

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 модифікування благородними металами на структуру, механічні властивості та біорозчинність магнієвого сплаву для імплантатів

Виконав(ла): студент(ка) курсу, групи ІФ-222м
Спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

ЮВКО Людмила Олександрівна

(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)

ЮВКО Людмила Олександрівна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Вплив модифікування благородними металами на структуру, механічні властивості та біорозчинність магнієвого сплаву для імплантатів

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «_____» _____ 2023 року №_____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) значення технологічних властивостей сплаву системи Mg-Zr-Nd, їх хімічний склад, проблематика використання магнію в остеосинтезі.

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

1. Літературний огляд;

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) Магній; Діаграми стану Ag – Mg та Au-Mg; Зразки з кісткової тканини після механічних випробувань; Властивості магнієвих сплавів, що використовуються для виготовлення імплантатів та кісткової тканини; Механічні властивості сплаву на основі магнію (системи Mg-Zr-Nd) після витримки в штучних замінниках крові; Вплив різної кількості добавок золота на мікроструктуру сплаву системи Mg-Zr-Nd; Середні розміри структурних складових та мікротвердість структури магнієвого сплаву з Ag та Au; Топологія та об'ємний вміст інтерметалідної фази у дослідному сплаві; Топологія та об'ємний вміст інтерметалідної фази у дослідному сплаві Зразки сплаву системи Mg-Zr-Nd з 0,1% Ag + 0,1% Au та їх структура після витримки у гелофузині.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення із темою дипломного проєкту. Вивчення відповідної літератури	06.10.2023	
2	Розробка вступу та розділу «Літературний огляд»	16.10.2023	
3	Розробка розділу «Матеріали та методики досліджень»	23.10.2023	
4	Розробка розділу «Експериментальний розділ»	30.10.2023	
5	Розробка розділу «Охорона праці»	07.11.2023	
6	Розробка розділу «Економічний розділ»	15.11.2023	
7	Написання висновків та переліку посилань	24.11.2023	

Студент(ка)

_____ (підпис)

Людмила ЮВКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ (підпис)

Вадим ШАЛОМЄСВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 87 с., 16 табл., 17 рис., 11 дод., 54 джерел.

МАГНІЄВИЙ СПЛАВ, Mg-Zr-Nd, СРІБЛО, ЗОЛОТО, МІКРОЛЕГУВАННЯ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ОСТЕОСИНТЕЗ, ІМПЛАНТАТИ, ГЕЛОФУЗИН

Об'єкт розробки – магнієві сплави системи Mg-Zr-Nd, модифіковані благородними металами.

Мета роботи – дослідження впливу модифікування благородними металами в інтервалі від 0,05 до 0,2 мас. % до сплавів системи Mg-Zr-Nd при використанні їх для виробництва імплантатів при застосуванні в остеосинтезі. Проаналізувати можливість та доцільність такого модифікування, використовуючи дані щодо технологічних властивостей отриманих сплавів та досліджень у штучних замінниках крові.

Результати роботи – мікролегування сплавів системи Mg-Zr-Nd золотом та сріблом у кількості 0,05...0,2 % забезпечує позитивний вплив. Роздільне введення срібла та золота у сплав системи Mg-Zr-Nd у кількості від 0,05 до 0,2 мас. % сприяло зменшенню розміру мікрозерна ~ 2...4 рази. При цьому срібло сприяло сильнішому подрібненню зерна і підвищенню механічних властивостей сплаву. Така модифікація збільшувала об'ємний відсоток інтерметалідів у ~ 1,5 рази, зі зменшенням їх розміру при одночасному утворенні сферичних інтерметалідів, розташованих у центрі зерна та додатковими центрами кристалізації. Встановлено, що комплексне модифікування (0,1 % Ag + 0,1 % Au) магнієвого сплаву зменшувало розміри його структурних складових та сприяло помітному підвищенню його механічних властивостей.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	7
1 Огляд літературних джерел.....	9
1.1 Магній та його властивості.....	9
1.2 Магнієві сплави та їх класифікація.....	10
1.3 Застосування магнієвих сплавів у медицині.....	18
1.4 Застосування срібла та золота у медицині.....	20
1.4.1 Властивості срібла та його застосування у медицині....	20
1.4.2 Властивості золота та його застосування у медицині...	22
2 Матеріали та методики досліджень.....	25
3 Вплив благородних металів на структуроутворення, механічні властивості та бірозчинність магнієвого сплаву.....	27
3.1 Порівняльний аналіз властивостей кісткової тканини та магнієвого сплаву.....	28
3.2 Характеристика структурних складових досліджуваного сплаву на основі магнію.....	30
3.3 Числовий металографічний аналіз.....	35
3.4 Механічні властивості після біокорозії.....	40
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	43
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	43
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	44
4.3 Заходи з виробничої санітарії.....	48
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	49
4.5 Заходи безпеки в умовах НС.....	50
5 Економіко-організаційна частина.....	56
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	56
5.2 Послідовний аналіз.....	57

Висновки.....	69
Перелік джерел посилань.....	70
Додаток А	77

ВСТУП

Насьогодні різні метали і сплави широко застосовують в ортопедії і травматології для проведення остеосинтезу сегментів скелета, що несуть підвищене навантаження. Металеві імпланти, які здебільшого використовують зараз, виготовляють із корозійностійких сталей, кобальту і титанових сплавів [1 – 3].

Збільшення обсягу хірургічних технологій у травматології та ортопедії останніми десятиліттями обумовлює велику кількість вимог до матеріалів, з яких виробляють фіксатори для остеосинтезу уламків кісток. Основними проблемами, пов'язаними із застосуванням металевих імплантів, є: алергія на метал, асептичне запалення і металози. Так само, обмеженням для застосування металевих матеріалів є виділення токсичних іонів або частинок металів внаслідок корозії або зношення, які призводять до запального процесу [4 – 6]. Крім того, модулі пружності цих сплавів значно відрізняються від кісткової тканини. Унаслідок ефекту стрес-шилдингу знижується формування новоутвореної кісткової тканини, посилюється негативне ремоделювання, що призводить до порушення стабільності імплантату [7 – 9]. Використання фіксаторів із біоінертних металів для остеосинтезу зумовлює виконання повторного хірургічного втручання, спрямованого на видалення імплантату і найчастіше не менш травматичного, ніж сам остеосинтез. Це тягне за собою збільшення загальних термінів стаціонарного лікування і тимчасової непрацездатності хворих. У зв'язку з цим постійно триває пошук матеріалів, які могли б розчинятися в ділянці імплантації з синхронним заміщенням кістковою тканиною, що не потребувало б видалення фіксувальних пристроїв.

Одним із таких матеріалів може бути магній, який є природним елементом в організмі, а продукти його біорезорбції характеризуються високою біосумісністю [10 – 12]. Це робить його привабливим для застосування в ортопедії та травматології [13, 14]. Однак основним обмеженням використання

магнію є низькі механічні властивості [15 – 17]. Розв'язанням проблеми є застосування сплавів на основі магнію, що володіють вищим рівнем механічних властивостей і модулем пружності, порівняно із показниками кісткової тканини. У зв'язку з цим, розробка і дослідження біорозчинних сплавів на основі магнію є перспективним напрямком розвитку біоматеріалознавства і медицини. Застосування імплантатів із біорозчинних магнієвих сплавів дає змогу уникнути проведення додаткових операцій з їх видалення. Це також дозволяє усунути ускладнення, пов'язані з тривалою наявністю імплантату в кістці. Під час вибору хімічного складу сплаву важливо, щоб продукти біокорозії метаболізувалися в організмі, біоабсорбувалися і були нетоксичними.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Магній та його властивості

Магній є характерним елементом мантиї Землі, переважно міститься в основних породах на рівні 4,5%. Магній представляє собою метал сріблясто-білого кольору, без поліморфних перетворень. У всьому діапазоні температур нижче температури плавлення він має гексагональну щільнопаковану ґратку, параметри якої складають $a = 0,32029$ нм, $c = 0,52000$ нм. Співвідношення c/a дорівнює 1,6235, що майже рівне теоретичному значенню 1,633. Магній входить до II групи періодичної системи з атомною масою 24,32.

Хімічні властивості магнію відносять його до лужноземельних металів. Температура плавлення металу становить $651\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура кипіння - $1103\text{ }^{\circ}\text{C}$, а теплопровідність при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $156\text{ Вт}\cdot\text{м}\cdot\text{K}$. Густина магнію складає $1,74\text{ г/см}^3$, що робить його одним з найлегших конструкційних металів.

Питома теплоємність магнію приблизно така ж, як і у алюмінію, але його температура плавлення вдвічі нижча. Теплопровідність магнію на 1,5 рази менша, ніж у алюмінію, але вища, ніж у сталі. Коефіцієнти лінійного розширення магнію та алюмінію приблизно ідентичні. Магній виявляє парамагнітні властивості, його електроопір майже удвічі більший, ніж у алюмінію. Механічні властивості чистого магнію низькі ($\sigma_{0,2} = 38\text{ МПа}$, $\sigma_B = 60\text{ МПа}$, $\delta = 50\%$, твердість по Брінелю $200\ldots 300\text{ МПа}$), що обумовлює практично неможливість його використання як конструкційного матеріалу.

Магній є хімічно активним металом. В чистому вигляді магній має сріблясто-білий колір, проте при взаємодії з повітрям швидко окислюється з утворенням оксиду MgO , який має темний колір. При низьких температурах ця плівка є аморфною, але при нагріванні вище $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ набуває кристалічної структури. Оксидна плівка захищає магній від окислення при температурах нижче $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, але при більш високих температурах швидкість окислення значно зростає. При нагріванні на повітрі до температур вище $623\text{ }^{\circ}\text{C}$ магній запалюється та горить, випромінюючи яскраве біле світло [18].

Магній має високу здатність до поглиблення механічних вібрацій, відмінну здатність абсорбції ударних навантажень, високу питому міцність при згині та крутінні. Крім того, він здатний добре оброблюватися різанням, шліфуватися та зварюватися різними методами.

Разом з цим, магній має певні недоліки. Порівняно з алюмінієм, особливо при температурах близьких до кімнатної та нижчих, він має меншу пластичність та технологічність. Магній має низький модуль пружності (в 2 рази менший, ніж у алюмінію та в 5 разів менший, ніж у сталі). Низька швидкість дифузійних процесів ускладнює термічну обробку. Крім того, магній має гіршу корозійну стійкість порівняно з алюмінієм та його сплавами, а також проявляє здатність до самозаймання при підвищених температурах через активну взаємодію з киснем. Магній самозаймається при атмосферному тиску на повітрі та в кисні при температурі 623°C, порошок та дрібна стружка займаються вже при 360°C. Легування вісмутом, проведення плавки і розливки магнію та його сплавів під флюсом (до складу флюсу входять солі NaCl, KCl) зменшує схильність до самозаймання.

Такі елементи як Cu, Ni, Sn, Zn, Al (особливо Cu та Ni) збільшують швидкість окислення магнію та його сплавів на повітрі при підвищених температурах. Свинець, срібло, кадмій, талій мало впливають на швидкість окислення. Уповільнюють процес окислення магнію та його сплавів присадки рідкісноземельних металів – церій та лантан. [18].

1.2 Магнієві сплави та їх класифікація

Авіаційна промисловість є основним і великим споживачем магнієвих сплавів. Зараз виготовляють різноманітні деталі для літаків і вертольотів з магнієвих ливарних сплавів, такі як елементи фюзеляжів, кабіни пілота, панелі приладів, кронштейни, рами, передкрилки та елементи двигунів зі сплаву МЛ5,

а також деталі насосів, редукторів, маслоагрегатів, вентиляторів та корпуси двигунів зі сплаву МЛ10.

Автомобільна промисловість також широко використовує виливки з магнієвих сплавів, розширюючи при цьому їхню масштабність і номенклатуру. Застосування магнієвих сплавів у виготовленні автомобільних деталей сприяє покращенню експлуатаційних характеристик внаслідок значного зниження маси. Це також призводить до економії пального та зниження рівню шкідливих викидів у атмосферу. Практично всі світові компанії з виробництва автомобілів використовують деталі з магнію для випуску своєї продукції.

Особливістю магнієвих сплавів як конструкційного матеріалу є їх висока питома міцність, що значно розширює область його використання. За цим параметром магнієві сплави поступаються лише титану (згідно з таблицею 1.1).

Таблиця 1.1 – Питома міцність сплавів [19]

Матеріали	Сталі	Латуні, бронзи	Цинкові сплави	Алюмінієві сплави	Титанові сплави	Магнієві сплави
Питома міцність, Дж/кг	7...13	6...11	4...8	8...14	14...20	13...5

Використання високоміцних магнієвих сплавів дозволяє значно зменшити масу автомобілів, що в свою чергу призводить до підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД), збільшення швидкості, підвищення корисного навантаження та зниження споживання пального. У багатьох випадках, стандартні литі деталі з магнієвих сплавів виявляються на 25-30% легше за аналогічні деталі з алюмінієвих сплавів, в чотири рази легше за сталеві та вдвічі легше за титанові.

Магнієві сплави проявляють стабільні властивості при негативних температурах, не піддаючись різкому охрупченню. Їх ударна в'язкість та відносне видовження при зниженні температури незначно зменшуються, що робить ці сплави ідеальними для роботи при кріогенних умовах. Завдяки високій теплопоглинаючій здатності, магнієві сплави перевершують більшість

конструкційних матеріалів за теплопровідністю. Таким чином, вироби з магнієвих сплавів, передаючи однакову кількість тепла, нагріваються значно менше, що допомагає уникнути значних термічних напружень.

Магнієві сплави також вирізняються високою технологічністю. Їх можна виготовляти за допомогою будь-яких методів лиття. Невелика тепломісткість цих сплавів сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню зношення інструменту при литті під тиском у порівнянні з алюмінієвими сплавами. Деталі з магнієвих сплавів легко обробляються, шліфуються та поліруються. Щодо легкості обробки різанням (відносна оброблюваність), вони перевершують усі інші конструкційні матеріали. Це дозволяє вести обробку з використанням швидкорізального інструменту, включаючи інструмент з легованої сталі, при високих швидкостях різання.

Магнієві сплави класифікують за наступними ознаками.

Класифікація за способом виробництва:

1. Деформівні.
2. Ливарні.

Класифікація за рівнем міцності:

1. Маломіцні.
2. Середньої міцності.
3. Високоміцні сплави.

Класифікація за густиною:

1. Надлегкі. До цієї категорії відносяться сплави з літієм.
2. Легкі (всі інші магнієві сплави).

Класифікація за можливою температурою експлуатації:

1. Призначені для роботи при звичайних температурах (сплави загального призначення).
2. Жароміцні (для тривалої експлуатації до 200°C).
3. Високожароміцні (для тривалої експлуатації до 250...300°C).
4. Для роботи в умовах криогенних температур .

За основними легувальними елементами *деформівні* магнієві сплави поділяють на п'ять основних груп [20]:

Сплави системи Mg-Mn, відрізняються високою технологічністю та можливістю ефективного зварювання. Хоча термічна обробка не призводить до зміцнення сплавів, спостерігається зміна розчинення марганцю в гратці магнію (рис. 1.1). Головною метою введення марганцю є покращення зварюваності та підвищення стійкості до корозії. Один з представників цієї групи – сплав МА1, використовується для виготовлення ємностей для бензину, мастила, а також деталей трубопроводів.

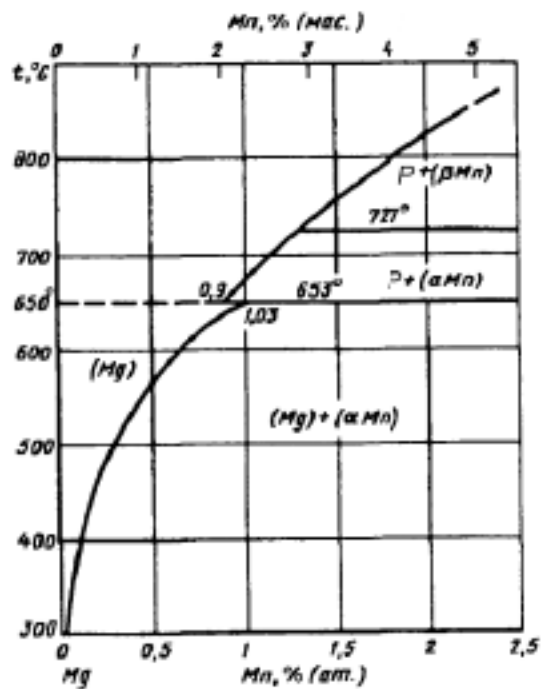
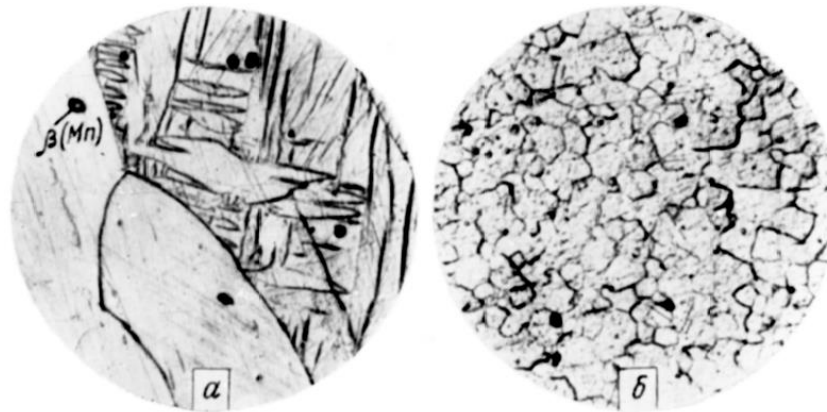


Рисунок 1.1 – Подвійна діаграма системи Mg–Mn

Подвійні сплави системи Mg-Mn практично не використовуються, а сплав МА8, що містить 1,3% Mn та 0,2% Се, знаходить більше застосування. Структура сплаву включає α -твердий розчин заміщення з атомами Mn у гратці Mg, Mn та $Mg_{12}Se$ (рис. 1.2). Додавання церію призводить до утворення дисперсних частинок, подрібнює структуру і підвищує міцність, пластичність та деформівність. Термічна обробка не впливає на зміцнення сплаву.



а – литий стан, б – відпалений стан

Рисунок 1.2 – Мікроструктура сплаву МА8

Сплав МА8 володіє високою технологічною пластичністю та середнім рівнем міцності ($\sigma_b = 240 \dots 260$ МПа, $\delta = 7 \dots 12\%$). Він застосовується для виготовлення ємностей для бензину та мастила, деталей трубопроводів, листів для обшивки, компонентів електрохімічного призначення, а також плит для панелей літаків.

Сплави системи Mg-Al-Zn-Mn. До цієї групи належать сплави МА2-1, МА2-1пч, МА5. Сплави мають більш високий рівень показника міцності ($\sigma_b = 260 \dots 280$ МПа) порівняно із сплавом МА8, мають вищу технологічність в процесах деформації, добре зварюються. Недоліком сплавів цієї системи є схильність до прояву корозійних процесів під дією навантаження. Алюміній та цинк добре розчиняються в гратці магнію при підвищених температурах. Із зниженням температури розчинність зменшується, що пов'язано з виділенням зміцнювальних фаз: γ ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$) та T ($\text{Mg}_3\text{Zn}_3\text{Al}$). Із сплавів МА2-1 та МА2-1пч виготовляють деталі вертольотів, оперення, люки, дверцята, сидіння, шпангоути, деталі внутрішнього набору літака, панелі. МА5 використовують для виготовлення деталей, які працюють в більш складних умовах, таких як причепи вантажних автомобілів та автобусів, деталі переносного інструменту, різних приборів та установок.

Сплави системи *Mg-Zn-Zr*, такі як MA14, MA15, MA19, MA20, характеризуються високою міцністю, що обумовлено присутністю цирконію. Цирконій сприяє очищенню металу від заліза, утворює сполуки, які осаджуються з розплаву, подрібнює зерно та стримує ріст зерен під час рекристалізації. Сплав MA19, додатково легований неодимом та кадмієм, має найвищу міцність у цій групі ($\sigma_b = 380 \dots 400$ МПа). Однак сплави цієї системи мають певні недоліки, такі як схильність до тріщин, що ускладнює деформацію при високих температурах і проблеми із зварюваністю. Зазвичай вони застосовуються для виробництва навантажених незварюваних деталей, таких як обшивка літаків, деталі вантажопідійомних машин, компоненти космічних апаратів, штамповані барабани авіаційних коліс та деталі вузлів управління.

Сплави системи *Mg-Nd* (MA11, MA12) відносяться до жаросічних і застосовуються для деталей, які нагріваються до $250 \dots 300^\circ\text{C}$. Зміцнення відбувається за рахунок стабілізації твердого розчину неодимом та уповільнення коагуляції зміцнювальної фази Mg_9Nd . Марганець і нікель додаються як легувальні елементи, збільшуючи опір повзучості та тривалу міцність. Однак введення нікелю може знизити опір корозії. Цирконій покращує технологічну пластичність і подрібнює зерно. Ці сплави можуть зміцнбватися термообробкою.

Сплави системи *Mg-Li*, такі як MA18 та MA21, широко використовуються в літако- та вертольотобудуванні. Додавання літію ($\rho = 0,53$ г/см³) дозволяє зменшити густину магнієвих сплавів, а фазовий склад включає α -твердий розчин заміщення на основі Li, з ОЦК ґраткою, та β -твердий розчин заміщення на основі Mg, з ГЦП ґраткою. Збільшення вмісту літію призводить до зниження міцності, що можна компенсувати легуванням алюмінієм, цинком, кадмієм та РЗМ для збереження певного рівня міцності. Сплави цієї системи мають високу пластичність, невелику анізотропію механічних властивостей, високу теплоємність та здатність до виготовлення зварних конструкцій.

За хімічним складом *ливарні магнієві сплави* подібні до деформівних сплавів для відповідних систем. Їх склад включає такі ж легувальні елементи, як і у деформівних сплавах. Основні легувальні елементи цих сплавів це: Al, Zn,

Mn, Ce, Zr, La, Nd, Y, Cd, In. Ливарні сплави мають переваги у порівнянні з деформівними сплавами. Це економія матеріалу, висока точність розмірів відливок та чистота поверхні, іноді без необхідності подальшої обробки різанням. Однак механічні властивості ливарних сплавів зазвичай менш високі. Деяке підвищення рівня їх властивостей можливе завдяки подрібненню зерна, і для цього застосовують різні методи, такі як перегрівання розплаву перед литтям або введення спеціальних присадок, наприклад магнезиту, хлорного заліза та цирконію.

Сплави системи *Mg-Al-Zn*. До цієї групи належать сплави МЛ4, МЛ4пч, МЛ5 (рис.1.3), МЛ5пч, МЛ5он, МЛ6. Основним легувальним елементом є алюміній. Додатково легують марганцем для підвищення корозійної стійкості. У порівнянні з алюмінієвими сплавами, ці сплави мають більший інтервал температур кристалізації, гіршу рідкотекучість, та в зливках може утворюватися значна пористість. Вони також схильні до утворення гарячих тріщин. Сплави МЛ5 та МЛ6 є найкращими для лиття відповідальних та складних деталей, таких як лиття в земляні форми або в металевий кокіль.

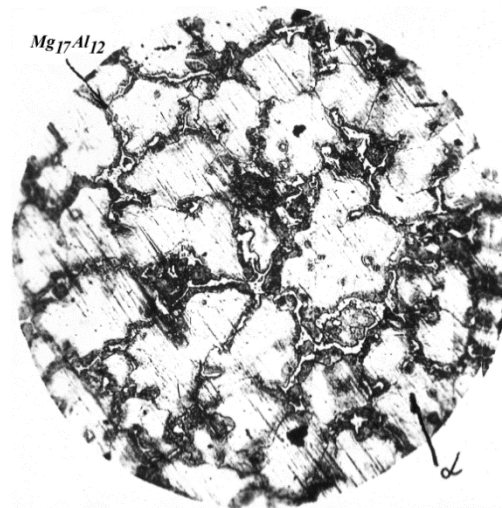


Рисунок 1.3 – Мікроструктура сплаву МЛ5 (α -твердий розчин+ β -фаза (Mn) + $Mg_{17}Al_{12}$ (литий стан)), $\times 340$

Сплави системи *Mg-Zn-Zr* (МЛ12, МЛ15, МЛ8, МЛ18). Ці сплави відрізняються більшою міцністю порівняно із сплавами першої групи, та

меншою чутливістю до товщини відливки та наявності пор. Сплав МЛ12 має високу корозійну стійкість та рідкотекучість, що робить його ефективним матеріалом для ливарних виробів. Завдяки легуванню цирконієм, сплав МЛ12 є особливо міцним. Проте, до недоліків можна віднести схильність до утворення тріщин під час кристалізації та невисоку зварюваність.

Сплави системи *Mg-P3M-Zr* (МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ19). Ці сплави мають високу жароміцність і можуть ефективно експлуатуватися при високих температурах. Основним легувальним елементом в цих сплавах є неодим у МЛ9 (рис. 1.4), МЛ10, МЛ19 та церій у МЛ11. У сплаві МЛ9 по межах зерен α -твердого розчину помітні виділення евтектики (α + $Mg_{95}Nd$). Крім того, в структурі присутні включення частинок α -Zr та $Mg_{95}Nd$, які утворюються при розпаді α -твердого розчину. Жароміцність сплавів пояснюється малою схильністю зміцнювальних фаз до коагуляції в інтервалі робочих температур. Сплави можуть зміцнюватися термічною обробкою.

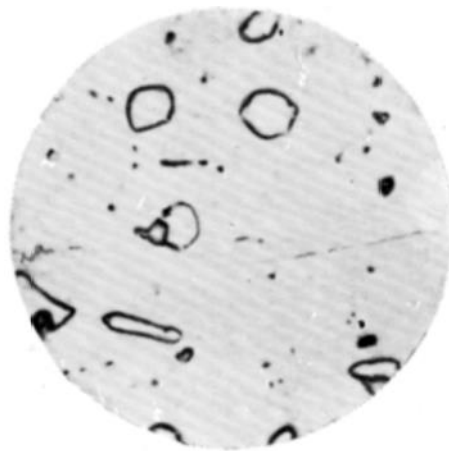


Рисунок 1.4 – Мікроструктура сплаву МЛ9 (литий стан), $\times 250$

1.3 Застосування магнієвих сплавів у медицині

Магній та магнієві сплави знаходять широке застосування в медичній галузі через їхні унікальні властивості, які дозволяють використовувати їх у різних медичних застосуваннях.

Магнієві сплави системи Mg-Zn-Zr можуть використовувати для виготовлення стентів, які використовуються в кардіології. Стенти служать як підтримка для розширення вен або артерій, а їх властивості дозволяють їм поступово розчинятися в організмі. Це уникає негативного впливу на функцію судин після видалення стенту [22-23].

Також магній, завдяки своїй легкості та оброблюваності, використовується для створення хірургічних інструментів. Це можуть бути ножі, кліпси, пінцети тощо. Легкість матеріалу полегшує роботу лікарів та зменшує втомлюваність при тривалому використанні інструментів.

Магній також використовується в лікувальних препаратах, таких як магнієві добавки або препарати для лікування дефіциту магнію в організмі. Магній є одним із основних макроелементів в організмі людини і бере участь в багатьох фізіологічних процесах. Його використання може бути корисним для підтримки здоров'я серця, нервової системи та м'язів.

Одним із напрямків використання магнієвих сплавів може бути виготовлення тимчасових кісткових пластин, призначених для фіксації кісткових переломів. Ці пластини викликають значний інтерес через їх властивість до біорозчинення.

Магнієві сплави таких систем як Mg-Zn-Ca або Mg-Al-Zn, використовуються для виготовлення медичних імплантатів. Однією з ключових переваг їх використання є те, що ці імплантати з часом абсорбуються в організмі, уникаючи потреби в подальших хірургічних втручаннях для їх видалення. Це особливо корисно для кісткових імплантатів, так як вони можуть бути опорою для зростання кістки [22-24].

У сучасній медицині широко використовують імплантати з титанових сплавів та корозійностійких сталей для остеосинтезу. Однак при інтенсивній регенерації кістки ці матеріали сповільнюють її ріст і не є ефективними [25]. Також вони можуть спричиняти розвиток запальних процесів, що призводить до подальшого розпушування кістки [26]. Для усунення цих недоліків застосовують біорозчинні матеріали [27], серед яких найбільш поширені полікислоти.

Використання полікислот дозволяє уникнути необхідності видалення імплантатів шляхом оперативного втручання.

Перспективним біорозчинним матеріалом для виготовлення імплантатів є магній. Магній є біологічно сумісним з організмом людини, оскільки він міститься в кістковій тканині та інших частинах організму. Продукти біодеградації магнію добре засвоюються [28]. Цей елемент сприяє зрощенню фрагментів кістки та швидкому відновленню в місці перелому. Однак чистий металевий магній не має достатнього рівня механічних властивостей та біорозчинності для використання його при виготовленні імплантатів для остеосинтезу. Використання сплавів на основі магнію, що мають покращені механічні властивості, є можливим шляхом вирішення цієї проблеми [29]. Дослідження зосереджені на поліпшенні фізико-механічних та спеціальних властивостей магнієвих сплавів шляхом модифікації їх складу та розроблення нових [29]. Важливу роль у формуванні структури і властивостей магнієвих сплавів відіграє їх хімічний склад [30, 31]. Однак наразі не встановлено взаємозв'язку між морфологією та топологією структурних компонентів при модифікації магнієвих сплавів та їх механічними властивостями [32].

Первинна стадія затвердіння розплаву, пов'язана з виникненням зародків кристалізації, є основною у формуванні структури і властивостей сплаву. Тому процес утворення твердого металу з розплаву визначається елементами-модифікаторами, здатними утворювати додаткові центри кристалізації. Під час виплавки різних сплавів як модифікатори широко застосовують елементи, здатні вступати в металургійні реакції з хімічними компонентами сплаву й утворювати тугоплавкі суспензії. Такі модифікатори утворюють у розплаві високодисперсну систему, що призводить до значного збільшення центрів кристалізації, змінює морфологію і топологію структурних складових сплаву в твердому стані і сприяє підвищенню його механічних властивостей. При цьому, при виборі елементів-модифікаторів необхідно враховувати низку експлуатаційних вимог, що обумовлюють особливості застосування кінцевих виробів.

Так, однією з основних вимог до модифікаторів для магнієвих сплавів медичного призначення є їхня нетоксичність. Срібло і золото, що здавна застосовуються людством у побуті та медицині, можуть бути перспективним модифікатором магнієвих сплавів, що застосовуються для виготовлення імплантатів [33, 34]. Ці елементи утворюють з магнієм тверді розчини з обмеженою розчинністю і здатні до інтерметалідного зміцнення. Інтерметалідні фази, що утворюються з магнієм, можуть виділятися в початковий період кристалізації сплаву і бути додатковими центрами кристалізації, подрібнюючи зерно і позитивно впливаючи на його властивості [35].

Тому дослідження впливу Au та Ag на структуроутворення та механічні властивості магнієвих сплавів, які застосовують для виготовлення імплантатів під час остеосинтезу представляє практичний інтерес.

1.4 Застосування срібла та золота у медицині

1.4.1 Властивості срібла та його застосування у медицині

Використання срібла в медицині ґрунтується, передусім, на його дезинфікуючих властивостях. Проте сполуки срібла стали популярними в медичних застосуваннях ще до визнання його антисептичних властивостей. Один з перших застосованих продуктів був нітрат срібла, який використовувався для лікування ран і інфекцій. У період Першої світової війни сполуки срібла стали ключовим засобом лікування та профілактики інфекцій у воєнних ранених, діючи до винаходу антибіотиків [36, 37].

У першому десятиріччі XX століття срібна фольга отримала широке застосування в медичній практиці, особливо при лікуванні опіків, ран, включаючи ті, де застосовувалася шкіра з пересадженням. Срібна фольга виявилася ефективною у зменшенні болю, володіючи антибактеріальними властивостями та сприяючи росту грануляційної тканини.

Чисте металічне срібло є інертним і не взаємодіє з тканинами або мікроорганізмами до іонізації [18]. Для виявлення антибактеріальних властивостей срібло повинно бути іонізовано, причому його іон є біоактивною формою. Таким чином, ефективність срібловмісного матеріалу визначається кількістю іонів срібла, які можуть розчинятися, а не загальним вмістом срібла в матеріалі.

Іон срібла є хімічно активним і легко зв'язується з негативно зарядженими білками, РНК, ДНК, іонами хлору і т.д. Ця властивість лежить в основі антибактеріального механізму. Зазвичай важко доставити іони срібла до поверхні рани через їхнє зв'язування з білками [22, 37, 38].

Хоча антимікробні властивості срібла очевидні, використання його в сублетальних концентраціях може призвести до розвитку бактеріальної стійкості, аналогічно до деяких антибіотиків. Незважаючи на антимікробний ефект, срібло і його сполуки можуть бути токсичними для організму, і їхнє неконтрольоване використання великими дозами може призвести до токсичних реакцій. На сьогоднішній день в медицині триває пошук оптимальних методів застосування срібла, зокрема використання срібних наночастинок з використанням нанотехнологій.

При розгляді подвійної діаграми взаємодії Ag - Mg (рис. 1.5) видно взаємну розчинність компонентів один в одному з утворенням твердих розчинів. Причому твердий розчин на основі срібла має максимальну розчинність 29,2% Mg, а максимальна розчинність срібла в магнії всього 3,83%Ag. Діаграма характеризується утворенням хімічних сполук конгруентного β' (AgMg) та інконгруентного γ (AgMg₃) плавлення. В межах області твердого розчину (Ag) має місце впорядкування фази α' (Ag₃Mg).

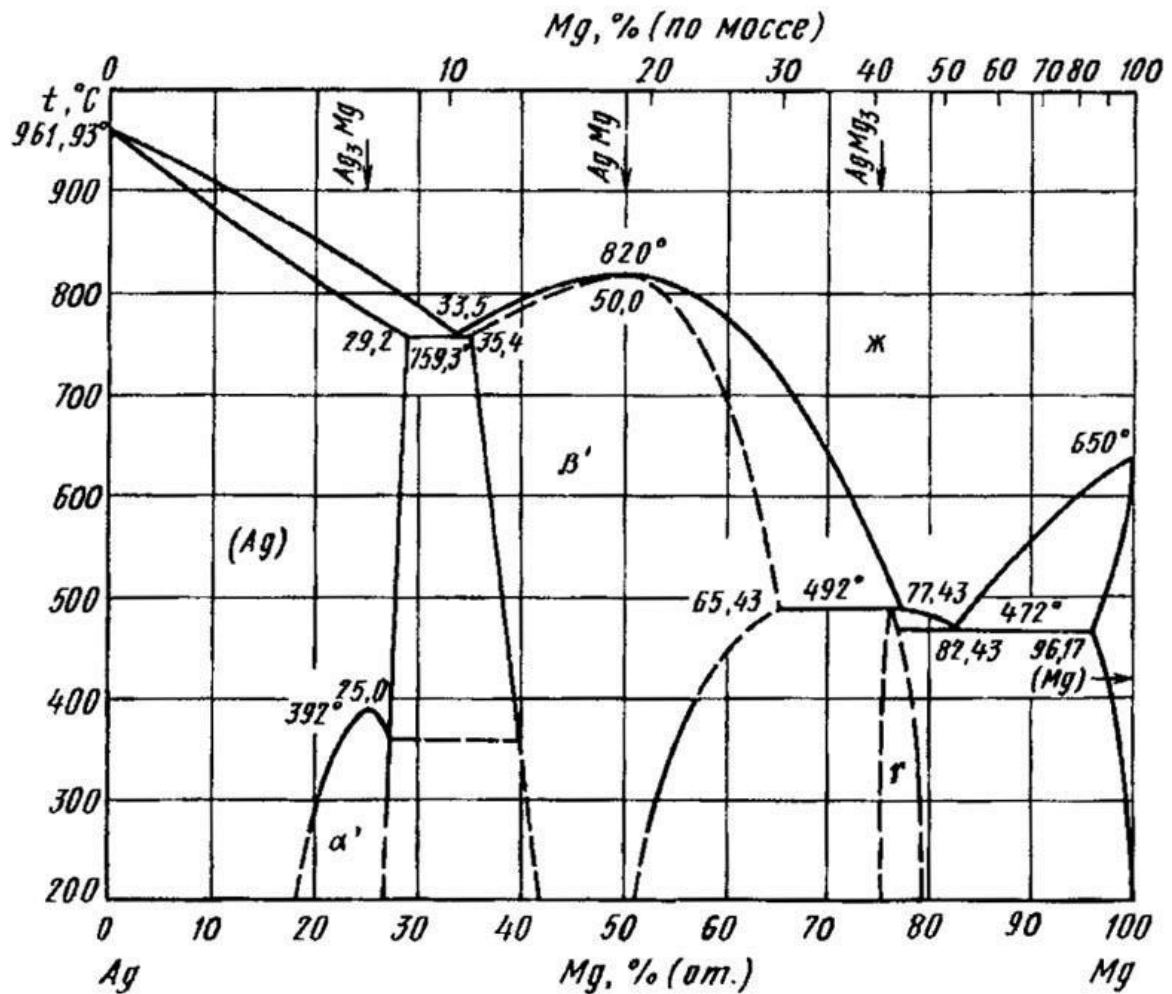


Рисунок 1.5 – Діаграма стану Ag – Mg [39]

Фаза α' (Ag₃Mg) це впорядкований твердий розчин с ГЦК ґраткою. Характер впорядкування близький до Ag₃Cu, але спостерігається також і невелика тетрагональність. При зміні вмісту магнію в межах 20,0 – 28,5 % (ат.) середній розмір ґратки фази α' змінюється на 0,0010 нм в діапазоні 0,4104 – 0,4114 нм [19].

1.4.2 Властивості золота та його застосування у медицині

Протягом останнього десятиліття в медицині відзначається збільшення активності у використанні золота, особливо через стрімкий розвиток

нанотехнологій, зокрема у сфері наномедицини. Нанотехнології є науковим напрямом, що вивчає отримання, обробку та використання матеріалів у діапазоні розмірів від 1 до 100 нм. За визначенням Національного інституту здоров'я США, використання нанотехнологій у діагностиці, моніторингу та лікуванні відоме як наномедицина. Останні роки характеризуються активним вивченням різних матеріалів у формі наночастинок [19].

Наночастки золота виявляють застосування в доставці ДНК або РНК. Генна терапія представляє собою перспективний метод лікування спадкових та набутих захворювань. Використання вірусів є одним із ефективних способів генної терапії, але вони можуть викликати цитотоксичність та імунну відповідь. Синтетичні системи доставки ДНК, хоч і подолали ці обмеження, мають меншу ефективність. Наночастки золота виходять на передовий план у доставці генів, існуючи в комплексі з катіоактивними групами четвертинного амонію. Вони співвзаємодіють з плазмідною ДНК електростатично, захищаючи її від ферментів та вивільняючи при взаємодії з глутатіоном. Механізм взаємодії полягає в усуненні чи зменшенні заряду наночастинок золота під дією аніонного глутатіону, що призводить до звільнення зв'язаної з ними ДНК [40, 41].

Наночастки золота, покриті специфічними антитілами, є перспективним засобом для визначення антигенів на поверхні клітин. Вони використовуються в іммунозолотих мітках, де наночастинок золота маркуються антитілами. Під час електронної мікроскопії іммунозолоті мітки представлені як високощільні круглі плями на місцях локалізації антигену, що полегшує візуалізацію [41, 42].

Наночастки золота виявляються ефективними детекторами токсинів, бактерій і вірусів. Методи, що базуються на наночастинках золота, пов'язаних із специфічними молекулами-мішенями, є простішими та дешевшими, маючи високу точність в порівнянні з традиційними методами визначення інфекційних агентів. Вони можуть забезпечити швидкий результат, порівняно з традиційними методами, які вимагають значного часу (24 години або більше).

Також, наночастки золота використовуються разом із опроміненням для покращення фототермальної терапії у лікуванні пухлин, яка може бути

ефективною альтернативою іншим методам, зменшуючи інвазивність та підвищуючи точність лікування [40].

Діаграма взаємодії магнію з золотом (рис. 1.6) характеризується утворенням на основі золота твердого розчину заміщення магнію в ґратці золота, максимальна розчинність магнію в якому становить 24%Mg.

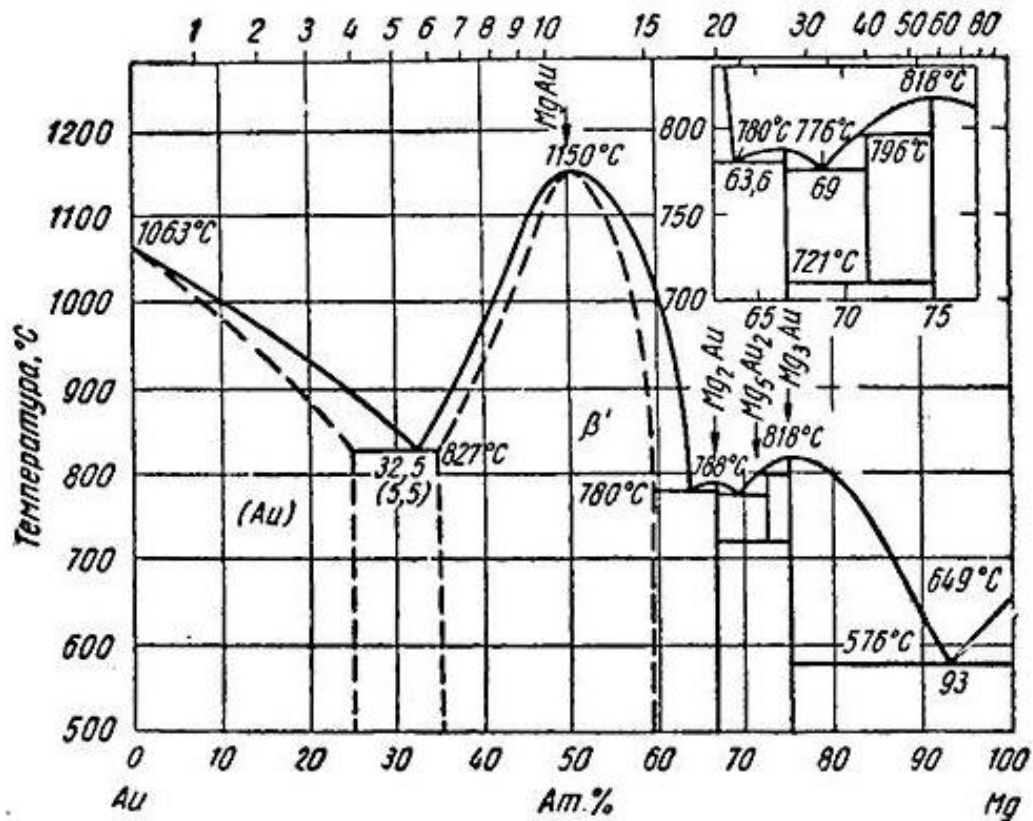


Рисунок 1.6 – Діаграма стану Au-Mg [39]

В багатих магнієм сплавах існує чотири хімічні сполуки, три з яких (AuMg, AuMg₂, AuMg₃) конгруентного плавлення, а одна (Au₂Mg₅) утворюється за перетектичною реакцією та зазнає евтектоїдного перетворення. На основі сполуки AuMg існує широка область гомогенності, що позначена β. Максимальна розчинність золота в магнії складає приблизно 0,1 % (ат.).

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Магнієвий сплав виплавляли в тигельній індукційній печі ПІМ-500 номінальною місткістю 0,5 т, потужністю 140 кВт і продуктивністю 230 кг/год, а також у газовій роздавальній печі номінальною місткістю 150 кг. У тигельну піч ПІМ-500 завантажували попередньо нагріті шихтові матеріали і після розплавлення переливали у виїмні тиглі за 650...730 °С. Виїмні тиглі встановлювали в роздавальні печі, в яких доводили сплав за хімічним складом і рафінували флюсом (38...46% MgCl_2 , 32...40% KCl , 5...8% BaCl_2 , 3...5% CaF_2) за температури 740...760 °С. Після цього в розплав вводили зростаючі присадки Ag і Au (0; 0,05; 0,1; 0,2 % - за розрахунком), підігрівали, витримували розплав і за температури 730 °С заливали литі зразки та заготовки для механічних випробувань і металографічного контролю.

Термічну обробку литих заготовок проводили в термічній шахтній печі типу Белвью, потужністю 112 кВт і продуктивністю 95 кг/год, а також термічній печі типу ПАП-4М, продуктивністю 50 кг/год. Дослідження металу проводили після термічної обробки за режимом: нагрівання до 540 ± 5 °С, витримка 15 год, охолодження на повітрі та старіння за 200 ± 5 °С, витримка 8 год, охолодження на повітрі.

Якість литих зразків і заготовок із магнієвих сплавів визначали рентгенівським методом контролю. Макро- і мікроструктуру досліджуваних сплавів вивчали методами світлової мікроскопії (Neophot 32, OLYMPUS IX 70). Шліфи для аналізу мікроструктури вивчали після термічної обробки, реактив для травлення складався з 1% азотної кислоти, 20% оцтової кислоти, 19% дистильованої води, 60% етиленгліколю. Мікротвердість структурних складових сплавів вивчали мікротвердоміром фірми Buehler і LM-700AT при навантаженні 0,1 Н.

Фрактографічний аналіз зламів зразків проводили на електронному скануючому мікроскопі JSM-6360LA. Фазовий аналіз структурних складових магнієвих сплавів вивчали на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі з

енергодисперсійною приставкою РЕММА 202М і РЕМ 16І. У кожному аналізованому мікрооб'ємі записували енергодисперсійні спектри і визначали інтенсивність аналітичних ліній хімічних елементів, присутніх у спектрі.

Механічні властивості зразків із магнієвих сплавів визначали на розривній машині INSTRUN 2801. Границю міцності (σ_b) і відносне видовження (δ) визначали як на стандартних зразках із магнієвих сплавів, так і на зразках після їхньої витримки у штучному заміннику крові (венофундині) впродовж 1, 2, 3 місяців при температурі $(36 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$, стабільність якої забезпечували за допомогою ультратермостата УТ-15. Зразки перед зануренням у венофундин знежирювали етиловим спиртом. Через задану кількість часу зразки витягували з розчину, з їхньої поверхні видаляли продукти корозії хромовим ангідридом, у якому зразки витримували за температури $18-25 ^\circ\text{C}$ протягом 3 хв. Після видалення продуктів корозії промивали зразки в проточній і дистильованій воді, висушували і проводили механічні випробування.

3. ВПЛИВ БЛАГОРОДНИХ МЕТАЛІВ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА БІРОЗЧИННІСТЬ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ

На першому етапі затвердіння розплаву, пов'язаному з формуванням зародків кристалізації, визначається структура та властивості сплаву. Таким чином, процес переходу з рідкого металу в твердий визначається елементами-модифікаторами, які здатні створювати додаткові центри кристалізації. При плавленні різноманітних сплавів застосовують елементи-модифікатори, які взаємодіють у металургійних реакціях, що призводить до збільшення центрів кристалізації, змінюють морфологію та топологію структурних компонентів сплаву в твердому стані і сприяють підвищенню його механічних властивостей. Вибір елементів-модифікаторів повинен враховувати експлуатаційні вимоги, що впливають з особливостей використання кінцевих виробів.

Для магнієвих сплавів медичного призначення однією з ключових вимог до модифікаторів є відсутність у них токсичності. Срібло і золото, вже здавна використовувані в побуті та медицині, можуть виступати перспективними модифікаторами для магнієвих сплавів, які використовуються для виготовлення імплантатів. Ці елементи утворюють з магнієм тверді розчини з обмеженою розчинністю та забезпечують інтерметалідне зміцнення. Фази, що утворюються під час кристалізації, можуть виступати додатковими центрами кристалізації, покращуючи властивості сплаву.

Таким чином, вивчення впливу золота і срібла на структуроутворення та механічні характеристики магнієвих сплавів, призначених для виробництва медичних імплантатів при остеосинтезі, є практично важливим.

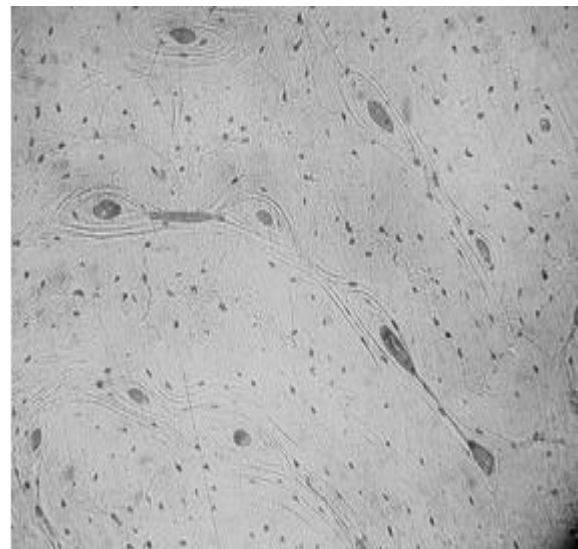
Досліджували роздільний і спільний вплив срібла і золота в кількості 0,05...0,2 % кожного на морфологію і топологію інтерметалідної фази, що утворюється, їх вплив на механічні властивості сплаву системи Mg-Nd-Zr, як найбільш широко представленого в біологічних і медичних дослідженнях.

3.1 Порівняльний аналіз властивостей кісткової тканини та магнієвого сплаву

Встановлено, що рівень механічних властивостей матеріалу імплантатів повинен бути максимально близьким до властивостей кісткової тканини і зберігатись до повної консолідації перелому (до 3 місяців). Аналіз даних щодо механічних властивостей кісткової тканини людини показав, що існує велика кількість факторів, які можуть впливати на них, внаслідок чого властивості значення властивостей можуть варіюватися у широких межах. Для визначення структури та рівня властивостей кісткової тканини проводили металографічні та механічні випробування на стандартних зразках, виготовлених з кісткового матеріалу. Результати металографічних досліджень показали, що поверхня зламу кісткових зразків мала дрібнобугристу текстуру, і спостерігалася наявність "ямкових" виривів. Характер зламу крихкий. Мікроструктура зразків складається з остеонів, що уявляють кровоносні судини та нервові волокна, оточені концентричними кільцями (ламелями), та дрібних остеоцитів (рис. 3.1).



а



б

Рисунок 3.1 – Макро- (а, $\times 5$) та мікроструктура (б, $\times 100$) зразків з кісткової тканини після механічних випробувань

Результати механічних випробувань кісткової тканини показали, що орієнтовний рівень її фізико-механічних властивостей складає: $\sigma_B \sim 150$ МПа, $\delta \sim 3,1$ %, $E \sim 20$ ГПа. При цьому, матеріалом з найбільш близькими механічними властивостями до кісткової тканини є сплави на основі магнію (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Властивості магнієвих сплавів, що використовуються для виготовлення імплантатів та кісткової тканини

Матеріал	Границя міцності σ_B , МПа	Відносне видовження δ , %	Модуль Юнга E , ГПа
Сплави на основі магнію	200 – 280	2 – 7	44 - 45
Кісткова тканина	до 150	до 3,1	до 20

Досліджено сплав системи Mg-Zr-Nd, який не містить токсичних легувальних елементів і може бути перспективними для виготовлення імплантатів. Основним недоліком цього сплаву є зниження механічних властивостей під впливом біокорозії. Дослідження механічних властивостей дослідних зразків після витримки в штучних заміниках крові, показала, що на 3-й місяць витримки (середній час консолідації перелому) зразки втрачали значну частину своєї міцності та пластичності (табл. 3.2) і не відповідали рівню властивостей кісткової тканини.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сплаву на основі магнію після витримки в штучних заміниках крові

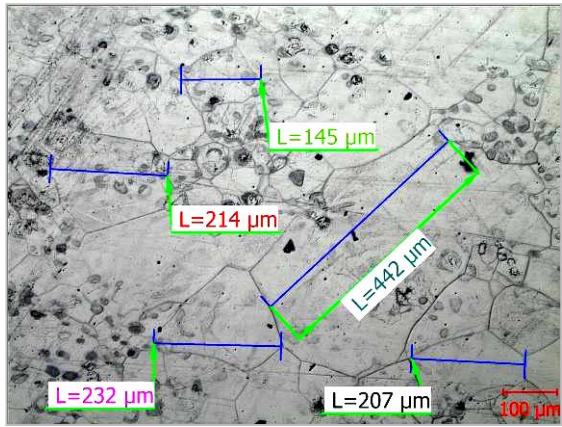
Середовище	Початковий		1 місяць		2 місяці		3 місяці	
	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %
Гелофузин	233,2	3,3	179	2,5	142	1,8	113	1,1
Венофундин	234,1	3,4	163	2,3	136	1,6	98	0,8
Фізрозчин	233,5	3,3	186	2,7	151	2,1	122	0,9

Для підвищення механічних властивостей магнієвого сплаву, що досліджується, вивчено вплив Au і Ag, на морфологію і топологію інтерметалідної фази, яка утворюється, і їх взаємозв'язок з властивостями металу-основи.

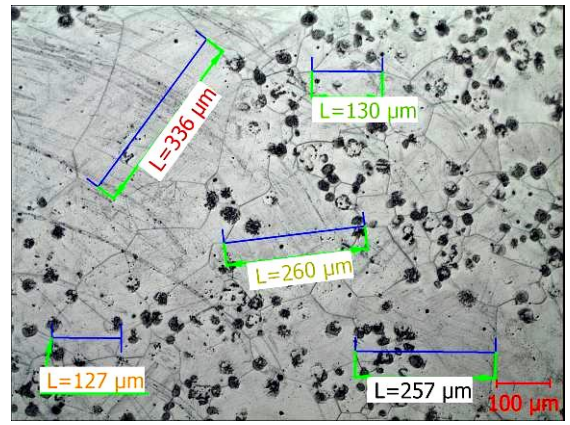
3.2 Характеристика структурних складових досліджуваного сплаву на основі магнію

Макрофрактографічне дослідження зламів литих зразків вихідного сплаву системи Mg-Zr-Nd без модифікування показало наявність у структурі крупнокристалічної будови. Окреме введення зростаючих присадок срібла і золота в досліджуваний сплав подрібнювало литу структуру металу. При цьому, їх спільний вплив посилював ефект подрібнення і характер зламу ставав матовим дрібнокристалічним. Якісний аналіз макроструктури зразків зі сплаву NZ30K з 0,05 % Au і Ag показав зменшення відстані між осями дендритів 2го порядку з 24 до 20...19 мкм. Зі збільшенням вмісту досліджуваних елементів ця величина зменшилася до 18...16 мкм, а комплексне модифікування сріблом і золотом у кількості 0,1 % кожного максимально зменшувало її до 15 мкм.

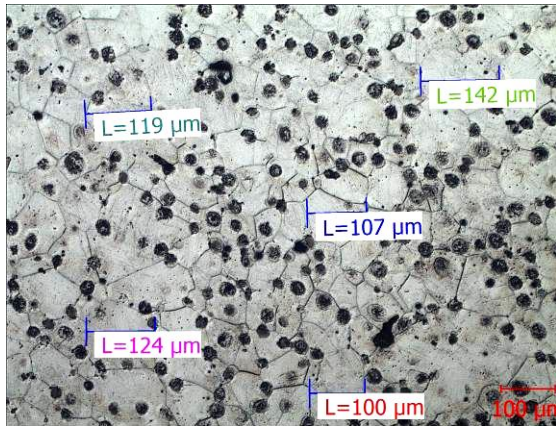
Мікроструктура досліджуваного сплаву без модифікування уявляла δ -твердий розчин, евтектоїд $\delta+\gamma$ у вигляді сферичних утворень та окремих інтерметалідів γ -фази. Введення в сплав срібла та золота подрібнювало його мікрокристаліт. При цьому введення присадок срібла сприяло сильнішому подрібненню зерна, ніж золота. Спільне модифікування сплаву (Ag+Au) позитивно впливало на утворенню дрібнішого зерна (рис. 3.2).



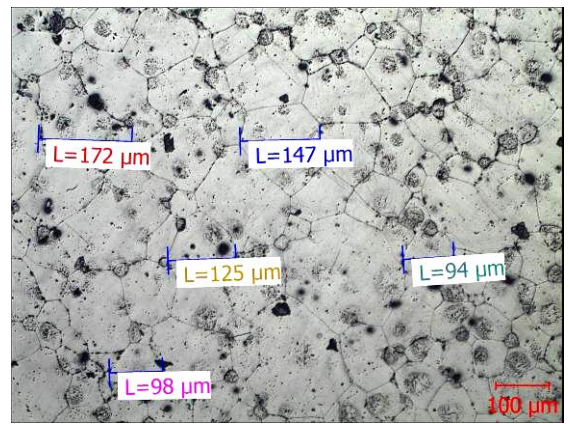
а



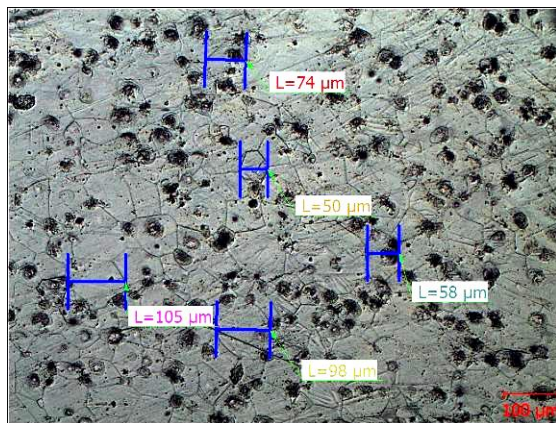
б



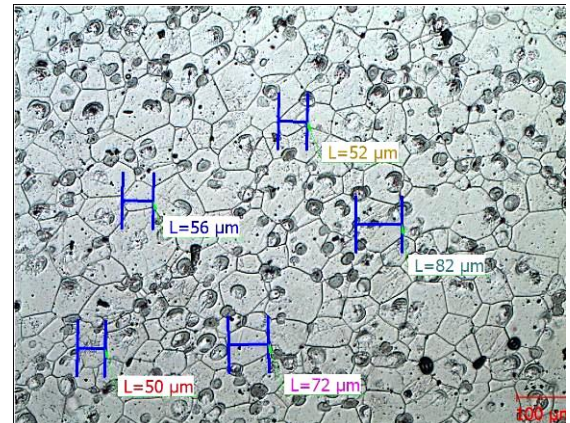
в



г



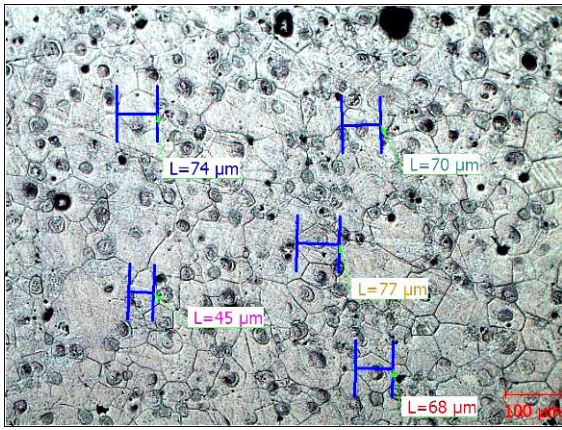
д



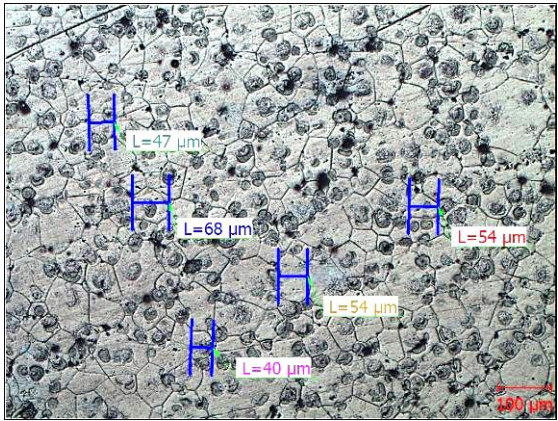
е

а-вихідний; б-0,05% Au; в-0,1% Au; г-0,2% Au; д-0,05% Ag; е-0,1% Ag; ж-0,2% Ag; з-(0,1% Ag + 0,1% Au).

Рисунок 3.2 – Мікроструктура магнієвого сплаву з різним вмістом модифікаторів



Ж



З

Рисунок 3.2, аркуш 2

Зростаючі присадки Au та Ag зменшували розмір мікрозерен та відстань між осями другого порядку (табл. 3.3). Термічна обробка сприяла підвищенню однорідності структури та збільшенню мікротвердості матриці. Зі збільшенням кількості срібла та золота в металі, мікротвердість матриці підвищувалася. При цьому, мікротвердість евтектики була в ~ 1,5 рази вище за значення твердості δ-твердого розчину.

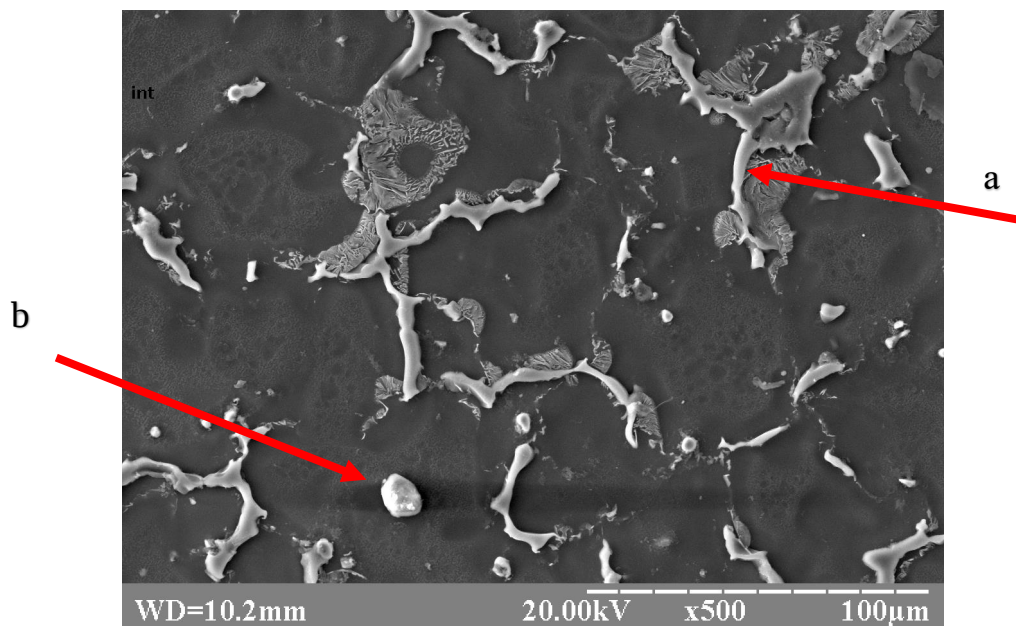
Таблиця 3.3 – Середні розміри структурних складових та мікротвердість структури магнієвого сплаву з Ag та Au

Вміст модифікатора, мас. % (розр.)	Величина мікрозерна, мкм	Відстань між вісями дендритів 2 ^{го} порядку, мкм	Мікротвердість матриці HV, МПа	
			до термічної обробки	після термічної обробки
--	250	24	1113,8	1228,2
0,05 % Au	177	20	1125,5	1234,5
0,10 % Au	120	19	1136,2	1268,4
0,20 % Au	113	18	1141,4	1285,9
0,05 % Ag	100	19	1145,8	1241,8

Кінець таблиці 3.3

0,10 % Ag	62	18	1137,9	1262,2
0,2 % Ag	60	16	1155,7	1273,3
0,10 % Au + 0,10 % Ag	44	15	1232,6	1294,7

Проведений металографічний аналіз показав наявність в структурі сплаву як пластинчастих, так і сферичних інтерметалідних фаз складного складу (рис. 3.3). Кількісний металографічний аналіз показав, що підвищення вмісту досліджуваних легувальних елементів в сплаві збільшувало об'ємний відсоток інтерметалідної фази (рис. 3.4).



а – пластинчасті , b – сферичні частинки інтерметалідних фаз

Рисунок 3.3 – Топологія інтерметалідів дослідного сплаву

Встановлено, що зі збільшенням об'ємного відсотку інтерметалідів відбувається помітне подрібнення зерна. Це свідчить про те, що при підвищенні об'ємного відсотку інтерметалідів в 2 рази, середній діаметр мікрозерна сплаву зменшується майже в 4 рази (рис. 3.5).

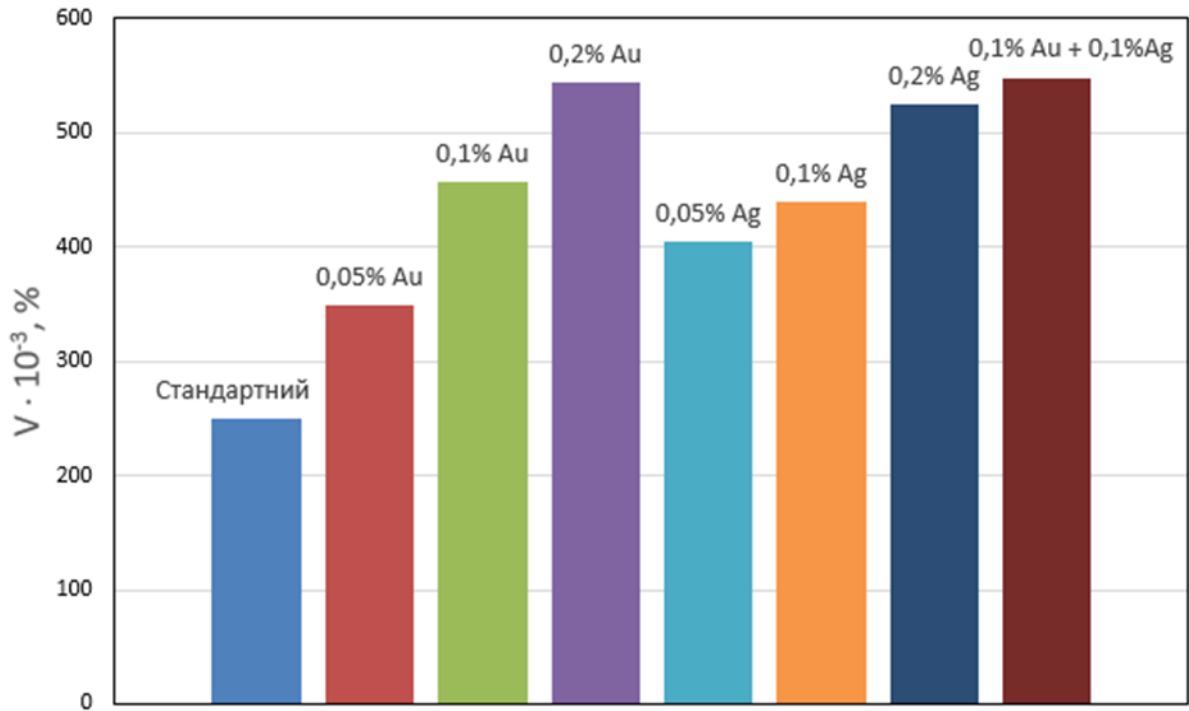


Рисунок 3.4 – Вплив вмісту Ag і Au на об’ємний відсоток (V) інтерметалідів у магнієвому сплаві.

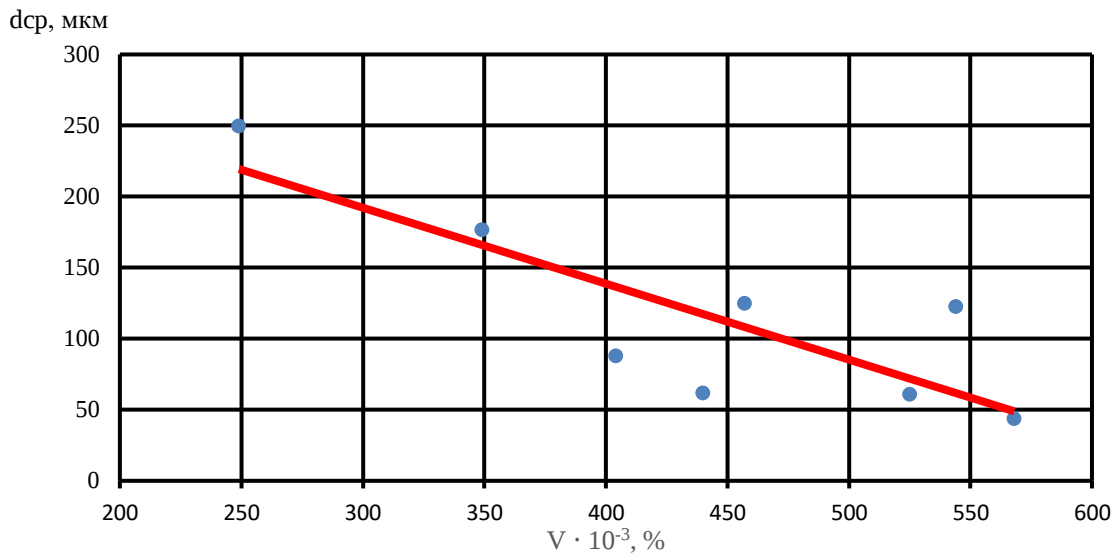


Рисунок 3.5 – Вплив об’ємного відсотка інтерметалідів (V) на розмір мікрозерна (d_{cp}) в дослідному сплаві

Встановлено лінійну залежність (1) впливу об’ємного відсотка інтерметалідів при підвищенні вмісту Au і Ag в магнієвому сплаві на розмір мікрозерна:

$$d_{cp} = y = 352,47 - 0,5344V, \quad r = - 0,83, \quad (1)$$

де d_{cp} – середній діаметр мікрозерна, мкм;

V – об’ємний відсоток інтерметалідів у сплаві, %.

3.3 Числовий металографічний аналіз

Числовий металографічний аналіз вивчених сплавів демонструє присутність у структурі металу пластинчастих і сферичних інтерметалідних фаз різного розміру. Пластинчасті інтерметаліди головним чином розташовуються на межах зерен, тоді як сферичні інтерметаліди знаходяться в центрі зерна. Сферичні інтерметаліди можуть бути додатковими центрами кристалізації, сприяючи подрібненню зерен і структурних компонентів сплаву. Кількісний металографічний аналіз показує, що зі зростанням вмісту легувальних елементів у сплаві збільшується об’ємна частка інтерметалідної фази (табл. 3.4). При вмісті легувальних елементів – модифікаторів у сплаві на рівні 0,05–0,1% об’ємний відсоток сферичних інтерметалідів зростає більш експресивно в порівнянні з пластинчастими. Подальше збільшення вмісту модифікаторів (до 0,2%) призводило до невеликого зростання об’ємного відсотка сферичних включень всередині зерна та інтенсивного збільшення кількості пластинчастих інтерметалідів. Аналіз розподілу інтерметалідів за розмірними групами вказує, що в початковому сплаві переважають пластинчасті інтерметаліди, більшість з яких мають розміри від 4 до 15 мкм. Сферичні інтерметаліди переважно представлені розмірною групою від 2,0 до 7,9 мкм. Елементи сплаву, які були досліджені, сприяють подрібненню інтерметалідної фази. Підвищення вмісту Au та Ag призводить до збільшення об’ємного відсотка інтерметалідів з розмірами менше 2 мкм і зменшення для великих інтерметалідів ($> 11,6$ мкм).

Таблиця 3.4 – Об'ємний відсоток інтерметалідів (V) та його розподіл за розмірними групами у сплаві системи Mg-Nd-Zr с Au и Ag

Мо- дифі- катор	Вміст %	Розподіл інтерметалідів ($V \cdot 10^3$, %) за розмірними групами, мкм						
		< 2	2...3,9	4...7,9	8...11,5	11,6...15	15,1...19	Всього
стандартний		7/0	19/53	37/29	31/11	31/12	19/0	144/105
Au	0,05	40/1	82/75	21/43	11/25	31/0	19/1	204/145
	0,1	65/2	91/155	43/43	11/19	19/1	7/1	236/221
	0,2	76/79	160/129	42/25	6/7	18/1	0/1	302/242
Ag	0,05	47/1	48/110	31/43	25/37	35/7	19/1	205/199
	0,1	91/19	29/116	47/44	19/32	19/7	16/1	221/219
	0,2	147/62	25/116	73/34	19/26	11/7	5/0	280/245
0,1% Au + 0,1%Ag		143/112	111/119	69/71	9/14	0/0	0/0	232/316
Примітка: у чисельнику – об'ємний відсоток пластинчастих інтерметалідів, у знаменнику – сферичних.								

МРСА інтерметалідних фаз у досліджуваному сплаві з Ag і Au показало наявність цих елементів у своєму складі, при цьому інтерметаліди мали складний склад (рис. 3.6 – 3.8).

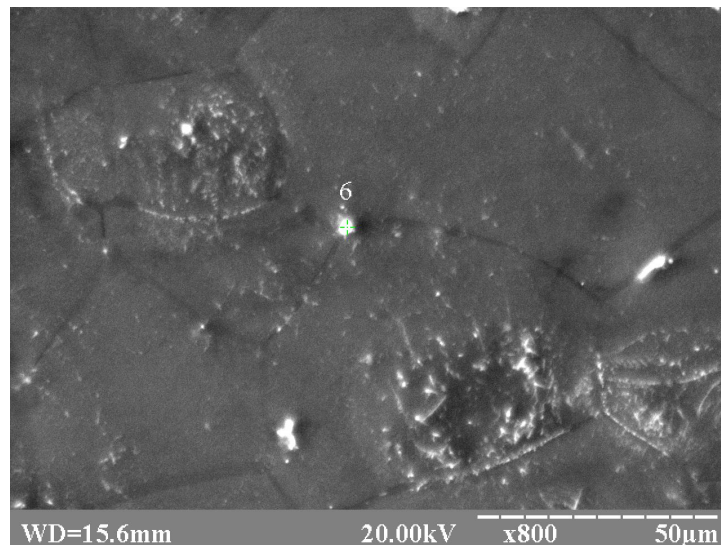
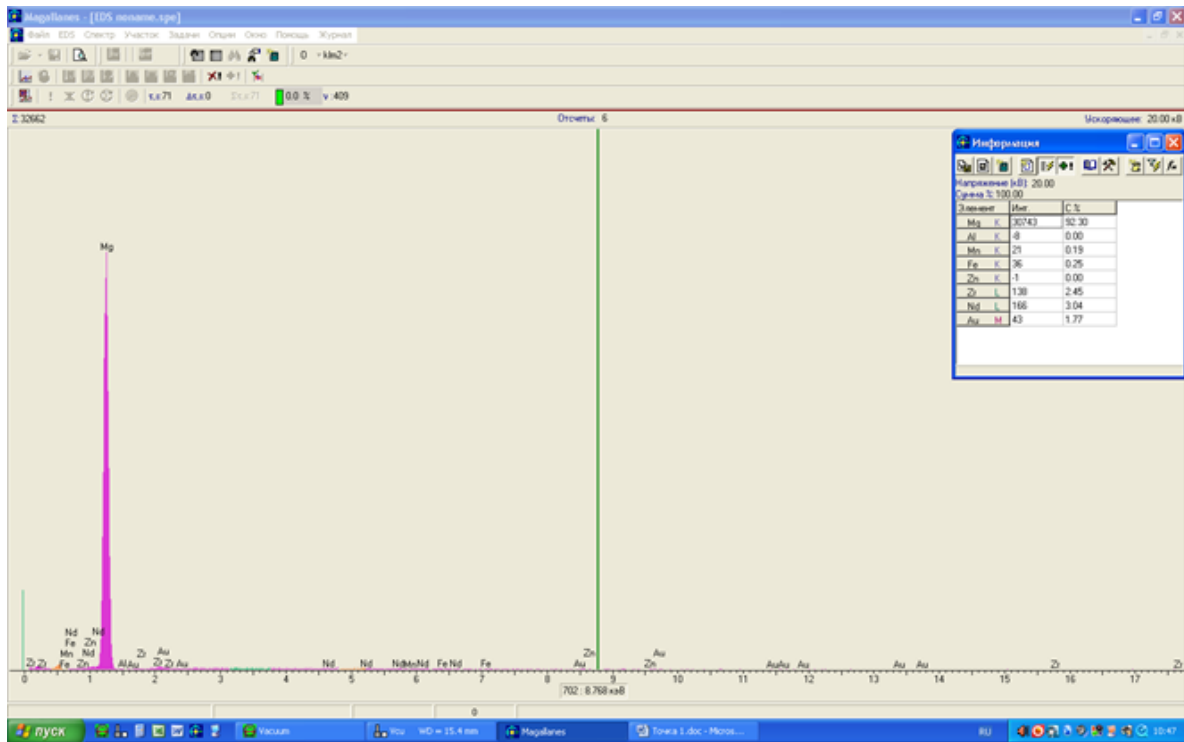


Рисунок 3.6 – Місце аналізу МРСА інтерметалідної фази в магнієвому сплаві, модифікованого 0,1% Au:



а

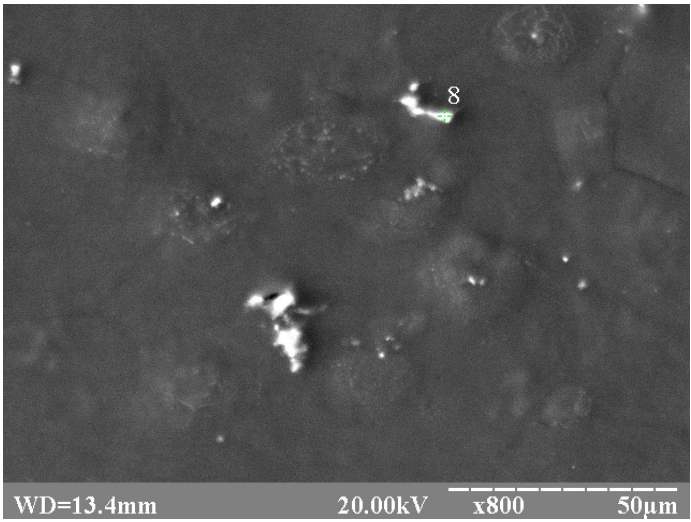
Ділянка	Au	Nd	Zr	Fe	Mn	Mg	Сума
6	1,77	3,04	2,45	0,25	0,19	92,30	100

б

а – спектрограми аналізованих місць; б - хімічний склад ділянки (мас.%)

Рисунок 3.7 – Результати МРСА інтерметалідної фази в магнієвому сплаві, модифікованого 0,1% Au

Зі збільшенням об'ємного відсотка інтерметалідів було зафіксовано підвищення міцності сплаву (рис. 3.9). Інтерметаліди, які розташовувалися як у центрі зерна, так і на його межах, сприяли зміцненню сплаву. Пластичність сплаву, у залежності від кількості інтерметалідів, демонструвала нелінійну динаміку, досягаючи максимальних значень при вмісті благородних металів на рівні 0,05–0,1% через подрібнення зерна та збільшення кількості сферичних інтерметалідів менших розмірних груп.



а



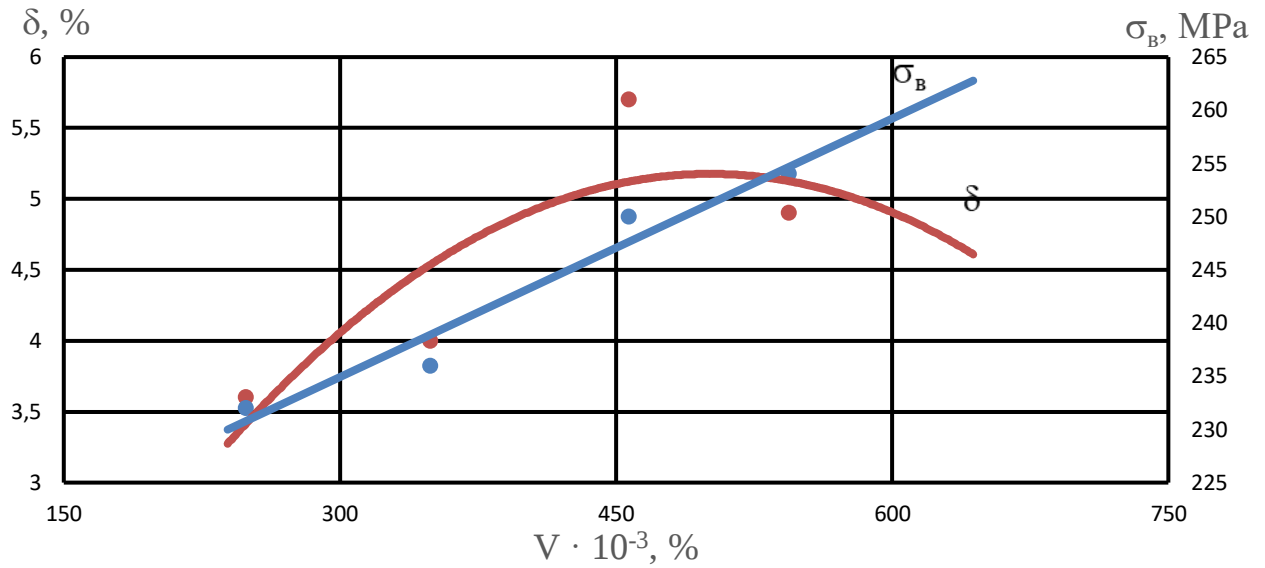
б

Ділянка	Ag	Nd	Zr	Fe	Mn	Mg	Сума
6	1,55	2,76	0,69	0,09	0,49	94,42	100

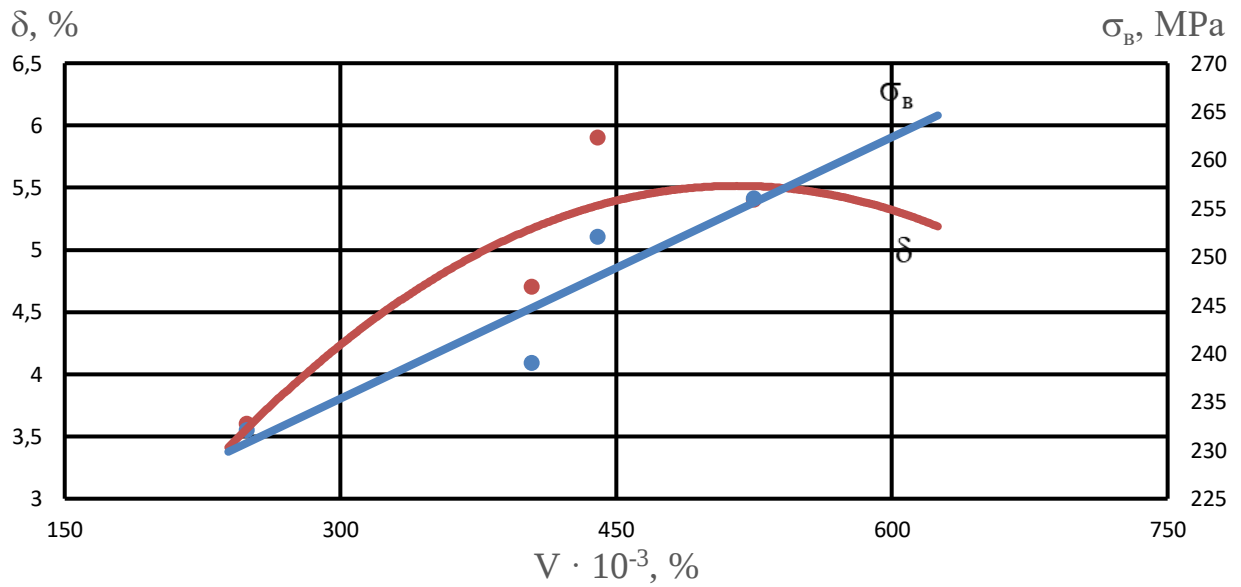
в

а - місце аналізу; б – спектрограми аналізованих місць; в - хімічний склад ділянки (мас.%)

Рисунок 3.8 – Результати МРСА інтерметалідної фази в магнієвому сплаві, модифікованого 0,1% Ag



a



b

a – Ag; b – Au

Рисунок 3.9 - Вплив об'ємного відсотка інтерметалідів (V) на властивості легованого магнієвого сплаву

Крім того найвищий рівень механічних властивостей було отримано при комбінованому модифікуванні (0,1 % Au + 0,1 % Ag), а саме при такому варіанті міцність досягала $\sigma_B = 262 \text{ МПа}$ та пластичність – $\delta = 6,2\%$.

3.4 Механічні властивості після біокорозії

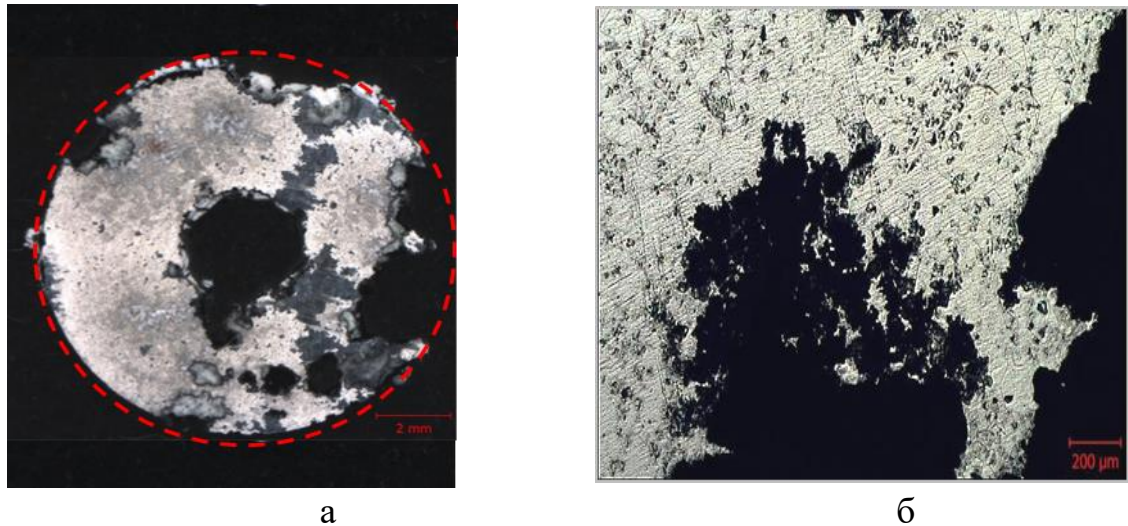
Додаткове дослідження включало в себе вивчення біокорозії зразків, яке проводилося шляхом їх занурення в гелофузин на періоди тривалістю 1, 2 і 3 місяці з наступним тестуванням уражених корозією зразків на міцність та визначення границі їх міцності. Візуальний огляд таких зразків виявив наявність численних областей корозійного впливу у формі кратерів із нальотом білого кольору, що лущиться, та продуктів біодеградації (рис. 3.10).



а – 1; б – 2; в – 3 місяці

Рисунок 3.10 – Вид зразків для механічних випробувань після витримки у гелофузині

Під час аналізу металографічних шліфів, що були виготовлені в поперечному перерізі головок розривних зразків, виявлено, що глибина лунок внаслідок корозійного ураження після тримісячної витримки в гелофузині була приблизно однакова для всіх варіантів сплаву і складала приблизно $\sim 2,0$ мм (рис. 3.11, а). При цьому, корозійне пошкодження поширювалося по тілу зерен - твердого розчину і зміцнювальним фазам (рис. 3.11, б).



а – макроструктура, б – мікроструктура

Рисунок 3.11 – Структура зразків із магнієвого сплаву з 0,1% Ag + 0,1% Au після 3 місяців витримки в гелофузині (пунктиром показані границі зразка до випробувань на біокорозію)

Результати механічних випробувань досліджуваних зразків після біодеградації показали втрату міцності сплаву при всіх варіантах модифікування. При цьому, найменший рівень міцності при біокорозії спостерігався в магнієвому сплаві без модифікування. Срібло та золото сприяли підвищенню границі міцності магнієвого сплаву. При цьому найбільш високі показники після 3 місяців витримки в гелофузині мали зразки з комплексним модифікуванням Au і Ag (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Механічні властивості магнієвого сплаву з Ag та Au після різної витримки в розчині гелофузину

Вміст модифікатора, мас. % (розр.)	Границя міцності (σ_b) за різної тривалості витримки в гелофузині, МПа		
	1 місяць	2 місяці	3 місяці
--	232	170	150
0,05 % Au	236	200	190

Кінець таблиці 3.5

0,10 % Au	250	205	200
0,20 % Au	254	195	185
0,05 % Ag	239	201	200
0,10 % Ag	252	208	205
0,2 % Ag	256	205	202
0,10 % Au + 0,10%Ag	262	215	210

Проведені дослідження показали доцільність модифікування сплавів на основі магнію благородними металами у кількості від 0,05 до 0,2 мас. %. Встановлено, що модифікування сплаву системи Mg-Nd-Zr сріблом і золотом дозволяє збільшити об'ємну частку інтерметалідних фаз в $\sim 1,5$ рази, подрібнивши їх, з одночасним формуванням сферичних інтерметалідів, розташованих у центрі зерен, які виконують роль додаткових центрів кристалізації.

Також встановлено зменшення розміру зерна та значне подрібнення структурних складових внаслідок проведеного модифікування. Крім того, отримана залежність роздільного та спільного впливу благородних металів, а саме золота та срібла, на механічні властивості магнієвого сплаву. Так, роздільне модифікування досліджуваного сплаву забезпечило максимальний рівень його міцності та пластичності при додаванні 0,1% Ag або Au.

Отже, при комплексному модифікуванні (0,1 % Au + 0,1 % Ag) магнієвого сплаву значно зменшилися розміри його структурних складових, міцність сплаву збільшилася на ~ 20 %, а пластичність у ~ 2 рази внаслідок утворення інтерметалідних фаз складного складу.

Отримані результати дозволяють розробити вдосконалені технології модифікування ливарних магнієвих сплавів благородними металами, що покращують якість виливків та дозволяють підвищити механічні властивості виробів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме [43]:

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

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

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

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

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному

рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

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

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

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

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [44].

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 водопостачанняпостаратися 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 [45-47].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

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

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;
- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;
- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;
- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % 45 при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується залежно від:

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

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

- природне (бокове або верхнє);
- штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове [48-50].

4.4 Заходи з пожежної безпеки

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

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

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

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;

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

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

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

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації [51, 52].

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 типомodelей 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 ступенню 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 радіовуззол 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) [53, 54].

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Інтеграція України в європейський та світовий бізнес-простір вимагає належної адаптації вітчизняних реалій до стандартів господарювання та впровадження ключових принципів в діяльність українських підприємств. Ділові та стійкі відносини зі стейкхолдерами є фундаментом для сталого розвитку компаній. Українські компанії, навчившись цінувати відносини з клієнтами, мають визнати, що взаємодія зі стейкхолдерами в широкому контексті вимагає особливої стратегії та підходу. Міжнародні компанії, зазвичай, вже впроваджують системний підхід до взаємодії зі стейкхолдерами, оскільки врахування їх впливу та інтересів при прийнятті рішень дозволяє отримати об'єктивну оцінку діяльності та зрозуміти ризики та можливості.

Тема модифікації магнієвих сплавів благородними металами для виготовлення імплантатів має велику актуальність з позиції маркетингу з декількох ключових причин, а саме підвищення конкурентоспроможності продукції. Використання благородних металів у модифікації магнієвих сплавів може покращити механічні властивості та біорозчинність імплантатів, роблячи їх більш конкурентоспроможними на ринку медичних виробів.

Застосування модифікованих магнієвих сплавів може відповідати вимогам та стандартам медичної індустрії, що стає важливим аспектом з позиції маркетингу при просуванні продукції. Покращені механічні властивості та біорозчинність можуть визначати продукт як високоякісний та ефективний, що сприяє позиціонуванню його як передового та передового в порівнянні з іншими аналогічними виробами.

Впровадження нових технологій та матеріалів у виробництво імплантатів може восприйматися як інноваційний крок, що забезпечує конкурентні переваги на ринку.

Забезпечення безпеки та ефективності імплантатів завдяки модифікації магнієвих сплавів може визначити довіру споживачів та фахівців у сфері охорони здоров'я. Якщо модифіковані магнієві сплави є біорозчинними, це може визначати продукцію як більш екологічно чисту та відповідальну, що важливо для сучасних споживачів.

Враховуючи ці аспекти, компанії, які працюють у цьому напрямку, мають можливість висвітлити важливість своїх розробок, підкреслити їхні переваги та забезпечити успішний маркетинговий вихід на ринок медичних технологій та імплантатів.

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

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Застосування благородних металів при модифікації магнієвих сплавів сприяє покращенню механічних властивостей імплантатів, що дозволяє їх застосовувати в остеосинтезі та уникати повторного оперативного втручання.	1. Ортопедична хірургія.	Зменшення ризику ускладнень та підвищення тривалості служби імплантатів
	2. Травматологія.	Покращення процесів зрощення кісток та мінімізація потреби у вторинних операціях
	3. Реконструктивна медицина	можливість створення індивідуально адаптованих імплантатів з підвищеними естетичними та функціональними характеристиками

Виконано аналіз характеристик потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	Українські виробники медичних імплантатів, міжнародні компанії з виробництва біосумісних сплавів (наприклад, Zimmer Biomet, Stryker, DePuy Synthes).
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Ринок зростає, стимульований інноваціями та зростаючим попитом на якісні імплантати.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вимоги до якості продукції, потреба сертифікації, значні вступні інвестиції.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дотримання ISO 13485 (медичні пристрої), ISO 14708 (імплантати), сертифікація CE в Європі, відповідність стандартам FDA у США.

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)
Підвищення якості та тривалості функціонування імплантатів.	Пацієнти ортопедичних та травматологічних відділень, медичні заклади.	Індивідуальні пацієнти шукають надійність, медичні заклади – економічну ефективність та якість.	Біосумісність, механічна стійкість, доступність та тривалий термін служби імплантатів.

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

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
• Інноваційність продукту на базі останніх наукових досліджень. • Покращення функціональних характеристик імплантатів. • Зменшення ризику ускладнень після операцій. • Відкриття нових можливостей для індивідуальної медицини. • Можливість запатентування нових розробок та отримання ексклюзивних прав на продаж.	• Висока вартість дослідження та розробки. • Потреба у висококваліфікованих фахівцях для реалізації проекту. • Обмеженість цільового ринку через високу специфічність продукту. • Труднощі у входженні на ринок з високими бар'єрами та сильною конкуренцією. • Залежність від світових цін на благородні метали.
Можливості:	Загрози:
• Розширення ринку завдяки глобальному зростанню попиту на високотехнологічні медичні імплантати. • Державні програми фінансування та збільшення інвестицій в охорону здоров'я. • Укладення партнерських угод з провідними медичними закладами для пілотних клінічних випробувань. • Використання цифрових технологій для персоналізації імплантатів та поліпшення результатів лікування. • Можливість отримання грантів для інноваційних проектів у медтехніці.	• Зростання конкуренції, особливо з боку великих міжнародних компаній. • Зміни в регуляторних вимогах, які можуть ускладнити процес сертифікації та впровадження нових продуктів. • Високий ризик інтелектуального піратства та втрати прав на інтелектуальну власність. • Економічні нестабільності, що можуть вплинути на інвестиційну привабливість проекту. • Можливі етичні дилеми та громадські дебати стосовно використання новітніх медичних технологій.

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
1. Молоді професіонали, віком 25-35 років, активні користувачі інноваційних гаджетів.	Відчутна зацікавленість та висока готовність до впровадження нових технологій.	10,000 одиниць на рік	Висока	Середня
2. Бізнес-клас, віком 35-55 років, з високим доходом, які цінують ексклюзивність та індивідуальний підхід у виборі продуктів.		5,000 одиниць на рік	Висока	Висока
3. Медичні установи, які шукають новітні технологічні рішення для покращення якості лікування.		2,000 одиниць на рік	Помірна	Низька

Виконана ідентифікація стейкхолдерів, виконана їх пріоритизація та побудована Карта стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів. З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на Kartі виокремлено три концентричних області, в яких

розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту. Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглих ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 - Карта стейкхолдерів

Визначили 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	12700	20	2540	15240	182880	40233,6
Старший науковий співробітник	1	11200	20	2240	13440	161280	35481,6
Молодший науковий співробітник	1	9700	20	1940	11640	139680	30729,6
Лаборант	3	6640	20	1328	7968	286848	63106,6
Разом	5	40240	-	8048	48288	770688	169551,4

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	—	2	120	240
Ручка	—	25	15	375
Олівець	—	15	10	150
Зразки	60	60	145	8700
Реактиви	—	11	900	9900
Змінні лінзи	—	2	3200	6400
Тара зразків	—	11	50	550
Разом				26315

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	—	650	1,18	767
Водопостачання	—	10	28,3	283
Теплопостачання	—	5	3777	18885
Охоронна система	—	1	1500	1500
Утилізація реактивів	2	2	200	400
Разом				21835

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	2	14521	29042	4065,88	580,84
Разом	11	2437705	2656701	371938,14	53134,02

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	770688
ЄСВ, рік	169551
Матеріальні витрати, рік	26315
Вартість спожитих послуг, рік	21835
Амортизація обладнання, рік	371938
Поточний ремонт, рік	53134
Виробнича собівартість	1413462
Адміністративні витрати 50%	385344
Повна собівартість	1798806

Розрахунок економічного ефекту виконувався на основі того, що сплав системи Mg-Zr-Nd модифікований додаванням 0,1%Au+0,1%Ag характеризується підвищенням у ньому собівартості внаслідок використання благородних металів, проте значно розширить строк експлуатації розробленого сплаву та збільшить попит на його використання.

Орієнтовна ціна основних шихтових матеріалів, що використовуються для виплавки розглянутих у роботі сплавів системи Mg-Zr-Nd (на прикладі сплаву МЛ10) та Mg-Zr-Nd (МЛ10+0,1%Au; 0,1%Ag).

Таблиця 5.11 – Орієнтовна ціна матеріалів для виготовлення сплавів МЛ10 та МЛ10+0,1% Au+0,1%Ag

Назва матеріалу	Ціна, грн/кг	Вміст % МЛ10	Ціна 1 кг МЛ10	Вміст % МЛ10+ Ag,Au	Ціна 1 кг МЛ10+ Ag,Au
Магній Mg	750	96,2	721,5	96,2	721,5
Ніодим Nd	4000	2,6	104	2,6	104
Цирконій Zr	1990	0,7	13,93	0,7	13,93

Цинк Zn	260	0,41	1,07	0,4	1,07
Алюміній Al	600	0,02	0,12	0,02	0,12
Кремній Si	280	0,03	0,08	0,03	0,08
Залізо Fe	100	0,01	0,01	0,01	0,01
Мідь Cu	800	0,03	0,24	0,03	0,24
Золото, Au	2530000	–	–	0,1	2530
Срібло, Ag	40500			0,1	40,5
Разом	–	100%	840,95	100%	3411,45

Розрахункова вартість одного кілограму (C_1) промислового серійного сплаву марки МЛ10 становить: $C_1 = 840,95$ гривень.

Розрахункова вартість одного кілограму (C_2) сплаву марки МЛ5 легованого Ag і Sn становить: $C_2 = 3411,45$ гривень.

При цьому собівартість 1т промислового сплаву та розробленого, відповідно, становитиме:

$$C_1 = 840950 \text{ грн/т,}$$

$$C_2 = 3411450 \text{ грн/т.}$$

Збільшення собівартості (ΔC) сплаву МЛ5+ Ag, Sn в порівнянні з вартістю сплаву МЛ5 становить:

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

$$\Delta C = (3411450 - 840950) / 3411450 = 0,75, \text{ тобто } 75\%.$$

Річна потреба виробництва у виробках з розробленого сплаву складає 115000 деталей на рік, що складається з 15000 деталей вагою 1-3 кг, 50000 деталей вагою 0,5-2 кг та 50000 деталей 0,1-0,2 кг. Таким чином, необхідну кількість сплаву можна розрахувати як (5.2):

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

де n_n – кількість деталей у річному замовленні відповідного типу;

M_m – середня маса деталі відповідного типу.

Річна потреба виробництва у сплаві МЛ10 була:

$$A_{\text{спл}} = 2000 \times 2 + 14000 \times 1,75 + 14000 \times 0,15 = 3060 \text{ кг} = 30,6 \text{ т}$$

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

$$A_{\text{спл}} = 15000 \times 2 + 50000 \times 1,75 + 50000 \times 0,15 = 125000 \text{ кг} = 125 \text{ т}$$

Відповідно, розраховано мінімальну ціну товару без врахування податку, при якій 100% реалізація 125 т продукції щорічно компенсує витрати на проведення НДР впродовж 5 років:

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

де $Ц$ – ціна товару;

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

C_2 – собівартість розробленого сплаву, грн/кг;

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

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

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

$$Ц = (1798806 + 3411,45 \times 125000 + 78463350 + 392316752) / 125000 = 4451 \text{ грн/кг}$$

Ціна виробів з чистого сплаву МЛ5 розраховується за формулою (5.3) і становить:

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= (1798806 + 840,95 \times 30600 + 5146614 + 2573307) / 30600 = \\ &= 1152 \text{ грн/кг} \end{aligned}$$

При річному замовленні виробництва у 30,6 т, прибуток за 5 років складав:

$$\text{П}_{\text{чм}} = \text{Ц}_{\text{чм}} \times (\text{A}_{\text{чм}} \times 5) - \text{C}_1 \times (\text{A}_{\text{чм}} \times 5) - \text{Р}_{\text{чм}} - \text{Н}_{\text{чм}}, \quad (5.4)$$

де $\text{Ц}_{\text{чм}}$ – ціна виробів зі сплаву МЛ5, грн/кг;

C_1 – собівартість сплаву МЛ5 грн;

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

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

$\text{A}_{\text{чм}}$ – обсяг замовлення сплаву МЛ5, кг.

$$\begin{aligned} \text{П}_{\text{чм}} &= 1152 \times (30600 \times 5) - 840,95 \times (30600 \times 5) - 25733070 - 12866535 = \\ &= 8991045 \text{ грн} \end{aligned}$$

В результаті впровадження нового магнієвого сплаву у виробництво середня ціна за 1 кг сплаву збільшилась з 840,95 грн/кг до 3411,45 грн/кг. При цьому, зважаючи на підвищену ефективність нового сплаву, об'єм замовлення було збільшено з 30,6 т до 125 т на рік. Таким чином, при впровадженні нового сплаву прибуток виробництва за 5 років буде становити:

$$\text{П}_{\text{чм}} = \text{Ц} \times (\text{A} \times 5) - \text{C}_2 \times (\text{A} \times 5) - \text{Р} - \text{Н}, \quad (5.5)$$

де Ц – ціна виробів з розробленому сплавів, грн/кг;

C_2 – собівартість розробленого сплаву грн;

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

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

A – обсяг замовлення розробленого сплаву, кг.

$$P = 4451 \times (125000 \times 5) - 3411,45 \times (125000 \times 5) - 426431250 - 213215625 = 10071875 \text{ грн}$$

Отже, економічний ефект від впровадження нового сплаву склав:

$$E_k = P - P_{\text{чм}} = 10071875 - 8991045 = 1080830 \text{ грн}$$

Отже, підвищення прибутку від провадження нового сплаву у 4 рази повністю компенсує підвищення собівартості матеріалу, що становила 75 %, а також всі витрати на проведення науково-дослідної роботи впродовж 5 років. Тому впровадження у виробництво вдосконаленого легованого сплаву системи Mg-Zr-Nd з модифікуванням 0,1%Ag+0,1%Au є економічно доцільним та перспективним у розвитку медицини.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було розглянуто проблеми медицини щодо використання імплантатів при остеосинтезі, особливості магнієвих сплавів та їх різновиди. Досліджено можливість використання цих сплавів в організмі людини та методи покращення біосумісності та механічних характеристик їх для отримання кращих результатів. Також, було досліджено вплив благородних металів на організм людини, як можливих для використання при модифікуванні існуючих магнієвих сплавів.

Встановлено позитивний вплив модифікування благородними металами на структуроутворення та властивості лиття з магнієвих сплавів. Роздільне введення срібла та золота у сплав системи Mg-Zr-Nd у кількості від 0,05 до 0,2 мас. % сприяло зменшенню відстані між осями дендритів 2 порядку на $\sim 60\%$ і розміру мікрозерна $\sim 2\ldots 4$ рази. При цьому срібло сприяло сильнішому подрібненню зерна і підвищенню механічних властивостей сплаву.

Показано, що модифікація магнієвого сплаву сріблом і золотом від 0,05 до 0,2 мас. % збільшувало об'ємний відсоток інтерметалідів у $\sim 1,5$ рази, зміщуючи їх у бік менших розмірних груп при одночасному утворенні сферичних інтерметалідів, розташованих у центрі зерна та додатковими центрами кристалізації.

Встановлено, що комплексне модифікування (0,1 % Ag + 0,1 % Au) магнієвого сплаву зменшувало розміри його структурних складових та сприяло помітному підвищенню його механічних властивостей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Bi, Y., Van De Motter, R. R., Ragab, A. A., Goldberg, V. M., Anderson, J. M., & Greenfield, E. M. (2001). Titanium particles stimulate bone resorption by inducing differentiation of murine osteoclasts. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 83(4), 501–508. <https://doi.org/10.2106/00004623-200104000-00004>
2. Hampp, C., Ullmann, B., Reifenrath, J., Angrisani, N., Dziuba, D., Bormann, D., & Meyer-Lindenberg, A. (2012). Research on the biocompatibility of the new magnesium alloy LANd442—an in vivo study in the rabbit tibia over 26 weeks. *Advanced Engineering Materials*, 14(3), B28–B37.
3. Jacobs, J. J., Hallab, N. J., Skipor, A. K., & Urban, R. M. (2003). Metal degradation products: a cause for concern in metal-metal bearings?. *Clinical orthopaedics and related research*, (417), 139–147. <https://doi.org/10.1097/01.blo.00000096810.78689.62>
4. Niki, Y., Matsumoto, H., Suda, Y., Otani, T., Fujikawa, K., Toyama, Y., Hisamori, N., & Nozue, A. (2003). Metal ions induce bone-resorbing cytokine production through the redox pathway in synoviocytes and bone marrow macrophages. *Biomaterials*, 24(8), 1447–1457. [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(02\)00531-8](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(02)00531-8)
5. Shi, Y., Qi, M., Chen, Y., & Shi, P. (2011). MAO-DCPD composite coating on Mg alloy for degradable implant applications. *Materials Letters*, 65(14), 2201–2204.
6. Wong, H. M., Wu, S., Chu, P. K., Cheng, S. H., Luk, K. D., Cheung, K. M., & Yeung, K. W. (2013). Low-modulus Mg/PCL hybrid bone substitute for osteoporotic fracture fixation. *Biomaterials*, 34(29), 7016–7032. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.05.062>
7. Nagels, J., Stokdijk, M., & Rozing, P. M. (2003). Stress shielding and bone resorption in shoulder arthroplasty. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 12(1), 35–39. <https://doi.org/10.1067/mse.2003.22>

8. Rosser, J., & Bonewald, L. F. (2012). Studying osteocyte function using the cell lines MLO-Y4 and MLO-A5. *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), 816, 67–81. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-415-5_6
9. Song, S., Song, G. L., Shen, W., & Liu, M. (2012). Corrosion and electrochemical evaluation of coated magnesium alloys. *Corrosion, The Journal of Science and Engineering*, 68(1), 015005-1.
10. Shalomeev, V., Aikin, N., Chorniy, V., Naumik, V. Design and examination of the new biosoluble casting alloy of the system Mg-Zr-Nd for osteosynthesis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, 1(12-97), P. 40–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157495>
11. Kamrani, S., & Fleck, C. (2019). Biodegradable magnesium alloys as temporary orthopaedic implants: a review. *BioMetals*, 32(2), 185-193. <https://doi.org/10.1007/s10534-019-00170-y>
12. Mathieu, S., Rapin, C., Steinmetz, J., & Steinmetz, P. (2003). A corrosion study of the main constituent phases of AZ91 magnesium alloys. *Corrosion Science*, 45(12), 2741–2755. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(03\)00109-4](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(03)00109-4).
13. Nassif, N., & Ghayad, I. (2013). Corrosion protection and surface treatment of magnesium alloys used for orthopedic applications. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/532896>
14. Wang, H. X., Guan, S. K., Wang, X., Ren, C. X., & Wang, L. G. (2010). In vitro degradation and mechanical integrity of Mg-Zn-Ca alloy coated with Ca-deficient hydroxyapatite by the pulse electrodeposition process. *Acta biomaterialia*, 6(5), 1743–1748. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2009.12.009>
15. S.V. Satya Prasad, S. B. Prasad, Kartikey Verma, Raghvendra Kumar Mishra, Vikas Kumar, Subhash Singh. The role and significance of Magnesium in modern day research. *Journal of Magnesium and Alloys*. Volume 10, Issue 1, January 2022, Pages 1-61. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2021.05.012>.
16. Umer Masood Chaudry, Kotiba Hamad, Jung-Gu Kim. On the ductility of magnesium based materials. *Journal of Alloys and Compounds*. Volume 792, 5 July 2019, Pages 652-664. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.04.031>.

17. Shalomeev, V.A., Tsivirko, E.I., Vnukov Yur., N., Morozov, D.A. New magnesium alloy with promote properties for automobile construction. Metallurgical and Mining Industry, 2013, 2013(3), P 54–60.
<https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/11-.pdf>
18. Кольорові метали і сплави: Навчальний посібник /В.Л. Грешта, О.В. Климов, О.В. Лисиця, Л.П. Степанова. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2015. – 336 с.
19. Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys in Materials Handbook : 10th edn. // Vol. 1. ASM International: Materials Park, OH. – 1990. – 1063 p. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v01.9781627081610>
20. Магнієві сплави: довідник: у 2 ч. Ч. 2: Технологія виробництва і властивості виливків і деформованих напівфабрикатів / [Антонов Е.Г., Арбузов Б.А., Бабкін В.М. та ін.]; ред. І.І. Гур'єв, М.В. Чухров - М.: Металургія, 1978. - 294 с. [Російською].
21. Baker H. ASM specialty handbook: magnesium and magnesium alloys. – Materials Park, OH : ASM international, 1999. Vol. 274.
22. Ratner B.D., Haffman A.S., Schoen F.J. and Lemons J.E. Biomaterials Science – An Introduction to Materials in Medicine. Third edition: Academic Press, 2013. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02433-7>
23. Zheng Y.F., Cu X.N., Witte F. Biodegradable metals // Materials Science and Engineering: R: Reports. 2014, 77. – pp. 1-34
24. Walker, J. Magnesium biomaterials for orthopedic application: A review from a biological perspective / J. Walker, S. Shadanbaz, T.B.F. Woodfield et al. // Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. – 2014. – V. 102. – P. 1316 – 1331
25. Bilal Farouk El-Zayat. Results of titanium locking plate and stainless steel cerclage wire combination in femoral fractures [Text] / Bilal Farouk El-Zayat, Steffen Ruchholtz, Turgay Efe // Indian J Orthop. – 2013. - № 47(5). – P. 454–458.
26. Valerio Sansone. The effects on bone cells of metal ions released from orthopaedic implants. A review [Text] / Valerio Sansone, Davide Pagani, Marco Melato // Clin Cases Miner Bone Metab. – 2013. - № 10(1). – P. 34–40.

27. Xiaoyuan Yang. Preparation and evaluation of bicomponent and homogeneous polyester silk small diameter arterial prostheses [Text] / Xiaoyuan Yang, Lu Wang, Guoping Guan // J Biomater Appl.-2014.-№ 28.-P.676-687.
28. Wilhelm Jahnen-Dechent. Magnesium basics [Text] / Wilhelm Jahnen-Dechen, Markus Ketteler // Oxford Journals.-2012.-№ 5.- P. 3-14.
29. Shalomeev, V., Tabunshchyk, G., Greshta, V., Guigou, M.D., Parzych, S. Casting Welding from Magnesium Alloy Using Filler Materials That Contain Scandium. Materials, 2022, 15(12), 4213. <https://doi.org/10.3390/ma15124213>.
30. Jingfeng Wang. Optimization of mechanical and damping properties of Mg–0.6Zr alloy by different extrusion processing [Text] / Jingfeng Wang, Zhongshan Wu, Shan Gao // Journal of Magnesium and Alloys.- 2015.- № 3(1).- P. 79-85.
31. Kai Wen. Effect of microstructure evolution on mechanical property of extruded Mg–12Gd–2Er–1Zn–0.6Zr alloys [Text] / Kai Wen, Ke Liu, Zhaohui Wang // Journal of Magnesium and Alloys.- 2015.- № 3(1).- P. 1-94.
32. Shalomeev, V., Aikin, N., Chorniy, V., Naumik, V. Design and examination of the new biosoluble casting alloy of the system Mg-Zr-Nd for osteosynthesis. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019, 1(12-97), P. 40–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157495>
33. Justyna Oleszek-Listopad, Katarzyna Sarna-Bos, Anna Szabelska, Elzbieta Czelej-Piszczyk, Janusz Borowicz, Jolanta Szymanska. The use of gold and gold alloys in prosthetic dentistry. Curr. Issues Pharm. Med. Sci., Vol. 28, No. 3, Pages 192-195. <https://doi.org/10.1515/cipms-2015-0070>.
34. Kuo-Hsing Liao, Keng-Liang Ou, Hsin-Chung Cheng, Che-Tong Lin, Pei-Wen Peng. Effect of silver on antibacterial properties of stainless steel. Applied Surface Science Volume 256, Issue 11, 15 March 2010, Pages 3642-3646. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.01.001>.
35. Shalomeev V., Tabunshchyk G., Greshta V., Nykiel M., Korniejenko K. Influence of Alkaline Earth Metals on Structure Formation and Magnesium Alloy Properties. Materials, 2022, 15(12), 4341. <https://doi.org/10.3390/ma15124341>.

36. Waris E. Bioabsorbable fixation devices in trauma and bone surgery: current clinical standing [Текст] / E.Waris, Y.T.Konttinen, N.Ashammakhi //Expert Review of Medical Devices. - 2004. - Vol. 1, № 2. – P. 229-240.
37. Кульский Л. А. Серебряная вода. 8(доп.) / Л.А. Кульский. – К.: Наукова думка, 1982. – С. 19 – 31.
38. Taylor P.L. Impact of heat on nanocrystalline silver dressings. Part I. Chemical and biological properties / P.L. Taylor, A.L. Ussher, R.E. Burrell // Biomaterials. –2005. – Vol. 26, № 35. – P. 7221–7229.
39. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ. В 3 т.: Т. 1 / под общей ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
40. Cvetković V.S. Magnesium–Gold Alloy Formation by Underpotential Deposition of Magnesium onto Gold from Nitrate Melts / Vesna S. Cvetković, Niko Jovićević, Jasmina S. Stevanović, Miomir G. Pavlović, Nataša M. Vukićević, Zoran Stevanović, Jovan N. Jovićević // Metals. – 2017, 7(3). – 95. <https://doi.org/10.3390/met7030095>
41. Jeyaraman M. (2023). GOLD-Induced Cytokine (GOLDIC): A Game-Changer Orthobiologic in Regenerative Medicine / M. Jeyaraman, N. Jeyaraman, P.R. Ram, R. Venkatasalam, S. Yadav, R. Ram // Cureus. – 2023, 15(9). – e45435. <http://dx.doi.org/10.7759/cureus.45435>
42. Turchenko N. V. Gold in medical and biological researches, medicine and pharmacy / N.V. Turchenko // Nano-technology and nanomaterials in pharmacy and medicine. IV Ukrainian Scientific-Practical Internet Conference with International Participation (April 17, 2020). – 2020. – Pp. 10-11.
43. 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);

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

45. 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);

46. 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);

47. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [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);

48. 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)

49. 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);

50. 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);

51. 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);

52. 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);

53. 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);

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