

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-фізичний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему “Вплив тугоплавких елементів на структуроутворення,
жароміцність і механічні властивості ливарного магнієвого сплаву
МЛ15””

Виконав: студент VI курсу, групи ІФ212-м
спеціальності (напряму підготовки)

132 Матеріалознавство

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Осадча К.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Шаломєєв В.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Щемко Р.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2017 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний
 Кафедра Фізичне матеріалознавство
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 132 Матеріалознавство (Прикладне матеріалознавство)
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

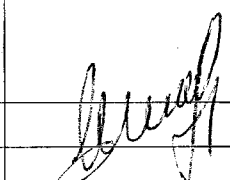
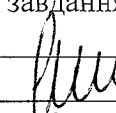
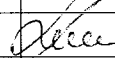
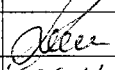
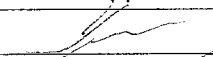
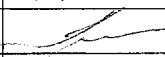


Завідувач кафедри д.т.н., професор
Ольшанецький В.Ю.
 “ 28 ” листопада 2017 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Осадчій Катерині Олександрівні
 (прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема проекту (роботи) Вплив тугоплавких елементів на структуроутворення, жароміцність і механічні властивості ливарного магнієвого сплаву МЛ5
 керівник проекту (роботи) Шаломеев Вадим Анатолійович, д.т.н., професор
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 2017 року № ___
- Строк подання студентом проекту (роботи) _____
- Вихідні дані до проекту (роботи) лита деталь – корпус паливного насосу авіаційного двигуна, ливарний магнієвий сплав МЛ5
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд літературних джерел; матеріали та методика дослідження; результати дослідження та їх обговорення; економічна ефективність від використання результатів дослідження; охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Корпус паливного насоса авіадвигуна Д-436-148 після експлуатації: структура і властивості; генезис діаграм стану магнію зі сприятливими до нього легувальними елементами; макрофрактограми (x5) та мікроструктура (x100) зразків із сплаву МЛ5 з Ti, Zr і Hf; характеристика структурних складових сплаву МЛ5 з тугоплавкими елементами; рентгено-спектральний аналіз інтерметалідів у поліпшеному сплаві МЛ5; механічні властивості поліпшеного сплаву МЛ5; вплив температури плавлення легувальних елементів на жароміцність нового магнієвого сплаву; виливка корпус паливного насоса, виготовлена з поліпшеного сплаву: структура і властивості.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймає виконання завдання
1-3	Шаломєєв В.А., професор		
4	Круглікова В.В., доцент	 23.10.17	 06.11.17
5	Нестеров О.В., доцент	 24.10.17	 07.11.17
Нормоконтроль	Климов О.В., доцент		 28.11.17

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

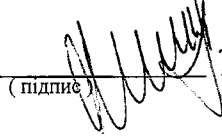
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Огляд літературних джерел	12.10.17	
2	Матеріали та методика дослідження	20.10.17	
3	Результати дослідження та їх обговорення	3.11.17	
4	Економічна ефективність від використання результатів дослідження	06.11.17	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	07.11.17	

Студент


(підпис)

Осадча К.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Шаломєєв В.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 87 с., 28 рис., 32 табл., 32 джерела, 8 ГЧ.

Об'єкт дослідження - поліпшений ливарний магнієвий сплав МЛ5, модифікований титаном, цирконієм і гафнієм.

Мета дослідження – вивчення впливу тугоплавких металів на структуроутворення, механічні властивості та жароміцність сплаву МЛ5.

У роботі досліджено можливість підвищення жароміцних властивостей сплаву МЛ5 за рахунок модифікування його магній-титановою, магній-цирконієвою та магній-гафнієвою лігатурою.

Проведено аналіз наукової інформації про вплив легувальних елементів на властивості ливарного магнієвого сплаву. Викладено методику проведення експерименту. Проаналізовано причини руйнування авіаційного литва «корпус паливного насосу». Проаналізовано вплив тугоплавких на механічні та жароміцні властивості сплаву МЛ5 та зроблені висновки. Розглянуто охорону праці при проведенні досліджень. Розраховано економічних ефект від впровадження нової технології у виробництво та ефективність проведених досліджень.

МЛ5, ТИТАН, ЦИРКОНІЙ, ГАФНІЙ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ,
ВИЛИВКА, ЖАРОМІЦНІСТЬ, ЛЕГУВАННЯ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА,
ІНТЕРМЕТАЛІДИ, ЗЕРНО, СТРУКТУРА.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	8
1.1 Загальна характеристика і застосування магнію.....	8
1.2 Аналіз промислових литих магнієвих сплавів	10
1.3 Легування магнієвих сплавів	11
1.4 Технологія виробництва литих деталей з магнієвих сплавів	19
1.5 Термічна обробка виливків з магнієвих сплавів	21
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Проведення плавки та термічної обробки	23
2.2 Механічні властивості та металографічні дослідження.....	26
2.3 Високотемпературні випробування.....	28
2.4 Рентгеноспектральний аналіз	29
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	31
3.1 Аналіз руйнування литих деталей після експлуатації.....	31
3.2 Аналіз впливу Zr, Ti, Hf на механічні властивості та жароміцність сплаву МЛ5.....	33
3.3 Виготовлення дослідної виливки з поліпшеного магнієвого сплаву	44
4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	47
4.1 Тенденції розвитку ринку магнію.....	47
4.2 Планування науково–дослідних робіт.....	50
4.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення НДР	56
4.3.1 Розрахунок вартості матеріалів	56
4.3.2 Спеціальне устаткування для науково–технічних робіт	57
4.3.3 Розрахунок вартості палива і енергії.....	57
4.3.4 Розрахунок амортизації універсального устаткування.....	59
4.3.5 Розрахунок заробітної плати	59

	6
4.3.6 Відрахування на соціальні заходи	60
4.3.7 Накладні витрати.....	60
4.3.8 Кошторис витрат	61
4.3.9 Бальна оцінка економічної ефективності науково–дослідної роботи.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	64
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	64
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	65
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	72
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	77
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	80
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	85

ВСТУП

В сучасному машинобудуванні широко застосовуються легкі кольорові сплави, зокрема на основі магнію. Головними перевагами магнієвих сплавів, що забезпечують їх широке застосування у техніці, є високі механічні властивості при малій питомій вазі, а також висока питома міцність, що робить використання легких матеріалів на основі магнію перспективним. Магнієві сплави знаходять широке застосування в авіаційній, автомобільній, текстильній і радіотехнічній промисловості, у виробництві переносних інструментів і в багатьох інших галузях техніки.

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

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

Найбільш поширеним авіаційним магнієвим сплавом є сплав МЛ5, що містить дешеві легувальні елементи – алюміній, цинк, марганець та інші домішки. Деталі з цього сплаву широко застосовуються для різних конструкцій в авіації, що забезпечує зменшення їх ваги та підвищенню експлуатаційних характеристик. Але, в ряді випадків, механічні та спеціальні властивості цього сплаву не відповідають сучасним вимогам, тому поліпшення сплаву МЛ5 за рахунок його модифікування є перспективним напрямком.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Загальна характеристика і застосування магнію

Магній – характерний елемент мантії 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 $\sim 1,74 \text{ г/см}^3$ 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 щільнопаковану 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/м^2 ; границя плинності 38 МН/м^2 ; відносне видовження 50%, твердість по Брінелю $200\text{...}300 \text{ МН/м}^2$) [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 роликотим 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 демпфуюча здатність магнієвих сплавів обумовлює застосування для виготовлення кожуха для розміщення електронної апаратури керованих снарядів [2].

1.2 Аналіз промислових литих магнієвих сплавів

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	МЛ3	–	–	–
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 сплава	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

За своїм хімічним складом ливарні магнієві сплави можуть бути віднесені до трьох основних груп (табл.1.3):

- Сплави системи Mg–Al–Zn: МЛ4, МЛ5, МЛ6;
- Сплави системи Mg–Zn–Zr: МЛ8, МЛ11, МЛ15;
- Сплави системи Mg–Zr–Nd: МЛ9, МЛ10, МЛ19.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад промислових магнієвих сплавів [5]

Група сплавів	Хімічний склад, мас. %				
	Al	Zn	Mn	Zr	Nd
Mg–Al–Zn	2,5...10,2	0,2...3,5	0,1...0,5	–	–
Mg–Zn–Zr	–	0,2...5,0	–	0,4...1,1	–
Mg–Zr–Nd	–	–	–	0,4...1,0	1,6...2,8

Примітка: магній – решта.

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.

1.3 Легування магнієвих сплавів

При виборі легувальних елементів перш за все необхідно враховувати їх вплив на механічні властивості магнію. Рисунок 1.1 демонструє вплив різних елементів на тимчасове опір розриву і відносне подовження магнію в залежності від вмісту легувального компонента.

До числа порівняно сильних зміцнювальних елементів по

відношенню до магнію належать: ітрій, алюміній, цинк і марганець. Однак марганець слабо впливає на тимчасовий опір розриву литих сплавів магнію. В області малих концентрацій досить сильне зміцнення надає скандій.

За впливом на пластичність магнію елементи можна розбити на дві групи:

а) елементи, що зменшують пластичність (Mn, Si);

б) елементи, що підвищують пластичність магнію при їх введенні до певної концентрації (Li, Zn, Al, Sc, Ce).

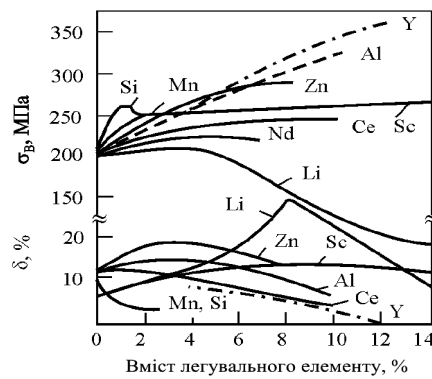
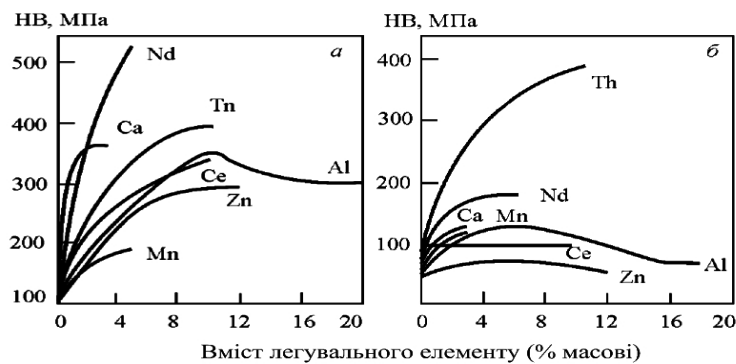


Рисунок 1.1 – Вплив вмісту легувальних елементів (у %) на міцність і пластичність магнію при 20°C (пресовані прутки) [3]

Алюміній і цинк – найбільш поширені легувальні елементи в магнієвих сплавах загального призначення, оскільки вони значно доступніші і мають нижчу вартість, ніж інші. Зміцнююча дія алюмінію і цинку зберігається лише до температур 150...200°C (рис. 1.2). При температурах 150... 200°C найбільш сильно підвищує жароміцні властивості магнію неодим і в дещо меншій мірі торій. При температурах 250...300°C, навпаки, торій



забезпечує більш високу твердість, ніж неодим.

Рисунок 1.2 – Вплив вмісту легувальних елементів (у %) на твердість магнію при температурах 150°C (а) і 250°C (б) (М.Е. Дриц)

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. 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.

У сплавах системи Mg–Al–Zn основним зміцнювальним елементом є алюміній. Діапазон концентрацій алюмінію в промислових магнієвих сплавах становить 1...10 %, всі вони є неевтектичними за рівноважної діаграми [6]. Їх

можна поділити на три категорії:

- сплави, що містять 1...3 % Al, характеризуються високими показниками міцності і пластичних властивостей, але мають низьку рідкотекучість і високу гарячеламкість;

- сплави, що містять 4...7 % Al, поєднують високі механічні властивості і задовільну технологічність;

- сплави, що містять 8...10 % Al, відносяться до найбільш технологічних сплавів, але мають невисоку пластичність.

Алюміній утворює з магнієм твердий розчин з обмеженою розчинністю і інтерметаліди Al_3Mg_4 , Al_2Mg_3 і $Al_{12}Mg_{17}$. Дані щодо розчинності Al в Mg складають 11,6 ат. % при 438 °C і 1,3 ат. % при 100 °C [7].

Промислові сплави магнію з алюмінієм відносяться до старіючих, що 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 1.3, 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 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.

Максимальна твердість сплавів магнію з алюмінієм досягається ще до повного виділення цієї фази з твердого розчину. При цьому, саме γ -фаза, що розташовується по межах зерен, безпосередньо відповідальна за зміцнення

цих
[7].

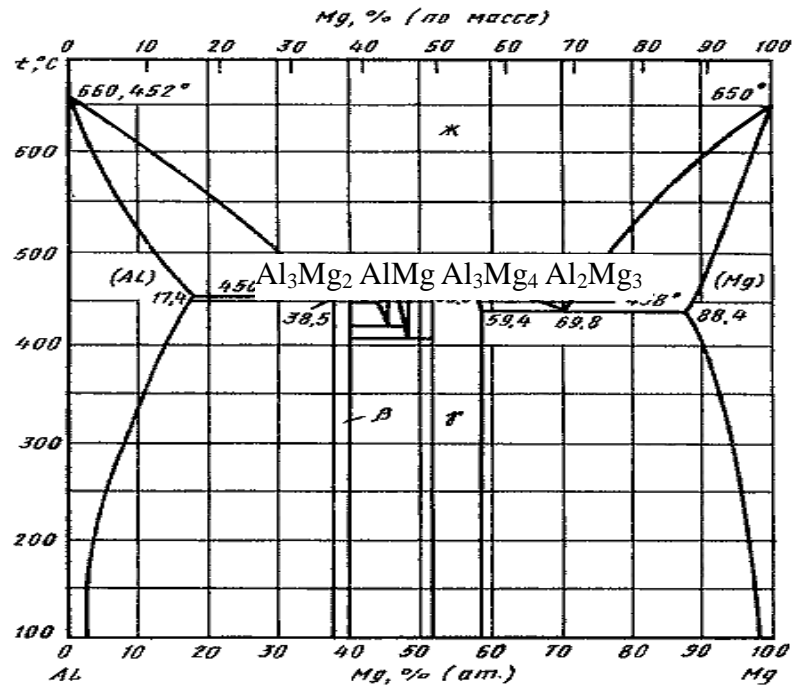


Рисунок 1.3 – Mg–Al Діаграма стану [7]

Марочний вміст цинку впливає в меншій мірі на механічні властивості сплаву. Він утворює з магнієм твердий розчин (рис. 1.4), а також інтерметаліди $Mg_{51}Zn_{20}$, $MgZn$, Mg_2Zn_3 , $MgZn_2$, Mg_2Zn_{11} , що мають незначні області гомогенності .

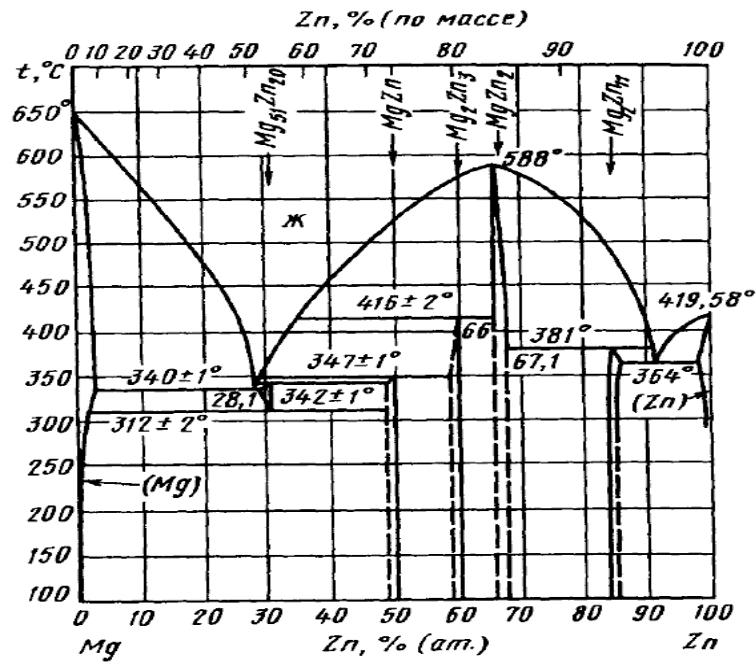


Рисунок 1.4 – Mg–Zn Діаграма стану [7]

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 [8].

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°C [3]. При вмісті цинку в магнієвих сплавах в межах 0,1...2 % підвищується горячеламкість [6], а при збільшенні його до 4% забезпечується текучість і низька горячеламкість. Інші дослідники [9] 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 $Mg_{32}(Al,Zn)_{49}$.

Сплави системи $Mg-Al-Zn$ мають високі ливарні властивості, достатню міцність і пластичність, проте їх жароміцні показники є низькими [10].

Здатність цирконію подрібнювати зерно магнієвого сплаву пов'язана з утворенням при охолодженні розплаву великого числа дрібних кристалів цирконію, які служать додатковими центрами кристалізації. В роботі [11] показано, що цирконій в кількості до 2 % в магнієвому сплаві значительно подрібнює зерно.

Цирконій має обмежену розчинність в гратці магнію і його гранична розчинність становить 0,985 % (рис. 1.5).

Цирконій характеризується високою хімічною активністю по відношенню до легувальних компонентів магнієвих сплавів, домішкам і газам.

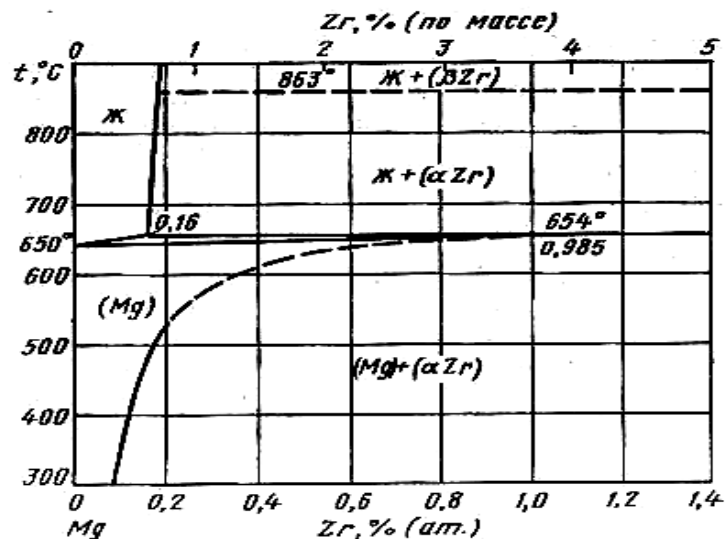


Рисунок 1.5 – Діаграма стану $Mg-Zr$ [7]

Цей елемент сприяє отриманню щільних виливків і перешкоджає виникненню газових пор. Разом з тим, дегазуюча здатність цирконію

залежить від вмісту в магнії цинку. При вмісті в сплаві 4,5 % Zn утворення гібридної σ -фази пригнічується і виникають інтерметаліди Zn_2Zr_3 [12].

Під час виплавки магнієвих сплавів в сталевих тиглях присадка цирконію очищає розплав від заліза за рахунок утворення і подальшого видалення фази Fe_2Zr . У свою чергу, поглинання магнієвим розплавом заліза зі стінок тигля знижує вміст цирконію в розплаві.

Цирконій зменшує розчинність вуглецю в магнієвому розплаві, утворюючи власні карбіди. В цьому випадку, ефект впливу вуглецю в сплавах, що містять цирконій, помітно знижується [13].

Структура литих сплавів системи Mg–Zn–Zr складається з твердого розчину цинку і цирконію в магнії, і інтерметалідної фази, кількість якої зростає зі збільшенням вмісту легувальних елементів. Після термічної обробки структура сплаву складається з α – твердого розчину з присутністю цирконідів цинку або елементарного цирконію. Сплави системи Mg–Zn–Zr мають високі технологічні властивості, підвищений рівень механічних і жароміцних властивостей [14].

Сплави системи Mg–Zr–Nd відносять до категорії жароміцних і вони значно переважають за цим показником сплави інших систем [15]. Механізм підвищеною жароміцності складається з наступних чинників [16]:

- створення складнолегованого термічно–стабільного розчину;
- дрібнодисперсна структура;
- підвищена термічна стабільність зміцнювальних фаз.

Дія цирконію в цих сплавах, як і в сплавах системи Mg–Zn–Zr, зводиться до отримання дрібнозернистої структури виливків, що забезпечує їх високі механічні властивості. Також цей легувальний елемент забезпечує рафінування сплаву від шкідливих домішок.

Сплави на основі системи Mg–Nd (МЛ9, МЛ10) вирізняються високими механічними властивостями при кімнатній температурі, високою жароміцністю, задовільними ливарними і технологічними властивостями.

Сплави зміцнюються термічною обробкою. У мікроструктурі сплаву МЛ9 (литий стан), по межах зерен α -твердого розчину (рис. 1.6) помітні виділення евтектики (α + Mg_9Nd). Крім того, в структурі присутні включення частинок α -Zr та Mg_9Nd , які утворюються при розпаді α -твердого розчину.

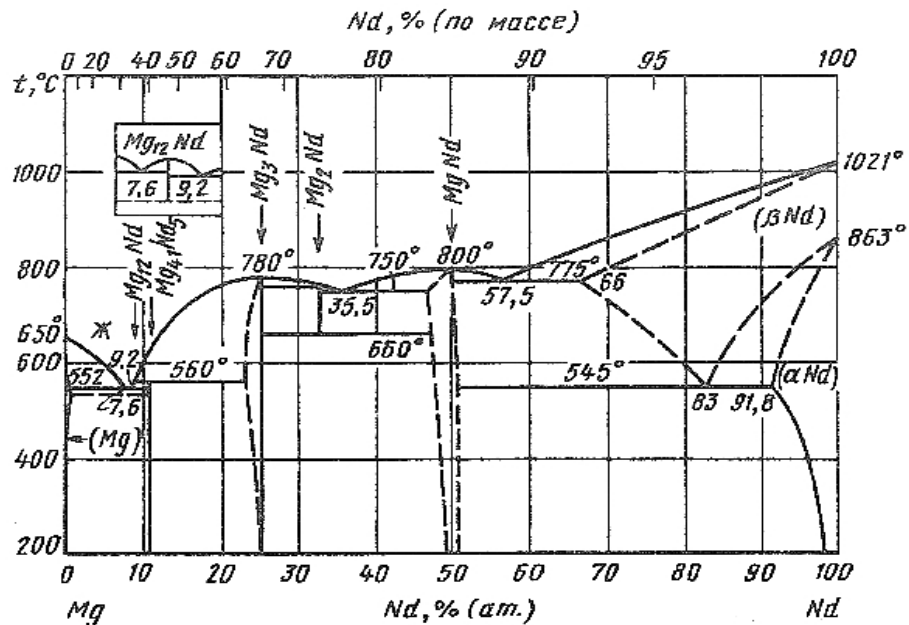


Рисунок 1.6 – Діаграма стану Mg–Nd [7]

Широке застосування сплавів такої системи обмежується високою вартістю легувальних елементів.

Хоча атомний фактор титану, цирконію, і гафнію знаходяться в межах сприятливою зони по відношенню до магнію, але їх розчинність в твердому стані у всіх випадках обмежена. Метали підгрупи IVA рідко утворюють широку область твердих розчинів, за винятком інших елементів цієї підгрупи з аналогічними електронними структурами [17].

Автори роботи [18] встановили, що температура кристалізації магнію не змінюється при введенні в його розплав титану (рис. 1.7). Металографічні дослідження злитків магнію з титаном показали, що частинки титану механічно включені в магній, утворюючи області сегрегації. Таким чином, весь титан, що знаходиться в рідкому магнії, виділяється з розплаву при його затвердінні. Інші автори вважають, що титан в кількості 0,2...0,4 % зміцнює

магнієвий сплав і підвищує його пластичність за рахунок утворення інтерметаллідних фаз [19]. Відомо дуже мало даних про вплив титану на механічні властивості магнію і його сплавів. В даний час титан практично не використовується як легувальна добавка до магнію.

З елементів IV групи Періодичної системи, гафній є дорогим і найменш поширеним елементом. Мабуть з цим пов'язана відсутність досліджень впливу гафнію на механічні властивості магнію і його сплавів [24]. Ряд дослідників також стверджують, що ці метали не сплавляються навіть після тривалої витримки при високих температурах [20].

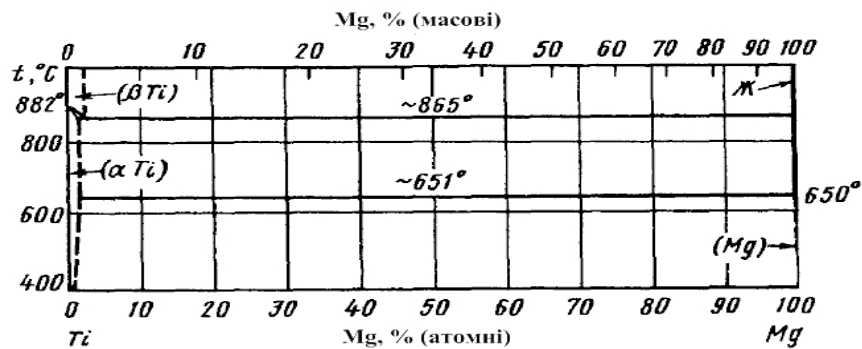


Рисунок 1.7 – Діаграма стану Ti–Mg [7]

1.4 Технологія виробництва литих деталей з магнієвих сплавів

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 відливків [21].

Основою більшості флюсів є карналіт ($MgCl_2 \cdot KCl$). 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 4.1.

Таблиця 1.4 – Склади флюсів для плавки магнієвих сплавів

Флюс	Склад, % (за масою)						
	$MgCl_2$	KCl	NaCl	$CaCl_2$	$BaCl_2$	CaF_2	H_2O
ВИ 2	38–46	32–43	–	10	5–9	3–5	<3
ВИ 3	30–40	25–36	<7	<7	–	15–20	<3

Флюс при перегріві сплаву до $900^{\circ}C$ утворює міцну щільну коринку, що захищає сплав від окислення. Не дивлячись на позитивний вплив, із застосуванням флюсів пов'язано ряд ускладнень: попадання флюсів у відливки, утворення зосередків інтенсивної корозії (із-за високої його гігроскопічності), необхідність добавки свіжого флюсу для захисту голого розплаву у результаті розтріскування кірки окисленого флюсу, інтенсивна корозія під дією пилу флюсу, у вологій атмосфері, на сталеві конструкції цеху

[22].

1.5 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.

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...280°C. Найчастіше рекристалізаційне відпалення проводять при температурах 250–350°C, при більш високих температурах відбувається зростання зерна, погіршує механічні властивості магнієвих сплавів. Швидкість охолодження не має суттєвого впливу на механічні властивості.

Магнієві сплави зміцнюються гартуванням та старінням. На рисунку 1.7 показано зміни у мікроструктурі ливарного сплаву МЛ5 після зміцнювальної термообробки. 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.

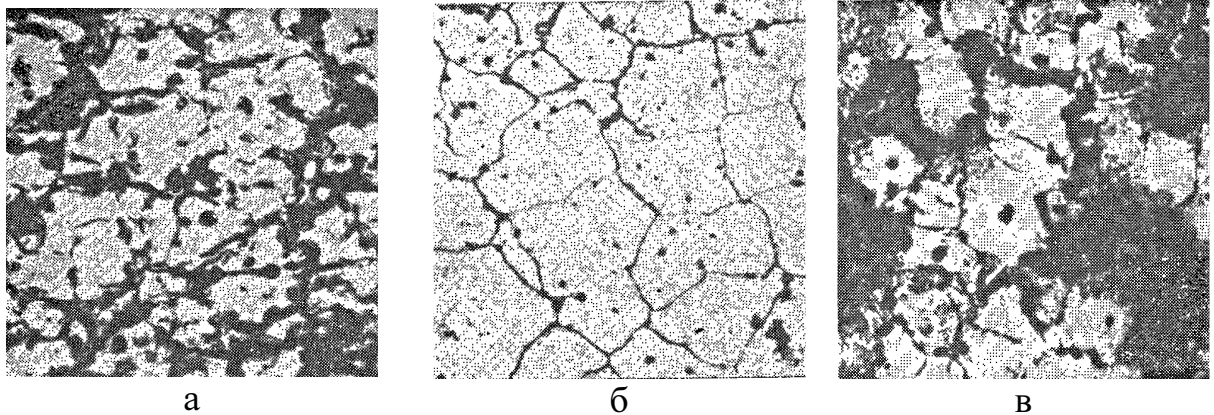


Рисунок 1.8 – Мікроструктура сплаву МЛ5, x100: а – в литому стані; б – в загартованому стані ; в – після гартування і старіння [5]

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. 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 дисперсионному твердненню при утриманні більше 2 % Al. Помітне зміцнення спостерігається при вмісті більше 4...6 % Al [2]. 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. Вони мають форму пластинок, поверхня яких паралельна площинам (0001) матриці. При підвищенні температури і тривалості старіння друга фаза починає збільшуватись і ефект зміцнення знижується.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході проведення робіт по дослідженню впливу тугоплавких елементів на властивості магнієвого сплаву МЛ5 були проведені наступні етапи: приготування форм для отримання зразків; модифікування розплаву магній–титановою, магній–гафнієвою та магній–цирконієюю лігатурою; заливка зразків; вибивка та опилювання зразків; випробування на розтяг; дослідження мікроструктури зразків; випробування мікротвердості зразків; рентгеноспектральний аналіз 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 печі ІПМ–500

Найменування параметрів	ІПМ–500
Вміст печі, кг	500
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
Габарити (довжина×ширина×висота), мм	1300×1150×480

Хімічний склад отриманого магнієвого сплаву МЛ5 наведений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад сплаву МЛ5 за ГОСТ 2856–79

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

Введення лігатур, що містять Ti, Zr та Hf, проводили у розливочній ложці об'ємом 10 літрів при температурі сплаву 740–760°C. Для виявлення оптимальної концентрації досліджувальних елементів у сплаві з максимальними фізико–механічними властивостями заливали різні варіанти у підготовленні форми для зразків (рис. 2.1) поступово підвищуючи концентрацію легувальних елементів у даному об'ємі.

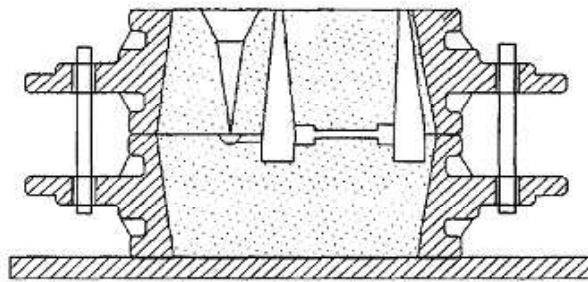


Рисунок 2.1 – Схема ливарної форми для одержання зразків

Термічну обробку дослідного металу проводили по режиму Т–6 (див. табл. 2.4) у термічних печах типу Бельв'ю та ПАП–4М.

Таблиця 2.4 – Режим термообробки Т–6 для експериментальних зразків

Гартування			Старіння	
Температура нагріву, °С	Час витримки, год	Охолоджувальне середовище і його температура, °С	Температура нагріву, °С	Час витримки, год
415±5	12–24	повітря	175±5	12–16

Технічні характеристики даних печей представлені у таблиці 2.5 та таблиці 2.6.

Таблиця 2.5 – Характеристика термічної шахтної печі типу Бельв'ю

Характеристика	Значення
1	2
Потужність, кВт	112

Напруга, В	380
Робоча температура, ° С	580
Допустимий перегрів температури, °С	±5
Габарити робочого простору, мм	
висота	2720
діаметр	2085
Габарити агрегату, мм	

Продовження таблиці 2.5

1	2
висота	3285
діаметр	2430
Керування агрегату ручне з пульта керування	
Продуктивність, кг/год	95
Максимальне завантаження, кг	1200

Таблиця 2.6 – Характеристика термічної печі типу ПАП–4М

Параметр	Величина
1	2
Частота обертання ротора, об/хв	1470
Потужність електродвигуна, квт	28
Макс. температура нагріву, °С	420
Час першопочаткового розігріву без садки, год	0,5–3,5
Допустимий перегрів температури, °С	±5
Габарити робочого простору, мм	
довжина	1250
ширина	1450
висота	2000
Габарити агрегату, мм	

довжина	3670
ширина	2150
висота	2190
Керування агрегату ручне з пульту керування	
Продуктивність, кг/год	50

2.2 Механічні властивості та металографічні дослідження

Механічні властивості досліджуваного магнієвого сплаву вивчали на литих зразках (рис. 2.2) за ДСТУ 2839–94. Розміри наведені у таблиці 2.3

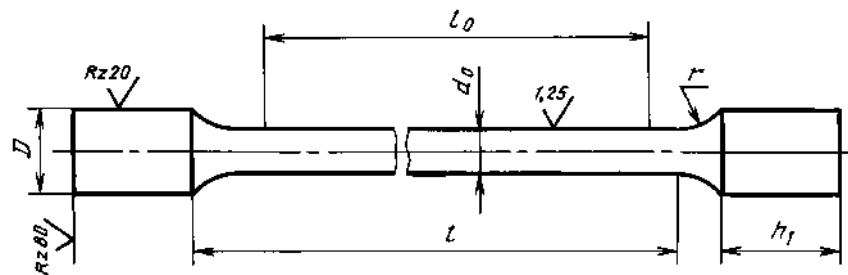


Рисунок 2.2 – Форма і розмір зразка для лиття у піщану форму за ДСТУ 2839–94

Таблиця 2.7 – Розміри зразків відлитих у піщану форму за ДСТУ 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 ДСТУ 1497–84 проводили на розривній випробувальній машині “INSTRUN” 2801.

Мікроструктуру вивчали методом оптичної мікроскопії («Neofot 32») на термічно оброблених зразках до й після травлення в реактиві: 1 % азотна кислота; 20 % оцтова кислота; 19 % дистильована вода; 60 % етиленглицоль.

Мікротвердість досліджуваного метала проводили на установці мікротвердомір “Buehler” MM7T.

Випробування на мікротвердість вдавленням 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:

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

У формулі (2.1) прийняті наступні позначення:

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 і β – кути різних загострень алмазних наконечників, град.

2.3 Високотемпературні випробування

Високотемпературні випробування проводили за ДСТУ 9651–84 на розривній машині "INSTRUN" 2801. Тривалість нагрівання становила 1 год. до температури випробування 150°C.

Зразки для високотемпературних випробувань виготовляли за ДСТУ 1497–84 (рис. 2.3, табл. 2.4).

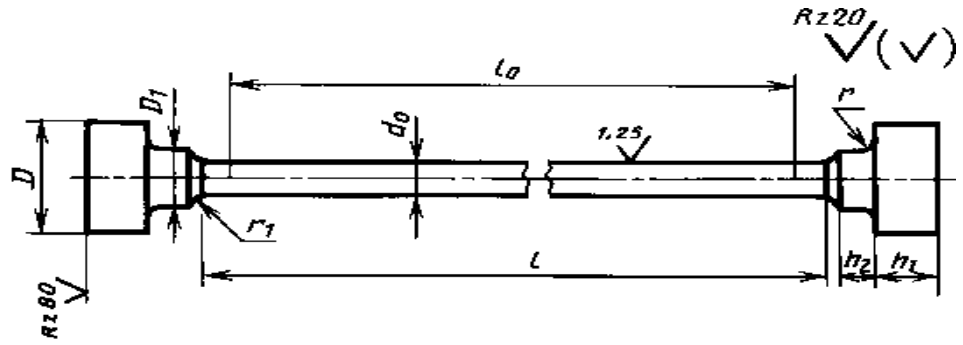


Рисунок 2.3 – Механічно оброблений зразок за ДСТУ 1497–84

Таблиця 2.8 – Розміри зразків відлитих у піщану форму за ДСТУ 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	$l_0(0.5...2.0)d$ 0	12	7	5	4	1.0	2.5

2.4 Рентгеноспектральний аналіз

Рентгеноспектральний аналіз використовували для якісного і кількісного визначення хімічного складу. Заснований на залежності інтенсивності характеристичних ліній флюоресенції 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 (рис. 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 – характерне рентгенівське випромінювання, що виникає при взаємодії електронного зонда з поверхнею зразка. 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 юстирування.

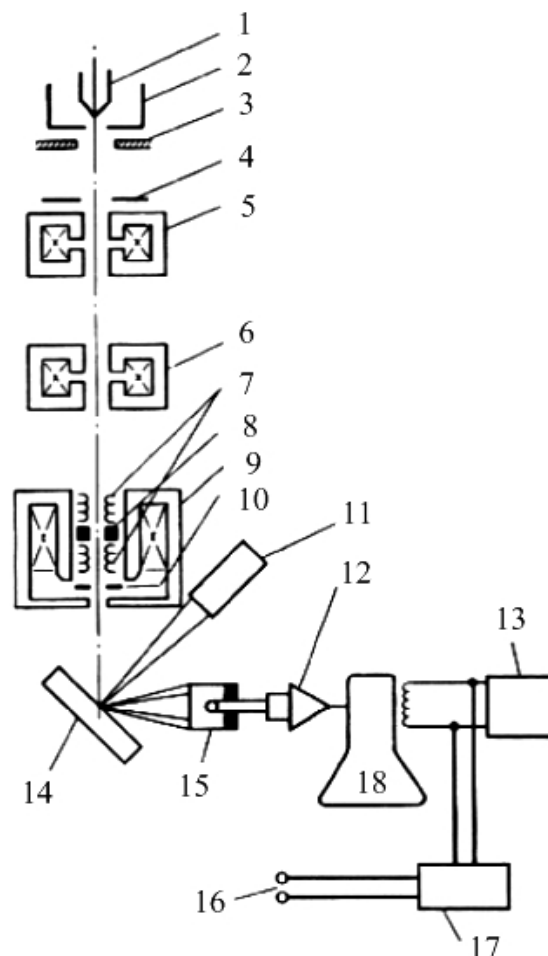


Рисунок 2.4 – Схема електронної оптики РЭММА:

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 [23].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Аналіз руйнування литих деталей після експлуатації

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.

Руйнування конструкцій в експлуатації, що призводять до аварійних відмов і катастроф, відносно рідкісні; для серійних виробів вони складають тисячні і мільйонні частки відсотка від загальної кількості експлуатованих виробів. Тому абсолютно очевидна необхідність встановлення об'єктивних причин руйнування для запобігання їм в подальшому .

Авіаційні двигуни, які пройшли гарантовані строки експлуатації, проходять технічне обслуговування, при якому вони розбираються і проводиться оцінка якісних показників окремих деталей і вузлів. При цьому, на поверхні литої деталі («корпус паливного насоса»), що виготовленф з магнієвого сплаву МЛ5 і має складну конфігурацію (рис. 3.1), можуть виявлятися тріщини.



Рисунок 3.1 – Авіаційна виливка зі сплаву МЛ5: корпус паливного насоса

Згідно техпроцесам і ТУ на виливки якість їх поверхні оцінюється кольоровим і люмінесцентним методами. Макроструктура таких тріщин (рис. 3.2, а) мала складчастий рельєф, часто з оплавленими межами зерен (рис. 3.2, б). Поверхня тріщини була покрита щільним шаром оксидів, а сама тріщина розвивалася по межах зерен (рис. 3.3).

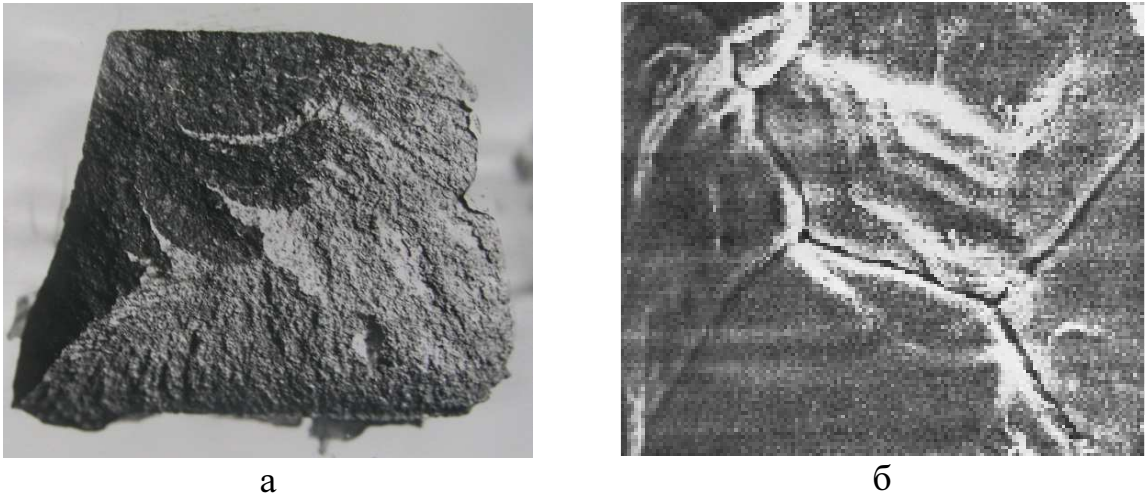


Рисунок 3.2 – Характерний макрозлам (а, х3) і мікроструктура сплава МЛ5 (б, х300)



Рисунок 3.3 – Розповсюдження тріщини в сплавi МЛ5 по межах зерна, х200

Основна маса розглянутих тріщин виникала у разі роботи двигунів понад гарантійний період експлуатації і при великих перевантаженнях у

критичних режимах (тобто при перегріві металу).

Проведені аналізи хімічного складу і механічних властивостей зразків металу, вирізаного з литих деталей, показали, що вони відповідають вимогам ДСТУ 2856–79 (табл. 3.1). Таким чином стандартний магнієвий сплав МЛ5, задовольняючи вимогам нормативно–технічної документації і забезпечуючи гарантовані строки експлуатації агрегатів, не завжди забезпечують необхідні властивості виробів при роботі авіадвигунів з великими перевантаженнями в критичних режимах і вимагають підвищення їх жароміцності.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад і механічні властивості литих деталей з магнієвого сплаву МЛ5 після експлуатації

Хімічний склад, мас. %						Механічні властивості	
Al	Mn	Zn	Zr	Nd	Mg	σ_B , МПа	δ , %
7,7...8,9	0,17...0,45	0,20...0,75	–	–	осн.	227...238	2,2...3,4

3.2 Аналіз впливу Zr, Ti, Hf на механічні властивості та жароміцність сплаву МЛ5

В останній час проводять дослідження для визначення впливу легувальних елементів на фізико–механічні і експлуатаційні властивості магнієвих сплавів. Однак кількість наукових публікацій [24–25], присвячених виявленню природи зміцнення таких сплавів після легування і модифікування, взаємозв'язок їх зі структурним станом металу є недостатнім.

Для забезпечення високих механічних властивостей та жароміцності литих магнієвих сплавів застосовують наступні методи:

- утворення складнолегованих твердих розчинів з підвищеною температурою плавлення;
- зміцнення термостабільними дисперсними частинками;
- оптимальна структура після термообробки.

Для забезпечення підвищеного комплексу властивостей литих магнієвих

сплавів необхідне поєднання усіх трьох способів.

Складнолеговані тверді розчини утворюються у результаті розчинення елементів у магнію при певному співвідношенню атомних розмірів, які, згідно Юм–Розері [26], повинні відрізнятися не більше ніж на 15 %. Якщо ця умова не виконується, то відбувається зниження енергії зв'язку атомів розчинника і легувальних елементів, і внаслідок спотворення кристалічної ґратки матриці їх розчинність зменшується.

З усього різноманіття легувальних елементів лише деякі з них, які мають сприятливий фактор по співвідношенню атомного діаметра ($\leq 15\%$) і електронегативності ($\leq 0,4$), здатні утворювати тверді розчини з магнієм, зміцнюючи його [27].

В зв'язку з цим, практичний інтерес представляють тугоплавкі метали 4Б підгрупи періодичної таблиці системи елементів, які мають близький з магнієм атомний радіус.

Для підвищення жароміцності сплаву необхідно, щоб температура плавлення легувальних елементів була вище температури плавлення основи сплаву. Тому перспективними елементами для легування магнієвих сплавів з метою підвищення як фізико–механічних властивостей, так і жароміцних, є: Nd, Ge, Si, Y, Sc, Zr, Ti, Hf.

Генезис діаграм стану магнію з легувальними елементами (від германію до гафнію) (рис. 3.4) показав, що з підвищенням температури плавлення елемента відбувається трансформація діаграм стану від евтектичного типу до перитектичного. При цьому, зі зростанням температури плавлення елемента підвищується і температура плавлення проміжних фаз, забезпечуючи гетерогенну структуру, стійку до впливу підвищених температур.

Таким чином, перспективними легувальними елементами, здатними підвищити жароміцність сплаву МЛ5 є Zr, Ti, Hf, як ті, що мають найвищі температури плавлення.

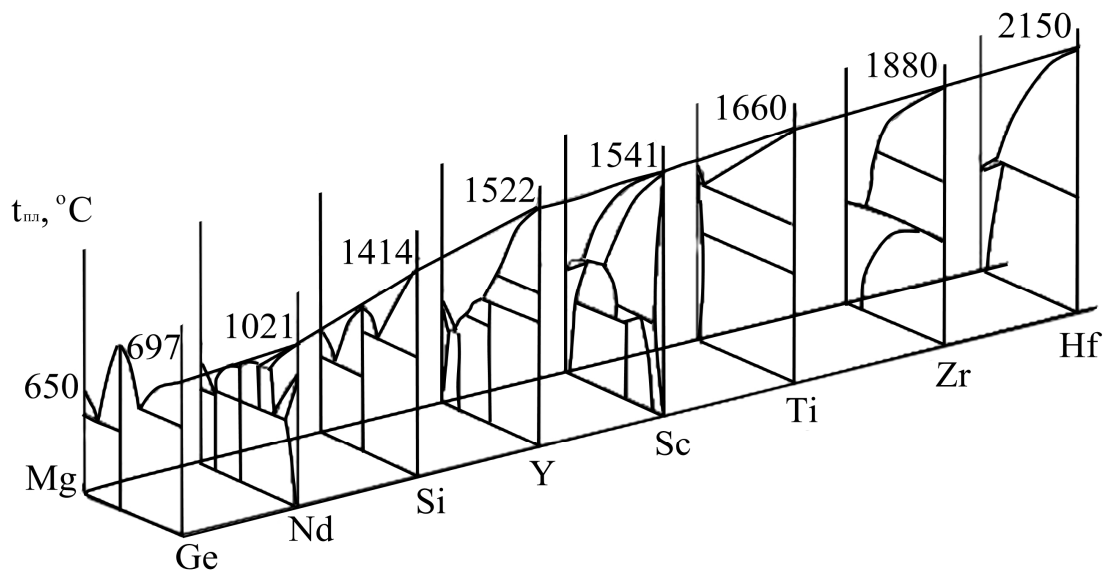


Рисунок 3.4 – Генезис діаграм стану магнію з сприятливими до нього легувальними елементами

Вивчали вплив вмісту Ti, Zr та Hf (в межах 0,05...1,0 % кожного) на структуру і властивості сплаву МЛ5.

Хімічний склад сплаву МЛ5 досліджуваних варіантів задовольняв вимогам ДСТУ 2856–79 і за змістом основних елементів знаходився приблизно на одному рівні (8,4 % Al, 0,30 % Mn, 0,32 % Zn, 0,014 % Fe, 0,005 % Cu, 0,030 % Si). Макрофрактографічне дослідження зламів зразків сплаву МЛ5 з титаном, цирконієм та гафнію показало, що ці елементи подрібнювали макрозерно (рис. 3.5). З ростом вмісту Ti, Zr та Hf в сплаві зменшувалися кількість евтектики, розміри структурних складових (рис. 3.6) і відстані між осями дендритів другого порядку (табл. 3.2). Вплив цих елементів на мікротвердість матриці збільшувалася від титану до цирконію та гафнію (див. табл. 3.2).

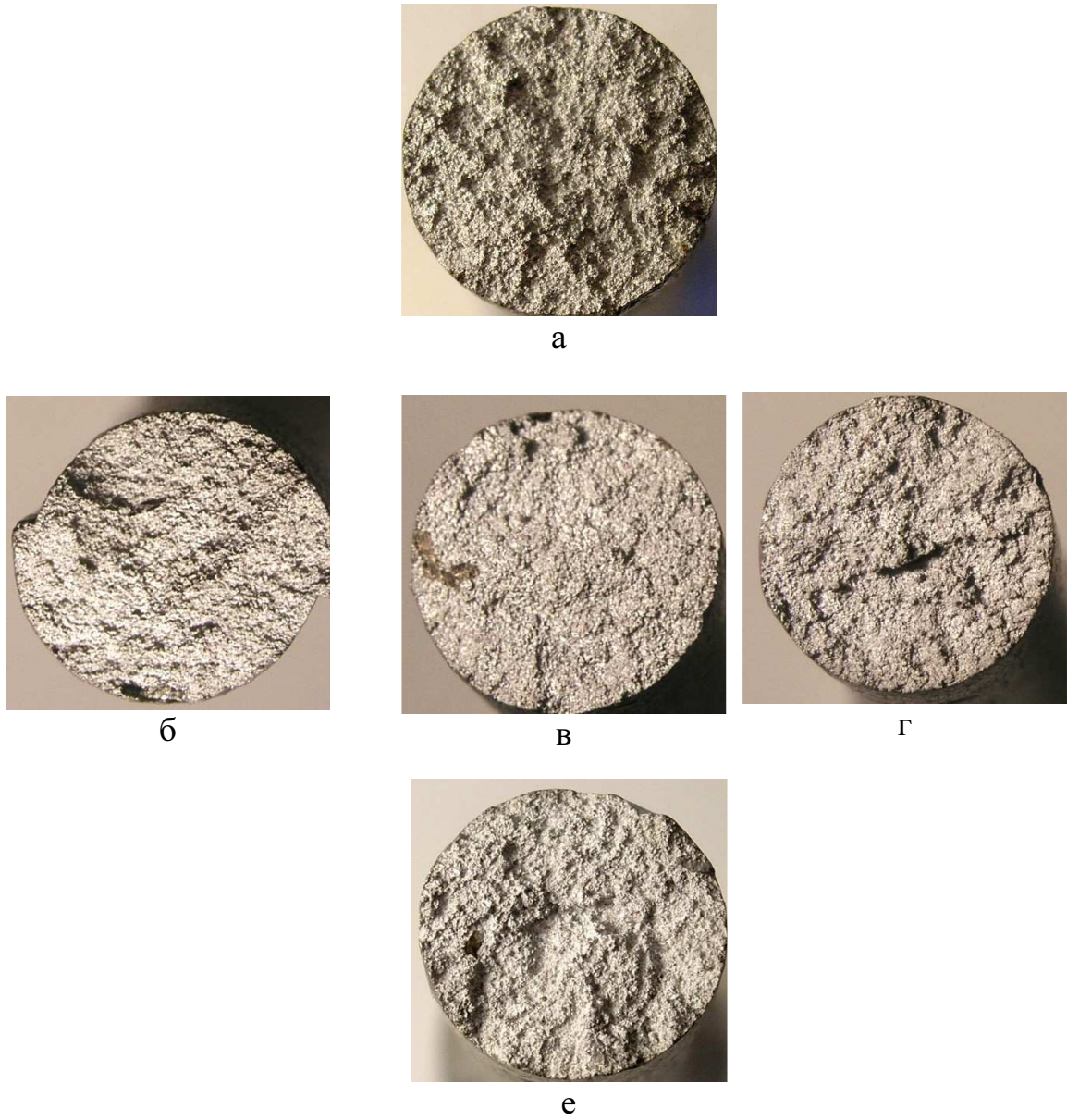
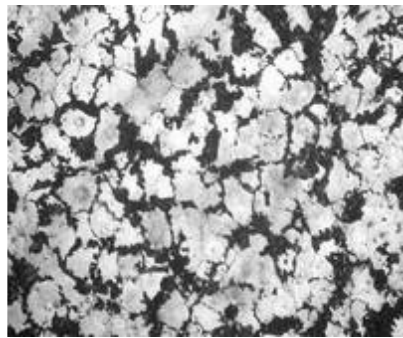


Рисунок 3.5 – Макрофрактограми зразків із сплаву МЛ5, х5: а – стандартний сплав; б – 0,05 % Ti; в – 0,1 % Ti; г – 1,0 % Ti; д – 0,05 % Zr; е – 0,1 % Zr; є – 1,0 % Zr; ж – 0,05 % Hf; з – 0,1 % Hf; і – 1,0 % Hf



а

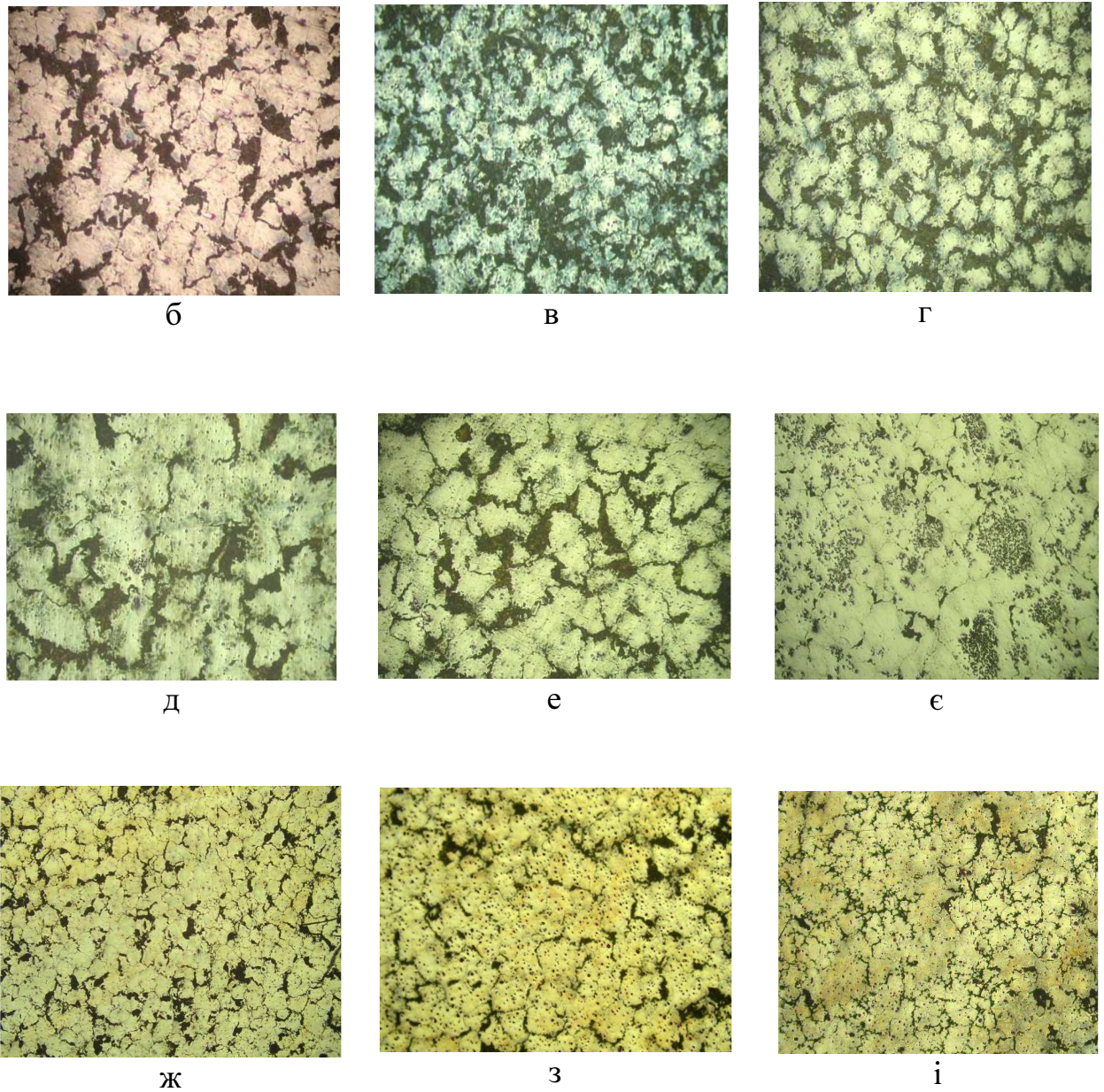


Рисунок 3.6 – Мікροструктура зразків із сплаву МЛ5, x100: а – стандартний сплав; б – 0,05 % Ti; в – 0,1 % Ti; г – 1,0 % Ti; д – 0,05 % Zr; е – 0,1 % Zr; є – 1,0 % Zr; ж – 0,05 % Hf; з – 0,1 % Hf; і – 1,0 % Hf

Таблиця 3.2 – Характеристики структурних складових МЛ5 з Ti, Zr та Hf

Елемент	Вміст, %	Розмір мікрозерна,	Відстань між осями дендритів	Мікротвердість матриці, HV, МПа
---------	----------	--------------------	------------------------------	---------------------------------

	розр.	мкм	2го порядку, мкм	до т/о	після т/о	після τ_{150}^{80}
стандартний		140	21	1115,9	1256,5	1286,5
Ti	0,05	120	18	1120,2	1265,6	1281,1
	0,1	100	16	1127,8	1270,7	1288,1
	1,0	100	16	1135,5	1283,3	1292,9
Zr	0,05	105	17	1166,8	1235,3	1278,8
	0,1	100	16	1198,3	1265,6	1305,5
	1,0	70	16	1215,4	1297,9	1324,2
Hf	0,05	110	17	1188,9	1256,6	1318,9
	0,1	100	16	1233,5	1294,4	1346,6
	1,0	70	15	1270,4	1321,1	1387,7

Досліджувані елементи сприяли подрібненню інтерметалідної фази. При цьому, її об'ємний відсоток збільшувався з підвищенням концентрації досліджуваних елементів у сплаві (табл. 3.3). Вміст елементів в межах 0,05...0,1 % інтенсивно збільшувало об'ємний відсоток сферичних інтерметалідів при незмінному об'ємному відсотку пластинчастих. Подальше зростання концентрації елементів незначно підвищував об'ємний відсоток сферичних інтерметалідів, що знаходяться всередині зерна, і інтенсивно – пластинчастих.

МРСА інтерметалідної фази сплаву МЛ5 з титаном, цирконієм та гафнієм показав наявність цих елементів у складі інтерметалідів (рис. 3.7, 3.8, 3.9).

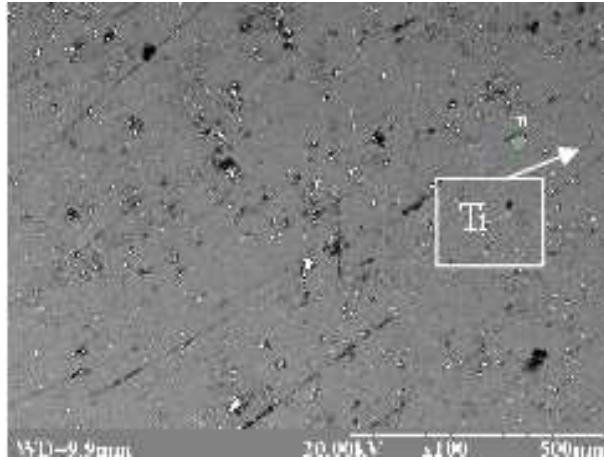
Таблиця 3.3 – Об'ємний відсоток інтерметалідів (V) та його розподіл за розмірними групами сплав МЛ5 з Ti, Zr та Hf

Елемент	Вміст ,% розр.	Розподіл інтерметалідів ($V \cdot 10^{-3}$, %) по розмірним групам, мкм						
		< 2	2... 3,9	4... 7,9	8... 11,5	11,6 ...15	15,1 ...19	Всього
стандартний		6/0*	18/54	36/30	30/12	30/12	18/0	138/108
Ti	0,05	60/0	84/60	54/36	24/24	12/0	6/0	240/120
	0,1	90/18	126/78	18/30	18/18	6/0	0/0	258/144
	1,0	120/60	168/66	24/36	18/18	6/0	0/0	336/180
Zr	0,05	36/6	30/42	54/30	18/42	6/0	12/0	156/120
	0,1	60/18	30/84	60/30	18/24	0/0	12/0	180/156
	1,0	66/60	54/84	126/24	12/12	6/0	0/0	264/180
Hf	0,05	66/6	84/78	42/36	24/24	12/6	6/6	234/156
	0,1	66/12	132/120	84/36	12/8	12/0	0/0	306/186
	1,0	126/72	84/108	96/24	18/0	0/0	0/0	324/204

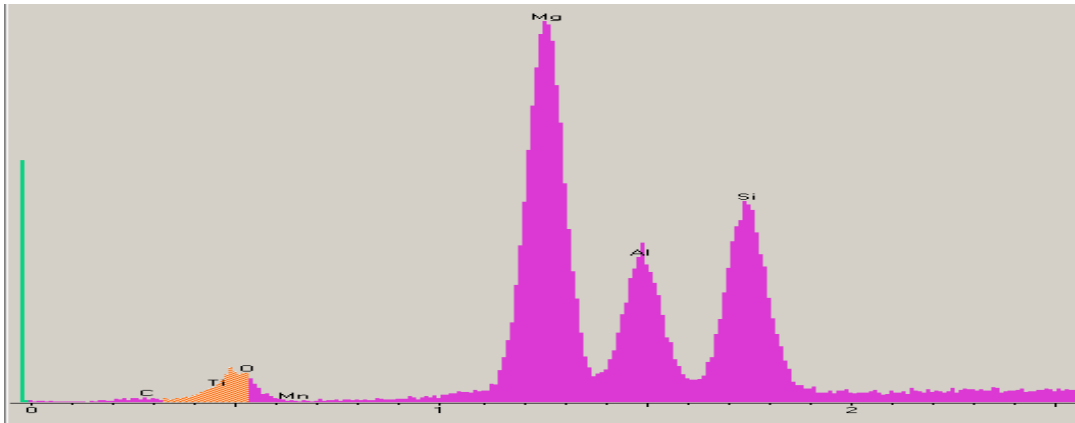
*Об'ємна частка пластинчатих/сферичних інтерметалідів

Вміст Ti, Zr та Hf в інтервалі 0,05...0,1 % підвищував пластичність сплаву МЛ5 за рахунок подрібнення зерна. Однак, при утриманні їх в сплаві до 1,0 % цей показник зменшувався за рахунок утворення надлишкової кількості інтерметалідної фази, окрихчуючої метал. Підвищувалася границя міцності і жароміцність сплаву. Ефективність їх впливу на властивості сплаву збільшувалася від титану до цирконію та гафнію і підвищувалася зі збільшенням їх змісту.

Таким чином, добавки Ti, Zr та Hf подрібнювали структуру сплаву МЛ5, збільшуючи об'ємний відсоток дрібних інтерметалідів, підвищували міцність, пластичність і жароміцність сплаву (табл. 3.4).



а



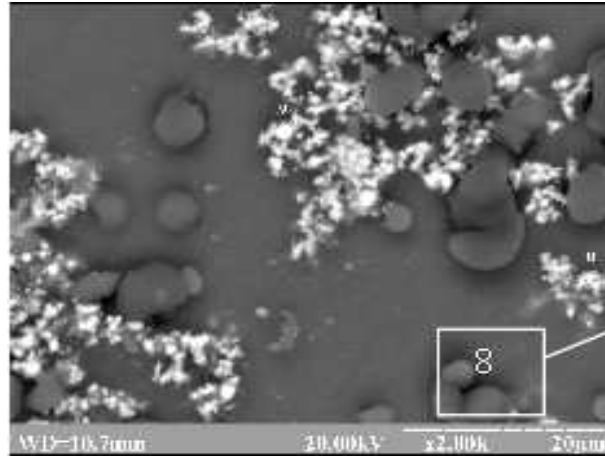
б

Ділянка	Mg	Al	Si	Ti	Сума
Ti	35,49	21,14	21,57	21,80	100

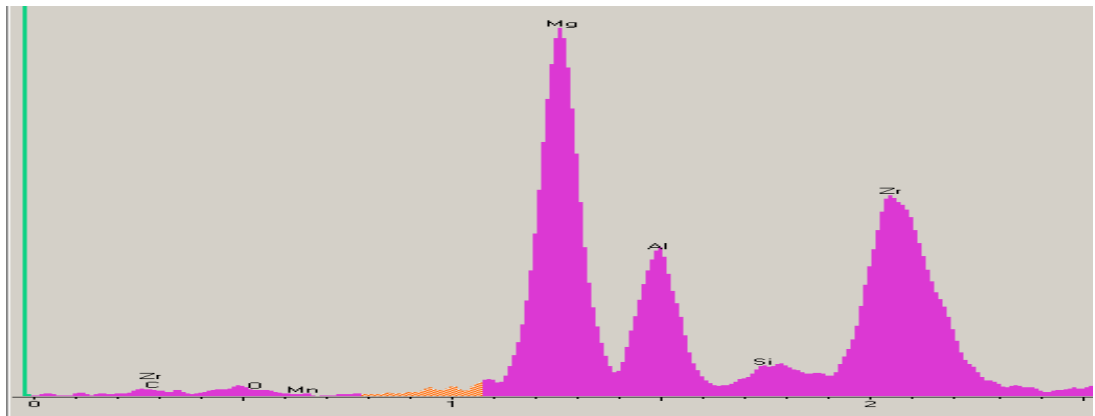
в

Рисунок 3.7 – Результати МРСА інтерметаліда в сплаві МЛ5 з 1,0 % Ті:

а – місце аналізу; б – спектрограма аналізованого місця; в – хімічний склад ділянки (мас. %)



а



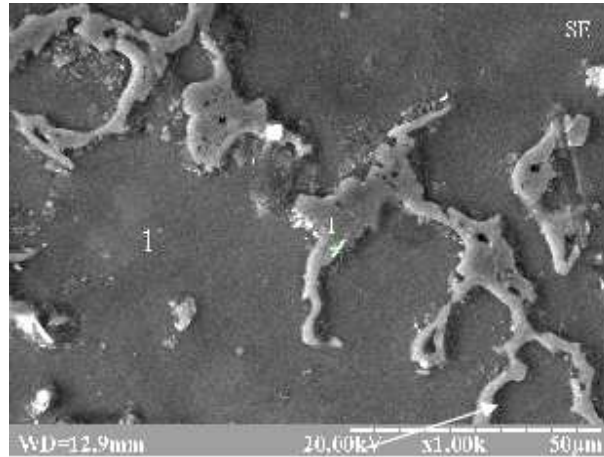
б

Ділянка	Mg	Al	Si	Mn	Zr	Сума
8	14,77	10,98	1,55	1,30	71,40	100

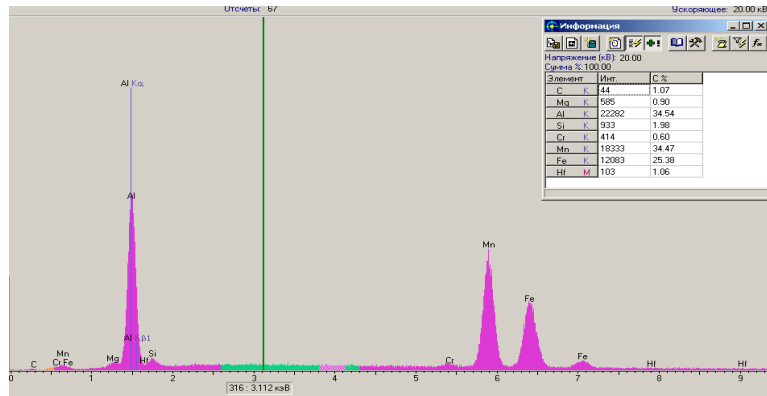
в

Рисунок 3.8 – Результати МРСА інтерметаліда в сплаві МЛ5 з 1,0 %

Zr: а – місце аналізу; б – спектрограма аналізованого місця; в – хімічний склад ділянки (мас. %)



а



б

Ділянка	Mg	Al	Si	Mn	Fe	Hf	Сума
1	1,27	34,94	2,38	34,67	25,58	1,16	100

в

Рисунок 3.9 – Результати МРСА інтерметаліда в сплаві МЛ5 з 1,0 % Hf :а – місце аналізу; б – спектрограма аналізованого місця; в – хімічний склад ділянки (мас. %)

Таблиця 3.4 – Механічні властивості та жароміцність сплаву МЛ5 з Ті, Zr та Hf

Елемент	Вміст, % розр.	Механічні властивості				τ_{150}^{80} , год
		до термообробки		після термообробки		
		σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	
стандартний		165,3	2,8	231,8	2,9	141,4
Ті	0,05	166,8	3,3	240,3	5,1	216,5
	0,1	170,0	3,0	245,4	6,0	262,4
	1,0	172,2	3,0	258,5	4,4	295,1
Zr	0,05	184,2	3,4	269,0	3,8	225,5
	0,1	170,4	3,8	277,2	4,6	274,1
	1,0	167,6	3,7	280,4	3,6	298,4
Hf	0,05	172,2	2,2	254,4	4,0	230,3
	0,1	176,6	2,4	260,0	4,9	288,3
	1,0	184,4	2,2	278,2	4,2	422,1

Як показали випробування границя міцності найбільше зростає при легуванні Zr, підвищенню пластичності сприяє Ті, а максимальний час до руйнування спостерігається при введенні Hf.

Жароміцність сплаву МЛ5 з досліджуваними елементами змінювалася в залежності від їх температури плавлення (рис. 3.10) і мала нелінійну залежність (3.1, 3.2, 3.3):

$$\tau_{150}^{80}_{0,05\%} = 128,72 + 0,015 \cdot T_{пл} + 1,65 \cdot 10^{-5} \cdot T_{пл}^2, r = 0,92;$$

,(3.1)

$$\tau_{150}^{80}_{0,10\%} = 113,43 + 0,033 \cdot T_{пл} + 2,34 \cdot 10^{-5} \cdot T_{пл}^2, r = 0,93;$$

,(3.2)

$$\tau_{150}^{80}{}_{1,0\%} = 62,96 + 0,117 \cdot T_{\text{пл}} + 1,59 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{пл}}^2, r = 0,98.$$

,(3.3)

де τ_{150}^{80} – жароміцність сплава при певній концентрації легувального елемента;

$T_{\text{пл}}$ – температура плавлення легувального елемента.

Гафній ($T_{\text{пл}}=2230$ °С), цирконій ($T_{\text{пл}}=1850$ °С), титан ($T_{\text{пл}}=1660$ °С) значно підвищує жароміцність сплава МЛ5.

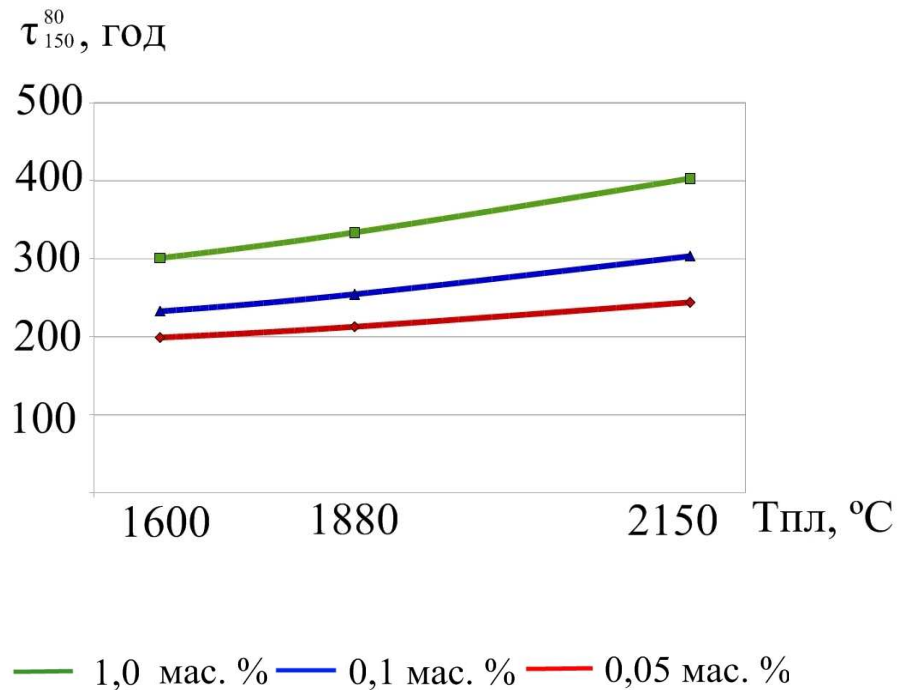


Рисунок 3.10 – Вплив температури плавлення легувальних елементів сплава МЛ5 на його жароміцність

Таким чином, досліджувані легуючі елементи з температурою плавлення вище основи сплаву, підвищують не тільки міцність і пластичні властивості сплаву МЛ5, але і його жароміцність.

3.3 Виготовлення дослідної виливки з поліпшеного магнієвого сплаву

В умовах цеху № 1 ВАТ «Мотор Січ» виготовляли корпусне лиття з покращеного сплаву МЛ5. Для цього виплавляли стандартний сплав МЛ5, перегрівали до 900°C, витримували 15 хвилин, вводили 0,1 % Hf в сплав МЛ5, охолоджували до 730°C і заливали форми для виготовлення виливків. Виготовляли виливки «корпус паливного насосу» зі сплаву МЛ5 (рис. 3.11). Після проходження термічної обробки за режимом Т6, з виливків виготовляли зразки для металографічного аналізу і механічних випробувань.



Рисунок 3.11 – Виливка «корпус паливного насоса», виготовлена з поліпшеного магнієвого сплаву МЛ5 с гафнієм, х0,4

Досліджувані виливки, виготовлені з поліпшених магнієвих сплавів мали однорідну і дрібнозернисту структуру без дефектів. Макрофрактографічне дослідження зламів зразків сплаву МЛ5 з гафнію показало подрібнення макрозерна, мікроструктура складалася з твердого розчину, евтектики та інтерметалідів (рис. 3.12).

Рисунок 3.12 – Макрофрактограма, x5 (а) та мікроструктура, x100 (б) зразка із поліпшеного сплаву МЛ5 з – 0,1 % Нf

Механічні властивості та жароміцність значно перевищували рівень стандартних сплавів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Механічні властивості і жароміцність виливок, виготовлених з поліпшеного сплаву МЛ5

Сплав МЛ5	Механічні властивості		Жароміцність
	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	τ_{150}^{80} , год
Стандартний	232,3	2,8	142,3
Поліпшений	275,3	6,6	304,5

Застосування поліпшених магнієвих сплавів МЛ5 для виготовлення корпусного лиття авіадвигуна Д-436-148 дозволить збільшити їх ресурс роботи і отримати значний очікуваний ефект.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Тенденції розвитку ринку магнію

В останні десятиліття спостерігалася тенденція зростання застосування магнію і його сплавів практично у всіх галузях світової промисловості, відповідно збільшувалися і обсяги виробництва (рис. 4.1).

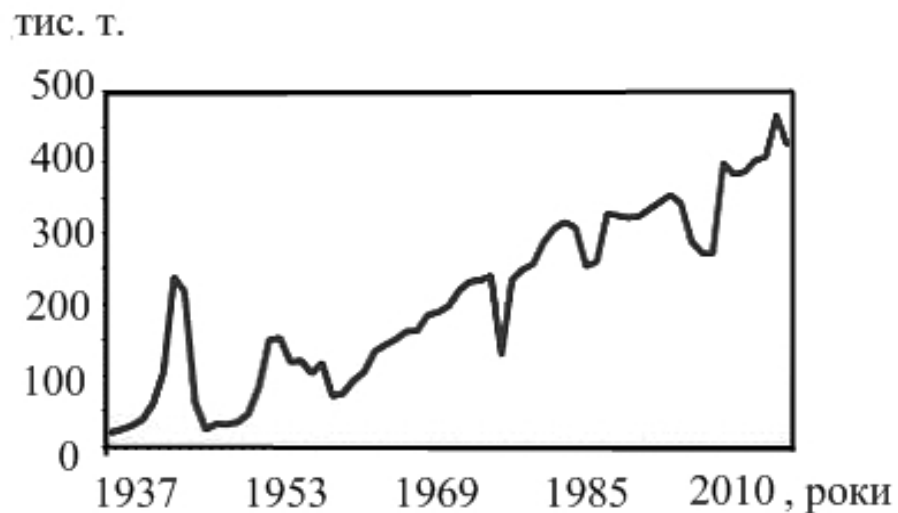


Рисунок 4.1 – Динаміка виробництва магнію у світі

Сплави на основі магнію знайшли широке застосування в атомній енергетиці, авіаційній та автомобільній промисловості, космічній техніці і є другою великою областю застосування чистого металу, на яку припадає 33 % його світового споживання. При цьому багато виробників прогнозують збільшення застосування магнієвих сплавів як конструкційний матеріал, і існує ймовірність, що подальше зниження ціни на магній може призвести до витіснення магнієвими сплавами алюмінію. Більш детально області застосування магнію представлені на рисунку 4.2.

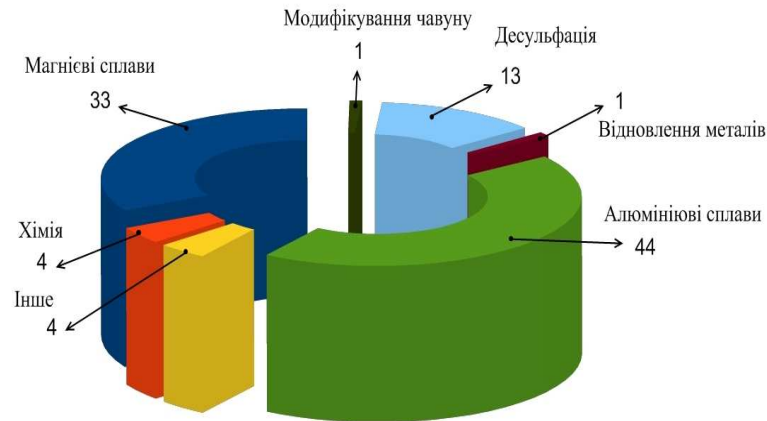


Рисунок 4.2 – Области застосування магнію, %

На рисунку 4.3 представлена динаміка виробництва первинного магнію серед країн світу. За даними з різних джерел та даних митної статистики, сумарне виробництво первинного (первинний товарний магній виключає магній, вироблений з ломів і відходів (вторинний магній) і магній, вироблений безпосередньо на титано–магнієвих заводах з поворотного хлориду магнію, отриманого в процесі виробництва губчатого титану в РФ, Казахстані, Україні, Японії) товарного магнію в світі в 2015 році склало 983 тис.т, знизившись на –20 тис.т або –2.0 % в порівнянні з 1 003 тис.т в 2014 році. Спад виробництва зафіксовано в Китаї (–22 тис.т) через перевиробництво в 2014 році, спаду виробництва губчатого титану і погіршення умов ринку в 2015 році, в Ізраїлі (–1 тис.т), де ICL планує поетапне закриття Dead Sea Magnesium, в Росії (– 0.5 тис.т) і Казахстані (–0.2 тис.т). Зростання виробництва спостерігається в США, де US Magnesium здійснює проект щодо поетапного збільшення потужності з 63 тис.т до 76 тис.т на рік, досягнувши в 2014 році річного виробництва 68 тис.т і в 2015 року збільшив виробництво до 72 тис.т на рік, вийшовши до кінця року на 76 тис.т на рік запланованої проектом потужності. Розглядається подальше збільшення потужності і виробництва до 90 тис.т на рік у зв'язку з планованим закриттям заводу в Ізраїлі.

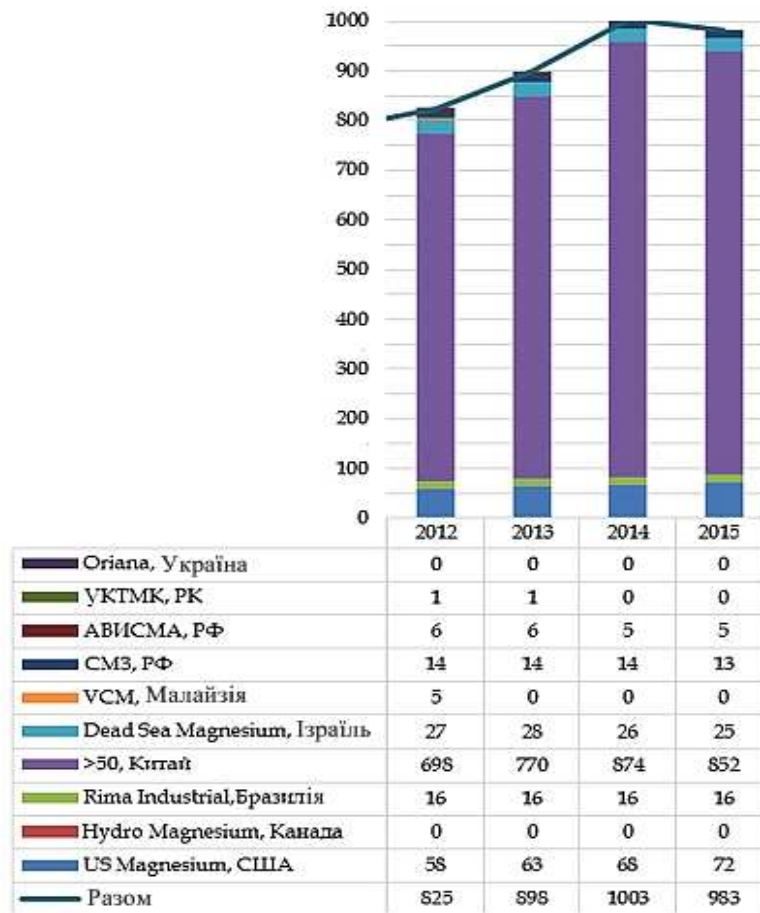


Рисунок 4.3 – Провідні виробники первинного магнію

Підводячи підсумки, можна відзначити, що лідерами виробництва первинного магнію є США та Китай, в Україні переважно отримують вторинний магній в процесі виробництва губчатого титану.

Основна перевага металевого магнію – його висока питома міцність.

Особливо актуальним є використання магнієвих сплавів в авіабудуванні. Для цього матеріал повинен володіти підвищеним комплексом механічних властивостей та достатньою жароміцністю.

На теперішній час в промислових умовах при виробництві відливків типу “корпус паливного насосу” 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–титанової, магній–цирконієвої та магній–гафнієвої лігатури на фізико–механічні властивості та жароміцність.

Впровадження нової технології 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, збільшити рівень конкурентноспроможності та дозволить замінити дорожчі жароміцні сплави.

4.2 Планування науково–дослідних робіт

Планування проведення досліджень по впливу легувальних елементів на механічні властивості та жароміцність ливарного магнієвого сплаву проводилося за допомогою сіткового графіку.

Система сіткового планування та управління складається з наступних етапів:

- складання переліку етапів і визначення їх тривалості;
- побудова сіткового графіку;
- розрахунок основних параметрів.

Для початку необхідно визначити послідовність проведення науково–дослідної роботи. Будь–яке наукове дослідження розпочинається з аналізу інформаційних матеріалів з обраної теми. Для цього на початковому етапі необхідно здійснити накопичення наукової інформації: бібліографічний пошук, вивчення документів, основних джерел щодо теми, скласти огляд літератури. По завершенню цього етапу необхідно сформулювати і обґрунтувати предмет дослідження. Після визначення напрямку досліджень – необхідно виготовити дослідні зразки, для перевірки гіпотез. Після виготовлення зразків (литвом) необхідно провести механічну обробку, для того, щоб розміри зразка відповідали нормам стандарту. Далі необхідно провести всі необхідні випробування та дослідити структури ливарних та

термооброблених зразків. Отримані результати підтверджують прогнозоване підвищення комплексу механічних та жароміцних властивостей, які додатково перевіряються на дослідній деталі, виплавленій з нового сплаву. Більш детально етапи дослідження описані в попередніх розділах.

Сітковий графік являє собою інформаційно–динамічну модель, в якій зображуються взаємозв'язку і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети проектування. При побудові сіткової моделі використовуються два графічних елемента: роботи і події. Робота – це процес, що вимагає витрат часу, наявності виконавців і матеріальних ресурсів. Подіями називаються результати проведених робіт, на графіку подія зображається у вигляді кола з номером. Сітковий графік будується за даними таблиці 4.1 і представлений на рисунку 4.4.

Таблиця 4.1 – Список робіт сіткового графіку

№	Код роботи	Робота	Тривалість, дні
1	0–1	Теоретична підготовка до проведення дослідження, опрацювання наукової літератури для визначення принципів легування	20
2	1–2	Виготовлення дослідних зразків (ливарним методом)	15
3	2–3	Механічна обробка дослідних зразків перед випробуваннями	2
4	2–4	Механічна обробка дослідних зразків перед проведенням термічної обробки	3
5	3–6	Проведення випробувань на литих зразках	20
6	4–5	Термічна обробка за режимом Т6	5
7	5–6	Дослідження властивостей на термічнооброблених зразках	20

8	6–7	Опробування дослідної партії	7
9	7–8	Обробка результатів дослідження. Складання пояснювальної записки	20

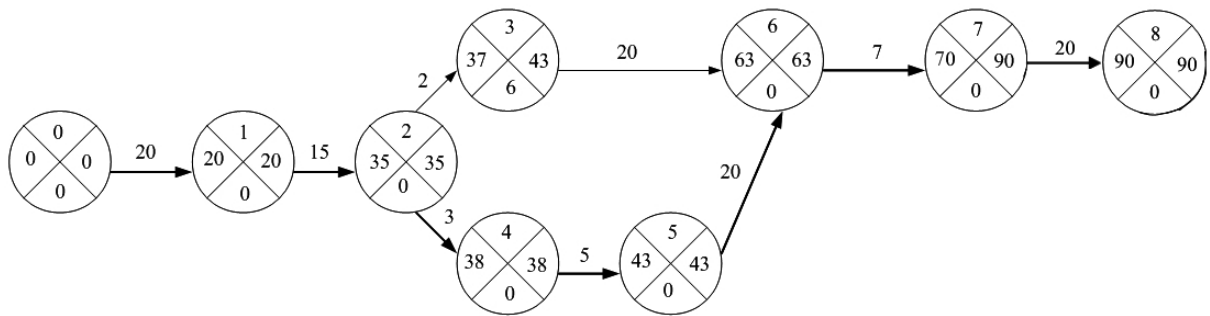


Рисунок 4.4 – Сіткова модель проведення НДР

Над стрілками вказано тривалість виконання етапу у днях. Таке графічне зображення плану виконання процесу показує взаємозв'язок усіх робіт для досягнення кінцевої мети.

Параметри робіт і шляхів представлені в таблицях 4.2, 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2 – Параметри робіт сіткового графіку

Код роботи	t_{ij}	$t_{рн}$	$t_{ро}$	$t_{пн}$	$t_{по}$	R_n	$R_{св}$
0–1	20	0	20	0	20	0	0
1–2	15	20	35	20	35	0	0
2–3	2	35	37	35	37	0	0
2–4	3	35	38	35	38	0	0
3–6	20	37	63	43	63	6	6
4–5	5	38	43	38	43	0	0
5–6	20	43	63	43	63	0	0

6-7	7	63	80	63	80	0	0
7-8	20	80	90	80	90	0	0

Таблиця 4.3 – Параметри шляхів сіткового графіку

№	№ подій	Тривалість	L_i	Резерв	K_{ni}
1	0-1-2-3-6-7-8	20-15-2-20-7-20	90	6	0,68
2	0-1-2-4-5-6-7-8	20-15-3-5-20-7-20	90	0	1

У ряді випадків важко установити загальну трудомісткість проведеної НДР. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. Їхня трудомісткість і тривалість залежить від безлічі факторів, передбачити які неможливо. У таких випадках використовують дві чи три вірогідні оцінки часу, що даються відповідальними виконавцями по кожному етапу робіт. Ці оцінки звичайно виражають в днях і є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання етапу робіт із формули:

$$t_{оч} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (4.1)$$

де t_{min} – мінімально необхідна кількість днів при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} – максимальні витрати часу на виконання роботи з даного етапу при несприятливих умовах, днів.

Ступінь правильності визначення $t_{оч}$ перевіряють розрахунком дисперсії (розкиду між мінімальними та максимальними оцінками часу виконання робіт).

Дисперсія являє собою середнє значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається по формулі:

$$\sigma^2 t = \frac{t_{max} - t_{min}}{5}^2$$

Якщо дисперсія менше або дорівнює 1, то це говорить про малий ступінь невизначеності оцінки часу робіт із даного етапу.

На тих етапах, де дисперсія більше 1 завищений максимальний час на виконання етапу.

Результати розрахунків зводяться в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Тривалість НДР

№	Етапи НДР	Тимчасові оцінки, днів			Дисперсія, σ
		t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{оч}}$	
1	Теоретична підготовка до проведення дослідження, опрацювання наукової літератури для визначення принципів легування	18	22	20	0,89
2	Виготовлення дослідних зразків (ливарним методом)	12	16	14	0,89
3	Механічна обробка дослідних зразків перед випробуваннями	3	6	4	0,77
4	Проведення випробувань на литих зразках	14	21	17	1,2

№	Етапи НДР	Тимчасові оцінки, днів			Дисперсія, σ
		t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{оч}}$	
1	Теоретична підготовка до проведення дослідження, опрацювання наукової літератури для визначення принципів легування	18	22	20	0,89
2	Виготовлення дослідних зразків (ливарним методом)	12	16	14	0,89
3	Механічна обробка дослідних зразків перед випробуваннями	3	6	4	0,77
4	Проведення випробувань на литих зразках	14	21	17	1,2
5	Термічна обробка за режимом Т6	4	7	5	0,77
6	Дослідження властивостей на термічнооброблених зразках	14	21	17	1,2
7	Опробування дослідної партії	7	11	9	0,89
8	Обробка результатів дослідження. Складання пояснювальної записки	19	25	22	1,1

Коефіцієнт напруженості i -го шляху визначають за формулою:

$$K_{ni} = \frac{L_i - L'_{кр}}{L_{кр} - L'_{кр}} \quad (4.3)$$

В таблицях використані наступні позначення:

t_{ij} – час виконання роботи;

t_{ij}^{PH} – ранній термін початку роботи;

t_{ij}^{nH} – пізній термін початку роботи;

t_{ij}^{PO} – ранній термін завершення роботи;

t_{ij}^{nO} – пізній термін завершення роботи;

R_{ij}^n – повний резерв часу роботи;

R_{ij}^{ce} – вільний резерв часу роботи;

L_i – довжина і-го шляху;

$L'_{кр}$ – спільна частина і-го і критичного шляху;

K_{ni} – коефіцієнт напруженості і-го шляху;

$L_{кр}$ – довжина критичного шляху.

Для першого шляху:

$$K_{ni} = \frac{68 - 22}{90 - 22} = 0,68$$

Для другого (критичного) шляху:

$$K_{ni} = \frac{90 - 90}{90 - 90} = 1$$

Чим більше коефіцієнт напруженості шляху K_{ni} до 1, тим меншим відносним резервом володіє шлях. Для даного випадку на першому шляху спостерігається 6 днів резерву для випробування на зразках до термічної обробки.

Таким чином, побудовано графік подій, сіткова модель, таблиця списку робіт, знайдено критичний шлях, що має довжину 90 днів.

Майже всі роботи виконувалися послідовно. Резерв часу спостерігався на першому (не критичному) шляху.

4.3 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 за статтями:

- матеріали та транспортні витрати;
- енергія і паливо;
- спеціальне обладнання і технологічне оснащення;
- амортизація універсального устаткування;
- заробітна плата основна і додаткова;
- відрахування на соціальне страхування;
- накладні витрати.

4.3.1 Розрахунок вартості матеріалів

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження (табл. 4.5).

Ціни на матеріальні ресурси визначають за відповідними прайс-листами. Транспортно-заготівельні витрати: 2–5 % від вартості матеріалів.

Таблиця 4.5 – Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал, ГОСТ	Марка	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, грн./т	Сума витрат, грн.
Магнієвий сплав, ГОСТ 2856–79	МЛ 5	100	149050	14905
Флюс	–	60	2970	179
Лігатура Mg–Zr	Mg–Zr	0,5	1100000	550
Лігатура Mg–Ti	Mg–Ti	0,5	990000	495
Лігатура Mg–Hf	Mg–Hf	0,5	1040000	523

Форми піщано–глинисті	–	–	–	130
Реактиви	–	–	–	320
Разом				17102
Транспортно–заготівельні витрати				684
Всього з урахуванням транспортно–заготівельних витрат				17786

4.3.2 Спеціальне устаткування для науково–технічних робіт

В цій статті враховуються витрати на закупівлю, доставку і монтаж лабораторних установок, вимірювальних і регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури і тому подібне (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Собівартість експлуатації, грн.
Піч термічна	“Бельв’ю”	1	157000	3140
Іспитова машина	“INSTRON” 2801	1	33000	660
Мікротвердомір	“Beuhler” MM7T	1	18100	362
Розривна машина	P 10	1	11700	234
Разом				4396

4.3.3 Розрахунок вартості палива і енергії

Під час проведення дослідів були використані наступні енергоспоживаючі ресурси:

- іспитова машини “INSTRON” 2801;
- термічна піч “Бельв’ю”

Витрати на енергію E_c визначаємо по формулі:

$$E_c = \frac{P_y \Phi_{\text{эф}} K_B \Pi_e}{\text{ККД}}, \quad (4.4)$$

де P_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачив устаткування, кВт;

$\Phi_{\text{эф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин;

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

Π_e – ціна 1 кВт година електроенергії, $\Pi_e = 1,78$ грн/кВт година;

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 “INSTRON” 2801:

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

Для мікротвердоміру “Beuhler” MM7T:

$K_B = 0,7$, 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 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Вид енергоресурсів	Ефективний фонд часу роботи, год	Вартість, грн	Вартість енергоресурсів, грн
Піч “Бельв’ю”	Електроенергія	28	2,18	7359
Іспитова машина “INSTRON”	Електроенергія	24	2,18	563

2801				
Мікротвердо мір “Beuhler” MM7T	Електро- енергія	12	2,18	21
Разом				7943

4.3.4 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 “INSTRON” 2801:

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

Для мікротвердоміру “Beuhler” MM7T:

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

Результати розрахунку зводимо у таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Устаткування	Балансова вартість, грн	Норма амортизації, %	Зайнятість устаткування, год	Річний ефективний фонд часу, год	Сума амортизації, грн
Піч термічна	57000	24	28	5580	189
Іспитова машина “INSTRON” 2801	11000	24	24	1860	102
Мікротвердомір “Beuhler” MM7T	6700	24	12	1860	18
Разом					309

4.3.5 Розрахунок заробітної плати

Витрати по цій статті складаються з планового фонду заробітної плати усіх категорій працівників, зайнятих в проведенні наукових досліджень.

Розрахунок заробітної плати робиться на підставі даних про трудомісткість (табл. 4.9).

Кількість місяців роботи науково–дослідної групи задається на підставі терміну виконання дипломної роботи.

В даному випадку не більше 10 місяців. Результати розрахунків зводяться в таблиці.

Додаткова заробітна плата складає 10 % від основної заробітної плати, тобто 4107 грн.

Основна й додаткова заробітна плата по кошторису не повинна перевищувати 40 % кошторисної вартості.

4.3.6 Відрахування на соціальні заходи

Ці витрати визначаються в розмірі 22 % від основної й додаткової заробітної плати: $(41076+4107) \times 0,22 = 9940$ грн.

Таблиця 4.9 – Розрахунок основної заробітної плати

№	Посада виконавця	Кількість, Людей	Місячний оклад, грн	Середньо –денна зарплата, грн	Зайнятість, днів	Сума, грн
1	Головний науковий співробітник	1	6200	310	60	18600
2	Молодший науковий	1	4057	202,85	60	12171

	співробітник					
3	Лаборант	4	2320	116	20	9280
4	Верстатник	1	4100	205	5	1025
Разом						41076

4.3.7 Накладні витрати

Накладні витрати по проведенню науково–дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців (у межах 80–100 %). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно–гігієнічних умов. Накладні витрати для НДР складають 90 % від суми основної заробітної плати, а саме 36960 грн.

4.3.8 Кошторис витрат

У складі витрат на проведення НДР враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

З метою визначення витрат на проведення науково–дослідницької роботи слід скласти кошторис витрат (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Кошторис витрат на виконання НДР

Статті витрат	Сума, грн
Матеріали, покупні вироби і напівфабрикати (за відрахуванням відходів, що реалізуються)	17786
Енергія	7943
Спеціальне устаткування для наукових (експериментальних) робіт	4396

Основна і додаткова заробітна плата виробничого персоналу	45183
Відрахування на соціальне страхування (від суми основної і додаткової заробітної плати)	9940
Накладні витрати	36960
Всього витрати на проведення НДР	122208

4.3.9 Бальна оцінка економічної ефективності науково–дослідної роботи

Наукові дослідження, прямий підрахунок економічної ефективності по яких не можливий, оцінюють за допомогою бальної системи (табл. 4.11).

Бальна оцінка проводиться по наступних найважливіших показниках:

- важливість розробки K_1 ;
- можливість використання результатів розробки K_2 ;
- теоретична значимість і рівень новизни дослідження K_3 ;
- складність розробки K_4 .

За допомогою характеристик даних показників визначається кількість балів.

Таблиця 4.11 – Шкала для оцінки ефективності

Показник	Характеристика	Бали
K_1	Робота ініціативна і не є завданням відомчих органів	1
K_2	У масштабах країни	8
K_3	Одержання нової інформації, що доповнює знання про сутність досліджуваних процесів, не відомої в досліджуваній області	3

K ₄	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000–50000 грн	3
----------------	--	---

Загальна оцінка встановлюється за добутком коефіцієнтів:

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

Питомий ефект (ПЕ) на кожний бал – 2 500 грн.

Загальний ефект (Е) від розробки складає:

$$E = 2500 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 180000 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність науково–дослідницької роботи визначається за допомогою коефіцієнта ефективності, що характеризує частку загального ефекту від розробки, що приходить на одну грн. витрат (собівартості НДР):

$$K_e = \frac{E}{K_{\text{ндр}}} = \frac{180000}{122208} = 1,5$$

Строк окупності T_{ок} проекту розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{K_e} = 0,7 \text{ р.}$$

На підставі проведених розрахунків можна стверджувати, що робота є економічно доцільною. Витрачені кошти на наукові розробки нового сплаву дозволять в подальшому підвищити ресурс роботи і надійність деталі, зростає також конкурентноспроможність поліпшеного 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 тугоплавких елементів на структуроутворення та властивості жароміцного магнієвого сплаву.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки, які пов'язані з виплавою досліджуваного магнієвого сплаву. Зокрема, можливість ураження електричним струмом, можливість термічних опіків при розбризуванні рідкого металу в процесі плавки, 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 ПК застарілих моделей;

е) незадовільні параметри повітряного середовищ 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 доторканні 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 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 – 2013. Для цього їх оснащують легкоглядним пристроєм заземлення $R < 4 \text{ Ом}$ 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 12.4.087–80.

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:

- установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструкованими наладчиками;
- 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 коллової 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 круга 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. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки

абразивними и эльборовым инструментом».

Потрібно правильно організувати робоче місце для усунення загроз 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”.

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 хімічних опіків 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 ГОСТ 20010–93 «Перчатки резиновые технические. Технические условия», окуляри «Очки защитные» ГОСТ Р 12.4.013–97, респіратор ГОСТ 12.4.028–76 ССБТ Респиратор ШБ–1 “Лепесток”. Технические условия (с изменениями № 1, 2) спеціальний одяг ГОСТ 12.4.011–89 “Средства защиты работающих”;

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

г) Для того, щоб максимально безпечно працювати з обладнанням необхідно дотримуватися наступних правил з техніки безпеки:

- у разі виникнення небезпечної ситуації натиснути кнопку екстренної 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 про підвищену температуру;

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

- перед початком роботи встановити відповідні робочі границі (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 обертаючихся деталей – відключити обладнання від електроживлення;

- використовувати захисні окуляри та екрани, для уникнення

травмування у разі руйнування зразка, обладнання або вузла, що може супроводжуватися вибухом.

д) Для зниження психофізичного навантаження, внаслідок роботи з 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 Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542–96 «Гігієнічні вимоги до відео–дисплейних терміналів, персональних електророзрахункових машин і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером 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 з комп'ютером 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 з комп'ютером слід приймати таку, яка займає менше 50% часу протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості та

напруженості роботи з компютером, які визначаються:

для групи А – по сумарному числу прочитуваних знаків за час роботи з компютером, але не більше 60000 знаків;

для групи Б – по сумарному числу зчитуваних знаків за час роботи з компютером, але не більше 40000 знаків;

для групи В – по сумарному числу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером.

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи з комп'ютером повинні встановлюватися регламентовані перерви. 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 відстать 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 компютера. 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 поинні 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 ОУ-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 з комп'ютером і 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 працюючий 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 з комп'ютером 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 втоми 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 і 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) На підставі ГОСТ 12.1.005–88 «Загальні санітарно–гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» оптимальними параметрами для даної лабораторії будуть:

- в холодний і перехідний період: температура 18 ... 20 °С, відносна вологість 60 ... 40 %, швидкість руху повітря 0,2 м/с;
- 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 (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 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;

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 підігріву зовнішнього повітря калорифер. У адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери.

Розрахунок надходження теплоти у приміщення, та визначення кондиціонера.

Визначаємо надходження теплоти в приміщення о 18 год. Орієнтування будівлі на ПівдЗ. Площа приміщення складає 35 м^2 , висота 4 м. Розміри вікна $2 \times 1,2 \text{ м}^2$, площа тіні $0,33 \text{ м}^2$, подвійне скління. Вікна без сонцезахисних пристроїв. Атмосфера району – незабруднена. Кількість робочих місць б: 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 .

За таблицею 5.1 визначаємо значення прямої ($q_{в.п.}$) та розсіяної ($q_{в.р.}$) сонячної радіації о 18 годині:

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

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

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

	Кількість теплоти при заповненні світлових прорізів в залежності від часу доби та орієнтування світлових прорізів, ккал/(год·м ²)
--	---

Показник	До полудня						
	Пі	ПівнС	Сх	ПівдС	Пів	ПівдЗ	Зх
	Після полудня						
	Пів	ПівнЗ	З	ПівдЗ	Півд	Півд	Сх
q _{в.п.}	80	426	423	344	257	96	–
q _{в.р.}	64	93	112	95	75	66	56

Кількість теплоти, що надходить до приміщення через подвійне скління для розрахункової години розраховуємо:

$$Q_{\text{с.пр.}} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{\text{відн}} \text{ ккал/год} \quad (5.1)$$

де q_0 та q_1 – кількість теплоти, 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, м²;

$K_{\text{відн}}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячною радіації через заповнення світлового прорізу.

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

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

перепльотів		
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

$$q_o = (q_{в.п.} + q_{в.р.})K_1K_2 \text{ ккал/(\text{год}\cdot\text{м}^2)} \quad (5.2)$$

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

$$F_{пр} = F_{о.с.} - F_p \text{ (м}^2\text{)} \quad (5.3)$$

Загальна кількість теплоти, яка надходить до приміщень через віконний проріз, визначається формулою:

$$Q_{с.пр.} = (q_o F_n + q_1 F_p) K_{відн} \text{ ккал/(\text{год}\cdot\text{м}^2)} \quad (5.4)$$

$K_{відн}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу. При одинарному склінні $K_{відн} = 0,9 \dots 1,0$; при подвійному $K_{відн} = 0,8 \dots 0,9$.

Виділення теплоти від штучного освітлення розраховують за формулою:

$$Q_{осв} = 860 \cdot n \cdot N_{осв} \text{ ккал/год} \quad (5.5)$$

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:

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

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

$$1 \text{ Вт} = \text{Дж/с};$$

Розрахунок виділеної теплоти людьми, відповідно до табл. 5.4, за умовою, що в приміщенні знаходяться 2 чоловіки, та 4 жінки, температура в приміщенні 38°C.

Таблиця 5.4 – Кількість теплоти, яка виділяється дорослими людьми (чоловіками)

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

$$Q_{\text{л}} = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 4 \cdot 0,85 = 27 \text{ ккал/год} \quad (5.6)$$

Загальна кількість теплоти в розрахункову годину в липні, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел тепло надходження:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{спр}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}} = 642,4 + 752,5 + 27 = 1421 \text{ ккал/год}. \quad (5.7)$$

Оскільки площа приміщення складає 35 м², то найбільш доцільним є використання кондиціонера типу COOPER&HUNTER CH-S12LHA, холодопродуктивністю 3100 ккал/год. Тоді, за формулою (5.8) знаходимо час, який необхідний для охолодження приміщення за допомогою цього кондиціонера:

$$\tau = \frac{C \cdot \gamma \cdot V \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}})}{3600 \cdot 1,163 \cdot Q_{\text{конд}}} = \frac{1000 \cdot 1,2 \cdot 140 \cdot (27 - 22)}{3600 \cdot 1,163 \cdot 3100} = 0,0647 \text{ год}. \quad (5.8)$$

де C – масова теплоємність припливного повітря (складає 1000 Дж/кг С);

γ – густина припливного повітря (складає 1,2 кг/м³);

V – об'єм приміщення, м³;

$t_{\text{вид}}$ – температура повітря, що складається з приміщення, °С

$t_{\text{норм}}$ – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування (прийняти рівню 22°С).

є) При контролі виробничого освітлення слід керуватися вимогами СНиП П-4-79 «Природне 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

ж) Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: 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 вибухо–пожежною 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 на 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 незаймісті 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» 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 D – пожежі металів та їх сплавів;
- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас Е (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановою.

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.

Пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розміщується на спеціальних пожежних щитах (стендах). Такі щити (стенди) відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні" встановлюють на території об'єкта з розрахунку один щит (стенд) на площу 5000 м². До комплекту засобів пожежогасіння, які розміщують на стенді, слід включити: вогнегасники – 3 шт.; ящик із піском – 1 шт.; пожежне покривало розміром 2×2 м – 1 шт.; гаки – 3 шт.; лопати – 2 шт.; ломи – 2 шт.; сокири – 2 шт. Ящик із піском, який є елементом конструкції пожежного щита (стенда), повинен мати ємність не менше 0,1 м³ та виключати потрапляння в нього опадів.

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 захищуваному приміщенні, або на об'єкті (стандарт ISO 3941–77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

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 газу 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 захищуваному приміщенні без зазначення свого номера (адреси). Адресний сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному 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, 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.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз руйнувань литої деталі «корпус паливного насоса», які виникли після наробки необхідної кількості часів при експлуатації авіадвигунів показав наявність тріщин статичного, втомленого й змішаного походження, при цьому самими розповсюдженими є тріщини змішаного типу. Це свідчить про те, що сплав МЛ5 не володіє достатнім рівнем властивостей, тому необхідна розробка заходів, які дозволяють підвищити механічні і спеціальні властивості сплаву МЛ5, і відповідно усунути утворення тріщин, що виникають при експлуатації авіадвигунів, що є актуальною.

На основі отриманих характеристик металографічного дослідження, механічних властивостей та жароміцності досліджуваного сплаву дозволяє зробити наступні висновки:

1. Отримано нові експериментальні дані і достовірні закономірності впливу мікролегування на зміни структури і рівня властивостей виливків з магнієвих сплавів. Встановлено, що при введенні досліджених легувальних елементів від 0,05 до 1,0 мас. % зменшується відстань між осями дендритів 2 порядку до 1,5 раз і розмір мікрозерна – до 2 разів. При цьому, Ti, Zr та Hf сильніше подрібнюють зерно і додатково зміцнюють метал;

2. Показано, що легування магнієвих сплавів від 0,05 до 0,1 мас. % збільшує об'ємний відсоток інтерметалідів в ~ 1,5 рази, зміщуючи їх у бік менших розмірних груп при одночасному утворенні сферичних інтерметалідів, розташованих в центрі зерна і утворюючи додаткові центри кристалізації;

3. Отримані залежності впливу температури плавлення легувальних елементів і кількості утворених інтерметалідних фаз на жароміцність магнієвих сплавів. Показано, що легування магнієвих сплавів елементами з температурою плавлення вище основи сплаву (650°C) призводить до утворення комплексних інтерметалідних фаз, збагачених відповідними легувальними елементами, і підвищує жароміцність, яка зростає зі

збільшенням температури плавлення легувальних елементів, і об'ємного відсотка утворених інтерметалідів;

4. Термічна обробка сплаву сприяє підвищенню однорідності металу внаслідок перерозподілу елементів між осями і міжосними просторами дендритів, додатковому легуванню матриці за рахунок дифузії елементів, що врешті призводить, до вирівнювання властивостей по перетину металу;

5. Розроблений поліпшений магнієвий сплав для литих деталей «корпус паливного насоса» авіадвигунів забезпечує високий рівень механічних властивостей та жароміцності виливок, що гарантує надійну та безпечну роботу авіаційних двигунів при їх понадгарантійному періоді експлуатації і використанні у критичних умовах;

6. За результатами роботи було опубліковано статтю до науково-технічного журналу, який індексується базою даних Scopus [28]. Основні положення і результати були представлені на двох конференціях [29, 30]. Отримані патенти України [31, 32].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кузін О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів : підручник для студ. вищ. навч. закладів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк ; Національний ун –т "Львівська політехніка". – Л. : 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) / Б.А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – М.: МИСиС, 2005. – 432 с.
3. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. – М.: Металлургия, 1981. – 414 с.
4. Дорохина Л.Н. Легкие цветные металлы и сплавы: справочник. Т. 2. / Л.Н. Дорохина, З.Н. Таужнянская, Л.Ф. Никерова. – М.: ЦНИИцветмет, 2000. – 416 с.
5. Магниеые сплавы: справочник: в 2 ч. Ч. 1: Металловедение магния и его сплавов. Области применения / [Альтман М.Б., Антипова А.П., Блохина В.А. и др.]; отв. ред. М.Б. Альтман. – М.: Металлургия, 1978. – 231 с.
6. Никулин Л.В. Расширение номенклатуры магниевых сплавов для литья под давлением / Л.В. Никулин, Т.Н. Липчин // Развитие и совершенствование литья под давлением. – М. : МДНТП им. Дзержинского, 1975. – С. 114–118.
7. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. Т. 3, кн. 1/ под ред. Н.П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1996. – 1024 с.
8. Елагин В.И. Структура и свойства сплавов системы Al–Zn–Mg / В.И. Елагин, В.В. Захаров, А.М. Дриц. – М. : Металлургия, 1982. – 219 с.

9. 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.
10. Сверхлегкие конструкционные магниевые сплавы / М.Е. Дриц, Э.А. Свидерская, Ф.М. Елкин, В.Д. Трохова. – М.: Наука, 1972. – 144 с.
11. Yousuke T. Crushing of grain of cast details from magnesium alloys / Tamura Yousuke // Chiba kogyo kenkyu=Rept Chiba Inst. Technol. – 1999. – 46. – P. 349–350.
12. Дриц М.Е. Магниевые сплавы с особыми акустическими свойствами / М.Е. Дриц, Л.Л. Рохлин. – М.: Металлургия, 1983. – 128 с.
13. Магниевые сплавы: справочник: в 2 ч. Ч. 1: Металловедение магния и его сплавов. Области применения / Альтман М.Б., Антипова А.П., Блохина В.А. и др.; отв. ред. М.Б. Альтман. – М.: Металлургия, 1978. – 231 с.
14. Гринберг Н.М. Структура и усталостная прочность магниевых сплавов / Н.М. Гринберг. – М.: Металлургия, 1991. – 147 с.
15. Уткин Н.И. Производство цветных металлов / Н.И. Уткин – М.: Интерметинжиниринг, 2002. – 442 с.
16. Микляев П.Г. Механические свойства легких сплавов при температурах и скоростях обработки давлением / П.Г. Микляев. – М.: Машиностроение, 1994. – 280 с.
17. Рейнор Г.В. Металловедение магния и его сплавов / Рейнор Г.В. – М.: Металлургия, 1964. – 486 с.
18. Хансен М. Структуры двойных сплавов. Т. 1 / М. Хансен, К. Андерко. – М.: Нуч.–тех. изд.–во литер. по черн. и цвет. мет., 1962. – 608 с.
19. Макаров В.И. Сварка магниевых сплавов / В.И. Макаров, Ю.Н. Скачков – М.: Машиностроение. – 1972. – 354 с.

20. Самсонов Г.В. Магниты / Г.В. Самсонов, В.П. Перминов. – К.: Наукова думка, 1971. – 343 с.
21. Гуляев А. П. Металловедение. Учебник для вузов 6-е изд. перераб. и дополненное / А. П. Гуляев – М.: Металлургия, 1989. – 544 с.
22. Курдюмов А. М., Пикунов М. В., Чурсин В. М. Литейное производство цветных и редких металлов 2-е изд./ Курдюмов А. М., Пикунов М. В., Чурсин В. М. – М: Металлургия, 1982. – 352с.
23. Энгель Л. Растровая электронная микроскопия. Разрушение. Справочник / Л. Энгель, Г. Клингеле. – М.: Металлургия, 1986. – 232 с.
24. Сон, К. Е. Исследования и разработки применения магниевых сплавов в Южной Корее [Текст] / К.Е. Сон, М.Ч. Канг, К.Х. Ким // Литейное производство. – 2006. – № 1.– С. 8–10.
25. Диринга, Х. Настоящее и будущее магниевых сплавов в нашей цивилизации / Х. Диринга, П. Майер, Д. Фехнер, Я. Болен, К.У. Кайнер // Литейное производство. – 2006. – № 1.– С. 4–7.
26. Юм – Розери. Структура металлов и сплавов [Текст] / Юм – Розери, В. Рейнор.– М.:Металлургиздат, 1959. – 391с.
27. Гороновский, И. Т. Краткий справочник по химии [Текст] / И. Т. Гороновский, Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч. – К.: Наукова думка, 1987. – 829 с.
28. Shalomeev V., Tsivirko E., Vnukov Y., Osadcha K., Makovskyi S. Development of new casting magnesium-based alloys with increased mechanical properties / V. Shalomeev, E. Tsivirko, Y. Vnukov, K. Osadcha, S. Makovskyi // Eastern–European Journal of Enterprise Technologies/ Industrial and Technology Systems. – 2016. – Vol 4, No 1(82). – p. 4–10.
29. Шаломеев В.А., Цивирко Э.И., Осадчая Е.А. Жаропрочность магниевых сплавов с гафнием / В.А. Шаломеев, Э.И. Цивирко, Е.А. Осадчая // VIII Міжнародна науково–технічна конференція Нові матеріали і технології в машинобудуванні–2016 / загальна редакція Р. В.

- Лютий, І. М. Гурія. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – с. 35 – 37.
30. Шаломеев В.А., Цивирко Э.И., Осадчая Е.А. Влияние титана, циркония и гафния на структурообразование и жаропрочность сплава МЛ5 / В.А. Шаломеев, Э.И. Цивирко, Е.А. Осадчая // XVII INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering /A collective monograph edited by Jarosław Borysa, Rafał Wyczółkowski. – Częstochowa, 2016. – 672p. – p. 471–476.
31. Пат. 109564 Украина, МПК С22С 23/00. Жароміцний ливарний сплав на основі магнію / Шаломеев В.А., Цивірко Е.І., Лукінов В.В., Клочихін В.В., Жеманюк П.Д., Осадча К.О.; заявник і патентовласник Запорізьк. нац. техн. ун–тет. ; заявл. 14.03.16 ; опубл. 25.08.16, Бюл. № 16, 4с.
32. Пат. 109565 Украина, МПК С22С 23/00. Ливарний сплав на основі магнію з підвищеною жароміцністю / Шаломеев В.А., Цивірко Е.І., Лукінов В.В., Клочихін В.В., Жеманюк П.Д., Осадча К.О.; заявник і патентовласник Запорізьк. нац. техн. ун–тет. ; заявл. 14.03.16 ; опубл. 25.08.16, Бюл. № 16, 4с.