НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інженерно-фізичний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Фізико-хімічні основи технології металів
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 669.046.587.4

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ В. С. Богушевський
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____2015 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 8.05040105 – спеціальна металургія
(код і назва спеціальності)

на тему: Модифікування сплаву АМ5 з фтором цирконію

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ФС-31м
(шифр групи)

Ільчук Павло Євгенович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Рибак В. М. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації
(назва розділ) к.т.н., доцент Зацарний В.В. _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант нормоконтроль ст.викл. Прилуцький М. І. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент доцент, к.т.н. Ямшинський М. М. _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ - 2015 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Факультет (інститут) Інженерно-фізичний
(повна назва)

Кафедра Фізико-хімічних основ технології металів
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Напрям підготовки 6.050401 – металургія
(код і назва)

Спеціальність 8.05040105 – спеціальна металургія
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ В. С. Богушевський
(підпис) (ініціали, прізвище)
«___» _____ 2015 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Ільчуку Павлу Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Модифікування сплаву АМ5 з фтором цирконію

науковий керівник дисертації Рибак Вячеслав Миколайович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом дисертації 15 червня 2015 року
3. Об'єкт дослідження Модифікований сплав АМ5 фтором цирконію

4. Предмет дослідження Вплив вмісту цирконію, температури та часу витримки на міцність та відносне подовження модифікованого алюмінієво-мідного сплаву АМ5

5. Перелік питань, які потрібно розробити Літературний огляд по темі досліджень, методика проведення досліджень, опис експериментального обладнання та технології проведення досліджень, результати досліджень та їх аналіз, аналіз небезпечних факторів при проведенні досліджень, охорона праці та протипожежна безпека, висновки

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Тема, мета, задачі та об'єкт досліджень, методика досліджень, опис експериментального обладнання, результати досліджень, охорона праці, загальні висновки

7. Орієнтовний перелік публікацій Зробити не менше 2 доповідей на наукових конференціях та 2 публікацій в засобах масової інформації по темі дисертації

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації	к.т.н., доцент Зацарний В.В.	02.02.15	

7. Дата видачі завдання 02 лютого 2015 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз об'єкта досліджень	15.03.2015	
2	Вивчення літературних джерел	22.03.2015	
3	Розроблення методики досліджень	29.03.2015	
4	Проведення досліджень	05.04.2015	
5	Оброблення результатів досліджень,	26.04.2015	
6	Оформлення розділу «Літературний огляд»	03.05.2015	
7	Оформлення розділу «Методика досліджень»	10.05.2015	
8	Оформлення розділу «Експериментальна частина»	17.05.2015	
9	Оформлення розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації»	24.05.2015	
10	Оформлення та рецензування дипломної роботи	28.05.2015	
11	Оформлення графічного матеріалу «Презентація»	07.06.2015	

Студент _____ Ільчук П.Є.
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ В. М. Рибак
(підпис) (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація присвячена дослідженню технології зміцнення ливарного алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію.

Роботу викладено на 91 сторінках друкованого тексту. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і містить 21 рисунок, 35 формул і 21 таблицю.

У вступі наведено актуальність теми досліджень, зазначені мета і задачі.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу існуючих технологій зміцнення ливарних алюмінієвих сплавів, розгляду механізмів впливу на структуру та фізико-механічні властивості алюмінієвих сплавів сполук цирконію.

В другому розділі наведені характеристики обладнання, матеріалів та методика проведення досліджень. Також наведено опис повного факторного експерименту та послідовність розрахунку та оптимізації математичних моделей.

Третій розділ магістерської дисертації містить результати досліджень та розраховані на їх основі математичні моделі розробленої технології зміцнення.

Четвертий розділ присвячено питанням техніки безпеки та охорони праці при проведенні досліджень по темі.

В висновках містяться основні результати, отримані в результаті досліджень.

В магістерській дисертації були вирішені задачі: розроблено технологію зміцнення ливарних алюмінієвих сплавів типу АМ5 фторидом цирконію, досліджено структуру та механічні властивості отриманих зразків, знайдені математичні моделі, що описують даний процес, а також проведено їх оптимізацію. Показано, що дана технологія дозволяє до 38 % підвищити тимчасовий опір розриву та до 82 % відносне подовження.

Ключові слова: ФТОРИД ЦИРКОНІЮ, МОДИФІКУВАННЯ, ЛИВАРНИЙ АЛЮМІНІЄВИЙ СПЛАВ АМ5, ЦИРКОНІЙ, МОДЕЛЮВАННЯ.

ABSTRACT

Master's thesis is devoted to research technology to strengthen AM5 casting aluminum alloy zirconium fluoride.

The work contained 91 pages of printed text. The work consists of an introduction, four chapters, conclusions and contains 21 Figure 35 formulas and 21 tables.

In the introduction, the relevance of research topics are specified goal and objectives.

The first chapter of the thesis is devoted to analysis of existing technologies to strengthen the casting of aluminum alloys, review mechanisms to influence the structure and physico-mechanical properties of aluminum alloys zirconium compounds.

In the second chapter explains the characteristics of equipment, materials and methods of research. Also describes the full factorial experiment and sequence calculation and optimization of mathematical models.

The third chapter of master thesis contains research results and calculated based on these mathematical models developed technology consolidation.

The fourth section about safety and health at research on the topic.

In conclusions are the main results obtained from the research.

In the master thesis have been resolved tasks: strengthening the technology of casting aluminum alloy type AM5 zirconium fluoride, the structure and mechanical properties of the samples found by mathematical models describing the process, and held their optimization. It is shown that this technology allows up to 38% temporary increase tensile strength and 82% elongation.

Key words: ZIRCONIUM FLUORIDE, MODIFICATION, AM5 CASTING ALUMINUM ALLOY, ZIRCONIUM, MODELING.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

k – кількість дослідів;

T – температура , К;

$\sigma_в$ – тимчасовий опір розриву, МПа;

δ – відносне подовження, %;

ΔG – енергія Гібсса, кДж/моль;

b_j – коефіцієнт рівняння регресії;

S_i^2 – дисперсія досліду;

t – температура, ^{0}С;

K_p – константа рівноваги;

$t_{f1;\alpha}$ – критерій Стьюдента;

$F^p_{f_2;f_1}$ – критерій Фішера;

$\Delta\, b_j$ – довірчий інтервал;

ПФЕ – повний факторний експеримент.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ВСТУП

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні уявлення про модифікування 11

1.2 Алюмінієві сплави з міддю 12

1.3 Сплав АМ5 22

1.4 Сплави системи мідь-алюміній-цирконій 23

1.5 Добування цирконію та його використання 24

1.6 Склад флюсу 26

1.7 Ймовірність взаємодії оксиду цирконію з компонентами солевого розплаву 27

1.8 Висновки, мета та задачі дослідження 30

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика проведення механічних випробувань 32

2.2 Методика виготовлення мікрошліфів 33

2.3 Вибір модифікатора для обробки сплаву 36

2.4 Методика введення сполук, що вміщують цирконій 37

2.5 Методика введення фториду цирконія 38

2.6 Методика проведення дослідних плавок 38

2.7 Розрахунок шихтових матеріалів 39

2.8 Технологія отримання сплаву АМ5 40

2.9 Повний факторний експеримент типу 2^k 40

2.9.1 Спосіб побудови матриці планування 2^k, коли k більше ніж два ... 41

2.9.2 Обчислення коефіцієнтів лінійної моделі 41

2.9.3 Знаходження дисперсії параметра оптимізації 42

2.9.4 Перевірка значущості коефіцієнтів регресії 44

2.9.5 Перевірка адекватності моделі 44

2.10 Висновки 46

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Термодинамічний аналіз 47

3.1.1 Розрахунок зміни ентальпії при температурі 1400К 48
3.1.2 Розрахунок зміни ентропії при температурі 1400К..... 50
3.1.3 Розрахунок зміни вільної енергії при 1400К..... 51
3.2 Повний факторний експеримент 56
3.3 Повний факторний експеримент по тимчасовому опору на розрив..... 57
3.3.1 Обчислення коефіцієнтів лінійної моделі 57
3.3.2 Знаходження дисперсії параметра оптимізації 58
3.3.3 Перевірка значущості коефіцієнтів регресії..... 59
3.4 Повний факторний експеримент по відносному подовженню 60
3.4.1 Обчислення коефіцієнтів лінійної моделі 60
3.4.2 Знаходження дисперсії параметра оптимізації 61
3.4.3 Перевірка значущості коефіцієнтів регресії..... 63
3.5 Мікроструктура алюмінієво-мідного сплаву АМ5 63
3.6 Оптимізація процесів модифікування..... 66
3.7 Висновки 67
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ
4.1 Аналіз умов праці..... 69
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів 71
4.3 Параметри мікроклімату 72
4.4 Шкідливі речовини в повітрі робочої зони 73
4.5 Освітлення..... 74
4.6 Розрахунок природного освітлення..... 76
4.7 Розрахунок штучного освітлення 73
4.8 Пожежна безпека..... 79
4.9 Безпека в надзвичайних ситуаціях 82
4.10 Висновки 84
ВИСНОВКИ 86
CONCLUSIONS..... 87
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 88
ДОДАТКИ

ВСТУП

Останнім часом деталі з алюмінієвих сплавів знаходять все більш широке застосування в таких галузях промисловості як машинобудування, літакобудування, автомобілебудування та ін. Це пов'язано з корисними властивостями алюмінієвих сплавів, найбільш важливими з котрих є низька питома щільність і висока корозійна стійкість. Але недостатні механічні властивості алюмінієвих сплавів не дозволяють їм замінити більш міцні конструкційні матеріали, наприклад сталі [1].

З середини 50-х років XX сторіччя спостерігається неухильне зростання частки виливків з кольорових сплавів у загальному обсязі випуску виливків. Це відбувається в основному за рахунок виливків з алюмінієвих сплавів, випуск яких за останні 50 років в країнах шістки (США, Японія, Германія, Франція, Великобританія, Італія) зріс у 13 разів і склав у 2000 році 4,82 млн. т (15,7% від загального випуску відливок із чавуну, сталі та кольорових металів). Основна причина такого зростання – розвиток транспортних галузей, зокрема автомобільної [2].

За об'емом виробництва алюміній поступається лише сталям, суттєво випереджаючи інші кольорові метали. Так, до кінця минулого століття світове виробництво сталі скаладало 800 млн. т на рік, алюмінію – 24 млн. т на рік, міді – 12 млн. т на рік, магнію – 400 тис. т на рік, титану – 60 тис. т. Недоліки виробництва алюмінію, пов'язані з високою енергоємністю процесу отримання з бокситу та забруденням навколишнього середовища, вже в найближчий час можуть бути частково замінені новими технологіями електролізу (з застосування, наприклад, інертних анодів та рециклування. Вже зараз світове виробництво вторинного алюмінію із скрапу відпрацьованих виробів складає 10 млн. т на рік, тобто кожну третю тону [3]. Очікують, що загальний обсяг використання алюмінію у 2030 році може досягти 50 млн. т на рік, з яких 22...24 млн. т можуть бути вторинними [4]. В Україні об'єм використання алюмінію трохи менший, але постійно зростає [5].

В наш час з алюмінієвих сплавів методом лиття виготовляють такі деталі легкових і вантажних автомобілів як голівки і блоки циліндрів, колектори, поршні, деталі картерів, кришки, диски коліс, колеса, важелі, кулаки, кронштейни, тормозні диски, барабани та ін. Вміст алюмінієвих сплавів у вітчизняних автомобілях та інших транспортних засобах складає в середньому для легкових автомобілів 20...100 кг на автомобіль, для вантажних 50...250 кг, для автобусів 100...180 кг. У імпортних зразках такої ж продукції вміст алюмінієвих сплавів набагато більший, і по оцінці західних експертів їх частка постійно підвищується.

Підвищити механічні властивості алюмінієвого сплаву можливо за рахунок рафінування, легування, мікролегування і модифікування розплаву [7]. Одним із новітніх способів зміцнення алюмінієвих сплавів є спосіб оброблення алюмінієвого розплаву цирконієм, введеним із його фториду.

Але аналіз літературних джерел показав, що даний спосіб підвищення механічних властивостей алюмінієвих сплавів ще не досліджувався з алюмінієвим сплавом АМ5, використання якого набуває все більшого розповсюдження в різноманітних галузях промисловості.

Таким чином, головна **мета роботи** полягає в розроблені технології зміцнення алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію і дослідженні його фізико-механічних властивостей.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити наступні **задачі**:

- провести аналіз літературних джерел по темі дисертації;
- розробити методику проведення досліджень;
- провести дослідні плавки сплаву АМ5 за розробленою методикою;
- провести дослідження структури та фізико-механічних властивостей отриманих зразків;
- за отриманими експериментальними даними провести оптимізацію параметрів технології зміцнення сплаву АМ5 фторидом цирконію;
- зробити висновки щодо ефективності використання технології зміцнення алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію.

Апробація роботи: результати магістерської дисертації доповідалися на XII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра» 15 квітня 2014 року, XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра» 21 квітня 2015 року.

Публікація результатів роботи: результати роботи опубліковано в статтях: «Технологія отримання сплаву типу АМ5 зміцнення цирконієм, введеним із фториду цирконію», «Вплив температури, часу витримки та вмісту фториду цирконію на міцність та відносне подовження алюмінієво-мідного ливарного сплаву типу АМ5».

Практичне значення роботи: встановлені закономірності впливу обробки алюмінієвого розплаву АМ5 фторидом цирконію дозволили визначити оптимальні параметри процесу та розробити технологію зміцнення ливарного алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні уявлення про модифікування

По існуючій термінології модифікування, що має на увазі безпосередньо саме модифікування і зерноподрібнювання, є процесом зміни форми і розмірів структурних складових сплавів з метою поліпшення механічних, пластичних і інших характеристик, є фізико-хімічним процесом, в результаті якого змінюється евтектична і первинна кристалізація сплавів [8].

Іноді розглядають модифікування і мікролегування як синоніми, хоча по своїй суті це різні процеси. Мікролегування, або легування малою кількістю елементів, може зумовити істотні зміни фазового складу сплаву з метою зміни властивостей в заданих масштабах. Мікролегування, природно, може супроводжуватися і модифікуючим ефектом. Модифікування змінює властивості тільки за рахунок зміни структури сплаву - подрібнення зерна, гілок дендриту, структурних складових, диспергування часток інших фаз і надання ним сприятливішої форми. Модифікування, на відміну від мікролегування, може здійснюватися і без введення в сплав мікродобавок (наприклад, фізичними засобами дії на розплав). При модифікуванні з введенням мікродобавок доцільно вказані відмінності процесів, покладені в основу роздільного розгляду понять модифікаторів і що мікролегують і мікролегуючих елементів.

Незважаючи на наявну неоднозначність класифікації модифікаторів, є сенс повернутися до первинної системи П. А. Ребіндера і зупинитися на ній. Отже, до модифікаторів першого роду слід відносити добавки, що полегшують зародкоутворення, а до модифікаторів другого роду - добавки, що утрудняють зростання зерна. У першому випадку основним результатом є подрібнення зерна, а в другому випадку - диспергування внутрішньої будови зерна [9].

По класифікації, що має місце, зерноподрібнюючі добавки відносять до першої групи модифікаторів, створюючи в розплаві дисперсну суспензію, тверді частки якої виступають зародками для кристалізації сплавів.

Модифікатори цієї групи збільшують число центрів кристалізації і, щоб забезпечити наявність твердої фази в модифікуючому розплаві, мають бути тугоплавкими, а також ізоморфними з кристалами розплаву. Тому вводиться як зерноподрібнююча добавка, у вигляді чистого елементу або лігатури, повинна задовольняти, перш за все, наступним основним вимогам:

- утворювати хімічну сполуку, щонайменше, з одним з компонентів сплаву або містити таке з'єднання в готовому вигляді (прикладами цього положення можуть бути Ti, Zr і Sc утворюють алюміниди типу Al_3Ti, Al_3Zr або Al_3Sc);

-частинки цих з'єднань повинні формуватися раніше, чим починається кристалізація основи сплаву;

-щоб уникнути помітної зміни хімічного і фазового складу сплаву кількість добавки повинно бути незначним, тобто лігатура повинна містити в якомога меншому обсязі як можна більшу кількість часток, готових виступити в якості підкладок.

В даний час існує декілька теорій, що пояснюють ті чи інші сторони процесу модифікування, але жодна з них не описує його повністю. Це зумовлено, по-перше, складністю процесу модифікування і його залежністю від умов плавки і литва і, по-друге, впливом неконтрольованих домішок і взаємодією деяких компонентів в алюмінієвих сплавах, яке може або посилювати, або послаблювати подрібнення зерна [9].

1.2 Алюмінієві сплави з міддю

Мідь - найбільш поширений легуючий елемент в алюмінієвих сплавах. Розроблено багато сплавів. У яких мідь є головною добавкою. Більшість з цих сплавів входить в одну з наступних груп:

1. Ливарні сплави з 5% Cu, часто з невеликими добавками кремнію і магнію.

2. Ливарні сплави з 7-8% Cu, часто з високим вмістом заліза і кремнію і помітною концентрацією марганцю, хрому, цинку, олова і т.д.

3. Ливарні сплави з 10-14% Cu. Ці сплави можуть містити невеликі добавки магнію (0,10-0,30% Mg) при концентрації заліза до 1,5%, кремнію до 5% і меншої концентрації нікелю, марганцю, хрому.

4. Деформуючі сплави з 5-6% Cu, часто з невеликими добавками марганцю, кремнію, кадмію, вісмуту, олова, літію, ванадію і цирконію. Сплави цього типу, що містять свинець, вісмут, кадмій, володіють покращеною оброблюваністю різанням.

5. Дуралюміни. Основний склад сплавів: 4-4,5% Cu, 0,5-1,5% Mg, 0,5-1,0% Mn, іноді з добавками кремнію.

6. Сплави з міддю і нікелем. Ці сплави можна розділити на дві підгрупи: сплави типу Y, що містять 4% Cu, 2% Ni, 1,5% Mg, і гідуміни з більш низькою концентрацією міді, притому в останніх частина нікелю заміщає залізо [10].

Граничний вміст елементів у сплавах цих груп наведено в табл.1.1.

Дуралюміни або дуралюміни зі зниженим вмістом міді (2-3% Cu) і іноді підвищеною концентрацією магнію (1,5-3% Mg) або кремнію (1-2% Si) використовують для заклепок із-за більш повільного старіння, а також завдяки поліпшеній здатності до формоутворення і підвищеної в'язкості руйнування.

У більшості перерахованих сплавів алюміній - первинна структурна складова. Структура литих сплавів складається з дендритів алюмінієвого твердого розчину, обрамлених по межах зерен або дендритних осередків.

Таблиця 1.1 Граничний вміст елементів у сплавах Al- Cu, % [10]

Елемент	Загальний вміст елементу	Ливарні сплави			Деформуючі сплави з 5% Cu	Дуралю-міни	сплави Al-Cu-N
		5% Cu	8% Cu	>10% Cu			
Cu	3-15	4-6	7-9	10-15	4-6	3,0-5	2-5
Fe	до 2,5	до 1,5	до 2,5	до 2	до 0,7	до 0,7	до 0,7
Si	» 4	» 2	» 2	» 4	» 2	» 1,0	» 1,5
Mg	»6	»6	»7	»0,5	<0,1	0,4-1,7	0,1-2
Mn	»1,5	»1	»1	»1,5	до 1,5	0,5-1,5	до 0,5
Ni	»2,5	»1	»1	»1,5	»1,0	<0,2	0,5-2,5
Zn	»3	»0,2	»3	<0,2	<0,5	<0,2	<0,2
Sn	»2	до 2	»1	<0,2	<0,1	<0,05	<0,05
Pb	»4	»4	»1	<0,1	до 1	<0,05	<0,05
Bi	»3	»3	»1	<0,1	»1	<0,05	<0,05
Cd	»2	»2	»0,5	<0,1	»2	<0,05	<0,05

Продовження табл. 1.1

Елемент	Загальний вміст елементу	Ливарні сплави			Деформуючі сплави з 5% Cu	Дуралю-міни	сплави Al-Cu-N
		5% Cu	8% Cu	>10% Cu			
Li	»2	»1	<0,1	<0,1	»2	<0,05	<0,05
Ti	»0,5	»0,4	до 0,4	до 0,4	»0,1	до 0,1	до 0,1
V	»0,2	»0,2	<0,1	<0,1	»0,2	<0,05	<0,05
W	»0,3	»0,05	<0,05	До 0,3	<0,05	<0,05	<0,05
Ag	»1,0	до 1	<0,05	<0,05	До 1	<0,05	<0,05
Zr	»0,5	»0,5	<0,05	<0,05	»0,5	до 0,2	<0,05
Sb	»0,5	»0,05	До 0,5	До 0,5	<0,05	<0,05	<0,05
Cr	»0,2	до 0,2	»0,2	<0,2	до 0,2	до 0,2	до 0,2

Чим нижче вміст міді і вище швидкість охолодження, тим більше роздроблені евтектики. При високому вмісті заліза або за умов охолодженнях, що сприяють ліквації, можуть з'явитися первинні кристали сполук заліза. У сплавах з пониженим вмістом міді нагрів під загартування призводить до розчинення і сфероідизації розчинних складових, руйнування евтектичної сітки і значному підвищенню пластичності. Пластична деформація також руйнує крихку сітку і перерозподіляє складові. Тому структура деформуючих напівфабрикатів складається з матриці твердого розчину а розподіленими в ній іншими структурними складовими.

Утворені у сплавах сполуки можна розділити на дві групи: розчинні, в яких міститься один або більше наступних легуючих елементів: мідь, літій, магній, кремній, цинк і нерозчинні, до складу яких входить, принаймні, один з більш-менш нерозчинних елементів : залізо, марганець, нікель і т.д.

Тип утворених розчинних сполук залежить не тільки від вмісту в сплаві розчинних елементів, але і від їхнього співвідношення. Концентрація корисної міді залежить від вмісту заліза, марганцю і нікелю; мідь, що вступила в з'єднання з ними, не надає позитивного впливу. Мідь утворює з залізом з'єднання $(CuFe)Al_6$ і $CuFeAl_7$, з марганцем $(CuFeMn)Al_6$ і $Cu_2Mn_3Al_{20}$, з нікелем Cu_4NiAl_7. Існує ще кілька недостатньо вивчених сполук міді з залізом і нікелем.

Зміст кремнію до деякої міри визначає типи утворюючих сполук міді. При концентрації більше 1% кремній сприяє утворенню $FeSiAl_5$ замість сполук

заліза з міддю і $(CuFeMn)_3Si_2Al_{15}$ замість сполук $(CuFeMn)Al_6$ і $Cu_2Mn_3Al_{20}$. Аналогічно цьому, але в меншій мірі, ефективність кремнію залежить від вмісту заліза та марганцю.

При Cu:Mg<2 і Mg:Si>1,7 утворюється з'єднання $CuMg_4Al_6$, особливо якщо присутня помітна кількість цинку. Коли Cu:Mg >2 і Mg : Si> 1,7 утворюється фаза $CuMnAl_2$. Якщо Mg:Si≈1,7, фази Mg_2Si і $CuAl_2$ знаходиться в рівновазі; при Mg: Si ≤ 1 утворюється з'єднання $Cu_2Mg_3Si_6Al_5$ зазвичай разом з фазою $CuAl_2$. Коли вміст міді перевищує 5%, вона не розчиняється повністю при промисловій термообробці і сітка евтектика зберігається. Тому в сплавах з 10-15% Cu не спостерігається істотної відмінності у структурі між литим і термообробленому станах. Магній звичайно з'єднується із кремнієм і міддю, тільки в присутності помітних кількостей свинцю, вісмуту або олова можуть утворитися Mg_2Pb, Mg_2Bi_3, Mg_2Sn. Ні в одному з наведених складів сплавів магній не утворює сполук з марганцем або залізом. У кремнію відзначається тенденція спочатку взаємодіяти з магнієм, утворюючи Mg_2Si, потім він може з'єднуватися з залізом або марганцем або виділятися у вільному вигляді. Можливі з'єднання в сплавах системи Al-Cu перераховані в табл. 1.2.

Тільки розчинені мідь і магній помітно впливають на параметр решітки; чим вище концентрація міді і магнію в сплаві і повільніше охолодження при кристалізації, тим більше їх вміст у твердому розчині. У більшості виливків воно збільшується від центру зерна до периферії і відповідно змінюється параметр решітки. У відпаленому стані, коли велика частина міді і магнію виділяється з розчину, параметр решітки *a* становить 4,049 А для всіх сплавів не залежно від складу.

У термооброблених сплавах, що містять одну або більше фаз, у тому числі $CuMnAl_2$, *a* змінюється від 4,045 до 4,051 А. В усіх сплавах параметр решітки починає змінюватися в процесі старіння, коли починає формуватися перехідна решітка аж до повної рекристалізації матриці.

Вплив легуючих елементів на щільність і термічне розширення адитивний. Так, значення щільності коливається від 2,7 до 2,85 г/см ^{3}, воно нижче для сплавів з підвищеним вмісту магнію і вище для сплавів з підвищеним вмістом

міді, нікелю, марганцю, заліза. Коефіцієнт лінійного розширення складає ~ 21-24 · 10^{-6} м/(м·К) при 27-127° і 23-26 · 10^{-6} м/(м·К) при цьому його значення вище для сплавів з високим вмістом міді і кремнію і нижче при високих змісту кремнію і міді. При низьких температурах коефіцієнт лінійного розширення зменшується практично також, як і у чистого алюмінію. Зняття ливарних напруг або виділення і розчинення міді і магнію призводить до зміни довжини до 0,2%, що може впливати на точність розмірів деталей, що піддаються нагріву. Для зменшення викривлення рекомендується обробка виливків при низьких температурах.

Усадка при затвердінні зменшується зі збільшенням вмісту міді і кремнію; вміст інших елементів впливає на неї мало. Для сплавів з низьким вмістом міді і кремнію вона становить 5-6% і знижується до 3-3,5% для сплавів з 12-14% Cu і 3-4% Si.

Питома теплоємність промислових сплавів практично та ж сама, що і подвійних сплавів Al-Cu. Легуючі елементи, крім міді, слабо впливають на теплопровідність. Для промислових сплавів, які містять 4-12% Cu і менше 4% інших елементів, вона становить приблизно 70% від теплопровідності чистого алюмінію при кімнатній температурі, 75-80% при 327 ° C і 30-35% при -73 ° C.

Електропровідність дуже чутлива до змісту розчиненої міді, в значно меншому ступені - до змісту магнію і цинку і мало залежить від нерозчинених легуючих елементів. Електропровідність сплаву з 5% Cu в твердому розчині в два рази нижче електропровідності чистого алюмінію 30-33% JACS. У вижженому стані сплав, що містить 12% Cu і до 5% інших елементів, має електропровідність 37-42% JACS, що тільки на 25-30% нижче електропровідності чистого алюмінію.

Вимірювання величини електроопору рекомендується для контролю якості виконання операцій термообробки. Магнітна сприйнятливість залежить головним чином від вмісту марганцю; вона становить близько 10^{-3} мм ^{3} / моль у сплавах без марганцю ідо 20-25 * 10^{-3} мм^{3} /моль у сплавах з 1% Mn. Число Лоренца і термоелектрорушійної сила для промислових сплавів ті ж, що і для подвійних сплавів Al-Cu. Відбивна здатність у світловому та

ультрафіолетовому діапазонах довжин хвиль і теплове випромінювання мало залежить від складу сплаву.

Таблиця 1.2 Фазовий зміст сплавів Al-Cu [11]

Елемент	Співвідношення і зміст елементів і утворюючі фази
Cu	$\frac{Cu<2\%}{\text{в твердому розчині}}$; $\frac{Cu>2\%}{CuAl_2}$; $\frac{Fe»Si}{Cu_2FeAl_7 \text{ або } (Cu_2Fe)Al_6}$; $\frac{Mg>½Si}{CuMgAl_2 \text{ або } CuMg_4Al_6}$; $\frac{Mn\gg Fe}{Cu_2Mn_3Al_{20} \text{ або } (CuFeMn)_3Al_6}$; $\frac{Mg<Si}{Cu_2Mg_8Si_6Al_5 \text{ або } (CuFeMn)_3Si_2Al_{15}}$; $\frac{Ni>0,1\%}{CuNiAl_7 \text{ або } (CuNi)^2Al^3 \text{ або } Cu^2(FeNi)Al^7 \text{ або } (CuNi)Al^6}$
Fe	$\frac{Si>2Mg}{Fe_2SiAl_8 \text{ або } FeSiAl_5}$; $\frac{Fe\gg Si}{Cu_2FeAl_7 \text{ або } (CuFe)Al^6 \text{або } FeAl_3}$; $\frac{Mn>0,1\%}{(CuFeMn)Al_6 \text{ або } (CuFeMn)_3Si_2Al_{15}}$; $\frac{Ni>0,1\%}{FeNiAl_9 \text{ або } (CuFeNi)Al^6 \text{ або } (CuFeNi)_2Al^3 \text{або } (Cu_2(FeNi)Al^7}$
Si	$\frac{Si>Fe}{FeSiAl_5}$; $\frac{Si<Fe,Mg>Si}{Mg_2Si}$; $\frac{Mg\approx Si}{Cu_2Mg_8Si_6Al_5}$; $\frac{Mn>0,1\%}{(CuFeMn)_3Si_2Al_{15}}$; $\frac{Si\gg Mg+Fe}{Si}$
Mg	$\frac{Mg<0,2\%}{\text{в твердому розчині}}$; $\frac{Si>0,6\ Mg<1Mg}{Mg_2Si}$; $\frac{Si\approx Mg}{Cu_2Mg_8Si_6Al_5}$; $\frac{Si\ll 0,6Mg}{CuMgAl_2}$; $\frac{Cu<Mg}{CuMg_4Al_6}$
Mn	$\frac{Mn<0,2\%}{\text{в твердому розчині}}$; $\frac{Fe>Si}{(FeMn)Al_6}$; $\frac{Fe<Si}{(CuFeMn)_3Si_2Al_{15}}$; $\frac{FeSi\ll Mn}{Cu_2Mn_3Al_{20}}$; $\frac{Ni>0,1\%}{Mn_3NiAl_{16}}$
Zn	$\frac{Zn<2\%}{\text{в твердому розчині}}$; $\frac{Zn>2\%}{Cu_5Zn_2Al_3}$;
Ni	$\frac{Cu\gg Fe}{Cu_4NiAl_7}$; $\frac{Cu<2Fe\ ,\ Fe\gg Si}{FeNiAl_9 \text{ або } (CuFeNi)Al^6 \text{ або } (CuFeNi)_2Al^3 \text{або } (Cu_2(FeNi)Al^7}$; $\frac{Mn>0,1\%}{Mn_3NiAl_{16}}$
Pb	$\frac{Mg,\ Pb<0,1\%}{Pb}$; $Bi < 0,1Pb$; $\frac{Mg>1,7Si}{Mg_2Pb}$; $\frac{Bi>0,17Pb}{BiPb_3}$
Sn	$\frac{Mg<1,7Si}{Sn}$; $\frac{Mg\gg 1,7Si}{Mg_2Sn}$;
Ag	$\frac{Ag<0,3\%}{\text{в твердому розчині}}$; $\frac{Ag>0,3\%}{Ag_2Al}$; $\frac{Mg\gg 1,7Si}{(AgCuAl)_{49}Mg_{32}}$ або Ag Mg

У табл. 1.3 і 1.4 приведений орієнтовний рівень властивостей сплавів різних груп. Висока чистота, спеціальні склади і технологія виготовлення або термообробки можуть забезпечити отримання підвищених властивостей.

Пористість, погане харчування виливків, підвищений вміст домішків, ізоляція і слабкий контроль якості при виробництві можуть знизити властивості нижче, наведених у табл . 1.3 і 1.4. Поверхневі дефекти у більшій мірі, ніж внутрішні, знижують властивості виливків [11].

Таблиця 1.3 Механічні властивості ливарних сплавів Al-Cu [11]

Стан	5% Cu.		8% Cu		12% Cu		Al-Cu- Ni сплав	
	піщана форма	кокіль	піщана форма	кокіль	піщана форма	кокіль	піщана форма	кокіль
HV, МН/м²								
F	500-700	600-900	500-700	600-900	700-900	800-1200	700-900	800-1000
T4	600-900	700-1100	-		800-1200	900-1300	800-1100	900-1200
T6	1000-200	1100-1400	-		1000-1400	1000-1500	950-1300	1100-1400
σв,МН/м²								
F	100-200	150-250	120-150	150-250	120-180	150-200	150-250	200-300
T4	200-300	250-350	-	-	150-250	200-300	150-250	200-300
T6	250-350	300-450	-	-	200-300	250-350	200-300	250-350
σ 0,2,МН/м²								
F	100-150	120-180	60-80	80-120	100-150	150-200	120-180	150-250
T4	120-200	150-250	-	-	150-200	200-250	120-200	150-250
Стан	5% Cu.		8% Cu		12% Cu		Al-Cu- Ni сплав	
	піщана форма	кокіль	піщана форма	кокіль	піщана форма	кокіль	піщана форма	кокіль
T6	200-300	250-350	-	-	200-250	250-300	180-250	200-300
δ,%								
F	3-6	2-5	2-5	2-3	0-2	0-2	0-2	0-3
T4	5-10	2-10	-	-	0-4	0-3	0-4	0-5
T6	1-5	0-5	-	-	0-2	0-1	0-2	0-2

Умовні позначення: F - без додаткової обробки, литий або деформований стан; T4 - загартування і пиродне старіння; T6- загартування і штучне старіння.

Таблиця 1.4 Механічні властивості деформованих сплавів Al-Cu [11]

Стан	Сплав з 5% Cu	Дуралю-міни	Al-Cu-Ni сплав	Стан	Сплав з 5% Cu	Дуралю-міни	Al-Cu- Ni сплав
HV, МН/м²				*σ 0,2,МН/м²*			
О	500-700	500-800	600-800	О	60-120	80-150	80-120
Н	650-800	700-900	650-850	Н	80-150	100-180	100-150
Т4	900-1200	850-1250	1000-1300	Т4	150-300	200-400	200-300
Т6	1000-1500	1000-1400	1100-1500	Т6	350-450	350-450	350-400
Т8	1100-1600	1100-1500		Т8	350-500	450-550	
σв,МН/м²				δ,%			
Стан	Сплав з 5% Cu	Дуралю міни	Al-Cu-Ni сплав	Стан	Сплав з 5% Cu	Дуралю міни	Al-Cu- Ni сплав
О	150-250	150-250	150-250	О	15-25	15-25	15-25
Н	200-300	200-350	200-300	Н	4-10	3-8	3-8
Т4	300-450	300-450	300-400	Т4	15-25	15-25	15-25
Т6	400-500	400-500	400-500	Т6	10-15	8-15	6-15
Т8	450-650	450-650		Т8	2-10	2-10	

Умовні позначення:О -відпал; Н - холодно нагартований з відпаленого стану; Т4 - загартування і природне старіння; Т6- загартування і штучне старіння; Т8 - загартування і природне старіння, холодна деформація, штучне старіння або холодна деформація після штучного старіння.

Найкраще поєднання міцності та пластичності сплавів забезпечується при вмісті міді, близькому до межі розчинності (5% Cu в промисловій практиці), і при відповідній термообробці, після якої мідь розподіляється в зонах ГП. Більш низькі концентрації міді, якщо вони не компенсуються магнієм, що призводять до зниження міцності і поліпшення пластичності. При вмісті міді більше 5-6% міцність дещо збільшується, але пластичність істотно зменшується. Ударна в'язкість, в'язкість надрізаних зразків і втомна міцність зменшується через

наявність тендітної сітки евтектик (головним чином Al (Cu-Al). Необхідно відзначити, проте, що зі збільшенням вмісту міді міцність при високій температурі, а також опір повзучості і зносу підвищується [12].

Кремній підвищує міцність ливарних сплавів в основному за рахунок збільшення рідкотекучості і, отже, щільності відливок, але при деякій втрати пластичності та опору втоми, особливо при утворенні сполуки $FeSiAl_5$ замість сполук Fe_2SiAl_8 або Cu_2FeAl_7. У сплавах з магнієм кремній дає деякий безпосередній ефект зміцнення, але його головний ефект - непрямий, тому що відношення концентрацій Mg: Si контролює зміцнення при старінні. Кремній знижує міцність при високій температурі і опір повзучості, особливо в присутності магнію.

Магній підвищує міцність і твердість сплавів, особливо відливок, при істотному зниженні пластичності і ударної в'язкості. При вмісті магнію менше 2% спостерігається схильність сплавів до старіння при кімнатній температурі. Швидкість і ефект старіння контролюється ставленням Mg: Si. При високих відносинах кращі міцність і пластичність досягаються при природному старінні, при низьких відношеннях для отримання оптимальних властивостей не обхідне штучне старіння. Коли вміст магнію в два рази вище ніж міді, зміцнення невелике. При високому вмісті магнію міцність при підвищених температурах і опір повзучості поліпшується, особливо при низькій концентрації кремнію.

Електродний потенціал системи Al-Cu визначається в основному вмістом розчиненої міді. У стандартному розчині $NaCl$-H_2O_2 електродний потенціал щодо каломельного електрода складає від - 0,80 до 0,95*В* для промислового сплаву, відпаленого при 223-324 ^{0}C протягом декількох годин з метою виділення всієї міді з розчину. Для загартованого матеріалу з вмістом міді в розчині близько 5% він становить 0,65-0,75 *В*. Це верхня межа в промисловій практиці. Магній і цинк при звичайних утриманнях зрушують потенціал до більш негативному (на 0,01-0,02 В); жоден з інших елементів (можливо, через виключення літію) не робить вимірного ефекту. Виміром потенціалу можна визначати чутливість до міжкристалічної корозії та корозії під напругою. Як

показано для подвійних, потрійних і інших, більш складних сплавів, електродний потенціал поступово змінюється в процесі старіння від величини, властивої свіже загартованому стану, до значень, властивих відпаленому матеріалу. У сплавах, що містять мідь, це зміна починається при переході до наступної після зон ДП 1 стадії старіння і завершується, коли утворюється проміжна фаза. Протягом цього періоду ділянки зерна (границі зерен, спотворені зони та інші), в яких старіння пройшло у великій мірі, електронегативні відносно решти зерна, і в них концентрується корозія.

Мідь у вигляді $CuAl_2$ не викликає різкого збільшення корозії, тому що різні в потенціалі між фазою $CuAl_2$ і пересичені міддю матрицею становить лише кілька сотих вольта. Таким чином, збільшення вмісту міді з 5 до 15% не призводить до істотної зміни корозійної стійкості. Проте наголошується сильна корозія, коли мідь під дією корозійного середовища гальванічно осідає на алюмінію у вигляді металевої міді. Магній не робить істотного впливу на корозійну стійкість. Якщо він присутній у вигляді фази Mg_2Si, то кородує дуже швидко, але утворюються дрібні вогнища піттінгової корозії має незначний вплив на властивості або подальшу корозію.

Магній у розчині або у вигляді сполук $CuMgAl_2$ або $Cu_2Mg_8Si_6Al_5$ зменшує корозійну стійкість в основному через збільшення чутливості до міжкристалічної корозії. Однак при однаково рівні міцності сплави без магнію мають більш низьку корозійну стійкість.

Мідь сприяє зниженню температури рекристалізації, особливо при великих деформаціях. Швидкість рекристалізації максимальна, коли надлишок міді виділяється у вигляді грубих частинок, менше у разі, якщо мідь знаходиться в твердому розчині, і мінімальна, коли мідь утворює тонкі виділення. Ліквація також впливає на рекристалізацію. Рекристалізація сплавів, охолоджених з надвисокими швидкостями, досліджена в роботі. Залізо, кремній, магній і нікель надає невеликий вплив або не впливають зовсім на швидкість і температуру подрібненню розміру зерна. Хром, марганець, ванадій і цирконій, перебуваючи в твердому розчині, підвищують температуру рекристалізації і

можуть огрубляти зерно. При виділенні з розчину їх вплив на температуру рекристалізації сильно зменшується і вони сприяють подрібненню зерна.

Текстура рекристалізації сплавів, в яких велика частина міді присутня у вигляді іншої фази, аналогічна звичайній текстурі алюмінію.

З метою розчинення елементів і їх більш рівномірного розподілу звичайно проводять гомогенізацію виливків і злитків для деформуючих напівфабрикатів. Хоча і є твердження, що гомогенізація перед деформацією мало впливає чи не впливає на механічні властивості або втома оброблених напівфабрикатів, проте велика однорідність структури призводить до поліпшення їх якості. У сплавах, що містять марганець гомогенізація призводить до виділення надлишку марганцю, розчиненого при безперервному лиття, зменшення анізотропії напівфабрикату й зниження температури рекристалізації. Цирконій не впливає на процес гомогенізації [12].

Режим гомогенізації залежить певною мірою від напівфабрикату та його призначення: для виливків у кокіль, який має тонке розподіл структурних складових, досить витримки при температурі близько 2-4 години, для виливків у піщані форми або великих злитків при повільному затвердіння необхідні витримки до 24 годин . Для сплавів, які містять магній, потрібні кілька більш тривалі витримки, оскільки фаза Mg_2Si розчиняється повільніше, ніж фаза $CuAl_2$.

1.3 Сплав АМ5

Сплав АМ5 (інша назва АЛ19) є сплавом системи Al-Cu використовується для лиття деталей, до яких пред’являються підвищені вимоги по міцності та експлуатаційної надійності [13].

Таблиця 1.5 Хімічний склад АМ5

Сплав	Компоненти, %				Домішки, %	
	Al	Cu	Mn	Ti	Fe	Si
АМ5	осн.	4,5-5,3	0,6-1,0	0,15-0,35	Менше 0,2	Менше 0,3

В модифікованому сплаві АМ5, утворюється декілька потрійних сполук, але у рівновазі із алюмінієвим твердим розчином можуть знаходитись лише фази $CuAl_2$ і Al_3Zr [14].

Мідь призводить до зменшення розчинності цирконію у рідкому алюмінії, сприяючи таким чином утворенню більшої кількості інтерметалідних сполук Al_3Zr у виливку і при термічній обробці, що у свою чергу призводить до збільшення міцності сплаву. Основний ефект зміцнення проявляється після нагріву під гартування до 520°С, з подальшим гартуванням та штучним старінням протягом 5 годин при температурі 175°С ефект зміцнення дещо зменшується.

1.4 Сплави системи мідь—алюміній—цирконій

Система Cu—Al—Zr вивчена в області сплавів, збагачених Cu (5 і 10% Al, 0-5 вагу. % Zr), методами мікроструктурного аналізу та виміру твердості в роботі і в більшому інтервалі концентрацій Cu—$CuAl_2$ —$ZrAl_3$—Zr методами мікроструктурного і рентгенівського аналізів в роботі [15].

Згідно з роботою на політермічному розрізі з 10 ваг. % Al нижче лінії солідусу присутні фази α, β, γ_2 і *Z*, де *Z* - нове потрійне з'єднання, що представляє собою твердий розчин на основі $ZrCu_3$, в якому розчинений Al. Zr не впливає на температуру перетворення $\beta \rightarrow \gamma + \alpha_2$ і знижує температуру перетворення $\alpha \leftrightarrows \beta$. Ізотермічні розрізи при 500 і 850° С характеризуються вузькою областю α—фази і широкої двофазної областю (α + Z). Поява області (β + Z) на розрізі при 850 ° обумовлено зниженням температури $\alpha \leftrightarrows \beta$ перетворення зі збільшенням вмісту цирконію.

На рис. 1.1 показаний ізотермічний розріз діаграми, побудований в роботі. Встановлено утворення 8 потрійних сполук, з яких найближчим до Cu є *K*. Це з'єднання, а також сполуки *U, П, H, Z і N* мають постійний склад. Фази ψ і λ_2 утворюють області твердих розчинів, витягнуті уздовж ізоконцентрат 7,7 ат. % Zr і 33 ат. % Zr. При 500° утворюється ще одне потрійне з'єднання (ψ = фаза), яка має незначну область гомогенності, що включає склад $ZrCu_6Al_6$.

Кристалічна структура *H* = фази типу $MnCu_2Al$, α = 6,215 А. Фаза λ_2 має структуру фаз Лавеса типу $MgCu_2$, параметр решітки змінюється від 7,308 до 7,440 А. Фаза *ψ* має структуру типу $ThMn_2$ з параметром решітки α = 4,90-5,12 А , *c* = 8,56-8,50 А; фаза *N* - структуру типу $AlCu_3$, α = 4,02 А.

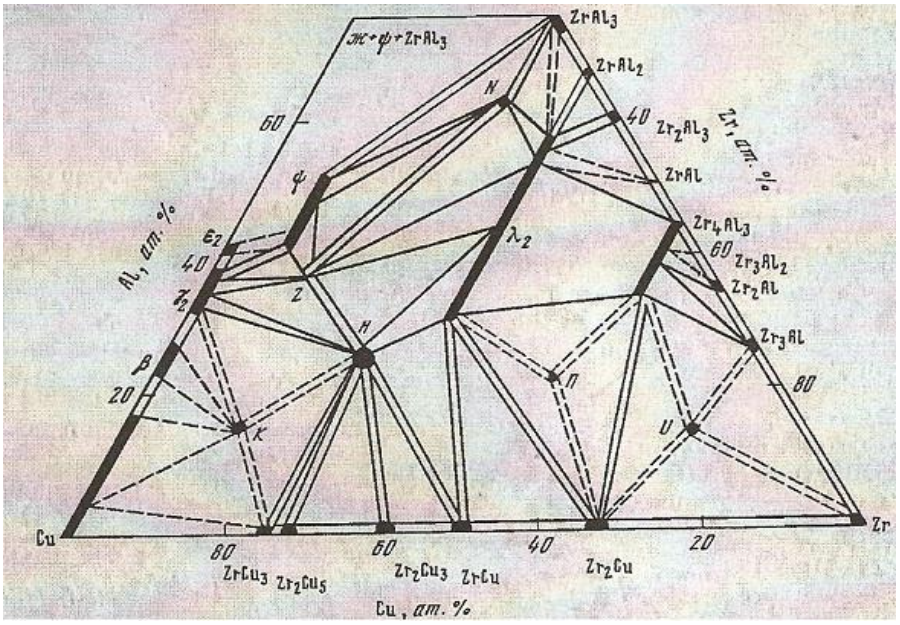


Рисунок 1.1 Діаграма стану системи Al-Cu-Zr

1.5 Добування цирконію та його використання

Цирконій в сучасному економічному житті України набуває одне з першорядних значень. По-перше, Україна за запасами цирконієвих пісків займає одне з провідних місць у світі і перша серед країн СНД. По-друге, металевий цирконій являється основою конструкційних матеріалів активної зони ядерних реакторів. Немає сумніву в тому, що в найближче століття XXI століття атомна енергетика стане переважаючою галуззю енергетичного комплексу України. В перспективних атомних і термоядерних реакторах майбутнього цирконієві сплави нового покоління будуть відігравати визначальну роль. В Україні освоєна переробка цирконієвих руд до отримання концентрату який містить 65% цирконію, і створено виробництво металічного цирконію. По-третє, хімічне машинобудування може стати другою після

ядерної енергетики областю застосування цирконію, що пов'язано з його винятковою корозійною стійкістю в агресивних середовищах [16].

Заміна дефіцитних дорогоцінних і тугоплавких металів і нержавіючих сплавів цирконієвими матеріалами в хімічному апаратобудуванні, харчової та фармацевтичної промисловості не тільки економічно вигідна, а в більшості випадків технічно доцільна. Традиційним є використання цирконію в металургії чорних і кольорових металів для підвищення експлуатаційних характеристик конструкційних сталей та їх модифікування, підвищення якості мідних, алюмінієвих, магнієвих та інших сплавів з ряду випадків для заміни дефіцитних і токсичних лігатур. Перспективно використання цирконію і його сполук (ZrO_2, ZrF_4) в електротехніці, твердотільній електроніці, волокнистій оптиці та медицині. І, нарешті, із застосуванням цирконію і його сполук зв'язується розвиток нових екологічно чистих джерел енергії альтернативних ядерної. Це насамперед воднева енергетика, де сплави на основі цирконію застосовуються для очищення і накопичення водню та його ізотопів, і пряме перетворення теплової енергії в електричну, де використовується явище іонної провідності оксидів цирконію високої чистоти [17].

Металургія цирконію отримала інтенсивний розвиток після того, як цирконій став основним компонентом конструкційних сплавів для атомної техніки. Досить сказати, що світове виробництво цирконію з 1949 по 1959 рр., зросло в сто разів. Цирконій має ряд унікальних властивостей - малий перетин захоплення теплових нейтронів, висока температура плавлення, хороші корозійні властивості. Все це зробило цирконій незамінним матеріалом в атомній промисловості. Це зажадало розробки методів отримання цирконію "реакторної чистоти". Для цього необхідно розділити цирконій та гафній, який має великий коефіцієнт поглинання теплових нейтронів і є супутнім елементом. Його вміст у цирконієвих рудах становить від 0,5 до 2%. Відомо, що домішки впровадження - кисень, азот, вуглець сильно впливають на механічні та корозійні властивості, тому одержання високочистого цирконію є однією з умов використання в атомній промисловості [18].

1.6 Склад флюсу

Вибір складу флюсу містився у виборі таких компонентів та їх співвідношення, які б дозволили отримати якомога більший видобуток цирконію із його фториду у алюмінієвий розплав при мінімальній ціні.

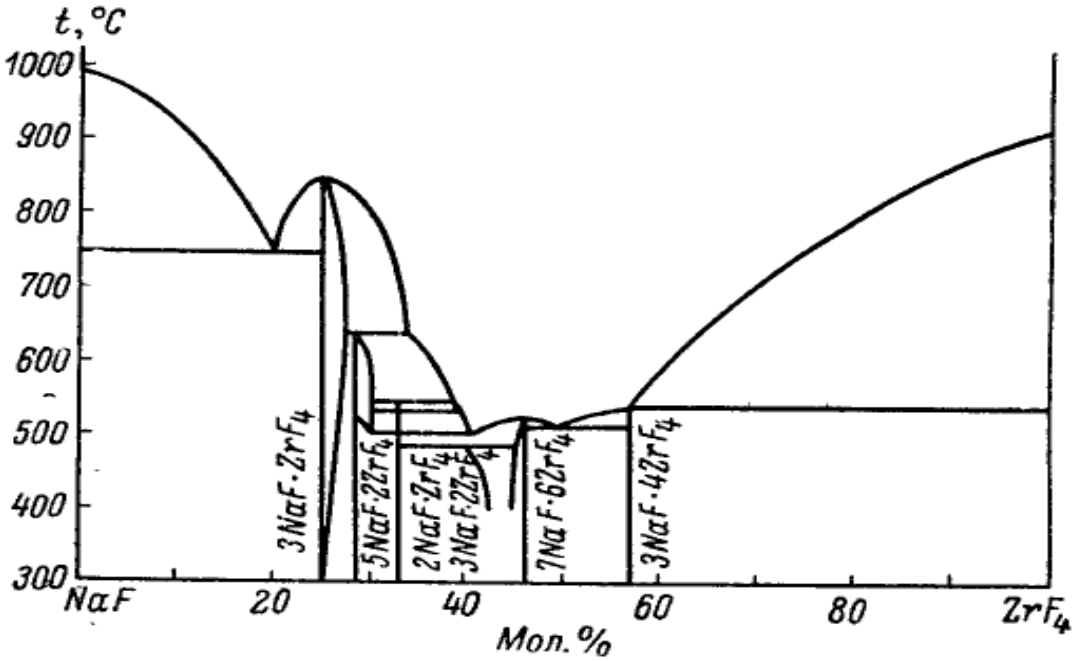


Рисунок 1.2 Діаграма стану NaF – ZrF_4

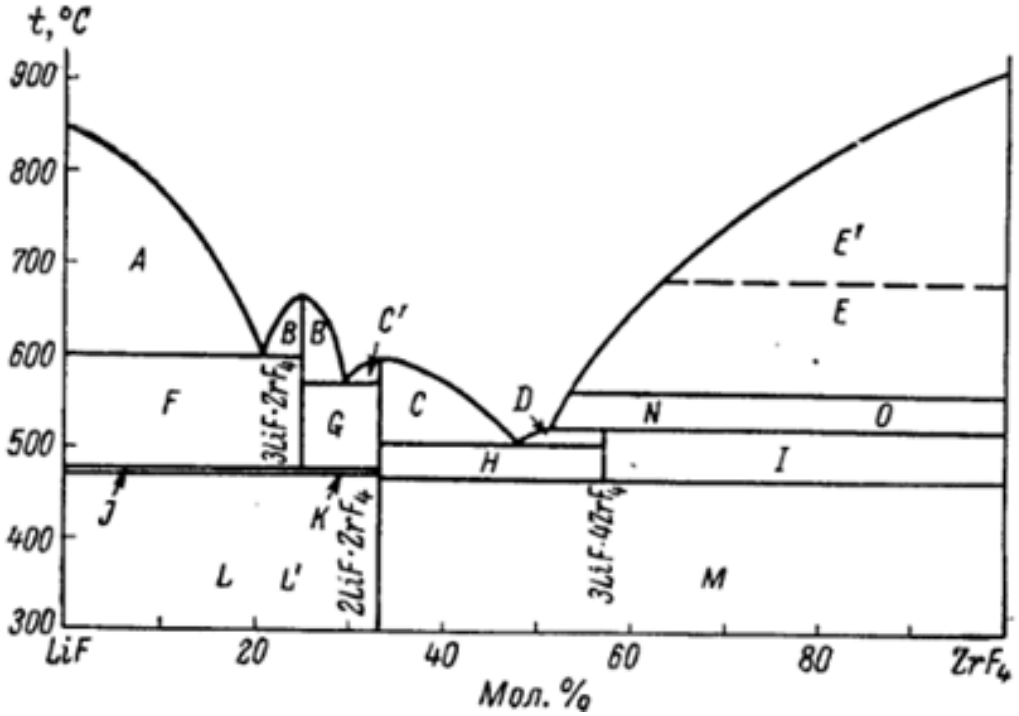


Рисунок 1.3 Діаграма стану системи LiF – ZrF_4

Після аналізу декількох систем було прийнято рішення скористатися системою LiF - ZrF_4. Співвідношення між компонентами підбирались таким чином, що б при кристалізації потрапити у область **C**. Тобто щоб забезпечити мінімально можливу температуру його плавлення та наявність такої сполуки у розплаві Li_2ZrF_6. В подальшому відбувається відновлення цирконію алюмінієм за реакцією [19]:

$$3Li_2ZrF_6+4Al=3Zr+2Li_3AlF_6+2AlF_3 \quad (1.1)$$

При накопиченні цирконію у алюмінієвому розплаві у кількості більшій за межу розчинності при даній температурі відбувається утворення інтерметаліду з алюмінієм за реакцією:

$$Zr+3Al=Al_3Zr \quad (1.2)$$

У цьому ж випадку відбувається реакція відновлення цирконію:

$$3Li_2ZrF_6+13Al=3Al_3Zr+2Li_3AlF_6+2AlF_3 \quad (1.3)$$

1.7 Ймовірність взаємодії оксиду цирконію з компонентами солевого розплаву

$$ZrO_2+(4/3)AlF_3=ZrF_4+(2/3)Al_2O_3 \quad (1.4)$$

$$ZrO_2+4NaF=ZrF_4 + 2Na_2O \quad (1.5)$$

$$ZrO2 + 6NaF = Na2ZrF6 + 2Na2O \quad (1.6)$$

$$ZrO_2 + 2NaF + (4/3)AlF_3 = Na_2ZrF_6 + (2/3)Al_2O_3 \quad (1.7)$$

$$ZrO_2 + 2KF + (4/3)AlF_3 = K_2ZrF_6 + (2/3)Al_2O_3 \quad (1.8)$$

$$ZrO_2 + 3NaF + (4/3)AlF_3 + 2KCl = K_2ZrF_6 + (2/3)Al_2O_3 + 2NaCl \quad (1.9)$$

За рахунок малої кількості даних по термодинамічним величинам цирконієвих комплексних сполук, їх значення знаходились трьома методами [20]:

- В основу розрахунку було положене допущення, що еквівалентна ентальпія утворення комплексу із солей, які до нього входять однакова для сполук алюмінію і цирконію, а також для сполук кремнію і цирконію;

- По правилу Гесса;

- Різниця енергії зв'язку ΔHc однакова.

Результати розрахунків ΔG_T^0 та K_p вище записаних реакцій (1.1-1.6) при різних температурах приведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 Зміна енергії Гіббса і константи рівноваги реакцій взаємодії оксиду цирконію з компонентами солевого розплаву

№ реакции	800^0C		850^0C		900^0C		950^0C		1000^0C	
	ΔG^0_T, кДж/моль	K_p	ΔG^0_T, кДж/моль	K_p	ΔG^0_T, кДж/моль	K_p	ΔG^0_T, кДж/моль	K_p	ΔG^0_T, кДж/моль	K_p
1	360	-0,04	182,5	-0,03	5	-0,001	-172,5	0,02	-350	0,03
2	488	-0,06	318,5	-0,04	146	-0,02	-20,5	0,002	-190	0,02
3	584	-0,07	420,5	-0,05	254	-0,03	93,5	-0,01	-70	0,007
4	48	-0,006	-149	0,02	-349	0,04	-543	0,06	-740	0,07
5	24	-0,003	-174,5	0,019	-377	0,04	-571,5	0,06	-770	0,08
6	32	-0,004	-166	0,018	-364	0,04	-562	0,06	-760	0,077

З таблиці видно , що реакції 1.4, 1.5, 1.6 при температурі процесу 850-900 ^{o}C здвинуті в сторону утворення фторцирконатів лужних металів.

Процес отримання лігатури алюмотермічним відновленням цирконію із фторцирконату лужного металу протікає по реакції:

$$3Li_2ZrF_6 + 4Al = 3Zr + 2Li_3\ A1F_6 + 2AlF \qquad (1.10)$$

Відновлений цирконій взаємодіє з алюмінієм з утворенням інтерметаліда Al_3Zr:

$$Zr + 3Al = Al_3Zr \qquad (1.11)$$

Таким чином, в реальних умовах організації процесу реакція має вид:

$$3Li_2ZrF_6 + 13Al = 3Al_3Zr + 2Li_3AlF_6 + 2AlF_3 \quad (1.12)$$

Паралельно з фторцирконатом літію в розплаві може утворюватись і фторцирконат натрію, і тому розглянута термодинаміка алюмотермічного відновлення цирконію по реакції:

$$3Na_2ZrF_6 + 4Al = 3Zr + 2Na_3AlF_6 + 2AlF_3 \quad (1.13)$$

Розрахунок термодинамічних величин проводився на ПЕОМ за допомогою програми «ThermoDyn». Результати розрахунків представлені на рис. 1.4.

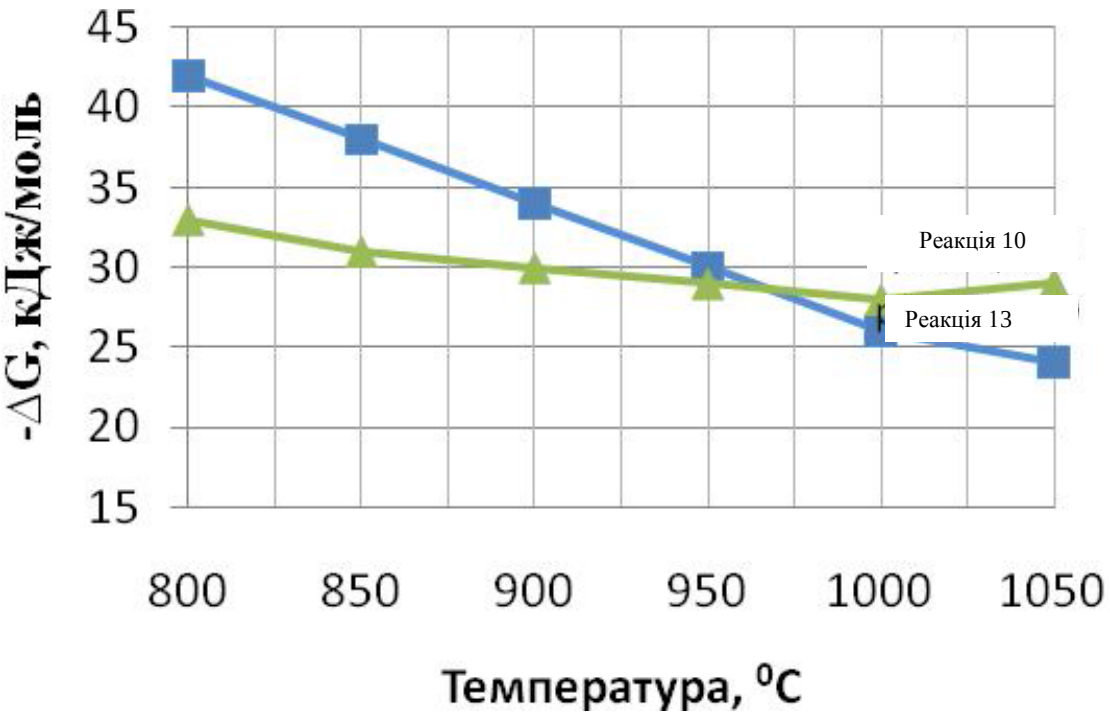


Рисунок 1.4 Температурна залежність енергії Гіббса реакцій 1.10 та 1.13

Максимально термодинамічно можливе виділенняя цирконію із фторцирконатів літію та натрію розраховане для реакції 1.10 та 1.13 приведені в табл. 1.7 і 1.8.

Таблиця 1.7 Рівновісна концентрація фторцирконату літію і максимально термодинамічно можливе виділення цирконію

Температура, ^{0}C	K_p	N_{K2ZrF6}	$100*N_{Zr}/(N_{Zr}+N_{K2ZrF6})$,%
800	150,3	$0,67\cdot10^{-1}$	89,20
850	74,78	$1,24\cdot10^{-1}$	87,82
900	43,54	$1,64\cdot10^{-1}$	84,37
950	29,32	$1,87\cdot10^{-1}$	81,20
1000	21,8	$2,23\cdot10^{-1}$	77,66
1050	18,45	$2,45\cdot10^{-1}$	72,90

Таблиця 1.8 Рівновісна концентрація фторцирконату натрію і максимально термодинамічно можливе виділення цирконію

Температура, ^{0}C	K_P	$N_{NA2ZRF6}$	$100*N_{Zr}/(N_{Zr}+N_{Na2ZrF6})$,%
800	413,5	$5,23\cdot10^{-2}$	92,97
850	124,07	$8,14\cdot10^{-2}$	88,05
900	73,49	$2,17\cdot10^{-1}$	83,92
950	29,76	$2,84\cdot10^{-1}$	79,73
1000	17,65	$3,76\cdot10^{-1}$	74,56
1050	11,60	$4,04\cdot10^{-1}$	70,64

Як видно з приведених табл. 1.7 і 1.8 збільшення температури повинно призводити до зменшення виділення цирконію. Так, як процес алюмотермічного відновлення цирконію із фторцирконатів лужних металів протікає з виділенням тепла і реакції 1.7, і реакції 1.10 зміщуються вправо. Виділення цирконію при досліджених температурах в обох випадках приблизно однакові і досягають 90-93% при 800 ^{o} C [21].

1.8 Висновки, мета та задачі дослідження

В даному розділі були опрацьовані існуючі відомості про алюмінієво-мідні сплави та технології їх модифікування.

З’ясовано, що алюмінієво-мідні сплави являються одними із найкращих ливарних алюмінієвих сплавів за механічними властивостями та собівартістю серед інших алюмінієвих сплавів і поступаються по деяким механічним показникам лише сталям. Для покращення їх механічних властивостей можна використовувати модифікатори на основі цирконію.

В даному розділі було обґрунтовано вибір модифікатора та флюсу для алюмінієвого сплаву АМ5 та розраховано ймовірність взаємодії сполук цирконію з компонентами сольового розплаву. Показана актуальність та перспективи використання для зміцнення ливарних алюмінієвих сплавів типу АМ5 фторидом цирконію.

Таким чином, головна **мета роботи** полягає в розроблені технології зміцнення алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію і дослідженні його фізико-механічних властивостей.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити наступні **задачі**:

- провести аналіз літературних джерел по темі дисертації;
- розробити методику проведення досліджень;
- провести дослідні плавки сплаву АМ5 за розробленою методикою;
- провести дослідження структури та фізико-механічних властивостей отриманих зразків;
- за отриманими експериментальними даними провести моделювання та оптимізацію параметрів технології зміцнення сплаву АМ5 фторидом цирконію;
- зробити висновки щодо ефективності використання технології зміцнення алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика проведення механічних випробувань

Для визначення впливу сполук, які містять цирконій на властивості алюмінієвих сплавів проводили механічні випробовування на міцність та пластичність. Випробовування на розтяг дають можливість отримувати ряд механічних характеристик, що дозволяють оцінити не лише міцність матеріалів, що випробовують, а також їх якість [22].

Для дослідження на міцність та пластичність в металічний кокіль відливали стандартні зразки діаметром 12 мм і розрахованою довжиною 60мм, згідно ДСТУ – 2839-94 (рис.2.1).

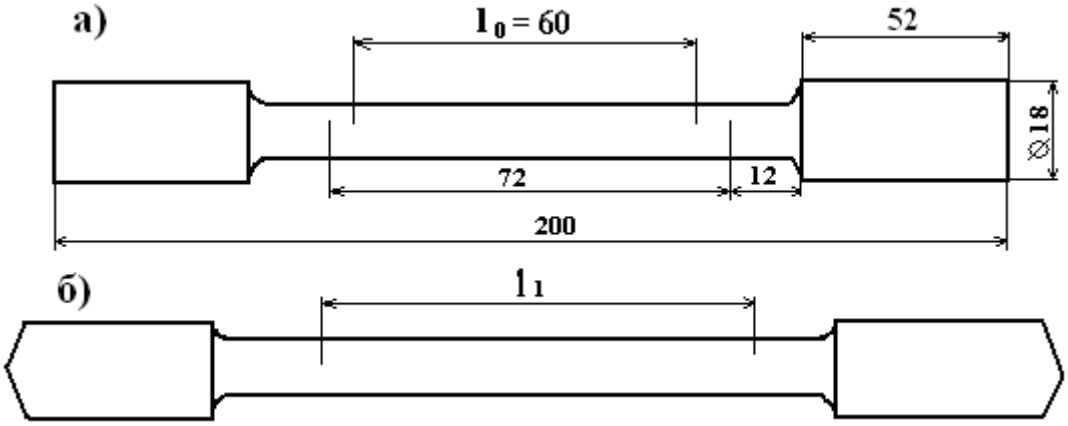


Рисунок 2.1 Експериментальний зразок: а) до випробувань;
б) після випробувань

Після обрізки прибутків, зачищення і розмітки, зразки випробовувались на розривній машині типу FP 100/1. Циліндричний зразок закріплювали в зажимах розривної машини і повільно розтягували, поступово збільшуючи зусилля навантаження до розриву зразка. Зусилля, яке було прикладене, визначали за шкалою машини.

Напруження, яке визвано навантаженням зразка, що відповідає руйнуванню цього зразка, називається тимчасовим опором розриву:

$$\sigma_B = P_{max} / F_0 \ , \qquad (2.1)$$

де P_{max} – максимальне навантаження, Н

F_0 – площа поперечного перерізу зразка до початку випробувань, м^2.

Після випробувань довжина зразка збільшилась. Окрім цього, в середній частині діаметр зразка зменшився. Збільшення довжини характеризує пластичні властивості сплаву і називається відносним подовженням. Чим більше відносне подовження зразка, тим пластичніше сплав. Відносне подовження визначається по наступній формулі:

$$\delta = [(l_1 - l_0) / l_0] * 100 \ , \qquad (2.2)$$

де l_0 – початкова довжина зразку, мм;

l_1 – кінцева довжина зразку, мм.

Перед випробуваннями зразків початкову розрахункову довжину l_0 обмежують невеликими кернами або іншими мітками з точністю до 1%.

2.2 Методика виготовлення мікрошліфів

Вивчення за допомогою мікроскопа структури металів, а також непрозорих неметалічних матеріалів можливо лише при досить інтенсивному відображенні світлових променів від досліджуваної поверхні. Тому поверхня зразка повинна бути спеціально підготовлена. Зразок, поверхня якого підготовлена для мікроаналізу, називається мікрошліфом. Для готування шліфа необхідно вирізати зразок з досліджуваного матеріалу й одержати на ньому плоску і блискучу поверхню [23].

Відбір зразків. Існує три методи відбору зразків в залежності від основних методів досліджень:

1. Виробничий контроль. Місце вирізки зразків, їх розміри і кількість визначаються за вимогами стандартів, технічних умов та іншою нормативно-технічною документацією.

2. Дослідження причин пошкодження або дефекту деталі. Зразки повинні бути вирізані ближче до зламу або тріщини. Для порівняння структури досліджуються також зразки матеріалу з задовільними властивостями.

3. Проведення дослідницької роботи, коли місце відбору зразка визначається її метою.

Вирізка зразків. Зразки одержують механічним (рубання, різання, фрезерування) або анодно-механічним способом. Вплив наклепу та нагріву при цьому можна звести до мінімуму, застосовуючи малі подачі й охолодження. Для різання твердих металів використовують абразивні круги.

Розміри мікрошліфа. Найбільш зручна форма зразків мікрошліфа показана на рис. 2.2.

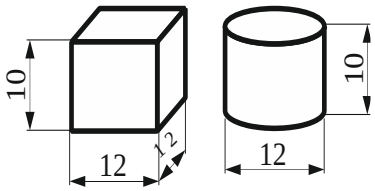


Рисунок 2.2 Стандартні розміри металографічних шліфів

При виготовленні мікрошліфів зі зразків малих розмірів (дріт, листи, тощо) для надійного кріплення використовують спеціальні струбцини (див. рис. 2.3 а), або поміщають зразки в металеві обойми і заливають легкоплавким сплавом або епоксидною смолою (див. рис. 2.3 б).

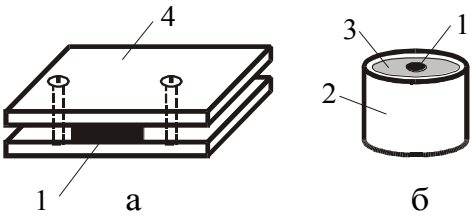


Рисунок 2.3 Пристосування для виготовлення мікрошліфів:
а – шліф затиснутий у струбцині; б – шліф, залитий епоксидною смолою

Торцювання шліфа здійснюється з метою додання прямолінійності одній з його поверхонь і проводиться напилком або шліфувальним кругом.

При різанні порушується структура поверхневого шару матеріалу. Глибина порушеного шару в крихких матеріалів досягає декількох десятків мікронів, а в металів - порядку десятків долі міліметра. Для того, щоб досліджувати структуру об'єкту, необхідно видалити деформований шар з його поверхні. З цією метою проводять шліфування і полірування зразків.

Шліфування зразків. Шліфування (грубе і тонке) служить для видалення наклепаного шару, грубих подряпин на поверхні шліфа і являється підготовчою операцією перед поліруванням. Для одержання ясної поверхні при кожному переході на новий абразив потрібно змінювати направлення руху зразків на 90º і шліфування вести до повного зникнення рисок від попередньої операції (рис.2.4). Шорсткість поверхні після шліфування не повинна перевищувати 0,08 мкм.

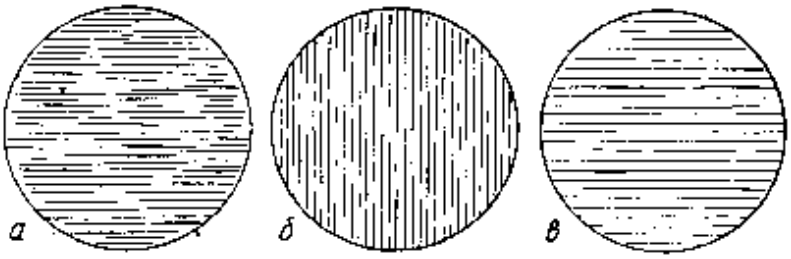


Рисунок 2.4 Поверхня зразка після шліфування

При збільшенні мікроскопа в 100 разів на поверхні повинні проглядатися тільки сліди обробки останнім абразивом.

Грубе шліфування ведеться на шкурках зернистістю від 10-8 до 4-3, тонка - від М40 до М14. Шліфування на шкурках великої зернистості можна замінити обробкою на абразивному крузі. При переході до більш тонкого абразиву поверхня шліфа і диска верстата ретельно очищується від залишків грубозернистого абразиву.

Полірування площини зразка. Метою полірування є отримання дзеркальної поверхні, що не має рисок. Застосовують механічний, хіміко-механічний та електрохімічний спосіб полірування. Після полірування будь-яким методом мікрошліф промивають водою, потім спиртом і просушують фільтрувальним папером після чого проводиться травлення (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 Основні травники для виявлення мікроструктури алюмінію та його сплавів [24]

Склад травника	Спосіб застосування	Застосування
Плавикова Кислота 0,5 $см^3$, Вода 99,5 $см^3$	Змочують шліф ваткою або занурюють у реактив, травлять 10-12с., потім промивають у проточній воді і просушують	Реактив загального призначення. Застосовують для всіх алюмінієвих сплавів
Їдкий натр 1-10гр, вода 99-90 $см^3$	Занурюють шліф на 4-5с. У реактив, підігрітий до 70° с, потім промивають струменем холодної води і просушують	Реактив для Сплавів системи A1–cu–mg–si
Азотна кислота 1 об'єм, плавикова кислота 1-2 об’єми, гліцерин 3 об’єми	Занурюють шліф на 1-10с. У реактив, потім промивають у проточній воді і просушують	Для виявлення внутрішньо-кристалічної ліквації в алюмінієвих сплавах
Сірчана Кислота 20$см^3$, вода 80 $см^3$	Занурюють шліф па 15-40с. У реактив, підігрітий до 70° с, а потім промивають у проточній воді і просушують	Для виявлення складових, які містять залізо
Азотна Кислота 20 $см^3$, вода 80 $см^3$	Занурюють шліф на 40с. У реактив, підігрітий до 70° с, потім промивають у холодній воді і просушують	Для виявлення фаз mg_2a1_3 і $cua1_2$ у сплавах систем a1-cu та a1-mg

2.3 Вибір модифікатора для обробки сплаву

Для покращення структури та механічних властивостей ливарних промислових алюмінієвих сплавів регулюють режими їх плавлення та лиття у ливарні форми, умови кристалізації відливків. Але найбільш ефективним методом отримання необхідних нам сплавів є модифікування, тобто покращення властивостей сплавів за рахунок введення в розплави перед їх заливкою невеликих добавок дисперсних тугоплавких сполук. У відповідності з теорією гетерогенного зародкоутворення необхідними ознаками модифікатора є:

а) високе значення поверхневої енергії границі розподілу модифікатора з рідкою фазою;

б) бездефектність будови;

в) стабільність модифікатора в розплаві без зміни хімічного складу;

г) температура плавлення елементу, що модифікує, повинна бути вище точки плавлення основи сплаву;

д) максимальна площа поверхні взаємодії;

е) структурна і розмірна відповідність решітки домішок і фазових складових сплаву;

ж)утворення зміцнюючи адсорбційних зв'язків з атомами металу, що зміцнюється.

В якості дисперсних часток тугоплавких сполук вибрані сполуки, що вміщують цирконій, та відповідають багатьом вище зазначеним умовам. А в якості модифікатора – оксид цирконію ZrO_2 та фторид цирконію ZrF_4. [25].

2.4 Методика введення сполук, що вміщують цирконій

Аналіз літературних джерел по введенні екзогенних дрібних часток тугоплавких сполук в розплави алюмінієвих сплавів, що зміцнюються твердою фазою дає зрозуміти, що найкращим комплексом механічних характеристик володіє метал, що вміщує дуже дрібні рівномірно розподілені по об'єму сполуки, які зберігають своє однорідне розташування після кристалізації. Відзначимо найбільш важливі стадії отримання матеріалів типу «метал – тверда частка»:

1) безпосереднє введення часток в розплав;
2) поведінка часток у ванні рідкого металу.

Розгляд цих процесів є необхідним для вибору оптимального способу введення модифікатора, що забезпечує засвоєння часток розплавом, однорідне розподілення цих часток в об'ємі металу і збереження ними свого розташування в період кристалізації. На розподіл дисперсних часток впливають наступні фактори:

1) термодинамічна стійкість системи «розплав – частка» і процеси коагуляції твердої фази;
2) зміна в'язкості розплаву після введення дрібних часток;
3) мікротоки у ванні рідкого металу та гравітаційний вплив на частки модифікатора .

2.5 Методика введення фториду цирконію

Що стосується фториду цирконію, то його взаємодія з алюмінієвим розплавом термодинамічно найбільш ймовірна тільки у присутності кисню. Тому було вибрано спосіб введення фториду цирконію, що базується на нанесенні ZrF_4 на поверхню розплаву з витримкою на протязі 30…120 с., та наступним замішуванням цієї сполуки у розплав і витримкою у печі потягом певного часу.

2.6 Методика проведення дослідних плавок і термічної обробки

Плавка, рафінування і модифікування проводились в лабораторній шахтній печі опору СШОЛ – 4,6/12-М3 (рис.2.5).

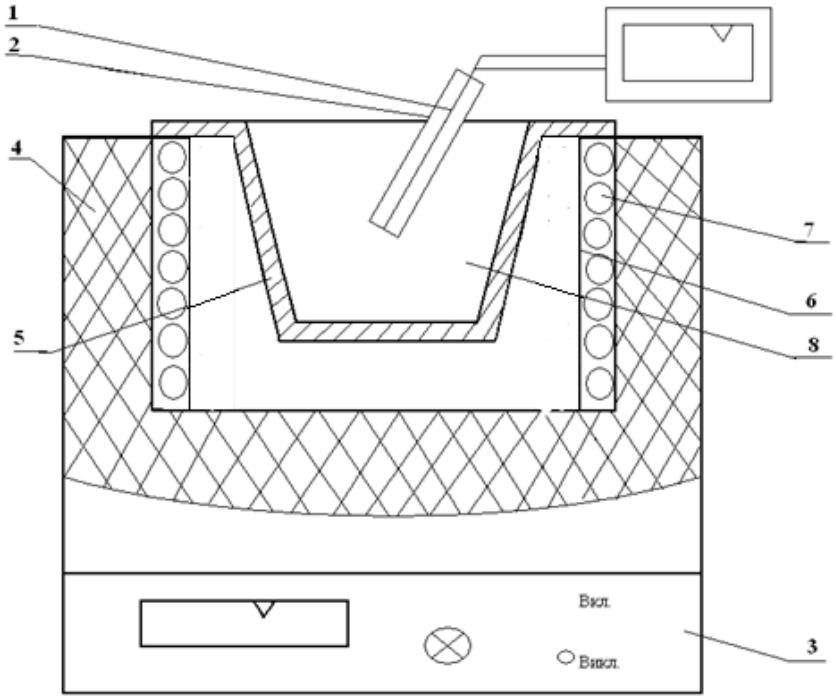


Рисунок 2.5 Електрична піч опору СШОЛ – 4,6/12-М3:
1 – термопара; 2 – захисний кожух термопари; 3 – панель управління;
4 – термоізоляційний шар; 5 – тигель; 6 – тримач нагрівача; 7 – нагрівач;
8 – рідкий метал

За проведеними розрахунками було обрано шихту. В якості шихтових матеріалів використовували: алюміній первинний марки А7, мідь, алюмінієво-марганцева лігатура (10% Mn).

2.7 Розрахунок шихтових матеріалів

Середній хімічний склад сплаву АМ5 наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Середній хімічний склад сплаву АМ5

Al	Cu	Ti	Mn
Основа	4,5-5,5	0,15-0,35	0,6-1

Приймаємо наступні шихтові матеріали:

1. Алюміній А7 (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 Хімічний склад А7

Al	Cu	Mn	Ti
Основа	0,01	0,03	0,01

2. Лігатура AlMn (10% Mn).

3. Електролітична мідь.

Візьмемо для розрахунку середній склад сплаву окрім титану.

Користуючись літературними даними, приймаємо угар елементів:

Алюмінію -1,5%; міді - 1%, марганцю -5%.

алюмінію $\frac{93,95*1,5}{100}=1,4$ кг;

міді $\frac{5*1}{100}=0,05$ кг;

марганцю $\frac{0,8*5}{100}=0,04$ кг;

Таблиця 2.4 Розрахований склад шихти

Середній хімічний АМ5, %	Al	Cu	Mn
	93,95	5	0,8
Маса на 100 кг шихти, кг	93,95	5	0,8
Угар, %	1,5	1	5
Угар, кг	1,4	0,05	0,04
Розрахунковий склад шихти, кг	95,35	5,05	0,84

-Лігатури AlMn (10%) потрібно внести (0.82*100)/10=8,2кг Al=7,38кг;

-А7 потрібно(95,35-7,38)*100/99,5=88,41кг Al=87,97 Ti=0,0088 Cu=0,0088 Mn=0,026;

-Електролітичної міді потрібно (5,05-0,0088)=5,04 кг.

Отже на 2 кг потрібно: AlMn(10%)=0,164 кг, А7=1,7682 кг Cu=0,1 кг

2.8 Технологія отримання сплаву АМ5

Плавка ливарного алюмінієвого сплаву АМ5 проводилася в лабораторній печі опору СШОЛ-4,6/12-М3. На поверхню розплавленого і доведеного до 850°С рідкий алюміній марки А7 наносили подрібнений до величини зерен порошку 0,05-0,2 мм цирконієвий модифікатор (LiF – ZrF_4) та витримували до повного розчинення, після чого розплав механічно перемішували протягом 2 хвилин та він вистоювався в печі при заданих температурах протягом заданого часу. Далі вводили пруток міді електролітичної чистоти та алюмінієво-марганцеву лігатуру (10%Mn) і ретельно перемішували розплав. Після видалення шлаку сплав розливали в кокіль з метою отримання зразків для аналізу мікроструктури та механічних властивостей.

2.9 Повний факторний експеримент типу 2^k

Експеримент, в якому реалізуються всі можливості поєднання рівнів факторів, називають повним факторним експериментом(ПФЕ) [24].

При варіюванні факторів на двох рівнях (верхньому та нижньому) необхідна та достатня кількість дослідів, яка характеризує ПФЕ:

$$N = 2^k \tag{2.3}$$

де 2 – кількість рівнів;

k – кількість факторів.

Побудова плану ПФЕ зводиться до вибору експериментальних точок, симетричних відносно нульового рівня.

Для спрощення запису при побудові плану експерименту вводять кодування факторів. Верхній рівень позначають «+1», основній рівень – «0», а нижній – «-1».

2.9.1 Спосіб побудови матриці планування типу 2^k , коли k більше ніж два

Спосіб основано на принципі доповнення. Для побудови матриці планування цим способом спочатку роблять заготовку для потрібної кількості факторів та дослідів. Потім двічі записують матрицю 2^2: один раз при значеннях x_3 на нижньому рівні, а другий – при значеннях x_3 на верхньому рівні. Одержану матрицю 2^3 переписують ще раз, а для фактора x_4 записується половина знаків мінус і половина знаків плюс. Одержана матриця 2^4 переписується ще раз, а для фактора x_5 записується половина знаків мінус і половина знаків плюс і т.д.

2.9.2 Обчислення коефіцієнтів лінійної моделі

Раніше ми зазначали, що при плануванні експерименту як моделі використовують поліноми. Причому на першому етапі планування використовують поліном першого ступеня:

$$y = b_0+b_1x_1+b_2x_2+\ldots+b_kx_k \quad (2.4)$$

Можна показати, що коефіцієнти полінома першого ступеня будуть обчислюватись за допомогою такої формули:

$$b_j = \frac{\sum_{j=1}^{N} x_{ji}\, y_i}{N}, \quad (2.5)$$

де j = 0, 1, 2, …, k – номер фактора(0 записаний для обчислення коефіцієнта b_0) ;

x_{ji} – рівень j – го фактора в ітому досліді;

y_i – значення параметра оптимізації в ітому досліді;

N – кількість дослідів.

Тому матриця планування ПФЕ 2^3 з урахуванням ефектів взаємодії матиме вигляд табл. 2.5. Така матриця планування дозволяє одержати неповний поліном другого ступеня.

Таблиця 2.5 Матриця 2^3 з ефектом взаємодії

Номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+	-	-	-	+	+	+	-	y_1
2	+	-	+	-	-	+	-	+	y_2
3	+	+	+	-	+	-	-	-	y_3
4	+	+	-	-	-	-	+	+	y_4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	y_5
6	+	-	+	+	-	-	+	-	y_6
7	+	+	+	+	+	+	+	+	y_7
8	+	+	-	+	-	+	-	-	y_8

$$y = b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_{12}x_1x_2+b_{13}x_1x_3+b_{23}x_2x_3+b_{123}x_1x_2x_3 \quad (2.6)$$

2.9.3 Знаходження дисперсії параметра оптимізації

Для обчислення похибки експерименту потрібна дисперсія параметра оптимізації або дисперсія відтворення. Цю величину знаходять на підставі значень повторних дослідів.

Якщо в кожному вектор – рядку матриці планування здійснювались однакова кількість повторних дослідів, то дисперсія параметра оптимізації знаходиться таким чином. Для кожного вектор 0 рядка матриці планування обчислюють дисперсію досліду:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n}(y_{ik}-y_{ci})^2}{n-1} \quad (2.7)$$

де i = 1,2, …;

N – номери рядків;

k = 1,2,…;

n – кількість повторних дослідів у кожному рядку;

y_{ci} – середнє значення параметра оптимізації в кожному рядку.

Після цього перевіряють однорідність одержаних дисперсій, тобто потрібно впевнитись, що всі групи експериментальних даних одержані з однієї і тієї самої сукупності і дають однакове розсіювання.

Для випадку, коли кількість повторних дослідів у кожному вектор–рядку однакова, однорідність дисперсій перевіряють критерієм Кохрена, який є відношенням максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій, тобто

$$G_{f_1\,;f_2}^{p} = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^{N} S_i^2} \quad (2.8)$$

де f_1 = n -1;

f_2 = N –число ступенів вільності.

Якщо розраховане значення критерію Кохрена не перевищує табличного, то для заданого рівня значущості α = 0.05 дисперсії є однорідними і їх можна усереднювати. Тоді дисперсія параметра оптимізації:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_i^2}{N} \quad (2.9)$$

Число ступенів вільності цієї дисперсії f_1 = N(n-1) = 16

2.9.4 Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

При використанні повного або дробового факторного експерименту довірчі інтервали для усіх коефіцієнтів рівні між собою.

Для знаходження довірчого інтервалу необхідно перш за все знайти дисперсію коефіцієнтів регресії $S^2\{b_j\}$.

Для випадку , коли досліди матриці планування повторювались, дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії буде обчислена за формулою:

$$S^2\{b_j\} = \frac{S^2\{y\}}{N*n}, \tag{2.10}$$

де $S^2\{y\}$ – дисперсія параметра оптимізації;

N – кількість вектор-рядків у матриці планування;

n – кількість повторних дослідів у вектор-рядках.

А довірчий інтервал буде розрахований за формулою:

$$\Delta b_j = t_{f1;\alpha}\sqrt{S^2\{b_j\}} \tag{2.11}$$

де $t_{f1;\alpha}$ – табличне значення критерію Стьюдента, яке взято для числа ступенів f_1 , за якими знаходилась дисперсія параметра оптимізації та рівня значущості α.

Коефіцієнти рівняння регресії вважаються значимими, якщо їх абсолютне значення більше за довірчий інтервал, тобто $|b_j| > \Delta b_j$.

2.9.5 Перевірка адекватності моделі

Для перевірки гіпотези про адекватність моделі використовують критерій Фішера , розрахункове значення якого знаходимо за формулою:

$$F^{p}_{f_2;f_1} = \frac{S^2_{\text{ад}}}{S^2\{y\}} \quad (2.12)$$

де $S^2_{\text{ад}}$ – дисперсія адекватності;

$S^2\{y\}$ – дисперсія параметра оптимізації.

Розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним, взятим при тих самих ступенях вільності, та вибраному рівні значущості α, Якщо виконується нерівність:

$$F^{p}_{f_2;f_1} < F^{\text{т}}_{f_2;f_1};\ \alpha, \quad (2.13)$$

то модель адекватно описує реальну поверхню відгуку.

Якщо досліди в матриці планування виконувались з повторенням, то дисперсію адекватності обчислюють за такою формулою:

$$S^2_{\text{ад}} = \frac{n*\sum_{i=1}^{N}(y^{e}_{ci} - y^{b}_{i})^2}{N-k=f_2} \quad (2.14)$$

де n- кількість повторних дослідів у кожному рядку;

N- кількість рядків у матриці планування;

k – кількість статистично значимих коефіцієнтів;

f_2 – число ступенів вільності ;

y^{e}_{ci} - середнє експериментальне значення параметра оптимізації в кожному рядку;

y^{b}_{i} – обчислення значення параметра оптимізації в і-му рядку.

2.10 Висновки

В даному розділі було розроблено методику проведення досліджень за темою роботи, а саме: обрано модифікатор, розроблено технологію отримання сплаву АМ5 та розраховано кількість шихтових матеріалів, необхідних для отримання 2 кг сплаву АМ5. Також розроблено повний факторний експеримент досліджень впливу модифікатора на структуру та фізико-механічні властивості ливарного алюмінієвого сплаву АМ5. Обрані та проаналізовані методи вимірювання тимчасового опору розриву, відносного подовження та структури сплаву.

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Термодинамічний аналіз

Необхідно розрахувати термодинаміку реакцій при температурі 1400 К для перевірки можливості використання сполук цирконію в якості модифікатора:

$$3ZrO_2 + 4Al = 3Zr + 2Al_2O_3 \qquad (3.1)$$

Отже, за термодинамічними таблицями знаходимо, що в інтервалі температур 298…1400 К переходить: алюміній з твердого в рідкий стан (932К) та α-цирконій в β-цирконій (1143 К).

Всі відомості про вихідні речовини та продукти реакції можна занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Вихідні дані для розрахунку термодинамічних параметрів

Вихідні речовини:	**Продукти реакції:**
ZrO$_2$: $\Delta H°_{298}$=-1097,46 кДж/моль	**Al$_2$O$_3$:** $\Delta H°_{298}$=1675,69кДж/моль
$S°_{298}$=50,36 Дж/(моль·К)	$S°_{298}$=50,92 Дж/(моль·К)
$C_p°$=69,62+7,53·10^{-3}T-14,06·10^{5}T^{-2}	$C_p°$=109,29+18,37·10^{-3}T-30,42·10^{5}T^{-2}
Al: $S°_{298}$=28,33 Дж/(моль·К)	**Zr**: $S°_{298}$=38,99 Дж/(моль·К)
$T_{пл}$=932 К	$T_{пр.\alpha\to\beta}$=1143 К
$\Delta H_{пл}$=10700 Дж/моль	$\Delta H_{пр.\alpha\to\beta}$=4770 Дж/моль
$C_p°_{тв}$=20,67+12,38·10^{-3}T	$C_p°_{\alpha}$=28,58+4,69·10^{-3}T -3,64·10^{5}T^{-2}
$C_p°_{рідк.}$=29,29 Дж/(моль·К)	$C_p°_{\beta}$=30,42 Дж/(моль·К)

3.1.1 Розрахунок зміни ентальпії при температурі 1400 К

Аналізуючи запропоновані рівняння у загальному вигляді, бачимо, що передовсім необхідно знайти тепловий ефект реакції при кімнатній температурі:

$$\Delta H^o_{298} = (2\Delta H^o_{298\ Al2\ O3} + 3\Delta H^o_{298\ Zr}) - (3\Delta H^o_{298\ ZrO2} + 4\Delta H^o_{298Al})$$

$$\Delta H^o_{298} = 2\cdot(-1657,69) - 3\cdot(-1097,46) = -3351,38 + 3292,38 = -59 \text{ кДж/моль}$$

Розрахунок теплоємності проводиться по формулі:

$$\Delta C_p = (2\Delta C_{p\ Al2\ O3} + 3\Delta C_{p\ Zr}) - (3\Delta C_{p\ ZrO2} + 4\Delta C_{p\ Al})$$

Якщо теплоємність деяких учасників реакції (Al_2O_3, ZrO_2) у заданому інтервалі температур залишається незмінною, то для розрахунку залежність $C_p = f(T)$ зручно записати таким чином:

$$\Delta C_{p1} = (2\Delta C_{p\ Al2\ O3} - 3\Delta C_{p\ ZrO2}) - (4\Delta C_{p\ Al} - 3\Delta C_{p\ Zr}) \text{ або}$$
$$\Delta C_{p1} = \sum C_p - (4\Delta C_{p\ Al\ тв.} - 3\Delta C_{p\ Zr\alpha}).$$

Відповідно

$$\Delta C_{p2} = \sum C_p - (4\Delta C_{p\ Al\ рід.} - 3\Delta C_{p\ Zr\alpha});$$
$$\Delta C_{p3} = \sum C_p - (4\Delta C_{p\ Al\ рід.} - 3\Delta C_{p\ Zr\beta}).$$

Після підстановки значень C_p у відповідні рівняння маємо:

$$\sum C_p = 2\cdot(109,29+18,37\cdot10^{-3}T-30,42\cdot10^5T^{-2}) - 3\cdot(69,62+7,53\cdot10^{-3}T-14,06\cdot10^5T^{-2}) =$$
$$= 218,58+36,74\cdot10^{-3}T - 60,84\cdot10^5T^{-2} - 208,86 - 22,59\cdot10^{-3}T + 42,18\cdot10^5T^{-2} =$$
$$= 9,72 + 14,15\cdot10^{-3}T - 18,66\cdot10^5T^{-2}$$

$$\Delta C_{p1} = 9{,}72 + 14{,}15\cdot10^{-3}T - 18{,}66\cdot10^{5}T^{-2} - 4\cdot(20{,}67+12{,}38\cdot10^{-3}T) + 3\cdot(28{,}58 + 4{,}69\cdot10^{-3}T - 3{,}64\cdot10^{5}T^{-2}) = 9{,}72 + 14{,}15\cdot10^{-3}T - 18{,}66\cdot10^{5}T^{-2} - 82{,}68 - 49{,}52\cdot10^{-3}T + 85{,}74 + 14{,}07\cdot10^{-3}T - 10{,}92\cdot10^{5}T^{-2} = 12{,}78 - 21{,}3\cdot10^{-3}T - 29{,}58\cdot10^{5}T^{-2}$$

$$\Delta C_{p2} = 9{,}72 + 14{,}15\cdot10^{-3}T - 18{,}66\cdot10^{5}T^{-2} - 4\cdot29{,}29 + 3\cdot(28{,}58 + 4{,}69\cdot10^{-3}T - 3{,}64\cdot10^{5}T^{-2}) = 9{,}72 + 14{,}15\cdot10^{-3}T - 18{,}66\cdot10^{5}T^{-2} - 117{,}16 + 85{,}74 + 14{,}07\cdot10^{-3}T - 10{,}92\cdot10^{5}T^{-2} = -21{,}7 + 28{,}22\cdot10^{-3}T - 29{,}58\cdot10^{5}T^{-2}$$

$$\Delta C_{p3} = 9{,}72 + 14{,}15\cdot10^{-3}T - 18{,}66\cdot10^{5}T^{-2} - 117{,}16 - 3\cdot30{,}42 = -198{,}7 + 14{,}15\cdot10^{-3}T - 18{,}66\cdot10^{5}T^{-2}$$

Наступним кроком буде обчислення значення інтегралів, що входять у рівняння Кірхгофа:

$$I_1 = \int_{298}^{932} Cp_1 dT, \qquad I_2 = \int_{932}^{1143} Cp_2 dT, \qquad I_3 = \int_{1143}^{1400} Cp_3 dT.$$

Підставимо значення і отримаємо:

$$I_1 = \int_{298}^{932} (12{,}78 - 21{,}3\cdot10^{-3}T - 29{,}58\cdot10^{5}T^{-2})\, dT = 12{,}78\cdot(932-298) - 0{,}5\cdot21{,}3\cdot10^{-3} * (932^2 - 298^2) + 29{,}58\cdot10^{5}\cdot(1/932 - 1/298) = -6954{,}91 \text{Дж}$$

$$I_2 = \int_{932}^{1143} (-21{,}7 + 28{,}22\cdot10^{-3}T - 29{,}58\cdot10^{5}T^{-2})\, dT = -21{,}7\cdot(1143-932) + 0{,}5\cdot28{,}22 * 10^{-3}\cdot(1143^2 - 932^2) + 29{,}58\cdot10^{5}\cdot(1/1143 - 1/932) = 1013{,}12 \text{ Дж}$$

$$I_3 = \int_{1143}^{1400} (-198{,}7 + 14{,}15\cdot10^{-3}T - 18{,}66\cdot10^{5}T^{-2})\, dT = -198{,}7\cdot(1400-1143) + 0{,}5 * 14{,}15\cdot10^{-3}\cdot(1400^2 - 1143^2) + 18{,}66\cdot10^{5}\cdot(1/1400 - 1/1143) = -46741{,}72 \text{ Дж}$$

Підставляємо обчислені значення ΔH^o_{298} та інтегралів I_1… I_3 у загальний вираз закону Кірхгофа:

$$\Delta H°_{1673} = - 59000 – (- 6954,91) – 4·10700 – 1013,12+3·4770+(- 46741,72) =$$
$$= - 128290 \text{ Дж/моль}$$

Аналізуючи отриманий результат, бачимо, що реакція відновлення оксиду цирконію алюмінієм, в результаті чого отримують цирконій супроводжується виділенням енергії – близько 128 кДж. Підвищення температури від кімнатної до 1400 К збільшило тепловий ефект реакції більше ніж у два рази.

3.1.2 Розрахунок зміни ентропії при температурі 1400 К

Необхідно знайти зміну ентропії реакції при кімнатній температурі:

$$S^o_{298} = (2S^o_{298\ Al2\ O3} + 3S^o_{298\ Zr}) – (3S^o_{298\ ZrO2} + 4S^o_{298Al})$$

$$S^o_{298} = 2·50,92 + 3·38,99– 3·50,36 –4·28,33 = 101,84 + 116,97 – 151,08–$$
$$113,32= = - 45,59 \text{ Дж/(моль·К)}$$

Обчислимо значення інтегралів, що входять у рівняння Кірхгофа:

$$I_1 = \int_{298}^{932} Cp_1 dT/T, \qquad I_2 = \int_{932}^{1143} Cp_2 dT/T, \qquad I_3 = \int_{1143}^{1400} Cp_3 dT/T.$$

Підставимо значення і отримаємо:

$$I_1' = \int_{298}^{932} (12,78 – 21,3·10^{-3}T – 29,58·10^5T^{-2})\, dT/T = 12,78·\ln(932/298) – 21,3·10^{-3}*$$
$$* (932-298) + 0,5·29,58·10^5(1/932^2-1/298^2) =- 13,88 \quad \text{Дж/К}$$

$$I_2' = \int_{932}^{1143} (-21{,}7+28{,}22\cdot 10^{-3}T-29{,}58\cdot 10^{5}T^{-2})dT/T=-21{,}7\cdot \ln(1143/932)+28{,}22\cdot 10^{-3}*(1143-932) + 0{,}5\cdot 29{,}58\cdot 10^{5}(1/1143^{2}-1/932^{2}) = 0{,}96 \text{ Дж/К}$$

$$I_3' = \int_{1143}^{1400} (-198{,}7+14{,}15\cdot 10^{-3}T-18{,}66\cdot 10^{5}T^{-2})\, dT/T=-198{,}7\cdot \ln(1400/1143)+14{,}15\cdot 10^{-3}*(1400-1143) + 0{,}5\cdot 18{,}66\cdot 10^{5}(1/1400^{2}-1/1143^{2}) = -36{,}9 \text{ Дж/К}$$

Підставляємо обчислені значення S_{298} та інтегралів I_1'… I_3' у загальний вираз закону Кірхгофа:

$$\Delta S°_{1673} = - 45{,}59 - (13{,}88) - 4\cdot 10700/932 - 0{,}96 + 3\cdot 4770/1143 + (- 36{,}9) = = -102{,}966 \text{ Дж/(моль·К)}$$

Аналізуючи отриманий результат, можна прийти до висновків, що при підвищенні температури до 1400 К зменшило зміну ентропії у ході реакції більш, ніж у два рази.

3.1.3 Розрахунок зміни вільної енергії при 1400 К

Залежність $\Delta G° = f$ (T) для розглядуваної реакції буде подана відрізками прямих у таких інтервалах температур:

1) 298…932 К;

2) 932…1143 К;

3) 1143…1400 К.

Відповідні рівняння, що описують функціональну залежність $\Delta G° = =f(T)$ для вказаних інтервалів температур буде:

$$\Delta G°_1 = \Delta H°_{298} - T\, S°_{298} \rightarrow \Delta G°_1 = -59000+45{,}59T$$

$$\Delta G°_2 = \Delta H°_2 - T\, S°_2$$

$$\Delta H^o_2 = \Delta H^o_{298} - 4 \cdot \Delta H_{плAl} = -\ 101800\ Дж/моль$$

$$S^o_2 = S^o_{298} - 4 \cdot \Delta H_{плAl}/T_{плAl} = -\ 91{,}5127\ Дж/(моль*К)$$

$$\Delta G^\circ_2 = -\ 101800 + 91{,}5127T,$$

Аналогічно, $\Delta G^\circ_3 = -\ 116110 + 104{,}032T$

Підставивши значення до рівнянь отримаємо:

ΔG°_{298}=-45414,2Дж;

ΔG°_{932}=16510,1Дж; ΔG°_{1143}=2799,1Дж; ΔG°_{1400}=15861,8Дж

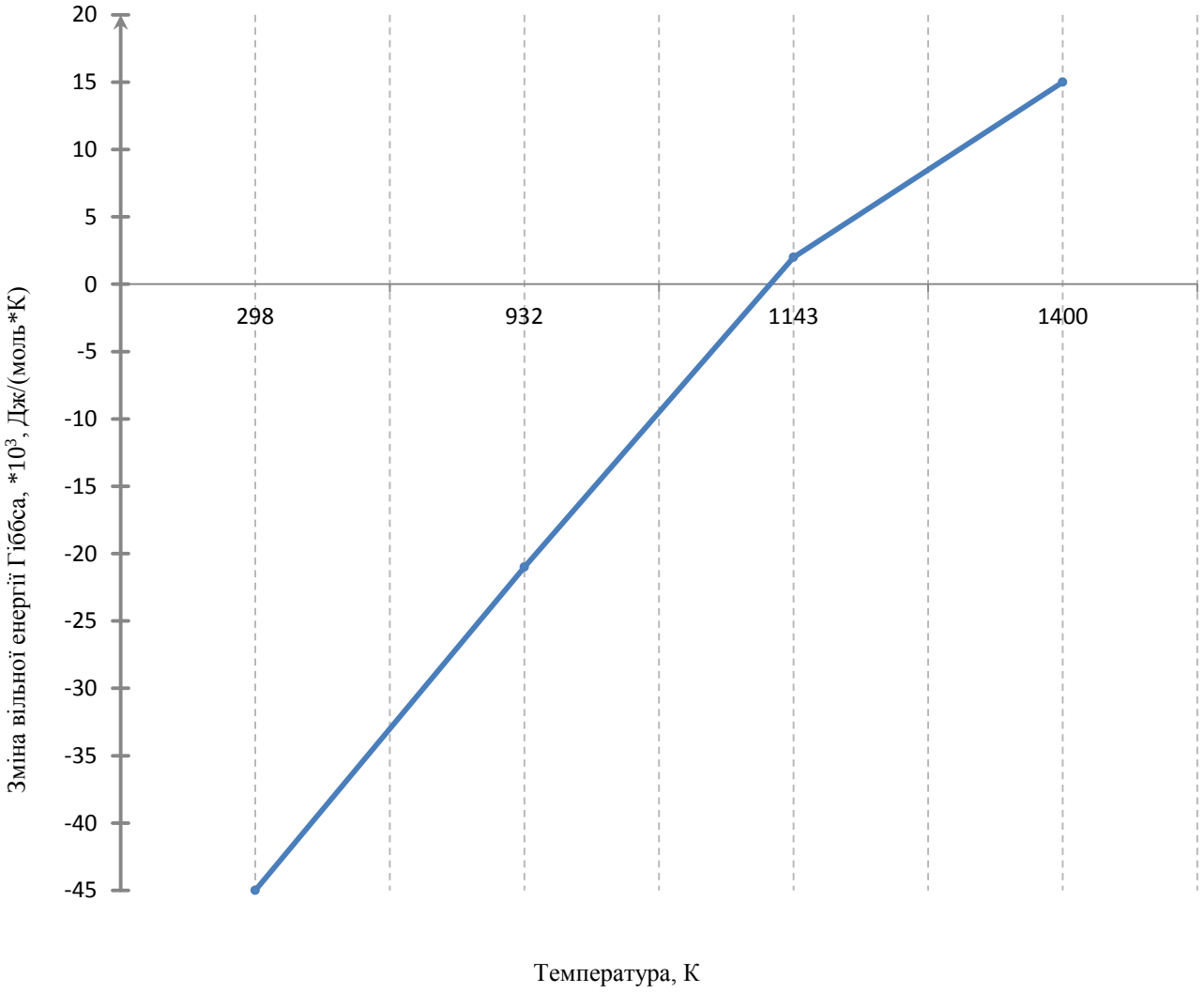


Рисунок 3.1 Графік залежності $\Delta G^\circ = f(T)$ для реакції (3.1)

Аналогічним чином було розраховано термодинаміку інших реакцій та побудовано графіки залежності $\Delta G^o=f(T)$

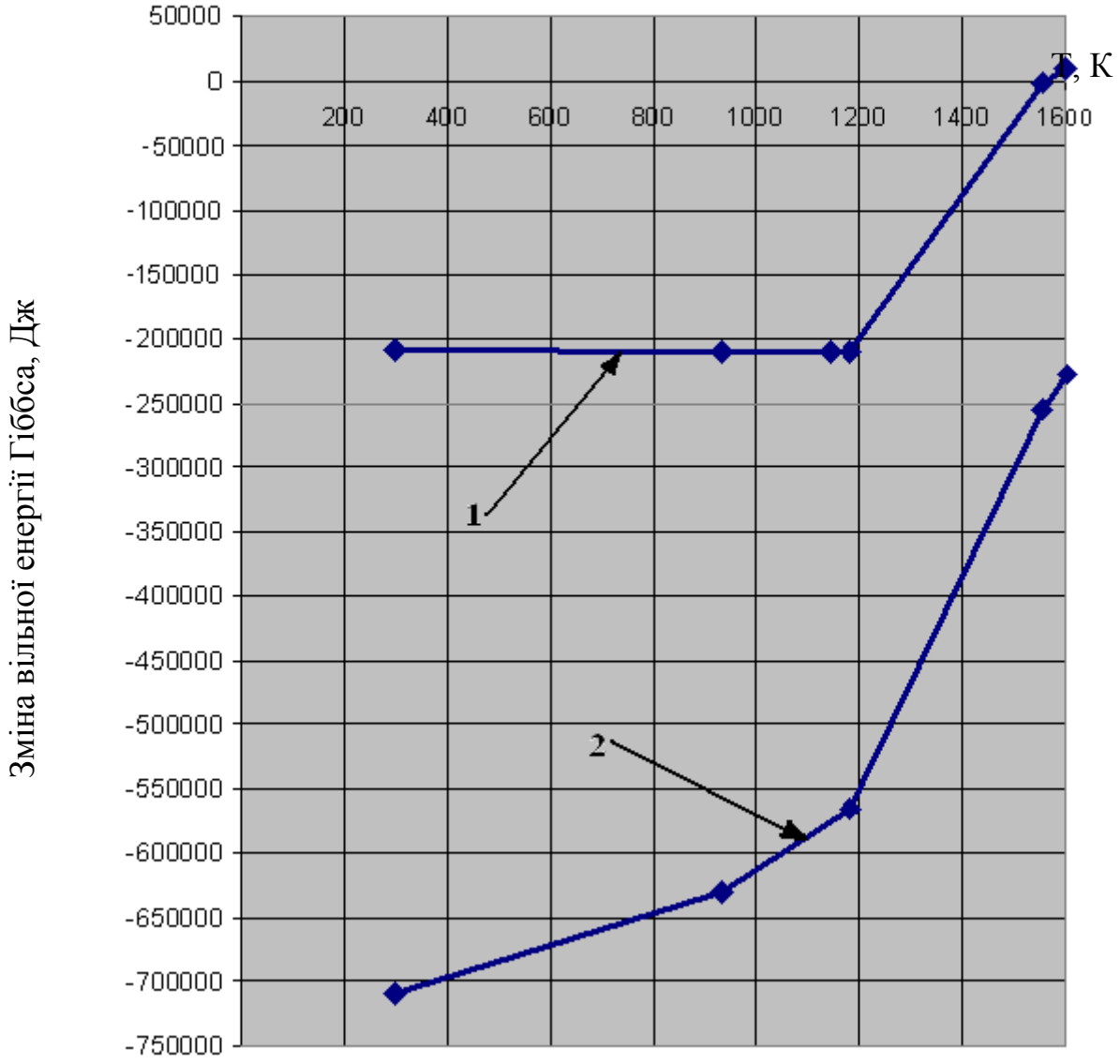


Рисунок 3.2 Взаємодія фториду цирконію з алюмінієм, з утворенням фториду алюмінію у результаті проходження реакції:

1 - $3ZrF_4+4Al=3Zr+4AlF_3$

2 - $3ZrF_4+13Al=3ZrAl_3+4AlF_3$

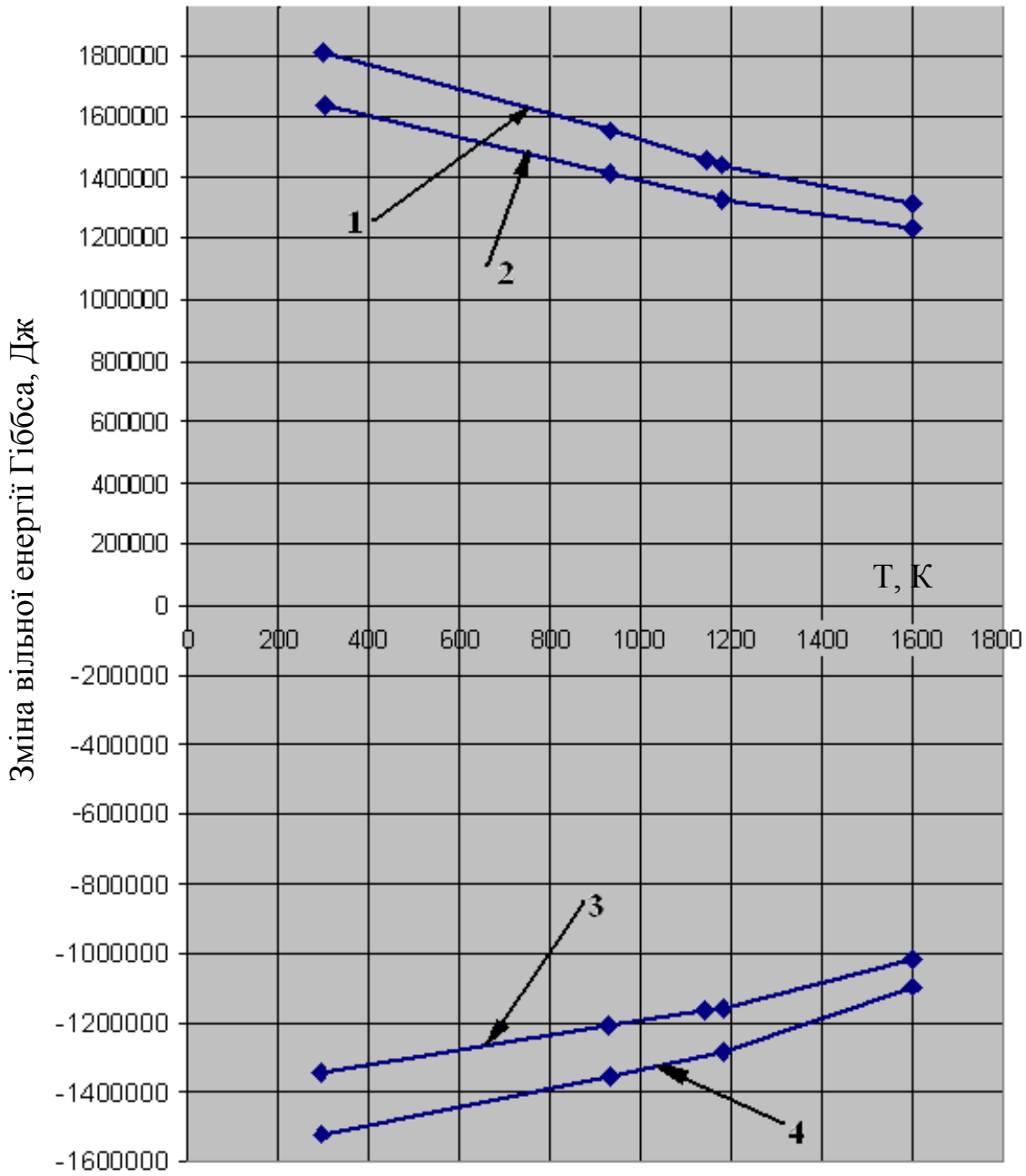


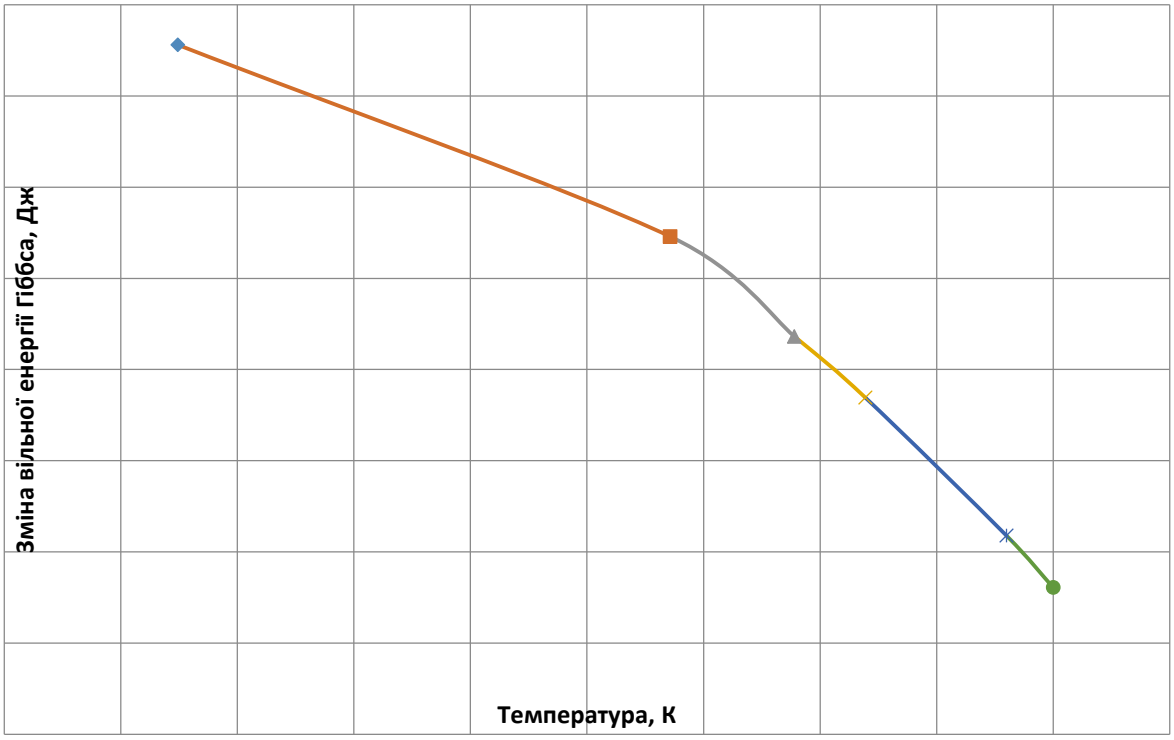
Рисунок 3.3 Взаємодія фториду цирконію з алюмінієм у присутності кисню та без нього:

1 - $ZrF_4+Al=Zr+Al+2F_2$

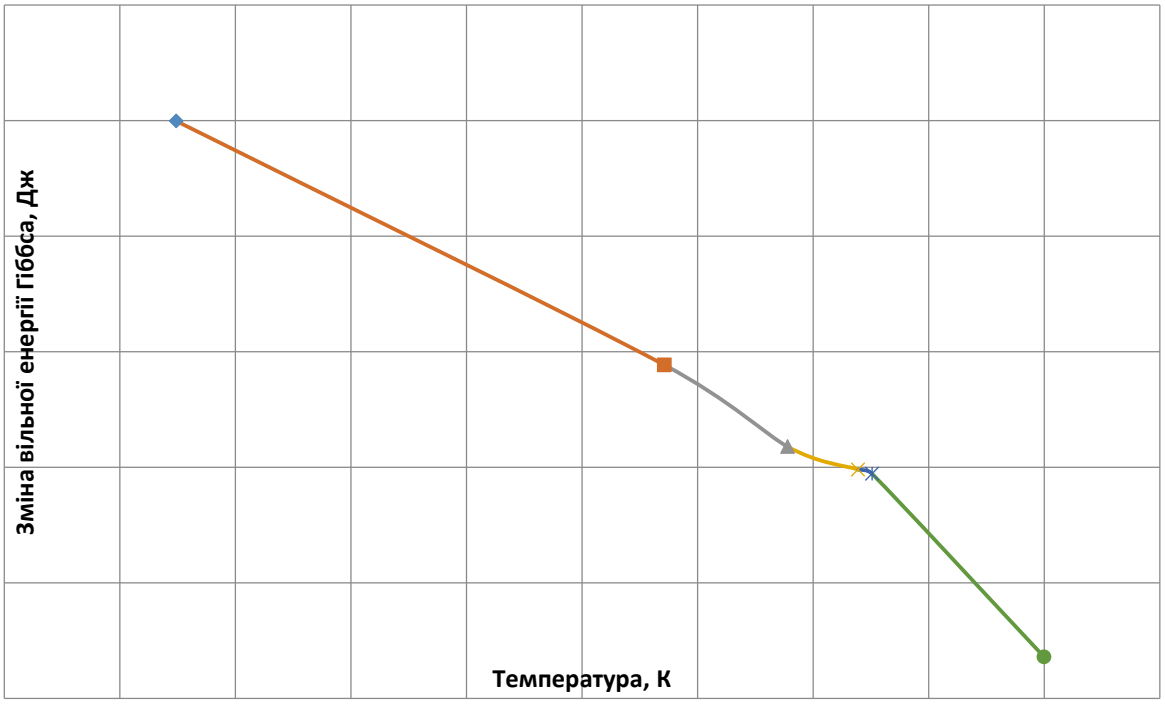
2 - $ZrF_4+3Al=ZrAl_3+2F_2$

3 - $ZrF_4+4Al+3O_2=Zr+2F_2+2Al_2O_3$

4 - $ZrF_4+7Al+3O_2=ZrAl_3+2F_2+2Al_2O_3$



а)



б)

Рисунок 3.4 Взаємодія оксиду цирконію з міддю:

а) $ZrO_2+2Cu=Zr+2CuO$;

б) $ZrO_2+4Cu=Zr+2Cu_2O$

3.2 Повний факторний експеремент

Для визначення впливу температури, часу витримки та кількості модифікатора на міцність та відносне подовження алюмінієво-мідного ливарного сплаву АМ5 було розроблено повний факторний експеримент виду 2^3[25] Прийнято позначення факторів:

Кількість фториду цирконію, що

вводимо у розплав $\times_1$=0,4….1,2%;

Температура розплаву $\times_2$=700…900°С;

Час витримки $\times_3$=5…15 хв.;

У якості відгуків прийняті наступні позначення:

Міцність y_1, МПа

Відносне подовження y_2, %

Кількість LiF прийнято 40 мол. % від кількості фториду цирконію у всіх випадках для забезпечення необхідності отримання мінімально можливої температури плавлення флюсу, що наносився на поверхню розплаву, та необхідності утворення у розплаві сполуки Li_2ZrF_6.

3.3 Повний факторний експеримент по тимчасовому опору на розрив

Вихідні дані повного факторного експерименту приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Вихідні дані ПФЕ

Номер досліду	Кількість модифікатора, %	Температура витримки, ^{0}C	Час витримки, хв.	Тимчасовий опір розриву, МПа
1	0,4	700	5	305
2	1,2	700	5	314
3	0,4	900	5	235,5
4	1,2	900	5	351,5
5	0,4	700	15	277
6	1,2	700	15	314,5
7	0,4	900	15	312
8	1,2	900	15	300

3.3.1 Обчислення коефіцієнтів лінійної моделі

Таблиця 3.3. Матриця 2^3

Номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y_1
1	+	-	-	-	+	+	+	-	305
2	+	+	-	-	-	-	+	+	314
3	+	-	+	-	-	+	-	+	235,5
4	+	+	+	-	+	-	-	-	351,5
5	+	-	-	+	+	-	-	+	277
6	+	+	-	+	-	+	-	-	314,5
7	+	-	+	+	-	-	+	-	312
8	+	+	+	+	+	+	+	+	300

Знаходимо всі коефіцієнти за формулою (2.3):

$b_0=(305+314+235.5+351.5+277+314.5+312+300)/8=301.19$;

$b_1=(-305+314-235.5+351.5-277+314.5-312+300)/8=18.81$;

$b_2=(-305-314+235.5+351.5-277-314.5+312+300)/8=-1.44$;

b_3=$(-305-314-235.5-351.5+277+314.5+312+300)/8=-0.31$;

b_{12}=$(305-314-235.5+351.5+277-314.5-312+300)/8=57.50$;

b_{13}=$(305-314+235.5-351.5-277+314.5-312+300)/8=-12.44$;

b_{23}=$(305+314-235.5-351.5-277-314.5+312+300)/8=6.56$;

b_{123}=$(-305+314+235.5-351.5+277-314.5-312+300)/8=$
-19.56 ;

Отже поліном має вигляд:

$$\mathbf{y=301.19+18.8125x_1-1,44x_2-0,31x_3+57,50x_1x_2-12,44x_1x_3+6,56x_2x_3-19,56x_1x_2x_3}$$

3.3.2 Знаходження дисперсії параметра оптимізації

Для кожного рядка матриці планування обчислюємо дисперсію досліду за формулою (2.5).

Знаходимо ці дисперсії:

$$S_1^2=\frac{(341-305)^2+(269-305)^2}{2}=1296\ ;$$

$$S_2^2=\frac{(290-314)^2+(338-314)^2}{2}=576\ ;$$

$$S_3^2=\frac{(221-235.5)^2+(250-235.5)^2}{2}=210.25\ ;$$

$$S_4^2=\frac{(336-351.5)^2+(367-351.5)^2}{2}=240.25\ ;$$

$$S_5^2=\frac{(263-277)^2+(291-277)^2}{2}=196\ ;$$

$$S_6^2=\frac{(333-314.5)^2+(296-314.5)^2}{2}=342.25\ ;$$

$$S_7^2=\frac{(280-312)^2+(344-312)^2}{2}=1024\ ;$$

$$S_8^2=\frac{(320-300)^2+(280-300)^2}{2}=400\ ;$$

Коли кількість повторних дослідів у кожному рядку однакова, однорідність дисперсій перевіряємо критерієм Кохрена, який є відношенням максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій, тобто:

$$G^{p}_{f_1\,;f_2} = 1296/(1296 + 576 + 210.25 + 240.25 + 196 + 342.25 + 1024 + 400) = 0{,}302468$$

Табличне значення для f_2 = N =8 та f_1 = n -1 = 1 G = 0.679.

Якщо розраховане значення критерію Кохрена не перевищує табличного, то для заданого рівня значущості α = 0.05 дисперсії є однорідними і їх можна усереднювати. Тоді дисперсія параметра оптимізації знаходиться за формулою:

$$S^2\{y\} = (1296 + 576 + 210.25 + 240.25 + 196 + 342.25 + 1024 + 400)/8 = 535.5938$$

Число ступенів вільності цієї дисперсії f_1 = N(n-1) = 16

3.3.3 Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії здійснюємо побудовою довірчих інтервалів. Для випадку , коли досліди матриці планування повторювались, дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії буде обчислена за формулою:

$$S^2\{b_j\} = 535.5938/(8 * 3) = 22.32\ ;$$

А довірчий інтервал буде розрахований за формулою:

$$\Delta b_j = 4.3 * \sqrt{22.32} = 20.31;$$

Коефіцієнти рівняння регресії вважаються значимими, якщо їх абсолютне значення більше за довірчий інтервал. Звідси можна побачити, що значимі коефіцієнти тільки b_0, b_{12}. Отже рівняння регресії має наступний вигляд:

$$\mathbf{y = 301.19+57.50x_1x_2}$$

3.4 Повний факторний експеримент по відносному подовженню

Вихідні дані повного факторного експерименту приведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 Вихідні дані ПФЕ

Номер досліду	Кількість модифікатора,%	Температура витримки, ^{0}C	Час витримки, хв.	Відносне видовження,%
1	0,4	700	5	8,08
2	1,2	700	5	3,83
3	0,4	900	5	6,25
4	1,2	900	5	2,5
5	0,4	700	15	8,17
6	1,2	700	15	8,42
7	0,4	900	15	6,92
8	1,2	900	15	5,42

3.4.1 Обчислення коефіцієнтів лінійної моделі

Таблиця 3.5 Матриця 2^3 з ефектом взаємодії

Номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+	-	-	-	+	+	+	-	8.08
2	+	+	-	-	-	-	+	+	3.83
3	+	-	+	-	-	+	-	+	6.25
4	+	+	+	-	+	-	-	-	2.5
5	+	-	-	+	+	-	-	+	8.17
6	+	+	-	+	-	+	-	-	8.42
7	+	-	+	+	-	-	+	-	6.92
8	+	+	+	+	+	+	+	+	5.42

Знаходимо всі коефіцієнти за формулами 2.3:

b_0=$(8.08 + 3.83 + 6.25 + 2.5 + 8.17 + 8.42 + 6.92 + 5.42)/8 = 6.20$;

b_1=$(-8.08 + 3.83 - 6.25 + 2.5 - 8.17 + 8.42 - 6.92 + 5.42)/8 = 1.16$;

b_2=$(-8.08 - 3.83 + 6.25 + 2.5 - 8.17 - 8.42 + 6.92 + 5.42)/8 = -0.92$;

b_3= $(-8.08 - 3.83 - 6.25 - 2.5 + 8.17 + 8.42 + 6.92 + 5.42)/8 = 1.03$;

b_{12} = $(8.08 - 3.830 - 6.25 + 2.5 + 8.17 - 8.42 - 6.92 + 5.42)/8 = -0.16$;

b_{13}= $(8.08 - 3.83 + 6.25 - 2.5 - 8.17 + 8.42 - 6.92 + 5.42)/8 = 0.84$;

b_{23}= $(8.08 + 3.83 - 6.25 - 2.5 - 8.17 - 8.42 + 6.92 + 5.42)/8 = -0.14$;

b_{123}= $(-8.08 + 3.83 + 6.25 - 2.5 + 8.17 - 8.42 - 6.92 + 5.42)/8 = -0.28$;

Отже, поліном має вигляд:

$$\mathbf{y=6.20+1.16x_1-0.92x_2+1.03x_3-0.16x_1x_2+0.84x_1x_3-0.14x_2x_3+0,28x_1x_2x_3}$$

3.4.2 Знаходження дисперсії параметра оптимізації

Для кожного рядка матриці планування обчислюємо дисперсію досліду за формулою 2.5.

Знаходимо ці дисперсії:

$$S_1^2 = \frac{(8.83-8.08)^2+(7.33-8.08)^2}{2} = 0.56;$$

$$S_2^2 = \frac{(3.33-3.83)^2+(4.33-3.83)^2}{2} = 0.25\ ;$$

$$S_3^2 = \frac{(5.83-6.25)^2+(6.67-6.25)^2}{2} = 0.17;$$

$$S_3^2 = \frac{(5.83-6.25)^2+(6.67-6.25)^2}{2} = 0.17;$$

$$S_4^2 = \frac{(3.33-2.50)^2+(1.67-2.50)^2}{2} = 0.69;$$

$$S_5^2 = \frac{(8.17-8.17)^2}{2} = 0;$$

$$S_6^2 = \frac{(10.33-8.42)^2+(6.50-8.42)^2}{2} = 3.67\ ;$$

$$S_2^2 = \frac{(9.50-6.92)^2+(4.33-6.92)^2}{2} = 6.67\ \ ;$$

$$S_8^2 = \frac{(7.17-5.42)^2+(3.67-5.42)^2}{2} = \ 3.06\ .$$

Коли кількість повторних дослідів у кожному рядку однакова, однорідність дисперсій перевіряємо критерієм Кохрена, який є відношенням максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій:

$$G_{f_1\ ;f_2}^{p} = \ 6.67/(0.56 + 0.25 + 0.17 + 0.69 + 0 + 3.67 + 6.67 + 3.06) = \ 0.44$$

Табличне значення для f2 = N =8 та f1 = n -1 = 1 G = 0.679.

Якщо розраховане значення критерію Кохрена не перевищує табличного, то для заданого рівня значущості α = 0.05 дисперсії є однорідними і їх можна усереднювати. Тоді дисперсія параметра оптимізації знаходиться за формулою:

$S^2\{y\}$ = $(0.56 + 0.25 + 0.17 + 0.69 + 0 + 3.67 + 6.67 + 3.06)/8$ = 1.89

Число ступенів вільності цієї дисперсії f_1 = N(n-1) = 16

3.4.3 Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії здійснюємо побудовою довірчих інтервалів. Для випадку , коли досліди матриці планування повторювались, дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії буде обчислена за формулою:

$$S^2\{b_j\} = 1.89/(8 * 3) = 0.02\ ;$$

А довірчий інтервал буде розрахований за формулою:

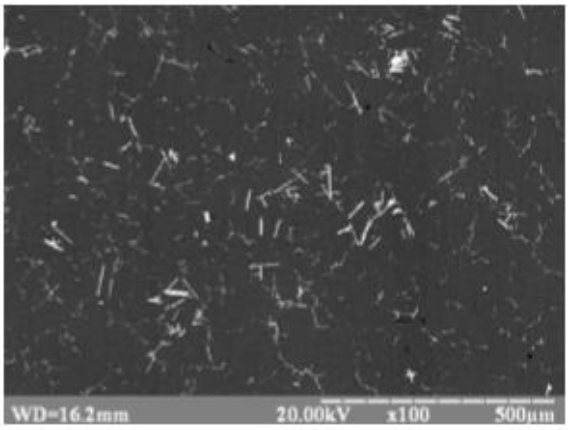
$$\Delta b_j = 4.3 * \sqrt{0.02} = 1.1;$$

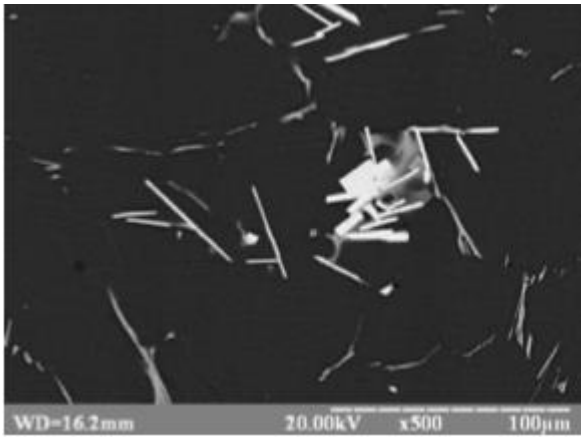
Коефіцієнти рівняння регресії вважаються значимими, якщо їх абсолютне значення більше за довірчий інтервал. Звідси видно, що значимими коефіцієнтами є тільки b_0, b_1. Отже, спрощене рівняння регресії має наступний вигляд:

$$\mathbf{y = 6.20 + 1.16x_1}$$

3.5 Мікроструктура алюмінієво-мідного сплаву АМ5

Аналіз мікроструктури показує, що цирконій в основному зосереджується на кордонах зерен. Тому у литому та термообробленому стані сплави більш міцні та жароміцні, ніж наприклад, деформовані, так як інтерметалідні фази залягають, як правило, по межах зерен і дендритних осередків, утворюючи твердий каркас, що перешкоджає пластичній деформації матеріалу (рис. 3.5).





а) б)

Рисунок 3.5 Мікроструктура алюмінієво-мідного ливарного сплаву АМ5, зміцненого цирконієм:

а) при збільшенні в 100 разів; б) при збільшенні в 500 раз

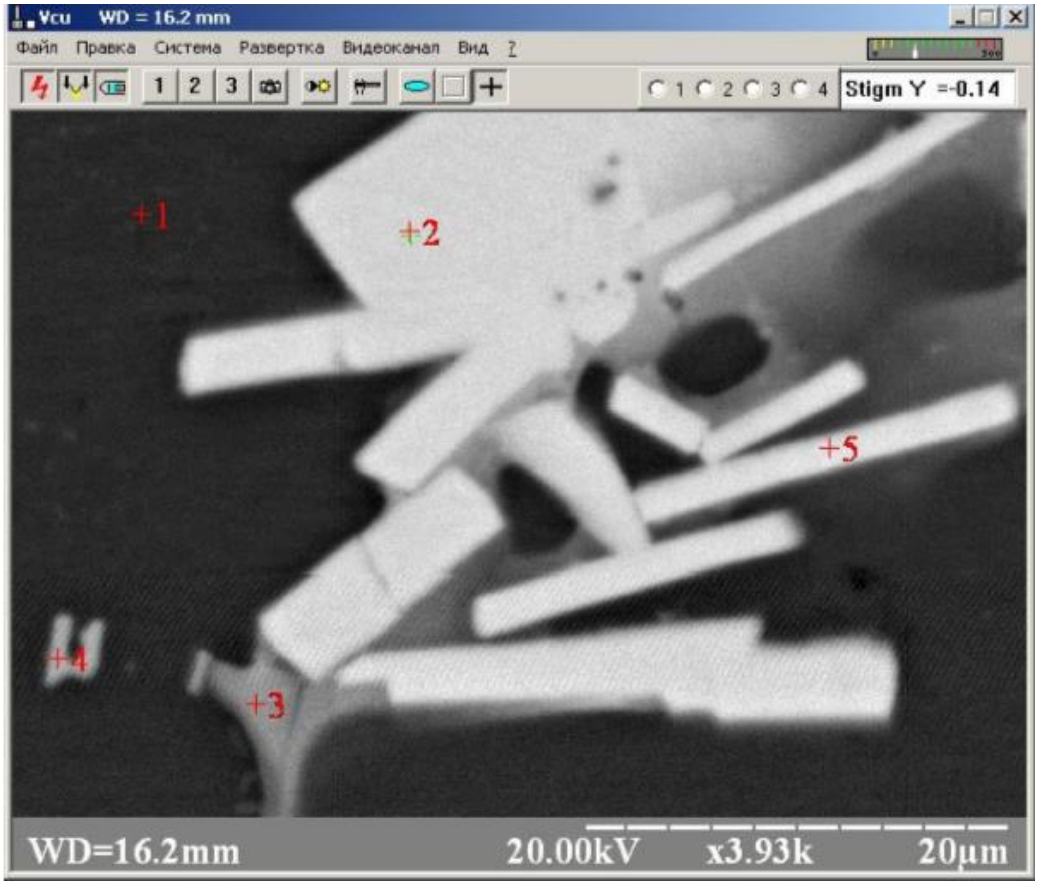


Рисунок 3.6 Мікроструктура алюмінієво-мідного ливарного сплаву АМ5, зміцненого цирконієм, введеним із комплексного флюсу, що вміщує фторид цирконію у точках на рис. 3.7

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	14192	3.15	84.06	100.00	1.0688	0.9933	3	0.000	0.000	
Mn K	79	15.59	1.60	100.00	0.8289	0.9960	2	0.000	0.000	
✗Mn L	-10	185.05	0.00	100.00	0.0000	0.8966	2	0.000	0.000	
Cu K	363	5.44	14.33	100.00	0.8156	0.9953	1	0.000	0.000	
✗Cu L	-28	98.76	0.00	100.00	0.0000	0.9589	1	0.000	0.000	

точка 1

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	5568	3.26	32.54	100.00	0.7310	0.9933	3	0.000	0.000	
Mn K	3	499.36	0.04	100.00	0.8455	0.9960	2	0.000	0.000	
✗Mn L	-14	102.99	0.00	100.00	0.0000	0.8966	2	0.000	0.000	
Cu K	79	24.00	1.88	100.00	0.9155	0.9953	1	0.000	0.000	
✗Cu L	-45	37.08	0.00	100.00	0.0000	0.9589	1	0.000	0.000	
Zr K	2	190.09	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Zr L	4596	3.24	65.54	100.00	0.7279	0.9928	4	0.000	0.000	
Zr M	0	4194.28	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

точка 2

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	5009	2.89	15.52	100.00	1.4739	0.9933	3	0.000	0.000	
Mn K	280	10.29	2.96	100.00	1.1476	0.9960	2	0.000	0.000	
✗Mn L	-15	71.73	0.00	100.00	0.0000	0.8966	2	0.000	0.000	
Fe K	1315	3.67	15.36	100.00	1.2477	0.9968	2	0.000	0.000	
✗Fe L	-6	221.04	0.00	100.00	0.0000	0.9238	2	0.000	0.000	
Cu K	2619	2.39	65.98	100.00	0.9222	0.9953	1	0.000	0.000	
✗Cu L	-31	43.60	0.00	100.00	0.0000	0.9589	1	0.000	0.000	
Zr K	6	43.05	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Zr L	19	144.15	0.18	100.00	1.1791	0.9928	4	0.000	0.000	
Zr M	-1	1241.75	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

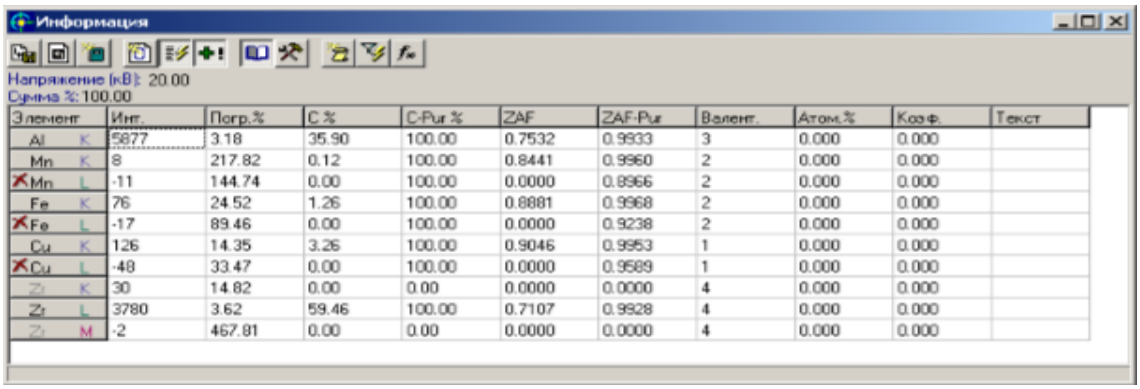
точка 3

Информация

Напряжение (кВ): 20.00
Сумма %: 100.00

Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	5667	3.02	19.35	100.00	1.4475	0.9933	3	0.000	0.000	
Mn K	208	13.28	2.42	100.00	1.1260	0.9960	2	0.000	0.000	
✗Mn L	-1	1148.56	0.00	100.00	0.0000	0.8966	2	0.000	0.000	
Fe K	1140	4.07	14.70	100.00	1.2231	0.9968	2	0.000	0.000	
✗Fe L	-23	48.18	0.00	100.00	0.0000	0.9238	2	0.000	0.000	
Cu K	2313	2.63	63.53	100.00	0.9155	0.9953	1	0.000	0.000	
✗Cu L	-32	50.28	0.00	100.00	0.0000	0.9589	1	0.000	0.000	
Zr K	3	64.47	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Zr L	-37	68.91	0.00	100.00	0.0000	0.9928	4	0.000	0.000	
Zr M	1	1071.46	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

точка 4



Информация

Напряжение [кВ]: 20.00
Сумма %: 100.00

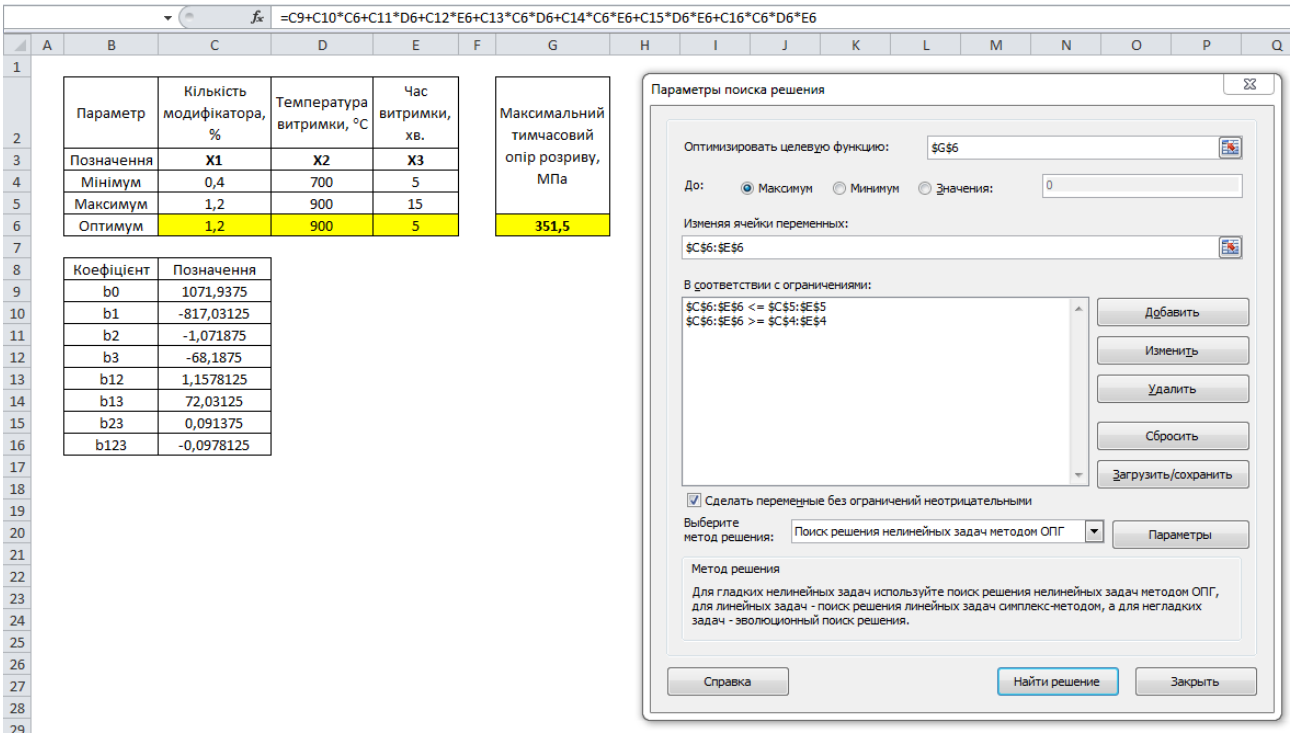
Элемент	Инт.	Погр.%	C %	C-Pur %	ZAF	ZAF-Pur	Валент.	Атом.%	Коэф.	Текст
Al K	5877	3.18	35.90	100.00	0.7532	0.9933	3	0.000	0.000	
Mn K	8	217.82	0.12	100.00	0.8441	0.9960	2	0.000	0.000	
Mn L	-11	144.74	0.00	100.00	0.0000	0.8966	2	0.000	0.000	
Fe K	76	24.52	1.26	100.00	0.8881	0.9968	2	0.000	0.000	
Fe L	-17	89.46	0.00	100.00	0.0000	0.9238	2	0.000	0.000	
Cu K	126	14.35	3.26	100.00	0.9046	0.9953	1	0.000	0.000	
Cu L	-48	33.47	0.00	100.00	0.0000	0.9589	1	0.000	0.000	
Zr K	30	14.82	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	
Zr L	3780	3.62	59.46	100.00	0.7107	0.9928	4	0.000	0.000	
Zr M	-2	467.81	0.00	0.00	0.0000	0.0000	4	0.000	0.000	

точка 5

Рисунок 3.7 Хімічний склад у визначених згідно з рис. 3.6 точках

3.6 Оптимізація процесів модифікування

В середовищі MS Excel було проведено оптимізацію параметрів знайдених математичних моделей залежностей тимчасового опору розриву та відносного подовження сплаву АМ5 від параметрів модифікування – кількості модифікатора, температури модифікування та часу витримки після модифікування. Створенні листи представлені на рис 3.8 та 3.9, відповідно.



=C9+C10*C6+C11*D6+C12*E6+C13*C6*D6+C14*C6*E6+C15*D6*E6+C16*C6*D6*E6

Параметр	Кількість модифікатора, %	Температура витримки, °С	Час витримки, хв.
Позначення	X1	X2	X3
Мінімум	0,4	700	5
Максимум	1,2	900	15
Оптимум	1,2	900	5

Максимальний тимчасовий опір розриву, МПа
351,5

Коефіцієнт	Позначення
b0	1071,9375
b1	-817,03125
b2	-1,071875
b3	-68,1875
b12	1,1578125
b13	72,03125
b23	0,091375
b123	-0,0978125

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию: $G$6

До: Максимум Минимум Значения: 0

Изменяя ячейки переменных:
$C$6:$E$6

В соответствии с ограничениями:
$C$6:$E$6 <= $C$5:$E$5
$C$6:$E$6 >= $C$4:$E$4

Добавить
Изменить
Удалить
Сбросить
Загрузить/сохранить

Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения: Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ
Параметры

Метод решения
Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка Найти решение Закрыть

Рисунок 3.8 Оптимізація по тимчасовому опору розриву

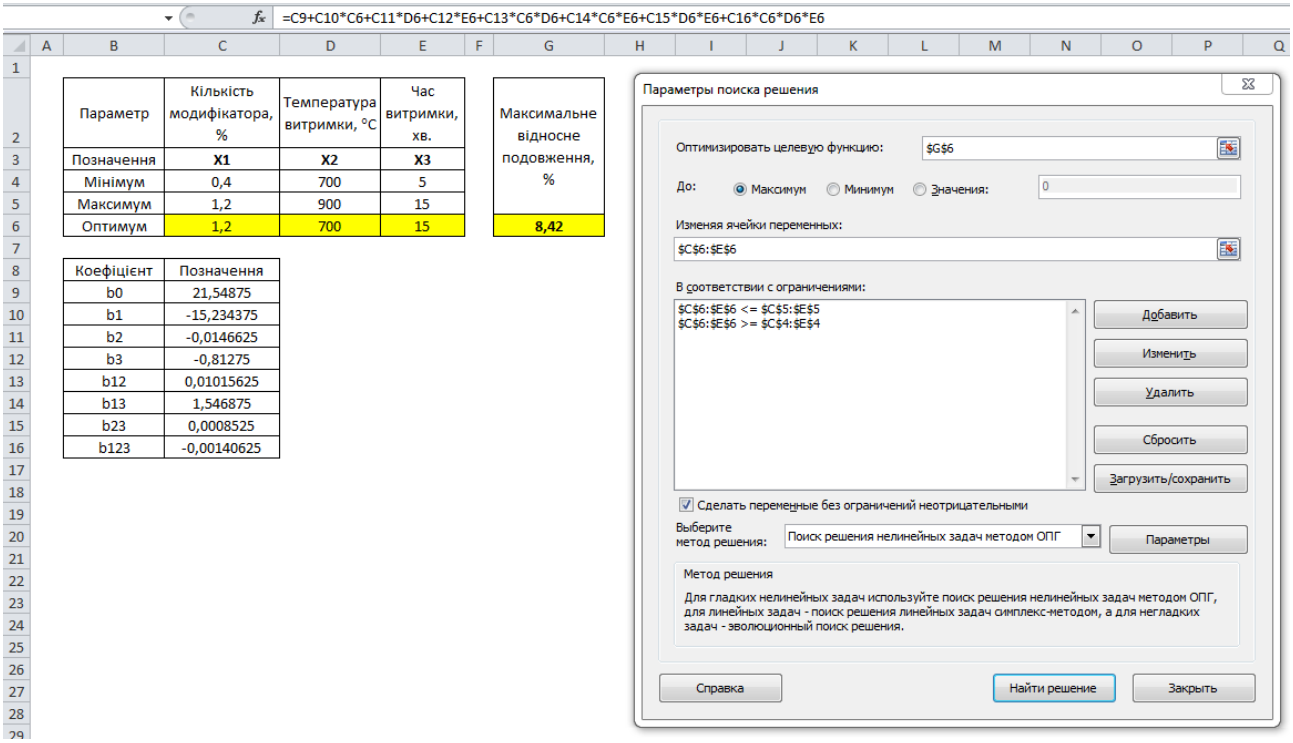


Рисунок 3.9 Оптимізація по відносному подовженню

Згідно з отриманих результатів видно, що для підвищення тимчасового опору розриву сплаву необхідно проводити процес модифікування максимальною кількістю модифікатора при максимальний температурі і при мінімальний витримці розплаву.

Для підвищення відносного подовження сплаву необхідно проводити процес модифікування максимальною кількістю модифікатора при мінімальній температурі і при максимальній витримці розплаву.

3.7 Висновки

В даному розділі наведені результати повного факторного експерименту обробки ливарного алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію. Отримані рівняння регресії дозволяють розрахувати значення тимчасового опору розриву і відносного подовження сплаву АМ5 в залежності від вмісту фториду цирконію, температури обробки та часу витримки розплаву.

Проведена оптимізація параметрів показала, що максимальне значення тимчасового опору розриву в 351,5 МПа досягається при вмісті модифікатора 1,2%, температурі 900 °С та тривалості витримки розплаву протягом 5 хв. Максимальне відносне подовження в 8,4 % досягається при вмісті модифікатора 1,2%, температурі 700 °С та тривалості витримки розплаву протягом 15 хв.

Таким чином, запропонована технологія оброблення алюмінієво-мідних сплавів фторидом цирконію дозволяє підвищити до 38 % тимчасовий опір розриву (значення базового зразка 253,7 МПа), та до 82 % відносне подовження (значення базового зразка 4,6 %).

Аналіз мікроструктури алюмінієво-мідного сплаву АМ5 зміцненого цирконієм із фториду цирконію показав, що цирконій в основному зосереджується на кордонах зерен. Тому у литому та термообробленому станах дані сплави більш міцні та жароміцні, ніж, наприклад, деформовані.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ

4.1 Аналіз умов праці

Організація робочого місця

Розробка технології отримання сплаву на основі АМ5 проводилась в лабораторії 011, 9 корпусу НТУУ «КПІ», схема якої наведена на рис. 4.1.

Приміщення має наступні розміри;

- довжина a = 10 м;
- ширина b = 4,5 м;
- висота h = 3,1 м.

Площа лабораторії $S = a \cdot b = 45$ м^2, загальний об'єм лабораторії $V = a \cdot b \cdot h = 139{,}5$ м^3.

На схемі лабораторії (рис 4.1) показані такі робочі місця:

I. Робоче місце для розрахунків

II. Робоче місце для зважування шихти та модифікатора

III. Робоче місце для підготовки шихти

Розрахунки виконувались за допомогою комбінованої ЕОМ з маркою монітору 18.5" Samsung S19D300N.

Підготовка шихти виконувалась за допомогою тисків та ручної пилки по металу.

Зважування виконувалось за допомогою вагів з точністю 0,01 г.

Плавка алюмінію А6 з добавкою флюсу виконувалась в печі опору СНОЛ-1.6,2.5,1/11-М2 з керамічним тиглем.

Плавка АМ5 з подальшою добавкою міді та лігатури Al-Mr, виконувалась в печі опору СШОЛ-4,6/12-М3 та нанесенням ZrF_4 на поверхню розплаву з витримкою на протязі 30…120 с., та наступним замішуванням цієї сполуки у розплав і витримкою у печі потягом певного часу.

Оскільки, науково-дослідна робота проводиться з використанням ЕОМ, тому згідно ДСанПІН 3.3.2.007-98 для приміщень такого класу на кожного

працюючого повинно доводитися не менше 6,0 м^2 площі приміщення і не менше 20 м^3 об'єму приміщення[26].

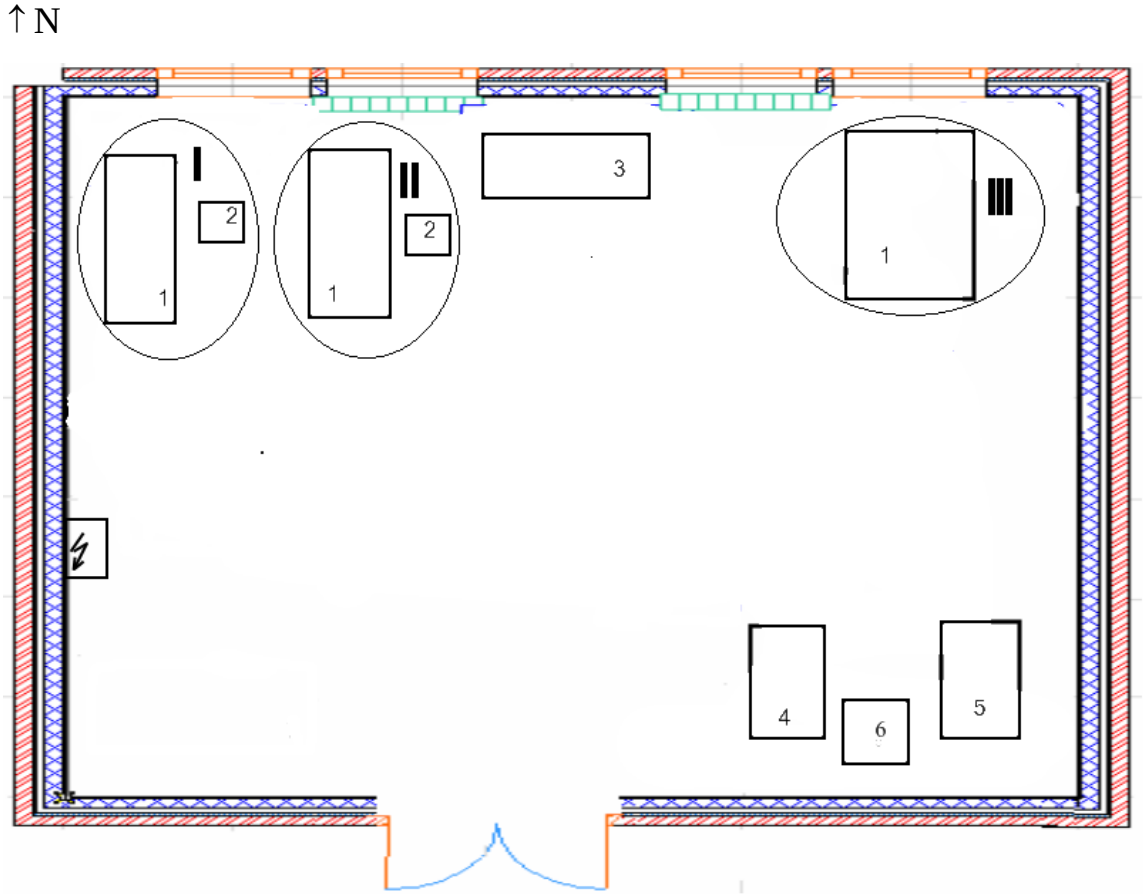


Рисунок 4.1 План лабораторії № 011-9:

1 – стіл; 2 – стілець; 3 – шафа; 4,5 – печі опору СНОЛ-1.6,2.5,1/11-М2 з керамічним тиглем та СШОЛ-4,6/12-М3 з чавунним тиглем пофарбованим фарбою, що містить оксид цинку, рідке скло та воду; 6 – витяжка

Оскільки кількість працюючих у лабораторії не перевищує 3-х осіб, то площа та об’єм, що припадає на одну людину дорівнює:

- площа лабораторії на одного працівника $S' = S / 3 = 15$ м^2;
- об’єм лабораторії на одного працівника $V' = V / 3 = 46{,}5$ м^3.

Отримані величини площі та об’єму, розраховані на одну людину, відповідають нормі ($S'_н = 6$ м^2, $V'_н = 20$ м^3).

Отже, геометричні параметри лабораторії відповідають нормам ДСанПІН 3.3.2.007-98 .

4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Згідно ГОСТ 12.0.003-74 на працівників лабораторії діють наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори [27].

Фізичні фактори: підвищена температура повітря в виробничих приміщеннях; понижена вологість повітря; недостатня освітленість робочої зони; гострі кромки, задирки на поверхні інструментів, обладнання._підвищена напруга в електричній мережі.

Хімічні фактори: хімічні речовини, які знаходяться в лабораторії – модифікатор LiF – ZrF_4, рідке скло.

До психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження каталізаторів, монотонність праці, емоційне перевантаження).

Таблиця 4.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

УСТАТКУВАННЯ	ШКІДЛИВІ ТА НЕБЕЗПЕЧНІ ФАКТОРИ
ЕОМ комбінована, 18.5" Samsung S19D300N	- наявність шуму та вібрації; - електромагнітне випромінювання; - ультрафіолетове випромінювання; - електростатичне поле між екраном і оператором; - наявність пилу, озону, оксидів азоту й аероіонізації. - ураження електричним струмом
СНОЛ-1.6,2.5,1/11-М2 та СШОЛ-4,6/12-М3	- підвищена температура поверхонь обладнання;; - опіки від бризг рідкого металу, наявність рідких продуктів плавки; - інтенсивне теплове випромінювання; - ураження електричним струмом - електромагнітне випромінювання;

Згідно Постанови КМУ від 26.10.2011 № 1107, НПАОП 0.00-2.24-05 роботи, які виконуються в даній лабораторії при розробці технології отримання сплаву на основі АМ5 та обладнання, яке використовується при виконанні цих робіт не відносяться до переліку робіт та обладнання підвищеної небезпеки, на які необхідно отримувати Дозвіл Держгірпром нагляду України.

Для працівників проводиться повторний інструктаж 1 раз на 6 місяців.

4.3 Параметри мікроклімату

В нашому приміщенні робота виконуються сидячи, стоячи або пов’язана з ходінням із застосуванням деякого фізичного напруження, носить характер легкої важкості, згідно з ДСН 3.3.6.042 – 99 відноситься до категорії робіт 1б. Загальні енерговитрати організму складають 121…150 ккал/год (141…175 Вт) [28].

Оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та системному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [29].

Теплий період року – середньодобова температура зовнішнього середовища вища +10°С, а в холодний період року – нижча +10°С.

Температура в приміщенні відповідає оптимальній величині згідно з ДСН 3.3.6.042-99. В робочих зонах виробничих приміщень на непостійних робочих місцях і відповідає 22…23°С. Постійне робоче місце – дві астрономічні години або чотири години за зміну.

Приміщення знаходиться у підвалі, використовується водяне опалення та природне провітрювання. Параметри мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 Параметри мікроклімату

ПЕРІОД РОКУ	КАТЕГОРІЯ РОБІТ	ТЕМПЕРАТУРА, °С		ВІДНОСНА ВОЛОГІСТЬ, %		ШВИДКІСТЬ РУХУ ПОВІТРЯ, М / С		ОПАЛЕННЯ	ВЕНТИЛЯЦІЯ
		ФАКТ.	ДОП.	ФАКТ.	ДОП.	ФАКТ.	ДОП.		
ХОЛ.	ЛЕГК. 1Б	22	21-23	60	40-60	0,1	<0,2	ВОД.	ПРИРОД.
ТЕПЛ.	ЛЕГК. 1Б	23	22-24	50	40-60	0,2	<0,3	—	

Мікроклімат в дослідній лабораторії відповідає нормам ДСН 3.3.6.042-99

4.4 Шкідливі речовини в повітрі робочої зони

До виробничих шкідливих речовин відносяться пил, гази, хімічні речовини в рідкій і твердій фазі, що знаходяться в робочій зоні [30].

Найбільш розповсюдженими видами забруднень є тверді суспензії (пил, зола, дим), оксиди вуглецю, азоту, сірки, вуглеводні, аміак, оксиди і солі важких металів і т. ін.

У даному приміщенні виділення шкідливих речовин в повітря робочої зони відбувається при плавленні А6 с модифікатором. Виділяються шкідливі речовини такі, як: алюміній, оксид вуглецю (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 Норми вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м^3	Клас небезпеки	Агрегатний стан	Особливості дії
Алюміній	2	3	Аерозоль	Фіброгенна дія
Оксид вуглецю	20	4	Пар	

В даній лабораторії вміст алюмінію 0,5 мг/м^3, оксиду вуглецю 8 мг/м^3. Отже, дана лабораторія відповідає вимогам.

4.5 Освітлення

Світло – один із суттєвих чинників виробничого середовища, завдяки якому забезпечується зоровий зв'язок працівника з його оточенням. Залежно від джерел світла освітлення може бути природним, що створюється прямим сонячним промінням та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється (прямими) електричними джерелами світла; суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Правильно підібране освітлення надає нормальні умови для організації робочого процесу. Приміщення лабораторії освітлюється за допомогою сумісного освітлення: природного та штучного.

Природне освітлення приміщення забезпечується двома.віконними прорізами 2,5 м шириною і 2, м висотою, площею 10 м^2.

Штучне освітлення забезпечується люмінесцентними лампами типу ЛБ – 40 в кількості 16 од., розміщених в 8 світильниках серії Л 201Б , розташованих на стелі.

Характеристики лампи ЛБ – 40:

Потужність – 40 Вт;

Напруга на лампі –103 В;

Світловий потік:

Номінальний – Флн = 3200 лм;

Мінімальний – Флм= 2500 лм.

Світильники серії Л 201 -Б мають характеристику:

довжина Lc= 1250 мм;

ширина b= 250 мм;

висота Hc= 100 мм;

кількість місць для установки світильників 8;

в 1 світильник встановлюється 2 лампи.

В лабораторії проводяться роботи V розряду (малої точності).

4.6 Розрахунок природного освітлення

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двохстороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, що здійснюється через ліхтарі та отвори в дахах та перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

В нашому випадку, надходження світлової енергії однобічне при розміщення вікон з північної сторони. Розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових прорізів при односторонньому освітленні приміщення:

$$100 \cdot \frac{S_B}{S_П} = \frac{e_H \cdot K_З \cdot \eta \cdot K_{БУД}}{\tau_З \cdot r_1}, \qquad (4.1)$$

де S_B – площа вікон, (10 м^2);

$S_П$ – площа підлоги, ($S_п$=45м^2);

e_H – нормоване значення КПО, здійснюється за формулою:

$$e_н = e_N \cdot m, \qquad (4.2)$$

згідно з ДНБ В.2.5.28-2006 e_N=1,5, m = 0,85 – коефіцієнт світлового клімату, отже $e_н$=1,5·0,85=1,275%;

$K_з$ – коефіцієнт запасу, що враховує забрудненість повітряного середовища і скла, ($K_З$=1,3);

η – світлова характеристика вікон, L/B=2,2;B/h=1,45(η=9);

$K_{БУД}$ - коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, які розташовані навпроти, ($K_{БУД}$=1,1);

τ_0 – загальний коефіцієнт світлопропускання:

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \qquad (4.3)$$

де τ_1=0,8 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу скла;

τ_2=0,7 та τ_3=1 – коефіцієнти, що враховують втрати світла відповідно у переплетіннях світлопройому і несучих конструкціях;

τ_4=0,8 – коефіцієнт, який враховує витрати світла відповідно у сонцезахисних пристроях;

τ_5=0,9 – коефіцієнт, що враховує витрати світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями.

Отже, τ_0 =0,8·0,7·1,0·0,8·0,9 = 0,4.

r_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення.

Для розрахунку r_1 були визначені наступні співвідношення: B/h_1=2,3; $l_п/B$=1,9; l/B=1; $\rho_{ср}$=0,45, згідно яких при використанні необхідних таблиць склали r_1 = 1,8.

Таким чином, підставивши значення параметрів визначимо розрахункове фактичне значення КПО

$$e_{розр.} = \frac{100 \cdot 10{,}25 \cdot 0{,}4 \cdot 1{,}8}{45 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}1 \cdot 9} = 1{,}27\%$$

Отже, розрахункове значення КПО становить 1,27%, що відповідає встановленим нормативним вимогам ДБН.В.2.5.28-2006 ,нормативи якого $e_н$ = 1,25 % [36].

4.7 Розрахунок штучного освітлення

Штучне освітлення може бути загальним (світильники розміщенні у верхній зоні приміщення), місцеве (світильники, що концентрують світловий потік на робоче місце) та комбінованим [31].

Забезпечення штучного освітлення в лабораторії 011-9 здійснюється за допомогою джерел штучного освітлення, в якості яких використовуються

світильники Л 201 – Б з газорозрядними лампами низького тиску типу ЛБ – 40, мають найбільшу світловіддачу (див. рис. 4.2).

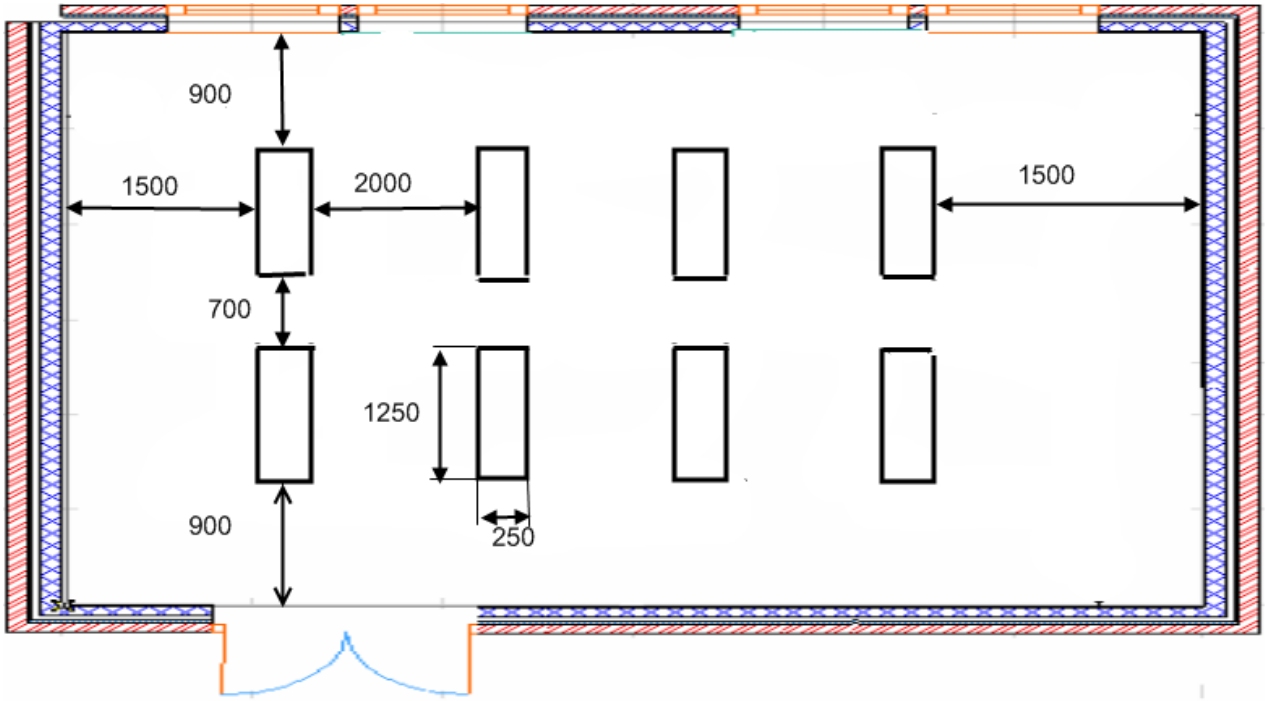


Рисунок 4.2 Спрощений план розміщення джерел штучного освітлення в лабораторії 011-9

Розрахунок штучного освітлення проводиться за методом коефіцієнту використання потоку світла. Потік світла, повинні випромінювати лампи в кожному світильнику визначаються за формулою:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta \cdot \gamma}, \tag{4.4}$$

де E – нормована мінімальна освітленість, лк;

к – коефіцієнт запалу, к=1,5;

S – площа що освітлюється, м^2;

z – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність освітлення;

N – кількість світильників;

Початковий світловий потік лампи білого світіння ЛБ – 40 становить $Ф_л$ = 3200 лм. В лабораторії встановлено 8 ламп (світильників) із 2 лампами в кожному. Висоту підвісу світильників визначимо за формулою:

$$h = H - h_c - h_p - h_n \tag{4.5}$$

де Н – висота приміщення, (H = 3,1 м);

h_c – висота світильника, (h_c = 0,15 м);

h_p – відстань від стелі до підвісу, (h_p = 0,1 м);

h_n – висота робочої поверхні, (h_n= 0,8 м).

Тоді, h = 3,10 - 0,15 - 0,10 - 0,8 = 2,05 м.

Висота підвісу світильників складає 2,05 м, відстань від ряду стіни 0,80 м. Габарити кімнати складають a = 10 м, b = 4,5 м.

Визначення освітленість в робочій точці. Для розрахунку загальної рівномірної освітленості при горизонтальній робочій поверхні застосуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку .

Тоді отримуємо формулу для розрахунку освітленості на робочому місці:

$$E = \frac{Ф_л \cdot N \cdot n \cdot \eta}{k_з \cdot S \cdot z} \tag{4.6}$$

N – число світильників в приміщенні, N = 8;

n – кількість лапм в світильнику, n = 2;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, η = 0,34;

$Ф_л$ – світловий потік ламп, $Ф_л$ = 3200 лм;

$k_з$ – коефіцієнт запасу, $k_з$ = 1,5;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, z = 1,1;

S – площа приміщення, S = 45 м^2;

E – освітленість, що створюється всіма світильниками.

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від:

- ККД, кривої розподілу сили світла світильника;
- коефіцієнт відбиття стелі R_n і стін R_c;
- висоти підвісу світильників h_n;
- показника приміщення i.

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = 1 \qquad (4.7)$$

Беремо: R_n (стелі) = 0,7, R_c (стін) = 0,5, R_p (підлоги) = 0,1, η = 0,34, z = 1,1.

Підставивши значення отримаємо: Е = 234,45 лк

Із розрахунку видно, що рівень штучного освітлення в лабораторії не відповідає вимогам ГОСТ 12.1.029-80.

Рекомендації

Розраховане значення освітленості, яке створюється всіма світильниками становить 234,45лк, що не відповідає встановленому по ДБН.В.2.5.28-2006 для аналітичних лабораторії рівні 400 лм. Тому для створення належних умов праці потрібно встановити 7 додаткових світильників серії Л 201Б .

4.8 Пожежна безпека

Оцінка вибухо- та пожежобезпеки приміщень і будівель виробничого та складського призначення залежно від кількості властивостей речовин і матеріалів, що там знаходяться та з урахуванням особливостей психологічних процесів розміщених у них виробництв [32]. Збудниками пожеж можуть бути: розплавлений метал, модельний матеріал, розчинники, тощо.

Виникнення пожеж в лабораторії можливе за такими причинами:

1. Порушення правил протипожежної безпеки;
2. Несправність електроустаткування;
3. Необережне поводження з вогнем;

4. Ремонт устаткування на ходу;

5. Конструктивні недоліки устаткування;

6. Неправильне користування устаткуванням.

Для запобігання пожеж необхідно чітко дотримуватись правил протипожежної безпеки.

Класифікація приміщення*:*

– зона пожежонебезпечності відноситься до категорії **Г** згідно з НАПБ Б 07.005-86 (ОНТП 24-86) (кабельні електропроводки до обладнання, окремі предмети меблів на місцях) ; [33]

– клас пожежонебезпечної зони П-IIа – простір у приміщені, в якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали згідно ДНАОП 0.00-1.32.01;

– клас потенційно можливої пожежі A, D, E згідно з Міжнародним стандартом ISO №3941-77(A – тверді речовини, переважно органічного походження, горіння яких супроводжуються тлінням (деревина, текстиль, папір); D – метали та їх сплави; E – устаткування під напругою);

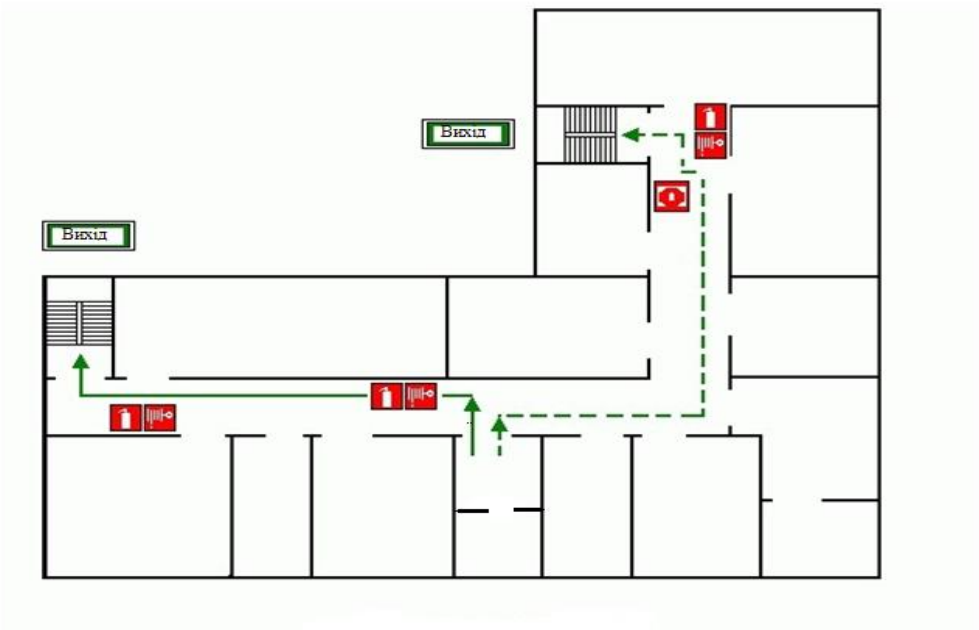
– установка ЕПС (електрична пожежна сигналізація) включає датчики типу НТЛ та ДТЛ (датчик тепловий легкоплавкий) ;

– для пожежного зв’язку використовується телефон;

– евакуація з поверху, де знаходиться робоче приміщення виконується згідно з планом (рис. 4.3).

У випадку виникнення пожежі на електроустановці , яка знаходиться під напругою полум’я, котре виникає, гаситься не водою, а за допомогою вуглекислотного (ВВ-2,ВВ-5,ВВ-8) чи вуглекислотноброметилового (ВВБ-3, ВВБ-7) вогнегасників.

В лабораторії є вуглекислотний вогнегасник ВВ-2 (ГОСТ 111564-65), а на сходових клітках і в коридорах ящики з піском, вогнегасники типу ВВ-8, пожежні крани.



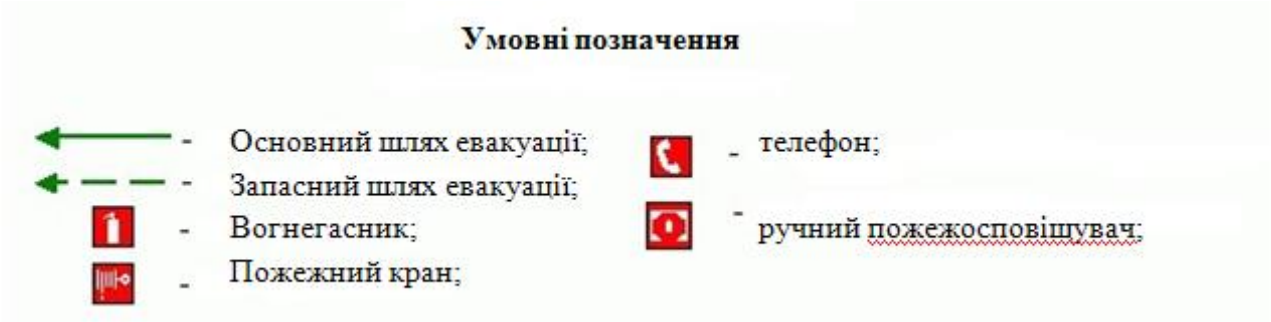


Рисунок 4.3 План евакуації під час пожежі

Рекомендації

Для запобігання пожеж необхідно чітко дотримуватись правил протипожежної безпеки. У випадку виникнення пожежі на електроустановці, яка знаходиться під напругою полум’я, котре виникає, гаситься не водою, а за допомогою вуглекислотного чи вуглекислотноброметилового вогнегасників.

В лабораторії є вуглекислотний вогнегасник ВВ-2 (ГОСТ 111564-65), а на сходових клітках і в коридорах ящики з піском, вогнегасники типу ВВ-8, пожежні крани.

Також необхідно встановити автоматичний пожежний сповіщувач системи пожежної сигналізації, яка автоматично подає сигнал тривоги при виникненні

одного або кількох ознак пожежі: підвищенні температури, появи диму або полум'я на приймальний прилад, появі значних теплових випромінювань.

4.9. Безпека у надзвичайних ситуаціях

В Законі України «Про захист населення і території в умовах надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» встановлено наступне визначення надзвичайної ситуації: «Надзвичайна ситуація – це порушення умов життєдіяльності людей викликані виробничими аваріями, катастрофами, стихійними лихами, епідеміями які привели або можуть привести до людських жертв і великим матеріальним збиткам» [34].

Ефективність захисту населення у надзвичайній ситуації (НС) може бути досягнута тільки на основі усвідомленого урахування принципів забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях і ефективному використанні всіх засобів і способів, що послаблюють її негативні впливи та збільшують безпеку населення.

В залежності від характеру причин виникнення надзвичайної ситуації розрізняють:

- надзвичайну ситуацію техногенного характеру;
- надзвичайну ситуацію екологічного характеру;
- надзвичайну ситуацію природного характеру;
- надзвичайну ситуацію соціального характеру.

Принципи забезпечення безпеки в умовах НС за ознаками їх реалізації умовно ділять на три групи. Перша – це завчасна підготовка і накопичення засобів захисту (колективних та індивідуальних) від небезпечних і шкідливих чинників, забезпечення їхньої готовності для використання населенням, а також підготовка до проведення заходів щодо евакуації населення з небезпечних зон (зон ризику). Друга – диференційований підхід у забезпеченні повного обсягу захисних заходів в залежності від виду джерел небезпечних і шкідливих чинників, а також від місцевих умов. Третя – комплексне ефективне

застосування засобів і способів, які забезпечують надійний захист від наслідків НС, узгоджене здійснення усіх заходів, що гарантують безпеку життєдіяльності в сучасному техносоціальному середовищі.

Щоб запобігти виникненню надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру в нашій країні функціонує Єдина державна система запобігання і регулювання на надзвичайній ситуації техногенного характеру.

Кожний рівень ЄДСЗР має координуючі та постійні органи управління щодо розв'язання завдань у сфері запобігання надзвичайної ситуації, захисту населення.

Координуючі органи ЄДСЗР:

- загальнодержавний рівень: (державна комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій; національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення);
- регіональний рівень;
- місцевий рівень;
- об'єктовий рівень.

Надзвичайна ситуація, що може виникнути в лабораторії, буде належати до об'єктового рівня, тому що не підлягає критеріям які відповідають іншим рівням НС, а саме загальнодержавному, регіональному та місцевому. Згідно Класифікатора надзвичайних ситуацій в Україні надзвичайною ситуацією об'єктового рівня вважається така ситуація, що розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті і наслідки якої не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони. Для спрощення машинної обробки інформації класифікатор визначає оригінальний код кожної надзвичайної ситуації, що складається з 5-ти цифр, які вказують на клас, групу і вид надзвичайної ситуації (О – об'єктовий, М – місцевий, Р – регіональний, Д – державний).

Відповідно до ДБН В.1.1-7-2002 будівля відноситься до **I** ступеня вогнестійкості (будинки з несучими та огороджувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів).

Основний засіб захисту населення в надзвичайних ситуаціях – це евакуація населення, його укриття в захисних спорудах, використання засобів індивідуального захисту і медичної профілактики. Захисні споруди – це інженерні об’єкти, спеціально призначені для захисту населення від фізичних, хімічних, біологічно небезпечних і шкідливих чинників[35].

Розглянемо таку надзвичайну ситуацію як пожежа (картка 10212 Класифікатора надзвичайних ситуацій – Пожежі (вибухи) в будівлях та спорудах громадського призначення).

Виникнення пожеж в лабораторії можливе за такими причинами:

1. Порушення правил протипожежної безпеки;
2. Несправність електроустаткування;
3. Необережне поводження з вогнем та розплавленим металом;
4. Ремонт устаткування на ходу;
5. Конструктивні недоліки устаткування;
6. Неправильне користування устаткуванням.

У випадку виникнення надзвичайної ситуації, а саме закорочення кабельної електропроводки, що знаходиться під напругою та іскрить необхідно:

- відключити подачу току до лабораторії;
- сповістити про пожежу за допомогою пожежної сигналізації;
- спробувати знешкодити подальше розповсюдження полум’я;
- гасити полум’я необхідно вогнегасниками типу ВВ-2, ВВ-8, а також піском;
- необхідно швидко евакуюватися в безпечні приміщення або на двір.

4.10 Висновки

Лабораторна установка містить ряд небезпечних і шкідливих факторів:

1. Електробезпека, ураження електричним струмом в результаті пробою на корпус, в захисних заходах встановлюємо захисне заземлення.

2. Випромінювання згідно з нормами для лабораторій повинен працювати у спеціальному одязі.

3. Через низьку освітленості може страждати зір через постійне напруга тому встановлюємо додаткове освітлення описане в розділі 5.1.6

4. Шкідливі речовини ,що виділяються під час плавки , та шум. Згідно з нормами для лабораторій відповідає нормам і додатково знижений шум за рахунок кожухів і гумових амортизаторів.

5. З метою пожежної безпеки в приміщенні встановлюються порошкові вогнегасники.

В цілому використання обладнання при дотриманні норм і правил техніки безпеки не викликають небезпеки для працюючих, але треба приділити увагу тому, щоб усі працівники дотримувалися правил техніки безпеки, а також забезпечити надійну ізоляцію працівників від джерел струму та високої напруги.

ВИСНОВКИ

Головна мета роботи полягала в розробці технології зміцнення алюмінієвого сплаву АМ5 фторидом цирконію і дослідженні його фізико-механічних властивостей.

Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені наступні задачі:

1. На основі аналізу літературних джерел був обраний оптимальний склад флюсу LiF – ZrF_4 для насичення цирконієм алюмінієвого ливарного сплаву типу АМ5.

2. Розроблена методика проведення досліджень.

3. Проведені дослідні плавки за розробленою методикою.

4. Проведені дослідження структури і фізико-механічних властивостей зразків, оброблених фторидом цирконію при різних параметрах процесу. Встановлено, що введений із фториду цирконію цирконій розподіляється по границям зерен, що свідчить про те, що в литому і термообробленому станах дані сплави мають вищу міцність, аніж деформовані. Розроблена технологія оброблення алюмінієво-мідних сплавів фторидом цирконію дозволяє підвищити до 38 % тимчасовий опір розриву та до 82 % відносне подовження.

5. Проведена оптимізація параметрів показала, що максимальне значення тимчасового опору розриву в 351,5 МПа досягається при вмісті модифікатора 1,2%, температурі 900 °С та тривалості витримки розплаву протягом 5 хв. Максимальне відносне подовження в 8,4 % досягається при вмісті модифікатора 1,2%, температурі 700 °С та тривалості витримки розплаву протягом 15 хв.

6. Проведенно аналіз небезпечних чинників при плавці і запропоновані заходи щодо захисту від них. Також розроблено план евакуації під час пожежі або надзвичайної ситуації.

CONCLUSIONS

The main purpose of the work was to develop technology to strengthen aluminum alloy AM5 zirconium fluoride and study its physical and mechanical properties.

To achieve this goal have been resolved in the following tasks:

1. On the basis of the literature was elected optimal composition of flux LiF - ZrF4 to saturate zirconium aluminum foundry alloy type AM5.

2. The method of research.

3. A research melting the developed methodology.

4. The research structure and physico-mechanical properties of the samples treated zirconium fluoride at different process parameters. Found that introduced a zirconium zirconium fluoride distributed by grain boundaries, which indicates that the cast and heat treated conditions these alloys have higher strength than deformed. The technology of processing aluminum-copper alloy zirconium fluoride can increase to 38% temporary tensile strength and 82% elongation.

5. Optimization parameters showed that the maximum value of tensile strength at break 351.5 MPa achieved with modifier content of 1.2%, 900 °C temperature and duration of exposure melt for 5 minutes. The maximum elongation at 8.4% achieved in the modifier content of 1.2%, 700 °C temperature and duration of exposure melt for 15 minutes.

6. Conducting Hazard Analysis smelting and proposed measures to protect them. Also, a plan of escape during a fire or emergency.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Смирнов А.Н. Крупный слиток [Текст] / А.Н. Смирнов, С.Л. Макуров.- Д.: «Металлургия», 2009. - 278 с.

2. Михайлова М.М. Теория формирования отливки [Текст]: учеб. пособие/ М.М. Михайлова, С.Д. Колотиенко, В.А. Топуз - Ростов-на-Дону.: Издательский центр ДГТУ, 2009. - 97с.

3. Задиранов А.Н. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов [Текст] / А.Н. Задиранов, А.М. Кац.-М.: МГИУ, 2008. - 194с.

4. Смирнов А.Н Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст] / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко – Д.: Издательство «ВИК», 2002. - 169 с.

5. Kurz W., Fundamentals of Solidification [Text] / W. Kurz, D.J. Fisher; - Switzerland, Trans Tech Publications Ltd. 1992.- 305p.

6. Валуев Д.В. Разливка и кристаллизация стали и сплавов [Текст] / Д.В. Валуев , – Томск: ТПУ, 2009.- 235с

7. Шепелевич В.Г. Структурно-фазовые превращения в металах [Текст] / В.Г. Шепелевич - Мн.: БГУ, 2007. - 167с.

8. Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации метал лов [Текст] / У. Вайнгард, Я.С. Уманский.- М.: Мир, 1967. – 290с.

9. Белов Н. А. Влияние циркония на структуру и механические свойства микролегированных сплавов системы Al-Fe-Si [Текст] / Н.А. Белов ,В.В. Истомин-Кастровский, А.Н.Алабин; // «Известия вузов. Цветная металлургия» - 2003, №4, с. 54…60.

10. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов [Текст] / Л.Ф. Мондольфо. – М.: Металлургия, 1979. - 315с.

11. Горынин И.В. Алюминиевые сплавы. Применение алюминиевых сплавов [Текст]: Справочное руководство. / И.В. Горынин. - М.: «Металлургия», 2006. - 215с.

12. Степанова Т. Н. Основы получения отливок из сплавов цветных металлов [Текст]: Лабораторный практикум. / Т.Н. Степанова, Т.Р. Гильманшина, В.А. Падалка; Красноярск. - 2012. - 73 с.

13. Стеценко В.Ю., О механизмах модифицирования силуминов [Текст] / В.Ю. Стеценко. - Металлургия машиностроения, 2008. - №1. – с.20…23.

14. Гринин В.В. Исследование свариваемости разноименных алюминиевых сплавов./ В. В. Гринин, В. В. Овчинников, В. И. Лукин, Е. Н. Иода; // ВИАМ/1988-200180, 1988. - 9 с.

15. Попов Д.А. Исследование и разработка технологии алюминотермического получения алюминиево-циркониевой лигатуры из оксида циркония в хлоридно-фторидных расплавах [Текст] / Д.А. Попов. - М, МИСиС. 2012 года. – 155с.

16. Хэтч Дж.Е. Алюминий. Свойства и физическое металловедение. [Текст]: Справочник / Дж.Е. Хэтч. – М., «Металлургия», 1989. – 170с.

17. Андреев А.Д. Высокопроизводительная плавка алюминевых сплавов [Текст] / А.Д. Андреев, В.Б.Гогин, Г.С. Макаров. - М«Металлургия», 1980. -320с.

18. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов [Текст] / М.В. Мальцев. – М.: Металлургия, 1970, - 367с.

19. Напалков В.И. Производство лигатур для алюминиевых сплавов [Текст] / В.И. Напалков, С.В. Махов, Д.А. Попов. // Металловедение и термическая обработка металлов. №10 2011. 250с.

20. Москвитин В.И. Термодинамические основы алюминотермического восстановления циркония из ZrO2 в хлоридно-фторидных солевых расплавах [Текст] / В.И. Москвитин, Д.А. Попов, С.В. Махов. // Цветные металлы. №4 2012. С.43-46.

21. Попов Д.А. О процессе изготовления алюминиево-циркониевой лигатуры из оксидациркония с использованием метода алюминотермического восстановления [Текст] / Д.А. Попов. // Сборник тезисов докладов IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием

"Взаимодействие науки и литейно-металлургического производства". – Самара: электронное издание. 2012. 75с.

22. Ефимов В.А. Специальные способы литья [Текст]: справочник / В.А. Ефимов, Г.Л. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под общ. ред. В.Л. Ефимова. - М.: Машиностроение, 1991. - 736 с.

23. Дубодєлов В.І. Вплив постійного магнітного поля на дендритну структуру сплавів системи Al – Cu при охолодженні розплавів [Текст] / В.І. Дубодєлов, В.О. Середенко, С.С. Затуловський, та ін. // Металознавство та обробка металів № 2, 2009, с. 20-24

24. Пальоха К.К. Організація експерименту [Текст]: Навчальний посібник для студентів спеціальності "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" / К.К. Пальоха – К.: ІЗМН, 1996. - 136с.

25. Іванченко Д.В. «Вплив температури, часу витримки та вмісту фториду цирконію на міцність та відносне подовження алюмінієво-мідного ливарного сплаву типу АМ5» [Текст] / Д.В. Іванченко, П.Є. Ільчук // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра». - К.: НТУУ "КПІ", 2015.

26. Дсан ПІН 3.32 -007 – 98 – Будівельні норми і правила [Текст].

27. ГОСТ 12.0.003-74 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація [Текст].

28. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст].

29. Правила охраны труда в металлургической промышленности [Текст].-Х.: изд. «Форд», 2009-144с

30. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності [Текст]: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації / Є.П. Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний. - За ред. Є.П.Желібо . – Київ: «Каравела»; 2001. – 320 с.

31. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення [Текст].

32. Такачук К.Н. Основи охорони праці [Текст]: Підручник. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський. – 2-ге вид. доп. перероб. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

33. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. [Текст]: Навчальний посібник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2000. – 32 с.

34. ОНТП 24-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности [Текст].

35. Такачук К.Н. Основи охорони праці [Текст]: Підручник / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно та ін.; За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.: Основа, 2003. – 472 с.

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МЕТАЛІВ»

СПЕЦІАЛЬНА МЕТАЛУРГІЯ: ВЧОРА, СЬОГОДНІ, ЗАВТРА

Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції

15 квітня 2014 року

Київ
НТУУ «КПІ»
2014

Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра. НТУУ «КПІ», Київ, 2014

УДК 669 (063)

Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра [Електрон. ресурс]: матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 15 квітня 2014 р. / [редкол.: В. С. Богушевський (відпов. ред.) та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 1019 с.

В збірнику представлені оглядові та наукові роботи, присвячені актуальним питанням в області спеціальної та загальної металургії в Україні та за кордоном.

Основну увагу приділено електрошлаковій, плазмово-дуговій, електронно-променевій технологіям а також новим прогресивним методам оброблення металевих розплавів, металознавству і загальній металургії.

Для спеціалістів і співробітників науково-технічних інститутів, студентів та аспірантів вищих навчальних закладів, металургів і металознавців.

УДК 669 (063)

В авторській редакції

Редакційна колегія:
В. С. Богушевський, д.т.н., професор
К. В. Михаленков, д.т.н., професор
В. М. Рибак, к.т.н., доцент

© Авторські права авторів статей захищено, 2014

УДК 669.7.018.672

ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ СПЛАВУ ТИПУ АМ5 ЗМІЦНЕНОГО ЦИРКОНІЄМ ВВЕДЕНИМ ІЗ ФТОРИДУ ЦИРКОНІЮ

Д. В. Іванченко, П. Є. Ільчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Вивчення технології та мікроструктури сплаву типу АМ5 зміцненого цирконієм, введеним із тетрафториду цирконію

Изучение технологии и микроструктуры сплава типа АМ5 упрочненного цирконием, введенным с тетрафторида циркония

Technology and microstructure of the alloy type AM5 hardened zirconium entered with zirconium tetrafluoride were studied

Вступ

Сплав АМ5 (інша назва АЛ19) є сплавом системи Al-Cu використовується для лиття деталей, до яких пред'являються підвищені вимоги по міцності та експлуатаційної надійності.

Таблиця 1 Хімічний склад АМ5

Сплав	Компоненти, %			Домішки, %	
	Cu	Mn	Ti	Fe	Si
АМ5	4,5-5,3	0,6-1,0	0,15-0,35	Менше 0,2	Менше 0,3

В модифікованому сплаві АМ5, утворюється декілька потрійних сполук, але у рівновазі із алюмінієвим твердим розчином можуть знаходитись лише фази $CuAl_2$ і Al_3Zr [1].

Мідь призводить до зменшення розчинності цирконію у рідкому алюмінії, сприяючи таким чином утворенню більшої кількості інтерметалідних сполук Al_3Zr у відливці і при термічній обробці, що у свою чергу призводить до збільшення міцності сплаву. Основний ефект зміцнення проявляється після нагріву під гартування до 520°С, з подальшим гартуванням та штучним старінням протягом 5 годин при температурі 175°С ефект зміцнення дещо зменшується.

Метою роботи є дослідження технології та мікроструктури сплаву типу АМ5 зміцненого цирконієм.

Додаток Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МЕТАЛІВ»

СПЕЦІАЛЬНА МЕТАЛУРГІЯ: ВЧОРА, СЬОГОДНІ, ЗАВТРА

Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції

21 квітня 2015 року

Київ
НТУУ «КПІ»
2015

УДК 669 (063)

Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра [Електрон. ресурс]: матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 21 квітня 2015 р. / [редкол.: В. С. Богушевський (відпов. ред.) та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 1123 с.

В збірнику представлені оглядові та наукові роботи, присвячені актуальним питанням в області спеціальної та загальної металургії в Україні та за кордоном.

Основну увагу приділено електрошлаковій, плазмово-дуговій, електронно-променевій технологіям а також новим прогресивним методам оброблення металевих розплавів, металознавству і загальній металургії.

Для спеціалістів і співробітників науково-технічних інститутів, студентів та аспірантів вищих навчальних закладів, металургів і металознавців.

УДК 669 (063)

В авторській редакції

Редакційна колегія:
В. С. Богушевський, д.т.н., професор
К. В. Михаленков, д.т.н., професор
В. М. Рибак, к.т.н., доцент

© Авторські права авторів статей захищено, 2015

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ, ЧАСУ ВИТРИМКИ ТА ВМІСТУ ФТОРИДУ ЦИРКОНІЮ НА МІЦНІСТЬ ТА ВІДНОСНЕ ПОДОВЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВО-МІДНОГО ЛИВАРНОГО СПЛАВУ ТИПУ АМ5

Д. В. Іванченко, П. Є. Ільчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розробка та реалізація повного факторного експерименту для визначення оптимальної кількості модифікатора, часу витримки та температури розплаву алюмінієво-мідного сплаву типу АМ5 при його отриманні

Разработка и реализация полного факторного эксперимента для определения оптимального количества модификатора, времени выдержки и температуры расплава алюминиево-медного сплава типа АМ5 при его получении

Development and implementation of a full factorial experiment to determine the optimal number of modifier, exposure time and temperature of molten aluminum-cooper alloy AM5 in its obtaining

Вступ

Для визначення впливу температури, часу витримки та кількості модифікатора на міцність та відносне подовження алюмінієво-мідного ливарного сплаву АМ5 було розроблено повний факторний експеримент виду 2^3.

Прийнято позначення факторів:
- кількість фториду цирконію, що вводимо у розплав x_1=0,4….1,2%;
- температура розплаву x_2=700…900°С;
- час витримки x_3=5…15 хв..

У якості відгуків прийняті наступні позначення:
- тимчасовий опір розриву y_1, МПа
- відносне подовження y_2, %