

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний інститут, факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування інституту, факультету)

Композиційних матеріалів, хімії та технологій

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **ДОМІШКОВЕ МОДИФІКУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

ПОРОШКОВИМИ СУМІШАМИ

Виконав: студент 2 курсу, групи БАД-219м

Спеціальності 132-Матеріалознавство

(код і найменування кафедри)

Освітня програма (спеціалізація) Композиційні
та порошкові матеріали, покриття

Твердохліб О.І.

Керівник Мітяєв О.А.

Рецензент Скуйбіда О. Л.

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний; будівництва, архітектури та дизайну
 Кафедра Композиційні матеріали, хімія та технології
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри О.А. Мітяєв

Мітяєв
 « 01 » 10 , 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ТВЕРДОХЛІБ Олексій Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Домішкове модифікування алюмінієвих сплавів порошковими сумішами

керівник проєкту (роботи) д.т.н., проф. Мітяєв О.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» листопада 2020 року № 2722. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Вихідні дані стисливі алюмінієві сплави АК5М (АЛ5), загальної технічної вимоги, вартість матеріалів, а також те, предметом розробки є модифікування порошків.

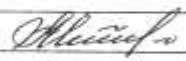
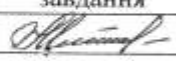
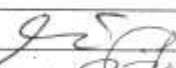
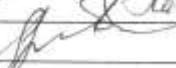
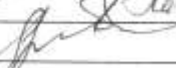
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Характеристика властивостей та сплавів на його основі;

2) Матеріали та методи дослідження; 3) Розробка розрахунково-пояснювальної записки для розробки системи алюмінієвих сплавів;
4) Прогнозування властивостей матеріалів дослідження; 5) Оцінка проєкту та його впливу на розробку системи;
6) Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4 Технічні	Міт'яєв О.А. д.т.н., проф., зав. кафедр.		
5 Виробничі процеси та безпека	Світлов В.Ю.		
6 Економічні	Левченко Н.М., професор		
Науково-технічні	Акімов І.В., доцент		

7. Дата видачі завдання « 01 » 10 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика організації та станів по іоні осей	23.10.2020	
2	Матеріали та методика досліджень	29.10.2020	
3	Робота розробки розробки - специфікації для підвищення безпеки організації станів	29.11.2020	
4	Процес виробництва матеріалів дослідження	08.12.2020	
5	Робота проц та безпеки у надзвичайних ситуаціях	12.12.2020	
6	Техніко-економічне обґрунтування	15.12.2020	

Студент(ка)


(підпис)Твердохліб О.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)Міт'яєв О.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Робота складається з 84 сторінок, 13 рисунків, 14 таблиць, 54 джерел.

Об'єктом проведення дослідницької роботи є вплив порошкових рафінувально-модифікувальних комплексів на структуру та властивості алюмінієвих сплавів.

Метою цієї роботи була розробка рафінувально-модифікувального комплексу, який дозволив би підвищити властивості, вперш за все, рідинноплинність, вторинних алюмінієвих сплавів. В роботі досліджувався вплив розробленого рафінувально-модифікувального комплексу на структуру, механічні та ливарні властивості сплаву АК5М (АЛ5). В роботі показано, що використання нового рафінувально-модифікувального комплексу дозволяє підвищити рідинноплинність розплаву на 77 %, а також підвищує механічні властивості сплаву.

Ключові слова: АЛЮМІНІЄВИЙ СПЛАВ, МОДИФІКУВАННЯ, РАФІНУВАЛЬНО-МОДИФІКУВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС, ПОРОШКОВИЙ МОДИФІКАТОР, РІДИННОПЛИННІСТЬ.

ABSTRACT

The research work consists of 84 pages, 13 figures, 14 tables, 54 sources.

The object of the researching work is the impact of the powder refining and modifying complex on structure and properties of aluminium alloys.

The purpose of this work was to develop a refining and modifying complex that would be able to increase the property of aluminium alloys, first of all, fluidity of secondary aluminium alloys. In the work was researching the impact of the refining and modifying complex, that was developed, on structure, mechanical and foundry properties of AK5M (AJI5) alloy. It is shown in the work that usage of the new refining and modifying complex increases fluidity of the alloy by 77 %, and also increases mechanical properties of the alloy.

Keywords: ALUMINIUM ALLOY, MODIFYING, REFINING AND MODIFYING COMPLEX, POWDER MODIFIER, FLUIDITY.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1 Характеристика алюмінію та сплавів на його основі.....	10
1.1 Загальна характеристика алюмінію.....	10
1.2 Характеристика сплавів на основі алюмінію	11
1.3 Методи підвищення властивостей сплавів на основі алюмінію	16
1.3.1 Рафінування	16
1.3.2 Вібраційне та ультразвукове оброблення.....	19
1.3.3 Вплив оброблення електричним струмом	21
1.3.4 Газове рафінування	22
1.3.5 Модифікування.....	23
1.4 Мета дослідження	25
Розділ 2 Матеріали та методика досліджень	27
2.1 Контроль хімічного складу	27
2.2 Визначення рідинноплинності.....	27
2.3 Металографічний аналіз	27
2.4 Визначення твердості.....	28
2.5 Визначення міцності та пластичності	28
2.6 Обладнання для виготовлення та формування таблетованого рафінувально-модифікувального комплексу	28
2.7 Вказівки з експлуатації, транспортування та зберігання рафінувально-модифікувального комплексу	29
Розділ 3 Розробка рафінувально-модифікувального комплексу для підвищення якості алюмінієвих сплавів	31
3.1 Аналоги та прототипи.....	31
3.2 Вибір та обґрунтування складових рафінувально-модифікувального комплексу та їх кількості.....	32
3.3 Технологія виробництва рафінувально-модифікувального комплексу	36

3.4 Експериментальна перевірка дії розробленого рафінувально-модифікувального комплексу	37
3.5 Висновки	40
Розділ 4 Промислове впровадження матеріалів дослідження	41
4.1 Характеристика обладнання, умов експлуатації та виготовлення.....	41
4.2 Причини отримання недосконалостей деталей при виготовленні.....	42
4.3 Розробка технології виготовлення придатного литва	47
4.4 Висновки	50
Розділ 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	52
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	52
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	53
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	59
5.4 Заходи з пожежної безпеки	64
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	67
Розділ 6 Техніко-економічне обґрунтування	71
Висновки	78
Перелік джерел посилань	79

ВСТУП

На сьогоднішній день алюміній та сплави на його основі є одним з основних конструкційних матеріалів, які знайшли своє широке застосування у різних галузях сучасної промисловості. За об'ємом виробництва алюміній та сплави на його основі посідають друге місце в світі після сплавів на основі заліза. Одним із основних напрямків застосування алюмінію є авіакосмічна та транспортна промисловість. Це пов'язано з тим що алюміній має ряд переваг, які вигідно виділяють його серед інших конструкційних матеріалів. Найбільш значними перевагами алюмінію, які обумовлюють його поширеність в авіаційному будівництві, є його висока корозійна стійкість, мала густина, висока міцність та ударна в'язкість. Застосування алюмінію в якості основного матеріалу при виготовленні різноманітних конструкцій транспортних засобів, дозволяє значно знизити вагу конструкції, що призводить до підвищення маневреності всієї конструкції, а також зниження витрат пального. Крім того, алюміній добре піддається формуванню та литтю, а також подальшій механічній обробці, що дозволяє виготовляти з нього різноманітні деталі та конструкції складної конфігурації. Однак в чистому вигляді алюміній має ряд недоліків, таких як, низькі твердість та температура плавлення. Значно підвищити характеристики алюмінію дозволяє введення в нього різних легувальних елементів та модифікаторів.

У зв'язку з сучасним прогресом та постійним розвитком галузі авіабудування та транспортної промисловості в цілому, до конструкційних матеріалів висуваються все більш високі вимоги. Щоб відповідати вимогам сучасного світу потрібно постійно проводити дослідження та намагатись знаходити нові шляхи поліпшення якості та підвищення властивостей конструкційних матеріалів.

Актуальною проблемою є також розробка методів поліпшення якості вторинних сплавів на основі алюмінію. Виробництво первинного алюмінію є досить коштовним та енерговитратним процесом. Значно знизити витрати на

виробництво алюмінієвих сплавів дозволяє перероблення алюмінієвого лому. Отримання 1 т вторинного алюмінію дозволяє зберегти 4 т бокситів, 700 кг кокса та зменшує шкідливі викиди (включаючи CO) на 35 кг [1]. При використанні 1 т високоякісних вторинних сплавів на основі алюмінію при виготовленні відливок замість первинного алюмінію, у народному господарстві заощаджується, в залежності від марки сплаву та області його застосування, від 230 до 490 кг первинного алюмінію, від 24 до 197 кг кристалічного кремнію, від 1,1 до 4,6 т бокситів, від 0,4 до 1,8 т глинозему, а також від 4 до 16 тисяч кВт·ч електроенергії [2]. Але якість вторинної сировини поступається якості первинних сплавів. Основною причиною низької якості вторинних сплавів є їх висока забрудненість різними шкідливими домішками.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЮМІНІЮ ТА СПЛАВІВ НА ЙОГО ОСНОВІ

1.1 Загальна характеристика алюмінію

Алюміній являє собою метал який має ГЦК кристалічну решітку та не має алотропічних модифікацій. Алюміній є найпоширенішим металом який зустрічається в земній корі. Його головними обливостями є мала густина ($\gamma = 2,72 \text{ г/см}^3$) – у три рази легше за сталь, низька температура плавлення ($t_{\text{пл}} = 660 \text{ }^\circ\text{C}$), а також висока корозійна стійкість. Антикорозійні властивості алюмінію пояснюються тим, що на його поверхні утворюється тонка оксидна плівка Al_2O_3 , яка має високу міцність та щільність і захищає поверхню металу від впливу навколишнього середовища. Алюміній має високу стійкість у морській воді та у багатьох органічних кислотах, у концентрованій азотній кислоті, у повітрі, забрудненому сірчистими газами і т. д. Стійкість алюмінію проти атмосферної корозії в ~ 20 разів більша за стійкість сталі. Однак цей метал може руйнуватися при впливі на нього лугами та деякими видами кислот, наприклад, соляною. Чистий алюміній має наступні механічні властивості у відпаленому стані: $\sigma_B = 80 \dots 100 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 30 \dots 40 \text{ МПа}$, $\delta = 35 \dots 40 \%$, НВ 25...30. Холодна пластична деформація підвищує σ_B до 150 МПа, але знижує δ до 6 %. Алюміній легко обробляється тиском, зварюється усіма видами зварювання, але його обробка різанням ускладнена, має значну ливарну усадку. Після деформування і відпалу алюміній має однорідну зернисту структуру. Супутні алюмінію домішки (залізо, кремній тощо) утворюють з ним різні сполуки, які виділяються на границях зерен та всередині них. Алюміній із залізом утворює крихку інтерметалеву сполуку Al_3Fe , яка знижує його пластичність. За вмісту кремнію понад 0,05 % на межах зерен алюмінію з'являються голчасті крихкі кристали кремнію сірого кольору. У випадку одночасної присутності в алюмінії та його сплавах кремнію і заліза утворюються потрібні сполуки цих металів $\alpha\text{-(Al-Fe-Si)}$ та $\beta\text{-(Al-Fe-Si)}$ пластинчастої або голчастої форми. Склад α -фази описує формула Fe_2SiAl_8 , а β -фази – FeSiAl_5 .

Шкідливий вплив заліза на механічні властивості технічного алюмінію та сплавів на його основі нейтралізують введенням невеликої кількості мангану і хрому, які утворюють фазу α -(Al, Fe, Si, Mn) з формою часточок, близькою до поліедричної [3].

1.2 Характеристика сплавів на основі алюмінію

Сплави системи Al–Si називають силумінами (рис 1.1). Ці сплави є найбільш поширеними ливарними сплавами. Силуміни поділяють на подвійні, леговані тільки кремнієм, і спеціальні, в яких, окрім кремнію, містяться в невеликій кількості інші легувальні компоненти (Mg, Cu, Mn, Ni). Силуміни з грубогольчатою евтектикою внаслідок великої крихкості кремнію характеризуються невеликими показниками механічних і корозійних властивостей. Для покращання структури силумінів та підвищення механічних і технологічних властивостей їх перед відливанням піддають обробці сумішшю фтористих та хлористих солей натрію. Ця операція називається модифікуванням силумінів, оскільки вона призводить до різких змін структури сплавів. Сплави евтектичного і заевтектичного складу стають за структурою доевтектичними, а сама евтектика – дрібнозернистою (див. рис. 1.1).

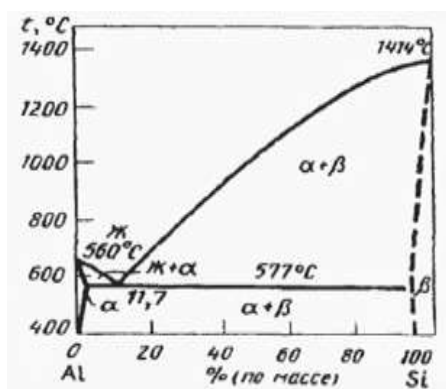


Рисунок 1.1 – Діаграма стану Al-Si [[3] с. 64].

Сплави на основі системи Al-Mg. Сплави алюмінію з магнієм найміцніші серед ливарних алюмінієвих сплавів. Вони мають високу корозійну стійкість і найменшу питому вагу в порівнянні з іншими алюмінієвими сплавами, проте поступаються за ливарними властивостями. Унаслідок великого інтервалу кристалізації ці сплави мають меншу рідкоплинність і схильні до утворення усадкової рихлоти.

Окрім цього, вони дуже окислюються й у виливках часто з'являються оксидні включення, що призводить до значного зменшення міцності та особливо відносного подовження. Тому ці сплави плавлять під шаром флюсу або додають у невеликій кількості берилій.

Основний легувальний компонент у сплавах цієї групи – магній, більша частина якого знаходиться у твердому розчині. Як видно з діаграми стану Al-Mg (рис. 1.2), структура сплавів складається з α -твердого розчину і β -(Al_3Mg_2). Кремній вводять у склад сплаву для покращання ливарних властивостей. Сплави алюмінію з магнієм, з невеликими додатками хрому та інших елементів, мають підвищену міцність і пластичність, піддаються глибокій витяжці, добре зварюються та мають підвищену корозійну стійкість.

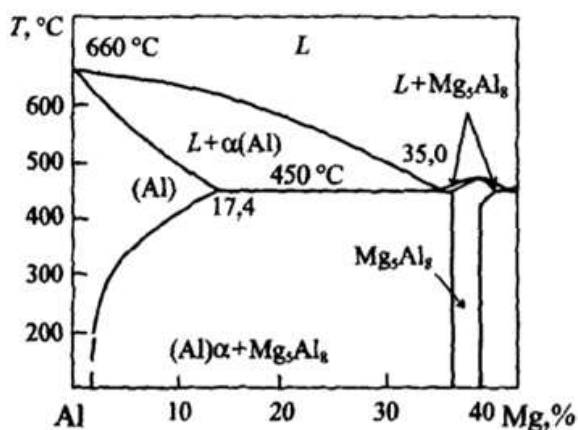


Рисунок 1.2 – Діаграма стану Al-Mg [[4] с. 14]

Сплави алюмінію на основі системи Al-Mg-Si (авіалі). Ці сплави широко відомі під назвою авіаль (авіаційний алюміній). Вони леговані в меншому ступені,

ніж дюралюміні, і поступаються їм за міцністю, але мають кращу пластичність у холодному і гарячому станах, добре зварюються і чинять опір корозії. Авіалі мають високу границю витривалості.

Зміцнювальною фазою в авіалі є сполука Mg_2Si . Наявність змінної розчинності цієї фази в алюмінію забезпечує можливість зміцнення сплавів термічною обробкою. Природне старіння в цих сплавах протікає повільно. Розпад помітно спостерігається лише при нагріві сплаву до температур $140...160\text{ }^{\circ}\text{C}$, при яких звичайно і проводять штучне старіння сплавів авіаль після гартування з $515...525\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сплави системи Al–Mn. Сплави алюмінію з марганцем достатньо широко застосовують у промисловості, оскільки вони мають більш високі механічні властивості, ніж чистий алюміній, характеризуються високою технологічністю і підвищеною корозійною стійкістю. Зі сплавів цієї системи отримують в основному листову продукцію.

Характер взаємодії алюмінію з марганцем визначається діаграмою стану (рис. 1.3).

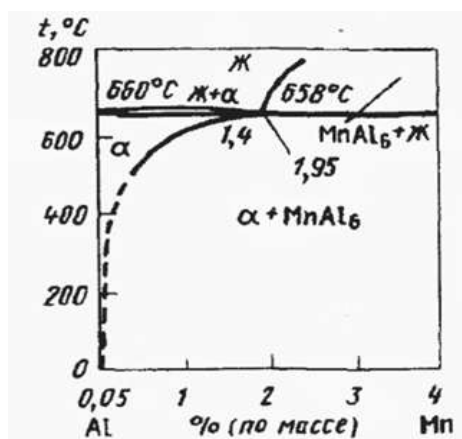


Рисунок 1.3 – Діаграма стану Al-Mn [[3] с. 70]

Марганець частково розчиняється в твердому алюмінію та утворює з ним ряд хімічних сполук. Найбільш багата алюмінієм сполука $MnAl_6$ дає з ним евтектику, що містить у собі 1,95 % марганцю, яка кристалізується при температурі $658\text{ }^{\circ}\text{C}$. Розчинність марганцю в алюмінію при евтектичній

температурі складає 1,82 %, а при 500 °С дорівнює 0,36 %. При подальшому пониженні температури розчинність змінюється незначно (див. рис 1.3). За наявності домішок заліза в сплавах на базі сполуки MnAl_6 утворюється складна потрійна сполука $(\text{MnFe})\text{Al}_6$, яка практично не розчиняється в алюмінію. Фаза $(\text{MnFe})\text{Al}_6$ кристалізується у формі крупних скупчень, істотно знижує механічні властивості сплавів та їх здатність до пластичної деформації.

У промисловості застосовуються сплави з вмістом марганцю 1,0...1,6 %. При наявності кремнію в сплавах утворюється потрійна сполука $\text{Al}_{10}\text{Mn}_3\text{Si}$ (Т-фаза), в якій у значній кількості розчиняється залізо. У результаті утворюється залізомарганцевиста фаза (AlMnSiFe) .

Незважаючи на змінну розчинність марганцю в алюмінію, у сплавах не спостерігається помітного зміцнення при термічній обробці. Кінцевою термічною обробкою сплавів типу АМц є рекристалізаційний відпал. Дуже висока пластичність дає можливість зміцнювати сплави за допомогою холодного деформування.

При деформуванні литого металу спостерігаються роздроблення інтерметалічних сполук. У пресованих і катаних матеріалах роздроблені частинки інтерметалідів утворюють рядкову структуру та розташовуються переважно вздовж ліній перебігу металу. При відпалі деформованого сплаву АМц утворюється структура з майже рівномірним розподілом включень марганцевистої фази і частинок залізомарганцевистої складової.

Сплави на основі системи Al-Cu. На відміну від силумінів, вони або не містять у собі евтектики, або мають невелику кількість евтектичної складової. Згідно з діаграмою стану Al-Cu (рис. 1.4) ливарні сплави, в яких міститься 4,0...5,3 % Cu, мають двофазну рівноважну структуру $\alpha + \beta$ (CuAl_2) і належать до типових термічно зміцнювальних сплавів. Висока міцність після термічної обробки, а також жароміцність є головними перевагами цих сплавів. Проте, як видно з діаграми стану Al-Cu, сплави типу АМ5 мають на відміну від силумінів досить широкий температурний інтервал кристалізації (90...100 °С при нерівноважних умовах кристалізації), що обумовлює значно гірші ливарні

властивості цих сплавів у порівнянні із силумінами: меншу рідинноплинність, велику схильність до утворення тріщин при литті та усадкової пористості.

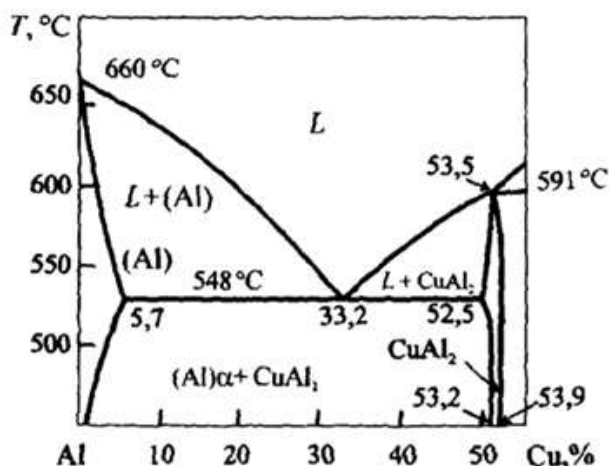


Рисунок 1.4 – Діаграма стану Al-Cu [[4] с. 14]

Сплави системи Al-Cu відрізняються гарними показниками міцності при високій для ливарних сплавів пластичності.

Основними недоліками цих сплавів є знижена у порівнянні з іншими ливарними сплавами корозійна стійкість та низькі ливарні властивості, у зв'язку з якими високі механічні характеристики цих сплавів не завжди вдається реалізувати у виробках. Виливки із цих сплавів потребують захисту від корозії.

Сплави на основі системи Al-Cu-Mg з додатками марганцю (дюралюмініи). Основою сплавів типу дюралюміній є система Al-Cu-Mg. Невеликі додатки магнію вводять в основному для підвищення корозійної стійкості сплавів, а також для нейтралізації шкідливого впливу заліза.

Наявність змінної розчинності міді й магнію в алюмінію дає можливість застосовувати для сплавів типу дюралюміній термічну обробку: гартування і старіння. На міцність дюралюмініїв після термічної обробки суттєво впливає їх склад. Зі зміною вмісту основних легуючих елементів (міді та магнію) а також домішок (заліза та кремнію), різко змінюється ефект старіння сплавів.

На фоні α -твердого розчину спостерігаються включення подвійної ($\alpha + \text{CuAl}_2$) і потрійної ($\alpha + \text{CuAl}_2 + \text{S}$) евтектик. Після природного старіння крім α -твердого розчину спостерігаються темні включення марганцевистої і залізної фаз.

Дюралюміній, що виготовляється в листах, для захисту від корозії піддають плакуванню, тобто покриттю тонким шаром алюмінію високої чистоти (не нижче 99,5 %). Товщина шару складає 4 % від товщини листа.

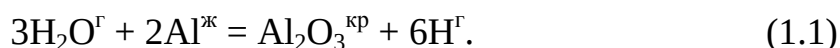
1.3 Методи підвищення властивостей сплавів на основі алюмінію

1.3.1 Рафінування

Рафінування – це процес очищення розплаву металу від шкідливих та небажаних домішок, з метою поліпшення якості сплаву, отримання більш задовільної структури, а також підвищення показників механічних та технологічних властивостей отриманого сплаву.

При виробництві сплавів разом з шихтою до розплаву неминуче потрапляють різноманітні забруднювальні домішкові елементи. Наявність в сплаві забруднювальних домішок призводить до утворення в структурі значної кількості інтерметалідних фаз. Інтерметалідні включення порушують мікроструктуру сплаву та являють собою концентратори напруги, що призводять до зниження міцності, пластичності та ударної в'язкості сплаву.

Також однією з причин низьких показників властивостей алюмінієвих сплавів є високий рівень вмісту газів. Рівень вмісту газів визначається насамперед кількістю розчиненого водню в розплаві. Джерелом водню в сплавах є волога яка потрапляє до розплаву разом з шихтою, паливом, а також міститься у флюсах та газах, які використовуються в технологічних операціях виплавлення, рафінування та модифікування. При цьому відбувається наступна реакція:



Маючи досить малий атомний радіус водень легко впроваджується в сплав алюмінію та, завдяки високій рухливості, може перейти до молекулярного стану знаходячись в порах металу:



Водень потрапивши в пори кристалічної ґратки алюмінію створює тиск, який може стати причиною утворення порожнин, а також призвести до розшарування металу. Існує пряма залежність розчинності водню в кристалічній ґратці металу від температури розплаву. З підвищенням температури розплаву розчинність водню в сплавах збільшується в декілька разів. Це відбувається внаслідок зниження щільності та поверхневого натягу розплаву при підвищенні температури.

Також одним з факторів, що впливає на якість сплавів, є склад атмосфери печі. Атмосфера полуменевої газової печі складається з: 8...15 % O_2 , 3...9 % CO_2 , 2 % CO ; 3,7...12,3 % H_2O , інше N_2 [5]. Це призводить до значного насичення газами розплаву та потребує проведення плавок під покривними флюсами з наступною рафінувальною обробкою.

Рафінування сплавів на основі алюмінію, в більшості випадків, відбувається за допомогою методу оброблення розплаву флюсом та наступній їх обробці з використанням інертних газів або азоту. Широкого розповсюдження набули флюси на основі хлористих та фтористих сполук натрію та калію. Відповідно до даних [6, 7] використання флюса складу 15% NaF , 25% NaCl , 5% KCl , 5% Na_3AlF_6 та 50% C_2Cl_6 при отриманні вторинних сплавів АК7, АК9 та АК5М7 призводило до підвищення міцності литих виробів, а також зниження брака викликаного неметалевими включеннями та газовими порами. В роботах [6, 8] було встановлено, що після оброблення розплаву АК5М2 флюсом відбувається зниження газовмісту сплаву з 0,38 до 0,12 $\text{cm}^3/100\text{г}$ та газової пористості з 4...5 до 1...2 балів за шкалою ВІАМ.

Недоліком оброблення алюмінієвих сплавів флюсами є небезпечність та шкідливість данного методу з екологічної точки зору. З'єднання фтору та хлору є

токсичними речовинами для людини. Використання цих речовин в процесі виробництва становить потенційну загрозу для здоров'я робітників та негативно впливає на навколишнє середовище.

В роботах [9-12] вказується на перспективи використання оксидних флюсів для рафінування сплавів алюмінію. Вони мають досить високі показники рафінувальних властивостей при використанні їх для рафінування мідних силумінів. При цьому вони не визивають забруднення оточуючого довкілля токсичними вибросами, тому мають велику перевагу з екологічної точки зору. Застосування оксидних флюсів на базі системи $40\%K_2CO_3 + 60\%V_2O_5$, призвело до підвищення густини та міцності сплаву на 50...60 МПа, твердості на 150...200 МПа, при цьому відносне видовження залишилося на рівні 1,0...1,25%.

Ванадій та його з'єднання є досить коштовними речовинами. На сьогоднішній день в Україні не має власного виробництва ванадію, а потреба в цьому металі задовільняється за рахунок імпорту. Використання імпортного ванадію для рафінування сплавів алюмінію не є доцільним з економічної точки зору. Отже головним недоліком цього методу рафінування, є висока ціна оксидів ванадію.

Отримати вторинні силуміни досить високої якості можливо фільтруванням розплавів через пористі фільтри відповідно досліджень [13-15]. Авторами Курдюмов А.В. і Базлова Т.А. [13] було вивчено вплив фільтрації через зернистий фільтр на структуру та властивості вторинних силумінів АК9М2. Випробовували фільтр складу 50 % CaF_2 + 50 % MgF_2 і з $NaCl$ з пористого Al_2O_3 та гранульованого магнезиту (MgO). Найефективнішим для мідистого силуміну АК9М2 визначено фільтр, виготовлений із фтористих сплавів (50 % CaF_2 + 50 % MgF_2). Застосування цього фільтра збільшувало межу міцності з 250 МПа до 285 МПа, а відносне подовження в затверділому стані збільшилася з 1,4 % до 2,0 %, та з 2,8 % до 4,8 % в литому стані [13].

При використанні цього фільтра відбувалося модифікування евтектичного кремнію і частка залізовмісної фази зменшилася в 2 рази, але розмір зерен значно збільшився з 400 мкм до 2,0 мм. Крім того, за даними авторів [15-18], фільтри з

спіненої кераміки мають рафінувальну здатність, проте його висока вартість робить його використання у масовому виробництві не вигідним. Крім того, під час процесу фільтрації вторинних ливарних алюмінієвих сплавів спостерігались суттєві зміни хімічного складу, а кількість відходів з фільтрозалишками зростає. Були великі технічні труднощі, які загалом обмежували можливість його використання.

Дослідження автора [18] показують, що фільтрування розплавів алюмінію через пінокерамічні фільтри може збільшити межі міцності і відносного видовження алюмінієвих виливків на 25 % та 30 % відповідно, одночасно зменшуючи кількість неметалічних включень. Пінокерамічний фільтр складався з ваграночного шлаку і маршаліту, пористість становила 85 %, середній розмір пор 2,5 ... 3,0 мм, а товщина – 15 мм. Фільтрацію проводили виливанням розплаву у кокіль при температурі 730 °С. Структура відфільтрованого виливка є дрібнозернистою і щільною [18].

Рафінування розплаву дозволяло крім зниження концентрації розчинених газів і зменшення кількості неметалевих включень ефективно впливати на значення пористості у виливках [19-21]. За даними Хомицького А.А. [19], пористість впливає на характеристики міцності литих зразків з алюмінієвих ливарних сплавів АЛ9 і АЛ4.

1.3.2 Вібраційне та ультразвукове оброблення

Вібраційне та ультразвукове оброблення розплавів алюмінію дозволяє отримати дрібнозернисту структуру, яка рівномірно розподілена по всьому перетину виливка. Вібраційний імпульс застосовують відносно кокілю з розплавом алюмінію, в якому відбувається процес кристалізації, або до самої заготовки яка охолоджується. Вібрація, за своїм впливом, являє собою метод примусового перемішування розплаву частини виливка, що не затверділа. Частота вібрації при обробленні зазвичай становить 1...30 Гц при змінній амплітуді. При обробленні розплаву, в якому протікає процес кристалізації, вібраційні хвилі

руйнують великі дендрити. Уламки цих дендритів потрапляють до розплаву та сприяють утворенню нових центрів кристалізації, що призводить до подрібнення зерен та зменшення зони стовпчатих кристалів. Вібраційне оброблення дозволяє зменшити розмір зерен майже у 3 рази. Окрім цього таке оброблення розплаву сприяє дегазації та зменшенню ліквідації. Оброблення розплаву вібрацією може відбуватися при вібрації залитого пристрою або при вібрації самої форми [22].

При ультразвуковому обробленні на розплав впливають механічні коливання високої частоти. Ультразвукові хвилі створюються за допомогою пристроїв, робота яких полягає у перетворенні електромагнітних коливань у механічні. При обробленні розплаву цим методом, ультразвукова хвиля, при проходженні крізь розплав, створює в ньому зони низького та високого тиску. У зонах низького тиску, на короткий період, утворюються дрібні порожнини (кавітаційні пухирі), які миттєво руйнуються. Це явище називається ультразвуковою кавітацією. Воно сприяє руйнуванню первинних дендритів та фазових складових, які слугують центрами кристалізації та призводять до подрібнення зерна.

Ультразвукова кавітація, разом з ефектом акустичного перемішування розплаву підвищує ступінь змочуваності твердої фази розплавом, що призводить до більш повної реалізації дисперсних частинок, які наявні в розплаві, в якості центрів кристалізації. Про це свідчить факт значного підвищення ефективності ультразвукового оброблення при впровадженні в розплав модифікаторів зародкового типу. Велика кількість центрів кристалізації не тільки подрібнює зерна але й призводить до значного зменшення зони стовпчатих кристалів, оскільки, при наявності великої кількості центрів кристалізації, процес кристалізації завершується на початковій стадії та зростаючі дендрити не встигають утворити стовпчасту форму [23].

Головними недоліками оброблення розплавів вібраційним та ультразвуковим методами є необхідність використання складного обладнання для генерації механічних коливань. Використання цього методу з метою підвищення

якості продукції, може бути економічно не доцільним, оскільки потребує значних змін технології виробництва.

1.3.3 Вплив оброблення електричним струмом

Оброблення розплаву при кристалізації з використанням електричного струму також дозволяє підвищити властивості алюмінієвих сплавів. Електричний струм здійснює вплив на дендритну структуру сплаву. Проходячи через розплав він спричиняє зменшення розміру дендритних осередків та формування тонкодисперсної евтектики в сплаві. Використання струму дозволяє з середини регулювати приплив теплоти, за рахунок теплоти Джоуля-Ленса, що дозволяє контролювати стан зародків кристалізації в обсязі та часі. На етапі проходження фазових перетворень, використання електричного струму, дозволяє здійснювати направлений вплив на процес формування кристалічної структури та управляти формуванням властивостей сплаву [24].

Також встановлено, що пропускання електричного струму крізь розплав сприяє його дегазації [25]. Така дія пояснюється впливом направленного потоку електронів, який називають «електронним вітром» на іони в розплаві, що знаходяться в стадії дифузії.

Метод оброблення розплаву електричним струмом може використовуватись разом з іншими методами підвищення властивостей виливків, наприклад при використанні дисперсного модифікування, з метою контролювання процесу модифікування.

Нажаль використання цього методу ускладнює процес виробництва, так як оброблення розплаву металу електричним струмом потребує використання спеціального обладнання. Крім того, цей метод є досить енергозатратним, що додатково збільшує собівартість виробництва.

1.3.4 Газове рафінування

Метод газового рафінування полягає в пропусканні крізь розплав металу потоку інертного газу або азоту. Це дає змогу суттєво покращити ступінь дегазування та зменшити кількість неметалевих включень. [26, 27-32]. При проходженні азоту крізь розплав, в ньому утворюються дрібнодисперсні нітриди. Ці нітриди подрібнюють зерна α -твердого розчину, знижують вміст водню у 2 рази та неметалеві включення у 3,5 рази [26]. Все це призводить до підвищення міцності лиття.

У роботах [27, 31] автори зазначають, що при використанні методу газового рафінування, отримання бульбашок діаметром менше 8...10 мм та зменшення швидкості введення газового потоку в розплав до значення 250...300 м/с, дозволяє значно підвищити ефективність. З метою збільшення інтенсивності процесу рафінування до складу інертного газу можна вводити до 5% хлору або фреону. Це дозволяє досягти зниження розчиненого водню в розплаві до 0,08 $\text{см}^3/100 \text{ г}$ сплаву. Результати досліджень [27] вказують що, використання спеціального сопла для продування інертного газу, оптимальний час складає 4...5 хвилин, а тиск 0,4...0,5 МПа.

В роботі [33] встановлено що, продування впродовж 5 хвилин інертним газом алюмінієвого сплаву КС740, який використовують для виготовлення поршнів двигунів внутрішнього згоряння, межа міцності сплаву підвищується зі 170 до 240 Мпа, а відносне видовження з 0,5 до 1,0%. Залишковий рівень водню був на рівні менше 0,16 $\text{см}^3/100 \text{ грам}$ сплаву, а кількість неметалевих включень 0,05 $\text{мм}^2/\text{см}^2$.

В роботі [34] авторами проведено розрахунки, згідно яких, для підвищення ефективності рафінування слід зменшувати діаметр сопла та об'ємну швидкість інертного газу. Це можливо досягти шляхом розділення потоку газу на велику кількість дрібних потоків, завдяки продуванню газу крізь дрібний керамічний фільтр. Також проведені теплофізичні розрахунки вказують на те що, при

продуванні алюмінієвого розплаву аргоном, втрати тепла менше, ніж при використанні азоту. За допомогою цього методу вдалося знизити бал пористості у вторинному алюмінію з 5 до 2...1 балу [34].

Рафінування розплаву хлорвмісними агентами (такими як C_2Cl_6 , $MnCl_2$, $ZnCl_2$ та NH_4Cl) може ефективно зменшити вміст газу. Так відповідно дослідження А.А.Іванова [35], переробка сплаву $Al_2 C_2Cl_6$ зменшила його вміст газу в 1,43 рази, $MnCl_2$ в 1,53 рази і $ZnCl_2$ в 1,6 рази.

Використання цього методу потребує складного обладнання для оброблення розплавів газами. Використання аргону є досить коштовним та значно збільшує вартість виробництва. Водночас використання хлористих речовин значно погіршує екологічні умови.

1.3.5 Модифікування

Одним із методів поліпшення структури та властивостей сплавів на основі алюмінію є введення в розплав спеціальних хімічних елементів модифікаторів. Модифікатори ливарних алюмінієвих сплавів, за принципом своєї дії можна поділити на дві групи [36]:

Модифікатори першого роду – речовини, які при потраплянні до розплаву, утворюють в ньому вискодисперсну суспензію у вигляді інтерметалідів, які являють собою основу, в процесі утворення кристалів, тобто є центрами кристалізації.

Модифікатори другого роду – речовини, які є поверхнево-активними, дія яких полягає в адсорбції на гранях кристалів, що зростають. Таким чином вони гальмують зростання кристалів і, тим самим, призводять до подрібнення зерен

Модифікування вважається найефективнішим методом підвищення властивостей алюмінієвих сплавів. На сьогоднішній день, існують дослідження, що показують ефективність проведення модифікування сплавів на основі алюмінію різноманітними дисперсними модифікаторами для поліпшення властивостей сплавів [37-41].

Використання в якості модифікатора дисперсних частинок карбіду кремнію дозволяє значно поліпшити структуру та, як наслідок, механічні властивості сплаву [38]. Карбід кремнію знижує вміст кисню в розплаві діючи як розкислювач. Після введення до розплаву карбід кремнію вступає в реакцію з киснем та утворює дисперсні частинки оксиду кремнію SiO_2 . Дисперсні частинки SiO_2 підвищують твердість сплаву, а також призводять до подрібнення зерна, виступаючи в ролі первинних центрів кристалізації.

На якість процесу модифікування, як встановлено, впливають такі фактори як температура розплаву в який впроваджується модифікатор, а також тривалість процесу перемішування. В роботі [38] вивчався вплив температури на ступінь засвоєння тугоплавких частинок TiC та SiC . Встановлено залежність засвоєння порошкових частинок розплавом Al4C від температури плавлення. Для кожного сплаву є своя оптимальна температура при якій спостерігається максимум засвоєння частинок модифікатора. Для частинок TiC , максимум засвоєння досягається при $700...720^\circ\text{C}$, а при 680°C ступінь засвоєння зменшується. При збільшенні температури до $780...790^\circ\text{C}$ засвоєння TiC зменшується у $3...5$ рази і продовжує зменшуватися при подальшому збільшенні температури. Така ж залежність, засвоєння розплавом модифікатора, встановлена і для SiC , який має свій максимум при 770°C . Також за результатами досліджень було встановлено вплив розміру частинок модифікатора на механічні властивості силумінів Al2 , Al4 та Al4C . Було встановлено, що механічна міцність сплавів лінійно зростає зі зменшенням розміру частинок [38].

В якості модифікатора можуть використовуватись дисперсні порошки міді отриманні методом хімічного осадження. В роботі [39] вивчено ефективність застосування порошка міді, який було отримано з розчину сульфата міді для модифікування ливарних сплавів алюмінію системи Al-Si . Як було встановлено за результатами проведення досліджень, впровадження дисперсного порошку міді, який мав фракцію $1...10$ мкм в кількості від $0,05$ до $0,20\%$ до сплаву AK9 , перед початком процесу кристалізації дозволяє досягти подрібнення структури сплаву у $1,9...2,8$ рази, та, як наслідок, підвищити твердість на $25...44\%$. Також, в ході

роботи було встановлено, що максимальний ефект досягається при використанні порошку міді в кількості 0,05 % та значно знижується при наступному збільшенні кількості модифікатора.

Таким чином найбільш впливовішим фактором впливу модифікатора на властивості сплавів слід вважати природу модифікатора, розмір частинок, температуру оброблення, кількість модифікатора та технологію вводу до розплаву.

В роботі [40] вивчався вплив комплексних модифікаторів на властивості вторинних сплавів на основі алюмінію. Результати досліджень вказують на високу ефективність використання рафінувально-модифікувальних комплексів для поліпшення структури сплавів та збільшення їх властивостей.

1.4 Мета дослідження

На сьогоднішній день в Україні виробництво первинного алюмінію відсутнє. Запорізький алюмінієвий комбінат був єдиним в Україні виробником первинного алюмінію. На ділянці виробництва алюмінієвої катанки з металевої сировини після нагрівання і прокатки виготовляли рулони алюмінієвого прута діаметром 9,5 або 12,5 мм. На сьогодні, виробництво алюмінію на Запорізькому алюмінієвому комбінаті зупинено.

Оскільки в Україні відсутнє виробництво власного первинного алюмінію, а купівля та імпорт алюмінію потребує витрат валюти та негативно впливає на економіку країни, широкого використання набула вторинна сировина. Вторинні алюмінієві сплави виготовляються шляхом переплавлення алюмінієвого лому з додаванням необхідних легувальних елементів. Використання вторинного алюмінію дозволяє значно знизити вартість виробництва.

Виходячи з наведеного огляду можна зробити висновок про наявність багатьох методів поліпшення якості вторинних алюмінієвих сплавів. Кожен з цих методів має конкретні переваги та недоліки. Найбільш ефективними, на наш погляд, слід вважати рафінування та модифікування. У зв'язку з вищесказаним,

за мету данної роботи було обрано створення високоефективного рафінувально-модифікувального комплексу, застосування якого б не ускладнювало найбільш широко розповсюдженні технологічні процеси але позитивно впливало на комплекс властивостей алюмінієвих сплавів. При цьому цей комплекс не повинен містити дефіцитних і кошовних речовин та бути безпечним у роботі, а також не забруднювати навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Контроль хімічного складу

На всіх технологічних етапах отримання алюмінієвих сплавів неперервно проводили контроль хімічного складу зразків. Визначення хімічного складу проводили за допомогою спектрального аналізатору на іскровому спектрометрі “SPECTROLAB” за 22 хімічними елементами таблиці Д.І. Менделєєва з точністю ($\pm 0,0001$) мас. %.

2.2 Визначення рідинноплинності

Одним із головних факторів які впливали на якість отриманої продукції, при виготовленні її за допомогою методів лиття, була рідинноплинність розплавленого металу. Рідинноплинність – це здатність рідкого металу повністю заповнювати порожнину ливарної форми і чітко відтворювати обриси виливка.

Рідинноплинність визначали за допомогою методу пруткової проби за довжиною заповненого каналу невеликого перетину (ГОСТ 16438-70). Для цього використовували пруткову пробницю прямого профілю, канали якої мають діаметр перетину 6 мм. Визначення рідинноплинності відбувалося за температури 700 °C та 740 °C. Рідкий метал заливали у піщану форму.

2.3 Металографічний аналіз

Металографічний аналіз структури алюмінієвих сплавів був проведений з використанням мікроскопів МИМ-7 та МИМ-8 при збільшенні 100...500 разів, а також методом металографії високого вирішення на растровому електронному мікроскопі “ISM T-300” японської фірми JEOL, при прискорювальній напрузі 20...25 кВ та діаметрі електронного зонду до $1 \cdot 10^{-9}$ м.

Вивчення мікроструктури сплаву проводили на шліфах без травлення, а також після травлення розчином, який має склад: 12,5 мл HF, 25 мл HNO₃, 50 мл HCl, 12,5 мл H₂O.

2.4 Визначення твердості

Визначення твердості отриманих зразків відбувалося за методом Брінелля (ДСТУ ISO 6506-1:2007). Одиниця виміру твердості за методом Брінелля – МПа, а шкала твердості позначається HB. Для визначення твердості використовувався твердомір Брінелля HBA-1. Під час вимірювання твердості за методом Брінелля індентор-сталева кулька діаметром D вдавлюється в зразок, що досліджується, під дією певного зусилля P впродовж фіксованого часу. Після зняття навантаження вимірюють діаметр відбитка d, що залишився на поверхні зразка. Вимірювання діаметра відбитка проводять або на інструментальних мікроскопах.

2.5 Визначення міцності та пластичності

Визначення міцності та пластичності сплавів проводили при випробуванні зразків діаметром 10 мм та робочою довжиною 50 мм, які було виготовлено у відповідності до ДСТУ 2839-94.

Для визначення міцності та пластичності зразки випробовували на одноосьовий розтяг (ГОСТ 1497-73). Для цього була використана універсальна випробувальна машина УМЭ-10Т. Головна перевага цієї машини – велика точність вимірювання зусилля і деформації, яка забезпечується використанням тензометричних датчиків.

Показником, який характеризує пластичність зразка, є його відносне видовження δ .

2.6 Обладнання для виготовлення та формування таблетованого рафінувально-модифікувального комплексу

Для вимірювання необхідної кількості компонентів рафінувально-

модифікувального комплексу використовувались лабораторні аналітичні ваги марки ТВЕ-0,3-0,005, які мають 2 клас точності відповідно до ДСТУ EN 45501 та дозволяють відміряти необхідну масу з точністю до 0,005 г.

Для змішування порошкових компонентів рафінувально-модифікувального комплексу використовували порошковий змішувач СВД-50. Змішувач СВД-50 має повний об'єм 50 л та частоту обертів до 56 об/хв, а також обладнаний таймером, що дозволяє задавати тривалість перемішування. СВД-50 відноситься до типу змішувачів, які мають назву «п'яна бочка». Цей тип змішувачів вважається найбільш оптимальним, при приготуванні багатокomпонентних порошкових сумішей. Принцип його дії полягає в обертанні барабану по зміщеній осі обертання, яка має певний ексцентриситет. При обертанні барабану компоненти суміші всередині, багатократно пересиплюються за особовою траєкторією, в результаті чого утворюється однорідна, гомогенна порошкова суміш.

Для виготовлення таблетованого рафінувально-модифікувального комплексу з отриманої суміші порошків було використано ручний гідравлічний прес марки ПГР-10, який має діаметр пуансону 80 мм та зусилля пресування до 40 МПа. Таблетизований РМК виготовляють різним за вагою (10, 20, 50 та 100 г) з метою зручного використання для оброблення рідкого металу у ємностях різних за об'ємом.

2.7 Вказівки з експлуатації, транспортування та зберігання рафінувально-модифікувального комплексу

Таблетизований РМК для захисту від насичення вологою обертається в алюмінієву фольгу.

Пакунки з РМК перевозяться автомобільним транспортом у покритих і закритих транспортних засобах у відповідності з правилами перевезення небезпечних вантажів, що діють для даного виду транспорту.

Пакунки з РМК зберігають у закритих, сухих та теплих приміщеннях з наявною вентиляцією. Не дозволяється потрапляння на РМК вологи. У разі зволоження РМК слід просушити у сушильних шафах при температурі 120...150 °С впродовж 1,5...2,0 годин.

У зв'язку з можливістю насичення РМК вологою при його транспортуванні, зберіганні та транспортуванні слід виключити можливість контакту з водою.

Комплексну рафінувальну-модифікувальну обробку алюмінієвих сплавів РМК слід проводити при температурі розплаву 720...750 °С і не виходити за ці межі.

РМК вводять на дно ванни рідкого металу за допомогою пристосування, що має назву “дзвоник”.

Час проведення рафінувально-модифікувального оброблення визначається швидкістю реагування компонентів РМК з розплавом. Часом закінчення рафінувально-модифікувального оброблення слід вважати повне припинення барботажу розплаву. Найчастіше цей час становить 7...10 хвилин.

Після припинення барботажу розплаву “дзвоник” з нього вилучається, а рідкий метал витримується 5...7 хвилин з метою одержання однорідного хімічного складу і рівноважної структури сплаву.

Кількість РМК, який потрібен для оброблення розплаву, визначається якістю вихідної шихти, вмістом заліза, неметалевих включень та розчинених газів. Рекомендований діапазон кількості РМК становить 0,05...0,15 мас. %.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА РАФІНУВАЛЬНО-МОДИФІКУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

3.1 Аналоги та прототипи

Корисна модель відноситься до матеріалів, які застосовуються в кольоровій металургії для рафінування та модифікування алюмінієвих сплавів, котрі містять легувальні елементи (Si, Cu, та ін.), а також мають підвищений вміст шкідливих домішок (наприклад, Fe, H₂, Pb та ін.). Наявність домішки заліза в алюмінієвих сплавах спричиняє появу в їх структурі залізовмісних інтерметалідних фаз пластинчатої морфології, що забезпечує суттєве погіршення комплексу механічних і службових властивостей. Присутність у розплаві розчиненого водню забезпечує при кристалізації металу високий бал газової пористості за ДСТУ 2839-94, що також негативно впливає на якість алюмінієвих сплавів.

Відомий модифікатор алюмінієвих сплавів [41], котрий складається з сіркового шламу (мас. %):

сірка (S)	40...80
оксид заліза (Fe ₂ O ₃)	10...20
бітум	1...5.

До недоліків відомого рішення треба віднести те, що використання цього модифікатора не забезпечує одержання достатнього рафінування від неметалевих включень та газів алюмінієвих сплавів, а це, в свою чергу, обмежує рівень технологічних і механічних властивостей сплавів.

Найбільш близьким за технічною сутністю до рішення, що заявляється, є відомий модифікатор алюмінієвих сплавів [42], що містить (мас. %):

сірка (S)	45...55
хлорид калію (KCl)	решта.

До недоліків відомого рішення треба віднести те, що використання у великій кількості з'єднань, які містять хлор, недоцільне з точки зору екологічних і санітарно-гігієнічних вимог, а також сучасними дослідженнями встановлена

демодифікувальна дія хлору відносно модифікатора. Тому відомий модифікатор не є доцільним до використання при великих обсягах випуску алюмінієвих сплавів та при виготовленні виливків відповідального призначення.

Із критики аналога і прототипу постає завдання розробки рафінувально-модифікувального комплексу для алюмінієвих сплавів на основі сірки, що забезпечує отримання сплавів з низьким вмістом неметалевих включень та розчинених газів, а також з високим рівнем технологічних, у першу чергу, ливарних і механічних властивостей для виготовлення виливків складної конфігурації та відповідального призначення.

3.2 Вибір та обґрунтування складових рафінувально-модифікувального комплексу та їх кількості

Вказаний технічний результат досягається наступним чином. Запропоновано для алюмінієвих сплавів рафінувально-модифікувальний комплекс (РМК) на основі сірки, що містить карбонат барію, хлорид мангану та тетрафтороборат калію, при наступному співвідношенні компонентів (мас. %):

карбонат барію (BaCO_3)	20...30
хлорид мангану (MnCl_2)	15...20
тетрафтороборат калію (KBF_4)	10...15
сірка (S)	решта (35...55)

Саме сукупність цих компонентів і їх співвідношення забезпечують досягнення нового технічного результату – збільшення ступеня рафінування та тривалості модифікувального ефекту алюмінієвих сплавів і підвищення їх технологічних і механічних властивостей за рахунок забезпечення високого рівня їх чистоти за неметалевими включеннями та розчиненими газами, а також у зв'язку з отриманням модифікованої, однорідної та упорядкованої структури.

Присутня у складі РМК сірка має низький коефіцієнт розподілу в кремнії та обмежену розчинність в рідкому алюмінії, забезпечує сильний рафінувальний вплив на розплав внаслідок утворення значної кількості парів сірки, пухирі якої

інтенсивно барботують розплав та ефективно видаляють неметалеві включення, розчинений водень за адсорбційним та флотаційним механізмами. Також сірка є поверхнево-активним елементом, який забезпечує зміну типу хімічного зв'язку залізовмісних фаз з ковалентного на металевий ненаправлений, що в решті-решт, приводить до утворення залізовмісних фаз компактної форми. Така комплексна дія сірки забезпечує високу ступінь рафінування і підвищує рідинноплинність сплавів [[43] с.44-54; с.199-222].

Присутність у складі РКМ 20...30% BaCO_3 забезпечує уповільнення швидкості окислення сірки та сприяє подрібненню пухирів пароподібної сірки, що збільшує поверхню розподілу між розплавом та газовою фазою і сприяє підвищенню рівня модифікування та рафінування. Термодинамічний аналіз реакції взаємодії BaCO_3 з компонентами силумінів у температурному діапазоні 933...1100 К свідчить про дисоціацію з'єднання BaCO_3 з виділенням CO і CO_2 та наступним відновленням Ba з оксиду компонентами сплавів, а також матеріалами тиглів – вуглецем. [[44] с.63-77; [45] с.6-10]. Також встановлено, що при модифікуванні сплавів системи Al-Si барієм ефект модифікування зберігається впродовж більш тривалого часу, ніж при модифікуванні натрієм, особливо за умов використання низькосортної шихти. Барій має менше поверхневе натягіння ніж алюміній та кремній, у зв'язку з чим, є поверхнево-активним модифікатором, який знижує температуру солідус, що забезпечує підвищення рідинноплинності сплавів [46, 47]. Дисоціація з'єднання BaCO_3 з виділенням газів CO і CO_2 , які проходять у вигляді пухирів крізь розплав і активно його барботують, сприяє додатковому рафінуванню сплавів від неметалевих включень і розчинених газів.

Зменшення кількості BaCO_3 нижче 20% не забезпечує достатню ступінь модифікування кремнію, що негативно впливає на структуру та погіршує комплекс механічних властивостей. Також мала кількість ($< 20\%$) BaCO_3 не забезпечує підвищення рідинноплинності, що призводить до зниження виходу придатного литва, особливо фасонних деталей складної конфігурації з розвиненою поверхнею. При недостатній кількості BaCO_3 швидкість окислення сірки доволі висока, що призводить до інтенсифікації процесу барботажу

розплаву газоподібною сіркою, який супроводжується викидами рідкого металу, його інтенсивним окисленням при контакті з повітрям, а також являє певну загрозу для робітників з огляду правил техніки безпеки.

Перевищення вмісту BaCO_3 більш ніж 30% не є доцільним, у зв'язку з можливістю розвитку ефекту перемодифікування, що негативно впливає на структуру сплавів та їх технологічні та механічні властивості.

Присутність 15...20% MnCl_2 у складі РМК, є доцільним з наступних міркувань. Підвищений вміст заліза у алюмінієвих сплавах, що отримано з вторинної сировини, сприяє утворенню інтерметалідних з'єднань різного складу: Al_3Fe , $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{Fe}$, Al_5SiFe , $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$, Al_8SiFe_2 , $\text{Al}_8\text{Si}_6\text{Mg}_3\text{Fe}$, які мають голчасту та пластинчасту кристалічну будову, що призводить до значного зниження механічних властивостей. За даними багатьох робіт [48-53] в присутності мангану в сплавах утворюється фаза $\text{Al}_{15}\text{Si}_2(\text{FeMn})_3$, яка має форму китайських письмен або глобулів, що забезпечує підвищення пластичності. У той же час вміст менш ніж 15% MnCl_2 не забезпечує достатньої кількості мангану для утворення інтерметалідів компактної форми, що негативно впливає на механічні властивості вторинних сплавів. При вмісті більш ніж 20% MnCl_2 , манган значно погіршує технологічні властивості, наприклад, рідинноплинність та здатність до оброблення різанням. Тому у складі РМК кількість мангану повинна бути обмеженою. З'єднання MnCl_2 має температуру розкладання 106°C , що забезпечує його повну дисоціацію у розплаві на Mn та Cl_2 . Хлор, як відомо, є дуже ефективним рафінувальним агентом, а його незначна кількість не сприяє погіршенню екологічних і санітарно-гігієнічних вимог. Манган, який отримано після дисоціації з'єднання MnCl_2 , активно компенсує шкідливу дію заліза.

Присутність у складі РМК тетрафтороборату калію (KBF_4) у кількості 10...15% є доцільною та у сукупності з іншими компонентами, завдяки їх комплексній дії, забезпечує високий ступень рафінування, тривалий модифікувальний ефект, що підвищує рівень технологічних і механічних властивостей.

Калій, який потрапляє до розплаву при дисоціації з'єднання KBF_4 , разом з калієм, що вноситься з'єднанням KCl забезпечує надійне модифікування кремнію евтектики. Сучасними дослідженнями встановлено, що бор значно знижує енергію взаємодії атомів кремнію в ґратці, що забезпечує отримання модифікованих структур евтектичного та первинного кремнію, а також підвищує термостабільність отриманих структур за рахунок зміщення температур фазових перетворень в область більш високих температур на 323...473 К. Також бор сприяє рафінуванню розплаву, подрібнює структурні складові алюмінієвих сплавів і при незначних концентраціях підвищує пластичність [47]. Фтор, який потрапляє зі з'єднання KBF_4 до розплаву, забезпечує ефективне рафінування рідкого металу від неметалевих включень і розчинених газів.

Присутність тетрафтороборату калію (KBF_4) у складі РМК забезпечує утворення на поверхні розплаву захисної плівки та вилучення твердих часток неметалевих включень і частково розчинених газів. Наявність цього компонента у комплексі разом з карбонатами сприяє адсорбції шлакових включень та одночасному вилученню із сплаву водню, який утворює з оксидом алюмінію комплексне з'єднання $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2$.

Вміст менш 10 мас. % KBF_4 у складі РМК не є доцільним тому, що не буде забезпечена достатня ступінь модифікування евтектичного кремнію, що негативно впливає на структуру сплавів і погіршує комплекс їх механічних властивостей. Підвищення вмісту KBF_4 більш ніж 15% не є доцільним, у зв'язку з можливістю розвидку ефекту перемодифікування, що негативно впливає на структуру сплавів та їх ливарні (рідинноплинність) і механічні властивості.

Компоненти сірка та сполуки калію і барію сумісні як модифікатори алюмінієвих сплавів, тому їх використання є доцільним у складі РМК.

Аналоги, що містять ознаки, які відрізняють рішення, яке надається, від відомого, не виявлені. На підставі цього можна зробити висновок про те, що рішення, яке представлено, задовольняє критерію “винахідницький рівень”.

3.3 Технологія виробництва рафінувально-модифікувального комплексу

Виробництво рафінувально-модифікувального комплексу складалося з наступних основних етапів:

1. Спочатку на лабораторних аналітичних вагах відміряли необхідну кількість кожного з компонентів рафінувально-модифікувального комплексу. Необхідне співвідношення компонентів та їх кількість було визначено експериментальним шляхом в ході проведення дослідницької роботи в наукових лабораторіях кафедри «Композиційних матеріалів, хімії та технологій» Національного університету «Запорізька Політехніка».

2. Наступним етапом виготовлення рафінувально-модифікувального комплексу є підготовка порошкової суміші для наступного пресування брикетів рафінувально-модифікувального комплексу. Для змішування порошків використовували спеціальні змішувачі типу “п’яна бочка”. Метою данного етапу виробництва рафінувально-модифікувального комплексу було отримання однорідної, гомогенної порошкової суміші, що визначає ефективність протікання процесу та забезпечує високий результат.

3. На наступному етапі отримана порошкова суміш підлягає пресуванню. Для даної технологічної операції використовували ручний гідравлічний прес марки ПГР-10.

В результаті проведення пресування були отримані таблетовані брикети рафінувально-модифікувального комплексу різної ваги. Зусилля пресування визначалося в залежності від необхідної щільності брикету рафінувально-модифікувального комплексу. Збільшення зусилля пресування дозволяє збільшити густину (зменшити пористість) рафінувально-модифікувального комплексу. Отримані таблетки мали масу 10, 20, 50 та 100 г. Таке варіювання маси таблеток рафінувально-модифікувального комплексу дозволяє з досить високою точністю (до 10 г) підбирати кількість рафінувально-модифікувального

комплексу, що подається до розплаву, та враховувати об'єм рідкого металу залежно від ємності в якій він знаходиться.

3.4. Експериментальна перевірка дії розробленого рафінувально-модифікувального комплексу

Експериментальну перевірку дії РМК проводили в процесі плавлення сплаву АК5М (АЛ5) в печі опору. Для більш технологічного вводу РМК до розплаву, методом пресування були виготовлені і таблетизовані брикети РМК певної ваги та складу (таблиця 3.1). Це дало змогу швидко підібрати необхідну кількість РМК залежно від якості шихти. На підставі лабораторних і промислових даних оптимальна кількість РМК становить 0,05...0,10 мас. % та залежить від ступеня чистоти шихтових матеріалів. До розплаву сплаву АК5М (АЛ5) РМК вводили за допомогою пристосування, яке має назву “дзвоник” (рисунок 3.1). Температура оброблення розплаву становила 993...1013 К. Така технологічна схема застосування показала високу ефективність при подальшому використанні. Після проведення оброблення сплаву РМК, згідно вимог ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93), виготовляли зразки для випробувань по визначенню показників механічних властивостей. Також проводили визначення рідинноплинності за результатами кількох залитих одночасно пруткових проб.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд пристосування «дзвоник» та таблетизованого РМК

Дослідні РМК, що представлені в таблиці 3.1, містили компоненти в кількості, відповідно: нижній границі, що заявляється, відповідає препарат №2; верхній границі, що заявляється відповідає препарат №4; оптимальному складу, відповідає препарат №3; нижче за нижню границю – препарат №1; вище за верхню границю – препарат №5.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад дослідних РМК та їх вплив на рідинноплинність і механічні властивості сплаву АК5М (АЛІ5)

№ складу РМК	Рафінувально-модифікувальні комплекси	Вміст компонентів, мас %					Властивості*			
		BaCO ₃	KCl	MnCl ₂	KBF ₄	S	Рідинноплинність, ** мм	σ _в , МПа	δ, %	НВ, МПа
прототип (а.с. №449957 СРСР)		—	50	—	—	50	135	232	2,4	1070
1	Запропонований	15	—	10	5	решта	150	273	2,1	928
2		20	—	15	10	решта	205	307	2,0	949
3		25	—	17,5	12,5	решта	227	312	1,8	960
4		30	—	20	15	решта	205	290	1,6	949
5		35	—	25	20	решта	181	267	1,5	928
Вимоги ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93)								≥ 220	≥ 1,5	≥ 700

Примітка: * – наведено середні значення показників після термічного оброблення за режимом Т5 (гартування + неповне штучне старіння);

** – температура металу при заливанні пруткових проб становила 1013 К

3.5. Висновки

Результати випробувань вказують, що склад РМК для алюмінієвих сплавів, який розроблено, у порівнянні з відомим, забезпечує значно більш високі показники рідинноплинності та оптимальний комплекс механічних властивостей сплавів після термічного оброблення за режимом T5 (гартування + неповне штучне старіння), метою якого є отримання високих показників міцності при задовільній пластичності. Досягнення за допомогою розробленого РМК такого рівня властивостей дозволить вирішити задачу виготовлення виливків складної конфігурації з розвиненими фасонними поверхнями, а також відповідального призначення (наприклад, блоків циліндрів двигунів внутрішнього згоряння). З урахуванням високої спадковості алюмінієвих сплавів, досягнення високого рівня властивостей на етапі їх виготовлення забезпечить оптимальний комплекс властивостей та якості сплавів, при всіх наступних технологічних переробленнях.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок про відповідність розробки критерію “Промислова придатність”.

РОЗДІЛ 4

ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Характеристика обладнання, умов експлуатації та виготовлення

АТ «Мотор Січ» вважається головним підприємством в Україні, яке займається розробкою, виготовленням, а також ремонтом та обслуговуванням авіаційних газотурбінних двигунів для літаків та гелікоптерів. Крім того, підприємство «Мотор Січ» займається виготовленням двигунів внутрішнього згоряння, які мають досить широку номенклатуру застосування. Виготовлені двигуни внутрішнього згоряння, можуть застосовуватись як у літаках та гелікоптерах (рис. 4.1), так і у товарах народного споживання, таких як, мотоблоки, бензопили, газонокосарки та ін.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд двигунів внутрішнього згоряння в конструкції безпілотних літальних апаратів (БПЛА)

Одним із головних факторів від яких залежить ефективність роботи двигуна внутрішнього згоряння є його ефективне охолодження. Якісна система охолодження двигуна забезпечує високий коефіцієнт корисної дії, а також його довговічність та надійність. Ефективне відведення тепла, від місця згоряння

палива, забезпечується особливою конструкцією корпусу двигуна, в якому розміщуються блоки циліндрів двигуна внутрішнього згоряння та містять у собі велику кількість тонких металевих пластин. Ця частина конструкції двигуна називається радіатором охолодження. Радіатори охолодження мають досить складну конфігурацію, а отже матеріал, з якого вони виготовляються, повинен мати високі показники технологічних властивостей, для забезпечення отримання необхідної форми.

На підприємстві АТ «Мотор Січ» корпус двигунів внутрішнього згоряння, разом із радіаторами охолодження виготовляються ливарним методом (лиття в кокіль) з алюмінієвого сплаву АК5М (АЛ5). При ливарному виробництві тонкостінних виробів складної конфігурації, якість отриманої продукції безпосередньо залежить від властивості металу в розплавленому стані належним чином заповнювати ливарну форму. Ця технологічна властивість металу називається рідинноплинністю сплаву.

Підвищення рідинноплинності є дуже важливою задачею, оскільки, при виготовленні деталей ливарним методом, велика кількість браку, у більшості випадків, пов'язана саме з низькими показниками цієї технологічної властивості. Одним із найефективніших методів підвищення рідинноплинності є застосування рафінувально-модифікувальних комплексів.

4.2 Причини отримання недосконалостей деталей при виготовленні

Для виготовлення корпусу блока циліндрів двигунів внутрішнього згоряння (рисунок 4.2), які використовуються в товарах народного споживання, на підприємстві АТ «Мотор Січ» використовується ливарний алюмінієвий сплав АК5М (АЛ5).

Згідно ДСТУ 2839-94 сплав АЛ5 (АК5М) має наступний хімічний склад, який представлено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Хімічний склад сплаву АК5М (АЛ5)

Si	Mn	Ti	Al	Cu	Mg	Zn
4,5...5,5	до 0,1	0,08...0,15	91,7...94,02	1,0...1,5	0,4...0,55	до 0,3



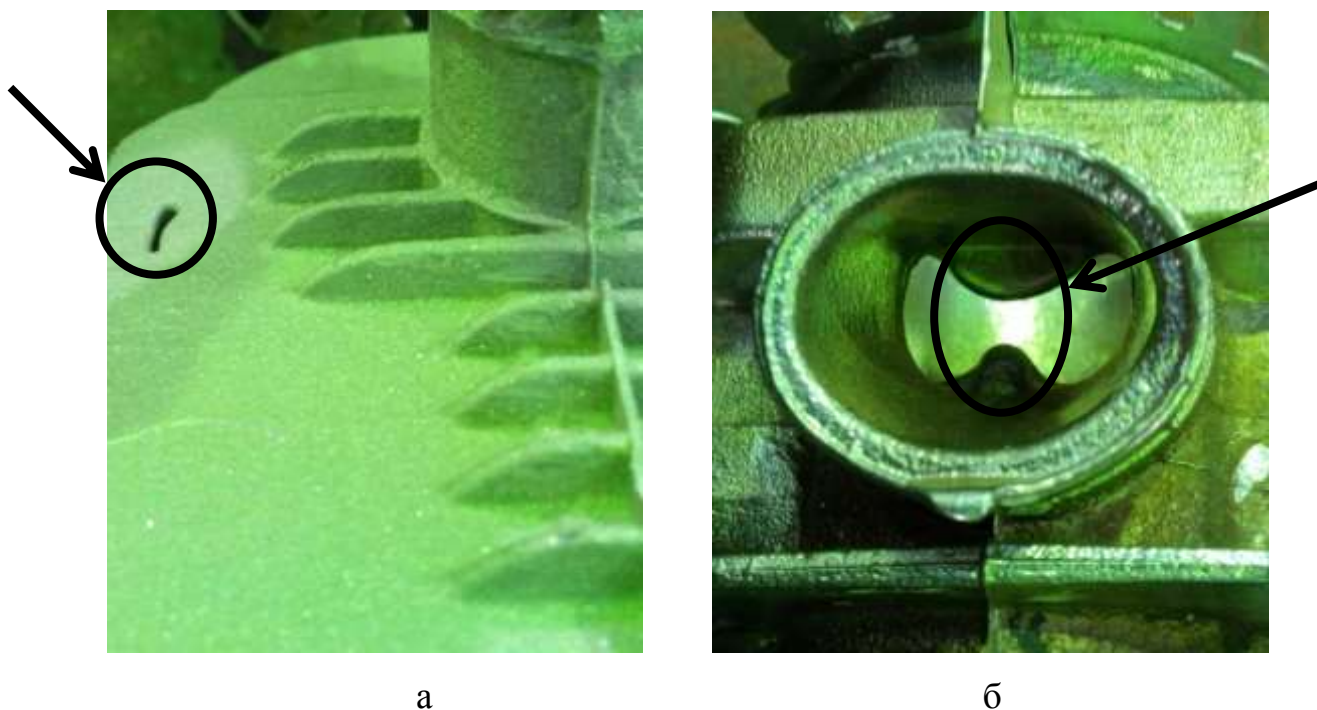
Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд двигуна внутрішнього згоряння
призначеного для товарів народного споживання

Ливарний сплав алюмінію АЛ5 відноситься до системи Al-Si-Cu. Сплави цієї системи вирізняються серед інших алюмінієвих сплавів підвищеними показниками жароміцності, що пояснює широке застосування цих сплавів при виготовленні частин двигунів внутрішнього згоряння. Головним недоліком сплавів системи Al-Si-Cu є низькі показники ливарних властивостей, а саме рідинноплинності. При виготовленні деталей складної конфігурації ливарними методами, низька рідинноплинність сплаву може спричиняти велику кількість браку та негативно впливати на якість отриманого литва. З цієї причини невід'ємною частиною технологічного процесу виготовлення тонкостінних виробів складної конфігурації з ливарних сплавів цієї системи є оброблення розплаву металу різноманітними модифікаторами, з метою збільшення рідинноплинності розплаву.

На підприємстві АТ «Мотор Січ» при виготовленні корпусів блоків циліндрів двигунів внутрішнього згоряння зі сплаву АЛ5, за технологією яка

використовувалась на підприємстві, розплав алюмінію оброблювався потрійним модифікатором ($KCl+NaCl+NaF$), кількість якого складала до 2,0 мас. %, а температура оброблення при цьому становила 720...750 °С. Процес впровадження модифікатора відбувався методом подачі модифікатора на дзеркало розплаву при наступному перемішуванні. Проблема полягала в тому, що заводська технологія модифікування алюмінію не дозволяла досягнути потрібного рівня модифікування, що призводило до низької якості виробів. При використанні описаної технології модифікування кількість браку складала 50...70 % (за даними технічного бюро цеху №1).

Велика кількість виробів, які не відповідали технічним умовам, була зумовлена низькими технологічними властивостями, вперш за все рідинноплинністю, що призводило до виникнення чисельної кількості дефектів оформлення деталей (рис. 4.3).



а

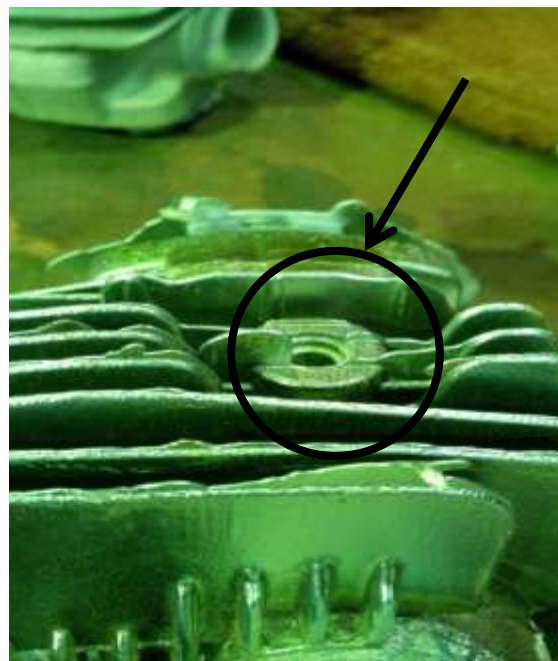
б

а, б – дефекти оформлення деталей

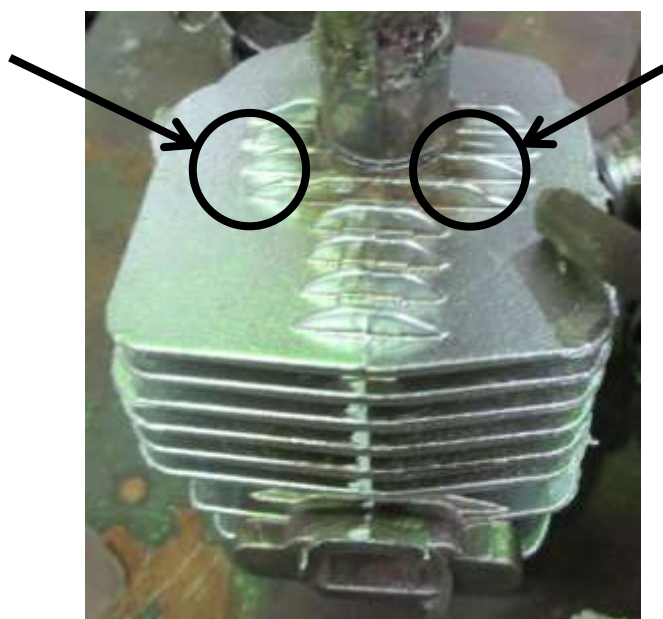
Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд деталей з дефектами зі сплаву АК5М (АЛ5).



В



Г



Д



е

в, г, д, е – дефекты оформления деталей

Рисунок 4.3 – аркуш 2.



ж

ж – дефекти оформлення деталей

Рисунок 4.3 – аркуш 3.

З метою зменшення кількості дефектів оформлення виливків і підвищення виходу придатного литва, УГМет АТ «Мотор Січ» була поставлена задача розробити не коштовний метод, який не потребує істотної зміни технології, що використовується, для збільшення рідинноплинності сплаву АК5М (АЛ5).

Результати проведення випробувань рідинноплинності приведено у таблиці 4.2.

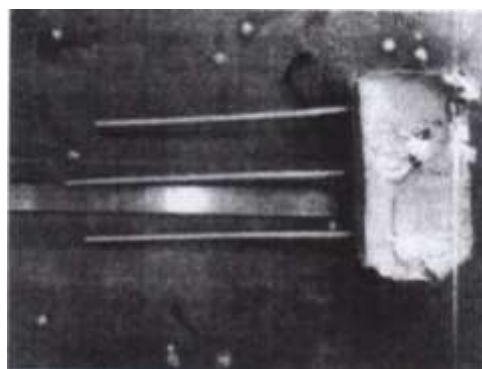
Таблиця 4.2 – Рідинноплинність сплаву АК5М (АЛ5)

Температура залиття, °С	Довжина пруткової проби, мм			Середні значення, мм
	1	2	3	
700	$\frac{70}{150}$	$\frac{100}{195}$	$\frac{120}{170}$	$\frac{97}{172}$ * *
740	$\frac{130}{220}$	$\frac{140}{240}$	$\frac{135}{235}$	$\frac{135}{233}$ * *

Примітка: * в чисельнику – довжина пруткової проби зі сплаву, який виготовлено за заводською технологією;

** в знаменнику – довжина пруткової проби зі сплаву, який виготовлено за експериментальною технологією.

Аналіз даних наведених у таблиці 4.2 показує, що заводська технологія виготовлення та оброблення сплаву АК5М (АЛ5) не забезпечує високі значення рідинноплинності (рис. 4.4). Підвищення температури заливання сплаву з 700 °С до 740 °С дозволило збільшити значення рідинноплинності на 39% (див. табл. 4.2).



а – за заводською технологією; б – за експериментальною;

Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд прудкових проб зі сплаву АК5М (АЛ5).

4.3 Розробка технології виготовлення придатного литва

З метою зменшення кількості браку пов'язаного з низькими показниками ливарних властивостей сплаву АК5М (АЛ5) було запропоновано використання, експериментального, розробленого в ході даної дослідницької роботи рафінувально-модифікувального комплексу.

Експериментальні плавки були проведені в цеху № 1 АТ «Мотор Січ». Оброблення розплаву виконували при тих самих температурах (700 °С ... 740 °С), що й за заводською технологією. Кількість рафінувально-модифікувального комплексу при проведенні дослідних робіт було обрано із розрахунку 0,05% від маси розплаву АК5М (АЛ5). Обробку розплаву рафінувально-модифікувальним комплексом проводили за допомогою пристосування «дзвоник». Час оброблення становив 5...10 хвилин і супроводжувався активним барботажем розплаву з утворенням на поверхні «сухого» шлаку, який легко видалявся.

Аналіз результатів показує, що використання експериментальної технології дозволило суттєво підвищити рідинноплинність. Збільшення рідинноплинності при температурі 700 °С становить 77 % у порівнянні з заводською технологією, а при температурі 740 °С – 72,6 % відповідно. При порівнянні мінімальних (97 мм) і максимальних (233 мм) значень рідинноплинності збільшення становить 240 % на користь експериментальної технології (див. табл. 4.2).

В ході проведення дослідних плавок ЦЗЛ АТ «Мотор Січ» контролювала крім хімічного складу ще й рівень механічних властивостей серійного і дослідного сплавів. Дані контролю наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Показники механічних властивостей сплаву АК5М (АЛ5) після термооброблення за режимом Т5*

Технологія	Границя міцності σ_b , МПа	Середні значення	Відносне видовження δ , %	Середні значення	Твердість НВ
Заводська	252 193 246	230	2,4 4,0 4,0	3,5	107
	228 237 227	231	4,0 2,8 3,8	3,5	107
Експериментальна	289 288 289	289	1,6 2,4 0,8	1,6	92,8
	315 274 251	280	1,2 0,8 2,4	1,5	92,8
(ДСТУ 2839-94) (ГОСТ 1583-93)	≥ 220		$\geq 0,5$		≥ 70

Примітка: *дані отримані спільно з техбюро цеха № 1 АТ «Мотор Січ».

Результати порівняння величин показників механічних властивостей свідчать про помітне підвищення границі міцності при використанні

експериментальної технології. В абсолютних значеннях збільшення склало 49...59 МПа, що у відносних відповідає 22...26 % (див. табл. 4.3). Слід зазначити, що відносне видовження при цьому зменшилося в 2 рази, але його рівень повністю задовольняє вимогам ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93), а твердість, при цьому, залишається стабільно високою (див. табл. 4.3) Заготовки, отримані за експериментальною технологією, добре обробляються різанням (дані техбюро).

Як показав металографічний аналіз, поліпшення показників технологічних і механічних властивостей сплаву АК5М (АЛ5), при використанні експериментального модифікувального комплексу, обумовлено отриманням сприятливої, повністю модифікованої і тонкодисперсної структури [54] (рис. 4.5).



а



б

а – заводська технологія; б – експериментальна

Рисунок 4.5 – Структура сплаву АК5М (АЛ5), $\times 500$.

Наступний етап проведення експериментальної роботи полягав у визначенні ефективної кількості рафінувально-модифікувального комплексу та дослідженні його впливу на ступінь модифікувального ефекту.

Метою проведення експерименту було визначення дії зростаючої кількості рафінувально-модифікувального комплексу на технологічні та механічні властивості сплаву АК5М (АЛ5) при обробленні розплавом. Для цього проводили модифікування розплавом 0,05, 0,10 та 0,15 мас. % рафінувально-модифікувального комплексу. Ефект дії комплексу на властивості сплаву оцінювався за пробами на рідинноплинність (визначали в цеху №1) та за результатами визначення механічних властивостей (данні ЦЗЛ АТ «Мотор Січ»). Рівень механічних властивостей сплаву АК5М (АЛ5) контролювали після режиму термічної обробки за режимом Т5 (гартування + неповне штучне старіння). Термічну обробку проводили в цеху №1. Показники властивостей сплаву АК5М (АЛ5) представлені в таблиці 4.4.

4.4 Висновки

1. Як показує аналіз результатів використання рафінувально-модифікувального комплексу та запропонованої технології оброблення розплавом дозволило значно збільшити не тільки технологічні (рідинноплинність, оброблюваність різанням), а й механічні (σ_b , δ) властивості сплаву АК5М (АЛ5).

2. Слід відмітити, що найбільш стабільні та високі показники комплексу властивостей досягаються при обробці розплавом 0,05...0,10 мас. % рафінувально-модифікувального комплексу.

3. За результатами проведення всіх дослідів новий рафінувально-модифікувальний комплекс було рекомендовано до застосування у виробництві. Введення нової технології модифікування дозволило значно зменшити кількість браку, а також суттєво покращити якість, технологічні та механічні властивості продукції.

Таблиця 4.4 – Показники технологічних та механічних властивостей сплаву АК5М (АЛ5).

Технологія		№№ плавок	Рідинноплинність, мм		Механічні властивості				
					Поточні показники		Середнє значення		
			Довжина пруткової проби, мм	Середнє значення	σ _в , МПа	δ, %	σ _в , МПа	δ, %	НВ
Заводська	1	70 100 120	97 t заливання 700°C	252 193 246	2,4 4,0 4,0	230	3,5	107	
	2	130; 105 140; 170 135; 140	137 t заливання 740°C	228 237 227	4,0 2,8 3,8	231	3,5	107	
Експериментальна	0,05 мас. % РМК	3	100; 150 120; 195 190; 170	154 t заливання 700°C	315 274 251	1,2 0,8 2,4	280	1,5	92,8
		4	220; 210 240; 240 235; 200	224 t заливання 740°C	289 288 289	1,6 2,4 0,8	289	1,6	92,8
	0,10 мас. % РМК	5	165; 195 220; 220 135*;230	206 t заливання 740°C	318 300 297	2,0 1,2 0,8	305	1,3	94,9
		6	180; 165 235; 195 210; 175	193 t заливання 740 °C	283 296 301	0,8 2,4 1,6	293	1,6	94,9
	0,15 мас. % РМК	7	210; 175 230; 215 125*; 160	198 t заливання 740°C	321 298 316	0,8 0,8 1,6	312	1,1	94,9
		8	180 250 170	200 t заливання 740°C	256 293 254	1,2 1,2 2,0	268	1,5	92,8

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при проведенні досліджень сплавів на основі алюмінію та роботі з порошковими модифікаторами.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

При проведенні дослідницьких робіт по вивченню впливу порошкових модифікаторів на властивості алюмінієвих сплавів можна виділити декілько основних факторів, які можуть стати причиною виробничого травматизму, професійних захворювань та становлять загрозу життю та здоров'ю працівників. До таких факторів відноситься висока температура розплавленого металу, шкідливі відходи ливарного виробництва, токсичні хімічні елементи, які можуть бути використані в якості та небезпечне обладнання.

Провівши аналіз потенційних небезпек які можуть бути виявлені при проведенні дослідницьких робіт можна виділити наступні:

а) Незадовільний стан організації робочого місця дослідника, порушення вимог ергономіки, що може призвести до зниження продуктивності проведення дослідів.

б) Можливість ураження електричним струмом. Може приводити до електричних травм та летальних випадків. Основною причиною є недотримання норм електробезпек або недостатня кваліфікація працівників, допуск до робіт з електрообладнанням осіб які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки.

в) Можливість отримання механічних травм при пресуванні таблетизованих брикетів модифікувального комплексу, зокрема при використанні гідравлічного пресу.

г) Можливість отримання термічних опіків від розплавленого металу при проведенні дослідних плавок алюмінію.

д) Небезпеки, які пов'язані з шкідливим впливом токсичних хімічних речовин, які можуть використовуватись в якості компонентів модифікувального комплексу. Можливість отруєння в результаті порушення правил охорони праці при роботі з небезпечними хімічними речовинами.

е) Можливість отримання хімічних опіків від кислот які використовуються при виготовленні шліфів для дослідження мікроструктури отриманого сплаву.

є) Можливість отримання механічних травм, в процесі виготовлення зразків та визначення структури, твердості, міцності, ударної в'язкості та інших механічних властивостей, в результаті неправильного використання експериментальних стендів, дослідницького обладнання або недостатньої кваліфікації дослідника.

ж) Незадовільнені параметри загального штучного освітлення дослідницької лабораторії.

з) Можливість виникнення пожежі внаслідок недотримання вимог пожежної безпеки, несправності обладнання, короткого замикання, порушення зберігання легкозаймистих речовин.

і) Небезпеки які пов'язані з можливістю виникнення надзвичайних ситуацій.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Для запобігання виробничого травматизму та негативного впливу виробничих факторів на здоров'я робітників слід дотримуватись наступних заходів:

а) З метою виключення загрози отримання механічної травми внаслідок невідповідності робочого місця вимогам ергономіки необхідно правильно організувати робоче місце, враховуючи ергономічні вимоги дослідника згідно з ГОСТ 12.2.032-78 «Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги» Конструкція та взаємне розташуванні елементів робочого місця повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психологічним

вимогам, а також характеру людини. При проектуванні обладнання та організації робочого місця слід врахувати антропометричні показники дослідника, зручність розташування клавіатури, дисплею, та інших необхідних для роботи пристроїв, а також зони досяжності рук дослідника, що необхідно для роботи пристроїв. Враховуючи зріст та вагу дослідника визначається висота стола, за яким він працює. Робочий стілець також має бути зручним для роботи. При організації робочого місця повинні бути створення умови для попередження неправильних дій оператора. З цією метою всі основні аварійні органи управління повинні легко пізнаватися (зорово або на дотик), між органами управління має бути вільний простір, що дозволяє легко маніпулювати ними без зачеплення сусідніх органів управління.

б) Основними організаційними заходами захисту від можливості ураження електричним струмом є:

До виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, та отримали допуск відповідно групи (2 чи 3).

Згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-20 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів» експлуатацію та ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал. / кожного виду обладнання повинні бути складені схеми нормування робіт роботи в аварійних ситуаціях.

Основними технічними заходами захисту від можливості ураження електричним струмом є:

У відповідності ПУЕ Всі неізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огороженні суцільними огороженнями, зняття або відкриття яких можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

Обов'язкова наявність захисного заземлення.

в) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін

експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

г) Заходи захисту при проведенні дослідних плавок: - для попередження негативного впливу теплового випромінювання та термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів; - з огляду на великий ступінь небезпеки при використанні насичувальних газів, що може бути пов'язано з відсутністю запаху та кольору цих газів на ділянці обов'язковим є встановлення автоматичних газоаналізаторів (ЩИТ-3М); - при перевищенні небезпечної концентрації газів прилад подає попереджувальні звуковий та світловий сигнали про небезпеку; - один раз на добу обов'язкова перевірка герметичності з'єднань трубопроводів; - обов'язковим є наявність лабораторної індивідуальних засобів захисту в період виникнення аварійних ситуацій; - улаштування місцевої витяжної вентиляції, досконале знання процесу та інструкції з експлуатації обладнання.

д) При роботі з токсичними хімічними речовинами необхідно, для запобігання отруєння та шкідливого впливу на стан здоров'я дослідника використовувати засоби індивідуального захисту (респіратори, протигази, рукавиці, захисні окуляри, спецодяг). Захист від шкідливих газів, паро- та пило- виділень передбачає обладнання місцевої витяжної вентиляції для відсосу отруйних речовин безпосередньо від місць їх утворення. Місцеві відсоси влаштовують конструктивно вбудованими та зблокованими з обладнанням так, що агрегат не можна запустити при виключеному відсосі.

е) При проведенні випробувань зразків на механічні властивості слід проводити екранування зони випробувань. При визначенні твердості велике значення має підготовка зворотній поверхні зразка. До роботи з експериментальним обладнанням допускаються тільки особи які пройшли

попередній інструктаж. При проведенні випробувань слід використовувати засоби індивідуального захисту: окуляри, спецодяг.

є) Заходи захисту при роботі на гідравлічних пресах:

При пресуванні деталі стежити, щоб вона була міцно закріплена, а спеціальне пристосування було встановлене без перекосів. Робочі деталі встановлювати стійко на підручних пристосуваннях так, щоб унеможливити їх зміщення під час роботи. Обробляти деталі, що знаходяться в підвішеному стані або які утримуються руками, не допускається.

Необхідно стежити за справністю всіх контрольно-вимірних приладів; при виявленні несправностей необхідно вжити заходи щодо зупинки преса та повідомити про це безпосереднього керівника;

Гідравлічний прес має бути закріплений на підлозі і відповідати таким вимогам:

- 1) корпус преса (станина) не повинен мати тріщин та інших ушкоджень;
- 2) манометр робочого тиску гідравлічного преса має бути справним;
- 3) робоча зона, спрямована у бік проходів або в сторону іншого обладнання, має бути відгороджена захисним екраном;
- 4) пристосування для випресовування повинні підходити за розміром і не мати схильності до руйнування (розтріскування);
- 5) підставки під оброблювану деталь повинні відповідати розмірам деталі і мати можливість фіксації деталі на пресі;
- 6) гідравлічні шланги не повинні мати ушкоджень, вони повинні бути надійно закріплені на штуцерах;

До заходів по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни для осіб які працюють в ливарних цехах, контактують з розправленими металами відносяться та піддаються впливу підвищених температур, забрудненого повітря та теплового випромінювання:

- 1) Спеціальний одяг для захисту від кислот. Чоловічі костюми (ГОСТ 12.4.036-78 ССБТ), жіночі костюми (ГОСТ 12.4.037-78 ССБТ). Тип Кк – для захисту від кислот концентрації вище 80 %; К80 –

концентрації 50...80 %; K50 – концентрації 20...50 %; K20 – концентрації до 20 %. У ливарному виробництві застосовуються на дільницях виготовлення стрижнів.

2) Спеціальний одяг для захисту від підвищених температур. Чоловічі костюми (ГОСТ 12.4.045-87 ССБТ). Типи й маркування: АТи – при температурі вище 15 °С і тепловому випромінюванні до $2,1 \times 10^3$ Вт/м²; БТи – при температурі вище 15 °С і тепловому випромінюванні від $2,1 \times 10^3$ до $3,5 \times 10^3$ Вт/м²; ВТи – при температурі вище 10 °С і тепловому випромінюванні від $4,2 \times 10^3$ до 14×10^3 Вт/м². Використовуються в ливарних цехах плавильниками, розливальниками й іншими робітниками, зайнятими в операціях з нагрітими тілами.

3) Спеціальне шкіряне взуття для захисту від підвищених температур (ГОСТ 12.4.032-77 ССБТ). Захищає від теплового випромінювання, контакту з нагрітими поверхнями, іскор і бризок розплавленого металу, окалини. Використовується в ливарному виробництві на дільницях сушіння форм і стрижнів, у плавильному й розливальному відділеннях.

4) Спеціальне віброзахисне взуття (ГОСТ 12.4.024-76 ССБТ). Група Мв – для захисту від механічних впливів. Випускається у виді чобіт, напівчобіт і черевик чоловічих і жіночих, має ефективність захисту від вібрацій не менш 7 дБ при $f = 16$ Гц; не менш 10 дБ при $f = 62$ Гц. У ливарному виробництві застосовуються на операціях формування та ін.

5) Спеціальні рукавиці (ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ). Тип М – для захисту від механічних впливів (Ми – від стирання, Мв – від вібрацій), застосовуються при механічній обробці металів. Тип К – для захисту від кислот, використовуються при фарбувальних роботах. Тип Т – для захисту від високих температур при контакті з нагрітими поверхнями (Тр – від іскор, бризів розплавленого металу, окалини, Ти – від теплових випромінювань), використовуються в ливарному виробництві при плавці, розливанні, вибиванні, зачищенні й інших операціях.

6) Засоби індивідуального захисту рук від вібрації (ГОСТ 12.4.002- 74 ССБТ). Тип 1 з товщиною пружнодемпфуючого матеріалу не більше 10 мм; тип 2 – не більше 8 мм; тип 3 – не більше 5 мм. Використовуються

при роботі з ручним інструментом (трамбівки, рубильні молотки, пневматичні машини й т.п.) у ливарному виробництві.

7) Захисні окуляри (ГОСТ 12.4.003-80 ССБТ). Тип О – відкриті захисні. Окуляри з безбарвного скла. Використовуються при зачищенні лиття. Тип Г – герметичні захисні. Окуляри з безбарвного скла. Використовуються при виготовленні форм і стрижнів у ливарному виробництві. Тип Л – захисний лорнет. Окуляри зі світлофільтрами. Використовуються при плавці металів для умов короткочасної роботи. Тип К - козиркові захисні. Окуляри зі світлофільтрами. Використовуються при плавленні, розливанні, транспортуванні металу в умовах роботи в захисному головному уборі.

8) Світлофільтри скляні для захисту очей від шкідливих випромінювань на виробництві (ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ). Темне скло, тип В, Г, Е. Темне скло, типи С-3 – С-13. Використовуються при виконанні зварювальних робіт, при газовому і плазменному різанні, при роботі в нагрівальних печах. Синє скло, типи НКП, Д-1 – для робіт у нагрівальних печах. Світлофільтри скляні для захисту очей від шкідливих випромінювань на виробництві (ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ). Темне скло, тип В, Г, Е. Темне скло, типи С-3 – С-13. Використовуються при виконанні зварювальних робіт, при газовому і плазменному різанні, при роботі в нагрівальних печах. Синє скло, типи НКП, Д-1 – для робіт у нагрівальних печах.

9) Респіратори ШБ-1 «Пелюсток-200», «Пелюсток-40». Захищають від вискодисперсних аерозолів (діаметр часток не більше 2 мкм) при концентраціях, що перевищують ГДК в 200 разів; грубодисперсних аерозолів і від вискодисперсних аерозолів (діаметр часток не більше 2 мкм) при концентраціях, що перевищують ПДК в 40 разів відповідно. Використовуються в ливарних цехах при плавці й сублімації металів.

10) Фільтруючий протигазовий респіратор РПГ-67. Захищає від пари органічних речовин (бензину, ацетону, спиртів, ефірів, бензолу й ін.). Використовується в ливарному виробництві при виготовленні форм і стрижнів.

11) Тип НСП – наголовний щиток із сітчастим корпусом і з рухливою рамкою. Захищає від інфрачервоного випромінювання, бризок розплавленого

металу, іскор і твердих часток при чергових впливах шкідливого випромінювання й бризок розплавленого металу, іскор і твердих часток. Використовуються в ливарних цехах для плавильників і розливальників.

12) Тип НН – наголовний щиток з непрозорим корпусом. Захищає від ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання, бризок розплавленого металу й іскор. У ливарних цехах застосовується при зварювальних роботах.

13) Тип ННП – наголовний щиток з непрозорим корпусом і з рухливою рамкою. Захищає від ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання, бризок розплавленого металу, іскор і твердих часток, при переміжних впливах шкідливих випромінювань і бризок розплавленого металу, іскор і твердих часток. Застосовується в ливарних цехах, при зварювальних роботах у важкодоступних й слабоосвітлених місцях.

14) Засоби захисту органів слуху (протишуми) – навушники (ГОСТ 12.4.051-78 ССБТ). Малогабаритні, для захисту від шуму з рівнем до 110 дБ, 115 дБ, 120 дБ. Використовуються в ливарному виробництві для обрубників, при зварювальних роботах, механічній обробці, при складальних роботах.

15) Захисні дерматологічні засоби (ГОСТ 12.4.068-79 ССБТ): захисні креми; відмивочно-захисні пасти; мило ДНС-АК; засіб чищення для важкорозчинних забруднень «ЗОР».

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт І-ІІІ, IVa, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при

технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

В роботі передбачено визначення та розрахунок системи штучного освітлення з урахуванням типу виробництва.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку системи штучного освітлення для сталеплавильного цеху.

Довжина (l)	60 м
Ширина (B)	24 м
Висота (H)	8 м
Розряд зорової роботи (РЗР)	V_B
Висота робочої поверхні (h_p)	0,7 м
Коефіцієнт відбиття від стелі (ρ_c)	50 %
Коефіцієнт відбиття від стін ($\rho_{ст}$)	30 %
Коефіцієнт відбиття від підлоги (ρ_T)	10 %

Відповідно до розряду зорової роботи загальна освітленість в сталеплавильному цеху повинна становити 200 лк.

Для сталеплавильного цеху з економічної точки зору найбільш оптимальним типом світильників будуть люмінесцентні лампи типу РСП.

Коефіцієнт запасу та коефіцієнт нерівномірності освітлення враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від вибраних умов. У нашому випадку для сталеплавильного цеху з використанням газорозрядних ламп коефіцієнт запасу становить:

$$K_3 = 1,9 \quad (5.1)$$

Коефіцієнт нерівномірності освітленості, тобто відношення середньої освітленості до мінімальної, становить:

$$Z = 1,15 \quad (5.2)$$

Сталеплавильний цех відноситься до приміщень з незначним пилевиділенням, а отже коефіцієнти відбиття поверхонь цеху дорівнюють:

Коефіцієнт відбиття від стелі:

$$\rho_c = 50 \% \quad (5.3)$$

Коефіцієнт відбиття від стін:

$$\rho_{ст} = 30 \% \quad (5.4)$$

Коефіцієнт відбиття від підлоги:

$$\rho_t = 10 \% \quad (5.5)$$

Кількість світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - \square_p) * [L / \square]} = \frac{24}{(8 - 0,8) * 1,6} = 2,08 \quad (5.6)$$

де L/h - значення коефіцієнту світильника (для РСП = 1,6)

Результат потрібно округлити до цілого числа у більшу сторону:

$$N_p = 3 \quad (5.8)$$

Максимально допустима відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{24}{3} = 8 \text{ м} \quad (5.8)$$

Висота підвісу над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{L/h} = \frac{8}{1,6} = 5 \quad (5.9)$$

Висота зависання світильників від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 8 - 0,8 - 5 = 2,2 \text{ м} \quad (5.10)$$

Чисельні значення індексу приміщення:

$$i = \frac{A*B}{h*(A+B)} = \frac{60*24}{5*(60+24)} = \frac{1440}{420} = 3,43 \quad (5.11)$$

Значення коефіцієнту використання світлового потоку η вибирається в залежності від типу світильника, джерела світла, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення та індексу приміщення. У нашому випадку коефіцієнту використання світлового потоку становить:

$$\eta = 56 \% \quad (5.12)$$

Сумарний світловий потік у приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n * S * K_3 * z}{\eta} = \frac{200 * (60 * 24) * 1,9 * 1,15}{0,56} = 1\,123\,714 \quad (5.13)$$

де E_n - нормоване значення освітленості, S - площа освітленої поверхні, K_3 - коефіцієнт запасу, z - коефіцієнт нерівномірності, η - коефіцієнт використання світлового потоку;

Загальна кількість світильників у приміщенні враховуючи розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = \frac{A * B}{L_{max}^2} = \frac{60 * 24}{8^2} = 22,5 \quad (5.13)$$

Розрахунковий світловий потік лампи:

$$\Phi_{л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}} = \frac{1\,123\,714}{45} = 24\,971 \text{ лм} \quad (5.14)$$

де $N_{л}$ - загальна кількість ламп у приміщенні

$$N_{л} = 22,5 * 2 = 45 \quad (5.15)$$

де n - кількість ламп у світильнику

Найбільш наближене значення світлового потоку до розрахункового мають лампи ДРЛ 50:

$$\Phi_{л} = 1900 \text{ лм} \quad (5.16)$$

Коефіцієнт пропорційності:

$$m = 24\,971 / 1900 = 13,14 \quad (5.17)$$

Оптимальна кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* * m = 22,5 * 13 = 292,5 \approx 293 \quad (5.18)$$

Фактична кількість світильників у приміщенні відповідає рівнокількістному розміщенню світильників у кожному ряді:

$$N_{\phi} = 98 \quad (5.19)$$

Загальна потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\phi\lambda} * P_{\lambda} = 98 * 50 = 4\,900 \text{ Вт} = 4,9 \text{ кВт} \quad (5.20)$$

де P_{λ} - потужність вибраної лампи (50 Вт)

5.4 Заходи з пожежної безпеки

«Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В. 1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Тобто вказати до якої категорії

виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБНВ. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», вказати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо).

Відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Вказати максимальне віддалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно з вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації.

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 №25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за №225/31677.

Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001 -2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні ливарного цеху:

Згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у приміщенні ливарного цеху можлива пожежа класів - D (що супроводжується горінням металів, в тому числі металевих сполук та порошків) та E (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Г» з пожежної небезпеки — негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес оброблення яких супроводжується виділенням тепла, іскор та полум'я; горючі гази, рідини та тверді речовини, які спалюються або утилізуються якпаливо.

Оскільки приміщення ливарного цеху належить до категорії «Г» з пожежної небезпеки, тому відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має IIIа ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні ливарного цеху для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єкти будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого - вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближче евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення ливарного цеху відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту ізоляції обладнання 1Р44 яка відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па1 до якої належить приміщення.

Оскільки приміщення ливарного цеху має площу 1140 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених

наказом МВСУ 15.01.2018 №25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за №225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Фільтруючі протигази призначені для захисту органів дихання, очей, шкіри обличчя від дії радіоактивних речовин, отруйних речовин, небезпечних хімічних речовин, бактеріологічних засобів та інших шкідливих домішок у повітрі.

Противаз складається з фільтруючо-поглинаючої системи та лицевої частини, які з'єднані між собою безпосередньо або за допомогою з'єднувальної трубки. До комплекту протигазу входить сумка для його носіння, захисту та зберігання, коробка з плівками, які запобігають запотіванню скла окулярного вузла, а також в залежності від типу протигазу може входити трикотажний чохол з гідрофобним просоченням, коробка з запасними мембранами до переговорного пристрою, кришка фляги з клапаном, водонепроникний мішок, взимку окремі види протигазі доукомплектовуються накладними утеплювальними манжетами.

Промислові фільтруючі протигази призначені для захисту органів дихання, обличчя і очей людини від дії шкідливих домішок, які знаходяться в повітрі в виді газів, пару і аерозолів (пилу, диму, туману). Промислові протигази комплектуються фільтруючими коробками великих і малих габаритних розмірів, що спеціалізовані за призначенням.

Тепер всі промислові протигази і противазові респіратори повинні відповідати вимогам українських стандартів ДСТУ EN 143 та ДСТУ EN 14387.



Рисунок 5.1 – Промислові протигази з протигазовими фільтрами (коробками), що виготовлені за ГОСТ 12.4.122-83

Підготовка протигазу до експлуатації і перевірка правильності підбору протигаза. Правила користування протигазами, їх збереження.

Нову маску перед надяганням потрібно промити зверху і зсередини з використанням миючих засобів чистою ганчіркою, а з'єднувальну трубку продуту. Маску, що була у вжитку, потрібно з метою дезинфекції протерти денатурованим спиртом або 2% розчином кальцинованої соди.

При отриманні протигаза слід ретельно перевірити наявність і справність маски, коробки, сумки. Для цього необхідно:

1) Перевірити цілісність маски, розтягуючи і передивляючись її на світлі; оглянути скло окулярів, перевірити справність наголовника і лямок, наявність клапанів вдиху і видиху; оглянути з'єднувальну трубку і перевірити, чи немає на ній проколів, розривів, чи щільно вона приєднана до трубки маски, чи не пом'ята накидна гайка, чи є в ній гумове ущільнююче кільце.

2) Оглянути фільтрувально-поглинальну коробку і перевірити при цьому, чи нема на ній іржі, глибоких вм'ятин, проколів, пробоїн, чи не пом'ята гвинтова горловина; витягнути гумовий корок з отвору у дні коробки. При струшуванні коробки зерна поглинача не повинні пересипатись.

3) Оглянути протигазну сумку, перевірити наявність плечової лямки і

рухомої пряжки, петлі на клапані, гудзиків, поясної лямки і півкільця, кишені на перегородці і незапотіваючих плівок.

Необхідно перевірити комплектність та цілісність частин та вузлів, з'єднати лицьову частину з фільтрувально-поглинальною коробкою (загвинтити накидну гайку до упору на горловину коробки), вставити плівки, що не запотівають.

Щоб перевірити, чи правильно складено і підібрано протигаз, потрібно: надягнути протигаз, закрити долонею отвір у дні коробки і зробити глибокий вдих. Якщо повітря не проходить під маску, то лицьова частина підібрана правильно і протигаз складено правильно; якщо повітря при вдиху проходить, то необхідно знову перевірити правильність складання і повторно-герметичність. Необхідно оглянути і перевірити на справність всі його частини, потім правильно зібрати його. Переконайтесь, що протигаз відповідного розміру, потім перевірити цілісність лицьової частини та окулярів, справність мембранної коробки і клапанів видиху, наявність і справність лямок кріплення. Підтягнути на одну поділку скроневі і щічні лямки або замінити розмір лицьової частини на менший. Необхідно ще раз ретельно оглянути фільтрувально-поглинальну коробку, щоб на ній не було проколів, вм'ятин, пошкоджень горловини, щільність і герметичність з'єднання всіх елементів протигаза. Перш, ніж надягати протигаз, потрібно прибрати волосся з лоба і скронь, бо, потрапивши під обтюратор, воно призводить до порушення герметичності. Жінки зачісують волосся назад,

Надійність захисту від радіоактивних, отруйних, небезпечних хімічних, бактеріологічних речовин, шкідливих домішок у повітрі залежить не тільки від справності і підбору, але й від правильності і швидкості надягання протигаза. Тому дорослим необхідно не тільки самим безпомилково вміти користуватись протигазом, але й вміти швидко і правильно надягати його на дітей.

За школярами, коли на них надягнуті протигази, повинні безперервно спостерігати дорослі.

Взимку у сильні морози можливе затвердіння гуми, обледеніння скла окулярів, примерзання пелюстків вдихального і видихального клапанів до

сідловини, обledenіння клапанної коробки і горловини фільтрувально-поглинальної коробки. Щоб попередити і усунути ці явища, необхідно:

а) надягати утеплювальні манжети на обойми окулярів;

б) при сильному морозі зігрівати лицеву частину, помістивши її за борт пальто; а якщо протигаз надягнений, утеплити його, надягнувши зверху лицевої частини теплу хустку, шарф, шапку, періодично зігрівати клапанну коробку руками, одночасно продуваючи клапани видиху.

Виданий у користування протигаз необхідно утримувати у повній готовності і приймати всі заходи для його збереження.

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

На сьогодні більша частина виробництва сплавів на основі алюмінію в Україні припадає на перероблення вторинної сировини. Перероблення металевого лому дозволяє значно скоротити витрати на виробництво продукції, але вторинні алюмінієві сплави поступаються за своїми властивостями первинним.

Значна кількість браку при ливарному виробництві з використанням вторинних алюмінієвих сплавів пов'язана з їх низькими технологічними властивостями. Метою даного проекту є розроблення порошкового рафінувально-модифікувального комплексу який дозволить підвищити якість та властивості вторинного алюмінію.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Нова технологія модифікування вторинних сплавів на основі алюмінію (рафінувально-модифікувальний комплекс)	1. Виробництво	Підвищення якості вторинних сплавів на основі алюмінію та зниження кількості браку
	2. Дослідницька діяльність	Науковий вклад у дослідження впливу різних хімічних сполук на структуру та властивості алюмінієвих сплавів.

Потенційними клієнтами нової технології модифікування є заводи, фабрики та підприємства, які займаються виробництвом продукції зі сплавів на основі алюмінію. Використання нового рафінувально-модифікувального комплексу дозволить зменшити кількість браку та досягти нового рівня якості продукції.

Також в новій технології модифікування можуть бути зацікавлені різні дослідницькі установи. Результати досліджень впливу різних хімічних елементів

та їх співвідношення на структуру, фазовий склад та властивості алюмінієвих сплавів, а також дослідження механізму їх дії становлять наукову цінність, а отже можуть бути використані для подальших досліджень та розроблення нових технологічних рішень в галузі матеріалознавства.

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Підвищення властивостей та якості вторинних алюмінієвих сплавів	Підприємства, заводи та фабрики.	Приділяють увагу практичній цінності та доцільності використання нової технології.	Доведена ефективність використання нової технології.
2	Дослідження впливу різних хімічних сполук на властивості та структуру вторинних сплавів на основі алюмінію.	Дослідницькі центри.	Приділяють увагу розкриттю механізму дії нової технології з наукової точки зору.	Достовірність отриманих результатів та відповідність проведення досліджень вимогам державних стандартів.

Проведення SWOT – аналізу дозволяє зробити оцінку внутрішнього та зовнішнього середовища підприємства.

Метою SWOT – аналізу є створення структурованого інформаційного опису бізнес ідеї, який дозволить оцінити сильні та слабкі сторони цієї бізнес ідеї, а також її оточуючого середовища. Виходячи з цього, можливо створити ефективні рішення щодо відповіді суб'єкта бізнес ідеї (відповідно до його сильних і слабких сторін) на різні події його оточуючого середовища (відповідно до можливостей та ризиків), а також ефективно спланувати розвиток бізнес ідей.

Таблиця 5.3 – SWOT – аналіз підприємства

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1. Висока якість продукції 2. Легкість впровадження нової технології у вже існуючий технологічний процес виробництва	1. Відсутність коштів у достатній кількості для проведення детальних досліджень 2. Результати дослідів практично перевірені лише на одній марці сплаву алюмінію
Можливості:	Загрози:
1. Зменшення кількості браку продукції при ливарному виробництві 2. Зменшення необхідності використання первинного алюмінію	1. Поява нових технологій та матеріалів виробництва 2. Економічна криза в країні 3. Припинення власного виробництва продукції в країні

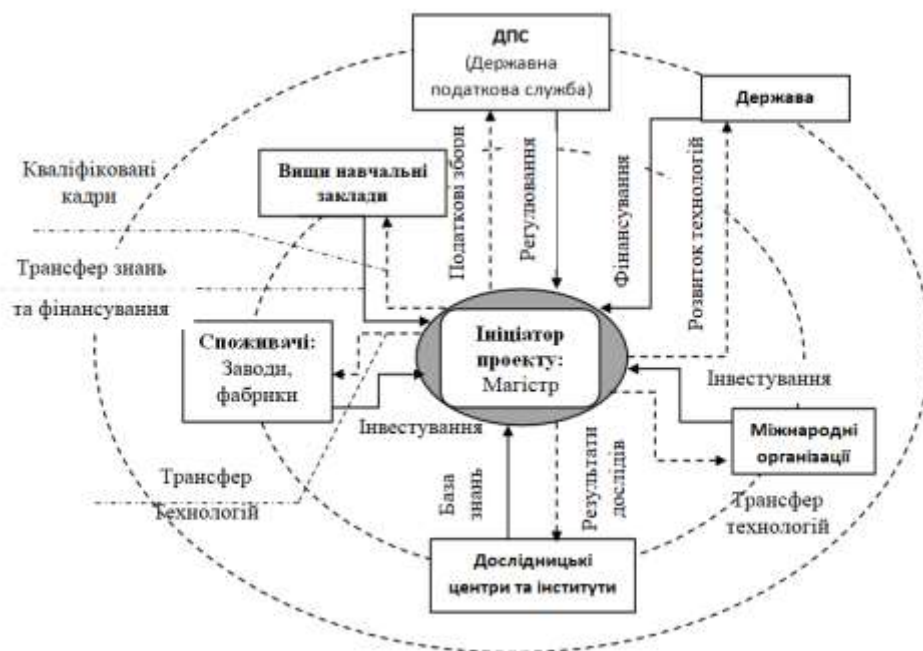


Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів проекту



$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 4 \text{ місяці}$$

Рисунок 5.2 – Тривалість проведення дослідницької роботи

Дослідницька робота складалася з 4 етапів:

1. Перший етап проведення дослідницької роботи щодо розроблення нового рафінувально-модифікувального комплексу складався з складання літературного огляду на сучасний стан проблеми, збору необхідної інформації та формування мети дослідження.
2. Другий етап проведення дослідницької роботи складався з підбору необхідних компонентів рафінувально-модифікувального комплексу. Відповідно до зібраних теоретичних даних на цьому етапі були підбрані компоненти нового рафінувально-модифікувального комплексу, проведені лабораторні дослідження та вивчено вплив необхідних компонентів рафінувально-модифікувального комплексу на структуру, фазовий склад та властивості сплавів на основі алюмінію. Також на цьому етапі були проведені дослідження щодо встановлення точної кількості нового рафінувально-модифікувального комплексу для отримання оптимального модифікувального ефекту.
3. Третій етап складався з обробки отриманих результатів дослідів, їх обґрунтування з наукової точки зору.

4. Останній етап проведення даної дослідницької роботи складався з промислового впровадження нового рафінувально-модифікувального комплексу.

Визначаємо склад, чисельність та відповідну заробітну плату працівників, які були задіяні при проведенні досліджень рафінувально-модифікувального комплексу (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб	Посадковий оклад, грн	Тарифна ставка, грн	Кількість відпрацьованих годин	Фонд зарплати	ЄСВ, грн.
Плавильник	1	8000	50	6	300	660
Пресувальник	1	6500	40,6	4,5	182,7	401,9
Подсобник	1	5000	31,3	2	62,6	137,7
Разом	3	19 500	X	X	545,3	1 199,6

Розрахуємо матеріальні кошти на виготовлення 5 таблетизованих брикетів рафінувально-модифікувального комплексу (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Кількість сировини на один зразок	Виробнича програма	Обсяг сировини, г	Ціна за 1 кг, грн	Сума, грн
карбонат барію (BaCO_3)	0,350	5	1,75	60	105
хлорид мангану (MnCl_2)	0,200		1	300	300
тетрафтороборат калію (KBF_4)	0,150		0,75	480	360
сірка (S)	0,300		1,5	40	60
Разом	X		X	X	825

Проведемо розрахунок вартості спожитих послуг (таблиця 5.6). Головним енергетичним ресурсом при проведенні досліджень та виготовленні рафінувально-модифікувального комплексу, а також плавленні алюмінію є електроенергія.

Таблиця 5.6 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на одиницю продукції, кВт	Виробнича програма, годин	Обсяг послуг	Тарифи	Сума грн
Електропостачання при підготуванні суміші порошків	1,2	7	8,4	1,68	14,11
Електропостачання при плавленні алюмінію	8,2		57,5	1,68	96,6
Разом	9,4		X	X	110,71

Проведемо розрахунок амортизації обладнання, яке використовується при виготовленні рафінувально-модифікувального комплексу.

Таблиця 5.7 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації %	Первісна вартість грн	Сума грн
Ручний гідравлічний прес	2	35 000	700
Змішувач порошків	2	47 000	940
Індукційна піч	2	90 000	1 800
Разом	X	X	3 440

Так як, обладнання знаходилось у використанні 1 день, остаточний розмір амортизації складає:

$$A = \frac{A_p}{365} = \frac{3\,440}{365} = 9,42 \text{ грн}$$

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали:	X
карбонат барію (BaCO_3)	105
хлорид мангану (MnCl_2)	300
тетрафтороборат калію (KBF_4)	360
хлорид мангану (MnCl_2)	300
Електропостачання	110,71
Разом	935,71
Заробітна плата основних виробничих працівників	542
ЄСВ	1 199,6
амортизація	9,42
Повна собівартість	3 622,44

Після проведення розрахунку кошторису витрат, маємо повну собівартість проекту у розмірі 3 622 грн. Основним джерелом фінансування даного проекту є кафедра «Композиційних матеріалів, хімії та технологій» Національного університету «Запорізька Політехніка». Порошкові матеріали для виготовлення таблетизованих зразків рафінувально-модифікувального комплексу була надані підприємством АТ «Мотор Січ».

ВИСНОВКИ

Модифікування та рафінування – це перспективні та актуальні методи підвищення властивостей алюмінієвих сплавів. За результатами проведення даної дослідницької роботи можна зробити наступні висновки:

1. Було розроблено новий вискооефективний (оптимальна кількість становить 0,05...0,10 мас. %) рафінувально-модифікувальний комплекс для підвищення властивостей сплавів на основі алюмінію.

2. Використання нового рафінувально-модифікувального комплексу не ускладнює технологічні процеси виробництва, а тому, розроблений рафінувально-модифікувальний комплекс може бути легко впроваджений у вже існуючий на підприємстві технологічний процес. Новий рафінувально-модифікувальний комплекс було випробувано для модифікування алюмінієвого сплаву АК5М (АЛ5) в промислових умовах АТ «Мотор Січ».

3. За результатами проведення досліджень було встановлено що використання нового рафінувально-модифікувального комплексу дозволяє підвищити рідинноплинність розплаву АК5М (АЛ5) на 77 %. Крім того, використання розробленого рафінувально-модифікувального комплексу дозволяє підвищити міцність сплаву АК5М (АЛ5) на 24 %.

4. Як показує проведений металографічний аналіз, збільшення ливарних і механічних властивостей сплаву АК5М (АЛ5) пояснюється впливом розробленого рафінувально-модифікувального комплексу на мікроструктуру сплаву. Використання розробленого рафінувально-модифікувального комплексу сприяє отриманню більш сприятливої та однорідної структури.

5. Розроблений рафінувально-модифікувальний комплекс є недорогим та може бути рекомендован для підвищення якості та комплексу властивостей вторинних силумінів до рівня первинних сплавів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Гавриленко, Б. Б. Економіко-правові важелі раціонального природокористування / Б. Б. Гавриленко. – Запоріжжя: Поліграф, 2004. – 144 с.
2. Алексахин А. В. Эффективность использования вторичных алюминиевых сплавов в литейном производстве / А. В. Алексахин, Н. В. Хмельницкая, Е. К. Сиваева // Экономические проблемы литейного производства России: тез. докл. Всерос. конф. – Пенза, 1991. – С. 52–54.
3. Золоторевский В.С., Белов В.А. Металловедение цветных металлов/ - Учебное пособие. – Москва, МГИС. – 2000. – 147с.
4. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебник для вузов / Колачев Б. А., Елагин В. И., Ливанов В. А. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
5. Фоченков Б.А. Исследование состава печной атмосферы и ее влияние на изменение содержания водорода в алюминии и его сплавах: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.04 «Литейное производство» / Б.А. Фоченков. – М., 1989. – 21 с.
6. Кораблин В.П. Рафинирование сплава АК5М7 жидкими диспергированными флюсами / В.П. Кораблин, В.В. Каварцев, Т.В. Сильченко // Литые износостойкие материалы: Сб. научн. трудов. – К., 1992.- С.127-129.
7. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. - М.: Металлургия, 1979.- 192 с.
8. Прогрессивные способы обработки алюминиевых расплавов перед разливкой / В.А.Косинцев, В.М. Потысьев, В.А. Захаров [и др.] //Технология автомобилестроения. - 1986. - №2. - С. 3-6.
9. Немененок Б.М. Безопасные способы повышения качества отливок из силуминов / Б.М. Немененок, А.П. Бежок, С.П. Задруцкий // Проблемы безопасности труда на предприятиях с взрывоопасным производством: тез. докл. межд. научн.-техн.сем. – Минск, 1995. – С. 69-71.

10. Исследование комплексных оксидных флюсов для обработки силуминов /С.М. Петров, С.Г. Петрова, А.И. Конягин [и др.] // Совершенствование производства алюминиевых сплавов и полуфабрикатов: Сб. научн. трудов. - Л.: ВАМИ, 1983. - С. 27-29.
11. Петров С.М. Флюсы для обработки алюминиево-кремниевых сплавов / С.М. Петров, С.Г. Петрова, А.И. Конягин // Высокопрочные цветные сплавы и прогрессивные методы производства отливок: Сб. научн. трудов. - М., 1983. - С. 53-55.
12. Низкотоксичная обработка вторичных медистых силуминов // Б.М. Немененок, В.М. Беседин, М.И. Стриженков [и др.] // Современные технологические процессы получения высококачественных изделий методом литья и порошковой металлургии: тез. докл. конф. – Чебоксары
13. Курдюмов А.В. О возможности повышения пластичности вторичных силуминов фильтрованием расплавов / А.В. Курдюмов, Т.А. Базлова // Литейное производство. – 1991.- № 8.- С. 7-8.
14. Микуляк О.П. Исследование структуры и свойств рафинированных алюминиевых сплавов из вторичного сырья: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.04 «Литейное производство» / О.П. Микуляк. - Донецк, 1978. - 22 с.
15. Литвинчук В.М. Развитие технологии рафинирования жидких металлов фильтрацией / В.М. Литвинчук // Проблемы специальной электрометаллургии. - 1988. - № 4. - С.77-80.
16. Eady J.A. Filtration of aluminium melts / J.A. Eady, D.M. Smith, J.F. Grandfield //Aluminium Technology 86: Proc. Int. Conf. - London, 1986. - P.93-100.
17. Hack J.A. The Filtration of steel castings / J.A. Hack, H. Dark, Child // Foundryman. - 1990. - № 4. - P.183-187.
18. Леушин И.О. Фильтрация алюминиевых расплавов через пенокерамические фильтры / И.О. Леушин, М.И. Рошин, Р.М. Янбаев // Литейное производство. – 2001. - № 2. – С. 14-15.

19. Хомицкий А.А. Об оценке пористости отливок / А.А. Хомицкий //Литейное производство.- 1988.- № 7.- С. 11-12.
20. Альтман М.Б. Неметаллические включения в алюминиевых сплавах / Альтман М.Б. – М.: Металлургия, 1965.- 127 с.
21. Зарубин А.М. Об оценке балла пористости отливок / А.М. Зарубин // Литейное производство.- 1985.- № 4.- С. 15-16.
22. А.С. Нурадінов, А.С. Ельдарханов, О.В. Ноговіцин, Є.Д. Таранов. Вплив вібрації на формування безперервнолитої блюмінгової заготовки//Металознавство та обробка металів – 2013. - №3. – С. 15 – 23.
23. Задиранов А.Н., Кац А.М., Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. – Москва, 2008. – 194 с.
24. Тимченко С.Л. Влияние электрического тока на дендритную структуру алюминиевого сплава – Москва. 2013. – 13 с.
25. А. Б. Килин Влияние электрического тока на дегазацию и модифицирование алюминиевых расплавов – г. Орел. 2002
26. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. - М.: Металлургия, 1979.- 192 с
27. Повышение эффективности дегазации алюминиевых сплавов продувкой инертными газами / В.А. Палачев, С.В. Инкин, В.Д. Белов [и др.] // Литейное производство. – 1992.- № 3.- С. 10-11.
28. Котлярский Ф.М. Формирование отливок из алюминиевых сплавов / Котлярский Ф.М. - Киев: Наукова думка, 1990. - 216 с.
29. Постников Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы / Постников Н.С. - М.: Металлургия, 1976. - 301 с.
30. Тимошкин В.И. Комплексная обработка алюминиевых сплавов с продувкой инертным газом / В.И. Тимошкин, В.П. Соловьев, Р.М. Мацнев // Литейное производство. - 1989. - № 5. - С.8-9.
31. Рафинирование алюминиевых сплавов высокоскоростной продувкой инертным газом / С.В. Инкин, В.Д. Белов, В.А. Палачев [и др.] // Литейное производство. -1992,- №2.- С.13-15.

32. Макаров Г.С. Современные тенденции в развитии методов рафинирования деформируемых алюминиевых сплавов / Г.С. Макаров // Изв. вузов. Цветная металлургия. - 1998. - № 4. - С.26-29.

33. Рафинирование алюминиевых сплавов высокоскоростной продувкой газами / С.В. Инкин, В.Д. Белов, В.А. Палачев [и др.] // Литейное производство. – 2000. - № 9. – С. 24-25.

34. Рафинирование вторичных алюминиевых сплавов / С.Е. Шуранков, В.Л. Трибушевский, Б.М. Немененок [и др.] // Литейное производство. – 2001. - № 9. – С. 12-13.

35. Иванов А.А. Приготовление алюминиево-кремниевой лигатуры с помощью вибрации / А.А. Иванов, Г.Г. Крушенко // Литейное производство .- 1991.- № 3.- С. 7-8.

36. Фридляндер И.Н. Металловедение алюминия и его сплавов. - М.: Металлургия, 1983. - 522 с.

37. Повышение механических свойств при изменении структуры способом наномодифицирования алюминиевых сплавов. 2013. Н. Е. Калинина, Е. А. Джур, З. В. Вилищук, Т. В. Носова, В. А. Агапов

38. Модифицирование литейных алюминиевых сплавов порошковыми композициями. Н. Е. Калинина, В. П. Белоярцева, О. А. Кавац. Вестник двигателестроения №2/2006

39. В. В. Каверинский, В. А. Воронич, Г. А. Иванов. Модифицирование алюминиевого сплава АК-9 дисперсным порошком меди. *Актуальні проблеми фізико-хімічного матеріалознавства*. 2013. №4. С. 125-130.

40. Комплексное модифицирование вторичных силуминов. А. А. Митяев, И. П. Волчок, Р. А. Фролов, К. Н. Лоза, О. В. Гнатенко, В. В. Лукинов. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 6 (54)

41. А.с. 1294856 СССР, МКИ С22С 1/06. Модификатор алюминиевых сплавов [Текст] / А.М. Галушко, Б.М. Немененок, Г. В. Довнар, М.И. Стриженков,

В.А. Дудовец, Ю.В. Маркаров, Б.П. Бубнов, Л.С. Мурашкина (СССР). – № 3908940/22-02(22); заявл. 10.06.85; опубл. 07.03.87, Бюл. №9 — 115 с.

42. А.с. 449957 СССР, МКИ С22С 1/06. Модификатор для алюминиевых сплавов [текст] / В.А. Косинцев, Л.Г. Киселева, В.П. Потысьев (СССР). – № 1877019/22-1; заявл. 29.01.73; опубл. 15.11.74, Бюл. № 42 – 57 с.

43. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов: монография [текст] / Б.М. Немененок. — Минск: Технопринт, 1999. – 272 с.

44. Задруцкий, С.П. Создание экологически чистых технологий модифицирования и рафинирования силуминов, обеспечивающих получение плотных отливок [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / С.П. Задруцкий. – Минск, 1999. – 169 с.

45. Петров, И. А. Исследование и разработка флюса комплексного действия для модифицирования силуминов и технологии его применения [Текст]: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.04 “Литейное производство” / И.А. Петров. — Москва, 2015. – 23 с.

46. Петров, И.А. Исследование взаимодействия углекислых солей поверхностно-активных элементов со сплавом АК12 [Текст] / И.А. Петров, А.Д. Шляпцева, А.П. Ряховский, В.С. Моисеев // Литье и металлургия. — 2013. - №3. – С. 63-67.

47. Петров, И.А. Совершенствование технологии модифицирования силуминов [Текст] / И.А. Петров, А.Д. Шляпцева, А.П. Ряховский, В.С. Моисеев // Наука и техника. — 2013. - №6. – С. 7.

48. Гуляев Б.Б. Физико-химические основы синтеза сплавов / Гуляев Б.Б.—Л.: ЛГУ, 1980. – 192 с.

49. Изменение в ГОСТ 1583-73 “Сплавы алюминиевые литейные в чушках” / Ю.Б. Бычков, В.С. Золотаревский, Н.А. Баланаев [и др.] // Литейное производство. -1987. - №3. – с. 10-12.

50. Лейбов Ю.М. Исследование некоторых вопросов повышения качества вторичных алюминиевых литейных сплавов: автореф. дис. на соискание уч.

степени канд. техн. наук: спец. 05.16.04. “Литейное производство” / Ю.М. Лейбов. – М., 1971. -21 с.

51. Баранов А.А. Модифицирование сплава АЛЗч добавками V и Zr / А.А. Баранов, В.П. Ефименоко // Литейное производство. – 1976. - №9. – С.18

52. Немененок Б.М. О расширении области применения вторичного сплава АК5М2 / Б.М. Немененок, А.М. Галушко, М.И. Стриженков [и др.] // Металлургия. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – Вып. 19. –С. 40-41.

53. Могилев, В.К. Справочник литейщика [Текст] / В.К. Могилев, О.И. Лев. — М.: Машиностроение, 1988. -272 с.

54. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов: Справ. изд. / [А.Г. Пригунова, Н.А. Белов, Ю.Н. Таран и др.]. – М.: МИСИС, 1996. – 174 с.