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 силумінів із залученням до шихти відходів виробництва*

Виконав: студент *4* курсу, групи *6.1361-м-з*

Самоєнко О.О.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
136 Металургія
(шифр і назва)

спеціалізація
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Металургія
(шифр і назва)

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

Рецензент *Єфанов В.С.*
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2025 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

"*10*" *02* 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Самоєнко Олександру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) *«Особливості виплавлення силумінів із залученням до шихти відходів виробництва»*

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" *грудня* 2024 року № 2031-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) *23.05.2025 р.*

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) *Алюмінієвий сплав АК12М2. Хімічний склад алюмінієвої стружки, %: 98,95 Al; 0,5 Si; 0,05 Cu; 0,5 Fe. Хімічний склад шлаку* 74,65 Al; 19,35 Si; 2,0 Mn; 4,0 Fe.

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 10 слайдах (на 10 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 *10.02.2025 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Вступ*	*19.05-25.05.2025*	
2	*Реферат*	*19.05-25.05.2025*	
3	*Загальна частина*	*14.04-20.04.2025*	
4	*Технологічна частина*	*21.04-27.04.2025*	
5	*Конструкційна частина*	*28.04-04.05.2025*	
6	*Охорона праці та техногенна безпека*	*12.05-18.05.2025*	
7	*Висновки*	*19.05-25.05.2025*	

Студент _____ *Самоєнко О.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 64 с., 15 табл., 6 рис., 17 джерел.

ВІДХОДИ ВИРОБНИЦТВА, АЛЮМІНІЄВО-СИЛІЦІЄВІ СПЛАВИ, ІНДУКЦІЙНА ПІЧ, ЛІГАТУРИ, СИЛУМІН, СТРУЖКА, ШИХТА, ШЛАК.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Особливості виплавлення силумінів із залученням до шихти відходів виробництва.

Мета роботи – вивчення особливостей та розробка технології виплавки сплаву АК12М2 із залученням до шихти відходів виробництва.

У розділі "Загальна частина" приведена класифікація та характеристика алюмінієвих сплавів. Проаналізована діаграма стану системи алюміній-силіцій та класифікація силумінів за вмістом силіцію. Проаналізовано способи виробництва алюмінієво-силіцієвих сплавів і алюмінієвих лігатур. Наведено особливості технології виробництва силумінів способом сплавлення. Надана характеристика ливарного алюмінієво-силіцієвого сплаву АК12М2.

У розділі «Технологічна частина» розроблено технологічну схему виробництва сплаву АК12М2 із залученням до шихти відходів виробництва, вибрано плавильні печі для виплавки алюмінієвих лігатур і сплаву АК12М2. Розроблено технологію виплавки сплаву АК12М2 із залученням до шихти відходів виробництва (алюмінієвої стружки, шлаку). Розраховано склад шихти і складено матеріальний баланс для виплавлення алюмінієвих лігатур і сплаву АК12М2 із залученням до шихти відходів виробництва. Визначено витратні коефіцієнти для сировини і матеріалів.

У розділі «Конструкційна частина» описано конструкцію, принцип дії індукційної тигельної печі і міксера сплавлення. Виконано конструктивний розрахунок індукційної тигельної печі. Складено енергетичний баланс індукційної установки для виробництва алюмінієво-силіцієвого сплаву АК12М2.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проведено аналіз шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища під час виробництва силумінів із залученням до шихти відходів виробництва. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці.

ЗМІСТ

Вступ…… 7

1 Загальна частина……..... 9

1.1 Класифікація та призначення алюмінієвих сплавів…….. 9

1.1.1 Ливарні алюмінієві сплави…… 9

1.1.2 Деформівні алюмінієві сплави…….. 10

1.2 Система алюміній-силіцій. Силуміни…… 11

1.3 Способи виробництва алюмінієво-силіцієвих сплавів…… 12

1.3.1 Виробництво силумінів методом сплавлення……. 13

1.3.2 Електротермічний спосіб виробництва силумінів…… 15

1.3.3 Способи виробництва алюмінієвих лігатур…… 15

1.4 Характеристика сплаву АК12М2…… 16

2 Технологічна частина……. 19

2.1 Технологічна схема виробництва сплаву АК12М2…… 19

2.2 Опис технології виробництва сплаву АК12М2…….. 19

2.3 Розрахунок шихти для виплавки сплаву АК12М2……. 25

2.4 Матеріальний баланс виплавки сплаву АК12М2…… 33

3 Конструкційна частина……... 38

3.1 Конструкція та принцип дії індукційної тигельної печі…… 38

3.2 Конструктивний розрахунок індукційної тигельної печі…… 44

3.3 Енергетичний баланс індукційної установки……... 46

3.4 Будова і принцип дії міксеру сплавляння…… 52

4 Охорона праці та техногенна безпека…… 56

4.1 Шкідливі та небезпечні чинники виробничого середовища під час виробництва силумінів із залученням до шихти відходів виробництва……. 55

4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища під час виробництва силумінів із залученням до шихти відходів виробництва ……..…. 58

Висновки…….. 62

Перелік джерел посилання…….. 63

ВСТУП

З середини 60-х років XX сторіччя алюміній і його сплави за обсягами виробництва і застосування посіли друге місце після сплавів на основі заліза. З того часу їх виробництво і застосування у промисловості та побуті зростають прискоренними темпами. Пов'язане це з високою кількістю алюмінію в земній корі (більше 8 %) та сприятливим поєднанням фізичних, механічних і технологічних властивостей його сплавів.

Сучасне машинобудування та інші галузі промисловості України вимагають значної кількості кольорових металів та їх сплавів, у першу чергу, алюмінію. Тенденція до збільшення частки кольорових, зокрема, алюмінієвих сплавів, у загальному обсязі випуску виливків пов'язана, перш за все, розвитком автомобільної та авіаційної індустрії. Середнє споживання алюмінію і його сплавів у легкових автомобілях Німеччини перевищило 100 кг, що дозволяє щорічно економити близько 1 млрд. літрів пального. Провідні автомобільні фірми світу планують у найближчі 2 десятиріччя довести кількість алюмінію в автомобілі до понад 20 % від його маси. Заміна сталі алюмінієвими сплавами дозволила фірмі Nissan зменшити масу автомобіля на 45 %.

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]. На вироби з алюмінієвих сплавів легко наносяться захисні й декоративні покриття. Сплави легко обробляються різанням і зварюються контактним зварюванням, а деякі й зварюванням плавленням.

Більшість алюмінієвих сплавів мають високу корозійну стійкість в природній атмосфері, морській воді, розчинах багатьох солей і хімічних реагентів, алюміній не руйнує вітаміни, що дозволяє широко використовувати його в виробництві посуду. Конструкції з алюмінієвих сплавів часто використовують у морській воді. Алюміній у великому обсязі використовується в будівництві у

вигляді облицювальних панелей, дверей, віконних рам, електричних кабелів. Алюмінієві сплави не схильні до сильної корозії протягом тривалого часу при контакті з бетоном, будівельним розчином, штукатуркою, особливо якщо конструкції не піддаються частому намоканню.

Алюміній і його сплави не отруйні, вони легко очищаються, стерилізуються, задовольняють вимогам санітарії. Висока теплопровідність дозволяє використовувати алюміній для поршнів циліндрів і циліндрових головок в камерах двигунів, компресорах, а також в теплообмінниках всіх видів.

Додавання легуючих елементів в алюміній істотно змінює його властивості, а іноді надає йому нові специфічні властивості. При різному легуванні підвищуються міцність, твердість, здобувається жаростійкість та інші властивості.

Основну групу ливарних сплавів становлять силуміни, з яких виготовляють понад 90 % усіх виливків.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є вивчення особливостей та розробка технології виплавки сплаву АК12М2 із залученням до шихти відходів виробництва.

Завдання кваліфікаційної роботи бакалавра:

1. Вивчити класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів.

2. Проаналізувати способи виробництва силумінів, їх технологічні особливості та розробити технологію виплавлення сплаву АК12М2.

3. Вибрати і розрахувати основний плавильний агрегат для виробництва сплаву АК12М2 із залученням відходів виробництва. Описати конструкцію плавильних печей.

4. Розрахувати склад шихти і скласти матеріальний баланс процесу виплавки сплаву АК12М2 із залученням відходів виробництва.

5. Розрахувати енергетичний баланс індукційної установки для виробництва алюмінієво-кремнієвого сплаву АК12М2.

6. Виявити шкідливі і небезпечні фактори виробничого середовища під час виробництва силумінів.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Класифікація та призначення алюмінієвих сплавів

За способом виготовлення заготовок і виробів алюмінієві сплави поділяють на ливарні, деформівні та спечені.

1.1.1 Ливарні алюмінієві сплави

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.

Хімічний склад і галузі застосування ливарних алюмінієвих сплавів досить різноманітні. Залежно від вмісту основних компонентів ці сплави відповідно до ДСТУ 2839 (ГОСТ 1583) «Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови» поділяють на п'ять груп, до яких входять такі системи [2].

Сплави на основі системи Al–Si–Cu (АК5М2, АК5М, АК5Мч, АК5М7, АК6М2, АК8м) містять окрім кремнію також мідь. Ці сплави відрізняються високою жароміцністю (робочі температури 250-275 °С), але поступаються сплавам A1–Si і Al–Si–Mg за ливарними властивостями, корозійній стійкості і герметичності; не вимагають модифікування і кристалізації під тиском.

Основну групу ливарних сплавів становлять силуміни (сплави з силіцієм у кількості 4-22 %), з яких виготовляють понад 90 % усіх виливків. Це пояснюється їхньою технологічністю при використанні практично для всіх видів литва. Евтектика в системі A1-Si, на відміну від більшості інших евтектик в алюмінієвих сплавах, що містять інтерметаліди, порівняно пластична. 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.

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

Відходи виробництва, особливо стружка, містять велику кількість оксидів, волога, мастила та інших неметалевих домішок. Тому ливарні сплави, виготовлені з вторинної сировини, порівняно зі сплавами на основі первинного алюмінію дещо більше забруднені оксидами, розчиненими газами. У міру вдосконалення методів переробки алюмінієвих відходів і брухту за якістю вони все більше наближаються до сплавів з первинної сировини.

Для підвищення механічних властивостей їх модифікують різними методами.

1.1.2 Деформівні алюмінієві сплави

З деформівних сплавів методом напівбезперервного лиття виготовляють круглі й плоскі злитки, які піддають гарячій і холодній обробці тиском (прокатуванню, пресуванню, штампуванню, куванню тощо) відповідно до ГОСТ 4784 «Алюміній і сплави алюмінієві деформівні».

Залежно від здатності зміцнюватися при гартуванні й наступному старін-

ні деформівні алюмінієві сплави поділяють на термічно незміцнювані та термічно зміцнювані.

Термічно незміцнювані сплави піддають тільки відпалу, а термічно зміцнювані гартуванню і старінню.

Вторинні деформівні сплави, так само, як і первинні, – це сплави на основі систем Al – Cu – Mg з добавками мангану. Від аналогічних первинних сплавів вони відрізняються тим, що в домішках допускається вищий вміст силіцію, цинку, заліза. Вони належать до групи дуралюмінів. Чушки цих сплавів використовують на заводах алюмінієвого прокату для під шихтування при виготовленні деформівних сплавів. З метою додаткового зміцнення сплавів їх піддають термічному обробленню (гартуванню – старінню). Основною фазою, що зміцнює, під час старіння є фаза $CuAl_2$.

1.2 Система алюміній-силіцій. Силуміни

Основну групу ливарних сплавів становлять силуміни – алюмінієво-силіцієві сплави з масовою часткою силіцію у кількості від 4 % до 22 % [2,3]. З силумінів виготовляють понад 90 % усіх виливок. Евтектика системи алюміній-силіцій на відміну від більшості евтектик в алюмінієвих сплавах, що містять інтерметаліди, порівняно пластична (рис.1.1). Тому в силумінах евтектика, що забезпечує високі ливарні властивості, є основною структурною складовою.

Силуміни за діапазоном частки кремнію класифікують на три групи:

а) доевтектичні силуміни містять 4-9 % Si;

б) евтектичні силуміни містять 10-13 % Si;

в) заевтектичні силуміни містять 14-22 % Si.

Нижня межа за силіцієм (4 %) обумовлена досягненням необхідного рівня ливарних властивостей завдяки досить вузькому ефективному інтервалу кристалізації. Верхня межа пов’язана з забезпеченням мінімального рівня пластичності, оскільки кремнієва фаза відрізняється крихкістю [3,5].

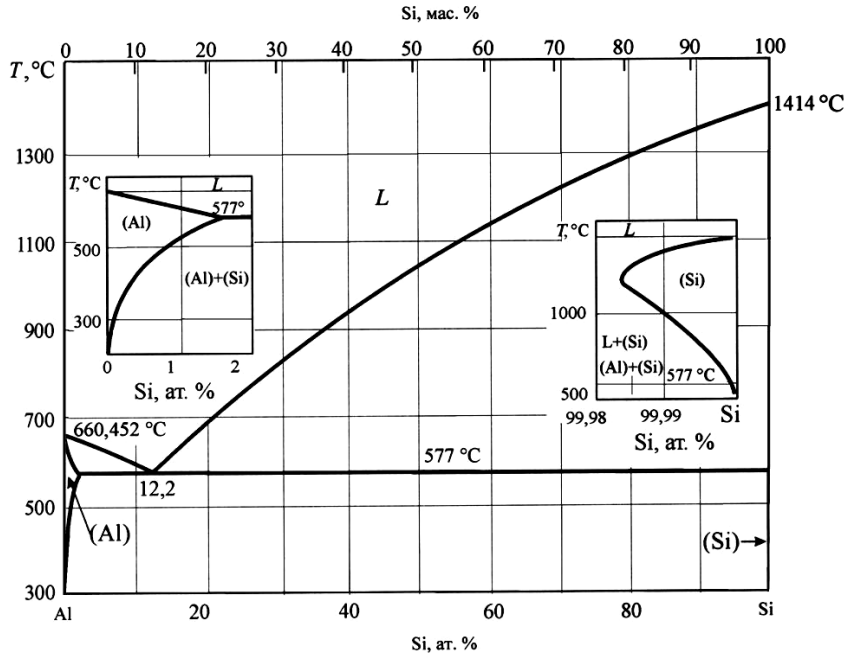


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи Al – Si [3]

1.3 Способи виробництва алюмінієво-силіцієвих сплавів

Вибір технології виробництва силумінів визначається витратами на їх виробництво і результатом від їх використання. Існує два основних методи виробництва алюмінієвих сплавів: електротермічний спосіб та спосіб сплавляння.

Електротермічний спосіб являє собою метод отримання алюмінієво-силіцієвих сплавів (силумінів) прямим відновленням природних алюмосилікатів вуглецем у потужних руднотермічних печах. Отриманий первинний сплав, що містить 35-40 % силіцію, розбавляють потім електролітичним або вторинним алюмінієм до складу, що відповідає різним маркам сплавів, рафінують від домішок і розливають в чушки.

Сутність способу сплавляння полягає у виробництві силумінів (алюмінієво-силіцієвих сплавів) сплавлянням рідкого електролітичного алюмінію та кристалічного силіцію з добавлянням легуючих елементів.

Алюмінієві ливарні і деформовані сплави виготовляють методом сплавлення на ливарних ділянках металургійних і машинобудівних заводів, у плави-

льних цехах металургійних заводів, які переплавляють вторинну алюмінієву сировину.

1.3.1 Виробництво силумінів методом сплавлення

Технологічний процес виробництва алюмінієво-кремнієвих сплавів методом сплавленням складається з таких основних стадій: підготовка шихтових матеріалів; підготовка плавильних агрегатів; плавлення (приготування лігатур); плавлення (приготування сплаву); рафінування; модифікування; відстоювання; зняття шлаку; розливання сплаву в чушки.

Металургійна переробка підготовленої сировини включає підготовку шихти, плавлення шихти, рафінування сплавів, модифікування, розливання сплавів у чушки, зважування, маркування та складування готової продукції.

Алюміній. На алюмінієвих заводах для виробництва сплавів застосовують алюміній в рідкому стані. При цьому марку алюмінію для виготовлення сплаву певного складу вибирають залежно від вмісту в нім домішки заліза (здебільшого шкідливою), а також від вмісту заліза в сплаві, який виготовляється [3,4].

Кремній повинен бути сухим і не повинен мати домішки шлаку, який є джерелами забруднення сплаву неметалічними включення і газами. Легуючі матеріали**,** які поступають від постачальників (мідь, нікель - у вигляді листів, титан - у вигляді губки, магній - у вигляді чушок і тому подібне), повинні мати супровідний сертифікат або посвідчення з вказівкою їх хімічного складу.

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 1000х100 мм. Кускові матеріали (наприклад, хром) повинні бути подрібнені на шматки, розміри яких в поперечнику дорівнюють 20-25 мм. Перед введенням матеріалів шихти в розплав їх необхідно просушити і підігріти до повного видалення вологу.

Всі первинні матеріали шихти, що отримуються безпосередньо на заводі (наприклад, алюміній-сирець, лігатури та ін.), перед використанням слід піддавати аналізу на відповідні компоненти і домішку заліза. 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 виливок, оскільки забруднення шихти (мазут, волога, продукти корозії і тощо) 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 утруднюють фільтраційне живлення відливань на фронті кристалізації, збільшуючи кількість дефектів газоусадкового типу. Матеріали шихти повинні бути обов'язково очищені, просушені і перед введенням в пекти підігріті до 150-200 °С.

Більшість сплавів (корозійностійких, жароміцних, зварюваних та ін.) містять такі легуючі елементи, як цирконій, титан, марганець, хром, які вводять в алюміній під час плавлення переважно у вигляді подвійних лігатур. Лігатури - проміжні сплави з максимальним змістом 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.

Алюмінієві лігатури отримують в основному сплавленням алюмінію з відповідними легуючими компонентами або методом електролізу. Виробництво лігатур методом сплавлення здійснюється в індукційних печах.

Алюмінієві сплави модифікують для подрібнення макрозерен фаз, що первинно кристалізуються, і фаз, що входять в евтектики, а також для зміни форми виділення крихких фаз. Для подрібнення макрозерен у розплави вводять титан, цирконій, бор, ванадій, титан разом із бором. Ці модифікатори утворюють з алюмінієм інтерметаліди, що є центрами кристалізації твердих розчинів на основі алюмінію. Подрібнення макрозерен виливків підвищує однорідність їх-

ніх механічних властивостей у різних за товщиною перетинах і збільшує відносне подовження.

1.3.2 Електротермічний спосіб виробництва силумінів

Сировиною для виплавляння сплавів (силікоалюмінію) за електротермічним способом є руди, що містять одночасно глинозем $A1_2O_3$ і кремнезем SiO_2:каоліни ($A1_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), кіаніти ($A1_2O_3 \cdot SiO_2$), дистенсиліманіти ($A1_2O_3 \cdot SiO_2$), низькозалізні боксити, різні алюмосилікати.

Переваги цього способу порівняно зі способом сплавляння електролітичного алюмінію з кристалічним кремнієм такі:

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. 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) алюмінієвокремнієвого сплаву (900 кг у перерахунку на алюміній) [3,4].

1.3.3 Способи виробництва алюмінієвих лігатур

Лігатури отримують двома основними способами: сплавлянням чистих компонентів і відновленням легуючого металу з його сполук [4].

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. Для цієї мети найбільш надійним способом є пряме сплавляння компонентів.

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

Виробництво лігатур в електролізерах для отримання алюмінію дає змогу поєднати в одному апараті два окремих процеси: отримання первинного алюмінію і введення в нього другого компонента. Цим способом можна отримати такі лігатури: Al – Sc з масовою часткою Sc до 2,0 %; A1 – Ti з масовою часткою Ti до 2,5 %; A1 – Cr з масовою часткою Cr до 3,0 %; Al – Zr з масовою часткою Zr до 2,5 %; A1 – Mn з масовою часткою Mn до 10 %.

1.4 Характеристика сплаву АК12М2

Сплав АК12М2, що володіє твердістю не менше 120 НВ і межею міцності 270-290 МПа, вищою жароміцністю, призначений для фасонного литва, виготовляють за ДСТУ 2839 (ГОСТ 1583) «Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови» [2]. Його також використовують для виготовлення головок циліндрів в двигунах, в наслідок чого підвищується працездатність і ресурс дизеля з 500 тис. км до 800 тис. км пробігу автомобіля.

Головка циліндрів є одним з найважливіших вузлів двигуна автомобіля, що несе високу теплове і механічне навантаження. Вона має складну геометричну форму і її окремі частини піддаються нерівномірному нагріву. Внутрішні поверхні головки циліндра знаходяться під дією гарячих газів, а зовнішні під дією холодного повітря. Наслідком цього є наявність в головці високої термічної напруги, що супроводжується іноді значною її деформацією. Головка цилі-

ндрів розташовується безпосередньо на блокових двигуна, як верхня кришка для робочої камери згорання [3].

Головка блоку містить систему подачі паливної суміші, систему відвода відпрацьованих газів, систему запалювання горючої суміші, а також систему розподілу роботи попередніх систем. На ній безпосередньо розміщуються впускний і випускний колектори, свічки запалювання і карбюратор з повітряним фільтром. Також головка циліндрів містить систему охолоджування – систему каналів і порожнин по якій рухається охолоджуємо рідину центральної системи охолоджування.

Призначення головки циліндра: забезпечення процесу газорозподілу в циліндрах двигунів автомобілів, що несуть велике навантаженння.

Розширення застосування алюмінієвих сплавів в конструкціях автомобілів обумовлене прагненням підвищити їх техніко-експлуатаційні характеристики шляхом реалізації переваг алюмінію щодо таких традиційних матеріалів як сталь і чавун.

Застосування силумінів, алюмінієво-кремнієвих сплавів для виготовлення ненавантажених елементів дозволяє понизити їх масу в 3 рази, а для конструкцій, що несуть, - у 1,5-2 рази. Зменшення власної маси автомобіля приводить до збільшення вантажопідйомності, зниження: витрати палива, зносу шин і експлуатаційних витрат.

Висока корозійна стійкість силумінів (алюмінієво-кремнієвих сплавів) дозволяє застосовувати їх для виробництва вузлів і деталей, що працюють в умовах дії агресивної середи. Алюмінієвий прокат отримав широке застосування для виготовлення кузовів, цистерн, обшивки автобусів і фургонів, а також значної номенклатури навісних деталей (панелей дверей, кришок багажників, бамперів та ін.). У ряді випадків такі деталі застосовують без попереднього забарвлення.

Сплав АК12М2 випускають в чушках масою до 20 кг. По угоді із споживачем для великогабаритних чушок масою більше 200 кг незмивною фарбою

цифрове значення маси чушки в кілограмах. Хімічний склад сплаву АК12М2 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву АК12М2 за ДСТУ 2839 [2]

Масова частка основних елементів, %			Масова частка домішок, не більше %						
Si	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Ti	Zn	Pb	Sn
11,0-13,0	1,8-2,5	0,6-0,9	0,2	0,5	0,3	0,2	0,8	0,15	0,1
Примітка. Al – основа; масова частка суми домішок не більше 1,5 %.									

Чушки на торці маркірують незмивною кольоровою фарбою АК12М2 – два червоних хреста. На кожній чушці повинні бути нанесені товарний знак або найменування і товарний знак підприємства-виробника, номер плавки і маркування сплаву.

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.

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.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологічна схема виробництва сплаву АК12М2

Технологічна схема виробництва сплаву АК12М2 наведена на рис.1.1.

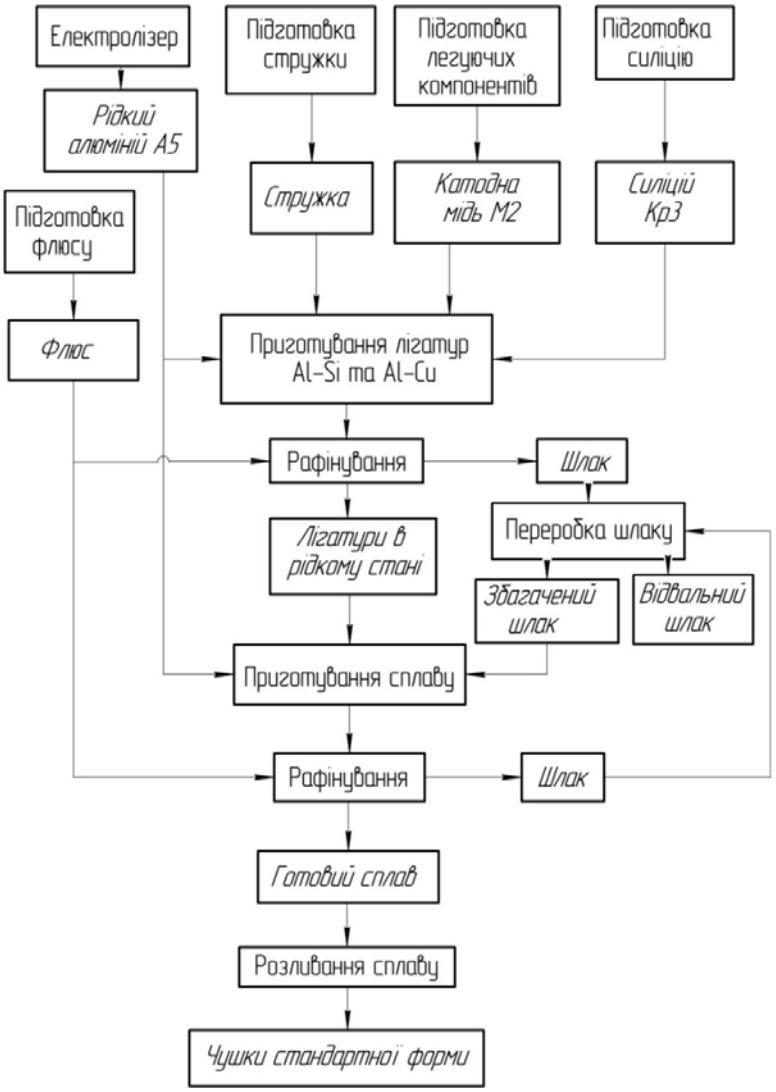


Рисунок 2.1 - Технологічна схема виробництва сплаву АК12М2

2.2 Опис технології виробництва сплаву АК12М2

Алюмінієво-кремнієвий сплав АК12М2 як один із силумінів виготовляють сплавленням первинних чушкових металів у металургійному обладнанні: індукційна тигельна піч, міксер сплавлення, фільтрувальна піч, установка вели

когабаритного лиття, розливний конвеєр, металургійні ковши [6].

Алюміній. На алюмінієвих заводах для виробництва сплавів застосовують алюміній в рідкому стані. Рідкий алюміній повинен поступати на плавку нагрітим до температури 700-780 °С. Перед використанням рідкий алюміній слід піддавати хімічному аналізу на домішку заліза. Крім того, потрібно перевірити температуру алюмінію, який заливають в печі. На плавильну ділянку рідкий алюміній транспортується з електролізерів в ковшах автомобільними тягачами.

Кремній. 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.

Легуючий матеріал – катодну мідь марки М2, що постачається в листах або у вигляді шин, розрізають на окремі частини розміром 1000 х 100 мм. Стружку знежирюють, сушать, підігрівають.

Флюс завантажують у піч. Швидкість розігріву печі 100 °С за годину. При досягненні температури 720-750 °С витримка протягом 2-х годин. Відключення печі. Природне охолодження до 50 °С і вивантаження флюсу.

Шлак перероблюють сухим способом, він полягає у дробленні охолодженого шлаку та відокремленні корольків металу. У дробарці «Remetall» (Іспанія) шлак крупністю 1000×400 мм піддають дробленню в дробарці ударної дії, подрібненню в роторній дробарці, сушінню в сушильному барабані та класифікації у барабанному грохоті.

Алюмінієвий концентрат (фракція +80 мм) містить понад 80 % А1 та до 1 % Fe, становить 16-20 % загальної кількості отриманих продуктів. Фракцію – 80 мм додрібнюють у кульовому млині з безперервним продуванням і, очищаючи повітря, отримують фракцію –80 + 0,15 мм, що осідає в циклонах. Фракція –0,15 мм, яка містить 8-15 % А1, становить 30-43 % загальної кількості отриманих продуктів, уловлюється рукавними фільтрами і використовується у виробництві вогнетривів.

Дрібна фракція, отримана в кульовому млині, розсіюється на віброгрохоті на фракції +3 і –3 мм. Алюмінієвий концентрат (фракція –80 + 3 мм) містить 83...93 % A1 та до 1 % Fe, становить 16-20 % кількості отриманих продуктів. Фракція –3 + 0,15 мм містить 40-50 % Al та до 1 % вологи, становить 12-28 % кількості отриманих продуктів, використовується для утворення екзотермічних сумішей (люнкеритів).

Перед приготуванням сплаву, при необхідності, міксер сплавлення, фільтрувальну піч промивають від заліза, нікелю, марганцю.

В індукційній печі готують алюмінієво-кремнієву лігатуру. Як шихтові матеріали вибираємо кремній кристалічний марки Кр3; алюміній електролітичний рідкий марки А5; стружку алюмінієву, група 1, сорт 1 (90 % стружка).

В розігріту пічь заливають алюміній електролітичний і нагрівають його до температури 850-880 ºС. Після чого в піч вводять стружку та кремній. По розчиненню кремнію в алюмінії відбирають пробу для експрес аналізу на зміст кремнію. Якщо взята проба відповідає заданому хімічному складу допускають завантаження інших легуючих компонентів в піч ІАТ–6.

В індукційній печі готують алюмінієво-мідну лігатуру. Як шихтові матеріали вибираємо мідь катодну марки М2; алюміній електролітичний рідкий марки А5, стружку алюмінієву, група 1, сорт 1 (90 % стружка). Алюміній завантажують в тигель печі ІАТ–6, при температурі 800-850 °С мідь та стружку. Після розчинення міді розплав охолоджують до 700 °С і рафінують. З поверхні металу знімають шлак і при температурі 720-750 °С зливають розплав в ківш.

Приготування сплаву. У міксер надходять електролітичний алюміній марки А5, алюмінієво-кремнієва та алюмінієво-мідна лігатури та фільтр залишки. Необхідна для процесів змішування і фільтрації температура підтримується в міксері за рахунок використання фізичної теплоти рідких розплавів, що заливаються, - електролітичного алюмінію з температурою, не нижчою за 750 °С, фільтр-залишків з температурою, не нижчою за 800 °С та лігатур з температурою, не нижчою за 750 °С. Сплав у міксері перемішують. За допомогою гідропідйомника міксер повертають і зливають сплав у вакуумну фільтрувальну піч,

наповнюючи фільтрувальну лійку приблизно на 30 %. Після цього вмикають вакуумний насос і продовжують фільтрацію (рис.2.6). Фільтрацію сплаву проводять крізь шар базальтової крупки або шлаку крупністю 10...20 мм, товщина шару становить 60...80 мм. Після закінчення фільтрації знімають лійку, попередньо знімають вакуум у печі, і негайно розбирають її на стенді. На фільтрі залишаються фільтр-залишки. Отриманий фільтрат рафінують флюсом. Після очищення з поверхні розплаву збирають шлак і відбирають пробу для експрес-аналізу на вміст домішок, якщо необхідно склад розплаву корегують додаванням легуючих компонентів для виготовлення марочного сплаву. Після введення і розчинення в розплаві всіх легуючих компонентів виконують експрес-аналіз на всі основні компоненти, а також домішку заліза.

У разі потреби сплав модифікують. Алюмінієво-силіцієві сплави піддають модифікуванню для подрібнення кристалів евтектичного силіцію. Для цього в доевтектичні сплави, що містять не менш як 6 % силіцію, вводять 0,05-0,10 % натрію. Введення натрію здійснюють сумішшю хлориду і фториду натрію (33 % NaCl; 67 % NaF) за температури 800-820 °С або потрійним модифікатором (25 % NaF; 62,5 % NaCl; 12,5 % КС1) за температури 720-740 °С. При модифікуванні солями їх наважку (1-2 %) насипають на поверхню розплаву і витримують упродовж 10-15 хв для достатньо повного перебігу реакції. Для зміни форми виділення кристалів залізистої складової (отримання компактних, округлих кристалів замість голкоподібних, що різко знижують пластичні властивості) в алюмінієві сплави вводять 0,3-0,4 % мангану або берилію.

У разі позитивних результатів експрес-аналізу отриманий розплав за температури 690-710 °С надходить на установку напівбезперервного лиття або на ливарний конвеєр. Розливання сплавів проводять:

– при температурі від 640 до 680 ºС на установках великогабаритного лиття;

– 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.

Лиття сплаву проводиться рівним струменем з печі у виливниці конвеєрної машини, заздалегідь підігрітої. Хід конвеєрної машини має бути плавним, без струсів і поштовхів. Внутрішні стінки виливниць мають бути чистими. Під час розливання виливниці охолоджуються шляхом їх зрошування знизу. Чушки сплавів укладаються за допомогою чушкоукладчика. На кожній чушці за допомогою клейма позначають номер печі, номер плавки. На головній чушці штабелю пишеться смолою марка сплаву і номер, номер плавки.

Пакування. Чушки масою до 20 кг формують в пакети масою не більше 1,5 т з урахуванням загальних вимог ГОСТ 2139975, ГОСТ 2459781. Пакети повинні складатися з чушок однієї марки сплаву. Пакети скріпляють двома смугами по два витки алюмінієвою катанкою діаметром 9 мм. 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.

Приймання. Чушки пред'являють 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; результати хімічного аналізу плавки, плавок; масу партії; вміст водню або бал пористості для рафінованих сплавів; дату виготовлення; обозначение 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. 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 масою більше 200 кг від кожної плавки. Для контролю якості зламу чушок масою до 20 кг від кожної плавки відбирають не менше двох чушок. 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. Зміст 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.

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

Методи випробувань. 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.

Для контролю хімічного складу і змісту водню в рафінованих сплавах чушок масою більше 200 кг на підприємстві виробнику в середині розливання кожної плавки відливають проби масою (1 ± 0,2) кг у виливницю (рис.1.4). Відбір і підготовку проб для хімічного аналізу чушок масою більше 200 кг проводять від проби.

Хімічний склад сплавів визначають по ГОСТ 2508687, ГОСТ 11739.190, ГОСТ 11739.2498. Допускається визначати хімічний склад іншими методами, не поступливими по точності стандартним. При розбіжностях в оцінці хімічного складу аналіз проводять по ГОСТ 2508687, ГОСТ 11739.190, ГОСТ 11739.2494.

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.

2.3 Розрахунок шихти для виплавки сплаву АК12М2

Для приготування алюмінієво-кремнієвої лігатури у тигельній печі, як шихтові матеріали вибираємо кремній кристалічний марки Кр3; катодну мідь М2; шлак; алюміній електролітичний марки А5; стружку алюмінієву І групи, сорт 1 (табл.2.1). Угар елементів шихти становить, %: 1,0 для Al; 1,5 для Si; 1,0 для Cu, 1,0 для Fe, 3,0 для Mg [6].

Таблиця 2.1 – Характеристика шихтових матеріалів

Компонент шихти	Масова частка, %						Металургійний вихід, %
	Si	Mn	Mg	Al	Fe	Cu	
Кремній Кр3	97,00	-	-	1,50	1,50	-	100,00
Шлак	19,35	2,0	-	74,65	4,0	-	100,00
Катодна мідь М2	-	-	-	-	0,3	99,7	100,00
Алюміній А5	0,15	-	0,02	99,51	0,3	0,02	100,00
Стружка алюмінієва	0,5	-	-	98,95	0,5	0,05	90,00

Шихта розраховується на 100 кг лігатури. Для врахування втрат окремих елементів маса щихтових матеріалів повинна бути збільшена:

- кремнію на $20 \cdot 1,5/100,00 = 0,3$ кг;
- алюмінію на $80 \cdot 1,0/100,00 = 0,8$ кг.

У шихту потрібно внести кремнію Кр3: $20,30 \cdot 100 / 97 = 20,93$ кг.

Приймаємо, що 20 % алюмінію, необхідного для приготування алюмінієво-кремнієвої лігатури поступає у вигляді стружки, а решта вводиться у вигляді первинного алюмінію марки А5: $64,64 \cdot 100/99,51 = 64,96$ кг.

Кількість стружки алюмінієвої: $16,16 \cdot 100 / 98,95 = 16,33$ кг.

Розрахунковий склад шихти наведено в таблиці 2.2, 2.3.

Таблиця 2.2 – Склад шихти для приготування ал юмінієво-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, %	1,50	1,00	
Угар, кг	0,30	0,80	1,10
Розрахунковий склад шихти, кг	20,30	80,80	101,10

Таблиця 2.3 – Розрахунковий склад шихти алюмінієво-кремнієвої лігатури

Компонент шихти	Кіль-кість, кг	Маса металу, кг	Вміст елементів в шихті			
			Al		Cu	
			кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7
Стружка алюмінієва	16,33	14,70	98,95	14,55	0,05	0,0074
Алюміній А5	64,96	64,96	99,51	64,64	0,02	0,013
Кремній Кр3	20,93	20,93	1,5	0,314	-	-
Всього	102,22	100,59	79,038	79,504	0,0203	0,0204
Угар	3,330	1,700	0,790	1,0	0,000203	1,0
Після виплавки	98,889	98,889	78,248	79,13	0,020	0,02

Продовження таблиці 2.3 3

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті			
	Si		Fe	
	кг	%	кг	%
1	8	9	10	11
Стружка алюмінієва	0,5	0,0735	0,5	0,0735
Алюміній А5	0,15	0,097	0,3	0,195
Кремній Кр3	97,0	20,302	1,5	0,314
Компонент шихти	Вміст елементів в шихті			
	Si		Fe	
	кг	%	кг	%
1	8	9	10	11
Всього	20,353	20,473	0,579	0,583
Угар	0,305	1,5	0,0058	1,0
Після виплавки	20,048	20,27	0,573	0,58

Таким чином, для виплавки 100 кг алюмінієво-кремнієвої лігатури потрібна така кількість шихтових матеріалів:

Стружка алюмінієва 16,35 кг

Алюміній А5 65,69 кг

Кремній Кр3 21,16 кг

Всього 103,20 кг

Для приготування алюмінієво-мідної лігатури у тигельній печі, як шихтові матеріали вибираємо катодну мідь М2; алюміній електролітичний марки А5, стружку алюмінієву І групи, сорт 1.

Шихта розраховується на 100 кг лігатури. Для врахування втрат окремих елементів маса щихтових матеріалів повинна бути збільшена:

- міді на 50·1,0/100,00 = 0,5 кг;
- алюмінію на 50·1,0/100,00 = 0,5 кг.

У шихту потрібно внести міді М2: $50{,}50 \cdot 100 / 99{,}7 = 50{,}65$ кг.

Приймаємо, що 20 % алюмінію, необхідного для приготування алюмінієвомідної лігатури поступає у вигляді стружки, а решта вводиться у вигляді первинного алюмінію марки А5: $40{,}4 \cdot 100 / 99{,}51 = 40{,}6$ кг.

Кількість алюмінієвої стружки: $10{,}1 \cdot 100 / 98{,}95 = 10{,}20$ кг.

Результати розрахунків зводимо в таблиці 2.4 та 2.5.

Таблиця 2.4 – Склад шихти для приготування алюмінієво-мідної лігатури

Найменування	Компонент		Всього
	Cu	Al	
Середній хімічний склад, %	50,00	50,00	100,00
Маса компоненту на 100 *кг* шихти, кг	50,00	50,00	100,00
Угар, %	1,00	1,00	2,00
Угар, кг	0,50	0,50	1,00
Розрахунковий склад шихти, кг	50,50	50,50	101,00

Таким чином, для виплавки 100 кг алюмінієво-мідної лігатури потрібна така кількість шихтових матеріалів:

Стружка алюмінієва 10,33 кг

Алюміній А5 41,14 кг

Мідь М2 51,32 кг

Всього 102,79 кг

Таблиця 2.5 – Розрахунковий склад шихти алюмінієво-мідної лігатури

Компонент шихти	Кількість, кг	Маса металу, кг	Вміст елементів в шихті			
			Al		Cu	
			кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7
Стружка алюмінієва	10,20	9,18	98,95	9,084	0,05	0,0046
Алюміній А5	40,60	40,60	99,51	40,4	0,02	0,008
Мідь М2	50,65	50,65	-	-	99,7	50,5
Всього	101,45	100,43	49,27	49,484	50,3	50,512
Угар	2,755	1,735	0,493	1,0	0,503	1,0
Після виплавки	98,695	98,695	48,777	49,42	49,797	50,45

Продовження таблиці 2.5

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті					
	Mg		Si		Fe	
	кг	%	кг	%	кг	%
1	8	9	10	11	12	13
Стружка алюмінієва	-	-	0,5	0,046	0,1	0,0092
Алюміній А5	0,02	0,008	0,15	0,062	-	-
Мідь М2	-	-	-	-	-	-
Всього	0,07	0,008	0,107	0,108	0,0091	0,0092
Угар	0,0002	3,0	0,0016	1,5	0,00009	1,0
Після виплавки	0,0068	0,01	0,1054	0,11	0,00901	0,01

Продовження таблиці 2.5

Складаємо шихту для виплавки сплаву АК12М2 у міксері сплавляння. Шихта компактна. Угар елементів для компактної шихти приймаємо, %: Al – 1,0; Si – 1,5; Cu – 1,0; Mg – 3,0; Fe – 1,0, Mn – 1,5 [1].

Відповідно до ГОСТ 158393 сплав АК12М2 містить, %: 11,0 – 13,0 Si, 1,8 – 2,5 Cu, 0,6 – 0,9 Fe, інше Al, до 0,2 Mg, 0,5 Mn, 0,8 Zn.

Розрахунок проводимо за методикою поданою в [1], на 100 кг сплаву.

Як шихтові матеріали вибираємо:

- алюміній електролітичний марки А5 (табл. 2.1).

- алюмінієво-кремнієву лігатуру (табл. 2.3).

- алюмінієво-мідну лігатуру (табл. 2.5).

- шлак (табл. 2.1).

Склад шихти для приготування алюмінієвого сплаву АК12М2 наведений в таблиці 2.6.

Визначаємо кількість чушкового силуміну, шлаку та лігатур.

У шихту потрібно внести:

- шлаку 0,500 · 100/4 = 12,500 кг,

  вміст кремнію 12,500 · 19,35/100 = 2,419 кг,
- алюмінієво-кремнієвої лігатури (12,180 – 2,419) · 100/20,27 = 48,155 кг,
- алюмінієво-мідної лігатури 2,172 · 100/50,45 = 4,305.

Маса чушкового алюмінію складає:

86,103 – (36,102+2,099+11,309) = 36,593 кг.

Розрахунковий склад шихти для виплавки алюмінієвого сплаву зведений в таблиці 2.7.

Таблиця 2.6 – Склад шихти для приготування алюмінієвого сплаву АК12М2

Найменування	Компонент				Всього
	Si	Cu	Fe	Al	
Середній хімічний склад, %	12,00	2,15	0,6	85,25	100,00
Маса компоненту на 100 кг шихти, кг	12,00	2,15	0,6	85,25	100,00
Угар, %	1,50	1,00	1,0	1,00	
Угар, кг	0,180	0,022	0,006	0,853	1,061
Розрахунковий склад шихти, кг	12,180	2,172	0,606	86,103	101,061

Таблиця 2.7 – Розрахунковий склад шихти для виплавки алюмінієвого сплаву

Компонент шихти	Маса, кг	Вміст елементів в шихті					
		Si		Cu		Mg	
		%	кг	%	кг	%	кг
1	2	3	4	5	6	7	8
Лігатура Al-Si	48,155	20,27	9,761	0,02	0,009	-	-
Лігатура Al-Cu	4,305	0,11	0,005	50,45	2,172	0,01	0,001
Шлак	12,500	19,35	2,419	-	-	-	-
Алюміній А5	36,568	0,15	0,055	0,02	0,007	0,02	0,007
Всього	101,528	-	12,240	-	2,181	-	0,008
Угар	1,080	1,5	0,184	1,0	0,022	3,0	0,001
Після виплавки	100,448	12,00	12,056	2,15	2,159	0,01	0,007

Продовження таблиці 2.7

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті					
	Fe		Mn		Al	
	%	кг	%	кг	%	кг
1	9	10	11	12	13	14
Лігатура Al-Si	0,58	0,279	-	-	79,13	38,105
Лігатура Al-Cu	0,01	0,001	-	-	48,777	2,099
Шлак	4,0	0,500	2,0	0,303	74,65	9,331
Алюміній А5	0,3	0,110	-	-	99,51	36,389
Всього	-	0,890	-	0,303	-	85,924
Угар	1,0	0,009	1,5	0,005	1,0	0,859
Після виплавки	0,87	0,881	0,29	0,298	84,68	85,065

Таблиця 2.8 – Розрахунковий склад шихти для виплавки алюмінієвого сплаву

Компонент шихти	Кількість, кг	Маса металу, кг	Вміст елементів в шихті					
			Si		Cu		Mn	
			%	кг	%	кг	%	кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стружка 1с.	8,062	7,256	0,5	0,036	0,05	0,004	-	-
Кремній Кр3	9,874	9,874	97,0	9,578	-	-	-	-
Алюміній А5	68,943	68,943	0,15	0,103	0,02	0,014	-	-
Мідь М2	2,149	2,149	-	-	99,7	2,143	-	-
Шлак	12,500	12,500	19,35	2,419	-	-	2,0	0,25
Всього	101,528	100,722	12,05	12,136	2,15	2,161	0,25	0,25

Продовження таблиці 2.8

Компонент шихти	Вміст елементів в шихті					
	Mg		Fe		Al	
	%	кг	%	кг	%	кг
1	10	11	12	13	14	15
Стружка 2с.	-	-	0,5	0,036	98,95	7,180
Кремній Кр3	-	-	1,5	0,148	1,5	0,148
Алюміній А5	0,02	0,014	0,3	0,207	99,51	68,605
Мідь М2	-	-	0,3	0,006	-	-
Шлак	-	-	4,0	0,5	74,65	9,331
Всього	0,01	0,014	0,89	0,897	84,65	85,264

Визначаємо масу металевої частини шихти, враховуючи засміченість її складових

Таблиця 2.9 – Кількість та склад металевої частини шихти

Компонент	Кількість, кг	Вміст, %
Стружка	8,062 · 0,9 = 7,256	7,20
Алюміній А5	68,943	68,45
Мідь М2	2,149	2,13
Кремній	9,874	9,81
Шлак	12,500	12,41
Всього	100,722	100

Визначаємо загальну засміченість шихти:

Стружка 8,062 · 10/100 = 0,806 %

Таким чином спільна засміченість шихти складає 0,806 %. Якщо таку шихту направити на плавку, то витяг металу у сплав АК12М2 досягне 97,62 %, витрата флюсу – 32,24 кг на 1 т шихти. Економічна ефективність плавлення такої сировини буде низькою. Для підвищення економічної ефективності металургійної переробки вибраної сировини необхідна первинна підготовка окремих її складових.

2.4 Матеріальний баланс виплавки сплаву АК12М2

Витяг металу при плавці підготовленої шихти з врахуванням втрат становить:

$$100 – 1,716 = 98,284\ \%,$$

де 100 – спільний вміст металу у шихті, %;

1,716 – механічні втрати металу зі шлаком, %.

Угар шихти під час плавлення розраховуємо за формулою (1.3):

$$(12,05 \cdot 1,5 + 2,15 \cdot 1 + 0,25 \cdot 1,5 + 0,01 \cdot 3 + 0,89 \cdot 1 + 84,65 \cdot 1) / 100 = 1,06\ \%.$$

Тоді спільний витяг металу з урахуванням угару шихти складає:

98,284 – 1,06 = 97,22 %.

Для отримання 1000 кг сплаву необхідно мати у шихті металу

1000/0,9722 = 1028,595 кг,

в тому числі:

Кремнію 1028,595·9,81/100 = 100,905 кг,

Алюмінію 1028,595·68,45/100 = 704,073 кг,

Стружки 1028,595·7,20/100 = 74,059 кг,

Міді 1028,595·2,13/100 = 21,909 кг,

Шлак 1028,595·12,41/100 = 127,649 кг,

Визначаємо скільки кожного компонента необхідно зашихтувати з урахуванням засміченості та ін.

Визначаємо масу брутто кожного компонента шихти, враховуючи засміченість та ін.:

Стружки 74,059/0,9 = 82,287 кг,

Алюмінію 704,073кг,

Кремнію 100,905 кг,

Міді 21,909 кг,

Шлаку 127,649 кг,

Всього 1036,823 кг.

Визначаємо кількість вологи та мастила, що потрапить на плавку зі стружкою:

82,287 – 74,059 = 8,228 кг.

За даними практики приймаємо, що вміст мастила та вологи у засміченості складає 15 % та 20 % відповідно.

Кількість вологи у стружці становить

8,228 ·20/100 = 1,646 кг.

У стружці знаходиться мастила

8,228 ·15/100 = 1,234 кг.

Визначаємо кількість повітря, що необхідно для згоряння мастила та оки-

слення металу шихти. Приймаємо, що мастило складається з 85 % вуглецю та 15 % водню. Отже, мастило містить

$$1{,}234 \cdot 85/100 = 1{,}049 \text{кг вуглецю}$$

та $1{,}234 \cdot 15/100 = 0{,}185$ кг водню.

При згоранні 1,049 кг вуглецю витрачається

$$1{,}049 \cdot 32/12 = 2{,}797 \text{ кг кисню}$$

та утворюється $1{,}049 \cdot 44/12 = 3{,}846$ кг CO_2.

При згорянні 0,185 кг водню витрачається

$$0{,}185 \cdot 16/2 = 1{,}480 \text{ кг кисню}$$

та утворюється $0{,}185 \cdot 18/2 = 1{,}665$ кг H_2O.

Для визначення кількості кисню, що витрачається на окислення металу шихти знайдемо масу окисленого алюмінію

$1028{,}595 \cdot 2{,}28/100 = 23{,}452$ кг.

Тоді потрібно кисню

$$23{,}452 \cdot 96/108 = 20{,}846 \text{ кг.}$$

Таким чином, необхідна для плавки кількість кисню становить

$$2{,}797 + 1{,}480 + 20{,}846 = 25{,}123 \text{ кг}$$

або витрачається

$$25{,}123/0{,}21 = 119{,}633 \text{ кг повітря.}$$

При плавці утворюється

$3{,}846 + 8{,}288 + 1{,}665 + (119{,}633 - 25{,}123) = 108{,}249$ кг димових газів.

Разом з 1036,823 кг шихти в піч надходить

$1036{,}823 - 1028{,}595 = 8{,}228$ кг засміченості.

З цієї кількості засміченості у шлак переходить

$$8{,}228 - (1{,}234 + 1{,}646) = 5{,}348 \text{ кг оксидів.}$$

Для плавлення 1 т шихти з засміченістю 1,716 % потрібно 32,24 кг флюсу (NaCl : KCl). Перерахуємо кількість флюсу для плавлення 1036,823 кг шихти:

$$1036{,}823 \cdot 32{,}24/1000 = 33{,}427 \text{ кг.}$$

Визначаємо кількість хлориду натрію у даній суміші

58,5 NaCl міститься у 133 (NaCl + KCl)

x кг NaCl міститься у 33,427 кг (NaCl + KCl)

Звідки x = 14,703 кг.

Кількість хлориду калію у даній суміші дорівнює

$$33,427 – 14,703 = 18,724 \text{ кг.}$$

Загальна кількість матеріалів, що надходять у піч, дорівнює

$$1036,823 + 33,427 + 119,633 = 1189,833 \text{ кг.}$$

Під час плавлення до сплаву переходить 1000 кг металу. До шлаку перейде 1,716 + 1,06 – 2,28 = 0,496 % металу шихти або

$$1036,823 \cdot 0,496/100 = 5,143 \text{ кг.}$$

Таблиця 2.10 – Матеріальний баланс виплавки сплаву АК12М2

Надходження		Витрачання	
Речовина	Кількість, кг	Речовина	Кількість, кг
Шихта, в тому числі:	1036,823	Сплав АК12М2	1000,00
метал	1028,595	Шлак, в тому числі:	88,216
засміченість, в тому числі:	8,228	метал	5,143
		MeO	49,646
H_2O	1,646	солі, в тому числі:	33,427
MeO	5,348	NaCl	14,703
мастило, в т.ч.:	1,234	KCl	18,724
C	1,049	Димові гази, в тому числі:	101,667
H_2	0,185		
Повітря, в тому числі:	119,633	CO_2	3,846
O_2	25,123	H_2O	3,311
N_2	94,510	N_2	94,510
Флюс, в тому числі:	33,427		
NaCl	14,703		
KCl	18,724		
Всього	1189,883	Всього	1189,883

Загальна кількість оксидів, що перейде до шлаку, становить

$$8{,}228 – (1{,}646+1{,}234) + (23{,}452 + 20{,}846) = 49{,}646 \text{ кг.}$$

Отже загальна кількість шлаку, що утвориться під час плавлення шихти, становить

$$5{,}143 + 49{,}646 + 33{,}427 = 88{,}216 \text{ кг.}$$

Результати розрахунку матеріального балансу зводимо у табл. 2.10.

Результати розрахунку разом з даними кількості шихтових матеріалів для готового виробництва сплаву АК12М2 зводимо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Зведений матеріальний баланс виплавки сплаву АК12М2

Надходження			Витрачання		
Речовина	Кількість		Речовина	Кількість	
	кг	%		кг	%
Шихта, у тому числі:	1036,823	87,14	Сплав	1000,000	84,04
алюміній	704,073	59,17	Шлак, у тому числі:	88,216	7,41
кремній	100,905	8,48	соли, у тому числі:	33,427	2,81
мідь	21,909	1.84	NaCl	14,703	1,24
шлак	127,649	10,73	KCl	18,724	1,57
стружка	82,287	6,92	оксиди металів	49,646	4,17
Повітря, у тому числі:	119,633	10,05	метал	5,143	0,43
O_2	25,123	2,11	Димові гази, у	101,667	8,55
N_2	94,510	7,94	тому числі:		
Флюс, у тому числі:	33,427	2,81	CO_2	3,846	0,32
NaCl	14,703	1,24	H_2O	3,311	0,28
KCl	18,724	1,57	N_2	94,510	7,95
Всього	1189,883	100,00	Всього	1189,883	100,00

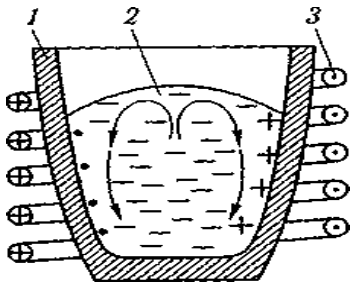
3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Конструкція та принцип дії індукційної тигельної печі

Одним із досконалих і економічних плавильних агрегатів, що застосовують при виробництві силумінів та алюмінієвих лігатур, є індукційні тигельні печі. В основу роботи індукційної тигельної печі покладено трансформаторний принцип передавання електричної енергії індукцією від первинного кола до вторинного.

Первинною обмоткою повітряного трансформатора є мідний, водоохолоджуваний індуктор, усередині якого знаходиться вогнетривкий тигель з металом. Розплавлений метал є вторинною обмоткою.

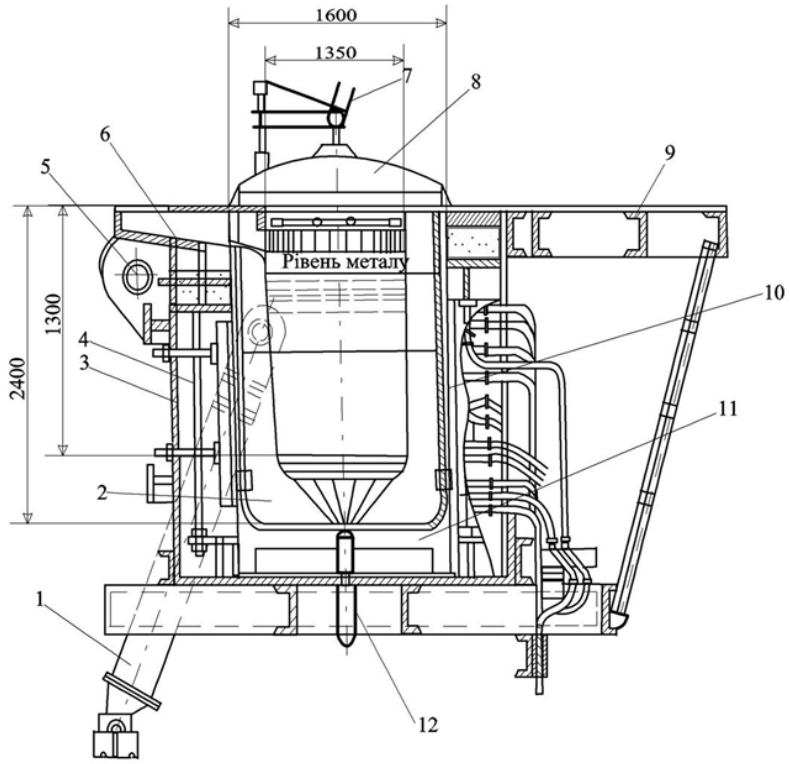
Під час проходження по індуктору змінний струм створює навколо нього магнітне поле. Частина магнітних силових ліній проходить крізь метал у тиглі й збуджує в ньому електричний струм, який нагріває метал. Унаслідок відштовхувальної дії протилежно спрямованих струмів в індукторі та рідкому металі середня частина ванни підіймається, що зумовлює енергійне перемішування металу (рис.3.1).



1 - тигель, 2 - рідкий метал, 3 - індуктор

Рисунок 3.1 – Перемішування металу в індукційній тигельній печі під дією електродинамічних сил

Індукційна тигельна піч (рис.3.2) являє собою тигель з вогнетривкого матеріалу, встановлений на черені, закріпленому в металевому каркасі, і оточений індуктором з магнітопроводами. 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.



1 – гідравлічний циліндр; 2 – тигель; 3 – каркас; 4 – магнітопровід;

5 – вісь повертання печі; 6 – зливний носок; 7– димохід;

8 – футерована кришка; 9 – робоча площадка; 10 – індуктор;

11 – черінь; 12 – електрод сигналізації

Рисунок 2.2 – Індукційна тигельна піч ІАТ- 6

Тиглі індукційних агрегатів виготовляють із вогнетривкого бетону. В його склад входить 30 % суміші тонкомеленого магнезиту з кремнєфтористим натрієм, 25 % дрібного і 30 % великого шамотного наповнювача, 15 % рідкого скла. Експлуатація тиглю місткістю 6-7 т із такого бетону виявила, що стійкість їх при нормальній експлуатації перевищує 3000 плавок.

Для зниження інтенсивності руйнування футеровки при експлуатації потрібно максимально зменшити діапазон і частоту змінення її температури.

Одним з факторів, які негативно впливають на продуктивність печі та на стійкість футерування є утворення настилів, до якого призводить хімічна взаємодія розплаву з футеруванням і механічне осадження засміченості шихтових матеріалів на стінки. Чинниками, стимулюючими утворення охолоді є недостатня глибина перехідної ванни, висока швидкість охолоджування поверхні футерування, завантаження сирої, легкої шихти, висока потужність, що вводиться. Якщо з останнім фактором на користь високої продуктивності доводиться миритися, то інші мають бути виключені відповідної підготовки шихти і регламентованим режимом роботи. Сушіння і попередній нагрів шихти підвищують якість сплавів, що випускаються, по газонасиченості, збільшують продуктивність і знижують витрату електроенергії в індукційних тигельних печах.

Індуктор є профільованою мідною трубкою. Він складається з трьох котушок, виконаних у вигляді виткових секцій з мідних трубок, по яких циркулює вода. 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 [5]. Трубки ізольовані склотканиною. Електричні та водні комунікації індуктора поєднані й виконані у вигляді гнучких водоохолоджуваних кабелів і шлангів. 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° навколо осі, яка розміщена під зливним носком.

Живлення індукційної тигельної 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).

Для економічної роботи печі при плавці дрібної шихти залишкова місткість тигля повинна складати 60-70 % від номінальної місткості (але не менше 25-30 %). Так, у печах промислової частоти необхідною умовою нормальної експлуатації є робота печі з неповним зливанням розплавленого металу та наявність залишкового розплаву («болота»). Експериментально встановлено, що зі збільшенням «болота» продуктивність печі помітно зростає. Це пояснюється, з одного боку, поліпшенням умов теплопередачі від рідкого металу до твердої шихти (завдяки інтенсивному руху рідкого металу), а з іншого – збільшенням споживаною піччю потужності. При однаковій напрузі потужність, споживана піччю, пропорційна величині заповнення тигля рідким металом (в області робочих витків індуктора).

Переваги роботи із залишковою місткістю:

- відсутність труднощів, пов'язаних з розплавленням дрібної кускової шихти,

- збільшення терміну служби футерування в умовах постійного теплового режиму,

- вирівнювання складу металу, що виплавляється, за рахунок буферної дії залишкової місткості.

Прискорення часу плавки можна досягти також періодичним ущільненням шихти, занурюючи нерозплавлені шматки шихти у вже розплавлений ме-

тал, а також підтримуючи електричний режим на номінальному рівні, тобто напруга, сила струму, потужність, cosφ мають бути близькими до номінальних значень. Можливі випадки, коли із-за великої індуктивності, при номінальній силі струму збудження генератора, напруга на печі менша за номінальну, в цьому випадку потрібно cosφ підтримувати ємкісним.

Можливим прийомом прискорення плавки є послідовність завантаження шихти. Так, при виплавці окремих алюмінієвих сплавів, що мають температуру плавлення меншу, ніж чистий алюміній (якщо шихта складається з повернень і алюмінію), спочатку слід завантажувати повернення, а алюміній - наприкінці плавки.

При застосуванні вказаної технології завантаження шихти створюються сприятливі умови для стійкості тиглів, оскільки полегшується температурний режим плавки і зменшується хімічна взаємодія, між набивною масою тигля і окремими складовими шихти.

При експлуатації індукційних електропечей треба строго стежити за температурним режимом плавки, оскільки навіть незначне (20...50 °С) перевищення температури проти допустимої норми для цього матеріалу тигля різко зменшує термін його служби. При розплавленні не слід форсовано перегрівати метал вище за температуру розливання, оскільки таке перегрівання веде до розм'якшення футерування і його швидкого руйнування. Крім того, форсоване (швидке) перегрівання металу з подальшим відключенням печі для роздачі металу в ківш робиться при максимальних потужностях, що супроводжується інтенсивним рухом металу у ванні печі і, отже підвищеним зносом (розмиванням) тигля, особливо в нижній його частині. Це явище особливо помітно на печах промислової частоти.

Для зменшення зносу футерування перегрівання слід вести до температури зливу (на декілька градусів вище за температуру заливки) і потім перемикати піч на знижену потужність (у разі вимушеного простою і інших причин), що називається потужністю холостого ходу. Значне перегрівання металу допускається лише в окремих випадках, наприклад, коли тигель печі сильно зашла-

кован і необхідно зробити його чистку. Допускати зашлаковування не слід оскільки в цьому випадку зменшується корисний об'єм тигля і можуть значно погіршати техніко-економічні показники печі. Чищення стінок тигля при експлуатації печі необхідно здійснювати після кожної плавки. Робитися вона повинна при наповненому металом тиглі, оскільки в цьому випадку шлак розм'якшений і порівняно легко зчищається. Чистий тигель дозволяє також проводити візуальний контроль його стану (наявність тріщин, руйнування та ін.). При зменшенні товщини стінок тигля (його зносі) до 20-30 % тигель необхідно змінити (перенабити).

В процесі експлуатації слід безперервно спостерігати за режимом охолодження печі, станом електроапаратури і своєчасно здійснювати профілактичні огляди і ремонти. Однією з необхідних умов нормального режиму має бути підтримка температури води на вході в індуктор вище за температуру точки роси для цього приміщення. Інакше можлива конденсація водяної пари на трубках індуктора, що приведе до електропробою між витками індуктора і виходу його з ладу. При роботі печі небезпечне і надмірне перегрівання води, що виходить з індуктора. В цьому випадку відбувається інтенсивне відкладення солей (утворення накипу) і різних домішок на стінках труб індуктора що порушує умови теплообміну між стінкою трубки і охолоджувальною водою і веде до виходу печі з ладу. Утворення накипу відбувається і за нормальних умов, тому потрібно періодичне промивання водоохолоджуваних порожнин, наприклад 40 % розчином соляної кислоти. Профілактика електроустаткування повинна полягати в періодичному огляді комутуючої апаратури (реле, магнітних пускачів, контакторів та ін.) своєчасній зачистці контактів і підтримці в справності їх механічної частини. Прилади електровимірювань повинні проходити регулярну і періодичну перевірку.

Техніко-економічні показники індукційних печей говорять про високу ефективність цього устаткування. При виплавці алюмінієво-кремнієвих сплавів алюмінієвих лігатур втрати металу скорочуються для різних видів шихти і ма-

рок сплавів на 30-60 % порівняно з паливними печами. В усіх випадках різко покращуються умови праці і зменшується забруднення довкілля.

При експлуатації плавильних установок з індукційними печами повинні дотримуватися правила техніки безпеки для електротехнічних установок відповідного класу. Крім того, мають бути прийняті заходи безпеки пов'язані із специфічними особливостями печей. В процесі експлуатації слід безперервно спостерігати за режимом охолодження печі, станом електроапаратури і своєчасно здійснювати профілактичні огляди і ремонти. Однією з необхідних умов нормального режиму має бути підтримка температури води на вході в індуктор вище за температуру точки роси для цього приміщення. Інакше можлива конденсація водяної пари на трубках індуктора що привед до електропробою між витками індуктора і виходу його з ладу.

3.2 Конструктивний розрахунок індукційної тигельної печі

Для визначення місткості тигля та геометрії системи індуктор-садка приймаємо добову продуктивність печі А = 32 т, тривалість плавлення τ_1 = 3 год, допоміжний час (завантаження та розливання) τ_2 = 1 год.

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

$$M = A \cdot 10^3 \cdot \frac{\tau_1 + \tau_2}{24} \qquad (3.1)$$

де М – міскість тигля;

А – добова продуктивність печі, т/добу;

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

Визначаємо місткість тигля за формулою (3.1):

$$\text{М} = 32 \cdot 10^3 \cdot \frac{3+1}{24} = 5333 \text{ кг.}$$

та корисний об`єм тигля за формулою:

$$V = M / \gamma \text{ ,} \qquad (3.2)$$

де γ – густина розплаву, кг/м³; 2370 кг/м^3 для алюмінієвого розплаву [6].

$$V = \frac{5333}{2370} = 2{,}25 \text{м}^3.$$

Визначення розмірів тигля

Розраховуємо за формулою коефіцієнт k_1:

$$k_1 = 1{,}54 - 0{,}41 \cdot (M \cdot 10^{-4})^{0{,}35}, \quad (3.3)$$

$$k_1 = 1{,}54 - 0{,}41 \cdot (5333 \cdot 10^{-4})^{0{,}35} = 1{,}211,$$

знаходимо внутрішній діаметр тигля за формулою:

$$d = \sqrt[3]{4V / \pi k_1}, \quad (3.4)$$

$$d = \sqrt[3]{4 \cdot 2{,}25 / 3{,}14 \cdot 1{,}211} = 1{,}340 \ м.$$

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

$$h = k_1 d, \quad (3.5)$$

$$h = 1{,}211 \cdot 1{,}340 = 1{,}623 \ \text{м}.$$

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

$$h_T = k_2 h, \quad (3.6)$$

$$h_T = 1{,}3 \cdot 1{,}623 = 2{,}11 \ \text{м}.$$

Загальна висота тигля дорівнює

$$h_{заг} = h_T + b_Д, \quad (3.7)$$

$$h_{заг} = 2{,}11 + 0{,}250 = 2{,}36 \ \text{м},$$

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

Визначаємо частоту струму за формулою:

$$f_{\min} \geq 2{,}5 \cdot 10^7 \cdot \frac{\rho}{\mu \cdot d^2}, \quad (3.8)$$

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

μ - відносна магнітна проникність матеріалу завантаження.

$$f_{\min} = 2{,}5 \cdot 10^{7} \cdot \frac{24 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 1{,}34^{2}} = 3{,}34 \text{ Гц.}$$

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 5333 кг дорівнює

$$b_ф = d/11 = 1{,}340/11 = 0{,}12 \text{ м.}$$

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

Внутрішній діаметр індуктора визначимо за формулою:

$$D = d + 2(b_ф + b_i), \tag{3.9}$$

де $b_ф$ - товщина футеровки в середньому перерізі, м; $b_ф = 0{,}12$ м;

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

$$D = 1{,}34 + 2(0{,}12 + 0{,}005) = 1{,}59 \text{ м.}$$

Приймаємо для печі місткістю 5333 кг $k_3 = 1{,}01$ і $k_4 = 0{,}2$ [12], тоді висота індуктора визначається за формулою:

$$H = k_3 D - k_4 h, \tag{3.10}$$

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

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

$$H = 1{,}01 \cdot 1{,}59 - 0{,}2 \cdot 1{,}623 = 1{,}281 \text{ м.}$$

3.3 Енергетичний баланс індукційної установки

Визначаємо теплові втрати тигельної печі з добовою продуктивністю 32 т і складаємо енергетичний баланс установки, використовуючи дані попередніх розрахунків.

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

$$S_Ф = \pi \cdot h_{заг} \cdot (d + d_H)/2 \quad (3.11)$$

$$S_И = \pi \cdot h_{заг} \cdot (d_H + D)/2 \quad (3.12)$$

де $S_Ф, S_И$ - середня площа футеровки та ізоляційного шару;

d_H - середній зовнішній діаметр футеровки тигля, м .

$$S_Ф = 3{,}14 \cdot 2{,}36 \cdot (1{,}34 + 1{,}58)/2 = 10{,}819 \text{ м},$$

$$S_И = 3{,}14 \cdot 2{,}36 \cdot (1{,}58 + 1{,}59)/2 = 11{,}745 \text{ м}.$$

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

$$P_c = (t_p - t_Ф)/\Sigma R_{ТП} \quad (3.13)$$

$$\Sigma R_{ТП} = \frac{b_Ф}{\lambda_Ф \cdot S_Ф} + \frac{b_И}{\lambda_И \cdot S_И} \quad (3.14)$$

Приймаємо $t_р$ =750 °С, $t_В$ =50 °С, Δt =25 °С, тоді

$$t_Ф = 50 + 25 = 75 \text{ °С}.$$

$$\Sigma R_{ТП} = \frac{0{,}12}{0{,}482 \cdot 10{,}819} + \frac{0{,}005}{0{,}215 \cdot 11{,}745} = 2{,}498 \cdot 10^{-2} \text{ °С/Вт}$$

$$P_c = (750 - 75)/2{,}498 \cdot 10^{-2} = 27022 \text{Вт}$$

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

$$P_K = (t_P - t_K)/\Sigma R_K \quad (3.15)$$

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

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

$$\Sigma R_{ТП} = \frac{\delta_{МК}}{\lambda_{МК} \cdot S_{ТК}} + \frac{\delta_{ФК}}{\lambda_Ф \cdot S_{ТК}} + \frac{\delta_{ИК}}{\lambda_И \cdot S_{ТК}} \quad (3.16)$$

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 · °С) ;

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

$D_К$ - діаметр кришки тигля, м.

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

$$\Sigma R_{ТП} = (\frac{0{,}01}{51{,}1} + \frac{0{,}12}{0{,}479} + \frac{0{,}005}{0{,}212}) / 1{,}98 = 1{,}385 \cdot 10^{-1} \text{ °С/Вт}$$

де $S_{ТК} = 3{,}14 \cdot 1{,}590^2 / 4 = 1{,}98$ м^2,

$\lambda_{МК}$ =51,1 Вт/(м · °С),

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

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

$P_К = (750 - 40) / (1{,}385 \cdot 10^{-1}) = 5126$ Вт.

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

$$P_Д = (t_р - t_Д) / \Sigma R_Д \qquad (3.17)$$

де $t_Д$ - допустима температура нагріву зовнішньої поверхні футеровки днища тигля,дорівнює температурі зовнішнього середовища;

$\Sigma R_Д$ - сумарний тепловий опір дна тигля, °С/Вт :

$$\Sigma R_Д = \frac{\delta_{ФД}}{\lambda_Ф \cdot S_Д} + \frac{\delta_{ИД}}{\lambda_И \cdot S_Д} \qquad (3.18)$$

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

$S_Д$ – площа дна тигля, м^2 :

$$S_Д = \pi \cdot d_Д^2 / 4 \qquad (3.19)$$

$d_Д$ – діаметр дна тигля, м.

Приймаємо за практичними даними $d_Д$ =1,320 м [6], середню товщину футеровки з жаростійкого бетону $\delta_{ФД} = b_Д$, середню товщину ізоляційного шару з азбесту $\delta_{ИД}$ =0,010 м.

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

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

$P_{Д} = (750-40)/4{,}160\cdot 10^{-1} = 1707$ Вт.

Визначаємо теплові втрати випромінюванням від поверхні розплаву за формулою:

$$P_{изл} = c_s \cdot \varepsilon \cdot (T_P/100)^4 \cdot S_{PM} \tag{3.20}$$

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:

$$S_{PM} = \pi \cdot d^2/4 \tag{3.21}$$

$$P_{изл} = 5{,}67\cdot 0{,}19\cdot((750+273)/100)^4\cdot 1{,}41 = 16636 Вт$$

$$S_{PM} = 3{,}14\cdot 1{,}340^2/4 = 1{,}41\ м^2.$$

Визначаємо потужність теплових втрат з димовими газами за формулою:

$$P_{ух} = S_{ДМ}\cdot \upsilon_{ух}\cdot \gamma_{ух}\cdot c_{ух}(t_p - t_c) \tag{3.22}$$

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 · °С)

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

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

Визначаємо сумарні загальні теплові втрати печі за формулою :

$$P_{ТП} = P_C + P_K + P_Д + P_{ИЗЛ} + P_{УХ} \tag{3.23}$$

$$P_{ТП} = 27022 + 5126 + 1707 + 16636 + 19410 = 69901 Вт.$$

Визначаємо потужність, що споживається установкою, за формулою :

$$P_У = P_И + + P_{пККа} + P_{пК} \quad (3.24)$$

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

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

$$P_{ер} = P_{еи} + P_{пМ} \quad (3.25)$$

$$P_{ЕПУ} = P_{ЕП} + P_{ткка} + P_{пК} \quad (3.26)$$

$$\eta_{еу} = (P_у - P_{ЕПУ}) / P_У \quad (3.27)$$

$$P_{ер} = 501 + 3{,}25 = 504{,}25 \text{ кВт,}$$

$$P_{ЕПУ} = 504{,}25 + 39 + 30 = 573{,}25 \text{ кВт,}$$

$$\eta_{еу} = (1471 - 573{,}25) / 1471 = 0{,}61$$

Визначаємо тепловий к.к.д. печі за формулою:

$$\eta_Т = P_{ПОЛ} / P_{САД} \quad (3.28)$$

де $P_{ЇЇЁ}$ - корисно використана потужність, кВт;

$$\eta_Т = 827749 / 897{,}75 = 0{,}922$$

$$P_{ПОЛ} = P_{САД} - P_{ТП} \quad (3.29)$$

де $P_{САД}$ - потужність,що передається в садку, кВт.

$$P_{ПОЛ} = 897{,}75 - 69{,}901 = 827{,}849 \text{ кВт.}$$

$$P_{САД} = P_И - P_{ЕП} \quad (3.30)$$

$$P_{САД} = 1402 - 504{,}25 = 897{,}75 \text{ кВт.}$$

Визначаємо загальні к.к.д. печі та установки за формулами :

$$\eta_{ОП} = \eta_Е \cdot \eta_Т \quad (3.31)$$

$$\eta_{оу} = \eta_{еу} \cdot \eta_Т \quad (3.32)$$

$$\eta_{ОП} = 0{,}634 \cdot 0{,}922 = 0{,}593$$

$$\eta_{оу} = 0{,}61 \cdot 0{,}922 = 0{,}562$$

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

$$\omega_y = \omega_{УТ} / \eta_{оу} \tag{3.33}$$

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

$$\omega_y = 290/0{,}562 = 516 \text{ кВт} \cdot \text{г/т}$$

Визначаємо тривалість плавки за формулою :

$$\tau = \omega_y \cdot M \cdot 10^{-3} / P_y \tag{3.34}$$

$$\tau = 516 \cdot 5333 \cdot 10^{-3} / 1147 = 1{,}9 \text{ год.}$$

Визначаємо продуктивність печі по розплавленню та перегріву за формулою:

$$G = P_y / \omega_y \tag{3.35}$$

$$G = 1471 / 516 = 2{,}8 \text{ т/год.}$$

Визначаємо питому потужність печі, що розроблюється, за формулою :

$$p = P_{САД} / (\eta_e \cdot \eta_T \cdot M \cdot 10^{-3}) \tag{3.36}$$

$$p = 897{,}75/(0{,}634 \cdot 0{,}922 \cdot 5333 \cdot 10^{-3}) = 284 \text{ кВт/т.}$$

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

Визначаємо втрати в трансформаторі за формулою :

$$P_{пПП} = P_y \cdot (1/\eta_{ТР} - 1) \tag{3.37}$$

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

$$P_{пПР} = 1474 \cdot (1/0{,}729 - 1) = 544{,}27 \text{ кВт.}$$

Складаємо рівняння балансу потужності індукційної установки за формулою:

$$P_{ПОЛ} + P_{ТП} + P_{ЕИ} + P_{пМ} + P_{пККА} + P_{пК} + P_{пПП} = P_{ТР} \tag{3.38}$$

$$827{,}849 + 69{,}901 + 501 + 3{,}25 + 39 + 30 + 544{,}27 = 2015{,}27 \text{ кВт.}$$

Обираємо трансформатор типу ЕОМН-4200/10-72УЗ з потужністю 2500 кВА.

Результати розрахунків записуємо в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Енергетичний баланс індукційної установки

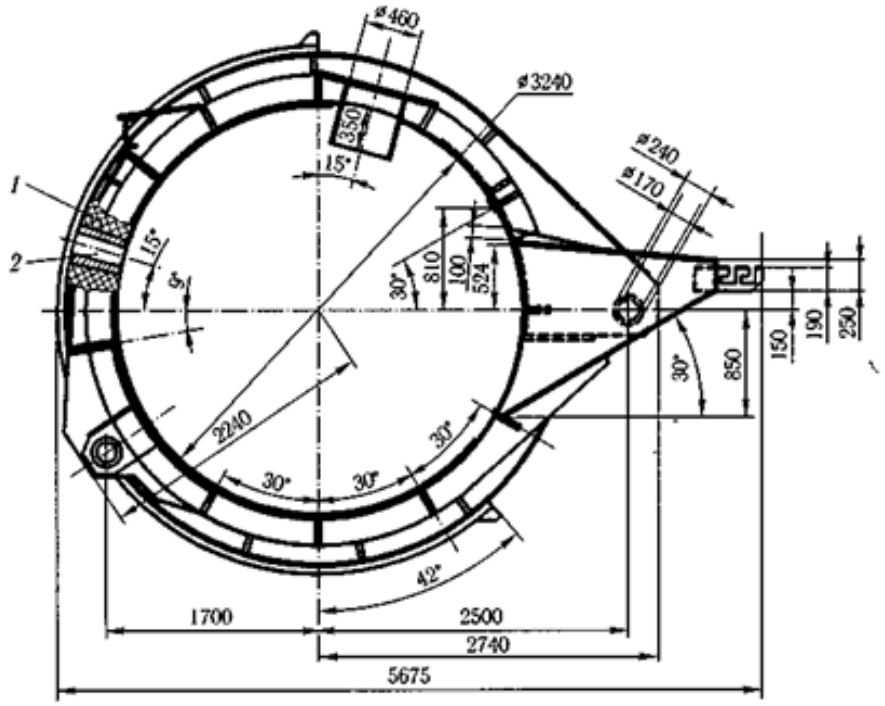
Надходження			Витрачання		
Стаття	Кількість		Стаття	Кількість	
	кВт	%		кВт	%
Потужність трансформатора	2015,27	100,00	Потужність, що корисно використовується	827,85	41,10
			Загальні теплові втрати	69,90	3,46
			Електричні втрати в індукторі	501,00	24,86
			Сумарні електричні втрати в сталі магнітопроводу	3,25	0,16
			Електричні втрати в кабельному струмопідводі	39,00	1,94
			Електричні втрати в конденсаторній батареї	30,00	1,48
			Втрати в трансформаторі	544,27	27,00
Всього	2015,27	100,00	Всього	2015,27	100,00

3.4 Будова і принцип дії міксеру сплавляння

Міксер сплавляння (рис.3.3) застосовують для прийому рідких і твердих матеріалів під час отримання алюмінієво-силіцієвих сплавів, підготовки їх до зливу і переливання розплавленого металу у фільтрувальну піч.

Міксер складається з корпусу, що являє собою порожній циліндр, виготовлений з профільованої сталі. Всередині корпус у міксері футеровано шаром

теплоізоляційного матеріалу, шамотною легковагою цеглою в один ряд, шамотною цеглою в один ряд.



1 – футеровка; 2 – вікно для встановлення термопари; 3 – ребра жорсткості; 4 – кожух; 5 – труба для введення мішалки; 6 – кришка носка; 7 – зливний носок

Рисунок 3.3 – Міксер сплавляння

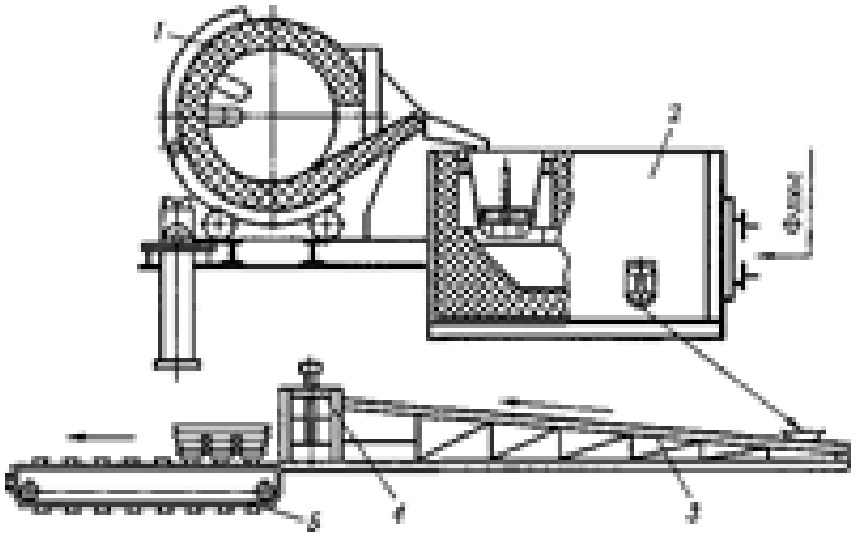
З зовнішньої частини до циліндричної поверхні корпусу приварюються два кольца із сталевого квадрату 60х60 мм, якими міксер спирається на чотири ковзана механізму нахилу міксера [7].

Механізм нахилу міксера складається з двох валів, на яких насаджені по 2 опорних ковзана, які є опорами міксера. Вали обертаються в двох опорах на підшипниках ковзання. Опори закріплені кожна на 4 анкерних болтах. На внутрішніх кінцях кожного вала встановлені планетарні конічні шестерні, що входять до зачеплення з двома конічними шестернями, встановленими на загальному проміжному валу, що приводяться в дію від електродвигуна через редуктори. Особливу увагу слід приділяти роботі гальмового пристрою. При його

незадовільній роботі можливе мимовільне опускання міксера на цапфи.

Ковш з рідким металом подається на міксер електромостовим краном. Плавильник з робочої площадки міксера проводить заливання металу в міксер сплавлення або у фільтрувальну піч через шахту.

Фільтрувальна піч (рис.3.4) виконана у вигляді металевого каркаса з профільованої сталі, футерованого всередині азбестом, діатомітовою і шамотною цеглою.



1 – міксер сплавляння; 2 – вакуумна фільтрувальна піч;

3 – ливарний конвеєр; 4 – чушкоукладач; 5 – транспортер

Рисунок 3.4 – Міксер сплавляння разом з фільтрувальною піччю

На передній стінці печі розміщене робоче вікно, що закривається дверима, і два інжекційних пальники. У торці печі знаходяться збірник і газохід, у нижній її частині по обидва боки встановлені льотки для розливання металу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Шкідливі та небезпечні чинники виробничого середовища під час виробництва силумінів із залученням до шихти відходів виробництва

При виробництві силумінів (алюмінієво-кремнієвих сплавів) та алюмінієвих лігатур основними шкідливими виробничими чинниками є світлове тепловипромінювання, газо- і пиловиделення, а також шум і вібрація. Найбільше тепловипромінювання відбувається при виплавці і приготуванні силумінів, алюмінієвих сплавів і лігатур, литті продукту, розливанні металу, а також достатня кількість тепловиділень при процесах сушіння ковшів і різних технологічних операціях. Найбільшому тепловому опромінюванню піддається робочий знаходячись на сурмовому майданчику і у момент знаходження на близькій відстані від льотки печі. Інтенсивність теплової радіації при цьому коливається від 28,5 до 37 Дж/(см^2·хв.) 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 виробничих приміщеннях температура повітря на обслуговуючих майданчиках нерівномірна, відносна вологість низька, менше 30 %. Створення нормальних метеорологічних умов у приміщеннях вирішується в комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень і організації аерації, припливної вентиляції, обдуванні та кондиціонуванні повітря.

Другим шкідливішим чинником при виробництві силумінів, алюмінієво-кремнієвих сплавів і лігатур є газопиловиділення, що залежить від фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів і металу, що виплавляється. За даними матеріального балансу плавки, гази складають 70...75 % всіх продуктів плавки.

До шкідливих чинників відносять шум, вібрацію, високу яскравість (інтенсивність свічення) нагрітого металу. Джерелами шуму є рух ливарних конвеєрів, мостових кранів, робота вентиляторів, машини по чищенню ковшів тощо. Вібрація на проектованій ділянці спостерігається в основному середньо- і низькочастотна. Викликається вона працюючими потужними механізмами (редуктори, електродвигуни та ін.) [16,17].

При операціях по обслуговуванню печей і міксерів можливо сліпуча дія променів видимого спектру у поєднанні з інфрачервоним і ультрафіолетовим випромінюванням. Основним джерелом випромінювання є вакуумні фільтрувальні печі, міксери, індукційні тигельні печі, розплавлений гарячий метал і шлак.

До основних небезпечних чинників відноситься робота з рідким і гарячим металом, а також робота в безпосередній близькості до переміщення сировини, напівфабрикатів, готової продукції і відходів виробництва зв'язаних із застосуванням різних 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, використовувана при виробництві силумінів, алюмінієво-кремнієвих сплавів і лігатур, в більшості своїй відноситься до четвертого класу небезпеки, тобто малонебезпечні речовини.

До фізичної групи шкідливих і небезпечних чинників плавильної ділянки виробництва силумінів (алюмінієво-кремнієвих сплавів) та алюмінієвих лігатур за ДСТУ 12.0.003 відносять пил, шум, зміну температури в приміщенні цеху.

До найбільш шкідливих умов праці на ділянці по виробництву (алюмінієво-кремнієвих сплавів) та алюмінієвих лігатур відноситься одна з професій – плавильник.

У таблиці 4.1 приведені шкідливі чинники виробничого середовища плавильної ділянки і заходи щодо їх усунення, які мають місце на металургійній ділянці плавильного цеху [16].

Таблиця 4.1 – Технічні заходи захисту від впливу шкідливих чинників

виробничого середовища

Шкідлива речовина	ГДК, мг/м³	Вміст у повітрі робочої зони, мг/м³	Ознаки отруєння	Наслідки тривалої дії на організм людини	Заходи боротьби з дією шкідливого чинника
1	2	3	4	5	6
Марганець	Високонебезпечний 0,3	0,25	Втрата свідомості, різка задишка, розлад кровообігу	Порушення слухової і вестибулярної функції організму	Ефективна вентиляція і забезпечення робочих засобами індивідуального захисту. Необхідні регулярні медичні огляди.
Вуглецю оксид	Малонебезпечний 20	17,6	інтоксикація	Порушення в роботі печінки (цироз), розвивається цукровий діабет, серцева недостатність і інші такі ж неприємні хвороби	Аерація зданий; дотримання техніки безпеки при вибухових роботах; використання протигазів; медичне спостереження за робітниками 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 10ºС;теплий період – 10ºС і вище	-	-	Під час перерв і пауз в роботі необхідний відпочинок у відповідні погодні умови	Наприклад: утеплена куртка, ватяні брюки – у зимовий період

Вибухонебезпечними є водоохолоджувачі елементи печей, при порушенні герметичності яких вода потрапляючи в робочий простір печі під дією високої температури приводить до бавовни або вибухів з викидами рідкого металу. До вибуху також може привести добавка шихти і легуючих елементів як в печі, в міксер, так і виливання в ківш або виливниці не прогріті, сирі, або в зимовий час заледенілі, а також скупчення в печі легкозаймающих речовин, що утворюються впродовж технологічного процесу. Перераховані потенційні небезпеки найчастіше виявляються при екстремальних відхиленнях, які нерідко виникають в результаті температурної напруги фазових і хімічних процесів, при технологічних порушеннях виробництва. Все викладене зумовило віднесення цехів по підготовці і виплавці алюмінієво-кремневих сплавів, до цехів з підвищеною небезпекою, тому допуск вирішується тільки особам, що знають специфіку виробництва у поєднанні з питаннями безпеки праці.

4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища під час виробництва силумінів із залученням до шихти відходів виробництва

Для поліпшення умов праці і захисту працюючих від теплової дії та виділення пічних газів передбачено наступні заходи: теплоізоляція, механічна вентиляція, природна аерація, спецодяг і засоби індивідуального захисту плавильників.

Виробничі приміщення і місця зберігання вибухонебезпечних і пожежонебезпечних речовин повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно з ДСТУ12.1.004, вибухобезпечності згідно з ДСТУ12.1.010 і повинні бути обладнані знаками пожежонебезпеки згідно з ГОСТ 12.4.026, засобами пожежогасіння згідно з ДСТУ12.4.009 і пожежною сигналізацією [16,17].

Виробничі приміщення в місцях утворення шкідливих речовин, вибухонебезпечного пилу і пожежонебезпечних речовин повинні бути обладнані вен-

тиляцією відповідно до ДСТУ12.4.021, відокремлені від джерел загоряння, вибуху і відкритого вогню таким чином, щоб забезпечити:

а) виконання санітарно-гігієнічних вимог щодо повітря робочої зони відповідно до ДСТУ12.1.005;

б) герметизацію апаратури і комунікацій.

Повітропроводи для видалення пилу повинні мати гладкі внутрішні поверхні без карманів і поглиблень.

Всі заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек діляться на колективні і індивідуальні. При роботі в сильно запилених умовах, де колективні засоби не справляються із завданням, використовують додатково засоби індивідуального захисту – респіратори.

Індивідуальні засоби захисту. Разом з колективними засобами захисту працівників цеху планується застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), які видаються безкоштовно, згідно встановлених норм (табл.4.2). Згідно карти умов праці дана професія має три ступені по чинниках шкідливості і небезпеки праці – пил, шум, температура повітря.

Таблиця 4.2 – Засоби індивідуального захисту плавильника

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	Термін використання
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

Боротьба з тепловим випромінюванням, витікаючи від устаткування, полягає в облаштуванні захисних екранів, що закривають персонал від джерела випромінювання. Так, на сурмових майданчиках застосовують водоохолоджу-

вачі екрани, які помітно знижують теплове випромінювання. Також використовують екрани з прошарком з азбокартона, 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 нормальних умов повітряного середовища робочих місць застосовується припливна і витяжна вентиляція, а також аспірація і аерація.

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.По можливості шумляче устаткування розташовують за шумопоглинаючими стінами.

Для захисту органів зору від яскравих відблисків металу і вогню персонал використовує затемнені окуляри, що поглинають ультрафіолетові і видимі промені. Для огорожі робочої зони плавильника і зварювача виконують спеціальні непрозорі екрани.

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

Виробництво силумінів, алюмінієво-кремнієвих сплавів та алюмінієвих лігатур є цілодобовим, тому для проведення робіт в темний час доби, а також в місцях без достатнього природного освітлення застосовується штучне. Штучне освітлення - загальне рівномірне з урахуванням розташування робочих місць, оскільки переважають відносно грубі роботи. Лампи розжарювання, що використовуються у приміщенні, при нормованій освітленості до 50 Лк, термін використання становить 1000 годин.

Для 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.

Регулярно перевіряти умови виробничої санітарії на робочому місці: освітлення і температуру повітря, ефективність вентиляції, чистоту

Для запобігання пожежі площу навколо індукційної тигельної печі, міксеру сплавлення, фільтрувальних печей необхідно очистити від легкозаймистих предметів і речовин. Щит з пожежним інвентарем, пісок для пожежогасіння і пожежний кран розмістити на відстані щонайбільше 50 м від печі.

ВИСНОВКИ

1. Вивчено класифікацію та характеристику алюмінієвих сплавів.

2. Проаналізована діаграма стану системи алюміній-кремній та класифікація силумінів за вмістом кремнію. Надана характеристика ливарного алюмінієво-кремнієвого сплаву АК12М2.

3. Проаналізовано способи виробництва силумінів (алюмінієво-кремнієвих сплавів) та алюмінієвих лігатур. Для виплавки сплаву АК12М2 вибрано спосіб сплавлення рідкого електролітичного алюмінію і кристалічного кремнію з добавлянням легуючих елементів, залученням до складу шихти відходів виробництва у вигляді алюмінієвої стружки і шлаку.

4. Вивчено технологічні особливості виробництва алюмінієвих сплавів способом сплавлення чушкових металів і відходів виробництва для приготування подвійних алюмінієвих лігатур в індукційних тигельних печах, сплавлення та рафінування розплавів у міксері сплавлення та фільтрувальній печі. Розроблено технологію виплавки сплаву АК12М2 із залученням до шихти відходів виробництва (алюмінієвої стружки, шлаку).

5. Складено матеріальний баланс виплавки сплаву АК12М2 та визначено витратні коефіцієнти.

6. Виконано конструктивний розрахунок індукційної тигельної печі. Складено енергетичний баланс індукційної установки для виробництва алюмінієво-кремнієвого сплаву АК12М2.

7. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища під час виробництва силумінів із залученням до шихти відходів виробництва. Розроблено заходи щодо поліпшення умов праці.

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. 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.

3. Nikolay A. Belov, Dmitry G. Eskin and Andrey A. Aksenov. Multicomponent Phase Diagrams : Application for Commercial Aluminum Alloys. Elsevier, 2005. 413 p.

4. ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови. [Чинний від 1994-10-31]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1995. 54 с.

5. 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.

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

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

8. Діденко Л. М., Нестеренко Т. М. Особливості технологічного контролю домішок при виробництві силумінів із вторинної сировини. Молода наука-2023 : зб. наук. праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. С. 276–278

9. Kircher G. Aluminium scrap as vital source of aluminium supply. *Erzmetall*. 2011. Vol. 64, № 4. P. 210−212.

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

11. Nikolay A. Belov, Dmitry G. Eskin and Andrey A. Aksenov. Multicomponent Phase Diagrams : Application for Commercial Aluminum Alloys. Elsevier, 2005. 413 p.

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

13. Діденко Л. М., Нестеренко Т. М. Дослідження очищення розплавів кольорових металів і сплавів від домішок. *Молода академія 2021* : збірка тез доповідей Всеукр. науково-техн. конф. студентів і молодих учених, м. Дніпро, 20-21 травня 2021. Дніпро : НметАУ, 2021. Т. С.21.

14. Нестеренко Т. М. Виробництво алюмінієвих сплавів із рудної та вторинної сировини : метод. вказівки до практичних занять. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 40 с.

15. 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.

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

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