

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний інститут, Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)
Кафедра фізичної матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Вплив високотемпературної обробки
розплаву на структуроутворення та механічні
властивості сплаву МП5

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи ІФ-619м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Термічна обробка металів
Поліський Т.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проф. Шапошєв В.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент [підпис]
(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
Кафедра Фізичного матеріалознавства
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Термічна обробка металів
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Жаїсник Іван Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Вплив високотемпературної обробки розплаву на структуроутворення та механічні властивості сталю МЛ5.

керівник проєкту (роботи) д.т.н., проф. Шамаєв Володимир Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 02 » листопада 2020 року № 293

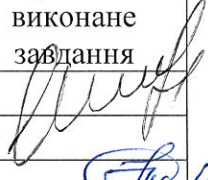
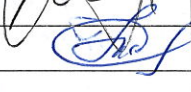
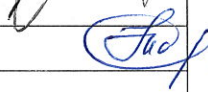
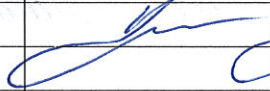
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) мварний магнітний сплав МЛ5, модифікований передіформуванням, властивості сучасних магнітних сплавів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз літературних джерел щодо технології передіформування розплаву. 2. Методика дослідження магнітного сплаву МЛ5. 3. Дослідна частина. 4. Співвідношення розділ. 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

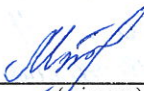
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3	д.т.н., проф. Шамаєв В. А.		
4	д. держ. упр., проф. Левченко Н. М.		
5.	к.т.н., доц. Геслеров О. В.		
Нормокафедра к.т.н., доц. Ткач Д. В.			

7. Дата видачі завдання « 05 » травня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел щодо теми та уточнення розуміння.	05.10 - 19.10.2020	
2.	Методика дослідження машинного слуху ММ5.	20.10 - 02.11.2020	
3.	Дослідна частинка.	03.11 - 20.11.2020	
4.	Економічний розділ.	17.11 - 30.11.2020	
5.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	03.11 - 16.11.2020	

Студент(ка)


(підпис)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Ковісник І. В.
(прізвище та ініціали)

Шамаєв В. А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 108 с., 28 рис., 25 табл., 68 джерела.

Об'єкт дослідження – ливарний магнієвий сплав МЛ5, модифікований перегріванням.

Мета дослідження – вивчення особливостей впливу перегрівання розплаву на структуроутворення та механічні властивості сплаву МЛ5.

У роботі досліджена можливість подрібнення розміру зерна і покращення механічних властивостей сплаву МЛ5 за рахунок модифікування його структури – високотемпературної обробки.

Проведено літературний аналіз наукових досліджень щодо технології перегрівання розплаву для металів і сплавів. Розглянуто особливості магнію та його сплавів, зокрема, магнієвого сплаву МЛ5. Зазначено властивості, особливості отримання та термічної обробки магнієвого сплаву МЛ5. Розглянуті дослідження перегрівання розплаву магнієвого сплаву МЛ5. Проаналізовано вплив перегрівання на структуроутворення та механічні властивості сплаву МЛ5. Зроблені висновки.

РОЗПЛАВ, ПЕРЕГРІВАННЯ РОЗПЛАВУ, ЗЕРНО, МАГНІЙ, СПЛАВ, МЛ5,
СТРУКТУРА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, МОДИФІКУВАННЯ,
ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз літературних джерел щодо технології перегрівання розплаву.....	8
1.1 Технологія перегрівання розплаву для металів і сплавів.....	8
1.2 Магній та магнієві сплави	13
1.2.1 Магній.....	13
1.2.2 Магнієві сплави	16
1.3 Особливості магнієвого сплаву МЛ5 (AZ91).....	18
1.3.1 Властивості магнієвого сплаву МЛ5.....	18
1.3.2 Отримання магнієвого сплаву МЛ5	20
1.3.3 Особливості термічної обробки магнієвого сплаву МЛ5	22
1.4 Особливості перегрівання розплаву магнієвого сплаву МЛ5 (AZ91).....	31
1.5 Висновки	39
2 Методика дослідження магнієвого сплаву МЛ5.....	40
2.1 Матеріал дослідження	40
2.2 Вивчення макроструктури магнієвого сплаву МЛ5	41
2.3 Вивчення мікроструктури магнієвого сплаву МЛ5.....	43
2.4 Механічні властивості та металографічні дослідження магнієвого сплаву МЛ5.....	44
2.5 Рентгеноспектральний аналіз.....	48
2.6 Математичні методи обробки даних.....	50
2.7 Висновки	52
3 Дослідна частина.....	53
3.1 Аналіз високотемпературної обробки магнієвого розплаву	53
3.1.1 Диференційно-термічний аналіз розплаву сплаву МЛ5	53
3.1.2 Вплив температури перегрівання розплаву на макро- та мікроструктуру сплаву	55

3.1.3 Аналіз інтерметалідної фази після ВТОР магнієвого сплаву МЛІ5	62
3.1.4 Вплив ВТОР на механічні властивості сплаву МЛІ5	65
3.2 Висновки	66
4 Економічний розділ	67
4.1 Опис основної ідеї – модифікування ВТОР	67
4.2 Перспективи практичного втілення ідеї на ринку магнію.....	68
4.3 Склад науково-дослідної команди	70
4.4 Тривалість виконання робіт	70
4.5 Витрати на оплату праці.....	72
4.6 Відрахування на соціальні заходи	73
4.7 Накладні витрати.....	73
4.8 Матеріальні витрати та витрати по споживанню послуг	74
4.9 Витрати по амортизації.....	77
4.10 Кошторис витрат	78
4.11 Економічна ефективність науково-дослідної роботи.....	79
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	81
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	81
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	82
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	89
5.3.1 Розрахунок надходження тепла у приміщення, та визначення кондиціонера.....	90
5.4 Заходи з пожежної безпеки	95
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	97
Висновки	101
Перелік джерел посилання	102
Додаток А.....	109

ВСТУП

З розвитком техніки значно підвищилися робочі температури при експлуатації виробів, тому створення ливарних магнієвих сплавів з високими характеристиками міцності і жароміцних характеристиками є актуальним завданням. У світовій практиці проводяться дослідження в області ливарних магнієвих сплавів, що мають досить високий рівень механічних властивостей при підвищених температурах.

У промисловості широко застосовуються легкі кольорові сплави. Зокрема, магнієві сплави. Впровадження їх супроводжується створенням нових технологічних процесів (плавки, лиття, термічної обробки виливків), а також розробкою спеціального ливарного устаткування.

Важливою сферою використання магнієвих сплавів є галузі сучасної техніки, де важливу роль відіграє показник вагової ефективності матеріалу, тобто зниження маси конструкції при збереженні характеристик міцності.

Магнієві сплави по питомій міцності наближаються до найбільш міцних алюмінієвих сплавів. При використанні їх у конструкціях вага деталей зменшується в порівнянні з алюмінієвими сплавами на 20-30% і на 50-75% у порівнянні із чавуном і сталлю.

Застосування виливків з магнієвих сплавів дозволяє істотно знизити масу агрегатів, що забезпечує збільшення їх ККД, підвищення швидкості, корисного навантаження, дальності пробігу, зниження витрат палива. Постійно зростаючі вимоги до експлуатаційної надійності і довговічності різноманітної техніки обумовлює необхідність підвищення властивостей виливків з магнієвих сплавів.

Для сучасного машинобудування стандартні магнієві сплави у ряді випадків не можуть забезпечити зростаючі до них вимоги, оскільки не мають достатнього рівня фізико-механічних і експлуатаційних властивостей.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕГРІВАННЯ РОЗПЛАВУ

1.1 Технологія перегрівання розплаву для металів і сплавів

У зв'язку з необхідністю поліпшення структури і механічних властивостей, отримання підвищеної якості металів і сплавів, особливе місце в металургії посідає технологія високотемпературної обробки – перегрівання розплаву.

Розплав – рідкий стан речовини, температура якої розташована в діапазоні між температурою кипіння і температурою плавлення. До розплавів в основному відносять речовини в рідкому стані, які в звичайних умовах існують переважно в твердому агрегатному стані [1].

У металургії розплави є як проміжними і побічними продуктами (шлаки-силікатно-оксидні розплави, штейни, сульфідні розплави, шпейзи – арсенідні), так і кінцевими (металеві розплави). Розплави використовують як електроліти для отримання і рафінування металів, нанесення покриттів. У вигляді розплавів отримують більшість сплавів [2].

Розплавлені метали і сплави складають групу металевих рідин. Міжчасткові зв'язки в них виникають переважно внаслідок взаємодії позитивних іонів з вільними електронами. Рідкі чисті метали відрізняються відносно простою будовою, проте сплави в цьому відношенні виключно складні, що і визначає різноманітність їх властивостей.

При плавленні твердих тіл відносне збільшення об'єму не перевищує 10%. Отже, середні відстані між частинками речовини в процесі плавлення майже не змінюються. У той же час при випаровуванні вони збільшуються в десятки разів [3].

Розплав повинен бути перегрітий в печі до певної температури, щоб він добре заповнював ливарну форму. Після розплавлення, доведення по хімічному складу і перегрівання розплав з печі зливають в розливні ковші і

транспортують на ділянку заливки форм. Розплав залитий у форму, віддаючи теплоту останньої, охолоджується і твердне [4].

Головною технологічною властивістю рідкого розплаву в ливарному виробництві є рідкоплинність. Вона характеризує його здатність текти в ливарній формі, заповнювати її та відтворювати відбиток ливарної порожнини.

При порівнянні рідкоплинності різних металів Ю. А. Нехендзі розділив її на істинну і практичну [5]. Істинна рідкоплинність – визначається для різних металів при однаковому перегріві над температурами нульової рідкоплинності. Практична – при однаковій, постійній температурі заливання.

Найбільший вплив на рідкоплинність розплаву має температура перегрівання розплаву, яку умовно розділяють на три інтервали (рисунк 1.1):

I. Від температури нульової рідкоплинності до температури ліквідус – в розплаві знаходиться багато субмікроутворень ближнього порядку, неметалевих включень і газових бульбашок, з ростом температури рідкоплинність істотно зростає;

II. З підвищенням температури від температури ліквідус до температури випаровування – відбувається «освітлення» розплаву, рідкоплинність зростає, проте темп її зростання падає через домінування теплових факторів;

III. При подальшому підвищенні температури, починається випаровування сплаву або його компонентів, рідкоплинність різко падає.

Більш висока температура перегрівання розплаву призводить до збільшення розмірів зерна. Перегрівання сплаву вище температури плавлення ($T_{пл}$) підвищує його рідкоплинність [6].

Академік А. А. Бочвар вважає, що рідкоплинність зменшується і зникає унаслідок утворення суцільного скелета кристалічної фази [7]. Рідкоплинність сплавів залежить від положення їх на діаграмі стану, так як

характер процесу кристалізації сплавів різного складу різний. Найбільшою рідкоплинністю за інших рівних умов (перегрівання сплаву і підігрівання форми) володіють сплави евтектичного типу. Якнайкраща рідкоплинність відома у латуні і фосфорного чавуну, вживаного для відливання.

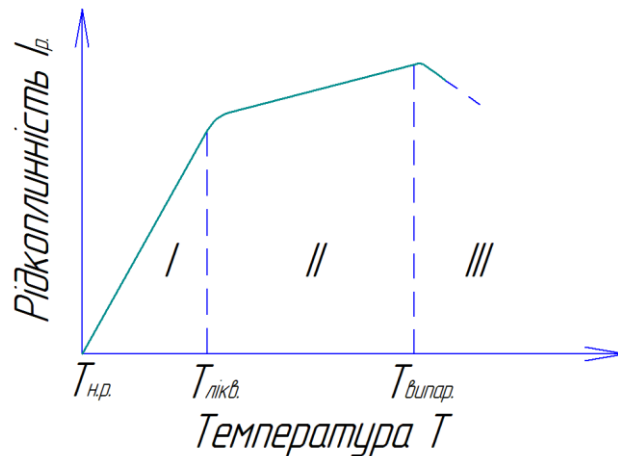


Рисунок 1.1 – Вплив температури на рідкоплинність металів

В результаті додаткових (теплових, механічних, хімічних) впливів на готову рідку сталь змінюються її властивості. Підвищується кінематична в'язкість, щільність, поверхневий натяг, технологічна рідиноплинність. Відповідно, поліпшуються пластичні та інші службові характеристики твердого металу.

Перегрівання і перемішування металу відіграють значну роль у процесах переплавлення і позаагрегатної обробки. Метал після переплавлення (як в осях дендритів, так і в міжвісних ділянках) характеризується підвищеною щільністю, більш рівномірним розподілом і меншою щільністю точкових і лінійних дефектів, більш високими значеннями модуля пружності. Дендритна ліквідація в такому металі виражена слабше, інтервал затвердіння (ліквідус-солідус) звужується. Отриманий ефект пов'язаний із впливом на структуру розплаву.

Академік А. А. Байков встановив, що нерозчинні домішки, які містяться в розплаві сталі, є центрами кристалізації, якщо параметри

кристалічної решітки домішок близькі до параметрів ґрат металевої основи сплаву [8]. Завдяки цьому виходить дрібнозерниста структура сплаву та його поліпшуються властивості.

Проте при перегріванні розплаву сталі вище певної температури відбувається дезактивація домішок. Знаючи значення домішок в кристалізації сплавів, можна направлено змінювати кристалічну будову відливань, тобто модифікувати сплав, покращуючи його властивості.

Вчені Фізико-технологічного інституту металів і сплавів НАН України у роботі [9] розглянули різновиди термочасової обробки (ТЧО) алюмінієвих сплавів і їх вплив на структуру, щільність і механічні властивості литого металу. Серед матеріалу наукової роботи зацентруємо увагу на декількох посиленнях.

Так у роботах [10] наведені дані Б. А. Баума з співавторами [11], згідно з якими ТЧО рідкого металу, що полягає тільки в перегріванні розплаву і витримці, призвело до поліпшення його пластичних характеристик, причому вміст домішок був постійним.

Згідно з даними [12], великий ефект досягається при вмісті в сплаві 10-13% Si. Ці сплави нагрівали до 1100-1200°C. Сплави з 6-9% Si можна нагрівати до 900-1000°C, так як подальше підвищення температури не приводить до істотної зміни герметичності. Дослідники вважають, що перегрівання розплавів викликає збільшення переохолодження при кристалізації по всьому об'єму, через що структура виходить подрібненою, герметичність поліпшується.

Підвищення механічних властивостей Al-Si сплаву, що містить більше 1% Fe, досягли шляхом застосування інтерметалічного шламу, збагаченого залізом, і додавання невеликої кількості магнію [13]. Сплав нагрівали до 1050°C, витримували 115 хв і заливали в кокіль. Зразки мали дрібнозернисту структуру і підвищену міцність. При заливанні при 720°C міцність була низькою.

Дослідниками в наукових статтях [14, 15] зазначено, що особливості структури і фазового стану вихідних шихтових матеріалів (спадкові ознаки), закладені при кристалізації, зберігаються при наступних переплавах і формуванні структури і властивостей литих виробів [16, 17].

Вплив вихідних шихтових матеріалів і умов переплавлення на властивості сталей пов'язаний з тим, що стан рідкої фази при цьому не є рівноважним. Розплав у процесі плавлення, у передкристалізаційний період і під час кристалізації знаходиться у стані різного ступеня нерівноважності, зумовленої зокрема і проявами спадковості металу шихти. Нерівноважний стан є досить стійким і характеристики системи “шихта - розплав - виливок” змінюються значно повільніше порівняно зі зміною зовнішніх умов.

В розплавах металів структурні перебудови відбуваються за умови перегрівання їх вище певної температури переходу в рівноважний стан мікронеоднорідного розплаву. Її визначають за аномаліями на кривих структурно-чутливих характеристик розплавів (в'язкість, щільність, електропровідність тощо) залежно від температури [18]. Нижче цієї температури в розплаві зберігаються спадкові властивості шихти, вище - спадковість втрачається.

Зважаючи на це досліджено вплив литої структури шихтових заготовок сталі Р6М5Л різної дисперсності і ступеня рівноважності, а також кількості переплавлень і температури перегрівання розплаву над ліквідусом на процеси кристалізації, структуроутворення і температуру переходу в рівноважний стан розплаву [18].

Оскільки на сьогодні немає єдиної загальноприйнятої теорії рідкого стану металевих систем і кожен конкретний стан розплаву характеризує своя температура переходу в рівноважний стан мікронеоднорідного розплаву, то питання щодо зв'язку її зі ступенем рівноважності розплаву і структурними особливостями шихтового металу залишаються остаточно не визначеними. З огляду на зростаючі обсяги використання вторинної сировини у ливарному

виробництві дослідження в цьому напрямку є актуальними і практично доцільними.

1.2 Магній та магнієві сплави

1.2.1 Магній

Магній (англ. *magnesium*, нім. *Magnesiumn*) – хімічний елемент II групи, III періоду періодичної системи хімічних елементів Д. І. Менделєєва, з атомним номером 12. Позначається символом Mg (лат. *Magnesium*). Атомна маса магнію 24,32. За хімічними властивостями магній відноситься до лужноземельних металів [19].

У вільному вигляді вперше магній було виділено англійським хіміком Гемфрі Деві у 1808 р., який отримав амальгаму, а з неї – новий порошкоподібний метал після відгонки ртуті. У чистому вигляді і в компактній формі магній був отриманий французьким хіміком Буссе в 1828 р. Надалі вчені Сен-Клер-Девіль і Карон отримали магній шляхом відновлення розплавленого хлористого магнію металевим натрієм [20].

Магній має гексагональну щільноупаковану структуру з відношенням осей c/a (1,6235), майже рівним теоретичному значенню (1,633). Поліморфних модифікацій – не має [21]. Кристалічна решітка магнію представлена на рисунку 1.2.

Технічно чистий магній має низькі механічні властивості (границя міцності при розтягуванні 60 МН/м²; границя плинності 38 МН/м²; відносне видовження 50%, твердість по Брінелю 200...300 МН/м²), схильний до самозапалювання, тепло- й електропровідність його низькі. Тому як конструкційний матеріал він практично не застосовується [22].

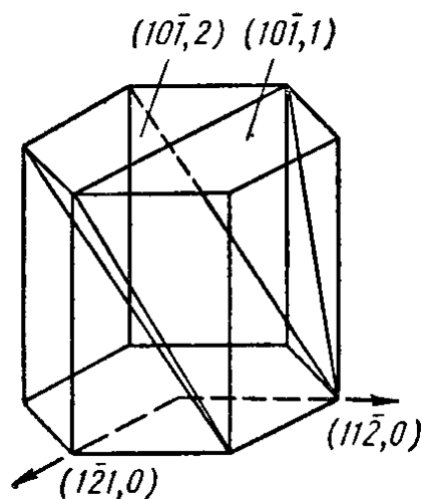


Рисунок 1.2 – Кристалічна решітка магнію [21]

Магній – найлегший із кольорових технічних металів, не має алотропічних перетворень. Свіжа поверхня металу має сріблясто-біле забарвлення. Магній – хімічно активний метал.

Густина магнію $\gamma = 1,74 \text{ г/см}^3$ при $t = 293 \text{ К}$, в рідкому стані $\gamma = 1,54 \text{ г/см}^3$ при $t = 973 \text{ К}$; температура плавлення $T_{\text{пл.}} = 650^\circ\text{С}$, температура кипіння $T_{\text{кип.}} = 1095^\circ\text{С}$. Ступінь окиснення +2. Утворює металоорганічні сполуки. Магній – характерний елемент мантії Землі, роль якого зменшується при переході у верхні горизонти літосфери [22].

На повітрі магній окиснюється, на поверхні металу утворюється окисна плівка MgO , яка швидко тьмяніє. При низьких температурах оксидна вона аморфна, але при нагріванні вище 200°С – набуває кристалічної будови.

Окисна плівка MgO тонка при температурах нижче 450°С та має захисні властивості проти окиснення. При більш високих температурах – стає нестійкою та руйнується. Внаслідок цього полегшується доступ кисню до поверхні металу.

При зростанні швидкості окиснення, коли тепло, яке утворюється, не може швидко відводитися, магній запалюється і горить яскравим полум'ям. Температура займання магнію на повітрі та в кисні дорівнює 623°С при атмосферному тиску. Це пов'язано з тим, що щільність MgO ($3,15 \text{ г/см}^3$)

значно більша, ніж щільність Mg ($1,738 \text{ г/см}^3$). Окисна плівка магнію не володіє достатніми захисними властивостями [23].

Швидкість окиснення магнію на повітрі при підвищених температурах збільшують мідь, нікель, олово, цинк та алюміній (мідь та нікель – найбільше). Навпаки ж – декілька сповільнюють процес окиснення магнію при нагріванні на повітрі присадки рідкоземельних металів – лантану і церію.

В литому стані магній має низькі механічні властивості. Значному підвищенню міцності сприяє легування магнію алюмінієм, цинком та цирконієм.

Магній має здатність розчиняти велику кількість водню. В рідкому магнії розчиняється $\approx 50 \text{ см}^3 / 100 \text{ гр}$ водню при температурі кристалізації, в твердому $\approx 20 \text{ см}^3 / 100 \text{ гр}$.

Чистий магній застосовують в основному для виробництва легких магнієвих сплавів, а також для легування сплавів алюмінію.

Магнієві сплави – важливі конструкційні матеріали, які використовуються в автомобільній та авіаційній промисловості завдяки їх легкості і міцності.

Магнієві сплави дуже добре обробляються різанням, а також задовільно зварюються різними методами зварювання: дуговим зварювання з невитратним вольфрамовим електродом в захисному середовищі з інертних газів, контактним точковим і роликовим зварюванням.

Застосування магнієвих сплавів при виготовленні кожуха для розміщення електронної апаратури керованих снарядів зумовлює їх висока демпфуюча здатність (поглинання енергії удару та вібраційних коливань).

Магнієві сплави знайшли застосування в автомобілебудуванні, особливо в конструкціях гоночних автомобілів (колеса, картери, кришки, маслопомпи); в приладобудуванні (корпуси і деталі приладів, біноклів, кіно і фотоапаратів).

В будівництві літаків, вертольотів та іншої авіаційної техніки з магнієвих сплавів виготовляють колеса і вилки шасі, різні важелі, корпуси приладів,

насосів, коробок передач, ліхтарі і двері кабін, деталі планера літака. Також виготовляють корпуси ракет, корпуси насосів, паливні та кисневі баки, опорні вузли, стабілізатори [20].

1.2.2 Магнієві сплави

Магнієві сплави (англ. *magnesium alloys*) – сплави на основі магнію, найлегші металеві конструкційні матеріали: їх густина у 4 рази менша, ніж сталі, і у 1,5 рази менша, ніж алюмінію та його сплавів. У магнієвих сплавів висока питома міцність: межа міцності окремих видів сплавів досягає 250...400 Н/мм² при густині до 2 г/см³.

Магнієві сплави класифікуються:

- за механічними властивостями: сплави низької і середньої міцності, високоміцні і жароміцні сплави;
- за здатністю до зміцнення термічною обробкою: сплави, що зміцнюються і не зміцнюються термічною обробкою.
- за технологією переробки: деформуючі та ливарні сплави.

Деформуючі магнієві сплави призначені для виготовлення поковок і штамповок обробкою тиском (пруток, лист, профіль). Їх маркують літерами МА і порядковим номером (МА1, МА2-1, МА14) [23].

Сплав МА1 (містить 1,3...2,5% Mn) має гарну технологічну пластичність, зварюваність, корозійну стійкість та низьку міцність. Додаткове легування його цезієм, приблизно 0,2 % (МА8), подрібнює зерно, підвищує механічні властивості та здатність до деформації в холодному стані. Сплав МА2-1 належить до системи Mg–Al–Zn, має досить високі механічні властивості й технологічну пластичність. Піддається всім видам листового штампування та прокатування. Зі сплавів МА виготовляють деталі літаків, автомобілів і прядильних верстатів.

Ливарні магнієві сплави використовують для виготовлення деталей литтям, їх маркують літерами МЛ і порядковим номером (МЛ5, МЛ6, МЛ-10, МЛ-12) [23]. До складу МЛ сплавів входять алюміній, цинк, марганець, цирконій, неодим та інші легувальні елементи.

Найбільш широко застосовуються в техніці ливарні магнієві сплави МЛ5, МЛ5п.ч., МЛ10, МЛ12.

В залежності від умов експлуатації МЛ сплави підрозділяють на три групи:

- високоміцні магнієві сплави – придатні для експлуатації при температурах від кімнатної до 150°C (МЛ5, МЛ5п.ч., МЛ12);
- сплави з підвищеною корозійною стійкістю – для роботи при температурах від кімнатної до 150°C (МЛ5п.ч., МЛ10);
- жароміцні сплави – працездатні при температурах від 200 до 350°C (МЛ10, МЛ9, МЛ19) [23].

За своїм хімічним складом МЛ сплави поділяють на сплави системи:

- Mg-Al-Zn: МЛ4, МЛ5, МЛ6;
- Mg-Zn-Zr: МЛ8, МЛ11, МЛ15;
- Mg-Zr-Nd: МЛ9, МЛ10, МЛ19 [24].

Плавлення і розливання сплавів магнію ведуть під спеціальними флюсами, при безперервному литті сплавів застосовуються газові середовища, а при фасонному литті до складу формувальних сумішей вводять захисні присадки, кокілі покривають фарбами, що містять борну кислоту. Виливки одержують усіма відомими способами лиття.

Механічні властивості МЛ сплавів значно нижчі, ніж у МА. Поліпшення механічних властивостей МЛ сплавів пов'язане з подрібненням зерна та досягається різними способами:

- перегріванням сплавів, які виплавляються в залізних тиглях, коли утворюються частинки FeAl_3 , які стають додатковими центрами кристалізації;

- гомогенізацією виливків, коли відбувається розчинення крупніших часток інтерметалідних фаз, які окрихчують сплави;
- застосуванням особливо чистих шихтових матеріалів для приготування сплавів.

1.3 Особливості магнієвого сплаву МЛ5 (AZ91)

Сплав МЛ5 (AZ91) – високоміцний магнієвий ливарний сплав, який в промисловості використовується для виготовлення навантажених деталей [23]. Сплав має хороші ливарні, високі механічні та технологічні властивості.

1.3.1 Властивості магнієвого сплаву МЛ5

Хімічний склад, механічні та фізичні властивості магнієвого сплаву МЛ5 подано у таблицях 1.1–1.3 [24].

Ливарні властивості магнієвого сплаву МЛ5 наступні:

- температура кристалізації: 600–430°C;
- температура лиття: 720–800°C;
- лінійна усадка: 1,1–1,3%.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву МЛ5

Елемент	Масова частка елементу, %
Fe	до 0,06
Si	до 0,25
Mn	0,15 - 0,5
Ni	до 0,01
Al	7,5 - 9
Cu	до 0,1
Zr	до 0,002
Be	до 0,002
Mg	89,1 - 92,15
Zn	0,2 - 0,8

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву МЛ5 при $T = 20^{\circ}\text{C}$

σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ (кДж/м ²)
250-255	90-120	4-9	1,6-15	50

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сплаву МЛ5

T , $^{\circ}\text{C}$	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	$\alpha \cdot 10^6$, 1/ $^{\circ}\text{C}$	λ , Вт/м $\cdot^{\circ}\text{C}$	ρ , кг/м ³	C , Дж/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$
20	0,43		78,9	1810	1046,7
100		28,1			

До технологічних властивостей магнієвого сплаву МЛ5 відносяться:

1. Особливості термічної обробки – сплав МЛ5 може зміцнюється термічною обробкою – загартуванням і старінням.
2. Корозійна стійкість – сплав МЛ5 підвищеної корозійної стійкості в порівнянні зі сплавом МЛ5. Деталі слід піддавати антикорозійного захисту

шляхом нанесення окисного покриття по ГОСТ 9.025 і лакофарбових покриттів по ОСТ 3-1928 і ОСТ 3-1460.

3. Лиття – сплав МЛ5 має більш широкий інтервал кристалізації, ніж сплави на основі алюмінію, тому має більш низькі ливарні властивості. Через велику інтервалу кристалізації сплав схильний до утворення гарячих тріщин.

1.3.2 Отримання магнієвого сплаву МЛ5

Плавлення сплаву МЛ5 може здійснюватися методом плавлення у тиглях, комбінованим або ж двоступінчастим методами [25, 26].

Відмінна особливість двоступінчастого методу плавлення полягає в тому, що повний технологічний цикл приготування сплаву складається з поєднання операцій, що здійснюються в дві стадії в двох плавильних печах.

Двоступінчастим метод плавлення сплаву МЛ5 відбувається наступним чином. У першій плавильній печі готують проміжний сплав, який потім переливають в другу плавильну піч для приготування робочого сплаву. Перша стадія плавлення здійснюється в більш великих стаціонарних печах різного типу: у тигельних, в відбивних і в індукційних. Друга стадія здійснюється в виймальних тиглях, встановлених в нагрівальних стендах.

Перевагою плавлення комбінованим методом є висока продуктивність, особливо при литті великих деталей (масою 200-600 кг і вище). При цьому також забезпечується підвищена корозійна стійкість сплаву.

Плавлення комбінованим методом з використанням відбивної печі ванного типу застосовується в тих випадках, коли потрібно виплавити значну кількість рідкого металу з однорідним хімічним складом для відливання великих деталей.

Перша стадія технологічного циклу приготування сплаву здійснюється в відбивній печі ємністю тричі вище. Піч нагрівається до температури 800-

850°C. Потім в піч завантажують 5-6 кг меленого флюсу (№ 2 або BI2) для промивання поду. Після цього завантажують підігріту металеву шихту (шихтові матеріали необхідно завантажувати за один прийом). Згори шихтові матеріали присипають флюсом № 2 в кількості 3-4% від маси шихти. Під час завантаження шихти і флюсу піч повинна працювати при зменшеній подачі палива.

Після завантаження шихти (крім цинку) і флюсу починають плавлення. При цьому піч повинна працювати на повну потужність.

У разі завантаження шихти за два прийоми після розплавлення першої порції довантажують решту металевої шихти і відповідну кількість флюсу.

При плавленні шихти весь час необхідно стежити за ходом плавлення. Місця загоряння шихти слід посипати порошкоподібним флюсом вручну або за допомогою флюсового розпилювача, що діє за рахунок стисненого повітря.

Після розплавлення шихти і перемішування розплаву при температурі 680-700°C відбувається завантаження підігрітого цинку і розплав знову перемішується.

При температурі 710-720°C з поверхні розплаву знімають шлак і забруднений флюс та наносять свіжий флюс BI2. Після розплавлення флюсу сплав рафінують протягом 4-6 хв. Витрата флюсу при рафінуванні становить 0,5-1,0% від маси сплаву.

Після закінчення рафінування з поверхні розплаву зчищається шлак і забруднений флюс, наноситься свіжий флюс і проводиться відстоювання протягом 15-20 хв.

Під час відстоювання здійснюється відбір проб на експрес-аналіз для контролю хімічного складу.

У разі позитивних результатів аналізу після закінчення часу вистоювання сплаву вимикають піч і сплав розливають у виймальні тиглі, встановлені в нагрівальні стенди. Розливання припиняють, коли в печі залишається приблизно 50 кг сплаву.

Після закінчення розливання сплаву под печі очищають від шлаку і забрудненого флюсу та починають в такому ж порядку наступне плавлення.

У виймальних тиглях здійснюється друга стадія технологічного циклу приготування сплаву.

Виймальні тиглі для проведення другої стадії технологічного циклу приготування сплаву перед наповненням їх розплавом очищають від залишків попереднього плавлення, нагрівають до температури темно-червоного розжарювання і присипають флюсом.

Рідкий метал, розлитий з відбивної печі у виймальні тиглі, піддається подальшій обробці в рідкому стані відповідними методами модифікування та рафінування з метою доведення його до робочого сплаву, придатного для заливання ливарних форм [27, 28].

1.3.3 Особливості термічної обробки магнієвого сплаву МЛ5

Особливостями термічної обробки магнієвого сплаву МЛ5 є: мала швидкість протікання дифузійних процесів, велика тривалість нагрівання деталей під загартування, можливість охолодження деталей на повітрі.

За ОСТ 1 90121-90 та ГОСТ 2856-79 з метою зниження внутрішніх напружень та значного підвищення механічних властивостей магнієвого сплаву МЛ5 рекомендовані поширені види термічної обробки: гартування, відпал і старіння, які подані в таблицях 1.4–1.6 [29, 30].

Таблиця 1.4 – Гартування магнієвого сплаву МЛ5

Спосіб лиття	Група лиття	Режим т.о.	Ступінь нагрівання				
			I		II		
			$T_n, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{випр. год.}}$	$T_n, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{випр. год.}}$	ОС
З,О	II	T4	360 ± 5	2-4	420 ± 5	20-28	повітря
		T6	360 ± 5	2-4	420 ± 5	20-28	
К	III	T4	415 ± 5	8-16	-	-	
		T6	415 ± 5	8-16	-	-	
Д	IV	T4	415 ± 5	3-4	-	-	
		T6	415 ± 5	3-4	-	-	
	V	T4	390 ± 5	6-8	-	-	
		T6	390 ± 5	6-8	-	-	

Таблиця 1.5 – Відпал магнієвого сплаву МЛ5

Спосіб лиття	Режим т.о.	$T_n, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{випр. год.}}$	ОС
З,О,К,В,Г	T2	350 ± 5	2-3	повітря
Д		200 ± 5	1-2	

Таблиця 1.6 – Старіння магнієвого сплаву МЛ5

Спосіб лиття	Група лиття	Режим т.о.	T _н , °C	t _{випр.} год.	ОС
З,О,В,Г	І	Т6	175±5	12-16	повітря
			200 ± 5	6-10	
З,О	ІІ		175±5	12-16	
			200 ± 5	6-10	
К	ІІІ		175±5	12-16	
			200 ± 5	6-10	
Д	ІV		205 ± 5	3-6	
	V		205 ± 5	3-6	

де T_n – температура нагрівання, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{випр}}$ – час витримки, год.; ОС – охолоджуюче середовище.

Способи лиття для сплаву МЛ5 такі: З – лиття в піщані форми; О – лиття в оболонкові форми; К – лиття в кокіль; В – лиття по виплавлюваних моделях; Г – лиття в гіпсові форми; Д – лиття під тиском [29, 30].

Для сплаву МЛ5 призначають Т2, Т4 і Т6 режими термічної обробки [29, 30].

Т2 – відпал з охолодженням на повітрі з метою зниження внутрішніх напружень.

Т4 – гартування з охолодженням на повітрі для значного підвищення механічних властивостей сплаву. Внаслідок малої швидкості дифузійних процесів в якості охолоджуючої середовища зазвичай використовується спокійний повітря. Для підвищення механічних властивостей охолодження виливків може проводитися обдувом повітря.

Т6 – гартування з охолодженням на повітрі та подальше старіння для значного підвищення механічних властивостей сплаву. Пластичні властивості знижуються.

Сплав МЛ5 – є найпоширенішим магнієвим сплавом системи Mg-Al-Zn.

До основних структурних складових сплаву МЛ5 відносять: $Mg_{17}Al_{12}$, Mn та Mn_2Si [31].

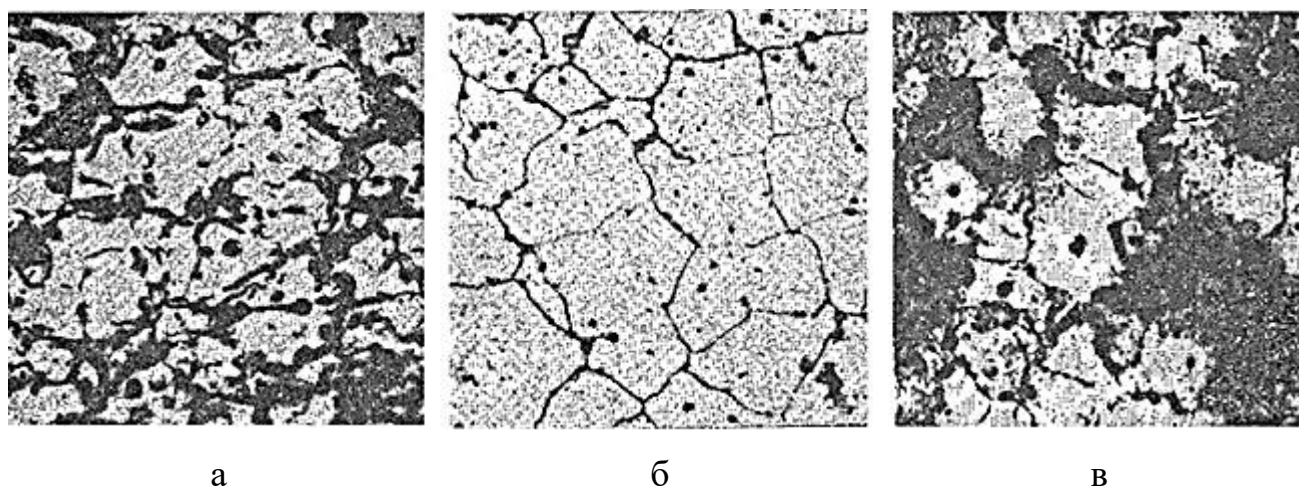
Зерна твердого розчину сплаву МЛ5 в литому стані відрізняються великою хімічною неоднорідністю, не мають чітких меж в місцях розташування частинок $Mg_{17}Al_{12}$ (прикордонні зони) пересичені Al і Zn при сильному травленні стають темними. В станах Т4 і Т6 площини зерен вирівнюються, а межі між ними стають чіткими. При перепалі розмір зерен збільшується, а по їх межах з'являється фаза (в складі виродженої евтектики), яка при значному перегріванні вище температури рівноважного солідусу може утворити суцільний каркас навколо кожного зерна. Усадження і переміщення евтектики в процесі її затвердіння при охолодженні сплаву можуть привести до утворення на межі зерен мікропор і несучільностей.

Структурна складова $Mg_{17}Al_{12}$ має білий колір та часто зустрічається в формі виродженої евтектики або "евтектоїда" розпаду; в останньому випадку має форму пластин або зерен. Травителі, які зазвичай застосовуються для магнієвих сплавів на це з'єднання не діють.

Mn має округлу форму і матово-сірий колір; розташовується безладно по полю зерна і при невеликому збільшенні має вигляд темних точок.

Mn_2Si має розгалужену форму (китайські письмена), блакитний колір; при травленні сильно роз'їдається; розташовується нижче площини зерна твердого розчину.

Мікроструктури сплаву МЛ5 після зміцнювальної термічної обробки в різному стані показані на рисунках 1.3-1.5, [23].



а - в литому стані; б - в загартованому стані ; в - після гартування і старіння

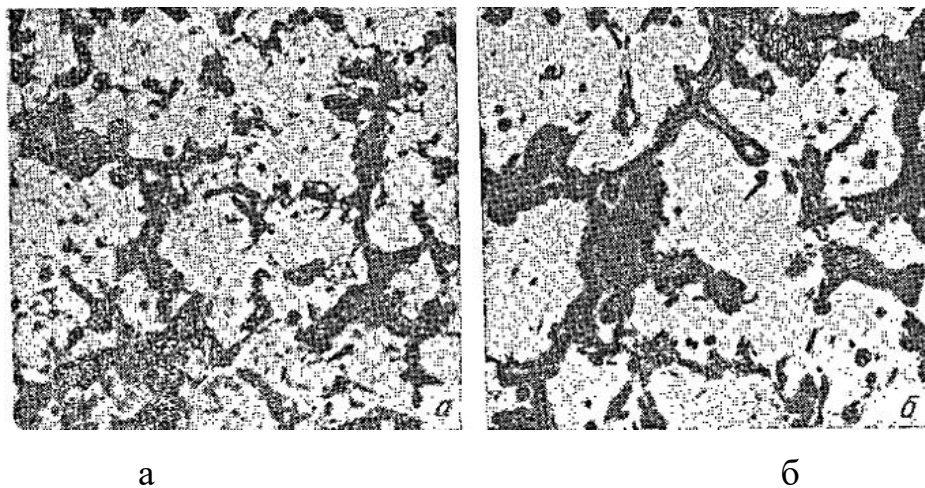
Рисунок 1.3 – Мікроструктура сплаву МЛ5, x100:

Величина зерна сплаву МЛ5 може змінюватися в широких межах в залежності від ступеня модифікування, перерізу та швидкості охолодження виливки. Модифікований сплав МЛ5 має дрібнозернисту структуру і, відповідно, більш дрібні виділення фази $Mg_{17}Al_{12}$. Мікроструктури модифікованого і не модифікованого сплаву МЛ5 в литому стані подані на рисунку 1.4.

Мікрорихлота (нещільна структура) в виливках – характерна особливість магнієвих сплавів на основі системи Mg-Al-Zn. Для сплаву МЛ5 розроблена шкала еталонів мікрорихлоти [23]. На рисунку 1.5 наведені мікрофотографії зразків сплаву МЛ5 з різним ступенем мікрорихлоти.

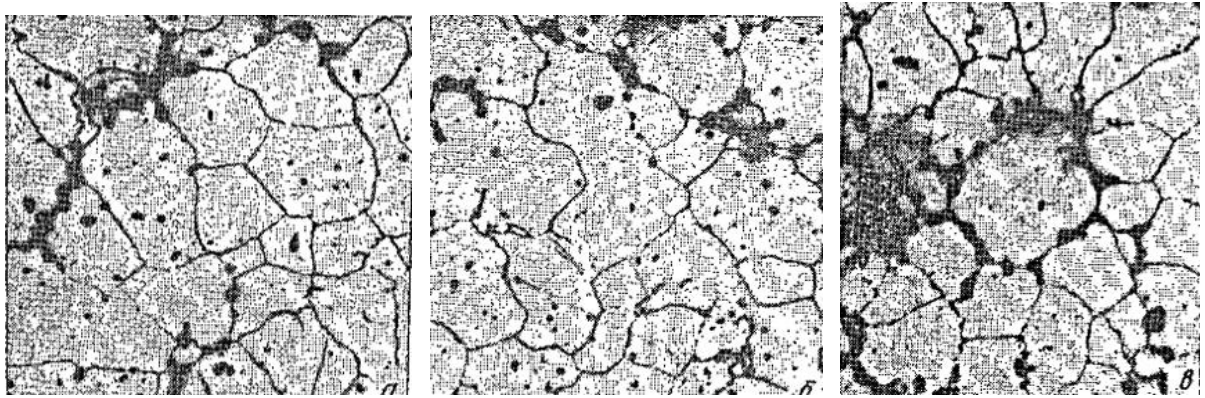
На рисунку 1.6, а, б дані криві розподілу (частота) механічних властивостей окремо відлитих і вирізаних з кокільних виливків зразків зі сплаву МЛ5. Помітне досить значне розсіювання механічних властивостей.

Механічні властивості сплаву МЛ5 перед гартуванням можна підвищити шляхом звуження границь за вмістом алюмінію в сплаві МЛ5, підвищення температури та тривалості нагрівання.



а - модифікована; б - не модифікована

Рисунок 1.4 – Мікроструктура сплаву МЛ5 в литому стані, x100:



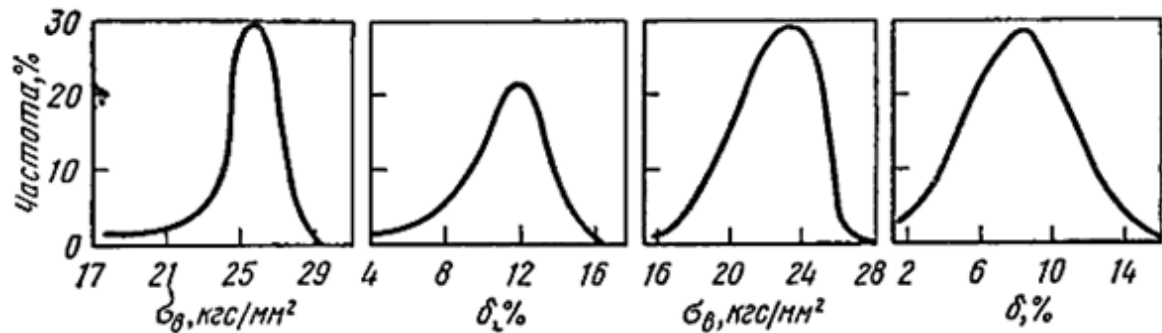
а

б

в

а - слабка, б - середня та в - сильна ступінь мікрорихлоти

Рисунок 1.5 – Мікроструктура сплаву МЛ5 в загартованому стані, $\times 100$:



а

б

а - для окремо відлитих зразків;

б - для зразків, вирізаних з деталей, відлитих в кокіль

Рисунок 1.6 – Криві розподілу механічних властивостей сплаву МЛ5 в загартованому стані

Алюміній і цинк підвищують механічні властивості сплаву МЛ5 (причому вплив алюмінію позначається сильніше, ніж цинку), а марганець покращує корозійну стійкість. Для зниження окислюваності в сплав вводять берилій (до 0,002% при литті в піщані форми і кокіль та до 0,01% – при литті під тиском). При нагріванні до 420°C майже весь алюміній переходить в твердий розчин. При повторному нагріванні сплаву протягом декількох годин при температурі 150...250°C виділяється γ – фаза, що забезпечує

зміцнення сплаву. З діаграми стану видно, що ефект старіння буде спостерігатися у всіх сплавах з вмістом більше 2 % Al, рисунок 1.7.

На практиці помітне підвищення міцності буде у сплавах з 4...6 % Al, так як швидкість утворення нової фази залежить від температури старіння і від ступня пересичення твердого розчину при цій температурі. В даний час підтверджено наявність тісного зв'язку між процесом виділення γ -фази під час старіння і зміцнення сплаву. При цьому, γ -фаза виділяється спочатку по межах зерен, а потім всередині самих зерен, збіднюючи твердий розчин алюмінієм.

Промислові сплави магнію з алюмінієм відносяться до старіючих, щ дозволяє термічною обробкою поліпшити їх властивості. При нагріванні до 420°C майже весь алюміній переходить в твердий розчин. При повторному нагріванні сплаву протягом декількох годин при температурі 150...250°C виділяється γ – фаза, що забезпечує зміцнення сплаву. З діаграми стану на рисунку 1.7, видно, що ефект старіння буде спостерігатися у всіх сплавах з вмістом більше 2 % Al.

На практиці помітне підвищення міцності буде у сплавах з 4...6 % Al, так як швидкість утворення нової фази залежить від температури старіння і від ступеня пересичення твердого розчину при цій температурі. В даний час підтверджено наявність тісного зв'язку між процесом виділення γ -фази під час старіння і зміцнення сплаву. При цьому, γ -фаза виділяється спочатку по межах зерен, а потім всередині самих зерен, збіднюючи твердий розчин алюмінієм.

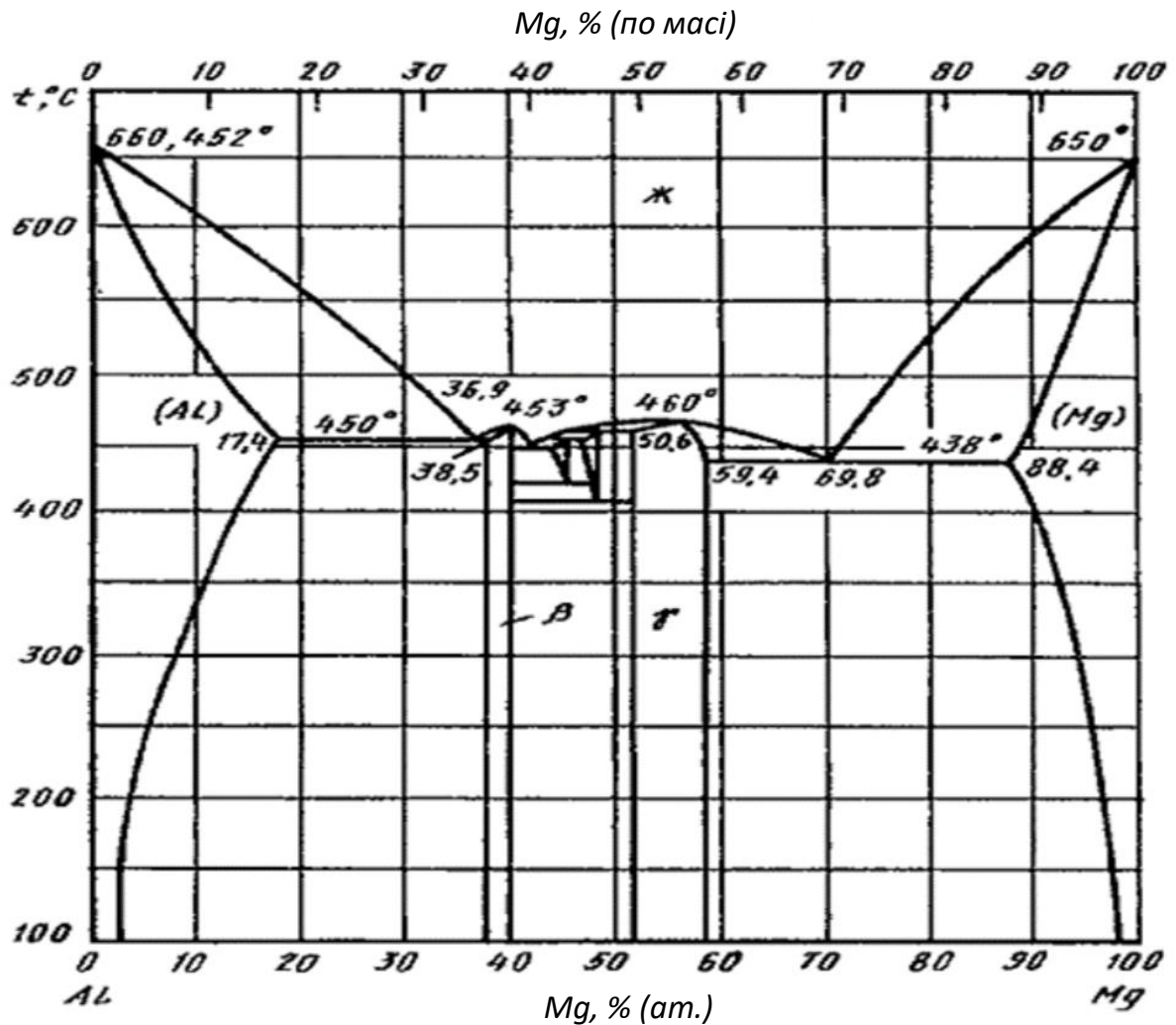


Рисунок 1.7 – Mg–Al Діаграма стану

Марочний вміст цинку впливає в меншій мірі на механічні властивості сплаву, рисунок 1.8. Він утворює з магнієм твердий розчин, а також інтерметаліди $\text{Mg}_{51}\text{Zn}_{20}$, MgZn , Mg_2Zn_3 , MgZn_2 , $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$, що мають незначні області гомогенності.

Кристалічна структура фази MgZn_2 була досліджена Лавесом і відноситься до так званих «фаз Лавеса», у яких найкраще заповнення досягається за співвідношенням $d_a : d_b = 1,225$. Аналіз відомих фаз Лавеса показав, що атоми, які значно відрізняються розмірами, кристалізуються в щільнопаковану структуру [28].

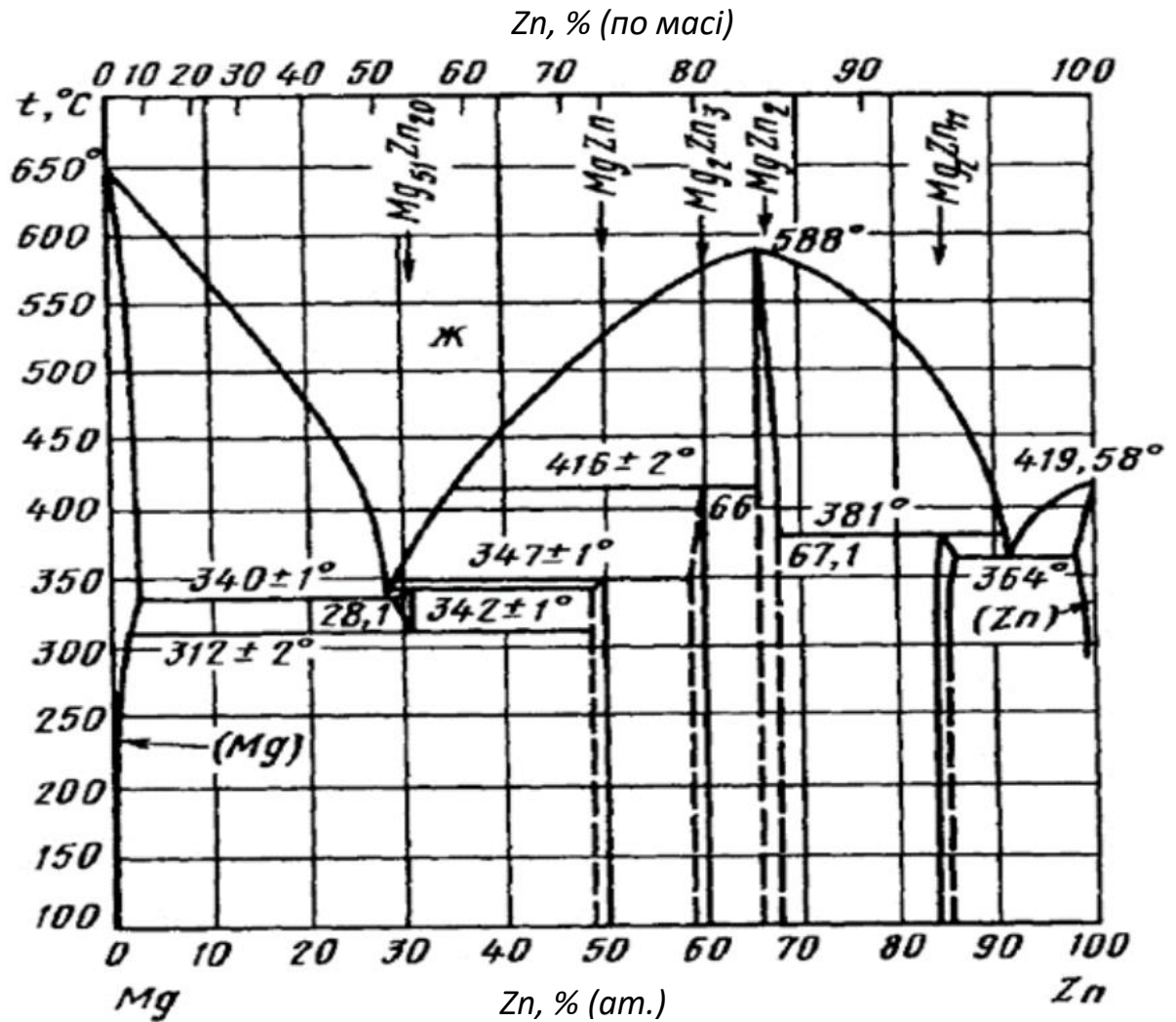


Рисунок 1.8 – Mg–Zn Діаграма стану

При введенні в магній 7,5 % Zn, границя міцності сплаву помітно збільшується. Пластичність сплаву підвищується при введенні близько 3% цинку. Відзначено, що сплави, що містять і більше 2 % Zn, можуть зміцнюватися при старінні, однак зберігати свої властивості лише до температури 150...200 $^\circ\text{C}$ [23]. При вмісті цинку в магнієвих сплавах в межах 0,1...2 % підвищується горячеламкість [26], а при збільшенні його до 4% забезпечується текучість і низька горячеламкість. Інші дослідники [29] також відзначають, що при додаванні в магнієвий сплав цинку по межах зерен утворюється фаза з низькою температурою плавлення, що збільшує схильність до утворення гарячих тріщин.

Структура литих сплавів системи Mg–Al–Zn складається з твердого розчину алюмінію і цинку в магнії з включеннями інтерметалідів $Mg_{17}Al_{12}$. Зі збільшенням вмісту алюмінію в сплаві кількість інтерметалідних фази підвищується. З підвищенням вмісту цинку в сплаві може утворюватися потрібна фаза $Mg_{32}(Al,Zn)_{49}$.

Сплав МЛ5 застосовується: для виготовлення виливків в піщані та оболонкові форми, в кокіль і під тиском навантажених деталей середньої та складної конфігурації, призначених для роботи в атмосферних умовах з помірним кліматом з граничною робочою температурою експлуатації до $+150^{\circ}\text{C}$ (довгостроково), до $+250^{\circ}\text{C}$ (короткочасно); деталей авіабудування (деталей управління, деталі крил, ферм шасі, корпусів агрегатів і приладів); товарів народного споживання (корпусів фотоапаратів, кінокамер, біноклів).

Сплав МЛ5 застосовують для лиття навантажених великогабаритних відливків (картер двигуна, кожух коробки швидкостей та ін.).

1.4 Особливості перегрівання розплаву магнієвого сплаву МЛ5 (AZ91)

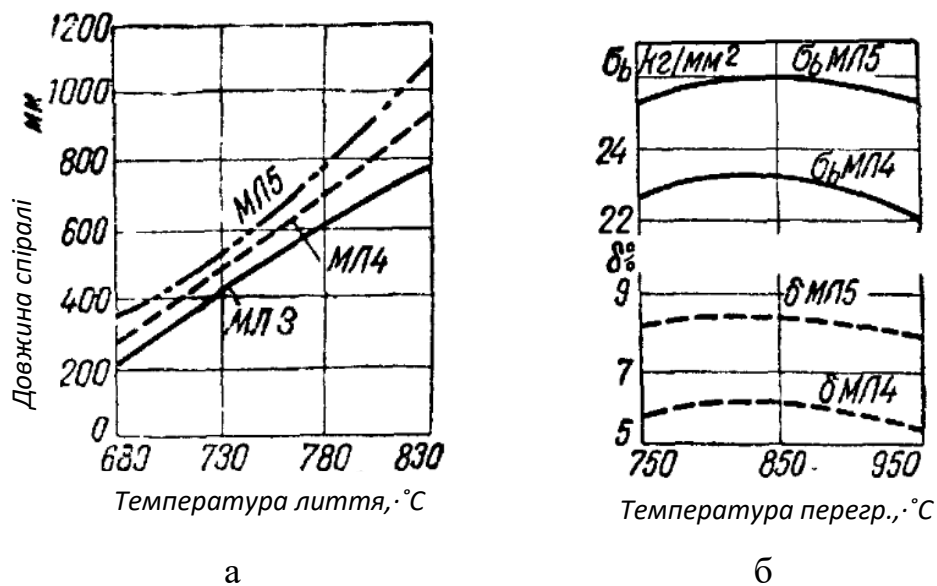
Перегрівання розплаву – один із способів модифікування сплавів, що містять алюміній, зокрема МЛ5 (AZ91), яке проводять з метою подрібнення зерна та підвищення механічних властивостей сплаву.

Перегрівання розплаву магнієвого сплаву МЛ5 проводиться в сталевому тиглі до 900°C і витримкою при цій температурі протягом 15-20 хвилин. Під час витримки розплав магнію розчиняє в собі невелику кількість заліза із сталевого тигля. При подальшому швидкому охолодженні до 700°C в розплаві утворюються дрібнодисперсні частинки $FeAl_3$, які є центрами кристалізації для твердого розчину алюмінію в магнії [32].

На рисунку 1.9 зображено вплив температури лиття на рідкоплинність трьох магнієвих сплавів, серед них сплав МЛ5. Вплив температури

перегрівання при плавленні на механічні властивості сплаву МЛ5 показано на рисунку 1.9, б.

Аналізуючи графік залежності, рисунок 1.9, б, впливає, що перегрівання рідкого металу при температурах близько 850°C підвищує механічні властивості обох сплавів. Це явище використовується в практичній технології ливарних магнієвих сплавів [33].



а - температури лиття на рідкоплинність сплавів МЛ4, МЛ5 і МЛ3;

б - температури перегрівання на механічні властивості сплавів МЛ4, МЛ5

Рисунок 1.9 – Графіки залежностей впливу

Численні дослідження фізичних властивостей і будови рідких сплавів свідчать про те, що в більшості випадків метал поблизу температури кристалізації представляє собою нерівноважну суміш компонентів [34] – наслідок тривалості процесів релаксації їх ближнього структурного порядку і збереження в них елементів будови вихідних шихтових матеріалів, якими є динамічні освіти – кластери, дисперсні колоїдні частинки, тверді тугоплавкі включення типу карбідів і інтерметалідів [35]. При переході металу з рідкого стану в твердий ці утворення істотно впливають на морфологію структури.

Найбільш доступним і ефективним методом формування рівноважної структури є тепловий вплив. При цьому процес переходу системи в стан рівноваги в результаті її нагрівання відбувається не монотонно, а при досягненні певних температур, які відповідають процесам найбільш інтенсивного руйнування нерівноважних складових розплаву і зміни їх структурою [36].

Магнієві чушки, лігатури, відходи власного виробництва в якості шихтових матеріалів використовують при виплавленні сплаву МЛ5 для авіаційних виливків. Різна структура і якість застосовуваних шихтових матеріалів, різна ступінь їх легування обумовлюють мікронеоднорідний стан розплаву. При цьому частина структурних складових і після плавлення зберігається в розплаві у вигляді мікроугруповань, істотно впливають на мікроструктуру металу, що твердіє [36].

Прогнозування утворення тріщин в тонкостінних виливках з магнієвих сплавів є найважливішим завданням ливарного виробництва [37]. Для вирішення цього завдання може бути використано комп'ютерне моделювання процесів лиття. Адекватні результати моделювання можуть бути досягнуті при наявності правильних теплових властивостей сплаву і кристалізатора в широкому діапазоні температур, коефіцієнта міжфазового теплообміну між відливанням і кристалізатором, а також критичної твердої фракції (при якій припиняється потік розплаву в кристалізаторі).

У роботі [37] коефіцієнт теплопередачі на межі розділу між магнієвим сплавом МЛ5 (AZ91) і безобпалювальною піщаною прес-формою визначається шляхом порівняння довжин імітаційних спіральних випробувань з експериментальними довжинами спіральних випробувань в тих же умовах заливання. Його значення вище температури ліквідусу складають $h_L = 1500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ при температурах заливання 670 і 740°C і $h_L = 1800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ при температурі 810°C нижче температури солідусу $h_S = 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$. Критична тверда фракція для сплаву магнію МЛ5 (AZ91) також була визначена для відливання без запікання форми (зі швидкістю

охолодження $\sim 2\text{K/s}$) – її значення становило 01-015. Критична тверда фракція уточнюється шляхом порівняння положення місрунів за результатами моделювання і у фактичному "захисному ковпачку" лиття зі сплаву ML5 (AZ91) заливається в форму без запікання. Виливки заливають при температурах 630 і 670°C, причому критична тверда фракція в обох випадках становить 0,1.

Необхідно знати коефіцієнт коефіцієнта теплопередачі ($i\text{HTC}$) між литтям та формою для моделювання процесів заливки та затвердіння лиття в програмних системах моделювання лиття. Дослідження [38] демонструє спосіб, яким ми визначали коефіцієнт теплопередачі h між циліндричним литтям діаметром 50–56 мм та висотою 150 мм магнієвого сплаву ML5 (AZ91) та формою без випалу на сполучній синтетичної смоли. Температурне поле у формі та температура сплаву визначалися за допомогою дванадцяти термопар, встановлених у формі та порожнині форми. Дані про їх температуру реєстрували при заливці, затвердінні та охолодженні виливки. Програмне забезпечення ProCast, яке використовується для моделювання заливки та затвердіння виливків. Потім були отримані криві охолодження для точок в моделі, що відповідають положенню термопар під час експериментального лиття. Ми використовували наявні в літературі термічні властивості форми та теплові властивості сплаву, обчислені за допомогою термодинамічної бази даних ProCast. Моделювання та запис вимірювань температури здійснювали до 1500 с. Для визначення коефіцієнта теплопередачі була використана функція помилок. Він вказує на різницю між експериментальними та розрахунковими значеннями температури у виливці та формуванні. Значення коефіцієнта тепловіддачі встановлювали як залежність від температури. Значення коефіцієнта тепловіддачі в діапазоні $h_L = 600\text{--}1300 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К})$ на кожні $100 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ встановлювали вище температури ліквіду (610°C) сплаву. Коефіцієнт тепловіддачі $h_S = 500\text{--}700 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К})$ встановлено нижче температури солідусу сплаву (415°C). Ми намагалися знайти значення коефіцієнта тепловіддачі, при якому

функція помилок була зведена до мінімуму, а отже, різниця між розрахованим та експериментальним температурним полем у виливці та лиття також була мінімальною. Отримані значення коефіцієнта тепловіддачі між литтям та формою $h_L = 1100 \text{ Вт} / (\text{м}^2\text{К})$ вище температури ліквіду та $h_S = 600 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К})$ нижче температури солідусу. Такі значення коефіцієнта тепловіддачі дають функцію похибки не більше 20°C [38].

У роботі [39] шляхом типової термічної обробки режимом T6 було отримано поліпшення високотемпературних втомних властивостей магнієвого сплаву МЛ5 (AZ91) з рідкоземельними елементами. Для цього проводилися випробування на позафазову термомеханічну втому при кімнатній температурі та високотемпературні випробування на низькочастотну втому для порівняння терміну служби. Кілька рідкоземельних елементів спочатку додаються до сплаву МЛ5 (AZ91) під час процесу гравітаційного лиття в постійні форми. Також розглядається вид термообробки. Результати досліджень зразків тільки з розчином (термообробка режимом T4) і розчином з процесом старіння (термообробка режимом T6) порівнюються при ізотермічних втомних навантаженнях. Мікроструктурні дослідження проводилися до і після експериментів на втому для демонстрації ефекту термообробки. Результати показали, що як низька циклічна втома, так і термомеханічна втома сплаву МЛ5 (AZ91) при високих температурах значно підвищується після термообробки режимом T6. Така поведінка пояснюється зміною пластичності, яке стало результатом мікроструктурних змін в процесі термообробки і варіюванням температури при випробуваннях на втому.

Автори [40] повідомляють про ефективний підхід для досягнення відмінного поєднання високої міцності та хорошої пластичності в сплаві AZ91 Mg. Підхід передбачає термічну обробку розчину, рівномірне кутове пресування каналу (ЕСАР) та подальше старіння. Такий підхід ефективний для накопичення дислокацій та сприяння утворенню великих сферичних осадів під час ЕСАР. При старінні утворюються набагато більш дрібні осадки

з рівномірним розподілом всередині зерен. Структура ієрархічного осаду, одержана сучасним підходом, забезпечувала високу міцність і хорошу пластичність.

Сплав МЛ5 широко застосовується в є і за кордоном високоміцні ливарні використовуються для роботи при температурах до 150°C [41]. Характерною особливістю сплаву – різке зниження жароміцних характеристик при підвищенні температури, що відбувається внаслідок виникнення процесів, що змінюють структуру сплаву, і що виявляється в наступному:

- змінюються кількість і структура зон Гінє-Престона;
- відбувається структурна зміна метастабільних утворень і зростання часток стабільних фаз;
- зменшується сумарна протяжність кордонів внаслідок коагуляції і сфероїдизації частинок друге фаз;
- вирівнюється концентрація легуючих елементів всередині зерен твердого розчину;
- зменшуються внутрішні напруги кристалічної решітки.

У всіх цих процесах головну роль відіграють так звані явища переносу – в основному дифузія і теплопровідність [41].

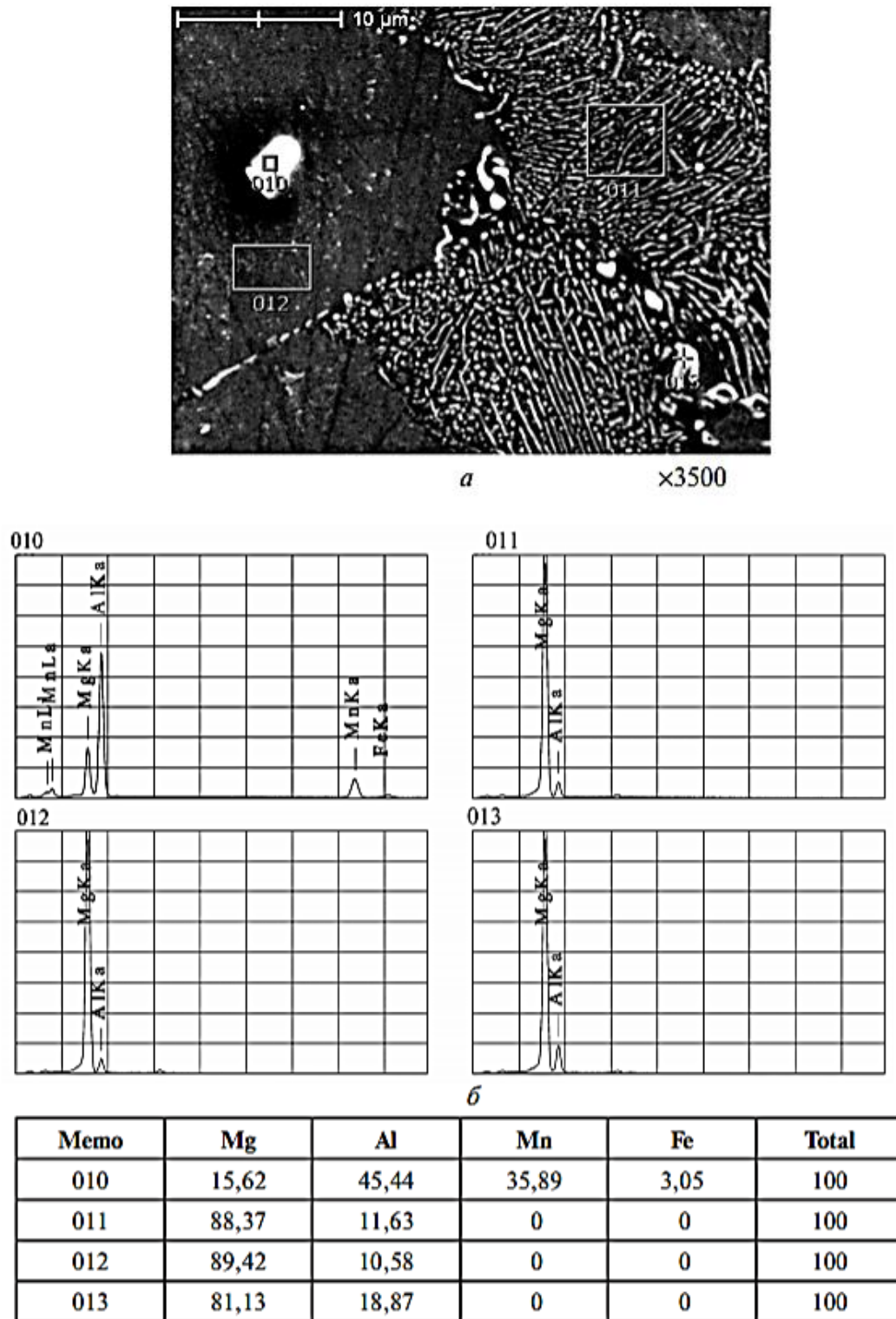
Вивчення макроструктури досліджуваних варіантів показало, що підвищення температури перегрівання розплаву до 900°C призводило до подрібнення макрозерна, подальше ж підвищення температури перегрівання призводило до його огрубіння [42].

Металографічним дослідженням [42] встановили, що основними структурними складовими сплаву МЛ5, відлитого за стандартною технологією, є δ -твердий розчин, евтектика типу $\delta + \gamma$ (Mg_4Al_3), інтерметаліди γ (Mg_4Al_3) і марганцовиста фаза. Евтектична фаза була зосереджена на межах зерен. Інтерметалідна фаза виділялася у вигляді частинок глобулярної форми.

В процесі термічної обробки відбувалося евтектоїдне перетворення [42], в результаті чого спостерігалось виділення евтектоїда $\delta + \gamma$ (Mg_4Al_3), що має вигляд пластин, що чергуються. Поряд з цим в досліджуваних сплавах виявлялися примежові структури Mg_4Al_3 в формі виродженої евтектики білого кольору.

Мікрорентгеноспектральний аналіз сплаву, перегрітого до 900°C (рисунок 1.10), показав, що металева матриця являє собою твердий розчин алюмінію в магнії. Інтерметаліди в сплаві були двох типів: одні складаються тільки з магнію і алюмінію у вигляді Mg_4Al_3 , інші представляють комплексні сполуки, розташовані переважно по межах зерен і містять крім магнію і алюмінію додатково марганець і залізо [42].

Аморфна мікроструктура досліджуваних включень, відсутність кристалографічних форм, а також змінна прозорість, яка свідчить про метастабільність складу, дозволяють віднести їх до твердих розчинів складного складу [42]. Перегрівання металу трансформує неметалеві включення, видозмінюючи їх форму, розміри, кількість і розподіл в об'ємі металу.



а - місця аналізу, обмежені прямокутниками; б - спектрограми від аналізованих місць; в - приблизний хімічний склад виділених ділянок

Рисунок 1.10 – Результати РСМА зразка сплаву МЛ5 після перегрівання при 900°C

1.5 Висновки

Перегрівання і перемішування металу відіграють значну роль у процесах переплавлення і позаагрегатної обробки. Метал після переплавлення (як в осях дендритів, так і в міжосних ділянках) характеризується підвищеною щільністю, більш рівномірним розподілом і меншою щільністю точкових і лінійних дефектів, більш високими значеннями модуля пружності. Дендритна ліквідація в такому металі виражена слабше, інтервал затвердіння (ліквідус-солідус) звужується. Отриманий ефект пов'язаний із впливом на структуру розплаву.

Сплав МЛ5 (AZ91) – високоміцний магнієвий ливарний сплав, який в промисловості використовується для виготовлення навантажених деталей. Сплав має хороші ливарні, високі механічні та технологічні властивості.

Отримання дрібнозернистої структури магнієвого сплаву МЛ5 за допомогою перегрівання – високотемпературної обробки розплаву (ВТОР) є важливою умовою, що забезпечує високий комплекс механічних властивостей і підвищену працездатність матеріалу.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МЛ5

2.1 Матеріал дослідження

Для проведення дослідження впливу високотемпературної обробки розплаву ВТОР на структуру та механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5 використовували сплав, приготований за стандартною технологією.

Сплав МЛ5 виплавляли в індукційній тигельній печі типу ПІМ-500, призначеної для плавлення сплавів на магнієвій основі.

Проводили модифікування нагріванням розплаву до температури 700; 750; 800; 850; 900 та 950°C.

Рафінування розплаву проводили в роздавальній печі. Потім заливали зразки на механічні випробування в піщану форму та зразок на злам для перевірки якості модифікування сплаву.

Тимчасовий опір розриву σ_B та відносне подовження δ при кімнатній температурі визначали на розривній машині Р5 на зразках з робочим діаметром 12 мм після стандартної термічної обробки: гартування при температурі $415 \pm 5^\circ\text{C}$, витримка 15 годин, охолодження на повітрі та старіння при $200 \pm 5^\circ\text{C}$, витримка 8 годин, охолодження на повітрі.

Мікроструктуру вивчали методом світлової мікроскопії (МІМ-8М) на зразках до та після термічної обробки після травлення в реактиві, що складається з 1% азотної кислоти, 20% оцтової кислоти, 19% дистильованої води, 60% етиленгліколю.

Мікротвердість визначали на мікротвердомірі фірми “Buehler” при навантаженні 0,1 Н.

Хімічний склад отриманого магнієвого сплаву МЛ5 при різних способах модифікування задовольняв вимогам ГОСТ 2856-79 (таблиця 2.1).

Термічну обробку дослідного металу проводили по режиму Т-6 ГОСТ 2856-79 (таблиця 2.2) у термічних печах типу Бельв'ю й ПАП-4М.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву МЛ5 за ГОСТ 2856-79

Марка сплаву	Хімічний склад [% (мас. частка)]									
	Основні елементи				Домішки (не більше)					
	Mg	Al	Mn	Zn	Cu	Si	Fe	Ni	Be	Zr
МЛ5	основа	7,5-9,0	0,15-0,5	0,2-0,8	0,1	0,25	0,06	0,01	0,002	0,002

Таблиця 2.2 – Режим термообробки Т-6 ГОСТ 2856-79 для експериментальних зразків

Марка сплаву	Вид т/о	Гартування			Старіння		
		Температура нагрівання, °C	Час витримки, год	Охолоджувальне середовище	Температура нагрівання, °C	Час витримки, год	Охолоджувальне середовище
МЛ5	Т-6	415±5	12-24	повітря	175±5	12-16	повітря

2.2 Вивчення макроструктури магнієвого сплаву МЛ5

Фрактографія – спеціальний вид металографічного аналізу, що полягає в дослідженні поверхні зламу. Основна мета фактографічного аналізу – дослідження морфологічних та структурних особливостей поверхні руйнування для встановлення механізму руйнування або виявлення причин руйнування виробу [43].

Вид зламу служить критерієм оцінки якості металу. Існує зручний для практики, але доволі умовний розподіл зламів на крихкі, квазікрихкі та в'язкі. Основною ознакою такого розподілу служить ступінь макропластичної деформації, що супроводжує руйнування. Крихкому зламу відповідає відносне звуження площі поперечного перетину не більше 1,5%,

квазікрихкому – до 15%, в'язкому – більше 15%. Такий розподіл стосується головним чином зламів короткотривалого однократного навантаження.

За характером силового впливу (тип навантаження) злами поділяють на три групи:

- а) злами короткотривалого однократного статичного та динамічного навантаження;
- б) злами довготривалого статичного навантаження;
- в) злам втомного руйнування, що утворюється під дією періодично та багатократно змінюючогося навантаження [43].

Поверхні зламів оцінювали візуально та методом електронної мікрофрактографії [44].

Контроль за характером зламу – один з найстаріших візуальних методів контролю якості металу. Вирізняючись простотою та доступністю, цей метод дозволяє не тільки виявляти різноманітні дефекти металу, але й давати наглядне уявлення про макроструктуру металу.

Звичайно для фактографічних досліджень використовують термооброблений метал.

Візуальна оцінка зламу неозброєним оком виявила особливості його будови, а також дефекти розміром більше 0,2 мм.

При проведенні досліджень використовувався растровий електронний мікроскоп, за допомогою якого вивчалася безпосередньо поверхня зламів (без підготовки реплік). Цей електронний мікроскоп має велику глибину різкості та достатню роздільну здатність та широкий діапазон спостереження.

Проведення фрактографічного аналізу на мікрорівні дозволяє класифікувати досліджуємі поверхні руйнування за зв'язком з елементами структури матеріалу та за механізмом руйнування.

Види поверхонь руйнування, що виявляються методом електронної мікроскопії, значно легше піддаються класифікації, ніж макроскопічна картина зламу, та можуть бути зведені до відносно невеликого числа

елементів мікрорельєфу, що відповідають умовам розповсюдження руйнування [45].

2.3 Вивчення мікроструктури магнієвого сплаву МЛ5

Фізико-механічні та експлуатаційні характеристики магнієвого литва в значній мірі визначаються природою, характером розташування та кількістю евтектичної фази, інтерметалідів, карбідів та розміром зерна.

В Запорізькому машинобудівному інституті був розроблений лінійний метод підрахунку ГОСТ 1778-70, де за основу був взятий так званий лінійно-поперечний метод.

Підрахунок структурних складових був проведений при збільшенні Ч100, 300, 600. На предметному столику мікроскопа МИМ-8М шліф переміщували вздовж осі мікроскопа, враховуючи тільки ті складові, що потрапляли в перехрестя нитей окуляра [46].

Діаметр зерна, розмір інтерметалідів та карбідів визначається як середнє арифметичне суми найменшого та найбільшого розмірів та відноситься до певної розмірної групи.

В основу групування розмірів зерен покладений середній діаметр зерна, що зростає при переході від однієї групи до другої в арифметичній прогресії :

$$a_n = a_1 + (n-1) \cdot r, \text{ (мм)} \quad (2.1)$$

де r – різниця прогресії, що дорівнює 2.

На основі запису кількості та розмірів структурних складових підраховується середній діаметр (розмір) складової :

$$d_{cp} = (b \cdot \sum m_i \cdot a_i) / \sum a_i, \text{ (мкм)} \quad (2.2)$$

де b – ціна поділки окулярної шкали, мкм;

m_i – середнє значення інтервалу розмірної групи в поділці окулярної шкали;

a_i – кількість зерен [46].

2.4 Механічні властивості та металографічні дослідження магнієвого сплаву МЛ5

Механічні властивості досліджуваного магнієвого сплаву вивчали на литих зразках (рисунок 2.1) за ДЕСТ 2839-94. Розміри наведені у таблиці 2.3.

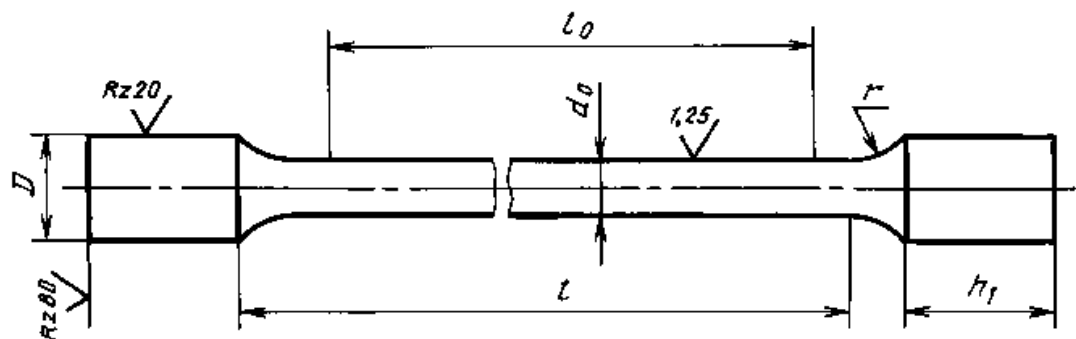


Рисунок 2.1 – Форма і розмір зразка для лиття у піщану форму за ДЕСТ 2839-94

Таблиця 2.3 – Розміри зразків відлитих у піщану форму за ДЕСТ 2839-94

d_0	l_0	l	D	h_1	h_2	r	L
10	50	60	18	40	10	25	160

Випробування на розтягнення за ДЕСТ 1497-84 проводили на розривній іспитовій машини "INSTRUN" 2801.

Литий зразок механічно обробили для випробувань на розрив (рисунок 2.2) за ДЕСТ 1497-84

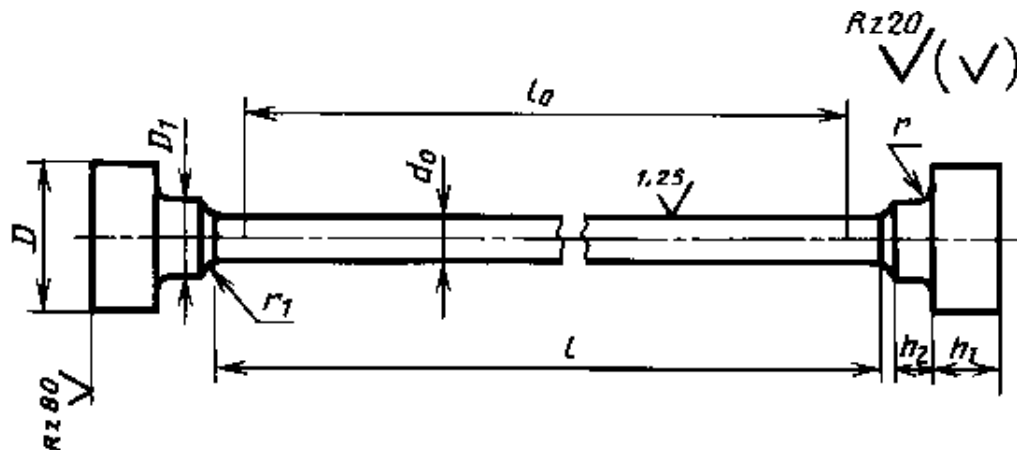


Рисунок 2.2 – Механічно оброблений зразок за ДЕСТ 1497-84

Таблиця 2.4 – Розміри зразків відлитої у піщану форму за ДЕСТ 1497-84

d_0 , мм	l_0 , мм	l , мм	D , мм	D_1 , мм	h_1 , мм	h_2 , мм	r , мм	r_1 , мм
5	25	$l_0(0.5 \dots 2.0)d_0$	12	7	5	4	1.0	2.5

Мікроструктуру вивчали методом оптичної мікроскопії («Neofot 32») на термічно оброблених зразках до й після травлення в реактиві:

- азотна кислота - 1 %;
- оцтова кислота - 20 %;
- дистильована вода - 19 %;
- етиленгліколь - 60 %.

Мікротвердість досліджуваного металу проводили на установці мікротвердомір "Beuhler" MM7T.

Випробування на мікротвердість вдавненням по методу відновленого відбитка за ДЕСТ 9450-76 полягає в нанесенні на випробувану поверхню виробу (зразка) відбитка під дією статичного навантаження, прикладеної до алмазного наконечника протягом певного часу. Після видалення навантаження й виміру параметрів отриманого відбитка число мікротвердості варто визначали за формулою:

$$H_{\diamond} = \frac{F}{S} = \frac{0.102 \cdot 2F \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{l_{\diamond}^2 \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \frac{\beta}{2}}{\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}}} = 1.313 \frac{F}{l_{\diamond}^2}, \quad (2.1)$$

де F – нормальне навантаження, прикладене до алмазного наконечника, Н (кгс);

S – умовна площа бічної поверхні отриманого відбитка, мм²;

l – розмір відбитка, мм;

d – середнє арифметичне довжин обох діагоналей квадратного відбитка, мм;

R – радіус циліндра, рівний 2 мм;

α та β – кути різних загострень алмазних наконечників, град.

Високотемпературні випробування проводили за ДЕСТ 9651-84.

Встановлювали зразок у нагрівальний пристрій машини "INSTRUN" 2801 з подовжувальними штангами для кріплення зразків, які повинні забезпечувати надійне центрування зразка в захопленнях іспитової машини.

Литий зразок механічно обробили для високотемпературних випробувань (рисунок 2.3) за ДЕСТ 1497-84.

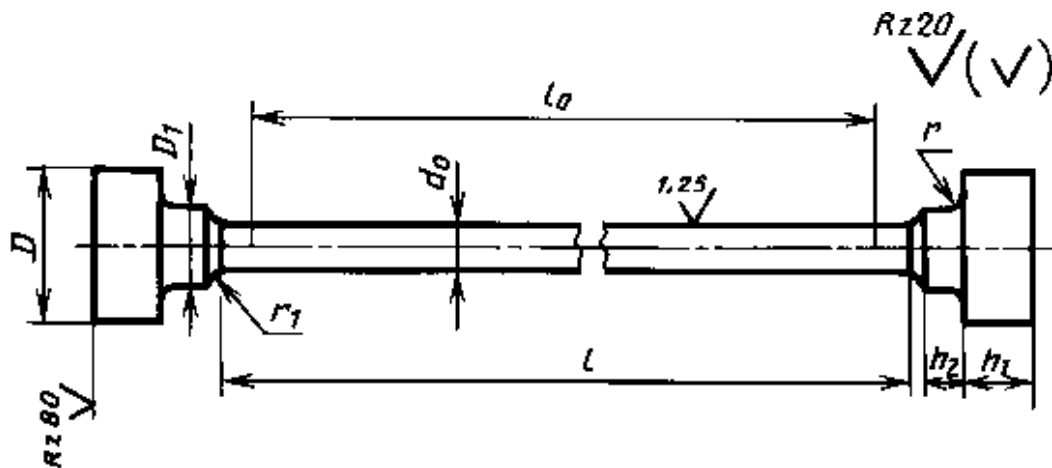


Рисунок 2.3 – Механічно оброблений зразок за ДЕСТ 1497-84

Таблиця 2.5 – Розміри зразків відлитих у піщану форму за ДЕСТ 1497-84

d_0 , мм	l_0 , мм	l , мм	D , мм	D_1 , мм	h_1 , мм	h_2 , мм	r , мм	r_1 , мм
5	25	$l_0(0.5 \dots 2.0)d_0$	12	7	5	4	1.0	2.5

Для вимірювання температури на зразок встановили:

- дві первинних термопари – при $l < 100$ мм (у міток, що обмежують початкову розрахункову довжину зразка l_0);
- три первинних термопари – при $l > 100$ мм (у міток, що обмежують початкову розрахункову довжину зразка l_0 і в середині її).

Робочий кінець первинної термопари повинен мати надійний контакт із поверхнею зразка й бути ізольованим від радіаційного нагрівання.

Зразок, що перебував в нагрівальному пристрої й нагрітий до заданої температури, після встановленого часу витримки випробували.

Тривалість нагрівання до температури випробування, яка становила 150°C становила 1 год.

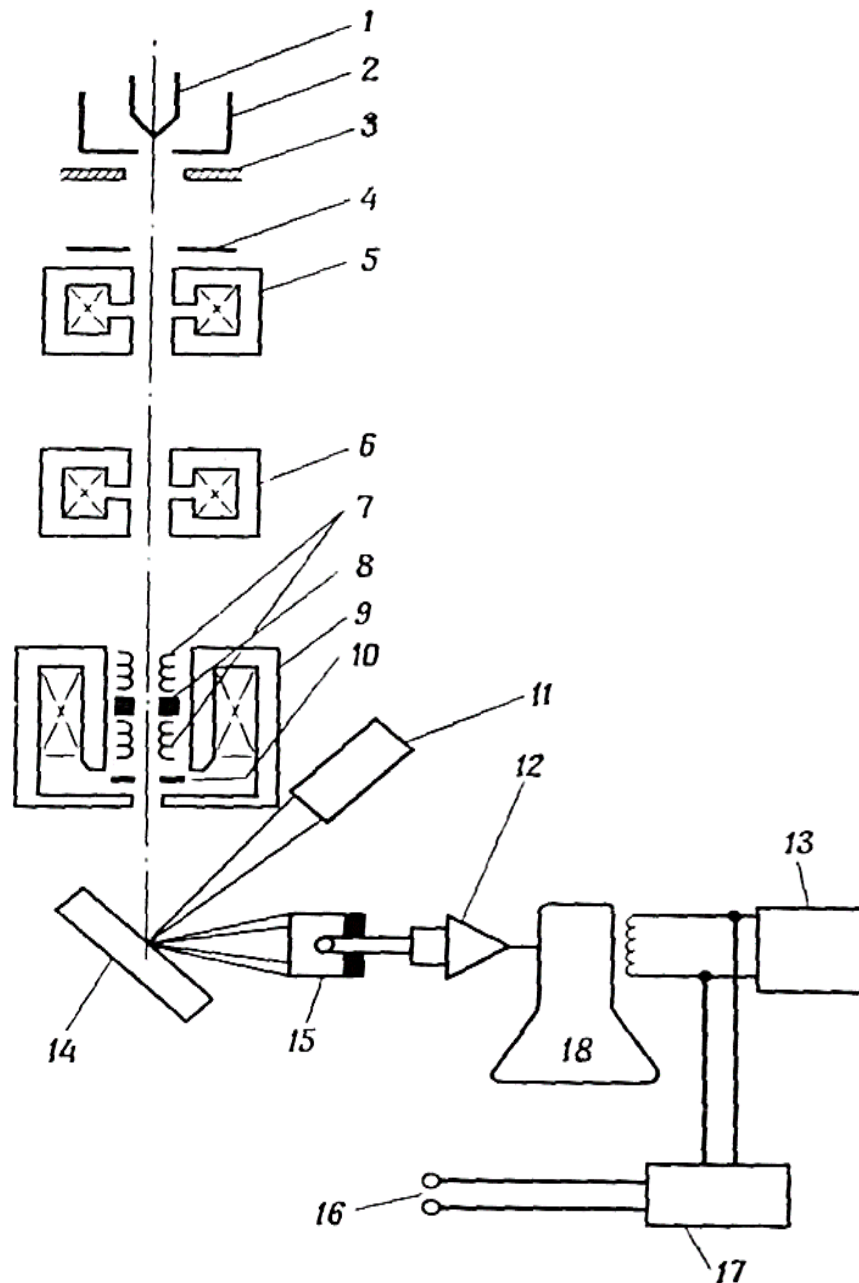
Випробування проводили на розривній машині "INSTRUN" 2801.

2.5 Рентгеноспектральний аналіз

Рентгеноспектральний аналіз використовували для якісного і кількісного визначення хімічного складу [43]. Заснований на залежності інтенсивності характеристичних ліній флюоресценції від його масової долі в пробі. Визване первинним рентгенівським випромінюванням характеристичне випромінювання елементів в пробі розкладається в спектр з наступним виміром аналітичних сигналів і визначенням масової долі елементів.

Аналіз проводили на електронному мікроскопі РЭММА-202М, який поєднує функції растрового електронного мікроскопа високої роздільної здатності й рентгенівського мікроаналізатора й використовується для аналізу якісних і кількісних характеристик різних об'єктів. Електронно-оптична система (ЕОС) приладу три лінзова (рисунки 2.4), включає дволінзовий конденсор і об'єктив ЕОС, забезпечує формування електронного зонда малого діаметра в широкому діапазоні прискорювальних напруг.

Для отримання зображення в електронному мікроскопі використовуються сигнали, створені вторинними, відбитими, поглиненими електронами; для проведення аналізу хімічного складу поверхні з локальністю 1-3 мкм і отримання зображення поверхні в рентгенівських променях – характеристичне рентгенівське випромінювання, що виникає при взаємодії електронного зонда з поверхнею зразка.



1 – катод; 2 – модулятор; 3 – анод; 4 – обмежуюча діафрагма; 5 – перша конденсорна лінза; 6 – друга конденсорна лінза; 7 – катушка подвійного відхилення; 8 – стігматор; 9 – об'єктивна лінза; 10 – діафрагма, що обмежує розмір пучка; 11 – детектор рентгенівського випромінювання; 12 – підсилювач фотопомножувача; 13 – генератори розгортки; 14 – зразок; 15 – детектор вторинних електронів; 16 – до катушки подвійного відхилення; 17 – керування збільшенням; 18 – ЕПТ.

Рисунок 2.4 – Схема електронної оптики РЭММА

Рентгеноспектральний мікроаналіз проводиться за допомогою двох кристал-дифракційних спектрометрів ХДАР нахиленого типу, виконаних за схемою повного фокусування з набором кристалів-аналізаторів для діапазону елементів від вуглеця ($Z=6$) до урана ($Z=92$). Система енергодисперсійного аналізу ЕДАР забезпечує проведення експрес-аналізу для діапазону елементів від натрія ($Z=11$) до америція ($Z=95$). Електроніка растрового мікроскопа має комплекс сервісу для обробки сигналів, маніпуляції з растром, автоматизації настроювання і юстування.

2.6 Математичні методи обробки даних

Математична обробка результатів починається з визначення середніх значень параметрів, що вивчаються:

$$X_c = \sum X / N$$

де $\sum X$ – сумарне значення параметру, що вивчається;

N – кількість дослідів.

$$Y_c = \sum Y / N$$

де $\sum Y$ – сумарне значення параметру, що вивчається.

Для розрахунків використовується розрахункова таблиця математичної обробки результатів експерименту.

Коефіцієнт кореляції визначається за формулою:

$$r = \frac{\sum (X - X_c) * (Y - Y_c)}{\sqrt{\sum (X - X_c)^2 * \sum (Y - Y_c)^2}}.$$

Коефіцієнти рівняння:

$$b = r \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_c)^2}{\sum (X - X_c)^2}}.$$

$$a = Y_c - b * X_c.$$

Математична обробка результатів експерименту зводиться до виведення рівняння першого порядку:

$$Y = a + b * X.$$

Далі одержані експериментальні дані оформлюються у вигляді графічних залежностей. Для цього наносяться експериментальні точки і проводиться пряма лінія згідно з одержаним рівнянням для кожного параметру, що вивчається [47].

Середні квадратичні відхилення визначаються за формулами [48]:

$$\sigma_x = \sqrt{(X - X_c)^2 / N},$$

$$\sigma_y = \sqrt{(Y - Y_c)^2 / N}.$$

2.7 Висновки

У другому розділі описана методика дослідження магнієвого сплаву МЛ5, яка складається з:

- вивчення макроструктури магнієвого сплаву МЛ5 – проведення фрактографічного аналізу на мікрорівні;
- вивчення мікроструктури магнієвого сплаву МЛ5 – визначення фізико-механічних та експлуатаційних характеристик магнієвого литва;
- дослідження мікроструктури магнієвого сплаву МЛ5 методом оптичної мікроскопії («Neofot 32») на термічно оброблених зразках до й після травлення в реактиві;
- дослідження мікротвердості досліджуваного магнієвого сплаву МЛ5 на установці мікротвердомір “Beuhler” ММ7Т;
- вивчено принцип рентгеноспектрального аналізу на електронному мікроскопі РЭММА-202М для якісного і кількісного визначення хімічного складу;
- встановлення математичні методи обробки даних для формування графічних залежностей.

Для цього використовували визначений матеріал дослідження – сплав, приготований за стандартною технологією.

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз високотемпературної обробки магнієвого розплаву

Отримання дрібнозернистої структури магнієвого сплаву МЛ5 за допомогою високотемпературної обробки розплаву (ВТОР) є важливою умовою, що забезпечує високий комплекс механічних властивостей і підвищену працездатність матеріалу [42]. У цьому дослідженні вивчали вплив ВТОР розплаву на структуроутворення і властивості виливків з магнієвого сплаву МЛ5.

Магнієві чушки, лігатури, відходи власного виробництва використовують як шихтові матеріали при виплавленні магнієвих сплавів, зокрема магнієвого сплаву МЛ5. Різна структура і якість застосовуваних шихтових матеріалів, різний ступінь їх легування обумовлюють мікронеоднорідний стан розплаву. При цьому, частина структурних складових шихтових матеріалів зберігається в розплаві у вигляді мікроугруповань, істотно впливають на мікроструктуру виробленого литва.

Структура литих магнієвих сплавів – один з основних факторів, що визначають такі їх властивості, як міцність, пластичність, жароміцність і ін. Тому отримання дрібнозернистої структури з допомогою високотемпературної обробки (ВТОР) є важливою умовою, що забезпечує високий комплекс механічних властивостей і підвищену працездатність матеріалу [42].

3.1.1 Диференційно-термічний аналіз розплаву сплаву МЛ5

Одним із способів отримання однорідного розплаву є його високотемпературна обробка [49]. Проведений диференційно-термічний

аналіз (ДТА) розплаву МЛ5 від 800°C до температури початку його кипіння показав, що у всьому цьому температурному інтервалі відбувається ряд перетворень і розплав досягає рівноважного стану тільки при підході до температури його кипіння. На рисунку 3.1 зображена ДТА-крива розплаву магнієвого сплаву МЛ5 з нанесеними температурами перетворень при перегріванні.

Відомо [50, 51], що при більшому переохолодженні розплаву істотно збільшується швидкість виникнення центрів кристалізації, що помітно подрібнює структурні складові і підвищує властивості виливків.

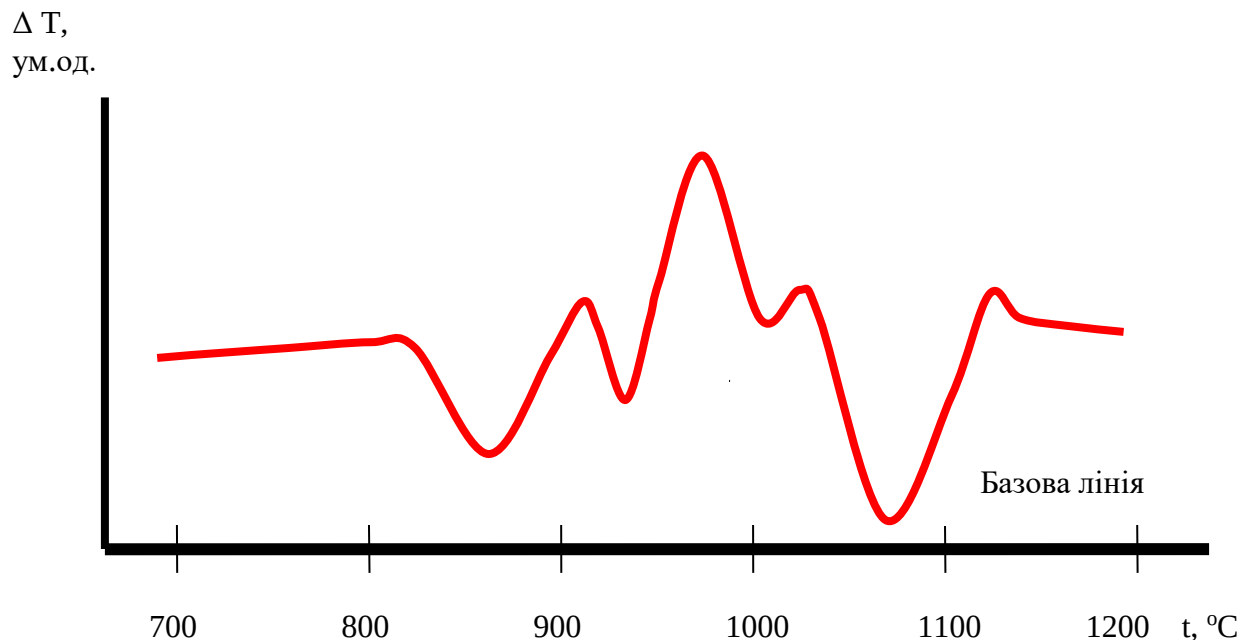


Рисунок 3.1 – ДТА-крива розплаву магнієвого сплаву МЛ5 з нанесеними температурами перетворень при перегріванні

3.1.2 Вплив температури перегрівання розплаву на макро- та мікроструктуру сплаву

Вивчали вплив ВТОР на структуроутворення і властивості виливків з магнієвого сплаву МЛ5. ВТОР проводили, перегріваючи розплав від 700 до 950°C, з інтервалом в 50°C і витримкою 20 хв. При цьому, встановили, що підвищення температури перегрівання розплаву призводило до зменшення вмісту в ньому вуглецю і азоту (рисунок 3.2).

Залежність вмісту азоту і вуглецю від температури перегрівання розплаву мала лінійну залежність:

$$N = 0,0078 - 6,9 \cdot 10^{-6} \cdot t, \%, \quad r = -0,98;$$

де N – вміст в сплаві азоту, %;

t – температура розплаву, °C.

$$C = 0,1515 - 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot t, \%, \quad r = -0,99,$$

де C – вміст в сплаві вуглецю, %.

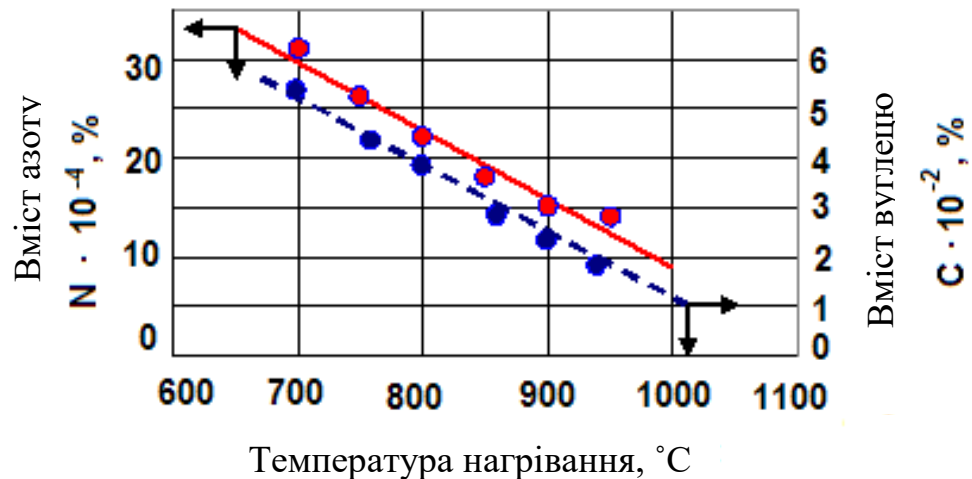


Рисунок 3.2 – Вплив температури нагрівання на вміст азоту і вуглецю в магнієвому сплаві МЛ5

Вивчення макроструктури зразків досліджуваних варіантів показало, що при температурі перегрівання розплаву до 900°C відбувалося подрібнення макрозерна. Однак подальше підвищення температури перегрівання (до 950°C) приводило до його огрубіння (рисунок 3.3).

Фрактографічні дослідження зразків зі сплаву МЛ5 різних варіантів високотемпературної обробки розплаву, виконані на електронному мікроскопі, показали, що зразки залиті при 700°C мали крихкий злам з великоблочною структурою і ділянками міжзеренного руйнування (рисунок 3.4, а). Підвищення температури нагрівання розплаву до 900°C призвело до значного подрібнення зерна. При цьому утворювався квазікрихкий злам з окремими елементами в'язкої складової (рисунок 3.4, б). Підвищення температури розплаву до 950°C знову призводило до укрупнення зерна та окрихчування металу (рисунок 3.4, в).

Подрібнення мікрозерна металу, що пройшов ВТОР, помітно досягалося при перегріванні розплаву до 900°C. При цьому індекс евтектики і інтерметалідів незначно підвищувалися, але істотно збільшувалася питома поверхня кордонів зерен (таблиця 3.1). Останній показник помітно (в 2 рази) погіршувався при перегріванні розплаву до 950°C (рисунок 3.5).

Таблиця 3.1 – Характеристики структурних складових магнієвого сплаву МЛ5 після ВТОР

Температура ВТОР, °С	Розмір мікро- зерна, мкм	Питома поверхня меж зерен, мкм ⁻¹	Індекс	
			інтерм.	евтект.
700	190	19	0,008	0,09
750	180	20	0,009	0,12
800	160	22	0,010	0,13
850	90	50	0,011	0,16
900	70	62	0,012	0,15
950	120	31	0,01	0,11

Примітка: в таблиці наведені середні значення.

На рисунку 3.6 показано вплив температури ВТОР магнієвого сплаву МЛ5 на розмір мікрозерна (рисунок 3.6, а) та питому поверхню меж зерен (рисунок 3.6, б).



а



б



в



г



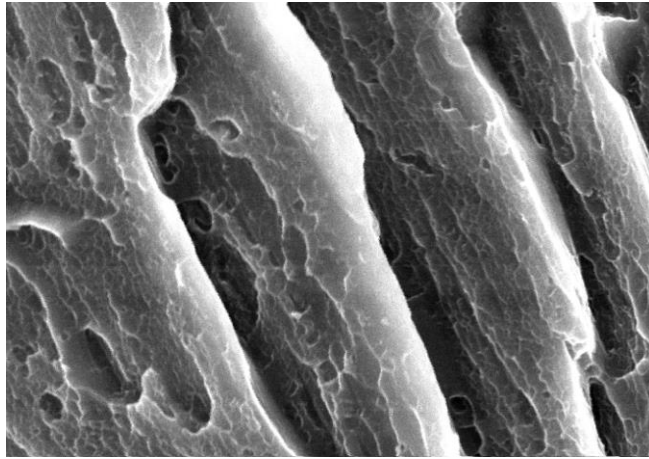
д



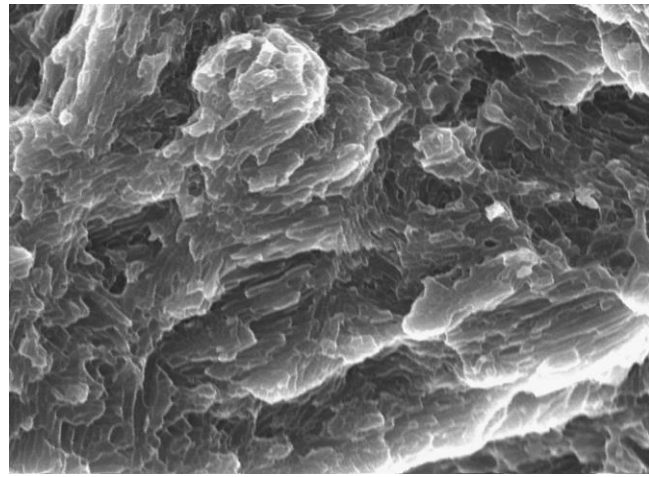
е

а - 700°C; б - 750°C; в - 800°C; г - 850°C; д - 900°C; е - 950°C.

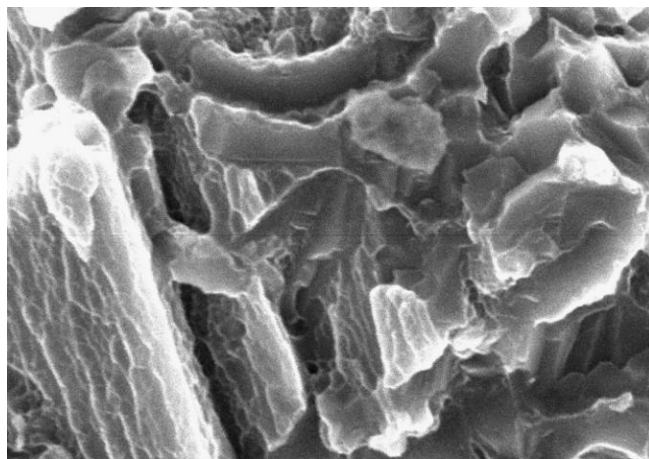
Рисунок 3.3 – Макрофрактограмми зламів сплаву МЛ5 після ВТОР
при різних температурах, х5



а



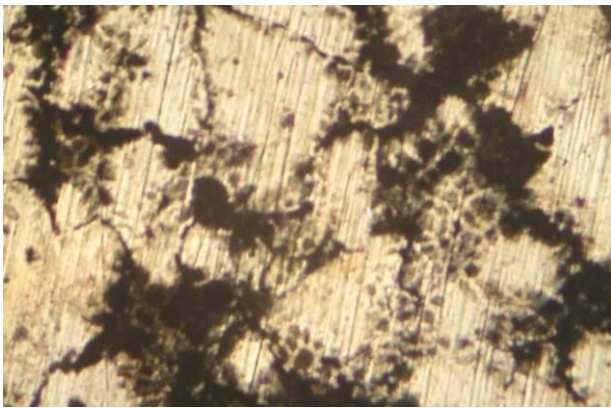
б



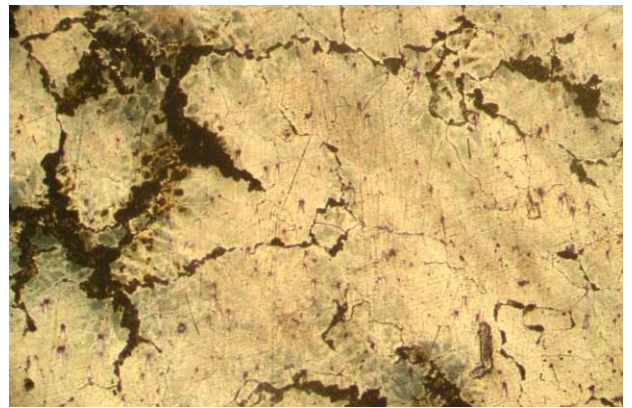
в

а – 700 °C; б – 900 °C; в – 950 °C.

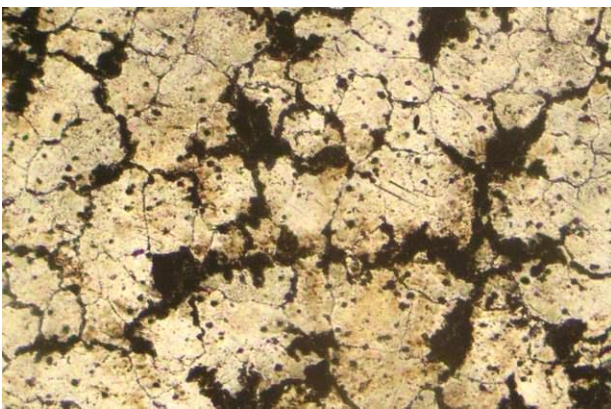
Рисунок 3.4 – Мікрофрактограмми зламів магнієвого сплаву МЛ5
після ВТОР, х3500



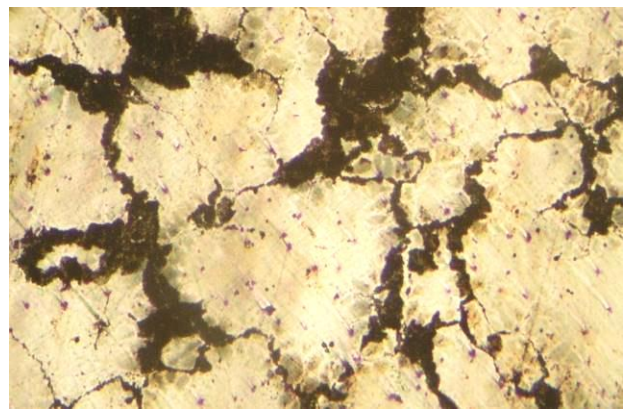
а



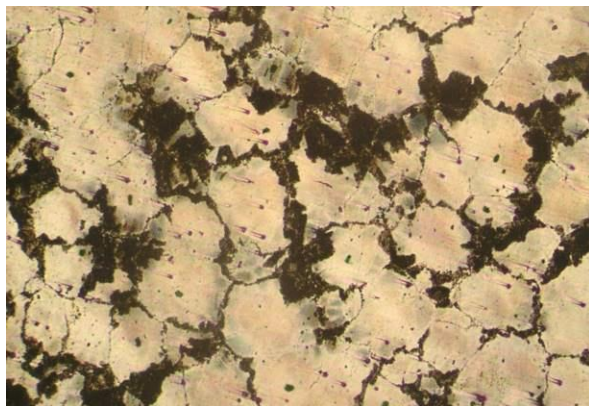
б



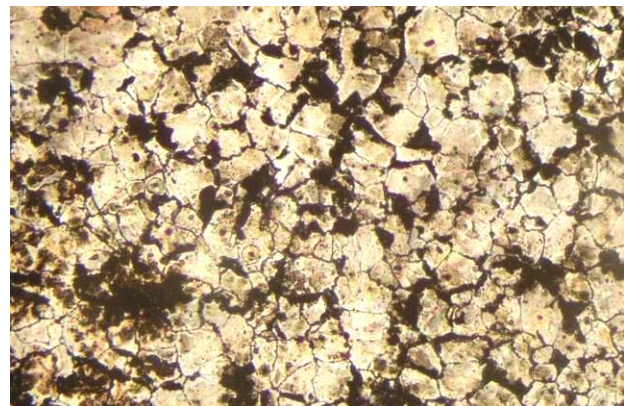
в



г



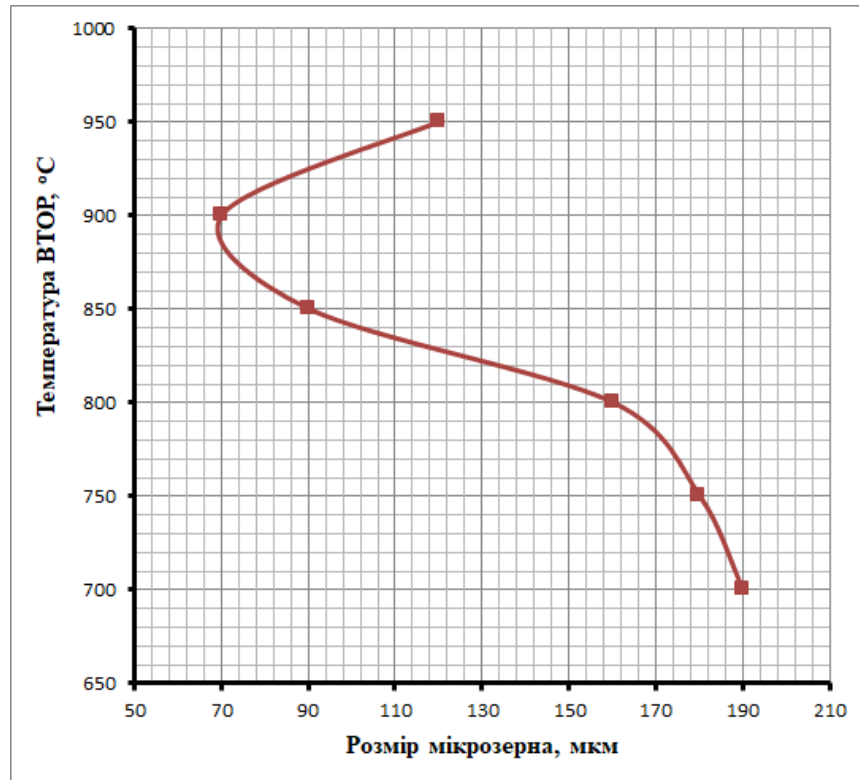
д



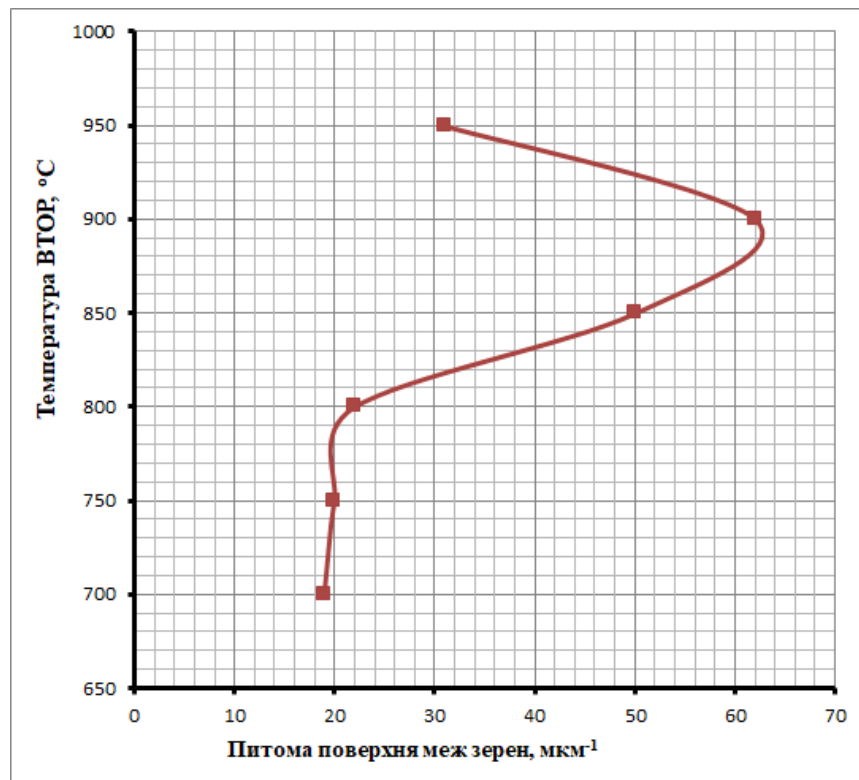
е

а - 700°C; б - 750°C; в - 800°C; г - 850°C; д - 900°C; е - 950°C

Рисунок 3.5 – Мікроструктура термообробленого магнієвого сплаву МЛ5
після ВТОР, х200



а



б

а – розмір мікрозерна; б – питома поверхня меж зерен

Рисунок 3.6 – Вплив температури ВТОР магнієвого сплаву МЛ5

Аналіз отриманого результату показує, що при підвищенні температури нагрівання на інтервалі від 700 до 950°C розмір мікрозерна зменшується, рисунок 3.6, а. При температурах від 700 до 800°C спостерігається плавне зменшення розміру мікрозерна від 190 до 160 мкм. При подальшому перегріванні до 850°C – розмір мікрозерна значно зменшується та становить 90 мкм.

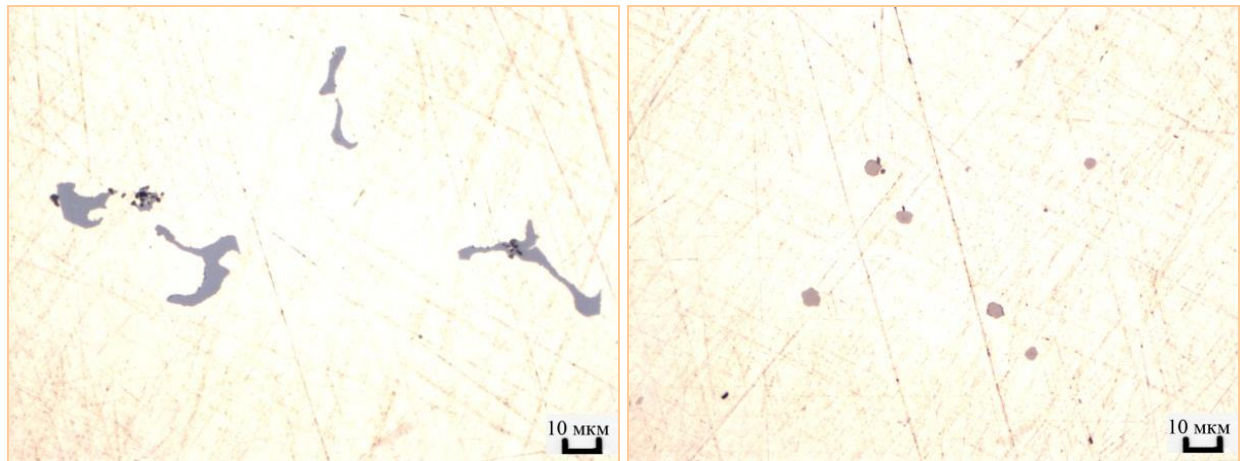
При температурі 900°C отримано найменший розмір мікрозерна 70 мкм. При подальшому перегріванні до 950°C розмір мікрозерна починає значно збільшуватися.

Питома поверхня меж зерен залежить від температури ВТОР прямопропорційно впливу температури на розмір мікрозерна, рисунок 3.6, б. При температурі 900°C отримуємо найбільше значення питомої поверхні меж зерен 62 мкм⁻¹. При 950°C її значення зменшується та становить 31 мкм⁻¹, тобто за подальше підвищення температури всього на 50°C питома поверхня меж зерен зменшується вдвічі.

3.1.3 Аналіз інтерметалідної фази після ВТОР магнієвого сплаву МЛ5

Інтерметаліди в магнієвому сплаві МЛ5, залитому у форми при 700°C, розташовувалися, як по межах, так і всередині зерен. На межах зерен вони були пластинчастої форми і мали сіро-блакитний колір (рисунок 3.7, а). Усередині зерна – сіро-рожеві, сферичної форми (рисунок 3.7, б).

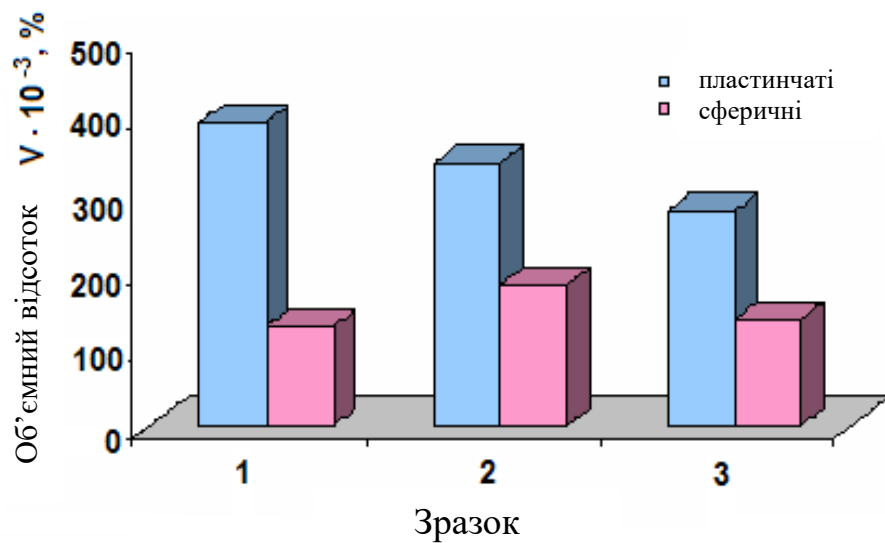
Перегрівання розплаву до 900°C зменшив об'ємну частку пластинчастих інтерметалідів та збільшив – сферичних. Подальше нагрівання до 950°C знижувало частку пластинчастих і сферичних інтерметалідів (рисунок 3.8).



а

б

а - пластинчасті; б - сферичні

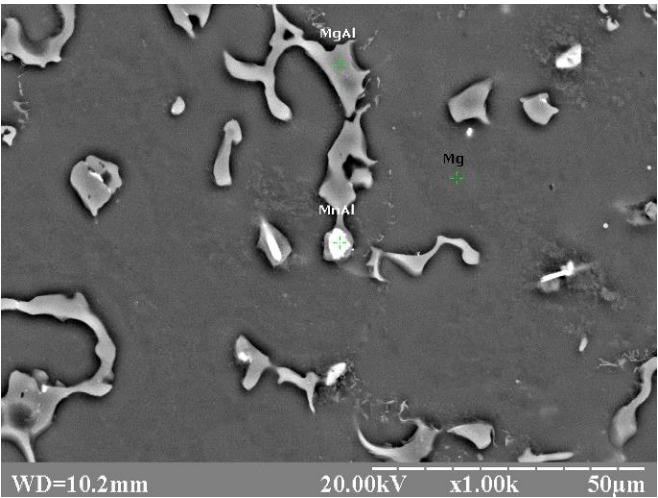
Рисунок 3.7 – Інтерметалідна фаза в магнієвому сплаві МЛ5 ($T_{\text{зал.}} = 700^{\circ}\text{C}$)

1 – 700°C; 2 – 900°C; 3 – 950°C

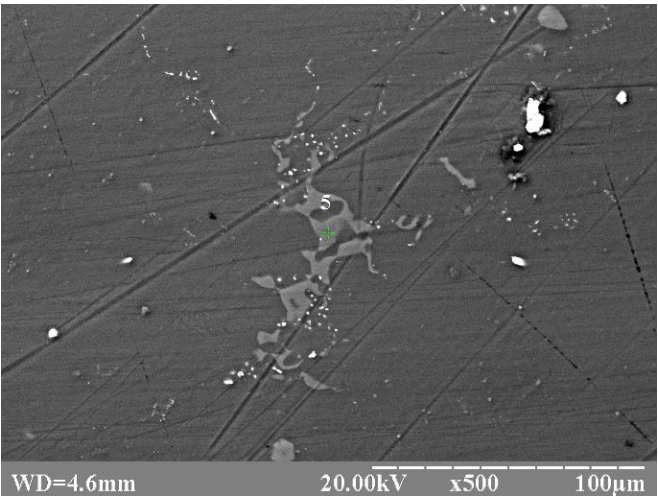
Рисунок 3.8 – Вплив температури ВТОР сплаву МЛ5 на об'ємну частку інтерметалідних включень

Інтерметалідна фаза магнієвого сплаву МЛ5 залитого при 700°C, визначена мікрорентгеноспектральним аналізом, складалася з магнію та алюмінію (рисунок 3.9, а), а після високотемпературної обробки розплаву при 900°C в інтерметалідах були виявлені кисень та підвищений вміст

вуглецю (рисунок 3.9, б), що свідчить про участь вуглецю в утворення інтерметалідів.



а



б

Температура розплаву, °C	МРСА інтерметалідної фази, мас. %			
	Mg	Al	C	O
700	55,22	43,95	0,83	--
900	53,02	42,20	4,67	0,12

а – 700°C; б – 900°C

Рисунок 3.9 – Результати МРСА інтерметалідів в магнієвому сплаві МЛ15 при різних температурах

3.1.4 Вплив ВТОР на механічні властивості сплаву МЛ5

Зі збільшенням температури розплаву механічні властивості зразків підвищувалися (рисунок 3.10). При цьому межа міцності зразків, залитих при температурі 900°C підвищувався на ~ 30%, а відносне подовження в ~ 2 рази в порівнянні з вихідним сплавом за рахунок отримання рівномірної дрібнодисперсного структури.

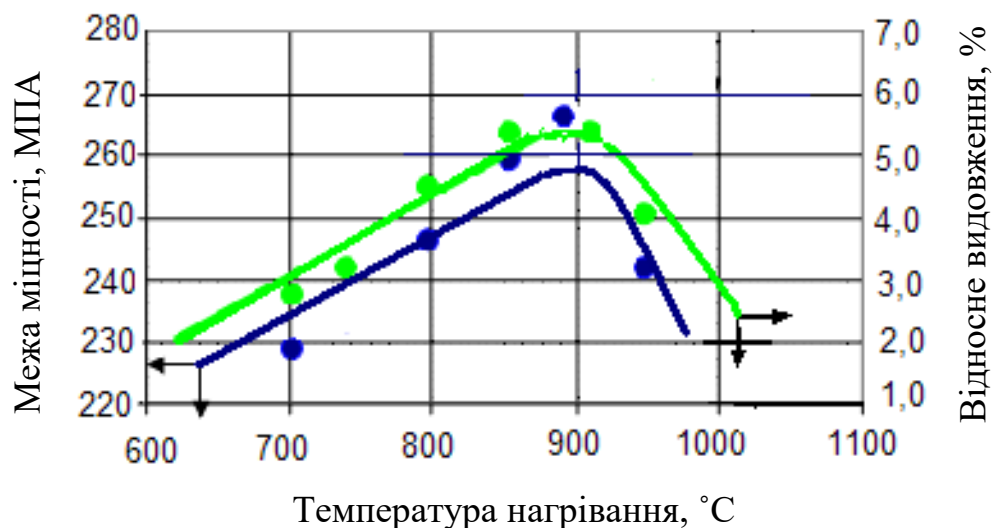


Рисунок 3.10 – Вплив температури розплаву на механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5

Таким чином, висока якість та механічні властивості литих магнієвих сплавів безпосередньо пов'язані з макро- і мікроструктурою, на яку істотно впливає отримання однорідного розплаву після його оптимальної високотемпературної обробки.

3.2 Висновки

Вивчено вплив однорідності магнієвого розплаву на структуроутворення лиття із магнієвого сплаву МЛ5. Показано, що перегрівання магнієвого розплаву при ВТОР до 900°C забезпечує отримання однорідної дрібнодисперсної структури металу, при цьому відбувається подрібнення його макро- і мікрозерна на 30...40%.

Отримано закономірності впливу однорідності розплаву на характеристики структурних складових та механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5. Встановлено, що оптимальна температура ВТОР (900°C) магнієвого сплаву МЛ5 забезпечувала підвищення межі міцності виливків на ~ 30%, а відносного подовження - в ~ 2 рази.

Також встановлено, що максимальне вимірювання макро- та мікроструктури металу забезпечує ВТОР розширення до 900°C, подальше підвищення температури перегрівання призводить до огрубіння структури.

З підвищенням температури ВТОР розплаву до 900°C, зменшується діаметр зерна, збільшується питома поверхня межі зерен, зменшується кількість включень, що забезпечує підвищення всього комплексу механічних власних елементів.

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Опис основної ідеї – модифікування ВТОР

Руйнування деталей авіа-, ракето-, автомобіле- та приладобудування деталей із магнієвого сплаву МЛ5 по технології потребує проведення науково-дослідних та ремонтних робіт в процесі експлуатації. Технологія модифікування дипломного проектування – високотемпературна обробка розплаву (ВТОР) магнієвого сплаву МЛ5. В результаті перегрівання отримуємо дрібнозернисту структуру, підвищену міцність, покращені властивості та поліпшення пластичних характеристик сплаву.

Покращення структури та механічних властивостей магнієвого сплаву МЛ5 дозволяє значно знизити можливість тріщиноутворень та інших дефектів, збільшити експлуатаційні показники відповідальних деталей. Таким чином це призведе до зменшення витрат на ремонтні роботи та забезпечить в подальшому економічну ефективність.

На таблиці 4.1 показаний опис основної ідеї – модифікування ВТОР.

Таблиця 4.1 – Опис основної ідеї – модифікування ВТОР

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Високотемпературна обробка розплаву (ВТОР) магнієвого сплаву МЛ5 – перегрівання	1. Авіа- та ракетобудування (колеса і вилки шасі, різні важелі, корпуси приладів, насосів, коробок передач, ліхтарі і двері кабін, деталі планера літака, ракет)	• підвищена міцність деталей, • покращення механічних властивостей сплаву, • збільшення експлуатаційних показників деталей, • попередження утворення дефектів, • зменшення витрат на ремонтні роботи, • економічна ефективність
	2. Автомобілебудування (колеса, картери, кришки, маслопомпи)	
	3. Приладобудування (корпуси і деталі приладів, біноклів, кіно- і фотоапаратів)	

4.2 Перспективи практичного втілення ідеї на ринку магнію

Магній – один із рідкісних металів. Але обсяги продажів магнію в світі змінюються тисячами тонн. Країн-постачальників на світовому ринку магнію також досить багато. Серед великих країн-постачальників виділяються Нідерланди, США, Ізраїль, Німеччина, Австрія, Канада, Великобританія, Словенія, Туреччина та інші країни. Одним з найбільш вагомих постачальників магнію на світовий ринок – є Китай [50].

Китай практикує збільшення продажів магнію не один рік, рисунок 4.1. Так в четвертому кварталі 2019 року обсяг продажів Китаєм на світовому ринку магнію збільшився на 2,9% [50].

За даними групи аналітиків MetalResearch у першому кварталі 2020 року Китай збільшив виручку від продажів магнію та продукції на світовому ринку магнію на 5,6% до 295 млн. дол. В натуральному вираженні обсяг продажу магнію збільшився на 9,5% до 456 тис.тонн. [50].

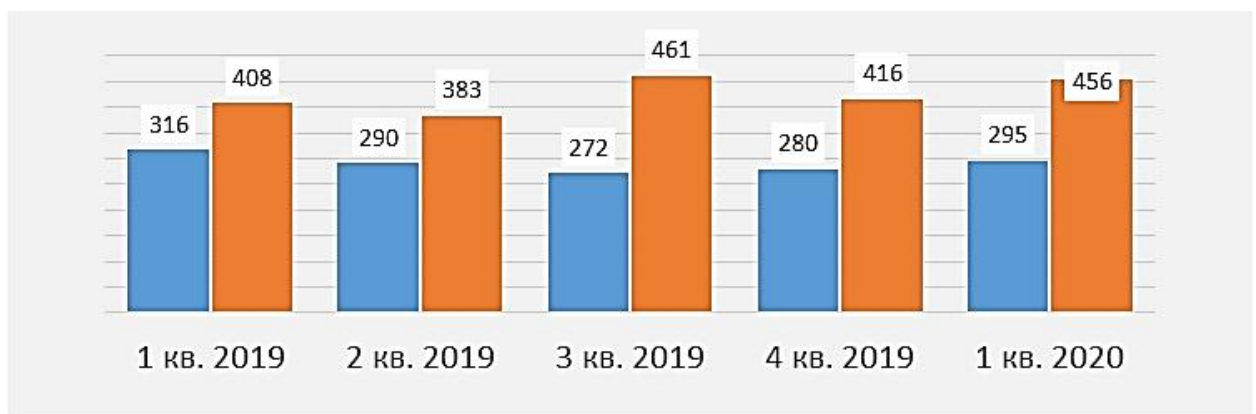


Рисунок 4.1 – Динаміка продажів Китаю на ринку магнію в натуральному і грошовому вираженні

Серед компаній покупців магнію на світовому ринку виділяються наступні країни: Нідерланди, США, Канада, Німеччина, Японія, Індія, Мексика, Румунія, Республіка Корея і безліч інш.

Канада – один з великих покупців. У першому кварталі 2020 року країна знизилася обсяги імпорту на 22,7% до 44 млн. дол. і в натуральному вираженні – на 21,8% до 16 тис. тонн. Варто відзначити, що кварталом раніше ситуація на ринку магнію була дещо іншою, рисунок 4.2. Обсяг поставок магнію в Канаду збільшився на 14,1% в грошовому вираженні і на 26,9% в натуральному вираженні [50].

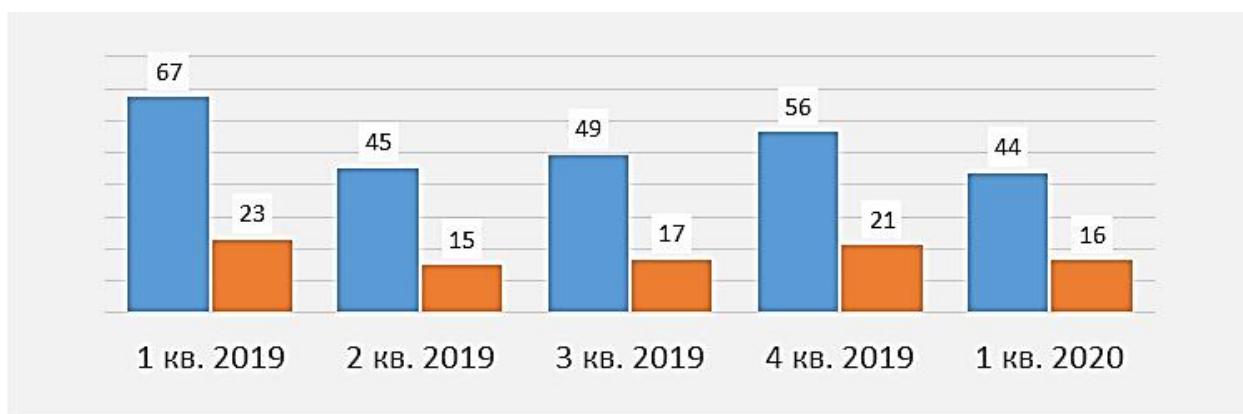


Рисунок 4.2 – Динаміка імпорту Канади на ринку магнію в натуральному і грошовому вираженні

Аналізуючи ціни на ринку магнію в першому кварталі 2020 року залишилися на тому ж рівні, що і були в 4 кварталі 2019 року. Китай знизив ціни всього на 1,2% до 2,4 дол/кг, в той час як Канада знизилася ціну магнію всього на 1,1% до 2,7%. При цьому в 4 кварталі 2019 року ціни на магній по обом країнам також знизилися. На 5,1% знизив ціни Китай і на 10,1% знизилася ціни Канада, рисунок 4.3 [50].

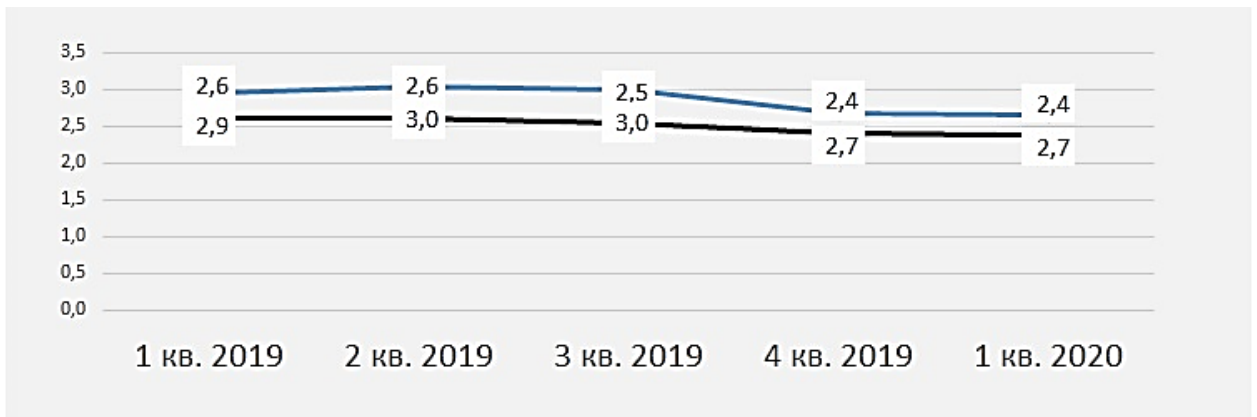


Рисунок 4.3 – Динаміка цін Канади і Китаю на ринку магнію

Тому реалізація основної ідеї – модифікування ВТОР є перспективним напрямком розвитку ринку магнію.

4.3 Склад науково-дослідної команди

Визначимо склад команди за категоріями працівників залежно від виду робіт. Для проведення досліджень потрібна та науково-дослідна команда, яка складається головного (науковий керівник) та молодшого (магістрант) наукові співробітники, лаборант та верстатник.

4.4 Тривалість виконання робіт

Визначимо тривалість виконання робіт членами команди відповідно до тривалості віх (етапів) життєвого циклу проєкту.

В умовах дипломного проєктування досліджена віха життєвого циклу проєкту – науково-дослідні роботи t_1 , рисунок 4.4. Її тривалість становить:

$$T = 60 \text{ днів.}$$

В таблиці 4.2 визначена зайнятість членів науково-дослідної команди.

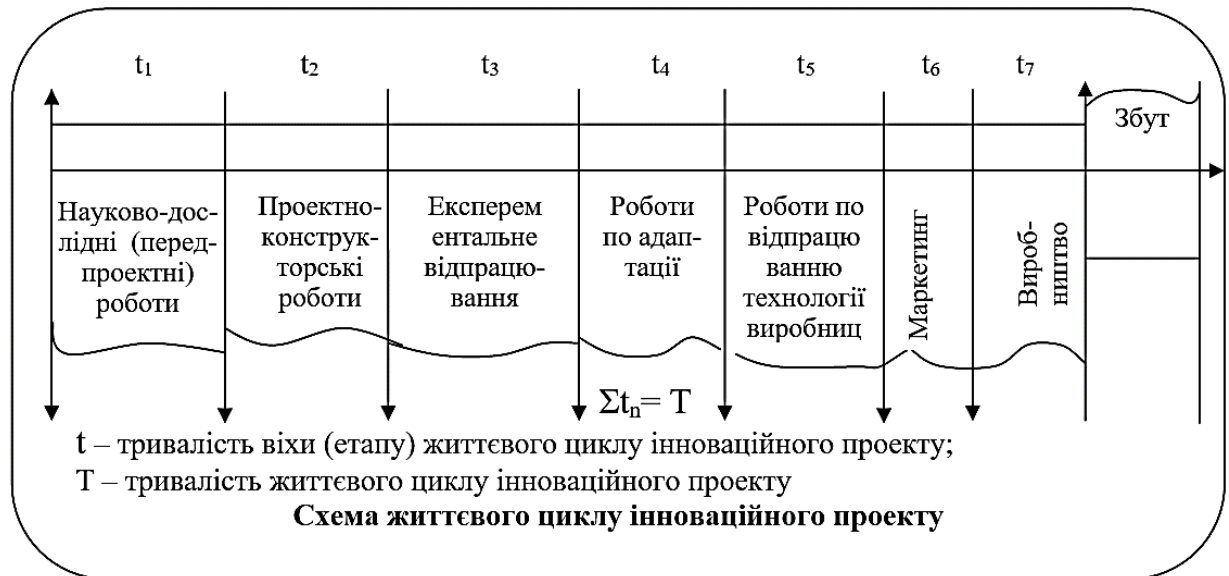


Рисунок 4.4 – Схема життєвого циклу інноваційного проекту

Таблиця 4.2 – Зайнятість членів науково-дослідної команди

Член команди	Кільк. осіб	Зайнятість НДР, днів
Головний науковий співробітник	1	10
Молодший науковий співробітник	1	28
Лаборант	4	17
Верстатник	1	5

Для реалізації науково-дослідних робіт обов'язковим є – визначення витрат на всі задіяні ресурси для дослідження:

- витрати на оплату праці (основна та додаткова заробітна плата);
- відрахування на соціальні заходи;
- накладні витрати;
- матеріальні витрати та витрати по споживанню послуг;

- витрати по амортизації.

4.5 Витрати на оплату праці

Визначимо витрати на оплату праці: посадові оклади або тарифні ставки, які відповідають розряду роботи певної категорії працівників.

Результати розрахунків зведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати членів науково-дослідної команди за умови їх зайнятості

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад., грн	Середньо денна зарплата, грн.	Зайнятість, днів	Сума, грн	ЄСВ, грн
Головний науковий співробітник	1	10000	500	10	5000	1100
Молодший науковий співробітник	1	7000	350	28	9800	2156
Лаборант	2	5500	275	17	9350	2057
Верстатник	1	5200	260	5	1300	286
Разом					25450	5599
Разом з урахуванням додаткової заробітної плати					27995	6158,9

Кількість місяців роботи науково-дослідної групи задається на підставі терміну виконання дипломного проектування – 60 днів.

Додаткова заробітна плата складає 10% від основної заробітної плати:

$$25450 \times 10\% = 2545 \text{ грн.}$$

4.6 Відрахування на соціальні заходи

Визначимо відрахування на соціальні заходи. Згідно Податкового кодексу України єдиний соціальний внесок (далі – ЄСВ) сплачується роботодавцями у розмірі 22% від витрат на оплату праці. Згідно даних таблиці 4.4 відрахування на ЄСВ у розмірі 22% від основної та додаткової заробітної плати:

$$\text{ЄСВ} = (25450 + 2545) \times 0,22 = 6158,9 \text{ грн.}$$

4.7 Накладні витрати

Накладні витрати для науково-дослідних робіт складають 40% від суми основної заробітної плати:

$$27995 \times 40\% = 11198 \text{ грн.}$$

4.8 Матеріальні витрати та витрати по споживанню послуг

Визначимо матеріальні витрати та витрати по споживанню послуг (таблиця 4.4–4.6).

Транспортно-заготівельні витрати становлять 10% від загальної вартості матеріалів:

$$15950 \times 10\% = 1595 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Обсяг сировини, кг	Ціна, грн./кг	Сума грн
Магнієвий сплав МЛ5, ГОСТ 2856-79	100	147,1	14710
Флюс	60	3	180
Дисперсний графітовий порошок	0,5	1100	550
Форми піщано-глинисті	-	140	140
Реактиви	-	370	370
Разом			15950

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат сума загальної вартості матеріалів складає:

$$15950 + 1595 = 17545 \text{ грн.}$$

Вартість спеціального обладнання (таблиця 4.5) для науково-дослідних робіт визначають на підставі їх кількості та вартості по прейскурантах і транспортно-заготівельних витрат (до 20 % їхньої вартості).

Таблиця 4.5 – Витрати на спеціальне обладнання для виконання науково-дослідних робіт з ВТОР

Обладнання	Марка, модель	Кількість	Вартість, грн.
Піч термічна	“Бельв’ю”	1	160000
Іспитова машина	“INSTRON” 2801	1	35000
Мікротвердомір	«Buehler» MM7T	1	18500
Розривна машина	P 10	1	12000

Визначимо вартість спожитих послуг (енергоресурсів), які використовувались під час досліджень.

Витрати на енергію E_c визначимо за формулою:

$$E_c = P_y \times \Phi_{\text{еф}} \times K_v \times T \times \text{ККД},$$

де P_y – встановлена потужність енергетичних струмоприймачів обладнання, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, год.;

K_v – коефіцієнт використання енергетичних установок за потужністю та часом. Приймаємо $K_v = 0,8$;

T – ціна 1 кВт год електроенергії, $T = 1,68$ грн / кВт год.; $\text{ККД} = 0,6$.

Для обслуговування термічної печі “Бельв’ю” енергія E_c становить:

$$E_c = 112 \times 28 \times 0,8 \times 1,68 \times 0,6 = 2679,4 \text{ грн.}$$

Для обслуговування іспитової машини “INSTRON” 2801 та розривної машини Р 10 енергія E_c буде однаковою:

$$E_c = 10 \times 24 \times 0,8 \times 1,68 \times 0,6 = 193,6 \text{ грн.}$$

Для обслуговування мікротвердоміру «Buehler» MM7T енергія E_c становить (при $K_v = 0,7$, $ККД = 0,7$):

$$E_c = 1 \times 12 \times 0,7 \times 1,68 \times 0,7 = 9,9 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків витрат на обслуговування обладнання відносно використання електроенергії подано у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Розрахунок вартості спожитих послуг (енергоресурсів)

Обладнання	Марка, модель	Ефект. фонд часу роб., год	Тариф, грн.	Вартість електроенергії, грн
Піч термічна	“Бельв’ю”	28	1,68	2679,4
Іспитова машина	“INSTRON” 2801	24	1,68	193,6
Розривна машина	Р 10	24	1,68	193,6
Мікротвердомір	«Buehler» MM7T	12	1,68	9,9
Разом				3076,6

4.9 Витрати по амортизації

Визначимо витрати по амортизації. Оскільки термін корисного використання термічної печі “Бельв’ю” та іспитової машини “INSTRON” 2801 10 років, норма амортизації становитиме 10 % для кожної.

Тому витрати по амортизації для термічної печі “Бельв’ю” становлять:

$$A = ((160000 \times 10\%) \times 60) / 365 = 2630,1 \text{ грн.}$$

Для іспитової машини “INSTRON” 2801:

$$A = ((35000 \times 10\%) \times 60) / 365 = 575,3 \text{ грн.}$$

Розривна машина Р 10 та мікротвердомір «Buehler» MM7T мають вартість менше 20000 грн. А, отже, вони відносяться до малоцінних необоротних матеріальних активів

Згідно змін внесених до Податкового Кодексу України на малоцінні необоротні матеріальні активи, придбані після 23.05.2020 р. амортизація нараховується за методикою 50/50 або 100% при введенні в експлуатацію.

Вважаємо доцільним для нарахування витрат по амортизації по розривній машині Р 10 та мікротвердоміру «Buehler» MM7T нараховувати за методикою 50/50.

Звідси амортизацію для розривної машини Р 10:

$$A = 12000 \times 50\% = 6000 \text{ грн.}$$

Для мікротвердоміру «Buehler» MM7T:

$$A = 18500 \times 50\% = 9250 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна сума витрат по амортизації по спеціальному обладнанню складе:

$$A_{\text{заг}} = 2630,1 + 575,3 + 6000 + 9250 = 18455,4 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків витрат по амортизації подано у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок витрат по амортизації

Обладнання	Балансова вартість, грн	Норма амортизації %	Амортизація грн
Піч термічна “Бельв’ю”	160000	10	2630,1
Іспитова машина “INSTRON” 2801	35000	10	575,3
Розривна машина Р 10	12000	50	6000
Мікротвердомір «Buehler» MM7T	18500	50	9250
Разом			18455,4

4.10 Кошторис витрат

Складемо кошторис витрат для проведення науково-дослідних робіт ВТОР магнієвого сплаву. Дані кошторису подані в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Кошторис витрат для проведення науково-дослідних робіт ВТОР

Витрати	Сума, грн
Оплата праці (основна та додаткова заробітна плата)	27995
Відрахування на соціальні заходи	6158,9
Накладні витрати	11198
Матеріальні витрати (з урахуванням транспортно-заготівельних витрат)	17545
Витрати на електроенергію	3076,6
Амортизація	18455,4
Разом	84428,9

4.11 Економічна ефективність науково-дослідної роботи

Науково-дослідні роботи не можуть коректно розрахувати економічну ефективність. Тому скористаємось шкалою для оцінювання економічної ефективності та кількісними коефіцієнтами, таблиця 4.9.

Загальна економічна ефективність від розробки дорівнює:

$$E = E_{\pi} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 = 2500 \times 42 = 105000 \text{ грн.}$$

де E_{π} – питомий ефект на кожний бал, $E_{\pi} = 2\,500$ грн.

Визначимо коефіцієнт економічної ефективності для проведення науково-дослідних робіт за формулою:

$$K_E = E / K_{\text{НДР}} = 105000 / 84428,9 = 1,24.$$

де $K_{\text{НДР}}$ – собівартість науково-дослідної роботи.

Визначимо термін окупності проєкту за формулою:

$$T_{\text{ок}} = 1 / K_E = 1 / 1,24 = 0,81.$$

Таблиця 4.9 – Шкала для оцінки ефективності науково-дослідних робіт

Коефіцієнт	Показник	Характеристика	Бал
K1	Важливість розробки	Робота ініціативна і не є завданням відомчих органів	1
K2	Можливість використання результатів розробки	У масштабах країни	7
K3	Теоретична значимість та рівень новизни дослідження	Одержання нової інформації, що доповнює знання про сутність досліджуваних процесів, не відомої в досліджуваній області	3
K4	Складність розробки	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000-50000 грн	2

Аналіз розрахунків доводить економічну доцільність дослідження модифікування перегріванням – ВТОР магнієвого сплаву МЛ5. Витрачені кошти на науково-дослідні роботи зможуть зменшити витрати на ремонтні роботи та забезпечити в подальшому економічну ефективність, конкурентноспроможність модифікованого сплаву порівняно зі стандартним і дорожчими аналогами.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні впливу високотемпературної обробки розплаву магнієвого сплаву МЛ5 (ВТОР) – перегрівання на структуроутворення та механічні властивості жароміцного магнієвого сплаву.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки, які пов'язані з виплавленням досліджуваного магнієвого сплаву. Зокрема, можливість ураження електричним струмом, можливість термічних опіків при розбризкуванні рідкого металу в процесі плавлення, можливість отруєння ливарними газами;

б) небезпеки, які пов'язані з виготовленням дослідних зразків для вивчення структури та властивостей. Зокрема, травмування органів зору в процесі різання зразків, нещасні випадки під час руйнування абразивного кола;

в) небезпеки, які пов'язані з дослідженням мікроструктури, зокрема, хімічні опіки внаслідок необережного поводження з реактивами для виготовлення мікрошліфів для світлової мікроскопії та негативний вплив електромагнітного випромінювання при дослідженні зразків на растровому електронному мікроскопі, що може бути пов'язано з незнанням або порушенням правил безпеки, які зазначені в технічній документації на це обладнання або його несправність;

г) небезпеки, які пов'язані з визначенням значень механічних властивостей. Зокрема можливість отримання механічних травм при випробуванні зразків на "INSTRUN" 2801;

д) небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів, зокрема негативний вплив електромагнітних полів та випромінювання персонального комп'ютера ПК застарілих моделей;

е) незадовільні параметри повітряного середовища в адміністративних приміщеннях. Причина – незадовільна робота систем опалення та повітрообміну;

є) недостатність освітленості приміщень, де розташоване місце дослідника, що може бути пов'язано з нераціональним вибором освітлювальних виробів;

ж) можливість загорянь, внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може призвести до пожежі;

з) небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Для забезпечення захисту від випадкового торкання до струмопровідних частин необхідно прийняти наступні заходи і засоби: захисне огороження; ізоляція струмопровідних частин; захисне відключення; блокування; знаки безпеки.

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при торканні до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, застосовують захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалу системи захисних дротів, захисне відключення, ізоляцію неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою вище 24 В, засоби індивідуального захисту, наприклад гумові коврики та інше. Всі металеві частини виробничого обладнання, якщо вони можуть опинитися під напругою вище 42 В, мають бути заземлені згідно з

ПУЕ-2017 [53]. Для цього їх оснащують легкооглядним пристроєм заземлення опором $R < 4 \text{ Ом}$ або з'єднують з нульовим дротом.

Для уникнення термічних опіків, внаслідок торкання нагрітих зразків і забезпечення нормальних умов праці дослідника використовують спеціальний одяг для захисту від підвищених температур типу БТ, ГОСТ 12.4.045-78, спеціальним шкіряним взуттям для захисту від підвищених температур, ГОСТ 12.4032-77, спеціальними рукавицями типу Тр, ГОСТ 12.4.087-84 [54-56].

б) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці.

Для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах:

- встановлення абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими налагоджувальниками;
- використання абразивних кіл з дефектами заборонено;
- абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування;
- біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи кільцевої швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину;
- при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і

кріпильні деталі захистити захисними кожухами;

- підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального кола повинен бути не більше 3 мм;
- заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу за ГОСТ 12.3.028-82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом» [57].

Потрібно правильно організувати робоче місце для усунення загрози захворювань опорно-рухового апарату через неергономічність робочого місця, враховуючи ергономічні потреби дослідника згідно з ГОСТ 12.2.032-78 “Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги”, а робочі місця “стоячи” мають відповідати ГОСТ 12.2.033-78 “Робоче місце при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги” [58-59].

Необхідно враховувати при плануванні робочого місця зручність розташування потрібних для роботи пристроїв, а також зони досяжності рук дослідника, що дає можливість раціонально розташувати необхідні пристрої. Згідно з зростом та вагою дослідника визначається висота стола, за яким він працює. Робочий стілець також має бути максимально зручним для роботи. Він забезпечується підйимально-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки; його конструкція передбачає також зміну кута нахилу спинки. Робочий стілець забезпечується підлокітниками. Регулювання кожного параметра повинне легко здійснюватися, бути незалежною і мати надійну фіксацію. При плануванні робочого місця враховуються зручність розташування клавіатури, дисплея і інших, необхідних для роботи пристроїв, а також зони досяжності рук дослідника. Ці зони, встановлені на підставі антропометричних даних.

Для запобігання негативного впливу електромагнітних випромінювань необхідно екранувати джерела електромагнітного випромінювання, за необхідністю використовувати додаткові захисні екрани у якості

конструктивного вдосконалення обладнання.

в) Для уникнення небезпеки отримання хімічних опіків при дослідженні мікроструктури термообробленого сплаву передбачено:

- зберігання кислот у місцях, де можливе їх стикання з деревиною, та іншими речовинами органічного походження (для нейтралізації випадково розлитих кислот місця їх зберігання необхідно забезпечувати готовими розчинами крейди, вапна або соди);

- під час роботи використовувати гумові рукавиці згідно ГОСТ 20010-93 «Перчатки резиновые технические. Технические условия», окуляри за ГОСТ Р 12.4.013-97 «Очки защитные», респіратор за ГОСТ 12.4.028-76 ССБТ Респиратор ШБ-1 «Лепесток». Технические условия (с изменениями № 1, 2) спеціальний одяг за ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих» [60-63];

- мати поблизу нейтралізуючі речовини, аптечку, джерело проточної води.

г) Для того, щоб максимально безпечно працювати з машиною «INSTRUN » 2801 необхідно дотримуватися наступних правил з техніки безпеки:

- у разі виникнення небезпечної ситуації натиснути кнопку екстреної зупинки, це прискорить зупинку небезпечних елементів;

- встановлювати зразок у центрі захвату і вирівнювати його за напрямком навантаження, використовуючи прилади для центрування та вирівнювання;

- не розташовувати електричні кабелі на підлозі без відповідного захисту, не допускати їх перегрівання;

- при підвищенні робочої температури більше 60°C використовувати захисний одяг, рукавиці. Використовувати попереджувальні знаки

- не заходити в небезпечну зону на шляху молота під час руху

компонентів системи;

- перед початком роботи встановити відповідні робочі межі (навантаження або деформації);
- не відключати систему від комп'ютерного управління, не переконавшись, що не один компонент системи не почне рухатися під час переходу на ручне управління;
- перед зняттям захисних екранів з деталей, що обертаються- відключити обладнання від електроживлення;
- використовувати захисні окуляри чи екрани, для уникнення травмування у разі руйнування зразка, обладнання або вузла, що може супроводжуватися вибухом.

д) Для зниження психофізичного навантаження, внаслідок роботи на персональному комп'ютері ПК слід дотримуватися вимог до режиму праці та відпочинку при роботі на комп'ютері. Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкцій, розроблених на підставі за ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактору для інших працюючих і поломку комп'ютера [64].

При роботі на комп'ютері шкідливими і небезпечними чинниками є:

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність потужних іонізуючих випромінювань;
- локальне стомлення, загальна втома;
- стомлюваність очей;
- небезпека ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека.

Режим праці та відпочинку при роботі на комп'ютері повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності. Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

- група А – робота з зчитування інформації з екрана комп'ютера з попереднім запитом;
- група Б – робота з введенням інформації;
- група В – творча робота в режимі діалогу.

За основну роботу на комп'ютері слід приймати таку, яка займає менше 50% часу протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості та напруженості роботи на комп'ютері:

- для групи А – по сумарному числу зчитуваних знаків за час роботи на комп'ютері, але не більше 60000 знаків;
- для групи Б – по сумарному числу зчитуваних знаків за час роботи на комп'ютері, але не більше 40000 знаків;
- для групи В – по сумарному числу безпосередньої роботи на комп'ютері, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером.

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи на комп'ютері повинні встановлюватися регламентовані перерви [64]. Перед початком роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблікове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрану, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною, віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташовувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинно бути не менше 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки

комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є – 19-21°C, допустимими 18-22°C, відносна вологість 62-55 %.

У кабінеті слід здійснювати наскрізне провітрювання для поліпшення якісного складу повітря, щодня проводити вологе прибирання.

Для підвищення вологості повітря слід використовувати зволожувачі. У приміщенні повинно бути штучне і природне освітлення. Основний потік природного світла повинен бути ліворуч, не допускається праворуч, ззаду і спереду. На вікнах повинні бути завіси в два рази більше ширини вікна. Забороняється застосовувати для вікон чорні завіси.

Кабінет, де знаходиться комп'ютер відноситься до пожежонебезпечного приміщення категорії “Б”, тому необхідно мати вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5 і вміти ним користуватися. Звернути увагу на заземлення, тому що в комп'ютері використовуються мікросхеми, чутливі до статичної електрики. Звернути особливу увагу на цілісність ізоляції всіх кабелів та роз'ємів, щоб не виявитися несподівано під напругою щодо землі. Забороняється самостійно відкривати комп'ютера, з причини високої напруги всередині. Виключається робота на комп'ютері та його периферійними пристроями з відкритим корпусом, самостійно перемикає силові та інтерфейсні кабелі, проливати рідини і т. д. Робоче місце передбачено обладнати спеціальними меблями: обертовим стільцем із змінною висотою сидіння і кута нахилу спинки. При роботі на комп'ютері робітник повинен бути уважним, не відволікатися на побутові справи.

Під час роботи комп'ютера забороняється:

- залишати комп'ютер без нагляду;
- проводити ремонт;
- знімати корпус з комп'ютера.

Тривалість безперервної роботи на комп'ютері без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку

втомі доцільно виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБА. Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення.

У залежності від призначення та області застосування відеотермінали можуть бути поділені на наступні групи:

- група А – кольорові монітори тільки для демонстраційних цілей;
- група Б – кольорові монітори для персональної роботи;
- група В – монохромні монітори.

Категорично забороняється використання на робочому місці електронагрівальних приладів з відкритим елементом, відкритим вогнем. Користування електронагрівальними приладами з закритими нагрівальними елементами дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях. Недотримання вимог до мікроклімату приміщення може не тільки різко знижувати продуктивність праці, викликати втрати робочого часу через збільшеного числа помилок у роботі, але і приводити до функціональних розладів або хронічних захворювань органів дихання, нервової системи, імунної системи.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

е) Оптимальними параметрами для даної лабораторії за ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» є наступні:

- в холодний і перехідний період: температура 18...20°C, відносна вологість 60...40 %, швидкість руху повітря 0,2 м/с;
- в теплий період: температура 21...23°C, відносна вологість 60...40%, швидкість руху повітря 0,3 м/с, [65].

Відповідність цих параметрів мікроклімату досягається застосуванням припливно-витяжної вентиляції з зосередженою подачею підігрітого повітря (калорифер). Найбільш ефективним засобом мінімізації вступу у повітря робочої зони шкідливих речовин (пилу) є механічна вентиляція місцевого типу – витяжних вентиляцій, які встановлюються на робочих місцях, де генеруються шкідливі речовини. Для цього потрібно обладнати робочу зону витяжною вентиляцією за ГОСТ 12.4.021- 75 «Системы вентиляции. Общие требования» [66].

Згідно з [65] здійснюють підтримку чистоти дослідницьких приміщень. Для забезпечення належних умов у приміщенні лабораторії доцільно використовувати вологе прибирання два рази за робочу зміну.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в виробничих приміщеннях передбачається використовувати технічні засоби по забезпеченню нормованих параметрів. До них відноситься водяне або парове опалення, природна або штучна вентиляція. В холодний період року штучну вентиляцію, проточну витяжку поєднують з функцією підігрівання зовнішнього повітря за допомогою калорифера. У адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери [65].

5.3.1 Розрахунок надходження тепла у приміщення, та визначення кондиціонера

Визначаємо надходження тепла в приміщення о 18 годині. Орієнтування будівлі на ПівдЗ. Площа приміщення складає 35 м², висота 4 м. Розміри вікна 2х1,2 м², площа тіні 0,33 м², подвійне скління. Вікна без сонцезахисних пристроїв. Атмосфера району – незабруднена. Кількість робочих місць 6: 4 жінки та 2 чоловіки. Освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп, загальна потужність яких в приміщенні

складає 1,75 кВт. Температура в приміщенні складає 38°C.

Визначимо значення прямої $q_{в.п.}$ та розсіяної $q_{в.р.}$ сонячної радіації о 18 годині за таблицею 5.1:

$$q_{в.п.} = 344 \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2);$$

$$q_{в.р.} = 95 \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2).$$

Загальна кількість тепла, що надходить до приміщення через віконний проріз для розрахункової години розраховують за формулою:

$$Q_{с.пр.} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{відн}, \text{ ккал/год},$$

де q_0 та q_1 – кількість тепла, яка надходить до приміщення через світлові прорізи, які опромінюються та не опромінюються прямою сонячною радіацією;

F_n та F_p – площа заповнення світлового прорізу, яка опромінюється прямою та розсіяною сонячною радіацією відповідно, м^2 ;

$K_{відн}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячною радіації через заповнення світлового прорізу:

$$K_{відн} = 0,9 \dots 1,0 \text{ – при одинарному склінні};$$

$$K_{відн} = 0,8 \dots 0,9 \text{ – при подвійному склінні}.$$

Кількість тепла, яка надходить до приміщення через світлові прорізи, які опромінюються прямою сонячною радіацією:

$$q_0 = (q_{в.п.} + q_{в.р.}) K_1 K_2, \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2).$$

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

$$F_{пр} = F_{о.с.} - F_{р.}, \text{ м}^2.$$

Таблиця 5.1 – Максимальні значення кількості тепла прямої $q_{в.п.}$ та розсіяної $q_{в.р.}$ сонячної радіації

Показник	Кількість теплоти при заповненні світлових прорізів в залежності від часу доби та орієнтування світлових прорізів, ккал/(год·м ²)						
	До полудня						
	Півн	ПівнСх	Сх	ПівдСх	Півд	ПівдЗх	Зх
	Після полудня						
	Півн	ПівнЗх	Зх	ПівдСх	Півд	ПівдСх	Сх
$q_{в.п.}$	80	426	423	344	257	96	-
$q_{в.р.}$	64	93	112	95	75	66	56

Виділення тепла від штучного освітлення розраховують за формулою:

$$Q_{осв} = 860 \cdot n \cdot N_{осв}, \text{ ккал/год.}$$

де n – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову; для люмінесцентних ламп $n = 0,5$;

$N_{осв}$ – сумарна потужність джерел освітлення, кВт.

При розрахунках слід пам'ятати правила переведення енергетичних одиниць:

$$1 \text{ кВт} = 860 \text{ ккал/год};$$

$$1 \text{ ккал/год} = 1,163 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ Вт} = \text{Дж/с.}$$

Таблиця 5.2 – Коефіцієнт K_1 , який враховує затінення скління світлових прорізів перепльотами та забруднення атмосфери

Скління	Значення коефіцієнту для світлових прорізів K_1 та атмосфери	
	Незабрудненої (незалежно від опромінення)	Забруднений в промислових районах, які опромінюються сонцем в розрахункову годину
Одинарне без перепльотів	1	0,75
Подвійне без перепльотів	0,9	0,68

Таблиця 5.3 – Коефіцієнт K_2 , який враховує забруднення скла

Забруднення скла	Значення коефіцієнту
Значне	0,85
Помірне	0,9
Незначне	0,95
Чисте скло	1

Таблиця 5.4 – Кількість тепла, яка виділяється дорослими людьми

Кількість теплоти, ккал/год, яка виділяється однією людиною при температурі повітря в приміщенні, °C				
10	15	20	25	30
130	105	85	55	35

Розраховуємо кількість виділеної тепла людьми, якщо в приміщенні знаходяться 2 чоловіки та 4 жінки при температурі в приміщенні 38°C відповідно до таблиці 5.4:

$$Q_{\text{л}} = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 4 \cdot 0,85 = 27 \text{ ккал/год.}$$

Загальна кількість тепла в розрахункову годину в липні, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою тепла джерел теплом надходження за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{спр}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}}, \text{ ккал/год};$$

$$Q_{\text{заг}} = 642,4 + 752,5 + 27 = 1421 \text{ ккал/год.}$$

Для приміщення площею 35 м² найбільш доцільним є використання кондиціонера типу COOPER&HUNTER СН-Б12БНА, холодопродуктивність якого складає 3100 ккал/год. Знайдемо час, який необхідний для охолодження приміщення за допомогою цього кондиціонера за формулою:

$$T = C \cdot \rho \cdot V \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \cdot 1,163 \cdot Q_{\text{конд}}, \text{ год.}$$

де C – масова теплоємність припливного повітря, $C = 1000 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$;

ρ – густина припливного повітря, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$;

V – об'єм приміщення, м³;

$t_{\text{вид}}$ – температура повітря в приміщенні, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{норм}}$ – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування, приймаємо $t_{\text{норм}} = 22^\circ\text{C}$.

$$T = 1000 \cdot 1,2 \cdot 140 \cdot (27 - 22) / 3600 \cdot 1,163 \cdot 3100 = 0,065 \text{ год.}$$

є) При контролі виробничого освітлення слід керуватися вимогами ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням характеру і точності зорової роботи [67].

При дослідженні зразків на розтяг розмір об'єкта більше 10 мм, тому розряд зорової роботи призначається як VII. Для цього використовуються люмінісцентні лампи ЛБ, що встановлюються у світильник типу РСП.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносять: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна, ящика з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу.

За вибухопожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяють на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д. Встановлення категорії приміщення виконується шляхом послідовної перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (А) до найнижчої (Д) з урахуванням характеру технологічних процесів і пожежонебезпечних властивостей речовин, що в них застосовується, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків.

Приймаємо категорію Д, так як ця категорія більш підходить по характеристиці речовин і матеріалів, що зберігаються в приміщенні, а саме знаходяться незайmistі речовини і матеріали в холодному стані, а також кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях.

Визначення класу пожежі. Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБНВ.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [68] поділяються на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль,

папір);

- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;
- клас С – пожежі газів;
- клас Б – пожежі металів та їх сплавів;
- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас Е (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок [69].

Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння. Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежонебезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок.

Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії. Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється згідно вогнегасної здатності вогнегасників, граничної площі, класу пожежі горючих речовин та матеріалів у захищувальному приміщенні, або на об'єкті (стандартно 3941-77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) зумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшених їх розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники.

Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати:

- 20 м – для громадських будівель та споруд;
- 30 м – для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини);
- 40 м – для приміщень категорій В, Г;
- 70 м – для приміщень категорії Д.

Своєчасне виявлення ознак займання і виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Найшвидшим та найнадійнішим засобом сповіщення про виникнення пожежі вважаються установки електричної пожежної сигналізації (ЕПС).

Залежно від схеми з'єднання розрізняють променеві (радіальні) та кільцеві установки ЕПС. В установках ЕПС можуть обладнуватися адресні та не адресні пожежні сповіщувачі. Не адресним вважається автоматичний сповіщувач, який реагує на фактори, що супроводжують пожежу в місці його встановлення, та формує сигнал про виникнення пожежі в захищувальному приміщенні без зазначення свого номера (адреси). Адресний сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищувальному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси).

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

з) Метою проведення рятувальних та інших невідкладних робіт (Р і ІНР) в осередках масового ураження є рятування людей та надання медичної допомоги потерпілим, локалізація аварій та усунення пошкоджень, котрі перешкоджають проведенню рятувальних та відновлювальних робіт.

Рятувальні роботи включають:

- розвідку маршрутів висування формувань і об'єктів робіт;

- локалізацію і гасіння пожеж на маршрутах висування і на ділянках робіт;
- пошук потерпілих і витягування їх із пошкоджених та палаючих будинків, загазованих, затоплених, задимлених приміщень, із завалів;
- розкриття зруйнованих, пошкоджених, завалених споруд та рятування людей, котрі там перебувають;
- подавання повітря в завалені споруди з пошкодженою фільтровально-вентиляційною системою;
- надання першої медичної допомоги потерпілим та евакуація їх до лікарських установ;
- виведення (вивезення) населення з небезпечних зон у безпечні райони;
- санітарну обробку людей, ветеринарну обробку сільськогосподарських тварин, дезактивацію та дегазацію техніки, засобів захисту, одягу, продовольства, їжі, води, фуражу.

Інші невідкладні роботи включають:

- прокладання колонних шляхів та влаштування проїздів (проходів) у завалах та в зонах ураження;
- локалізацію аварій на газових, електричних мережах з метою забезпечення умов для проведення рятувальних робіт;
- укріплення чи руйнування конструкцій будинків та споруд, котрі загрожують обвалом та перешкоджають безпечному руху і проведенню рятувальних робіт;
- ремонт та відновлення пошкоджених і зруйнованих ліній зв'язку та комунально-енергетичних мереж з метою забезпечення рятувальних робіт та інших невідкладних робіт, а також захисних споруд для укриття людей у випадку повторних НС;
- пошук, знешкодження та знищення боєприпасів, що не розірвалися та інших вибухонебезпечних предметів.

Р та ІНР проводяться безпосередньо в осередках ураження за будь якої

погоди до повного їх завершення.

Великий обсяг роботи в осередках ураження неможливо провести за короткий час без використання різноманітної техніки. Тільки широка механізація усіх видів робіт дає змогу своєчасно здійснити рятування потерпілих. Для проведення Р та ІНР можуть використовуватися всі типи будівельних та дорожніх машин, механізмів, техніки комунального господарства району, міста.

Залежно від виду виконуваних робіт вони поділяються на такі групи:

- машини і механізми для розкриття завалених сховищ та укриттів, розбирання та розчищення завалів, піднімання, переміщення і транспортування вантажів (екскаватори, трактори, бульдозери, крани, самоскиди з причепами, блоки, лебідки, домкрати);
- пневматичний інструмент (бурильні та відбійні молотки), які використовуються для формування отворів у кам'яних, цегляних і бетонних стінах, перекриттях завалених сховищ з метою подавання в них повітря або для виведення тих, хто переховується там;
- обладнання для різання металу (газорізи, бензорізи, автогени, електрозварювальні апарати);
- механізми для відкачування води (насоси, мотопомпи, поливальні машини та авторозливні станції);
- засоби, котрі забезпечують транспортування чи переправляння через водну перепону основних машин і обладнання (причіпи-важковози, тягачі- трейлери, баржі, пороми, понтони тощо);
- ремонтні та обслуговуючі засоби (ремонтні майстерні, станції обслуговування, бензоводозаправники, освітлювальні станції тощо).

Поряд з ефективним використанням машин і механізмів успішне проведення Р та ІНР досягається:

- своєчасною організацією та безперервним проведенням розвідки, швидким виведенням формувань в осередки ураження для виконання

завдань;

- знанням та дотриманням правил і заходів безпеки при проведенні робіт;
- завчасним вивченням командирами формувань особливостей ймовірних ділянок (об'єктів) робіт, характеру їх забудови, наявності комунально-енергетичних та технологічних мереж, місць зберігання СДОР, місць розташування та характеристик захисних споруд;
- чіткою організацією взаємодії сил і засобів, залучених до робіт та всебічним їх забезпеченням.

ВИСНОВКИ

Отримання дрібнозернистої структури магнієвого сплаву МЛ5 за допомогою перегрівання – високотемпературної обробки розплаву (ВТОР) є важливою умовою, що забезпечує високий комплекс механічних властивостей і підвищену працездатність матеріалу.

Отримано залежності, що описують вплив вмісту вуглецю і азоту в сплаві МЛ5 від ВТОР. Визначено, що ВТОР розповсюджується, знижує вміст вуглецю і азоту в магнієвому сплаві.

Також встановлено, що максимальне вимірювання макро- та мікроструктури металу забезпечує ВТОР розширення до 900°C, подальше підвищення температури перегрівання призводить до огрубіння структури.

З підвищенням температури ВТОР розплаву до 900°C, зменшується діаметр зерна, збільшується питома поверхня межі зерен, зменшується кількість включень, що забезпечує підвищення всього комплексу механічних власних елементів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Витинг Л. М. Высокотемпературные растворы-расплавы. М., 1991. 220 с.
2. Белащенко Д. К. Структура жидких и аморфных металлов. М., 1985. 192 с.
3. Ватолин Н. А. Расплавы. Т. 1, В. 1, 1987. – С. 5–17.
4. Филиппов Л. П. Свойства жидких металлов. М., 1988. – 113 с.
5. Нехендзи Ю. А. Стальное литье. М.: Металлургиздат, 1948. – 766 с.
6. Основи теорії твердого тіла (Фізика твердого тіла) : навч. посіб. / В. З. Куцова та ін. Дніпро : НМетАУ, 2018. 89 с.
7. Бочвар А. А., Жадаева О. С. Юбилейный сборник трудов Моск. Ин-та цветных металлов. Вып.9, Металлургиздат, 1976.
8. Титов Н. Д., Степанов Ю. А. Технологий литейного производства. М. : Машиностроение, 1974. 472 с.
9. Термовременная обработка алюминиевых сплавов. Ф. М. Котлярский и др. *Процессы литья*. Получение и обработка расплавов. № 3 (93), 2012. С. 42–52.
10. Влияние температурной обработки расплава на характеристики механических свойств металла. Б. А. Баум и др. *Свойства сплавов в отливках*. М. : Наука, 1975. С. 166–169.
11. Деев В. Б., Селянин И. Ф., Куц Е. А. Высокотемпературная обработка расплавов для повышения герметичности силуминов. *Прогрессивные литейные технологии: тез. докл.* М. : РЖ ТОЛП, 2002. С.72–73.
12. Улучшение прочностных свойств Al-Si сплава (Англ.). М. : РЖ ТОЛП, 2002. С.72–73.
13. Кондратюк С. Є., Стоянова О. М., Пляхтур О. О. Структурна спадковість сталей у зв'язку з нерівноважністю і структурною спадковістю

шихтових матеріалів. *Металознавство та обробка металів. Структура і фізико-механічні властивості*. № 1, 2012. С. 3–9.

14. Кондратюк С. Є., Стоянова О. М., Щерецький О. А., Пляхтур О. О. Структурутворення і температура переходу розплаву в рівноважний стан при переплавах сталі Р6М5Л. *Металознавство та обробка металів. Структура і фізико-механічні властивості*. № 2, 2012. С. 3–10.

15. Кондратюк С. Є. Структурутворення, спадковість і властивості литої сталі. Київ : Наук. думка, 2010. 175 с.

16. Баум Б. А., Тягунов Г. В., Барышев Е. Е. Фундаментальные исследования физико-химии металлургических расплавов. М. : ИКЦ Академкнига, 2002. С. 214–228.

17. Скребцов А. М. Температура полного распада кластеров металлического расплава. *Изв. вузов. Черн. Metallургия*. № 2, 2009. С. 28–32.

18. Лакенихт Ф., Шарф Г., Зебровски Д. Струйное компактирование – перспективный процесс производства сталей и сплавов повышенного качества. *Металлург*. № 10, 2010. С. 36–43.

19. Кузін О. А. Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів: підручник для студ. вищ. навч. Закладів. Національний ун -т "Львівська політехніка". Л. : Афіша, 2002. 304 с.

20. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України: Донецький національний університет, Донецьк : Вебер, 2008. 758 с.

21. Колачев Б. А., Елагин В. И., Ливанов В. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для ВУЗов (4-е издание, переработанное и дополненное). М. : МИСиС, 2005. 432 с.

22. Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М. : Metallургия, 1981. 414 с.

23. Альтман М. Б. и др. Магниевые сплавы: справочник: в 2 ч. Ч. 1: Metallovedenie magniya i ego spлавов. Obласти primeneniya / отв. ред. М. Б. Альтман. М. : Metallurgiya, 1978. 231 с.
24. Дорохина Л. Н., Таужнянская З. Н., Никерова Л. Ф. Легкие цветные металлы и сплавы: справочник. Т 2. М. : ЦНИИцветмет, 2000. 416 с.
25. Гуляев А. П. Metallovedenie. Uchebник dlya вузов 6-е изд. перераб. и дополненное. М. : Metallurgiya, 1989. 544 с.
26. Рейнор Г. В. Metallovedenie magniya i ego сплавов. М. : Metallurgiya, 1964. 486 с.
27. Трухов А. П., Маляров А. И. Литейные сплавы и плавка: учеб. для вузов. М. : Академия. 2004. 335 с.
28. Янушевский А. С., Коршунов В. В. Производство магниевых отливок в металлические формы. *Омский Научный Вестник*. № 1 (151), 2017. С. 45– 48.
29. ОСТ 1 90121-90. Магниевые литейные сплавы. Режимы термической обработки. Регистр. № ВНИИКИ – 8432723 от 23.01.1991 г. 10 с.
30. ГОСТ 2856-79. Сплавы магниевые литейные. Марки. Изд. с изменениями №1, 2, утвержд. и в июле 1985 г., октябре 1987 г. (НУС 10-85, 1-88) от 01.01.1981 г. 4 с.
31. ОСТ 1 90380-85. Магниевые литейные сплавы, отлитые в песчаные формы. Определение микроструктуры .Регистр. № ВИФС – 8349625 от 25.04.1986 г. 28 с.
32. Чухров М. В. Модифицирование магниевых. Москва : Metallurgiya. 1972. с. 16– 17.
33. Машиностроение. Энциклопедический словарь / под ред. акад. Е. А. Чудакова. Том 4. Москва, 1947. С. 157-160.
34. Баум Б. А. Металлические жидкости – проблемы и гипотезы. М. : Metallurgiya, 1979. 120 с.

35. Шалин Р. Е., Баум Б. А., Тягунов Г. В., Качанов Е. Б. Термовременная обработка расплава: основы – возможности – пути реализации в авиационной промышленности. Приложение к журналу «Авиационная промышленность». М. : Машиностроение, № 2, 1989. С. 2-3.
36. Баум Б. А., Хасин Г. А., Тягунов Г. В. Жидкая сталь. М. : Металлургия, 1984. 208 с.
37. Petrova A. V., Bazhenov V. E., Koltygin A. V. Prediction of Misruns in ML5 (AZ91) Alloy Casting and Alloy Fluidity Using Numerical Simulation. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. Volume 59, 2018. P. 617-623. DOI:10.3103/S1067821218060159
38. Bazhenov V. E., Petrova A. V., Koltygin A. V., Tselovalnik Yu. V. Determination of heat transfer coefficient between AZ91 magnesium alloy casting and no-bake mold. *Tsvetnye Metally Journal. Metal processing*. №8, 2017. DOI:10.17580/tsm.2017.08.14
39. Mohtarishirazabad M., Azadi M., Farrahi G. H. Improvement of high temperature fatigue lifetime in AZ91 magnesium alloy by heat treatment. *Elsevier. Materials Science and Engineering: A*. Volume 588, 2013. P. 357-365, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.09.067>
40. Yuan Yuchun, Maab Aibin, Jiangab Jinghua, Lua Fumin. Optimizing the strength and ductility of AZ91 Mg alloy by ECAP and subsequent aging. *Elsevier. Materials Science and Engineering: A*. Volume 588, 2013. P. 329-334, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.09.052>
41. Остапчук В. В., Семишов Н. И., Сидаченко А. А. Материалы малой плотности и высокой удельной прочности в АКТ: учебное пособие. Харьков, «ХАИ», 2006. 76 с.
42. Шаломеев В. А. и др. Структура и свойства сплава Мл-5 после высокотемпературной обработки расплава. *Процессы литья*. № 2, 2009. С. 8-13.
43. Пилюшенко В. Л. и др. Практическое материаловедение: Справ. К. : Техніка, 1984. 135 с., ил.

44. Вассерман А. М. и др. Методы контроля и исследования легких сплавов: Справ. М. : Машиностроение, 1985. 510 с.
45. Цивирко Э. И., Мошкевич Е. И., Улитенко А. Н., Бялик Г. А. Комплексный контроль качества конструкционной стали / под ред. Ю. А. Шульте. К.:Техніка, 1986. 126 с., ил.
46. ГОСТ 1778 – 70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. Введен впервые с 01.01.72. М.: Государственный стандарт союза ССР, 1970. 24 с.
47. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін “Теоретичні основи ливарного виробництва” “Теорія формування відливків” для підготовок бакалаврів за спеціальностями 7.090405 “Ливарне виробництво чорних та кольорових металів” і 7.090205 “Обладнання ливарного виробництва” / Укладачі О. Ф. Кузовов, Е. І. Цивірко. Запоріжжя, ЗДТУ, 1997. 53 с.
48. Козлов А. Г. Планирование и обработка результатов эксперимента: Методическое пособие для студентов физико-математического и инженерно-технического факультетов. Якутск: ЛОП ЯГУ, 1977. 56 с.
49. Ключихин В. В. и др. Свойства жаропрочных никелевых сплавов после ВТОР. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. № 1, 2000. С. 41–46.
50. Баум Б. А. и др. Ресурсосбережение и улучшение служебных характеристик отливок из жаропрочных никелевых сплавов посредством высокотемпературной обработки расплавов. *Металлы*. № 1. С. 31–37.
51. Кулешова Е. А. и др. Особенности образования структуры в сплаве ЖС6У после термовременной обработки расплавов. *Металловедение и термическая обработка металлов*. № 1, 1990. С. 61–65.
52. Рынок магния URL: https://www.metalresearch.ru/magnesium_market.html
53. Правила улаштування електроустановок : ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с. (Правила).

54. ГОСТ 12.4.045-78. Костюмы мужские для защиты от повышенных температур. Технические условия. Взамен ГОСТ 12.4.045-78; введ. 01.01.1989. – М. : Министерство легкой промышленности СССР, 2002. 25 с. (Система стандартов безопасности труда)

55. ГОСТ 12.4.032-77. Обувь специальная кожаная для защиты от повышенных температур. Технические условия. Взамен ГОСТ 6029-69; введ. 01.01.1979. М. : Министерство легкой промышленности СССР, 2001. 146 с. (Система стандартов безопасности труда)

56. ГОСТ 12.4.087-84. Строительство. Каски строительные. Технические условия. Взамен ГОСТ 12.4.087-80; введ. 01.01.1985. –М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 6 с. (Система стандартов безопасности труда)

57. ГОСТ 12.3.028-82. Процессы обработки абразивным и эльборовым инструментом. Требования безопасности. Взамен ГОСТ 12.2.001-74; введ. 01.01.1985. М. : Стандартинформ, 2007. 14 с. (Система стандартов безопасности труда)

58. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. Введен впервые с 01.01.1979. М. : Государственный стандарт союза ССР, 1986. 9 с. (Система стандартов безопасности труда)

59. ГОСТ 12.2.033-78. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. Введен впервые с 01.01.1979. М. : Государственный стандарт союза ССР, 1986. 9 с. (Система стандартов безопасности труда)

60. ГОСТ 20010-93. Перчатки резиновые технические. Технические условия. Взамен ГОСТ 20010-74; введ. 01.01.1995. М. : Стандартинформ, 2006. 8 с. (Система стандартов безопасности труда)

61. ГОСТ Р 12.4.013-97. Очки защитные. Общие технические условия. Введен впервые с 01.07.1998. М. : Стандартинформ, 2005. 14 с. (Система стандартов безопасности труда)

62. ГОСТ 12.4.028-76. Респираторы ШБ-1 "Лепесток". Технические условия [Текст] – Введен впервые с 30.06.1977. – М.:Стандартинформ, 2009. – 7 с. – (Система стандартов безопасности труда)

63. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [Текст] – Взамен ГОСТ 12.4.011-87; введ. 30.06.1990. – М.: ИПК издательство стандартов, 2004. – 6 с. – (Система стандартов безопасности труда)

64. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К.:МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні правила та норми)

65. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Текст] – Взамен ГОСТ 12.1.005-76; введ. 01.01.1989. – М: Стандартинформ, 2008. – 48 с. – (Система стандартов безопасности труда)

66. ГОСТ 12.4.021- 75. Системы вентиляции. Общие требования [Текст] – Введен в действие 30.06.1976. – М: Стандартинформ, 2005. – 48 с. – (Система стандартов безопасности труда) [Текст] – Введен в действие 30.06.1976. – М: Стандартинформ, 2005. – 48 с. – (Система стандартов безопасности труда)

67. Природне і штучне освітлення. [Текст]: ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К.:Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України)

68. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст]: ДБН В.1.1-7:2016. – На заміну ДБН В.1.1.7-2002; чинний від 2017-06-01. – К.:Мінрегіон України, 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми)

ДОДАТОК А