

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра фізичного матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Вплив Al та Zn на структуроутворення, механічні та спеціальні
властивості магнієвого сплаву»

(назва теми)

Виконав: студент(ка) II курсу, групи ІФ-612м
Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство

ФІЛІМОНОВ О.В.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник: ШАЛОМЄЄВ В.А.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент: _____
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 132 Матеріалознавство

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Філімонов Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: Вплив Al та Zn на структуроутворення, механічні та спеціальні властивості магнієвого сплаву

керівник проекту (роботи) ШАЛОМЄЄВ Вадим Анатолійович, проф., д.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 2023 року

2 Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3 Вихідні дані до проєкту (роботи):

Механічні властивості та хімічний склад сучасних магнієвих сплавів. Діаграми стану систем Mg-Al, Mg-Zn. Дані щодо впливу легування магнієвих сплавів на їх мікроструктуру та властивості.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік основних питань, які потрібно розробити):

Аналіз використання магнієвих сплавів, матеріали та методи дослідження; Дослідження впливу легувальних елементів на структуру і властивості магнієвого сплаву; охорона праці, розрахунок економічної ефективності.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів):

кількість слайдів – 9, з них: титульний лист – 1; Таблиці з даними про фізико-механічні характеристики – 3; Макро- та мікроструктура зразків – 4; Мікрорентгеноспектральний аналіз – 1.

6 Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ШАЛОМЄЄВ В.А., проф., д.т.н.		
2	ШАЛОМЄЄВ В.А., проф., д.т.н.		
3	ШАЛОМЄЄВ В.А., проф., д.т.н.		
4	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н		
5	КРУГЛІКОВА В.О, доцент, к.т.н		
НК			

7 Дата видачі завдання «27» вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення із темою дипломного проєкту. Вивчення відповідної літератури	06.10.2023	
2	Розробка вступу та розділу «Огляд літературних джерел»	13.10.2023	
3	Розробка розділу «Матеріали та методи дослідження»	20.10.2023	
4	Розробка розділу «Дослідження впливу легувальних елементів на структуру і властивості магнієвого сплаву»	27.10.2023	
5	Розробка розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	03.11.2023	
6	Розробка розділу «Економіко-організаційна частина»	10.11.2023	
7	Написання висновків та переліку посилань	17.11.2023	
8	Оформлення дипломної роботи	24.11.2023	

Студент _____ / Філімонов О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ / Шаломєєв В.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 79 с, 22 табл, 14 рис, 1 додаток, 42 джерела.

МАГНІЄВІ СПЛАВИ, ЛЕГУВАННЯ, АЛЮМІНІЙ, ЦИНК, МІЦНІСТЬ, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ЖАРОСТІЙКІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, МАШИНОБУДУВАННЯ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ХІМІЧНИЙ СКЛАД, МОДИФІКУВАННЯ

Легкі магнієві сплави є перспективним конструкційним матеріалом для використання в авіаційній, автомобільній та електронній промисловості. Завдяки низькій густині в поєднанні з достатньо високою міцністю, вони дозволяють створювати легкі та міцні деталі, що економлять паливо та підвищують енергоефективність транспортних засобів. Крім того, магнієві сплави мають хорошу здатність гасити вібрації, що є важливим для авіаційної техніки. Додаткове легування магнію алюмінієм та цинком дозволяє покращити міцнісні та жаростійкі властивості сплавів, розширюючи їх застосування у складних умовах. Таким чином, розробка оптимального складу магнієвих сплавів є актуальним завданням для створення перспективних конструкційних матеріалів.

Об'єкт дослідження – технічно чистий магній та магнієвий сплав МЛ5.

Предмет дослідження – вплив легування алюмінієм та цинком на властивості технічно чистого магнію та магнієвого сплаву МЛ5.

Мета роботи – дослідити вплив легування алюмінієм та цинком на структуру, міцність, пластичність та жаростійкість магнієвого сплаву МЛ5.

Методи дослідження – металографічний аналіз, випробування механічних властивостей, фрактографічний аналіз, метод енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії, економічний аналіз.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати дослідження можуть бути використані для оптимізації складу та технології виробництва магнієвих сплавів.

Значимість роботи та висновки – встановлено позитивний вплив легування алюмінієм та цинком на міцність і жаростійкість магнієвого сплаву. Доведена економічна ефективність застосування нового сплаву.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	8
1 Огляд літературних джерел.....	9
1.1 Огляд та характеристики магнію та магнієвих сплавів	9
1.2 Характеристики та особливості сплавів системи Mg-Al-Zn.....	11
1.2.1. Вплив алюмінію на структуру та властивості магнієвого сплаву.....	12
1.2.2. Вплив цинку на структуру та властивості магнієвого сплаву.....	15
1.3 Постановка мета та задач дослідження.....	19
2 Матеріали та методи дослідження.....	21
2.1 Проведення дослідних плавок, термічної обробки та визначення хімічного складу металу.....	21
2.2. Якісні та кількісні методи оцінювання структурних складових литва.....	22
2.3 Визначення механічних властивостей.....	23
3 Дослідження впливу легувальних елементів на структуру та властивості магнієвого сплаву.....	25
3.1 Дослідження впливу алюмінію на властивості технічно чистого магнію.....	25
3.2 Дослідження впливу цинку на властивості технічно чистого магнію.....	31
3.3 Висновки до розділу 3.....	35
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	37
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	37
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	38
4.3 Заходи з виробничої санітарії.....	42
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	43

4.5 Заходи безпеки в умовах НС.....	44
5 Економіко-організаційна частина.....	50
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	50
5.2 Послідовний аналіз собівартості виконання науково-дослідної роботи.....	51
5.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження результатів....	59
5.4 Висновки до розділу 5.....	63
Висновки.....	65
Перелік джерел посилання.....	66
Додаток А	

ВСТУП

Використання легких металів є звичайною практикою в різних галузях промисловості, серед яких поширення набули сплави на основі магнію. Застосування цих матеріалів вимагає впровадження інноваційних технологій виробництва, таких як плавлення, формування та термічна обробка формованих виробів, на додаток до створення спеціалізованих апаратів для лиття.

Сплави на основі магнію, що володіють меншою питомою вагою та високим рівнем властивостей, поряд із чудовою технологічністю, знаходять широке застосування в різних галузях машинобудування. Як правило, питома міцність магнієвих сплавів конкурує з найбільш міцними алюмінієвими сплавами. У конструкціях це призводить до зменшення ваги компонентів на 20-30 % порівняно з алюмінієвими сплавами, на 50-75 % порівняно з чавуном і сталлю, на 50 % порівняно з титановими сплавами.

Незважаючи на ефективне співвідношення вага/механічні властивості магнію та його сплавів, їх властивості, в особливості механічні характеристики, є невисокими порівняно з іншими кольоровими металами.

У зв'язку з необхідністю підвищення надійності та довговічності машин і механізмів зростає попит на покращені властивості виливків із магнієвих сплавів. Отже, створення нових і кращих магнієвих сплавів із покращеними механічними властивостями є доречним і своєчасним, а підвищення фізико-механічних і спеціальних властивостей виливків із магнієвих сплавів є актуальною проблемою.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Огляд та характеристики магнію та магнієвих сплавів

Магній відрізняється легкістю (питома вага складає $1,74 \text{ г/см}^3$) та певною крихкістю. Цей метал характеризується гексагональною щільнопакованою кристалічною ґраткою, його атомний радіус становить $0,160 \text{ нм}$, а іонний – $0,104 \text{ нм}$. Температура плавлення магнію досягає $650 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура кипіння – $1090 \text{ }^\circ\text{C}$ [1].

Механічні характеристики чистого магнію не є високими (границя міцності при розтягуванні – 60 МПа ; границя плинності – 38 МПа ; відносне видовження – 50% ; твердість за Брінеллем – $200...300 \text{ НВ}$). Саме тому чистий магній як матеріал для конструкцій майже не використовується [2].

Проте в машинобудуванні широко застосовуються ливарні сплави на основі магнію [3], що містять додаткові елементи, такі як алюміній, цинк, марганець, цирконій, неодим та інші легувальні добавки.

Магнієві сплави володіють значною питомою міцністю. Їх границя міцності складає в середньому від 250 до 400 МПа при показнику густини, що не перевищує 2 грами на кубічний сантиметр. Ці сплави ефективно обробляються в гарячому вигляді – їх можна кувати, прокочувати та пресувати. При обробці різанням, магнієві сплави демонструють кращі результати ніж сталь, алюміній та мідь. Їх легко шліфувати та полірувати. Заварювання контактним та дуговим методами в захисному газовому середовищі також дає хороші результати [1].

Однією з найважливіших характеристик цих сплавів є їх висока стійкість до ударних навантажень, що пояснюється їх низьким модулем пружності. Вони ефективно поглинають вібрації, причому питома віброміцність в десятки разів перевищує показники дюралюмінію або сталі [4]. Чудова демпфуюча здатність магнієвих сплавів робить їх ідеальними для важливих конструкцій, які працюють під впливом вібраційних і ударних навантажень. Вони мають

високу теплопоглинаючу здатність і перевершують більшість будівельних матеріалів за теплопровідністю [2]. Таким чином, за подібних умов теплообміну виріб із магнієвого сплаву нагрівається значно менше, ніж виготовлений з інших матеріалів, забезпечуючи відносно мінімальні теплові навантаження. При мінусовій температурі магнієві сплави не стають надзвичайно крихкими, але демонструють незначне зниження ударної міцності та відносного видовження, що робить їх особливо придатними для експлуатації в холодних умовах [5].

Втім, магнієві сплави мають і свої недоліки. Їх корозійна стійкість, модуль пружності та ливарні характеристики дуже низькі. Їх схильність до газонасичення, окислення та займання під час формування також є серйозними недоліками [6].

Залежно від рівня міцності магнієві ливарні сплави класифікуються на три основні групи (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація магнієвих ливарних сплавів по міцності [1]

Група сплавів	Представники сплавів виробництва різних країн			
	Україна, ГОСТ 2856	США, ASTMB80	Великобританія, BS 2970	Японія, JIS H5203
Середньої Міцності	МЛЗ	-	-	-
Високої міцності	МЛ4, МЛ5, МЛ6, МЛ8, МЛ12, МЛ15	AZ63A, AZ81A, ZK51A	MAG1, MAG2, MAG3, MAG4, MAG7	MC1, MC2, MC7
Жароміцні	МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ19	EZ33A, K1A, QE21A	MAG5, MAG6, MAG8, MAG9	MC8

Широко застосовуються ливарні магнієві сплави наступних систем легування (табл. 1.2):

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

Таблиця 1.2 – Механічні властивості та робочі температури експлуатації магнієвих сплавів після термічної обробки [1, 7]

Марка сплаву	Механічні властивості, не менше		Робочі температури експлуатації, °С
	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

Сплави системи Mg-Al-Zn Завдяки своїй відносній дешевизні, розповсюдженості легувальних елементів та достатнім механічним характеристикам, порівняно з іншими сплавами, набули найбільш широкого розповсюдження в машинобудуванні.

1.2 Характеристики та особливості сплавів системи Mg-Al-Zn

Більшість магнієвих сплавів, що використовуються для конструкцій, зокрема в машинобудування, мають систему легування Mg-Al-Zn [8]. Основні переваги сплавів системи Mg-Al-Zn це: гарні ливарні властивості, адекватна міцність, пластичність. Недоліком є їх низькі жаростійкі показники [5]. Вони успішно використовуються в деталях машин, таких як балки панелі приладів,

роздавальні коробки, коробки передач, кришки клапанів/кулачків, компоненти рульового управління, а також різні корпуси та кронштейни [3].

Типовими представниками сплавів системи Mg-Al-Zn є МЛІ5 в Україні та сплави серії AZ (наприклад AZ31) на світовому ринку (табл. 1.3, табл. 1.4)

Таблиця 1.3 — Хімічний склад сплавів Mg-Al-Zn (% мас.) [9, 10]

Матеріал	Mg	Al	Zn	Mn	Ni	Fe	Si	Cu
МЛІ5	89,1– 92,15	7,5–9	0,2–0,8	0,15–0,5	до 0,01	до 0,06	до 0,25	до 0,1
AZ31	96,54– 97,24	2,5–3,5	0,6–1,4	≥ 0,2	до 0,005	до 0,005	-	до 0,05

Таблиця 1.4 — Фізико-механічні властивості деяких сплавів системи Mg-Al-Zn [9, 10]

Сплав	Границя міцності, МПа	Відносне видовження, %	Модуль Юнга Е, ГПа
МЛІ5	220–240	2–3	44–45
AZ31	255–265	4–6	44–45

1.2.1. Вплив алюмінію на структуру та властивості магнієвого сплаву

У складних системах магній-алюміній-цинк основним елементом для зміцнення є алюміній. Як правило, промислові магнієві сплави містять від 1 до 10 % алюмінію, і всі ці сплави не мають евтектичної фазової діаграми. [4]. Залежно від концентрації алюмінію ці сплави діляться на три основні категорії:

1. Сплави з 1-3 % Al відзначаються високою міцністю на розрив і ковкістю, однак вони мають погану плинність та відносно високий ступень гарячеламкості.

2. Сплави, що містять 4...7 % Al, поєднують в собі відмінні механічні характеристики та прийнятну технологічність.

3. Сплави, що містять 8...10 % Al, відносяться до групи найбільш технологічно прогресивних сплавів, однак їх пластичність залишається на не високому рівні.

Алюміній формує з магнієм твердий розчин з обмеженою розчинністю та інтерметаліди Al_3Mg_4 , Al_2Mg_3 і $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ (рис. 1.1).

У магнієві сплави алюміній часто додають для досягнення ідеальної рівноваги міцності на розрив, пластичності та плинності. Однак варто зауважити, що низька термічна стабільність інтерметаліду $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ і його непослідовне розкладання можуть спровокувати значне переміщення границь зерен при підвищених температурах. Дані щодо розчинності Al в Mg відрізняються [2]. Прийняті в дослідженні значення становлять 11,6 ат. % при 438 °C та 1,3 ат. % при 100 °C.

Сплави зі старінням — це категорія, до якої потрапляють промислово виготовлені магнієво-алюмінієві сплави. Це дозволяє підвищити їх властивості за допомогою термічної обробки. При нагріванні до 420 °C майже весь алюміній переходить у твердий розчин (рис. 1.1). При повторному нагріванні сплаву протягом декількох годин при температурі від 150 до 250 °C з'являється γ -фаза, що призводить до подальшого зміцнення сплаву.

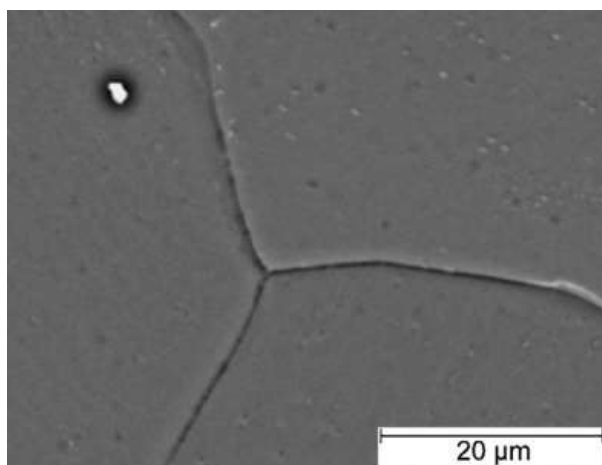


Рисунок 1.1 – Мікроструктура зразків сплаву AZ31 (аналог МЛ5) після гартування на твердий розчин [8]

Як видно з фазових діаграм (рис. 1.2), очікується, що ефект старіння буде спостерігатися у всіх сплавах, які містять більше 2 % Al [11]. На практиці, однак, значне підвищення міцності внаслідок старіння спостерігається у сплавів, що містять від 4 до 6 % Al, оскільки швидкість утворення нової фази визначається температурою старіння та рівнем пересичення твердого розчину при цій температурі [12].

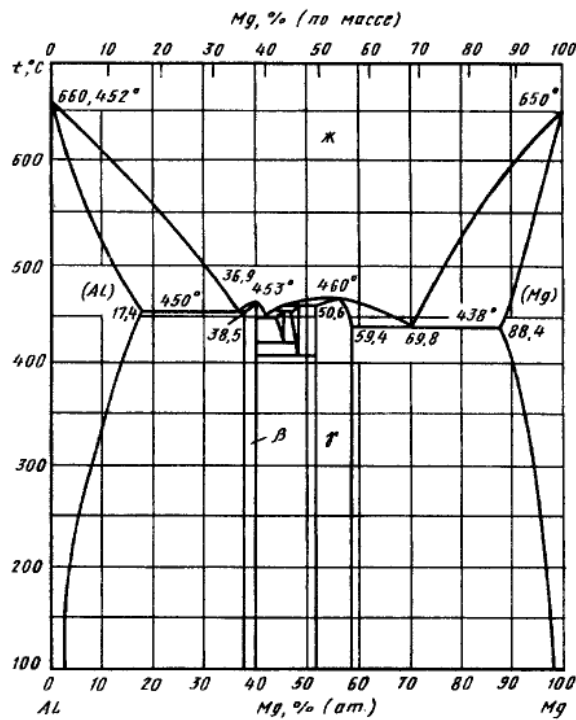
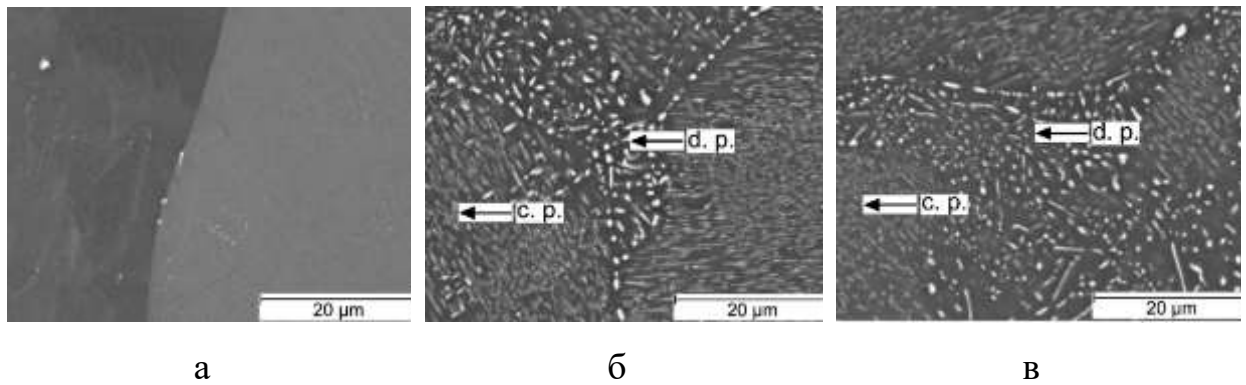


Рисунок 1.2. – Діаграма стану системи Mg-Al [13]

У сучасних дослідженнях встановлено докази кореляції між утворенням γ -фази під час процесу старіння та покращенням властивостей сплаву [12]. Виділення γ -фази спочатку відбувається на границях зерен (рис. 1.3, а), а потім всередині самих зерен (рис. 1.3, б, в), що призводить до збіднення атомами алюмінію в твердого розчину. Максимальна твердість магнієвих і алюмінієвих сплавів досягається до повного відділення цієї фази від твердого розчину. Важливо, що γ -фаза, розташована вздовж границь зерен, відіграє безпосередню значну роль у зміцненні цих сплавів [14].



а – AZ31; б – AZ61; в – AZ80

Рисунок 1.3 – Мікроструктура зразків магнієвих сплавів серії AZ після старіння (d.p – переривчасті виділення; c.p. – безперервні виділення) [8]

Рейнор Г.В. [15] провів дослідження впливу алюмінію на механічні властивості магнію. Він спостерігав, що порогові значення міцності та пластичності сплаву збільшуються з додаванням більшої кількості алюмінію, тоді як пік відносного подовження досягає 3 % Al. Крім того, старіння значно впливає на механічні властивості сплаву, особливо коли вміст алюмінію становить 4 % або вище.

1.2.2. Вплив цинку на структуру та властивості магнієвого сплаву

Вплив концентрації цинку на механічні характеристики сплаву є менш значним. Цинк формує з магнієм твердий розчин (рис. 1.4), а також інтерметалідні сполуки $Mg_{51}Zn_{20}$, $MgZn$, Mg_2Zn_3 , $MgZn_2$, Mg_3Zn_{11} , які характеризуються обмеженими областями гомогенності [16].

Кристалографічна структура фази $MgZn_2$, вивчена Лавесом, належить до групи "фаз Лавеса", де оптимальне заповнення простору досягається при співвідношенні $d_a : d_b = 1,225$. Аналіз відомих фаз Лавеса показав, що атоми з значними відмінностями в розмірах кристалізуються в щільнопаковану структуру [3].

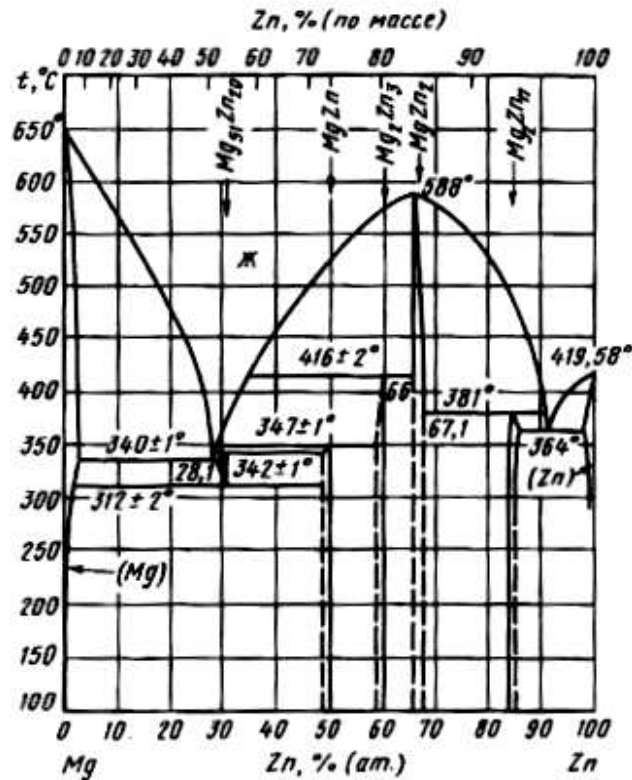


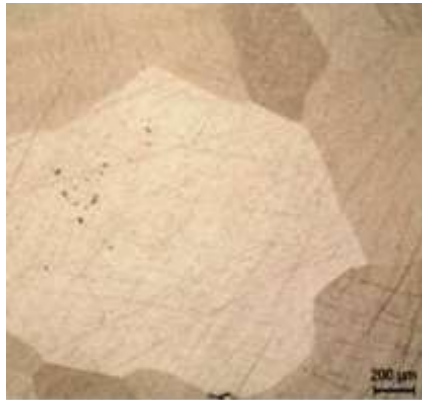
Рисунок 1.4. Діаграма стану системи Mg-Zn [13]

Міцність сплаву значно підвищується, якщо до магнію додати 7,5 % Zn. Ковкість сплаву покращується при концентрації цинку приблизно 3 %. Було встановлено, що сплави з вмістом цинку 2 % і вище можуть бути зміцнені в процесі старіння, але зміцнюючий ефект цинку зменшується в діапазоні температур від 150 до 200 $^\circ\text{C}$. При вмісті цинку в магнієвих сплавах від 0,1 до 2 % гарячеламкість посилюється [17], а при його зростанні до 4 % зберігається висока плинність і знижена гарячеламкість. Інші дослідники [16, 19, 20] також помітили, що додавання цинку до магнієвого сплаву призводить до утворення фази з низькою температурою плавлення вздовж границь зерен, що сприяє утворенню гарячих тріщин.

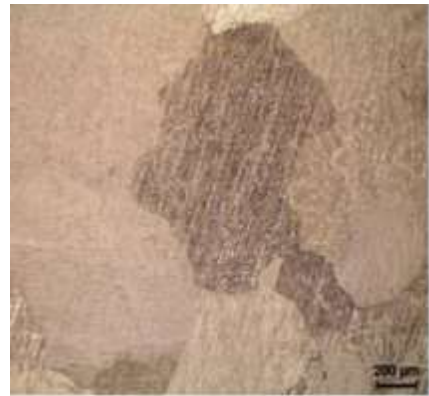
Дослідження [19, 20] показало підвищення механічних характеристик магнієво-цинкових сплавів (що містять 1, 5 та 7 мас. % цинку) при вмістах цинку до 5 мас. %. При концентраціях вище 5 мас. % механічні властивості

знижувались. Важливо зауважити, що висока концентрація цинку може призвести до утворення частинок вторинної фази.

Згідно [16] розмір зерен сплаву зменшується зі збільшенням вмісту цинку (рис. 1.5). Розмір зерна Mg-0,5Zn коливається від 600 до 800 мкм, тоді як при концентрації цинку 3,0 % розмір зерна зменшується до 150-200 мкм.



а



б



в

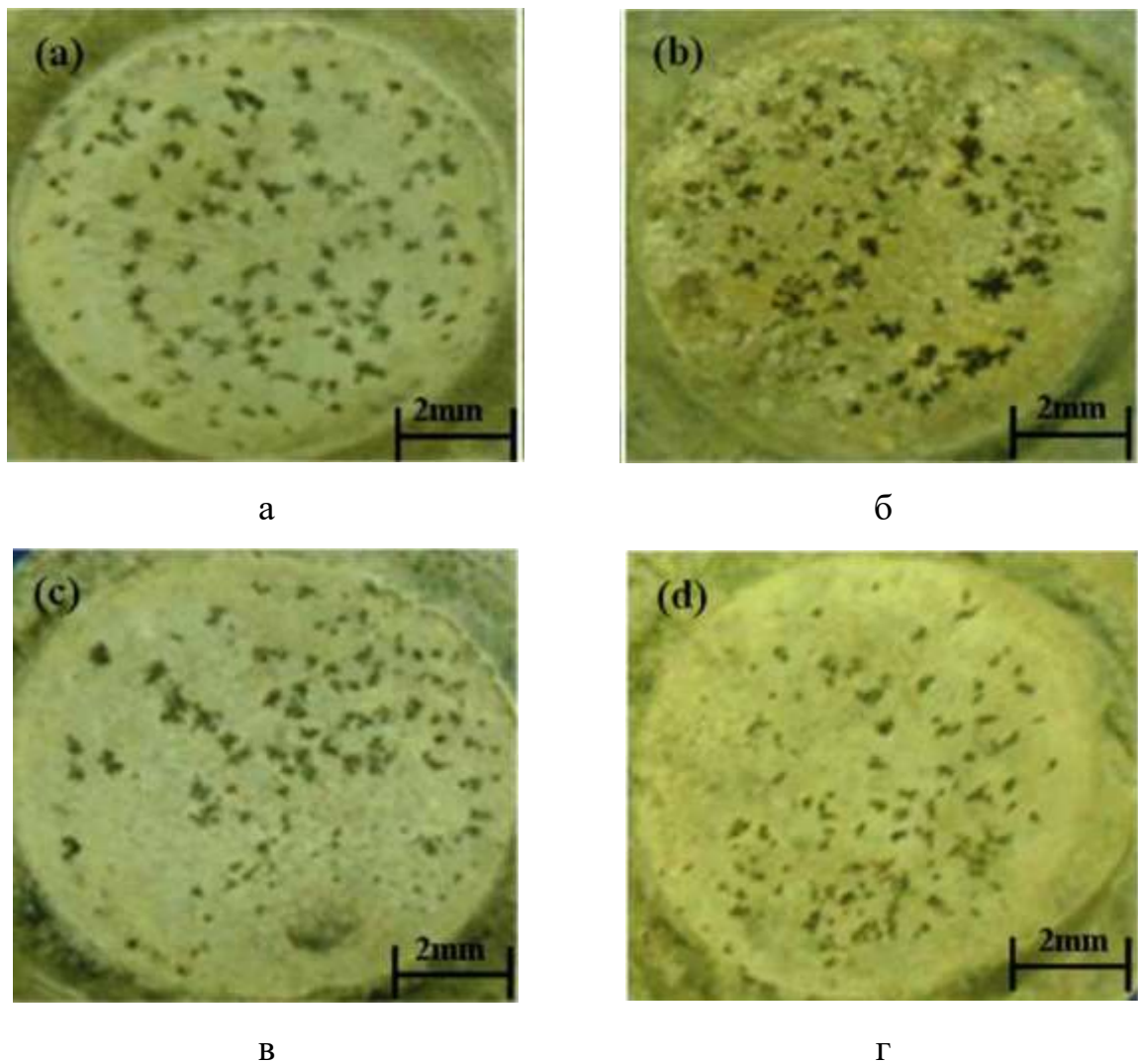


г

а – 0,5 % Zn; б – 1 % Zn; в – 2 % Zn; г – 3 % Zn;

Рисунок 1.5 – Вплив вмісту цинку у сплавах Mg-Zn на розмір зерна [16]

Наявність частинок вторинної фази помітна при збільшенні вмісту цинку до 3 % (рис. 1.6). Частинки вторинної фази збагачені магнієм і цинком, відповідають типу MgZn .



а – 0,5 % Zn; б – 1 % Zn; в – 2 % Zn; г – 3 % Zn;

Рисунок 1.6 – Вплив вмісту цинку у сплавах Mg-Zn на виділення вторинної фази [16]

Таким чином, цинк приймає участь у формуванні структури литих сплавів системи Mg-Al-Zn, утворюючи твердий розчин алюмінію і цинку в магнії з включенням інтерметалідів $Mg_{17}Al_{12}$. Коли концентрація цинку в сплаві зростає, потенційно може утворитися потрібна фаза $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$ [21].

Зі збільшенням вмісту цинку зростає границя текучості, міцність на розрив і твердість магнієвого сплаву. Це підвищення в першу чергу пояснюється зменшенням розміру зерна. Дотримуючись співвідношення Холла-Петча, зрозуміло, що менший розмір зерна позитивно впливає на механічну міцність. Посилаючись на бінарну фазову діаграму магній-цинк

[22], максимальна розчинність цинку в магнії при кімнатній температурі становить 1,6 мас. %. Отже, цинк переважно розчиняється в первинному магнії, створюючи пересичений твердий розчин. Коли вміст цинку підвищується приблизно до 3 %, фази, починають виділятися збагачені магнієм і цинком вторинної фази, підвищуючи міцність сплаву [23]. Таким чином, цинк відіграє вирішальну роль у зміцненні твердого розчину та дисперсійному зміцненні магнієво-цинкових сплавів. Згідно [16] границя міцності на розтяг та текучість сплаву Mg-3Zn були на 31,77 % та 22,5 % відповідно більші, ніж у Mg-0,5Zn. Очікувано, відносне видовження магнієво-цинкових сплавів трохи зменшилося зі збільшенням вмісту цинку, причому відносне видовження Mg-3Zn було на 34 % менше, ніж відносне видовження Mg-0,5Zn.

1.3 Постановка мета та задач дослідження

На підставі аналізу досліджень в області вивчення впливу алюмінію (Al) та цинку (Zn) на структуроутворення та властивості магнієвих сплавів, можна визначити цілісний простір для подальших досліджень. Враховуючи широкий спектр застосування магнієвих сплавів і неперервний пошук способів їх поліпшення, важливим є вивчення впливу окремих елементів на фізико-механічні та спеціальні властивості таких сплавів.

Таким чином, мета цієї роботи полягає в глибокому аналізі впливу алюмінію та цинку на ключові характеристики магнієвого сплаву, зокрема, на процеси структуроутворення, механічні параметри та спеціальні властивості. Це включає вивчення взаємодії цих елементів із базовим металом, їхнього впливу на зміцнення сплаву, його фізико-механічні та ливарні характеристики.

Отже, основними завданнями роботи є:

1. На основі аналізу літературних джерел визначити можливі границі вмісту легувальних елементів алюмінію та цинку у магнієвому сплаві для подальшого дослідження;
2. Дослідити вплив присадок різного вмісту алюмінію та цинку на структуроутворення (розмір мікрозерна, відстань між осями дендритів 2-го порядку), механічні (мікротвердість, границя міцності, відносне видовження) та спеціальні властивості (жароміцність) магнієвого сплаву;
3. На основі отриманих результатів зробити висновки щодо рівня впливу різних присадок алюмінію та цинку, а також дати рекомендації щодо їх оптимального вмісту;
4. Описати економічний ефект від використання додаткового легування магнієвого сплаву;
5. Дати рекомендації щодо правил та технік охорони праці при роботі з магнієвими сплавами.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Проведення дослідних плавів, термічної обробки та визначення хімічного складу металу

Сплав виплавляли в тигельній індукційній печі ІІМ-500 стандартною ємністю 0,5 т, потужністю 140 кВт і продуктивністю 230 кг/год. Також використовували газорозподільчу піч стандартної ємності 150 кг.

Компонентами сплавів, що досліджувались, були: вихідного магнію Мг 90, Мг 95, Мг 96 (ДЕСТ 804-93) [24], вихідного цинку Ц2 (ДЕСТ 3640-94) [25], вихідного алюмінію А5 (ДЕСТ 11069-74) [26] та лігатури Al-Mn. Зразки магнієвого сплаву МЛ5, системи Mg-Al-Zn мали хімічний склад відповідно табл. 2.1 [27].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зразків магнієвого сплаву МЛ5 [27]

Сплав	Хімічний елемент								
	Al	Zn	Mn	Si	Ni	Fe	Cu	Zr	Mg
МЛ5	7,9	0,47	0,4	Не більше					Решта
				0,25	0,01	0,06	0,1	0,002	

Шихту, попередньо підігріту, подавали в тигельну піч ІІМ-500. Після плавлення їх переносили в виємні тиглі при температурах від 650 до 730 °С. Ці виємні тиглі поміщали в роздавальні печі, де сплав очищали за його хімічним складу та обробляли флюсом ВІ-2 (38...46 % MgCl_2 ; 32...42 % KCl ; 5...8 % BaCl_2 ; 3...5 % CaF_2 ; до 8 % $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$; до 1,5 % MgO) [28] при температурах від 740 до 760 °С. Після цього у розплав додавали додаткові кількості лігатур відповідних елементів, які потім нагрівали, витримували та при 730 °С відливали зразки та заготовки для механічних випробувань та металографічного аналізу.

Дослідження металу проводили після термічної обробки за режимом: нагрівання до 415 ± 5 °С, витримка 15 годин, охолодження на повітрі та старіння при 200 ± 5 °С, витримка 8 годин на повітрі і подальше охолодження. Термообробку проводили у захисній атмосфері, що формувалась інертним газом агроном.

Термічну обробку виливків проводили в шахтній печі типу «Бельв'ю» потужністю 112 кВт і продуктивністю 95 кг/год, а також в печі типу ПАП-4М продуктивністю 50 кг/год.

Якість литих зразків і заготовок із магнієвих сплавів у заводських умовах оцінювали методом рентгенівського контролю на приладах РАП-150/300, РУП 150/300, РУП 400-5, МІРА-2Д, а отримані дані зафіксовано на рентгенівських плівках РМ-1, РТ-1, РТ-2.

2.2. Якісні та кількісні методи оцінювання структурних складових литва

Дослідження макро- та мікроструктури вказаних сплавів проводили за допомогою методів оптичної мікроскопії («Neophot 32», «OLYMPUS IX 70») зі збільшенням до 500 разів.

Зерна для оцінки мікроструктури досліджували після термічної обробки з розчином травлення, що складається з:

- 1% азотної кислоти;
- 20 % оцтової кислоти;
- 19 % очищеної води;
- 60 % етиленгліколю.

Фрактографічну оцінку зразків після руйнування проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа JSM-6360LA.

Дослідження фазового складу структурних елементів магнієвих сплавів проводили на електронному мікроскопі з енергодисперсійним модулем, а саме

РЕММА 202М і РЕМ 16І. Енергодисперсійні спектри були отримані з кожного аналізованого мікрооб'єму та кількісно проаналізовані за допомогою спеціального програмного забезпечення на комп'ютері. Цей аналіз використовувався для визначення інтенсивності характерних ліній хімічних елементів, ідентифікованих у спектрі.

Оцінка якості зразків в промислових умовах проводилась візуально і за допомогою рентгенографії. Візуальна перевірка дозволяла виявити зовнішні дефекти, ушкодження, наявність та розміри усадкових тріщин. За допомогою рентгенівського методу визначались внутрішні дефекти, присутність пор та залишків флюсу.

2.3 Визначення механічних властивостей

Оцінку механічних властивостей зразків із магнієвих сплавів проводили на розривній машині «INSTRON» 2801 за ДЕСТ 1497–84 та ДЕСТ 2856–79. Такі параметри, як границя міцності (σ_B) та відносне видовження (δ), вимірялись на типових циліндричних зразках магнієвого сплаву номер 1 за ГОСТ 2856-79 (рис. 2.1).

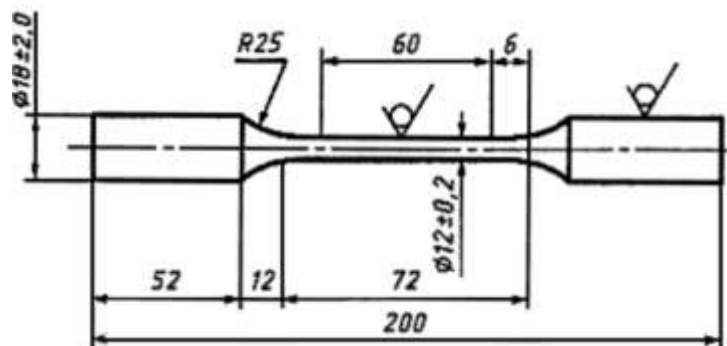


Рисунок 2.1 — Типові зразки для механічних випробувань згідно (номер 1 за ДЕСТ 2856-79) [27]

Мікротвердість компонентів сплаву досліджували на мікротвердомірі «Buehler» та LM-700AT при навантаженні 0,1 Н згідно з ДЕСТ 9450-76 [29]. Визначення мікротвердості здійснювалося шляхом вдавнення згідно з методикою відновленого відбитка відповідно до ДЕСТ 9450-76. Цей процес включає в себе нанесення відбитка на поверхню зразка для тестування під постійним навантаженням, що прикладається до алмазного наконечника протягом визначеного часу. Після зняття навантаження та вимірювання розмірів отриманого відбитка, значення мікротвердості вираховували за наступною формулою:

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

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

S – умовна площа бокової поверхні відбитка, мм^2 ;

l – розмір відбитка, мм;

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

R – радіус циліндра, рівний 2 мм;

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

Довготривалу міцність при високих температурах оцінювали за ДЕСТ 9651-84 [30] на зразках, підготовлених для високотемпературних дослідів за ДЕСТ 1497-84 [31].

Зразки були роцташовані в нагрівальному пристрої машини «INSTRON» за допомогою подовжених стрижнів для кріплення зразків. Після досягнення заданої температури (150 °С для сплаву МЛ5) прикладали навантаження ($\sigma = 80$ МПа) і фіксували час до повного руйнування.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ

3.1 Дослідження впливу алюмінію на властивості технічно чистого магнію

Відповідно до діаграми стану Mg-Al (див. розділ 1, рис. 1.2), він має обмежену розчинність у магнії в рідкому стані при температурах до 650-660 °C. При зниженні температури його розчинність у твердому магнії значно зменшується з 17,4 % при 450 °C до 2 % при 20 °C.

Було проаналізовано вплив зростаючого вмісту Al (0,045; 0,096 і 1,14 %) на структуру та механічні властивості магнію. Оскільки сплав МЛ5 вже містить у складі 7,5...9,0 % Al, вплив цього елемента досліджували на технічно чистому магнії МГ 90 (99,9 % Mg), порівнюючи зі сплавом МЛ5, що містить 8,5 % Al.

Вивчення макроструктури та макрофрактографічне дослідження зломів показало, що з підвищення концентрації алюмінію в сплаві призводило до помітного подрібнення мікроструктури (рис. 3.1).



а

а – 99,9 % Mg

Рисунок 3.1 – Вигляд зламів зразків технічно чистого магнію та магнієвих сплавів з різним вмістом Al після термообробки, х5



б



в



г



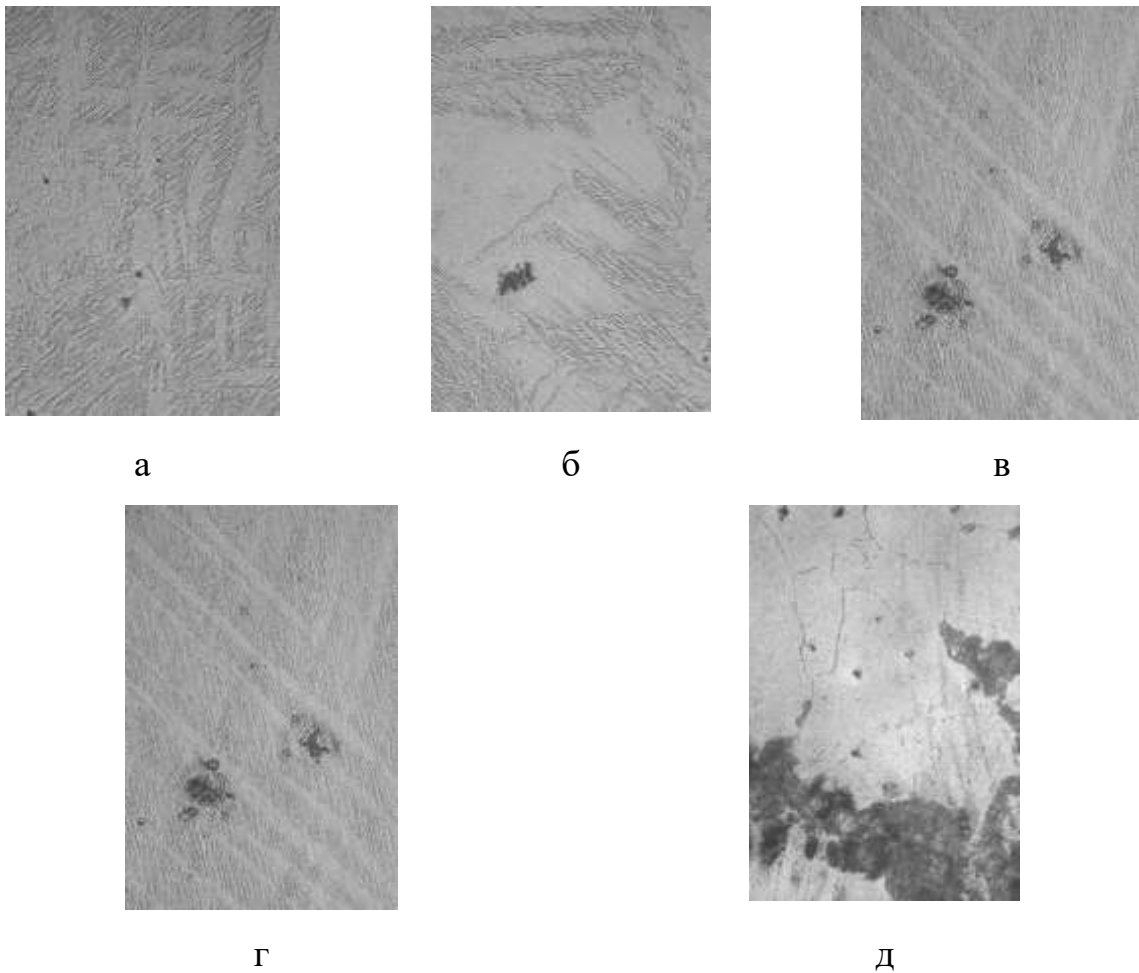
д

б – 0,045 % Al; в – 0,096 % Al; г – 1,14 % Al; д – 8,5 % Al

Рисунок 3.1 – Аркуш 2

Аналіз мікроструктури чистого магнію після травлення показав, що вона складалась з рівномірно розподілених дрібнозернистих міждендритних зон (рис. 3.2, а).

Алюміній, що входив до складу магнію, утворював інтерметалідну γ -фазу. При цьому, зі зростанням концентрації алюмінію в сплаві кількість інтерметалідних частинок візуально збільшувалась (рис. 3.2, б-д), а розмір мікрозерна технічно чистого магнію зменшувався з 300 мкм до 140 мкм при вмісті 8,5 % Al. У сплаві, що містив 8,5 % Al, окрім окремих інтерметалідів, спостерігалась евтектика $\delta + \gamma$ (рис. 3.2, д).



а – 99,9 % Mg; б – 0,045 % Al; – 0,096 % Al; г – 1,14 % Al; д – 8,5 % Al
 Рисунок 3.2 – Мікроструктура зразків технічно чистого магнію та магнієвих сплавів з різним вмістом Al після термообробки, x500

Аналіз регресії отриманих результатів (табл. 3.1) дозволив вивести емпіричні рівняння залежностей, які відображають зв'язок розміру мікрозерна (3.1) та відстані між осями дендритів 2-го порядку (3.2) від вмісту алюмінію в магнії:

$$d = 274,7945 - 14,0560 (\% \text{ мас.}, \text{Al}); \quad (3.1)$$

$$\tau = 39,2679 - 1,8285 (\% \text{ мас.}, \text{Al}), \quad (3.2)$$

де d – розмір мікрозерна;

τ – відстані між осями дендритів 2-го порядку.

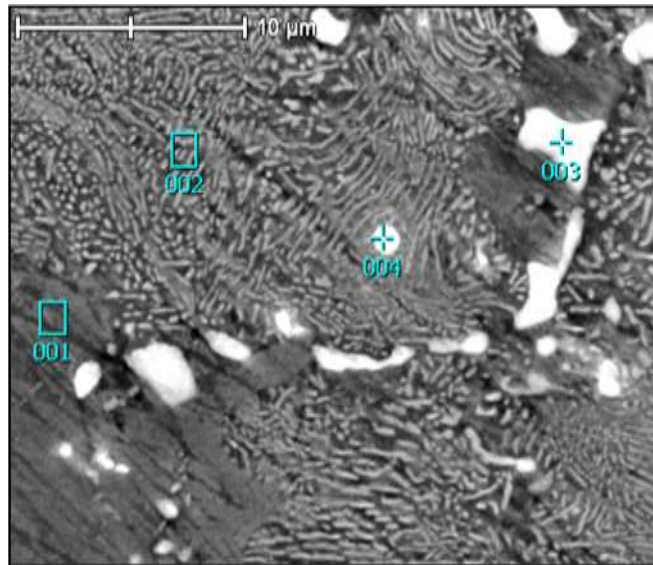
Таблиця 3.1 – Характеристики структурних складових магнію з алюмінієм

Вміст Al, мас. %	Розмір мікрозерна, мкм	Відстань між осями дендритів 2-го порядку, мкм	Мікротвердість матриці HV, МПа		
			Після термообробки	Після випробувань на тривалу міцність, τ_{150}^{80}	
				Неробоча зона	Робоча зона
-	300	40	524,3	542,4	542,4
0,045	210	35	582,0	582,0	612,9
0,096	200	30	646,7	747,5	776,9
1,14	170	25	792,9	876,1	933,8
8,5	140	22	1256,5	1286,5	1321,5
Примітка: у таблиці наведено середні значення					

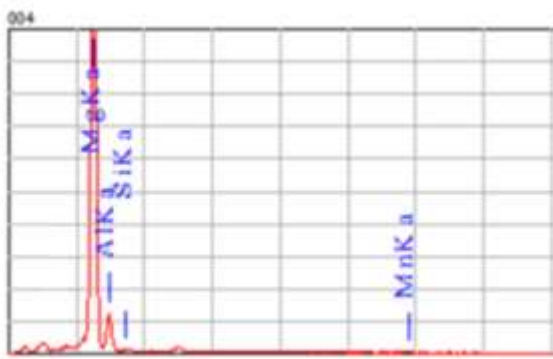
Мікрорентгеноспектральний аналіз евтектичної фази в сплаві з вмістом 7,7% Al вказав, що δ -фаза представляє собою приблизно 6-10 % твердий розчин алюмінію в магнії, а евтектична ($\delta+\gamma$)-фаза складається з магнію (86-87 %) та алюмінію (13-14 %).

У стандартному сплаві МЛ5 існують два види інтерметалідних фаз: сферичні, що знаходяться в тілі зерна, та пластинчасті, розташовані на границях зерен. Мікрорентгеноспектральний аналіз показав, що сферичні інтерметаліди мали склад приблизно 15 % Al та 80 % Mg, з додатковим Si та Mn, тоді як пластинчасті інтерметаліди складалися приблизно з 60 % Mg та 40 % Al (рис. 3.3).

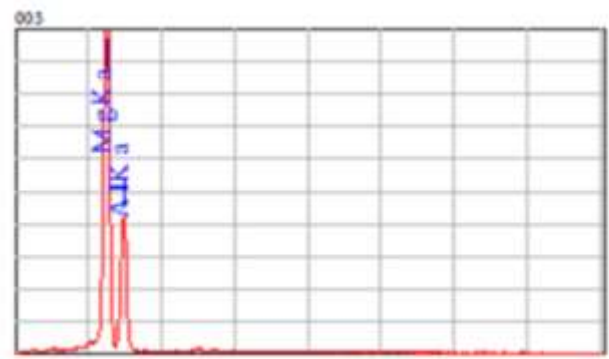
На відміну від пластинчастих інтерметалідів, що характеризуються нижчою температурою плавлення та розташовані на границях зерен, сферичні інтерметаліди, розташовані всередині зерен, можуть слугувати центрами кристалізації. Мікрорентгеноспектральний аналіз сплаву МЛ5 зі збільшеним вмістом цинку (рис. 3.3), виявив присутність відповідних елементів (Al, Si, Mn) у складі інтерметалідів, які впливають на структурні особливості металу.



а



б



в

Ділянка	Mg	Al	Si	Mn	Сума
003	61,83	38,17	0	0	100
004	81,99	14,85	1,36	1,80	100

г

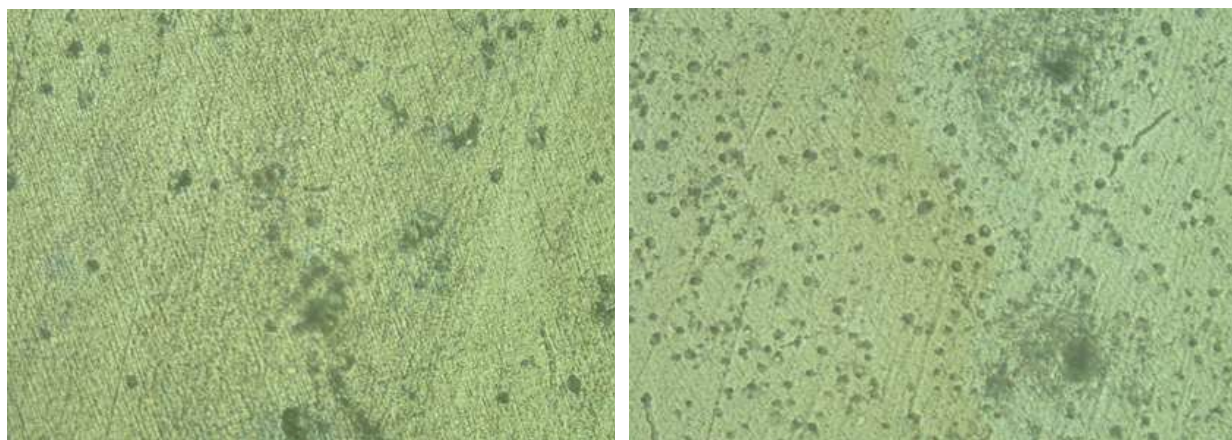
а – ділянка аналізу; б, в – спектрограми ділянок аналізу; г - хімічний склад зазначених ділянок (мас.%)

Рисунок 3.3 – Результати МРСА стандартного сплаву МЛ5, х4500

Дослідження мікроструктури зразків після випробувань на тривалу міцність при температурі 150 °С виявило, що в зразках сплаву з алюмінієм спостерігалось додаткове виділення дрібнодисперсних частинок

інтерметалідної фази (рис. 3.4), що сприяло зміцненню матриці та підвищенню жаростійкості сплаву – при підвищенні вмісту алюмінію з 0 до 8,5 %: τ_{150}^{80} зростало з 0 до 141,5 годин; σ_b до термообробки зростала з 108,4 до 165,3 МПа, після термообробки – з 116,4 до 232,1 МПа; δ до термообробки змінювалась з 1,6 до 2,8 %, після термообробки – з 2,0 до 2,9 % (табл. 3.2). При цьому, в робочій частині зразків, які зазнали деформації, було візуально більше інтерметалідів та дрібніше зерно порівняно з їх неробочою частиною.

Стандартна термообробка та випробування на тривалу міцність майже не впливали на мікротвердість чистого магнію та сплаву з 0,045 % Al. Додаткове збільшення вмісту алюмінію сприяло зростанню мікротвердості матриці з 524,3 до 1256,5 МПа (табл. 3.1). Вищі значення мікротвердості були отримані в робочій частині зразків, які пройшли довготривалі випробування, завдяки зміцненню додатковою інтерметалідною фазою, що виділилась.



а

б

а – неробоча частина; б – робоча частина

Рисунок 3.4 – Мікроструктура зразків магнієвого сплаву з 0,096 % Al після випробувань на тривалу міцність при температурі 150 °C та під навантаженням 80 МПа, x500

Таблиця 3.2 – Механічні властивості та жароміцність сплаву Mg з Al

Вміст Al, мас. %	Механічні властивості				τ_{150}^{80} , ГОД
	До термообробки		Після термообробки		
	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	
--	108,4	1,6	116,4	2,0	0
0,045	108,5	1,8	112,5	2,1	0
0,096	119,5	2,0	119,3	2,3	9,1
1,14	135,6	2,2	190,2	2,5	19,6
8,5	165,3	2,8	232,1	2,9	141,5
Примітка: у таблиці наведено середні значення					

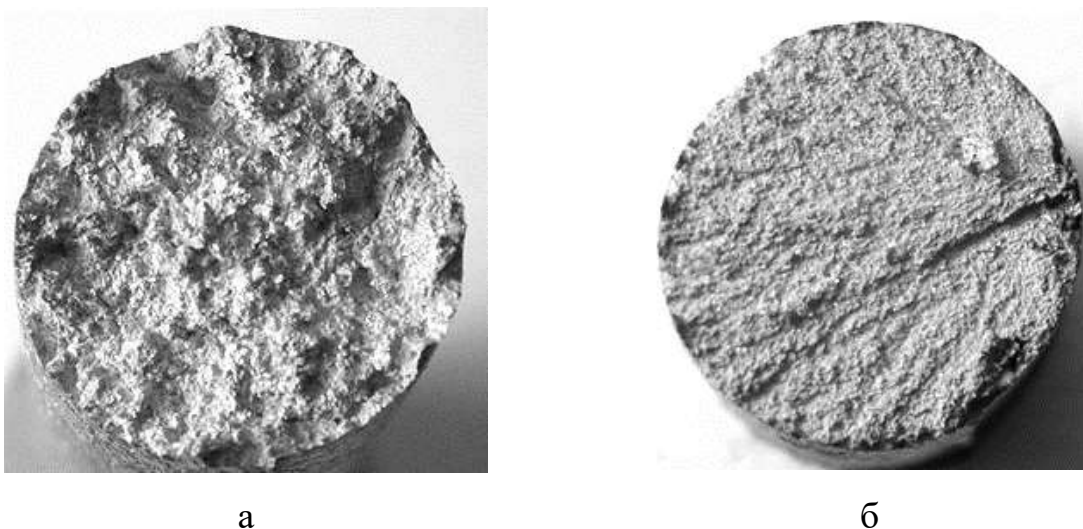
Таким чином, збільшення концентрації алюмінію в магнієвих сплавах, що досліджувались, призводило до змін макро- та мікроструктури, що в свою чергу призводило до підвищення механічних властивостей та термічної стійкості сплавів, як до, так і після термічної обробки. При чому, варто відмітити, що зростали як міцність, так і пластичність сплаву.

3.2 Дослідження впливу цинку на властивості технічно чистого магнію

Цинк демонструє обмежену здатність до розчинення в твердому стані та може формувати багато інтерметалідів з магнієм (див. Розділ 1, рис. 1.4).

Вплив цинку досліджували на зразках сплаву МЛ5. Аналізували структуру та характеристики сплаву при концентраціях 0,32 та 0,97 % Zn. Хімічний склад зразків сплаву МЛ5, що досліджувався, відповідав стандартам ДЕСТ 2856-79, а основні елементи містились в приблизно однакових пропорціях (приблизно 8,8 % Al; 0,35 % Mn; 0,32 % Zn; 0,01 % Fe; 0,007 % Cu; 0,02 % Si).

Макрофрактографічний аналіз зламів виливків зі стандартного сплаву МЛ5 показав, що структура має крупнокристалічну будову. Додавання цинку значно подрібнювало макроструктуру, а вигляд зламу ставав матовим і дрібнокристалічним (рис. 3.5).



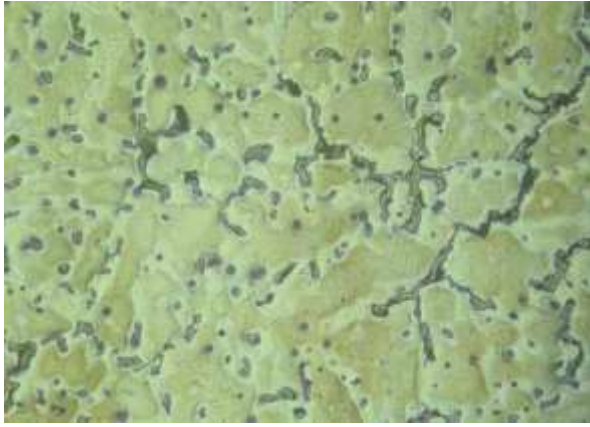
а – стандартний сплав МЛ5; б – сплав МЛ5 із 0,97 % Zn

Рисунок 3.5 – Макрофрактограми зламів литих зразків із сплаву МЛ5, легованих цинком, х5

Мікроструктура сплаву МЛ5 стандартного складу представляла собою δ -твердий розчин з наявністю евтектики типу $\delta+\gamma$, що розташовується по границям зерен, та окремих інтерметалідів γ -фази (рис. 3.6, а).

Зростання концентрації цинку з 0,32 до 0,97 % викликало деяке зменшення відстані між осями дендритів другого рівня та розміру зерна (з 22-24 до 16-20 мкм та з 110-190 до 80-120 мкм відповідно), а також утворення дрібнішої евтектики (табл. 3.3).

При збільшенні концентрації цинку в сплаві спостерігались скупчення інтерметалідів, а їх розміри стають меншими. Після термічної обробки за звичайним режимом, в структурі сплаву можна було помітити пластинчасту евтектику $\delta+\gamma$ та частинки інтерметалідної γ -фази (рис. 3.6, б-д).



а



б



в



г

а – стандартний сплав МЛ5 до термообробки, х100; б – стандартний сплав МЛ5 після термообробки, х200; в – сплав з підвищеним вмістом цинку (0,97 %) до термообробки, х100; г – сплав з підвищеним вмістом цинку (0,97 %) після термообробки, х200

Рисунок 3.6 – Мікроструктура сплаву МЛ5 з різним вмістом цинку

Таблиця 3.3 – Розміри структурних складових у зразках зі сплаву МЛ5 з підвищеним вмістом цинку

Елемент	Вміст, мас. %	Відстань між осями дендритів 2-го порядку, мкм	Величина мікрозерна, мкм
Zn	0,32	22...24 (23)	110...190 (140)
	0,97	16...20 (18)	80...120(100)
Примітка: У дужках вказані середні значення			

Перед проведенням термообробки, мікротвердість δ -твердого розчину стандартного сплаву мала середні значення 1115 МПа, тоді як для евтектики цей показник становив 1227,7 МПа. Після термообробки твердість як матриці, так і евтектика зростали до 1734,6 МПа та до 1375,8 МПа відповідно. Проте варто зазначити, що підвищення твердості матриці було більш суттєве за підвищення твердості евтектики – різниця склала 19 % (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Мікротвердість матриці та евтектики у зразках зі сплаву МЛ5, що містять цинк, до- та після термічної обробки

Елемент	Вміст, мас. %	Мікротвердість HV, МПа			
		До термообробки		Після термообробки	
		Матриця	Евтектика	Матриця	Евтектика
Zn	0,32	1064,0-1167,8 (1115,9)	1167,8-1287,5 (1227,7)	1688,4-1780,8 (1734,6)	1323,2-1428,4 (1375,8)
	0,97	1114,1-1185,5 (1163,3)	1354,4-1414,6 (1384,5)	1785,8-1838,9 (1812,4)	1678,4-1700,7 (1639,6)
Примітка: У дужках вказані середні значення					

В сплаві з підвищеним вмістом Zn (0,97 %), мікротвердість зростала схожим чином: після термообробки твердість як матриці, так і евтектики підвищувалась – з 1163 МПа до 1812,4 МПа, та з 1384,5 МПа до 1439,6 МПа відповідно. При цьому після термообробки твердість евтектики була меншою за твердість матриці на 19 %. Також, підвищений вміст цинку забезпечував більшу середню мікротвердість обох структурних елементів як до-, так і після термообробки в середньому на 4-19 %.

В зразках з підвищеним вмістом цинку помітна значна розбіжність механічних властивостей у зразках без термообробки. Проте, термічна обробка зменшила хімічну неоднорідність сплаву, наблизивши рівень мікротвердості

евтектики до матриці – різниця склала лише 10 % (табл. 3.4). Це сприяло зниженню структурних напружень та підвищенню механічних характеристик, а також теплової стійкості: до термообробки підвищення σ_b , та δ складала 15 % та 8 %, а після термообробки – 3 % та 38 %. τ_{150}^{80} підвищувалось на 7 %. (табл. 3.5). За результатами аналіз механічних властивостей при підвищенні вмісту цинку в зразках до термічної обробки більше суттєво підвищувалась границя міцності, тоді як у зразках після термічної обробки більш значним було підвищення відносного видовження.

Таблиця 3.5 – Механічні властивості та жароміцність сплаву МЛІ5 з різним вмістом цинку

Елем ент	Вміст, мас. %	Механічні властивості				τ_{150}^{80} , год
		До термообробки		Після термообробки		
		σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	
Zn	0,32	160,8	2,3	232,7	2,8	141,1
	0,97	188,0	2,5	240,0	4,5	151,5
Примітка: у таблиці наведено середні значення						

Отже, аналіз впливу алюмінію і цинку на характеристики та структуру магнієвого сплаву демонструє позитивний ефект додавання вказаних елементів та допомагає встановити їх найбільш ефективну пропорцію: 8,5 % алюмінію та 0,97 % цинку.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Додавання присадок алюмінію і цинку в магнієві сплави призводить до подрібнення макро- і мікрозерен та покращує мікротвердість їх складових. Це спостерігається в особливо вираженій формі з зростанням кількості

алюмінію і цинку в основному сплаві. Розмір мікрозерна технічно чистого магнію зменшувався з 300 мкм до 140 мкм при вмісті 8,5 % Al, в той час як зростання концентрації цинку з 0,32 до 0,97 % викликало зменшення відстані між осями дендритів другого рівня та розміру зерна з 22-24 до 16-20 мкм та з 110-190 до 80-120 мкм відповідно.

2. Застосування регресійного аналізу допомогло отримати емпіричні формули (1) та (2), які відображають взаємозв'язки параметрів макро- та мікроструктури (розміру мікрозерна та відстані між осями дендритів 2-го порядку) в залежності від вмісту алюмінію в сплаві.

3. Виявлено конструктивний вплив добавок алюмінію та цинку на механічні характеристики та жаростійкість магнієвого ливарного виробу. При підвищенні вмісту алюмінію з 0 до 8,5 %: τ_{150}^{80} зростало з 0 до 141,5 годин; σ_B до термообробки зростала з 108,4 до 165,3 МПа, після термообробки – з 116,4 до 232,1 МПа; δ до термообробки змінювалась з 1,6 до 2,8 %, після термообробки – з 2,0 до 2,9 %. При збільшенні цинку з 0,32 до 0,97%: до термообробки підвищення σ_B та δ складали 15 % та 8 %, а після термообробки – 3 % та 38 %; τ_{150}^{80} підвищувалось на 7 %.

При цьому, найкраще співвідношення механічних характеристик та жаростійкості досягається при вмісті алюмінію в сплаві 8,5 %, а цинку – 0,97%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [32], а саме:

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати, нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

г) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

є) невідповідність вимогам освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [36].

4.2 Заходи забезпечення безпеки

Згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [32] заходи забезпечення безпеки включають наступні положення:

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах

680...800мм, а ширина і глибина –забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина –800...1000мм).Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) до основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;
- заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;

— захисне заземлення — це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

в) об'єкти відмінності мають як негативний (темні об'єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об'єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м'язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення). Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка). Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блимання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову). Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з'являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока. Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока. Засліплююча дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

г) 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.

д) об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

Для електронного мікроскопа можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками [33-35].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

Заходи з виробничої санітарії складаються з наступних положень [33]:

а) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;
- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;
- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;

– в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % 45 при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

- природне (бокове або верхнє);
- штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове [36-38].

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки, визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції).

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель, блок управління і індикації та програмне забезпечення.

Панель системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникненні з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;
- видавати повідомлення про пожежу та/або проникненні на блоці індикації;
- включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;
- передавати повідомлення на Пульт централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

- інфрачервоні, що реагують на рух;
- магнітоконтатні, що реагують на розмикання дверей;
- акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації [39, 40].

4.5 Заходи безпеки в умовах НС

Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов'язано із значними затратами, а по-друге, все ж

неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв'язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись і здійснюватися лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об'єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об'єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсіпки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т. п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і т. д.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів

для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-охолоджувальних рідин (наприклад, сульфифрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і теплопостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з підвищеною ступеню стійкості до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для

використання джерел електро-, газо-, тепло- і водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз'єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерелах, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові скважини (артезіанські скважини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напівавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини мережі.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Мережі зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання

другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузол заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогнебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогнебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготувати склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об'єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об'єктів, розташованих в низинних ділянках

місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідропоруд.

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення, ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг) [41, 42].

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Європейська інтеграція України та її співпраця з міжнародним бізнес-середовищем потребують пристосування внутрішнього бізнесового ландшафту до глобальних стандартів, використовуючи ключові бізнес-принципи в українському підприємницькому середовищі. Позитивні та стабільні відносини з зацікавленими сторонами стають фундаментом для стабільного розвитку бізнес-структур. Українські компанії вже починають усвідомлювати важливість взаємодії з клієнтами, але відносини з широким колом зацікавлених сторін ще не отримали належного визнання як сфера, що потребує окремої стратегії або підходу. Проте для великих світових корпорацій системний підхід до взаємовідносин з зацікавленими сторонами вже є нормою. Вони враховують вплив та інтереси зацікавлених сторін при прийнятті рішень, що дозволяє їм краще оцінювати реалії своєї діяльності та розуміти потенційні ризики та можливості.

Використання легких сплавів, таких як магній, в конструкціях, що потребують підвищеної міцності або витривалості при підвищених температурах, надає імпульс для розробки нових методів легування та модифікації металів. При цьому, нові методи повинні бути економічно ефективними і високопродуктивними. Основні напрями для подальших досліджень включають:

- встановлення критичних параметрів легування і модифікації під час виробництва легованих виробів, з метою досягнення оптимальної структури в існуючих сплавах і підвищення їх механічних характеристик;
- розробка нових сплавів, які максимально використовують переваги новітніх технологій і нестандартних процесів;
- створення нових економічно ефективних і високопродуктивних методів для виробництва виробів з легких сплавів.

Механічні характеристики, отримані в легких сплавах, зокрема магнієвих, тісно пов'язані з їхньою структурою, що включає розмір зерна, форму та розподіл надлишкових фаз, розмір та розподіл інтерметалідних фаз, а також форма та розміри дендритів. Існує чимало досліджень, які встановлюють кореляцію між механічними властивостями та мікроструктурою, як для модифікованих, так і для сплавів, що проходили легування. Втім, виробничі обмеження та складна форма деталей із легких сплавів іноді перешкоджають отриманню ідеальної структури в готових виробах. Механічні властивості зразків, що були вирізані з робочих деталей, часто відрізняються від спеціально виготовлених модифікованих або легованих зразків. Таким чином, засобом досягнення значного збільшення рівня властивостей існуючих матеріалів може стати вдосконалення методів модифікації та легування легких сплавів з метою створення оптимальних мікроструктур.

5.2 Послідовний аналіз собівартості виконання науково-дослідної роботи

Було проведено аналіз спрямованості застосування та переваг для користувачів нової розробки (табл. 5.1). Надано глобальне розуміння сутності ідеї та можливих основних потенційних ринків, в рамках яких необхідно визначати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Розробка легких магнієвих сплавів із підвищеним рівнем механічних та термостійких властивостей, додатково легованих алюмінієм та цинком	Авіаційна індустрія	Висока міцність і довговічність: сплави забезпечують відмінну стійкість до навантажень і подовжують термін служби деталей
	Автомобільна промисловість	Легкість: сплави знижують вагу деталей, покращуючи їх експлуатаційні характеристики
	Виробництво електроніки	Термостійкість: деталі з цих сплавів витримують підвищені температури

Проведений аналіз характеристик потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	Великі металургійні та виробничі компанії, такі як «Запоріжсталь», «Запорізький Титано-магнієвих комбінат», «Іллічівський металургійний комбінат» в Україні та Magnesium Elektron, US Magnesium LLC, Nanjing Yunhai Special Metals Co. за кордоном
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільний ріст з підвищенням вимог до енергоефективності та надійності в автомобільній, авіаційній та електронній промисловостях

Кінець таблиці 5.2

Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі витрати на технології та обладнання, необхідність високої технічної експертизи, строгі нормативи з охорони здоров'я та безпеки, а також вимоги до стандартизації та сертифікації
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідання строгим міжнародним стандартам якості та безпеки, таким як ASTM (American Society for Testing and Materials) для магнієвих сплавів. Необхідні сертифікати також включають сертифікати ISO, сертифікати безпеки виробництва, вимоги ДСТУ (Державних стандартів України), а також ДЕСТ (вимогам Державних стандартів СНД), вимоги системи УкрСЕПРО

Вивчено та визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Легкі, термостійкі та механічно міцні матеріали в галузях автомобілебудування, авіації та електроніки	Виробники автомобілів, авіаційного обладнання, електроніки та промислового обладнання	Основні інтереси включають термостійкість, механічну міцність і легкість матеріалів	Надійність, ефективність та легкість обробки нових сплавів

Виконано SWOT-аналіз середовища реалізації інноваційного проекту (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – SWOT-аналіз проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
– Новітній продукт з поліпшеними властивостями – Потенційний високий попит у галузях автомобілебудування, авіації, електроніки та промислового обладнання – Можливість використання в екологічно чистих та енергоефективних технологіях	– Високі витрати на дослідження та розробку – Потенційні технологічні проблеми або обмеження у виробництві сплавів – Необхідність дотримання строгих стандартів та нормативів в галузі – Ризик повільного прийняття нового продукту на ринку
Можливості:	Загрози:
– нові застосування для магнієвих сплавів, особливо в галузях, де вага є критичним фактором – Унікальні фізико-механічні характеристики нового сплаву	– чутливість до економічних криз та коливань цін на сировину – підвищення конкуренції та зменшення частку ринку для локальних виробників магнієвих сплавів – недостатня корозійна стійкість може вплинути на сприйняття ринком та обмежити використання цих сплавів

Першим кроком розроблення ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.5).

Було проведено ідентифікацію учасників проекту, визначено їх пріоритети та створено Мапу стейкхолдерів, що допоможе відобразити мережу взаємозв'язків між учасниками. З метою демонстрації взаємозв'язків учасників у Mapі, було виділено три концентричних зони, де розташовано всі зацікавлені

сторони інноваційного проекту за ступенем впливу на них з боку ініціатора проекту. Зона внутрішніх стейкхолдерів – це сфера повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони підпорядковані ініціатору, що дозволяє застосовувати прості методики управління проектом (рис. 5.1).

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Легкі та термостійкі матеріали для продуктів	Потенційно висока	100 000	Висока, але є можливість вирізнитися за допомогою унікальних матеріалів	Ускладнений через необхідність технічної експертизи та високих інвестицій
Поліпшення енерго-ефективності та безпеки своїх виробів	Потенційно висока	10 000	Висока, з огляду на багато інших компаній, які розробляють високоякісні матеріали	Ускладнений через високі бар'єри входу, включаючи високі вимоги до виробництва та сертифікації

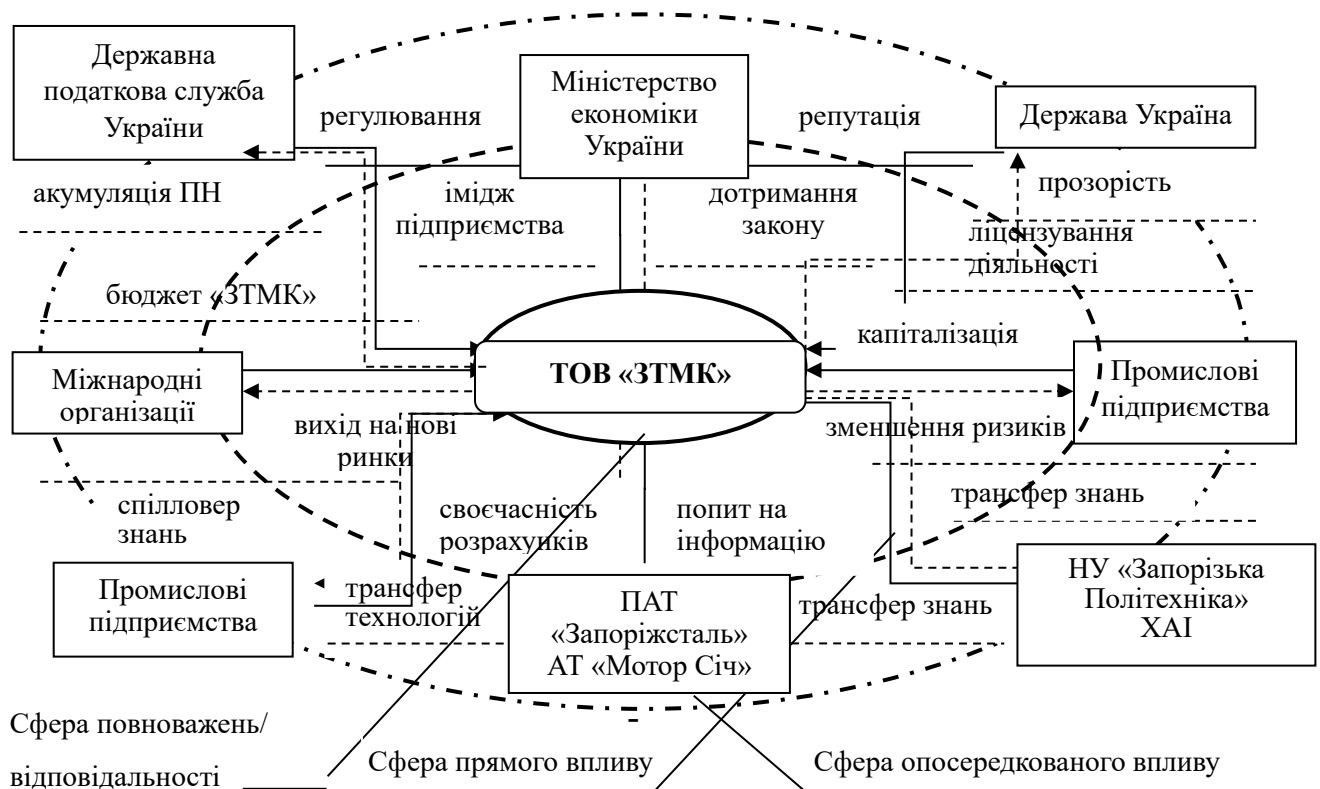


Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

Згідно визначених критеріїв виконано розрахунок собівартості науково-дослідної роботи (НДР) з розробки та впровадження нових магнієвих сплавів, додатково легованих алюмінієм та цинком.

Встановлено витрати на заробітну плату, враховуючи баланс робочого часу одного співробітника. Витрати за цим показником включають плановий фонд оплати праці всіх категорій працівників, що беруть участь у проведенні досліджень (табл. 5.6).

Розраховано вартість матеріалів для НДР. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення дослідних зразків (табл. 5.7).

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток, %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	11689	20	2337	14026	168321	37030
Старший науковий співробітник	1	10982	20	2196	13178	158140	34790
Молодший науковий співробітник	1	9633	20	1926	11559	138715	30517
Лаборант	2	6700	20	1340	8040	192960	42451
Разом	5	39004	-	7800	46804	658137	144790

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Папір	—	3 блоки	120	360
Ручка	—	20 одиниць	15	300
Олівець	—	20 одиниць	10	200
Зразки	70	70 одиниць	145	10150
Реактиви	—	10 одиниць	900	9000
Змінні лінзи	—	2 одиниці	3200	6400
Тара зразків	—	14 одиниць	50	700
Разом				27110

Розраховано вартість спожитих послуг. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Виробнича програма, одиниць	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	—	500 кВт×год	1,18 грн/кВт×год	590
Водопостачання	—	5 м ³	28,3 грн/м ³	141
Теплопостачання	—	2 Гкал	3777 грн/Гкал	7554
Охоронна система	—	1	1500 грн	1500
Утилізація реактивів	2	2	200 грн	400
Разом				10185

Визначено річну суму амортизації устаткування з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації при терміні експлуатації у 5 років (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Кількість	Первісна вартість ОЗ	Вартість обладнання	Річні амортизаційні відрахування	Витрати на поточний ремонт у розмірі 2%
Металографічний мікроскоп	2	98 287	196574	27520	3931
Електронний мікроскоп	1	1357110	1357110	189995	27142
Аналізатор металів та сплавів	1	941240	941240	131773	18824
Комп'ютер	4	26547	106188	14866	2123
Принтер	1	14521	14521	2032	290
Разом	9	2437705	2615633	366188	52312

Розроблено кошторис витрат (табл. 5.10) при проведення науково-дослідницької роботи на основі попередніх даних (табл. 5.6-5.9).

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати
Фонд заробітної плати, грн/рік	658137
ЄСВ, грн/рік	144790
Матеріальні витрати, грн/рік	27110
Вартість спожитих послуг, грн/рік	10185
Амортизація обладнання, грн/рік	366188
Поточний ремонт, грн/рік	52312
Виробнича собівартість, грн/рік	1258722
Адміністративні витрати, грн/рік	329069
Повна собівартість, грн/рік	1587791

5.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження результатів НДР

При використанні 20% лігатур Mg-Al та Mg-Zn та враховуючи вартість обробки (що становить 15% та до якої входять термічна обробка, механічна обробка, лиття, тощо) розраховано собівартість сплавів, що розглядаються (табл. 5.11):

- собівартість однієї тони (C_1) промислового серійного технічно чистого магнію МЛ90 становить: $C_1 = 496800$ грн/т;

- собівартість однієї тони (C_2) розробленого сплаву МЛ15 додатково легованого алюмінієм та цинком становить: $C_2 = 624028$ грн/т.

Таблиця 5.11 – Вартість сировини для виготовлення сплавів

Назва матеріалу	Ціна грн/кг	Вміст, % МЛ90	Ціна за 1 кг, МЛ90	Вміст, % МЛ5+Al, Zn	Ціна за 1 кг, МЛ5+Al, Zn
Магній	432	Основа	432	Основа	432
Алюміній	240	-	-	8,5	102
Цинк	178	-	-	0,97	8,633
Разом		100	432	100	542,633

Поряд з цим, розроблений сплав має вищі механічні та спеціальні властивості (границя міцності, відносне видовження, жаростійкість) відносно технічно чистого магнію у 2-3 рази. Це призводить до збільшення міжремонтного ресурсу та граничного терміну експлуатації деталей у 1,5-2 рази, а також дозволить виготовляти нові типи деталей, що працюють у більш суворих умовах, збільшуючи замовлення з 30000 до 110000 на рік.

Збільшення собівартості (ΔC) розробленого сплаву МЛ5 додатково легованого алюмінієм та цинком, в порівнянні з вартістю технічно чистого магнію становить:

$$\Delta C = (C_2 - C_1) / C_1 \quad (5.1)$$

$$\Delta C = (624028 - 496800) / 624028 = 0,2 = 20 \%$$

Таким чином, орієнтовне збільшення собівартості деталей з розробленого сплаву відносно технічно чистого магнію становить 20 %.

Річна потреба виробництва у деталях з розробленого сплаву складає 110000 деталей на рік, що складається з 10000 деталей вагою 1-3 кг, 50000 деталей вагою 0,5-2 кг та 50000 деталей 0,1-0,2 кг. Таким чином, необхідну кількість сплаву можна розрахувати як (5.2):

$$A = n_1 \times m_1 + n_2 \times m_2 + n_3 \times m_3 \dots n_n \times m_m, \quad (5.2)$$

де n_n – кількість деталей у річному замовленні відповідного типу;

M_m – середня маса деталі відповідного типу.

Річна потреба виробництва у технічно чистому магнії була:

$$A_{\text{спл}} = 2000 \times 2 + 14000 \times 1,75 + 14000 \times 0,15 = 30600 \text{ кг} = 30,6 \text{ т}$$

При впровадженні розробленого сплаву, замовлення виробництва було збільшено, а отже потреба у сплаві стала:

$$A_{\text{спл}} = 10000 \times 2 + 50000 \times 1,75 + 50000 \times 0,15 = 115000 \text{ кг} = 115 \text{ т}$$

Відповідно, розраховано мінімальну ціну товару без врахування податку, при якій 100% реалізація 115 т продукції щорічно компенсує витрати на проведення НДР впродовж 5 років:

$$\Pi = (C_{\text{ндр}} + C_2 \times A_{\text{спл}} + P + H) / A_{\text{спл}}, \quad (5.3)$$

де Π – ціна товару;

$C_{\text{ндр}}$ – собівартість НДР згідно кошторису (табл. 5.10), грн;

C_2 – собівартість розробленого сплаву, грн/кг;

P – витрати на реалізацію товару, 20 % від собівартості, грн;

H – накладні витрати (адміністративні витрати, комунальні послуги, амортизація тощо), 10 % від собівартості, грн;

$A_{\text{спл}}$ – обсяг замовлення, кг.

$$\begin{aligned} \Pi &= (1587791 + 624,028 \times 115000 + 71763220 + 35881610) / 115000 = \\ &= 825 \text{ грн/кг} \end{aligned}$$

Ціна виробів з технічно чистого магнію до була встановлена на рівні 650 грн/кг. При річному замовленні виробництва у 30,6 т, прибуток за 5 років складав:

$$\Pi_{\text{чм}} = \Pi_{\text{чм}} \times (A_{\text{чм}} \times 5) - C_1 \times (A_{\text{чм}} \times 5) - P_{\text{чм}} - H_{\text{чм}}, \quad (5.4)$$

де $\Pi_{\text{чм}}$ – ціна виробів з технічно чистого магнію, грн/кг;

C_1 – собівартість технічно чистого магнію грн;

$P_{\text{чм}}$ – витрати на реалізацію товару, 20 % від собівартості, грн;

$H_{\text{чм}}$ – накладні витрати (адміністративні витрати, комунальні послуги, амортизація тощо), 10 % від собівартості, грн;

$A_{\text{чм}}$ – обсяг замовлення технічно чистого магнію, кг.

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{чм}} &= 650 \times (30600 \times 5) - 496,800 \times (30600 \times 5) - 15202080 - 7601040 = \\ &= 636480 \text{ грн} \end{aligned}$$

В результаті впровадження нового магнієвого сплаву у виробництво середня ціна за 1 кг товару збільшилась з 650 грн/кг до 825 грн/кг. При цьому, зважаючи на підвищену ефективність нового сплаву, об'єм замовлення було збільшено з 30,6 т до 115 т на рік. Таким чином, при впровадження нового сплаву прибуток виробництва за 5 років буде становити:

$$\Pi_{\text{чм}} = \Pi \times (A \times 5) - C_2 \times (A \times 5) - P - H, \quad (5.5)$$

де Π – ціна виробів з розробленому сплаві, грн/кг;

C_2 – собівартість розробленого магнію грн;

P – витрати на реалізацію товару, 20 % від собівартості, грн;

H – накладні витрати (адміністративні витрати, комунальні послуги, амортизація тощо), 10 % від собівартості, грн;

A – обсяг замовлення розробленого сплаву, кг.

$$\begin{aligned} \Pi &= 825 \times (115000 \times 5) - 624,028 \times (115000 \times 5) - 71763220 - 35881610 = \\ &= 7938955 \text{ грн} \end{aligned}$$

Отже, економічний ефект від впровадження нового сплаву склав:

$$E_k = \Pi - \Pi_{\text{чм}} = 7938955 - 636480 = 7302475 \text{ грн}$$

Таким чином, підвищення прибутку від провадження нового сплаву у 11 разів повністю компенсує підвищення собівартості матеріалу, що становило 20 %, а також всі витрати на проведення науково-дослідної роботи впродовж 5 років.

5.4 Висновки до розділу 5

1. Проведено аналіз потенційного ринку для нового магнієвого сплаву. Визначено основних конкурентів, динаміку ринку та обмеження для входу. Ринок демонструє стабільне зростання з підвищенням вимог до енергоефективності та надійності в автомобільній, авіаційній та електронній галузях.

2. Розраховано собівартість науково-дослідної роботи з впровадження нового магнієвого сплаву, легованого алюмінієм та цинком, що склала 1587791 грн на рік. Основні статті витрат: фонд заробітної плати 658137 грн та амортизація обладнання 366188 грн.

3. Собівартість 1 тонни нового сплаву на 20 % вища за собівартість технічно чистого магнію і становить 624028 грн/т. Проте новий сплав має у 2-3 рази вищі механічні характеристики.

4. За рахунок вищих властивостей нового сплаву, обсяг замовлень зріс з 30,6 тонн до 115 тонн на рік. Мінімальна ціна реалізації встановлена на рівні 825 грн/кг.

5. Економічний ефект за 5 років від впровадження нового сплаву склав 7302475 грн. Зростання прибутковості у 11 разів компенсує підвищення собівартості матеріалу та витрати на науково-дослідну роботу.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав, що магнієві сплави широко застосовуються в авіаційній, автомобільній, електронній промисловості. Попит на ці сплави демонструє стійке зростання завдяки вимогам підвищення енергоефективності та надійності.

2. Встановлено, що основними легувальними елементами в промислових магнієвих сплавах є алюміній та цинк. Вміст алюмінію впливає на міцність, пластичність та технологічність сплавів. Цинк підвищує міцність та зменшує розмір зерна.

3. Досліджено вплив алюмінію та цинку на магнієвий сплав МЛ5. Встановлено, що оптимальний вміст становить 8,5% Al та 0,97% Zn. Додавання 8,5% Al зменшувало розмір мікрозерна з 300 до 140 мкм, а 0,97% Zn зменшувало відстань між дендритами з 22-24 до 16-20 мкм. Також додавання 8,5% Al та 0,97% Zn підвищило мікротвердість матриці та евтектики після термообробки на 55% та 28% відповідно.

4. Додаткове легування підвищувало механічні властивості сплаву МЛ5, які після легування Al та Zn зросли: границя міцності на 3%, відносне подовження на 38%, тривала міцність на 7%.

5. Впровадження нового сплаву дозволило збільшити обсяг виробництва з 30,6 тонн до 115 тонн на рік. При цьому, ціна реалізації нового сплаву становить 825 грн/кг, що на 26% вище за вихідний матеріал. Не зважаючи на це, економічний ефект за 5 років склав 7,3 млн грн завдяки 11-кратному зростанню прибутковості.

6. Дослідження та розробка нових сплавів системи Mg-Al-Zn відкриває нові можливості для покращення структури та підвищення механічних характеристик та жаростійкості ливарних виробів, що збільшує їхнє застосування і робить їх привабливим матеріалом для використання в машинобудуванні.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Альтман, М.Б. Магниево-сплавов І. Справочник / М.Б. Альтман, А.Ф. Белов, В.И. Добаткин, М.Е. Дриц, Ф.И. Квасов, А.Т. Туманов // М.: Металлургия. – 1978. 232 с.
2. Эйдензон, М.А. Магний / М.А. Эйдензон // М.: Металлургия. – 1969. 352 с.
3. Friedrich, H.E. Magnesium Technology. Metallurgy, Design Data, Applications / H.E. Friedrich, B.L. Mordike // Springer. – 2006. 677 p.
4. Pekguleryuz, M.O. Fundamentals of magnesium alloy metallurgy / M.O. Pekguleryuz, K.U. Kainer, A.A. Kaya // Woodhead Publishing Limited. – 2013. 368 p.
5. Monteiro, W. A. New Features on Magnesium Alloys / W. A. Monteiro // InTech. – 2012. 184 p.
6. Song, G.L. Fundamentals of magnesium alloy metallurgy / G.L. Song // Woodhead Publishing Limited. – 2011. 640 p.
7. Рохлин, Л.Л. Магниево-сплавов, содержащие редкоземельные металлы / Л.Л. Рохлин // М.: Наука. – 1980. 189 с.
8. González-Martínez, R. Influence of aging on damping of the magnesium–aluminium–zinc series / R. González-Martínez, J. Göken, D. Letzig, K. Steinhoff, K.U. Kainer // Journal of Alloys and Compounds. Vol. 437. – 2007. P. 127-132.
9. ОСТ1 90360-85. Магниево-литейные сплавы, отлитые в песчаные формы. Определение микроструктуры [Чинний від 01.01.86]. М.: Изд-во стандартов, 1986. 28 с.
10. Wu, D. Microstructure and Mechanical Properties of a Sand-Cast Mg-Nd-Zn Alloy / D. Wu, R.S. Chen, W. Ke // Materials and Design. – 2014. P. 324–331.
11. Mutua, J. Automobile Weight Optimization Using Magnesium Alloy AZ31B / J. Mutua, J.M. Kihui, G.O. Rading. Proceedings of the 2012 Mechanical

Engineering Conference on Sustainable Research and Innovation. – 2012. P. 268-270.

12. Шаломєєв, В. А. Структура та властивості магнієвого сплаву МЛ-5 з легкоплавкими металами / В. А. Шаломєєв, Ю. О. Зеленюк, Е. І. Цивірко // Запоріжжя: Вісник двигунобудування. – 2014.

13. Лякишев, Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. Т.3, кн. 1 / Н.П. Лякишева // М.: Машиностроение. – 1996. 1024 с.

14. Dahle, A. K. Development of the as-cast microstructure in magnesium-aluminium alloys / A. K. Dahle, Y. C. Lee, M. D. Nave, P. L. Schaffer, D. H. StJohn // Journal of Light Metals. Vol.1 – 2001. P. 61-72.

15. Рейнор, Г.В. Металловедение магния и его сплавов / Г.В. Рейнор // М.: Металлургия. – 1964. 486 с.

16. Koç, E. Influence of zinc on the microstructure, mechanical properties and in vitro corrosion behavior of magnesium-zinc binary alloys / E. Koç, M.B. Kannan, M. Ünal, E. Candan // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. P. 1-11.

17. Nave, M. D. The Role of Zinc in the Eutectic Solidification of Magnesium-Aluminium-Zinc Alloys / M. D. Nave, A. K. Dahle, D. H. StJohn // The Minerals, Metals & Materials Society. – 2000. P. 243-250.

18. Shalomееv, V. A., Tsivirko E. I., Aikin N. D. High-Quality Magnesium-Based Alloys with Improved Properties for Engineering / V. A. Shalomееv, E. I. Tsivirko, N. D. Aikin // New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering – 2019. P. 57-61.

19. Mima, G. The Main Factors Affecting the Aging of Magnesium-Zinc Alloys / G. Mima, Y. Tanaka // Journal of the Japan Institute of Metals. Vol. 12 – 1971. P. 76-81.

20. Mima, G. Mechanism of Precipitation Hardening of Magnesium-Zinc Alloys / G. Mima, Y. Tanaka // Journal of the Japan Institute of Metals. Vol. 12 – 1971. P. 323-329.

21. 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.
22. Wang, Y. Hot-tearing susceptibility of Mg–9Al–xZn alloy / Y. Wang, Q. Wang, G. Wu et al. // Mater. Lett. – 2002. P. 929–934.
23. Дриц, М.Е. Сверхлегкие конструкционные магниевые сплавы / М.Е. Дриц, Э.А. Свидерская, Ф.М. Елкин, В.Д. Трохова // – М. : Наука. – 1972. 144 с.
24. ГОСТ 804-93. Магний первичный в чушках. Технические условия [Чинний від 01.01.97]. М.: Изд-во стандартов, 2004. 8 с.
25. ГОСТ 3640-94. Цинк. Технические условия [Чинний від 01.01.97]. М.: Изд-во стандартов, 1997. 9 с.
26. ГОСТ 11069-74. Алюминий первичный. Марки [Чинний від 01.01.2003]. М.: Стандартиформ, 2008. 8 с.
27. ГОСТ 2856-79. Сплавы магниевые литейные. Марки [Чинний від 01.01.81]. М.: Изд-во стандартов, 1981. 4 с.
28. ТУ 1-92-13-73. Флюс марки ВИ-2. Технические условия [Чинний від 01.07.73]. М.: Изд-во стандартов, 1973. 7 с.
29. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников [Чинний від 01.01.77]. М.: Изд-во стандартов, 1977. 35 с.
30. ГОСТ 9651-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах [Чинний від 16.07.1984]. М.: Изд-во стандартов, 1984. 41 с.
31. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение [Чинний від 01.01.86]. М.: Стандартиформ, 2008. 24 с.
32. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. [На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350; чинний від 2012-03-16]. К.: МНС України, 2012. 37 с.
Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12#n16>

33. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним [На заміну ДБН В.2.5-27-2006; чинний від 2017-04-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

34. НПАОП 0.00-1.71-13. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Чинний від 2014-03-28]. К.: Міненерговугілля України, 2013. 59 с. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>.

35. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10; чинний від 2018-05-18]. К.: Мінсоцполітики України, 2018. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>.

36. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Чинний від 1998-12-10]. К.: МОЗ України, 1998. Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>.

37. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Чинний від 1999-12-01]. К.: МОЗ України, 1999. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

38. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006; чинний з 2019-03-01]. К.: Мінрегіон України, 2018. 133 с.

39. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні [На заміну НАПБ А.01.001-04; чинний від 2014-12-30]. К.: МВС України, 2014. 47 с.

40. ДСТУ ISO 6309:2007. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір [На заміну ГОСТ 12.4.026-76 в частині пунктів 1.1, 1.2, 1.4, 1.6 таблиці 5, пунктів 2.1, 2.2 таблиці 6, пунктів 4.1-4.11 таблиці 8; знаків 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 2.1, 2.2, 4.1-4.11 додатка 3; чинний від 2007-10-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 9 с.

41. ДБН Б.2.2-12:2018. Планування і забудова територій [На заміну ДБН 360-92; ДБН Б.2.4-1-94; ДБН Б.2.4-3-95; ДБН Б.2.4-4-97; ДБН Б.1-2-95; СНиП II-89-80; чинний від 2018-09-01]. К.: Мінрегіон України, 2018. 179 с.

42. Катренко, Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум [Текст]: навчальний посібник / Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Піскун // Суми: ВТД «Університетська книга». – 2007. 496 с.