

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Технічно-фізичний

(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему МЛ5, свинець, спов, механічні властивості,
модифікування, термічна обробка, інтерметаліди,
зерно, структура

Виконав: студент(ка) II курсу, групи ГР-218

Спеціальності 132 - «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Горшков О. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Шаломов В. А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Шаломов А. О.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Інженерно-фізичний
Федра Фізичне матеріалознавство
Упінь вищої освіти магістр
Спеціальність 132 - «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Вітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Александров В. П.

« 18 » 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Норевич Александр Дмитриевич
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи) МА5, свинець, олово, мех. властивості, модифікування, термічна обробка, інтерметаліди, зерно, структура

Рівник проекту (роботи) професор, д.т.н. В.А. Шапошніков,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

Строк подання студентом проекту (роботи)

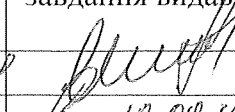
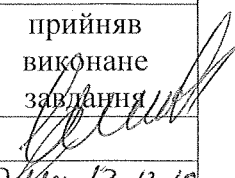
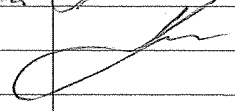
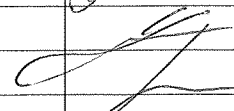
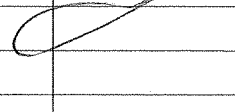
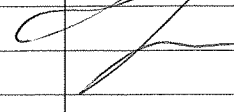
Вихідні дані до проекту (роботи)

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно зробити):
1. Огляд літературних джерел. 2. Матеріали та методика дослідження. 3. Результати дослідження та їх обговорення. 4. Економічна ефективність від використання результатів дослідження. 5. Охорона праці при проведенні експериментальних робіт.

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

Дослідження МА5 в масиві - ній; - вплив Sn і Pb на вид-ль мікроструктури; макроструктура з сплавів МА5 з Sn і Pb; міцність після Т.О.; пластичність на видовження; - вплив вмісту Sn і Pb на розмір мікро-оксидів; мікроскопія зразків сплаву МА5 з Sn і Pb (100x); МРСА інтерметаліду в сплаві МА5 з 0,98% Pb; МРСА інтерметаліду в сплаві МА5 з 1,15% Sn.

Консультанти розділів проекту (роботи)

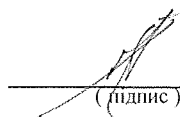
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
2;3	професор, д.т.н. В.А.Шаломєєв		
4	доцент, к.т.н. В.В.Кружлікова	10.09.19	12.12.19
5	Д.В. Нестеров		
прис. конст	Писар Д.В.		

Дата видачі завдання « _____ » _____ 20 ____ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	опрацювання літературних джерел	07.10.19 - 18.10.19	
2	матеріали та методи дослідження	22.10.19 - 31.10.19	
3	результати дослідження та їх обговорення	18.11.19 - 28.11.19	
4	експериментальна ефективність від використання ре-	4.11.19 - 14.11.19	
5	зультатів дослідження		
6	охорона праці при проведенні експериментальних робіт.	3.11.19 - 12.11.19	

Студент(ка)


(підпис)

О.О. Юркевич
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

В.А. Шаломєєв
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: __с., __рис., __табл., __джерел.

Об'єкт дослідження - ливарний магнієвий сплав МЛ5, легований легкоплавними елементами.

Мета дослідження – вивчення впливу легувальних елементів Sn і Pb, на структуроутворення та механічні властивості сплаву МЛ5.

У роботі досліджено можливість підвищення механічних властивостей сплаву МЛ5 за рахунок його легування Sn і Pb.

Проведено аналіз наукової інформації про вплив легувальних елементів на властивості ливарного магнієвого сплаву. Викладено методику проведення експерименту. Проаналізовано вплив легуючих елементів на механічні властивості сплаву МЛ5 та зроблені висновки.

МЛ5, СВИНЕЦЬ, ОЛОВО, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, МОДИФІКУВАННЯ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ІНТЕРМЕТАЛІДИ, ЗЕРНО, СТРУКТУРА.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Огляд літературних джерел.....	8
1.1.Магній та його фізико-механічні властивості.....	8
1.2.Застосування магнієвих сплавів в машинобудуванні.....	10
1.3.Промислові магнієві сплави та їх використання в машинобудуванні.....	14
1.4.Легування магнієвих сплавів.....	15
1.5.Модифікування магнієвих сплавів.....	16
1.6.Технологія виробництва виливок з магнієвих сплавів.....	18
1.7.Особливості плавки магнієвих сплавів.....	19
1.8.Термічна обробка виливків з магнієвих сплавів.....	23
2. Матеріали та методика дослідження.....	25
2.1.Проведення плавки та термічної обробки	26
2.2.Механічні властивості й металографічні дослідження.....	28
2.3.Рентгеноспектральний аналіз.....	30
3. Результати дослідження та їх обговорення.....	32
3.1.Аналіз використання литих деталей з магнієвих сплавів в машинобудуванні.....	32
3.2.Аналіз впливу Sn і Pb на механічні властивості сплаву МЛ5.....	34
4. Економічна ефективність від використання результатів дослідження.....	41
4.1.Розрахунок кошторису витрат на проведення НДР.....	42
4.1.1.Розрахунок вартості матеріалів.....	42
4.1.2.Розрахунок вартості палива і енергії.....	43
4.1.3.Спеціальне обладнання для проведення наукової роботи.....	44
4.1.4.Розрахунок амортизації універсального устаткування.....	45
4.1.5.Розрахунок заробітної плати.....	46

4.1.6.Відрахування на соціальні потреби.....	47
4.1.7.Накладні витрати.....	47
4.2.Кошторис витрат.....	47
4.3.Розрахунок економічної ефективності.....	48
5. Охорона праці при проведенні експериментальних робіт.....	51
5.1.Аналіз потенційних небезпек.....	52
5.2.Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	53
5.3.Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці...55	
5.4.Заходи з пожежної безпеки.....	56
5.5.Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	57
Висновки.....	60
Перелік посилань.....	62

ВСТУП

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.

У результаті проведених досліджень була встановлена можливість поліпшення властивостей магнієвих сплавів введенням у них свинцю та олова, а також шляхом термічної обробки.

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. Тому розробка нових і поліпшених магнієвих сплавів з підвищеними механічними властивостями є цілком актуальною та своєчасною.

Аналіз технічної літератури показав, що дослідження щодо впливу легування і модифікування, а також металургійних і технологічних факторів

на фізико-механічні та експлуатаційні властивості магнієвих сплавів носять уривчастий характер і не систематизовані.

У зв'язку з цим, розробка нових магнієвих дозволить розробити нові склади поліпшених магнієвих сплавів з підвищеним комплексом механічних властивостей для машинобудування, що забезпечить їх надійну та довготривалу експлуатацію.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Магній та його фізико-механічні властивості

Магній – характерний елемент мантиї Землі, який переважно міститься в основних породах (4,5 %). Відкритий у 1808 р. англійським вченим Г. Деві, який отримав амальгаму, а з неї після відгонки ртуті – новий порошкоподібний метал (магній) [1].

Магній відноситься до II групи періодичної системи. Атомна маса магнію 24,32. За хімічними властивостями магній відноситься до лужноземельних металів. Магній відноситься до найбільш легких конструкційних металів: його щільність дорівнює $\sim 1,74$ г/см³ при 20°C.

Магній плавиться при 650°C і кипить при 1107°C, поліморфних модифікацій магній не має і в усьому інтервалі температур нижче точки плавлення зберігає гексагональну щільноупаковану структуру з відношенням осей c/a (1,6235), майже рівним теоретичному значенню (1,633). Розміри атома магнію досить великі. Його атомний діаметр, приведений до координаційного числа 12, дорівнює 0,32 нм [2].

Механічні властивості чистого магнію невисокі (границя міцності при розтягуванні 60 МН/м²; границя плинності 38 МН/м²; відносне видовження 50%, твердість по Брінелю 200...300 МН/м²) [3], тому як конструкційний матеріал він практично не застосовується.

Магній – хімічно активний метал. Свіжа поверхню металу – сріблясто-білого кольору, але вона швидко тьмяніє з причини окислення магнію на повітрі з утворенням на поверхні оксидної плівки MgO. При низьких температурах оксидна плівка аморфна, але при нагріванні вище 200°C набуває кристалічної будови. При температурах нижче 450°C товщина оксидної плівки невелика, вона порівняно щільна і має певні захисними властивостями проти окислення. При більш високих температурах різко зростає швидкість окислення магнію. При нагріванні на повітрі до

температур вище 623°C магній запалюється і горить, випромінюючи сліпучо яскраве світло. Таким чином, оксидна плівка магнію не володіє достатніми захисними властивостями. Це пов'язано з тим, що щільність MgO ($3,15 \text{ г/см}^3$) значно більше, ніж магнію.

Магній розчиняє великі кількості водню. При температурі кристалізації в рідкому магнії розчиняється близько $50 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ водню, а в твердому – близько $20 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.

Магнієві сплави задовільно зварюються різними методами зварювання: дуговим зварювання з невитратним вольфрамовим електродом в захисному середовищі з інертних газів, контактним точковим і роликовим зварюванням. Магній і його сплави легко обробляються різанням.

Чистий магній володіє недостатньо високим комплексом механічних властивостей. Тому в техніці використовують в основному магнієві сплави.

Застосування магнієвих сплавів з урахуванням їх великою питомою міцності дозволяє зменшити масу деталей машин. У літакобудуванні з магнієвих сплавів виготовляють колеса і вилки шасі, різні важелі, корпуси приладів, насосів, коробок передач, ліхтарі і двері кабін, деталі планера літака. Магнієві сплави успішно використовують в конструкціях вертольотів. З магнієвих сплавів виготовляють корпуси ракет, корпуси насосів, паливні та кисневі баки, опорні вузли, стабілізатори.

Магнієві сплави знайшли застосування в конструкції автомобілів, особливо гоночних (колеса, картери, кришки, маслопомпи); в приладобудуванні (корпуси і деталі приладів, біноклів, кіно і фотоапаратів). Висока демпферна здатність магнієвих сплавів обумовлює застосування для виготовлення кожуха для розміщення електронної апаратури керованих снарядів [2].

1.2 Застосування магнієвих сплавів в машинобудуванні

Розробка та виробництво нових конструкційних матеріалів завжди складали фундамент сучасної науки і техніки. В області авіа- та ракетобудування, незважаючи на виниклі в даний час деякі складнощі у виробництві магнієвого лиття, інтерес до магнієвих сплавів не слабшає. Питома вібраційна міцність магнієвих сплавів з урахуванням демпфіруючої здатності в 100 разів більше, ніж у дуралюміна, в 20 разів більше, ніж у легованої сталі. Потужність, необхідна при обробці різанням алюмінієвих сплавів в 1,5-2 рази і при обробці сталі в 6-7 разів перевищує потужність, необхідну при обробці магнієвих сплавів.

Застосування ливарних магнієвих сплавів в конструкціях дає зниження ваги виробів на 25-30%, особливо це помітно при великій масі деталей [1]. Тому основним і досить ємним споживачем магнієвих сплавів є авіаційна промисловість. Для авіації використання магнієвих сплавів є традиційним. Ще на літаках розробки 40 ... 50 років минулого століття (Ту-2, Ту-4, Ту-16, Ту-95) обсяг застосування магнієвих сплавів становив 5 ... 6%. На літаку Ту-4 маса деталей з магнієвих сплавів досягала 650 кг, Ту-95 - 1550 кг і Ту-22 - 820 кг. Широко застосовувалися магнієві сплави і в конструкціях літаків 60-х років минулого століття (Ту-134, Ту-154). Так, у літаку Ту-134 було 1325 деталей загальною масою 780 кг з магнієвих сплавів, в тому числі в крилі - 1194, оперенні - 126 і фюзеляжі - 5. На серійному літаку Ту-154 встановлені деталі з магнієвих сплавів масою 830 кг. В даний час з магнієвих ливарних сплавів виготовляють різноманітні вироби для літаків і вертольотів: зі сплаву МЛ5 - деталі внутрішнього набору фюзеляжів, кабіни пілота, панелей приладів, кронштейни, рами, предкрилки, елементи двигунів; зі сплаву МЛ10 - деталі насосів, редукторів, маслоагрегатів, вентиляторів, корпуси двигунів [2]. Виливки з магнієвих сплавів широко застосовуються в літаках інших країн. Так, в конструкцію літака F-80 (США) входить 300 деталей,

відлитих зі магнієвих сплавів, а бомбардувальник В-52 (США) містить їх понад 200 кг. В американському бомбардувальнику В-36 використовувалося 1 т. магнієвих сплавів [3]. Магнієві сплави успішно застосовують в конструкціях ракет, керованих снарядів і космічних апаратів. Для ракет, снарядів і космічних апаратів з магнієвих сплавів відливають деталі двигунів, кронштейни, елементи кріплення, деталі хвостового оперення, стабілізатори та інші. Американські та англійські снаряди і ракети мають високу частку магнієвих сплавів. У керованому снаряді «Титан» загальна їх маса становить до 900 кг, в снаряді «Мейс» - 435 кг, в снаряді «Старці» - 680 кг. Космічні супутники «Джеміні», «Вангард», «Дискаверер», «Пайєнір» і інші містять в своїх конструкціях деталі з магнієвих сплавів. Міжпланетні станції так само використовують в своїх конструкціях магнієві сплави [4].

Провідне місце за масштабом використання і номенклатурі виливків з магнієвих сплавів займає автомобільна промисловість. Застосування магнієвих сплавів в автомобілях, з одного боку, покращує їх експлуатаційні характеристики шляхом помітного зниження маси, з іншого - відбувається помітна економія вуглеводнів і зниження шкідливих викидів в атмосферу. Практично всі автомобілі, що сходять з конвеєрів світових виробників, мають деталі з магнієвих сплавів. В даний час в автомобілях, вироблених в США, маса деталей з магнієвих сплавів становить від 2,2 до 3,5 кг, однак найближчим часом планується досягти 100 кг. При цьому тенденція зниження маси автомобілів та рециклінгу матеріалів призведе до підвищення ролі магнієвих сплавів в майбутньому. Частка магнієвих сплавів в німецьких автомобілях досягає 25 кг, автовиробники планують довести цю цифру до 90 ... 120 кг, розробляючи при цьому нові сплави і удосконалюючи технологію їх виробництва [5]. Щорічно в японській промисловості використовується до трьох тисяч тонн магнію для виробництва конструкційних магнієвих сплавів. За останні 10 років виробництво магнію для цих цілей виросло в 4 рази. Автомобілебудівні фірми Японії Honda, Toyota, Nissan постійно працюють над розширенням використання магнієвих сплавів для автомобілів.

Особливістю магнієвих сплавів як конструкційного матеріалу при їх експлуатації є висока питома міцність. За цим показником магнієві сплави поступаються тільки титану (таблиця 1.1) [6].

Таблиця 1.1 - Питома міцність сплавів [7]

Матеріали	Сталі	Латуні, бронзи	Цинкові сплави	Алюмі- нові сплави	Титанові сплави	Магнієві сплави
Питома міцність, Дж/кг	7...13	6...11	4...8	8...14	14...20	13...15

Зниження маси машин за рахунок високої питомої міцності магнієвих сплавів дозволяє збільшити ККД, підвищити швидкість, корисне навантаження, знизити витрату пального. У багатьох випадках однотипні литі деталі з магнієвих сплавів на 25 ... 30% легше алюмінієвих, в чотири рази легше сталевих і в два рази легше титанових.

Важливою особливістю магнієвих сплавів є здатність добре протистояти ударним навантаженням. Це пояснюється їх низькою модулем пружності. Магнієві сплави добре поглинають вібрацію. Їх питома вібраційна міцність в десятки разів більше, ніж у дюралюмінію або у сталі. Висока демпфуюча здатність магнієвих сплавів дозволяє широко застосовувати їх в відповідальних конструкціях, що працюють в умовах віброударні навантажень. Жароміцність магнієвих сплавів невисока (150 ... 350 °C), проте завдяки високій теплоємності вони можуть протистояти значним короткочасного нагрівання.

При негативних температурах не відбувається різкого охрупчення магнієвих сплавів, а лише незначно зменшується ударна в'язкість і відносне видовження, що робить магнієві сплави особливо придатними для роботи при криогенних температурах.

Магнієві сплави мають високу теплопоглинаючу здатністю. За температуропровідністю вони перевершують більшість конструкційних матеріалів. Тому в умовах передачі однакової кількості теплоти виріб з магнієвого сплаву нагрівається значно менше, ніж вироби з інших матеріалів, що забезпечує в них порівняно невеликі термічні напруги.

Магнієві сплави корозійно-стійкі в мінеральних маслах, паливі (гасі, бензині), лугах, рідкому і газоподібному кисні, розчинах хроматів, бихроматов, фторатов, у них не відбувається міжкристалітної корозії. Однак, в морській воді, органічних кислотах, у вологому атмосфері стійкість сплавів низька, але її підвищують захисними покриттями і легуванням. Деталі з магнієвих сплавів немагнітних, мають стабільністю розмірів і не дають іскри при ударі [8].

Магнієві сплави технологічні. Їх можна відливати всіма способами лиття. Мала тепломісткість цих сплавів дозволяє підвищити продуктивність і зменшити знос інструменту при литті під тиском в порівнянні з алюмінієвими сплавами. Деталі з магнієвих сплавів добре шліфуються, поліруються, а по легкості обробки різанням (відносна оброблюваність) вони перевершують усі інші конструкційні матеріали (таблиця 1.2). Це дозволяє вести їх обробку при високих швидкостях різання не тільки твердосплавним і швидкорізальним інструментом, але і інструментом з легованої сталі.

Таблиця 1.2-Оброблюваність сплавів [9]

Матеріали	Сталі	Латуні	Алюмінієві сплав	Магнієві сплави
Відносна оброблюваність	20	45	55	100

Подальший розвиток машинобудування, вдосконалення машин і механізмів розширює сфери застосування магнієвих сплавів, які, витісняючи алюмінієві сплави та інші матеріали, займають лідируюче положення. Тому в індустріально-розвинених країнах ведуться інтенсивні дослідження по

створенню нових магнієвих сплавів, що володіють високим комплекс властивостей і забезпечують істотне поліпшення експлуатаційних характеристик машин і агрегатів [9].

1.3 Промислові магнієві сплави та їх використання в машинобудуванні

У машинобудуванні широко застосовуються ливарні сплави на основі магнію, що містять алюміній, цинк, марганець, цирконій, неодим та інші легувальні елементи.

Магнієві ливарні сплави поділяють на три групи (табл. 1.1). За жаростійкістю їх можна поділити на сплави для роботи до 150°C, 200°C і 250°C (табл.1.2) [4].

Таблиця 1.1 – Класифікація магнієвих ливарних сплавів по міцності [4]

Класифікація сплавів	Марки сплавів виробництва різних країн			
	Україна, ГОСТ 2856	США, ASTM B80	Великобританія, BS 2970	Японія, JIS H5203
Середня міцність	МЛЗ	—	—	—
Висока міцність	МЛ4, МЛ5, МЛ6, МЛ8, МЛ12, МЛ15	AZ63A, AZ81A, ZK51A	MAG1, MAG2, MAG3, MAG4, MAG7	MC1,MC, MC7
Жароміцні	МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ19	EZ33A, K1A, QE21A	MAG5, MAG6, MAG8, MAG9	MC8

Таблиця 1.2 – Робочі температури експлуатації та порівняльні характеристики магнієвих сплавів після гартування і старіння [4]

Марка сплаву	Механічні властивості, не менше		Робочі температури експлуатації, °C
	σ_b , МПа	δ , %	
МЛ4, МЛ5	226,0	2,0	150
МЛ11	137,0	2,0	200

МЛ10	226,0	3,0	250
МЛ19	216,0	3,0	250

Рівень механічних властивостей ливарних сплавів нижчий, порівняно з магнієвими деформованими сплавами. Певне підвищення властивостей ливарних сплавів пов'язано з подрібненням зерна. Існують різні способи впливу на розміри зерен: перегрівання розплаву перед литтям, введення до розплаву спеціальних присадок (магнезит, хлорне залізо), введення цирконію [10].

1.4 Легування магнієвих сплавів

Для визначення корисності введення того чи іншого компонента в сплав необхідно використовувати дані діаграм стану досліджуваних систем, властивості зміцнювальної фази, характер структури сплаву і її стійкість при нагріванні.

Отримати підвищені механічні властивості ливарних магнієвих сплавів можливо шляхом їх легування перспективними елементами, а також вибором та оптимізацією режимів термообробки. Перспективними є комплексне легування декількома легувальними елементами [11].

Максимальна міцність магнієвих сплавів при кімнатній температурі досягається при концентраціях легувальних елементів, близьких до границі насичення твердих розчинів при температурах їх максимальної розчинності. У сплавах магнію розчинність більшості елементів в твердому розчині різко зменшується з пониженням температури, що створює передумови їх зміцнення шляхом загартування і старіння [12]. Ефект старіння в загальному випадку зростає зі збільшенням різниці в розчинності легувальних елементів

при високих і низьких температурах, хоча немає чіткої кореляції між цими параметрами через різну дію фаз, що виділяються при старінні [14].

Оскільки вплив більшості легувальних елементів вже розглянутий і описаний в науковій літературі, в даній роботі буде розглянутий вплив лише Олова і Свинцю, на властивості магнієвих сплавів.

Як вказано в статті [15], введення свинцю та олова в сплав МЛ5 призвело до подрібнення зерен, а також призвело до збільшення інтерметалідних частин а також зменшення кількості евтектики. Також додавання цих елементів призводить до подрібнення і сфероїдизації неметалевих включень.

При проведенні випробувань на вплив легкоплавких елементів, автори статті [16] встановили що, Механічними випробуваннями встановлено, що зразки сплаву МЛ5, легованого оловом і свинцем, задовольняють вимогам ГОСТ 2856-79. При цьому спостерігається чітка тенденція збільшення межі міцності сплаву. Значення відносного подовження зразків сплаву МЛ5 з легкоплавкими металами більш ніж в 2 рази перевищили вимоги стандарту.

Збільшення вмісту олова та свинцю в сплаві МЛ5 привело до помітного погіршення жароміцності металу.

Корозійні випробування показали, що введення в сплав МЛ5 легкоплавких елементів в декілька разів зменшує швидкість корозії металу

1.5 Модифікування магнієвих сплавів

Введення в рідкий метал в дуже малих кількостях речовин-модифікаторів, що сприяють отриманню дрібного зерна (кристалів), однорідного по всьому об'єму виливка. Модифікації піддають сплави системи Mg-Al-Zn-Mn.

Сплави, що містять цирконій більше 0,5%, не модифікують, оскільки Зерна в цих сплавах досить дрібні й однорідні [17]. Подрібнення зерна в сплавах Mg-Al-Zn-Mп пов'язують з утворенням складових з відносно високою температурою плавлення, розчинність яких брало в рідкому металі зменшується з пониженням температури. Випадаючи у вигляді найдрібніших частинок, ці складові служать зародками кристалів. Вважають, що зародками можуть бути частинки карбїду алюмінію або більш складні з'єднання: Mg-Al-C; Mg-Al-Mп-C; з'єднання алюмінію з залізом: Al-Fe-Mп; Al-Mg- Fe-Mп [18].

Модифікування магнієвих сплавів досягається додаванням в рідкий метал речовин, що містять вуглець - продувкою сухим натуральним газом, ацетиленом, вуглекислим газом або введенням карбїдів алюмінію і кальцію, графіту, вуглекислої солі (крейди, мармуру, магнезиту), хлоридів (чотирьохлористого вуглецю, гексахлоретан, гексахлорбензолу і ін.). У промисловості для модифікування магнієвих сплавів широко застосовують магнезит і крейда [19]. Магнезит вводять шматками (розміром 10-25 мм) в кількості 0,3-0,4% до ваги сплаву при темп-ре 720-730 °С, крейда - у вигляді порошку в кількості 0,5-0,6% при 760- 780 °С; операція модифікування триває 7- 10 хв. (До припинення бурління). Модифікування магнієвих сплавів може здійснюватися перегрівом рідкого металу, тобто нагріванням до 850- 950°С і витримкою при цій температурі протягом 10-20 хв. Модифікування відбувається при довгому, вистоюванні рідкого металу при температурі 680-700°С, але нагрів до високої температури знову призводить до подрібнення зерна. При модифікуванні магнієвих сплавів зерно подрібнюється від 0,2-0,3 до 0,01-0,02 мм. Модифікування забезпечує отримання литих сплавів з підвищеними механічн. св-вами (σ_{bl} (TQ) 2, 6, ан) [20]. Зміна властивостей в залежності від розміру зерна відповідає закону прямої в координатах (властивості - логарифм кількості зерен на 1 появи тріщин і мікрорихлоти).

1.6 Технологія виробництва виливок з магнієвих сплавів

Плавка магнієвих сплавів пов'язана з низкою труднощів, оскільки сплави легко окислюються. Це пояснюється тим, що на поверхні розплаву утворюється пухка окісна плівка, що не оберігає розплав від окислення і загоряння. Окислення сповільнюється в атмосфері сірчастого газу (SO_2) і вуглекислоти (CO_2). При температурах ведення плавки магній і його сплави взаємодіють з азотом, утворюючи нітриди, і інтенсивно поглинають водень.

У промислових магнієвих сплавах (МЛ4, МЛ5 і МЛ6) вміст водню становить 14-34 cm^3 на 100 г. Слід зауважити, що при легуванні магнію 2-3% алюмінію розчинність водню досягає максимального значення; при подальшому збільшенні вмісту алюмінію розчинність знижується. Газонасичені і збагачені оксидами магнієві розплави схильні до утворення мікропористості в виливок.

Щоб уникнути окислення, плавку магнієвих сплавів проводять під флюсами, які складаються з хлористих і фтористих солей лужних і лужноземельних металів, або в середовищі захисних газів.

Основою більшості флюсів є карналліт ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$). Хлористий барій додають у флюс як навантажувач, що сприяє кращому відділенню флюсу від сплаву. Фтористий кальцій підвищує в'язкість флюсу і збільшує його рафінувальну здатність. Оксиди магнію додають в якості згущувача, що полегшує утворення скоринки при перегріванні.

На вітчизняних заводах при плавці більшості магнієвих сплавів добре зарекомендували себе флюси ВІ2 і ВІ3 (табл. 1.4). Вони володіють хорошими захисними і рафінувальними властивостями. Завдяки підвищеній щільності флюс ВІ2 легко відділяється від розплаву і відводиться з поверхні при розборі металу ковшем. Флюс ВІ3 при перегріванні сплаву до 900 °С утворює міцну щільну кірку, що захищає метал від окислення. Флюс, що

складається з хлористого і фтористого літію, використовують при плавлі сплавів магнію з літієм.

Таблиця 1.4 – Склад флюсів для плавки магнієвих сплавів

Флюс	Склад, за масою										Область застосування
	Mg Cl ₃	K C	Na Cl	Ca Cl ₂	Ba Cl ₂	Li Cl	Ca F ₃	Інші компоненти	Нерозчинний осад	H ₂ O	
ВИ2	38-46	32-40	10	10	5-8	–	3-5	<1,5 MgO	<1,5	<3	Для плавки в стаціонарних печах і тиглях
ВИ3	30-40	25-36	<7	<7	–	–	15-20	7 – 10 MgO	<1,5	<3	Для плавки в стаціонарних печах і тиглях
1	–	–	–	–	–	80	–	20LiF	–	–	Для сплавів магнію з літієм
2	–	55	–	28	15	–	2	–	–	<2	Для сплавів з рідкісноземельними металами
3	–	22-26	17-20	35-39	19-23	–	2-5	–	–	<2	
4	–	55	–	28	15	–	2	–	–	–	Для сплавів магнію з торієм і цирконієм
ФЛ1	–	–	–	–	–	–	13	32MgF ₂ ; 40AlF ₃ ; 15B ₂ O ₃	–	–	Безхлористі флюси
ВИА М1	–	–	–	–	–	–	3,5	23,5 AlF ₃ ; 40 B ₂ O ₃ ; 33Na ₃ Al F ₆	–	–	–
ВИА М5	–	–	–	–	–	–	17, 5	17,5 MgF ₂ ;	–	–	–

								15 AlF ₃ ; 50B ₂ O ₃			
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1.7 Особливості плавки магнієвих сплавів

Плавка сплавів з рідкоземельними металами (Ce, Y, Nd, La), торієм і кальцієм під стандартними флюсами пов'язана з великими втратами їх в результаті реакції з хлористим магнієм: $SMgCl_2 + 2Y \rightarrow 2YC_{13} + 3Mg$; $3MgCl_2 + 2Ce \rightarrow 2CeCl_3 + 3Mg$; $MgCl_2 + Ca \rightarrow CaCl_2 + Mg$. Тому при плавці таких сплавів використовують флюси, що не містять хлористого магнію (наприклад, складу: 35-39% CaCl₂; 19-23% BaCl₂; 17-20% NaCl; 22-26% KCl; 2-5% CaF₂). Однак застосування таких флюсів пов'язано з більшою небезпекою попадання їх в тіло виливків. Для зменшення втрат при плавці з використанням флюсів ВІ2 і ВІ3 рідкоземельні метали вводять в розплав перед самою розливанням (за 3-5 хв).

В останні роки розроблені бесхлористі флюси, що дозволяють рафінувати розплав від хлористих солей. Склад деяких з них наведено в табл.

1.4 Бесхлористі флюси наносять на поверхню розплаву після рафінування хлористими флюсами для захисту його від загоряння.

Застосування покривних флюсів через їх високу гігроскопічність пов'язане з можливістю газонасичення розплавів. Тому неодмінною умовою є використання переплавлених флюсів, які зберігають в термостатах.

Незважаючи на позитивний вплив, застосування флюсів пов'язано з рядом труднощів: попаданням флюсу в виливок і утворенням вогнищ інтенсивної корозії через високу його гігроскопічності; розтріскуванням кірки окисленого флюсу і необхідністю добавки свіжого флюсу для захисту розплаву; інтенсивним корозійним впливом флюсового пилу у вологому

атмосфері на сталеві конструкції цеху. Тому розробці технології бесфлюсової плавки приділяється в даний час велика увага.

Як захисний газового середовища використовують суміші сухого повітря в поєднанні з сірчистим газом, фторидом бору або шестифтористою сіркою. Застосування цих газів пов'язане з можливістю утворення тонких захисних плівок фториду і сульфату магнію. У виробничих умовах краще використовувати захисну атмосферу з сухого повітря з 0,1% SF₆, оскільки шестифториста сірка на відміну від фториду бору не є токсичним і агресивним газом.

Залежно від масштабу виробництва і маси виливків застосовують три способи плавки ливарних магнієвих сплавів: а) в стаціонарних тиглях; в) в виймальних тиглях; в) дуплекс-процес (відбивна піч - тигель або індукційна піч - чаша). Технологія приготування сплаву при застосуванні всіх способів майже однакова, але є деякі відмінності в технології заливки і складі застосовуваних флюсів.

Плавку в стаціонарних тиглях ведуть при масовому або багатосерійному виробництві дрібних виливків. Сталевий товстостінний литий тигель нагрівають до 400-500°C і завантажують в нього флюс ВІ2 до 10% від маси шихти. Флюс розплавляють, а потім невеликими порціями завантажують в нього підігріті до 120-150° С шихтові матеріали. Після введення всіх складових шихти розплав нагрівають до 700-720° С і проводять рафінування і модифікування. Вистояють сплав 10-15 хв, відбирають проби на хімічний та спектральний аналізи і злам, а потім за допомогою ручних ковшів розливають по формах. Залишок металу (20-30% від обсягу розплаву в тиглі), забруднене оксидами і флюсом, зливають після кожної плавки і використовують для виробництва підготовчих сплавів.

При виготовленні великих виливків плавку ведуть в виймальних зварних сталевих тиглях з перегородкою і дуплекс-процесом. У цих тиглях здійснюють плавку, рафінування і модифікування так само, як в стаціонарних тиглях. Відмінність полягає лише в застосуванні іншого флюсу

(ВІЗ) для рафінування. Флюс ВІЗ легше, ніж ВІ2, тому спливає на поверхню розплаву і при заливці утримується від попадання в форму перегородкою тигля. Після проведення всіх операцій з рафінування та модифікування тигель витягають з печі і транспортують до місця заливки.

При використанні дуплекс-процесу плавку ведуть у відбивних або індукційних печах ємністю 0,5-3 т під шаром флюсу ВІ2. Потім розплав розливають в виймальні тиглі, де здійснюють операції рафінування та модифікування. Порядок плавки наступний. На дно тигля індукційної печі завантажують частина дрібної шихти, а потім, як можна компактніше, велику шихту; проміжки між великими шматками заповнюють дрібною шихтою. Зверху засипають флюс. По мірі розплавлення підвантажують решту шихту і при необхідності додають флюс. Після розплавлення всієї шихти проводять рафінування, модифікування і розливання за формами так само, як при плавці в виймальних або стаціонарних тиглях.

Для виплавки сплавів застосовують чушковий магній марки МГ1, алюміній марок А0 і А1, цинк стандартних сортів не нижче Ц2, повернення власного виробництва (до 80%) і різні лігатури.

Марганець вводять за допомогою лігатур алюміній - марганець (8-10% Mn) і магній - марганець (2% Mn) або хлористого марганцю. Перевагу зазвичай віддають лігатур, оскільки використання хлористого марганцю супроводжується збагаченням розплавів хлоридними включеннями і підвищеними втратами рідкоземельних елементів і марганцю. Лігатури завантажують в піч разом з магнієм. При підшихтовці лігатуру вводять в розплав при 740-760° С. Хлористий марганець вводять в сплав при 850° С в трикратному проти розрахункового кількості. У ряді випадків подшихтовку ведуть електролітичним лускатим марганцем, завантажуючи його в розплав, нагрітий до 850° С

Всі шихтові матеріали, призначені для приготування сплавів, повинні бути вільні від продуктів корозії, масла, емульсії та ін. Відходи - літнікі, прибутку, браковані відливки - повинні бути очищені в дрібоструменевій

установці або переплавлені. Послідовність завантаження складових частин шихти при плавці найбільш поширених магнієвих сплавів наступна: магній, відходи і повернення, лігатура, алюміній, потім цинк і кадмій. Церій, кальцій і берилій присаджують перед самим розливанням. Слід мати на увазі, що при переплавці кальцій в ній повністю вигорає.

При плавці магнієвих сплавів неприпустимий контакт металу, флюсів, а також плавильного інструменту, тиглів та іншого обладнання з вологою, тому що це може спричинити займання металу, викиди його з печі або міксера і погіршення якості виливків. При плавці магнієвих сплавів неприпустимий контакт металу, флюсів, а також плавильного інструменту, тиглів та іншого обладнання з вологою, тому що це може спричинити займання металу, викиди його з печі або міксера і погіршення якості виливків.

Плавка магнієвих сплавів пов'язана з рядом труднощів, оскільки сплави легко окислюються. Це пояснюється тим, що на поверхні розплаву утворюється рихла окисна плівка, що не оберігає розплав від окислення і загоряння. Окислення сповільнюється в атмосфері сірчаного (SO_2) і вуглекислого (CO_2) газу. При температурах ведення плавки магній взаємодіє з азотом, утворює нітриди, і інтенсивно поглинає водень.

Плавку ведуть в індукційних печах місткістю 0,5–3 т під шаром флюсу ВІ 2, потім розплав розливають у виймальні тиглі, де здійснюють операцію модифікування і рафінування.

Порядок плавки наступний: на дно тигля індукційної печі завантажують частину дрібної шихти, а потім як можна щільно шматки більш великої шихти, проміжки між великою шихтою заповнюють дрібною. Зверху засипають флюс. По мірі розплавлення підвантажують шихту і при необхідності флюс. Після розплавлення всієї шихти проводять рафінування, модифікування і розливання по формах так само, як при плавці у виймальних або стаціонарних тиглях.

При плавці магнієвих сплавів недопустимий контакт металу, флюсів, а також плавильного інструменту, тиглів і іншого устаткування з вологою, оскільки це може викликати займання металу, викиду його з печі або міксеру і погіршення якості відливок [21].

Основою більшості флюсів є карналіт ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$). Хлористий барій додають у флюси для збільшення його ваги, сприяючи відділянню флюсу від сплаву. Фтористий кальцій підвищує в'язкість і збільшує рафінуючу здатність. Окиси магнію додають як загусник, що забезпечує утворення коринки при перегріві металу. Склад флюсів наведено у таблиці 1.5 [28].

1.8 Термічна обробка виливків з магнієвих сплавів

Механічні властивості ливарних магнієвих сплавів покращують термічною обробкою. Здатність магнієвих сплавів на зміцнення обумовлюється зміною розчинності легувальних елементів, що входять до складу сплаву в залежності від температури. Особливістю термічної обробки магнієвих сплавів є мала швидкість протікання дифузійних процесів і пов'язана з цим велика тривалість нагріву деталей під загартування, а також можливість охолодження деталей на повітрі. Поширеними видами термообробки є: відпал, гартування і старіння [22].

Відпал для магнієвих сплавів застосовують двох видів: гомогенізаційний, який слугує для вирівнювання хімічного складу сплавів і усунення ліквациї легуючих елементів, і рекристалізаційний. Температура початку рекристалізації чистого магнію – приблизно 150°C . У випадку магнієвих сплавів температура початку рекристалізації складає приблизно $250\ldots 280^\circ\text{C}$. Найчастіше рекристалізаційне відпалення проводять при температурах $250\text{--}350^\circ\text{C}$, при більш високих температурах відбувається

зростання зерна [23], погіршує механічні властивості магнієвих сплавів. Швидкість охолодження не має суттєвого впливу на механічні властивості.

Магнієві сплави зміцнюються гартуванням та старінням. Пересичені розчини на основі магнію, за винятком сплавів магнію з РЗМ, фіксуються при порівняно невеликих швидкостях охолодження. Тому магнієві сплави зазвичай гартують на повітрі і іноді в киплячій воді. Після гарту сплави піддають штучному старінню. Природне старіння в магнієвих сплавах не відбувається, тобто витримка загартованих сплавів при кімнатній температурі не викликає ніяких змін структури і властивостей. Виняток складають сплави на основі системи Mg–Li [24].

Проведення штучного старіння дозволяє збільшити міцність магнієвих сплавів. При старінні сплавів системи “магній–алюміній” розпад пересиченого твердого розчину відбувається без проміжних перетворень, виділяється рівноважна фаза $Mg_{17}Al_{12}$. Розпад починається з меж зерен і поступово розповсюджується на весь об’єм. Відстань між частинками досить велика, що не дозволяє забезпечити високі показники міцності [25]. Процеси, що відбуваються при старінні магнієвих сплавів, найбільш повно вивчені на прикладі системи Mg–Al. Максимальна розчинність алюмінію в магнії досягає 12,7 % і зменшується зі зниженням температури до 2 % при 20°C. Таким чином, сплави системи Mg–Al повинні бути здатні до дисперсійного тверднення при утриманні більше 2% Al. Помітне зміцнення спостерігається при вмісті більше 4...6 % Al [26]. Розпаді пересиченого твердого розчину в магнієвоалюмінієвих сплавах відразу виділяється рівноважна γ -фаза. Виділяються дисперсні частинки γ -фази на початкових етапах старіння кристалографічно орієнтовані щодо матриці [29]. Вони мають форму пластинок, поверхня яких паралельна площинам (0001) матриці. При підвищенні температури і тривалості старіння друга фаза починає збільшуватись і ефект зміцнення знижується [27].

Таким чином, магнієві сплави є перспективним матеріалом для сучасного машинобудування. Встановлено, що на механічні та

експлуатаційні властивості магнієвих сплавів великий вплив робить технологія їх виробництва. Для підвищення міцності і пластичності сплавів на основі магнію перспективнішими є їх легування та модифікування. Вплив легкоплавних елементів досліджено недостатньо і потребує подальших розробок

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході проведення робіт по дослідженню впливу оловом і свинцем на фізико-механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5 були проведені наступні етапи:

- приготування форм для отримання зразків;
- легування розплаву оловом і свинцем (в межах 0,05...1,0 % кожного);
- заливка зразків;
- вибивка та опилювання зразків;
- випробування на розтягнення зразків;
- дослідження мікроструктури зразків;
- випробування мікротвердості зразків;
- аналіз отриманих результатів.

2.1 Проведення плавки та термічної обробки

Для проведення досліду по підвищенню фізико-механічних властивостей сплаву МЛ5 використовували сплав приготовлений за стандартною технологією.

Сплав МЛ5 виплавляли в індукційній тигельній печі типу ІПМ-500, призначеної для плавки сплавів на магнієвій основі. Технічні характеристики індукційної тигельної печі ІПМ-500 наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1-Технічні характеристики індукційної тигельної печі ІПМ-500

Найменування параметрів	ІПМ-500
1	2
Вміст печі, кг	500
1	2
Тривалість плавки, хв.	100
Продуктивність, кг/год	230
Потужність, кВт	140
Напруга, В	380
Габарити (довжина?ширина?висота), мм	1450?2400?2200

Рафінування розплаву проводили в роздавальній печі. Технічні характеристики роздавальної печі наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 -Технічні характеристики роздавальних печей.

Параметри	Величина
Вміст печі, кг	150
Розміри печі, мм	
довжина	1300
ширина	1150
висота над рівнем пола	480

Хімічний склад отриманого магнієвого сплаву МЛІ5 наведений в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 - Хімічний склад сплаву МЛІ5 за ГОСТ 2856-79.

Марка сплаву	Хімічний склад ,мас., %									
	Основні елементи				Домішки (не більше)					
	Mg	Al	Mn	Zn	Cu	Si	Fe	Ni	Be	Zr
МЛІ5	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

Введення легувальних елементів проводили у розливочній ложці об'ємом 10 літрів при температурі сплаву $740-760^{\circ}\text{C}$. Для виявлення оптимальної концентрації Оловом і Свинцем у сплаві з максимальними фізико-механічними властивостями заливали різні варіанти у підготовленні форми для зразків (рисунок 2.1) поступово підвищуючи концентрацію елементів у даному об'ємі.

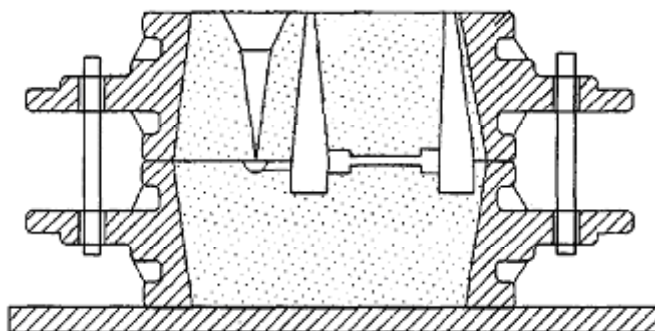


Рисунок 2.1 - Схема ливарної форми для одержання зразків.

Термічну обробку дослідного металу проводили за стандартним режимом: Гартування – 480°C , охолодження на повітрі, старіння - 275°C , з охолодженням з піччю

2.2 Механічні властивості й металографічні дослідження.

Механічні властивості досліджуваного магнієвого сплаву вивчали на литих зразках (рисунок 2.2) за ГОСТ 2839-94. Розміри наведені у таблиці 2.7

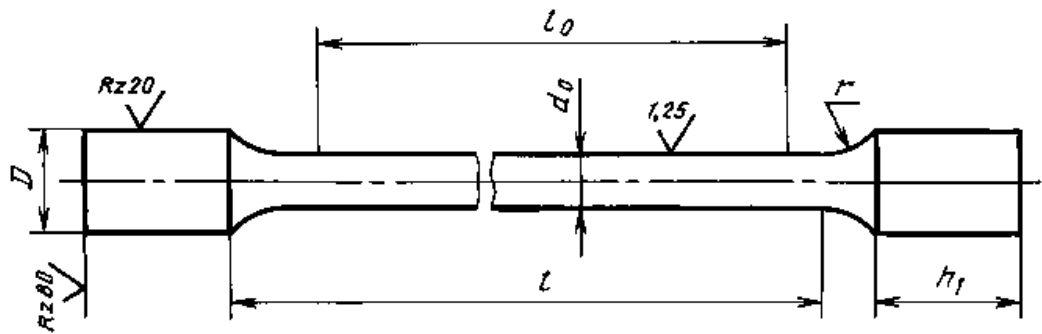


Рисунок 2.2 - Форма і розмір зразка для лиття у піщану форму за ГОСТ 2839-94.

Таблиця 2.7 – Розміри зразків відлитих у піщану форму за ГОСТ 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 ГОСТ 1497-84 проводили на розривній іспитовій машини "INSTRUN" 2801.

Литий зразок механічно обробили для іспитів на розрив (рисунок 2.3). за ГОСТ 1497-84

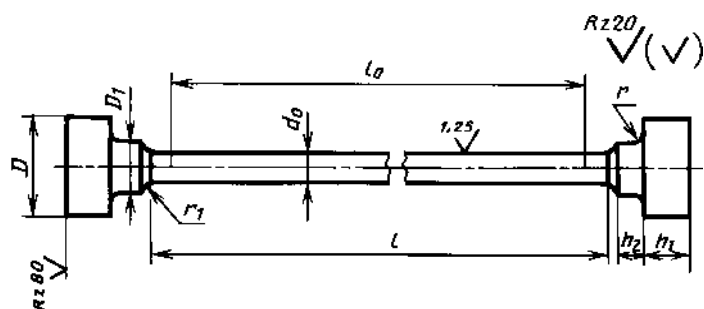


Рисунок 2.3 - Механічно оброблений зразок за ГОСТ 1497-84

Розміри зразків для проведення випробувань наведенні у таблиці 2.8

Таблиця 2.8– Розміри зразків відлитих у піщану форму за ГОСТ 1497-84

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

Мікроструктуру вивчали на термічно оброблених зразках методом оптичної мікроскопії («Neofot 32»), який призначений для дослідження мікроструктури металів і інших непрозорих об'єктів в світлому полі при прямому і косому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі.

Для дослідження мікроструктури проводилось травлення в реактиві:

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

Мікротвердість досліджуваного метала проводили на установці мікротвердомір «Beuhler» MM7T.

Випробування на мікротвердість вдавненням по методу відновленого відбитка за ГОСТ 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 по формулі:

$$H_o = \frac{F}{S} = \frac{0.102 \cdot 2F \tan \alpha / 2 \cdot \cos \beta / 2}{l_o^2 \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \beta / 2}{\tan^2 \alpha / 2}}} = 1.313 \frac{F}{l_o^2}, \quad (2.1)$$

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

S -умовна площа бічної поверхні отриманого відбитка, мм^2 ;

l - розмір відбитка, мм ;

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

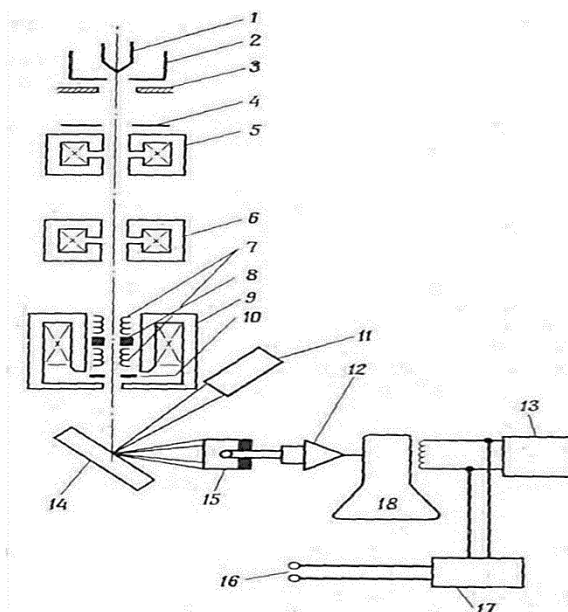
R — радіус циліндра, рівний 2 мм ;

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

2.3 Рентгеноспектральний аналіз

Рентгеноспектральний аналіз використовували для якісного і кількісного визначення хімічного складу. Метод засновано на залежності інтенсивності характеристичних ліній флуоресценції від його масової долі в пробі. Викликане первинним рентгенівським випромінюванням характеристичне випромінювання елементів в пробі розкладається в спектр з послідовним виміром аналітичних сигналів і визначенням масової долі елементів.

Аналіз проводили на електронному мікроскопі РЭММА-202 (рисунок 2.4), який поєднує функції растрового електронного мікроскопа високої роздільної здатності й рентгенівського мікроаналізатора й використовується для аналізу якісних і кількісних характеристик різних об'єктів.



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 фотопомножуючий; 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

Електронно-оптична система (ЕОС) приладу три лінзова, включає дволінзовий конденсор і об'єктив ЕОС, забезпечує формування електронного зонда малого діаметра в широкому діапазоні прискорювальних напружень. 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. Рентгеноспектральний мікроаналіз проводиться за допомогою двох кристал-дифракційних спектрометрів ХДАР нахилоного 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 налаштування і юстування.

З РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Аналіз використання литих деталей з магнієвих сплавів в машинобудуванні

Із зростаючим ускладненням і жорсткістю умов експлуатації сучасної техніки надзвичайно актуальною стала проблема створення матеріалів, що забезпечують поряд з високою міцністю достатню надійність проти руйнування. Саме тому в останні роки велике значення надається вивченню процесу руйнування й впливи різних структурних і технологічних факторів на характер руйнування.

Для більшості галузей техніки найбільш поширеними руйнуваннями при експлуатації є втомні руйнування (до 80% всіх випадків руйнувань). У переважній більшості випадків, руйнування при експлуатації виникає внаслідок ряду несприятливих факторів, і лише в одиничних випадках - з єдиної причини. Найпоширенішими причинами руйнування варто назвати невраховані при конструюванні значні зовнішні навантаження, що в поєднанні, наприклад, з концентраторами напружень (технологічних, металургійних, конструктивного характерів), високими залишковими напруженнями наявністю корозійного середовища та інших факторів приводить до руйнування.

Магнієві сплави широко використовують для корпусного литва різних приборів та приладів: корпуси ноутбуків, фотоапаратів, елементи автомобілів, машин та механізмів, що забезпечує зменшення їх ваги та покращення технічних характеристик (рис.2.5). Встановлено, що при дефектації литих деталей, виготовлених зі сплаву МЛ5, часто є тріщини що виявляються на поверхні виробів. Для виявлення дефектів на виливки допускаються такі методи контролю: контроль кольоровим та люмінісцентним методами.

Проведений аналіз зруйнованих виробів зі сплаву МЛ-5 показав, що тріщини можна класифікувати на втомні, статичні та змішані. При цьому, найпоширенішими є саме тріщини змішаного типу. Найбільш типові тріщини втомлено-корозійного типу. У цьому випадку, злам по розкритих тріщинах має складчастий рел'єф, багатозародковий з лінійними зародками. Металургійних дефектів у зламі немає. Поверхня зламу вкрита щільним шаром окислів, тому тріщина розвивається по границях зерен.



Рисунок 2.5 - Приклади використання виливок з магнієвого сплаву в машинобудуванні.

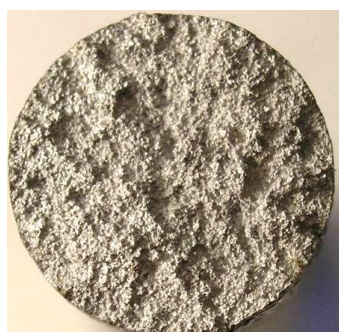
Дослідження тріщини при втомно-статичній напрузі показали, що в початковій зоні руйнування, ділянки тріщини мають світлі, не окислені ділянки, що мають дрібнодисперсний рел'єф, що сполучається з ділянками ямочної будови, що характерно для статичного руйнування. Подальше руйнування зламу має всі ознаки втомленого руйнування.

Таким чином, стандартні магнієві сплави МЛ5, задовольняють вимогам нормативно-технічної документації та забезпечує гарантовані строки експлуатації агрегатів, але не завжди забезпечують необхідні властивості виробу при роботі деталей та потребують підвищення їх міцності і

пластичності. Отже, розробка покращеного магнієвого сплаву МЛ5 з підвищеним комплексом властивостей є актуальною задачею, що забезпечує надійну та довготривалу роботу виробів.

3.2 Аналіз впливу, Sn і Pb на механічні властивості сплаву МЛ5

Макрографічні дослідження зруйнованих зразків сплаву МЛ5 показало, що з підвищенням вмісту, Sn і Pb, помітно подрібнюється макрозерно (рис. 3.1) Підвищений вміст досліджуваних елементів в сплаві зменшувало відстань між осями дендритів другого порядку і розміри структурних складових (табл. 3.1). При цьому, розміри і кількість евтектики $\delta + \gamma$ помітно знижувалась (рис. 3.2). а кількість інтерметалідів збільшувалась при цьому ж зменшувалися їх розміри.



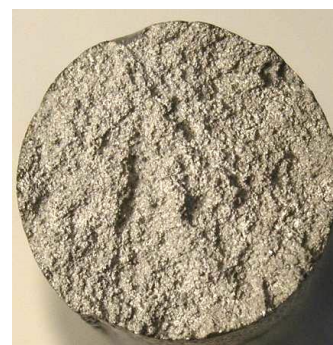
а



б



в



г



д



е



ж

а – стандартний сплав; б – 0,057 % Pb; в – 0,13 % Pb; г – 0,98 % Pb;
д – 0,047 % Sn; е – 0,14 % Sn; ж – 1,15 % Sn

Рисунок 3.1. Макрофрактограми зламів зразків зі сплаву МЛ15, х5:

Мікротвердість δ -твердого розчину сплаву росла з підвищенням вмісту кремнію, германію олова та свинцю. Стандартний режим термообробки і випробування на довготривалу міцність сприяли підвищували мікротвердості

матриці і структурній однорідності сплавів. Більші значення мікротвердості отримані в робочій зоні зразків, що пройшли триваліші дослідження.

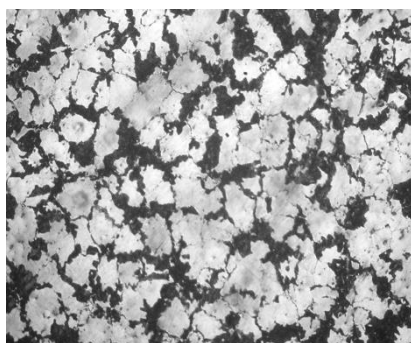
МРСА інтерметалідів в сплавах, що містять Sn и Pb показав, що всі ці елементи присутні в відповідних фазах, які мають більше компонентів. (рис. 3.4- 3.6)

Таблиця 3.1 Характеристики структурних складових сплава МЛ5 з оловом і свинцем

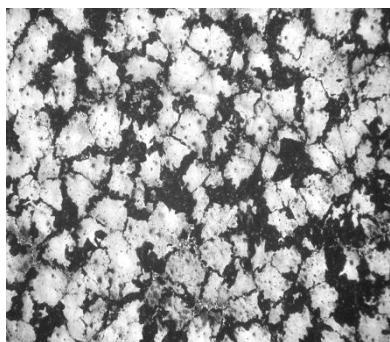
Еле- мент	Вміст, мас.%	Розмір мікро- зерна, мкм	Відстань між осями дендритів 2 ^{го} порядку, мкм	Мікротвердість матриці HV, МПа		
				до т/о	після т/о	після τ_{150}^{80}
стандартний		140	21	1115,9	1256,5	1286,5
Pb	0,057	135	18	1169,6	1287,7	1298,4
	0,013	110	16	1258,8	1311,8	1333,4
	0,98	80	15	1289,9	1343,8	1380,2
Sn	0,047	125	16	1176,8	1283,4	1295,5
	0,14	100	15	1255,2	1293,6	1325,3
	1,15	90	15	1293,3	1323,1	1360,1

Примітка: в таблиці приведені середні значення.

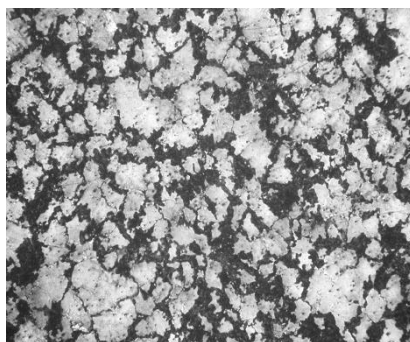
Металографічний аналіз зразків сплаву МЛ5 з Sn та Pb після високотемпературних випробувань показав, що в сплавах з цими елементами знайдені частинки легкоплавких з'єднань (рис. 3.9), розміри і кількість яких підвищувалась з підвищенням даних елементів. В сплавах з германієм і кремнієм, таких частинок не знайдено.



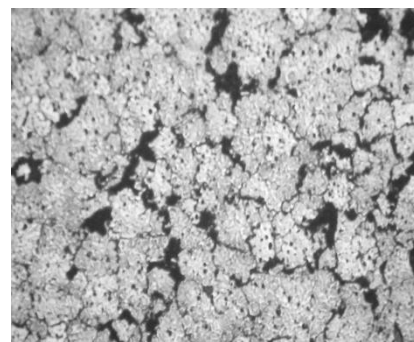
а



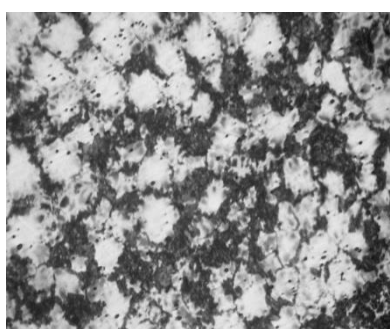
б



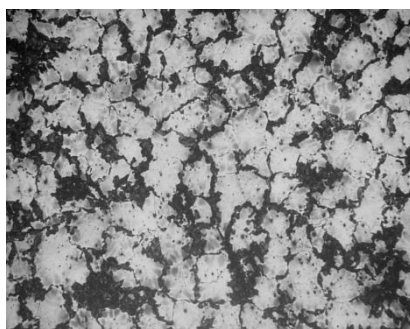
в



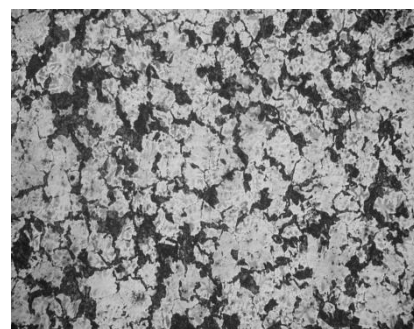
г



д



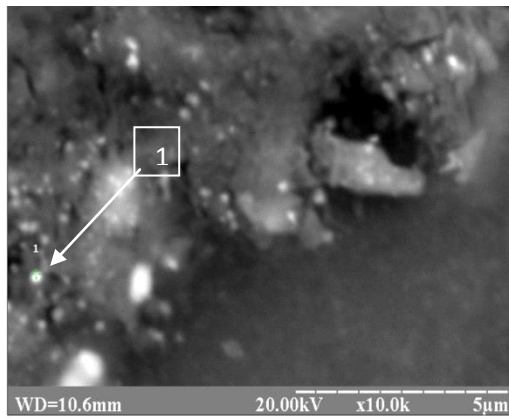
е



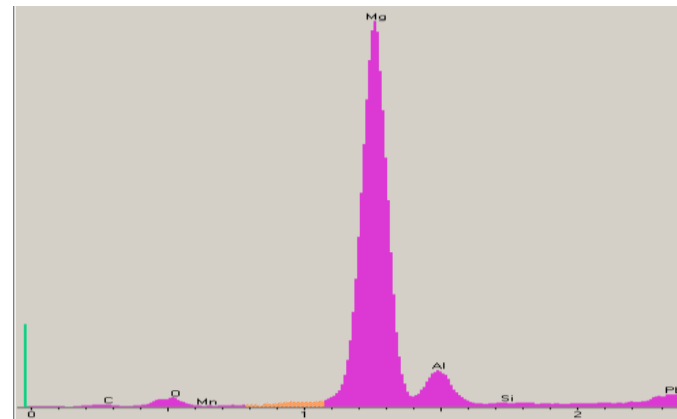
ж

а – стандартный сплав; б – 0,057 % Pb; в – 0,13 % Pb; г – 0,98 % Pb;
д – 0,047 % Sn; е – 0,14 % Sn; ж – 1,15 % Sn;

Рисунок 3.2. Мікроструктура зразків з термообробленого сплава МЛ5,
x100



а



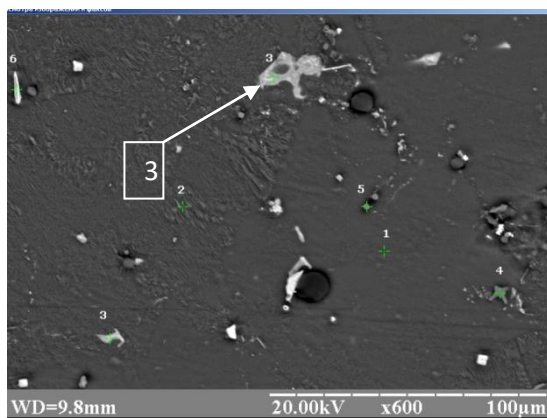
б

Ділянка	Mg	Al	Si	Mn	Pb	Сума
1	66,46	20,65	0,54	0,03	12,32	100

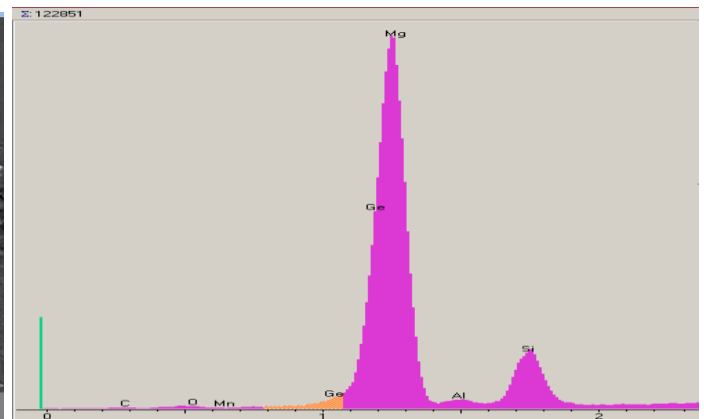
в

а - місце аналізу; б - спектрограма місця що піддається аналізу; в - хімічний склад ділянки (мас. %).

Рисунок 3.3. Результати МРСА інтерметаліду в сплаві МЛ5 с 0,98 % Рб



а

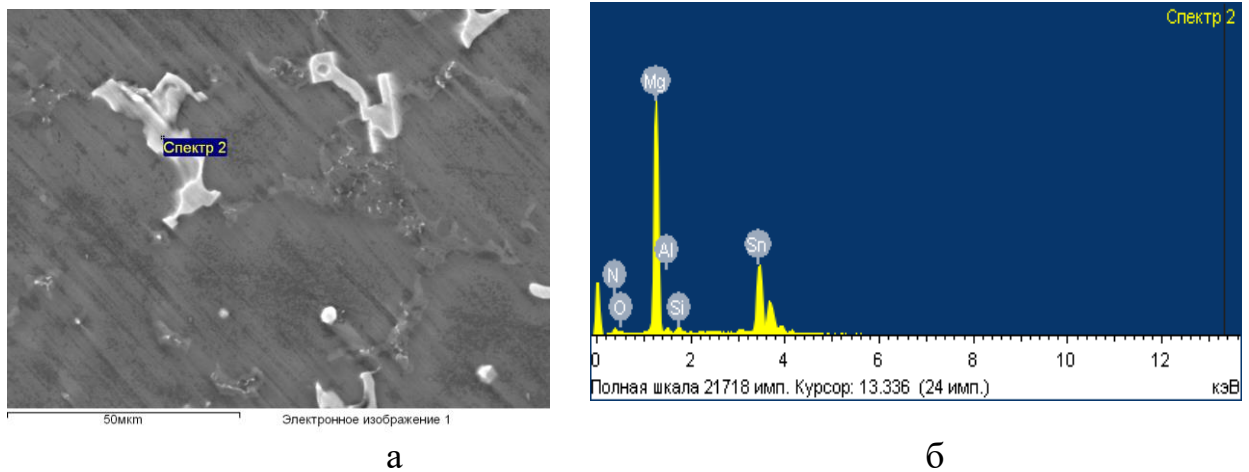


б

Ділянка	Mg	Al	Si	Ge	Сума
3	60,65	2,68	16,83	19,84	100

а - місце аналізу; б - спектрограма місця що піддається аналізу; в - хімічний склад ділянки (мас. %).

Рисунок 3.4. Результати МРСА інтерметаліду в сплаві МЛ5 с 0,13 % Рв

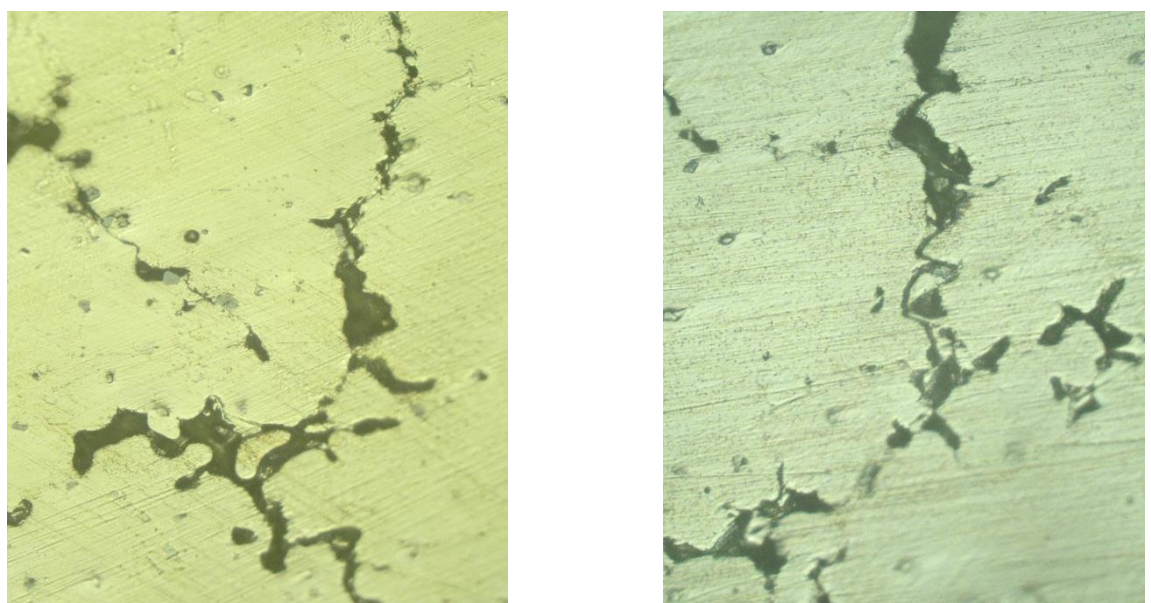


Ділянка	Mg	Al	Si	Sn	Сума
2	68,19	2,96	2,66	26,19	100

в

а - місце аналізу; б - спектрограма місця що піддається аналізу; в - хімічний склад ділянки (мас. %).

Рисунок 3.4. Результати МРСА інтерметаліду в сплаві МЛ5 с 1,15 % Sn



а - 0,98 % Pb; б - 1,15 % Sn, x500.

Рисунок 3.6. Локальні оплавлення по межах зерен в сплаві МЛ5

Олово та свинець підвищують межу міцності сплаву МЛ5 та його відносне видовження при вмісті цих елементів у межах: 0,05...0,1 %. Подальше зростання вмісту цих елементів в сплаві призводить до окрихчування металу (табл. 3.2) Жароміцність сплаву МЛ5 із свинцем та оловом знижувались внаслідок межових виділень легкоплавкої фази (рис. 3.8). Із зростанням вмісту германія і кремнія в сплаві зростала і його жароміцність.

Таким чином, олово і свинець в сплаві МЛ5 подрібнювали макро- і мікроструктуру, підвищували мікротвердість елементів (0,05...0,1%) підвищувало пластичність металу внаслідок подрібнення мікрозерна. Свинець і олово знижували жароміцність сплаву.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості і жароміцність сплаву МЛ5 с Sn и Pb

Еле- мент	Вміст, мас. %	Механічні властивості				τ_{150}^{80} , год
		до термообробки		після термообробки		
		σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	
стандартний		165,3	2,8	232,6	2,9	141,8
Pb	0,057	153,4	3,0	230,0	4,5	133,6
	0,013	185,6	3,5	238,8	4,7	113,4
	0,98	188,9	3,1	250,5	4,4	79,8
Sn	0,047	170,2	3,3	232,2	4,2	140,7
	0,14	179,6	3,5	241,1	4,5	135,4
	1,15	186,9	3,1	255,4	4,3	101,7

Примітка: в таблиці приведені середні значення.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На теперішній час в промислових умовах при виробництві відливків типу «кришка редуктора» та «кришка корпусу» авіаційного двигуна зі сплаву МЛ5 по технології передбачається проведення ремонтних робіт після певного часу, які пов'язані з руйнуванням деталей.

Метою даного дослідження було розроблення методики, що дозволяє аналізувати механізм появи тріщин та провести дослідження впливу магній-скандієвої, магній-ітрієвою та магній-неодимовою лігатури на фізико-механічні властивості.

Впровадження технології модифікування дозволить збільшити строк експлуатації деталей із магнієвого сплаву МЛ5 за рахунок виключення можливості появи тріщин, що виключає затрати на ремонтні роботи і дозволить отримати економічний ефект.

У ході проведення робіт по дослідженню впливу скандію, ітрію та неодиму на фізико-механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5 були проведені наступні роботи:

- приготування форм для отримання зразків;
- модифікування розплаву магній-скандієвою, магній-ітрієвою та магній-неодимовою лігатурою;
- заливка зразків;
- вибивка та опилювання зразків;
- випробування на розтягнення зразків;
- дослідження мікроструктури зразків;
- випробування мікротвердості зразків;
- рентгеноспектральний аналіз зразків;
- аналіз отриманих результатів.

4.1 Розрахунок кошторису витрат на проведення НДР

До складу витрат на проведення НДР входить вартість усіх ресурсів, які необхідні для реалізації комплексу робіт.

Складаємо кошторис витрат по статтях:

- матеріали за винятком зворотніх відходів;
- енергія й паливо з боку;
- спеціальне обладнання і технологічне оснащення;
- амортизація універсального устаткування;
- заробітна плата основна і додаткова;
- відрахування на соціальне страхування;
- накладні витрати.

4.1.1 Розрахунок вартості матеріалів

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження (таблиця 4.1).

Транспортно-заготівельні витрати – 10% від вартості матеріалів.

Таблиця 4.1— Розрахунок витрат на матеріали

Матеріал	Марка	Витрати матеріалу, кг	Ціна, грн./т	Сума витрат, грн.
Магнієвий сплав, ГОСТ 2856-79	МЛ 5	100	135500	13550
Флюс	—	60	2700	162
Лігатура Mg-Sc	Mg-Sc	0,5	1000000	500
Лігатура Mg-Y	Mg-Y	0,5	900000	450
Лігатура Mg-Nd	Mg-Nd	0,5	950000	475
Форми піщано-глиністі	—	—	—	120
Реактиви	—	—	—	300
Транспортно-заготівельні витрати				1555
Усього:				17112

4.1.2 Розрахунок вартості палива і енергії

Підчас проведення дослідів були використані наступні енергоспоживаючі ресурси:

- іспитова машини "INSTRUN" 280;
- термічна піч «Бельв'ю»

Витрати на енергію E_c визначаємо по формулі:

$$E_c = \frac{P_y \cdot \Phi_{ef} \cdot K_b \cdot C_e}{KKД}, \quad (4.1)$$

де P_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачив устаткування, кВт;

Φ_{ef} – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин;

K_b – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу ($K_b = 0,8$);

C_e – ціна 1 кВт година електроенергії, $C_e = 1,78$ грн/ кВт година;

$$\text{ККД} = 0,6$$

Для термічної печі «Бельв'ю»:

$$E_c = 112 \times 28 \times 0,8 \times 1,78 / 0,6 = 7359 \text{ грн}$$

Для іспитової машини "INSTRUN" 280:

$$E_c = 10 \times 24 \times 0,8 \times 1,78 / 0,6 = 563 \text{ грн}$$

Для мікротвердоміру "Beuhler" MM7T:

$$K_b = 0,7, \text{ ККД} = 0,7$$

$$E_c = 1 \times 12 \times 0,7 \times 1,78 / 0,7 = 21 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на енергію заносимо у таблицю 4.2

Таблиця 4.2- Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Вид енергоресурсів	Ефективний фонд часу роботи, год	Вартість, грн	Вартість енергоресурсів, грн
1	2	3	4	5

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5
Піч «Бельв'ю»	Електро-енергія	28	2,18	7359
іспитова машини "INSTRUN" 280	Електро-енергія	24	2,18	563
Мікротвердо-мір "Beuhler" MM7T	Електро-енергія	12	2,18	21
Разом				7943

4.1.3 Спеціальне обладнання для проведення наукової роботи

Вартість спеціального устаткування, апаратів, приладів для проведення НДР визначають на підставі їх кількості, цін по прейскурантах і транспортно-заготівельних витрат (до 20 % їхньої вартості)

Дані заносимо у таблицю 4.3

Таблиця 4.3 - Витрати на спеціальне обладнання

Обладнання	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн.
Піч термічна	«Бельв'ю»	1	157000
Іспитова машина	”INSTRUN” 280	1	33000
Мікротвердомір	“Beuhler” MM7T	1	18100
Розривна машина	P 10	1	11700

4.1.4 Розрахунок амортизації універсального устаткування

Суму амортизаційних відрахувань від балансової вартості універсального устаткування, що відносяться до основних фондів, розраховується у відповідності їх зайнятості для НДР.

Для печі термічної (тризмінний графік роботи):

$$(157000/1860 \times 3) \times 28 = 787,81 \text{ грн.}$$

Для іспитової машини ”INSTRUN” 280:

$$(33000/1860) \times 24 = 425,81 \text{ грн.}$$

Для мікротвердоміру “Beuhler” MM7T:

$$(11700/1860) \times 12 = 75,48 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку зводимо у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Устаткування	Балансова вартість, грн	Норма амортизації, %	Зайнятість устаткування, год	Річний ефективний фонд часу, год	Сумма амортизації, грн
Піч термічна	57000	24	28	5580	189
Іспитова машина "INSTRUN" 280	11000	24	24	1860	102
Мікротвердомір "Beuhler" MM7T	6700	24	12	1860	18
Разом					309

4.1.5 Розрахунок заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду усіх категорій робітників, які зайняті на проведенні наукових досліджень (таблиця 4.5.).

Таблиця 4.5 - Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кількість, Людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зарплата, грн	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума, грн
Головний науковий співробітник	1	9000	450	60	27000
Молодший	1	6000	300	60	18000

науковий співробітник					
Лаборант	4	2500	125	20	10000
Верстатник	1	2054	102,7	5	514
Разом					55514

Додаткова заробітна плата складає 10% від основної заробітної плати, тобто 5551,4 грн.

4.1.6 Відрахування на соціальні потреби

Відрахування на соціальні потреби приймаємо у розмірі 22% від основної та додаткової заробітної плати: $(55514 + 5551,4) \times 0,22 = 13434,388$ (грн.).

4.1.7 Накладні витрати

Накладні витрати для НДР складають 140% від суми основної заробітної плати, а саме 77719,6 грн.

4.2 Кошторис витрат

Для визначення витрат на проведення НДР складають кошторис витрат, який наведено у таблиці 4.6

Таблиця 4.6 - Кошторис витрат на проведення НДР

Статті витрат	Сума	
	грн.	% за підсумком
1 Матеріали	17112	16,06
2 Електроенергія технологічна	7943	7,45
2 Спеціальне обладнання	309	0,29
3 Основна і додаткова заробітна плата	61065,4	28,78
4 Відрахування на соціальні потреби	13434,388	10,79
5 Накладні витрати	77719,6	36,63
Усього:	177583,388	100

Тобто, кошторис витрат на проведення НДР складає 177583,388 грн.

4.3 Розрахунок економічної ефективності

При здійсненні ремонтних робіт авіаційних двигунів після наробітку 6000 год., проводять контроль і необхідний ремонт їх деталей. При дефектації литих деталей «кришка редуктора» та «кришка корпусу» виготовлених зі сплаву МЛ5, часто виявляються на поверхні виробів тріщини, що вимагає заміни цих деталей.

Для підвищення строку експлуатації, було проведено дослідження впливу РЗМ на механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5. Внаслідок проведення досліджень, було з'ясовано, що найбільш високі показники міцності та пластичності, при проведенні досліджень показав Sc з оптимальною концентрацією 0,1%, тому для виявлення розрахунку економічного ефекту при застосуванні Sc у якості модифікатора при виробництві деталей та вузлів авіадвигунів, внаслідок чого збільшився ресурс роботи до 9000 год., тобто в 1,5 раз.

Проведемо розрахунок вартості однієї деталі «кришка редуктора» та «кришка корпусу» виробу та порівняємо з витратами на використання Sc у якості модифікатора на цей виріб, що виключає можливість утворення тріщин.

Розрахуємо економічний ефект для виготовлення деталей «кришка редуктора» та «кришка корпусу» на один двигун.

Визначення вартості модифікатора на одну виливку «кришка редуктора» та «кришка корпусу».

Вартість 1 кг модифікатора дорівнює 9000 грн. Оптимальна концентрація Sc у сплаві дорівнює 0,1%. Норма розходу сплаву МЛ5 на одну виливку деталей «кришка редуктора» складає 16 кг та для та «кришка корпусу» - 22 кг. Кількість Sc на одну виливку складає 0,015 кг для «кришки редуктора», що дорівнює 135 грн, для «кришки корпусу» - 0,02 кг і дорівнює 180 грн.

Вартість деталей на один двигун наведена у таблиці 4.7

Таблиця 4.7- Вартість деталей на один двигун

№	Найменування виробу	Вага деталі, кг	Вартість деталі за одну штуку без модифікатора, грн/шт	Кількість деталей на один двигун	Вартість деталей на один двигун, грн.	Вартість використаного модифікатора на одну деталь, грн	Вартість модифікатора на один двигун,грн	Вартість деталі за одну штуку з модифікатором, грн/шт	Вартість деталей на один двигун, грн.
1	Кришка редуктора	15	2220	3	6660	135	405	2352	7056
2	Кришка корпусу	20	3656	2	7312	180	360	3836	7672
Усього					13972		765		14728

Розрахуємо економічний ефект після впровадження нової технології у виробництво. Річна програма виробництва становить 26 двигунів.

Вартість НДР складає 177583,388 грн.

Таким чином річний економічний ефект складає:

$$E_e = (B_1 * k_p - B_2) * N_2 - E_p * B_{\text{НДР}}, \quad (4,2)$$

Де B_1 - витрати на виготовлення деталей за старою технологією на один двигун,

k_p - коефіцієнт збільшення ресурсу роботи двигуна,

B_2 - витрати на виготовлення деталей за новою технологією на один двигун,

N_2 - річна програма на виготовлення двигунів

E_p -нормативний коефіцієнт ефективності,

$B_{\text{НДР}}$ -витрати на проведення НДР.

$$E_e = (13972 * 1,5 - 14728) * 26 - 0,15 * 177583,388 = 135342,4918 \text{ грн}$$

Ефективність НДР складає:

В результаті розрахунку вартості деталей «кришка корпусу» та «кришка редуктора» та порівнянні його з вартістю модифікування скандієм, робимо висновок, що при впровадженні цієї технології у виробництво, отримуємо річний економічний ефект у розмірі 135342,4918 грн, за рахунок підвищення надійності та довговічності деталей, а ефективність НДР складає 1,37 грн/грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ

В даній дипломній роботі розглядається вплив РЗМ на структуру та механічні властивості ливарного магнієвого сплаву МЛ5. В ході роботи використовується термічна піч, мікротвердомір, машина для випробування зразків на розтяг та мікроскопи.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) незадовільна організація місця дослідника. Внаслідок не врахування величини ергономіки, зокрема нераціональне розташування обладнання і не використання засобів індивідуального захисту.

б) можливість ураження електричним струмом при використанні енергоспоживаючого обладнання в приміщенні дослідницької лабораторії. Основною причиною є порушення правил з електробезпеки, зокрема допуск до виконання робіт осіб які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки або несправності енергоспоживального обладнання, що може призвести до електричних травм, або до летальних наслідків.

в) небезпеки, які пов'язані з отриманням механічних травм при знаходженні в дослідницькій лабораторії.

Основними причинами можуть бути захащеність робочої зони або непередбачений контакт з частинами обладнання які рухаються чи обертаються.

г) можливість отримання термічних опіків при термічній обробці отриманих зразків. Внаслідок контакту нагрітих зразків або частин печі, а також зовнішніх нагрітих поверхонь обладнань, невикористання індивідуальних захисних засобів;

д) небезпеки, які пов'язані з отриманням механічних травм при підготовці для дослідження мікроструктури та випробуваннях на механічні властивості зразків, внаслідок роботи на несправному обладнанні або використанні неатестованого інструменту.

е) негативний вплив електромагнітного випромінювання при дослідженні структури зразків з використанням РЕМ, що може бути пов'язано з незнанням або порушенням правил безпеки, які зазначені в технічній документації на це обладнання або несправність обладнання.

є) небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів досліджень при використанні персонального комп'ютера, які пов'язані з низькою ергономічністю робочого місця та впливом електромагнітних випромінювань від обладнання.

ж) незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну.

з) незадовільне освітлення в приміщенні дослідницької лабораторії в наслідок хибного розрахунку систем природнього та штучного освітлення або виходу з ладу освітлювальних приладів, що може призвести до зниження можливості розрізнення об'єктів.

і) неправильні дії в умовах надзвичайної ситуації через відсутність попереджувальної інформації, відсутності організації в цих умовах, що може привести до паніки.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Незадовільна організація робочого місця дослідника може бути пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, захаращеністю робочої зони та нерациональним розташуванням технологічного обладнання.

Робочі місця працівників лабораторії повинні відповідати вимогам ГОСТ

12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам», ГОСТ 12.2.032-84 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

Розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загальнообмінної вентиляції.

Кольорове рішення технологічного обладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.4.026-76 «Цвета сигнальные и знаки безопасности».

б) основними заходами захисту від можливості ураження електричним струмом є:

Для забезпечення захисту від випадкового торкання до струмопровідних частин необхідно прийняти наступні заходи і засоби: захисне огородження; ізоляція струмопровідних частин; захисне відключення; блокування; знаки безпеки. Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при доторканні до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, застосовують захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалу системи захисних дротів, захисне відключення, ізоляцію не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою вище 24В, засоби індивідуального захисту, наприклад гумові коврики та інше. Всі металеві частини виробничого обладнання, якщо вони можуть опинитися під напругою вище 42В, мають бути заземлені згідно ПУЕ - 2001. Для цього їх оснащують легко оглядним пристроєм заземлення $R < 4 \text{ Ом}$ або з'єднують з нульовим дротом.

в) Основними заходами від механічного травмування є:

- дотримання чистоти та порядку на робочому місці;
- наявність попереджувальних знаків;
- проведення інструктажів, навчання, згідно НПАОП 0.00-4.12-05.

Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

г) 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 12.4.087-80.

д) 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.

е) Для запобігання негативного впливу ЕМП при роботі з мікроскопами потрібно дотримуватись певних заходів безпеки, а саме:

- екранування джерела електромагнітного випромінювання або об'єкту захисту.
- видалення джерел електромагнітного випромінювання з робочої зони згідно з ГОСТ 12.1.026-80.
- конструктивне вдосконалення обладнання з метою зниження рівней ЕМП, які використовуються, загальної потужності обладнання, яка споживається й випромінюється.
- Обмеження часу перебування людей в зоні дії ЕМП.

е) Для зниження психофізичного навантаження, внаслідок роботи з ПК слід дотримуватися вимог до режиму праці та відпочинку при роботі на комп'ютері, які визначені залежно від виконуваної роботи у ДСанПіН 3.3.2.007-98. «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». У зв'язку з тим, що електромагнітне випромінювання від стінок монітора велике, тому монітор потрібно ставити під кутом, так щоб випромінювання поглиналося стінами. По можливості

скорочувати час роботи за комп'ютером і робити перерви впродовж проведення дослідницьких робіт. Комп'ютер повинен бути заземлений. При наявності захисного екрану його теж потрібно заземлити, для цього спеціально передбачений дріт, на кінці якого знаходиться металева прищипка.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

ж) На підставі ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» оптимальними параметрами для даної лабораторії будуть:

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

Відповідність цих параметрів мікроклімату досягається застосуванням припливно-витяжної вентиляції з зосередженою подачею підігрітого повітря (калорифен).

- 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 згідно ГОСТ 12.4.021- 75 «Системы вентиляции. Общие требования».

- Підтримку чистоти дослідницьких приміщень здійснюють відповідно з ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Для забезпечення належних умов у приміщенні лабораторії доцільно використовувати вологе прибирання два рази за робочу зміну;

з) При контролі виробничого освітлення слід керуватися вимогами СНиП П-4-79 «Природное і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням характеру і точності зорової роботи.

При дослідженні зразків на розтяг розмір об'єкта > 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

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно дотримуватися вимог СИП 2.01.02-85 «Протипожежні норми проектування будинків та споруд», а саме використовують наступні заходи:

- для запобігання пожежі від короткого замикання і перевантаження електроустановок, застосовують захисні пристрої, такі як плавкі запобіжники; автоматичні вимикачі, теплові реле;

- застосування вогневідсічних пристроїв на технологічних комунікаціях, в системах вентиляції, повітряною опалення і кондиціювання повітря;

- правильний монтаж і експлуатація електричних установок, їх своєчасний профілактичний ремонт;

- наявність систем захисту, блокування автоматики, мереж заземлення, попереджувальних плакатів і написів;

- протипожежний інструктаж і атестація обслуговуючого персоналу;

- застосування установок електричної пожежної сигналізації;

- наявність радіостанцій ультракороткого діапазону, для повідомлення про пожежу (ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования»);

- для швидкої ліквідації осередків загоряння в лабораторії передбачено пісок, ручний вогнегасник вуглекислого типу ВВК-45, що має ємність 5 літрів. Він призначений для гасіння різних речовин (крім здатних горіти без доступу повітря), а також електроустановок під напругою до 10 кВ (СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»)

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

і) 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 фільтровальною 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, бензо-водозаправники, 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.

Таким чином основні заходи охорони праці є:

- підвищення продуктивності праці за рахунок правильного розташування обладнання;

- зниження ризику отримання травм та аварій у лабораторії при роботі з обладнанням;

- зниження хибних дій робітників за рахунок правильно спроектованої та розрахованої системи освітлення;

- зменшення витрати на ліквідацію наслідків нещасних випадків, аварій та техногенних катастроф.

ВИСНОВКИ

В першому розділі були відпрацьовані літературні дані щодо застосування, легування, способів плавлення та термічної обробки магнієвих сплавів. Було з'ясовано, що сучасні сплави не задовольняють вимогам висунутим для сучасного машинобудування, тому розробка нових сплавів є актуальною.

В другому розділі розглянута методика проведення та технічні характеристики обладнання, яке використовується при проведенні дослідження. Магнієві сплави є перспективним матеріалом для сучасного машинобудування. Заготовки використовуються для виробництва елементів і деталей сучасних технічних пристроїв, де пріоритетну роль відіграє вагова ефективність конструкцій (знижена маса) при збереженні їх міцності. На механічні та експлуатаційні властивості магнієвих сплавів великий вплив робить технологія їх виробництва. Для підвищення міцності і пластичності сплавів на основі магнію перспективнішими є їх легування та модифікування легкоплавкими металами.

В результаті проведеної роботи можна зробити висновок що, вплив легкоплавких елементів в наш час досліджені недостатньо і потребує подальших розробок.

В третьому розділі представлено дослідження по впливу Sn та Pb на структуроутворення та механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5. Встановлено:

- Олово і свинець (до 1,0% мас.) в магнієвому сплаві МЛ5 зменшували розмір його структурних складових і подрібнювали структурні складові.
- Присадки олова і свинцю в сплав МЛ5 від 0,05% до 1,0% (мас.) підвищували міцність і пластичність металу.
- Легування сплаву МЛ5 оловом і свинцем знижувало жароміцність сплаву МЛ5 за рахунок утворення легкоплавких фаз по межах зерен.

- Застосування олова і свинцю в досліджуваних кількостях для зміцнення магнієвих сплавів допустимо тільки для виробів, які не експлуатуються при підвищених температурах.

В економічній частині розраховано вартість проведених досліджень, яка складає 177583,388, економічний ефект при впровадженні у виробництво дорівнює 135342,4918 грн. та ефективність НДР дорівнює 1,37.

В розділі охорони праці проаналізовані потенційні небезпеки при проведенні дослідження, основними з яких є:

- можливість ураження електричним струмом при використанні енергоспоживального обладнання в приміщенні дослідницької лабораторії.

- можливість отримання механічних травм при знаходженні в дослідницькій лабораторії.

- можливість отримання термічних опіків при термічній обробці отриманих зразків, внаслідок контакту нагрітих зразків або частин печі, а також зовнішніх нагрітих поверхонь обладнань, невикористання індивідуальних захисних засобів;

- негативний вплив електромагнітного випромінювання при дослідженні структури зразків з використанням РЕМ, що може бути пов'язано з незнанням або порушенням правил безпеки, які зазначені в технічній документації на це обладнання або несправність обладнання.

- приміщення дослідницької лабораторії повинно бути оснащено штучним освітленням, яке повинно повністю та рівномірно заповнювати весь простір.

- для уникнення можливості загорянь необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки.

- для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кузін О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів : підручник для студ. вищ. навч. закладів : Національний ун –т "Львівська політехніка" : Афіша, 2002. 304 с.
2. 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 : МИСиС, 2005. 432 с.
3. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов : Металлургия, 1981. 414 с.
4. Легкие цветные металлы и сплавы: справочник. Т. 2./ Дорохина Л.Н. ЦНИИцветмет, 2000. 416 с.
5. Альтман М.Б., Антипова А.П., Блохина В.А. Магниевого сплавы: справочник: в 2 ч. Ч. 1. *Металловедение магния и его сплавов. Области применения* : Металлургия, 1978. 231 с.
6. Никулин Л.В. Расширение номенклатуры магниевых сплавов для литья под давлением . *Развитие и совершенствование литья под давлением* : МДНТП им. Дзержинского, 1975. 114–118 с.
7. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник . Т. 3, кн.1/ Лякишева Н.П. Машиностроение, 1996. 1024 с.
8. Елагин В.И. Захаров В.В. Дриц А.М. Структура и свойства сплавов системы Al–Zn–Mg : Металлургия, 1982. 219 с.
9. Дриц М.Е. Рохлин Л.Л. Магниевого сплавы с особыми акустическими свойствами : Металлургия, 1983. 128 с.
10. Альтман М.Б., Антипова А.П., Блохина В.А. Магниевого сплавы: справочник: в 2 ч. Ч. 1: *Металловедение магния и его сплавов. Области применения* : Металлургия, 1978. 231 с.
11. Гринберг Н.М. Структура и усталостная прочность магниевых сплавов : Металлургия, 1991. 147 с

12. Структуры двойных сплавов. Т. 1/ Хансен М. Андерко К. : Нуч.–тех. изд–во литер. по черн. и цвет. мет., 1962. 608 с.
13. Макаров В.И. Скачков Ю.Н. Сварка магниевых сплавов : Машиностроение.,1972. 354 с.
14. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. Т.3, кн. 1/ под ред. Н.П.Лякишева : Машиностроение, 1996. 1024 с.
15. Дриц М.Е. Исследование диаграмм состояния сплавов на основе магния. Диаграммы состояния металлических систем : Наука, 1965. 95-106 с.
16. Рохлин Л.Л. Влияние кальция на свойства сплавов системы Mg-Al. Металловедение и термическая обработка металлов. 2003. № 5. 14-17с.
17. Уткин Н.И. Производство цветных металлов : Интерметинжиниринг, 2002. 442 с.
18. Микляев П.Г. Механические свойства легких сплавов при температурах и скоростях обработки давлением : Машиностроение, 1994. 280 с.
19. Сверхлегкие конструкционные магниевые сплавы / М.Е. Дриц, Э.А. Свидерская , Ф.М. Елкин , В.Д. Трохова : Наука, 1972. 144 с.
20. Влияние легкоплавких металлов iv группы периодической системы элементов на структуру и свойства магниевого сплава / Шоломеев В.А., Э.И. Цивирко . *Металлург* 04.02.2009
21. Структура та властивості магнієвого сплаву МЛ5 з легкоплавкими металами / Д-р техн. наук В. А. Шоломєєв, Ю. О. Зеленюк, д-р техн. наук Е. І. Цивірко. *Вестник двигателестроения* № 1/2014
22. Рейнор Г.В. Металловедение магния и его сплавов : Metallurgia, 1964. 486 с.
23. KimJaeJoong. ModificationofMg2Simorphologyinsqueezecast Mg-Al-Zn-SialloysbyCaorPaddition : Scr. Mater. 1999. 41, № 3. P. 333-340.
24. Sun Y.S. Tensile strength and creep resistance of Mg-9Al-1Zn based alloys with calcium addition : Acta Met. Sin. 2001. 14, N 5. P. 330-334.
25. Min Xue-gang. Influence Ca on a microstructure and durability at a stretching of alloy AZ91 : Cailiaokexueyugongyi. Mater.Sci. and Tecnol. 2002. 10, N 1. P. 93-96.

26. Bai Jing. Microstructure and tensile properties of AE42-based magnesium alloys with calcium addition : J. Southeast Univ. 2004. 20, N 1. P. 43-48.
27. Vogel M. Precipitates in Mg alloy : GKSS. 2002. N 4. P. 77-78.
28. Yousuke T. Crushing of grain of cast details from magnesium alloys : Chiba kogyo kenkyu. Rept Chiba Inst. Technol. 1999. 46. P. 349–350.
29. Hot-tearing susceptibility of Mg –9Al –xZn alloy / Wang Yeshuang, Wang Qudong, Wu Guohua and oth.: Mater. Lett. 2002. 57, N 4. P. 929–934.