

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему Вплив напівпровідникових металів на структуру та властивості сплаву
на основі магнію

Виконав(ла): студент(ка) курсу, групи ІФ-612м

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

ПРИХОДЬКО Антон Ігорович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ШАЛОМЄЄВ Вадим Анатолійович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний
 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 «Фізичне матеріалознавство»

Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ПРИХОДЬКО Антон Ігорович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Вплив напівпровідникових металів на структуру та властивості сплаву на основі магнію

керівник проєкту (роботи) д.т.н., професор ШАЛОМЄЄВ Вадим Анатолійович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) значення технологічних властивостей сплаву МЛ10, його хімічний склад, проблематика при зварюванні магнієвих сплавів.

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

1. Огляд літературних джерел;
2. Матеріали та методики досліджень;
3. Експериментальний розділ;
4. Охорона праці;
5. Економічний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Хімічний склад сплаву МЛ5 за ДСТУ ISO 16220:2008, Діаграми стану системи Mg-Al та Mg-Zn, Зразки для проведення механічних випробувань, Макрофрактограми зламів зразків із сплаву МЛ5, ×5, Мікроструктура зразків із термообробленого сплаву МЛ5, ×100, Середня довжина інтерметалідів у сплаві МЛ5 з Si, ×500, Результати РСМА інтерметаліду в сплаві МЛ5 з 1,09 % Ge, Результати РСМА інтерметаліду в сплаві МЛ5 з 1,05 % Si, Механічні властивості та жароміцність сплаву МЛ5 з Si та Ge

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	ШАЛОМЄСВ В.А., д.т.н., професор		
4	КРУГЛІКОВА В.М.		
5	НЕСТЕРОВ О.В., к.т.н., доцент		
н/к			

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення із темою дипломного проекту. Вивчення відповідної літератури	06.10.2023	
2	Розробка вступу та розділу «Літературний огляд»	16.10.2023	
3	Розробка розділу «Матеріали та методики досліджень»	27.10.2023	
4	Розробка розділу «Експериментальний розділ»	16.11.2023	
5	Розробка розділу «Охорона праці»	04.12.2023	
6	Розробка розділу «Економічний розділ»	20.12.2023	
7	Написання висновків та переліку посилань	22.01.2024	

Студент(ка)

_____ (підпис)

АНТОН ПРИХОДЬКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

Вадим ШАЛОМЄСВ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 87 с., 26 табл., 18 рис., 10 дод., 78 джерел.

МАГНІЄВИЙ СПЛАВ, МЛ5, АВІАЦІЯ, АВІАБУДУВАННЯ, МЕТАЛЕВІ НАПІВПРОВІДНИКИ; МОДИФІКУВАННЯ; ВИЛИВКИ МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

Об'єкт розробки – сплав МЛ5 модифікований напівпровідниковими металами (Si, Ge).

Мета роботи – дослідження впливу добавок кремнію та германію до сплаву МЛ5 на його експлуатаційні характеристики. Дослідити можливості покращення цих характеристик та розширення номенклатури виробів авіаційного призначення.

Результати роботи – Внаслідок додавання до складу ливарного магнієвого сплаву МЛ5 напівпровідникових модифікаторів (кремнію та германію) у кількості 0,1% кожного, зафіксовано підвищення комплексу експлуатаційних властивостей. Це дозволяє підвищити надійність виготовлених деталей, їх довговічність, а також розширити номенклатуру деталей, які можна виготовити з розробленого сплаву.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	7
1 Огляд літературних джерел.....	8
1.1 Застосування магнієвих сплавів у машинобудуванні та особливості їх експлуатації	8
1.2 Взаємозв'язок хімічного складу, структури та властивостей магнієвих сплавів.....	11
1.2.1 Аналіз промислових литих магнієвих сплавів.....	11
1.2.2 Модифікування магнієвих сплавів.....	17
1.2.3 Легування магнієвих сплавів	20
1.3 Виробництво виливків із магнієвих сплавів	23
1.3.1 Виплавка і рафінування сплавів.....	23
1.3.2 Технологія отримання виливків	26
2 Матеріали та методика дослідження.....	29
2.1 Проведення плавки та термічної обробки.....	29
2.2 Механічні властивості й металографічні дослідження.....	33
2.3 Рентгеноспектральний аналіз.....	35
3 Дослідження впливу кремнію та германію на структуру та властивості магнієвого сплаву МЛ5	37
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	45
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	45
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	46
4.3 Заходи з виробничої санітарії.....	50
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	51
4.5 Заходи безпеки в умовах НС.....	53
5 Економіко-організаційна частина.....	58
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	58
5.2 Послідовний аналіз.....	59

Висновки.....	68	6
Перелік джерел посилань.....	69	
Додаток А	77	

ВСТУП

Розвиток сучасного авіадвигунобудування, де поряд зі звичайними вимогами до конструкцій, що працюють за підвищених температур, стає дедалі важливішим зменшення їхньої ваги, що робить застосування легких матеріалів на основі магнію дуже перспективним. Наявність сировинних ресурсів і висококваліфікованих кадрів дає змогу з високою часткою оптимізму оцінювати активний розвиток в Україні виробництва виливків із магнієвих сплавів, що застосовуються в автомобільній, авіаційній, приладобудівній і хімічній промисловості [1].

Застосування виливків із магнієвих сплавів дає змогу істотно знизити масу агрегатів, що забезпечує збільшення їхнього ККД, підвищення швидкості, корисного навантаження, дальності пробігу, зниження витрати палива. Постійно зростаючі вимоги до експлуатаційної надійності та довговічності авіаційної техніки зумовлюють необхідність підвищення властивостей виливків із магнієвих сплавів [2].

Останнім часом проводиться велика кількість досліджень з вивчення впливу металургійних і технологічних чинників на фізико-механічні та експлуатаційні властивості виливків з магнієвих сплавів [3], однак, кількість робіт, присвячених з'ясуванню природи цього впливу, взаємозв'язку його зі структурним станом металу дуже обмежена.

Тому розробка нових і вдосконалення складу застосовуваних магнієвих сплавів з підвищеним комплексом властивостей на основі атомно-електронної взаємодії їхніх компонентів, поліпшення якості виливків з магнієвих сплавів за рахунок управління їхніми структурними характеристиками є актуальним завданням, вирішення якого прискорить темпи розвитку машинобудування.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Застосування магнієвих сплавів у машинобудуванні та особливості їх експлуатації

Основним і досить ємним споживачем магнієвих сплавів є авіаційна промисловість. Для авіації використання магнієвих сплавів є традиційним.

Ще на літаках розробки 40...50 років минулого століття (Ту-2, Ту-4, Ту-16, Ту-95) обсяг застосування магнієвих сплавів становив 5...6 %. На літаку Ту-4 маса деталей з магнієвих сплавів досягала 650 кг, Ту-95 - 1550 кг і Ту-22 – 820 кг. Широко застосовувалися магнієві сплави і в конструкціях літаків 60-х років минулого століття (Ту-134, Ту-154). Так, у літаку Ту-134 було 1325 деталей загальною масою 780 кг із магнієвих сплавів, зокрема в крилі – 1194, оперенні – 126 і фюзеляжі – 5. На серійному літаку Ту-154 встановлено деталі з магнієвих сплавів масою 830 кг. Нині з магнієвих ливарних сплавів виготовляють різноманітні вироби для літаків і гелікоптерів: зі сплаву МЛ5 – деталі внутрішнього набору фюзеляжів, кабіни пілота, панелей приладів, кронштейни, рами, передкрилки, елементи двигунів; зі сплаву МЛ10 – деталі насосів, редукторів, маслоагрегатів, вентиляторів, корпуси двигунів [4]. Виливки з магнієвих сплавів широко застосовуються в літаках інших країн. Так, у конструкцію літака F-80 (США) входить 300 деталей, відлитих із магнієвих сплавів, а бомбардувальник В-52 (США) містить їх понад 200 кг. В американському бомбардувальнику В-36 використовувалося 1 т магнієвих сплавів [5]. Магнієві сплави успішно застосовують у конструкціях ракет, керованих снарядів і космічних апаратів. Для ракет, снарядів і космічних апаратів з магнієвих сплавів відливають деталі двигунів, кронштейни, елементи кріплення, деталі хвостового оперення, стабілізатори тощо. Американські та англійські снаряди і ракети мають високу частку магнієвих сплавів. У керованому снаряді "Титан" загальна їхня маса становить до 900 кг, у снаряді "Мейс" – 435 кг, у снаряді "Старке" – 680 кг. Космічні супутники "Джеміней", "Вангуард", "Дискаверер", "Пайенір" та ін. містять у своїх конструкціях деталі з

магнієвих сплавів. Міжпланетні станції так само використовують у своїх конструкціях магнієві сплави [6].

Провідне місце за масштабом використання і номенклатурою виливків із магнієвих сплавів посідає автомобільна промисловість [7]. Застосування магнієвих сплавів в автомобілях, з одного боку, покращує їхні експлуатаційні характеристики шляхом помітного зниження маси, з іншого – відбувається помітна економія вуглеводнів і зниження шкідливих викидів в атмосферу [8]. Практично всі автомобілі, що сходять з конвеєрів світових виробників, мають деталі з магнієвих сплавів. Наразі в автомобілях, вироблених у США, маса деталей із магнієвих сплавів становить від 2,2 до 3,5 кг, проте найближчим часом планується досягти 100 кг [9]. При цьому тенденція зниження маси автомобілів і рециклінгу матеріалів призведе до підвищення ролі магнієвих сплавів у майбутньому [10]. Частка магнієвих сплавів у німецьких автомобілях досягає 25 кг, автовиробники планують довести цю цифру до 90... 120 кг, розробляючи при цьому нові сплави й удосконалюючи технологію їх виробництва [11, 12]. Щорічно в японській промисловості використовується до трьох тисяч тон магнію для виробництва конструкційних магнієвих сплавів. За останні 10 років виробництво магнію для цих цілей зросло в 4 рази. Автомобілебудівні фірми Японії Honda, Toyota, Nissan постійно працюють над розширенням використання магнієвих сплавів для автомобілів [13]. У Росії заплановано значне збільшення виробництва первинного і вторинного магнію на основі нових екологічно чистих і енергозберігаючих технологій. Проводяться роботи для забезпечення широкого впровадження нових магнієвих сплавів в автомобільній промисловості [14].

Особливістю магнієвих сплавів як конструкційного матеріалу під час їх експлуатації є висока питома міцність. За цим показником магнієві сплави поступаються тільки титану (табл. 1.1) [15].

Зниження маси машин за рахунок високої питомої міцності магнієвих сплавів дає змогу збільшити ККД, підвищити швидкість, корисне навантаження, знизити витрату пального. У багатьох випадках однотипні литі деталі з

магнієвих сплавів на 25...30 % легші за алюмінієві, в чотири рази легші за сталеві і в два рази легші за титанові.

Таблиця 1.1 – Питома міцність сплавів [15]

Матеріали	Сталі	Латуні, бронзи	Цинкові сплави	Алюмінієві сплави	Титанові сплави	Магнітні сплави
Питома міцність, Дж/кг	7...13	6...11	4...8	8...14	14...20	13...15

Важливою особливістю магнієвих сплавів є здатність добре протистояти ударним навантаженням. Це пояснюється їхнім низьким модулем пружності. Магнієві сплави добре поглинають вібрацію. Їхня питома вібраційна міцність у десятки разів більша, ніж у дюралюмінію або у сталі. Висока демпфувальна здатність магнієвих сплавів дає змогу широко застосовувати їх у відповідальних конструкціях, що працюють в умовах віброударних навантажень. Жароміцність магнієвих сплавів невисока (150...350° C), проте завдяки високій теплоємності вони можуть протистояти значним короткочасним нагріванням [15].

За негативних температур не відбувається різкого окрихчування магнієвих сплавів, а лише незначно зменшується ударна в'язкість і відносне видовження, що робить магнієві сплави особливо придатними для роботи за криогенних температур.

Магнієві сплави мають високу теплопоглинаючу здатність. За температуропровідністю вони перевершують більшість конструкційних матеріалів. Тому в умовах передавання однакової кількості теплоти виріб із магнієвого сплаву нагрівається значно менше, ніж вироби з інших матеріалів, що забезпечує в них порівняно невеликі термічні напруги [15].

Магнієві сплави корозійностійкі в мінеральних маслах, паливі (гасі, бензині), лугах, рідкому і газоподібному кисні, розчинах хроматів, біхроматів, фторатів, у них не відбувається міжкристалітної корозії. Однак, у морській воді, органічних кислотах, у вологій атмосфері стійкість сплавів низька, але її

підвищують захисними покриттями і легуванням. Деталі з магнієвих сплавів немагнітні, мають стабільність розмірів і не дають іскри при ударі [15].

Магнієві сплави технологічні. Їх можна відливати всіма способами лиття. Малий тепловміст цих сплавів дає змогу підвищити продуктивність і зменшити знос інструменту під час лиття під тиском порівняно з алюмінієвими сплавами. Деталі з магнієвих сплавів добре шліфуються, поліруються, а за легкістю обробки різанням (відносна оброблюваність) вони перевершують усі інші конструкційні матеріали (табл. 1.2). Це дає змогу вести їх обробку за високих швидкостей різання не тільки твердосплавним і швидкорізальним інструментом, а й інструментом з легової сталі [16].

Подальший розвиток машинобудування, вдосконалення машин і механізмів розширює сфери застосування магнієвих сплавів, які, витісняючи алюмінієві сплави та інші матеріали, посідають перші місця. Тому в індустріально-розвинених країнах ведуться інтенсивні дослідження зі створення нових магнієвих сплавів, що володіють високим комплексом властивостей і забезпечують істотне покращення експлуатаційних характеристик машин і агрегатів [17].

Таблиця 1.2 – Оброблюваність сплавів [16]

Матеріали	Стали	Латуні	Алюмінієві сплави	Магнієві сплави
Відносна оброблюваність	20	45	55	100

1.2 Взаємозв'язок хімічного складу, структури та властивостей магнієвих сплавів

1.2.1 Аналіз промислових литих магнієвих сплавів

Магній – легкий ($\rho = 1,74 \text{ г/см}^3$) і доволі крихкий метал, має гранецентровану кубічну кристалічну решітку, його атомний радіус 0,160 нм,

іонний радіус 0,104 нм, $t_{пл.} = 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{кип.} = 1090 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Механічні властивості чистого магнію невисокі (межа міцності при розтягуванні 60 МН/м^2 ; границя плинності 38 МН/м^2 ; відносне видовження 50 %; твердість за Брінелем $200\text{...}300 \text{ МН/м}^2$) [18], тому як конструкційний матеріал він практично не застосовується. У машинобудуванні широко застосовують ливарні сплави на основі магнію, що містять алюміній, цинк, марганець, цирконій, неодим та інші легувальні елементи.

За рівнем міцності та низкою інших основних властивостей (жароміцності, густини тощо) магнієві ливарні сплави поділяють на три групи (табл. 1.3). За жаростійкістю їх можна поділити на сплави для роботи до 150°C , 200°C і 250°C (табл. 1.4) [18].

Таблиця 1.3- Класифікація магнієвих ливарних сплавів за міцністю [18]

Класифікація сплавів	Марки сплавів виробництва різних країн			
	Україна, ДСТУ ISO 16220:2008	США, ASTM B80	Велика Британія, BS 2970	Японія, JIS H5203
Середньої міцності	МЛ3	-	-	-
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

За своїм хімічним складом ливарні магнієві сплави можуть бути віднесені до трьох основних груп (табл. 1.5) [19]:

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 1.4- Робочі температури експлуатації та порівняльні властивості магнієвих сплавів після гартування і старіння [18]

Марка сплаву	Механічні властивості, не менше ніж		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

Таблиця 1.5 – Хімічний склад промислових магнієвих сплавів [19]

Група сплавів	Хімічний склад, мас. % *)				
	Al	Zn	Mn	Zr	Nd
Mg-Al-Zn	2,5...10,2	0,2...3,5	0,1...0,5	--	--
Mg-Zn-Zr	--	0,2...5,0	--	0,4...1,1	--
Mg-Zr-Nd	--	--	--	0,4...1,0	1,6...2,8
Примітка: магній – решта.					

У сплавах системи Mg-Al-Zn основним зміцнювачем є алюміній. Діапазон концентрацій алюмінію в промислових магнієвих сплавах становить 1...10 %, усі вони є неевтектичними за рівноважною діаграмою [20]. Їх можна розділити на три категорії:

1. Сплави, що містять 1...3 % Al, характеризуються високими характеристиками міцності і пластичності, але мають низьку плинність і високу горячеламкість.
2. Сплави, що містять 4...7 % Al, мають хороші механічні властивості і задовільну технологічність.
3. Сплави, що містять 8...10 % Al, належать до найбільш технологічних сплавів, але мають невисоку пластичність.

Алюміній утворює з магнієм твердий розчин з обмеженою розчинністю та інтерметаліди Al_3Mg_4 , Al_2Mg_3 і $Al_{12}Mg_{17}$ (рис. 1.1). Дані щодо розчинності Al у Mg помітно різняться, а прийняті в роботі, становлять 11,6 ат. % за 438 °C і 1,3 ат. % за 100 °C [21].

Промислові сплави магнію з алюмінієм належать до тих, що старіють, що дає змогу термічною обробкою поліпшити їхні властивості. При нагріванні до 420 °C майже весь алюміній переходить у твердий розчин. Під час повторного нагрівання сплаву протягом декількох годин за температури 150...250 °C виділяється γ -фаза, що забезпечує зміцнення сплаву. Виходячи з діаграми стану (рис. 1.1), можна очікувати, що ефект старіння спостерігатиметься у всіх сплавах, що містять понад 2 % Al. На практиці помітне збільшення міцності в результаті старіння досягається в сплавах, що містять понад 4...6 % Al, оскільки швидкість утворення нової фази залежить від температури старіння і від ступеня пересиченості твердого розчину за цієї температури. Наразі підтверджено наявність тісного зв'язку між процесом виділення γ -фази під час старіння і зміцненням сплаву. При цьому, γ -фаза виділяється спочатку по межах зерен, а потім всередині самих зерен, збіднюючи твердий розчин алюмінієм. Максимальна твердість сплавів магнію з алюмінієм досягається ще до повного виділення цієї фази з твердого розчину. При цьому, саме γ -фаза, що розташовується по межах зерен, безпосередньо відповідальна за зміцнення цих сплавів [21].

Вплив алюмінію на механічні властивості магнію досліджувався Рейнором Г.В. [22]. Він зазначав, що межі міцності та плинності сплаву зростають зі збільшенням вмісту алюмінію, однак, відносне видовження досягає максимуму при 3% Al. При цьому, старіння помітно впливає на механічні властивості при вмісті в сплаві алюмінію від 4 % і більше.

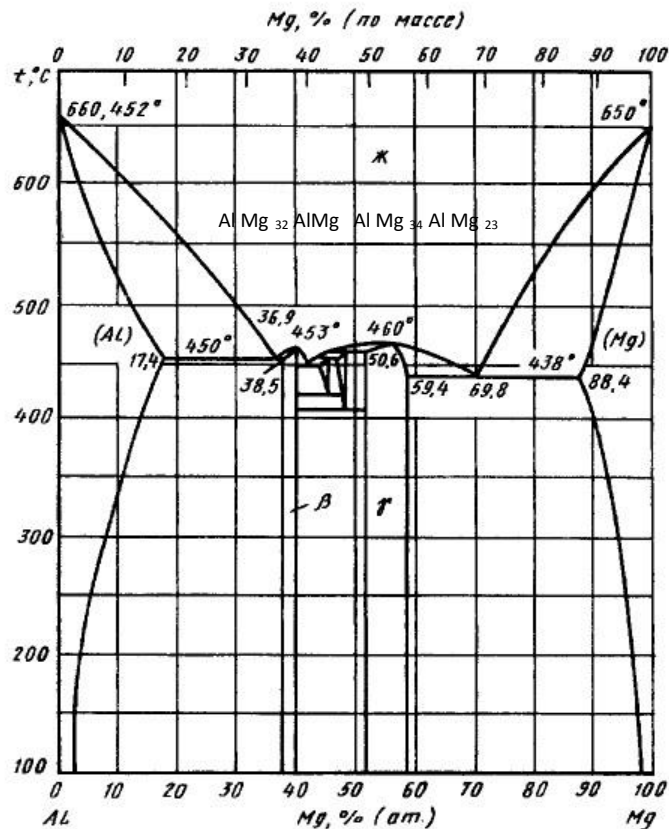


Рисунок 1.1 – Діаграма стану Mg-Al [21]

Марочний вміст цинку впливає меншою мірою на механічні властивості сплаву. Він утворює з магнієм твердий розчин (рис. 1.2), а також інтерметаліди $\text{Mg}_{51}\text{Zn}_{20}$, MgZn , Mg_2Zn_3 , MgZn_2 , $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$, що мають незначні області гомогенності [21].

Кристалічна структура фази MgZn_2 була вивчена Лавесом і належить до так званих "фаз Лавеса", у яких найкраще заповнення простору досягається за співвідношення $d_a : d_b = 1,225$. Аналіз відомих фаз Лавеса показав, що атоми, які значно відрізняються за розмірами, кристалізуються в щільнопаковану структуру [23].

При введенні в магній 7,5% Zn, границя міцності сплаву помітно збільшується. Пластичність сплаву підвищується при вмісті близько 3% Zn. Зазначено, що сплави, які містять 2 % Zn і більше, можуть зміцнюватися при старінні [22], проте зміцнювальна дія цинку зберігається лише до температури 150...200 °C [24].

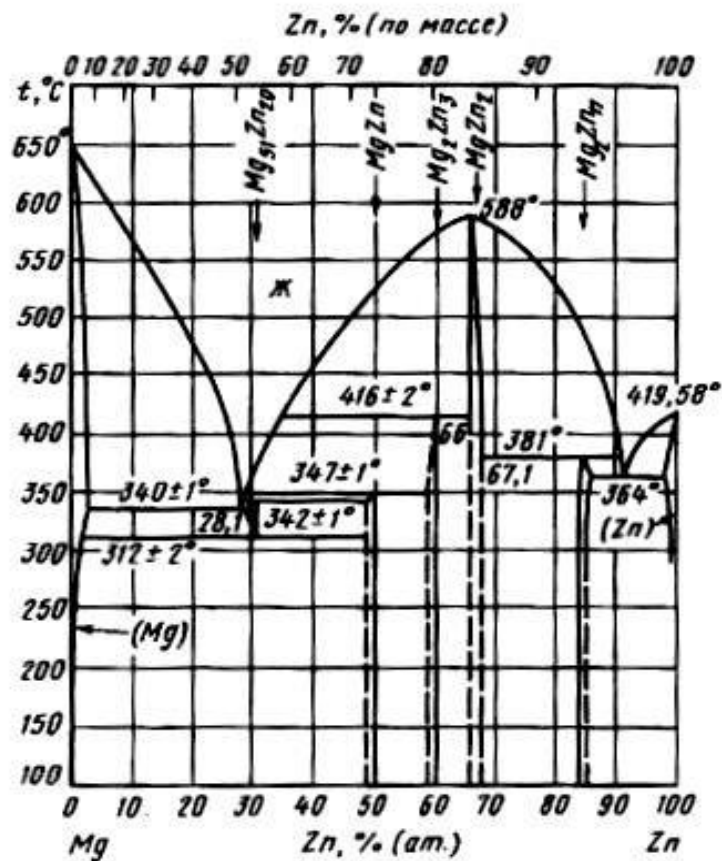


Рисунок 1.2 – Діаграма стану Mg-Zn [21]

За вмісту цинку в магнієвих сплавах у межах 0,1...2 % підвищується гарячеламкість, а при збільшенні його до 4 % забезпечується хороша рідкотекучість і низька гарячеламкість. Також відзначають, що в разі додавання в магнієвий сплав цинку по межах зерен утворюється фаза з низькою температурою плавлення, що збільшує схильність до утворення гарячих тріщин.

Структура литих сплавів системи Mg-Al-Zn складається з твердого розчину алюмінію і цинку в магнії з включеннями інтерметалідів $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Зі збільшенням вмісту алюмінію в сплаві кількість інтерметалідної фази підвищується. Зі зростанням вмісту цинку в сплаві може утворюватися потрібна фаза $\text{Mg}_{32}(\text{Al},\text{Zn})_{49}$. Сплави системи Mg-Al-Zn володіють хорошими ливарними властивостями, достатньою міцністю і пластичністю, проте їхні показники жароміцності є низькими [25].

1.2.2 Модифікування магнієвих сплавів

У формуванні структури і властивостей сплавів процеси модифікування відіграють винятково велику роль. Поєднуючись із виплавою і рафінуванням, модифікування визначає характер кристалізації, ступінь гранулярності та комплекс властивостей сплаву [26].

На початку кристалізації сплави являють собою суспензію з розплаву і зародків кристалів. Зі зниженням температури розміри зародків збільшуються і вони зростаються в полікристал. Розмір, форма й умови зрощення окремих кристалів визначають фізико-хімічні та фізико-механічні властивості сплавів [27].

Модифікатори поділяються на дві групи [28]:

- I роду - поверхнево-активні речовини, дія яких зводиться до вибіркової абсорбції на гранях кристалів, що утворюються [29, 30].
- II роду - тугоплавкі тверді частинки, які є готовими центрами кристалізації [31].

Як модифікатор II роду для магнієвих сплавів використовують вуглецевмісні матеріали, що утворюють карбіди. Якщо введення вуглецю в сплави магнію з марганцем і цинком не дає необхідного ефекту, то в сплавах з алюмінієм і цинком під впливом вуглецю подрібнюється зерно. Серед дослідників немає чіткої думки щодо механізму впливу вуглецю на подрібнення зерна магнієвих сплавів. Одні вважають, що частинки вуглецю самі можуть бути центрами кристалізації, інші – вуглець може утворювати сполуки з хімічними елементами сплаву: карбід магнію або карбід алюмінію [32].

Модифікування магнієвих сплавів вуглецевими сполуками набуло широкого застосування в промисловості, завдяки отриманню дрібного зерна, зменшенню чаду металу і зниженню витрати тиглів. З вуглецевих матеріалів для модифікування магнієвих сплавів можуть застосовуватися магнезит, кам'яне

вугілля, кокс, сажа [19]. Зазначається [33] позитивний вплив обробки сплаву МЛ5 магnezитом, який дисоціює під час взаємодії з розплавом.

Вважається, що під час модифікування магнієвих сплавів магnezитом, відбувається його розкладання з утворенням вуглецю, що виконує роль модифікатора [19]. В інших дослідженнях [34] стверджується, що введення в магнієвий розплав речовин, що містять вуглець (крейда, магnezит), призводить до утворення частинок карбїду алюмінію Al_4C_3 або карбїдів магнію (Mg_2C_3 та MgC_2), які можуть зазнавати поліморфних перетворень за температур, близьких до температури плавлення магнієвих сплавів.

Позитивний вплив вуглецю під час заливання магнієвого сплаву у форму з вуглецево-кремнеземної суміші відзначено в роботі [35], коли на поверхні виливків утворюється щільніша захисна плівка, що містить певну кількість вуглецю. Деякі дослідники пропонують використовувати флюс, що містить диспергований вуглець, забезпечуючи при цьому подрїбнення зерна і поліпшення механічних властивостей магнієвих сплавів [36].

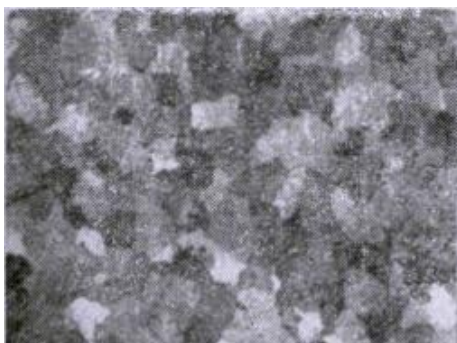
Продування розплаву на основі електролітичного магнію вуглецевмісними газами дало змогу так само отримати дрібнозернисту структуру. На підставі цього стверджується, що частинки карбїду магнію можуть служити зародками центрів кристалізації. Подальші дослідження показали, що помітне подрїбнення зерна спостерігалось в сплавах, що містять алюміній. Це вказує на те, що в сплавах магнію з алюмінієм може утворюватися карбїд алюмінію, проте металографічно ця фаза виявлена не була [35].

Допускається можливість утворення складної сполуки магнію з алюмінієм і вуглецем, стабільної за високих температур, яка розпадається за низьких, з виділенням субмікроскопічних частинок вуглецю, що діють як центри кристалізації сплаву. Встановлено, що перегрівом розплаву складно подрїбнити зерна дуже чистих сплавів Mg-Al, для яких введення невеликих кількостей заліза і марганцю вирішує проблему зерна. Таким чином, до теперішнього часу

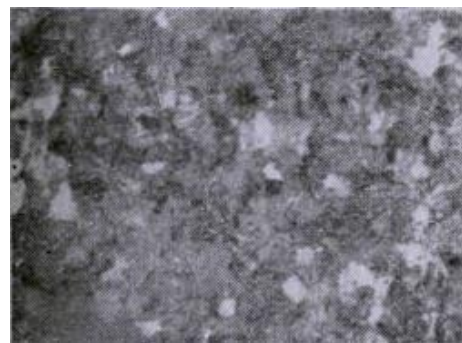
регулювання розмірів зерна магнієвих сплавів під час кристалізації повністю не виявлено.

Відомі фізичні методи подрібнення структури магнієвих сплавів, пов'язані з динамічними впливами на розплав у процесі його кристалізації [37]. Ультразвукові коливання розплаву, що твердне, здатні збільшити швидкість утворення зародків і помітно подрібнити макрозерно (рис. 1.5). При цьому досягається рівномірне подрібнення зерна по всьому перерізу злитка і повна відсутність стовпчастих кристалів [35, 38]. Аналогічно впливають електричні та електромагнітні поля [39]. Перевагою фізичних методів впливу є можливість їх застосування в процесі лиття без додаткових витрат матеріалів. Водночас застосування дорогих механічних, електромагнітних та ультразвукових пристроїв не завжди буває економічно виправданим.

В основі застосовуваних промислових магнієвих сплавів лежать системи Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr і Mg-Zr-Nd, кожна з яких характеризується певною структурою. Тому, до сплавів кожної з систем необхідно застосовувати свої способи подрібнення зерна, що визначаються взаємодією домішок з легувальними компонентами сплаву [40].



а



б

а – без обробки; б – з обробкою ультразвуком

Рисунок 1.5 – Макроструктура злитків магнієвого сплаву МА 2 - 1, $\times 5$ [35]

Подальше поліпшення якісних характеристик виливків з магнієвих сплавів може бути досягнуто за рахунок модифікування наявних уже сплавів, а так само розроблення нових.

1.2.3 Легування магнієвих сплавів

Поліпшення механічних і жароміцних властивостей литих магнієвих сплавів може здійснюватися дисперсними частинками, складнолегованим твердим розчином і оптимальною структурою після термічної обробки [41, 42].

Зміцнення магнієвих сплавів дисперсійними частинками досягається здебільшого в результаті старіння, що базується на розпаді пересиченого твердого розчину з виділенням частинок, які блокують ковзання дислокацій і підвищують механічні властивості. Тому під час вибору легувальних елементів для магнієвих сплавів важливим фактором є здатність їх утворювати тверді розчини з магнієм.

Розчинність елементів у магнії визначається близькістю їхніх атомних діаметрів (рис. 1.6), які, згідно з Юм-Розері [43], повинні відрізнитися не більше ніж на 15 %. При порушенні цього співвідношення відбувається зниження енергії зв'язку атомів розчинника і легувальних елементів і внаслідок спотворення кристалічної ґратки розчинність зменшується. Однак, існують чинники, що призводять до обмеження утворення твердих розчинів навіть у разі, коли відношення атомних діаметрів сприятливе. До них належать - валентність та електронегативність [22].

Дослідження великої кількості систем сплавів [22] показало, що метал з більшою валентністю краще розчиняється в металі з меншою валентністю, ніж навпаки. При цьому, збільшення валентності розчиненого елемента призводить до зменшення області твердих розчинів.



Рисунок 1.6 – Атомні радіуси елементів [41]

Іншою важливою умовою розчинності елемента в металі-основі, є відмінність електронегативності елементів, яка не повинна перевищувати 0,2...0,4. З аналізу електронегативності елементів (рис. 1.7) видно, що утворення сплавів на основі магнію ускладнюється внаслідок його низької електронегативності [44]. Для визначення корисності введення того чи іншого компонента в сплав необхідно використовувати дані діаграм стану досліджуваних систем, властивості фаз-зміцнювачів, характер структури сплаву та її стійкість під час нагрівання [45].

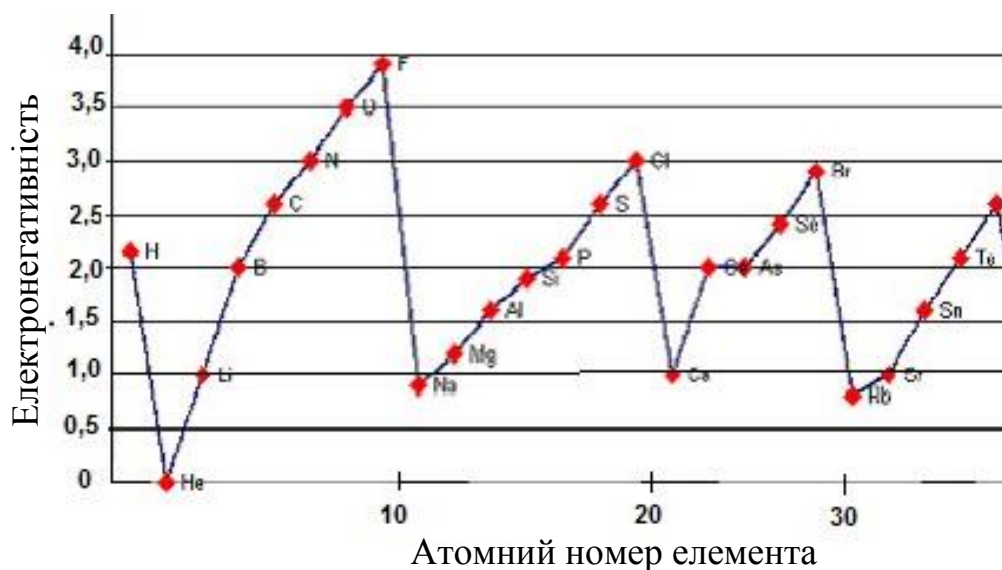


Рисунок 1.7 – Електронегативність хімічних елементів [44]

Електропозитивний характер елементів *IVb* підгрупи (кремнію, германію, олова і свинцю) підвищується по мірі збільшення атомного номера, і стійкіші сполуки утворюватимуться між магнієм і кремнієм, а менш стійкі – між магнієм і свинцем. Зазначені вище елементи утворюють з магнієм сполуки Mg_2Si , Mg_2Ge , Mg_2Sn і Mg_2Pb . При цьому відбувається поступове зниження температури плавлення сполук у міру збільшення атомного номера розчиненого елемента. Виділення сполук Mg_2Si і Mg_2Ge обмежує утворення твердого розчину кремнію і германію, і розчинність їх у магнії незначна (близько 0,003 ат. % кожного). Максимальна розчинність олова (3,35 ат. %) нижча за розчинність свинцю (7,75 ат. %) [22]. Кремній погано розчиняється в магнії за кімнатної температури. Незначна кількість його в магнії значно збільшує пластичність сплаву, практично не впливаючи на границю міцності. Зі зростанням вмісту кремнію підвищується твердість і міцність сплаву в результаті утворення сполуки Mg_2Si . Максимальна міцність досягається при введенні 1 %Si, тоді як при більшому вмісті кремнію властивості сплавів погіршуються [22]. Наявність кремнію в магнієвих сплавах [15] сприяє утворенню евтектичної складової, що підвищує рідкотекучість і знижує гарячеламкість, тому він особливо ефективний під час отримання виливків литтям під тиском. В іншій роботі [46] зазначається, що в системі Mg-Al-Si добавки кремнію підвищують властивості міцності без зміни пластичності аж до вмісту кремнію 1,2 %. У сплавах з 8,5 % Al при підвищенні вмісту кремнію до 0,8 % пластичність змінюється несуттєво, але при введенні 1,2 % Si помітно падає. Утворені при цьому інтерметаліди Mg_2Si підвищують жароміцність сплаву. Під час виготовлення фасонного лиття в шихту можуть потрапляти частинки кремнезему, які під час взаємодії з магнієм відновлюються до кремнію, що взаємодіє із залізом і утворює інтерметалідні фази [48].

Вплив германію на механічні властивості магнієвих сплавів не вивчався

1.3 Виробництво виливків із магнієвих сплавів

1.3.1 Виплавка і рафінування сплавів.

Вибір шихтових матеріалів багато в чому обумовлює механічні, технологічні та експлуатаційні властивості сплавів. Як шихтові матеріали для виробництва магнієвих сплавів використовують магній первинний чушковий марок Mg 90, Mg 95, Mg 96 (ДСТУ 2187-93) [49], цинк чушковий марки Ц1, Ц2 (ГОСТ 3640-94) [50], алюміній первинний чушковий А5 (ДСТУ ГОСТ 11069-2003) [51], повернення власного виробництва: великі прибутки та випори, ливники, брак деталей та ін. Для приготування спеціальних сплавів використовують лігатури Mg-Nd, Mg-Zr та інші [52].

Під час плавки магнієвих сплавів ретельно просушують застосовані шихтові матеріали, флюси, а також плавильний інструмент, тиглі та інше обладнання, оскільки це може спричинити займання металу і викид його з печі [53]. Магнієві сплави виплавляють у тигельних печах з виймальними або стаціонарними тиглями різної місткості або у відбивних печах. Використовують сталеві або графітові тиглі [54].

Залежно від масштабу виробництва і маси виливків застосовують три способи плавки ливарних магнієвих сплавів: а) у стаціонарних тиглях; б) у виймних тиглях; в) дуплекс процес. Технологія виплавки сплаву при застосуванні всіх способів майже однакова, але є деякі відмінності в технології заливки і складах флюсів [55].

Плавку в стаціонарних тиглях ведуть у разі крупносерійного виробництва дрібних виливків. У попередньо нагрітій до 400...500 °С тигель завантажують до 10 % флюсу ВІ-2 від маси шихти. Флюс розплавляють і потім завантажують у нього підігріту до 120...150 °С металеву шихту. Після введення всіх складових шихти розплав нагрівають до 700...720 °С і проводять його рафінування і модифікування. Витримують сплав 10...15 хвилин, відбирають проби на спектральний аналіз і злам, а потім розливають за формами [56].

При виготовленні масивних виливків плавку ведуть у виїмних зварних тиглях і дуплекс-процесом. У цих тиглях здійснюють плавку, рафінування і модифікування так само, як у стаціонарних тиглях. Відмінність полягає лише в застосуванні іншого флюсу (ВІ-3) для рафінування. У разі використання дуплекс-процесу плавку ведуть в індукційних печах місткістю 0,5...3,0 т під шаром флюсу ВІ-2, потім розплав розливають у виїзні тиглі, де здійснюють операцію модифікування і рафінування.

Плавка легкоокислюваних магнієвих сплавів пов'язана з низкою труднощів. Це пояснюється тим, що на поверхні розплаву утворюється плівка, яка не захищає розплав від подальшого окиснення і загоряння. Окислення сповільнюється в атмосфері сірчаного (SO_2), вуглекислого (CO_2) і різних сумішей інертних газів. При температурах ведення плавки магній взаємодіє з азотом і киснем, утворюючи нітриди й оксиди, а також інтенсивно поглинає водень [57].

Інтенсивна взаємодія магнієвих розплавів з пічними газами, футеруванням і вологою призводить до утворення сполук, які видаляються за допомогою рафінування. Для магнієвих сплавів характерні такі види рафінування як: відстоювання, обробка флюсами, вакуумування, фільтрування [57].

Очищення флюсами ґрунтується на видаленні зважених включень із розплаву внаслідок адгезії, розчинення або хімічної взаємодії з розплавленими солями. Головну роль у процесі рафінування флюсом відіграють поверхневі явища. Флюси зменшують адгезію включень до металу і під дією міжфазних сил поглинають їх. Для запобігання контакту розплаву з атмосферою плавку магнієвих сплавів проводять під флюсами, які складаються з хлористих і фтористих солей лужних і лужноземельних металів, або в середовищі захисних газів.

У розплавах магнію завжди присутні домішки, які бувають у вигляді:

- а) елементів, що перебувають у розплаві в розчиненому стані;
- б) оксидів магнію і легуючих елементів, залишків флюсу;
- в) газів.

Флюси для виплавки магнієвих сплавів застосовують для:

- захисту від окислення і загоряння шихти під час її розплавлення;
- ізоляції розплаву від контакту з повітрям;
- рафінування сплаву від неметалевих включень.

Основою більшості флюсів (табл. 1.6) є карналіт ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$). Хлористий барій додають у флюси для збільшення його питомої ваги, що сприяє відділенню флюсу від розплаву. Фтористий кальцій підвищує в'язкість флюсу і збільшує його рафінуючу здатність. Оксид магнію додають як згущувач, який забезпечує утворення кірки під час перегріву металу.

Таблиця 1.6 – Склад флюсів для плавки магнієвих сплавів [58]

Флюс	Вміст компонентів, % (за масою)							
	MgCl_2	KCl	NaCl	CaCl_2	BaCl_2	CaF_2	H_2O	Інші компоненти
ВІ-2	38...46	32...43	-	10	5...9	3...5	< 3	< 1,5 MgO
ВІ-3	30...40	25...36	< 7	< 7	-	15...20	< 3	7...10 MgO
ВАМИ-1	-	-	-	-	-	4,0	-	23 AlF_3 ; 33 $\text{Na}_3 \text{AlF}_6$;
								40 B_2O_3
ВАМИ-5	-	-	-	-	-	17,5	-	17,5 MgF_2 ; 15,0 AlF_3 ; 50,0 B_2O_3

Під час плавки магнієвих сплавів добре себе зарекомендували флюси ВІ-2 і ВІ-3, що володіють хорошими захисними і рафінуючими властивостями. Завдяки підвищеній густині флюс ВІ-2 легко відокремлюється від поверхні розплаву і утворює міцну щільну плівку, яка захищає сплав від окислення. Однак, окремі магнієві сплави вимагають застосування спеціальних флюсів. Так, під час плавки сплавів з літієм використовують флюс, що складається з фтористого і хлористого літію.

Під час плавки сплавів з рідкісноземельними металами, а також з ітрієм, торієм і кальцієм використовують флюси, які не містять хлористий магній,

оскільки плавка під стандартними флюсами пов'язана з великими втратами легувальних елементів унаслідок реакцій з хлористим магнієм:



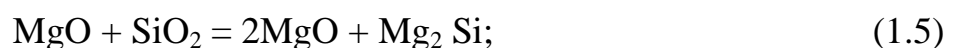
Тому в разі вмісту в магнієвих сплавах ітрію, церію, лантану, неодиму, торію і кальцію необхідно застосовувати безхлористі флюси з метою зменшення втрат цих металів.

1.3.2 Технологія отримання виливків

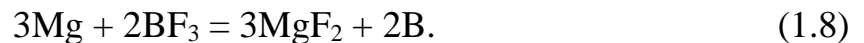
Отримання виливків заданих конфігурації та маси визначається технологічними можливостями процесу, вимогами, що висуваються до якості, геометрії, точності та серійністю виробництва виливків [59].

Фасонне лиття з магнієвих сплавів виробляється в піщані форми, в кокіль, за виплавленими моделями, під тиском, одним з різновидів якого є пресування магнієвих сплавів у напіврідкому стані.

Особливістю заливки магнієвих сплавів у піщані форми є те, що магнієві сплави реагують із вологою форми з утворенням оксиду магнію та виділенням водню (1.4), а в місцях найбільшого теплового впливу – з кремнеземом форми з утворенням оксиду магнію та силіциду магнію (1.5). При цьому, в зазор між формою і виливкою проникає повітря, що сприяє її загорянню (1.6).



Для уникнення загоряння виливків з магнієвих сплавів, до складу формувальних сумішей вводять захисні присадки. У формувальні суміші – фторприсадки (фтористі солі амонію), у стрижневі суміші – сірку (1.7) або борну кислоту (1.8).



Гази, що виділяються під час цього, заповнюють зазор між формою і виливком і створюють інертну атмосферу щодо сплаву [35].

Високу точність розмірів виливків забезпечують лиття під тиском [59] і за виплавлюваними моделями. Лиття в металеві пресформи застосовується, коли сумарний випуск виливків окупає витрати на виготовлення оснащення. Лиття в разові форми дає змогу отримувати виливки складної конфігурації з мінімальними витратами на виготовлення оснащення. Для виливків середніх і великих розмірів доцільно застосовувати лиття у форми із самотвердіючих сумішей, що забезпечує отримання достатньої точності. Лиття в піщаноглинисті форми доцільно застосовувати в разі індивідуального виробництва.

Вакуумне формування застосовується для виливків нескладної конфігурації. Виливки невеликої величини за доволі складної конфігурації доцільно виготовляти за виплавлюваними моделями, що виплавляються, та моделями, що газифікуються, забезпечуючи добру точність розмірів з мінімальною механічною обробкою [60].

На структуру і властивості виливків з магнієвих сплавів значно впливає швидкість тепловідведення від виливки під час кристалізації у формі і визначається матеріалом форми. У роботі [61] показано, що різні склади піщаноглинистих сумішей дають змогу одержувати виливки з магнієвих сплавів із різною якістю поверхні та величиною зерна в поверхневому шарі. Під час лиття виливків у кокіль різко подрібнюється структура металу, поліпшуються його

властивості. Дослідження, проведені під час заливання виливків із магнієвих сплавів у кокіль, підігрітий до 250, 300 і 350 °С, показали, що більш низька температура металевої форми сприяє отриманню дрібнодисперсної структури металу і зменшенню розмірів інтерметалідної фази [62]. Заміна піщано-глинистої форми на металеву під час лиття тонкостінних виливків зі сплаву АМ60В дала змогу не тільки збільшити вихід придатного литва, а й підвищити пластичність і корозійну стійкість сплаву [63]. Однак, більш прогресивним способом отримання високоякісних виливків з магнієвих сплавів є лиття під тиском, що дає змогу не тільки отримувати щільний метал з підвищеним комплексом фізико-механічних властивостей, а й значно знизити собівартість їхнього виробництва [64, 65]. Нині за кордоном дедалі більшого розвитку набуває технологія виробництва виливків із магнієвих сплавів під назвою "Thixomolding", що поєднує в собі лиття під тиском кольорових сплавів із литтям під тиском термопластів. Дана технологія передбачає пресування магнієвих сплавів у напіврідкому стані, забезпечуючи дрібнодисперсну структуру металу по всьому перерізу виливки і високий рівень його властивостей [66].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході проведення робіт по дослідженню впливу Ge та Si на фізико-механічні властивості магнієвого сплаву МЛ5 були проведені наступні етапи:

- приготування форм для отримання зразків;
- модифікування розплаву лігатурою;
- заливка зразків;
- вибивка та опилування зразків;
- випробування на розтяг зразків;
- дослідження мікроструктури зразків;
- випробування мікротвердості зразків;
- рентгеноспектральний аналіз зразків;
- аналіз отриманих результатів.

2.1 Проведення плавки та термічної обробки

Для проведення досліду по підвищенню фізико-механічних властивостей сплаву МЛ5 використовували сплав приготовлений за стандартною технологією. Сплав МЛ5 виплавляли в індукційній тигельній печі типу ІПМ-500, призначеної для плавки сплавів на магнієвій основі. Технічні характеристики індукційної тигельної печі ІПМ-500 наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики індукційної тигельної печі ІПМ-500

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

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

Таблиця 2.2 -Технічні характеристики роздавальних печей

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

Хімічний склад отриманого магнієвого сплаву МЛ5 наведений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад сплаву МЛ5 за ДСТУ ISO 16220:2008

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

Введення магнієво-скандієвої, магнієво-ітрієвої та магнієво-неодимової лігатури проводили у розливочній ложці об'ємом 10 літрів при температурі сплаву 740 -760 °С. Для виявлення оптимальної концентрації кремнію та германію у сплаві з максимальними фізико-механічними властивостями заливали різні варіанти у підготовленні форми для зразків (рис. 2.1) поступово підвищуючи концентрацію елементів у даному об'ємі.

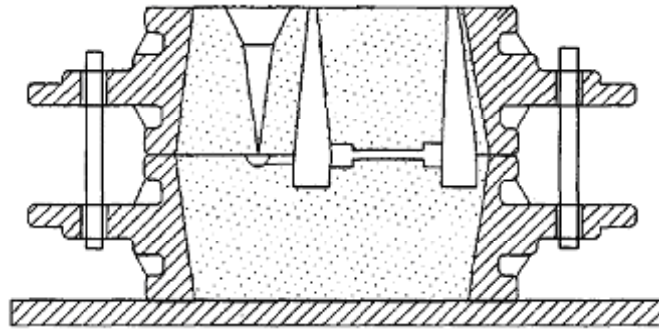


Рисунок 2.1 – Схема ливарної форми для одержання зразків

Термічну обробку дослідного металу проводили по режиму Т-6 (таблиця 2.4) у термічних печах типу Бельвю та ПАП-4М. Технічні характеристики даних печей представлені у таблиці 2.5 та таблиці 2.6

Таблиця 2.4 – Режим термообробки Т-6 для експериментальних зразків

Марка сплаву	Вид ТО	Гартування			Старіння		
		Температура нагріву, °С	Час витримки, год	Охолоджувальне середовище і його температура, °С	Температура нагріву, °С	Час витримки, год	Охолоджувальне середовище
МЛ-5	Т-6	415±5	12-24	повітря	175±5	12-16	Повітря

Таблиця 2.5 – Характеристика термічної шахтної печі типу Бельв'ю

Характеристика	Значення
Потужність, кВт	112
Напруга, В	380
Робоча температура, °С	580
Допустимий перегрів температури, °С	±5
Габарити робочого простору, мм висота	2720

Кінець таблиці 2.5

діаметр	2085
Габарити агрегату, мм	
висота	3285
діаметр	2430
Керування агрегату ручне з пульту керування	
Продуктивність, кг/год	95
Максимальне завантаження, кг	1200

Таблиця 2.6 – Характеристика термічної печі типу ПАП-4М

Параметр	Величина
Частота обертання ротора, об/хв.	1470
Потужність електродвигуна, квт	28
Макс. температура нагріву, °С	420
Час початкового розігріву без садки, год	0,5-3,5
Допустимий перегрів температури °С	±5
Габарити робочого простору, мм	
довжина	1250
ширина	1450
висота	2000
Габарити агрегату, мм	
довжина	3670
ширина	2150
висота	2190
Керування агрегату ручне з пульту керування	
Продуктивність, кг/год	50,0

2.2 Механічні властивості й металографічні дослідження

Механічні властивості досліджуваного магнієвого сплаву вивчали на литих зразках (рис. 2.2) за ДСТУ EN ISO 6892-1:2022. Розміри наведено у табл. 2.7.

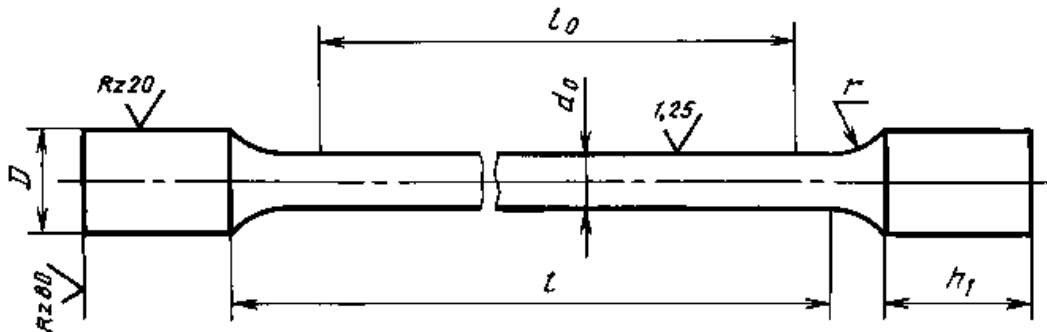


Рисунок 2.2 – Форма і розмір зразка для лиття у піщану форму за ДСТУ EN ISO 6892-1:2022

Таблиця 2.7 – Розміри зразків відлитих у піщану форму за ДСТУ EN ISO 6892-1:2022.

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

Випробування на розтяг за ДСТУ EN ISO 6892-1:2022 проводили на розривній випробувальній машини "INSTRUN" 2801. Литий зразок механічно обробили для випробувань на розрив (рис. 2.3).

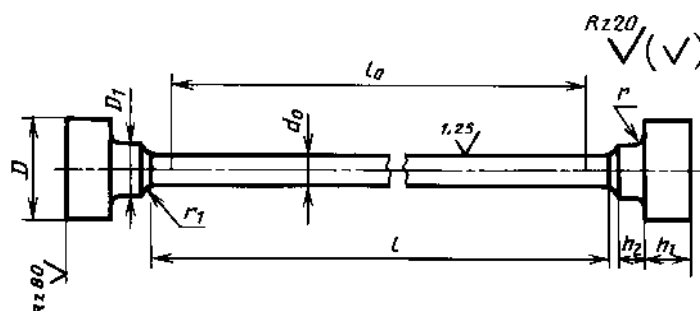


Рисунок 2.3 - Механічно оброблений зразок за ДСТУ EN ISO 6892-1:2022

Розміри зразків для проведення випробувань наведенні у таблиці 2.8

Таблиця 2.8– Розміри зразків відлитої у піщану форму за ДСТУ EN ISO 6892-1:2022

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

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

Для дослідження мікроструктури проводилось травлення в реактиві:

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

Мікротвердість досліджуваного металу проводили на установці мікротвердомір «Beuhler» ММ7Т.

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

$$H_{\diamond} = \frac{F}{S} = \frac{0.102 \cdot 2F \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{l_{\diamond}^2 \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \frac{\beta}{2}}{\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}}} = 1,313 \frac{F}{l_{\diamond}^2}, \quad (2.1)$$

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

S – умовна площа бічної поверхні отриманого відбитка, мм²;

l – розмір відбитка, мм;

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

R – радіус циліндра, рівний 2 мм;

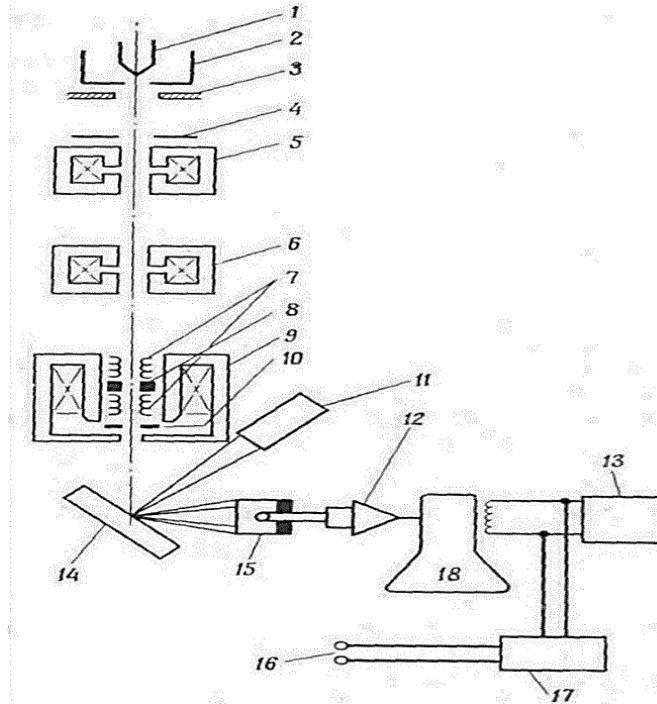
α та β – кути різних загострень алмазних наконечників, град.

2.3 Рентгеноспектральний аналіз

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

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

Електронно-оптична система (ЕОС) приладу три лінзова, включає дволінзовий конденсор і об'єктив ЕОС, забезпечує формування електронного зонда малого діаметра в широкому діапазоні прискорювальних напружень. Для отримання зображення в електронному мікроскопі використовуються сигнали, створені вторинними, відбитими, поглиненими електронами; для проведення аналізу хімічного складу поверхні з локальністю 1-3 мкм і отримання зображення поверхні в рентгенівських променях - характеристичне рентгенівське випромінювання, що виникає при взаємодії електронного зонда з поверхнею зразка.



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

Рисунок 2.4 – Схема електронної оптики РЭММА

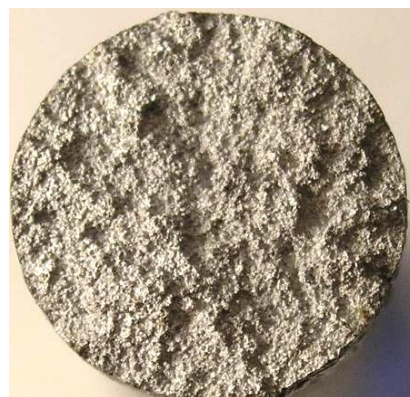
Рентгеноспектральний мікроаналіз проводиться за допомогою двох кристал-дифракційних спектрометрів ХДАР нахиленого типу, виконаних за схемою повного фокусування з набором кристалів-аналізаторів для діапазону елементів від вуглеця ($Z=6$) до урана ($Z=92$). Система енергодисперсійного аналізу ЕДАР забезпечує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

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КРЕМНІЮ ТА ГЕРМАНІЮ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МЛ5

У ході проведення досліджень було вивчено вплив хімічних елементів IV-б підгрупи періодичної системи. Особливу увагу приділено впливу вмісту Si, Ge (у межах 0,05...1,0 % кожного) на структуру і властивості сплаву МЛ5. Хімічний склад сплаву МЛ5 досліджуваних зразків задовольняв вимогам ДСТУ ISO 16220:2008 і за вмістом основних елементів перебував приблизно на одному рівні (8,7 % Al; 0,32 % Mn; 0,35 % Zn; 0,015 % Fe; 0,006 % Cu; 0,025 % Si).

Макрофрактографічне дослідження зруйнованих зразків сплаву МЛ5 показало, що з підвищенням вмісту Si, Ge помітно подрібнювалося макрозерно (рис. 3.1).

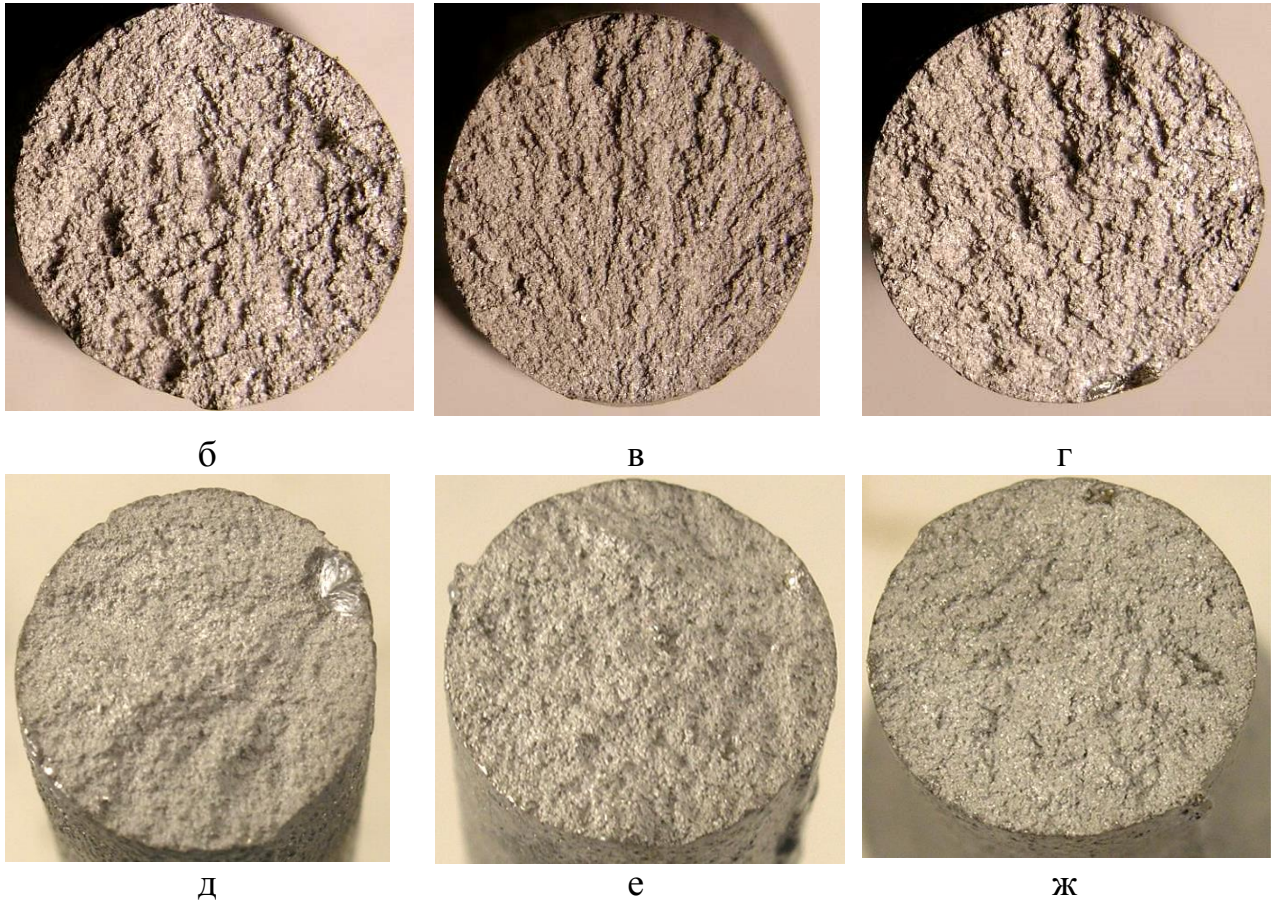
Підвищення вмісту досліджуваних елементів у сплаві зменшувало відстань між осями дендритів другого порядку та розміри структурних складових (табл. 3.1). При цьому, розміри та кількість евтектики $\delta+\gamma$ помітно знижувалися (рис. 3.2), а кількість інтерметалідів збільшувалася за одночасного зменшення їхніх розмірів (рис. 3.3).



а

а – стандартний сплав

Рисунок 3.1 – Макрофрактограми зламів зразків із сплаву МЛ5, $\times 5$



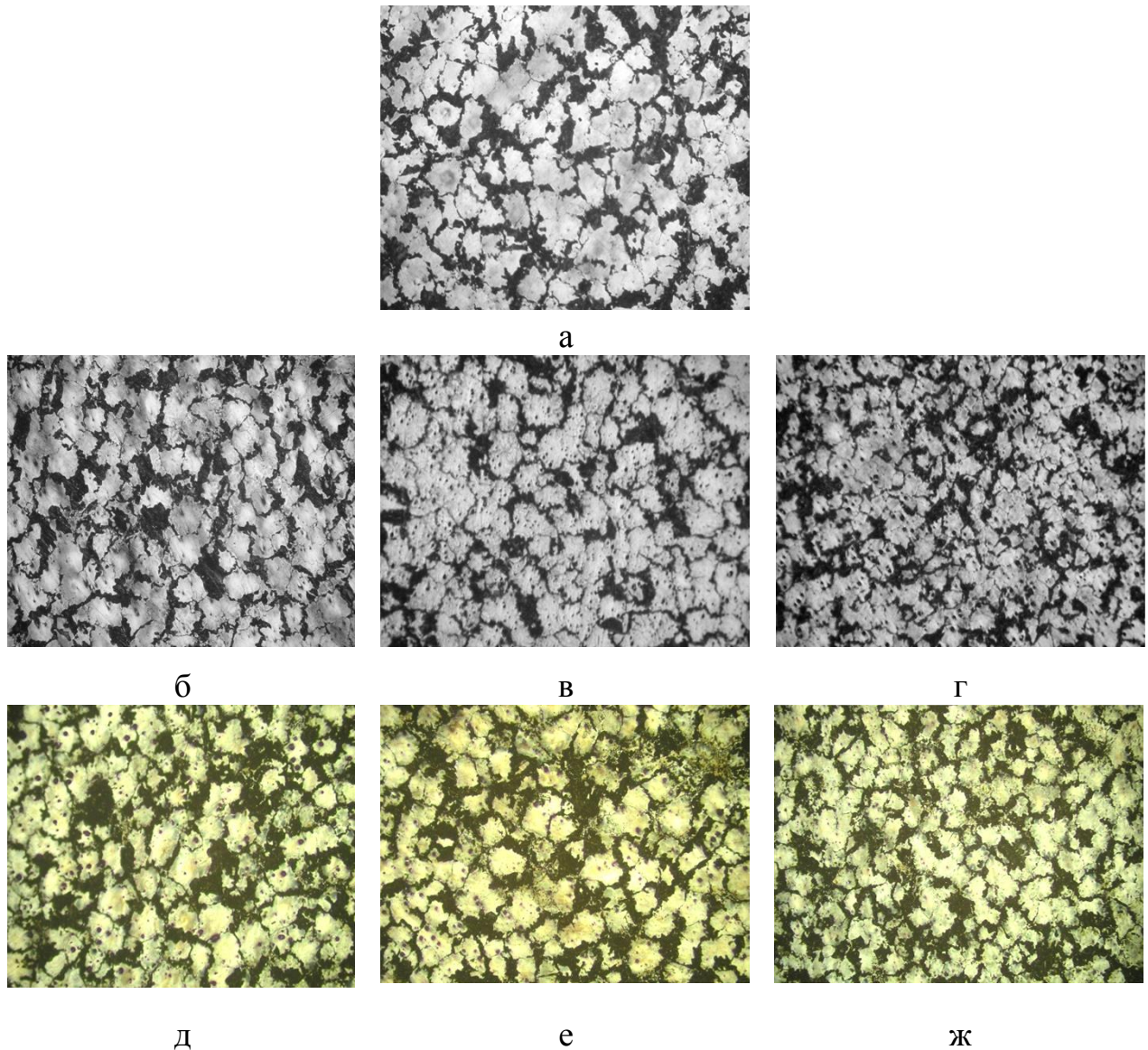
б – 0,055 % Ge; в – 0,095 % Ge; г – 1,09 % Ge; д – 0,047 % Si; е – 0,12 % Si;
ж – 1,05 % Si.

Продовження рис. 3.1

Таблиця 3.1 – Характеристики структурних складових сплаву МЛ5 с Si та Ge

Елемент	Вміст, мас. %	Розмір мікрозерна, мкм	Відстань між осями дендритів 2 ^{го} порядку, мкм	Мікротвердість матриці HV, МПа		
				до т/о	після т/о	після τ_{150}^{80}
стандартний		140	21	1115,9	1256,5	1286,5
Ge	0,055	125	19	1122,4	1233,4	1287,4
	0,095	100	18	1129,5	1244,6	1308,5
	1,09	90	17	1145,9	1287,5	1345,5
Si	0,047	130	19	1116,6	1276,5	1305,5
	0,12	120	17	1141,3	1313,5	1334,6
	1,05	100	16	1166,4	1334,5	1378,8

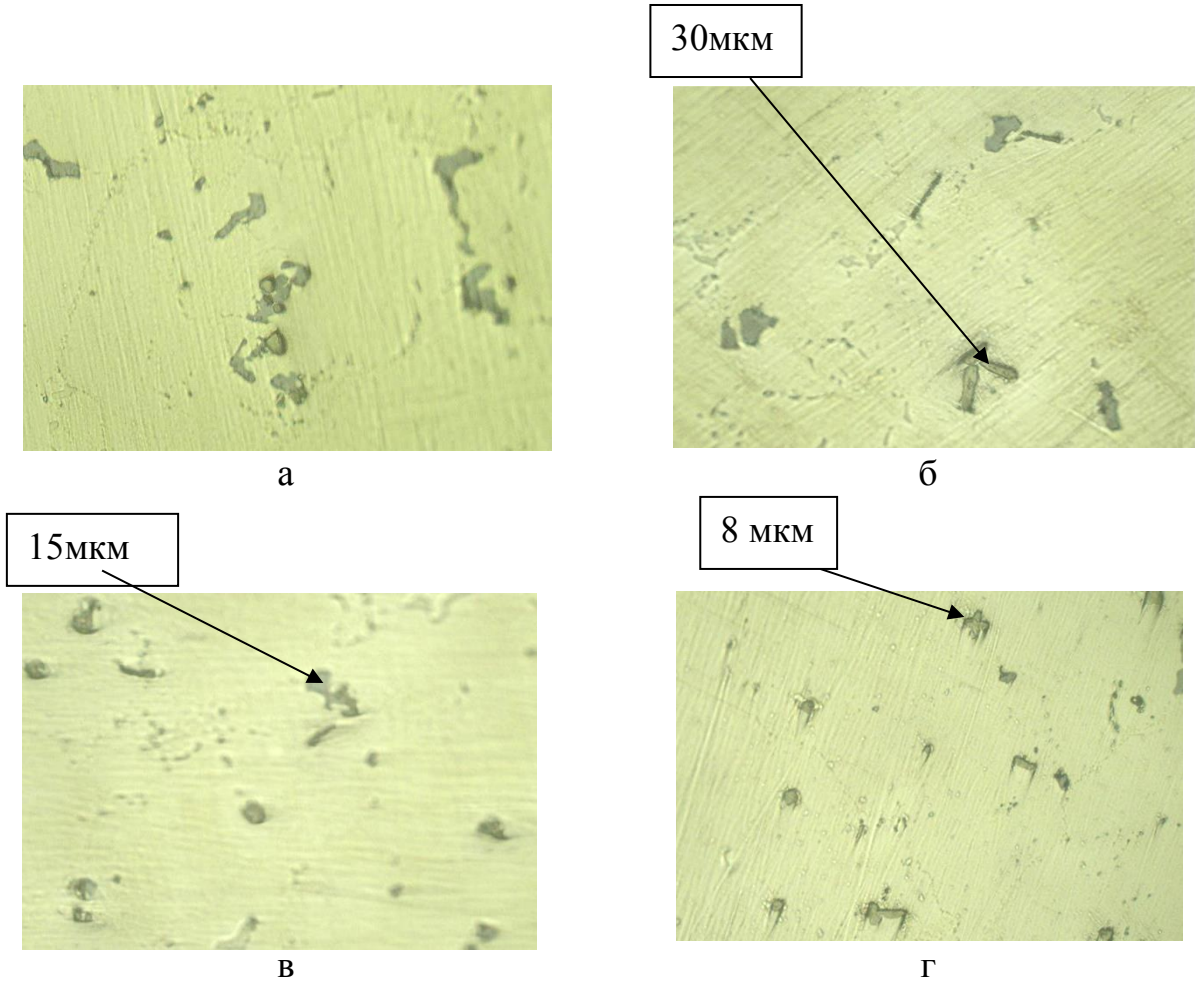
Примітка: у таблиці наведено середні значення



а - стандартний сплав; б – 0,055 % Ge; в – 0,095 % Ge; г – 1,09 % Ge; д – 0,047 % Si; е – 0,12 % Si; ж – 1,05 % Si

Рисунок 3.2 – Мікроструктура зразків із термообробленого сплаву МЛ5,
×100

Мікротвердість δ -твердого розчину сплаву зростала з підвищенням вмісту кремнію і германію. Стандартна термічна обробка і випробування на тривалу міцність сприяли підвищенню мікротвердості матриці та структурної однорідності сплавів. Більш високі значення мікротвердості отримано в робочій зоні зразків, що пройшли довготривалі випробування.



а – стандартний сплав; б – 0,047 % Si; в – 0,12 % Si; г – 1,05 % Si

Рисунок 3.3 – Середня довжина інтерметалідів у сплаві МЛІ5 з Si, $\times 500$

РСМА інтерметалідів у сплавах, що містять Si та Ge, показав, що всі ці елементи присутні у відповідних фазах, які мають складний склад (рис. 3.4.– 3.6).

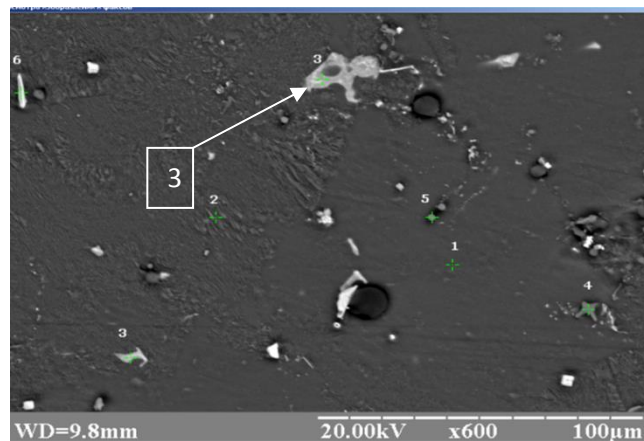
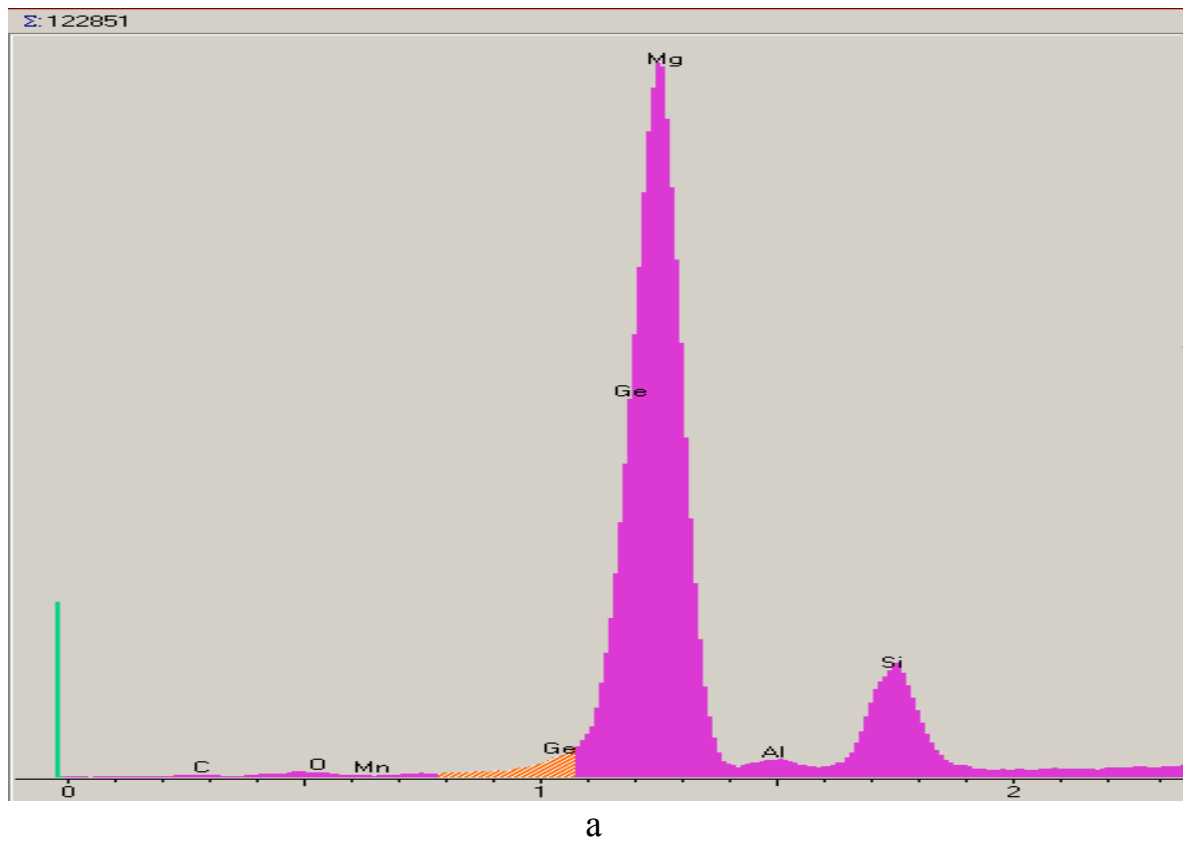


Рисунок 3.4 – Результати РСМА інтерметаліду в сплаві МЛІ5 з 1,09 % Ge, місце аналізу



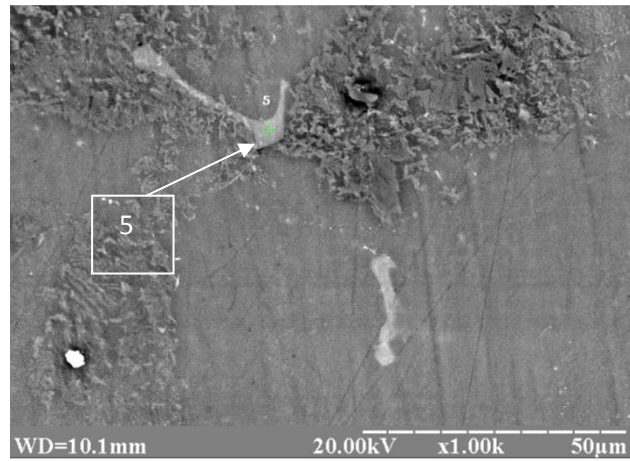
Ділянка	Mg	Al	Si	Ge	Сума
3	60,65	2,68	16,83	19,84	100

б

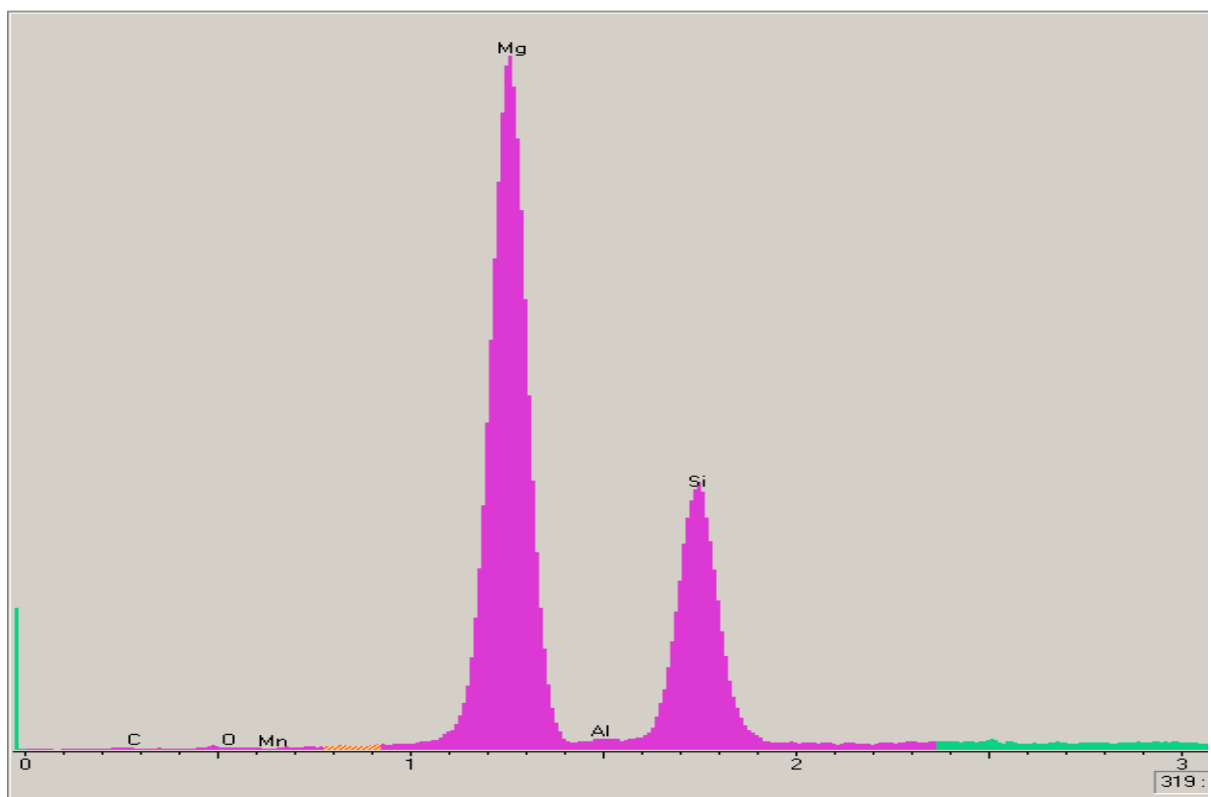
а – спектрограма аналізованого місця; б – хімічний склад ділянки (мас. %)

Рисунок 3.5 – Результати РСМА інтерметаліду в сплаві МЛ5 з 1,09 % Ge

Кремній та германій підвищували границю міцності сплаву МЛ5 і його відносне видовження при вмісті елементів у межах 0,05...0,1 %. Подальше зростання вмісту цих елементів у сплаві окрихчувало метал і знижувало його пластичність (табл. 3.2). Зі зростанням вмісту германію і кремнію в сплаві збільшувалася і його жароміцність.



а



б

Ділянка	Mg	Al	Si	Mn	Сума
5	46,40	1,22	52,36	0,02	100

в

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

Рисунок 3.6 – Результати РСМА інтерметаліду в сплаві МЛ5 з 1,05 % Si

Таким чином, кремній та германій у сплаві МЛ5 подрібнювали як макро-, так і мікроструктуру, підвищували мікротвердість матриці і границю міцності. При цьому, модифікуюча дія цих елементів (0,05...0,1 %) підвищувала пластичність металу за рахунок подрібнення мікрозерна. Германій і кремній підвищували жароміцність сплаву.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості та жароміцність сплаву МЛ5 з Si та Ge

Еле- мент	Вміст, мас. %	Механічні властивості				τ_{150}^{80} , час
		до термообробки		після термообробки		
		σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	
стандартний		165,3	2,8	232,6	2,9	141,8
Ge	0,055	170,2	3,2	238,2	4,0	161,5
	0,095	175,5	3,5	246,8	4,3	182,2
	1,09	178,8	3,3	258,6	4,0	194,6
Si	0,047	168,7	3,2	232,9	3,8	168,7
	0,12	173,8	3,9	241,4	4,3	190,8
	1,05	176,5	2,8	245,8	3,7	251,2
Примітка: у таблиці наведено середні значення						

В ході виконання досліджень дипломної роботи було отримано нові дані щодо впливу кремнію та германію на зміни структури та рівня властивостей виливків з магнієвих сплавів. Встановлено, що при введенні досліджених легувальних елементів від 0,05 до 1,0 мас. % зменшується відстань між осями дендритів 2 порядку до 1,5 разів і розмір мікрозерна - до 2 разів.

Встановлено, що оптимальні присадки кремнію та германію в межах 0,1%. Забезпечують підвищення механічних властивостей сплаву, а саме підвищення міцності на 11% та пластичності майже в 2 рази. При цьому жароміцність сплаву підвищується на 77 %. За рахунок мікролегування твердого розчину й утворення тугоплавких комплексних інтерметалідних фаз.

Застосування магнієвого сплаву МЛ5, модифікованого кремнієм і германієм в оптимальних кількостях для литих деталей авіаційних двигунів підвищить їхню довговічність у роботі та надійність під час експлуатації, що дасть змогу отримати значний економічний ефект.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В сучасному промисловому світі безпека на робочому місці є однією з ключових умов ефективної роботи. Дослідження впливу напівпровідникових металів на структуру та властивості сплавів на основі магнію вимагає особливої уваги до аспектів охорони праці, враховуючи потенційну токсичність та пірофорність деяких металів та сплавів. Оцінка ризиків, пов'язаних з виробничим процесом, та розробка заходів щодо мінімізації негативного впливу на здоров'я працівників є невід'ємною частиною дослідницької роботи. Впровадження сучасного обладнання для захисту та автоматизації процесів може значно знизити ризик виникнення професійних захворювань і нещасних випадків. У даному розділі будуть детально розглянуті заходи охорони праці, необхідні для безпечного ведення експериментальної роботи з напівпровідниковими металами при вивченні сплавів на основі магнію.

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», а саме [67]:

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) небезпеки які пов'язані з дослідженням фазового складу структури металу з використанням рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрах типу ДРОН зокрема: негативний вплив іонізуючого випромінювання при порушенні методики досліджень або відсутності екрануючих пристроїв, нехтування захистом відстанню та часом, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань, негативний вплив теплового випромінювання при дериватографії з використанням дилатометрів.

є) 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;

ж) 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;

з) 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;

и) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [68].

4.2 Заходи забезпечення безпеки

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 «Tesla BS 540» 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.

е) Для безпеки роботи на дифрактометрі ДРОН-1 необхідно закрити місця можливого розсіяння рентгенівських променів захисними свинцевими екранами. При встановленні камер з люмінісцентними екранами для візуального спостереження за юстировкою зразка необхідно користуватися захисним просвинцованим склом. Для забезпечення захисту рук оператора від опромінення при юстировці гоніометра необхідно користуватися подовженими торцевими ключами. При використанні іонізаційного методу реєстрації гоніометр під час роботи має бути закритий ширмою або іншим захисним пристроєм, що забезпечує зменшення інтенсивності розсіяного випромінювання до допустимих величин. При випадковому попаданні в сферу дії іонізуючого випромінювання необхідно негайно відключити аварійну установку від електромережі та повідомити про це відповідального за радіаційну безпеку в університеті та керівника [69-71].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

є) 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 % 45при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

ж) 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 [72-74].

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 небезпеки, 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;
- магнітоконтактні, 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 [75, 76].

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 здійснюватись 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, сульфозфрезолу, 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 ступенем 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 вододжерела, 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 сіті.

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.

Сіті 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 радіовузлу 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 підготовляти 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 гідроспоруд.

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) [77, 78].

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Вплив напівпровідникових матеріалів на структуру та властивості алюмінієвих сплавів у сфері авіабудування визначає новий етап розвитку авіаційних технологій. Завдання ефективної модернізації повітряних засобів та поліпшення їхньої продуктивності вимагають вдосконалення матеріалів, зокрема алюмінієвих сплавів, за допомогою напівпровідникових компонентів. Дослідження впливу модифікації цих сплавів, використовуючи напівпровідники, такі як германій та кремній, стає ключовою проблемою в авіаційній індустрії.

У контексті високих стандартів авіаційної безпеки та ефективності, що встановлені міжнародними нормативами, це дослідження націлене на оптимізацію алюмінієвих сплавів для їхнього використання в конструкції літаків та інших літальних апаратів. Розробка технологій модифікації алюмінієвих сплавів з використанням напівпровідникових матеріалів є важливим кроком у підвищенні їхньої міцності, стійкості та зменшенні ваги літаків.

У зв'язку з глобальним попитом на більш ефективні та екологічно чисті літальні апарати, високотехнологічні рішення та інноваційність в галузі авіабудування можуть визначити конкурентоспроможність компаній на світовому ринку. Співпраця з міжнародними партнерами та залучення новітніх технологій напівпровідникових матеріалів можуть стати стратегічними напрямками для досягнення лідерства в авіаційній індустрії.

Остаточний успіх впровадження модифікованих алюмінієвих сплавів у виробництво літаків буде визначений не лише їхніми механічними характеристиками та масовими властивостями, але й їхньою відповідністю найвищим стандартам авіаційної техніки та безпеки, що стане вирішальним фактором при конкуренції на глобальному ринку авіаційних технологій.

5.2 Послідовний аналіз

Виконаний аналіз напрямків застосування та вигоди для споживачів (табл. 5.1). Надано цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів. Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Удосконалення сплаву МЛ5 шляхом його легування Si і Ge для застосування в авіабудуванні	1. Виготовлення деталей авіаційних двигунів. 2. Конструкційні елементи літаків.	1. Для виготовлення деталей авіаційних двигунів - підвищення міцності при високих температурах, зниження маси двигуна. 2. Для конструкційних елементів літаків - зменшення загальної ваги літального апарату, що веде до економії палива.

Виконано аналіз попередньої характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	Українські компанії "Мотор Січ", "Івченко-Прогрес"; зарубіжні - "Boeing", "Airbus", "General Electric".

Кінець таблиці 5.2

Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільне зростання через потребу в підвищенні ефективності та екологічності авіаційної техніки.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вимоги до сертифікації, значні витрати на НДДКР, обмежений доступ до технологій.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність міжнародним стандартам якості ISO 9001, аерокосмічним стандартам AS9100, українським державним стандартам, вимоги EASA та FAA.

Вивчено та визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований 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)
Покращення характеристик легкості та міцності авіаційних матеріалів.	Виробники авіаційної техніки та компонентів, авіалінії, оборонні підприємства.	Виробники цінують довговічність та надійність, авіалінії шукають економію палива через вагу, оборонні структури вимагають високу міцність і термостійкість.	Строга відповідність до технічних стандартів, висока надійність, довговічність та оптимальна вартість матеріалів.

Виконаний аналіз SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проекту. Результати аналізу приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Підвищення фізико-механічних властивостей сплаву. 2. Зниження ваги авіаційних конструкцій. 3. Економія пального в авіації завдяки використанню легших матеріалів. 4. Збільшення ресурсу експлуатації деталей. 5. Відкриття нових ринків застосування сплавів. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Високі витрати на НДДКР для розробки сплаву. 2. Потреба у новому обладнанні для обробки легованих сплавів. 3. Обмежений досвід у виробництві та застосуванні нових сплавів. 4. Потенційна складність рециклінгу матеріалів. 5. Висока вартість первинної імплементації на виробництво.
Можливості:	Загрози:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Розширення ринку завдяки різноманітності застосування нових сплавів. 2. Отримання державних або міжнародних грантів на розвиток інноваційних технологій. 3. Формування партнерства з великими гравцями авіаційної промисловості. 4. Збільшення експортного потенціалу продукції завдяки підвищенню конкурентоспроможності. 5. Запровадження екологічних стандартів може сприяти переходу на легші матеріали. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зміна законодавства в сфері екологічних та технічних норм може призвести до додаткових вимог до продукту. 2. Флуктуації світових цін на сировину можуть збільшити витрати на виробництво сплавів. 3. З'явлення нових технологій у конкурентів, що може зменшити конкурентні переваги. 4. Високий ризик залежності від патентів та ліцензій, які можуть обмежити виробництво або використання сплавів. 5. Економічні кризи або зниження попиту в авіаційній промисловості можуть негативно вплинути на продажі.

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.5).

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
Компанії-виробники авіаційної техніки, що шукають легкі та міцні матеріали.	Середня до високої, залежно від доведеної ефективності та вартості нових сплавів.	10000 тонн на рік	Висока, особливо серед передових технологічних компаній з високими науково-дослідними ресурсами.	Складна, потребує значних інвестицій у дослідження, розробку та сертифікацію продукції.
Космічна промисловість, зацікавлена в інноваційних сплавах для поліпшення характеристик космічних апаратів.		3000 тонн на рік		
Високотехнологічний сектор, де важливі властивості матеріалів при високих навантаженнях.		5000 тонн на рік		

Була проведена ідентифікація осіб, які мають інтерес до проекту, їх ранжування за пріоритетом та створена Карта стейкхолдерів. Ця карта призначена для візуалізації взаємодії між різними стейкхолдерами. Для цього на карті виділено три концентричні зони, де представлені всі особи, які мають інтерес до інноваційного проекту. Кожна з цих зон показує рівень впливу ініціатора проекту на зацікавлених осіб. Внутрішня зона відображає повноваження та відповідальність ініціатора. Особи з цієї зони є безпосередньо підпорядковані ініціатору, що дозволяє застосовувати прості методи управління проектом (див. рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

Визначено витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні досліджень (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	10700	20	2140	12840	154080	33897,6
Старший науковий співробітник	1	9980	20	1996	11976	143712	31616,64

Кінець таблиці 5.6

Молодший науковий співробітник	1	9100	20	1820	10920	131040	28828,8
Лаборант	2	6700	20	1340	8040	192960	42451,2
Разом	5	36480	-	7296	43776	621792	136794,24

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 5.7)

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Папір	–	5 блоки	120	600
Ручка	–	25 одиниць	15	375
Олівець	–	25 одиниць	10	250
Зразки	60	60 одиниць	145	8700
Реактиви	–	10 одиниць	900	9000
Змінні лінзи	–	2 одиниці	3200	6400
Тара зразків	–	10 одиниць	50	500
Разом				25825

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	–	600 кВт	5,58 грн/кВт	2790
Водопостачання	–	5 м ³	28,3 грн/м ³	141,5
Теплопостачання	–	2,32 Гкал	3777 грн/Гкал	7554
Охоронна система	–	1	1500	1500
Утилізація реактивів	2 одиниці	2	200 грн	400
Разом				12385,5

Визначили річну суму амортизації 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	27520,36	3931,48
Електронний мікроскоп	1	1357110	1357110	189995,4	27142,2
Прилад для контролю хімічного складу сплавів	1	941240	941240	131773,6	18824,8
Комп'ютер	5	26547	132735	18582,9	2654,7
Принтер	1	14521	14521	2032,94	290,42
Разом	10	2437705	2642180	369905,2	52843,6

Відображаємо кошторис витрат на основі даних, вказаних в табл. 5.6-5.9. В табл. 5.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати, грн
Фонд заробітної плати, рік	621792
ЄСВ, рік	136794
Матеріальні витрати, рік	25825
Вартість спожитих послуг, рік	12386
Амортизація обладнання, рік	366189
Поточний ремонт, рік	52313
Виробнича собівартість	1215298
Адміністративні витрати 50%	310896
Повна собівартість	1526194

Розрахунок економічного ефекту виконувався на основі того, що використання сплаву МЛ5 з додаванням Si та Ge для виготовлення деталей авіаційного призначення дозволяє отримувати виріб з кращими показниками

механічних властивостей. Застосування таких матеріалів створить збільшення конкурентної здатності, збільшити ресурс роботи деталей, а також розширити номенклатуру виготовлення деталей, що дозволить знизити загальну вагу літаків в цілому.

Таблиця 5.11 – Орієнтовна ціна матеріалів для виготовлення сплавів МЛ5 та МЛ5+ Si, Ge

Назва матеріалу	Ціна, грн/кг	Вміст % МЛ5	Ціна 1 кг МЛ5	Вміст % МЛ5+ Ag, Sn	Ціна 1 кг МЛ5+ Ag, Sn
Магній Mg	750	90,87	681,53	90,63	679,73
Цинк Zn	260	0,5	1,3	0,5	1,3
Алюміній Al	600	8,3	49,8	8,3	49,8
Марганець Mn	500	0,33	1,65	0,33	1,65
Кремній Si	20	–	–	0,1	0,02
Германій Ge	44400	–	–	0,1	44,4
Разом	–	100%	734,3	100%	776,9

Розрахункова вартість одного кілограму (C_1) промислового серійного сплаву марки МЛ5 становить: $C_1 = 734,3$ гривень.

Розрахункова вартість одного кілограму (C_2) сплаву марки МЛ5 легованого Ag і Sn становить: $C_2 = 776,9$ гривень.

Економічна ефективність використання нового матеріалу визначається наступним чином:

$$E = (C_b K_e - C_n) \cdot N, \text{ грн.},$$

де C_b – собівартість базового виробу;

K_e – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу

C_n – собівартість нового виробу

$$E = (734,3 \cdot 1,5 - 776,9) \cdot 1 = 324,55 \text{ грн.}$$

Отже, економія на виготовленні 1 кг сплаву МЛ5 додатково легованого напівпровідниковими матеріалами 0,1% Si та 1% Ge становить 324,55 грн при коефіцієнті експлуатаційного ресурсу 1,5. Це свідчить про те, що додавання невеликої кількості таких модифікаторів до складу розробленого матеріалу попри збільшення собівартості матеріалу внаслідок легування його коштовним германієм, дозволяє значно підвищити термін експлуатації деталей авіаційних двигунів та елементів конструкції, виготовлених із магнієвого сплаву МЛ5 та замінити деталі з інших матеріалів на більш легкий розроблений магнієвий сплав з таким же рівнем експлуатаційних характеристик.

ВИСНОВКИ

В ході виконання досліджень дипломної роботи було отримано нові дані щодо впливу кремнію та германію на зміни структури та рівня властивостей виливків з магнієвих сплавів. Встановлено, що при введенні досліджених легувальних елементів від 0,05 до 1,0 мас. % зменшується відстань між осями дендритів 2 порядку до 1,5 разів і розмір мікрозерна - до 2 разів.

Встановлено, що оптимальні присадки кремнію та германію в межах 0,1%. Забезпечують підвищення механічних властивостей сплаву, а саме підвищення міцності на 11% та пластичності майже в 2 рази. При цьому жароміцність сплаву підвищується на 77%. За рахунок мікролегування твердого розчину й утворення тугоплавких комплексних інтерметалідних фаз.

Застосування магнієвого сплаву МЛ5, модифікованого кремнієм і германієм в оптимальних кількостях для литих деталей авіаційних двигунів підвищить їхню довговічність у роботі та надійність під час експлуатації, що дасть змогу отримати значний економічний ефект. Він сягає 324,55грн за 1 кг розробленого сплаву.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Перспективи розвитку виробництва магнію в Україні / Ю.М. Рябухін, В.М. Дев'яткін, І.В. Забелін [та ін.] // *Металургія та гірничорудна промисловість*. – 2001. – № 1. – С. 76-79.
2. Rourke D.J. Магній - сучасний стан і майбутні перспективи / D .J. Rourke // *Proc. Intern. Magnesium Conf. in conjunction with METER 2000: Magnesium New Business Opportunities*. - Brescia. - 2000. - P. 14-23.
3. Brown R.E. Australian magnesium update / R.E. Brown // *Light metal Age*. – 1999. – Februari. – P. 138-142.
4. Annamalai S., Periyakgoundar S., Gunasekaran S. Magnesium alloys: a review of applications // *Materials and Technologies*. – 2019. Vol. 53. No. 6. – P. 881–890. URL: https://www.researchgate.net/publication/338035359_Magnesium_alloys_a_review_of_applications.
5. Эмли Е.Ф. Основы технологии производства и обработки магниевых сплавов / Эмли. Е.Ф. - М. : *Металлургиздат*, 1972. - 775 с.
6. Маткова, А. В., & Матвійчук, С. М. (2010). *Металеві сплави для виготовлення авіаційної техніки*. Наукові нотатки, (29), 121-122.
7. Сон К.Є. Дослідження та розробки застосування магнієвих сплавів у Південній Кореї / К. Є. Сон, М.Ч. Канг, К. Х. Кім // *Ливарне виробництво*. – 2006. – № 1. – С. 8-10.
8. Настоящее и будущее магниевых сплавов в нашей цивилизации / Х. Диринга, П. Майер, Д. Фехнер [и др.] // *Литейное производство*. - 2006. - № 1. - С. 4-7.
9. Aronson Robert B. The EXPANDING world of metals / Aronson Robert B. // *Manuf. Eng. (USA)*. - 2001. - 127, N 3. - P. 123-136.
10. Mus Claudio. The today and future potential of magnesium in the automotiv industry / Mus Claudio // *Rev. Fonderie press*. - 1998. - № 23. - P. 32-36.
11. Fridrich Horst E. Leichtbau und Werkstoffinnovationen im Fahrzeugbau / Fridrich Horst E. // *ATZ: Automobiltechn. Z.* - 2002. - 104, N 3. - P. 258-262.

12. Fridrich H. Magnesium set to make inroads / H. Fridrich , S. Schumann // *Metal Bull. Mon.* - 2002. - N 2 - P. 10-12.
13. Ito T. Today,s magnesium technologies and application in Japan / Ito T. , Sato M. // *Proc. IMA 2000 World Magnesium Conf.* - 2000. - P. 33-40.
14. Magnesium alloys. In: *Materials Handbook : 10th edn.* / H.I. Burrier // – Vol. 1. ASM International. – Materials Park, OH, 1990. – 380 p.
15. Кондратюк С.Є. Структуроутворення, спадковість та властивості литої сталі / С.Є. Кондратюк – К. : Наукова думка, 2010. – 176 с.
16. Агалаков В.В. Перспективные направления магниевого передела ОАО «Корпорация ВСМПО – АВИСМА» / В.В. Агалаков, К.Л. Снегирев // *Литейное производство.* - 2006. - № 1. - С. 11-13.
17. Mingxu Xia. Shrinkable defects in magnesium moulding under pressure / Xia Mingxu, Yuan Sen, Jiang Bailing [end oth.] // *Tezhong zhuzao ji youse hein: Spec.Cast. fnd Nonferrous Alloys.* – 2002. – № 6. – P. 23-25.
18. 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.
19. *Магниеые сплавы: справочник: в 2 ч. Ч. 1: *Металловедение магния и его сплавов. Области применения* / [Альтман М.Б., Антипова А.П., Блохина В.А. и др.]; отв. ред. М.Б. Альтман. - М.: *Металлургия*, 1978. - 231 с.*
20. Никулин Л.В. *Расширение номенклатуры магниевых сплавов для литья под давлением* / Л.В. Никулин, Т.Н. Липчин // *Развитие и совершенствование литья под давлением.* – М. : МДНТП им. Дзержинского, 1975. - С. 114-118.
21. *Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. Т. 3, кн. 1/ под ред. Н.П. Лякишева.* - М. : *Машиностроение*, 1996. - 1024 с.
22. Рейнор Г.В. *Металловедение магния и его сплавов* / Рейнор Г.В. – М. : *Металлургия*, 1964. - 486 с.
23. Елагин В.И. *Структура и свойства сплавов системы Al-Zn-Mg* / В.И. Елагин, В.В. Захаров, А.М. Дриц. - М. : *Металлургия*, 1982. – 219 с.

24. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. - М.: Металлургия, 1981. - 181 с.
25. Hot-tearing susceptibility of Mg -9Al -xZn alloy / [Wang Yeshuang, Wang Qudong, Wu Guohua and oth.] // Mater. Lett. - 2002. – 57, N 4. - P. 929-934.
26. Ito T. Сучасні магнієві технології та їх застосування в Японії / Ito T. , Sato M. // Proc. IMA 2000 World Magnesium Conf. - 2000. - P. 33-40.
27. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали / Шульте Ю.А. - К.: Донецк : Вища школа, 1983. - 184 с.
28. Шульте Ю.А. Электрoметаллургия стального литья / Шульте Ю.А. - М. : Металлургия, 1970. - 222 с.
29. Лунев В.В. Неметаллические включения в сталях, чугунах и ферросплавах / В.В. Лунев, В.П. Пирожкова, С.Г. Грищенко. – Запорожье: Днепровский металлург, 2006. - 384 с.
30. Ольшанецкий В.Е. Об аномальной пограничной абсорбции крупноразмерных примесных атомов в однокомпонентной металлической матрице / В.Е. Ольшанецкий // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - 2010. - №1. - С. 51-54.
31. Емлин Б.И. Справочник по электротермическим процессам / Б.И. Емлин, М.И. Гасик. - М. : Металлургия, 1978. - 228 с.
32. Шульте Ю.А. Неметаллические включения в электростали / Шульте Ю.А. - М. : Металлургия, 1964. - 199 с.
33. Попов В.Е. Получение кристаллических тугоплавких карбидов из раствора в легкоплавких металлах / В.Е. Попов , В.Н. Гурин // Карбиды и сплавы на их основе. - К. : Наукова думка, 1976. - С. 21-26.
34. Комплексная обработка магниевого сплава Мл-5 магнием и ультразвуком / М.В. Чухров, М.П. Рыженкова, З.Н. Хрисанова [и др.]. - Литейное производство. - 1977. - № 10. - С. 15-16.
35. Колчев Б.А. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов / Б.А. Колчев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. - М. : Металлургия, 1972. – 480 с.

36. Магниевые сплавы: справочник: в 2 ч. Ч. 2: Технология производства и свойства отливок и деформированных полуфабрикатов / [Антонов Е.Г., Арбузов Б.А., Бабкин В.М. и др.]; ред. И.И. Гурьев, М.В. Чухров - М.: Металлургия, 1978. – 294 с.
37. Zhang S. Method of introduction of a carbonaceous flux for crushing grain in a magnesian alloy. / S. Zhang , W. Li , K. Yu // Tezhong zhuzao ji youse hejin: Nonferrous Alloys. - 2002. - № 4. - P. 18-19.
38. Чухров М.В. Модифицирование магниевых сплавов / Чухров М.В. - М. : Металлургия, 1972. - 176 с.
39. Новиков И.И. Исследование сплавов цветных металлов / Новиков И.И., Золоторевский В.С., Лисовская Т.Д. - М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 287 с.
40. Влияние постоянного тока на качество магниевого сплава / В.И. Якимов, В.И. Шпорт, В.И. Муравьев [и др.] // Литейное производство.- 1999. - № 12. - С. 10-12.
41. Мальцев М.В. Модифицирование структуры цветных металлов и сплавов / Мальцев М.В. - М. : Металлургия, 1964. - 214 с.
42. Корнилов И.И. Физико-химические основы жаропрочности сплавов / Корнилов И.И. - М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 516 с.
43. Zi-li Liu. Moulding on installed gas models of magnesian alloy AZ91 / Liu Zi-li, Ding Wen-jiang-yu, Hu Jing-yu [and oth.] // Cailiao kexue yu gongyi: Mater.Sci. and Technol. - 2001. - 9, № 2. - P. 189-194.
44. Юм-Розери В. Структура металлов и сплавов / В. Юм-Розери, Г.В. Рейнор; под ред. В.М. Селисского. - М. : Metallurgizdat, 1959. – 391 с.
45. Даркен Л.С. Физическая химия металлов / Л.С. Даркен, Р.В. Гурри. – М. : Metallurgizdat, 1960. – 582 с.
46. Дриц М.Е. Магниевые сплавы для работы при повышенных температурах / Дриц М.Е. - М. : Наука, 1964. - 229 с.

47. Рохлин Л.Л. Свойства и структура деформируемых магниевых сплавов системы Mg-Al-Si / Л.Л. Рохлин, А.Г. Пепелян // *Металловедение и термическая обработка металлов.* - 1990. - № 10. - С. 56-59.
48. Григорович В.К. Жаропрочность и диаграммы состояния / Григорович В.К. – М. : *Металлургия*, 1969. - 324 с.
49. ДСТУ 2187-93. Магній первинний у чушках. Технічні умови. – Чинний від 1994-01-01. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1993. – 26 с.
50. ГОСТ 3640-94. Цинк. Технічні умови. – Чинний від 1999-01-01. – Вид. офіц. – Москва : *Стандартінформ*, 1998. – 20 с.
51. ДСТУ ГОСТ 11069-2003. Алюміній первинний. Марки. – Чинний від 2003-03-01. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2003. – 13 с.
52. ДСТУ ISO 16220:2008. Магній і магнієві сплави. Зливки та виливки з магнієвих сплавів. Технічні умови. – Чинний від 2010-01-01. – Вид. офіц. – Київ : *УкрНДНЦ*, 2009. – 21 с.
53. Курдюмов А.М. Литейное производство цветных и редких металлов / Курдюмов А.М., Пикунов М.В., Чурсин В.М. - 2-е изд. – М. : *Металлургия*, 1982. – 352 с.
54. Белоусов Н.Н. Плавка и разливка сплавов цветных металлов / Белоусов Н.Н. - Л. : *Машиностроение*, 1981. - 80 с.
55. Магниеые сплавы. Технология производства и свойства отливок и деформированных полуфабрикатов: справочник / под ред. И.И. Гурьева, М.В. Чухрова. – М. : *Металлургия*, 1978. – 296 с.
56. Авиационно - космические материалы и технологии / [В.А. Богуслаев, А.Я. Качан, Н.Е. Калинина и др.]. - Запорожье : Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2009. - 351 с.
57. Методы контроля и исследования легких сплавов: справочник / [А.М. Вассерман, В.А. Данилкин, О.С. Коробов и др.]. – М.: *Машиностроение*, 1985. – 510 с.
58. *Материаловедение: учебник [для высших технических учебных заведений]* / [Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др.] / под

редакцией Б.Н. Арзамасова. – [2-е изд., испр. и доп.] – М.: Машиностроение, 1986. – 286 с.

59. Sergio G. Le point sur l'activite fonderie magnesium / Gallo Sergio, Mus Claudio // Rev. Fonderie press. - 1999. - 24. - P. 29-31.

60. Brungs D. Innovationen bei Gusswerkstoffen / D. Brungs, A. Mertz // Konstruktion für Produktentwicklung. - 2000. - 52, N 7-8. - P. 33-36.

61. Podobed O. Tongebundene Formstoffe zur Herstellung von Gussteilen aus Magnesium-Lagierungen / Oleg Podobed, Grefhorst Cornelius // Giesserei Rdsch. - 2002. - 49, № 9-10. - P. 155-162.

62. Weidler A. Eigenschaften von Magnesiumdruckgussteilen / A. Weidler, T. Heckel, F. Klein // Giesserei-Erfahrungsaustausch. - 2001. - № 45. - P. 341-347.

63. Gariboldi E. Toughness characteristics of as-die-cast AM60B alloy / E. Gariboldi, A. Lo Conte // Metal. Sci. and Technol. - 2003. - № 21. - P. 16-24.

64. Sergio G. TEKSID: Le point sur l'activite fonderie magnesium / Gallo Sergio, Mus Claudio // Rev. fonderie press. - 1999. - № 24. - P. 29-31.

65. Brungs D. Innovationen bei Gusswerkstoffen / D. Brungs, A. Mertz // Konstruktion : Zeitschrift für Produktentwicklung. - 2000. - 52, № 7-8. - P. 33-36.

66. Dworog. A. Magnesiumspritzgießen : Materialeigenschaften der Metallegierungen erfordern modifizierte Spritzgießmaschinen / Andreas Dworog, Richard Huppertz, Dierk Hartmann // Kunststoffe. - 1999. - 89, № 9. - P. 75-76.

67. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України, 2012. – 116 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

68. Про охорону праці [Електронний ресурс] – Чинний від 1992-10-14. : станом на 20.01.2018 р.–К.:ВРУ України,1998.– URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – (Закон України).

69. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом [Текст] : ДСТУ Б В.2.5-82:2016. – На заміну

ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с. – (Державний Стандарт України).

70. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – 59 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

71. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – 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>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

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

73. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. – (Державні санітарні норми).

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

75. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки).

76. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір [Текст] : ДСТУ ISO 6309:2007. – 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. – (Державний Стандарт України).

77. Планування і забудова територій [Текст] : ДБН Б.2.2-12:2018 – 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. – (Державні будівельні норми).

78. Катренко Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум [Текст] : навчальній посібник / Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Піскун – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 496 с.

ДОДАТОК А