

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: Удосконалення технології лиття виливків з алюмінієвих сплавів під
НИЗЬКИМ ТИСКОМ

Виконав: магістрант групи ЛВ-23-1м _____ Баюн Р.В.

Керівник випускної роботи _____ Саїтгареев Л.Н.

Нормоконтролер _____ Саїтгареев Л.Н.

Завідувач кафедри _____ Савельєв С.Г.

Кривий Ріг

2024р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи складається з __ сторінок, __ рисунків, __ таблиць, __ використаних джерел.

Магістерська робота на тему «Удосконалення технології лиття виливків із алюмінієвих сплавів під низьким тиском» присвячена вивченню теоретичних передумов і практичних рекомендацій з отримання литих коліс із вторинних сплавів без погіршення якісних показників продукції

Метою роботи є удосконалення технології приготування та лиття під низьким тиском силуміну на основі первинного алюмінію А7, що забезпечує стабільність фізико-механічних та експлуатаційних властивостей автомобільних коліс

У першому розділі розповідається загальні поняття впливу чистоти розплаву на властивості алюмінієвих сплавів і якість литих деталей.

У другому описано методи та обладнання, які щастосовуються при дослідженнях .

У третьому розділі наведено результати досліджень якості сплавів та виливків легкосплавних коліс зі сплаву АК12 з підвищеним вмістом заліза.

У четвертому розділі оцінюємо результати досліджень з санітарно-екологічної точки зору та з'ясовуємо які шкідливі та небезпечні виробничі чинники, що впливають на організм працівника присутні на кожному етапі виробництва суміші для введення на них відповідної безпеки праці.

У п'ятому розділі оцінено результати досліджень з санітарно-екологічної точки зору а також визначено шкідливі та небезпечні виробничі чинники.

Для виготовлення литих коліс методом лиття під низьким тиском використовують силуміни, сировиною для яких слугують первинні шихтові матеріали: алюміній марок А85 і А8, кремній кристалічний, модифікуючі компоненти тощо.

Використання первинного алюмінію марки А7 дасть змогу зменшити собівартість литих коліс, при цьому знижує їхні механічні властивості через утворення включення фази Al-Fe-Si голчастої форми.

Проведені дослідження засвідчили, що одним зі шляхів отримання легкосплавних коліс з підвищеними експлуатаційними властивостями за умови збереження конкурентоспроможної собівартості, є зміна складу застосовуваного силуміну марки АК12 за допомогою використання сплаву з підвищеним вмістом заліза за умови збереження співвідношення Fe : Mn = 1 : 1.

Ключові слова: ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ, АЛЮМІНІЙ, ІНДЕКС ІЩІЛЬНОСТІ, ВТОРИННІ МАТЕРІАЛИ, ЗАЛІЗО, ПОРИСТІСТЬ, КОЛЕСО.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ ЗІ СПЛАВІВ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

1.1. Перспективні сплави для виготовлення коліс методом лиття під низьким тиском

1.2. Вплив чистоти розплаву на властивості алюмінієвих сплавів і якість литих деталей

Висновки

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1. Етапи технології виготовлення коліс

2.2. Методи оцінки забрудненості сплаву за неметалевими включеннями і воднем

2.3. Методи оцінки структури та властивостей алюмінієвих сплавів

2.4. Методи оцінки якості литих коліс

2.5. Моделювання процесу лиття коліс зі сплаву АК12

3. ВПЛИВ ЧИСТОТИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ В НИХ ЗАЛІЗА І МАРГАНЦЮ НА ВЛАСТИВОСТІ ВИЛИВКІВ

3.1. Аналіз впливу технології рафінування на якість виливків

3.2. Аналіз впливу вмісту заліза на рівень механічних властивостей виливків

3.3. Дослідження зміни властивостей колеса за окремими його зонами

3.4. Дослідження властивостей сплаву АК12 з різним співвідношенням Fe :Mn.

3.5. Розробка технології лиття легкосплавних коліс зі сплаву АК12 з підвищеним вмістом заліза

3.6. Висновки

4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АЛЮМІНІЄВОГО ЛИТТЯ

5. ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

σ_b - тимчасовий опір розриву, МПа

$\sigma_{0,2}$ - межа плинності умовна, МПа

δ - відносне подовження, %

ЛНТ - лиття під низьким тиском

Кд - коефіцієнт ураженості оксидними плінами, %

ЛПТ - лиття під тиском

НМВ - неметалеві включення

НВ - твердість за Брінелем

ВСТУП

Сплави на основі алюмінію посідають особливе становище серед конструкційних матеріалів. З одного боку, це пов'язано з можливістю досягнення унікального поєднання основних експлуатаційних властивостей (міцності, пластичності, корозійної стійкості тощо) з низькою щільністю (зокрема, порівняно зі сталлю і мідними сплавами). З іншого боку, алюміній належить до найпоширеніших у природі елементів, посідаючи за вмістом у земній корі третє місце (і перше серед металів, перевершуючи за цим показником мідь у 800 разів). Уже зараз він посідає міцне перше місце за обсягом виробництва і споживання серед усіх кольорових металів. Усе це свідчить про хороші перспективи збільшення його виробництва і споживання.

Однак існує актуальна проблема, пов'язана з необхідністю значного зниження собівартості продукції з алюмінієвих сплавів (у вигляді фасонних виливків, злитків, деформованих напівфабрикатів) при збереженні (а бажано при підвищенні) основних експлуатаційних і технологічних характеристик.

Марочні алюмінієві сплави, орієнтовані на застосування у відповідальних виробках, зазвичай, мають суворі обмеження щодо домішок, насамперед, це стосується заліза. Такі суворі обмеження вимагають застосування алюмінію підвищеної чистоти, що, у багатьох випадках, призводить до вкрай високої собівартості сплаву, а отже, вартості готових виробів.

На підставі аналізу літературних даних щодо стану технологій виробництва автомобільних коліс із легких сплавів сформульовано наступну мету роботи - удосконалення наскрізної технології приготування та лиття під низьким тиском силуміну на основі первинного алюмінію А7, що забезпечує стабільність фізико-механічних та експлуатаційних властивостей автомобільних коліс.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- запропонувати й обґрунтувати методи оперативного контролю забрудненості ливарних сплавів типу силумінів воднем і оксидними плінами;
- виконати експериментальні дослідження з пошуку співвідношення заліза та марганцю, що забезпечує стабільність фізико-механічних та експлуатаційних властивостей автомобільних коліс;
- дослідити процес формування коліс під час лиття під низьким тиском за часом затвердіння та розподілом пористості за об'ємом колеса при різному вмісті в силіміні заліза;
- надати рекомендації щодо впровадження технології приготування і лиття під низьким тиском виливків із силуміну.

Для вирішення поставлених завдань було застосовано методи: індексу щільності, технологічної проби; контролю рівня механічних властивостей; ресурсних випробувань виливків, що забезпечило достовірність одержаних результатів, для опрацювання яких використовувалися стандартні комп'ютерні програми.

Практичну значущість мають такі результати роботи:

1. Методи оперативного контролю водню та оксидних плін у виробничих умовах - індекс щільності і метод технологічної проби дають змогу підвищити показник відтворюваності процесу приготування сплаву в 2 рази.

2. Рекомендований сплав типу силумін на основі первинного алюмінію для виготовлення виливків методом лиття під низьким тиском забезпечує високий рівень їх механічних властивостей, на 25 % краще за межею умовної плинності, на 15 % краще за тимчасовим опором на розрив і на 40 % за відносним подовженням ніж при серійній технології.

1. ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ ЗІ СПЛАВІВ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

В промисловості різних країн дедалі ширше застосовують легкі сплави для виробництва коліс методом лиття під низьким тиском. Використання алюмінієвих сплавів (силумінів) замість сталі зумовлено їхніми високими фізико-механічними та ливарними властивостями .

Сферу використання цих сплавів може бути розширено за рахунок розробок, що знижують екологічну небезпеку технологічних процесів і підвищують рівень їхніх механічних і технологічних властивостей.

Завдяки дослідженням вітчизняних і зарубіжних учених А.В. Курдюмова, М.В. Пікунова, В.М. Чурсіна, В.Г. Саньяна, В.І. Нікітіна, Рі Хосена та багатьох інших створені наукові засади плавки й кристалізації кольорових металів і сплавів.

1.1. Перспективні сплави для виготовлення коліс методом лиття під низьким тиском

Нині автомобільні колеса виготовляють із таких сплавів:

- сталь, з якої виготовляють недорогі стокові колеса;
- алюмінієві сплави, що використовуються для виготовлення легкосплавних коліс;
- магнієві сплави, що застосовуються насамперед для коліс перегонових автомобілів;
- інші сплави, які також використовують для виготовлення легких і міцних коліс.

Перевагою сталевих коліс є їхня:

- низька вартість;
- пластичність, що дає змогу сталевим колесам під час їхнього удару деформуватися, причому певною мірою зберігається геометрія колеса;
- можливість відновлення сталевих коліс після ушкоджень, стандартне зам'яття ободів коліс може бути усунуто прокаткою.

До недоліків сталевих коліс можна віднести низьку корозійну стійкість сталі, тому такі колеса доводиться захищати спеціальними покриттями. Порівняно з колесами, отриманими з інших металів, сталеві колеса мають доволі велику вагу, зменшення якої тягне за собою зниження характеристик міцності.

Колеса з магнію дуже легкі та досить міцні. Через складність в обробці та реакцію на високі температури, процес виробництва коліс з магнію вимагає великого професіоналізму і застосування першокласного обладнання. Тому магнієві сплави використовуються тільки при виробництві коліс для категорій "racing" і "supercar".

В автомобільній промисловості використовують сплави алюмінію з кремнієм, магнієм, марганцем і низкою інших елементів. Їхньою перевагою є -

мала вага і міцність, вони мають вищі, ніж сталь, теплопровідність, електропровідність і корозійну стійкість.

У роботі [1] зазначається, що з алюмінієвих сплавів найбільшого поширення набули такі:

- AlSi7: Сплав з алюмінію і кремнію, який добре переносить термічну обробку.
- AlSi10/11: Сплав з алюмінію і кремнію, який гірше піддається термічній обробці і менш стійкий до навантажень і механічного опору загалом.

Нині розвиток автомобільної індустрії спрямований на поступове зменшення частки сталі завдяки освоєнню високоміцних конструкційних алюмінієвих і магнієвих сплавів, а також піносплавів і композиційних матеріалів (зокрема багатошарових) на основі алюмінію і магнію.

Однак, слід враховувати низку об'єктивних чинників, що гальмують широке застосування алюмінієвих сплавів:

- масовий експорт алюмінію та його сплавів за кордон;
- брак конструкторських розробок із заміни чорних сплавів на алюмінієві;
- технологічні проблеми в досягненні необхідних властивостей (міцності, жароміцності, зварюваності та ін.) деталей з алюмінієвих сплавів.

Особливо слід виділити проблему отримання алюмінієвих сплавів з брухту, так званих вторинних сплавів.

Виділимо деякі проблеми в технологіях алюмінієвого лиття (таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 - Проблеми в технологіях алюмінієвого лиття.

Проблеми	Одержуваний результат
Нестабільність якості шихтових металів, складу шихти і відсутність об'єктивного контролю якості шихтових матеріалів	Нестабільність хімічного складу, якості розплаву, брак виливків, занижений рівень механічних властивостей
Застосування морально застарілих плавильних печей	Невисока продуктивність, надлишкові втрати металу в шлак, мікронеоднорідна будова розплаву.
Необґрунтоване розмаїття реагентів для обробки розплаву (рафінування, модифікування), відсутність експресметодів оцінки якості розплаву плава	Слабкі ефекти обробки розплаву, забруднення атмосфери, нестабільність якості розплаву і виливків
Застосування морально застарілих марок сплавів і способів лиття	Низький рівень міцнісних властивостей, надмірно масивні ливниково- живильні системи, занижені коефіцієнти використання металу і виходу придатного
Обмежене застосування комп'ютерних програм і технологій проектування, моделювання та контролю	Підвищена витрата металу на живлення виливків, нестабільність техпроцесу, збільшення виробничого циклу

Кінцевий результат незадовільного стану технологій конструювання виливків, плавки, лиття та контролю якості - це отримання надмірно важких виливків; великі втрати металу від браку; невисокий вихід придатного; отримання дорогих виливків і невисокі механічні властивості сплавів у деталях.

Для виходу з складного становища потрібне інноваційне комплексне розв'язання проблеми.

Аналіз ситуації в галузі алюмінієвого дає змогу сформулювати деякі перспективні напрямки робіт:

1. Виконання комплексу досліджень, спрямованих на підвищення якості чушкових вторинних сплавів на підприємствах-постачальниках. Слід переглянути і посилити вимоги до сплавів щодо інтервалів (меж) вмісту легуючих елементів і домішок; вмісту водню і неметалевих домішок; вмісту водню і неметалевих включень; параметрів структури і рівня механічних властивостей; збільшення частки вторинних сплавів у виробництві виливків до 40-60 %; використання явища структурної спадковості; визначення оптимальних складів шихти для кожної марки сплаву.

2. Використання сучасних способів підготовки шихтових металів і якісної обробки розплавів. Особливу увагу слід звернути на пріоритетні технології, які дають змогу вирішувати в комплексі багато завдань. Вкрай ефективні дрібнокристалічні модифікатори, отримані за спеціальними технологіями з переплавів оброблюваних сплавів і лігатур. Перспективними є фізико-механічні способи обробки розплавів: ультразвукова, магнітно-імпульсна, температурночасова, фільтраційна тощо.

3. Підвищення міцності та зменшення маси виливків завдяки застосуванню сучасніших спеціальних способів лиття (лиття під тиском (ЛПТ) з вакуумуванням і з підпресуванням, ЛНТ з різними варіантами протитиску, витягування з розплаву) і комп'ютерних програм (САПР "Виливок", "Полігон", LVM Flow та ін.).

4. Організація жорсткого і безперервного контролю структури і фізичних, механічних і ливарних властивостей сплавів у рідкому і твердому станах і якості виливків.

Витрати на виготовлення виливків можуть бути помітно знижені за рахунок застосування при приготуванні сплавів дешевших шихтових матеріалів. Однак у цьому разі обов'язковим є ретельне рафінування розплавів від водню, металевих домішок і неметалевих включень (НМВ).

Конкурентність вторинних сплавів на ринку металу помітно зросла, що зумовлено не тільки їхньою меншою вартістю, а й широким застосуванням під час їхнього виробництва, технік комплексного перероблення початкової сировини і позапічної рафінуючої та модифікуючої обробки розплавів.

Слід зазначити, що немає стандартних рішень за хімічним складом вторинних сплавів, які могли б за властивостями бути повною мірою аналогами первинних, що раніше застосовувалися на цих заводах.

Простої, легкої заміни первинного сплаву вторинним, як правило, зробити не вдається. Дослідженнями доведено, що сплави, які відповідають ГОСТ 1583-93 за хімічним складом і властивостями, але приготовані з первинних металів або відходів (брухту, повернення власного виробництва, стружки, шлаку, зливів, бракованих деталей і виливків) часто істотно різняться за структурою і технологічними властивостями. У зв'язку з цим для адаптації вторинного сплаву до конкретних умов виготовлення виливки і вимог, які

висуває до неї конструкторська документація, потрібні всебічні дослідження його структури і властивостей .

У разі використання низькосортної шихти для виготовлення деталей автомобілів технології плавки і лиття алюмінієвих сплавів повинні адаптуватися до конкретних виробничих умов і вимог, що висуваються до деталі (вилівки) конструкторською документацією .

Це можна пояснити тим, що використання підвищеної кількості низькосортної шихти під час виплавляння алюмінієвих ливарних сплавів значно знижує їхні властивості: сприяє насиченню газами, неметалевими включеннями, призводить до неминучого накопичення небажаних домішок, зокрема й заліза, яке утворює з компонентами сплавів складні інтерметалеві сполуки, що призводять до зниження пластичності та корозійної стійкості, погіршення обробки виливків різанням .

Вимоги, що висуваються до коліс з легких сплавів, викладені в ГОСТ Р 50511-93 "Колеса з легких сплавів для пневматичних шин". Загальні технічні вимоги". Відповідно до цього ГОСТ механічні властивості матеріалів коліс повинні відповідати вимогам, наведеним у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості матеріалів коліс [2].

Вид матеріалу	Механічні властивості			
	Тимчасовий опір на розрив, МПа	Межа плинності, МПа	Відносне подовження, %	Твердість за Брінелем, НВ
Нетермооброблений	160	80	5	45-60
Термооброблюваний	210	140		75-95

Як впливає з таблиці 1.2, сплав для виготовлення литих автомобільних коліс повинен мати високий рівень механічних властивостей: міцності, пластичності та твердості.

Крім хороших механічних і експлуатаційних властивостей сплав повинен мати високі технологічні властивості: хорошу рідиннотекучість, малу схильність до утворення гарячих тріщин. Сплав повинен мати невелику усадку, краще у вигляді усадочної пористості .

1.2. Вплив чистоти розплаву на властивості алюмінієвих сплавів і якість литих деталей

Рафінування алюмінію та його сплавів - це технологічна операція, без якої, так чи інакше, не обходиться жодне ливарне підприємство .

Це пов'язано насамперед із використанням у шихті підвищеної кількості низькосортних матеріалів, оскільки первинні матеріали досить дорогі, а виробництво останнім часом збільшується .

Нині для видалення з алюмінієвих сплавів неметалевих включень застосовують такі методи рафінування: рафінування хлористими солями; продування нейтральним газом; продування хлором і фільтрація.

Рафінування алюмінію об'єднує процеси дегазації та очищення розплавів від твердих включень. Під час вибору способів очищення або їхніх комбінацій враховують специфічність взаємодії окремих сплавів з газами й оксидами, різноманітність вимог до ступеня чистоти металу, відмінності в ефективності методів залежно від умов застосування.

Способи рафінування за впливом на розплавлений алюміній поділяють на неадсорбційні та адсорбційні.

До неадсорбційних способів належать відстоювання, вакуумування, обробка ультразвуком, постійним струмом і деякі інші. За неадсорбційних методів рафінування оксидні включення і водень видаляють під впливом, що чиниться на всю масу металу.

До адсорбційних методів належать фільтрування, обробка флюсами, нейтральними або активними газами або летючими галогенідами. За адсорбційних методів розплав стикається з рафінуючим засобом, що взаємодіє з оксидними включеннями і газами (воднем), і видаляє їх із розплаву.

У роботі [3] наголошується, що численні способи рафінування алюмінієвих сплавів, які використовують у металургійній практиці, можна звести до п'яти основних груп, виходячи з відмінностей у характеристиках рафінуючих середовищ.

Відстоювання. Очищення розплавів відстоюванням ґрунтується на різниці щільності металу і включень, через що витримка розплаву без перемішування сприяє спливанню або осадженню включень.

Цей метод застосовують після замішування флюсу, тугоплавких металів або лігатур або після інтенсивного перемішування розплаву для вирівнювання хімічного складу. Як самостійний процес відстоювання застосовується в тих випадках, коли включення досить віддалені одне від одного і розмір частинок не надто малий. Але і в цих випадках процес йде повільно, вимагає підвищеної витрати палива і виявляється малоефективним. Тому, як правило, відстоювання застосовують у поєднанні з обробкою розплаву флюсами або продуванням газами.

На практиці відстоювання застосовують, в основному, для очищення розплаву від грубих включень. Однак осідання грубих включень може сповільнюватися адсорбованим на їхній поверхні воднем.

Більша частина неметалевих включень осідає на дно мікзера. Швидкість осадження залежить від газовмісту розплавів: зі збільшенням газовмісту швидкість осадження зменшується. Процес відстоювання призводить і до деякої дегазації внаслідок перенесення водню, адсорбованого на твердих частинках, у верхні шари ванни (спливання Al_2O_3) або в донні шари (осідання Al_2O_2) і переходу розчиненого в металі водню через дзеркало розплаву в атмосферу печі. Процес дегазації в цьому випадку прискорюється, якщо з дзеркала металу зчищати оксидну пліну або в разі присутності в складі сплаву компонента, що руйнує суцільність (газопроникність) пліни.

До недоліків цього способу відноситься те, що його проводять на такій стадії технологічного процесу, коли не виключається подальше забруднення розплаву під час переливання розплаву; тривале відстоювання (понад 60 хв)

призводить до укрупнення структури, зростання інтерметалевих сполук, а також до втрати продуктивності плавильно-ливарних агрегатів .

Вакуумна обробка розплаву. Процес дегазації під час вакуумування ґрунтується на тому, що під час зниження загального тиску над розплавом виділяється розчинений водень не тільки через дзеркало розплаву, а й у його об'ємі у вигляді бульбашок .

Зі зниженням зовнішнього тиску над розплавом рівновага системи метал - розчинений газ, що встановилася під час плавки, зміщується в бік менших концентрацій газу, що створює сприятливі умови не тільки для дифузії розчиненого газу в напрямку до вільної поверхні, а й для виникнення та зростання газових бульбашок.

Повнота дегазації залежить від багатьох чинників: тривалості вакуумування, питомої величини вільної поверхні, глибини ванни металу, щільності оксидної пліни на поверхні розплаву, його температури, величини залишкового тиску тощо. Дегація тим повніша, чим менша величина залишкового тиску над розплавом і більший час вакуумування .

Таким чином, з алюмінієвих сплавів можна досягти видалення деяких домішок (цинк, магній). При дегазації металу також відбувається його часткове очищення від твердих включень. При цьому ефект очищення буде тим вищим, чим вищий вихідний газовміст розплаву. У роботі [4] зазначено, що динамічне вакуумування - один із найефективніших методів зниження вмісту натрію в алюмінієвих сплавах.

Представлені в роботі [5] дані свідчать, що вакуумно-плазмова обробка розплаву дає змогу одержати характеристики міцності в деформованих сплавах на рівні тестованих (метал із чушки) за вмісту відходів у шихті до 80 %. При рафінуванні металу холодним аргоном у вакуумі таких значень властивостей досягають у сплавах із шихти, кількість металовідходів у якій не перевищує 50 %.

Ультразвукова обробка. Обробка розплаву ультразвуком викликає в ньому кавітацію - розрив суцільності рідкої фази з утворенням пустот, у які, як у вакуум, дифундує розчинений у ньому водень. У результаті утворюється мікропорожнина, заповнена газом. Ультразвук об'єднує мікропустоти до помітних розмірів бульбашок, прискорюючи процес дегазації. Бульбашки, досягаючи певної величини, піднімаються до поверхні, і водень виходить за межі розплаву [6].

Дегація обробкою розплавів постійним струмом. Цей метод залишається поки що на стадії експериментального випробування. Першими відкрили взаємозв'язок впливу на розплав постійного струму і концентрації в ньому розчиненого водню А. Г. Спаський і Д. П. Ловцов. За запропонованою ними схемою після проходження струму через розплав у режимі: сила струму 5 А, напруга 10 В, щільність струму 0,5-3 А/см² протягом 15 хв знижувалася його газонасиченість.

Автори припустили, що водень перебуває в металі у вигляді позитивно зарядженого іона і зосереджується в прикатодному просторі. Відбирані експериментальні проби підтвердили це. Дегацію прианодного простору і,

отже, всього оброблюваного постійним струмом розплаву можна використовувати у виробничих умовах.

Створення над дзеркалом розплаву інертної атмосфери. Алюмінієві сплави від розчинених газів можна рафінувати створенням над дзеркалом розплаву інертної атмосфери. При вибудовуванні такої системи відбувається помітна дегазація розплаву, тривалість процесу визначається швидкістю дифузії розчиненого в металі водню до поверхні розділу фаз. З огляду на вплив швидкості дифузійного вирівнювання концентрації водню, рекомендується перемішувати розплав, що прискорить очищення металу від водню. Однак дегазуюча дія атмосфери зменшується при збільшенні в її складі концентрації водню. Зниження парціального тиску водню в атмосфері печі досягають створенням потоку рафінуючого газу над поверхнею розплаву.

Метод рафінування продуванням розплаву газами. Дегазація продуванням газами заснована на двох процесах:

- 1) дифузії розчиненого газу в бульбашки газу, що продувається,
- 2) адсорбуючої дії продувального газу по відношенню до неметалевих включень і найдрібніших газових бульбашок.

Дифузія водню в бульбашки продувального газу відбувається внаслідок різниці парціальних тисків його в металі та бульбашці. Відповідно до закону Дальтона, перехід розчиненого газу з металу в бульбашку газу, що продувається, відбуватиметься доти, доки парціальні тиски не зрівняються. Однак така рівновага настати не може, тому що водень, розчинений у металі, перебуває в атомарному стані, а водень, що проник у бульбашку, - у молекулярному. При цьому, незалежно від тривалості перебування бульбашки продувального газу в розплаві, парціальний тиск атомарного водню в ньому буде близьким до нуля.

Оскільки дифузія водню в алюмінієвих розплавах протікає з малою швидкістю, а час перебування бульбашок газу, що продувається, в розплаві порівняно малий, дегазація за рахунок дифузії йде повільно. Зменшення газовмісту на початку продувки досягається головним чином унаслідок видалення найдрібніших бульбашок молекулярного водню, які не спливали навіть за тривалого вистоювання. Під час проходження через розплав порівняно великих бульбашок газу, що продувається, найдрібніші бульбашки молекулярного водню адсорбуються на їхній поверхні і видаляються в атмосферу. Одночасно видаляються і неметалеві включення, зокрема й ті, які утворюють з воднем стійкі комплекси $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}$. Для досягнення максимального очищення розплаву від неметалевих включень і газу необхідно, щоб бульбашки продувального газу мали малі розміри, рівномірно пронизували весь його об'єм і повільно піднімалися в розплаві. Чим більші бульбашки, тим триваліший час продування, необхідний для досягнення однакового ступеня очищення.

Рекомендується застосовувати очищені від кисню і вологи гази, оскільки ці домішки сприяють утворенню оксидної пліни на поверхні бульбашок, що ускладнює дифузійне проникнення в них розчиненої в металі води, і ефект очищення різко знижується. Навіть невелика домішка кисню, води в інертному

газі, що застосовується, істотно знижує ефект дегазації сплавів. Тому під час вибору рафінуючого газу звертають увагу на ступінь їх забрудненості зазначеними домішками. Вміст домішок у газах, що випускаються вітчизняною промисловістю, показано в таблиці 1.3 [4].

Таблиця 1.3 - Вміст домішок у газі.

Газ	O ₂ (N ₂), об.%	Волога, г/м ³
Азот:		
особливої чистоти	0,001	0,005
сорт вищий	0,005	0,005
сорт I	0,4	0,070
II	1,0	-
III	3,0	-
Аргон: сорт		
вищий сорт	0,000 7 (0,006)	0,007
I	0,002 0 (0,010)	0,010
Хлор	-	0,05

Гази, що рафінують, можна розділити на дві основні групи: нейтральні та активні. До першої групи належать гази, що не вступають у хімічну взаємодію з алюмінієвим розплавом, до другої - хімічно активні за температури рафінування газу, які утворюють з алюмінієм або компонентами сплаву хімічні сполуки. Деякі фізичні властивості газів, що використовуються під час рафінування алюмінієвих сплавів, наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Фізичні властивості рафінуючих газів

Характеристика	Газ			
	He	Ar	N ₂	Cl ₂
Атомний номер	2	18	7	17
Молекулярна маса	4,003	39,948	28,013	70,906
Щільність (t = 0 °С, p = 0,1 МПа), кг/м ³	0,178	1,784	1,251	3,214
Температура плавлення (p = 0,1 МПа), °С	272,2	-189,4	-210	-101,6
Температура кипіння (p = 0,1 МПа), °С	268,9	-185,7	-195,8	-34,05
Щільність рідини при температурі кипіння, кг/м ³	124,9	1400	810	1560
Кількість газу, що утворюється при випаровуванні м ³ , м ³	700,3	784	647,7	492,8

Найбільш широке поширення з інертних газів у металургії набув аргон, який недефіцитний, порівняно дешевий і може бути отриманий у будь-яких кількостях. Аргон нетоксичний і невибухонебезпечний, але він важчий за повітря і може накопичуватися біля підлоги, у підвалах і примітках слабопрвітрюваних приміщень, знижуючи тим самим вміст кисню .

У роботі [7] запропоновано комбінований спосіб із використанням двох рідин, що не змішуються, які імітують метал і флюс, встановлено, що верхня рідина за певних умов емульгується в нижню, важчу.

Розглянутий метод обробки порівняно з відомою обробкою алюмінієвих розплавів сумішшю інертного (або нейтрального) газу і пилоподібного флюсу дає змогу:

- істотно збільшити міжфазну поверхню взаємодії рафінуючих реагентів з оброблюваним розплавом, що створює реальні передумови для підвищення ефективності видалення водню і неметалевих включень з рідкого металу, зменшення тривалості рафінування та зниження витрат газу і флюсу під час рафінування;

- спростити пристрій для введення флюсу в оброблюваний розплав, зробивши його надійним в експлуатації.

До групи нейтральних газів належить також і азот, широко розповсюджений як рафінуючий газ під час обробки алюмінієвих розплавів. Перед введенням у розплав з азоту видаляють вологу і кисень. Азот вводять через графітові або кварцові трубки, забезпечені насадками з діаметром отворів 1-2 мм під надлишковим тиском 0,07-0,15 атм. Тривалість продування коливається від 5 до 15 хв. Витрата азоту становить 0,3-1,0 % від ваги сплаву .

Присутність магнію в сплаві істотно посилює взаємодію азоту з розплавом, у результаті чого спостерігається утворення нітриду магнію. Дослідження показали, що під час продування розплаву алюмінію азотом за температури 730-740°C утворення нітридів відбувається за вмісту магнію понад 2 % .

При рафінуванні розплаву інертними газами найбільший ефект дає застосування пористих діафрагм. Пористі діафрагми виготовляють із різних вогнетривких матеріалів (корунд, графіт). Ефект рафінування при застосуванні пористих діафрагм зростає внаслідок подрібнення бульбашок газу і різкого збільшення його кількості в розплаві.

Серед активних газів найширшого поширення набув хлор. Ефективність очищення в даному випадку зростає - забрудненість неметалевими включеннями може бути знижена до $0,05 \text{ мм}^2 / \text{см}^2$, а газовміст - до $0,04-0,08 \text{ см}^3 / 100 \text{ г металу}$. На відміну від азоту при рафінуванні алюмінієвих розплавів хлором утворюються субхлориди алюмінію, а на кінцевій стадії - хлористий алюміній і хлористий водень. Ці продукти мають високу пружність пари і перебувають у розплаві в пароподібному стані, у вигляді дрібних бульбашок, які спливають значно повільніше, ніж бульбашки хлору. Обробка хлором супроводжується зменшенням поверхневої активності неметалічних включень, що призводить до утворення сипучих дросів. Шлак, що знімається, майже не містить корольків металу.

Розплави зазвичай продувають хлором у герметичних камерах або ковші, що має кришку з відведенням газів, що відходять, у вентиляційну систему. Для продування повинен використовуватися очищений хлор. Рафінування ведуть за температури 710-720°C протягом 10-12 хв за надлишкового тиску хлору 0,1-0,15 атм. Витрата хлору становить 0,2-0,8 % від маси сплаву. Застосування неочищеного хлору істотно знижує ефект рафінування .

Рафінування хлором виявляється ефективнішим, ніж азотом або аргоном. Однак через високу токсичність його застосування обмежене. Для зменшення негативного впливу хлору на навколишнє середовище і обслуговуючий персонал, а також для збереження необхідного рівня очищення сплавів, випробувано інертні гази з домішкою хлору в кількості до 5-10 %. Така суміш дає настільки ж високий ефект рафінування, як і чистий хлор, хоча тривалість процесу очищення дещо збільшується порівняно з тривалістю обробки розплавів чистим хлором.

Рафінування флюсами. Механізм очищення від зважених неметалевих включень ґрунтується на витяганні їх з розплаву за рахунок адсорбції, розчинення або хімічної взаємодії з розплавленими солями. Ефективність очищення досягається тоді, коли флюси змочують неметалеві включення краще, ніж метал. У результаті змочування розмір включень збільшується, і вони осідають або спливають з більшою швидкістю, ніж до обробки флюсом.

Частина включень видаляється також внаслідок флотуючої дії бульбашок пари, що утворюється в процесі дисоціації складових флюсу.

Ефективність рафінування залежить від повноти опрацювання флюсом усієї товщі розплаву. За невеликих обсягів розплаву це досягається ретельним перемішуванням під час рафінування або пропусканням струменя металу через шар рідких солей під час розливання. У печах же великої ємності досягти такого опрацювання практично неможливо. Тому забрудненість злитків алюмінієвих сплавів після рафінування флюсами залишається все ще значною і становить 0,15-0,40 мм²/см² за технологічною пробою.

Обробка флюсом супроводжується і дегазацією сплавів. Дегазуюча дія флюсу менш ефективна, ніж хлору. У виробничих умовах цим способом можна довести газовміст до 0,2-0,25 см²/100 г металу.

Для рафінування алюмінієвих сплавів застосовують флюси, що становлять суміш галоїдних солей лужних і лужно-земельних металів.

Найкращу рафінуючу здатність мають флюси, до складу яких входять фтористі солі - кріоліт, плавиковий шпат, фтористий натрій тощо. Склад деяких флюсів наведено в таблиці 1.5. Найширшого промислового застосування набув флюс із 23 % кріоліту.

Таблиця 1.5 - Склад флюсу для рафінування алюмінієвих сплавів.

Склад флюсу, %						Область застосування
KCl	NaCl	Na ₃ AlF	MgCl ₂ - KCl	CaF ₆	NaF	
47,0	30	23	-	-	-	Для всіх алюмінієвих сплавів, крім Al-Mg і Al-Mg-Si; температура рафінування становить 700-750 °C
-	-	-	60	40		Для Al-Mg і Al-Mg-Si; температура рафінування становить 715-770 °C
			80	20		Те саме

11,5	56,5	7	-	-	25	Для сплавів системи Al-Si, універсальні, рафінуючі та модифікуючі флюси, що дифікують
10,0	50,0	10			30	Те саме
-	45,0	15			40	
	25,0				60	

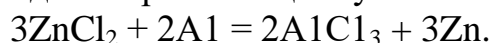
Нині номенклатура флюсів, що випускаються, доволі велика, і вибір препарату залежатиме від вимог до нього. Наприклад, ПП "САС інженерна компанія" для видалення оксидів, дегазації та виведення алюмінію зі шлаку пропонує препарат PROBAT-FLUSS AL 2126. Норма витрати такого препарату становить 0,05-0,2 %. Автори зазначають також, що цей препарат зменшує втрати алюмінію під час плавки щонайменше на 1 % [8].

Необхідна умова застосування флюсів - ретельне просушування або переплавлення їх з метою видалення адсорбційної та кристалізаційної вологи.

Рафінування розплавів хлористими солями. Цей вид очищення розплавів ґрунтується на їхній летючості, термічній дисоціації та здатності вступати в обмінні реакції з компонентами сплаву.

Для рафінування алюмінієвих сплавів застосовують хлористий цинк, хлористий марганець, гексахлоретан, хлористий бор, чотирихлористий титан і низку інших хлоридів. Через гігроскопічність хлористі солі перед рафінуванням сушать або переплавляють. Залежно від ступеня забрудненості розплавів кількість хлоридів, що вводяться для рафінування, коливається в межах 0,05-0,5 % від маси сплаву. Введення більшої кількості обмежується можливістю забруднення розплаву металевими домішками .

Хлористі солі взаємодіють з алюмінієм, утворюючи хлористий алюміній, який кипить за 180°, тому в розплаві він перебуває в пароподібному стані. Взаємодія хлористого цинку з алюмінієм відбувається за реакцією :



Пари хлористого алюмінію захоплюють із собою бульбашки газів. Хлористий цинк має бути зневоднений, для чого його попередньо розплавляють і відливають у формочку. У плавленому вигляді сіль зберігається в сушильній шафі. Введення хлористого цинку в розплав здійснюють за допомогою дзвоника [3].

Переваги рафінування алюмінієвих сплавів хлористим цинком або хлористим марганцем - простота реалізації методу у виробничих умовах і невисока вартість реактивів.

Недоліки: спосіб важко здійснити за необхідності рафінування великих місткостей, наприклад металу в тритонних ковшах: відновлений з хлориду метал переходить до складу алюмінієвого розплаву, що в деяких випадках абсолютно неприпустимо.

Використання гексахлоретану є більш прийнятним, оскільки він є малогігроско-пічним і під час взаємодії з алюмінієм не утворює елементів, що

розчиняються в рідкому алюмінії. Істотний недолік - токсичність продуктів взаємодії, що виділяються при цьому.

Застосування хлор- і фторвмісних реагентів для рафінування супроводжується втратами алюмінію внаслідок утворення галогенідів алюмінію .

Таблетовані препарати. Наразі НВП "Евтектика" пропонує таблетовані препарати для рафінування алюмінієвих сплавів. Розробники зазначають, що пропонований ними препарат забезпечує глибоке об'ємне рафінування і подрібнення структури ливарних сплавів на основі алюмінію. Підвищує пластичні властивості металу. Витрата такого препарату становить 0,05 % до маси рідкого розплаву [9].

Фільтрація. Сутність методу полягає в пропусканні рідких розплавів через фільтри.

В алюмінієвій промисловості для очищення розплаву від неметалевих включень використовують такі типи фільтрів: фільтри зі склосітки, з пінокераміки, насипні та керамічні трубчасті .

Висновки

Аналіз літературних джерел показав, що наразі актуальним для промисловості є завдання створення технології виготовлення виливків, що охоплює приготування алюмінієвих сплавів на основі шихти зниженої якості, технологію їхнього лиття під низьким тиском.

Стосовно сплавів типу силумінів, розробка нових способів їхнього рафінування та модифікування дає змогу істотно підвищити їхню якість і розширити сфери застосування.

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Вітчизняний і зарубіжний досвід металургії алюмінієвих сплавів засвідчує, що отримання якісних сплавів за мінімальних витрат на їх виробництво має вирішальне значення в сучасних умовах.

Високі вимоги до технології приготування сплавів і лиття коліс встановлюють і високі вимоги до оперативного контролю якості. Забезпечення вимог ГОСТ Р 50511-93 до структури і рівня механічних властивостей коліс, з одного боку, і отримання високих технологічних властивостей сплаву, з іншого, потребує системного й оперативного контролю якості металу.

2.1. Етапи технології виготовлення коліс

Технологія виготовлення колеса являє собою замкнутий виробничий цикл, починаючи з віртуальної підготовки до виробництва (рисунок 2.1).

Процес виготовлення коліс починається з етапу моделювання, на якому здійснюється розрахунок режиму лиття, розробляється програма для верстатів дільниці механічного оброблення та лінії фарбування. Програмне забезпечення дає змогу проводити віртуальні випробування колеса на етапі його проектування. Під час цього випробування можна визначити, як колесо поводитиметься під час стендових випробувань і в реальних умовах експлуатації. Віртуальні випробування з великою точністю дають змогу виявити й усунути на етапі проектування слабкі місця конструкції колеса.

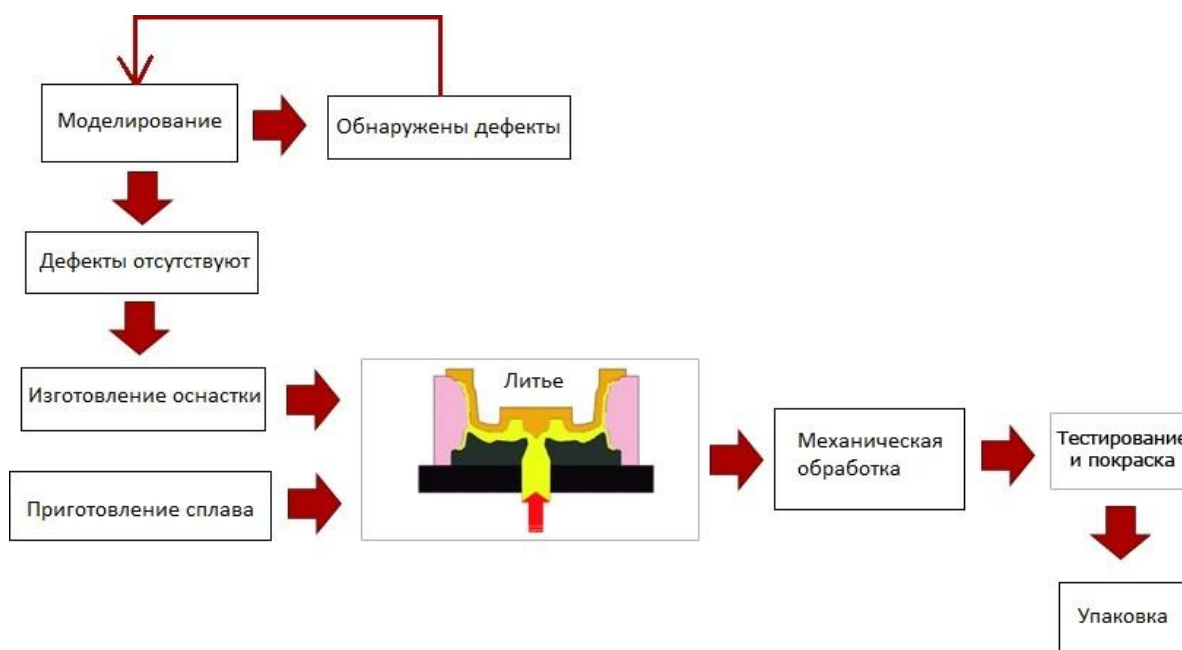


Рисунок 2.1 - Схема технологічного процесу

Наступним і одним із головних етапів у процесі створення колеса є виготовлення прес-форми. Виробництво прес-форми - технологічно складний процес, що вимагає наявності спеціалізованого обладнання. Правильність виготовленої прес-форми визначає якість виливків і готової продукції.

Пресформа виготовляється з високолегованої інструментальної сталі, що витримує температуру до 800 °С.

Приготування розплаву в лабораторних умовах здійснювали в індукційних плавильних печах. Лиття заготовок виконується на ливарних машинах німецької фірми GIMA. Рівень автоматизації ливарного обладнання дає змогу чітко відстежувати і підтримувати в потрібних рамках параметри процесів лиття, забезпечуючи їх стабільність і спрямоване затвердіння виливків.

На виробництві кожне колесо проходить обов'язковий стовідсотковий рентгеноскопічний контроль, що здійснюється на автоматичних рентген установах німецької фірми Ухлон..

Готові виливки проходять механічну обробку та фарбування.

Дослідження та аналіз, що проводяться в роботі, розділили на два етапи (таблиця 2.1):

- аналіз і дослідження сплаву на представницьких зразках;
- аналіз і дослідження автомобільних коліс, відлитих із дослідного сплаву.

Таблиця 2.1 - Методи, методики та прилади, що використовуються в роботі для аналізу якості металу та коліс

Параметр	Методи, прилади (методики)
Сплав	
Хімічний склад	Прилад Spectromax (ГОСТ 1583-93)
Вміст водню в сплаві	Метод індексу щільності, прилад 3vt Прилад ALSPEK H MINI Метод В.І. Добаткіна Метод вакуум-нагріву ГОСТ 21132.1-98
Вміст оксидних плівок у сплаві	Метод В.І. Добаткіна
Параметри ліквідусу	Прилад Thermoanalyse-System TA 110
Диференціальна термограма	Прилад STA 469 Юпітер
Рідкотекучість	Спиральна проба (ГОСТ 16438-70)
Сплав і колеса	
Аналіз макроструктури	Стереомікроскоп Carl Zeiss Stemi 2000-C
Аналіз мікроструктури	Інвертований світловий мікроскоп OLYMPUS GX51 Растровий електронний мікроскоп EVO 50 HVP Просвічувальний електронний мікроскоп JEM-2100
Механічні властивості	Розривна машина WDW-20 (ГОСТ 1497-84)

2.2. Методи оцінки забрудненості сплаву за неметалевими включеннями і воднем

Вміст водню прямим методом визначали за допомогою приладу ALSPEK H Mini і методом вакуум-нагріву.

Прилад ALSPEK H Mini фірми Fosco дає змогу одночасно проводити вимірювання вмісту розчиненого водню і температури. Замір вмісту водню (мл/100г) здійснюється електрохімічним датчиком, вмонтованим у наконечник зонда.

Для контролю водню в сплаві методом *вакуум-нагріву* (ГОСТ 21132.1-98) відбирали зразки в кокіль Ренслі. Недоліком цього методу є тривалість аналізу, тому він не може використовуватися як експрес метод при оперативному коригуванні технології приготування сплавів і лиття виробів.

До непрямого методу визначення вмісту водню належить метод визначення *індексу щільності*, який розраховували за вимірюваннями щільності зразків, відібраних з одного роздаткового ковша на приладі 3vt (рисунок 2.2). Маса контрольної проби для аналізу становила 50-60 г розплаву АК12. Затвердіння першого зразка відбувалося при розрядженому тиску 80 мбар і температурі 200 °С, затвердіння другого зразка - при атмосферному тиску на установці 3vt. Після охолодження проб заміряли густину кожного зразка гідростатичним методом з використанням спеціальних аналітичних ваг ANDGX600.



Рисунок 2.2 - Прилад 3vt .

Під час підготовки зразків приблизно 80 г розплаву поміщають у тигель з підігрівом і кристалізують під низьким тиском близько 80 мБар. Час кристалізації становив 4 хв. Потім зразок охолоджують і вимірюють щільність.

Другий зразок, приблизно такої ж ваги, кристалізують під атмосферним тиском і також визначають густину. Різниця щільності двох зразків вказує на вміст водню. Чим менша різниця - тим чистіший розплав. Для якісного лиття різниця щільності не повинна перевищувати 0,08 г/см³ [10].

Для металографічної оцінки забрудненості сплаву за неметалевими включеннями і воднем використовували метод технологічної проби (метод В.І. Добаткіна). Метод оцінки забрудненості оксидними плінами за технологічною пробою був розроблений В.І. Добаткіним. Однак його дослідження були

спрямовані на оцінку якості деформованих сплавів, які широко застосовуються для виробів відповідального призначення, наприклад в авіабудуванні. Суть цього методу полягає в оцінці структури зламів осаджених галет, отриманих у процесі гарячої деформації відкритими бойками зразків, відлитих у спеціальний кокіль (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 - Кокіль для виготовлення технологічних проб

Процес осадження сприяє розвитку дефектів, а подальше нагрівання галет до температури 450 °С і витримка при цій температурі протягом двох годин сприяють фіксації дефектів, а також більш якісному виготовленню зламів. Кількісним результатом аналізу є розрахунковий коефіцієнт ураженості оксидними плінами K_d

Підготовку кокіля проводили таким чином. Прогрів кокіля здійснювали першим незалежним заливанням. Випробуванням піддавалися другий і наступні виливки, які механічно обробляли до необхідного співвідношення висоти до діаметра ($H_0 / D_0 \leq 2,5$), щоб уникнути втрати стійкості та появи поздовжнього вигину (рисунок 2.4).

Далі нагріті заготовки заввишки 95 мм і діаметром 60 мм, осаджували на гідравлічному пресі фірми з максимальним зусиллям 80 кН. Час витримки при нагріванні зразків за температури 450 °С становив не менше 2 год.

Після осадження заготовок проводили їх загартування з температурою 530 °С і часом витримки 2 год у відпускній електропечі.



a



b

Рисунок 2.4 - Зразки для технологічних проб: *a* - до деформації; *b* - після деформації

На гідравлічному пресі зусиллям 5-15 кН здійснювали злам термічно оброблених зразків за допомогою клина з кутом загострення 45 ± 15 град. Отримані злами представлені на рисунку 2.5.

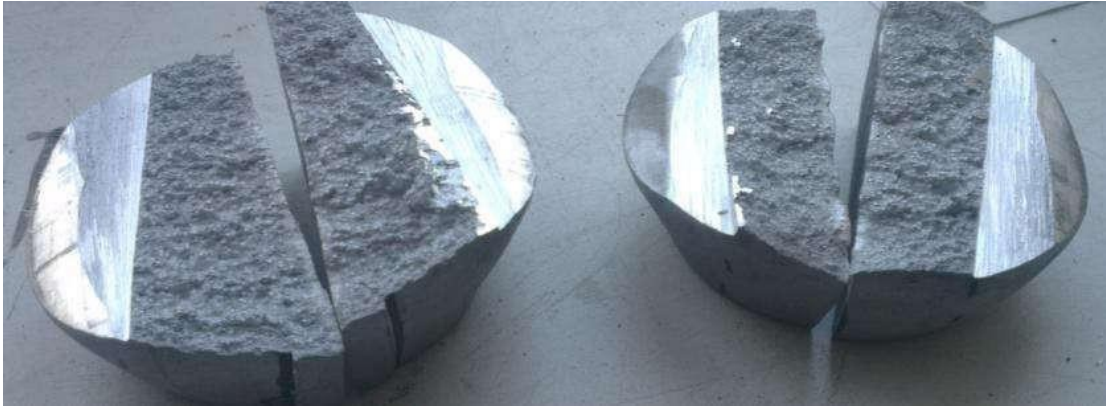


Рисунок 2.5 - Злами технологічних проб

Після оцінки якості злитків за зламами технологічної проби проводили аналіз мікроструктури в литому і деформованому стані. Площу зламу, яку займають оксидні пліни, оцінювали в програмі-аналізаторі за результатами розрахунку відношення площі дефектів S_d (мм^2), виявлених у зламах технологічних проб, до загальної площі досліджуваного зламу $S_{\text{изл}}$ (мм^2):

$$K_d = S_d / S_{\text{изл}},$$

де K_d - коефіцієнт ураженості дефектами.

2.3. Методи оцінки структури та властивостей алюмінієвих сплавів

Підготовку макроструктури проводили за допомогою спеціального комплексу пробопідготовки, що містить відрізний верстат, пристрій для гарячого запресовування мікротзразків і шліфувальний верстат.

При дослідженні мікроструктури використовували термогравіметричний аналіз для виявлення структурних складових в евтектичному сплаві.

Механічні властивості (часовий опір розриву (σ_v), межа плинності умовна ($\sigma_{0,2}$), відносне подовження (δ)) експериментальних сплавів визначали за ГОСТ 1497-93.

Для оцінки механічних властивостей сплаву АК12 відливали в кокіль спеціальні зразки відповідно до ГОСТ 2685-75. Базова довжина зразків становила 60 мм за діаметра робочої частини зразків, що дорівнює 12 мм. Перед заливанням кокіль прогрівався першою порцією залитого металу. Для досліджень відбирали другий і наступні зразки. Кокіль фарбували спеціальною розділювальною фарбою фірми Fosco. Випробування проводили на універсальній розривній машині за кімнатної температури.

Проби рідкоплинності були отримані за допомогою металевої форми (рис. 2.6, ГОСТ 16438-70); температура форми становила 100 °С, температура розплаву - 710 °С.

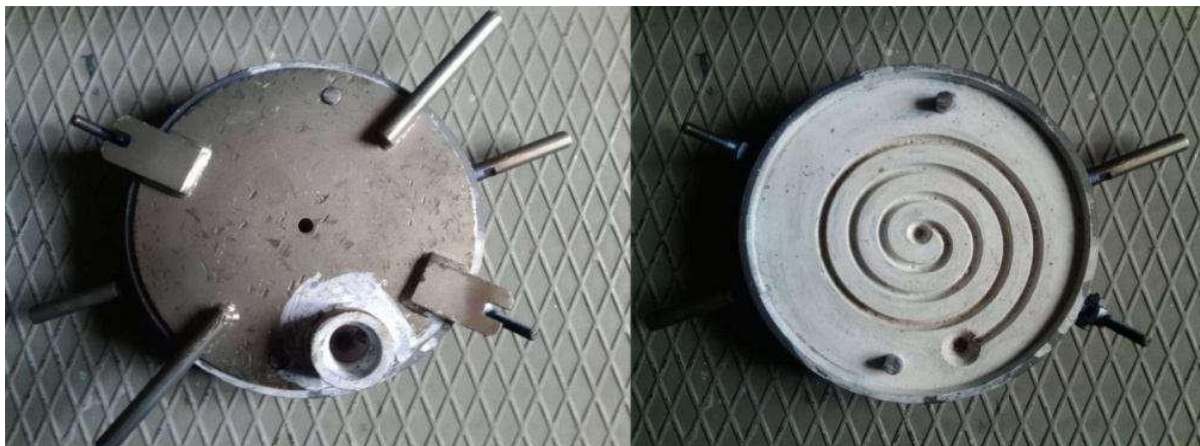
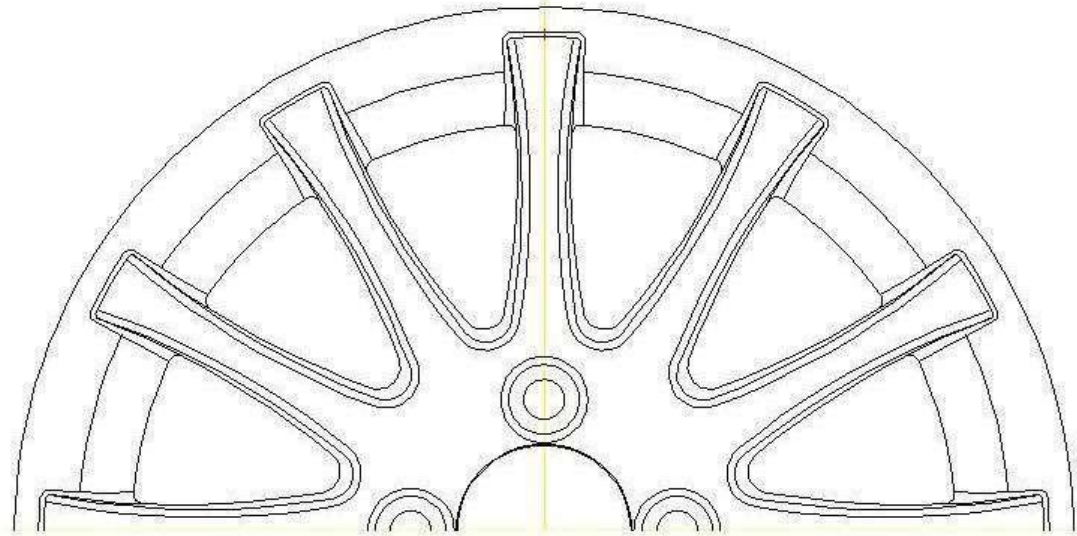
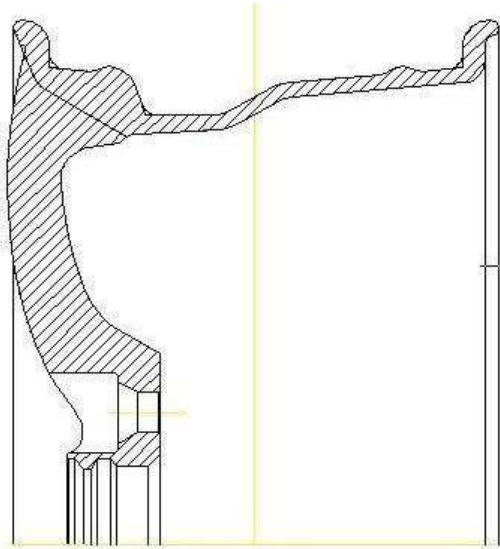


Рисунок 2.6 - Металева форма для отримання проб рідкотекучості металів

Розділювальне покриття фірми Fosco наносили на нагріту до 100 °С форму в кілька проходів розпилювачем, в якому використовується стиснене повітря під високим тиском, що дає змогу отримати рівномірний шар без підтікання (товщина 35-40 мкм)

2.4. Методи оцінки якості литих коліс

Відповідно до вимог ГОСТ 50511-93 механічні властивості контролюють на зразках, вирізаних із найбільш навантажених частин колеса: центральної частини, перехідної зони від диска до обода, обідка, обох бортових закраїн та інших, зазначених у конструкторській документації. Схему вирізки зразків показано на рисунку 2.7.



Фігура 1 (розмір у мм)	Фігура 2 (розмір у мм)	Фігура 3 (розмір у мм)
<p>10 80</p> <p>10 ■ ■</p>	<p>> 6,4 50-70</p> <p>■ ■ 25-35</p>	<p>≤ 40 ≥ 45</p> <p>■ ■ ≥ 45</p>

Рисунок 2.7 - Схема різання заготовок зразків для контролю механічних властивостей і хімічного складу серійних коліс

2.5. Моделювання процесу лиття коліс зі сплаву АК12

Отримання заготовок легкосплавного колеса - складний, дорогий і трудомісткий процес, тому помилки в технологічному проектуванні призводять до великих матеріальних втрат. Значно прискорити цей процес, знизити вартість підготовки виробництва і виключити помилки в техпроцесі можна його моделюванням.

Для встановлення раціональних технологічних параметрів лиття автомобільних коліс із силуміну на основі алюмінію А7 використовували програмний комплекс ProCast®.

Об'ємну скінченно-елементну сітку створюємо з використанням сіткового генератора MeshCAST, завантаживши в нього геометрію модельного блоку, через проміжний формат IGS, збережену в САД-системі SolidWorks. Далі будуємо об'ємні КЕ - сітки від виливка з ЛЖС до опоки з наповнювачем, що дало змогу для її оптимізації варіювати розмір елементів у різних частинах виливка. КЕ - сітка моделі представлена на рисунку 2.8.

На наступному етапі треба застосувати термодинамічну базу ProCAST. За допомогою якої можливий розрахунок теплофізичних і механічних властивостей сплаву за його хімічним складом. Розрахунок властивостей проводять для сплавів на основі Fe, Al, Cu, Mg, Ni і Ti з використанням основних легувальних компонентів. Отримувані властивості мають змінне значення в необхідному температурному інтервалі, що забезпечує високу точність розрахунку. Термодинамічна база даних дає змогу розрахувати такі теплофізичні властивості: теплопровідність ($Вт\cdot К/м^2$); щільність ($кг/м^3$), енлпія ($кДж/кг$), частку твердої фази в інтервалі кристалізації, температуру солідус і ліквідус ($^{\circ}С$), в'язкість розплаву від температури ($сП$).

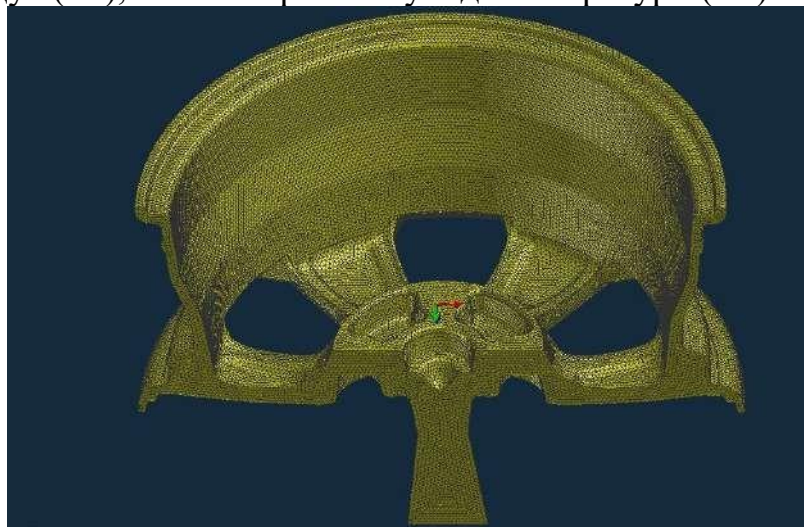


Рисунок 2.8 – Кінцево-елементна сітка

Властивості матеріалів прес-форми і виливка, початкові та граничні умови задаємо згідно з технологічним процесом у такому порядку.

1. Генерація властивостей сплаву АК12 у термодинамічній базі (рисунок 2.9).
2. Створення та призначення контактних поверхонь

3. Встановлення граничних умов (рисунок 2.10);
4. Встановлення гравітації.
5. Задавання початкових умов (рисунок 2.11).
6. Встановлення параметрів запуску.

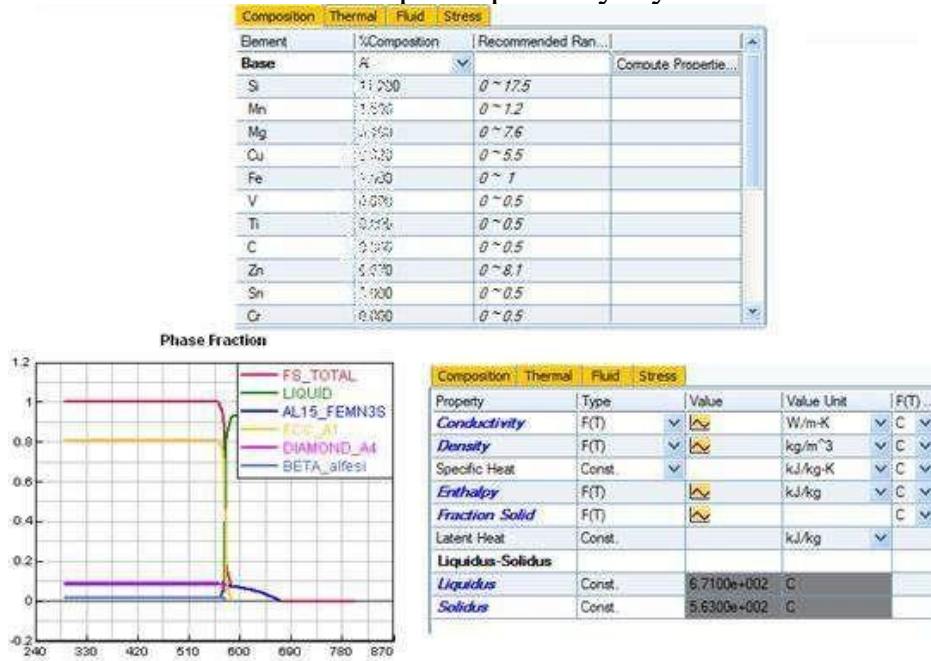


Рисунок 2.9 - Генерація властивостей сплаву АК12

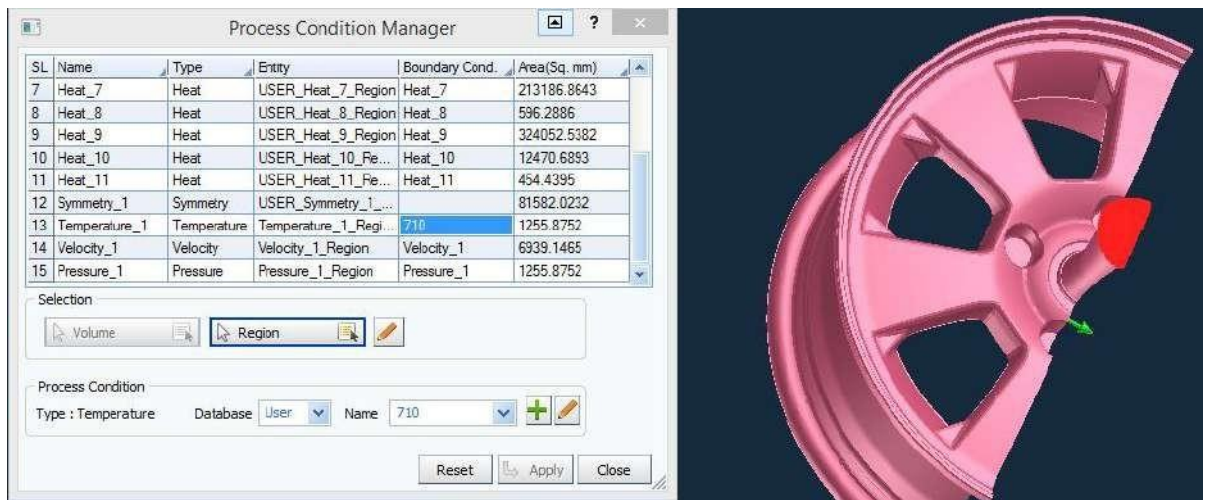


Рисунок 2.10 - Задані граничні умови (температура заливки 710° C)

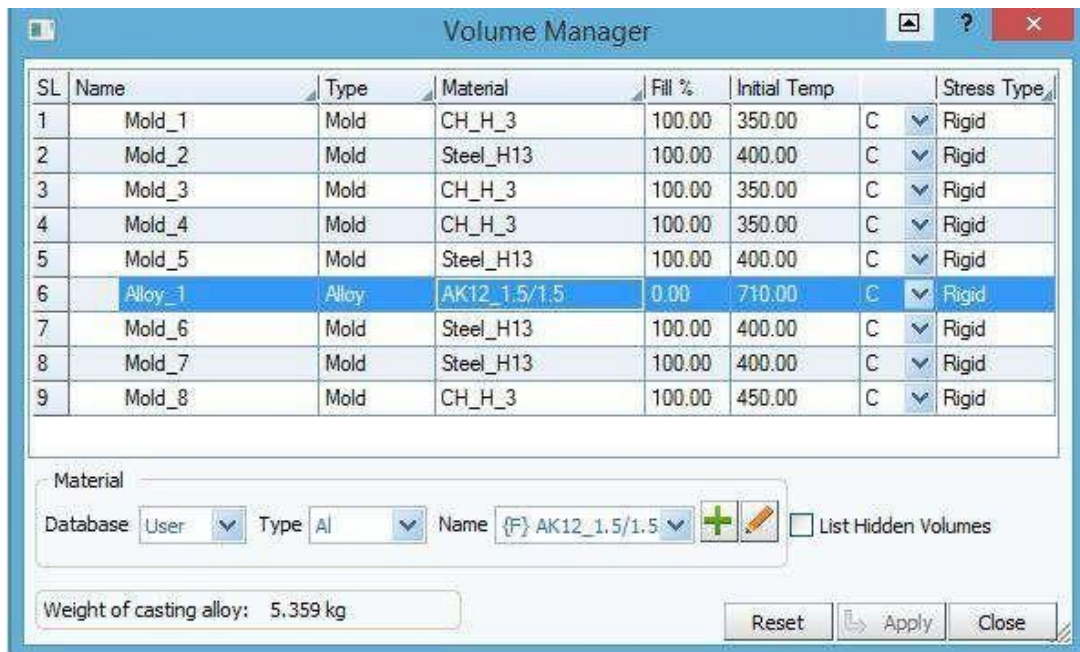


Рисунок 2.11 - Константи початкових умов

Далі запускається розрахунок. Слід зазначити, що всі модулі працюють одночасно, в один і той самий час відбувається розрахунок гідродинаміки - заповнення форми сплавом, кристалізації та охолодження виливки.

Переглянути результати моделювання виливка можна в постпроцесорі програми ViewCAST. За результатами моделювання зробити висновки.

3. ВПЛИВ ЧИСТОТИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ В НИХ ЗАЛІЗА І МАРГАНЦЮ НА ВЛАСТИВОСТІ ВИЛИВКІВ

У сучасних умовах залежності промисловості від ситуації на світовому ринку чітко видно, що останніми роками йде скорочення обсягів виробництва первинного алюмінію. Водночас помітно зростає частка алюмінієвих сплавів які використовуються в різних галузях промисловості.

Перед виробниками стоїть завдання випуску конкурентоспроможної, високоякісної продукції за мінімальних витрат на її виготовлення. Це зачіпає і таку галузь машинобудування, як виробництво легкосплавних коліс, для яких неприпустиме застосування відносно дешевих вторинних сплавів через високий вміст у них домішок.

Для виготовлення литих коліс методом лиття під низьким тиском застосовують силуміни, сировиною для яких слугують первинні шихтові матеріали: алюміній марок А85 і А8, кремній кристалічний, модифікатори тощо.

Використання низькосортної шихти з високим вмістом заліза (наприклад, первинного алюмінію марки А7) дасть змогу зменшити собівартість литих коліс, при цьому знизить їхні механічні властивості через утворення включення фази Al-Fe-Si голчастої форми [11].

Заліzysta фаза може формуватися у вигляді інтерметалідів, що мають форму голок або інтерметалідів у формі "скелетів" і "ієрогліфів". Мабуть, у першому випадку це β -фаза ($Al_5 FeSi$), а в другому - α -фаза ($Al_{12} Fe_3 Si$).

З погляду механічних властивостей силумінів найбільш несприятливою є β -фаза. У промислових умовах використовуються складнолеговані заевтектичні силуміни, до складу яких входять такі компоненти, як марганець, нікель, хром, що змінюють морфологію залістистих фаз і тим самим нейтралізують їхній негативний вплив на властивості.

Широке застосування останнім часом комплексних рафінуючо-модифікуючих препаратів для алюмінієвих сплавів дає змогу скоротити тривалість обробки розплавів без зниження їхньої якості.

Вирішення цього питання являє собою компроміс між необхідністю зменшити ціну сплаву та отримати необхідний рівень механічних і експлуатаційних властивостей готових виробів за допомогою мінімізації шкідливого впливу заліза елементами-компенсаторами, як такі, що рекомендується вводити марганець у кількості 50-100 % від вмісту в сплаві заліза.

Добавка марганцю з отриманням особливого співвідношення Fe : Mn є широко розповсюдженою практикою для поліпшення властивостей ливарних сплавів системи Al-Si і допомагає знизити пористість у виливках. Але значення, за яких це відбувається, мають бути адаптовані до конкретних виробничих умов і вимог, що висувуються до виливків .

3.1. Аналіз впливу технології рафінування на якість виливків

Складний профіль перерізу виливків коліс передбачає наявність теплових вузлів, які є потенційними зонами утворення дефектів газоусадкового характеру (рисунок 3.1).

Основною причиною виникнення пористості у виливках є газонасичення розплаву, тому на цьому етапі досліджували вплив параметрів на насичення розплаву газами з навколишнього середовища. Такими параметрами є вологість навколишнього середовища під час виробництва виливків і температура рафінування розплаву.

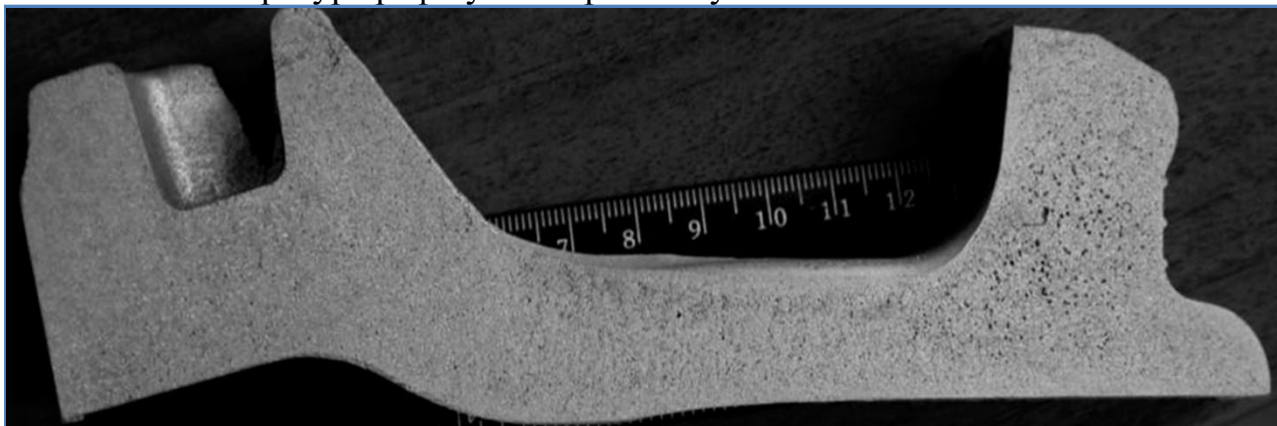


Рисунок 3.1 - Розташування теплових вузлів у виливку "Автомобільне колесо"

Для встановлення порівнянності результатів вмісту водню в сплаві методами вакуум-нагріву ГОСТ 21132.1-98 та індексу щільності було відібрано проби металу в кокіль Ренслі і проби для вимірювання індексу щільності (рисунок 3.2).

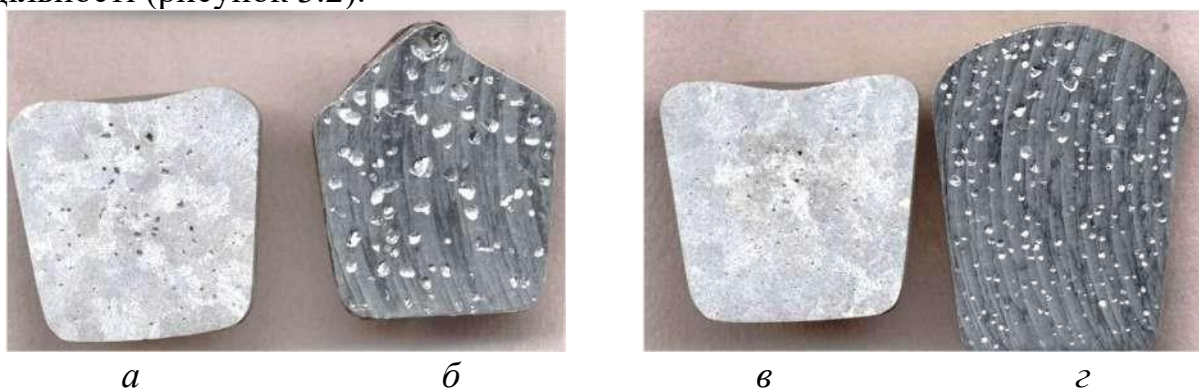


Рисунок 3.2 - Контрольні проби індексу щільності з результатами щільності, індексу щільності й вмісту водню за ГОСТ 21132.1-98: *а, б* - індекс щільності 14,7 %, вміст водню за твердою пробую 0,38 см³ /100 г; *в, г* - індекс щільності 12,4 %, вміст водню за твердою пробую 0,30 см³ /100 г. Щільність, г/см³ : *а* - 2,601; *б* - 2,213; *в* - 2,579; *г* - 2,26

Результат роботи представлений на рисунку 3.3.

Різниця значень щільності проби металу, закристалізованої на повітрі та під тиском 80 мбар, - орієнтовний показник вмісту водню в металі.

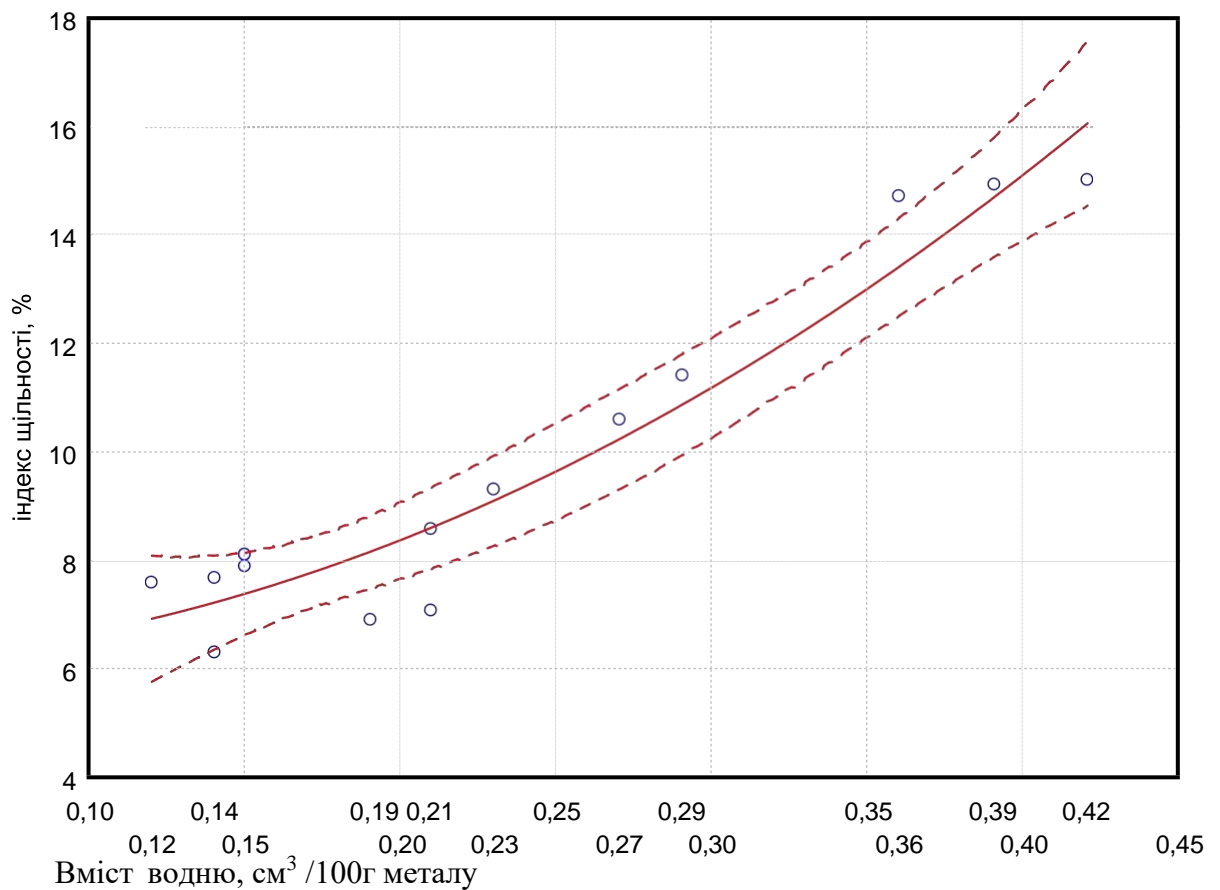


Рисунок 3.3 - Діаграма розсіювання для значень індексу щільності та вмісту водню

Робота зі збіжності результатів аналізу вмісту водню показала добру відтворюваність результатів вимірів трьома методами: методом індексу щільності, методом вакуум-нагріву ГОСТ 21132.1-98 і портативним приладом Alspek H mini (Foseco) (рисунок 3.4).

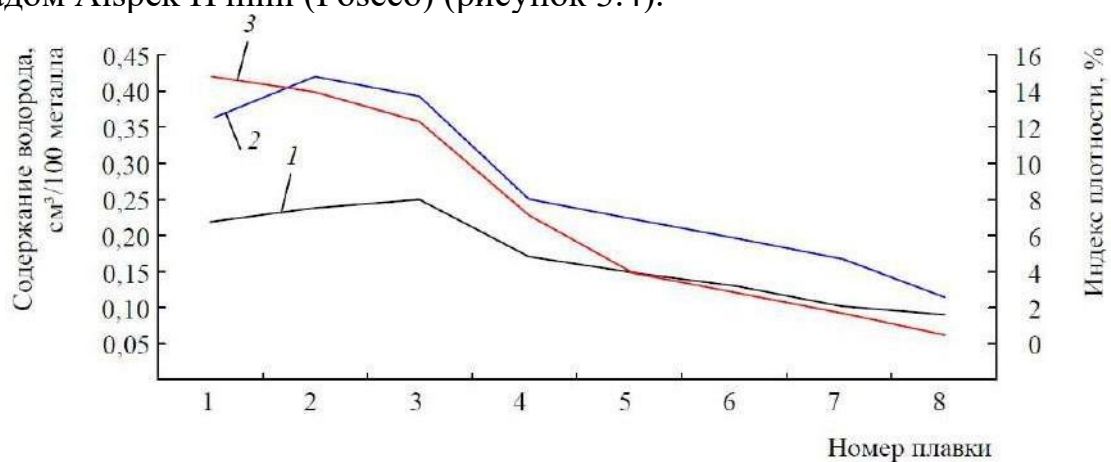


Рисунок 3.4 - Вміст водню в металі та індекс щільності проб, методом вакуумнагріву ГОСТ 21132.1-98 та електрохімічним сенсором приладу Alspek H mini

Розташування графіка індексу щільності вище за графіки за твердою пробою і приладом пояснює, що метод індексу щільності оцінює чистоту металу, включно з вмістом водню і оксидних плівок.

Оцінку забрудненості металу оксидними плінами проводили, використовуючи відомий метод залежності величини зерна і чистоти металу [6].

Метод полягає в такому: проба у вигляді циліндра діаметром 60 мм і висотою 15 мм відливається у відкриту виливницю.

Поверхню проби протруюють спеціальними реактивами для виявлення макрозерна. Грубозерниста структура виходить на пробах металу, мало забрудненого оксидними включеннями. Дрібнозерниста структура свідчить про більше забруднення металу оксидами. Ефект пояснюється наявністю в розплаві суспензії Al_2O_3 різної концентрації, яка своєю чергою, є центрами початку кристалізації сплаву (рисунок 3.5).



a *б*
Рисунок 3.5 - Макроструктура проб металу з різними значеннями індексу щільності - вмістом водню та оксидними плінами, %: *a* - 9,1; *б* - 14

Використовуючи метод індексу щільності, було встановлено, що під час виплавки металу в індукційних тигельних печах перевищення температури розплаву над температурою ліквідуса на кожні 10 °С призводить до насичення воднем і зміни індексу щільності (рисунок .

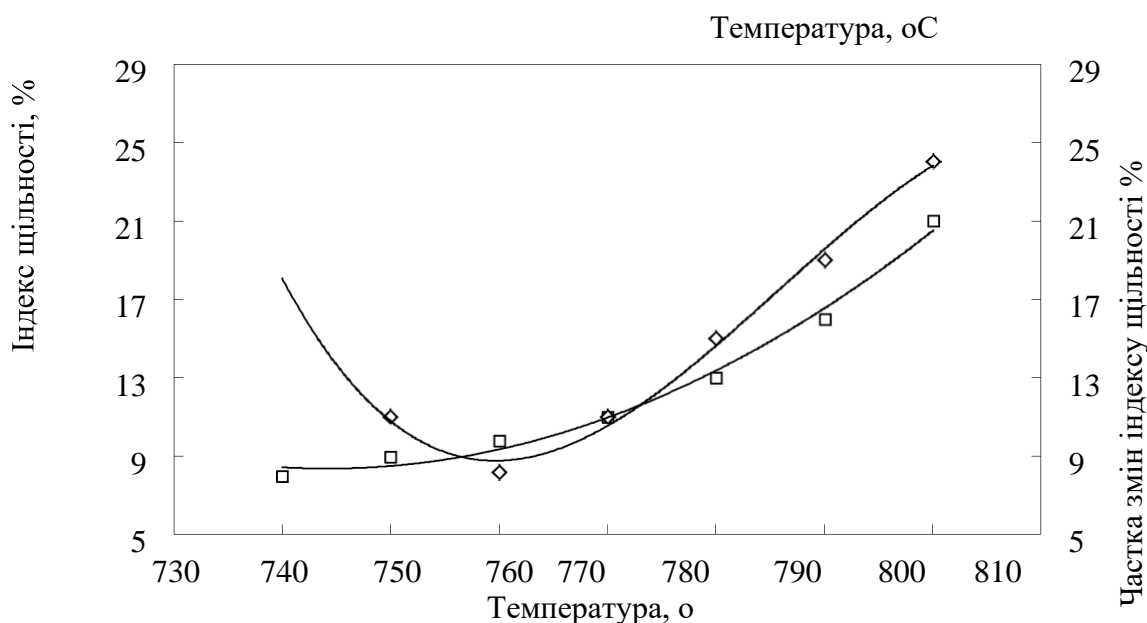


Рисунок 3.6 - Зміна індексу щільності сплаву АК12 залежно від температури розплаву: 1 (□) - індекс щільності; 2 (◇) - частка зміни індексу щільності

Проведено низку робіт з оцінки впливу шихтових матеріалів на вміст водню. Встановлено, що зміна частки відходів механічного оброблення лиття від 0 до 100 % призводить до підвищення показника індексу щільності металу в 5 разів - з 3 до 15 % (рисунок 3.7).

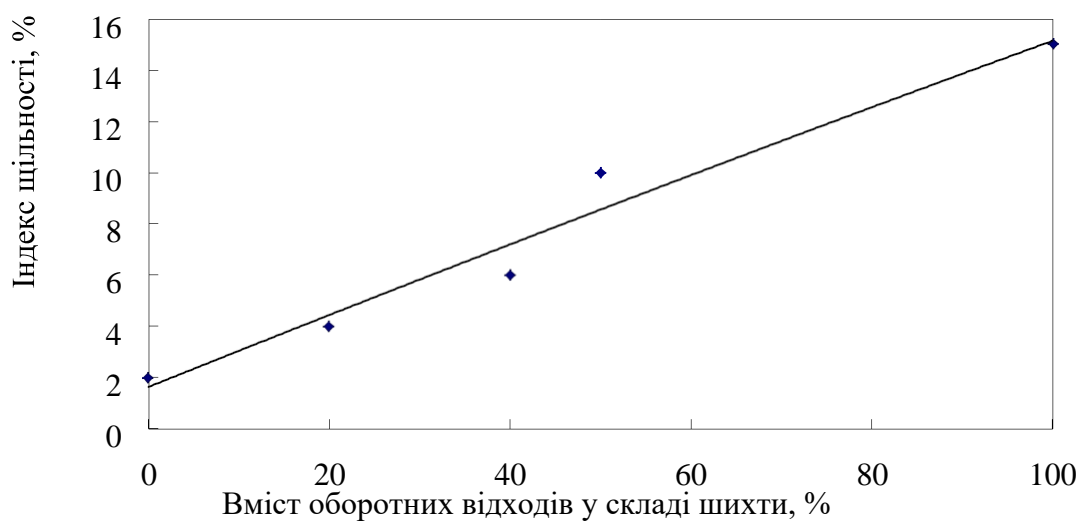


Рисунок 3.7 - Зміна індексу щільності сплаву АК12 залежно від вмісту оборотних відходів і "освіження" у складі шихти (вміст первинних шихтових матеріалів - решта)

Таким чином, представлений аналіз показує можливість використання методу індексу щільності як достовірного та ефективного експрес-методу контролю чистоти розплаву у виробничих умовах, контролю за дотриманням технологічних параметрів приготування сплаву і стабільності його фізичного складу.

Було проведено статистичний аналіз отриманих результатів щодо впливу температури розплаву і відносної вологості на індекс щільності (рисунки 3.8, 3.9).

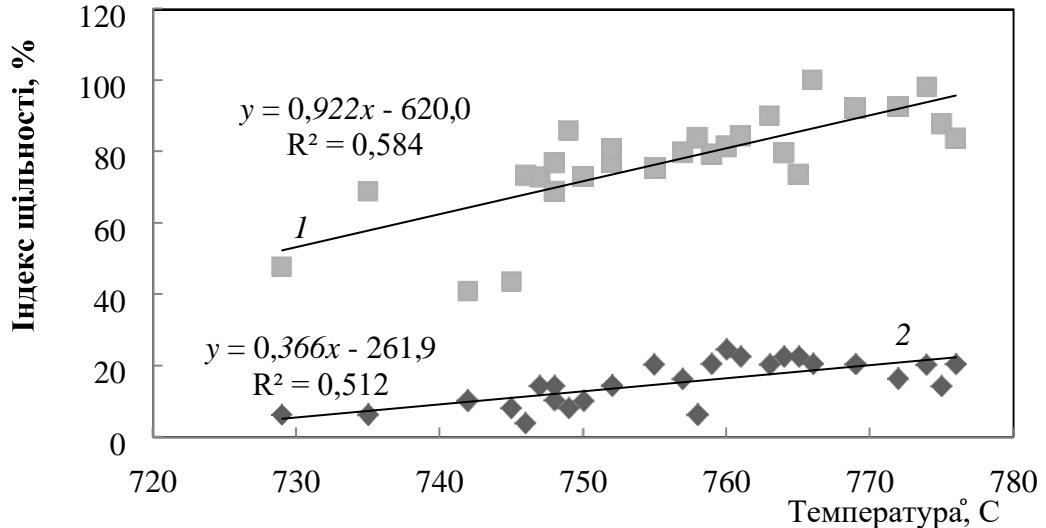


Рисунок 3.8 - Залежність індексу щільності від температури розплаву:

1 - до рафінування; 2 - після рафінування

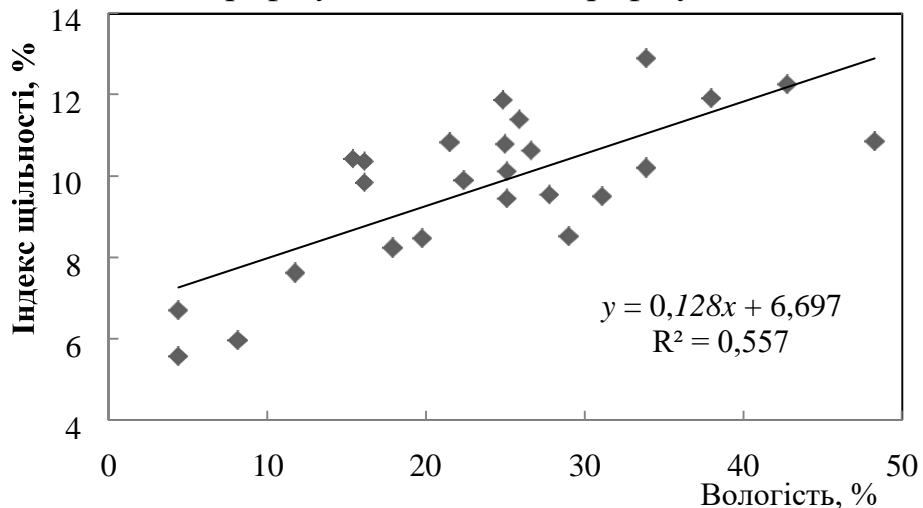
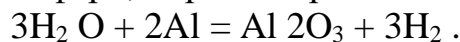


Рисунок 3.9 - Залежність індексу щільності від вологості навколишнього середовища

Показання індексу щільності зростають з підвищенням температури розплаву і відносної вологості навколишнього середовища. Збільшення індексу щільності зі збільшенням температури пояснюється тим, що процес розчинення газу супроводжується ендотермічною реакцією і може описуватися для алюмінію рівнянням розчинності [12].

Зростання показань індексу щільності при підвищенні вологості навколишнього середовища пов'язане з тим, що алюмінієвий розплав взаємодіє з вологою атмосфери, і протікає реакція:



Таким чином, рафінування розплаву АК12 дає змогу знизити індекс щільності на 90 %. У дослідженому інтервалі відбувається зниження індексу щільності зі зниженням температур.

Паралельно з відбором проб на індекс щільності здійснювали заміри вмісту водню в розплаві АК12 прямим методом приладом ALSPEK H MINI до і після рафінування, і проводили статистичний аналіз отриманих даних.

За результатами вимірювань індексу щільності і вмісту водню в розплаві марки АК12 побудовано графічну залежність, представлену на рисунку 3.10.

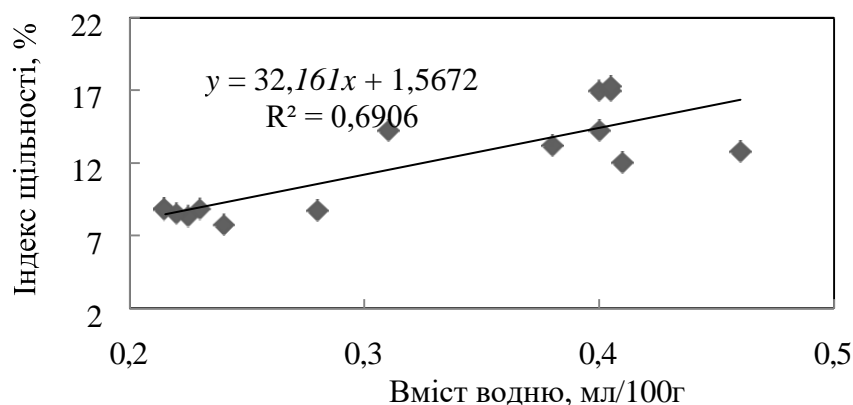


Рисунок 3.10 - Залежність індексу щільності від вмісту водню

Теоретично кореляційна залежність індексу щільності і вмісту водню повинна прагнути до одиниці, якщо вони змінюються пропорційно один одному. Експериментальні результати показують, що коефіцієнт детермінації R^2 визначає середню залежність між значеннями індексу щільності та вмістом водню. Отже, індекс щільності показує не тільки зміну вмісту водню, а й забрудненість розплаву неметалевими включеннями.

Під час приготування розплаву відбувається інтенсивне газонасичення воднем, азотом, киснем, і алюмінієвий розплав взаємодіє з киснем, утворюючи оксиди Al_2O_3 у вигляді плівок і суспензій, які є сильним адсорбентом водню. Будучи пухкою, поверхня оксидних плівок значною мірою адсорбує водень і створює умови для формування пір під час затвердіння зразка під низьким тиском. Показник щільності зразка, при цьому, залежить від кількості поглинутого водню і кількості оксидних плівок суспензій, що потрапили в розплав при його приготуванні.

Результати проведеного дослідження узгоджуються з даними, представленими в роботі [13], де показано різницю фактичного вмісту водню і відносного його вмісту за індексом щільності. Тому індекс щільності є якісним методом оцінки забрудненості неметалевими включеннями та воднем.

Таким чином, показання індексу щільності неоднозначно пов'язані з фактичним вмістом водню через присутність у розплаві оксидних плівок і вплив їхньої кількості на його значення.

Основною причиною руйнувань коліс під час динамічних навантажень є присутність у мікроструктурі оксидних плівок, на яких відбувається зародження і розвиток втомних тріщин. Під час випробувань на визначення опору втомлюваності коліс під час вигину з обертанням виявилася тенденція до розвитку таких тріщин у зоні ступиці (рисунок 3.11).

Розтин тріщини методом "долома по дефекту" встановив наявність втомної тріщини. Фрактографічне вивчення структури зламу виявило багатоочаговий характер зародження тріщини, причиною появи яких є оксидні пліни. Присутність оксидних плівок підтверджено дослідженнями мікроструктури (рисунок 3.12).



Рисунок 3.11 - Зона зародження тріщини



Рисунок 3.12 - Мікроструктура виливка поблизу зони руйнування

Наявність оксидних плін послаблює конструкцію колеса і може слугувати причиною його руйнування в процесі експлуатації. Тому необхідно кількісно оцінити присутність оксидних плівок у сплаві.

Використовуючи метод технологічної проби, провели порівняльний аналіз проб, відлитих за однакових умов, до і після рафінування з обов'язковим контролем вмісту водню експрес-методом і контролем індексу щільності розплаву.

Унаслідок нерівномірної деформації схема напруженого стану змінюється, спричиняючи появу розтягуючих напружень значної величини у радіальному та тангенціальному напрямках, що спричиняє на поверхні заготовки за малої пластичності поздовжні тріщини.

При цьому для якісної оцінки осадженої заготовки неприпустимим є зближення зон ускладненої деформації та їхньої взаємодії, тобто неприпустимим є відношення осадженої заготовки $H/D < 0,25$. Під час експерименту для дотримання цих умов було обрано ступінь деформації для осадження $\varepsilon = 40\%$. Отримані злами представлені на рисунках 3.13-3.16.

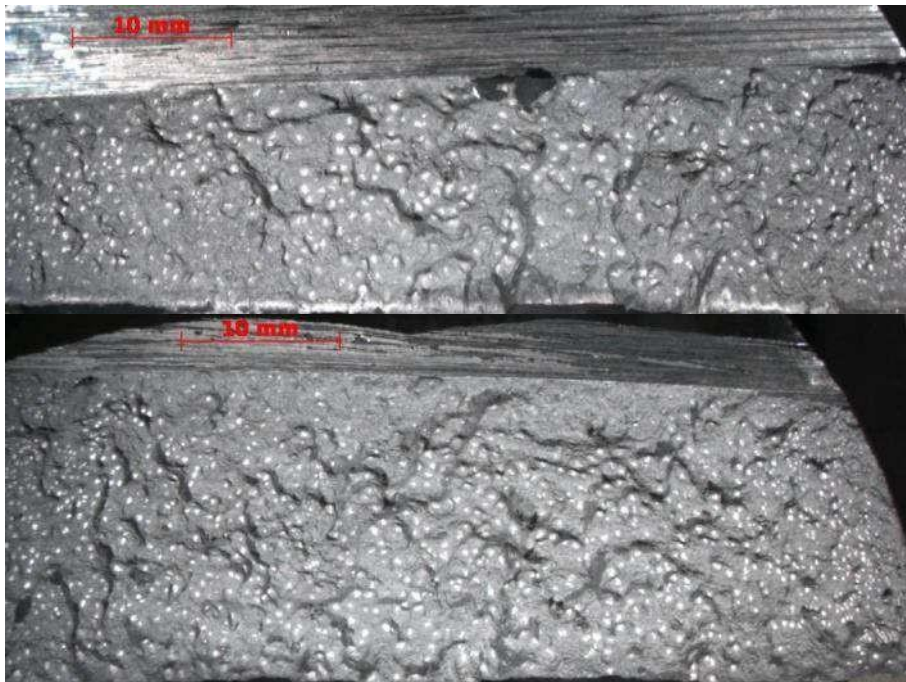
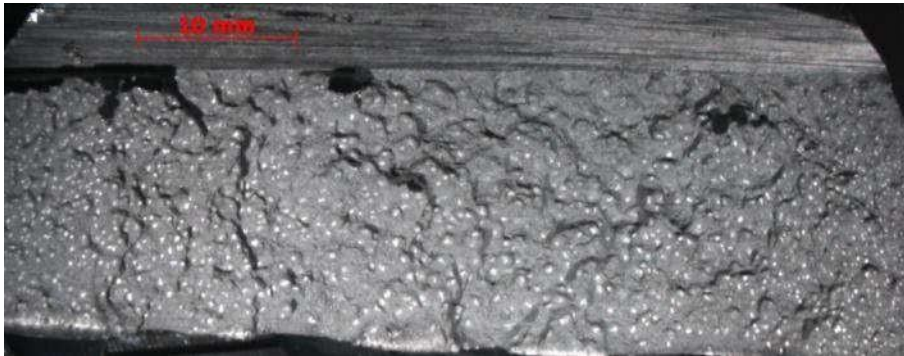
*a**в**б**з**г*

Рисунок 3.13 - Злами технологічних проб до і після рафінування розплаву АК12: *a, в* - до дегазації; *б, г* - після дегазації. K_d , % (номер проби): *a* - 3,32 (1); *б* - 1,94 (2); *в* - 3,55 (3); *г* - 1,36 (6)

*a**б*

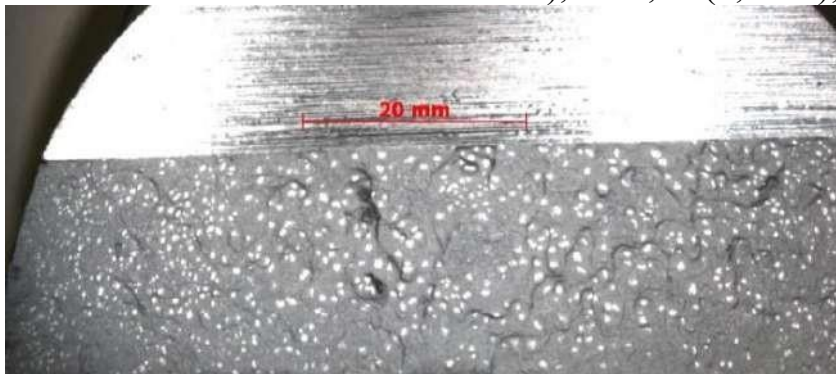


v



z

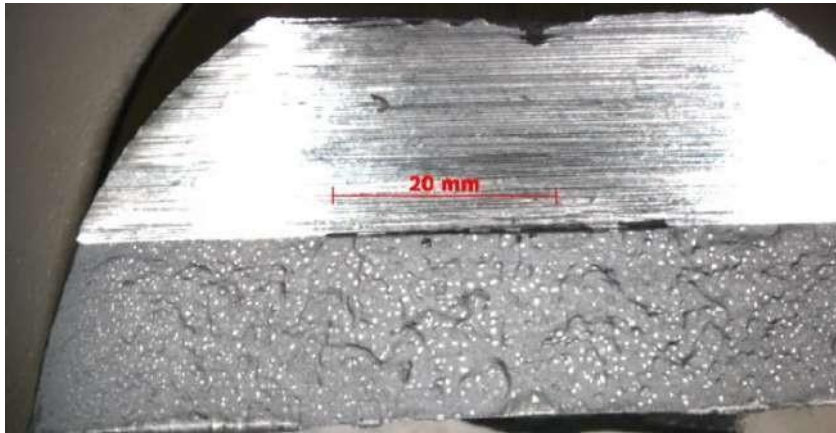
Рисунок 3.14 - Злами технологічних проб до і після рафінування розплаву АК12: *a, в* - до дегазації; *б, г* - після дегазації. K_d , % (номер проби, номер плавки в печі): *a* - 3,48 (5, № 5); *б* - 0,77 (6; № 5); *в* - 3,08 (7; № 1); *г* - 0,6 (8; № 1)



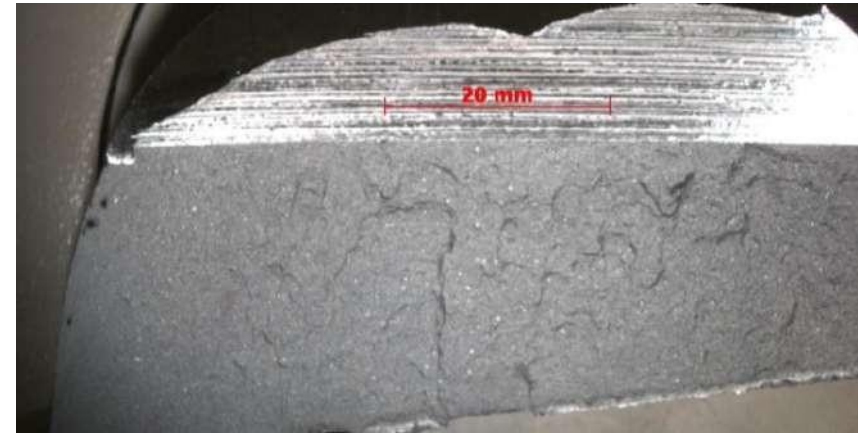
a



б



в

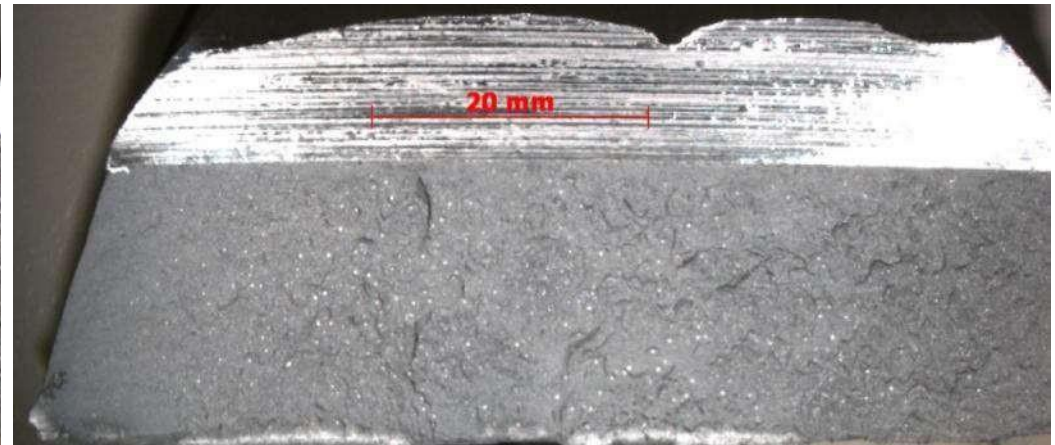


г

Рисунок 3.15 - Злами технологічних проб до і після рафінування розплаву АК12: *а, в* - до дегазації; *б, г* - після дегазації. K_d , % (номер проби; номер плавки): *а* - 6,87 (10; № 5); *б* - 1,76 (11; № 5); *в* - 5,6 (12; № 2; І.П. = 14,21 %); *г* - 0,48 (13; № 2)



А



Б

Рисунок 3.16 - Злами технологічних проб до і після рафінування розплаву АК12 (номер плавки в печі № 1): *а* - до дегазації; *б* - після дегазації. K_d , % (номер проби): *а* - 6,3 (14); *б* - 1,08 (15)

З'ясовано, що після рафінування змінюється об'ємна частка площ/розшарувань на поверхні зламу. Причому їхня кількість і розміри можуть змінюватися різною мірою залежно від вмісту водню і показань індексу щільності (рисунки 3.17, 3.18).

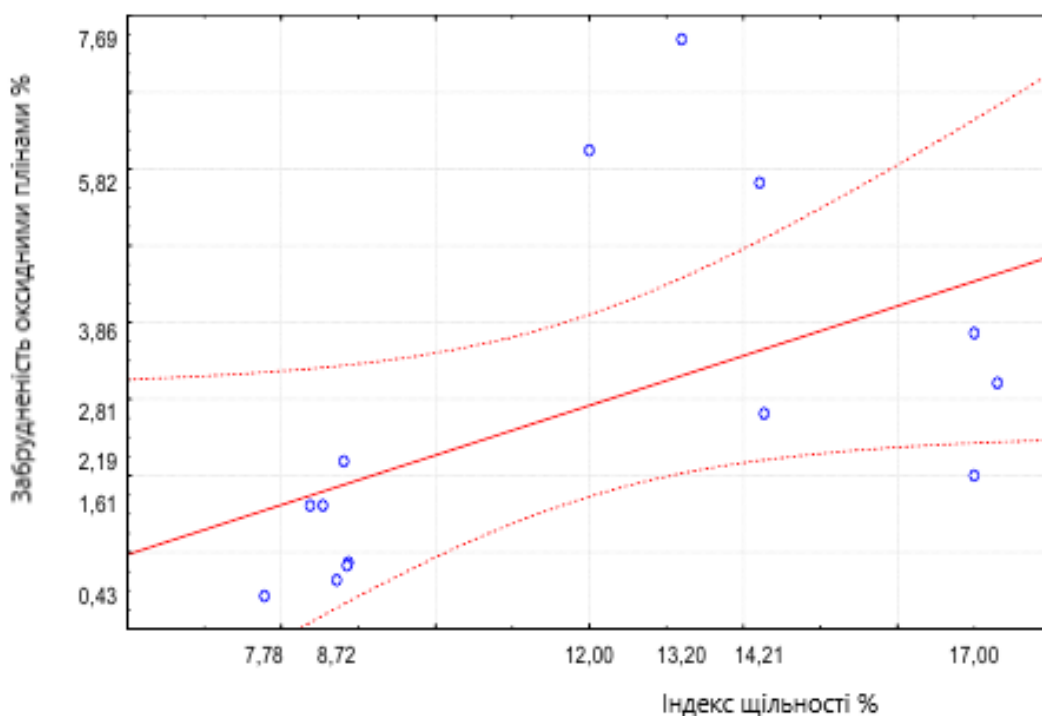


Рисунок 3.17 - Діаграма розсіювання індексу щільності сплаву та забрудненості оксидними плінами

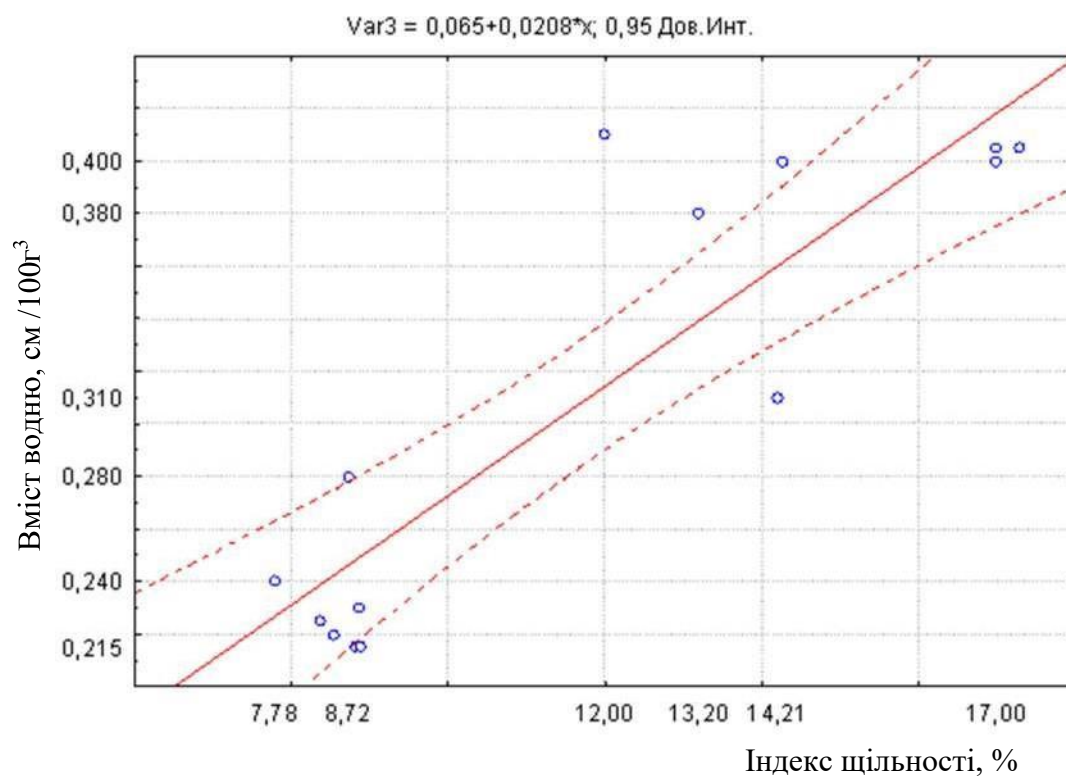


Рисунок 3.18 - Діаграма розсіювання індексу щільності сплаву та вмісту водню в розплаві

Значення коефіцієнта ураженості оксидними плінами змінюються залежно від зміни вмісту водню та показань індексу щільності.

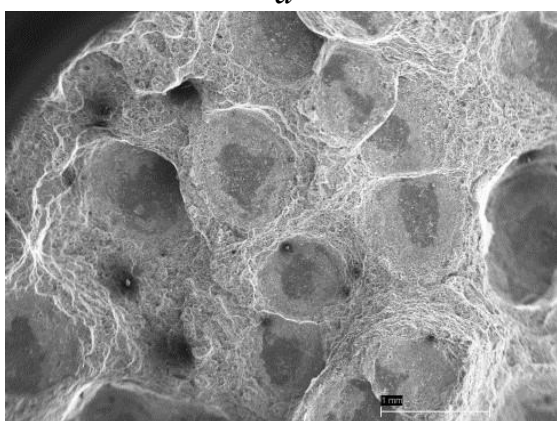
Надалі досліджували отримані злами за великих збільшень з використанням світлового та растрового електронного мікроскопів, з метою аналізу характеру та причини їх руйнування (рисунок 3.19). Аналіз показав, що руйнування заготовок відбувається за оксидними плінами, розташованими на границях зерен, які розвинулися в процесі деформації у вигляді майданчиків різного кольору.



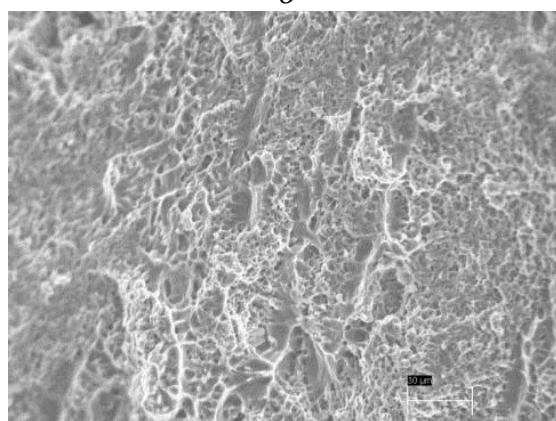
a



б



в



г

Рисунок 3.19 - Злами технологічних проб до дегазації: *a, б* - світлова мікроскопія; *в, г* - растрова мікроскопія. Збільшення, крат: *a* - x1,6; *б* - x5; *в* - x50, *г* - x1 000

Мікроструктура зламу характеризується значною кількістю дисперсних ямок, що свідчить про значну пластичну деформацію. Причому значна деформація спостерігається на межах майданчиків, які, своєю чергою, є безструктурними. Безструктурні майданчики є результатом крихкого руйнування по оксидній плівці.

Було виявлено присутність у зламах розривних зразків дрібних частинок, які можуть негативно вплинути на механізм руйнування металу. Склад цих частинок характеризується флюсами, використовуваними для комплексного рафінування за позапічної технології очищення розплаву

Після металографічного дослідження зламів технологічних проб були вирізані в частковому напрямку зразки для випробувань механічних властивостей металу з різним коефіцієнтом забрудненості. Результати випробувань наведено в таблиці 3.1.

Аналіз отриманих результатів показав, що рафінування розплаву призвело до підвищення рівня механічних властивостей сплаву. Найбільший приріст (~45 %) показало відносне подовження зразків. Відомо, що присутність у розплаві алюмінієвого сплаву оксидних плівок знижує відносне подовження деформованих виробів. Рафінування розплаву призвело і до підвищення рівня часового опору розриву, зміна рівня межі текучості не зафіксована.

Таблиця 3.1 - Механічні властивості технологічних проб

Рафінування	Механічні властивості			Примітка	
	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %		
До	197,5±3,93	104,5±11,37	19,2±1,7	З модифіка- торами	Після опадів
Після	192,0±8,18	107±3,24	18,0±3,31		
До	164,5±36,0	105,5±0,7	6,2±4,24		
Після	184,5±10,6	100,5±4,94	11,3±1,0		
До	144,7±6,1	97,7±0,6	2,3±0,4	Без модифікаторів	Без опадів
Після	156,3±0,6	98±2,0	2,8±0,3		

Результати випробувань проб без деформації показали незначне збільшення рівня механічних властивостей литих проб після рафінування. Можливість провести достовірну кількісну оцінку забрудненості розплаву неметалевими включеннями можлива тільки після деформації проб, що провокує розвиток дефектів на присутніх неметалевих включеннях різної величини.

Під час експерименту було встановлено вплив операції модифікування на результати випробувань рівня механічних властивостей зразків, відібраних з осаджених технологічних проб за тією самою схемою: до і після рафінування розплаву.

У присутності модифікаторів зафіксовано зниження міцнісних і пластичних характеристик, що спотворює результати експериментів. Це пояснюється тим, що пересичення твердого розчину модифікаторами, а саме титаном, призводить до зміцнення об'єму зерна, і леговані межі стають у литому сплаві відносно слабшим структурним елементом.

Результати випробувань механічних властивостей підтверджують результати металографічних досліджень зламів і отриманих значень коефіцієнтів забрудненості технологічних проб до і після рафінування. Метод

технологічної проби дасть змогу проводити оцінку ефективності обраної технології приготування розплаву: вплив шихтових матеріалів, оцінку стабільності роботи роторної установки дегазації, оцінку технології приготування сплаву і відхилень технологічного процесу.

Тому важливо встановити залежність коефіцієнтів забрудненості металу неметалевими включеннями від контрольних значень індексу щільності та вмісту водню в розплаві з метою прогнозування забрудненості розплаву неметалевими включеннями та виключення умов, що призводять до цього.

Механічні властивості деформованих зразків технологічних проб показали істотну різницю до і після дегазації, що свідчить про ефективність рафінування розплаву.

Зразки до дегазації характеризуються наявністю розшарувань, розвинених у процесі деформації.

Заключним етапом дослідження було встановлення залежності між вмістом водню в сплаві, ураженістю розплаву оксидними плінами та значеннями індексу щільності. Необхідно було з'ясувати вплив цих показників на механічні властивості сплаву.

Як зазначено раніше, умови насичення воднем призводять і до забруднення розплаву оксидними плінами. Адсорбуючи водень, оксидні пліви сприяють виникненню пористості у виливках.

Умови кристалізації розплаву під низьким тиском 80 мбар сприяють переходу розчиненого водню в молекулярний з утворенням газових пор. Присутність у розплаві оксидних плівок, своєю чергою, так само створює умови утворення пористості в пробах. При цьому відбувається значне зниження щільності металу проби, що закристалізується під низьким тиском. Щільність металу, закристалізованого в умовах атмосферного тиску, змінюється несуттєво.

Метод індексу щільності заснований на оцінці різниці щільності проб, закристалізованих під атмосферним і під розрядженим тиском. Чим більша різниця, тим вищі значення індексу щільності, тим вища забрудненість розплаву.

Розділити вміст розчиненого і поверхневого водню, утвореного на оксидних плінах, дає змогу метод вакуумної екстракції твердої проби.

Тому, значення коефіцієнта ураженості оксидними плінами і значення вмісту розчиненого водню, заміряного приладом ALSPEK H mini, є тією чи іншою мірою незалежними параметрами.

Індекс щільності характеризує якість сплаву за сукупністю цих параметрів.

На підставі отриманих даних під час експерименту було побудовано залежності індексу щільності від коефіцієнта ураженості оксидними плінами і вмістом водню в розплаві (рисунок 3.20, 3.21).

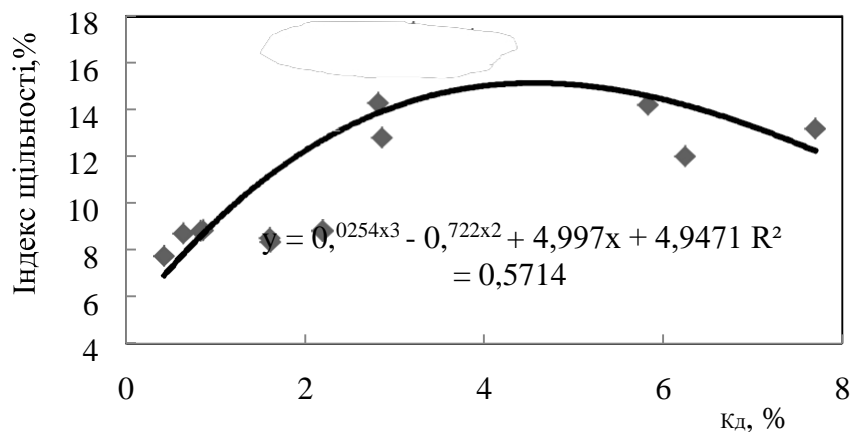


Рисунок 3.20 - Залежність значень коефіцієнта ураженості оксидними плінами від індексу щільності розплаву

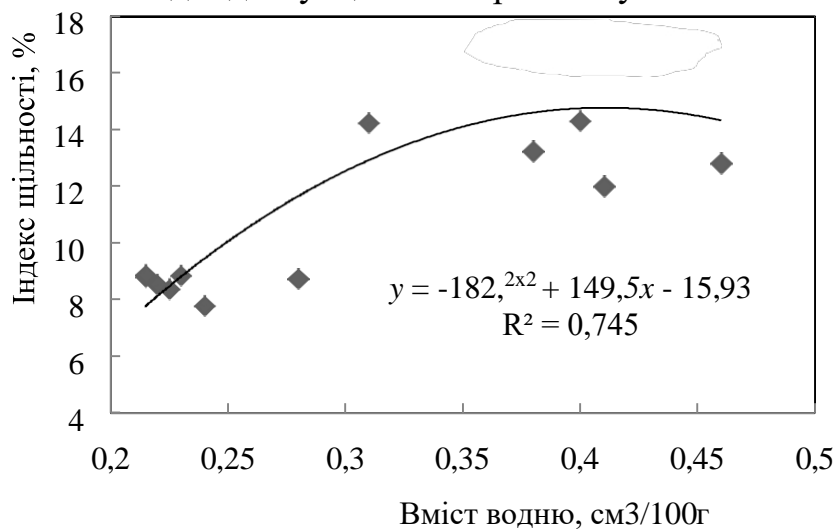


Рисунок 3.21 - Залежність індексу щільності від вмісту водню в розплаві

Підвищення рівня K_d більше 2 % і вмісту водню в розплаві понад 0,25 мл/100 г супроводжується різким збільшенням індексу щільності, а отже, і зниженням якості розплаву.

Таким чином, на підставі отриманих даних було виконано множинний регресійний аналіз і побудовано математичну модель прогнозування якості розплаву за індексом щільності.

Визначивши залежність між залежною змінною ($y_{и.п}$ - індекс щільності) і незалежними змінними (x_1 - коефіцієнт ураженості оксидними плінами, x_2 - вміст водню) методом регресійного аналізу було отримано математичну модель:

$$y_{и.п} = 1,72 + 0,1 - x_1 + 30,764 - x_2 .$$

Користуючись цими знаннями за допомогою аналогічних математичних моделей можна оцінювати стабільність встановленої технології приготування сплаву. Ранжувати зміни технології приготування сплаву за значущістю, що призводять до забруднення розплаву оксидними плінами або воднем більшою чи меншою мірою. До змін технології можна віднести: зміни вологості шихтових матеріалів; зміну постачальників; зміну частки "освіження";

порушення технологічних параметрів виконавцями; стабільність роботи обладнання тощо.

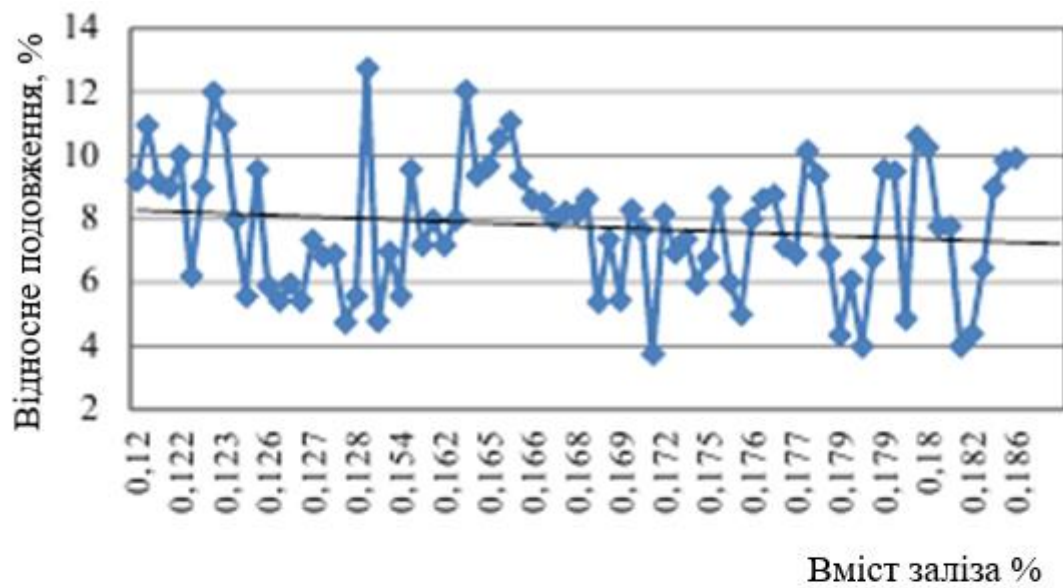
3.2. Аналіз впливу вмісту заліза на рівень механічних властивостей виливків

Статичний аналіз проводили за результатами випробувань рівня механічних властивостей виливків з урахуванням зон відбору зразків: спиця, обід і ступиця. Розрахунковий середній дендритний параметр досліджуваних зон (спиця, обід, ступиця) становить, відповідно, мкм: 35, 25 і 40; залежність рівня механічних властивостей виливків від вмісту заліза в сплаві представлено на рисунках 3.22-3.24.

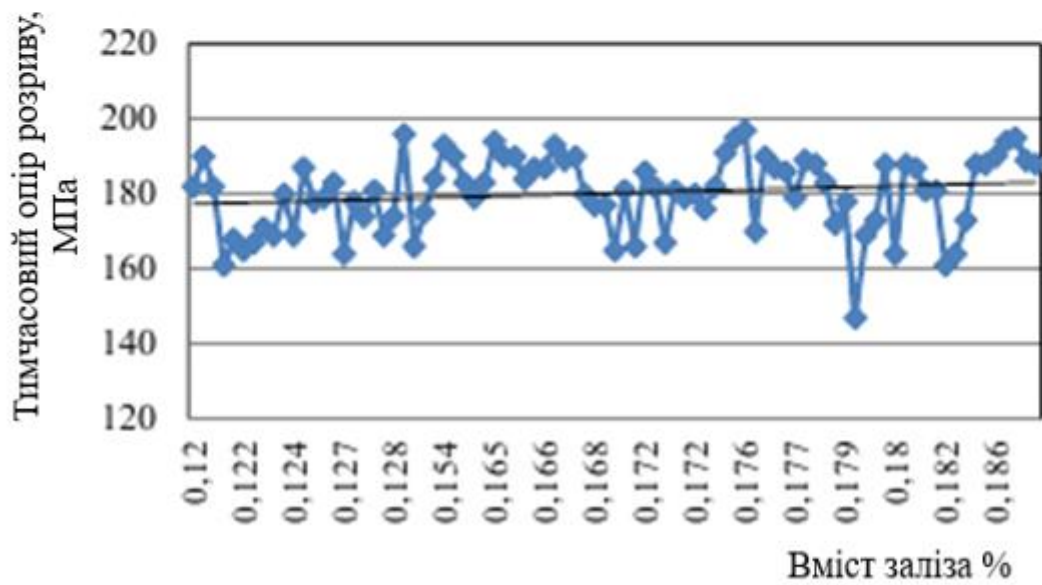
На підставі статистичного аналізу експериментальних даних видно, що в аналізованих сплавах спостерігається розкид значень механічних властивостей, пов'язаний з його ліквідацією за перерізом виливка. Підвищення вмісту заліза в сплаві з 0,12 до 0,186 % призводить до підвищення часового опору розриву і зниження відносного подовження виливків

При вмісті заліза 0,15 % форма гістограми для відносного подовження - негативно скошена; для тимчасового опору розриву - позитивно скошена.

Це можна пояснити тим, що за вмісту заліза 0,15 % частина заліза утворює голчасту β -фазу, присутність якої окрихчує сплав. При цьому на розкид механічних властивостей значний вплив чинить розмір β -фази, що первинно кристалізується з розплаву (тобто розмір β -фази є значущим фактором). Виділення β -фази відбувається по межах зерен (нерівномірне). Вміст β -фази залежатиме від швидкості кристалізації розплаву і ступеня його перегріву. Чим вища швидкість кристалізації і нижчий ступінь перегріву, тим менша ймовірність утворення β -фази. При цьому мікрооб'єми, вільні від виділення β -фази, дають більш високі механічні властивості.

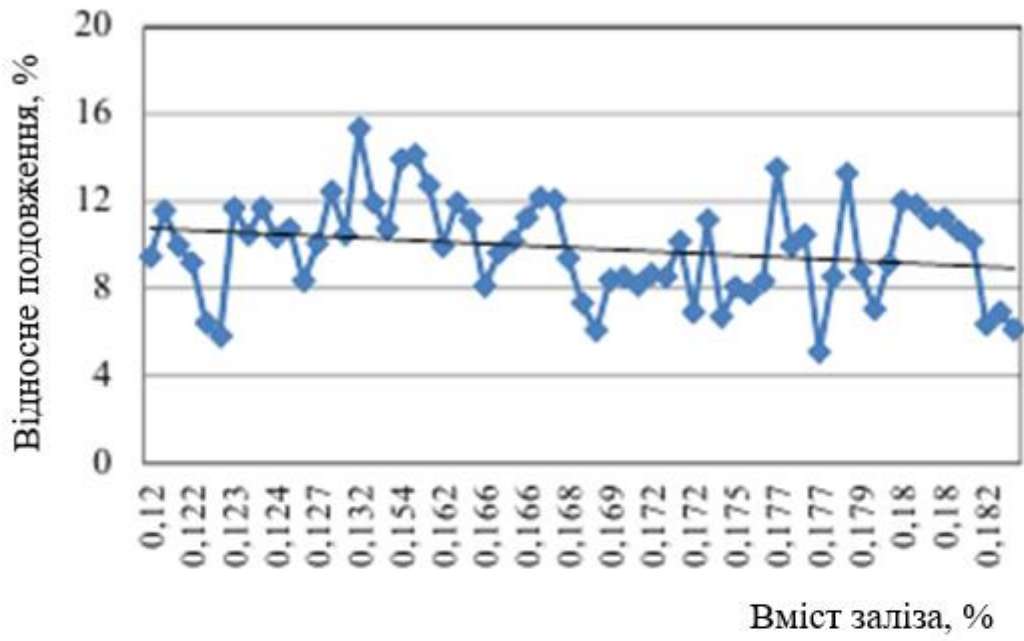


a

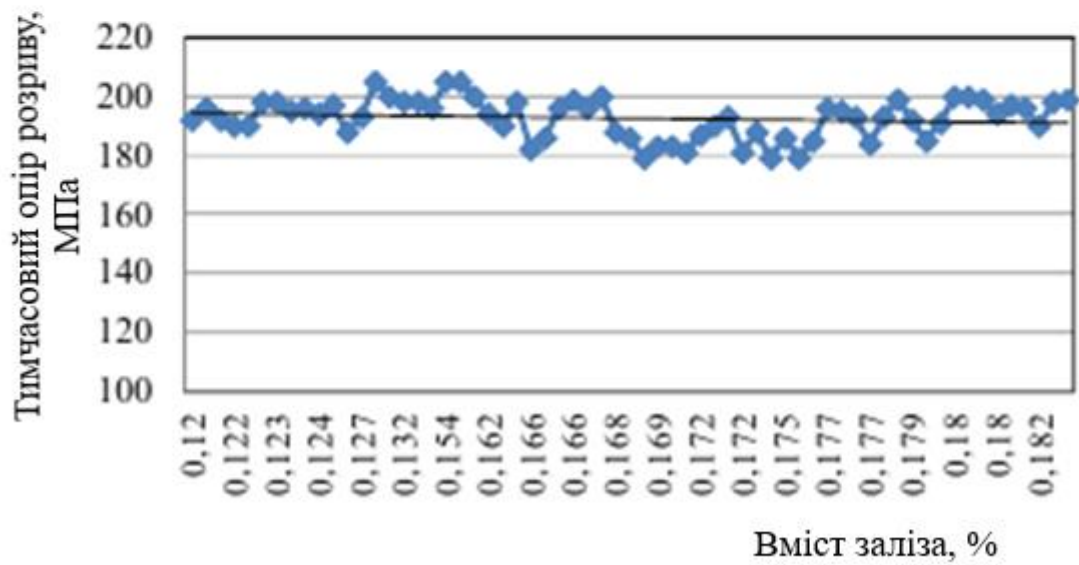


б

Рис. 3,22 Відносне подовження (а), та тимчасовий опір розриву (б) у зоні спиці

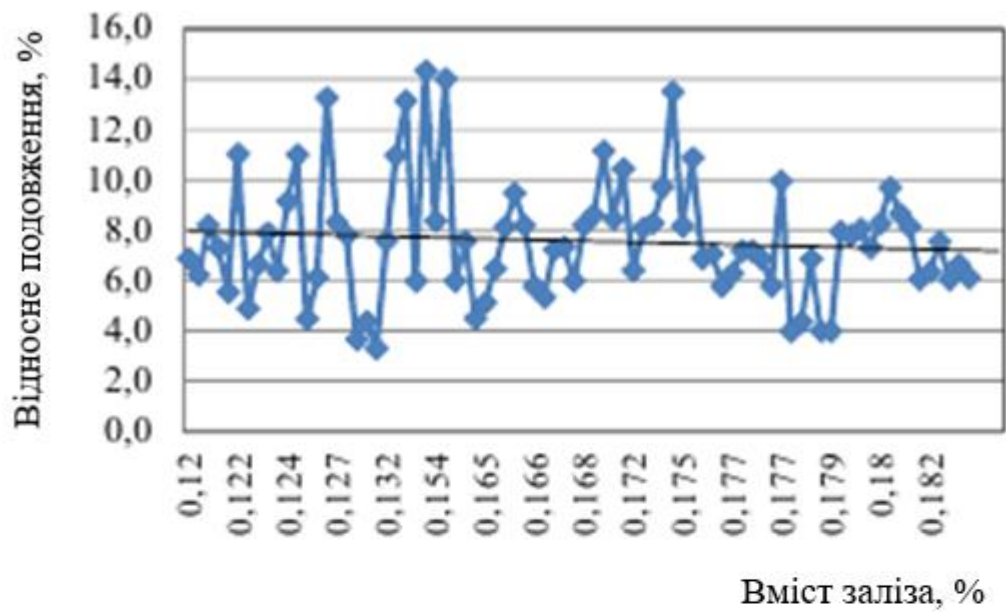


а

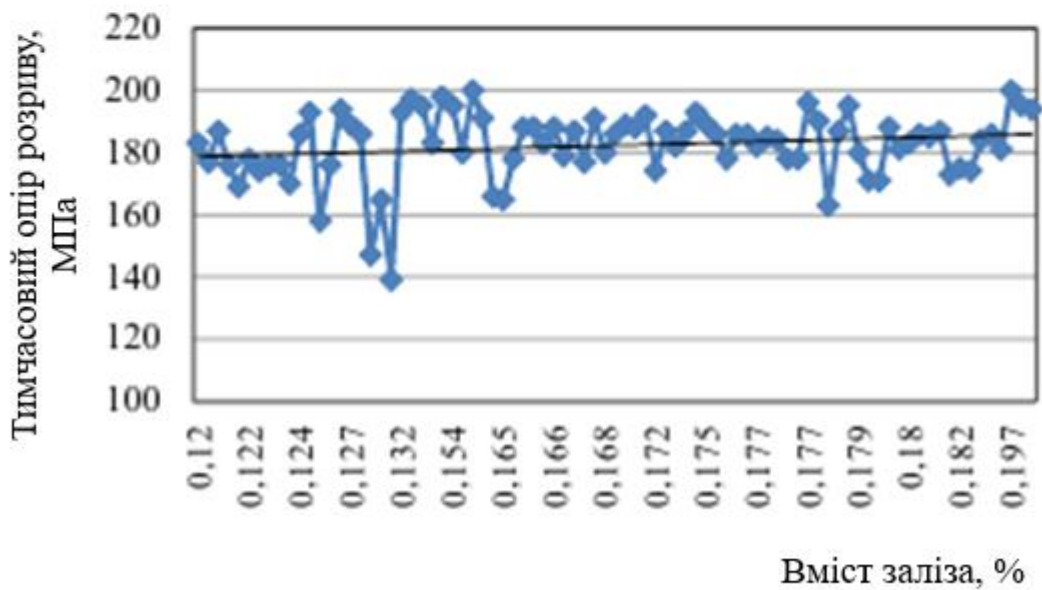


б

Рис. 3,23 Відносне подовження (а), та тимчасовий опір розриву (б) у зоні ободу



a



б

Рис. 3,24 Відносне подовження (а), та тимчасовий опір розриву (б) у зоні ступиці

При вмісті заліза 0,18 % характерна звичайна форма гістограми. Це пояснюється зміцненням α -твердого розчину за рахунок розчинення заліза в ньому. При цьому підвищується стабільність розподілу значень рівня механічних властивостей за несуттєвого зниження їхніх абсолютних значень (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Значення рівня механічних властивостей сплаву АК12 з різним вмістом заліза

Вміст заліза, %	Середнє значення	
	відносного подовження, %	тимчасового опору розриву, МПа
0,15	8,9	187
0,18	8,0	185

3.3. Дослідження зміни властивостей колеса за окремими його зонами

Для досліджень обрано представницьке колесо розміром 16 дюймів. Зразки вирізали з трьох зон: обід, спиця, ступиця, кількість зразків - не менше трьох від кожної частини колеса. Механічні властивості таких зразків показано на рисунку 3.25.

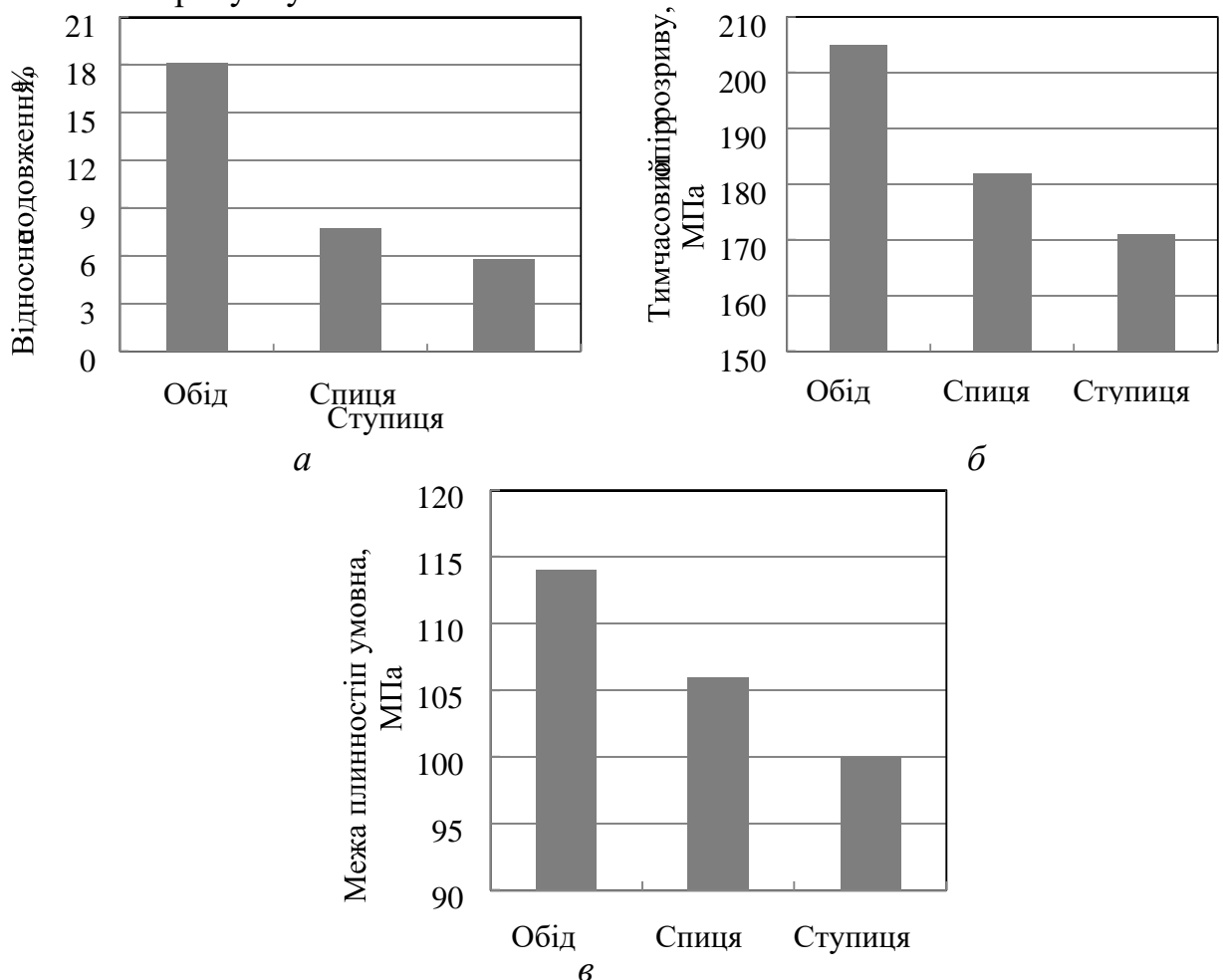


Рисунок 3.25 - Механічні властивості зразків, вирізаних із різних зон колеса: *а* - відносне подовження, *б* - тимчасовий опір розриву, *в* - межа плинності умовна.

З наведених результатів видно, що для зразків, вирізаних із зони обода, характерні максимальні механічні властивості. Це можна пояснити різними швидкостями кристалізації розплаву в трьох зонах колеса, пов'язаними з формою деталі.

Як відомо, швидкість кристалізації можна оцінити за розміром дендритних осередків (рисунок 3.26). Зі збільшенням швидкості кристалізації відбувається зменшення розмірів дендритних осередків α -твердого розчину та евтектичного кремнію, тим самим забезпечуючи збільшення рівня механічних властивостей виливків.

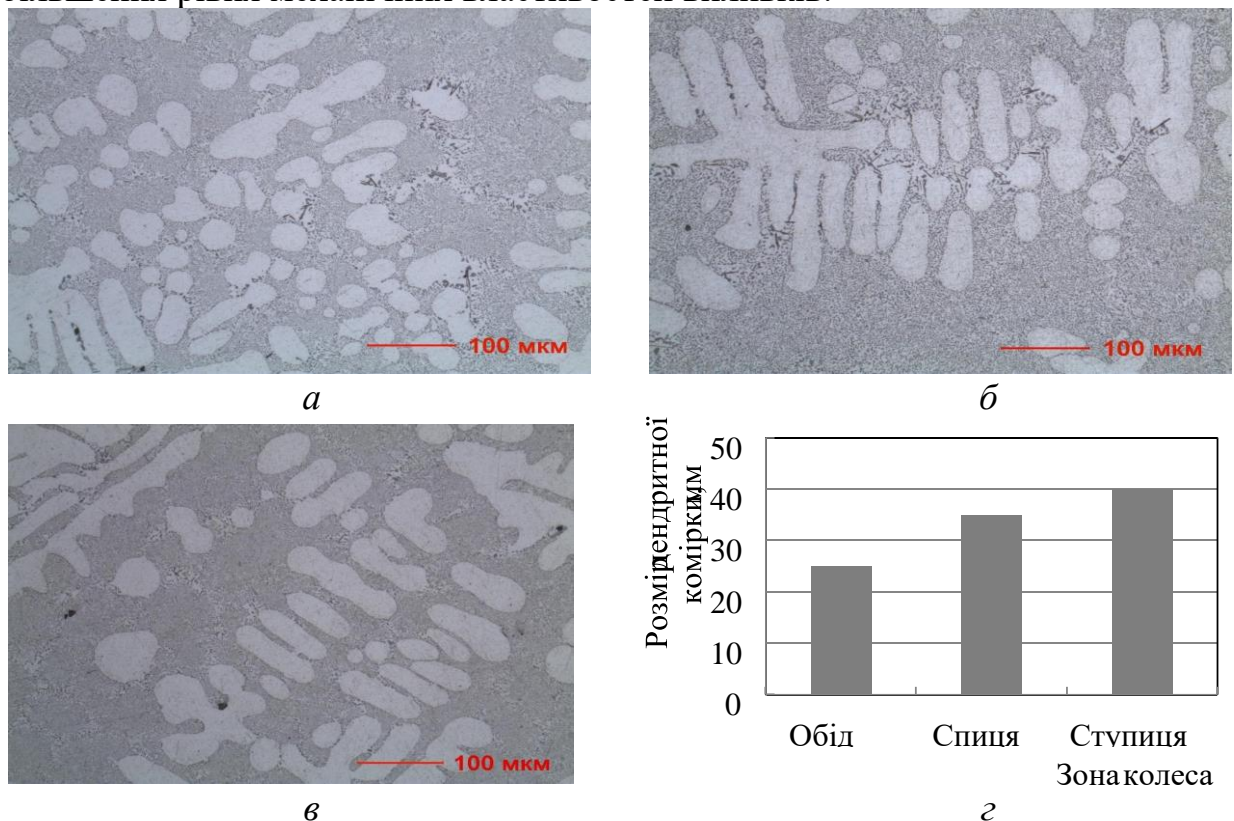


Рисунок 3.26 - Мікроструктура зразків, вирізаних із різних зон колеса: *a* - обід, *б* - спиця, *в* - ступиця; *г* - розмір дендритної комірки

Під час аналізу структурних складових, а саме розмірів дендритних осередків з використанням номограми "залежність дендритних осередків від швидкості охолодження під час кристалізації", можна встановлювати швидкості охолодження, які гарантують формування структури, що забезпечує необхідний рівень механічних властивостей.

Таким чином, умови кристалізації є найважливішими параметрами під час виробництва фасонних виливків.

Нерівноважні умови кристалізації сприяють ліквідації. Під час кристалізації в ступиці формується грубіша структура, як порівняти зі спицею і ободом.

При цьому відмінність дендритного параметра становить близько 20 мкм. Це призводить до формування грубої структури і більш грубих включень β фази, за рахунок цього проявляється ефект ліквідації заліза, тобто

частина заліза йде на утворення β -фази. Чим грубіша структура, тим більше протікає ліквідація в сплаві.

Таким чином, під час подальших досліджень зміни структури та властивостей фіксуватимуться за різними перетинами автомобільного колеса.

3.4. Дослідження властивостей АК12 з різним співвідношенням Fe : Mn

Критичний вміст заліза в сплаві, як було запропоновано в роботі [14], можна розраховувати за формулою:

$$Fe_{crit} \approx 0,075 \cdot [\%Si] - 0,05,$$

де $[\%Si]$ - вміст кремнію, %.

Тоді, при вмісті кремнію 11 % гранична кількість заліза не повинна перевищувати 0,7-0,8 %.

Таким чином, для адаптації алюмінієвого сплаву, приготованого на алюмінії А7, до умов одержання литих коліс і вимог, що пред'являються до них, необхідні всебічні дослідження структури і властивостей останніх.

Для модифікування сплаву використовували лігатури AlTi5B1 і AlSr10, очищення розплаву виконали методом позапічного рафінування. Температура лиття становила 700-720 °С.

Для визначення оптимальних концентрацій заліза і марганцю в ливарних сплавах системи Al-Si, призначених для лиття коліс під низьким тиском, було обрано сплав АК12.

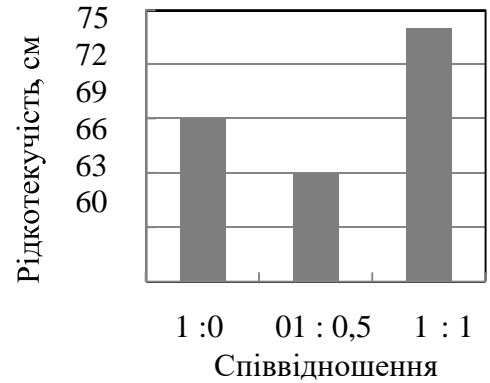
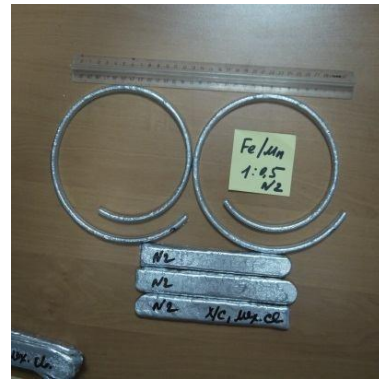
Встановлення впливу співвідношення заліза до марганцю на структуру і властивості сплаву проводили на дослідних зразках, хімічний склад яких, наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Хімічний склад експериментальних сплавів

Номер сплаву	Співвідношення Fe : Mn	Вміст елемента, мас.% (алюміній - решта)				
		Si	Fe	Mn	Mg	Sr
1	1 : 0	11,4	0,15	0,01	0,08	0,003
2	1 : 0,5	11,2	0,19	0,09	0,06	
3	1 : 1	11,3	0,21	0,20		

Результати досліджень мікроструктури, рідиноплинності, механічних властивостей проб алюмінієвих сплавів системи Al-Si з різним співвідношенням заліза і марганцю наведені на рисунки 3.27-3.29.

Дослідження мікроструктури засвідчили, що структура сплаву без додаткового легування марганцем складається з модифікованої евтектики та грубих голок β -фази стехіометричного складу $Al_5 FeSi$.



Fe : Mn в

г

Рисунок 3.28 - Залежність рідинотекучості від співвідношення Fe : Mn: а - 1 : 0, б - 1 : 0,5, в - 1 : 1; г - значення рідини плинності

За співвідношення Fe : Mn, що дорівнює 1 : 0,5, у структурі спостерігаються мікрооб'єми з грубими включеннями β -фази, а також виявляється присутність $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ у вигляді китайського ієрогліфа - α -фаза.

Подальше збільшення вмісту марганцю в сплаві та доведення співвідношення Fe : Mn до 1 : 1 призводить до повного зникнення голчастої модифікації залізистої фази та утворення компактнішої α -фази по всьому перетину шліфа .

Структура, що отримала назву "китайський шриффт", свідчить про те, що введення елемента-компенсатора в необхідній кількості пригнічує утворення голкоподібної β -фази, внаслідок чого збільшується рідинотекучість (рисунок 3.28, в).

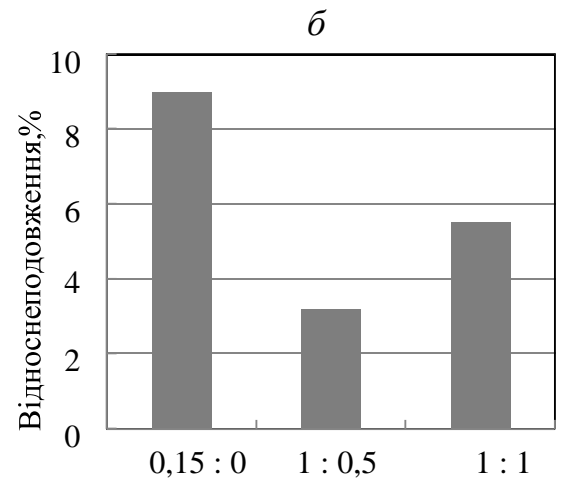
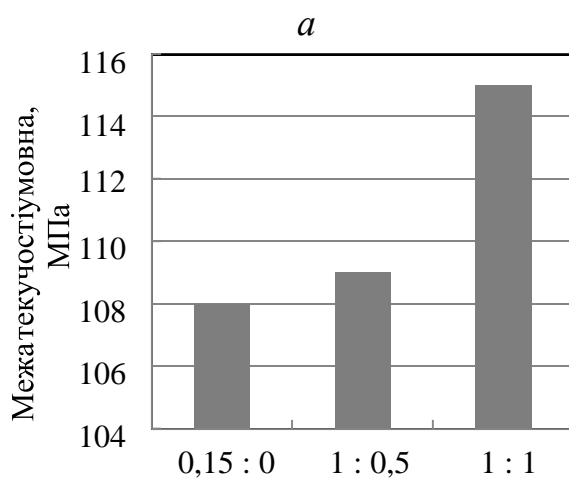
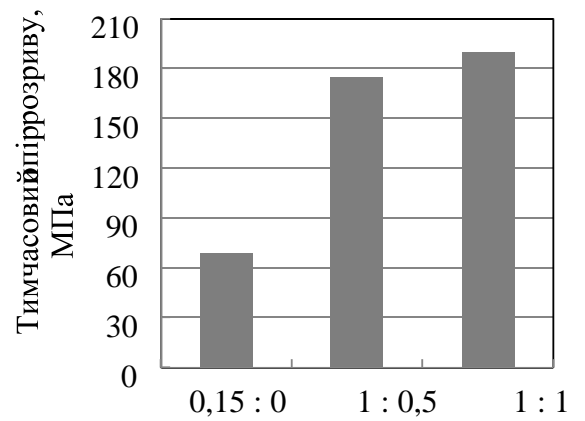
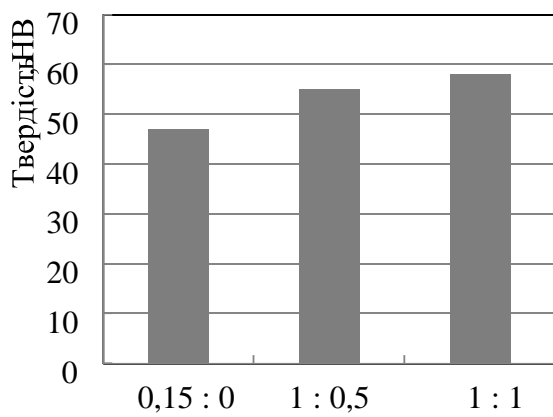


Рисунок 3.29 - Залежність механічних властивостей алюмінієвого сплаву від співвідношення в його складі Fe : Mn: *а* - твердість за Брінеллем, *б* - тимчасовий опір розриву, *в* - межа плинності умовна, *г* - відносне подовження

Вище описані співвідношення заліза до марганцю були випробувані під час виготовлення коліс. Середні значення механічних властивостей зразків із коліс показано на рисунку 3.30.

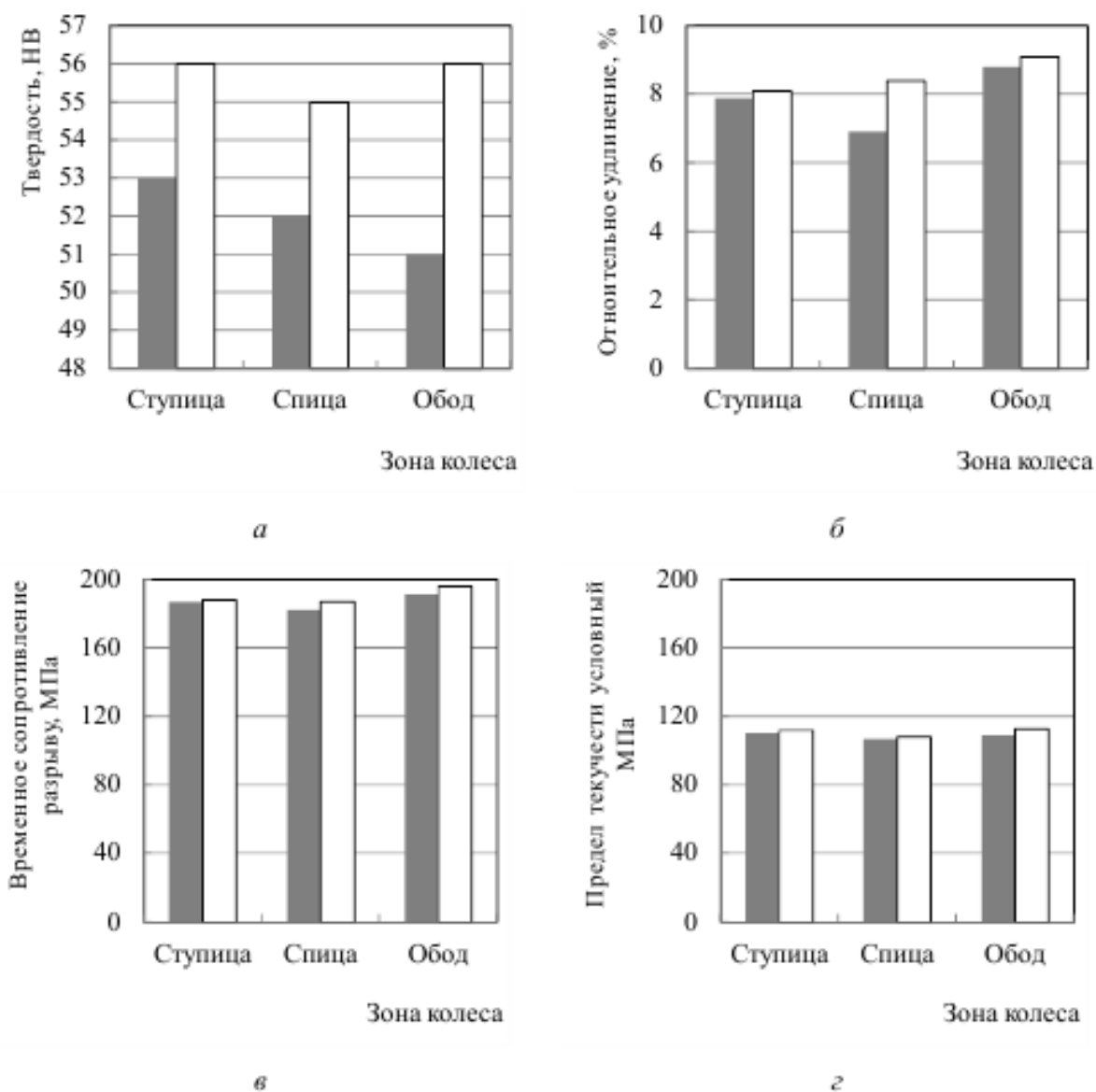


Рисунок 3.30 - Залежність механічних властивостей алюмінієвого сплаву від співвідношення у його складі Fe : Mn: *а* - твердість за Брінелем, *б* - відносне подовження; *в* - тимчасовий опір розриву; *г* - межа плинності умовна. Співвідношення Fe : Mn: □ - 1 : 1,0; ■ - 1 : 0,5

Збільшення твердості та міцності пояснюється додатковим зміцненням α -твердого розчину на основі алюмінію марганцем. Значний приріст твердості в зоні обода (зовнішньої бортової закраїни) пов'язаний з тим, що в цій зоні спостерігається найбільша об'ємна частка алюмінієвої фази.

Як показав статистичний аналіз, для зразків виливків зі сплаву із вмістом Fe : Mn = 1 : 1 розкид значень механічних властивостей удвічі нижчий, ніж для зразків для сплаву зі вмістом Fe : Mn = 1 : 0,5. Це пояснюється відсутністю грубих включень немодифікованої β -фази, формуванням більш дисперсної гомогенної структури. Крім цього, 23 % зразків виливків зі сплаву із вмістом Fe : Mn = 1 : 0,5 не відповідають вимогам ГОСТ Р 50511 за подовженням, а 3,5 % - за тимчасовим опором розриву.

Відхилень за механічними властивостями для зразків зі сплаву зі співвідношенням Fe : Mn = 1 : 1 не спостерігалось.

Таким чином, у разі використання сплаву з підвищеним вмістом заліза при виробництві коліс литтям під низьким тиском пріоритетним є збереження співвідношення Fe : Mn = 1 : 1. Проведені дослідження показують, що одним зі шляхів отримання продукції з підвищеними експлуатаційними властивостями, а саме легкосплавних коліс, за збереження конкурентоспроможної собівартості, є зміна складу широко застосовуваного си- луміну марки АК12.

3.5. Розробка технології лиття легкосплавних коліс зі сплаву АК12 з підвищеним вмістом заліза

Для оцінки впливу підвищеного вмісту заліза на якість коліс у системі ProCast було виконано моделювання процесів формування легкосплавних коліс за технологією лиття під низьким тиском за наявності у сплаві заліза 0,18; 0,25; 0,5; 1,0 і 1,5 %.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що з підвищенням концентрації заліза час затвердіння виливки зменшується (рисунок 3.31).

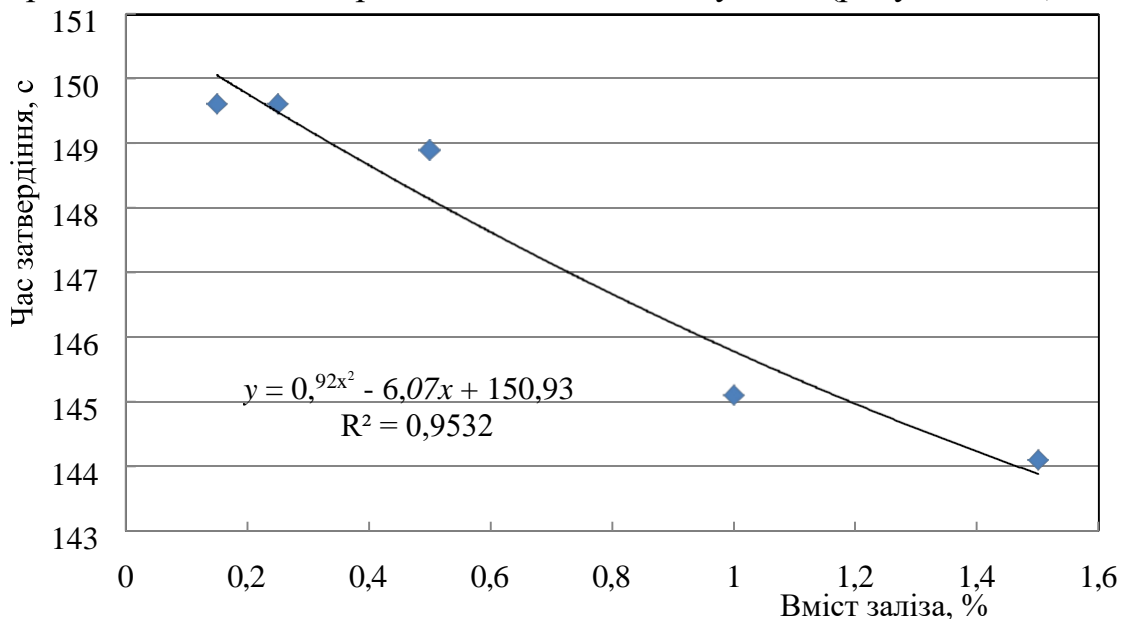


Рисунок 3.31 - Вплив вмісту заліза на час затвердіння коліс зі сплаву АК12

Отже, знаючи розрахунковий час затвердіння виливка, можна максимально економно відрегулювати та налаштувати режими лиття на ливарних машинах, що дає змогу заощадити електроенергію та трудові ресурси.

Для коліс із вмістом заліза до 0,25 % характерна зосереджена пористість, а саме пористість у зонах внутрішньої закраїни, і спиць. Ця пористість є незначною і некритичною для готового виробу.

Підвищення вмісту заліза до 1,5 % призводить до зростання пористості усадочного характеру. Це пов'язано з утворенням великої голчастої β -фази, яка перешкоджає вільній течії евтектичної рідини в міждендритному просторі. Оцінка отриманого результату моделювання дає можливість визначити максимально допустимий вміст заліза, за якого зберігаються серійні параметри лиття коліс під низьким тиском.

З іншого боку, вимоги до хімічного складу сплаву EN 1706:1998 обмежують вміст марганцю (не більше ніж 0,35 %), максимальний вміст заліза за результатами раніше проведених робіт також не повинен перевищувати 0,35 %.

Тому в даній роботі було вивчено вплив вмісту заліза (до 0,35%) і марганцю (до 0,30 %) на рідинотекучість, механічні властивості та структуру проб сплаву АК12.

Приготування розплаву проводили на дослідній ділянці лиття на основі шихтових матеріалів: первинний алюміній А7, залізо-вмісна лігатура власного виробництва, кремній кристалічний. Температура лиття 670-690 °С. Під час експериментів було приготовлено три плавки, хімічний склад яких наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Хімічний склад дослідних плавок

Номер сплаву	Вміст елемента, мас. %			
	Si	Fe	Mn	Ti
1	11,20	0,25	0,18	0,098
2		0,30	0,17	0,890
3		0,35	0,31	0,082

Результати дослідження рідинотекучості, виміряної за спіральною пробою (ГОСТ 16438-70) сплаву АК12 з різним вмістом заліза, наведено на рисунку 3.32.

Зменшення рідинотекучості можна пояснити тим, що зі збільшенням вмісту заліза відбувається укрупнення голчастої β -фази, яка перешкоджає вільній течії евтектичної рідини в міждендритному просторі. Введення марганцю у співвідношенні меншому, ніж 1 : 1, не призводить до зміни морфології β -фази в усіх мікрооб'ємах. Збільшення вмісту заліза понад 0,25 % спричиняє зміну температури ліквідусу сплаву (таблиця 3.5),

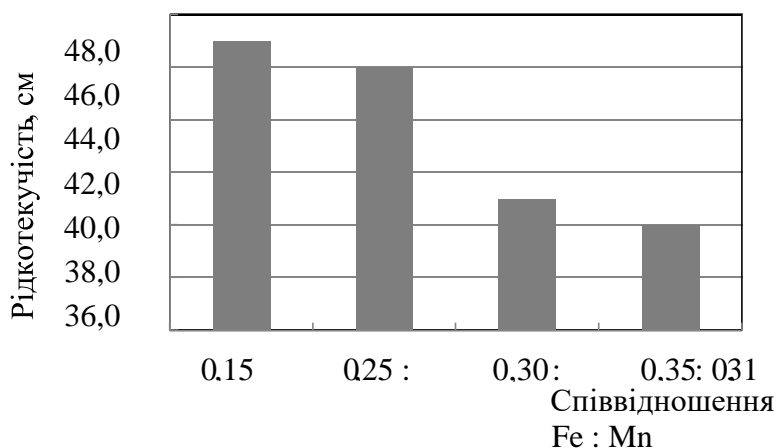


Рисунок 3.32 - Рідкотекучість сплаву АК12 з різним вмістом заліза

Таблиця 3.5 - Температура ліквідусу і солідусу сплаву АК12 з різним вмістом заліза

Номер сплаву	Співвідношення Fe : Mn	Температура, °C					
		нагрівання			охолодження		
		ліквідуса	солідуса	Δt	ліквідуса	солідуса	Δt
-	0,15 : 0,00	589,4	575,0	14,4	585,4	578,0	7,4
1	0,25 : 0,18	581,5	575,5	6,0	576,0	572,8	3,2
2	0,30 : 0,17	581,3	575,4	5,9	576,5	572,3	4,2
3	0,35 : 0,31	579,8	574,4	5,4	582,0	574,1	7,9

Дослідження мікроструктури і механічних властивостей показали, що дендритний параметр зразків становив 20 мкм, що припускає високі швидкості кристалізації сплаву, які є порівнянними зі швидкостями кристалізації окремих зон автомобільного колеса, зокрема, тонких перетинів колеса.

Співвідношення залізо : марганець 1 : 1 забезпечує зміну морфології залізовмісної β -фази з голчастої на скелетоподібну форму, що призводить до збільшення механічних властивостей коліс при литті під низьким тиском. Збільшення або зменшення кількості марганцю в цьому співвідношенні (наприклад, сплав № 2 (рис. 3.33)) не призводить до утворення скелетоподібної фази в усьому об'ємі вилівка під час кристалізації.

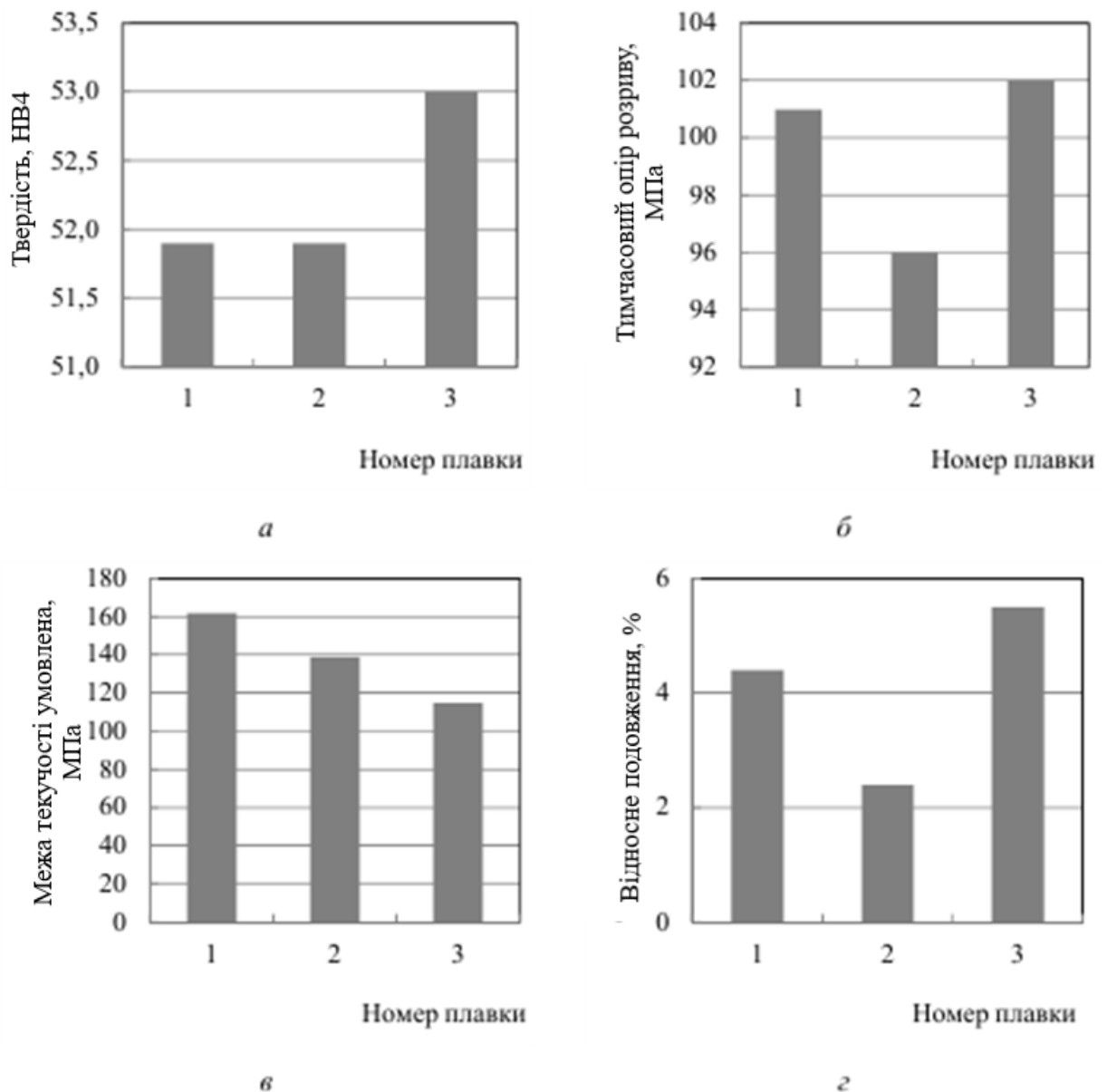


Рисунок 3.33 - Залежність механічних властивостей алюмінієвого сплаву від співвідношення в його складі Fe : Mn: *а* - твердість за Брінеллем, *б* - тимчасовий опір розриву, *в* - межа плинності умовна, *г* - відносне подовження

Зміна міцності і твердості закономірно підвищується при збільшенні вмісту заліза в сплавах № 1 і № 3.

Таким чином, оцінка отриманих результатів моделювання дає можливість визначити максимально допустимий вміст заліза (0,5 %), за якого зберігаються серійні параметри лиття коліс під низьким тиском. Дослідження параметрів структури та рівня механічних властивостей зразків зі сплавом АК12 показали, що максимальний вміст заліза в сплаві не повинен перевищувати 0,25 %, при цьому пріоритетним залишається співвідношення залізо : марганець, що дорівнює 1:1.

Механічні властивості коліс можуть бути додатково підвищені за рахунок додаткової термічної підготовки під час фарбування.

3.6. Висновки

За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки:

1. Запропоновано метод індексу щільності для експрес-контролю водню в ливарних алюмінієвих сплавах. Визначено контрольні межі значень індексу щільності, що забезпечують отримання якісних виливків коліс методом лиття під низьким тиском з алюмінієвих сплавів. За індексу щільності 8 % ураженість оксидними плінами на макрошліфі становить від 0,5 до 1,5 %, вміст водню в сплаві - 0,2-0,25 см³/100г.³

2. Встановлено залежності вмісту водню і неметалевих включень за методом технологічної проби.

3. Під час лиття коліс під низьким тиском вміст марганцю в силуміні не має перевищувати 0,20-0,25 % за вмісту заліза 0,20-0,25 %. Рівень механічних властивостей коліс, виготовлених тодом лиття під низьким тиском з дослідного сплаву, на 25 % за межею умовної плинності, на 15 % за тимчасовим опором на розрив і на 40 % за відносним подовженням вищі за рівень властивостей коліс, отриманих за серійною технологією. .

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АЛЮМІНІЄВОГО ЛИТТЯ

Економічна ефективність діяльності ливарного підприємства один із показників, що чітко регламентує результати виробництва і продажу придатної ливарної продукції. Цей показник у загальному вигляді представляє собою співвідношення доходності та витратності. Тому якщо необхідно встановити, яка ж технологій більш оптимально відповідає місії підприємства потрібно сформулювати величини доходу для порівнюваних технологій та витрати на виробництво лиття.

Для обґрунтування впровадження технології алюмінієвого лиття під низьким тиском необхідно порівняти її з традиційним способом отримання лиття з алюмінієвих сплавів.

Відомо, що для здійснення діяльності підприємству необхідний певний набір ресурсів:

- працівники,
- обладнання,
- матеріали і енергія, які допоможуть отримати придатне до продажу лиття.

Стосовно працівників необхідно сказати, що для підвищення ефективності діяльності потрібне зниження трудомісткості робіт та зростання продуктивності праці.

Чисельність основних робітників визначали за нормами обслуговування основного технологічного устаткування. При цьому час роботи одного працівника за рік визначається на основі балансу робочого часу (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Баланс робочого часу одного працівника за рік

Індекс	Види витрат часу	Кількість днів
1	Кількість календарних днів за рік	365
2	Неробочі дні, у тому числі:	114
2.1	святкові	10
2.2	вихідні	104
3	Режимний час підприємства	251
4	Втрати робочого часу працівників (середні по галузі), у тому числі:	38
4.1	по причині захворювання (лікарняні листи)	12
4.2	відпустки	24
4.3	невиходи з дозволу адміністрації	1
4.4	скорочення робочого часу	1
5	Всього фонд робочого часу	210

На підставі табл. 4.1 визначали обліковий склад робітників, який визначається з урахуванням облікового коефіцієнту ($K_{обл}$):

$$K_{обл} = \Phi PC_{реж} / \Phi PC_{пл}, \quad (4.1)$$

де: $\Phi PC_{рез}$ – режимний річний фонд роботи підприємства, днів;
 $\Phi PC_{пл}$ – плановий фонд роботи працівника за рік, днів.

$$K_{обл} = 251/210 = 1,2$$

Загальна чисельність робітників крім основних робітників включає допоміжних та керівників всіх рівнів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку чисельності працівників ливарного цеху

Професія / посада	Кваліфікація, розряд	Явочний штат однієї робочої зміни	$K_{обл}$	Обліковий склад
ОСНОВНІ РОБІТНИКИ:				
Плавильник	5	2	1,2	2
Ливарник	5	4	1,2	5
Разом		6		7
ДОПОМІЖНІ РОБІТНИКИ				
Кранівник	4	1	1,2	1
Слюсар по ремонту технологічного устаткування	5	2	1,2	2
Черговий слюсар-електрик	6	1	1,2	1
Разом		4		4
КЕРІВНИКИ ТА ФАХІВЦІ				
Начальник дільниці		1		1
Майстер		1		1
Механік дільниці		1		1
Разом		3		3
Разом в цеху				14

Розрахунок фонду заробітної плати робітників наведено в табл. 4.3, а керівників та фахівців в табл. 4.4.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунок фонду заробітної плати

Професія спеціальність	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Чисельність, осіб	ФРЧ, год./особу	Всього ФРЧ, год.	Основна заробітна плага, тис. грн.	Розрахунок додаткової плати, тис. грн.				Σ, тис. грн.
						Премія, 40%	Обов'язкові умови, 12%	Відпустка, 12%	Інші, 10%	
ОСНОВНІ РОБІТНИКИ										
Плавильник	128	2	1680	3360	420	168	50,4	50,4	42	730,8
Ливарник	125	5	1680	8400	1050	420	126	126	105	1827
Разом		7			1470					2557,8
ДОПОМІЖНІ РОБІТНИКИ										
Кранівник	105	1	1680	1680	176,4	70,5	21,2	21,2	17,6	306,9
Слюсар по ремонту технологічного устаткування	115	2	1680	3360	386,4	154,6	46,4	46,4	38,6	672,4
Черговий слюсар-електрик	115	1	1680	1680	193,2	77,3	23,2	23,2	19,3	336,2
Разом		4			756,0					1315,5
Середня ЗП, грн./міс одного робітника										29343,2

Таблиця 4.4 – Розрахунок фонду заробітної плати не робітничих посад

Посада	Посадовий оклад, грн./міс	Чисельність, осіб	Σ з урахуванням премії та інших надбавок за рік, тис. грн.
Начальник дільниці	35000	1	588
Майстер	28000	1	436,8
Механік	22000	1	330
Разом		3	1647
Середня ЗП, грн./міс одного працівника			37633

Для нормальної роботи дільниці лиття під тиском потужністю 15 тис. т придатних виливків за рік, найкращим вважається такий режим роботи, коли всі технологічні операції виконуються паралельно. Приймали однозмінний режим роботи цеху.

Попередньо встановлено, що $\Phi PC_{пл}$ устаткування і робітників становить 210 днів в середньому по ливарним виробництвам. При однозмінному (8-годинному) режимі роботи $\Phi PC_{ном}$ номінальний становитиме:

$$\Phi PC_{ном} = 210 \times 8 = 1680 \text{ год.}$$

Саме такий рівень показника використали і в табл. 4.3. Дійсний час роботи устаткування менший за номінальний на величину часу підготовки його до роботи (виведення на режим, наладка та ін.).

$$\Phi PC_{\phi} = 1680 - 140 = 1540 \text{ год.}$$

Основними відділеннями дільниці лиття під тиском ливарного цеху є плавильне, відділення лиття під тиском та фінішних операцій.

Таким чином, при встановленому режимі роботи працівників в кількості 14 осіб – 7 осіб основних робітників, 4 допоміжних та 3 керівного персоналу та фахівців загальний фонд нарахованих витрат на оплату праці склад 5520,3 тис. грн. на рік. Заробітна плата середньооблікового працівника цеху складає

$$\overline{ЗП} = \frac{5520300}{14 \times 12} = 32858,9 \text{ грн./міс.}$$

А продуктивність їх праці

$$ПП = \frac{15000}{14} = 1071,4 \text{ т/особу}$$

Нарахована заробітна плата обов'язково враховується при визначенні собівартості річного випуску продукції, а при визначенні вартісного еквіваленту випуску лиття ми ще повернемося до показника продуктивності праці після визначення річного прибутку.

Впровадження на діючому ливарному підприємстві технології лиття під тиском пов'язане з капітальними вкладеннями. За експертними даними вартість такого проекту визначається вартістю технологічного устаткування (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Розрахунок вартості технологічного устаткування

Назва та модель устаткування	Кількість, шт.	Вартість за од, тис. грн.	Загальна вартість, тис. грн.
ОСНОВНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ			
Роздаточна піч САТ-0,25	7	42,0	294,0
Індукційна піч ІСТ-0,16	2	62,4	124,8
Піч для підігріву металу РТЕ 100/09	1	48,0	48,0
Машина лиття під тиском мод. 711А07	3	240,0	720,0
Машина лиття під тиском мод. 711А09	1	280,0	280,0
Машина лиття під тиском мод. 711А06	2	180,0	360,0
Машина лиття під тиском мод. 711А08	1	202,0	202,0
Разом			2028,8
ДОПОМІЖНЕ УСТАТКОВАННЯ			
Шліфувальний верстат ЗМ151	1	10,2	10,2
Стрічкова пила ЛС 80	2	16,8	33,6
Токарний станок 7А36	1	27,2	27,2
Разом			71,0
ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ ОБЛАДНАННЯ			
Кран мостовий, 5т	1	62,0	62,0
Візок	3	2,7	8,1
Разом			70,1
Всього			2169,9

При розрахунку вартості необхідного устаткування на його монтаж і наладку індексуємо витрати у розмірі 10-25% від його вартості. Тоді капітальні вкладення складатимуть:

$$KB = 2169,9 \times 1,2 = 2603,88 \text{ тис. грн.}$$

Враховуючи, що підприємство може використовувати для встановлення устаткування наявні приміщення до капітальних вкладень їх не відносимо. Але для розрахунку амортизації їх вартість необхідна (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Дані про вартість виробничих будівель (об'ємом 19584 м³) з необхідними для впровадження технології комунікаціями

Тип будівлі	Елементи	Вартість робіт, грн./м ³	Вартість, тис. грн.
Виробничо-побутова	Приміщення	50	979,2
	Водопостачання	0,45	8,8
	Каналізація	1,05	20,6
	Електропроводка	0,6	11,8
	Вентиляція	0,8	15,7
Загального призначення	Зовнішній благоустрій	0,6	11,8
	Невраховані витрати	7,25	141,9
Усього			1189,7

Загальна вартість основних засобів складає

$$B_{\text{ОснЗ}} = 2169,9 + 1189,7 = 3359,6 \text{ тис. грн.}$$

А величина амортизації всього та на 1 т:

$$AB = 3359,6 \times 0,25 = 839,9 \text{ тис. грн.}$$

$$\overline{AB}_{\text{т}} = 839,9 / 70 = 11,99 \text{ грн./т.}$$

Для формування собівартості розраховували вартість матеріалів (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Визначення вартості основних матеріалів на річну програму

Назва матеріалу	Необхідна кількість, тис. т/рік	Вартість, грн./т	Вартість, тис. грн.
Алюмінієві сплави АК12, АК7	15	34000	510000
Повернення власного виробництва	3	22000	66000
Всього			576000

Потреба у електроенергії та її вартість (при ринковій ціні для промислових підприємств) 8,5 грн./кВт-год.

$$K_{\text{елен}} = 4140 \times 095 \times 311300 = 1224329 \text{ кВт-год./рік,}$$

$$B_{\text{елен}} = 1224329 \times 8,5 = 10406,8 \text{ тис. грн.}$$

Витрати стиснутого повітря для кожної одиниці устаткування становить:

$$K_{\text{ст.пов}} = 2639250 \text{ м}^3/\text{рік,}$$

і при ринковій вартості стисненого повітря 26 грн. за 100 м³, вартість віднесена на собівартість випуску буде:

$$B_{ст.нов} = 26392,5 \times 26 = 686205 \text{ тис. грн.}$$

Кількість води, що витрачається визначаємо з розрахунку 100 м³/год. на технологічні та побутові потреби та ціні 40 грн./м³ для питної т 16 грн./ м³ для технічної (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Визначення витрат на використання води

Напрямок витрачення	Кількість, од.	Час роботи, год.	Норма витрат, м ³ /год.	Річні витрати, м ³	Ціна, грн./м ³	Вартість, тис. грн.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОТРЕБИ						
Печі ІСТ-0,16	2	1680	0,3	130000	16	2080
ПОБУТОВІ ПОТРЕБИ						
Мийка	-	1840	0,45	1104	16	17,66
Душові	-	172	5,0	517,5	40	20,7
Питна вода	-		0,45	337,5	40	13,5
Підлога тепла	-		3,0	959	16	15,34
Разом						2147,2

Вартість газу визначаємо з потреби в 207 тис. м³ на рік при ціні для промислових підприємств 15 грн./ м³, вона дорівнює:

$$B_{газу} = 207 \times 15 = 3105 \text{ тис. грн.}$$

Всі розраховані величини витрат зводимо в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Загальновиробничі витрати по дільниці виготовлення лиття під тиском

Назва витрат	Сума, тис грн.
1. Заробітна плата (основна та додаткова):	
- основних робітників	2557,8
- допоміжних робітників	1315,5
- інший персонал	1647,0
- відрахування (22%)	1214,5
2. Енергетичні витрати:	
- електроенергія	10406,8
- стиснуте повітря	6862,1
- вода	2147,2
- газ	3105,0
3. Матеріали (основні) для здійснення технологічного процесу	576000
4. Ремонт та утримання в робочому стані	67,4
5. Амортизація	839,9
6. Транспортні витрати	0,21

7. Витрати на дослідження, випробування	5,24
8. Витрати на охорону праці	0,42
11. Інші витрати	0,35
Всього	606169,41

Тоді собівартість 1 т лиття з алюмінієвих сплавів під низьким тиском становитиме:

$$\overline{C}_{1T} = 606169,41 / 15 = 40411,3 \text{ грн./т}$$

Для порівняння варіантів технічних рішень застосовували такі показники економічної ефективності:

- трудомісткість продукції (t):

$$t = \chi_{\text{осн.р}} \times \Phi P \chi_{\text{ном}} / Q \text{ год./т} \quad (4.2)$$

де $\chi_{\text{осн.р}}$ – чисельність основних робітників, осіб;

$\Phi P \chi_{\text{ном}}$ – номінальний фонд роботи робітника за рік, год.;

Q – плановий річний обсяг виробництва продукції, т.

$$t_{\text{баз}} = 7 \times 1680 / 7000 = 1,68 \text{ год./т}$$

$$t_{\text{запр}} = 7 \times 1680 / 15000 = 0,784 \text{ год./т}$$

- фондвіддача устаткування при виготовленні продукції (ΦB):

$$\Phi B = \frac{Q}{B_{\text{оснз}}}, \text{ т/грн.} \quad (4.3)$$

де Q – обсяги випуску лиття, т;

$B_{\text{оснз}}$ – вартість основних засобів, тис. грн.

$$\Phi B_{\text{баз}} = \frac{7}{755,72} = 0,00926 \text{ т/грн.}$$

$$\Phi B_{\text{запр}} = \frac{15}{3359,6} = 0,00446 \text{ т/грн.}$$

Взагалі то чим більше рівень тим ефективніше використовуються основні засоби. В нашому випадку наявність капітальних витрат зменшує її рівень. І після настання моменту окупності можна буде адекватно порівняти варіанти технологій. Для визначення окупності проєкту з впровадження лиття під тиском необхідний показник приросту економічної вигоди. Для цього розраховували доход при ринковій ціні на лиття в 50000 грн./т, собівартості та прибутку, які представлені поміж інших показників в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Техніко-економічні показники відділення лиття під тиском

Показник	Значення за варіантами		Зміна, %
	базовий	запропонований	
Річний обсяг виробництва лиття, тис. т	7	15	+114,3
Чисельність технологічних робітників, осіб	5	7	+40,0
Продуктивність праці, т/особу	1400,0	2142,9	+53,1
Середня заробітна плата, грн./міс	23504,6	32858,9	+39,8
Доход, млн. грн.	350	750	+114,3
Загальна собівартість, млн. грн.	297,80	606,17	+103,5
Собівартість одиниці, грн./т	42542,8	40411,3	-5,0
Прибуток з урахуванням податку (18%), млн. грн.	42,80	117,94	+175,6
Фондовіддача устаткування, грн./грн.	56,63	35,11	-38,0
КВ, тис. грн.		2603,88	
Приріст прибутку, тис. грн.		75140	
Термін окупності впровадження технології лиття під тиском, року		0,035	

Порівнюючи розраховані показники з базовими можна зробити наступні висновки:

1) Рівень збільшення обсягів виготовлення лиття на 114,3% при збільшенні чисельності основних робітників з 5 до 7 осіб свідчить про високу ефективність виробництва. Продуктивність праці збільшиться на 53,1%. Це забезпечить можливість підвищення середньої заробітної плати по дільниці з 23504,6 до 32858,9 грн./міс.

2) При постійній ціні реалізації лиття доход збільшиться на 114,3%. Собівартість 1 тони придатного лиття зменшиться на 5% з 42542,8 до 40411,3 грн./т. Тому збільшення прибутку навіть після сплати податків на 175,6% забезпечить отримання його приросту в розмірі 75140 тис. грн. за рік роботи.

3) Отримання додаткового прибутку забезпечить погашення капітальних вкладень в сумі 2603,88 тис. грн. менше ніж за рік. Це повністю підтверджує ефективність реалізації технології лиття виливків із алюмінієвих сплавів під низьким тиском.

5. ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Заходи безпеки під час лиття під низьким тиском

До складу основного обладнання, яке необхідно розташувати на ливарній ділянці при реалізації технології лиття під низьким тиском (ЛПНД), входять: сама машина ЛПНД, пульт керування, піч із машинним або ламповим генератором. Залежно від типу ливарної машини треба передбачити на ділянці транспортний візок із тиглем для перевезення металу від печі до машини або здійснювати заливання металу безпосередньо в камеру машини.

Випускають два типи машин ЛПНД.

Перший тип – це машини з вертикальним роз'ємом. На таких машинах роблять виливки середніх габаритів приблизно до 50 кг, так як відкриття форми обмежене підйомом верхньої траверси.

Другий тип – це машини з горизонтальним розкриттям кокіля (форми). Такі машини призначені для великих виливків діаметром до 900 мм та висотою до 1200 мм. Найбільша вага вилівка з алюмінієвого сплаву – 300 кг.

Індукційна піч є повітряним трансформатором, первинною обмоткою якого є водоохолоджуваний індуктор, а вторинної – сталева камера з тиглем. Між камерою та індуктором виконано теплоізоляцію з меленого діатоміту. Потужність нагрівача в залежності від типу печі може досягати 60 кВт. Регулюється потужність перемикачними виводами індуктора. Герметична камера з'єднується з пневматичною системою за допомогою труби необхідного діаметра. Поряд з машиною знаходяться пульт керування з пневмосистемою, насосна станція гідроприводу, шафа з приладами теплового контролю, шафа силового електроустаткування з конденсаторною батареєю. Така батарея включає необхідну кількість конденсаторів та силовий трансформатор із колонкою для охолодження води. У печі передбачена система водоохолодження для витків індуктора, мастила в системі гідроприводу та фланця герметизації. Важливо контролювати, щоб температура рідини та води (на виході з індуктора) не перевищувала допустимого значення.

У разі перевищення допустимого значення температури води на виході з індуктора повинен спрацювати пристрій світлової та звукової сигналізації; роботу слід призупинити, з'ясувати причину несправності (можливо доведеться витягти і замінити робочий тигель). У системі управління є реле тиску, за допомогою якого відключаються індуктор і нагрівачі металеві при падінні тиску води в системі нижче за нормальний. Усі штоки гідроциліндрів захищені від забруднення телескопічним кожухом.

Коротка характеристика технологічного процесу на ділянці

1. Ділянка з машиною ЛПНД вертикального типу.

Рекомендації щодо розміщення обладнання. При розміщенні обладнання треба його правильно розставити, при цьому необхідно забезпечити необхідні проходи і проїзд візка з тиглем, зручність всіх операцій заливки металу. Слід

також забезпечити зручність огляду та доступу до всіх органів управління та до кнопки «Всі стоп» на печі та пульті управління. Поряд з машиною, автономно, на відстані 2,5-3 м, встановлюється плавильна піч для плавки, рафінування, модифікування, наведення та скачування шлаку металу.

Треба виключити небезпеку випадкового падіння працівника (заливальника металу) у колодязь. В місцях можливого падіння необхідно встановити огороження, наприклад, переносні сітчасті. На такій ділянці має працювати не менше двох осіб: оператор установки та плавильник заливальник; кількість працівників уточнюється у процесі виконання ВКР.

Завантаження печі. Завантажує плавильну піч металевими чушками робітник, який після цього залишає ділянку. Таке завантаження металу в піч здійснюється працівником вручну із спеціального контейнера, встановленого на відстані 5-7 м. Такий контейнер можна встановити і в окремому приміщенні, але для нього треба передбачити місце. На практиці чушки в контейнерах на ділянці зберігають рідко. Інший, найчастіше застосований варіант: чушки привозять автокаром, працівник завантажує їх у піч і їде на автокарі з ділянки.

Заливання металу в тиглі. Після приготування металу в печі працівник вручну за допомогою ковша заповнює розплавленим металом тигель, встановлений на транспортному візку, потім перевозить метал на візку до машини ЛПНД, де ковшом середньої ємності вручну один раз на зміну заповнює тигель камери ливарної машини. Для зручності заливання металу в цей тигель камера з тиглем викочується по рейках нижньої частини машини ЛПНД горизонтальним пневмоциліндром, закріпленим на рівні колодязя. Ця нижня частина і рейки втоплені на підлогу, але може бути встановлені лише на рівні підлоги, тобто. без колодязя. Коли у викочуванні залишається невелика кількість металу, виробляють доливку. Шлак та інші неметалеві включення видаляють у плавильній печі.

Закінчення процесу виливки. Після закінчення процесу лиття і кристалізації виливок піднімається вгору при підйомі траверси і упорами скидається на лоток, який поміщається під виливок у робочому вікні установки. .

2. Ділянка з машиною ЛПНГ горизонтального типу.

Метал у тигель у такій машині заливається стопорним ковшем, що транспортується мостовим краном від печі. Отже, при розробці схеми планування та місць розміщення обладнання треба передбачити та виконати всі вимоги безпеки для такої схеми заливки металу: ширину проходів, безпека під час роботи мостового крана тощо. Створчастий роз'єм матриці кокіля дуже зручний для відливання деталей, що формою наближаються до тіла обертання, так як полегшує підхід працівника до робочої поверхні матриць для їх очищення та відновлення теплоізоляційного покриття. У схемі розташування устаткування ділянки також треба передбачити під центральною частиною станини бетонований приямок, де повинна розташовуватися індукційна піч підтримки заданої температури сплаву, що у тиглі, встановленому герметичну камеру.

Основні вимоги безпеки

Наявність системи захисту, контролю та сигналізації. Машини повинні мати запобіжні пристрої та (або) блокування, які запобігають витіканню або розбризкуванню розплавленого металу; розкриття кокіля, видалення виливків із розкритого кокіля за наявності залишкового тиску технологічного газу. Таке блокування має бути дублюванням в електро-і гідросистемах. Ці пристрої також повинні виключити: мимовільне закриття кокіля при аварійному розриві штока поршня і циліндра, що рухає рухову плиту; рух рухомої плити під час обслуговування оператором робочого простору. Також ці пристрої повинні виключити подачу повітря, яким створюється тиск на метал, при відкритому кокілі та відкритому люку для заливки розплаву в піч. Установки повинні мати: - клапан аварійного ручного скидання тиску; апаратуру, що забезпечує технологічну витримку виливки у кокілі. Машини повинні мати блокування, що відключає індуктор та нагрівач електропечі у разі витікання металу з тигля, виходу з ладу частини нагрівачів або системи охолодження індуктора.

Електробезпека машин. Повинні бути забезпечені такі заходи електробезпеки: опір ізоляції електронагрівачів щодо корпусу холодної електропечі з просушеним футеруванням не менше 0,5 МОм; опір ізоляції індуктора щодо корпусу електропечі не менше розрахункового (його отримують з розрахунку 1000 Ом на 1 В номінальної напруги індуктора). Ізоляція індуктора щодо корпусу електропечі повинна бути дуже високою і при випробуваннях повинна витримувати протягом 1 хв випробувальна напруга, що дорівнює подвоєному значенню номінальної напруги (при робочій нарузі на індукторі до 1000 В) і 1,3 номінальної напруги - при робочій нарузі більше 10 це індукційні установки ТВЧ). Крім цього, у системі водяного охолодження елементів електропечі, що знаходяться під напругою, повинні бути встановлені електропровідні труби.

Забезпечує герметичність всіх елементів обладнання. Усі водоохолоджувані елементи електропечі повинні постійно перевірятися на герметичність. Порядок контролю було наведено у гол. 17. Випробувальний тиск системи водяного охолодження має перевищувати робоче у 1,5 рази. Прокладання проводів до термопар слід виконувати ізольовано від прокладання проводів силових ланцюгів управління і сигналізації. З'єднання елементів корпусів електропечей також мають бути герметичними. Для постійного контролю у системі водяного охолодження мають бути встановлені прилади контролю температури та регулювання витрати охолоджувальної води. При такому контролі важливо перевіряти, щоб температура води на виході не перевищувала 45°C.

Наявність сигналізації. На щитах та (або) пультах управління повинні бути передбачені: світлова сигналізація, що вказує на стан електропечі та її складових частин (увімкнені, вимкнені); система сигналізації (світлова та звукова), що сповіщає про витікання металу з тигля, вихід з ладу нагрівачів та відмову системи охолодження індуктора.

Наявність блокувань. Машини ЛПНД повинні мати: блокування опускання траверси при монтажі кокіля та при обслуговуванні машини;

блокування подачі робочого тиску при розкритому кокілі; блокування розкриття кокіля; блокування при видаленні вилівка з розкритого кокіля за наявності робочого тиску над дзеркалом розплаву; клапан аварійного ручного скидання тиску.

Додаткові вимоги до безпеки. У правилах безпеки зазначено, що треба встановлювати витяжну вентиляційну панель, при цьому кількість повітря, що відсмоктується, має бути не менше 2000 м³/год на 1 м² панелі. Також важливо придбати та встановити якісні осушувачі (вологівідділювачі) стисненого повітря або інертного газу, які використовуються для створення робочого тиску. На осушувачах не варто економити, оскільки погано очищене та осушене повітря може підвищити небезпеку в пневмосистемі. У машині має бути апаратура забезпечення технологічної витримки вилівки у кокілі. Має бути пристрій, що запобігає підвищенню тиску газу в дозаторах та печах понад установлений. Установки повинні мати захисні кожухи або щити, що закривають зони, з яких можливе випадкове розбризкування розплавленого металу (доцільність встановлення таких пристроїв або їх відсутність треба обґрунтувати у розділі БЖД при виконанні ВКР).

Практика також показала, що важливо ставити на верхньому, кінчному кінці трубопроводу або металопроводу діафрагмовий розсікач. Це необхідно, щоб працюючого не облило рідким металом під час зняття та встановлення форми.

У машинах вертикального типу деякі вимоги норм, наведені вище, виконані в такий спосіб. Мимовільне розкриття кокіля виключено, тому що вся установка закрита броньованим ковпаком, у якому форма знаходиться під тиском (при литті з протитиском). У машині немає штока поршня та циліндра, що практично виключає мимовільне закриття кокіля. Так як метал подається знизу і при тиску газу на дзеркало металу, він не може розбризкуватися, тому захисні щити можна не ставити. Соленоїд замуrowаний у футеруванні, а тигель стоїть вище. Така конструкція знижує ризик, тому що якщо навіть станеться прогар тигля, то витікаючий метал не може потрапити на індуктор, оскільки він замуrowаний. Ковпак на машині за наявності повітря мимоволі не відкриється; він може відкритися лише у тому випадку, якщо тиск припиниться; але в цьому випадку є блокування з повітродувкою.

Наведені вимоги норм можна використовувати на етапі розміщення обладнання на плануванні ділянки, щоб грамотно передбачити місця для підведення до обладнання трубопроводів з повітрям, газом, водою, для встановлення додаткових щитів контролю тощо.

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки:

1. За експрес-методом індексу щільності для визначення водню в ливарних алюмінієвих сплавах визначено контрольні межі значень індексу щільності, що забезпечують отримання якісних виливків коліс методом лиття під низьким тиском з алюмінієвих сплавів. За індексу щільності 8 % ураженість оксидними плінами на макрошліфі становить від 0,5 до 1,5 %, вміст водню в сплаві - 0,2-0,25. Обґрунтовано застосовність методу технологічної проби для контролю оксидних включень у ливарних алюмінієвих сплавах.

3. Визначено, що під час лиття коліс під низьким тиском вміст марганцю в силуміні не має перевищувати 0,20-0,25 % за вмісту заліза 0,20-0,25 %. Рівень механічних властивостей коліс, виготовлених методом лиття під низьким тиском з дослідного сплаву, на 25 % за межею плинності, на 15 % за тимчасовим опором на розрив і на 40 % за відносним подовженням вищий за рівень властивостей коліс, отриманих за серійною технологією..

