

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ

І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Пояснювальна записка

до випускної магістерської роботи

зі спеціальності 136 – Металургія

На тему: Розробка і дослідження технології виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів, модифікованих мікрокремнеземом та корундом

Виконав: магістрант групи ЛВ-23-1м _____ Стеблій А.А.

Керівник випускної роботи _____ Кассім Д.О.

Нормоконтролер _____ Кассім Д.О.

Завідувач кафедри _____ Савельєв С.Г.

Кривий Ріг

2024р.

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота викладена на сторінках, містить рисунків, таблиці, джерело літератури, додаток.

Ключові слова: алюміній, сплав, модифікатор, мікрокремнезем, корунд, структура, склад, алюмінієвий сплав АД-31.

Об'єктом дослідження є модифікований алюмінієвий сплав АД-31.

Мета роботи - застосування і дослідження впливу виробничих відходів як легуючих і модифікуючих елементів або добавок на фізико-механічні та технологічні властивості одержуваного сплаву алюмінію АД-31.

У процесі наукової роботи проводилися дослідження структури та фізико-механічних властивостей отриманого модифікованого алюмінієвого сплаву АД-31. Дослідження структури зразків проводили із застосуванням методів оптичної мікроскопії, енергодисперсійного аналізу, скануючої електронної мікроскопії. Дослідження фізико-механічних властивостей проводили за допомогою методів інструментального індентування та визначення твердості за Брінелем.

У процесі дослідження зразки модифікованого алюмінієвого сплаву піддали пробопідготовці: шліфовці, поліруванню та травленню в реактиві для виявлення структури алюмінієвих сплавів.

Галузі застосування отриманих результатів: машинобудування, будівництво.

У майбутньому планується розвиток зазначених методів модифікування з метою підвищення фізико-механічних властивостей досліджених сплавів.

Визначення, позначення, скорочення, нормативні посилання

ГОСТ 4784-97 - Алюміній і сплави алюмінієві. Марки. АД-31 - алюмінієвий сплав типу Авіаль.

| | | | | | | | | |
|------------|------|---------------|--------|------|-------------------------|-----------------------|-------|---------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.Р | | | |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата | | | | |
| Розробив | | Стеблій А.А. | | | Реферат | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Перевірив | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Рецензент | | | | | | | | |
| Н.контроль | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Затвердив | | Савельєв С.Г. | | | | | | |
| | | | | | | каф.МЧМЛВ ЛВ-23-1м | | |

Мікрокремнезем - відхід кремнієвого виробництва у вигляді силікатного пилу

Корунд - α -фаза оксиду алюмінію.

Модифікування - вплив, під час якого змінюються структура і властивості матеріалу при введенні до його складу певних добавок.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.Р | Арк. |
| .Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Зміст

| | |
|---|--|
| Вступ..... | |
| 1 Основні промислові різновиди легування та модифікування..... | |
| 1.1 Цілі модифікування | |
| 1.1.1 Способи модифікування | |
| 1.2 Технологія модифікування сплавів Al_2O_3 | |
| 1.2.1 Спосіб модифікування алюмінієвих сплавів | |
| 1.3 Модифікування алюмінієвого сплаву дисперсним порошком Al_2O_3 | |
| 1.4 Модифікування ливарних алюмінієвих сплавів порошковими композиціями | |
| 2. Матеріали, обладнання та методика дослідження..... | |
| 2.1 Матеріали | |
| 2.2 Методики дослідження | |
| 2.2.1 Підготовка зразків до металографічного дослідження..... | |
| 2.3 Металографічні дослідження..... | |
| 2.4 Наноіндентування..... | |
| 2.4.1 Вимірювання твердості (за Брінелем)..... | |
| 2.5 Результати експерименту | |
| 2.5.1 Наноіндентування та вимірювання твердості за Брінелем | |
| 3 . Фінансовий менеджмент, ресурсоефективність та ресурсозбереження..... | |
| 3.1 Передпроектний аналіз..... | |
| 3.1.1 Потенційні споживачі результатів дослідження | |
| 3.1.2 Аналіз конкурентних технічних рішень з позиції ресурсо-ефективності та ресурсозбереження..... | |
| 3.1.3 SWOT аналіз | |
| 3.2 Планування управління..... | |
| 3.2.1 План проекту..... | |
| 3.3 Бюджет наукового дослідження..... | |
| 3.3.1 Сировина, матеріали, покупні вироби та напівфабрикати | |
| 3.3.2 Спеціальне обладнання для наукових робіт | |
| 3.3.3 Основна заробітна плата..... | |
| 3.3.4 Додаткова заробітна плата науково-виробничого персоналу..... | |

КНУ.РМ.136.24.544с-12.3

| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата | | | | |
|------------|------|---------------|--------|------|-------|-----------|-------|---------|
| Розробив | | Стеблій А.А. | | | Зміст | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Перевірив | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Рецензент | | | | | | | | |
| Н.контроль | | Кассім Д.О. | | | | каф.МЧМЛВ | | |
| Затвердив | | Савельєв С.Г. | | | | ЛВ-23-1м | | |

| | | |
|-------|--|--|
| 3.3.5 | Накладні витрати..... | |
| 3.3.6 | Відрахування до позабюджетних фондів..... | |
| 3.4 | Бюджетна вартість НДР..... | |
| 3.5 | Визначення ресурсної (ресурсозберігаючої), фінансової, бюджетної, соціальної та економічної ефективності дослідження..... | |
| 3.5.1 | Оцінка порівняльної ефективності дослідження..... | |
| | Висновок за розділом "Фінансовий менеджмент, ресурсоефективність та ресурсозбереження"..... | |
| 4 | Соціальна відповідальність..... | |
| 4.1 | Вступ за розділом "Соціальна відповідальність" | |
| 4.2 | Правові та організаційні питання забезпечення безпеки..... | |
| 4.2.1 | Правові норми трудового законодавства | |
| 4.2.2 | Ергономічні вимоги до правильного розташування та компонування робочої зони..... | |
| 4.3 | Виробнича безпека..... | |
| 4.3.1 | Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів..... | |
| 4.4 | Екологічна безпека | |
| 4.5 | Безпека в надзвичайних ситуаціях..... | |
| | Висновок за розділом "Соціальна відповідальність" | |
| | Висновок..... | |
| | Список літератур..... | |
| | Додаток І..... | |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.3 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вступ

Модифікування є одним із відомих способів зміни структури різних промислових сплавів, зокрема й на основі алюмінію. Введення в розплав металу малої добавки інтерметаліду (наприклад, алюміній, титан) у вигляді дрібних частинок розміром 10-100 мікрон (зародків майбутніх зерен затверділого алюмінію) дає змогу подрібнити структуру вилівка й у такий спосіб покращити його механічні характеристики.[1].

Введення різних модифікуючих легуючих елементів в алюмінієвий сплав істотно змінює його властивості, а іноді надає йому нових специфічних властивостей. Міцність чистого алюмінію не задовольняє сучасні промислові потреби, тому для виготовлення виливків, призначених для промисловості, застосовують не чистий алюміній, а його сплави. При цьому відбуваються і небажані зміни: неминуче знижується електропровідність, у багатьох випадках погіршується корозійна стійкість, майже завжди підвищується відносна щільність. На відміну від модифікування при легуванні набуті властивості зберігаються після переплаву металу.[2]

Виливки з алюмінієвих сплавів модифіковані порошком Al_2O_3 знайшли широке застосування в промисловості завдяки гарному поєднанню механічних, корозійних і конструкційних властивостей. У зв'язку з цим стабільне отримання великогабаритних виливків з цих сплавів з необхідними властивостями є одним з актуальних завдань. Нині для подрібнення зерна при кристалізації виливок із алюмінієвих сплавів, одержаних методом лиття, застосовують здебільше пруткові модифікуючі лігатури на основі систем Al_2O_3 .

| | | | | | | | | |
|------------|------|---------------|--------|------|-------------------------|-----------------------|-------|---------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.В | | | |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата | Вступ | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Розробив | | Стеблій А.А. | | | | | | |
| Перевірив | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Рецензент | | | | | | | | |
| Н.контроль | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Затвердив | | Савельєв С.Г. | | | | каф.МЧМЛВ ЛВ-23-1м | | |

Процес модифікування алюмінієвих сплавів необхідно постійно вдосконалювати, одним із способів зміцнення алюмінієвої матриці є внесення методом механічного легування частинками зміцнювальної фази у виливках[3].

В роботі було проведено дослідження впливу процесу модифікування відходами кремнієвого виробництва мікрокремнеземом марки МК-85 (мікросилікатний пил) і дрібнодисперсним порошком корунду Al_2O_3 (образивний відход відрізних дисків) на структуру і властивості виливків із алюмінієвого сплаву АД-31. Алюміній АД31 має високу пластичність, містить невелику частку легуючих елементів та домішок, відноситься до деформуємого сплаву.

Цей алюмінієвий сплав було обрано як об'єкт дослідження, оскільки характеризується великою поширеністю і за обсягами виробництва посідає друге місце після заліза.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.В | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1. Основні промислові різновиди легування та модифікування

Існують різні методи зміни структури речовини з метою створення необхідного набору властивостей, які включають легування та модифікування виливків. Традиційно легування, мікролегування та модифікація відносяться до сталей, чавунів, кольорових металів. Водночас деякі країни не мають власної мінеральної сировинної бази для виробництва легуючих матеріалів або модифікаторів, особливо на основі рідкісних і тугоплавких елементів. Потреба в них задовольняється за рахунок імпорту.

Шляхом легування, мікролегування та модифікування металів і сплавів промисловими відходами створюють металеві сплави. У роботі[6] запропоновано ефективне використання підприємствах відходів для легування зносостійких сплавів: розроблено ресурсозберігаючу технологію молібдено і вольфрамостійких сплавів і лігатур.

Це рішення забезпечує значне збільшення концентрації легуючих елементів і водночас, підвищує ступінь утилізації відходів (окалини швидкорізальної сталі).

Одним з альтернативних джерел отримання легуючих матеріалів є переробка та повернення до виробництва легуваних техногенних відходів, великі обсяги яких на практиці не знаходять достатньо ефективного застосування. Так у роботі[7] авторами розглянута технологія відновлення вуглецю (карботермія) відходами легуваних, жароміцних, корозійностійких та інших марок сплавів, експлуатація яких може супроводжуватися впливом агресивних середовищ, температурних і механічних чинників, містити дороговартісні елементи (нікель, хром, вольфрам, молібден та інші). Дійсно, такі відходи містять легувальні елементи, але у формі оксидів і складних сполук, значна частина складається з відходів малодисперсних порошків (окалина, шліфувальний пил).

| | | | | | | | | |
|------------|------|---------------|--------|------|---|-----------------------|-------|---------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | | | |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата | | | | |
| Розробив | | Стеблій А.А. | | | Основні промислові різновиди легування та модифікування | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Перевірив | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Рецензент | | | | | | каф.МЧМЛВ ЛВ-23-1м | | |
| Н.контроль | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Затвердив | | Савельєв С.Г. | | | | | | |

Сучасні тенденції в металургії спрямовані на збільшення попиту на сталь, леговану рідкісними і тугоплавкими елементами, до яких належить хром. Спостерігається поступове виснаження запасів сировини, що викликає тенденцію до зростання світових ринкових цін на тугоплавкі легувальні, модифікуючі матеріали.

Ресурсозбереження є напрямком для спеціальної металургії, де використовуються дорогі легувальні матеріали, які через свої фізико-хімічні властивості переходять у шлак, перетворюючись у відходи металургії. У роботі [8] автори пропонують замінити стандартні феросплави губчастими легуючими матеріалами з якісно новими вигідними властивостями шляхом їхнього отримання методом порошкової металургії шляхом твердофазного відновлення вищевказаних металургійних відходів.

На ливарних підприємствах широко застосовується метод електроерозійної обробки виливок зі складнолегованих сталей і сплавів, внаслідок чого утворюються відходи, що містять значну кількість легуючих елементів: нікель, хром, вольфрам, молібден, титан тощо. Так, автори роботи [9] пропонують технологію одержання комплексних легуючих добавок (лігатур) з таких відходів шляхом найбільш повного відновлення оксидів металів (термічного відновлення). Це дасть змогу повернути цінні елементи у виробництво, знизити собівартість виробництва чавуну, поліпшити його механічні властивості та знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище.

У роботах [10,11] представлено результати розробок зі створення ливарних матеріалів з металовмісних промислових відходів і проміжних продуктів суміжних галузей шляхом відновлення металів, зокрема титану, з титановмісних порошкових матеріалів.

Введення титану в розплав методом прямого легування забезпечує економію дорогих і дефіцитних феросплавів. Модифікуючий ефект досягається за рахунок хімічної взаємодії введених добавок з окремими елементами речовини, що модифікується. На відміну від цього відомі способи

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

модифікування чавуну з феротитану, коли модифікувальний ефект пояснюється розкислювальною дією титану, а за прямого легування та присутності такого сильного відновника, як атомарний вуглець, карбідні включення чинять вирішальну модифікувальну дію. У промислових умовах титановмісні відходи виробництва використовуються для мікролегування рейкової сталі титаном. Ступінь засвоєння титану з відходів перебуває на рівні засвоєння з феросплавів і становить 40-50%. Отримані рейки в усіх відношеннях відповідають вимогам нормативних документів.

Головною перешкодою для широкого використання титану і його сплавів є висока вартість, насамперед, титанової губки. Перспективним напрямком зниження собівартості титанових виробів є використання відходів, що дає змогу знизити вартість вторинних сплавів на 30% і більше відсотків при збереженні основних структурних властивостей, властивих титановим сплавам.

Як відомо, у собівартості титанових злитків до 90% всіх витрат становлять витрати на дорогі компоненти шихти. Кожні 10% відходів знижують їхню вартість на 5-8%. Коли в шихту входить 10% відходів на 1 тону виплавлених злитків на основі титану, в середньому економиться 100 кг губки і 10 кг легуючих елементів[12]. Відповідно, під час виробництва напівфабрикатів і виробів з титанових сплавів утворюються всі традиційні види відходів: кускові відходи, стружка, обрізки листів.

Загальна кількість відходів, що утворюються щорічно у виробництві та викомалтанні титанових сплавів, дуже велика, вона становить близько 70% шліфувальної суміші, яку споживають під час плавки, і ця цифра дуже мало змінюється з часом[13]. Нині, на відміну від більшості металів, титанові відходи в обмеженій мірі використовуються при виробництві титанових сплавів.

Промислові титанові сплави здебільшого отримують шляхом легування титану такими елементами: Al, V, Mo, Mn, Sn, Zr, Cr, Cu, Fe, W, Ni, Si; легування Nb і Ta використовуються рідше. Різноманітність сплавів і

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

співвідношення їхньої кількості ускладнюють виплавлення дешевих вторинних титанових сплавів із регульованими властивостями міцності в промислових масштабах, оскільки, згідно з сучасною практикою, властивості титанових сплавів, зокрема й міцність, здебільшого визначаються їхнім хімічним складом і у вузьких межах вмісту конкретних легувальних елементів. Винахід відноситься [14] до галузі отримання α -, псевдо- α -, $\alpha+\beta$ -титанових сплавів із вторинної сировини з регульованими міцнісними властивостями, а саме границею міцності при розтягуванні, здебільшого для виробництва листових напівфабрикатів, конструкційних виробів та конструкційної броні та може використовуватись в цивільній промисловості.

Відомо, що нині існує велика кількість сплавів, легованих титаном, що покращує експлуатаційні властивості сплаву.

Водночас концентрація титану в сталях коливається в межах 0,01-1,0%, тобто в досить вузьких рамках. Тому актуальним завданням у технології виробництва титановмісних сплавів є гарантоване забезпечення таких концентрацій титану при мінімальних витратах легуючих матеріалів. Основними труднощами при легуванні сталі титаном є її висока реакційна здатність щодо кисню, що призводить до утворення оксидів титану, які переходять у шлак. Це значно збільшує витрату легувальних матеріалів і негативно позначається на собівартості виробництва.

У статті [15] розглядаються такі способи легування сплавів титаном, що дає змогу розв'язати три такі проблеми:

I) використання складних сплавів (лігатур, отриманих шляхом легування руд, відходи виробництва в електропечах), що містять високоактивні елементи (титан, хром, алюміній, кальцій, магній тощо). Однак цей спосіб не дає змоги одержувати складні сплави з високим вмістом титану, має місце значний відхід високоактивних елементів і сильна сегрегація, а отриманий продукт характеризується високим вмістом домішок і високою вартістю.

II) отримання складних сплавів з титаном для легування сплавів методом саморозповсюдженого високотемпературного синтезу (СВС). Цей

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

процес протікає без участі кисню за рахунок тепла хімічних реакцій синтезу, не потребує подачі енергії із зовнішніх джерел, він екологічно безпечний. Однак за такої технології і вироби, отримані з чистих металів, також мають дуже високу вартість.

III) на основі вищевикладеного автори[15] пропонують розроблений металургійний СВС-процес, у якому як вихідні компоненти використовують відходи виробництва або дешеві порошки феросплавів. Сплави кремне-титану, отримані цим способом, характеризуються високим вмістом титану, низьким вмістом домішок і наявністю елементів, що володіють високою реакційною здатністю по відношенню до кисню, які захищають титан від окислення. Їх використання допоможе вирішити проблему отримання необхідних концентрацій титану в сплавах у вузьких межах, знизити витрату легуючих матеріалів і поліпшити якість готового сталевих листа.

У статті[16] представлено технологію створення нових композицій оксидних сплавів, отриманих на основі промислових відходів, із заданими експлуатаційними властивостями (зносостійкість, корозійна стійкість, термостійкість).

Ці сплави призначені для виготовлення литих виливок для агрегатів, що працюють в умовах абразивного зносу, агресивних середовищ і різких перепадів температур. Використання нових оксидних сплавів дає змогу збільшити в 4-5 разів (порівняно з аналогічними металевими деталями) термін служби виливок і устаткування, які працюють в умовах абразивного зношування й агресивних середовищ, а також знизити вартість виливків у 2-3 рази порівняно з наявними литими з каменю виробами. Сплави будуть використовуватися для виробництва виробів зі шлакового лиття.

У роботі [17] представлено технологію отримання екзотермічного брикету з металургійних відходів. Модифікація низькосортних чавунів за низьких температур (1300-1350 °С) з виділенням тепла повністю усуває охолодження виливків і збільшує міцність на розтягнення. Графіт істотно рафінований, а матриця переважно перлітна. Склад брикетів: 60% алюмінієвої

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

стружки і 40% окалини. Витрата модифікатора перебуває в межах 0,9-1,1% від маси рідкого металу з ефектом модифікування протягом не менше 20 хвилин.

Постійно зростаючі ціни на енергоносії в поєднанні з посиленням екологічних норм стимулюють розвиток сучасних технологій переробки алюмінієвих відходів (стружки і шлаків з алюмінієвих сплавів).

Нині в багатьох країнах пріоритетними напрямами державної промислової політики стають маловідходні та безвідходні технології, чисті технологічні процеси та промислове виробництво, що забезпечують комплексне використання всіх видів сировини. Тому в статті автори[18] пропонують технологічне рішення, а саме введення алюмінієвої стружки із забрудненням 6 і 25% як компонентів шихти, алюмінієвих шлаків із вмістом алюмінію 50-68% і просіювання алюмінієвого шлаку фракцією понад 10 мм. Збільшення частки шлаку з 22 до 30% призводить до збільшення виходу металу з 71 до 83. Крім того, така безвідходна технологія дає змогу отримувати сплави марки свинцю, такі як АК5М2 і АВ87, що усуває необхідність утилізації вторинних алюмінієвих шлаків і сплати екологічного податку, а також підвищує рентабельність виробництва.

У роботі [19] показано можливість виготовлення помалтого матеріалу на основі алюмінію шляхом реалізації найраціональнішої схеми переробки стружки промислових відходів, що виключає їх переплав. Він ґрунтується на методах, типових для процесів порошкової металургії та обробки тиском, а також на основних принципах, властивих технології виробництва піноалюмінію.

У роботі [20] автори досліджували дифузійно-легований сплав ізотрабований чавун, який дробили в рухомому порошковому середовищі, та отримували зносостійке покриття з цього сплаву за допомогою індукційного наплавлення. На виробничих об'єктах щорічно утворюється велика кількість дисперсних відходів (залізовмісний пил, окалина, стружка, шлам, відходи виробництва металовиробів і перероблення прокату, тирса, брухт, стружка, відходи ливарного виробництва). Деякі види перерахованих відходів успішно

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

використовуються як вторинна сировина для виробництва порошків. Однак відходи від виробництва дробу не знайшли застосування і здебільшого спрямовуються на переплавлення, хоча це недоцільно; є відходи легуючих елементів, водночас ці відходи являють собою майже готовий металевий порошок.

У роботі [21] пропонується розробка дешевих модифікаторів для чавуну, введення яких значно покращує структуру і підвищує механічні характеристики такого сплаву. Впровадження цього методу дає змогу ефективно насичувати чавуни вуглецем замість традиційного методу розбавлення; водночас високоякісну сажу отримують із відходів високополімерних сполук, а також для добування дорогих і дефіцитних металів із відходів у оксидній фазі (промислові відходи, відходи подрібнення тощо) та ефективного сплавлення з ними розплавів.

На титано-магнієвих підприємствах під час хлорування титанових шлаків утворюється 0,2-0,3 тонни твердих хлоридних відходів, що містять елементи, які можуть працювати як хороші розкислювачі, модифікатори, мікролегувальні елементи для всіх ливарних сплавів. Ці цінні елементи безповоротно втрачаються разом із відходами із хромом. Водночас такі відходи не переробляються на підприємстві і вивозяться на звалища, забруднюючи землю і навколишнє середовище. У статті автори [22] розробили і запропонували технологію модифікування чавунів хлоридними відходами титано-магнієвих виробництв. У результаті підвищуються механічні та спеціальні властивості ковкого чавуну; знижується вміст сірки і газів.

У роботі [23] запропоновано ресурсозберігаючу технологію переробки 100% відходів ливарного виробництва з жароміцного сплаву ЖС32-VI, що забезпечує якість литих пруткових заготовок за вмістом домішок, згідно механічних властивостям вимогами ТУ, стабільний хімічний склад сплавів для основних легувальних елементів, зниження вартості та скорочення споживання дефіцитних та дорогих легуючих металів, таких як Ni, Co, Mo, W, Re, Ta та інші.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розроблена технологія слугує основою для розв'язання іншої важливої проблеми виробництва литих жароміцних сплавів, а саме - повного використання всіх відходів, що утворюються на ремонтних заводах.

Ресурсозберігаюча технологія переробки відходів дає змогу створити замкнутий цикл повернення у виробництво дорогих і дефіцитних легувальних металів, забезпечити їх економічність і знизити собівартість сплавів без погіршення якості.

Відомо, що модифікування великих мас рідкого металу різноманітними добавками значно підвищує якість продукції, що випускається, і термін їх служби. У роботі [24] запропоновано технологію модифікування та мікролегування відновлювальних покриттів з використанням вторинної сировини або промислових відходів. Це може вплинути на якість відновленої поверхні виливок з різних матеріалів, що працюють в умовах зносу, високих температур, навантажень, а також на зниження вартості готового виробу.

У зв'язку з постійним зростанням цін на імпорتنі матеріали, що використовуються для отримання зносостійких покриттів, дослідження, пов'язані з переробкою відходів металургійного виробництва, набувають дедалі більшого розвитку. У роботі [25] запропоновано технологію отримання дифузійно-легованих сплавів для індукційного наплавлення з відходів металургійного виробництва у вигляді литого дробу та стружки (що утворюються під час дробоструменевої обробки виробів, під час механічного оброблення виливок під час їхнього виготовлення у рухомих порошкових середовищах з метою наплавлення захисних покриттів, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування. Спочатку відходи виробництва металу піддаються дифузійному легуванню (насиченню бором) в обертовій електричній печі, а потім до наплавлення готовими легованими відходами. Захисні покриття після цієї технології мали підвищену твердість, зменшену швидкість зносу.

Через високий рівень легування дефіцитними дорогими компонентами нові сплави відрізняються підвищеною вартістю, що ускладнює їх

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

середовища. Серед дешевих мінеральних наповнювачів одне з провідних місць належить наповнювачі карбонатного типу.

Розвиток технології на сучасному етапі вимагає розробки нових методів модифікування з необхідними функціональними та експлуатаційними властивостями. На даний час у України відсутні економічно доцільні промислові технології переробки високодисперсних відходів електromеталургійної і доменної промисловості, які характеризуються високим вмістом заліза (до 40%). У результаті утилізація шлаку здійснюється шляхом зберігання їх на звалищах. У роботі [31] розглядається можливість переробки промислових відходів металургійного виробництва з метою одержання нових залізовмісних матеріалів, які можуть бути використанні як сировина для електromеталургійного та ливарного виробництва. Результатом цього дослідження є кінцеві продукти: порошок, гранульовані та брикетовані матеріали, які можуть бути використанні як сировина для виробництва виливок із кольорових металів.

Мікрокремнезем, тобто відходи виробництва кремнію, активно використовуються у виробництві виливків із чавуну. Такий чавун має гарну стійкість до стирання, підвищену когезію в шарах, високу міцність, підвищену антикорозійну стійкість, довговічність і морозостійкість[32].

1.1 Цілі модифікування

Модифікування спрямоване на вирішення низки завдань:

- подрібнення макрозерна;
- подрібнення мікрозерна (дендритних осередків);
- подрібнення фазових складових евтектик, перитектик зокрема в т. в. крихких легкоплавких фаз (зі зміною їхнього складу шляхом введення присадок, що утворюють із цими фазами хімічні сполуки);
- подрібнення первинних кристалів, що випадають під час кристалізації, в до- або заевтектичних сплавах;
- подрібнення форми і зміна розміру та розподілу неметалевих включень (інтерметалідів, карбідів, графіту, оксидів, сульфідів, оксисульфідів, нітридів, фосфідів).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| | | | | | | |
| .Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | | |
|--|---|--|
| <p>Алюміній і сплави алюмінію з кремнієм (силуміни) (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АК9 і ін.)</p> | <p>Натрій (0,006-0,012%), калій, літій, вісмут, сурма 0,1-0,3%, стронцій 0,01-0,05% (сурма і стронцій - модифікатори тривалої дії), суміш солей (0,1% натрію і 2% суміші фтористого і хлористого натрію).</p> | <p>Переохолодження 6-15°C. Подрібнення евтектики в системі AlSi натрієм, стронцієм. Пластинчаста форма кристалів кремнію переходить у компактну розміром 2-5 мкм</p> |
|--|---|--|

Продовження таблиці 1

| | | |
|---|---|--|
| <p>Мідь, мідні сплави без заліза, мідні сплави із залізом</p> | <p>Олово, сурма ванадій, цирконій, молібден, титан, бор, вольфрам</p> | |
| <p>Магнієві сплави, що містять алюміній</p> | <p>Вуглецевмісні речовини (0,3-0,6%), хлорне залізо, крейда, мрамор, магнезит, гексахлоретан, вуглекислий газ, ацетилен. Перегрів розплаву-витримка-охолодження</p> | |
| <p>Магнієві сплави, що не містять алюміній</p> | <p>Цирконій 0,5-0,7% або кальцій 0,1-0,2%.</p> | |

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------------|-------------|
| | | | | | <p>КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ</p> | <p>Арк.</p> |
| <p>Зм.</p> | <p>Арк.</p> | <p>№ докум.</p> | <p>Підпис</p> | <p>Дата</p> | | |

1.2 Технологія модифікування сплавів Al_2O_3

1.2.1 Спосіб модифікування алюмінієвих сплавів

Винахід належить до металургії, зокрема до ливарного виробництва, може бути використован для отримання виливків з алюмінієвих сплавів загальномашинобудівного призначення.

Мета: шляхом введення нових компонентів і зміни співвідношення компонентів модифікуючої суміші для обробки розплаву, одержати виливки підвищеної герметичності за високої міцності та пластичності.

Сутність: після розплавлення шихти в розплав вводять модифікуючу суміш, що містить карбіди, нітридоутворюючі елементи та суму оксидів алюмінію і міді у співвідношенні 30-70: 0,1-0,5 та лужні або лужноземельні метали та їхні сполуки. Модифікуючу суміш вводять у кількості 0,02 - 0,20 мас.% шихти. Співвідношення оксидів алюмінію і міді становить 100 : 0,01 - 0,98. Винахід відноситься до ливарного виробництва, і може бути використане для отримання виливків зі сплавів на основі алюмінію підвищеної якості, особливо високої герметичності[35].

Для отримання виливків зі сплавів на основі алюмінію підвищеної якості застосовують рафінування і модифікування з використанням різних газів і складних за своїм складом модифікаторів. Це ускладнює і здорожує технологію, не дає змоги оптимізувати весь комплекс фізико-механічних характеристик і погіршує технологічність.

Відомі такі способи описані в патенті [35] модифікування алюмінієвих сплавів. Спосіб отримання сплавів системи алюміній-титан-бор передбачає модифікування фторидами лужних металів титану та бору, до яких додано 2 - 10% від маси фторидів порошкового оксиду алюмінію. Винахід забезпечує підвищення міцнісних характеристик виливків, проте герметичність виливків недостатня, спосіб не економічний.

Відомий спосіб модифікування сплаву алюміній-титан, що включає введення в розплав бору у вигляді ультрадисперсного порошку гексабориду

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

лантану, що забезпечує поліпшення модифікуючого ефекту при зниженні вартості, але герметичність виливків незадовільна.

Відомий спосіб обробки заевтектичних силумінів, що полягає в модифікуванні сумішшю, яка містить, мас. %: фосфор 7-13, мідь 45-70, сума заліза і хлору 2,5-8, решта - відходи виробництва фосфору, які містять натрій, калій, кальцій, кремній, кисень. Недоліком цього способу є низька пластичність і герметичність виливків у зв'язку з підвищеним вмістом міді та фосфору.

Відомий спосіб отримання виливків з алюмінієвих сплавів, що включає використання для модифікування розплаву ультрадисперсних порошоків сфенциркону (суміш оксидів цирконію, ніобію та титану)[35]. Даний спосіб забезпечує підвищення міцності та пластичності виливків, проте герметичність

їх залишається на незадовільному рівні, оскільки використанні в цьому технічному рішенні оксиди та продукти їхньої взаємодії практично повністю локалізуються усередині зерен (субзерен) і не чинять сприятливого впливу на стан меж зерен.

Найбільш близьким за технічною сутністю і розв'язуваною задачею є спосіб рафінування і модифікування алюмінієвих сплавів, що включає обробку розплаву сумішшю солей фтористого калію і хлористого калію спільно з фтористим натрієм та/або натрієвим кріолітом у кількості 2-3% від ваги розплаву[36]. Цей спосіб спрощує технологію і знижує витрати на рафінування і модифікування, проте герметичність виливків залишається низькою, оскільки не відбувається інтенсивного подрібнення зерна, оскільки реалізується механізм модифікування II роду, тобто за рахунок гальмування росту зерен, а не збільшення кількості центрів кристалізації.

В основу винаходу покладено завдання: шляхом використання для модифікування сплавів на основі алюмінію нового набору компонентів за складом і концентрацією, одержати виливки, що володіють високою герметичністю за умови збереження підвищеної міцності та пластичності.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вирішення завдання реалізується таким чином, що в пропонованому способі модифікування алюмінієвих сплавів, що включає розплавлення шихти і введення модифікуючої суміші, як модифікуючу суміш використовують суміш карбідо- і нітридоутворювальних елементів, суми оксидів алюмінію і міді у співвідношенні елементів та оксидів 30-70: 0,1-0,5 та лужних і/або лужноземельних металів і їхніх сполук у кількості 0,02-0,20% від маси шихти.

В як карбідо-танітридоутворюючих елементів використовують оксиди цирконію, титану, ніобію, гафнію, танталу. Як лужні та/або лужноземельні метали та їхні сполуки використовують кріоліт.

Співвідношення оксидів алюмінію і міді становить 100:0,01-0,98 [35].

Порівняльний аналіз с відомими технічними рішеннями (аналоги та прототип) дає змогу дійти висновку про те, що заявлений спосіб модифікування

алюмінієвих сплавів відрізняється тим, що: як модифікуючої суміші використовують карбідо- та нітридоутворюючі елементи, оксиди алюмінію та міді, лужні та/або лужноземельні метали та їхні сполуки, компоненти: карбідо та нітридоутворюючі елементи і суму оксидів алюмінію та міді беруть у співвідношенні 30-70:0,1-0,5, лужні та/або лужноземельні метали та їхні сполуки - решта; модифікуючу суміш вводять у кількості 0,02-0,20% від маси шихти, оксиди алюмінію та оксиди міді беруть у співвідношенні 100:0,01-0,98.

Деякі компоненти карбідо та нітридоутворюючі елементи, оксиди алюмінію, лужні та лужноземельні метали та їхні сполуки відомі з наявного рівня техніки (аналоги та прототип), однак у пропонованому технічному рішенні їх вводять у складі інших компонентів (новий якісний склад) і в інших співвідношеннях (нове кількісне співвідношення).

Високий ефект модифікування сумішшю карбідо та нітридоутворювальних елементів, суми оксидів алюмінію та міді, лужних та/або лужно-земельних металів та їхніх сполук пояснюється тим, що в розплаві на основі карбідо- та нітридоутворювальних елементів після

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

дисоціації оксидів утворюються інтерметаліди колоїдної дисперсності типу $Al_x Me_y$, які в процесі кристалізації забезпечують подрібнення структури металу, що аналогічно діє на частину оксидів алюмінію, близьких за складом до стехіометричного[36].

Велику роль у формуванні структури, субмікроструктури і, як наслідок, комплексу фізико-механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей виливків та сплавів на основі алюмінію відіграють сполуки міді: по-перше, оксиди, силіциди і, частково, сульфід міді, що утворюються у розплаві, відповідальні за істотне подрібнення структури, при цьому ліквідус зміщується у бік вищих температур, зростає динаміка кристалізації, багато небажаних включень у вельми дисперсному вигляді локалізуються усередині подрібнених зерен, по-друге, оксид міді, а також оксид силіцидів, що утворюються в розплаві

твердого розчину по межах зерен. У зв'язку зі значним збільшенням площі міжзеренної поверхні через подрібнення зерен і рівномірною локалізацією цих дисперсних виділень забезпечується зниження концентрації напруг з одночасним зростанням щільності, герметичності виливки в цілому.

Введення модифікуючої суміші менше 0,02 мас.% шихти не дає належного ефекту за рівнем герметичності та іншими характеристиками, а вихід за верхню межу 0,20 мас.% шихти призводить до зниження пластичності виливків[36].

Межі співвідношення компонентів модифікуючої суміші визначаються такими міркуваннями: за співвідношення карбідо і нітридоутворювальних елементів і суми оксидів алюмінію і міді менш як 30:0,5 кількість центрів кристалізації виявляється недостатньою, щоб забезпечити належний рівень властивостей виливків, у разі перевищення співвідношення більш як 70:0,1 сплав через надмірну кількість міжзеренних включень. Поряд із втратою пластичності знижується і герметичність, оскільки зростає несучільність у прикордонних зонах.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

З наведених даних видно, що середній розмір зерна в модифікованих і немодифікованих зразках істотно різниться. Відсутність перекривання довірчих інтервалів свідчить про статистичну значущість відмінності середніх значень.

Розмір зерна має в усіх випадках сильний розкид, інтервали варіювання перекриваються. Однак слід зазначити, що в модифікованих зразках, порівняно з немодифікованими, дрібних зерен значно більше, а великих менше. Різниця між модифікованими 0,05% і 0,10% Al_2O_3 виражена слабкіше. Можна відзначити, що в модифікованих 0,10% Al_2O_3 розміри найбільших і найдрібніших зерен дещо менші. Проте порівняння середніх [37] показує статистичну значущість відмінності.

Таким чином, введення модифікатора Al_2O_3 забезпечує подрібнення середнього розміру зерна в 1,8...2,2 рази. Збільшення витрати модифікатора з 0,05% до 0,10% призводить до додаткового подрібнення мікроструктури на 17%.

Результати вимірювання механічних властивостей зразків наведено в таблиці 3, з якої видно, що введення модифікатора впливає на показники твердості та міцності. Порівняння середніх значень твердості між однотипними зразками в кожному з випадків показало статистичну незначущість різниці, що дає змогу об'єднувати дані за кожним типом для порівняння відповідних груп між собою (немодифікованих, модифікованих із витратою порошку 0,05% і витратою 0,10%).

Таблиця 3 - Вплив модифікування на механічні властивості зразків

| Тип обробки | Твердість, кгс/мм ² | б, Н/мм ² |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Без модифікування | <u>51,1 - 84,5</u> * 69,9 ± 3,2 | <u>205 - 6 305</u> 245 ± 11 |
| Модифікований 0,05% Al_2O_3 | <u>71,3 - 101,6</u> 83,9 ± 3,3 | <u>260 - 370</u> 305 ± 12 |

| | | |
|---|----------------------------------|-----------------------------|
| Модифікований 0,10% Al ₂ O ₃ | <u>80,5 - 116,4</u> 96,3 ±5,6 | <u>290 - 420</u> 350 ±20 |
|---|----------------------------------|-----------------------------|

* чисельник - інтервал варіювання, знаменник - середнє ± довірчий інтервал

Порівняння значень твердості немодифікованих зразків із модифікованими з витратою модифікатора 0,05% показало, що зведений довірчий інтервал, для ступеня надійності 95%, що дорівнює 5,2, є значно меншим, ніж різниця середніх, що становить 14,0. Отже, збільшення твердості при введенні 0,05% модифікатора статистично значуще. Під час порівняння немодифікованих зразків із модифікованими за витрати модифікатора 0,10% було встановлено, що дисперсії неоднорідні, і порівняння проводили за методом із роботи[37]. Різниця середніх значень, що становить 26,4, значно перевершує значення Т-критерію, розрахованого для 95% надійності, що становить 7,2. Отже, введення 0,10% модифікатора також призводить до значного підвищення твердості.

Була проведена статистична перевірка значущості відмінності твердості зразків при модифікуванні з витратою модифікатора 0,05 і 0,10%. Дисперсії в цьому випадку також виявилися неоднорідними. Різниця середніх значень твердості склала 12,4, що більше Т-критерію для ступеня надійності 95%, який становить 9,8. Отже, збільшення витрати Al₂O₃ до 0,10% призводить до статистично значущого збільшення твердості. Таким чином, нами встановлено, що введення порошку Al₂O₃, з витратою 0,05...0,10% (за масою) під час виробництва виливків з алюмінієвих сплавів дає змогу збільшити твердість і міцність металу, а введення 0,05% модифікатора призводить до збільшення твердості та міцності у 1,23 раза, а при введенні 0,1% в 1,41 раза порівняно з не модифікованим металом. Збільшення витрати з 0,05 до 0,10% дає змогу підвищити твердість і міцність на 13-15% [37].

1.4 Модифікування ливарних алюмінієвих сплавів порошковими композиціями

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Нині розроблено технологію модифікування алюмінієвих сплавів системи Al-Si-Mg порошковим модифікатором карбїду кремнію. В ливарному виробництві застосовують силуміни системи алюміній-кремній, зокрема, сплави АЛ2, АЛ4 і АЛ4С, хімічні склади яких наведені в табл.4. Зі сплавів АЛ2 і АЛ4С відливають відповідальні деталі, що входять до складу турбонасосних агрегатів. Зарубіжними аналогами вітчизняних силумінів слугують сплави 354, С355 системи Al-Si-Cu-Mg, сплави 359 системи Al-Si-Mg і А357 системи Al-Si-Mg-Be, які застосовують для лиття корпусів електронних блоків [38].

Підвищення механічних і ливарних характеристик алюмінієвих сплавів можна досягти введенням елементів-модифікаторів. Модифікатори ливарних алюмінієвих сплавів поділяють на дві принципово різні групи. До першої групи належать речовини, які створюють у розплаві високодисперсну суспензію у вигляді інтерметалідів, які є підкладкою для утворених кристалів. До другої групи модифікаторів належать поверхнево-активні речовини, дія яких зводиться до адсорбції на гранях кристалів, які ростуть, і тим самим - гальмуванню їхнього зростання.

До модифікаторів першого роду для алюмінієвих сплавів належать елементи Ti, Zr, В, Sb, що входять до складу досліджених сплавів у кількості до 1 % мас. Тривають дослідження з використанням як модифікаторів першого роду таких тугоплавких металів, як Sc, Hf, Ta, V. Модифікаторами другого роду є натрій, калій та їхні солі, що знаходять широке застосування в промисловості. До перспективних напрямів належить використання як модифікаторів другого роду таких елементів, як Rb, Sr, Te, Se.

Нові напрямки в модифікуванні ливарних алюмінієвих сплавів ведуться в галузі застосування порошкових модифікаторів. Застосування таких модифікаторів полегшує технологічний процес, є екологічно безпечним, призводить до більш рівномірного розподілу введених часток за перерізом виливки, що підвищує міцнісні властивості та характеристики пластичності сплавів.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Слід відзначити результати досліджень Г.Г. Крушенка[39]. До складу сплаву АЛ2 вводили порошковий модифікатор карбід бору B_4C . У результаті досягнуто підвищення пластичності з 2,9 до 10,5 % при збільшенні міцності з 220,7 до 225,6 МПа. При цьому середній розмір макрозерна зменшився від 4,4 до 0,65 mm^2 .

У роботі [40] наведено результати модифікування сплавів системи Al-Si-Cu-Mg-Zn частинками нітридів титану TiN розміром менше ніж 0,5 мкм. Дослідження мікроструктури показало, що нітрид титану розташовується в алюмінієвій матриці, на кордонах зерен, поблизу пластин кремнію і всередині залізовмісних фаз.

Таблиця 4 - Хімічний склад модифікованих алюмінієвих сплавів

| Марка сплаву | Масова частка елементів, % | | | | | | | |
|--------------|----------------------------|----------|-----------|---------|-----|-----|-----------|-----|
| | Al | Si | Mg | Mn | Cu | Zn | Sb | Fe |
| АЛ2 | Основа | 10-13 | 0,1 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | - | 1,0 |
| АЛ4 | | 8,0-10,5 | 0,17-0,35 | 0,2-0,5 | 0,3 | 0,3 | - | 1,0 |
| АЛ4С | | 8,0-10,5 | 0,17-0,35 | 0,2-0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,10-0,25 | 0,9 |

Механізм впливу дисперсних частинок TiN на формування структури доєвтектичних силумінів під час кристалізації полягає в тому, що основна їхня маса виштовхується фронтом кристалізації в рідку фазу і бере участь у подрібненні евтектичних складових сплаву. Розрахунки показали, що за використання частинок нітриду титану розміром 0,1-0,3 мкм і за їхнього вмісту в металі близько 0,015 % мас. розподіл частинок становив $0,1 \text{ мкм}^{-3}$.

У публікації[41] розглянуто модифікування сплаву АК7 дисперсними тугоплавкими частинками нітридів кремнію Si_3N_4 , у результаті чого досягаються такі механічні властивості: $\sigma_{\text{тв}} = 350-370 \text{ МПа}$; $\delta = 3,2-3,4 \%$; $HВ = 1180-1190 \text{ МПа}$. При введенні в сплав АК7 частинок нітридів титану в кількості 0,01-0,02 % мас. тимчасовий опір розриву підвищується на 12,5-28 %, відносно подовження зростає в 1,3-2,4 раза порівняно з не модифікованим

станом. Після модифікування сплаву АЛ4 дисперсними частинками нітриду титану міцність сплаву зросла з 171 до 213 МПа, а відносне подовження від 3 до 6,1 %.

Якість ливарних композицій і можливість їх отримання залежать від низки параметрів, а саме: змочуваності дисперсної фази розплавом, природи дисперсних частинок, температури дисперсного середовища, режимів перемішування металевого розплаву під час уведення частинок. Гарна змочуваність дисперсної фази досягається, зокрема, за рахунок введення поверхнево-активних металевих добавок. У цій роботі вивчено вплив добавок кремнію, магнію, сурми, цинку і міді на засвоєння частинок карбіду кремнію SiC фракції до 1 мкм рідким алюмінієм марки А7. Порошок SiC вводили в розплав шляхом механічного замішування за температури розплаву 760 ± 10 °С. Кількість введеного SiC становила 0,5 % від маси рідкого алюмінію.

Сурма дещо погіршує засвоєння частинок SiC, що вводяться. Покращують же засвоєння елементи, що дають з алюмінієм сплави евтектичного складу (Si, Zn, Cu). Такий вплив, мабуть, пов'язаний не стільки з поверхневим натягом розплаву, скільки зі змочуваністю частинок SiC розплавом.

У роботі[42] вивчено вплив температури на ступінь засвоєння тугоплавких частинок TiC і SiC. Встановлено, що ступінь засвоєння порошкових частинок розплавом АЛ4С різко змінюється з температурою. У всіх випадках спостерігали максимум засвоєння за певної для даного сплаву температури. Так, максимум засвоєння частинок TiC досягнуто за температури розплаву 700-720°С, за 680°С засвоєння падає. При підвищенні температури до 780-790°С засвоєння TiC падає в 3-5 разів і продовжує зменшуватися при подальшому підвищенні температури. Аналогічну залежність засвоєння від температури розплаву отримано для SiC, яка має максимум за 770°С. Характерною особливістю всіх залежностей є різке падіння засвоєння при вході в двофазну область інтервалу кристалізації.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.01.ОПРЛМ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Рівномірний розподіл дисперсних частинок карбиду кремнію в розплаві забезпечується перемішуванням. Зі збільшенням часу перемішування ступінь засвоєння дисперсних частинок погіршується. Це свідчить про те, що спочатку засвоєні розплавом частинки надалі частково виводяться з розплаву. Імовірно, зазначене явище можна пояснити дією відцентрових сил, що відтісняють чужорідні дисперсні частинки, в цьому випадку SiC, до стінок тигля, а потім виводять їх на поверхню розплаву. Тому під час проведення плавки перемішування не велося безперервно, а періодично поновлювалося перед відбором порцій металу з печі.

На механічні властивості силумінів істотно впливають розміри частинок модифікатора, що вводиться. Механічна міцність ливарних сплавів АЛ2, АЛ4 і АЛ4С лінійно зростає в міру зменшення розмірів частинок порошкових модифікаторів.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологічні режими отримання якісних ливарних алюмінієвих сплавів, модифікованих порошковими тугоплавкими частинками.

2. Матеріали, обладнання та методика дослідження

2.1 Матеріали

Алюміній АД31 - це деформівний сплав, високої пластичності та корозійної стійкості. Крім того сплав, піддається глибокій витяжці, а за рахунок своєї чистоти має хорошу теплопровідність і електропровідність. Завдяки цим властивостям його застосовують для виготовлення виливок, вироблених формуванням, розрахований для роботи деталей під невеликим навантаженням, зокрема в агресивному корозійному середовищі. Також з нього виробляють тверді шини в електротехніці.

Алюміній АД31 виробляється з хімічним складом (таблиця 6) за ГОСТ

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|--|--------|------|--|--|--|-----------------------|-------|---------|
| 4782-07, і містить | | всього близько 2,35 % домішок, серед яких: залізо, магній, | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата | Матеріали, обладнання та методика дослідження | | | | | |
| Розробив | Стеблій А.А. | | | | | | | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Перевірив | Кассім Д.О. | | | | | | | | | |
| Рецензент | | | | | | | | каф.МЧМЛВ ЛВ-23-1м | | |
| Н.контроль | Кассім Д.О. | | | | | | | | | |
| Затвердив | Савельєв С.Г. | | | | | | | | | |

кремній, цинк, марганець, титан, мідь. АДЗ1 - це авіалій (сплав системи Al - Mg - Si).

Таблиця 6 - Хімічний склад у % матеріалу АДЗ1

| Fe,% | Si,% | Mn,% | Cr,% | Ti,% | Cu,% | Mg,% | Zn,% | Al,% | Домішок |
|--------|------------|--------|--------|---------|--------|-------------|--------|----------------|-------------------------------|
| до 0,5 | 0,2 0,6 | до 0,1 | до 0,1 | до 0,15 | до 0,1 | 0,45 0,9 | до 0,2 | 97,65 99,35 | Інші, кожні 0,05, усього 0,15 |

Як модифікуючі добавки були обрані сполуки, що мають температуру плавлення вищу, ніж у алюмінію. Також, під час вибору модифікуючих добавок акцент було зроблено на можливість утилізації відходів виробництва шляхом їх подальшого використання. Таким чином, були обрані:

1) Силікатний пил - мікрокремнезем, що є ультрадисперсним матеріалом із частинок круглої форми, отриманих у процесі газоочищення технологічних печей у процесі виробництва кремнію і феросиліцію, основним компонентом у якому є діоксид кремнію (з температурою плавлення $T_{пл} = 1600$ °C) - відхід кремнієвого виробництва.

2) Дрібнодисперсний порошок (зернисті маси) корунду Al_2O_3 ($T_{пл} = 2050$ °C) з відрізнних дискових відходів, відпрацьованих у процесі різання металів, дискових залишків або зруйнованих дисків.

Як показали результати енергодисперсійного аналізу, порошок здебільшого складається з діоксиду кремнію, який являє собою мікрокремнезем марки МК-85, а також містить незначну кількість домішок (таблиця 7).

Таблиця 7 -Склад порошку відходу кремнієвого виробництва

| Елемент | O | Al | Si | Ca | Fe | Zn | Усього |
|---------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| Мас. % | 12,47±0,02 | 0,58±0,00 | 85,12±0,04 | 0,49±0,01 | 0,73±0,01 | 0,61±0,01 | 100,00 |
| Атом. % | 20,15±0,04 | 0,56±0,00 | 78,39±0,03 | 0,32±0,00 | 0,34±0,00 | 0,24±0,00 | 100,00 |

| | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|--|--|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |

В умовах Криворізького національного університету було проведено плавку в лабораторних умовах кафедри "Металургії чорних металів і ливарного виробництва". В корундовому тиглі пилили сплав алюмінію з додаванням по 1% і 5% порошку корунду (Al_2O_3) і порошку відходу кремнієвого виробництва (мікрокремнезему), виплавку алюмінію проводили в камерній електричній печі опору SNOL 6,7/1300 (рис. 5). Дана піч дає змогу проводити процеси плавки при температурі до $1200^{\circ}C$.



а)



б)

Рисунок 4 - Піч камерна електрична SNOL 6,7/1300 (а,б)

2.2 Методики дослідження

Металографічні роботи було проведено в умовах Криворізького університету, плавлення алюмінієвого сплаву АД31 (рисунок 4) у камерній електричній печі опору в корундових тиглях (за температури 900°) з додаванням 1% порошку: 1) корунду (Al_2O_3) з відрізних дискових відходів; 2) відходу кремнієвого виробництва (мікрокремнезему).

Вивчення структури сплаву виконували у Запорізькому університеті. Для вивчення структури ми використовували оптичний мікроскоп. Дослідження фазового складу проводили на оптичному мікроскопі Leica DM IRM (Німеччина) (збільшення 200-1000*).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

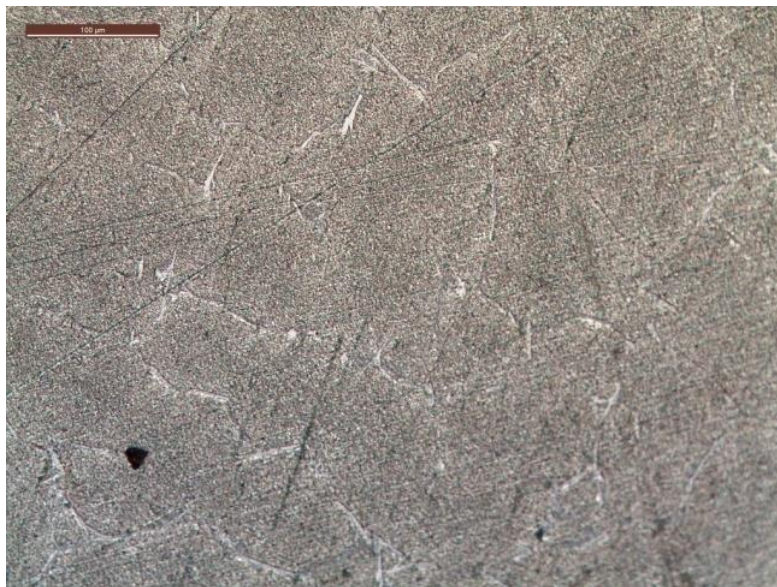


Рисунок 5 - мікрокремнезем невеликою кількістю утворює твердий розчин з алюмінієм. Al + SiO₂ (мікрокремнезем), x200

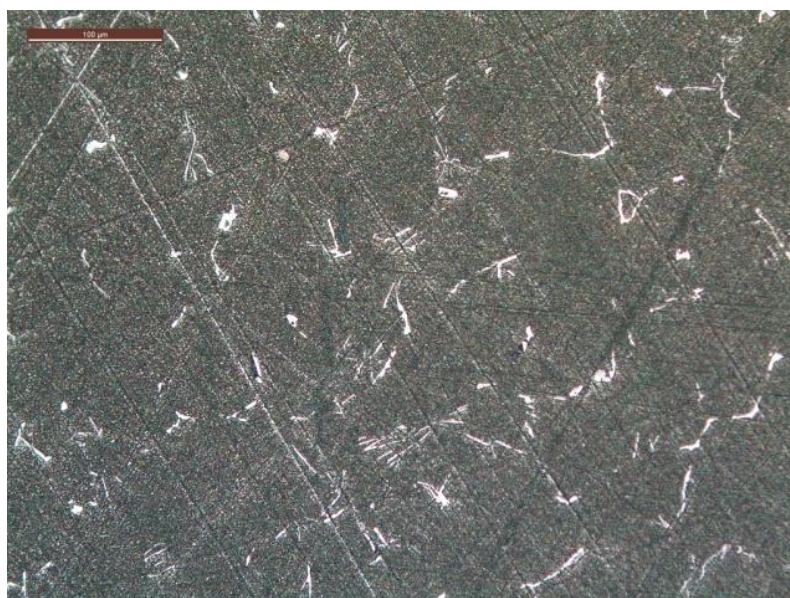


Рисунок 6- за рахунок введення домішок Al₂ O₃ утворюється велика кількість скелетоподібних евтектик Al+α. Al + Al₂O₃ (корунд), x200

2.2.1 Підготовка зразків до металографічного дослідження

Поверхню зразків готували шліфуванням, поліруванням і травленням.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 7 - Досліджувані зразки:

- 1 - вихідний зразок алюмінієвий сплав АД31;
- 2 - АД-31 - 1% SiO_2 (мікрокремнезем);
- 3 - АД-31 - 5% SiO_2 (мікрокремнезем); 4 - АД-31 - 1% Al_2O_3 (корунд);
- 5 - АД-31-5% Al_2O_3 (корунд).

Полірувальна машина EQ-UNIPOL 810 (Рисунок 8) оснащена 8дюймовою суперпласкою алюмінієвою притиральною пластиною і однією опорою для робочого зразка, а також комплектним приладдям для алмазного притирання. Її можна використовувати як стандартну ручну шліфувальну машину або автоматичну притиральну / полірувальну машину як для плоских зразків, так і для металографічних зразків. Це найбільш економічне рішення для лабораторії дослідження зразків.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 8 - Полірувальна машина EQ-UNIPOL 810

Шліфовка. Зразок піддавався шліфуванню на наждачному папері, використовували папір з різною зернистістю, з поступовим переходом від більшого до дрібнішого. З метою оптимізації процесу шліфування, перед шліфуванням попередньо змочують наждачний папір. Під час шліфування необхідно не перегрівати зразок. Папір виготовлювався за ГОСТ 6456-75 на паперовій основі з номерами зернистості. Перед переходом до кожного наступного номера паперу видаляли залишки спиртом, а напрямок шліфування змінювали на 90° до усунення слідів попередньої обробки.

Поліровка. Для полірування використовували щільний папір і алмазні пасти різної зернистості. Перехід алмазної пасти від великих абразивних частинок до дрібного, відбувається, щойно з'явиться дзеркальний блиск і відсутність малок. Полірування вважається закінченим, коли поверхня має дзеркальний блиск і не має рисок.

Травлення. Процес травлення полягав у тому, що поверхня шліфа піддавалася впливу хімічного реактиву.

Для травлення модифікованого алюмінієвого сплаву АД31 використовували травитель 40%й фтороводород (плавикова кислота). Час травлення становив по 1 хвилині. Після травлення зразок одразу ж промивали в холодній воді й очищали спиртом.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| .Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.3 Металографічні дослідження

З макроструктури зразка можна дізнатися зернисту або дендритну структуру металів і сплавів. Розташування кристалічних зерен, мабуть, їхня мішень і довжина окремих зон залежать від умов охолодження, складу й обробки сплаву. Для визначення мікроструктури сплавів здійснювали за допомогою мікроскопа ЛабоМет - I (Рисунок 9) з виведенням мікроструктури на екран монітора. Мікроскоп призначений для спостереження і дослідження зображення структури металів, сплавів та інших непрозорих об'єктів (у вигляді шліфів і зрізів) під час прямого освітлення у відбитому світлі у світлому полі.

Мікроскоп може використовуватися для наукових, дослідницьких цілей, а також для лабораторних досліджень і навчальних робіт.



Рисунок 9 - Оптичний мікроскоп ЛабоМет - I.

2.4 Наноіндентування

Індентування здійснювали за допомогою приладу NanoIndenterG 200 (рисунок 11). Як індентор використовували піраміду Берковича, навантаження становило 500 мН (50 г). Конструкція приладу дає змогу виводити діаграму впровадження індентора на монітор у режимі реального часу. Первинні дані - навантаження і глибина впровадження піраміди. За діаграмою впровадження

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МOMД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

прилад автоматично розраховував модуль пружності E_{IT} і мікротвердість H_{IT} відповідно до стандарту ISO 14577.

Вдавлювання індентора в матеріал спричиняє локальну пружну та пластичну деформацію і призводить до утворення відповідного відбитка на певній глибині h_c . Після зняття навантаження пружна деформація відновлюється, що дає змогу визначити пружні властивості матеріалу.

Експериментальна первинна крива "навантаження - впровадження" (діаграма впровадження), безперервно одержувана в процесі індентування, показана на рисунку 10. За діаграмою визначаються такі величини: пікове навантаження і глибина впровадження індентора P_{max} і h_{max} , залишкова глибина після розвантаження h_f , і нахил початкової частини кривої розвантаження $S = dP/dh$, який характеризує пружну жорсткість контакту. У разі використання як індентора тригранної піраміди Берковича твердість досліджуваної поверхні H визначається за такою формулою:

$$H = \frac{P}{A} = 0,00387 \frac{P}{h_{max}^2} \quad (1)$$

Де, P - навантаження, що додається до випробуваної поверхні, Н, A - площа відбитка під навантаженням, mm^2 , h_{max} - глибина впровадження індентора, мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| .Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

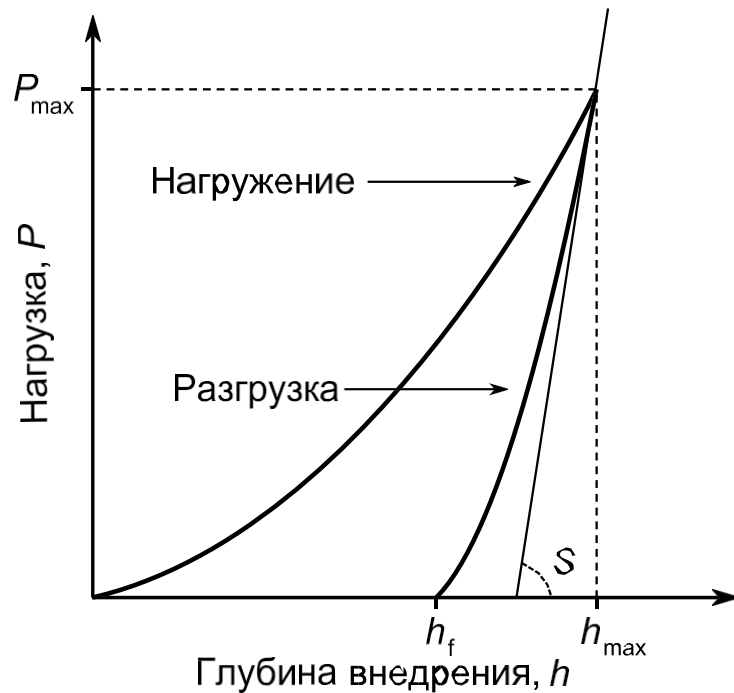


Рисунок 10- Крива "навантаження - впровадження", що отримується в процесі інденування

Модуль пружності досліджуваного зразка E визначається з наведеного модуля E_r , який розраховується за формулою:

$$E_r = \frac{(S\sqrt{\pi})}{2\beta\sqrt{A}} \quad (2)$$

Тут β є константою, яка залежить від геометрії індентора. Для осесиметричного індентора $\beta=1$, для індентора з квадратним перетином (піраміда Віккерса) $\beta=1,012$, для індентора з трикутним перетином (піраміда Берковича) $\beta=1,034$. Остаточо модуль пружності досліджуваного матеріалу E розраховується за допомогою виразу:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} \quad (3)$$

Де, ν - коефіцієнт Пуассона досліджуваного матеріалу, E_i і ν_i - модуль пружності та коефіцієнт Пуассона матеріалу індентора. Для алмазу $E_i=1141$ ГПа і $\nu_i=0,07$.

риски. Число твердості HB (кгс/мм²) - це відношення прикладеного навантаження до площі поверхні відбитка, його обчислюють за формулою:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

Де, F - прикладене навантаження; D і d - відповідно діаметр кульки і відбитка.

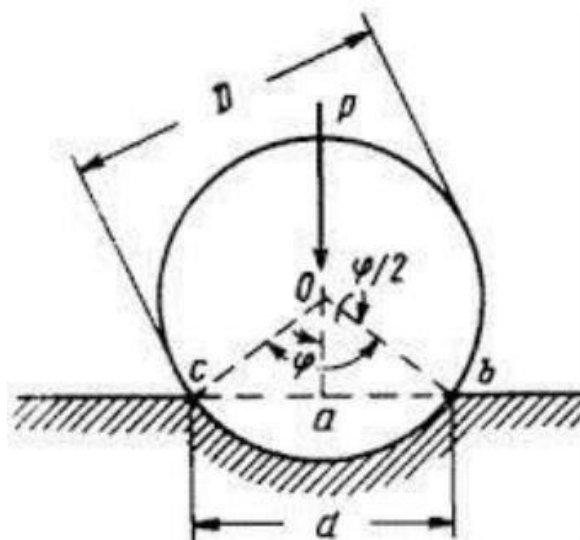


Рисунок 12 - Вимірювання твердості за Брінелем: схема вимірювання відбитка

твердості за Брінелем (F - навантаження)

На практиці комалтуються таблицею, в якій вказані значення твердості залежно від діаметра відбитка. Діаметр кульки і навантаження обирають так, щоб дотримувалося співвідношення $d = (0,25 \dots 0,5)D$, тобто для різних матеріалів ці параметри різні.

2.5 Результати дослідження

Отримані в результаті плавки зразки були піддані пробопідготовці: шліфовці, поліруванню і травленню в реактиві для виявлення структури алюмінієвих сплавів. Далі зразки були досліджені на оптичному мікроскопі фірми ЛабоМет - I та скануючому електронному мікроскопі.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 13 - Мікроструктура вихідного алюмінієвого сплаву - АД31

Для модифікування першого зразка алюмінієвого сплаву АД31 використовували відхід кремнієвого виробництва, як показали результати енергодисперсійного аналізу, складався з діоксиду кремнію, який, своєю чергою, містив незначну кількість домішок, і загалом являв собою мікрокремнезем марки МК-85. Модифікуючою добавкою другого зразка алюмінієвого сплаву АД31 був відхід відрізних дисків - корундовий порошок Al_2O_3 .

Як видно з фото мікроструктур вихідного зразка алюмінієвого сплаву АД31 (рис. 13) і зразків модифікованого алюмінієвого сплаву (рис. 14), внаслідок модифікування мікроструктури обох зразків подрібнюються (візуально) в 4-6 разів.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

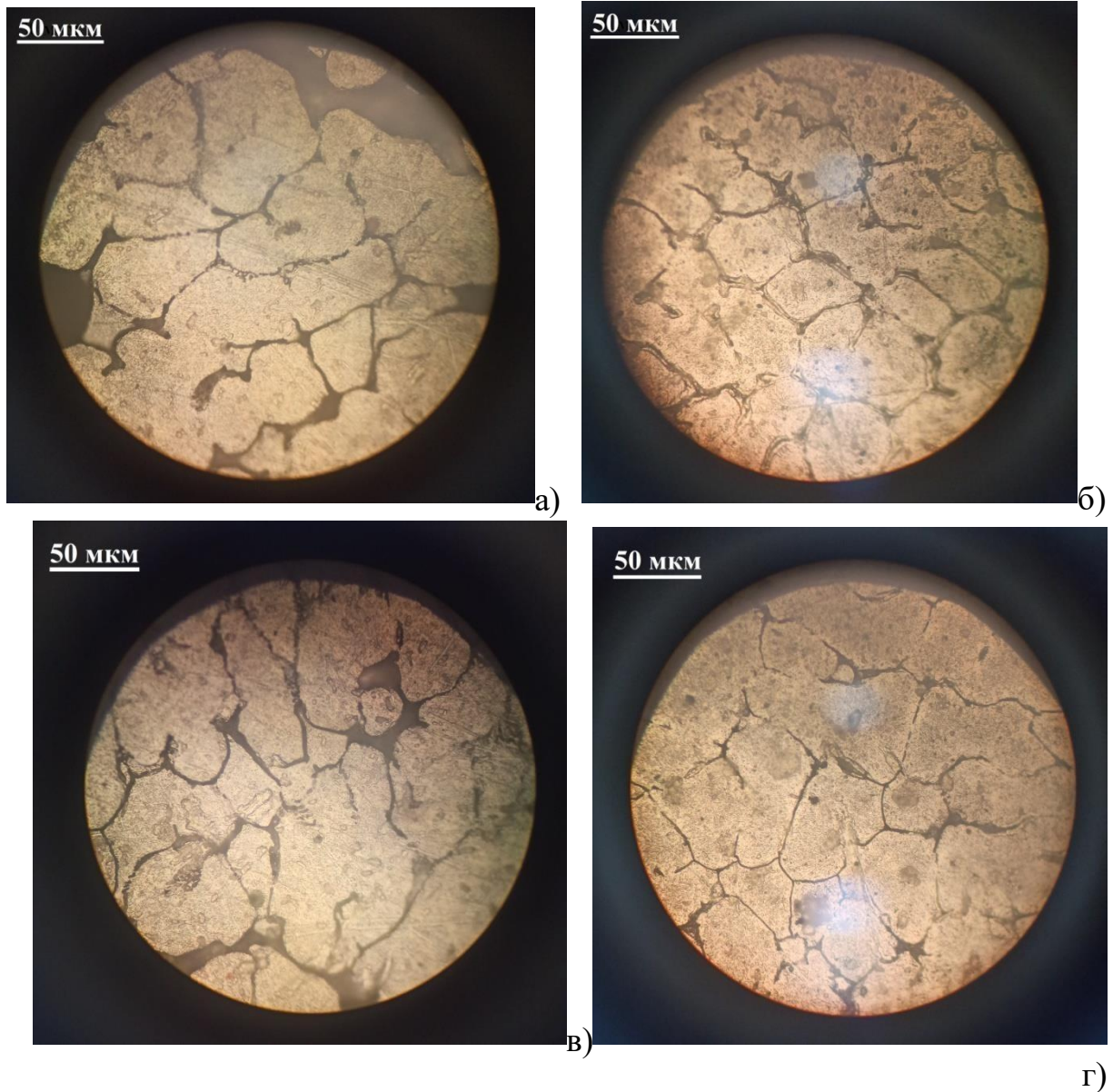


Рисунок 15- Зображення мікроструктури алюмінієвого сплаву АД31, модифікованого 1%: а - мікрокремнезему; б - корунду Al_2O_3 ; 5%: в - мікрокремнезему; г - корунду Al_2O_3

Як показав аналіз алюмінієвого сплаву АД31, модифікованого мікрокремнеземом і корундовим порошком Al_2O_3 модифікування алюмінієвого сплаву мікрокремнеземом незначно змінюється склад сплаву - з'являються домішки Fe і Si (таблиця 8).

Таблиця 8 - Склад зразка алюмінієвого сплаву в точці (Spectr)1.

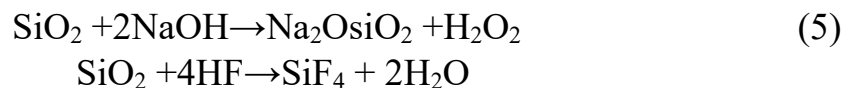
| Елемент | Al | Si | Fe | Усього |
|---------|------------|------------|------------|--------|
| Мас. % | 62,44±2,14 | 9,59±0,42 | 27,97±0,73 | 100,00 |
| Атом. % | 73,31±3,42 | 10,82±4,37 | 15,87±2,59 | 100,00 |

1) домішки заліза в алюмінієвому сплаві утворюють сполуки $FeAl_3$ (темно-фіолетові виділення на фото мікроструктур);

2) світлі структурні складові, що мають характерний вигляд ламаних (трапецієподібних) кривих ліній (рисунок 15, а) - у присутності кремнію і заліза утворюються потрібні фази α (Al-Fe-Si) і β (Al-Fe-Si);

3) кремній у невеликій кількості утворює з алюмінієм твердий розчин (рисунок 15, в), водночас, як свідчать літературні джерела, він розчиняється в твердому алюмінії лише в обмежено малій кількості[43];

4) за достатнього вмісту домішок з'являється скелетоподібна евтектика $Al+\alpha(Al-Fe-Si)$, на поверхні модифікованого сплаву утворюється захисна плівка, яка містить у своєму складі Al_2O_3 і SiO_2 , та відмінна відносно гарною стійкістю в багатьох агресивних середовищах, особливо в окислювальних. Як вказують автори роботи[44], окислювальну плівку зазначеного складу здатні зруйнувати тільки луги (5) і плавикова кислота (6):



(6)

Алюмінієвий сплав АД-31, модифікований корундовим порошком Al_2O_3 (рисунок 15, б,г), також змінив фазовий склад і структуру:

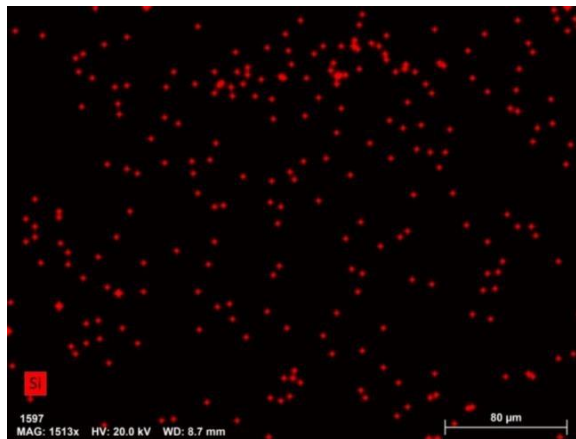
1) через введені домішки Al_2O_3 утворюється велика кількість скелетоподібної евтектики $Al+\alpha$;

2) у незначній кількості (через помилуватість домішок у складі початкового сплаву АД-31) утворюються фази α і β - світлі структурні складові, що мають характерний вигляд ламаних (трапецевидних) кривих ліній.

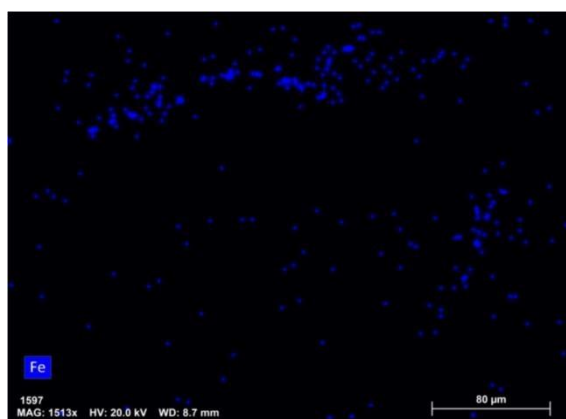
| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОМД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



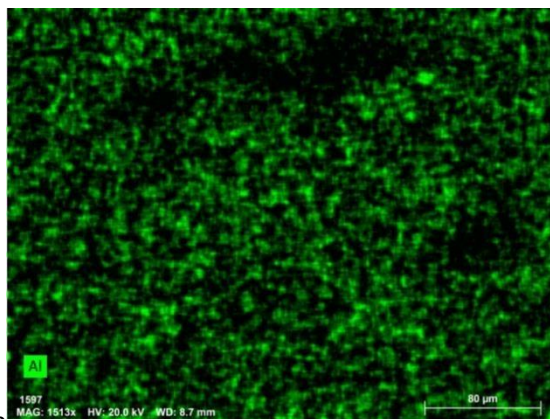
a)



б



в)



б)2

б)3

Рисунок 15 - Зразок алюмінієвого сплаву АД31, модифікованого мікрокремнеземом:

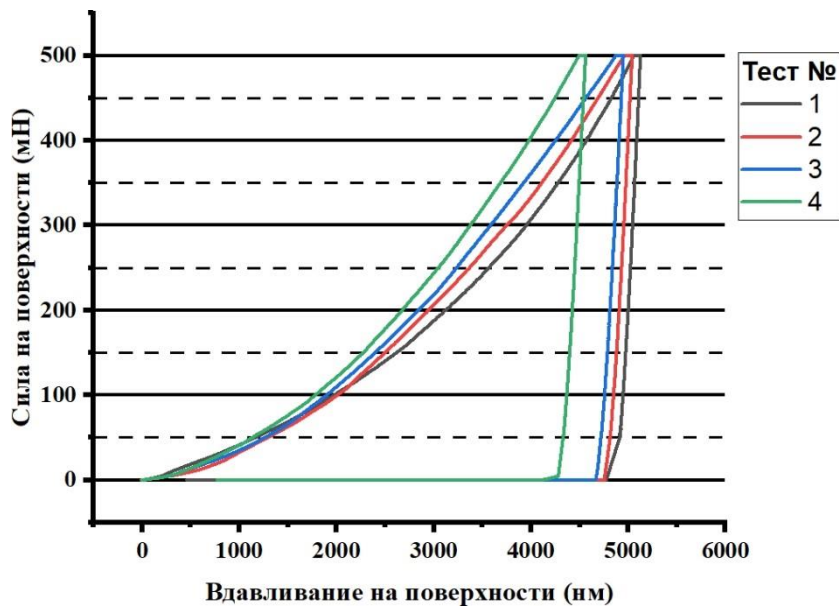
а - енергодисперсійний аналіз сплаву і кількісний аналіз, x1513; б_{1,2,3} - розподіл елементів Al, Si і Fe на досліджуваній поверхні, x1513;

Таким чином, у результаті модифікування виробничими відходами мікрокремнезему та корунду Al_2O_3 алюмінієві сплави змінюють свою структуру та фазовий склад. Мікроструктура подрібнюється, отже, відповідно до закону Холла-Петча, поліпшуються механічні властивості (підвищуються властивості міцності), які можна й далі регулювати, застосовуючи різні режими термічної обробки[44][45].

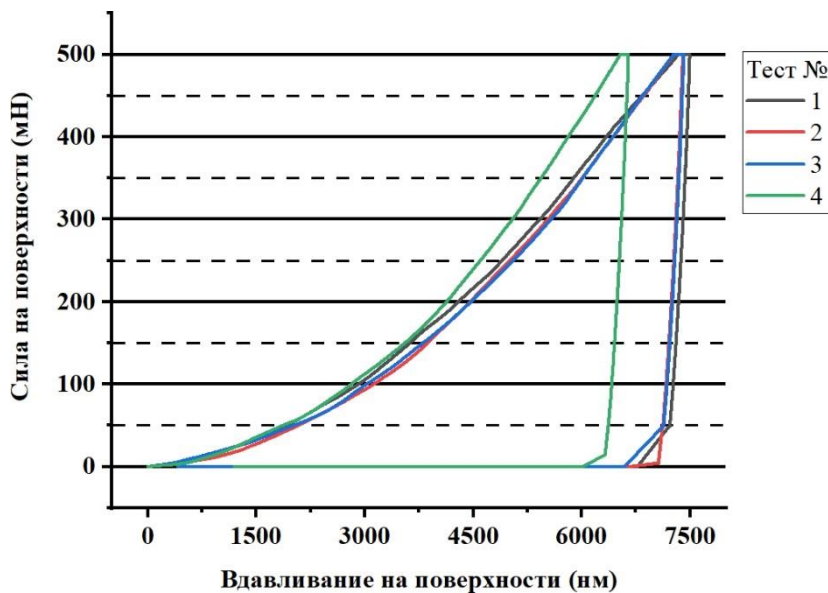
| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.02.МОНД | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.5.1 Наноіндентування та вимірювання твердості за Брінелем

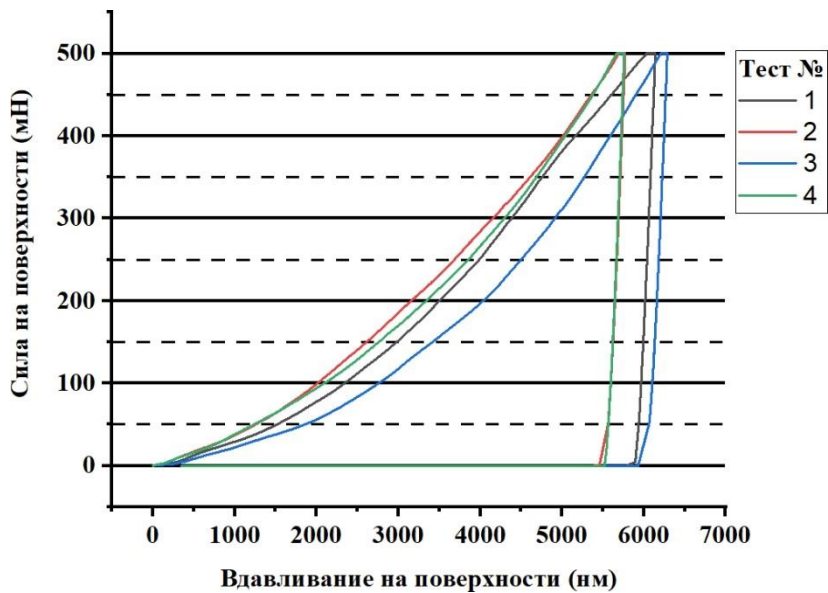
Підготовлені шляхом шліфування та полірування зразки поміщали в машину для випробування на наноідентифікацію, де під час впрскування алмазної піраміди вимірювали модуль пружності та твердість. На рисунку 16 показано криві залежності сили втискування від зміщення. Результати наноіндентування показують, що найбільші значення модуля пружності та нанотвердості спостерігалися на другому зразку.



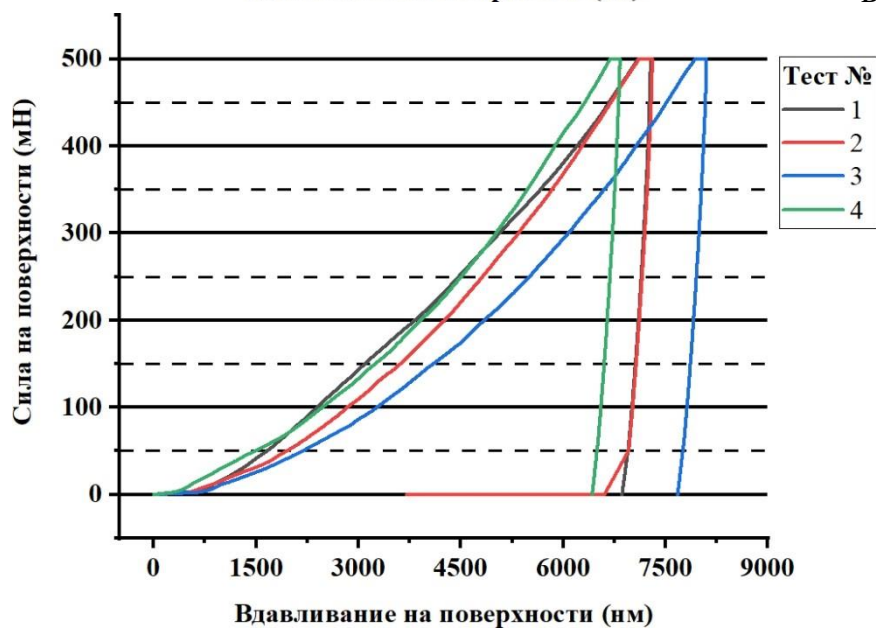
а)



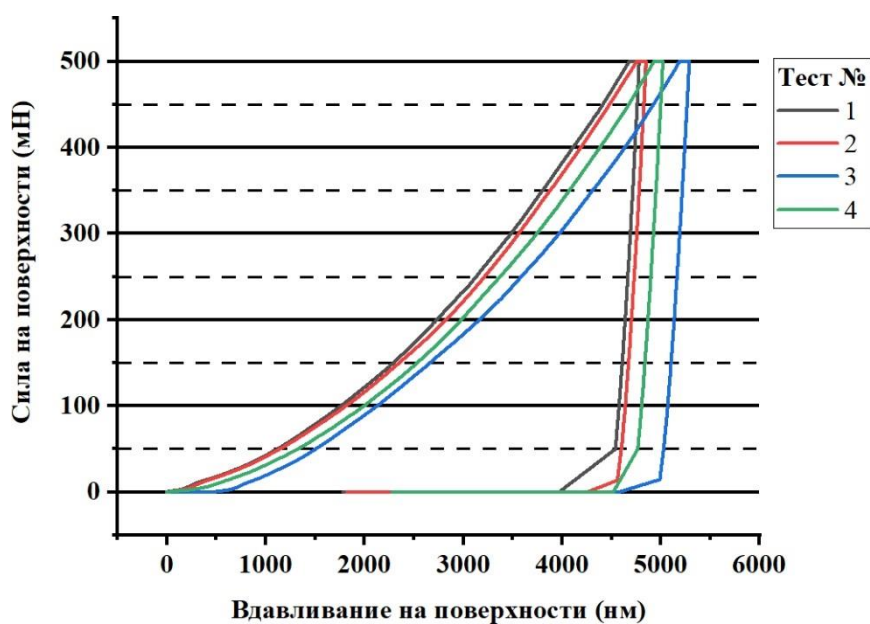
б)



В)



Г)



Д)

Рисунок 16. Діаграма впровадження індентора.

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

а) Вихідний зразок АД31; б) мікрокремнезем (порошок); в) корунд (порошок); г) мікрокремнезем (порошок); д) 5 % - корунд (порошок)

Отримані дані щодо нанотвердості та модуля пружності наведено в таблиці 9.

Таблиця 9. Дані наноіндентування

| Номер зразка | Склад | Модуль пружності, МПа | Нанотвердість, МПа | Твердість за Брінелем НВ | Межа міцності σ_b , МПа |
|--------------|--|-----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | АД-31-1% SiO ₂ (мікрокремнезем) | 61700 | 409 | 22,3 | 78,05 |
| 2 | АД-31-5% SiO ₂ (мікрокремнезем) | 81438 | 580 | 22,7 | 79,45 |
| 3 | АД-31- 1%Al ₂ O ₃ (корунд) | 52172 | 412 | 28,9 | 101,15 |
| 4 | АД-31-5%Al ₂ O ₃ (корунд) | 93269 | 956 | 61,2 | 214,2 |
| 5 | АД-31 | 92719 | 904 | 51 | 178,5 |

3 Економічна доцільність використання мікрокремнезему та корунду як модифікуючих засобів при виготовленні лиття з алюмінієвих сплавів

Доцільністю впровадження елементів новизни в технологічних розробках або оновлення технологій виробництва конкретних видів продукції (в нашому випадку лиття з АД-31) є зменшення витрат на виробництво без втрати якості. Для економії важливими є принципи технологічного і ресурсоефективного виробництва. Оцінка економічної вигоди від впровадження розробки є необхідною умовою під час пошуку джерел фінансування у випадку якщо у підприємства відсутні власні вільні кошти на реалізацію змін.

Необхідно розуміти, що економічна привабливість результатів розробки визначається не тільки перевищенням технічних параметрів над базовим варіантом, а й чи буде продукція випущена за запропонованою технологією користуватися попитом у споживачів. Це якраз і залежить від співвідношення ціна – якість.

Процедура прийняття рішення про початок роботи над зміною технологічних особливостей починається з дослідження ринку продукції, технологію виробництва якого підприємство хоче оптимізувати. І якщо тенденція в обсягах потреби чи ринкові ціни на відповідний вид продукції зростаюча – логічним є такі розробки починати.

В результаті попередніх досліджень нами визначено, що актуальним є оптимізація процесу виробництва алюмінієвого лиття, а основою економії може бути використання добавок (модифікація сплавів мікрокремнеземом та корундом), що покращить якість лиття та зменшить витрати на виготовлення.

Зменшення витрат пов'язано з тим, що дані модифікатори є виробничими відходами. Покращення якості забезпечується їх впливом на механічні та технологічні властивості продукції.

| | | | | | | | | |
|------------|------|---------------|--------|------|---|-----------------------|-------|---------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | | | |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата | Економічна доцільність використання мікрокремнезему та корунду як модифікуючих засобів при виготовленні лиття з алюмінієвих сплавів | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Розробив | | Стеблій А.А. | | | | | | |
| Перевірив | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Рецензент | | | | | | | | |
| Н.контроль | | Кассім Д.О. | | | | | | |
| Затвердив | | Савельєв С.Г. | | | | каф.МЧМЛВ ЛВ-23-1м | | |

табл. 3.2, де описуються сильні та слабкі сторони впровадження наших пропозицій для виявлення можливостей та загроз по їх реалізації.

Таблиця 3.2 – Матриця порівняння можливих наслідків реалізації пропозицій з виробництва Al сплавів модифікованих мікрокремнеземом та корундом

| | | |
|--|--|--|
| | <p>Сильні сторони впровадження:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Використані методи дослідження отриманих результатів є ефективними 2. Технологічний спосіб передбачає економічність і ресурсоефективність 3. Можливість застосування цієї технології для ливарних металів; 4. Актуальність і своєчасність впровадження | <p>Слабкі сторони впровадження:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Завищені вимоги до обладнання 2. Можливість появи нових більш інноваційних рішень 3. Високий рівень трудомісткості 4. Відсутність широкого кола підприємств, що мають фінансові можливості до впровадження |
| <p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Використання достатньо широко 2. Поява додаткового попиту на кінцевий продукт 3. Можливість подальшого удосконалення | <p>Вивчивши властивості модифікованого алюмінієвого сплаву нового покоління, можна вивести продукт на затребуваний рівень</p> | <p>Головні проблеми розробки це ймовірність отримання невідповідного продукту та необхідність подальшого дослідження модифікованого алюмінієвого сплаву</p> |
| <p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підвищення вартості обладнання 2. Можливість створення більш доступної за витратами технології 3. Відсутність попиту на нову технології | <p>Ціна може бути збільшена через зростання цін на сировину, через підвищення імпорتنних мит</p> | <p>Відсутність затверджених стандартів і актів, що зменшує попит на ринку</p> |

Таким чином виявлено, що найбільшою загрозою для реалізації наших пропозицій є можливість створення більш доступного в ціні аналогового методу визначення структури, властивостей та хімічного аналізу, що на даному етапі не прогнозується, оскільки запропоноване нами рішення має теоретичну, математичну та експериментально обґрунтовану базу, що забезпечує її зручність та доцільність у використанні в реаліях виробництва лиття з алюмінієвих сплавів.

Комплекс робіт по використанню технології включає в себе дослідження зразка: металографічним методом; на вплив структури та властивості після модифікування; на відповідність вимогам.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для визначення доцільності впровадження запропонованих технологічних рішень необхідно було визначити вартість їх пілотного випробовування. Тут важливим є врахування величини матеріальних витрат. До них включали транспортно-заготівельні витрати (3-5% від загальної величини потреби в матеріалах). Результати за цією статтею відображені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Матеріали для перевірки можливості впровадження запропонованої технології в реаліях виробництва

| Назва | Марка (тип) | Кількість | Ціна, грн./од. | Сума, грн. |
|--|-------------------|-----------|----------------|------------|
| Спирт етиловий ректифікований ГОСТ 5962-2013 | 300 мл | 1 | 75 | 75 |
| Вата медична | 300 г | 1 | 150 | 150 |
| Наждачний папір | P2000, 3000, 1500 | 15 | 8 | 120 |
| Алмазна паста | АСМ, 100 г | 1 | 160 | 160 |
| Рукавички лабораторні | Пар, М | 25 | 5 | 125 |
| Всього за матеріали | | | | 630 |
| Транспортно-заготівельні витрати (3-5%) | | | | 25 |
| Разом | | | | 655 |

У витрати на спеціальне устаткування для підтвердження доцільності впровадження технології включали витрати, що пов'язані з його експлуатацією. Для розрахунку амортизації використовували відомі ринкові ціни (табл. 3.3) на необхідні прилади, контрольно-вимірювальну апаратуру, стенди, пристрої та механізми, які необхідні для проведення цих вимірювань. Кількість спеціального устаткування для врегулювання особливостей конкретного виробництва приймали – по одній одиниці кожного зі списку.

Таблиця 3.3 – Вартість необхідного спеціального устаткування для перевірки можливості впровадження запропонованої технології в реаліях виробництва

| Назва устаткування | Вартість, тис. грн./од. устаткування |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Персональний комп'ютер | 24800 |
| Мікроскоп ЛабоМет-1 | 75000 |
| Полірувальна машина UNIPOL-801 | 370000 |
| Наноіндентор G200 | 2220000 |
| Твердомір Брінелля | 32550 |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахунок амортизаційних відрахувань здійснювали виходячи з вказаної вартості устаткування (табл. 3.3) та прийнятих норм амортизації. Розрахунок амортизаційних відрахувань (AB) здійснювався за формулою:

$$AB = \sum_{i=1}^n \frac{T_{\text{викор}_i}}{365} \times K_i \times H_{A_i}, \quad (3.2)$$

де n – кількість одиниць устаткування за типом; $T_{\text{викор}_i}$ – час використання i -ої одиниці устаткування; K_i – вартість i -ої одиниці устаткування; H_{A_i} – норма амортизації i -ої одиниці устаткування.

Так як норма амортизації є величиною оберненою до терміну експлуатації устаткування $T_{\text{експ}}$, то:

$$H_A = \frac{1}{T_{\text{експ}}}, \quad (3.3)$$

Результати розрахунку амортизації устаткування представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Витрати на устаткування для перевірки можливості впровадження запропонованої технології в реаліях виробництва

| № п/п | Назва устаткування | Ціна | $T_{\text{експ}}$, років | $T_{\text{викор}}$, дні | H_A , % | AB , грн. |
|--------|--------------------------------|---------|------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|
| 1 | Персональний комп'ютер | 24800 | 5 | 10 | 0,4 | 54,36 |
| 2 | Мікроскоп ЛабoМет-1 | 75000 | 5 | 3 | 0,2 | 24,66 |
| 3 | Полірувальна машина UNIPOL-801 | 370000 | 10 | 10 | 0,1 | 101,37 |
| 4 | Наноіндентор G200 | 2220000 | 10 | 5 | 0,1 | 304,11 |
| 5 | Твердомір Брінелль | 32550 | 10 | 1 | 0,1 | 0,89 |
| Разом: | | | | | | 485,39 |

До витрат обов'язково додається частина заробітної плати працівників, що перевіряють можливість впровадження запропонованої технології на підприємстві. Ці витрати залежать від трудомісткості робіт на перевірку адекватності пропозицій для конкретного підприємства. Сюди включали основну

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

заробітну плату працівників, безпосередньо зайнятих виконанням зазначених робіт (включно з преміями та доплатами) та додаткову заробітну плату:

$$B_{ЗП} = ЗП_{осн} + ЗП_{доп} , \quad (3.4)$$

де $ЗП_{осн}$ – основна заробітна плата; $ЗП_{доп}$ – додаткова заробітна плата.

Основна заробітна плата ($ЗП_{осн}$) працівників лабораторії, що приймають участь у підтвердженні доцільності впровадження запропонованих рішень (керівник та безпосередній виконавець відповідальний за адекватність вимірів) розраховували такою формулою:

$$ЗП_{осн} = ЗП_{денна} \times K_{днів} , \quad (3.5)$$

де $ЗП_{денна}$ – основна заробітна плата одного працівника за відпрацьований робочий день; $K_{днів}$ – кількість робочих днів на виконання робіт.

Результати розрахунку основної заробітної плати представлено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунок заробітної плати виконавців для перевірки можливості впровадження запропонованої технології в реаліях виробництва

| Виконавці | Оклад, грн. | Премія, % | ЗП', грн. | ЗП _{денна} , грн. | K _{днів} | ЗП, грн. |
|--------------|--|-----------|-----------|----------------------------|-------------------|----------|
| Основна ЗП | | | | | | |
| Керівник | 18000 | 30 | 23400 | 1170 | 27 | 31590 |
| Інженер | 15000 | | 19500 | 975 | 40 | 39000 |
| Додаткова ЗП | | | | | | |
| Керівник | Визначали як 12% від ЗП _{осн} | | | | | 3791 |
| Інженер | | | | | | 4680 |
| Разом: | | | | | | 79061 |

До загальної величини витрат також додавали опосередковані витрати (на утримання лабораторії – 3% від фонду заробітної плати) та податки й обов'язкові платежі (18% податок на прибуток, 22% відрахування з фонду заробітної плати). Стосовно суми під оподаткування очікується при прийнятті позитивного рішення про впровадження запропонованих рішень підприємство може отримати додатково до 20 тис. грн. прибутку. Тоді:

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--------------------------------|------|
| | | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

де B_i – вартість впровадження i -го варіанта (за табл. 3.6 становить 71976,62 грн.);
 B_{\max} – максимальна вартість впровадження технологічного рішення (на основі ринкових даних становить 92 тис. грн.).

$$I_{\text{екон}} = \frac{71976,62}{92000} = 0,78$$

Тож бачимо, що запропонований варіант вважається прийнятним з точки зору економічної ефективності. А рівень рентабельності реалізації технології становитиме 78%.

Інтегральний показник ресурсоефективності ($I_{\text{рес.еф}}$) варіантів впровадження аналогічних рішень на різних підприємствах можна визначити таким чином:

$$I_{\text{рес.еф}} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad , \quad (3.7)$$

де a_i – ваговий коефіцієнт i -го параметра; b_i – бальна оцінка i -го параметра для порівнюваних технологічних рішень, що встановлюється експертним шляхом за обраною шкалою оцінювання; n – кількість параметрів порівняння.

Розрахунок інтегрального показника ресурсоефективності відбувався за даними попередніх розрахунків та табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Оцінка порівнюваних варіантів отримання лиття з алюмінієвих сплавів

| Критерій порівняння | a_i | b_i | | |
|---|-------|-----------|-----------|------------------|
| | | базовий 1 | базовий 2 | запропонований 3 |
| Рівень підвищення продуктивності праці | 0,1 | 5 | 3 | 4 |
| Зручність у реалізації в умовах реального виробництва | 0,2 | 3 | 4 | 5 |
| Простота реалізації | 0,15 | 5 | 3 | 5 |
| Енергозбереження | 0,15 | 3 | 3 | 5 |
| Надійність | 0,2 | 4 | 4 | 5 |
| Собівартість кінцевого продукту виробництва | 0,2 | 4 | 4 | 4 |
| Разом | 1 | 24 | 21 | 28 |

| | | | |
|--------------|-----|-----|-----|
| $I_{рес.эф}$ | 3,9 | 3,6 | 4,7 |
|--------------|-----|-----|-----|

$$I^1_{рес.эф} = 0,1 \times 5 + 0,2 \times 3 + 0,15 \times 5 + 0,15 \times 3 + (0,2 \times 4) \times 2 = 3,9$$

$$I^2_{рес.эф} = 0,1 \times 3 + (0,2 \times 4) \times 3 + (0,15 \times 3) \times 2 = 3,6$$

$$I^3_{рес.эф} = 0,1 \times 4 + (0,2 \times 5) \times 2 + (0,15 \times 5) \times 2 + 0,2 \times 4 = 4,7$$

Тож бачимо, що інтегральний показник ресурсоефективності при використанні мікрокремнезуму та корунду має найвищий рівень із порівнюваних (4,7), що свідчить про прийнятність запропонованих нами технологічних рішень.

Висновки:

1. При встановлені конкурентоспроможності запропонованої нами технології визначити, що сильними сторонами її є можливість виведення лиття з алюмінієвих сплавів на затребуваний рівень та підвищення ціни на лиття, що забезпечить підприємствам додатковий дохід. Слабкими є сторонами вважаємо появу в майбутньому інноваційних технологічних підходів невідомих на сьогодні та появу нових нормативних документів (стандартів якості, екологічних вимог), які б обмежували реалізацію нашого рішення.

2. На основі визначення вартості перевірки можливості впровадження запропонованої технології в реаліях виробництва (71976,62 грн.) визначали інтегральні показники за двома середньозваженими величинами: економічної ефективності та ресурсоефективності (так як обидва модифікатори є відходами виробництва):

- запропонований варіант вважається прийнятним з точки зору економічної ефективності так як $I_{екон} = 0,78$, а це означає що рівень рентабельності реалізації технології становитиме 78%;

- інтегральний показник ресурсоефективності при використанні мікрокремнезуму та корунду має найвищий рівень ($I_{рес.эф} = 4,7$) із порівнюваних, що свідчить про прийнятність запропонованих нами технологічних рішень.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Правові та організаційні питання забезпечення безпеки Правові норми трудового законодавства

Згідно з ТК РФ, № 197 - ФЗ працівник має право на:

- робоче місце, що відповідає вимогам охорони праці;
- обов'язкове соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань відповідно до федерального закону;
- відмову від виконання робіт у разі виникнення небезпеки для його життя і здоров'я внаслідок порушення вимог охорони праці, за винятком випадків, передбачених федеральними законами, до усунення такої небезпеки;
- забезпечення засобами індивідуального та колективного захисту відповідно до вимог охорони праці за рахунок коштів роботодавця;
- позачерговий медичний огляд відповідно до медичних рекомендацій зі збереженням за ним місця роботи (посади) і середнього заробітку під час проходження зазначеного медичного огляду.

Ергономічні вимоги до правильного розташування та компонування робочої зони

Працівник лабораторії працює у двох положеннях: сидячи (переважно) і стоячи. Робоче місце для виконання робіт сидячи організують у разі легкої роботи, яка не потребує вільного пересування працюючого, а також у разі роботи середньої тяжкості у випадках, зумовлених особливостями технологічного процесу. Категорії робіт - за ГОСТ 12.1.005-88. Конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів (сидіння, органи управління, засоби відображення інформації тощо) повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психологічним вимогам, а також характеру роботи. Робоче місце має бути організовано відповідно до вимог стандартів, технічних умов і (або) методичних вказівок з безпеки праці.

Електробезпека відповідно до ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ забезпечується: конструкцією електроустановок, технічними способами та засобами захисту, організаційними та технічними заходами[49].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | | | |
|---|---|---|--|
| 4. Підвищений рівень вібрації | + | - | |
| 5. Підвищене значення | + | - | |
| напруги в електричного ланцюга, замикання якої може відбутися через тіло людини | | | ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [4] СНиП23-05-2010 Природне і штучне освітлення [11] СН 2.2.4/2.1.8.566-96. 2.2.4 [12] |

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

1. Недостатня освітленість робочої зони

Недостатня освітленість робочої зони може виникати в разі неправильного розміщення джерел світла та освітлювальних приладів у робочому приміщенні, а також за світлового потоку, що нижчий за норму в 300 лк.

Світло впливає на фізіологічний стан людини, правильно організоване освітлення стимулює перебіг процесів вищої нервової діяльності та підвищує працездатність. За недостатнього освітлення людина працює менш продуктивно, швидко втомлюється, зростає ймовірність помилкових дій, що

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК

може призвести до травматизму. Залежно від довжини хвилі, світло може чинити збудливу (помаранчево-червоний) або заспокійливу (жовто-зелений) дію.

Мінімальна освітленість на робочих місцях не повинна відрізнятися від нормованої середньої освітленості в приміщенні більш ніж на 10% згідно з[53]. Система освітлення має бути сконструйована таким чином, щоб не існувало ні затінених зон, здатних викликати незручність, ні дратівливого сліпучого світла, ні небезпечного стробоскопічного ефекту на рухомих частинах через освітлення. Внутрішні елементи, що потребують частішої перевірки та регулювання, а також зони технічного обслуговування мають бути забезпечені достатнім освітленням.

До засобів нормалізації освітленості виробничих приміщень робочих місць належать:

- джерела світла;
- освітлювальні прилади;
- світлові прорізи;
- світлозахисні палатрої;
- світлофільтри;
- захисні окуляри.

2. Відхилення показників мікроклімату

Відхилення показників мікроклімату можуть виникати за невідповідності температури повітря і робочих поверхонь, відносної вологості повітря і швидкості його руху оптимальним або допустимим величинам, залежно від теплого або холодного періоду року.

Мікроклімат робочих приміщень повинен забезпечувати загальне і локальне відчуття теплового комфорту протягом 8-годинної робочої зміни за мінімального напруження механізмів терморегуляції і не викликати відхилень у стані здоров'я.

На зварювальних постах значення мікроклімату не повинні перевищувати значень, зазначених у таблиці 23.

Таблиця 23 - Оптимальні норми мікроклімату під час роботи в лабораторії

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------|
| Щільність магнітного потоку | У діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц | 250 нТл |
| | У діапазоні частот 2 кГц - 400 кГц | 25 нТл |
| Напруженість електростатичного поля | | 1,5 кВ/м |

Підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може статися через тіло людини

Інженеру-лаборанту на своєму робочому місці доводиться працювати з обладнанням, що перебуває під напругою 220В і промисловою частотою 50 Гц, тому виникає небезпека ураження електричним струмом. Усе обладнання має бути виконано відповідно до вимог.

Найпоширенішими причинами електротравматизму є:

- неправильного ведення робіт;
- поява напруги там, де її в нормальних умовах бути не повинно (на корпусах обладнання, на металевих конструкціях споруд), найчастіше це відбувається внаслідок пошкодження ізоляції;
- можливість дотику до неізольованих струмоведучих частин за відсутності відповідних огорожень;
- інші причини: неузгоджені та помилкові дії персоналу, подача напруги на установку, де працюють люди, залишення установки під напругою без нагляду, допуск до робіт на відключеному електрообладнанні без перевірки відсутності напруги.

Для того щоб уникнути можливості ураження електричним струмом, необхідно дотримуватися вимог, встановлених "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів".

Для запобігання випадкам електротравматизму на робочому місці рекомендується застосування електрообладнання класу 0. Крім цього, як

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

додатковий захист використовувати мережеві фільтри, джерела безперебійного живлення, використання закритих розеток.

Екологічна безпека

Гранично допустима концентрація домішок в атмосфері на території промислового підприємства не повинна перевищувати 30% шкідливих речовин.

Для очищення викидів в атмосферу, що відбуваються під час роботи з порошками, досить проводити уловлювання аерозолів і газоподібних домішок із забрудненого повітря. Для уловлювання аерозолів і частинок порошків, що виділяються в процесі роботи лаборанта, використовуються витяжна шафа з можливістю відведення пилу і частинок. Шафи під'єднані до загальної витяжної системи із системою грубого очищення, осаджування пилу та циклоном.

Велике значення для оздоровлення повітряного середовища має надійна герметизація обладнання, в якому відбувається робота з порошком. Через нещільності в з'єднаннях, а також унаслідок газопроникності матеріалів відбувається витікання газів, що перебувають під тиском, які містять частинки порошків.

Споживчі властивості води зумовили її широке використання в технологіях промислового виробництва. На підприємствах обробних виробництв 70-90% води використовуються як холодоагент, що охолоджує продукцію в теплообмінних апаратах, або для захисту окремих елементів машин і установок від надмірного нагрівання; 10-20% втрачається на випаровування або входить до складу виробленої продукції; 5 - 13% використовуються для очищення продукції або сировини від домішок, а також як транспортне середовище. Економія води при впровадженні систем оборотного і повторно-послідовного водопостачання в обробних галузях промисловості перевищує 90%.

Для контролю і значної економії води на виробництві варто організувати технічний облік води. Облік води дає змогу грамотно планувати споживання,

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

виявляти нераціональне використання, а також знижувати втрати води на основі аналізу облікових даних.

Поширення частинок порошоків чинить негативний вплив більшою мірою на ґрунт (літосфера), змінюючи його кислотно-лужний баланс, мікробіологічну та ферментативну активність. Попадання порошку в ґрунт може призвести до збіднення рослинного покриву, що зі свого боку негативно вплине на якість повітря.

Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпосередньо в лабораторії можуть виникнути вибух обладнання та пожежа.

Причиною вибуху може стати розгерметизація, іскра, удар блискавки. Під час вибуху утворюється осередок вибуху, ударна хвиля якого здатна спричинити масштабні руйнування. Також під час вибуху виникає світлове випромінювання - сукупність інфрачервоного, ультрафіолетового та видимого випромінювань[59].

Причиною пожежі в лабораторії може бути порушення технологічного режиму, коротке замикання, перевантаження і великі перехідні опори, зношення або корозія обладнання тощо.

Технологічний процес, що використовуються, відповідно належить до категорії Д, оскільки викомалтовує негорючі речовини в холодному стані. У цьому випадку джерелом загоряння може виявитися несправність і неправильна експлуатація електроустановок. Згідно з вимогами

протипожежної безпеки передбачені засоби пожежогасіння: вогнегасник ручний вуглекислотний ОУ-5, пожежний кран із рукавом і ящик із піском. Крім того, кожне приміщення обладнане системою протипожежної сигналізації. Пожежні сповіщувачі перетворюють неелектричні фізичні величини на електричні, які у вигляді сигналу певної форми спрямовуються дротами на приймальню станцію.[60] У лабораторії є 2 вогнегасники марки ОУ-2, які призначені для гасіння різних речовин і матеріалів, за винятком

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

лужноземельних елементів, а також електроустановок під напругою до 1000В. Під час гасіння електроустановок, що перебувають під напругою, не допускається підводити розтруб ближче ніж за 1 метр до електроустановки і полум'я.

На випадок виникнення надзвичайної ситуації має бути передбачено такий комплекс заходів: розосередження та евакуація; укриття людей у захисних спорудах; забезпечення індивідуальними засобами захисту; організація медичної допомоги постраждалим.

Висновок за розділом "Соціальна відповідальність"

Значення всіх виробничих факторів на досліджуваному робочому місці відповідає нормам, які також були продемонстровані в цьому розділі. Для мінімізації впливу цього фактора достатньо дотримуватися заходів, наведених у ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт стоячи. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги.

Категорія приміщення за електробезпекою згідно з ПУЕ відповідає першому класу - "приміщення без підвищеної небезпеки" Електробезпека згідно з ДСТУ 12.1.019-2017 ССБТ забезпечується: конструкцією електроустановок, технічними способами і засобами захисту, організаційними і технічними заходами.

Згідно з правилами з охорони праці під час експлуатації електроустановок персонал повинен мати І групу допуску з електробезпеки. Присвоєння групи І з електробезпеки проводиться шляхом проведення інструктажу, який повинен завершуватися перевіркою знань у формі усного опитування і (за необхідності) перевіркою набутих навичок безпечних способів роботи або надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Причиною пожежі в лабораторії може бути порушення технологічного режиму, коротке замикання, перевантаження і великі перехідні опори, зношення або корозія обладнання тощо.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.03.ЕДВМК | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Технологічний процес, що використовуються, відповідно належить до категорії Д, оскільки викомалтовує негорючі речовини в холодному стані. У цьому випадку джерелом загоряння може виявитися несправність і неправильна експлуатація електроустановок.

Розглянутий об'єкт, що чинить незначний негативний вплив на довкілля, належить до об'єктів III категорії.

Висновок

Метою роботи було дослідження структури та фізико-механічних властивостей модифікованих зразків алюмінієвого сплаву АД-31.

Автором роботи були проведені дослідження впливу відходів кремнієвого виробництва мікрокремнезему (мікросилікатного пилу) і дрібнодисперсного порошку корунду Al_2O_3 (наждачних відходів відрізних дисків) на структуру та властивості алюмінієвого сплаву АД-31 під час його модифікування.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.В | Арк. |
| .Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Цей алюмінієвий сплав було обрано як об'єкт дослідження, оскільки основний компонент сплаву - алюміній - характеризується великою поширеністю і за обсягами виробництва посідає друге місце після заліза.

Частина металографічних досліджень була реалізована в Запорізькому державному університеті. Там же була проведена плавка алюмінієвого сплаву АД-31 з додаванням як модифікаторів відходів порошку кремнієвого виробництва (мікрокремнезему марки МК-85) і порошку корунду (абразивного відходу від відрізних дисків).

У результаті проведених досліджень сформульовано такі основні висновки:

1. Виявлено позитивний вплив модифікуючих добавок з виробничих відходів на структуру і властивості сплаву - подрібнюється зерно, змінюється фазовий склад.

2. Введення в якості модифікатора порошку кремнієвого виробництва "Сіліціум Казахстан" (мікрокремнезему марки МК-85) не призвело до підвищення фізико-механічних властивостей алюмінієвого сплаву АД-31.

3. Однак з позицій збереження довкілля (утилізація відходів кремнієвого виробництва) ця технологія допустима для низки галузей промисловості.

3. Показано, що найбільш перспективним способом модифікування алюмінієвого сплаву АД-31 є введення під час його плавки порошку корунду (абразивного відходу від відрізних дисків). Цей спосіб призводить до істотного підвищення фізико-механічних властивостей сплаву. Так, модуль нормальної пружності підвищується з 92,7 ГПа для не модифікованого до 93,3 ГПа для модифікованого, твердість за Мартенсом - з 904 МПа до 956 МПа, за Брінелем *НВ*- з 51,0 до 61,2 відповідно. Значення межі міцності становило 214,2 МПа.

Це дає підставу вважати розроблений спосіб модифікування перспективним для технології литих алюмінієвих сплавів нового покоління.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КНУ.РМ.136.24.544с-12.В | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |