

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування інституту, факультету)

Композиційних матеріалів, хімії та технологій

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Оптимізація технології модифікування силумінів

Виконав: студентка 2 курсу, групи БАДз219сп

Спеціальності 132- Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Композиційні та порошкові матеріали, покриття

Ванярха Т.В

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. Волчок І.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., професор Нетребко В.В

(прізвище та ініціали)

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 Композитні матеріали, сім'я та технології
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 132 "Матеріалознавство"
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Композитні та інформативні матеріали, покриття
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Міняєв О.А.
 « 1 » лютого 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Ваняраки Тетяна Віталіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Оптимізація технології модифікування емальних емальних

керівник проєкту (роботи) Волошок Іван Петрович, д-р техн. наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 29 » листопада 2019 року № 142

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.12.2020р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Технологія розробки модифікувальної обробки одержаних із вторинної сировини емальних емальних

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Вплив лежачих елементів на властивості емальних. Підвищення якості емальних. Методи підвищення якості. Мета і задачі роботи. Матеріали та методи досліджень. Оптимізація технології модифікування вторинних емальних. Особливі умови. Економіко-організаційна частина. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Креслення проби для виготовлення зразків. 2. Мікроструктура емальних. 3. Графік впливу Fe і модифікатора на міцність, твердість та тиск. 4. Залежність між оптимальною концентрацією модифікатора і механічними властивостями емальних АКМЗ.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1-3. Технол.	Валерок Т.П., професор	11.09.16.12.2020	11.09.16.12.2020
4. Окр.праці	Вілімов Ю.В., доцент	12.10.12.2020	12.10.12.2020
5. Економік	Левенко Ч.М., професор	14.12.12.2020	14.12.12.2020
6. Маркетинг	Акімов Ч.В., доцент	16.12.12.2020	16.12.12.2020

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	01.09 - 23.09.2020р	
2	Матеріали та методи досліджень	12.10.2020р	
3	Оптимізація механізму модернізації виробничих процесів	30.11.2020р	
4	Оформлення праці на безпеку у надзвичайних ситуаціях	10.12.2020р	
5	Економіко-організаційна частинка	14.12.2020р	
6	Оформлення дослідницької частинки	16.12.2020р	

Студент(ка)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

(підпис)

Валерок Т.В.

(прізвище та ініціали)

Валерок Т.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 66 с, 10 рис., 10 табл., 70 літературних джерел.

Предмет дослідження – структура вторинного сплаву, його механічні властивості.

Об'єкт дослідження - вторинний силумін АКМ2 з різним вмістом заліза.

Мета роботи – підвищення якості вторинних силумінів за рахунок визначення оптимальної кількості модифікатора в залежності від вмісту заліза в їх хімічному складі.

Метод дослідження – теоретичний і експериментальний.

В роботі досліджено вплив рафінувально-модифікувального комплексу на структуроутворення та механічні властивості вторинного силуміну АК9М2, визначена необхідна кількість модифікатора в залежності від вмісту заліза у його складі для отримання оптимальної структури та механічних властивостей.

Ключові слова: ВТОРИННІ СИЛУМІНИ, МОДИФІКУВАННЯ, СТРУКТУРА ПЕРВИННИХ І ВТОРИННИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ, ІНТЕРМЕТАЛІДИ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

ABSTRACT

The diploma work consists of 66 pages, 10 figures, 10 tables, 70 literary sources.

The subject of the study is the secondary alloy structure, its mechanical properties.

The object of the study is secondary alloy AK9M2 with different iron content.

The research method is theoretical and experimental.

The influence of the refining-modifying complex on the structure formation and mechanical properties of secondary silumin AK9M2 is investigated, the required amount of modifier depending on the iron content in its composition is determined to obtain the optimal structure and mechanical properties.

Keywords: SECONDARY SILUMINES, MODIFICATIONS, STRUCTURE OF PRIMARY AND SECONDARY ALUMINUM ALLOYS, INTERMETALIDES, MECHANICAL PROPERTIES.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1 Методи підвищення якості вторинних силумінів.....	10
1.1 Класифікація алюмінієвих сплавів.....	10
1.2 Вплив легуючих елементів і домішок на властивості силумінів.....	12
1.3 Підвищення якості силумінів.....	15
1.3.1 Фізичні методи.....	15
1.3.2 Металургійні методи.....	17
1.3.3 Методи рафінування.....	18
1.3.4 Методи модифікування.....	20
1.4 Мета і задачі роботи.....	23
Розділ 2 Матеріали та методи досліджень.....	25
2.1 Матеріал та технологія отримання сплаву.....	25
2.2. Хімічний склад.....	27
2.3 Металографічні дослідження.....	28
2.4 Механічні властивості.....	28
Розділ 3 Оптимізація технології модифікування вторинних силумінів.....	30
3.1 Аналіз структури.....	30
3.2 Вплив вмісту заліза і присадки модифікатора на механічні властивості силуміну АК8М2.....	32
Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	37
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	37
4.2 Заходи по забезпеченню безпеки	38
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	39
4.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	44
4.4.1 Заходи з пожежної безпеки	44
4.4.2 Заходи з цивільного захисту.....	45
Розділ 5 Економіко-організаційна частина.....	48

5.1 Інноваційна ідея проекту та потенційний ринок.....	48
5.2 Ідентифікація стейкхолдерів.....	50
5.3 Визначення життєвого циклу проекту.....	52
5.4 Визначення витрат по проєкту.....	53
Висновки.....	58
Перелік джерел посилань.....	59

ВСТУП

Завдяки своїм фізичним, механічним і технологічним властивостям алюміній та його сплави посідають друге місце після заліза і перше серед кольорових металів у загальному світовому виробництві металів. Зараз використовуються два основних способи виробництва алюмінію: методом електролізу одержують первинний алюміній і методом переплаву алюмінієвого брухту і відходів ливарного виробництва – вторинний алюміній. Перший метод характеризується високими витратами матеріалів, електроенергії і робочої праці та високими показниками якості алюмінію; другий метод – малою вартістю вихідної сировини у поєднанні з невисокою якістю алюмінію та його сплавів. Основними причинами невисокої якості вторинних алюмінієвих сплавів є підвищений вміст заліза, інших небажаних металів та водню у їх складі. Це призводить до формування грубокристалічної структури з включеннями інтерметалідів несприятливої форми та до підвищеної пористості відливок.

Вітчизняними та зарубіжними вченими розроблено чимало методів підвищення якості алюмінієвих сплавів, які одержано із вторинної сировини (деякі з цих методів розглянуто в літературному огляді). Аналіз літературних джерел показав, що найбільш технологічними та економічними методами є процеси рафінування і модифікування алюмінієвих сплавів в процесі плавки та розливання рідкого металу.

Співробітниками «Запорізької політехніки» розроблено та запатентовано склади модифікаторів [1, 2, 3, 4], які надають можливості ефективного рафінування рідкого металу та формування щільної, майже безпористої, дрібнозернистої структури силумінів. В результаті цього одержано наближення механічних властивостей вторинних силумінів до значень сплавів із первинної сировини.

Але залишається відкритим питання, щодо відсутності чіткої залежності між величиною присадки модифікатора і механічними властивостями.

Встановлено, що залежності присадка модифікатора – механічні властивості мали форму кривих з максимумами, величина котрих залежала в основному від вмісту заліза в сплаві та від методу додавання присадки модифікатора в рідкий метал.

У зв'язку з цим мета роботи полягала в оптимізації технології модифікування вторинних силумінів, та у визначенні величини оптимальної присадки модифікатора, котра забезпечує найбільш високі значення міцності, пластичності та твердості силуміну АК9М2 з різним вмістом заліза.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ

Алюмінієві сплави завдяки високим технологічним, механічним і службовим властивостям, а також низької щільності мають досить широке застосування (після сталей та чавунів) у великій кількості галузей промисловості завдяки можливості зниженню металоємності вузлів, механізмів і конструкцій. Наприклад, вагони у залізничному транспорті Європи на 80% виготовлені з алюмінієвих сплавів [5]. В морському транспорті заміна матеріалу деталей на більш легкий сплав дозволяє збільшити швидкість надводних човнів, змінити характеристики гідродинамічного опору і відповідно отримати більш економічних режим експлуатації [6]. В машинобудуванні заміна чавунних деталей (шків, диски, робочі колеса і лопатки вентиляторів, різного роду кришки та корпуси механізмів, патрубки, колектори) на алюмінієві призводить до зниження маси деталей, зменшення інерційних сил і вібрацій машин і витрат на механічну обробку [7]. Зараз постійно збільшуються об'єми використання алюмінію в авіабудуванні, будівництві та багатьох інших галузях.

1.1 Класифікація алюмінієвих сплавів

Сьогодні алюмінієві сплави поділяють на: ливарні; деформовані та спечені (отримані методами порошкової металургії). За даними В.С. Золоторевського і Н.А. Белова [6] на частку ливарних сплавів доводиться від 20 до 30% від усього виробленого в світі алюмінію.

Найбільш поширеними ливарними сплавами є силуміни (близько 90% [6]), які бувають наступних систем легування: Al-Si (прості або подвійні силуміни), Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg, Al-Si-Mg. Доля силумінів серед ливарних сплавів складає до

90% (від усієї номенклатури) завдяки високій технологічності при литті, невисокій собівартості та добрими фізико-механічними властивостями. Для фасонного лиття також знаходять застосування сплави на основі систем: Al-Cu, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg. Це пояснюється їх високими механічними та технологічними властивостями, а також низькою вартістю.

Конкурентоспроможність алюмінію визначається не тільки його властивостями, а й можливістю повторного використання. В даний час розширення обсягів виробництва виробів з первинних алюмінієвих сплавів стримується великими витратами електроенергії на всіх стадіях технологічного процесу та забрудненням навколишнього середовища. Тому все більш широке застосування знаходять вторинні алюмінієві сплави. За даними автора роботи [8], на виробництво 1 т сплавів із вторинної сировини електроенергії витрачається приблизно в 20 разів менше, а вихідної сировини в десятки разів менше, ніж на виробництво 1 т сплавів з первинних матеріалів, при цьому собівартість зменшується в декілька раз. Головними галузями, які постачають скрап і лом, що містить алюміній є транспорт, машинобудування, будівництво та харчова промисловість [6]. Характерною особливістю процесу при цьому є значне за обсягом (70 ... 80%) використання вторинної сировини (брухту, стружки, ливників). Це позитивно позначається на собівартості сплавів, але погіршує їх якість. Більш низька якість вторинних алюмінієвих сплавів пояснюється підвищенням вмістом шкідливих домішок: неметалевих, газів, заліза, магнію, олова, свинцю, цинку та інших металів.

В даний час у світі розподіл сплавів на первинні і вторинні зустрічається не завжди. В Україні існує ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93) «Сплави алюмінієві Ливарні. Технічні умови ». Однак аналіз літературних джерел показав, що вторинні сплави по технологічним, механічним і службовим властивостям поступаються первинним, тому питання позначення отримання сплаву зі вторинної сировини та підвищення їх якості залишаються актуальними до теперішнього часу.

1.2 Вплив легуючих елементів і домішок на властивості силумінів

Широке застосування в промисловості ливарних алюмінієвих сплавів – силумінів, обумовлено сприятливим поєднанням ливарних, механічних, та експлуатаційних властивостей.

Основним елементом в силумінах є кремній, його зміст змінюється від 4 до 22%. За вмістом кремнію силуміни діляться на доевтектичні (4 ... 9% кремнію), евтектичні (10 ... 13% кремнію), заевтектичні (14...22% кремнію) [9]. При кімнатній температурі розчинність кремнію в алюмінії менше 0,1%, з підвищенням температури його розчинність збільшується, досягаючи при евтектичній температурі (577°C) 1,65% [10]. Внаслідок малої розчинності, кремній слабо зміцнює силуміни за твердо-розчинним механізмом, але утворюючи евтектики він сприяє зміцненню за дисперсійним механізмом. Внаслідок цього сплави системи Al-Si відносяться до сплавів, які не піддаються термічній обробці.

Подвійна евтектика алюміній-кремній має грубу структуру [11]. В алюмінієвій матриці кремнію виділяється у вигляді пластин або голок великих розмірів. Форма і розміри включень частинок кремнію в евтектиці досить значно впливають на властивості особливо доевтектичних силумінів. Тому при отриманні сплаву намагаються подрібнити кристали кремнію. Це можливо зробити двома способами: при кристалізації сплаву, збільшенням швидкості охолодження; введенням елементів-модифікаторів, які змінюють форму і величину структурних складових евтектики.

Наприклад в роботі [12] показано, що перегрів розплаву АЛ2 (АК12) до 770°C і охолодження зі швидкістю 103°C/с призвели до зменшення часток кремнію і відстані між ними. Найбільш високим рівнем властивостей (міцністю і пластичністю) володіли сплави, що мали компактні, дрібнодисперсні кристали евтектичного кремнію [13]. Збільшення дисперсної кремнієвої складової евтектики в 2 рази досягалося введенням в сплав АК5М2 нітриду титану в

кількості 0,014% [14]. При цьому відносне подовження дорівнювало 2,3%, а межа міцності - 300 МПа.

Збільшення вмісту кремнію призводить до збільшення об'ємної частки евтектики (Al) + (Si) і, як наслідок, до поліпшення ливарних властивостей [13]. Величина нижньої межі по кремнію зумовлена необхідним мінімальним рівнем ливарних властивостей, а верхнього - мінімальним допустимим рівнем пластичності.

Основними легуючими елементами силумінів є Cu, Mg, Zn. Легування та термічна обробка дозволяють змінювати структуру та властивості алюмінієвих сплавів за рахунок різної розчинності елементів в матриці, утворенню інтерметалідних фаз та зміни їх форми та розмірів. За даними авторів [15, 16] до групи допоміжних легувальних елементів можна віднести Mn, Cr, V, Ti, Zr, Mo, Ni, Nb. Ці елементи забезпечують додаткове зміцнення, подрібнюють структуру, підвищують технологічну пластичність та жароміцність сплавів за рахунок утворення комплексних інтерметалідів каркасного типу.

Додатково можна виділити елементи, які мають низьку розчинність в твердому алюмінію (Na, K, Li, Be, Ca, Sr, Ba, Bi, Cd). У вигляді мікродомішок вони покращують технологічні властивості [17].

До шкідливих домішок відносяться Fe, Sn, Pb, наявність яких призводить до підвищенню крихкості сплаву.

Вміст міді в силумінах коливається від 1,0% до 8,0%. Цей елемент забезпечує можливість істотного дисперсійного зміцнення в результаті старіння після гартування, при якому виділяються дисперсні частки фаз, що містять мідь, наприклад, Al_2Cu . Недоліком міді є те, що вона призводить до зменшення корозійної стійкості сплавів. Також підвищуються механічні властивості сплаву системи Al-Si-Cu, а збільшення вмісту міді до 10% призводить до збільшення рідинноплинності на 14% [18].

Магній, у порівнянні з іншими легуючими елементами, найбільш сильно впливає на механічні властивості силумінів, тому його концентрація знаходиться

в досить вузьких межах. Вміст магнію в силумінах становить приблизно 0,2 ... 0,6% (іноді до 1%) [15]. При старінні виділяється фаза Mg_2Si , яка зміцнює сплав.

Цинк в силумінах може виступати як в якості легуючого елемента (до 12% практично повністю розчиняється в алюмінії), так і в якості домішки. За даними А.Г. Пригунової [19], збільшення вмісту цинку в сплаві з 1,5% до 8,0% і зміна швидкості охолодження призведе до зміни складу фаз і їх об'ємної частки, що призводить до зміни властивостей сплаву. За даними роботи [18], цинк до 2,5% не впливав на рідинноплинність. В той же час автори роботи [20] наводили дані, що цинк від 0,4% до 1,5% збільшував рідинноплинність з 470 до 510 мм сплаву АК5М2, а також зменшував лінійну усадку.

Залізо належить до основних шкідливих домішок в алюмінієвих сплавах, внаслідок його дуже малої розчинності. При 0,005% заліза в алюмінієвих сплавах утворюється інтерметаліди Al_3Fe [21]. Підвищений вміст заліза в алюмінієвих сплавах може призводити до утворення фаз різного складу: α (Al_8SiFe_2), β (Al_5SiFe), Al_4SiFe , γ (Al_3SiFe), $Al_8Si_6Mg_3Fe$, Al_7Cu_2Fe та ін. Вважається, що одним з найбільш шкідливим є включення Al_5SiFe , яке випадає у вигляді первинних кристалів і має пластинчасту форму [22].

За даними Л.Ф. Мондольфо [22], процес кристалізації силумінів починається з появи залізовмісних фаз. Зі збільшення вмісту заліза у вторинному силуміну з 0,40 до 1,45 мас. % призводило до збільшення об'ємної частки залізовмісних фаз з 4,17 до 11,89% і їх укрупнення [23]. При вмісті заліза в сплаві до 2% різко погіршуються механічні (межа міцності, відносне подовження, твердість) [24, 25, 26] і ливарні [27] властивості алюмінієвих сплавів.

Марганець, молібден, нікель в якості легуючих елементів вводять у вторинні силуміни для нейтралізації негативного впливу заліза. Введення марганцю в кількості 4,5% призводить до зниження вмісту заліза в сплаві з 1,5 до 0,5%. Процес видалення заліза відбувався в результаті виділенні важкоплавких сполук типу $Mn_xFe_yAl_z$ при відстоюванні або фільтрації [28]. Згідно з результатами досліджень [29] додавання молібдену до сплаву системи Al-Cu-Si

сприяло утворенню фази Al_5SiFe у формі китайських ієрогліфів, що призводило до збільшення ударної в'язкості литого сплаву з $2,28 \cdot 10^4$ до $3,5 \cdot 10^4$ Дж/м².

Натрій і стронцій використовуються для модифікування евтектики, первинних кристалів кремнію і залізовмісних фаз [30]. Можуть використовуватися як в чистому вигляді, так і у вигляді сполук фтористих і хлористих солей, які входять до складу рафінуючих флюсів [31]. До недоліків застосування натрію відносяться: короткочасність модифікувального ефекту, виділення шкідливих фтористих і хлористих сполук, зниження рідиноплинності сплавів. Згідно даних авторів робіт [32, 33] стронцій може збільшувати газонасиченість розплаву, що призводить до збільшення пористості.

Загальновизнаним модифікаторами первинних кристалів кремнію є фосфор та сірка [13, 22]. Одночасне застосування сіркою і стронцієм покращує ефект модифікування, впливаючи не тільки на евтектичний кремній, а і на залізомістку фазу [34].

1.3 Підвищення якості силумінів

Існують різні методи поліпшення структури і підвищення службових і механічних властивостей вторинних силумінів. Залежно від механізму впливу їх можна розділити на фізичні і металургійні методи.

1.3.1 Фізичні методи

До фізичних методів впливу на ливарні сплави відноситься температура перегріву. Дослідження [35], проведені алюмінієвих сплавах з вмістом від 6 до 12% Si, показали, що підвищення температури кокиля з 25 ° С до 250°C і заливка

при температурі 1050°C з витримкою протягом однієї години в атмосфері пара, сприятливо позначилися на герметичності виливків. Досягти тонкого подрібнення зерна кремнію на рівні структури модифікованого сплаву без застосування модифікаторів змогли дослідники в роботі [37] за рахунок перегріву однієї частини шихти (силумін АК12пч) до 900°C, охолодження другої частини (А8, Al-Ni, Al-Mn, Mg95) до 680°C, потім змішування і доведення до 730°C.

Отримання дрібнозернистої структури силумінів можливе також за рахунок використання в шихті 50% триразового кокільного повернення [38]. Автори робіт встановили, що такий метод при виплавці сплаву ВАЛ8 призвів до підвищення відносного подовження сплаву на 90%, межі міцності на 9 ... 11%. Отримані результати узгоджуються з даними робіт [39, 40], в яких невелика кількість дрібнокристалічної шихти в розплаві слугувала зародками при кристалізації і забезпечила формування дрібнозернистої структури сплаву. Згідно теорії В.І.Нікітіна [39] алюмінієві сплави мають спадковість, що дозволяє зберігати дрібнозернисту структуру і механічні властивості силумінів при подальших переплавах.

Лиття з кристалізацією під тиском [41, 12] при виготовленні виливків зі сплавів А7, АЛ2 призвело до збільшення числа центрів кристалізації, і як наслідок, подрібнення структури. В процесі трьох переплавок вимірювали лінійну усадку і відносне подовження. Ці показники у евтектичних силумінів залишалися практично незмінними, що свідчило про спадковість сплавів. Було отримано збільшення межі міцності на 60%, відносного подовження в 3 рази, твердості на 20% в порівнянні зі зразками, відлитими в кокіль.

Є.І. Маруковіч встановив, що при додаванні в шихту виливків, отриманих шляхом переробки великокристалічної шихти методом лиття затвердіння при гартуванні, покращилася структурна спадковість заготовок, в 2 ... 5 разів подрібнилася структура силумінів, а їх механічні властивості збільшилися на 30 ... 50% [43, 44]. Запропонована технологія також значно поліпшила екологічну обстановку в цеху.

Також в літературних джерелах зазначено, що з метою підвищення ефективності рафінування та модифікування сплавів, в тому числі і алюмінієвих сплавів, знаходять застосування інші методи: барботажний, електромагнітний, механічний, пульсаційний та інші.

1.3.2 Металургійні методи

Властивості силумінів значною мірою визначаються якістю шихти [45,46]. Вторинні шихтові матеріали внаслідок забруднення маслами, залізом, пластмасами та іншими домішками мають нижчі механічні та технологічні властивості, ніж силуміни з первинної сировини. Одним із забруднюючих шихтових матеріалів є стружка. За даними різних авторів, вплив стружки, що входить до складу шихти, неоднозначний. Д.М. Біленький з співавторами [47] встановили, що при збільшенні вмісту стружки з 0 до 20%, межа міцності збільшувався з 177 до 209 МПа, щільність - з 2,736 до 2,745 г / см³. При цьому оптимальна кількість стружки, на думку авторів, дорівнює 5%. Більшість авторів [48,49] вважають, що для отримання алюмінієвих сплавів підвищеної чистоти, необхідна попередня підготовка стружки (наприклад спочатку очистити стружку від магнітних включень (сталі і чавуну) магнітними сепараторами, а потім, для видалення розчинених газів і неметалевих включень, продути алюмінієвий розплав модифікатором в дисперсному вигляді за допомогою азоту або аргону). Або в роботі [49] запропонована технологія термофлюсового переплавлення. Знизити витрати за матеріалами і енергії, відмовитися від дорогого устаткування може спосіб переплавлення стружки в середовищі рідкого або твердорідкого металу близького за складом до стружки..

1.3.3 Методи рафінування

Плавка і лиття алюмінієво-кремнієвих сплавів супроводжуються окисленням розплаву і розчиненням в ньому газів, в результаті чого сплави забруднюються неметаллическими включеннями. Неметалеві включення, розташовуючись на кордонах зерен, сприяють зниженню механічних і технологічних властивостей силумінів [50]. Алюміній має велику спорідненість до кисню, підвищену схильність до газонасичених, що призводить до забруднення розплаву оксидами. Також основним дефектом алюмінієвих сплавів може бути пористість, викликана підвищеним вмістом водню (джерело - волога, що міститься в футеровці печей і ковшів, флюсах і шлаках, мастильні матеріали)

Для зниження негативного впливу неметалевих включень і газів проводять операцію рафінування. Всі методи рафінування засновані на виконанні двох необхідних умов: виділення домішок в самостійну фазу і максимальне відділення цієї фази від рідкого розплаву.

Найбільш простим і широко використовуваним методом рафінування є відстоювання розплаву. Легкі частинки домішок і бульбашки газів в обсязі розплаву спливають на його поверхню, важкі осідають на дно печі. Недоліком цього методу є тривалість процесу відстоювання, що знижує продуктивність роботи цеху, а також залежність ступеня рафінування від вологості атмосфери в цеху. На виробництві найбільш часто використовують три технологічних прийому: обробку розплаву флюсами, продування його інертними і активними газами, фільтрацію.

Рафінування флюсами полягає в фізико-хімічній взаємодії флюсів з неметалевими включеннями і газами, що знаходяться в розплаві. Найбільш широке поширення знайшли флюси на основі фтористих і хлористих солей натрію і калію. Застосування флюсів складів:

- 1) 44% NaCl + 44% KCl + 12% NaF ($T_{пл} = 610^{\circ}C$),
- 2) 42% NaCl + 42% KCl + 16% NaF ($T_{пл} = 620^{\circ}C$),

3) 47,25% NaCl + 47,25% KCl + 5,5% KF ($T_{пл} = 640^{\circ} \text{C}$)

при виплавці сплаву АЛ32 (АК8М) зменшило газовміст сплаву в порівнянні з існуючим на 1 ... 2 бали пористості [51]. У виливках не було виявлено шлакових включень, а механічні властивості відповідали вимогам стандарту. Але сполуки хлору, фтору - високотоксичні речовини, які погіршують екологію. Тому використання цих газів обмежена.

Використання інертних або активних газів для продувки розплаву є адсорбційним методом рафінування. Для цілей рафінування можуть бути використані аргон, азот, хлор, фтор, фреон та ін. [52-55]. Нетоксичним газом є азот, його вартість на порядок нижче вартості аргону. Також може бути використана суміш чадного газу (CO) з азотом.

Останнім часом все більш широке застосування в рафінувально-модифікуючих комплексах знаходить сірка та її сполуки. Рафінувальна дія сірки полягає в отриманні сірководню, а також великої кількості газоподібної сірки ($T_{кип} = 445^{\circ} \text{C}$), що реалізує механізм хімічного адсорбційного рафінування. В роботі [56] сплав АК5М4, виплавлений з низькосортних шихтових матеріалів, був оброблений порошкоподібною сіркою в струмені азоту. Обробка алюмінієвого розплаву масою 500 кг добавкою 0,05% сірки викликала утворення пари сірки за обсягом в 1,5 ... 2 рази більше в порівнянні з обсягом аргону, що продувається протягом 10 хв через розплав тієї ж маси. Зміст водню зменшилася з $0,28 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ (при обробці розплаву універсальним флюсом) до $0,10 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$. Сірка також виступає в ролі модифікатора залізовмісних фаз. Це, за даними [56], призводить до збільшення рідиноплинності з 240 (обробка універсальним флюсом) до 300 мм (обробка сіркою).

Встановлено [57], що при введенні сірки, в складі сумішей або у вигляді сполук, забезпечувався найбільш високий рівень властивостей сплавів, тоді як порошкоподібна сірка в чистому вигляді інтенсивно випаровувалася, не забезпечуючи сталого рафінуючого ефекту. Введення сірки у вигляді сполук знизило в 8 ... 10 разів кількість газових викидів, що утворюються при модифікуванні [58]. Встановлено, що під дією сірки пластинчатая форма

залізовмісних фаз в алюмінієвих сплавах змінюється на рівновісну при відношенні Mn: Fe > 0,5.

Ще одним простим і ефективним методом рафінування є фільтрація. В якості фільтрів використовуються склотканина, гранули вогнетривких матеріалів, рідкий флюс і ін. В роботі [57] для фільтрування вторинного силуміну АК9М2 був застосований фільтр складу 50% CaF_2 + 50% MgF_2 . При використанні даного фільтра з розплаву пішли великі частки сполук заліза, об'ємна частка залізовмісних фаз склала 1,5% по відношенню до 2,7% (без фільтра), відбулося також модифікування кремнію евтектики, очищення розплаву від включень оксидів. Сприятливі структурні зміни призвели до підвищення пластичності сплаву.

Досить високої якості вторинних силумінів можливо досягти фільтруванням розплаву крізь пористі фільтри. В роботі [58] застосовано для АК9М2 фільтр зі сплаву фторидів (50% CaF_2 +50% MgF_2). Отримано підвищення межі міцності з 250 до 285 МПа і відносного видовження з 2,8% до 4,8% в литому стані, відбулося модифікування евтектичного кремнію, зниження в 2 рази кількості залізовмісних фаз, але розміри зерен збільшилися з 400 мкм до 2,0 мм.

1.3.4 Методи модифікування

Одним з ефективних і найбільш універсальних методів підвищення технологічних і механічних властивостей вторинних алюмінієвих сплавів є модифікування. Його основне завдання полягає в сприятливому зміні величини і форми структурних складових сплаву, при введенні в рідкий метал добавок-модифікаторів, які практично не змінюють хімічного складу сплаву. Ці добавки умовно розділені на дві групи: модифікатори I і II роду.

У першій групі в якості модифікаторів виступають хімічні елементи, які утворюють тугоплавкі сполуки, що кристалізуються в першу чергу. Виділяючись

у вигляді дисперсних частинок, ці сполуки (карбіди, нітриди, оксиди) є зародками кристалів, що виникають під час затвердіння. В якості модифікаторів I роду можуть виступати титан, ванадій, цирконій і ін.

До другої групи належать поверхнево активні елементи, які адсорбуються на кордонах зародився кристала і тим самим знижують швидкість його росту. Лужні і лужноземельні метали (натрій, калій) відносяться до цієї групи. Останнім часом, в якості модифікаторів доєвтектичних і евтектичних силумінів, широке поширення знайшли стронцій і сурма. Найбільш ефективним є використання комплексів, що складаються з декількох елементів-модифікаторів. У роботах В.З. Куцової [59-61] показано, що модифікування сплаву АК7ч комплексом, до складу якого входить 0,1% стронцію і 0,5% скандію, призводить до підвищення диференціювання евтектики, а також поліпшенню властивостей сплаву - підвищення межі міцності в 1,7 ... 2,0 рази, твердості в 1,5 ... 1,8 рази, при рівні пластичних властивостей немодифікованого силуміну. Застосування потрібний лігатури $Al + 2,2\% Si + 10\% Sr$ при модифікуванні сплаву АЛ4 (АК9ч) забезпечувало отримання рівномірної структури, що містить розгалужені дендрити твердого розчину і тонкодиференційованої евтектики [62]. Інтерметаллідні включення зі стронцієм розташовувалися по межах зерен, не знижуючи при цьому показників механічних властивостей сплаву.

В якості модифікаторів алюмінієвих сплавів можуть використовуватися лігатури алюмінію з перехідними металами. Добавки перехідних металів впливають на утворення пересичених твердих розчинів, змінюючи за рахунок цього розміри литого зерна. Згідно з результатами досліджень [63] застосування лігатур $Al-3\% Zr$ і $Al-2,5\% Ti$ для модифікування сплаву АЛ5М, призвело до подрібнення евтектичного кремнію, крім того титан і цирконій, що знаходилися в твердому розчині, сприяли зміцненню сплаву. Надлишкові алюмініди були відсутні, хоча сумарний вміст титану і цирконію становило 0,25%.

Використання дрібнокристалічної лігатури алюміній + титан для модифікування сплаву АК6М2, шихта якого складалася з 40% первинного чушкового сплаву АК6М2 і 60% власного повернення, збільшило вміст титану з

0,14 до 0,16 ... 0,17% [64]. Після обробки розплаву лігатурою модифікувальний ефект зберігався протягом 2 ... 3 год, спостерігалось подрібнення макроструктури сплаву. Такі зміни сприятливо позначилися на рівні технологічних і механічних властивостей. Показники границі міцності перебували на рівні 250 МПа, твердості 89 НВ, бал пористості знизився до 1 бала відповідно до ГОСТ 1583-93.

В даний час для підвищення якості ливарних силумінів використовується технологія обробки порошковими модифікаторами. Як добавок, що модифікують виступають частки карбідів, нітридів, боридів, оксидів металів, розміри яких становлять 100 нм і менш. Застосування таких модифікаторів забезпечує полегшення і екологічну безпеку технологічного процесу виплавки алюмінієвих сплавів. У роботах, проведених Н.С. Калініною зі співавторами, розроблений спосіб отримання нанокристалічних сполук карбиду кремнію, нітриду алюмінію, карбонітрида титану для модифікування сплавів, в тому числі і алюмінієвих [65]. В якості модифікатора для ливарних алюмінієвих сплавів АЛ2, АЛ4, АЛ4С використовувався дисперсний порошок карбиду кремнію. Комплексні дослідження з вивчення механічних і технологічних властивостей сплавів показали, що обробка розплавів дисперсним порошком карбиду кремнію сприяла: подрібнення макро- і мікроструктури сплавів, підвищенню механічних і технологічних властивостей. Межа міцності підвищилася на 3 ... 8%, відносне подовження на 19 ... 26%, рідинноплинність збільшилася на 0,8 ... 3,3%, щільність – на 1,5 ... 2,4%, спостерігалася висока тріщиностійкість, пористість склала 1 бал згідно ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93).

На даний час найчастіше застосовується комплексна обробка, що включає в себе процеси рафінування та модифікування для підвищення рівня механічних і технологічних властивостей вторинних алюмінієвих сплавів. Відомості про комплексну обробці силуміну АЛ4 наведені в роботі [66]. Введення в розплав 3% шихтових матеріалів, закристалізованих під тиском, призвело до зменшення розмірів дендритів і підвищення межі міцності, обробка розплаву 0,5% флюсовим модифікатором привела до подальшого подрібнення структури евтектики і збільшення її об'ємної частки до 50%. В результаті було досягнуто підвищення

пластичності, рідиноплинності, подовжено збереження модифікуючого ефекту до 1,5 ... 2 год.

Комплексна обробка, яка полягає в плавленні силуміну АК12М2 під покривним флюсом (суміш хлоридів і фторидів лужноземельних металів) і подальша обробка рафінуючим флюсом і модифікатором (патенти України № 57584А, № 58793А) способом продувки через розплав за допомогою азоту запропонована А.А. Мітяєвим і І.П. Дзигною [67, 68]. Ця технологія забезпечила очищення розплаву від водню за рахунок його хімічного зв'язування і видалення по адсорбційно-флотаційному механізму, а також рафінування від неметалевих і шлакових включень. Структура литого металу мала рівномірний розподіл модифікованого евтектичного кремнію, залізовмісні фази придбали сприятливу форму китайських ієрогліфів і великих багатогранників, підвищилися механічні властивості.

Аналіз літератури показує, що дані про вплив якості шихти і процесів рафінування та модифікування на якість вторинних алюмінієвих сплавів часто є суперечливими. А для досягнення необхідного рівня механічних, технологічних та службових властивостей необхідний комплексний підхід до контролювання якості від сортування брухту та відходів до термічної обробки готових виробів. У зв'язку з цим необхідні дослідження з комплексного вивчення впливу якості шихти і рафінувально-модифікуючої обробки на механічні і технологічні властивості вторинних силумінів.

1.4 Мета і задачі роботи

З метою оптимізації технології модифікування вторинних силумінів потрібно виконати:

- виконати літературний огляд з питань підвищення якості алюмінієвих сплавів;

- в лабораторній печі виплавити силумін марки АК9М2 із вторинної сировини з різним вмістом заліза;
- виготовити зразки для металографічного аналізу і механічних випробувань з металу дослідних плавок;
- провести термічне оброблення за режимом Т6;
- провести механічні випробування;
- дослідити структуру силуміну;
- одержати залежності механічних властивостей від розміру присадки модифікатора і вмісту заліза в силуміні;
- зробити висновки за результатами роботи і пропозиції по оптимізації технології модифікування вторинних силумінів.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З ливарних алюмінієвих сплавів виготовляється широка номенклатура виробів, які працюють в різних умовах: при статичних або динамічних навантаженнях, в умовах підвищених температур або впливу агресивних середовищ і т.і. Але якість отриманих виробів та термін їх експлуатації буде залежати, в першу чергу, від вихідних механічних властивостей самого матеріалу: міцності, пластичності, твердості. На ці показники суттєвий вплив має хімічний склад та структура сплаву: кількість, форма та розподіл структурних складових, їх хімічний склад. Особливо ці чинники будуть впливати на механічні властивості вторинних силумінів, в складі яких присутня достатня кількість інтерметалідів, в тому числі залізо містких. Для отримання в структурі інтерметалідів більш компактної форми були використані методи рафінування та модифікування сплаву. Відповідно в роботі застосували наступні методи досліджень: аналіз мікроструктури на оптичному мікроскопі, стандартні механічні випробування для визначення межі міцності, відносного видовження та твердості литого металу; аналізувався вплив присадки модифікатора на механічні властивості сплаву в залежності від вмісту заліза.

2.1 Матеріал та технологія отримання сплаву

Об'єктом досліджень був вибраний сплав АК9М2, який на 100% складався із вторинної сировини. У якості шихти використали чушки вторинного сплаву АК9М2, додатки, зразки після механічних, корозійних та втомних випробувань цього сплаву, які залишилися на кафедрі КМХТ після виконання науково-дослідних госпдоговірних та дисертаційних робіт докторантів і аспірантів.

Шляхом сортування шихта загальною масою 25 кг була розподілена на 5 фракцій практично однакового хімічного складу за основними елементами, але зі зростаючим вмістом заліза (табл. 2.1). Маса кожної фракції складала біля 5 кг.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву АК9М2

№ фракції	Вміст елементів, мас. %								
	Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Al
1	9,81	2,36	0,24	0,051	0,083	0,078	0,011	0,0023	решта
2	9,73	2,35	0,61	0,052	0,080	0,077	0,012	0,0028	решта
3	9,77	2,37	1,11	0,050	0,082	0,081	0,011	0,0024	решта
4	9,80	2,36	1,50	0,050	0,083	0,084	0,012	0,0026	решта
5	9,75	2,34	2,10	0,052	0,079	0,079	0,012	0,0034	решта

Силумін АК9М2 виплавляли у чавунному тиглі під покривним флюсом складу 62 % NaCl, 13 % KCl, 25 % NaF в кількості 2 % від маси фракції рідкого металу. Після нагрівання до $715 \pm 5^\circ\text{C}$ з його поверхні видаляли флюс і обробляли модифікатором наступного складу : карбонат натрію (Na_2CO_3)- 10...20%; карбонат стронцію (SrCO_3) - 15...20%; карбід кремнію (SiC) - 12...20%; титан (Ti) - 3...8%; сірка (S) – залишок (патент №32929 [67]). Модифікатор додавали за допомогою спеціального пристрою «дзвоник».

Для підвищення присадки в модифікатора в сплаві одного хімічного складу (з постійним вмістом заліза) робили порційний відбір металу із ковша шляхом заливання вилівка масою 565 г (рис. 1.1), у відкриту суху пісчано-глинисту форму. Метал, який залишився в ковші, після одержання кожного із 5 виливків повторно модифікували, загальна кількість модифікатора при цьому складала 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 та 0,25% від маси металу в ковші. З нижньої частини вилівка вирізали зразки для металографічного аналізу та механічних випробувань (див. рис. 1.1).

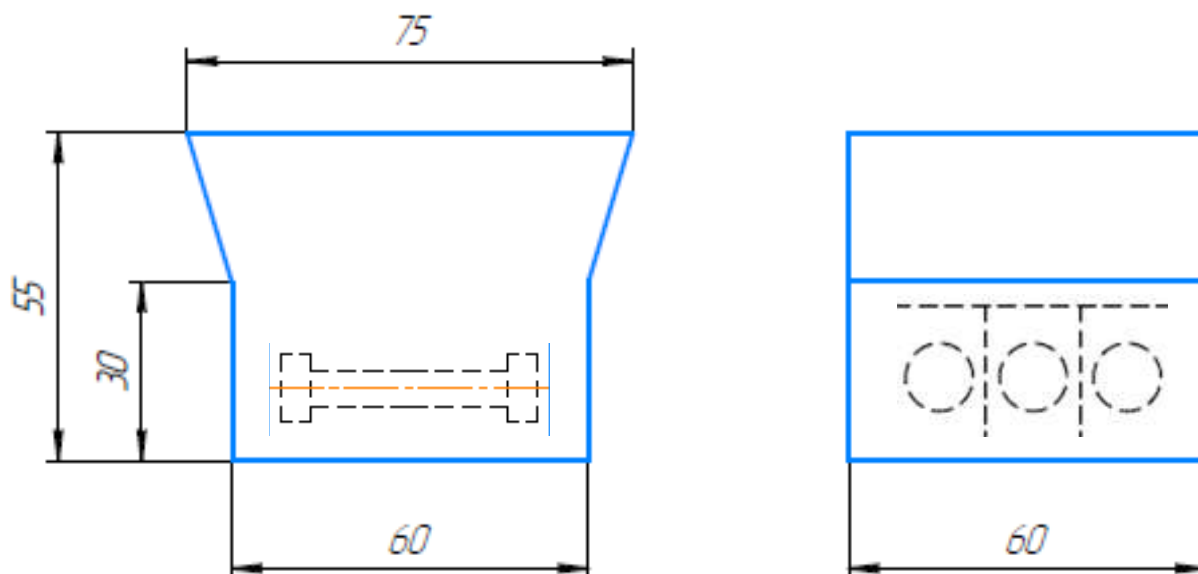


Рисунок 1.1 - Ескіз виливку (пунктирними лініями позначено місто, з якого виготовляли зразки $\varnothing 5$ мм, довжиною 25 мм для механічних випробувань)

Нижня частина виливка, з якої вирізали зразки, попередньо пройшла термооброблення за режимом Т6 (гартування 515 ± 5 °С, час витримки 6 год; старіння 200 ± 5 °С, час витримки 2 год) згідно з ДСТУ 2839-94 [68].

2.2. Хімічний склад

Зразки для контролю хімічного складу та випробувань на механічні властивості вирізалися з найбільш щільної частини чушки – нижньої. Для визначення хімічного складу сплаву з різним вмістом заліза застосували спектральний аналіз на іскровому спектрометрі, це дало змогу визначити вміст кожного елементу з точністю до $\pm 0,0001$ мас. %.

2.3 Металографічні дослідження

Для проведення металографічного аналізу структури сплаву були виготовлені зразки, які окрім шліфування та полірування додатково піддавалися травленню в водному розчині суміші кислот (2 мл HF, 1мл HCl, 1мл HNO₃, 80 мл H₂O) при кімнатній температурі [69]. Дослідження проводили на оптичному мікроскопі «SIGETA MM-700» при 200 кратному збільшенні (рис. 1.2)



Рисунок 1.2 – Оптичний мікроскоп для металографічних досліджень

2.4 Механічні властивості

Випробування для визначення межі міцності σ_B та відносного видовження δ проводили на циліндричних зразках діаметром 5 мм та довжиною робочої частини 25 мм згідно ГОСТ 1497-84. В якості обладнання використали розривну

машину ИР- 100. Твердість зразків зі вторинного силуміну визначали за методом Роквелла (шкала В) згідно ГОСТ 9013-69. Для кожного зразку визначали середнє арифметичний показник з п'яти вдавлювань.

РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ МОДИФІКУВАННЯ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ

3.1 Структурний аналіз

Структуру вторинного силуміну АК9М2 досліджували після термічного оброблення за режимом Т6.

Металографічний аналіз показав, що сплав мав структуру характерну для доевтектичних силумінів. Вона складалася з α -твердого розчину кремнію в алюмінію α -Al та евтектики – механічної суміші, до складу якої відносилися α -Al з частинками кремнію та інтерметалідних включень. Частинки кремнію, в залежності від складу шихти та вмісту модифікатора мали різні розміри та форми: від компактної невеликих розмірів до крупних часток (рис. 3.1 а). Оскільки силумін є легованим, в структурі окрім вище згаданих фаз можуть знаходитися різноманітні інтерметаліди [22, 23]. Проаналізувавши літературні дані та отримані структури, зроблено висновок, що основним типом інтерметалідів були: залізовмісна фаза Al_5SiFe та фаза Al_2Cu , що містить мідь. Відомо [70], що фаза Al_5SiFe (рис. 3.1б) має пластинчасту форму, схильна до розшарування, слугує концентратором механічних напружень і, як наслідок, сприяє зниженню механічних властивостей. Найчастіше вона присутня в складі силумінів з підвищеним вмістом заліза. Застосування рафінувально-модифікувальної обробки силуміну АК9М2 з вмістом заліза 1,5% модифікатором [67] призвело до зменшення параметру форми (відношення довжини до товщини) інтерметалідних фаз (див. рис. 3.1 в, г) і трансформації їх у більш компактну форму. При достатній кількості модифікатора майже всі інтерметалідні фази мали компактну форму (див. рис. 3.1 д, ж). Такі перетворення та зниження пористості (за рахунок видалення газів, утворених при взаємодії з елементами комплексу, що у розплаві переходять в газоподібний стан) сприяло підвищенню механічних властивостей силуміну.

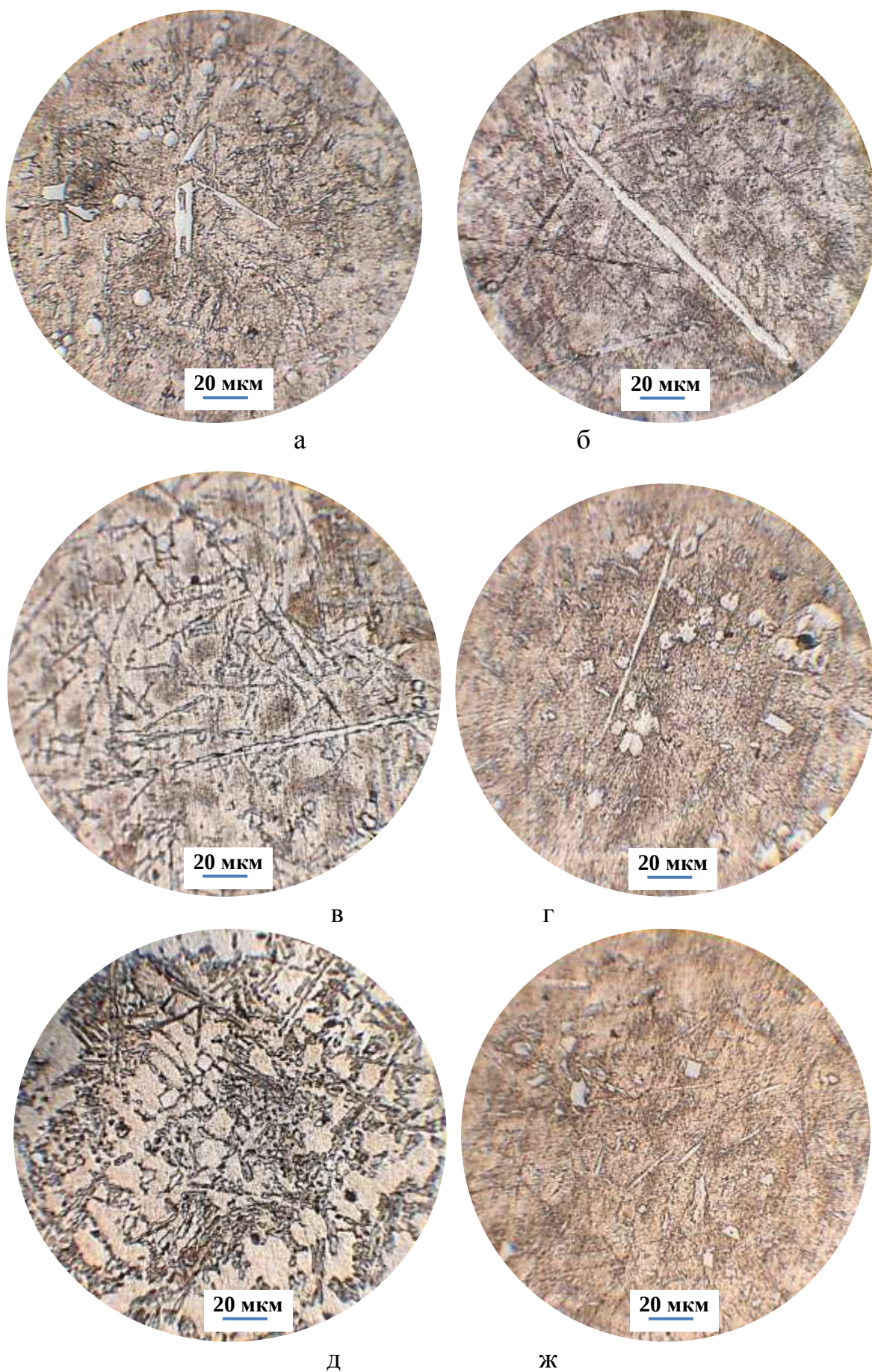


Рисунок 3.1 Вплив кількості модифікатора на структуру силуміну АК9М2:

а – 0,05%, б – 0,15%, в – 0,20%

3.2 Вплив вмісту заліза і присадки модифікатора на механічні властивості силуміну АК9М2

В таблиці 3.1 наведено результати механічних випробувань силуміну з вмістом заліза від 0,24% до 2,1%. Величина присадки модифікатора змінювалася від 0,05 до 0,25% від маси рідкого металу в ковші. З використанням даних, що наведено у таблиці 3.1, було побудовано графічні залежності межі міцності, відносного видовження і твердості від вмісту заліза і кількості модифікатора (рис. 3.1, 3.2, 3.3).

Таблиця 3.1 - Результати механічних випробувань після термічного оброблення за режимом Т6

Показник механічних властивостей	Вміст заліза, %	Значення властивостей при різному вмісті модифікатора				
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
σ_B , МПа	0,24	308	326	323	320	304
	0,61	337	350	349	337	318
	1,11	354	368	370	349	347
	1,5	249	266	275	278	268
	2,1	202	230	249	252	218
δ , %	0,24	2,1	2,4	2,3	2,2	2,1
	0,61	1,8	2,05	2,1	2,03	1,96
	1,11	1,6	1,75	1,82	1,83	1,8
	1,5	1,4	1,6	1,68	1,7	1,65
	2,1	0,9	1,0	1,1	1,15	1,1
HRB	0,24	34	38	38	37	35
	0,61	36	39	42	40	38
	1,11	40	43	46	45	44
	1,5	44	46	48	48	46
	2,1	48	49	50	52	52

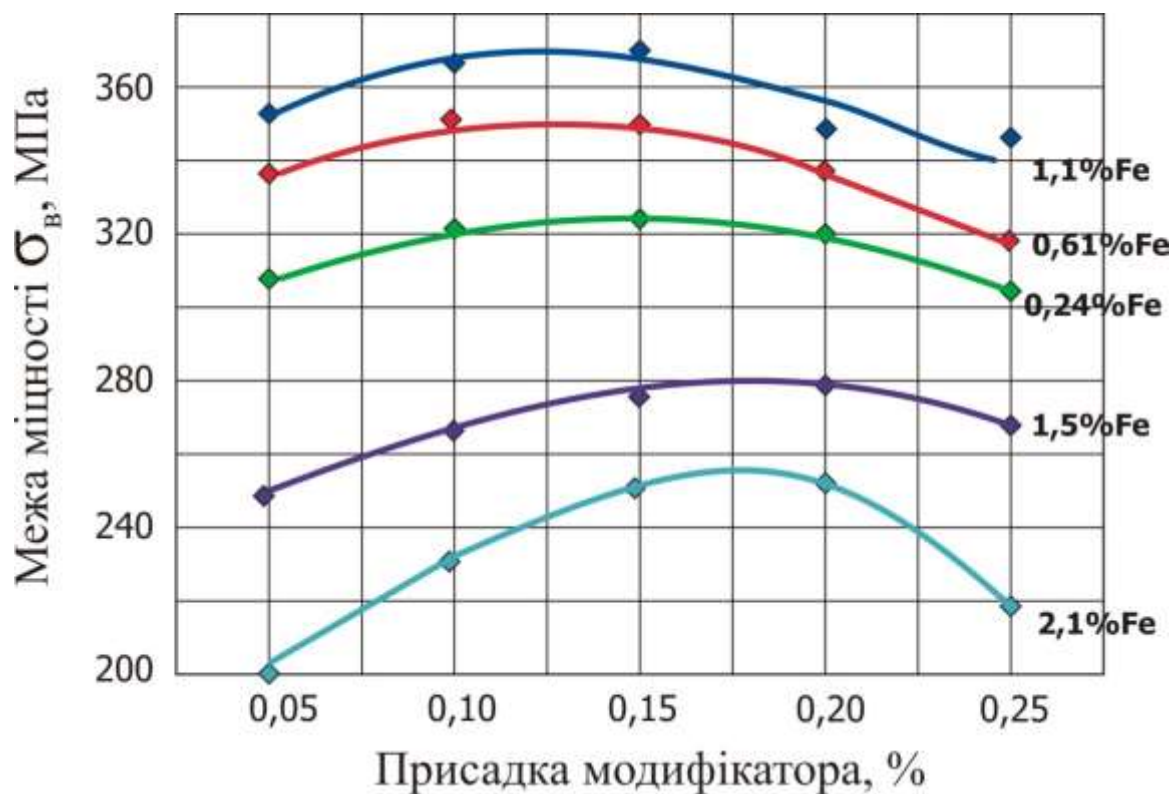


Рисунок 3.1 – Вплив вмісту заліза і присадки модифікатора на міцність силуміну АК9М2

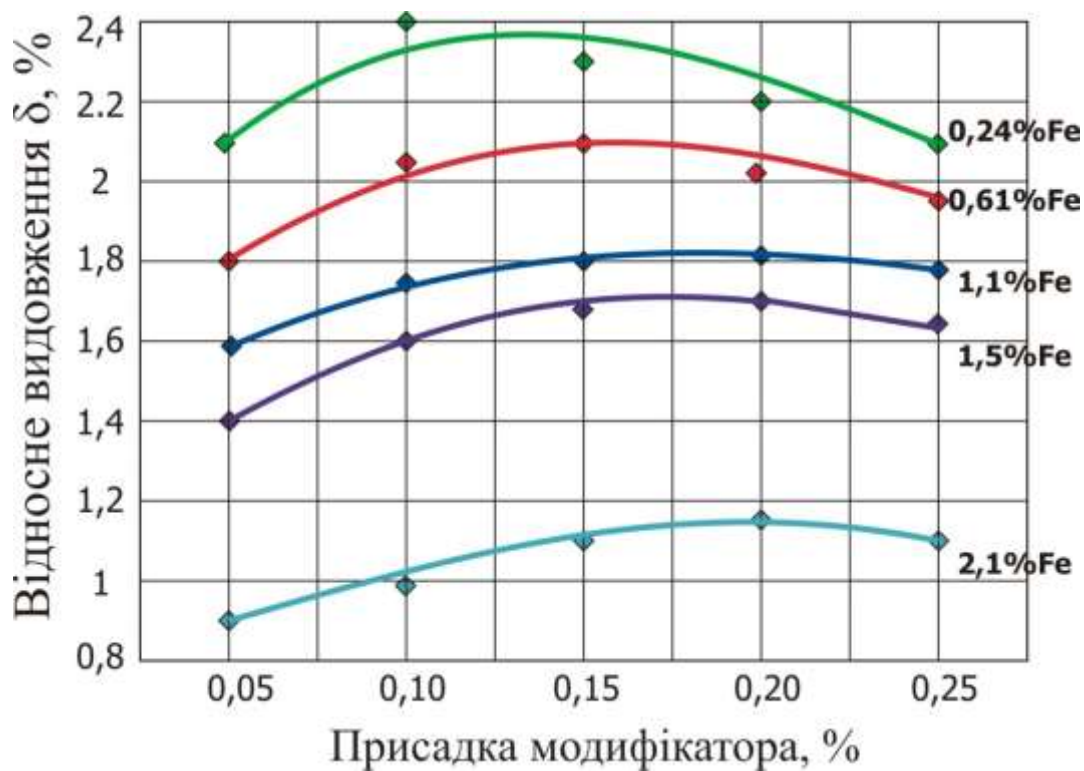


Рисунок 3.2 – Вплив вмісту заліза і присадки модифікатора на пластичність силуміну АК9М2

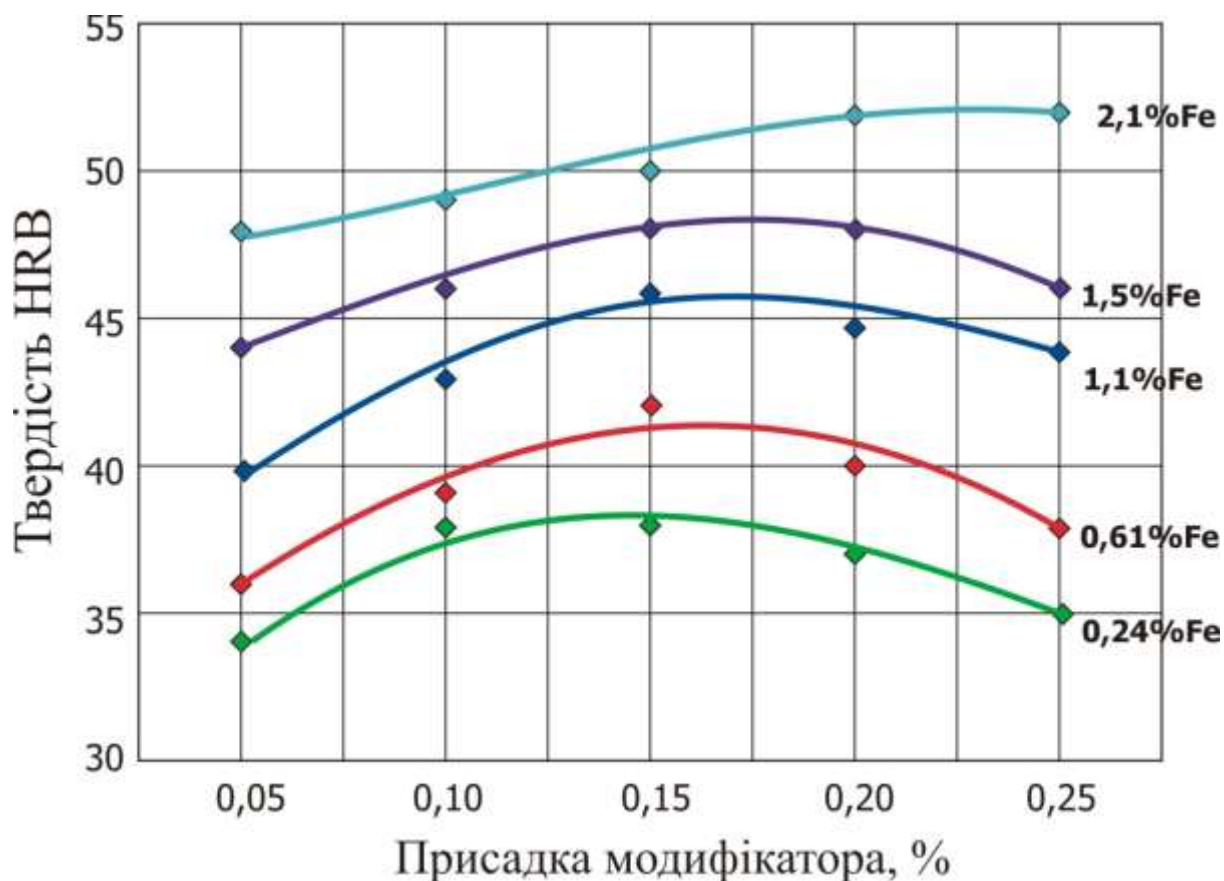


Рисунок 3.3 – Залежність твердості силуміну АК9М2 від вмісту заліза і присадки модифікатора

Аналіз наведених на рис. 3.1 результатів механічних випробувань дозволяє зробити наступні висновки:

- залежності межі міцності від величини присадки модифікатора мають вид кривих з максимумами;
- точка максимуму переміщається праворуч з підвищенням в силуміні вмісту заліза;
- наявність заліза в сплаві в інтервалі 0,24...1,11% призводить до підвищення міцності силуміну, при більш високих концентраціях – до зниження міцності.

Останнє пояснюється дисперсійним зміцненням силуміну залізовмісними фазами при концентрації заліза до 1,1%, а при більш високому вмісті заліза – зворотнім ефектом. При недостатній кількості модифікатора хоча і відбувалося

подрібнення інтерметалідних фаз, але їх параметр форми залишався несприятливим (у вигляді пластин), що і призводило до зниження міцності.

Залежності пластичності від присадки модифікатора також мали вид кривих з максимумами (див. рис. 3.2), при цьому зі зростанням вмісту заліза від 0,24 до 2,1% відносне видовження знижувалося з 2,4 до 0,9...1,1%. Точки максимумів відповідали присадкам модифікатора: 0,1; 0,15; 0,175 та 0,20%.

Зростання в сплаві заліза призвело до підвищення його твердості з 34 до 52 HRB(див. рис. 3.3). Значне підвищення твердості пояснюється зростанням в структурі силуміну залізовмісних фаз, котрі мають більш високу в порівнянні з матрицею твердість.

Отримані залежності механічних властивостей від вмісту заліза та застосованої кількості модифікатора та наявність екстремумів на графіках узгоджуються з результатами робіт інших дослідників.

Наступний етап роботи складався з визначення залежності оптимальної кількості присадки модифікатора для сплавів з різним вмістом заліза. Результати роботи представлені у вигляді графіків (рис 3.4). На рис. 3.4 експериментальні точки відповідають розміру присадки модифікатора, котрі забезпечили найбільш високі значення міцності, пластичності та твердості для силумінів з різним вмістом заліза. В цілому результати досліджень показали, що для забезпечення максимально можливого рівня механічних властивостей при зростанні вмісту заліза з 0,24 до 2,1% присадка модифікатора має зростати з 0,10 до 0,20% від маси рідкого металу.

В цілому, результати досліджень довели, що використання рафінувально-модифікувального комплексу для силумінів на стадії обробки розплаву дозволяє покращити структуру вторинних матеріалів, підвищити механічні властивості та якість отриманих виробів зі вторинної сировини. А рекомендації, стосовно кількості використовуваного модифікатора, сприятимуть більш простішому застосуванню на виробництві.

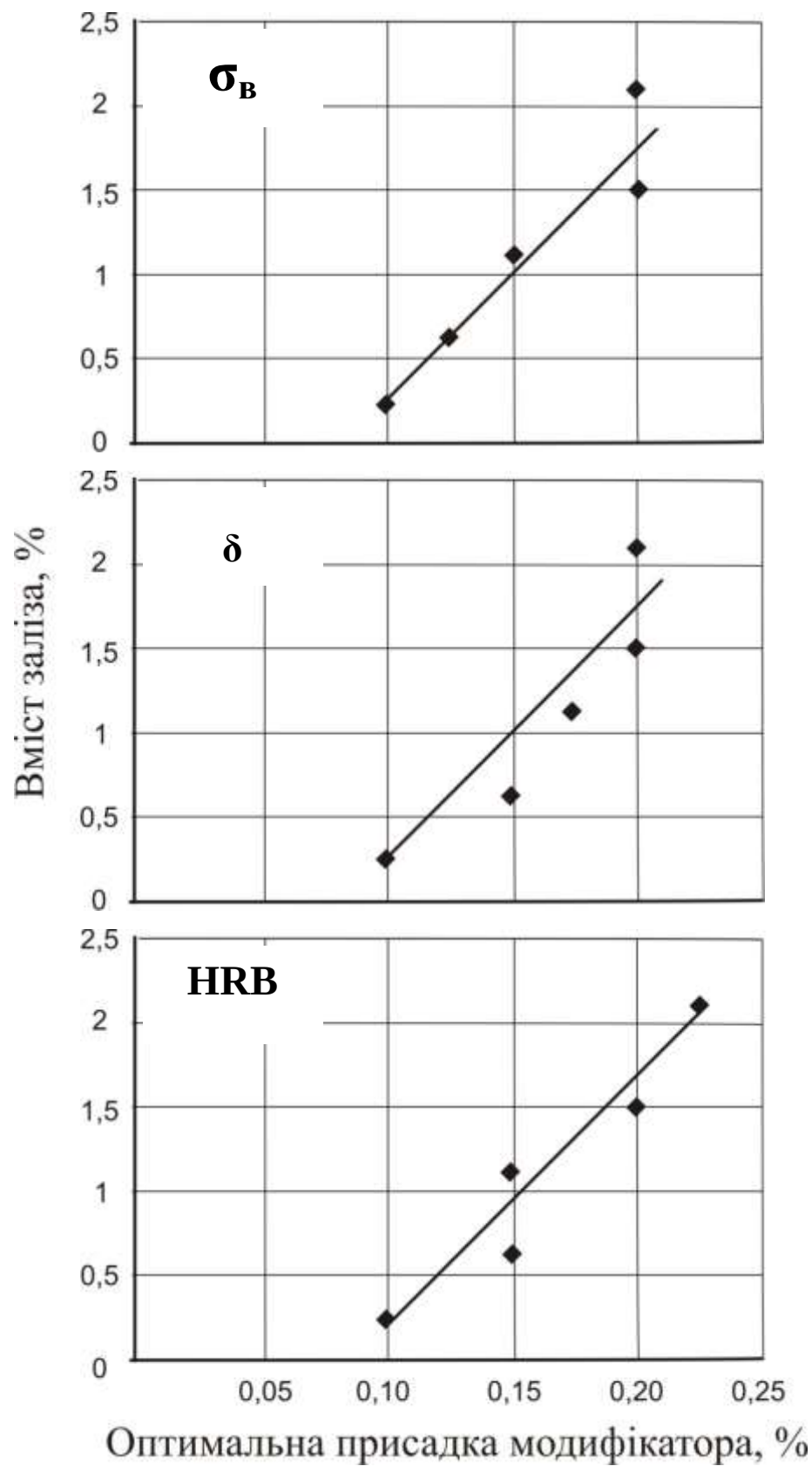


Рисунок 3.4 – Залежність між оптимальною присадкою модифікатора і механічними властивостями силуміну АК9М2

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні впливу хімічного складу та кількості модифікатора на структуру та механічні властивості вторинного силуміну АК9М2.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

При виконанні даної роботи могли виникнути наступні небезпеки:

а) фізичні:

- можливість отримання механічних травм внаслідок роботи з переносними інструментами, заготовками;
- небезпеки, пов'язані з підвищеною температурою поверхні обладнання та матеріалів;
- можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання,
- можливість отримання механічних травм внаслідок порушень правил з охорони праці при підготовці зразків для механічних випробування та при безпосередніх випробуваннях;
- небезпеки, які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема втома, порушення зору, статичного напруження м'язів спини, шиї, рук і ніг, внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності.
- можливість отримання травм при недостатній освітленості робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або

хибного розрахунку їх кількості та потужності (невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»);

б) хімічні:

- можливість токсичної дії на органи дихання в приміщенні дослідницької лабораторії внаслідок специфіки досліджень, зокрема при недотримання правил використання хімічних розчинів при травленні зразків.

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Виробничі приміщення повинні мати достатню площу і висоту для раціонального планування робочих місць відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания».

Згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 р потрібно передбачити проведення перевірок справності устаткування і захисних пристроїв. Згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 *«Правила безпечної експлуатації електроустановок»* для безпечного проведення робіт необхідно виконати наступні організаційні заходи:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;

- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням.

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 захисту від шкідливих газів, паро- та пиловиділень потрібно передбачити обладнання місцевої витяжної вентиляції для відсосу отруйних речовин безпосередньо від місць їх утворення. При роботі з отруйними і

забруднюючими речовинами використовують індивідуальні засоби захисту: халат ГОСТ 12.4.131-83, бавовняні рукавиці ГОСТ 28846-90.

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», приміщення (дослідницькі лабораторії, приміщення з ПК, тощо) належать до категорії «Д» з пожежної небезпеки — простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали. Згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у в цих приміщеннях можлива пожежа класів - А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В). Усі приміщення забезпечені засобами пожегасіння (вогнегасниками) необхідного типу, виходячи призначення приміщення.

4.3 Заходи щодо виробничої санітарії та охорони праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці повинні відповідати вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249.

При проведенні досліджень використовуються лабораторне приміщення та приміщення з робочими місцями, обладнаними ПК Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості переміщення і чистоти повітря) в приміщеннях з ПК повинні бути передбачені системи вентиляції, кондиціонування та опалення, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». При виборі системи вентиляції, необхідно врахувати, що в приміщеннях з комп'ютерною технікою повинен бути забезпечений 3-х кратний повітрообмін за годину. Недотримання вимог

мікроклімату в приміщенні може призвести до значного зниження продуктивності праці, порушення функції дихальної системи, нервової системи.

Для того щоб забезпечити оптимальні параметри повітряного середовища у дослідницькому приміщенні передбачена загальна обмінна механічна вентиляція згідно ДСТУ 12.4.021-75 «Система стандартів безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования», а також згідно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование», враховувалися також вимоги згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Для зменшення концентрації шкідливих речовин на робочих місцях до гранично допустимих застосовують місцеву витяжну вентиляцію.

Приміщення, в якому розташовано крупногабаритне обладнання має штучне освітлення, приміщення з лабораторними пристроями та обладнані ПК мають природне і штучне освітлення.

Освітлення робочого місця нормується згідно ДБН В.2.5-28-2018 «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».

Природне освітлення здійснюється через світлові прорізи і забезпечує коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Штучне освітлення в приміщеннях здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення в приміщенні застосовано люмінесцентні лампи. Для забезпечення мінімальної освітленості робочого простору визначили величину необхідного світлового потоку світильників використовуючи найбільш точний метод - метод світлового потоку (коефіцієнта використання, що враховує прямий світловий потік світильників та відбите світло від стін і стелі). Метод дозволяє визначити оптимальну кількість

ламп та потужність освітлювальної установки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення. Такі розрахунки проведемо для приміщення - лабораторії. Ширина лабораторії складає 9 м, довжина – 14м, висота – 5,5 м, площа – 126 м².

Характеристика зорової роботи – дуже малої точності, відповідно рівень нормованої освітленості становить $E_n=200$ лк. Враховуючи, що приміщення висотою до 6 м, достатньо загального освітлення, обираємо люмінесцентні лампи з випромінюванням наближеним до природного світла (5000 К). Недоліки: висока вартість, повинні обслуговуватись фахівцями, мають складну пускову апаратуру, можливі шум та миготіння.

Обираємо тип світильника ЛПП виходячи, що приміщення є учбовим, з потужністю лампи 80 Вт.

Враховуючи зниження рівня освітленості з часом і виробничі умови приймаємо коефіцієнт запасу $k_z=1.5$, $z=1.1$. Лабораторію можна віднести до категорії з незначним пиловиділенням, тому коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення дорівнюють $\rho_c=50\%$; $\rho_{ст}=30\%$; $\rho_n=10\%$.

Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \cdot [L/h]} = \frac{9}{(5,5-0,8) \cdot 1,4} = 1,4 \approx 2 \quad (4.1)$$

де B – ширина приміщення, м;

H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м;

$[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника.

Максимально припустима відстань між рядами світильників, м:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{9}{2} = 4,5 \quad (4.2)$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]} = \frac{4,5}{1,4} = 3,21 \quad (4.3)$$

Висота звисання світильника від стелі, м:

$$h_3 = H - h_p - h = 5,5 - 0,8 - 3,21 = 1,49 \quad (4.4)$$

Визначаємо значення індексу приміщення (i), що характеризується за співвідношення розмірів лабораторії і висоти розміщення світильників:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{14 \cdot 9}{3,21 \cdot (14+9)} = 1,71 \quad (4.5)$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибираємо в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення та індексу приміщення: $\eta = 54\%$

Визначення світлового потоку лампи та загальної кількості світильників проводимо за схемою:

а) сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta} = \frac{200 \cdot 126 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,54} = 77000 \quad (4.6)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

б) загальна кількість світильників N^* у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата, шт:

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} = \frac{14 * 9}{4,5^2} = 6 \quad (4.7)$$

в) світловий потік лампи $\Phi_{*л}$ визначаємо за формулою, лм:

$$\Phi_{*л} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}} = \frac{73216}{12} = 6101 \quad (4.8)$$

де $N_{л}$ – загальна кількість ламп у приміщенні;

$$N_{л} = N^* \cdot n = 6 \cdot 2 = 12 \text{ шт};$$

n – кількість ламп у світильнику.

Найближче значення фактичного світлового потоку відповідає люмінесцентній лампі ЛБ потужністю 80 Вт, довжиною 1,5м.

г) коефіцієнт пропорційності:

$$m = \frac{\Phi_{*л}}{\Phi_{л}} = \frac{6101}{5400} = 1,13 \quad (4.9)$$

д) оптимальна кількість світильників у приміщенні:

$$N_{\phi} = N^* \cdot m = 6 \cdot 1,13 = 6,78 \approx 6 \quad (4.10)$$

Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p , що створюється при застосуванні вибраних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{л} * N_{\phi} * \eta}{S * k_3 * z} = \frac{5400 * 6 * 0,54}{126 * 1,5 * 1,1} = 84,16 \quad (4.11)$$

Розраховану освітленість можна вважати близькою до норми. Світильники (в кожному по 2 лампи) розташовуємо в 2 ряди по 3 світильника в кожному. Розташування світильників на плані приміщення показано на рис. 4.1.

Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки, Вт:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{фл}} * P_{\text{л}} = 12 * 80 = 960 \quad (4.12)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність вибраної лампи.

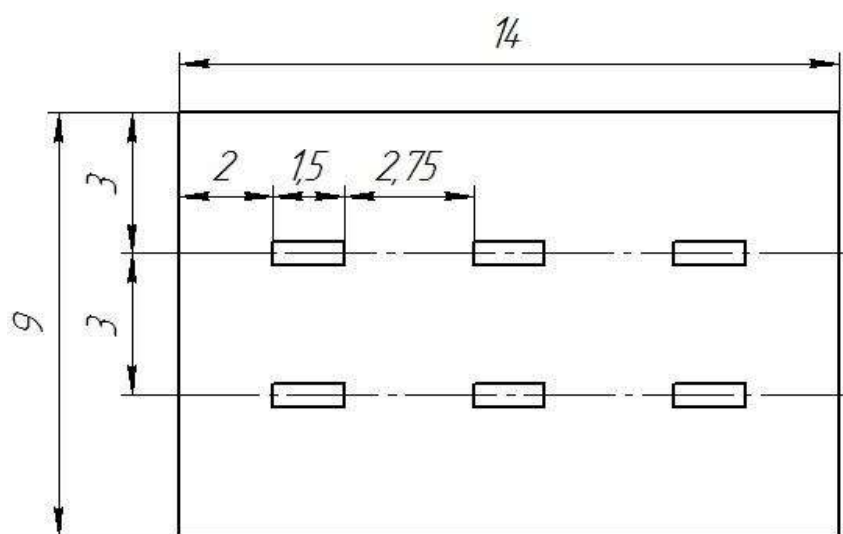


Рисунок 4.1 - Схема розміщення світильників у виробничому приміщенні, відстані вказані в м.

4.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

4.4.1 Заходи з пожежної безпеки

«Заходи з пожежної безпеки» розробляються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Проаналізувавши речовини та матеріали, які використовуються в даній роботі, зазначимо, що для приміщень (лабораторії, офісу, тощо) можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок,

що перебувають під напругою до 1000 В); при роботі у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», приміщення належать до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, потрібно передбачити вуглекислотні вогнегасники 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.

4.4.2 Заходи з цивільного захисту

Єдина державна система цивільного захисту, її складові та режими функціонування.

Єдина державна система цивільного захисту (ЄДСЦЗ) забезпечує реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту. Вона складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок. Основні завдання єдиної державної системи цивільного захисту:

- забезпечення готовності міністерств та інших центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;

- забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
- навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення надзвичайної ситуації;
- виконання державних цільових програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям, забезпечення сталого функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;
- опрацювання інформації про надзвичайні ситуації, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;
- прогнозування і оцінка соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;
- створення, раціональне збереження і використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- оповіщення населення про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій, своєчасне та достовірне інформування про фактичну обстановку і вжиті заходи;
- захист населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, організація життєзабезпечення постраждалого населення;
- пом'якшення можливих наслідків надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;
- здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення;
- реалізація визначених законом прав у сфері захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, в тому числі осіб (чи їх сімей), що брали безпосередню участь у ліквідації цих ситуацій;
- інші завдання, визначені законом.

Єдина державна система цивільного захисту залежно від масштабів і особливостей надзвичайної ситуації, що прогнозується або виникла, може функціонувати в наступних режимах:

- повсякденного функціонування;
- підвищеної готовності;
- надзвичайної ситуації;
- надзвичайного стану.

Режим повсякденного функціонування встановлюється за умов нормальної виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, сейсмічної, гідрогеологічної, гідрометеорологічної, техногенної та пожежної обстановки та за відсутності епідемій, епізоотій, епіфітотій.

Режим підвищеної готовності встановлюється тимчасово, у разі загрози виникнення надзвичайної ситуації, у повному обсязі або частково для окремих територіальних підсистем (ОТП) ЄДСЦЗ (єдиної державної системи цивільного захисту) за рішенням відповідно Кабінету Міністрів України.

Режим надзвичайної ситуації встановлюється тимчасово, у разі виникнення надзвичайної ситуації, у повному обсязі або частково для ОТП ЄДСЦЗ (окремих територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту) за рішенням відповідно Кабінету Міністрів України, обласних державних адміністрацій. Режим надзвичайного стану встановлюється тимчасово, у повному обсязі або частково, у межах території, на якій введено правовий режим надзвичайного стану для ОТП ЄДСЦЗ відповідно до Закону України «Про правовий режим надзвичайного стану».

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

На сьогодні використання алюмінію займає друге місце після заліза, що обумовлено його фізико-механічними, хімічними та службовими властивостями. В Україні поширене виробництво вторинних алюмінієвих сплавів, якому притаманні менші енергетичні витрати та викиди до навколишнього середовища. Головним недоліком є більш низькі показники механічних властивостей, у порівнянні з первинними сплавам, внаслідок наявності шкідливих домішок, а саме підвищений вміст заліза, інших небажаних металів та водню. Це призводить до формування грубокристалічної структури з включеннями інтерметалідів несприятливої форми та до підвищеної пористості відливок. Найбільш технологічними та економічними методами підвищення якості є процеси модифікування вторинних силумінів в процесі плавки та розливання рідкого металу, які дозволяють сформувати майже безпористу, дрібнозернисту структуру та підвищити механічні властивості.

5.1 Інноваційна ідея проекту та потенційний ринок

За інноваційну ідею взято корегування кількості рафінувально-модифікального комплексу, що потрібно застосувати, в залежності від кількості присутнього в сплаві заліза. Доцільність запровадження – ефективне використання отриманих результатів дослідження безпосередньо у виробництві. Процес управління проектом полягає у взаємодії між учасниками проекту та збереженні інтересів кожної зі сторін.

Зміст ідеї та раціональне застосування результатів наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис проекту

Зміст проекту	Напрямки застосування	Вигоди для користувачів
Результати наукового дослідження – це рекомендації стосовно використання раціональної кількості модифікатора з метою досягнення високих механічних властивостей вторинних силумінів, а відповідно, і виробів з них.	Виробництво (підприємства різної форми власності)	Поліпшення процесу отримання деталей зі вторинних силумінів. Підвищення компетентності спеціаліста
	Наука: - подальше навчання в аспірантурі; - робота в дослідницьких інститутах, заводських лабораторіях.	- підвищення кваліфікації спеціаліста та можливість подальшого викладання в учбових закладах; - участь в дослідницькій діяльності та удосконалення навичок

Потенційний ринок буде складатися з конкурентів та потенційних клієнтів, при цьому вони можуть змінювати свої ролі (табл. 5.2). Учасниками ринку виступають наукові установи та лабораторії, вітчизняні та зарубіжні фірми що займаються дослідженнями в різноманітних напрямках або проводять експертизи.

SWOT- аналіз середовища інноваційного проекту показав:

а) сильні сторони:

- кореляція витрат модифікувального комплексу в залежності від кількості заліза у сплаві ;

- підвищення властивостей виробів, отриманих із вторинної сировини;

б) слабкі сторони:

- дослідження мають вузьку направленість;

- для вторинних силумінів інших марок результати досліджень можуть бути некоректними и можуть потребувати додаткових досліджень.

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільові сегменти ринку	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів
1	2	3	4	5
1	Наявність висококваліфікованих спеціалістів технічного напрямку	Підприємства і фірми державної або приватної власності	Зацікавленість у практичних знаннях та подальшому розвитку робітника	Спеціаліст повинен: - мати вищу освіту, - вміти користуватися науковою інформацією; - володіти сучасними програмними засобами; - мати бажання розвиватися та навчатися
2	Потреба у дослідниках	Дослідницькі центри	Акцентування на компетенціях магістра, що пов'язані з практичним застосуванням отриманих знань	
4	Потреба у викладачах	Вищі учбові заклади	Наявність теоретичних знань	

5.2 Ідентифікація стейкхолдерів

Аналіз взаємовідносин зі стейкхолдерами проводився за наступними етапами: визначення актуальних груп стейкхолдерів; дослідження впливу та інтересів стейкхолдерів, побудова карти стейкхолдерів (рис. 5.1); пріоритезація, тобто вибір ключових стейкхолдерів.

Ініціатором проекту однозначно виступає його автор – магістр.

До стейкхолдерів прямого впливу відносяться:

а) підприємства – пропонують робочі місця для ініціатора з можливістю кар'єрного росту, а отримують практичні результати досліджень та більш кваліфікованих працівників.

б) заклади вищої освіти – пропонують для ініціатора покращення рівня знань, які можуть сприяти підвищенню оплати праці; отримують більш досвідчені кадри, що мають право займатися викладацькою діяльністю та ініціаторів нових наукових ідей.

в) наукові організації та установи – мають можливість отримання спеціаліста з досвідом проведення досліджень та практичних навичок використання дослідницького обладнання; ініціатор може запропонувати свої знання, навички та обмін результатами експериментів.

г) міжнародні організації – обмін технологіями, науковими знаннями, створення спільних проектів, залучення інвестицій.

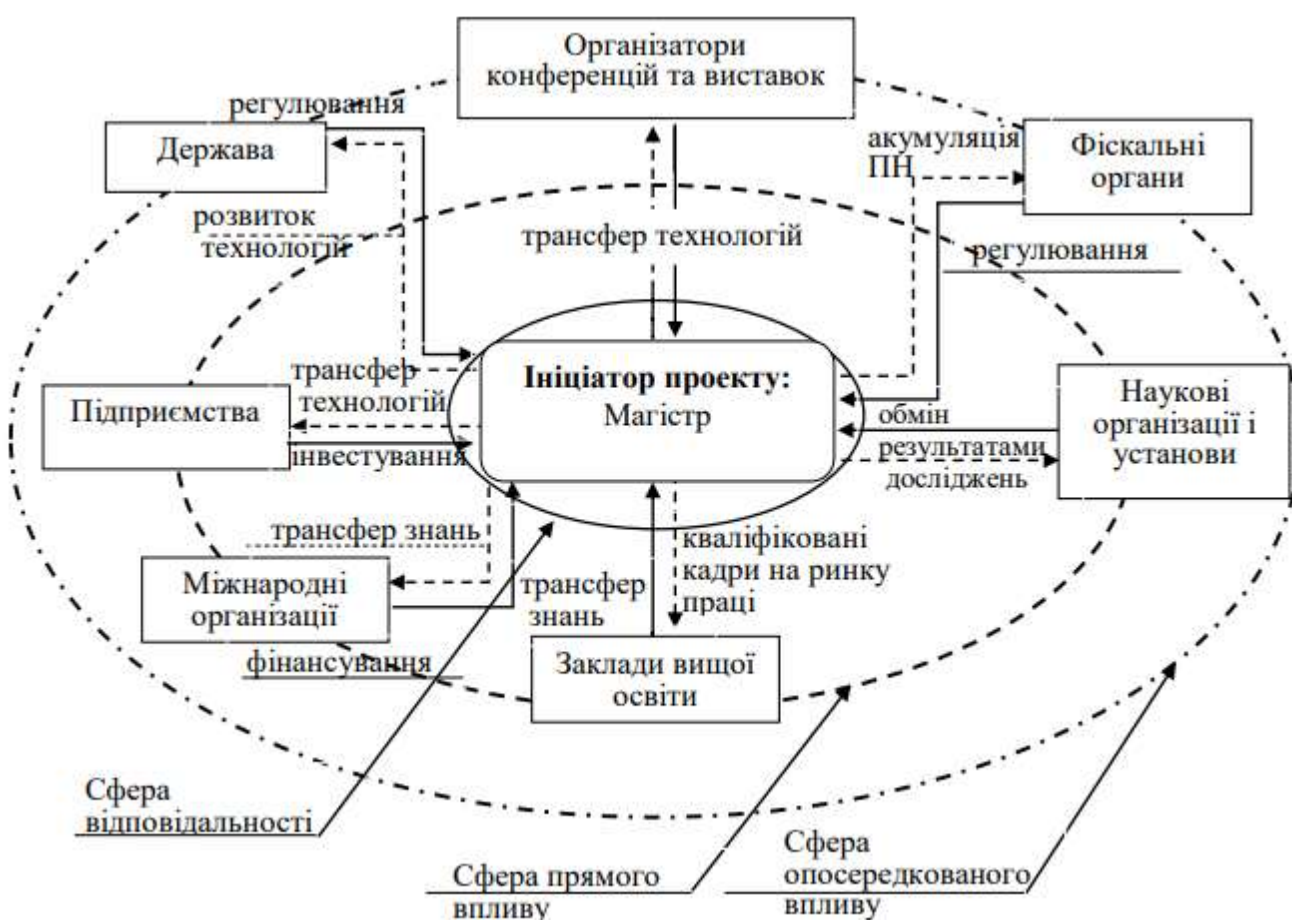


Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

До стейкхолдерів з опосередкованим впливом відносяться:

- а) держава – зацікавлена у взаємовигідних відносинах з ініціатором та створенні нових сучасних технологій;
- б) організації конференцій і виставок - слугують осередками трансферу та обміну технологій чи знань.
- в) фіскальні органи – слугують органом, що регулює сплату податкову діяльність.

5.3 Визначення життєвого циклу проекту

Для реалізації проекту необхідно створити команду. Проаналізувавши кожен етап життєвого циклу та види робіт на кожному з технологічних етапів запропоновано наступний склад команди:

- 1 етап – магістр (ініціатор проекту);
- 2 етап – плавильник, токар;
- 3 етап – магістр (ініціатор проекту).

Основою управління інновацією є опис життєвого циклу проекту, який проводимо від моменту визначення задачі дослідження до перетворення його в інноваційний проект. В цьому описі враховуємо кожний етап дослідження (виробництва) та їх тривалість. До основних етапів слід віднести: пошук та обробка даних з літературних джерел; виготовлення заготовок та зразків, проведення експериментів; опрацювання отриманих даних, визначення практичних результатів (рис. 5.2).

Тривалість життєвого циклу проекту склала 2,5 місяця або 54 робочих днів.

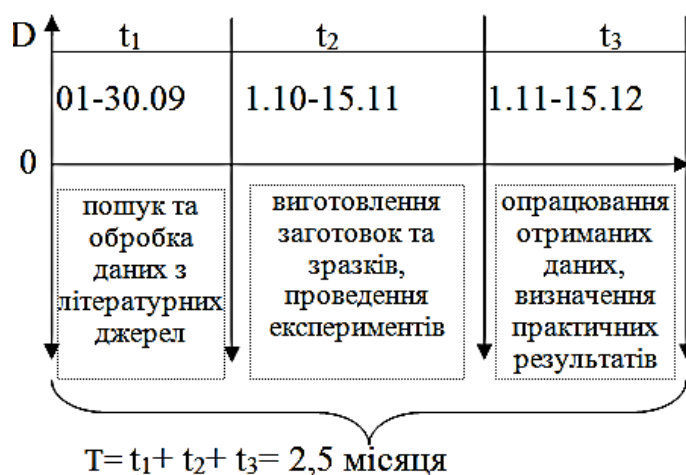


Рисунок 5.2 – Схема життєвого циклу проекту

5.4 Визначення витрат по проєкту

При визначенні витрати по оплаті праці слід врахувати, що такі витрати заплановані для учасників другого етапу. Робота магістра виконується в рамках учбового процесу (дипломна робота). Усі розрахунки оплати праці по даній дослідницькій роботі, виходячи з тривалості виконання робіт та середньоденної оплати праці чи тарифних ставок, які відповідають розряду роботи певної категорії працівників, наведені у табл. 5.3. Розрахунок відрахування на соціальні заходи зроблено згідно Податкового кодексу України (єдиний соціальний внесок – ЄСВ). Він сплачується роботодавцем у розмірі 22% від витрат на оплату праці.

Розрахунки матеріальних витрат представлені в табл. 5.4. Витрати покривного флюсу складають 2% від маси розплаву всього використаного силуміну АК9М5 (15 кг), ціну обираємо за 1 кг. Витрати модифікатора складають: 0,05% від маси виливка, кожен наступний виливок оброблявся додатково ще 0,05% модифікатором. Всього було отримано 5 виливків з різним вмістом заліза при 5 варіантах обробки модифікатором, тобто 25 виливків. Вартість модифікатора обираємо також за 1 кг. Вартість самої сировини не враховуємо –

залишки вторинного силуміну при проведені госпдоговірних та дисертаційних робіт попередніх років.

Таблиця 5.3 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Чисельність працівників	Посадовий оклад, грн	Тарифна ставка, грн / годину	К-сть відпрацьованих годин	Фонд зарплати, грн	ЄСВ, грн
Плавильник	1	10000	62,5	8	500	110
Токар	1	8000	50	16	800	176
Разом	2	X	X	X	1300	286

Таблиця 5.4 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Розрахунок витраченого матеріалу на один зразок, кг	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна, грн	Сума грн
Покривний флюс	0,06	5	0,3	120	36
Модифікатор	0,002	5	0,01	800	8
	0,004	5	0,02		16
	0,006	5	0,03		24
	0,008	5	0,04		32
	0,010	5	0,05		40
Разом	X	X	X	X	156

При розрахунках витрат з амортизації слід врахувати зміни до пп. 14.1.138 Податкового кодексу, згідно з якими вартісний критерій основних засобів змінено з 6000 грн на 20000 грн. Матеріальні цінності, строк корисного використання яких більше року, але вартість менша чи дорівнює 20000 грн, визнаються малоцінними

необоротними матеріальними активами (МНМА). Для них у пп. 138.3.3 ПК передбачено групу 11 «Малоцінні необоротні матеріальні активи», термін використання для яких не визначено. Нарахування амортизації здійснюється за принципом 50/50 (при надходженні - 50% і 50% - при списанні) або 100% при надходженні. Розрахунок МНМА наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизації МНМА

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість, грн.	Сума амортизації, грн.
Письменний стіл "Kurt-1"	50	1100	550
Системний блок ARTLINE Business B26 v14	50	7 698	3849
Клавіатура Real-El Standard 502 USB	50	120	60
Миш Lenovo M20	50	100	50
Монітор 21.5" Samsung S22F350F	50	2300	1150
Разом	x	11318	5659

Амортизація по матеріальним цінностям, терміном використання понад 1 рік та вартістю понад 20000 грн. розраховуємо, виходячи з річної норми амортизації:

$$H_A = \frac{1}{T_{KB}} * 100\%, \quad (5.1)$$

де T_{KB} – термін корисного використання основного засобу.

Розрахунки річної амортизації наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунки річної амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість ОЗ	Сума грн
Індукційна піч	5	90000	4500
Токарний станок	5	50000	2500
Мікроскоп	5	50000	2500
Розривна машина	5	75000	3750
Твердомір Роквелла	5	45000	2250
Разом	X	X	15500

Оскільки кожне обладнання використовується 1 день підсумковий розмір амортизації розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{A_p}{365} = 42,5, \text{ грн} \quad (5.2)$$

де A_p – річна амортизація.

Розрахунки витрат з електропостачання протягом життєвого циклу проекту наведено в табл. 5.7.

До інших витрат відносяться витрати на спецодяг (3 шт) та захисні окуляри (3 шт).

Загальні результати розрахунків наведено в табл. 5.8 - це кошторис витрат або потреби в фінансових ресурсах (інвестиціях), необхідних для успішної реалізації даного проекту. Він склав 3315,82 грн.

В якості джерела фінансування проекту передбачено:

- кошти університету, передбачені для здійснення науково-дослідних робіт;
- матеріали, які були отримані згідно з господарськими договорами за кошти аспірантів попередніх років.

Оскільки проект носить некомерційний характер, то розрахунок доходів не передбачається.

Таблиця 5.7 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Розрахунок на одиницю продукції, кВт	Виробнича програма	Обсяг послуг, кВт	Тарифи	Сума грн
Електропостачання при плавленні силуміну (30 кВт/год)	240	1 (15 кг)	240	1,68	403,2
Електропостачання при виготовленні зразків на токарному верстаті (11 кВт/год)	7,04	25 зразків	176	1,68	295,68
Проведення розривних випробувань (2 кВт/год)	0,16		4	1,68	6,72
Вимірювання твердості (2 кВт/год)	0,16		4	1,68	6,72
Разом	X	X	X	X	712,32

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	156
Електропостачання	712,32
Разом	865,32
Заробітна плата основних виробничих працівників	1300
ЄСВ	286
Амортизація	42,5
Інші витрати	822
Повна собівартість	3315,82

Цінність даного проекту полягає у забезпеченні взаємовигідних інтересів між стейкхолдерами та ініціатором проекту (магістром).

ВИСНОВКИ

1. Досліджено вплив рафінувально-модифікувального комплексу [67] на механічні властивості силуміну АК9М2.
2. Результати механічних випробувань підтвердили літературні дані стосовно екстремальної залежності механічних властивостей від розміру присадки модифікатора [67].
3. В результаті обробки експериментальних даних одержано залежності оптимальних присадок модифікатора для силуміну АК9М2 з різним вмістом заліза.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 57584А Україна, МКВ С22С1/06. Модифікатор для алюмінієвих сплавів / І.П. Волчок, О.А. Мітяєв (Україна); заявник і патентоутримувач Запорізький національний технічний ун-т. – № 2002108343; заявл. 22.10.2002; опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6. – 4с.
2. Пат. 31862 Україна, МПК (2006) С22В21/00 С22В9/00. Флюс для оброблення алюмінієвих сплавів / Волчок І.П., Мітяєв О.А., Лютова О.В., Широкобокова Н.В., Повзло В.М.; заявник та патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т – № 200713840; заявл. 10.12.2007; опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8.
3. Пат. 32929 Україна, МПК (2006) С22С1/00. Модифікатор для алюмінієвих сплавів / Волчок І.П., Мітяєв О.А., Лютова О.В., Широкобокова Н.В., Повзло В.М.; заявник та патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т – № 200800105; заявл. 02.01.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
4. Пат. 69720, МПК С22С 1/06. Рафінувально-модифікувальний комплекс для алюмінієвих сплавів / Н.В. Широкобокова, О.А. Мітяєв., І.П. Волчок, С.В. Кюрчев, О.С. Колодій; заявник і патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т; заявл. 31.10.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. – 6 с.
5. Okamura H. Friction stir welding of aluminium alloy and application to structure / H. Okamura, K. Aota, M. Erumi // J. of Jap. Institute of Light Metals. – 2000. – № 4 (50). – Р. 166-172.
6. Золоторевский В.С. Металловедение литейных алюминиевых сплавов / В.С. Золоторевский, Н.А. Белов. – М.: МИСИС, – 2005. – 374 с.
7. Лебедев В.М. Применение литейных алюминиевых сплавов в сельском хозяйстве / В.М. Лебедев // Литейное производство. – 1991. – № 3. – С. 5-6.
8. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов: справ. изд. / [Пригунова А.Г., Белов Н.А., Таран Ю.Н. и др.] –М.: МИСИС, 1996. – 175 с.

9. Белов Н.А. Фазовый состав и структура силуминов / Н.А. Белов, С.В. Савченко, А.В. Хван. – М.: МИСИС, – 2008. – 281 с.
10. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСИС, – 1999. – 413 с.
11. Махов С.В. Комплексное модифицирование заэвтектических силуминов / С.В. Махов, Д.А. Попов // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 4. – С. 21–23.
12. Пастухов Э.Л. Влияние температурной обработки жидкого Al-Si сплава на его структуру в твердом состоянии / Э.Л. Пастухов, В.Н. Сермягин, Н.А. Ватолин // Литейное производство. – 1982. – № 11. – С. 6-7.
13. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремния / Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман В.А. – М.: Металлургия. – 1977. – 271 с.
14. Чернега Д.Ф. Свойства вторичных алюминиевых сплавов, модифицированных нитридом титана / Д.Ф. Чернега, З. Бондарек, К.В. Михаленков [и др.] // Литейное производство. – 1991. – № 3. – С. 6-7.
15. Современные материалы для обработки алюминиевых расплавов / Б.М. Немененок, С.П. Задрущий, С.П. Королев [и др.]. // Процессы литья. – 2006. – № 4. – С. 9–13.
16. Калинина Н.Е. Технологические свойства модифицированных литейных силуминов / Н.Е. Калинина, О.А. Кавац, В.Т. Калинин // Технология производства летательных аппаратов. – 2012. – № 9. – С. 7–10. 21. Влияние Zn на свойства силуминов из вторичного сырья / Л.П. Селезнев, В.С. Золоторевский, Ю.Б. Бычков [и др.] // Литейное производство. – 1999. – № 1. – С. 81-83.
17. Калинина Н.Е. Влияние модифицирования на фазовый состав высокопрочных алюминиевых сплавов / Н.Е. Калинина, З.В. Вилищук // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. тр. – Вып. 55. – Дн-ск: ПГАСА, 2010. – С. 39–43.

18. Жидкотекучесть и формозаполняемость вторичных силуминов / В.А. Кожанов, Л.П. Селезнев, Ю.Б. Бычков [и др.] // Литейное производство. – 1986. – № 1. – С. 11.
19. Металлографические особенности фаз в алюминиево-кремниевых сплавах из вторичного сырья / А.Г. Пригунова, Е.И. Корж, И.Е. Казиминова [и др.] // Литейное производство. – 1986. – № 1. – С. 9-10.
20. Влияние Zn на свойства силуминов из вторичного сырья / Л.П. Селезнев, В.С. Золоторевский, Ю.Б. Бычков [и др.] // Литейное производство. – 1999. – № 1. – С. 81-83.
21. Воздвиженский В.М. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В.. –М.: Машиностроение. – 1984. – 432 с.
22. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Мондольфо Л.Ф.; [Пер. с англ. Л. Лещинер, В. Сандлер, С. Старинова, Е. Ткаченко] – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
23. Мітяєв О.А. Науково-технологічні основи формування структури, фізико-механічних і службових властивостей вторинних силумінів: автореф. дис. на здобуття ступеня доктора техн. наук: спец. 05.02.01 «Матеріалознавство» / О.А. Мітяєв. – Запоріжжя. – 2008. – 32 с.
24. Альтман Н.Б. Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов / Н.Б. Альтман, Н.П. Стромская. – М.: Металлургия. – 1984. – 127 с.
25. Повышение качества вторичных литейных алюминиевых сплавов / [Петров С.М., Петрова С.Г., Степанов Ю.Н., Шеметев Г.Ф.]. – Л. – 1988. – 27 с.
26. Игнатъев В.С. Модифицирование заэвтектических силуминов с повышенным содержанием железа / В.С. Игнатъев, Д.В. Стародубцев. – Теория и практика металлургии. – 2001. – № 6. – С.38-40.
27. Калиниченко В.А. Переработка литейных алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа для производства отливок в постоянные формы из вспененных материалов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд.

техн. наук: спец. 05.16.04 «Литейное производство» / В.А. Калиниченко – Минск. – 2009. – 22 с.

28. Кечин В.А. Ликвационное рафинирование алюминиевых расплавов от железа / В.А. Кечин, С.В. Скитович // Литейное производство. – 1998. – № 2. – С. 6-7.

29. Никитина В.Е. Влияние добавок легирующих элементов на структуру и свойства вторичных сплавов Al-Cu-Si, полученных в неравновесных условиях кристаллизации / В.Е. Никитина. – Металлы. – 2005. – № 2. – С. 103-108.

30. Влияние ряда элементов на структуру и поверхностное натяжение сплавов АЛ4, модифицированных натрием и стронцием / А.В. Курдюмов, С.В. Инкин, Ф. Бехер [и др.] // Литейное производство. – 1988. – № 7. – С. 1-4.

31. О рафинировании и модифицировании алюминиевых сплавов / С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок, С.П. Королев [и др.] // Литейное производство. – 2004. – № 3. – С. 17-20.

32. Получение плотных отливок из модифицированных силуминов / Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, А.М. Галушко [и др.] // Литейное производство. – 2006. – № 3. – С. 17-20.

33. Худокормов Д.Н. Дегазация расплава силумина / Д.Н. Худокормов, Р.В. Дегтярев, С.П. Задруцкий // Литейное производство. – 1998. – № 5. – С. 14-15.

34. Галушко А.М. Улучшение свойств сплава АЛ4, выплавленного с использованием в шихте вторичных силуминов / А.М. Галушко, Ю.В. Маркаров, Б.М. Немененок, М.И. Стриженков // Литейное производство. – 1986. – № 1. – С. 12-13.

35. Котляревский Ф.М. Влияние интенсивности теплоотвода на формирование отливок из силуминов / Ф.М. Котляревский, В.И. Белик // Литейное производство. – 1990. – № 6. – С. 10-11.

37. Михайлов А.А. Модифицирование Al-Si сплавов перегревом / А.А. Михайлов // Литейное производство. – 2001. – № 1. – С. 12.

38. Влияние наследственности структуры шихты на механические свойства сплава ВАЛ8 / П.П. Прудовский, В.Д. Голяков, Н.А. Симонова [и др.] // Литейное производство. – 1986. – № 11. – С. 7-8.

39. Никитин В.И. К истории развития проблемы наследственности в сплавах / В.И. Никитин // Литейное производство. – 2000. – № 5. – С. 20-22.

40. Исследование наследственного влияния структуры шихты и перегрева расплава на структуру силумина / Ли Пыцзе, В.И. Никитин, К.В. Никитин [и др.] // Литейное производство. – 2001. – № 5. – С. 15-17.

41. Батышев А.И. Наследственность сплавов при литье с кристаллизацией под давлением / А.И. Батышев, Л. Станчек // Литейное производство. – 1999. – № 1. – С. 34-35.

42. Кайнов В.М. Структура и свойства алюминиевых сплавов при литье под давлением с высокой скоростью кристаллизации / В.М. Кайнов, В.В. Кузнецова, Л.А. Ургалкина // Литейное производство. – 1990. – № 6. – С. 11-13.

43. Марукович Е.И. Повышение свойств алюминиевых сплавов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литейное материаловедение, специальные способы литья. – Беларусь. – 2007. – С. 255-258.

44. Марукович Е.И. Улучшение структурной наследственности поршней заэвтектических силуминов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко, С.Л. Радько // Литье и металлургия. – 2004. – № 2 (30). – С.159-161.

45. Рязанов С.Г. Влияние металлургических факторов на структуру и свойства силуминов / С.Г. Рязанов, А.А. Митяев, И.П. Волчок // Литье и металлургия. – 2003. – № 1. – С.101-105.

46. Волчок И.П. Влияние количества вторичных шихтовых материалов на качество и механические свойства сплава АК9М2 / И.П. Волчок, А.А. Митяев, С.Г. Рязанов // Литье и металлургия. – 2004. – № 2. – С. 182-184.

47. Обработка алюминиевых сплавов добавкой стружки в шихту / Д.М. Беленький, Г.П. Борисов, А.Г. Вернидуб [и др.] // Литейное производство. – 1990. – № 11. – С. 11-12.

48. Вторичные алюминиевые сплавы из стружки и мелких отходов алюминиевых сплавов / М.А. Садоха, Б.А. Краев, В.И. Гутко [и др.] // Литейное производство. – 2002. – № 1. – С. 10-11.

49. Скитович С.В. Флюсы для алюминиевых сплавов / С.В. Скитович, В.Н. Шаршин // Литейное производство. – 1998. – № 8. – С. 12-14.

50. О рафинировании и модифицировании алюминиевых сплавов / С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок, С.П. Королев [и др.] // Литейное производство. – 2004. – № 3. – С. 17-20.

51. Рафинирование сплава АЛ32 легкоплавкими флюсами / А.С. Кауфман, Л.И. Жутаев, В.В. Хлынов [и др.] // Литейное производство. – 1982. – № 11. – С. 7-9.

52. 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.

53. 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.

54. 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.

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

56. Рафинирование алюминиевых сплавов порошкообразной серой в струе азота / А.М. Глушко, Г.В. Довнар, М.М. Ситниченко [и др.] // Литейное производство. – 2004. – № 3. – С. 23-25.

57. Влияние серы на структуру и свойства алюминиевых сплавов / Б.М. Немененок, А.М. Галушко, Г.В. Довнир [и др.] // Литье и металлургия. – 2005. – № 4(36). – С. 106-108.

56. Немененок Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов / Немененок Б.М. – Мн.: Технопринт, 1992. – 272 с.

57. Курдюмов А.В. О возможности повышения пластичности вторичных силуминов фильтрованием расплавов / А.В. Курдюмов, Т.А. Базлова // Литейное производство. – 1991. – № 8. – С. 7-8.

58. Курдюмов А.В. О возможности повышения пластичности вторичных силуминов фильтрованием расплавов / А.В. Курдюмов, Т.А. Базлова // Литейное производство. – 1991.- № 8.- С. 7-8.

59. Куцова В.З. Модифікування алюмінієвих сплавів / В.З. Куцова, О.В. Швець, Т.А. Аюпова // «МОМ». – 2001. – № 1-2. – С. 99-109.

60. Куцова В.З. Міжатомна взаємодія і вибір елементів модифікаторів для сплаву АК7ч / В.З. Куцова, Т.А. Аюпова // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 1. – С.55-59.

61. Куцова В.З. Влияние микролегирования Sr и Sc на фазовый состав и свойства АК7ч / В.З. Куцова, Т.А. Аюпова, М.Ю. Амбражей // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. тр. – Вып. 41, ч.1. – Дн-вск: ПГАСиА, 2007. – С. 55-59.

62. Исследование структуры, фазового состава и механических свойств сплава АЛ4, модифицированного лигатурой Al-Si-Sr / В.З. Куцова, Н.В. Попова, К.И. Коваленко [и др.] // Литейное производство. – 1991. – № 8. –С. 8-10.

63. Взаимосвязь структуры и модифицирующей способности Al-Ti и Al-Zr лигатур при получении отливок из высокопрочных силуминов / И.Г. Бродова, Д.В. Башлыков, Т.И. Яблонских [и др.] // Литейное производство. – 1999. – № 1. – С. 23-25.

64. Модифицирование сплава АК6М2 / В.И. Никитин, А.И. Ивашкевич, А.В. Ивлев [и др.] // Литейное производство. – 1999. – № 1. – С. 30-31.

65. Получение нанокристаллических композиций управляемым плазмохимическим синтезом / В.Т. Калинин, А.С. Дубников, А.Я. Качан [и др.] // Вісник двигунобудування. – 2007. – № 1(15). – С. 134-137.

66. Оптимизация свойств сплава АЛ4 при литье в кокиль поэтапным планированием экспериментов / А.М. Парамонов, В.И. Никитин, В.В. Павлов [и др.] // Литейное производство. – 1986. – № 11. – С. 12-14.

67. Митяев А.А. Комплексная рафинирующе-модифицирующая обработка алюминиевых сплавов / А.А. Митяев // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. тр. – Вып. 45, ч.2. – Днепропетровск, ПГАСиА. – 2008. – С. 138-142.

68. Рязанов С.Г. Повышение качества алюминиевых сплавов / С.Г. Рязанов, А.А. Митяев, И.П. Волчок // «Nauka I Technologia»: V konferencja naukowo-techniczna Odlewnictwa Metali Niezestawnych. Lucien, 6-8 czerwca 2002 r. – Lucien, Poland. – 2002. – Р. 16- 20.

67. Пат. 32929 Україна, МПК (2006) C22C1/00. Модифікатор для алюмінієвих сплавів / Волчок І.П., Мітяєв О.А., Лютова О.В., Широкобокова Н.В., Повзло В.М.; заявник та патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т – № 200800105; заявл. 02.01.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

68. Сплави алюмінієві ливарні. Технічні умови: ДСТУ 2839-94. – [Введ. 1996-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 109 с. – (Національні стандарти України).

69. Беккерт М. Справочник по металлографическому травлению / М. Беккерт, Х. Клемм. – М.: Металлургия, 1979. – 336 с.

70. Мітяєв О.А. Науково-технологічні основи формування структури, фізико-механічних і службових властивостей вторинних силумінів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.02.01 «Матеріалознавство» / О.А. Мітяєв. – Запоріжжя, 2008. – 32 с.