у тому числі:	53,141
Алюміній А7	257,883	солі, у тому числі:	10,424
Стружка алюмінієва, у тому числі:	271,345	$NaCl$	5,890
MeO	8,819	KCl	1,199
H_2O	2,713	NaF	2,606
мастило, у тому числі:	2,035	$AlF_3 \cdot nNaF$	0,729
вуглець	1,730	Me	18,683
водень	0,350	оксиди від засмітчення	8,819
Повітря, у тому числі:	57,834	оксиди від окислення	15,215
кисень	12,145	Димові гази, у тому числі:	57,490
азот	45,689	H_2O	5,458
Флюс, у тому числі:	10,424	азот	45,689
$NaCl$	5,890	CO_2	6,343
KCl	1,199		
NaF	2,606		
$AlF_3 \cdot nNaF$	0,729		
Всього	1110,631	Всього	1110,631

Розрахунок матеріального балансу алюмінієво-титанової лігатури проводимо по методиці викладеної у [22,23], аналогічно розрахунку матеріального балансу алюмінієво-кремнієвої лігатури. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Матеріальний баланс виплавки лігатури Al – Ti

Надходження		Витрачання	
Речовина	Кількість, кг	Речовина	Кількість, кг
Шихта, в т.ч.:	1055,054	Лігатура Al – Ti	1000,000
Титанова губка ТГ110	30,874	Шлак, у тому числі:	64,761
Алюміній А7	499,218	солі, у тому числі:	10,550
Стружка алюмінієва, у тому числі:	524,962	$NaCl$	5,961
MeO	16,733	KCl	1,213
H_2O	5,149	NaF	2,637
мастило, у тому числі:	3,862	$AlF_3 \cdot nNaF$	0,739
вуглець	3,283	Me	18,790
водень	0,579	оксиди від засмічення	16,733
Повітря, у тому числі:	105,043	оксиди від окислення	18,688
кисень	21,555	Димові гази, у тому числі:	105,886
азот	83,488	H_2O	10,360
Флюс, у тому числі:	10,550	азот	83,488
$NaCl$	5,961	CO_2	12,038
KCl	1,213		
NaF	2,637		
$AlF_3 \cdot nNaF$	0,739		
Всього	1170,647	Всього	1170,647

Розрахунок матеріального балансу алюмінієво-магнієвої лігатури проводимо по методиці викладеної у [22,23], аналогічно розрахунку матеріального балансу алюмінієво-кремнієвої лігатури. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Матеріальний баланс виплавки лігатури Al – Mg

Надходження		Витрачання	
Речовина	Кількість, кг	Речовина	Кількість, кг
Шихта, в т.ч.:	1053,138	Лігатура Al – Mg	1000,000
Сплав магнію Мг95	103,735	Шлак, у тому числі:	63,492
Алюміній А7	462,767	солі, у тому числі:	10,531
Стружка алюмінієва, у тому числі:	486,636	$NaCl$	5,950
MeO	15,816	KCl	1,211
H_2O	4,866	NaF	2,633
мастило, у тому числі:	3,650	$AlF_3 \cdot nNaF$	0,737
вуглець	3,103	Me	18,769
водень	0,547	оксиди від засмітчення	15,816
Повітря, у тому числі:	99,952	оксиди від окислення	18,376
кисень	20,990	Димові гази, у тому числі:	100,129
азот	20,990	H_2O	9,789
Флюс, у тому числі:	10,531	азот	78,962
$NaCl$	5,950	CO_2	11,378
KCl	1,211		
NaF	2,633		
$AlF_3 \cdot nNaF$	0,737		
Всього	1163,621	Всього	1163,621

2.5 Розрахунок шихти для виплавки сплаву АК6М2

Складаємо шихту для виплавки сплаву АК6М2 в печі САН за методикою, наведеною в роботі [22]. Шихта компактна. Угар елементів для компактної шихти приймаємо, %: 0,8 Al; 1,0 Si; 0,5 Cu; 2,0 Mg; 1,0 Ti [23].

Відповідно до ДСТУ 2839 [15] сплав АК6М2 містить (табл.1.1), %: 0,425 Mg ; 6,0 Si ; 2,05 Cu; решта 0,15 Ti.

Як шихтові матеріали вибираємо:

- алюміній електролітичний А7;
- лігатура алюміній-кремній, %: 79,234 Al; 20,344 Si; 0,417 Fe; 0,005 Cu;
- лігатура алюміній-магній, %: 89,554 Al; 10,202 Mg; 0,122 Si; 0,115 Fe;0,005 Cu;
- лігатура алюміній-мідь, %: 49,280 Al; 50,552 Cu; 0,067 Si; 0,091 Fe; 0,003 Cu;
- лігатура алюміній-титан, %: 96,668 Al; 3,067 Ti; 0,133 Si; 0,127 Fe; 0,005 Cu.

Шихту розраховуємо на 100 кг сплаву за методикою, викладеною [22].

Для врахування втрат окремих елементів на угар маса шихтових матеріалів має бути збільшена:

- кремнію на 6,0·1,0/100=0,060 кг;
- магнію на 0,425·2,0/100=0,009 кг;
- міді на 2,05·0,5/100=0,010 кг;
- титану на 0,15·1,0/100=0,002 кг;
- алюмінію на 91,375·0,8/100=0,731 кг.

Далі визначаємо кількість чушкового алюмінію та лігатур.

У шихту необхідно внести:

- лігатури Al-Si 6,060·100/20,344=29,788 кг,

вміст Al у лігатурі 29,788-6,060=23,728 кг;

- лігатури Al-Mg 0,434·100/10,202=4,254 кг,

вміст Al у лігатурі 4,254-0,434=3,820 кг;

- лігатури Al-Cu 2,060·100/50,552=4,075 кг,

вміст Al у лігатурі 4,075-2,060=2,015 кг;

- лігатури Al-Ti 0,152·100/3,067=4,956 кг,

вміст Al у лігатурі 4,956-0,152=4,804 кг.

Маса чушкового алюмінію складає:

92,289-(23,728+3,820+2,015+4,804)=57,739 кг.

Отже, для виплавки 100 кг сплаву АК6М2 потрібна така кількість шихтових матеріалів:

алюміній електролітичний А7 57,739 кг,

лігатурі алюміній-кремній 29,788 кг,

лігатурі алюміній-магній 4,254 кг,

лігатурі алюміній-мідь 4,075 кг,

лігатурі алюміній-титан 4,956 кг.

Всього 100,812 кг.

Розрахунковий склад шихти представлено у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Склад шихти для виплавки сплаву АК6М2

Найменування	Компонент					Всього
	Si	Mg	Cu	Ti	Al	
Середній хімічний склад, %	6,000	0,425	2,050	0,150	91,375	100,000
Маса компонента на 100 кг шихти, кг	6,000	0,425	2,050	0,150	91,375	100,000
Угар, %	1,0	2,0	0,5	1,0	0,8	-
Угар, кг	0,060	0,009	0,010	0,002	0,731	0,812
Розрахунковий склад шихти, кг	6,060	0,434	2,060	0,152	92,106	100,812

Для виливків відповідного призначення слід перевірити кількість шкідливих домішок, внесених вихідними матеріалами.

Виконаємо перевірку маси заліза, що містять в сплаві АК6М2, одержаному із шихти, склад якої розрахований вище.

Масова частка заліза в компонентах шихти, %:

- у алюмінії електролітичному А7 0,160;
- у лігатурі алюміній-кремній 0,417;
- у лігатурі алюміній-магній 0,115;
- у лігатурі алюміній-міді 0,091;
- у лігатурі алюміній-титан 0,127.

У сплав вноситься заліза, *кг*:

- алюмінію електролітичному А7 57,739·0,160/100=0,092 кг,
- лігатурі алюміній-кремній 29,788·0,417/100=0,124 кг,
- лігатурі алюміній-магній 4,254·0,115/100=0,005 кг,

- лігатурі алюміній-мідь 4,075·0,091/100=0,004 кг,

- лігатурі алюміній-титан 4,956·0,127/100=0,006 кг

Всього 0,231 кг.

Таким чином, у сплаві АК6М2 міститься 0,231 кг заліза або близько 0,23 % заліза, що не перевищує норми, передбаченої стандартом.

Висновки розрахунків зведені у таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Розрахунковий склад сплаву АК6М2

Компонент шихти	Маса, кг	Вміст елементів в шихті					
		Si		Mg		Cu	
		%	кг	%	кг	%	кг
1	2	3	4	5	6	7	8
Лігатура Al-Mg	4,254	0,122	0,005	10,202	0,434	0,005	0
Лігатура Al-Cu	4,075	0,067	0,003	-	-	50,552	2,060
Лігатура Al-Ti	4,956	0,133	0,006	-	-	0,005	0
Лігатура Al-Si	29,788	20,344	6,060	-	-	0,005	0
Алюміній А7	57,739	-	-	-	-	-	-
Всього	100,812	-	6,074	-	0,434	-	2,061
Угар	0,818	1,000	0,061	2,000	0,009	0,500	0,010
Після виплавки	99,994	6,013	6,013	0,425	0,425	2,051	2,051

Продовження таблиці 2.18

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті					
	Ti		Fe		Al	
	%	кг	%	кг	%	кг
1	9	10	11	12	13	14
Лігатура Al-Mg	-	-	0,115	0,005	89,554	3,810
Лігатура Al-Cu	-	-	0,091	0,004	49,290	2,008
Лігатура Al-Ti	3,067	0,152	0,127	0,006	96,668	4,787
Лігатура Al-Si	-	-	0,417	0,124	79,234	23,603
Алюміній А7	-	-	0,160	0,092	99,840	57,647
Всього	-	0,152	-	0,231	-	91,855
Угар	1,000	0,001	0,750	0,002	0,800	0,735
Після виплавки	0,151	0,151	0,229	0,229	91,125	91,120

2.4 Матеріальний баланс виплавки сплаву АК6М2

Загальне витягання металу з урахуванням механічних втрат (2,2 %) і угару шихти (0,6 %) складе [23]:

100-(2,2+0,6)=97,2 %.

Для отримання 1000 кг лігатури необхідно мати в шихті металу:

1000/0,972=1028,806 кг, в тому числі:

алюміній електролітичний А7: $1028{,}806 \cdot 57{,}739 / 100{,}812 = 589{,}238$ кг;

лігатура алюміній-кремній: $1028{,}806 \cdot 29{,}788 / 100{,}812 = 303{,}992$ кг;

лігатура алюміній-магній: $1028{,}806 \cdot 4{,}254 / 100{,}812 = 43{,}413$ кг;

лігатура алюміній-мідь: $1028{,}806 \cdot 4{,}075 / 100{,}812 = 41{,}586$ кг;

лігатура алюміній-титан: $1028{,}806 \cdot 4{,}956 / 100{,}812 = 50{,}577$ кг.

Метали окислюються за загальною реакцією (2.1):

$x_1 = 0{,}735 Al$; $y_1 = 0{,}653 O_2$; $z_1 = 1{,}388 Al_2O_3$;

$x_2 = 0{,}002 Fe$; $y_2 = 0{,}001 O_2$; $z_2 = 0{,}003 Fe_2O_3$;

$x_3 = 0{,}061 Si$; $y_3 = 0{,}070 O_2$; $z_3 = 0{,}131 SiO_2$;

$x_4 = 0{,}010 Cu$; $y_4 = 0{,}001 O_2$; $z_4 = 0{,}011 CuO$;

$x_5 = 0{,}001 Ti$; $y_5 = 0 O_2$; $z_5 = 0{,}001 TiO$;

$x_6 = 0{,}009 Mg$; $y_6 = 0{,}003 O_2$; $z_6 = 0{,}012 MgO$.

Загальна сума кисню на окислення шихти ∑y=0,728 кг, а повітря 0,728/0,21=3,467 кг. У перерахунку на 1028,806 кг шихти кисню необхідне 9,608 кг, а повітря 9,608/0,21=37,552 кг. Оксиди від окислення складають ∑z=1,546 кг, а в перерахунку на 1028,806 кг шихти складуть 15,777 кг.

У шлак перейде $1028{,}806 \cdot (2{,}2 + 0{,}6) / 100 = 28{,}806$ кг. Зокрема: механічні втрати $1028{,}806 \cdot 2{,}2 / 100 = 22{,}634$ кг; оксиди від окислення $1028{,}806 \cdot 0{,}6 / 100 = 6{,}172$ кг.

У флюс необхідно ввести 0,5 % від кількості шихти, що складає 1028,806·0,005=5,144 кг, в тому числі:

- $NaCl$ - $5{,}144 \cdot 0{,}565 = 2{,}906$;

- KCl - $5{,}144 \cdot 0{,}115 = 0{,}592$ кг;

- NaF - $5{,}144 \cdot 0{,}250 = 1{,}286$ кг;

- Na_3AlF_6 - $5{,}144 \cdot 0{,}070 = 0{,}360$ кг.

Таким чином, кількість шлаку складе: 22,634+15,777+5,144=43,555 кг.

Висновки розрахунків зведені у таблиці 2.19.

Згідно таблиці 2.13 для виробництва 1000 кг сплаву необхідно витратити 303,992 кг Al-Si лігатури. Тоді в прибуткову частину балансу згідно матеріального балансу виплавки Al-Si лігатури (табл.2.13) записуємо:

1) кремній Кр3 $210{,}709 \cdot 303{,}992 / 1000 = 64{,}054$ кг;

2) алюміній А7 $409{,}249 \cdot 303{,}992 / 1000 = 124{,}408$ кг;

3) стружка алюмінієва $430{,}365 \cdot 303{,}992 / 1000 = 130{,}828$ кг,

у тому числі: - мастило $3{,}167 \cdot 303{,}992 / 1000 = 0{,}963$ кг;

- волога $4{,}223 \cdot 303{,}992 / 1000 = 1{,}284$ кг;

- МеО $13{,}726 \cdot 303{,}992 / 1000 = 4{,}173$ кг;

4) повітря, що поступає в піч $97{,}323 \cdot 303{,}992 / 1000 = 29{,}585$ кг,

у тому числі: - кисень $20{,}038 \cdot 303{,}992 / 1000 = 6{,}091$ кг;

- азот $77{,}285 \cdot 303{,}992 / 1000 = 23{,}494$ кг;

5) 4-компонентний флюс в печі $10{,}503 \cdot 303{,}992 / 1000 = 3{,}193$ кг,

у тому числі: - $NaCl$ $5{,}934 \cdot 303{,}992 / 1000 = 1{,}804$ кг;

- KCl $1{,}208 \cdot 303{,}992 / 1000 = 0{,}367$ кг;

- NaF $2{,}626 \cdot 303{,}992 / 1000 = 0{,}798$ кг;

- Na_3AlF_6 $0{,}735 \cdot 303{,}992 / 1000 = 0{,}224$ кг.

Витратна частина балансу по лігатурі Al-Si:

шлак печі $62{,}495 \cdot 303{,}992 / 1000 = 18{,}998$ кг,

у тому числі:

а) солі - $10{,}503 \cdot 303{,}992 / 1000 = 3{,}193$ кг,

у тому числі: - $NaCl$ $5{,}934 \cdot 303{,}992 / 1000 = 1{,}804$ кг;

- KCl $1{,}208 \cdot 303{,}992 / 1000 = 0{,}367$ кг;

- NaF $2{,}626 \cdot 303{,}992 / 1000 = 0{,}798$ кг;

- Na_3AlF_6 $0{,}735 \cdot 303{,}992 / 1000 = 0{,}224$ кг;

б) оксиди металів $19{,}537 \cdot 303{,}992 / 1000 = 5{,}939$ кг;

в) метал $18{,}729 \cdot 303{,}992 / 1000 = 5{,}693$ кг;

г) оксиди від засмічення $13{,}726 \cdot 303{,}992 / 1000 = 4{,}173$ кг;

Димові гази в печі $95{,}654 \cdot 303{,}992 / 1000 = 29{,}078$ кг,

у тому числі: - волога $8{,}498 \cdot 303{,}992 / 1000 = 2{,}583$ кг;

- азот $77{,}285 \cdot 303{,}992 / 1000 = 22{,}494$ кг;

- вуглекислий газ $9{,}871 \cdot 303{,}992 / 1000 = 3{,}001$ кг.

Подальші розрахунки на лігатури Al-Ti, Al-Cu, Al-Mg ведемо аналогічно розрахунку викладеного вище на лігатуру Al-Si і зводимо в таблицю 2.19.

Згідно таблиці 2.14 для виробництва 1000 кг сплаву необхідно витратити 589,238 кг алюмінію первинного А7. Ця кількість алюмінію А7 повністю йде в прибуткову частину балансу.

Також згідно таблиці 2.14, в прибуткову частину балансу записуємо повітря, що поступає в піч при приготуванні готового сплаву АК6М2 в кількості 37,552 кг (у тому числі кисню - 9,608 кг, азоту - 27,947 кг), 4-компонентний флюс в кількості 5,144 кг (у тому числі $NaCl$ - 2,906 кг, KCl - 0,592 кг, NaF - 1,286 кг, Na_3AlF_6 - 0,360 кг) у витратну частину балансу, згідно таблиці 2.14, записуємо шлак в кількості 43,555 кг, що складається з 5,144 кг солі (у тому числі $NaCl$ - 2,906 кг, KCl - 0,592 кг, NaF - 1,286 кг, Na_3AlF_6 - 0,360 кг), 15,777 кг оксидів металів, 22,634 кг металу. Димові гази при плавці в печі – 27,947 кг, що повністю складаються з азоту.

Загальна кількість матеріалу, використовуваного при приготуванні 1000 кг готового сплаву АК6М2 складає:

- магній М-95 - 4,503 кг;
- кремній Кр3 - 64,054 кг;
- брухт міді М2 - 21,340 кг;

- титанова губка Тг110 - 1,562 кг;
- алюміній А7 - 769,709 кг;
- стружка алюмінієва - 189,789 кг,

у тому числі: - мастило - 1,401 кг;
- волога - 41,642 кг;
- метал - 146,746 кг;

- повітря - 56,393 кг,

у тому числі: - кисень - 23,348 кг;
- азот - 33,045 кг;

- 4-компонентний флюс – 4,615 кг,

у тому числі: - $NaCl$ - 2,608 кг;
- KCl - 0,531 кг;
- NaF - 1,153 кг;
- Na_3AlF_6 - 0,323 кг.

Загальна кількість матеріалів, що витрачаються на приготування 1000 кг сплаву АК6М2 складає:

$$1050{,}957 + 56{,}393 + 4{,}615 = 1111{,}965 \text{ кг.}$$

З них витрати шихтових матеріалів складають:

$$1111{,}965 - 4{,}615 - 56{,}393 = 1050{,}957 \text{ кг.}$$

Підсумкова витратна частина матеріального балансу приготування сплаву АК6М2:

- сплав АК6М2 – 1000 кг;
- шлак – 70,793 кг,

у тому числі: а) солі - 4,615 кг,

у тому числі: - $NaCl$ - 2,608 кг;
- KCl - 0,531 кг;
- NaF - 1,153 кг;
- $AlF_3 \cdot nNaF$ - 0,323 кг;

б) оксиди металів - 35,309 кг;

в) метал - 30,869 кг.

- димові гази – 41,172 кг,

у тому числі: - азот - 33,045 кг;

- волога - 3,759 кг;

- вуглекислий газ - 4,368 кг.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.19 разом з даними кількості шихтових матеріалів для готового виробництва сплаву АК6М2.

Таблиця 2.19 – Зведений матеріальний баланс виплавки сплаву АК6М2

Надходження			Витрачання		
Речовина	Кількість		Речовина	Кількість	
	кг	%		кг	%
Шихта, у тому числі:	1050,957	94,51	Сплав АК6М2	1000,000	89,93
кремній Кр3	64,054	5,76	Шлак, в тому		
магній Мг95	4,503	0,405	числі:	70,793	6,37
брухт міді М2	21,340	1,92	метал	30,869	2,78
титанова губка ТГ110	1,562	0,1405	солі, в тому		
алюміній електроліти-			числі:	4,615	0,42
чний А7	769,709	69,22	NaCl	2,608	0,24
стружка алюмінієва,	189,789	17,07	KCl	0,531	0,05
в тому числі:			NaF	1,153	0,10
мастило	1,401	0,13	Na_3AlF_6	0,323	0,03
H_2O	41,642	3,74	MeO	30,165	2,71
метал	146,746	13,20	Димові гази,		
Повітря, в тому числі:	56,393	5,07	у тому числі:	41,172	3,70
O_2	23,348	2,10	H_2O	3,759	0,34
N_2	33,045	2,97	N_2	33,045	2,97
Флюс, у тому числі:	4,615	0,42	CO_2	4,368	0,39
NaCl	2,608	0,24			
KCl	0,531	0,05			
NaF	1,153	0,10			
Na_3AlF_6	0,323	0,03			
Всього	1111,965	100,00	Всього	1111,965	100,00

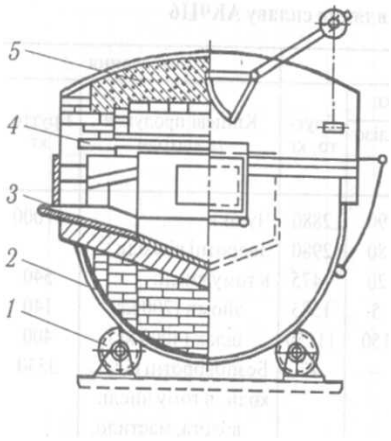
3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Конструкція та принцип дії плавильної печі опору

Плавильна поворотна відбивна електропіч опору типу САН є поширеним агрегатом на алюмінієвих підприємствах [4,10,14]. Її використовують як міксер-накопичувач при розливанні алюмінію в чушки або для сплавляння кристалічного кремнію з електролітичним алюмінієм і легуючими компонентами.

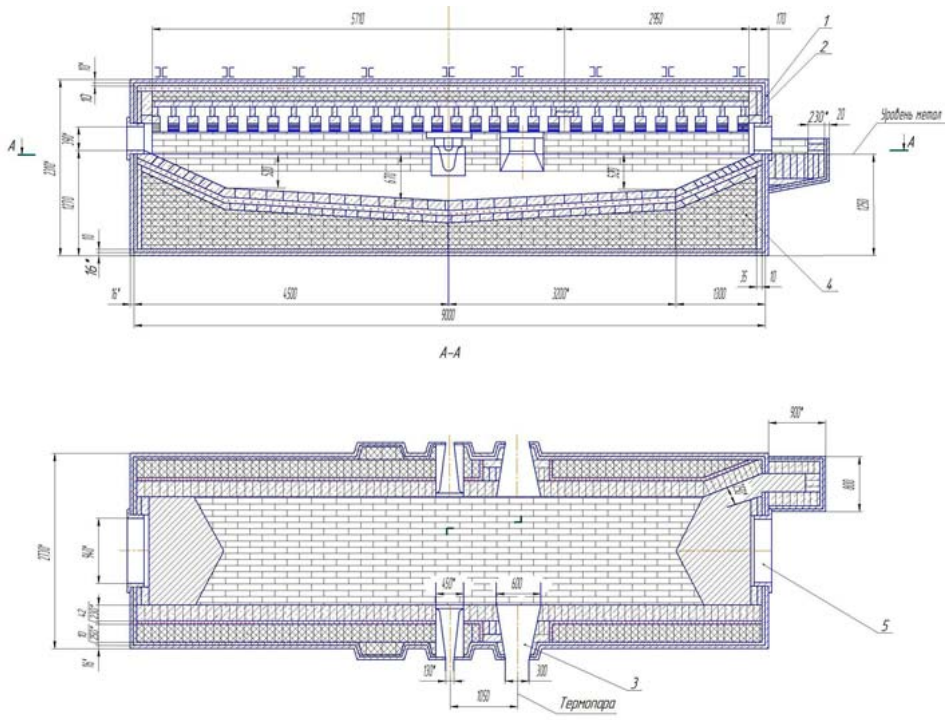
Плавильні печі типу САН мають місткість від 0,5 до 20 т, завдяки чому їх можна застосовувати при різних масштабах виробництва.

Піч САН-3Б (рис.3.1) складається зі зварного видовженого металевого корпусу, встановленого на катки поворотного механізму, що закріплений на фундаменті [19]. Повертання печі здійснюють за допомогою електроприводу . Для заливання рідкого алюмінію, завантаження твердого металу, перемішування розплаву, видалення шлаків і очищення печі на торцевих стінках є робочі вікна із футерованими дверцятами, які підіймаються. У центральній частині печі розміщена ванна або металозбірник, що використовується для приготування сплаву. Зливання готового сплаву здійснюється через льотку, розміщену на бічній стінці печі.



1 – коток; 2 – кожух; 3 – льотка; 4 – електронагрівник; 5 – футеровка

Рисунок 3.1 – Поворотна плавильна електропіч опору САН-3Б [19]



1 – коток; 2 – кожух; 3 – льотка; 4 – електронагрівник; 5 – футеровка

Рисунок 3.2 – Розріз плавильної електропечі опору САН-3Б

Футеровка череня центральної ванни і форкамер складається із шамотної або магнезитової набивки завтовшки 30 *мм* і шару шамотних цеглин, під яким знаходиться теплова ізоляція.

Стінки і черінь печі викладають із шамотної цегли з тепловою ізоляцією. З метою запобігання проникненню металу у футеровку перед верхнім рядом шамотної цегли череня зроблена графітова набивка. Склепіння печі набирають із фасонних вогнетривких цеглин, у гніздах яких розміщують нагрівні елементи (спіраль або пластини з ніхрому). Нагрівні елементи утворюють три секції: перша — над ванною, друга і третя — над форкамерами. Для контролю температури у склепінні встановлено термопари, по одній у кожній секції. Регулювання температури виконується автоматично заданими вимірювання температури в печі.

У поворотних печах САН зливають верхні шари розплаву, що відстоювалися, тому метал отримують з меншим вмістом неметалевих домішок. Ці печі легше й зручніше обслуговувати порівняно зі стаціонарними.

До недоліків печей цього типу слід віднести тривалість сушіння їх після ремонту, а також неможливість проведення рафінування розплаву безпосередньо в самій печі, оскільки при цьому можливе потрапляння крапель металу на спіраль нагрівних елементів і виведення їх із ладу. Екранування нагрівних елементів печі в такому разі призводить до помітного подовження часу плавки, тому недоцільне.

3.2 Конструктивний розрахунок поворотної відбивної електропечі опору САН-3Б

Визначаємо розміри дротяного нагрівача трьохфазної трьохзонної печі опору САН-3Б побічної дії потужністю 50 кВт з робочою температурою 1150 К. Напруга живлячої мережі 380 В [23].

Як матеріал для нагрівачів вибираємо ніхром Х20Н80Т з питомим електроопором $\rho = 1{,}3 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при максимальній робочій температурі 1400К, і мірою чорноти ε = 0,9 [24,26]. Знаходимо питому поверхневу потужність ідеального нагрівник за формулою [23]:

$$q_{ид} = \frac{\sigma_0}{\frac{1}{\varepsilon_н} + \frac{1}{\varepsilon_0} - 1} \cdot (T_н^4 - T_0^4) \qquad (3.1)$$

де σ_0 – граничний коефіцієнт випромінювання, кВт/(м^2 · К^4);

$\varepsilon_н$, ε_0 – міра чорноти ніхрому початкова - кінцева;

$T_н$, T_0 – температура початкова - кінцева, К.

$$q_{ид} = \frac{5{,}7 \cdot 10^{-11}}{\frac{1}{0{,}9} + \frac{1}{0{,}8} - 1} \cdot (1400^4 - 1150^4) = 82 кВт / м^2.$$

Для спіралі з дроту приймаємо $k_{эф}$ = 0,3 [24] і отримаємо

$$q_{ид} \cdot k_{эф} \approx 25 кВт / м^2. \qquad (3.2)$$

Розрахункова потужність (на 3 фази) дорівнює

$$P = \frac{50}{3} = 16{,}7 \text{ кВт.} \qquad (3.3)$$

Розрахункова напруга нагрівача (при з'єднанні фаз в «зірку») дорівнює

$$U = \frac{P}{\sqrt{3}} \tag{3.4}$$

де Р – потужність мережі (Р=350), кВт.

$$U = \frac{350}{\sqrt{3}} = 220B.$$

Визначимо діаметр дротяного нагрівача за формулою [23]:

$$D = 7400 \cdot \sqrt[3]{\rho \cdot (P \cdot U)^2 \cdot \frac{1}{q}} \tag{3.5}$$

де P - потужність мережі, кВт;

U – напруга мережі, В;

ρ – питомий електроопір матеріалу, Ом · м;

q – питома поверхнева потужність, кВт/м^2;

$$D = 7400\sqrt[3]{1{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot (\frac{16{,}7}{220})^2 \cdot \frac{1}{25}} \approx 5мм = 5 \cdot 10^{-3} м.$$

Знайдемо площу поперечного перетину нагрівника

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot 5^2 = 19{,}6мм^2 = 19{,}6 \cdot 10^{-6} м^2. \tag{3.6}$$

Опір нагрівника складає:

$$r = \frac{U^2}{P \cdot 10^3} = \frac{220^2}{16{,}7 \cdot 10^3} = 2{,}9Ом. \tag{3.7}$$

Знаходимо необхідну довжину нагрівника:

$$l = \frac{1}{\rho} \cdot r \cdot s = \frac{1}{1{,}3 \cdot 10^{-6}} \cdot 2{,}9 \cdot 19{,}6 \cdot 10^{-6} = 43{,}6м. \tag{3.8}$$

де ρ – питомий електроопір матеріалу, Ом · м;

s – площа поперечного перерізу, м^2;

r – опір нагрівача, Ом.

Поверхня нагрівника складає

$$П \cdot l = \pi \cdot D \cdot l = 3{,}14 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 43{,}6 = 0{,}685м^2. \tag{3.9}$$

де D – діаметр дротяного нагрівача, м;

l – довжина нагрівача, м.

Фактична питома поверхнева потужність нагрівача складає

$$q = \frac{P}{П \cdot l} = \frac{16,7}{0,685} = 24,5 кВт / м^2 \le 25 кВт / м^2 . \quad (3.10)$$

де P – розрахункова потужність, кВт;

$П \cdot l$ - добуток периметра на площу поперечного перерізу нагрівника, м^2

Визначимо масу нагрівника:

$$m = d \cdot s \cdot l = 8400 \cdot 19,6 \cdot 10^{-6} \cdot 43,6 = 7,2 кг . \quad (3.11)$$

- де d – щільність матеріалу, складає 8400 кг/м^3;

s – площа поперечного перерізу, м^2;

l – довжина нагрівача, м.

Питома витрата сплаву опору Х20Н80Т складає

$$m_y = \frac{m}{P} = \frac{7,2}{16,7} \approx 0,43 кг / кВт . \quad (3.12)$$

де m – маса нагрівача, кг;

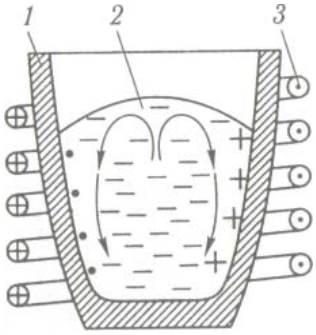
P – розрахункова потужність, кВт.

3.3 Конструкція та принцип дії індукційної тигельної печі

Одним із досконалих і економічних плавильних агрегатів, які застосовують при виробництві чушкових алюмінієво-кремнієвих сплавів та лігатур, є індукційні тигельні печі. Ці печі знаходять усе ширше застосування на підприємствах, що виготовляють конструкційні алюмінієві сплави.

В основу роботи індукційної тигельної печі покладено трансформаторний принцип передавання електричної енергії індукцією від первинного кола до вторинного [6,23]. Первинною обмоткою повітряного трансформатора є індуктор, усередині якого знаходиться вогнетривкий тигель з металом. Розплавлений метал є вторинною обмоткою. Під час проходження по індуктору змінний струм створює навколо нього магнітне поле. Частина магнітних силових ліній проходить крізь метал у тиглі й збуджує в ньому електричний струм, який нагріває метал [24]. Унаслідок відштовхувальної дії протилежно спрямованих струмів в ін-

дукторі та рідкому металі середня частина ванни підіймається, що зумовлює енергійне перемішування металу (рис.3.2).

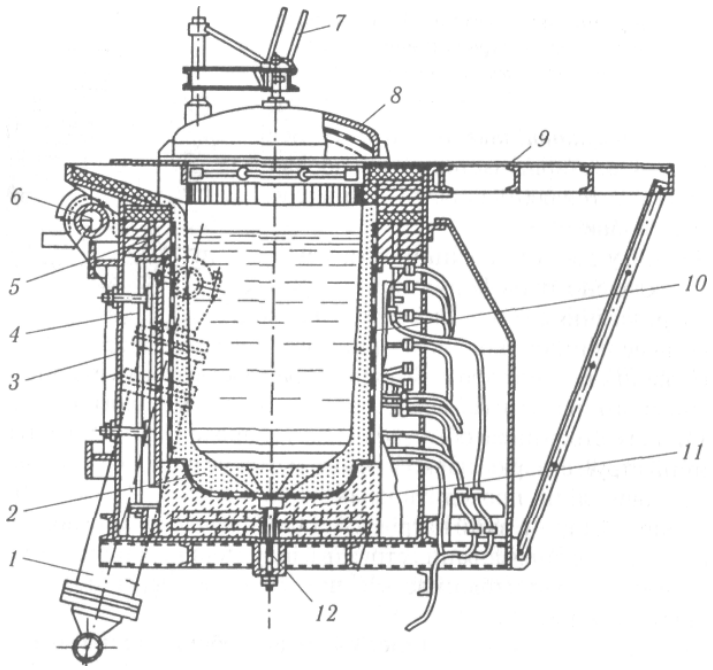


1 – тигель; 2 – рідкий метал; 3 – індуктор

Рисунок 3.3 – Перемішування металу в індукційній тигельній печі під дією електродинамічних сил

Індукційна тигельна піч (рис.3.3) являє собою тигель з вогнетривкого матеріалу, встановлений на черені, закріпленому в металевому каркасі, і оточений індуктором з магнітопроводами [6,23]. Піч повертається навколо осі за допомогою двох гідравлічних циліндрів, розміщених з боків печі. Циліндричний кожух з листової сталі, зварений з рамою та робочою площадкою, утворює каркас печі. Днище кожуха виготовляють з магнітної жаротривкої сталі. Тигель виготовляють набиванням футерувальної маси або жаротривкого бетону по розбірному шаблону. Тигель установлюють на черені, який викладено з легковагої цегли. Стан футеровки контролюють спеціальним електродом, вмонтованим у дно футеровки тигля, що вимірює її електричний опір. У разі проникнення металу у футеровку її електроопір зменшується і подається відповідний сигнал.

Індуктор – це профільована мідна трубка. Він складається з трьох котушок, виконаних у вигляді виткових секцій з мідних трубок, по яких циркулює вода [6,22,23]. Дві нижні котушки, які мають 24 витки, є первинною обмоткою печі, а третя верхня котушка, що має 8 витків, не підключена до напруги й використовується тільки для охолодження верхньої частини тигля. Трубки ізольовані склотканиною. Електричні та водні комунікації індуктора поєднані й виконані у вигляді гнучких водоохолоджуваних кабелів і шлангів.



1 – гідравлічний циліндр; 2 – тигель; 3 – каркас; 4 – магнітопровід; 5 – металеве кільце; 6 – вісь повертання печі; 7 – димохід; 8 – футерована кришка; 9 – робоча площадка; 10 – індуктор; 11 – черінь; 12 – електрод сигналізації

Рисунок 3.4 – Індукційна тигельна піч ІАТ-6 [6,23]

Для зменшення магнітного потоку розсіювання індуктор по периметру оточений пакетами магнітопроводів, виготовлених з електротехнічної сталі. Знизу індуктор спирається на масивне швелерне кільце із жаротривкого бетону, а зверху за допомогою тяг придавлюється металевим кільцем.

Електропіч зверху закривають зварною, футерованою вогнетривким бетоном кришкою, обладнаною гідравлічним механізмом підіймання і нахилу Зливання металу здійснюється за допомогою гідравлічного приводу нахилом печі в один бік на будь-який кут до 100 °С навколо осі, яка розміщена під зливним носком.

Живлення електропечі ІАТ-6 здійснюється від однофазного електропічного трансформатора. Трансформатор слід розміщувати в ізольованому, вибухобезпечному приміщенні, що добре вентилюється, на можливо мінімальній відстані від електропечі (для зменшення втрат електроенергії в шинах, що підводяться).

Недоліком індукційних тигельних печей є можливість порушення цілості оксидної плівки на поверхні ванни і замішування її в розплав у результаті його інтенсивного перемішування.

Наступне рафінування розплаву, отриманого в індукційних тигельних печах, дасть змогу добути сплави високої якості.

3.4 Конструктивний розрахунок індукційної тигельної печі

Для визначення місткості тигля та геометрії системи індуктор-садка приймаємо добову продуктивність печі A = 34 т, тривалість плавлення τ_1 = 3 *год*, допоміжний час (завантаження та розливання) τ_2 = 1 год. Розрахунок проводимо за методикою, наведеною в [23-25].

Якщо відома продуктивність печі і час циклу, то місткість тигля печі визначають за формулою [23]:

$$M = A \cdot 10^3 \cdot \frac{\tau_1 + \tau_2}{24} \tag{3.13}$$

де M – міскість тигля;

A – добова продуктивність печі, т/добу;

τ_1, τ_2 – відповідно тривалість плавлення і допоміжний час, *год.*

Визначаємо місткість тигля за формулою (3.14):

$$M = 34 \cdot 10^3 \cdot \frac{3+1}{24} = 5700 кг.$$

Та корисний об`єм тигля за формулою:

$$V = M / \gamma, \tag{3.14}$$

де γ – щільніть розплаву, *кг/м³;* γ = 2370 – щільність алюмінієвого розплаву, *кг/м³*.

$$V = \frac{5700}{2370} = 2{,}4 м^3.$$

Визначення розмірів тигля

Розраховуємо за формулою коефіцієнт k_1:

$$k_1 = 1{,}54 - 0{,}41 \cdot (M \cdot 10^{-4})^{0{,}35}, \quad (3.15)$$

$$k_1 = 1{,}54 - 0{,}41 \cdot (5700 \cdot 10^{-4})^{0{,}35} = 0{,}71 ,$$

знаходимо внутрішній діаметр тигля за формулою:

$$d = \sqrt[3]{4V / \pi k_1}, \quad (3.16)$$

$$d = \sqrt[3]{4 \cdot 2{,}4 / 3{,}14 \cdot 0{,}71} = 1{,}62 \ м.$$

та висоту розплаву в тиглі (висоту садки) за формулою:

$$h = k_1 d, \quad (3.17)$$

$$h = 0{,}71 \cdot 1{,}62 = 1{,}14 \ м.$$

При k_2=1,3 (коефіцієнт пропорційності) висота тигля з урахуванням меніска становить

$$h_T = k_2 h, \quad (3.18)$$

$$h_T = 1{,}3 \cdot 1{,}14 = 1{,}48 \ м.$$

Загальна висота тигля дорівнює

$$h_{заг} = h_T + b_Д , \quad (3.19)$$

$$h_{заг} = 1{,}48 + 0{,}250 = 1{,}73 \ м,$$

де $b_Д$ - товщина дна тигля, за практичними даними приймаємо $b_Д$=0,250 *м.*

Визначаємо частоту струму за формулою:

$$f_{\min} \geq 2{,}5 \cdot 10^7 \cdot \frac{\rho}{\mu \cdot d^2}, \quad (3.20)$$

де ρ - питомий електричний опір матеріалу, що завантажується, Ом·м;

μ - відносна магнітна проникність матеріалу завантаження.

$$f_{\min} = 2{,}5 \cdot 10^7 \cdot \frac{24 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 1{,}62^2} = 2{,}3 \ Гц.$$

Приймаємо найближчу частоту стандартного джерела живлення $f = 50 Гц$.

Визначення розмірів індуктора

Для $4500 < M \le 6000$ $b_ф = d/10 - d/12$, тоді товщина футеровки для печі місткістю 5700 *кг* дорівнює

$$b_ф = d/12 = 1{,}62/12 = 0{,}135 \ м.$$

За практичними даними приймаємо товщину ізоляційного шару з азбесту $b_i = 0{,}005 м.$

Внутрішній діаметр індуктора визначимо за формулою:

$$D = d + 2(b_ф + b_i), \tag{3.21}$$

де $b_ф$ - товщина футеровки в середньому перерізі, м; $b_ф = 0{,}135 \ м;$

b_i - товщина ізоляційного шару азбесту, м; $b_i = 0{,}005 \ м.$

$$D = 1{,}62 + 2(0{,}135 + 0{,}005) = 1{,}765 \ м.$$

Приймаємо для печі місткістю 5700 *кг* $k_3 = 1{,}01$ і $k_4 = 0{,}2$ [23], тоді висота індуктора визначається за формулою:

$$H = k_3 D - k_4 h, \tag{3.22}$$

де k_3 - коефіцієнт, що визначається залежно від місткості тигля; $k_3 = 1{,}01$;

k_4 - коефіцієнт, що залежить від розміщення індуктора; $k_4 = 0{,}2$.

$$H = 1{,}01 \cdot 1{,}765 - 0{,}2 \cdot 1{,}14 = 1{,}555 \ м.$$

3.5 Енергетичний баланс індукційної установки

Визначаємо теплові втрати тигельної печі з добовою продуктивністю 34т і складаємо енергетичний баланс установки, використовуючи дані попередніх розрахунків за методикою, наведеною в роботі [24].

Визначаємо середні площі футеровки з жаростійкого бетону та ізоляційного шару з азбесту за формулами:

$$S_Ф = \pi \cdot h_{заг} \cdot (d + d_H)/2 \tag{3.23}$$

$$S_И = \pi \cdot h_{заг} \cdot (d_H + D)/2 \tag{3.24}$$

де $S_{Ô}, S_{È}$ - середня площа футеровки та ізоляційного шару;

d_H - середній зовнішній діаметр футеровки тигля, м .

$$S_Ф = 3{,}14 \cdot 2{,}46 \cdot (1{,}39 + 1{,}62)/2 = 11{,}625 \text{ м},$$

$$S_И = 3{,}14 \cdot 2{,}46 \cdot (1{,}62 + 1{,}63)/2 = 12{,}552 \text{ м}.$$

Визначаємо сумарний тепловий опір бокових стінок тигельної печі та потужність теплових втрат крізь стінки тигля за формулами:

$$P_c = (t_p - t_Ф)/\Sigma R_{ТП} \tag{3.25}$$

$$\Sigma R_{ТП} = \frac{b_Ф}{\lambda_Ф \cdot S_Ф} + \frac{b_И}{\lambda_И \cdot S_И} \tag{3.26}$$

Приймаємо $t_р$ =750 °С, $t_В$ =50 °С, Δt =25 °С, тоді $t_Ф$=50+25=75 °С.

$$\Sigma R_{ТП} = \frac{0{,}115}{0{,}482 \cdot 11{,}625} + \frac{0{,}005}{0{,}215 \cdot 12{,}552} = 2{,}238 \cdot 10^{-2} \ ^0\text{С/Вт}$$

$$Ð_ñ = (750 - 75)/2{,}278 \cdot 10^{-2} = 29631 \text{Вт}$$

Визначаємо сумарний тепловий опір кришки тигля і теплові втрати крізь кришку тигля за формулами [24]:

$$P_K = (t_P - t_K)/\Sigma R_K \tag{3.27}$$

де t_k - допустима температура нагріву зовнішньої поверхні футеровки кришки тигля,дорівнює температурі зовнішнього середовища;

$\Sigma R_{ÒÏ}$ - сумарний тепловий опір кришки тигля.

$$\Sigma R_{ТП} = \frac{\delta_{МК}}{\lambda_{МК} \cdot S_{ТК}} + \frac{\delta_{ФК}}{\lambda_Ф \cdot S_{ТК}} + \frac{\delta_{ИК}}{\lambda_И \cdot S_{ТК}} \tag{3.28}$$

де $\delta_{МК}$, $\delta_{Ôê}$, $\delta_{ÈÊ}$ - товщина металу,футеровки та ізоляційного шару кришки тигля відповідно,м;

$\lambda_{МК}$ - коефіцієнт теплопровідності металу кришки, Вт/(м $\cdot\ ^0$С) ;

$S_{ТК}$ - сумарна площа теплоізоляційної кришки, м^2;

D_K - діаметр кришки тигля, м.

Приймаємо за практичними даними [24], що стальна кришка тигля ($\delta_{МК}$ = 0,010 м) футерована всередині шаром жаростійкого бетону і шаром азбесту.

$$\Sigma R_{ТП} = (\frac{0{,}01}{51{,}1} + \frac{0{,}115}{0{,}479} + \frac{0{,}005}{0{,}212})/2{,}086 = 1{,}264 \cdot 10^{-1} \ ^0C/Bm$$

де $S_{ТК} = 3{,}14 \cdot 1{,}630^2 / 4 = 2{,}086$ м^2,

$\lambda_{МК}$ =51,1 Вт/(м $\cdot\,^0$С),

$\lambda_{Ф} = 0{,}428 + 1{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot (750 + 40) / 2 = 0{,}479$ Вт/(м $\cdot\,^0$С),

$\lambda_{È} = 0{,}157 + 1{,}4 \cdot 10^{-4} \cdot (750 + 40) / 2 = 0{,}212$ Вт/(м $\cdot\,^0$С),

$P_{К} = (750 - 40) / (1{,}264 \cdot 10^{-1}) = 5613$ Вт.

Визначаємо сумарний тепловий опір дна тигля та потужність теплових втрат крізь днище тигля за формулами :

$$P_{Д} = (t_{р} - t_{Д}) / \Sigma R_{Д} \qquad (3.29)$$

де $t_{Д}$ - допустима температура нагріву зовнішньої поверхні футеровки днища тигля,дорівнює температурі зовнішнього середовища;

$\Sigma R_{Ä}$ - сумарний тепловий опір дна тигля, $^0C/Bm$:

$$\Sigma R_{Д} = \frac{\delta_{ФД}}{\lambda_{ф} \cdot S_{Д}} + \frac{\delta_{ИД}}{\lambda_{И} \cdot S_{Д}} \qquad (3.30)$$

$\delta_{ФД}$, $\delta_{ИД}$ - середня товщина футеровки та ізоляційного шару днища, м;

$S_{Ä}$ - площа дна тигля, м^2 :

$$S_{Д} = \pi \cdot d_{Д}^2 / 4 \qquad (3.31)$$

$d_{Ä}$ - діаметр дна тигля, м.

Приймаємо за практичними даними [24] $d_{Д}$ =1,320 м, середню товщину футеровки з жаростійкого бетону $\delta_{ФД} = b_{Д}$, середню товщину ізоляційного шару з азбесту $\delta_{ИД}$ =0,010 м.

$$\Sigma R_{Д} = (0{,}25 / 0{,}479 + 0{,}01 / 0{,}212) / 1{,}368 = 4{,}16 \cdot 10^{-1} \quad {}^0C/Bm$$

де $S_{Д} = 3{,}14 \cdot 1{,}320^2 / 4 = 1{,}368$ м^2

$$P_{Д} = (750 - 40) / 4{,}116 \cdot 10^{-1} = 1707 \text{ Вт.}$$

Визначаємо теплові втрати випромінюванням від поверхні розплаву за формулою [25]:

$$P_{изл} = c_{s} \cdot \varepsilon \cdot (T_{P} / 100)^4 \cdot S_{РМ} \qquad (3.32)$$

де c_{S} - стала Стефана-Больцмана;

ε - коефіцієнт теплового випромінювання розплавленого металу;

T_P - температура розплаву, К;

S_{PM} - площа поверхні розплавленого металу при повному завантаженні печі, м^2:

$$S_{PM} = \pi \cdot d^2 / 4 \tag{3.33}$$

$$P_{изл} = 5{,}67 \cdot 0{,}19 \cdot ((750 + 273)/100)^4 \cdot 1{,}517 = 17899 \text{ Вт}$$

$$S_{PM} = 3{,}14 \cdot 1{,}390^2 / 4 = 1{,}517 \text{ м}^2.$$

Визначаємо потужність теплових втрат з димовими газами за формулою:

$$P_{ух} = S_{ДМ} \cdot \upsilon_{ух} \cdot \gamma_{ух} \cdot c_{ух}(t_р - t_с) \tag{3.34}$$

де $S_{Äì}$ - площа поперечного перерізу димоходу печі, м^3;

$\upsilon_{óõ}$ - середня швидкість руху газів у димоході, м/с;

$\gamma_{óõ}$ - середня густина димових газів, кг/м^3;

$\tilde{n}_{óõ}$ - середня теплоємність димових газів, Дж/(кг $\cdot^0$ С) [26].

$$P_{ух} = 0{,}049 \cdot 0{,}39 \cdot 0{,}765 \cdot 1870(750 - 40) = 19410 \text{ Вт}$$

$$S_{Äì} = 3{,}14 \cdot 0{,}25^2 / 4 = 0{,}049 \text{ м}^2.$$

Визначаємо сумарні загальні теплові втрати печі за формулою :

$$P_{ТП} = P_С + P_К + P_Д + P_{ИЗЛ} + P_{УХ} \tag{3.35}$$

$$P_{ТП} = 30161 + 5613 + 1707 + 17899 + 19410 = 74790 \text{ Вт.}$$

Визначаємо потужність, що споживається установкою, за формулою :

$$P_У = P_И + + P_{пККа} + P_{пК} \tag{3.36}$$

$$P_У = 1109 + 31{,}56 + 27 = 1167{,}56 \text{ кВт.}$$

Визначаємо електричні втрати печі та установки, а також електричний к.к.д. установки за формулами [25]:

$$P_{ер} = P_{еи} + P_{пМ} \tag{3.37}$$

$$P_{ЕПУ} = P_{ЕП} + P_{пкка} + P_{пК} \tag{3.38}$$

$$\eta_{еу} = (P_у - P_{ЕПУ}) / P_У \tag{3.39}$$

$$P_{ер} = 406 + 3{,}33 = 409{,}33 \text{ кВт}$$

$$P_{ЕПУ} = 409{,}33 + 31{,}56 + 27 = 467{,}89 \text{ кВт}$$

$$\eta_{еу} = (1167{,}56 - 467{,}89) / 1167{,}56 = 0{,}599$$

Визначаємо тепловий к.к.д. печі за формулою [24]:

$$\eta_Т = P_{ПОЛ} / P_{САД} \tag{3.40}$$

де $P_{ÏÊ}$ - корисно використана потужність, кВт

$$\eta_Т = 624{,}88 / 699{,}67 = 0{,}893$$

$$P_{ПОЛ} = P_{САД} - P_{ТП} \tag{3.41}$$

де $Ð_{ÑÀÄ}$ - потужність,що передається в садку, кВт

$$P_{ПОЛ} = 699{,}67 - 74{,}79 = 624{,}88 \text{ кВт}$$

$$P_{САД} = P_{И} - P_{ЕП} \tag{3.42}$$

$$P_{САД} = 1109 - 409{,}33 = 699{,}67 \text{ кВт}$$

Визначаємо загальні к.к.д. печі та установки за формулами [24]:

$$\eta_{ОП} = \eta_{Е} \cdot \eta_Т \tag{3.43}$$

$$\eta_{оу} = \eta_{еу} \cdot \eta_Т \tag{3.44}$$

$$\eta_{ОП} = 0{,}634 \cdot 0{,}893 = 0{,}566$$

$$\eta_{оу} = 0{,}599 \cdot 0{,}893 = 0{,}535$$

Визначаємо питому витрату електроенергії на розплавлення та перегрів металу за формулою [24]:

$$\omega_у = \omega_{УТ} / \eta_{оу} \tag{3.45}$$

де $\omega_{ÓÒ}$ - теоретична питома витрата електроенергії на розплавлення та перегрів, кВт · г/т;

$$\omega_у = 290 / 0{,}535 = 542 \text{ кВт} \cdot \text{г/т}$$

Визначаємо тривалість плавки за формулою [27]:

$$\tau = \omega_у \cdot M \cdot 10^{-3} / P_у \tag{3.46}$$

$$\tau = 542 \cdot 6000 \cdot 10^{-3} / 1167{,}56 = 2{,}8 \text{ г}$$

Визначаємо продуктивність печі по розплавленню та перегріву за формулою [25]:

$$G = P_y / \omega_y \tag{3.47}$$

$$G = 1167{,}56 / 542 = 2{,}15 \text{ т/г}$$

Визначаємо питому потужність печі, що розроблюється, за формулою :

$$p = P_{САД} /(\eta_e \cdot \eta_T \cdot M \cdot 10^{-3}) \tag{3.48}$$

$$p = 699{,}67 /(0{,}634 \cdot 0{,}893 \cdot 6000 \cdot 10^{-3}) = 206 \text{ кВт/т}$$

що не перевищує гранично допустиму потужність р = 240 кВт/т для f = 50 Гц

Визначаємо втрати в трансформаторі за формулою :

$$P_{nПП} = P_y \cdot (1/\eta_{ТР} - 1) \tag{3.49}$$

де $\eta_{ÒÐ}$ - к.к.д. перетворювача, надається в каталогах.

$$P_{nПР} = 1167{,}56 \cdot (1/0{,}7297 - 1) = 432{,}44 \text{ кВт}$$

Складаємо рівняння балансу потужності індукційної установки за формулою [24]:

$$P_{ПОЛ} + P_{ТП} + P_{ЕИ} + P_{nМ} + P_{nККА} + P_{nК} + P_{nПП} = P_{ТР} \tag{3.50}$$

$$624{,}88 + 79{,}79 + 406 + 3{,}33 + 31{,}56 + 27 + 432{,}44 = 1600 \text{ кВт}$$

Обираємо трансформатор типу ЕОМН-2700/10-73УЗ з потужністю 1600 кВА.

Результати розрахунків записуємо в табл. 3.1.

3.6 Розрахунок водоохолодження індуктора

Виконуємо розрахунок водоохолодження індуктора індукційної тигельної печі, використовуючи дані попередніх розрахунків.

Повні втрати, що знімаються охолоджуючою водою індуктора, визначаємо за формулою :

$$P_{ПОТ} = P_{ЕП} + P_C \tag{3.51}$$

$$P_{ПОТ} = 409{,}33 + 30{,}16 = 439{,}49 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.1 – Енергетичний баланс індукційної установки

Надходження потужності			Витрачання потужності		
стаття	кількість		стаття	кількість	
	%	кВт		%	кВт
Потужність трансформатора	100,00	1600,00	Корисно використовуєма потужність	39,06	624,88
			Загальні теплові витрати	4,67	74,79
			Електричні витрати в індукторі	25,37	406,00
			Сумарні електричні витрати в сталі магнітопроводу	0,21	3,33
			Електричні втрати в кабельному струмопідводі	1,97	31,56
			Електричні втрати в конденсаторній батареї	1,69	27,00
			Втрати в трансформаторі	27,03	432,44
Всього	100,00	1600,00	Всього	100,00	1600,00

Визначаємо витрату води для охолодження індуктора за формулою [25] якщо: Так як $t_в$ = 50 °С, Δt = 25 °С, тому $t_{вх}$ = 50 - 25 - 25 °С,

$t_{ср}$ = (25 + 5О) / 2 = 38 ^{0}С.

$$Q_{ОХЛИ} = \frac{3{,}6 \cdot P_{ПОТ}}{C_В \cdot \Delta t} \qquad (3.52)$$

де $C_В$ - питома теплоємність охолоджуючої води при Δ t, кДж/(кг $\cdot^0$ С);

Δ t - перепад температур охолоджуючої води, ^{0}С: $\Delta t = t_В - t_{ÂÕ}$,

$t_{ÂÕ}$ - температура охолоджуючої води на вході в індуктор, ^{0}С.

$$Q_{ОХЛИ} = \frac{3,6 \cdot 439,49}{4,185 \cdot 25} = 15,122 \text{ м}^3/\text{г}$$

Визначаємо витрату води для охолодження струмопідводу зо формулою [25] :

$$Q_{ТОК} = \frac{3,6 \cdot P_{пКАБ}}{C_B \cdot \Delta t} \quad (3.53)$$

$$Q_{ТОК} = \frac{3,6 \cdot 31,56}{4,185 \cdot 25} = 1,086 \text{ м}^3/\text{г}$$

Загальна витрата води для охолодження на піч:

$$Q = Q_{ОХЛИ} + Q_{ТОК} \quad (3.54)$$

$$Q = 15,122 + 1,086 = 16,208 \text{ м}^3/\text{г}$$

Знаходимо витрату води для охолодження однієї гілки індуктора ва формулою [25]:

$$Q_{ВЕТВ} = P'_{ПОТ} / (C_B \cdot \Delta t) \quad (3.55)$$

де $Ð'_{ÏÎÒ}$ - кількість втрат,що знімаються охолоджуючою водою однієї гілки індуктора, кВт:

$$P'_{ПОТ} = P_{ПОТ} \cdot n' / n_2 \quad (3.56)$$

n’ – максимальне число витків в одній гілці охолодження індуктора, штук.

$$P'_{ПОТ} = 439,49 \cdot 5 / 31 = 70,88 \text{ кВт}$$

$$Q_{ВЕТВ} = 70,88 / (4,185 \cdot 25) = 0,677 \text{ л/с}$$

Швидкість руху води в трубці індуктора визначаємо за формулою:

$$\upsilon_B = Q_{ВЕТВ} \cdot 10^{-3} / F_{ІНД} \quad (3.57)$$

де $F_{ïíä}$ - площа поперечного перерізу отвору трубки індуктора, м^2.

$$\upsilon_B = 0,677 \cdot 10^{-3} / (3,14 \cdot (28 \cdot 10^{-3}) / 4) = 1,10 \text{ м/с}$$

Визначаємо число Рейнольдса за формулою [24]**:**

$$\text{Re} = \upsilon_B \cdot d_{ТР} / \nu_B \quad (3.58)$$

де $d_{ÒÐ}$ - еквівалентний внутрішній діаметр трубки індуктора, м;

υ_B - кінематична в’язкість води, м^2/с.

$$\mathrm{Re} = 1{,}10 \cdot 28 \cdot 10^{-3} / 6{,}882 \cdot 10^{-7} = 44754$$

Визначаємо кількість теплоти, яка може бути відведена від індуктора охолоджуючою водою, за формулою:

$$P_{ОХЛ} = \alpha_T \cdot F_{ОХЛ} \cdot (t_B - t_{ср}) \qquad (3.59)$$

де $F_{ÎÕË}$ - поверхня тепловіддачі індуктора, м^2 :

$$F_{ОХЛ} = k_9 \cdot П \cdot l_{тр} = k_9 \cdot \pi \cdot d_{тр} \cdot \pi \cdot D \cdot n_{заг} \qquad (3.60)$$

k_9 - коефіцієнт,що враховує долю поверхні охолодження від внутрішньої поверхні трубки;

$n_{çàã}$ - загальна кількість витків індуктора, штук: $n_{заг} = n_2 + n_x$

n_x - кількість витків холостої частини індуктора, штук.

$$F_{ОХЛ} = 0{,}45 \cdot 3{,}14 \cdot 28 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}63 \cdot 41 = 8{,}311\,\text{м}^2.$$

$$P_{ОХЛ} = 5254 \cdot 8{,}311 \cdot (50 - 38) = 524\,\text{кВт}.$$

Перевіряємо втрату напору в індукторі за формулою:

$$\Delta p = 7{,}0 \cdot v_B^2 \cdot l_{тр} / \mathrm{d}_{\mathrm{тр}}^{1,3} \qquad (3.61)$$

$$\Delta p = 7{,}0 \cdot 1{,}10^2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}630 \cdot 41/(28 \cdot 10^{-3})^{1,3} = 185652\ \text{Па},$$

що значно менше допустимої величини тиску в напорному водопроводі. Тому прийнята схема водоохолодження індуктора є правильною.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

4.1 Шкідливі та небезпечні чинники виробничого середовища під час виробництва алюмінієвого сплаву АК6М2 із залученням до шихти вторинної сировини

Під час виробництва алюмінієво-кремнієвого сплаву АК6М2 основними шкідливими чинниками є світлове тепловипромінювання, газо- і пиловиділення, а також шум і вібрація.

Найбільше тепловипромінювання відбувається при виплавці і приготуванні сплавів, виплавленні бінарних лігатур, менше – при розливанні сплавів, проте достатня кількість тепловиділень при процесах сушки ковшів і різних технологічних операціях. Найбільшому тепловому опромінюванню піддається плавильник при знаходженні на сурмовому майданчику і на близькій відстані від льотки печі. Інтенсивність теплової радіації при цьому коливається від 28,5 до 37 Дж/(см^2·хв) [28] залежно від ступеня наповнення рідким металом виливниці або ковша, температури і величини струменя металу, що випускається з печі. Таким чином, наявність могутнього обладнання для нагріву розплавленого металу має величезне тепловиділення, інтенсивне інфрачервоне і ультрафіолетове випромінювання. У промислових корпусах температура повітря на обслуговуючих майданчиках нерівномірна, відносна вологість низька, менше 30 % [29]. Створення нормальних метеорологічних умов в корпусах вирішується в комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень і організації аерації, вентиляції обдування і кондиціонування повітря.

Другим шкідливішим чинником при виробництві алюмінієво-кремнієвих сплавів є газо- і пиловиділяння, які залежать від фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів і металу, що виплавляється. За даними матеріального балансу плавки, гази складають 70-75 % всіх продуктів плавки табл.2.17. До чинників, що впливають на умови праці, відносять шум, вібрацію, високу

інтенсивність свічення нагрітого металу (яскравість). Джерелами шуму є рух конвеєрів і кранів, робота вентиляторів, машини по чищенню ковшів і багато що інше.

Вібрація на ділянці спостерігається в основному середньо- і низькочастотна. Джерелом вібрації є працюючи могутні механізми (редуктора, електродвигуни тощо), як правило, не розповсюджується на великі відстані [28]. При операціях по обслуговуванню печей опору і індукційних печей можливо сліпуча дія променів видимого спектру у поєднанні з інфрачервоним і ультрафіолетовим випромінюванням. Основним джерелом випромінювання є печі ІАТ, печі САН, гарячий метал і шлак.

До основних небезпек при роботі на плавильній ділянці відноситься робота з рідким, гарячим металом, а також робота в безпосередній близькості до переміщення сировини, напівфабрикатів, готової продукції і відходів виробництва, зв’язаних із застосуванням підйомних і транспортних пристроїв, що створюють потенційну небезпеку непередбаченого наїзду, перекидання і обриву або падіння вантажу, що транспортується. По ступеню дії на організм людини сировина, яка використовується при виробництві алюмінієво-кремнієвих сплавів відноситься до четвертого класу небезпеки, тобто малонебезпечні речовини [30].

Вибухонебезпечними є водоохолоджувані елементи печей, при порушенні герметичності яких вода, потрапляючи в робочий простір печі під дією високої температури, приводить до вибухів з викидами рідкого металу. До вибуху також може привести добавка шихти і легуючих елементів як в печі, так і виливків в ківш або в вологі, не прогріті виливниці. Перераховані потенційні небезпеки найчастіше виявляються при екстремальних відхиленнях, які нерідко виникають в результаті температурної напруги при технологічних порушеннях виробництва. Все викладене зумовило віднесення виробництва з виплавлення алюмінієво-кремневих сплавів до виробництв з підвищеною небезпекою.

Шкідливості і небезпеки виробництва алюмінієвих сплавів відносяться до фізичної групи ДСТУ 12.0.003 [28,30]. До цієї групи відносяться пил, шум,

зміна температури усередині цеху.

До найбільш шкідливих умов праці на ділянці по виробництву ливарних сплавів відноситься одна з професій – плавильник. У таблиці 4.1 приведені шкідливі чинники виробничого середовища і заходи щодо їх усунення, які мають місце на плавильній ділянці [29,30]. Згідно гігієнічної класифікації праці робоче місце плавильника відноситься до III класу, в якому шкідливі умови праці перевищують гігієнічні нормативи шкідливих чинників, і мають три чинники шкідливості. За показниками робоче місце відноситься до шкідливих і важких умов праці.

4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища

Санітарні вимоги до виробничих приміщень залежать від їх призначення. Об’єм виробничого приміщення на одного працівника плавильної ділянки складає не менше 15 м³ [27], по нормах площа на одного працівника складає 4,4 м², що відповідає фактичним значенням.

По санітарній характеристиці всі виробничі процеси діляться на 4групи [28-30]:

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

2 група - з несприятливими умовами праці, метеоумовами, виділенням шкідливих речовин, напруженою фізичною роботою (вбиральні, умивальники, душові, в сирих приміщеннях – кімната для сушки одягу, в запорошених – кімната для знепилювання, при роботі на холоді – кімната для обігріву та ін.);

3 група - з різко вираженими шкідливими чинниками (отруйні речовини, радіація); склад: вбиральні, умивальники, душові, кімната для знезараження, знепилювання або дезактивації одягу;

4 група - з особливим режимом для забезпечення якості продукції (харчо-

Таблиця 4.1 – Технічні заходи захисту від впливу шкідливих чинників виробничого середовища

Шкідлива речовина	ГДК, мг/м³	Вміст в повітрі робочої зони, мг/м³	Ознаки отруєння	Наслідки тривалої дії на організм людини	Заходи боротьби з дією шкідливого чинника
Марганець	Високонебезпечний 0,3	0,25	Затьмарення свідомості, різка задишка, розлад кровообігу	Порушення слухової і вестибулярної функції організму	Ефективна вентиляція, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Регулярні медичні огляди.
Оксид вуглецю	Малонебезпечний 20	17,6	інтоксикація	Порушення в роботі печінки (цироз), розвивається цукровий діабет, серцева недостатність та інші такі ж неприємні хвороби	Аерація зданий; дотримання техніки безпеки при вибухових роботах; використання протигазів; медичне спостереження за працівниками відповідних професій.
Шум	85 дБА	76 дБА	-	Підвищує стомлюваність	Звукопоглинальне облицювання обладнання; навушники протишумові
Температура зовнішнього повітря (залежно від пори року)	Холодний і перехідний періоди – нижче 10 ºС; теплий період – 10 ºС і вище	-	-	Під час перерв і пауз в роботі необхідний відпочинок у відповідні погодні умови	Утеплена куртка, ватяні брюки – у зимовий період

ва, медична, напівпровідникова промисловість); склад: умивальники, гардероби (окреме зберігання робочого і домашнього одягу), в цехах з шкідливими виділеннями обов'язковий ізольований вихід на вулицю, санітарно-побутові приміщення розташовують з навітряного боку до цеху.

Виробництво алюмінієво-кремнієвих сплавів відноситься до другої групи. Побутові і допоміжні приміщення грають важливу роль в забезпеченні виробничої санітарії плавильної ділянки. Виробниче приміщення розташоване з урахуванням послідовності виробничих операцій, що виключає перетин технологічних потоків. Ділянка має примусове відведення теплоти, газів і вологи через витяжні зонти.

Конструкція стін, вікон, стель і тому подібне у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії і забезпечують сприятливі умови праці працівників. Скління плавильної ділянки створює необхідне природне освітлення [29,30].

Будівля ділянки має велику площу, що значно ускладнює пристрій аерації і механічної вентиляції. Стіни будівель мають рухомі фрамуги, що забезпечують природне охолоджування прольотів.

До побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час перебування їх на роботі: приміщення для прийому їжі, вбиральні, душові, убиральні, вмивальні, курильні, обігріву трудящих і питного водопостачання. Оскільки плавильна ділянка має велику кількість працівників, побутові приміщення розташовуються в безпосередній близькості з виробничою будівлею.

Ділянка належить до гарячих цехів, тому працівників забезпечують підсоленою водою (0,5 % солі) з розрахунку 4 –5 дм³ на одного працівника в зміну [29]. Всі працівники безкоштовно забезпечуються молоком з розрахунку 0,5 л в зміну [28]. У теплий період часу працівники ділянки забезпечуються полівітамінами для підтримки водно-сольового балансу в організмі.

Всі заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек ділять на колективні і індивідуальні. Боротьба з тепловим випромінюванням, виходячи з устаткування, полягає в облаштуванні захисних екранів, що закривають персонал від дже-

рела випромінювання [28-30]. Також використовують екрани з прошарком з асбокартона, які достатньо ефективні при менших теплових випромінюваннях. Крім того, персонал використовує індивідуальні засоби захисту тіла, рук, очей, голови, особи і органів дихання, які застосовуються постійно.

Для забезпечення нормального складу повітряного середовища робочих місць застосовується припливна і витяжна вентиляція, а також аспірація і аерація [29,30]. Витяжна вентиляція видаляє шкідливі пил і гази з робочої зони, а припливна – забезпечує необхідну притоку повітря (охолодженого, підігрітого, зволоженого і очищеного) на робочі місця для компенсації забрудненого і нагрітого повітря, що пішло. Аерація застосовується для обміну і часткового видалення забрудненого повітря з приміщенні [27-30]. Аспірація, є місцевою витяжною системою, виключає попадання пилу і газу в робочу зону. При роботі в сильно запилених умовах, використовують додатково засоби індивідуального захисту – респіратори, а при необхідності - протигази, що фільтрують.

Джерела шуму мають, як правило великі габарити, які неможливо ізолювати від робочої зони. Для зменшення рівня шуму влаштовуються спеціальні пульти з шумоізольованими стінами, а також застосовують шумоізольовані навушники і «біруши» [29,30]. По можливості устаткування, що є джерелом шуму, розташовують за шумопоглинаючими стінами.

Для захисту органів зору від яскравих відблисків металу і вогню персонал використовує затемнені окуляри, що поглинають ультрафіолетові і видимі промені [27,31].

Для запобігання травмуванню від механічних пошкоджень і дії рідкого металу до роботи повинен допускатися навчений персонал у відповідному спецодягу. На рухомі елементи механізмів, що все крутяться, також встановлюють захисні огорожі, наносять застережливі сигнали і колірні покажчики, використовують звукову сигналізацію.

Основною вимогою до безпечного ведення технологічного процесу і використання сировини є виключення концентрації шкідливих речовин в повітрі

робочої зони вище за ГДК. Це досягається за допомогою витяжної вентиляції і рядом методів боротьби із запиленням.

Основне завдання персоналу - зменшення вірогідності вибухонебезпеки шляхом недопущення течі води, ремонт елементів обладнання і попередня сушка сировини і допоміжного обладнання (ковші, виливниці, інвентар).

Разом з колективними засобами захисту працівниками цеху планується застосування засобів індивідуального захисту (табл.4.2).

Таблиця 4.2 - Засоби індивідуального захисту

Професія	Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	Термін використання
Плавильник	Костюм х/б	12 місяців
	Костюм суконний	12 місяців
	Рукавиці брезентові	20 днів
	Окуляри захисні ЗП1-80 або окуляри захисні О2-76У або щиток захисний тип НБТ-1	До зносу
	Валянки	12 місяців
	Респіратор «Пелюстка»	До зносу
	Каска захисна	До зносу
	брюки х/б на УП (при зовнішніх роботах зимою доп.)	36 місяців
	Валянки (при зовнішніх роботах зимою доп.)	48 місяців

Згідно карти умов праці дана професія має три ступені по чинниках шкідливості і небезпеки праці – пил, шум, температура повітря.

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

Освітлення ділиться на природне і штучне. Для створення природного освітлення в будівлі передбачаються отвори в стінах (вікна) і на даху (ліхтарі).

Таким чином в ділянці використовується комбіноване природне освітлення. Оскільки роботи відносяться до 7-8 розрядів зорової роботи, то коефіцієнт природної освітленості складає 1-3 %.

На промислових підприємствах штучне освітлення двох систем [28]:

- загальне – рівномірне з урахуванням розміщення робочих місць;

- комбіноване – загальне в комплексі з місцевим освітленням.

А також підрозділяється на:

- робоче - для проведення робіт в темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення;

- аварійне – для робіт при аварійному відключенні робочого освітлення;

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

При необхідності частина світильників того або іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення.

Вибір джерела світла залежить від характеру роботи, умов середовища, розмірів приміщення і іншого. Оскільки ділянка є цілодобовим виробництвом тому для проведення робіт в темний час доби, а також в місцях без достатнього природного освітлення застосовується штучне.

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

Природна вентиляція здійснюється завдяки різниці температур повітря в приміщенні і поза ним, а також дії вітру. Механічна вентиляція здійснює обмін повітря за допомогою спеціальних пристосувань. Так, вентилюються всі закриті

приміщення на ділянках (майстерні, комори, технологічні приміщення). При особливих вимогах до якості повітря (у комп'ютерних залах, апаратних) здійснюється його кондиціонування.

У плавильній ділянці електроустановки відносяться до установок до 1000 *В*, що примушує звертати увагу профілактиці електротравматизма.

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

Небезпека поразки електричним струмом посилюється умовами зовнішнього середовища. У гарячих цехах тяжкість поразки збільшується тому, що при перегріві організму знижується його опір.

В цілях захисту від поразки електричним струмом необхідно прийняти заходи безпеки при роботі з електрообладнанням. Для цього конструктивні деталі електрообладнання виконуються з ізолюючих матеріалів. Вживані дроти і кабелі повинні відповідати умовам експлуатації. Для захисту від дотику здійснюють недоступне розташування токоведущих частин. Застосовують огорожі і заземляють електроустаткування. Як захисна ізоляція застосовують теплостійкі лаки, електроізолюючі плівки, емалеві і масляні фарби. Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з поверхнею, що покривається, утворювати токонепровідну, вологонепроникну і механічно міцну плівку.

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

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

Пожежна безпека – стан об'єкту, при якому виключається можливість пожежі, а у разі його виникнення запобігає дія на людей небезпечних чинників пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей (ДСТУ 12.1.004).

Через свою специфіку виробництва алюмінієвого сплаву АК6М2 багато джерел пожежної небезпеки: високотемпературний напівфабрикат або продукт

при виході з льотки печі або при його розливанні, могутнє електрообладнання, горючі шихтові матеріали, стислий кисень та інше.

Основні причини виникнення пожеж і вибухів:

- порушення нормальних режимів технологічних операцій;
- спалах мастил;
- викиди металу і гарячих шихтових матеріалів;
- неправильне ведення робіт по ремонту обладнання;
- самозагоряння деяких речовин і матеріалів;
- порушення вимог пожежної безпеки.

З урахуванням вище переліченого основними заходами щодо профілактики пожеж в цеху є строге дотримання вимог пожежного режиму такими, що всіма працюють відповідно до розроблених типових правил для промислових підприємств.

Для зменшення небезпеки виникнення і розповсюдження пожеж важливе значення має раціональний пристрій цеху. Так розміщення корпусів проведене так, щоб обмежити розповсюдження пожежі.

При ліквідації пожежі велике значення має узгодженість дій людей, що беруть участь в пожежогасінні. Тому кожен працівник цеху повинен добре знати правила пожежної безпеки для цеху і конкретно для робочого місця, місцезнаходження найближчого гучномовця і номер пожежної охорони і вміти ними користуватися. Ретельне вивчення плану ліквідації аварій, виробництва, що розробляється з урахуванням специфіки.

Головне в протипожежному захисті – здійснення профілактичних заходів, що виключають виникнення і розповсюдження пожежі.

Ділянка по виробництву ливарних сплавів має категорію по пожежонебезпечності «Г» (не горючі речовини розжарені або розплавлені, і горючі речовини спалюються або утилізувалися як паливо) [31]. Будівля ділянки відноситься до 1 ступеня вогненебезпечності (будівлі з конструкціями, що несуть і захищають, з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів).

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

Причиною пожежі в цеху може послужити спалах електроустановок. Для гасіння таких пожеж використовується вуглекислота, яка не електропровідна. З цією метою застосовують вогнегасники ВУ-5 і ВУ-8. Також застосовується передбачена в проекті автоматична система пожежогасінні.

У разі виникнення пожежі необхідно максимально ізолювати вогненебезпечні матеріали. Далі відключити подачу електроенергії, перекрити комунікації, по яких можливе розповсюдження пожежі, негайно викликати пожежну охорону. Передбачається також установка внутрішніх пожежних кранів для подачі води.

Пожежні крани в будівлі встановлюють на майданчиках сходових кліток, в коридорах і інших місцях на висоті 1,35 *м* від підлоги. Кожен кран обладнаний пожежним рукавом завдовжки 10 або 20 *м* з пожежним стовбуром.

Внутрішні крани поміщають в шафку або щит зі скляними дверцями.

Перераховані засоби гасіння подаються до місця пожежі по трубопроводах (вода, пара, гази); за допомогою вогнегасників (вуглекислота, піна, порошка); в ручну (пісок, земля).

Всі засоби пожежогасіння повинні бути в справному стані і досяжними для використання.

Вогнегасники, пісок, інвентар розташовуються на пожежних щитах. Пожежні трубопроводи виділяються червоною фарбою.

4.3 Розрахунок аераційного ліхтаря будівлі

Для активної природної вентиляції на даху основної виробничої будівлі встановлений аераційний ліхтар. Аераційний ліхтар встановлений на перекритті ливарного відділення, де найактивніше відводиться перегріте повітря. Про-

філь аераційного ліхтаря вибраний так, щоб найефективніше використовувати вітер і температурний градієнт в приміщенні для активізації витягу з цеху перегрітого повітря [28]. Використовується аераційний ліхтар прямокутного типу із стулками, що механічно відкриваються, і системою вітробійних щитів, що захищають від задування вітром і занесення снігом. Для аерації приміщення на стінах ливарного відділення будівлі розміщені віконні отвори, що відкриваються, що забезпечує необхідну циркуляцію повітря. Для отворів, що відкриваються, вибрані фрамужні палітурки, що мають навіску на горизонтальній осі, що спрощує механічні пристрої для їх відкривання і закривання і не дає можливості дощу при сильному вітрі проникати в приміщення при відкритих стулках.

Аерація є природним організаційним повітрообміном, що відбувається унаслідок різниці щільності зовнішнього і внутрішнього повітря, дія вітру і їх сукупної дії [32]. Застосовується аерація у будівлях із значними тепловиділеннями для забезпечення заданої температури повітря в робочій зоні (рис.4.1).

Приймаємо, що для виплавлення алюмінієво-кремнієвого сплаву АК6М2 металургійна (плавильна) ділянка має розміри: довжина (а) – 150 м; ширина (b)– 24 м; висота (с)– 20 м.

На плавильній ділянці встановлено печі ІАТ та печі САН, що виплавляють сплав АК6М2. Кількість тепловиділень від чотирьох каскадів $Q = 4{,}63 \cdot 10^6$ Вт, допустимий перепад температур в робочій зоні складає $\Delta t_{Р.З.}$=5 ºС за умови, що температура зовнішнього повітря о 13 годині найжаркішого місяця $t_H = 28$ ºС [32]. Розрахунок проводимо за методикою, викладеною в [31].

Знайдемо об’єм будівлі:

$$V = a \cdot b \cdot h, \tag{4.1}$$

$$V = 24 \cdot 150 \cdot 20 = 72000 \text{ м}^3.$$

Отже теплова напруга будівлі буде дорівнювати:

$$T = \frac{Q}{V}, \tag{4.2}$$

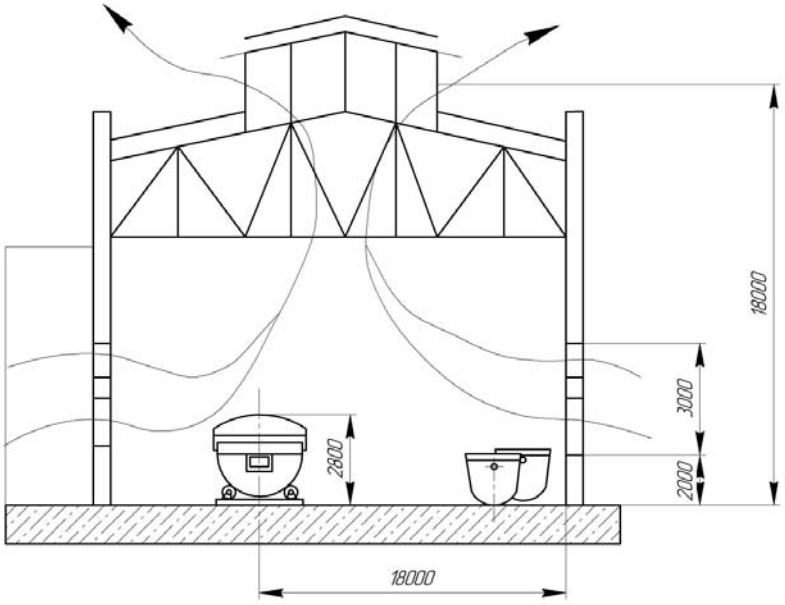


Рисунок 4.1 − Схеми аерації будівлі плавильної ділянки

$$T = \frac{4{,}63 \cdot 10^6}{72000} = 64{,}31 \text{ Вт/м}^3.$$

Необхідна кількість припливного повітря визначається за формулою:

$$L_n = \frac{Q \cdot m \cdot k}{3600 \cdot c \cdot \Delta t_{P.З.}}, \tag{4.3}$$

де k – коефіцієнт, що враховує зменшення впливу повітря на температуру робочої зони при розташуванні отворів вище за неї, k = 1;

c – теплоємність повітря при 28 ºС, c = 1,173 Вт/м³;

m – частина тепла, що впливає на температуру в робочій зоні, приймаємо m = 0,3.

$$L_n = \frac{4{,}63 \cdot 10^6 \cdot 0{,}3 \cdot 1}{3600 \cdot 1{,}173 \cdot 5} = 65{,}78 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приріст температури розрахуємо за формулою [32]:

$$\Delta t_{У.В.} = \frac{\Delta t_{Р.З.}}{m \cdot k}, \quad (4.4)$$

$$\Delta t_{У.В.} = \frac{5}{0{,}3 \cdot 1} = 16{,}67\,^{o}\text{C}$$

Температура повітря, що йде буде дорівнювати:

$$t_{У.В.} = t_{Н} + \Delta t_{У.В.}, \quad (4.5)$$

$$t_{У.В.} = 28 + 16{,}67 = 44{,}67\ ^{o}\text{C}.$$

Щільність повітря, що поступає і виходе складає:

$$\Delta\gamma = \gamma_{П} - \gamma_{В}, \quad (4.6)$$

де $\gamma_{П}$ = 11,73 Н/м³;

$\gamma_{В}$ = 11,10 Н/м³,

різниця складає:

$$\Delta\gamma = 11{,}73 - 11{,}10 = 0{,}63\ \text{Н/м}^3.$$

Тепловий тиск буде визначатися за формулою:

$$H = (h_{В} - h_{П}) \cdot \Delta\gamma, \quad (4.7)$$

де $h_{В}$ і $h_{П}$ – висота припливних і витяжних отворів;

$$H = (31{,}50 - 9{,}00) \cdot 0{,}63 = 14{,}175\ \text{Н/м}^2.$$

Отже, втрата тиску на приток розраховуємо за допомогою формули [32]:

$$H_{П} = \frac{\left(\frac{L_{n}^{2}}{F_{n}}\right) \cdot \gamma_{n}}{(2 \cdot g) \cdot \xi_{n}}, \quad (4.8)$$

де F_{n} – площа припливних отворів, що приймається 1000 м²;

ξ_{n} – коефіцієнт місцевого опору припливних отворів, приймемо ξ_{n} = 1,55

$$H_{П} = \frac{\left(\frac{65{,}78^{2}}{1000}\right) \cdot 11{,}73}{(2 \cdot 9{,}81) \cdot 1{,}55} = 1{,}669\ \text{Н/м}^2.$$

Залишковий тиск на витяжні отвори знаходимо за формулою:

$$H_{В} = H - H_{П}, \tag{4.9}$$

$$H_{В} = 14{,}175 - 1{,}669 = 12{,}506 \text{ Н/м}^2.$$

Необхідна площа витяжних отворів визначаємо:

$$F_{В} = \frac{L_{п} \cdot \left(\frac{\gamma_{П}}{\gamma_{В}} \right)}{4{,}43 \cdot \mu_{В} \sqrt{\frac{H_{В}}{\gamma_{В}}}}, \tag{4.10}$$

де $\mu_{В}$ – коефіцієнт витрати витяжного повітря [32].

Для розрахунку приймаємо конструкцію аераційного ліхтаря: П-подібний світлоаераційний ліхтар з верхньопідвісними стулками, кут відкриття стулок 45º, висота віконних отворів 2х0,5 м, ширина отвору ліхтаря 3,35 м. Приймемо μ = 0,33 [32].

$$F_{В} = \frac{65{,}78 \cdot \left(\frac{11{,}73}{11{,}10} \right)}{4{,}43 \cdot 0{,}33 \sqrt{\frac{12{,}506}{11{,}10}}} = 44{,}79 \text{ м}^2.$$

Довжина ліхтаря

$$l = 44{,}79/3{,}35 = 13{,}40 \text{ м}.$$

Висота ліхтаря, що не задувається, складає

$$h_{Ф} = \frac{F_{В}}{2 \cdot l}, \tag{4.11}$$

$$h_{Ф} = \frac{44{,}79}{2 \cdot 13{,}40} = 1{,}67 \text{ м}.$$

Висновки. Для видалення надлишкових виділень теплоти та підтримки заданої температури повітря у робочій зоні плавильної ділянки виконано розрахунок висоти аераційного ліхтаря будівлі. Пропонується встановити ліхтар, висота якого становить 1,67 м.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів. Надано характеристику складу і властивостей сплаву АК6М2.

2. Проаналізовано способи виробництва алюмінієво-кремнієвих сплавів та алюмінієвих лігатур. Для виплавки сплаву АК6М2 вибрано спосіб сплавлення рідкого електролітичного алюмінію, кристалічного кремнію з добавлянням легуючих елементів і залучення до складу шихти алюмінієвої стружки.

3. Проаналізовано технологічні особливості виробництва алюмінієвих сплавів і факторів, що впливають на чистоту металу. Розроблено технологічну схему і технологію виплавки сплаву АК6М2 шляхом сплавлення чушкових металів і вторинної сировини в вигляді алюмінієвої стружки для приготування бінарних алюмінієвих лігатур в індукційних тигельних печах, сплавлення та рафінування розплавів в електропечі опору САН-3Б.

4. Розраховано склад шихти і складено матеріальні баланси виплавки бінарних алюмінієвих лігатур, сплаву АК6М2 та визначено витратні коефіцієнти.

5. Описано конструкції плавильних печей САН та ІАТ для виплавки сплаву АК6М2 із залученням до шихти алюмінієвої стружки. Виконано конструктивні розрахунки плавильних печей САН та ІАТ.

6. Складено енергетичний баланс індукційної установки для виробництва сплаву АК6М2. Визначено потужність печі.

7. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища під час виробництва алюмінієвого сплаву АК6М2 із залученням до шихти алюмінієвої стружки. Запропоновано заходи щодо поліпшення умов праці плавильників. Для видалення надлишкових виділень теплоти та підтримки заданої температури повітря у робочій зоні плавильної ділянки виконано розрахунок висоти аераційного ліхтаря будівлі. Пропонується встановити ліхтар, висота якого становить 1,67 м.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / Д. Ф. Чернега та ін. ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.

2. The Age of Aluminium. *Aluminium International Today*. 2021. February. Issue 2-3. P.17.

3. Timm H. Modern Lightweight Design At Audi. *Aluminium International Today*.2018.October.Issue 24. P.27

4. Сологуб М. А. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Вища школа, 2002. 374 с.

5. Ливарні властивості металів і сплавів для прецизійного литва : підручник / В. О. Богуслаєв та ін., під ред.. С.І. Реп'яха та В.Г. Могилатенка. Запоріжжя : АТ «Мотор Січ», 2016. 474 с.

6. Belov N. A., Eskin D. G., Aksenov A.A. Multicomponent Phase Diagrams : Application for Commercial Aluminum Alloys. Elsevier. 2005. 413 p.

7. Kevorkjjan V. The recycling of standard quality wrought aluminum alloys from low-grade contamined scrap. *J. Miner., Metals and Mater. Soc*. 2010. Vol. 62. № 8. P. 37–42.

8. Passarini, F., Ciacci L., Nuss P., Manfredi S. Material Flow Analysis of Aluminium, Copper, and Iron in the EU-28, EUR 29220 EN. Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2018. 104 p.

9. Єгоров С. В., Червоний І. Ф. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 292 с.

10. Гнатуш В. А. Світові тенденції ринку вторинної переробки відходів та брухту алюмінієвих сплавів. *Процеси лиття*. 2020. Т.141. №3. С.56-69.

11. Нестеренко Т. М., Нестеренко О. М., Колобов Г. О., Грицай В. П. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини : навч. посіб. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.

12. Bredikhin V., Shevelev A., Mirovich I. Intensification of Non-FerrousTurnings Preparation for Metallurgical Processing XXII International Mineral Processing Congress. Cape Town. : South Africa, 2003. P. 450−452.

13. Boychenko S. V, Ivanchenko O. V, Yakovleva A. V. Recycling and Disposal of Aircraft: Global Trends and Features of Implementation. *Science-intensive technologies*. 2017. No. 2(34). P. 140–149.

14. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.

15. ДСТУ 2839 (ГОСТ 1583). Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. [Чинний від 1994-10-31]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1995. 54 с.

16. Ecomelt furnaces considerably reduce energy consumption. *Heat process*. 2012. Vol. 10. № 2. P. 64.

17. Kircher G. Aluminium scrap as vital source of aluminium supply. *Erzmetall*. 2019. Vol. 64. № 4. P. 210-212.

18. Recycling Industry Yearbook 2019. Institute of Scrap Recycling Industries. USA. 2019. 80 p.

19. Нестеренко Т. М., Воденнікова О. С. Конструкції технологічних агрегатів кольорової металургії. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.

20. Нестеренко Т. М. Металургія легких металів : метод. вказівки до практичних занять. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 44 с.

21. ДСТУ 3211:2009 / ГОСТ 1639:2009**.** Брухт і відходи кольорових металів. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-10-05]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 76 с.

22. Нестеренко Т. М. Металургія легких металів : метод. вказівки до виконання курсової роботи. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 48 с.

23. Нестеренко Т. М., Падалка В. П. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Металургія легких металів». Розділ «Печі для плавки вторинної алюмінієвої сировини». Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 49 с.

24. Нестеренко Т. М. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Виробництво алюмінієвих сплавів із рудної і вторинної сировини». Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 47 с.

25. Металургія кольорових металів. Ч.7. Вторинна металургія кольорових металів: підручник / В. М. Бредихін та ін. за заг. ред. І. Ф. Червоного. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 454 с.

26. Kvande H. Occurrence and Production Aluminium. *Encycl. Inorg. Bioinorg. Chem*. 2015. P.23-50.

27. Bayliss C. The Aluminium Story. 2019 *Light Metals Keynote Session: Aluminum Industry*: Vision for the Next Decade. San Antonio, Texas. March 10-14, 2019. 41 p.

28. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халимовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2005. 393 с.

29. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2002. 318 с.

30. Бедрій Я. І. Основи охорони праці : навч. посіб. Видання 4, перероб. і доп. Тернопіль: Навчальна книга: Богдан, 2014. 240 с.

31. Одяг захисний. Загальні вимоги. ДСТУ ISO 13688:2001. Київ : Держстандарт України, 2002. 6 с.

32. Гаврик Є.О. Охорона праці : навч. посіб. Київ: Ельга, Ніка Центр, 2004. 280 с.