НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Юрій БОГОМОЛ

«___»_____2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: « Електронно-променева технологія для виробництва композиційних матеріалів для електричних контактів»

Виконала:
студентка IV курсу, групи ФН-з11
Гречанюк Крістіна Ігорівна _____

Керівник:

ст. викладач кафедри ВТМПМ, к.х.н.
Шемет Володимир Жданович_____

Консультант з економічно-організаційного
розділу: доцент, к.е.н., доцент,

Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці:

зав. кафедри ОППЦБ, д. т. н., професор,

Левченко Олег Григорович_____

Нормоконтроль:

доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Ліна Олегівна _____

Рецензент:
доцент, к.т.н., доцент кафедри ливарного виробництва,
Гурія Ірина Миранівна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на		
			дипломний проект		
2	А4	ФНз11.9112.4203.003.01ПЗ	Пояснювальна	86	
			записка		
3	А4	ФНз11.9112.4203.003.02АС	Апаратурно-		
			технологічна схема	1	
4	А4	ФНз11.9112.4203.003.03ПД	План дільниці	1	
5	А4	ФНз11.9112.4203.003.04СА	Схема процесу		
			осадження	1	

				ФН-з11.9112.4203.003.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Гречанюк К.І.			ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ	Лист	Листів
Керівн.	Шемет В.Ж				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФК-з91	
Н/контр.	Бірюкович Л.О.					
Зав.каф.	Богомол Ю. І.					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Електронно-променева техногія для виробництва композиційних матеріалів для електричних контактів»

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та
порошкової металургії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Юрій БОГОМОЛ
«___»_____2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Гречанюк Крістіни Ігорівни

1. Тема проєкту «Електронно-променева технологія для виробництва композиційних матеріалів для електричних контактів», керівник проєкту Шемет Володимир Жданович к.х.н., ст. викладач кафедри ВТМПМ, затверджені наказом по університету від «_26_»_травня_ 2025 р. №_1733_.

2. Термін подання студентом проєкту ___12 червня 2025 р.__.

3. Вихідні дані до проєкту: плановий обсяг виготовленої продукції 3 тон/рік; аналіз стану виробництва парофазних композиційних матеріалів на основі міді для електричних контактів; технологічний процес повинен забезпечувати більш високі техніко-економічні показники у порівнянні з тими, що існують на сьогодні – ерозійна стійкість, твердість, міцність, зносостійкість.

4. Зміст пояснювальної записки технологічний та будівельний розділи, спеціальний розділ, розділ охорона праці, енергетичний, організаційно-економічний розділ

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): апаратурно-технологічна схема і план цеху, що проектується, із зазначенням на ньому місцезнаходження технологічного обладнання; таблиця економічних показників.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний	Нараєвський С. В., доцент		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф. ОППЦБ		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературний пошук. Вибір матеріалу для виготовлення важко-навантажених деталей.	25.03. – 31.03.2025 р.	Виконано
2	Вибір технологічного процесу та його опис.	1.04. – 16.04.2025 р.	Виконано
3	Матеріальні розрахунки. Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання.	17.04. – 23.04.2025 р.	Виконано
4	Розробка розділу з охорони праці	24.04. – 30.04.2025 р.	Виконано
5	Розробка будівельного розділу	1.05. – 07.05.2025 р.	Виконано
6	Розробка спеціального розділу	8.05. – 14.05.2025 р.	Виконано
7	Розробка організаційно-економічного розділу	15.05. – 21.05.2025 р.	Виконано
8	Виконання графічної частини проекту	22.05. – 28.05.2025 р.	Виконано
9	Оформлення дипломної записки	29.05. – 10.06.2025 р.	Виконано

Студент Крістіна ГРЕЧАНЮК
Керівник Володимир ШЕМЕТ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт за освітньо-професійною програмою складається із пояснювальної записки, що містить: стор. – 89, рис. – 18, табл. – 21, літ. – 39, графічної частини із .. кресленик.

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ЕЛЕКТРИЧНІ КОНТАКТИ, ВИПАРОВУВАННЯ, КОНДЕНСАЦІЯ, МІДЬ

У дипломному проєкті необхідно дослідити та розробити оптимальний технологічний процес виготовлення парофазних композиційних матеріалів на основі міді для електричних контактів.

Об’єктом дослідження є виробництво композиційних матеріалів на основі міді для електричних контактів.

Предметом дослідження є електронно-променева технологія отримання композиційних матеріалів на основі міді, що відповідають заданим фізико-механічним характеристикам, для виготовлення електричних контактів.

У рамках проєкту проведено хімічний аналіз та структурні дослідження отриманих матеріалів. Крім того розглянуті економічні аспекти даного виробництва та відповідність спроєктованого цеху до вимог охорони праці.

ABSTRACT

The diploma project according to the educational and professional program consists of an explanatory note containing: p. – 89, fig. – 18, tab. – 21, lit. – 39, graphic part from .. drawings.

COMPOSITE MATERIALS, ELECTRICAL CONTACTS, EVAPORATION, CONDENSATION, COPPER

In the diploma project, an optimal technological process for obtainig vapor-phase composite materials based on copper for electrical contacts was researched and developed.

The object of the research is the production of composite materials based on copper for electrical contacts.

The subject of the research is the electron-beam technology for obtaining composite materials based on copper that meet the specified physical and mechanical characteristics for the production of electrical contacts.

As part of the project, chemical analysis and structural studies of the obtained materials were carried out. In addition, the economic aspects of this production and the compliance of the designed workshop with occupational safety requirements were considered.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ……6
ABSTRACT……7
ВСТУП……..10
1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ……...11
1.1 Вибір матеріалу……...11
1.2 Вибір та обґрунтування технологічного процесу……15
1.3 Обґрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї……20
1.4 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї……22
1.5 Опис технологічних операцій……23
1.5.1 Підготовка зливків для випаровування……..23
1.5.2 Установка підкладки для нанесення матеріалу……24
1.5.3 Вакуумування камери……..24
1.5.4 Нанесення розділового шару на підкладку для відділення……..26
матеріалу від неї……26
1.5.5 Осадження вихідних матеріалів на підкладку……...27
1.5.6 Технічний контроль якості продукту……29
1.6 Розрахунок і складання матеріального балансу……...31
1.7 Вибір обладнання……37
1.7.1.Обладнання для підготовки зливків до випаровування……...37
1.7.2 Обладнання для процесу вакуумного осадження конденсованого матеріалу. ……39
1.7.3 Обладнання для порубки конденсованого матеріалу……...45
1.7.4 Обладнання для контролю конденсованих матеріалів на розшарування…...46
2. БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ……..49
3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ……51
4. РОЗДІЛ ОХОРОНА ПРАЦІ……56
4.1 Загальна характеристика об’єкту та умови його експлуатації……...56
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів……59

4.3 Радіаційна безпека.....60
4.4 Електробезпека.....61
4.5 Пожежна безпека.....63
4.6 Аналіз освітлення.....64
4.7 Хімічні джерела небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....64
5. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....67
5.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників.....67
5.2. Визначення фондів заробітної плати.....70
5.3 Розрахунок продуктивності праці.....74
5.4. Розрахунок капітальний вкладень.....74
5.5 Визначення планової собівартості одиниці продукції.....77
5.6. Розрахунок показників економічної ефективності.....79
ВИСНОВКИ.....82
CONCLUSIONS.....83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....84

ВСТУП

З розвитком науки і техніки більшість галузей промисловості набули гострої потреби в матеріалах на основі міді, які відрізняються високою тепло-, електропровідністю, міцністю, термостійкістю, корозійною та ерозійною стійкістю тощо. Існуючі на сьогодні матеріали на основі міді не можуть повністю задовольнити сучасним вимогам щодо отримання комплексу необхідних характеристик. Вирішити це завдання можна перш за все шляхом впровадження принципово нових технологій, які дають можливість створювати нові композиційні матеріали (КМ), що поєднують у собі кращі властивості складових компонентів.

До останнього часу КМ на основі міді отримували методами порошкової металургії. У кінці 20го століття для отримання зазначених композиційних матеріалів почали використовувати метод високошвидкісного випаровування-конденсації металів і неметалів у вакуумі. З застосуванням цього методу з'являється можливість одержання КМ з керованою дисперсністю і регульованими в широких межах властивостями, які сприяють підвищенню надійності і довговічності експлуатації механізмів і агрегатів, що працюють в умовах різних температур і агресивних середовищ. Для розширення використання композиційних матеріалів для середньо- і важконавантажених електричних контактів і підвищення їх експлуатаційних властивостей були одержані нові матеріали методом електронно-променевого випаровування-конденсації КМ на основі міді і молібдену.

Тема диплому присвячена розробці технології композиційних матеріалів на основі Cu-Mo сплаву для електричних контактів, отриманих методом електронно-променевого випаровування і конденсації у вакуумі. Тому тема дипломного проєкту є дуже актуальною і набуває особливого значення для заміни срібловмісних контактів у зв’язку з подорожчанням срібла та необхідністю використання екологічно чистих технологій для їх одержання.

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вибір матеріалу

На сьогодні є досить великий вибір композиційних матеріалів різного призначення, але виходячи з того, що вимоги до матеріалів, безперервно зростають, проблема створення високонадійних композиційних матеріалів (КМ) не може бути вирішена повністю.

Для потреб електротехнічної промисловості в промислово розвинутих країнах все частіше стали використовувати дисперсно-зміцнені композиції на основі міді, тобто матеріали, що складаються із мідної матриці й дисперсних включень металів ряду Al, Ti, Hf, Zr, Y, Cr, Mo, Ni, Fe, Nb, Ta, Tl, Te, Se, Be, Sb, W, Co тощо, які вводяться з метою підвищення експлуатаційних властивостей. Із наведених матеріалів найбільш широко використовуються композиції мідь – вольфрам, мідь – молібден, мідь – карбід вольфраму [1-5], що являють собою гетерогенні системи з матрицею з основного матеріалу − міді, в яку вводять різними методами дисперсно-зміцнюючі добавки. Відповідно до діаграми стану, ці компоненти в усьому інтервалі концентрацій не розчиняються у матриці ні в рідкому, ні в твердому стані, а взаємна розчинність їх надзвичайно мала. Ці елементи можуть існувати в матриці у вигляді інтерметалідів, оксидів, гідридів або як самостійні частинки. Основною перевагою таких гетерогенних систем є те, що вони за своїм складом у відповідних умовах експлуатації забезпечують адитивну сукупність властивостей, які вносяться в матеріал різними фазовими складовими.

Невелика кількість дисперсних добавок наведених вище елементів дозволяє значно підвищити механічні властивості матеріалу, підвищити його корозійну стійкість без суттєвого зменшення електричної провідності.

В електротехнічній промисловості, наприклад, в Японії широко використовуються, дисперсно- твердіючі мідні сплави, які мають високу міцність, електропровідність і стійкість проти корозійного розтріскування. Приблизний склад цього сплаву – Cu-Sn-Mg-Ni-Fe-In-Si при вмісті міді в межах 90-95% за масою [6].

В Україні розробки композиційних матеріалів на основі міді, молібдену, вольфраму і срібла були розпочаті в 50-х роках минулого століття [7-9]. Завдяки заданій (каркасній) структурі і хімічному складу вони поєднують високу твердість, ерозійну та корозійну стійкісті з високою тепло- і електропровідністю та малим контактним опором. Мідно-молібденові псевдосплави широко застосовуються в промислово розвинених країнах як матеріали електротехнічного, конструкційного і спеціального призначення в деталях і конструктивних елементах, що працюють в умовах підвищених температур, ерозійного і електроерозійного зносу, дії агресивних газових середовищ та інших екстремальних експлуатаційних чинників. До теперішнього часу ці композиційні матеріали отримували, як правило, методами порошкової металургії шляхом спікання пористого вольфраму з подальшим просоченням його розплавленою міддю [10-11]. Причому, не дивлячись на багаторічний досвід використання, дослідження КМ в цій системі продовжуються у зв’язку з розширенням технологічних можливостей управління складом матеріалу, його дисперсністю і розподілом тугоплавкої складової в об’ємі виробів [12-13].

До нових матеріалів, одержаних методом конденсації, перш за все слід віднести композиційні дисперсно-зміцнені і мікрошаруваті матеріали. Дисперсно-зміцнені конденсати складаються з полікристалічної металевої матриці з рівномірно розподіленими в об’ємі дисперсними частинками другої фази.

Змінюючи температуру підкладки та швидкість випаровування, вибираючи різні поєднання матеріалів, які випаровуються, додаючи реакційний газ і здійснюючи іонне бомбардування поверхні в процесі конденсації, можна в широких межах регулювати товщину, структуру і властивості одержуваних конденсатів.

Структура конденсованого шару в першу чергу визначається температурою підкладки, на яку здійснюється конденсація. Авторами [14-15] показано, що конденсати деяких металів і тугоплавких оксидів товщиною 0,3-2 мм, отримані за допомогою електронно-променевого випаровування, в залежності від температури

підкладки, мають три характерні структурні зони (рис. 1. 1). Низькотемпературна зона – від температур нижче кімнатних до деякої граничної температури T_1, рівній приблизно 0,3 температури плавлення конденсованої речовини. Нижче температури T_1 поверхня конденсатів має «куполоподібну» будову. У перетині конденсату виявляються конусоподібні кристаліти з внутрішньою блоковою будовою. Зчленування суміжних кристалітів відбувається без явно вираженого міжкристалітного кордону. У внутрішніх обсягах кристалітів присутні мікропори. Розміри конусоподібних кристалітів (діаметри півсфер) зростають зі збільшенням температури.

Проміжна (друга зона) – між T_1 і T_2, де T_2 дорівнює 0,45-0,50 Тпл конденсованої речовини. Поблизу T_1 відбувається поступовий перехід до чітко вираженої стовпчастої структури, характерної для другої зони. Відмінною особливістю зазначеної структури є наявність добре виявлених металографічних, міжкристалітних кордонів. Мікропористість практично відсутня. Ширина стовпчастих кристалітів збільшується у міру зростання температури підкладки. Стовбчаста структура спостерігається до T_2.

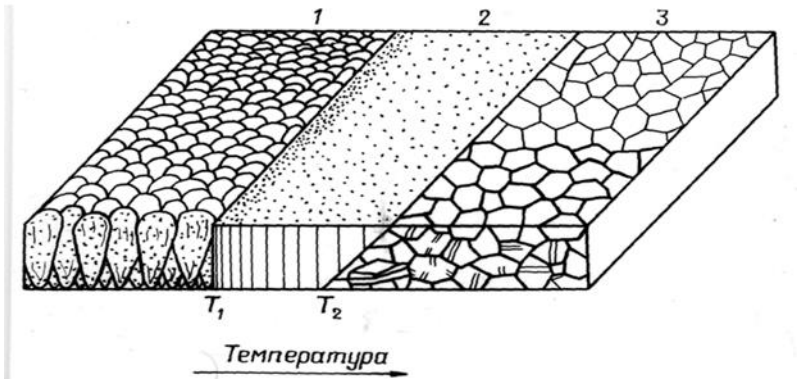


Рис.1.1. Схема розподілу структурних зон конденсату
в залежності від температури підкладки [16]

Третя (високотемпературна) зона – вище температури T_2. У цій зоні утворюється практично рівноважна структура.

Розглянуті структурні зони з характерними граничними температурами T_1 і T_2 властиві також товстим конденсату міді [17]. Розміри елементів структури в кожній із структурних зон залежать від багатьох факторів. Головні з них – природа сил

зв'язку матеріалу, що випаровується, наявність домішок, а також енергія атомів або іонів, що досягають поверхні конденсації. Наприклад, середні розміри кристалітів в конденсатах чистих металів, отриманих за допомогою прямого електронно-променевого випаровування, знаходяться в межах 100-200 мкм [16].

Механічні властивості товстих конденсатів значною мірою визначаються реальною структурою. Конденсати чистих металів і сплавів, осаджені при температурах нижче T_1 (перша структурна зона), відрізняються нерівноважною структурою, досить низькою щільністю і високою схильністю до крихкого руйнування. Для металевих конденсатів характерна висока твердість. Подібні конденсати руйнуються без видимих ознак пластичності.

У другій структурній зоні значення щільності, твердості, меж плинності і міцності металевих конденсатів наближаються до відповідних величин цих властивостей, характерним для масивних матеріалів, одержаних звичайними методами.

Механічні властивості конденсатів чистих металів і сплавів отриманих при температурі підкладки вище Т2 (третя структурна зона), порівняні практично з властивостями відпалених (рекристалізованих) масивних матеріалів [18-20].

Експериментальні дані про структуру та механічні властивості товстих конденсатів дозволили вибрати оптимальні температури конденсації при отриманні двофазних конденсатів: $t_п \geq 0{,}45\text{-}0{,}5\ T_{пл}$ металевої матриці, тобто температура підкладки повинна бути достатньою для формування рівноважної структури матриці двофазних конденсатів.

У двофазних конденсатах, отриманих роздільним випаровуванням двох і більше матеріалів з автономних джерел, зокрема дисперсно-зміцнених, з'являється другий фактор, що впливає на розміри кристалітів, це дисперсні частинки. Введення дисперсних частинок у всіх випадках супроводжується подрібненням стовпчастих кристалітів з одночасним збільшенням ступеня їх рівноваги [21-23]. Найбільш суттєве подрібнення зерна спостерігається в області малих (до 1,0%) вмістів другої фази.

Наведені вище дані показують певні можливості регулювання структури та механічних властивостей дисперсно-зміцнених композицій на основі міді. Слід підкреслити, що ці можливості далеко не вичерпані і можуть бути розширені при використанні в якості матриці більш складних металевих сплавів типу твердих розчинів. Ця технологія дає можливість отримати конденсати із шаруватою структурою. Шаруваті матеріали мають ряд переваг перед волокнистими, перш за все з точки зору можливості керування фізико-механічними властивостями.

1.2 Вибір та обґрунтування технологічного процесу

Не дивлячись на суттєві успіхи в області матеріалознавства композиційних матеріалів, найбільш актуальним лишається питання вибору оптимальних технологічних процесів отримання композиційних матеріалів. Невдалий вибір методів і режимів виготовлення призводить до того, що характеристики композиційного матеріалу, які передбачаються теорією, на практиці залишаються нереалізованими.

Не існує універсальних способів, придатних для отримання будь-яких композиційних матеріалів. Вибір методу отримання КМ диктується структурою і властивостями вихідних матеріалів, а також вимогами, які ставляться до роботи матеріалу в конкретних конструкціях і умовах.

Найпоширенішим методом для отримання композиційних матеріалів на основі міді, які мають у своєму складі не більше трьох хімічних елементів є литво. Перевагою цього методу є низька кількість витрати сировини. До недоліків відносять велику кількість дефектів у матеріалі, виготовленому за цим способом, неможливість отримання складних композиційних матеріалів, високі витрати електроенергії у процесі плавки, використання матеріалів переважно при низьких значеннях струму. Вироби, виготовлені литвом, використовують в електричних та електронних приладах, у космічній та авіаційній техніці. Як правило їх отримують методом безперервного литва на горизонтальній машині.

Дисперсно-зміцнені композиційні матеріали (ДЗКМ) відносяться до складу порошкових КМ. Порошки ДЗКМ на основі міді отримують методами внутрішнього окислення, хімічного соосаждения і відновлення в розчинах, а також за допомогою механічного змішування [24]. Технологія отримання напівфабрикатів з ДЗКМ включає формування порошків і спікання з наступною деформацією і термічною обробкою.

Для отримання великих партій порошків міді використовують в основному електроліз і автоклавний метод. Електролізом отримують високочисті порошки з розміром часток 1-30 мкм. Властивості часток регулюються величиною густини струму, складом електроліту і тривалістю осадження. Висока чистота порошків багато в чому визначається початковою сировиною – катодною міддю з низьким вмістом домішок. Недоліком методу є велика енергоємність, а отже, і висока вартість порошку. Крім того, порошки дендритної форми мають малу, у ряді випадків нульову плинність.

Автоклавний метод, відновлення, при підвищених температурах є перспективним для виробництва порошків міді. Основними перевагами методу є можливість використання дешевої первинної й вторинної сировини, висока інтенсивність процесу, малі трудовитрати і низька собівартість порошку. Порошки, що отримуються в автоклавах, характеризуються хорошою плинністю, підвищеною насипною щільністю, мають неправильну форму часток розміром 100-200 мкм. Промислові порошки вольфраму і молібдену, отримують відновленням оксидів, розміри часток досягають 0,5–2,0 мкм. Для отримання надтонких порошків оксидів використовують методи термічного розкладання солей. Основним устаткуванням, що застосовується при механічному змішуванні, є змішувачі будь-яких типів. Цей метод універсальний, він дозволяє отримувати суміші з необмеженим числом компонентів, а також можна вводити в сплави будь-які зміцнювачі.

До недоліків методу слід віднести складність, а в деяких випадках неможливість забезпечення оптимальних розмірів включень зміцнюючої фази і матричного порошку, рівномірність змішування і властивості кінцевого продукту гірші, ніж при використанні інших методів. Цей метод рекомендується

застосовувати в тих випадках, коли інші методи неприйнятні. Незважаючи на очевидні переваги з точки зору дисперсності і рівномірності розподілу зміцнюючої фази, метод внутрішнього окислення пов'язаний з певними труднощами, головні з яких є складність виготовлення досить тонких порошків низьколегованих твердих розчинів та трудомісткість процесу.

Крім наведених фізичних методів для отримання КМ використовують також метод хімічного осадження з розчину. Суть методу хімічного осадження з розчину полягає в осадженні металів або їх сполук з розчинів на частки зміцнюючої фази за допомогою хімічних реагентів. Існують два принципово різні методи хімічного осадження з розчинів солей. У основі першого з них лежить здатність деяких металів утворювати покриття на частках тугоплавких сполук при додаванні спеціального реагенту-осаджувача (зазвичай гідразину). Отримані порошки фільтруються, промиваються і висушуються. Після сушки матричний метал довідновлюється в атмосфері водню. Трудомісткість процесу пов'язана з фільтрацією, відмиванням і сушкою порошку. Низька чистота порошку, викликана присутністю шкідливих домішок, приводить до того, що описаний метод отримання порошкових сумішей не знайшов широкого застосування в промисловості.

Найпоширенішим є метод, заснований на осадженні нерозчинних сполук, які потім переводяться в оксиди при термічному розкладанні і піддаються селективному відновленню воднем до чистого матричного металу. При виборі солей для приготування початкового розчину слід передбачати можливості отримання досить чистих осадів. Широке застосування знаходять розчини нітратів матричних матеріалів внаслідок хорошої розчинності і легкості термічного розкладання. В якості осаджувачів, як правило, використовуються луги, розчини аміаку, інколи – розчинні оксалати.

Зміцнююча фаза вводиться або у вигляді колоїду, на якому відбувається висадження матричного металу, або осідає у формі гідроксиду одночасно з осадженням гідроксиду матричного металу. У останньому випадку добитися досить рівномірного розподілу і необхідної дисперсності зміцнюючої фази складно.

Застосування колоїдних розчинів забезпечує рішення цих завдань. Осад фільтрується, сушиться і піддається термічному розкладанню. При утворенні тонкодисперсної суміші оксиду матричного металу з тугоплавким сполуками, система піддається селективному відновленню воднем. Основними недоліками цього методу є трудомісткість і неуніверсальність.

Певні можливості в отриманні композиційних матеріалів з широким спектром властивостей відкриває високошвидкісне електронно-променеве випаровування металевих і неметалевих матеріалів у вакуумі, розроблений в ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАН України [25-27]. Використання електронного променя як джерела концентрованого потоку енергії в технологіях металообробки розпочалося в 50-і роки минулого сторіччя. Проте застосування методу електронно-променевого високошвидкісного випаровування-конденсації для виготовлення композиційних матеріалів (КМ) стало можливим через десятиріччя накопичення досвіду, який пов'язують з іменами Б. Є. Патона, Б. А. Мовчана, І. С. Малашенка, О. К. Назаренка (в Україні), М. М. Рикаліна, О. О. Єрохіна, Хошімото, Арача (в Японії), Г. Младенова (в Болгарії) та ін. [28-29].

Переваги електронно-променевої технології отримання матеріалів полягають в тому, що випаровуючи одночасно декілька речовин, змішуючи їх парові потоки, а потім конденсуючи на підкладці, можливо отримувати такі співвідношення, які важко або неможливо здійснити іншими способами [30-34]. Ця технологія дає можливість отримати конденсати із шаруватою структурою.

Електронно-променевий метод дозволяє отримати практично будь-які типи дисперсно-зміцнених двофазних матеріалів на металевій основі, у тому числі і зі складнолегованою матрицею. Слід підкреслити, що можливості електронно-променевої технології можуть бути розширені при використанні в якості матриці більш складних металевих сплавів типу твердих розчинів.

Широке впровадження електронно-променевого методу в промисловість для виготовлення заготівок (напівфабрикатів) з дисперсно-зміцнених матеріалів різного складу гальмувалося внаслідок низької продуктивності процесу. Створення

потужних електронно-променевих агрегатів, удосконалення технології випаровування різних матеріалів, практично усунули подібні обмеження.

Одним з найбільш перспективних застосувань електронно-променевої технології є отримання багатошарових (мікрошаруватих) композиційних матеріалів. Техніка випаровування і конденсації у вакуумі відкриває практично необмежені можливості для одержання багатошарових матеріалів з будь-яким чергуванням шарів: метал / метал, метал / оксид, метал / карбід і т.п. Товсті вакуумні конденсати, що складаються з великого числа різнорідних мікрошарів, що чергуються є деякою різновидністю шаруватих композиційних матеріалів з регульованими в широких межах структурою та фізико-хімічними властивостями. Мікрошаруваті конденсати, як правило, являють собою полікристалічні агрегати, в яких середній розмір зерна D в кожному шарі пропорційний товщині шару δ. У більшості випадків $D_3 \approx \delta$. Це основна відмінність мікрошаруватих від шаруватих матеріалів, одержаних традиційними методами обробки. Тому слід очікувати, що в мікрошаруватих конденсатах, змінюючи товщину шару, можна в широких межах регулювати розмір зерна і, отже, структурно – чутливі механічні властивості.

Удосконалення методів і техніки випаровування речовин у вакуумі, перш за все створення потужних електронно-променевих випаровувачів та технологічного обладнання з новітніми методами контролю технологічних процесів, дозволяють перейти до створення нових матеріалів з різними типами структур і товщинами, що змінюються в широких межах.

Розглянуті вище деякі закономірності процесів випаровування і конденсації у вакуумі металічних і неметалічних матеріалів у взаємозв'язку зі структурою і властивостями отриманих матеріалів відкривають певні можливості в конструюванні композицій з наперед заданими фізико-хімічними характеристиками.

Метод електронно-променевого випаровування і подальшої конденсації у вакуумі композиційних матеріалів, які мають обмежену взаємну розчинність, активно розвивається для отримання корозійно- та ерозійностійких матеріалів різного призначення. Так, матеріали, виготовлені даним методом, порівняно з

традиційними методами порошкової металургії мають ряд переваг і характеризуються низьким вмістом газів, що важливо для забезпечення роботи контактів у вакуумі [35-37]. До них належать: можливість отримання в матеріалах будь-яких співвідношень компонентів, отримання матеріалів дисперсного чи шаруватого типів з регульованою дисперсністю фаз та із заданими параметрами за один технологічний цикл, високі електропровідність, електроерозійна стійкість та механічні властивості, зменшення енергоємності виробництва в порівнянні з традиційними методами в 1,5-3 рази, повна екологічна безпека виробництва, можливість отримання вихідних матеріалів із вторинної сировини. Метод електронно-променевого випаровування і конденсації у вакуумі на сьогодні є єдиним, забезпеченим обладнанням для підготовки вихідної сировини і отримання композиційних матеріалів.

Ці обставини визначають використання даного методу в якості основи технології отримання нових композиційних матеріалів спеціального призначення. Отримання композиційних матеріалів вибраним методом є новим процесом, оптимізація якого потребує проведення системних досліджень отриманих матеріалів всіма доступними фізико-хімічними методами матеріалознавства.

1.3 Обґрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї

Як матеріали для електричних контактів широко застосовують срібло та псевдосплави типу срібло-оксид кадмію, срібло-вольфрам тощо, отримані за допомогою порошкової металургії.

В Україні розроблено принципово нові мікрокристалічні та мікрошарові матеріали для розривних електричних контактів на основі мідь-молібден. Виготовляються подібні матеріали за допомогою високошвидкісного електронно-променевого випаровування та подальшої конденсації у вакуумі металевих та неметалічних матеріалів.

Нові матеріали, що отримали назву МДК, сертифіковані та випускаються згідно

з ТУ У 24.4-33966101-001:2014 підприємством ТОВ «НВП «ЕЛТЕХМАШ», м.Вінниця.

Планується виготовляти матеріал марок МДК-1, МДК-2, МДК-3.

Параметри для марок наведені в таблиці 1.1.

Товщина МДК і граничне відхилення по товщині повинні відповідати вимогам, що вказані в таблиці 1.2.

Розміри матеріалу МДК:

а) ширина – від 6,0 мм до 300,0 мм, кратними 2 мм;

б) довжина – від 6,0 мм до 300,0 мм, кратними 2 мм;

МДК виготовляються у відповідності із хімічним складом, вказаним в таблиці 1.3.

Таблиця 1.1 – Параметри матеріалу для електричних контактів

Показник	Норма для марок		
	МДК-1	МДК-2	МДК-3
мінальний струм контактів, А	до 10	до 70	більше 70
Питомий електричний опір, Ом×мм^2/м	0,021-0,022	0,022-0,024	0,024-0,028

Таблиця 1.2 – Товщина матеріалу МДК

Номінальна товщина, мм	Граничне відхилення по товщині, мм
0,1; 0,15; 0,2; 0,4; 0,5;	±0,04
0,6; 0,7; 0,8; 0,9;	±0,06
1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8;	±0,1
2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8;	±0,2
3,0; 3,2; 3,4; 3,6; 3,8;	±0,25
4,0 – 6,0	±0,3

Таблиця 1.3 –Хімічний склад матеріалу МДК

Марка МДК	Хімічний склад, % , по масі		
	Основа: мідь-молібден		Цирконій, ітрій, оксиди РЗМ
	Номінальний вміст молібдену	Загальна кількість міді	
МДК-1	2,5-5,0	Інше – мідь	не більше 0,8
МДК-2	5,1-8,0		не більше 0,8
МДК-3	8,1-12,0		не більше 0,8

1.4 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї

Для виготовлення МДК використовуються зливки міді – Cu, зливки молібдену – Mo, а також наважки ітрію –Y, цирконію – Zr, і фториду кальцію – CaF_2.

Хімічний склад вказаних матеріалів повинен відповідати вимогам:

- мідь М0, М1, М2, М3 по ДСТУ 859:2003 Мідь. Марки (ГОСТ 859-2001, IDT);
- молібден марки МЧ по ТУ 48-19-247-87;
- цирконій марки КТЦ-100 ТУ 48-4-503-88, або цирконій йодидний;
- ітрій металевий ІТМ-1, ІТМ-2 ТУ 48-4-208-72;
- фтористий кальцій з вмістом основної речовини не менше 98%, по діючій нормативній документації.

Оскільки в процесі випаровуваня у вакуумі і осадженні конденсованого матеріалу його значна частина (до 25 %) осідає не на спеціальну підкладку, а на стінки робочої камери, при накопиченні достатньої кількості його можливо використовувати повторно. Для цього цей конденсат піддають переплаву, шихтуючи разом з чистою міддю. Так як наша дільниця розташовується в цеху електронно-променевої плавки, для цього використовуватиметься плавильна електронно-променева установка.

Допускається використання кондиційних відходів МДК при наступному відношенні компонентів по масі:

- відходи МДК (конденсату, що осідає на стінках камери) – 50%;
- мідь марок М0, М0б, М1, М2, М3 – 50%.

При цьому основна частина молібдену у процесі переплаву осідає на дно технологічної проміжної ємності, таким чином не впливаючи на хімічний склад майбутнього зливка для випаровування.

1.5 Опис технологічних операцій

1.5.1 Підготовка зливків для випаровування

Зливки міді проточуються на токарному станку до діаметру 98,5 мм і згідно рис.1.2 для подальшого розміщення наважки цирконію та ітрію. Зливки молібдену проточуються до діаметру 68,5 мм. Після проточки зливки протираються бавовняною бяззю, змоченою в технічному спирті.

Підготовлені до випаровування зливки міді та молібдену зважуються на вагах з точністю до ±20г, їм присвоюється порядковий номер, що реєструється у журналі технологічного контролю отримання МДК. Зливки маркуються ударним способом ручними цифровими таврами.

Наважки цирконію, ітрію, готуються порізкою зливків або виливок на стружку. Стружку шихтових матеріалів промивають спиртом етиловим технічним і просушують повітрям.

Матеріали зважуються з точністю ±5,0 г і поміщаються на поверхні та в каналах мідного злитку (рис.1.2), у співвідношенні 70Zr30Y.

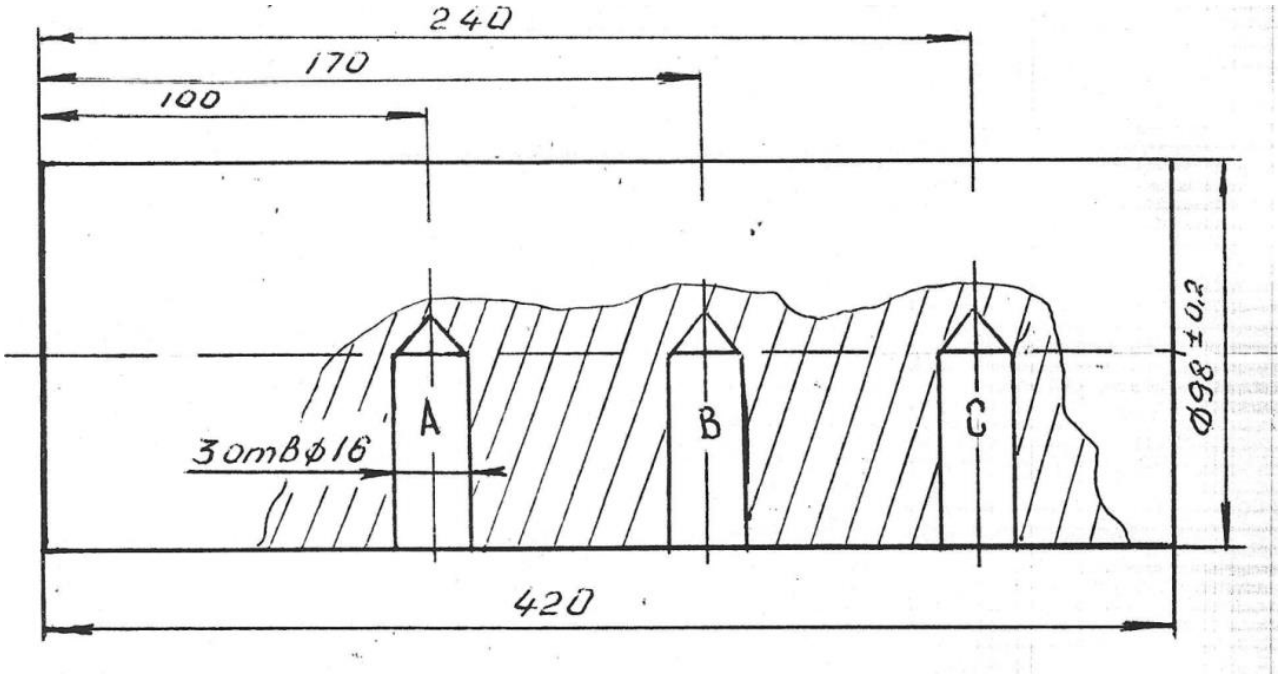


Рисунок 1.2 – Підготовка зливків міді до випаровування

Матеріали для випаровування у вигляді злитків завантажуються при відкритій

передній кришці камери напилення в механізми подачі злитків і опусканням штоків механізмів встановлюються у вихідне положення для випаровування (верхній торець злитка повинен бути на 5-7 мм нижче верхньої кромки мідного тигля).

Як розділовий шар застосовується фтористий кальцій, хімічний склад якого має відповідати діючій нормативній документації. Наважки CaF2 готуються зважуванням порошку на порції 0,025+0,030 г на вагах ВЛР-200 з точністю ± 0,25мг та поміщаються на поверхні злитка молібдену.

1.5.2 Установка підкладки для нанесення матеріалу

Перед кожним наступним процесом отримання конденсованого матеріалу здійснюється підготовка поверхні підкладки. Підкладка виконана у вигляді диску зі Ст3, діаметром 1000 мм і товщиною 20 мм. Шорсткість підкладки для осадження МДК, повинна бути не нижче за Ra = 0,63, Rz = 0,32 згідно ГОСТ 2769-73. Для цього використовується ручне шліфування поверхні перед кожною операцією. На поверхні підкладки не допускаються вибоїни, вм'ятини та царапини будь-яких розмірів.

Підкладка за допомогою маніпулятора завантажується в камеру напилення та закріплюється на штоку механізму обертання. Відстань від підкладки до поверхні тиглів для випаровування становить 450 мм. Після встановлення підкладки в оснастку, робочу поверхню підкладки протирають бавовняною тканиною, просоченею технічним етиловим спиртом.

1.5.3 Вакуумування камери

Після завантаження підкладки і вихідних матеріалів, що випаровуються, камера вакуумується. Відкачування низького вакууму з камери здійснюється двома форвакуумними насосами АВЗ-125 і триває до 30 хв. Високий вакуум відкачується трьома дифузійними насосами Н-400, яким послідовно допомагають бустерні

насоси НВБМ-0,5 протягом 45хв. Після досягнення вакууму 1… 2,2х10^{-4} мм.рт.ст. можна включати електронно-променеві нагрівачі та починати технологічний процес.

Послідовність дій оператора при вакуумуванні камери виглядає наступним чином:

1) Включити комутуючі апарати кожного фідера на цеховому розподільчому пристрої.
2) Включити автомати у шафах керування вакуумом.
3) Увімкнути автоматичні вимикачі у шафі ПЗА.
4) Закрити двері шаф та огорож.
5) Перевірити працездатність оглядової системи.
6) Закрити усі затвори вакуумних магістралей.
7) Подати гарячу воду в гідроблоки, а потім у систему охолодження елементів обладнання, що знаходиться всередині вакуумного об'єму, для його прогріву з метою запобігання можливості появи конденсату на зовнішніх поверхнях. Після прогріву протягом 10-15 хв. Перекрити подачу гарячої води в гідроблоки.
8) Подати холодну воду на механічні та дифузійні насоси.
9) Увімкнути форвакуумні агрегати NL1, NL2.
10) Відкрити затвори VM4, VM5, VM7.
11) Увімкнути нагрівачі насосів ND1-ND6.
12) Включити вакуумметри, заміряти вакуум у камерах та паромасляних насосах.
13) При досягненні в камерах тиску 13,3 Па (1х10-1 мм. Рт. ст.) – закрити затвор VM4, відкрити затвор VM5, VM6. Виміряти вакуум у камерах.
14) Переконавшись у нормальному функціонуванні вакуумної системи, подати холодну воду на інші вузли установки, що охолоджуються.
15) Дочекатись досягнення вакууму в камерах 2,2х10-4 мм. рт. ст.

1.5.4 Нанесення розділового шару на підкладку для відділення матеріалу від неї

Осадження розділового шару CaF_2 відбувається у вакуумі при залишковому тиску не вище 2,0 х 10^{-4} мм.рт.ст., після нагрівання підкладки, що обертається.

Натікання атмосфери в камеру перед початком процесу нагрівання підкладки з 10^{-4} до 10^{-3} мм.рт.ст. допускається за час щонайменше15 хв. Швидкість обертання підкладки повинна бути в межах 28…54 об/26т..

Після перевірки рівня натікання включаються розжарення катодів електронно-променевих нагрівачів. Тривалість прогріву катодів складає 15 хв.

Нагрів підкладки здійснюється за режимом:

- II_2 – 0,6А; I_4 – 0,6А; витримка 10 хв.
- II I_2 – 0,6А; I_4 – 1,1А; витримка 10 хв.
- III I_2 – 0,6А; I_4 – 1,5А; витримка 20 хв.

Паралельно прогрівається поверхня злитка міді в робочому режимі I_1 = 0,1-0,3 А.

Температура підкладки перед конденсацією розділового шару повинна складати 600 ± 50°С.

Для запобігання повторному випаровуванню CaF_2 перед осадженням розділового шару струми променів підігріву підкладки зменшують до 0,0 А.

При досягненні заданої температури (600± 50°С) підкладки випаровують наважку CaF_2 . Струм електронного променю становить 0,2 – 0,5 А.

Час нанесення підшару 2…3хв.

Після закінчення процесу нанесення розділового шару на підкладку, виконують підготовку вихідних матеріалів до випаровування (вихід на режим).

1.5.5 Осадження вихідних матеріалів на підкладку

Сплавлення наважки Zr-Y з міддю проводиться в наступній послідовності:

- розігрів концентрованим електронним променем міді до рідкого стану;
- підведення рідкої ванни міді до наважки Zr-Y відхиленням електронного променя;
- сплавлення Zr-Y з міддю (супроводжується розбризкуванням Zr та Y;
- розігрів ванни Zr-Y сканuючим електронним променем до закінчення розбризкування.

Розігрів зливків молібдену здійснюють ступінчастим збільшенням струму електронного променю. Процес розігріву молібдену виконується одночасно зі сплавленням міді з наважкою Zr-Y.

Вихід на режим є закінченим при досягненні струмів випаровування міді I_1 =3,0…3,4А та молібдену I_5 = 1,8…2,2А.

Після виходу на режим проводиться одночасне осадження вихідних матеріалів згідно з маркою МДК. Співвідношення довжини вихідних матеріалів для випаровування показано в таблиці 1.4.

Після випаровування 10 мм зливка міді включають підігрів підкладки I_2 =0,2А.

Час осадження МДК на підкладку визначається його заданою товщиною. Мінімальний час охолодження конденсованого матеріалу в технологічній камері становить 300хв.

Після закінчення процесів конденсації та охолодження, конденсований матеріал і зливки витягують з технологічної камери і зважують з точністю до 50г.

Таблиця 1.4 – Співвідношення довжини вихідних матеріалів для отримання необхідної марки МДК (мм)

МДК-1		МДК-2		МДК-3	
Cu	Mo	Cu	Mo	Cu	Mo
10	1	8	1	6	1
20	2	16	2	12	2
30	3	24	3	18	3
40	4	32	4	24	4
50	5	40	5	30	5
60	6	48	6	36	6
70	7	56	7	42	7
80	8	64	8	48	8
90	9	72	9	54	9
100	10	80	10	60	10
110	11	88	11	66	11
120	12	96	12	72	12
130	13	104	13	78	13
140	14	112	14	84	14
150	15	120	15	90	15
160	16	128	16	96	16
170	17	136	17	102	17
180	18	144	18	108	18
190	19	152	19	114	19
200	20	160	20	120	20
210	21	168	21	126	21
220	22	176	22	132	22
230	23	184	23	138	23

Продовження таблиці 1.4

240	24	192	24	144	24
250	25	200	25	150	25
260	26	208	26	156	26
270	27	216	27	162	27
280	28	224	28	168	28
290	29	232	29	174	29
300	30	240	30	180	30
		248	31	186	31
		256	32	192	32
		264	33	198	33
		272	34	204	34
		280	35	210	35
		288	36	216	36
		296	37	222	37

1.5.6 Технічний контроль якості продукту

Кожна партія конденсованого матеріалу піддається контролю якості. Поверхня МДК повинна бути очищена від забруднення, яке затрудняє візуальний огляд. На поверхні допускаються дефекти у вигляді поодиноких бризок. Шорсткість поверхні МДК повинна відповідати вимогам вказаним у конструкторській документації.

Після візуального огляду конденсований матеріал відправляється на порубку гідравлічними гільйотинними ножицями. Диск МДК рубається навпіл на 2 півдиски, які, в залежності від потреб замовників, або рубаються на прямокутні пластини заданих розмірів, або відправляються на склад готової продукції. З кожної партії, при цьому, вирубується зразок-свідок для проведення випробування на розшарування матеріалу.

Технологічні прийоми перевірки конденсованих матеріалів на розшарування:

1) Включити в мережу муфельну піч ПМ-8 і потенціометр КСП-4.
2) Піч повинна включатися в мережу при положенні перемикача на 1-й степені.
3) Температура в печі постійно підтримується в автоматичному режимі потенціометром КСП-4 у межах 750±20°С.
4) При досягненні заданої температури в піч поміщають зразки-свідки.
5) Витримка зразків-свідків у печі при заданій температурі становить 3 хв.
6) Нагріті зразки-свідки вилучаються з печі та поміщаються у ємність з водою кімнатної температури.
7) Витримка зразків-свідків у воді – 30 сек.
8) Охолоджені зразки витягують з ємності з водою та встановлюються в механізм вигину зразків.
9) Зразки згинаються на кут 90° на радіусі 1 мм.

Контроль якості зразків після випробування на розшарування

Контроль вигину зразків свідків проводиться візуальним оглядом за допомогою лупи.

Придатними до експлуатації є матеріали МДК, в яких на зламі зразків не спостерігається поздовжнього розшарування матеріалів.

На згині зразків-свідків допускаються поперечні тріщини.

Результати контролю зразків-свідків заносяться в технологічний журнал.

Основним видом дефектів конденсованих матеріалів МДК є їхнє поздовжнє розшарування.

Якщо поверхня розшарування спостерігається темною, окисленою, тоді партія матеріалу МДК відбраковується.

При чистій поверхні розшарування матеріали МДК піддаються високотемпературному відпалу у вакуумі в печі СНВЕ 16/13.

Основні режими відпалу: $T_{відп}$ - 900 °С ; час – 3 год; вакуум 1,0…2,0 х 10^{-4} мм.рт.ст.

Дозволяється відпалювати за один технологічний прийом матеріали різних партій. Після відпалу матеріали повторно перевіряються на розшарування за цією інструкцією.

За наявності повторного розшарування зразків матеріали МДК зазначеної партії відбраковуються.

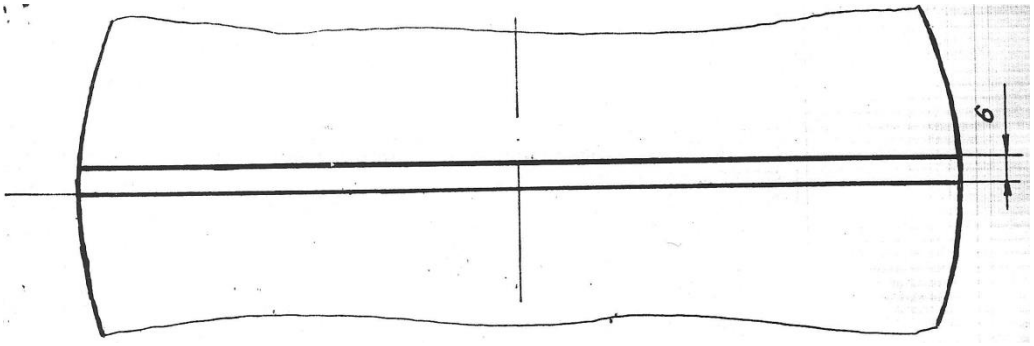


Рисунок 1.4 – Схема вирубки зразків-свідків

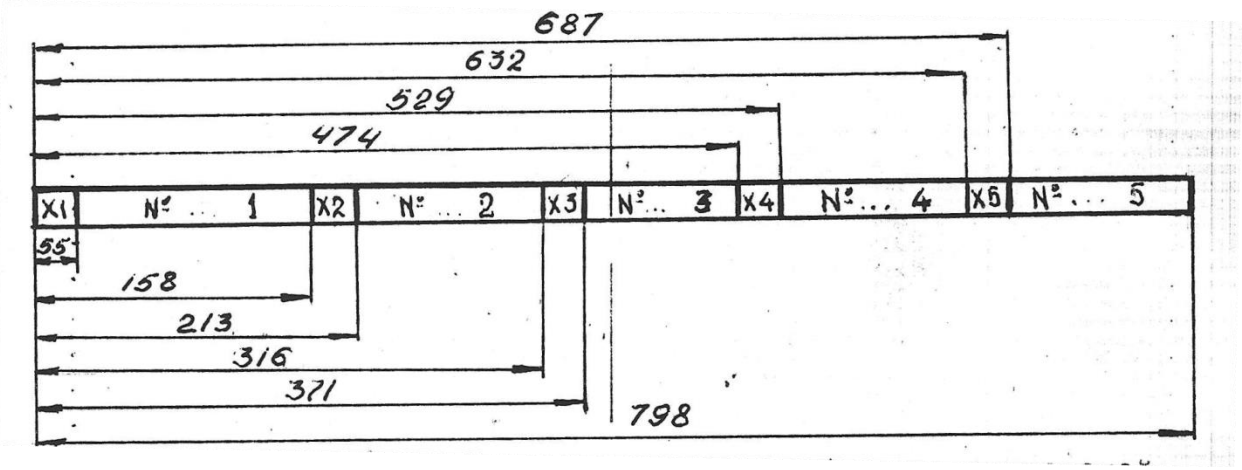


Рисунок 1.5 – Геометричні розміри і розмітка зразків-свідків

1.6 Розрахунок і складання матеріального балансу

Матеріальний баланс є важливим інструментом для контролю, планування та управління матеріальними ресурсами в промислових процесах. Він дозволяє ефективно використовувати ресурси, зменшувати втрати та покращувати

економічну ефективність виробництва. Баланс часу роботи цеху з урахуванням неробочих днів наведено в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 – Баланс часу роботи цеху

Елементи балансу	Кількість днів
Календарна кількість днів	365
Загально-національні свята	9
Вихідні дні	104
Час на планово-попередній ремонт	12
Неробочі дні	125
Робочі дні цеху	240

Особливістю отримання конденсованого композиційного матеріалу в електронно-променевій установці є складність та велика тривалість технологічного процесу (чистка камери, завантаження зливків і підкладки,час на вакуумування, підігрів підкладки, вихід на режим нагрівачів, тривале випаровування і осадження конденсату, охолодження). Тому за одну робочу зміну (8 год) можливо отримувати один конденсат на підложці. Решта технологічних операцій (підготовка зливків і підкладки до наступного процесу, порубка конденсату, контроль на розшарування) забезпечується паралельно іншими робітниками і суттєво не впливає на загальний час виконання роботи.

Густина конденсату марки МДК-3 становить 9,05-9,1 г/см^3.

Площа підкладки – 7850см^2, маса конденсату товщиною 1 мм – 7,1 кг, 2 мм – 14,2 кг.

Плановий річний випуск продукції цеху згідно завдання проекту складає –

3 000 кг/рік.

В залежності від необхідної товщини матеріалу для різних електричних контактів, з урахуванням, що найбільшим попитом користуються матеріали для контактів товщиною 2-3 мм, визначимо необхідну кількість робочих днів цеху на рік, виходячи з його добової продуктивності за готовою продукцією 14,2 кг:

$$A = \frac{G}{n} = \frac{3000}{14{,}2} = 212$$

Оскільки планується випускати також матеріали для контактів більшої товщини і, відповідно більшої маси, то реальна кількість необхідних робочих днів буде ще менше.

Решту робочих днів відведемо для урахування необхідності отримання матеріалів з товщиною менше 2 мм і відповідно меншою вагою, а також на незаплановані можливі технологічні проблеми чи вихід певних вузлів обладнання та їхній ремонт.

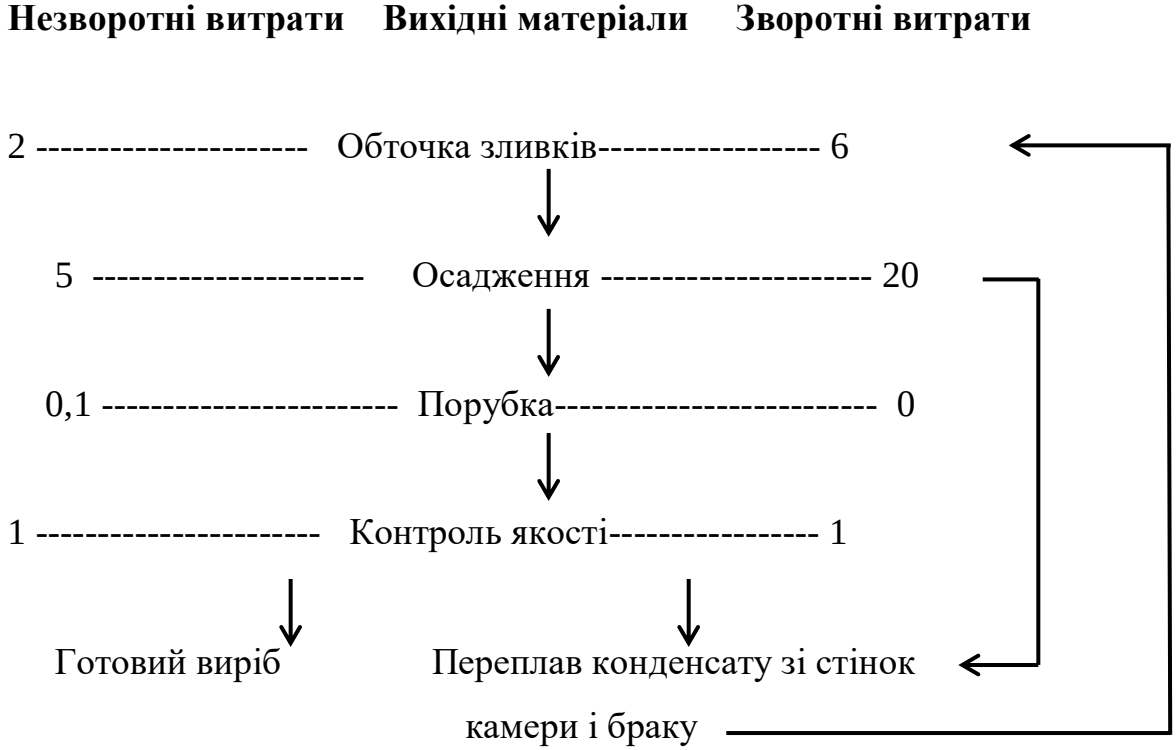


Рисунок 1.6 – Витрати на операціях з виготовлення парофазних композиційних матеріалів на основі міді

Для визначення виходу придатного проводимо такі розрахунки. Визначимо прямий пооперaційний витяг на кожній операції:

$$\eta_1 = 100-(a+b) = 100-(2+6) = 92\ \%$$

$$\eta_2 = 100-(5+20) = 75\ \%$$

$$\eta_3 = 100-(0{,}1+0) = 99{,}9\ \%$$

$$\eta_4 = 100-(1+1) = 98\ \%$$

Відсоток відходів при операції з переплаву конденсату зі стінок камери, а також браку вже включено в попередні операції.

Визначимо загальний витяг на кожній з операцій відносно матеріалу:

$$\varphi_1 = \eta_1 = 92\ \%$$

$$\varphi_2 = \frac{92 \cdot 75}{100} = 69\ \%$$

$$\varphi_3 = \frac{69 \cdot 99{,}9}{100} = 68{,}93\ \%$$

$$\varphi_4 = \frac{68{,}93 \cdot 98}{100} = 67{,}55\ \%$$

Визначаємо кількість сировини, яка має надійти на початок процесу:

$$A_0 = \frac{A}{\varphi} = \frac{14{,}2}{67{,}55} \cdot 100\% = 21{,}02\ \text{кг}$$

Визначаємо втрати відносно вихідного матеріалу на кожній операції. Розрахунки проводимо згідно з формулою:

$$\alpha_n(\beta_n) = \frac{(\alpha_n(\beta_n) \cdot \varphi_{n-1})}{100}$$

Зворотні Незворотні

$\alpha_1 = a_1 = 6 \quad \beta_1 = b_1 = 2$

$$\alpha_2 = \frac{20 \cdot 92}{100} = 18{,}4 \quad \beta_2 = \frac{5 \cdot 92}{100} = 4{,}6$$

$$\alpha_3 = 0 \quad \beta_3 = \frac{0{,}1 \cdot 69}{100} = 0{,}069$$

$$\alpha_4 = \frac{1 \cdot 68{,}93}{100} = 0{,}689 \beta_4 = \frac{1 \cdot 68{,}93}{100} = 0{,}689$$

Абсолютні витрати становлять за формулою:

$$q_n^a(q_n^b) = \frac{(\alpha_n(\beta_n) \cdot A_0)}{100}$$

Зворотні Незворотні

$$q_1^a = \frac{21{,}02 \cdot 6}{100} = 1{,}26 q_1^b = \frac{21{,}02 \cdot 2}{100} = 0{,}41$$

$$q_2^a = \frac{21{,}02 \cdot 18{,}4}{100} = 3{,}87\ q_2^b = \frac{21{,}02 \cdot 5}{100} = 1{,}05$$

$$q_3^a = 0\ q_3^b = \frac{21{,}02 \cdot 0{,}069}{100} = 0{,}015$$

$$q_4^a = \frac{21{,}02 \cdot 0{,}689}{100} = 0{,}145 q_4^b = \frac{21{,}02 \cdot 0{,}689}{100} = 0{,}145$$

Обрахуємо масу зворотних витрат, та масу яка повинна надходити на початок процесу (В):

$$B = A_0 - \Sigma q$$

$$B = 21{,}02 - 5{,}275 = 15{,}74 (кг)$$

Визначаємо масу матеріалу, що надходить на кожну операцію і виходить з неї.

На першу операцію:

– надходить: 15,74 кг;

– виходить: 15,74 + 1,26 −0,41 = 16,59 кг;

На другу операцію:

– надходить: 16,59 кг;

– виходить: 16,59 +3,87 –1,05 = 19,41 кг;

На третю операцію:

– надходить: 19,41 кг;

– виходить: 19,41 – 0,015 = 19,395 кг;

На четверту операцію:

– надходить: 19,395 кг;

– виходить: 19,395+0,145 – 0,145 = 19,395 кг.

Отримані результати зведені до таблиці 1.6

Таблиця 1.6 – Пооперaційний матеріальний баланс

Назва операції	Пооперaційні витрати, %			Пряме пооперaційне вилучення, %	Загальне вилучення, %	Втрата відносно введеного матеріалу, %		Абсолютні втрати, кг		Маса матеріалу, що надходить на операцію, кг		Маса матеріалу, що виходить з операції, кг
	Зворотні	Незворотні	Загальні			Зворотні	Незворотні	Зворотні	Незворотні	З попередньої операції	Всього	
Обточка зливків	6	2	8	92	92	6	2	1,26	0,41	15,74	17,00	16,59
Осадження конденсату	20	5	25	75	69	18,4	4,6	3,87	1,05	16,59	20,46	19,41
Порубка матеріалу	0	0,1	0,1	99,9	68,93	0	0,069	0	0,015	19,41	19,41	19,395
Контроль якості	1	1	2	98	67,55	0,689	0,689	0,145	0,145	19,395	19,54	19,395

1.7 Вибір обладнання

1.7.1.Обладнання для підготовки зливків до випаровування

Для підготовки зливків до процесу випаровування і осадження в електронно-променевій установці здійснюється їхня попередня механічна обробка у відповідності з діаметром тиглів для випаровування. При цьому враховується необхідний технологічний допуск для безперешкодного піднімання зливку у тиглі, стінки якого також запилюються конденсатом у процесі.

Для обточки зливків до необхідного діаметру а також для отримання стружки цирконію та ітрію використовується токарно-гвинторізний верстат 1К62.

Технічні характеристики:

1. Найбільший діаметр заготовки: 400 мм над станиною, 220 мм над супортом.
2. Гранична вага оброблюваних заготовок: найбільша вага деталі, що встановлюється в патроні, — 300 кг, на центрах — 1,3 тонни.
3. Максимальна відстань поздовжнього руху супорта (означає, і довжина оброблюваної деталі) –930 мм.
4. Найбільший рекомендований діаметр заготовки, що проходить через внутрішньошпиндельний отвір – 45 мм (сам отвір 47 мм). Розмір посадкового конуса в шпинделі – Морзе №6, а в пінолі задньої бабки – Морзе №5.
5. Максимальна відстань, на яку можна висунути пінолі задньої бабки – 200 мм.
6. Висота державки різців, що встановлюються в різцетримачі – 25 мм.
7. Габаритні розміри верстата з міжцентровою відстанню 1000 мм: по довжині – 2812 мм, по ширині – 1166 мм та у висоту – 1324 мм.
8. Вага верстата 1К62 з тією самою відстанню між центрами – 2140 кг.
9. Нарізання метричних різьблень з кроком у межах від 1 до 192 мм.
10. Нарізання дюймових різьблень з кроком різьблення від 2 до 24 ниток на 1 дюйм.

11. Виконує модульні різьблення з кроком в межах від 0,5 до 40 модулів.
12. Виконує різьблення піч з кроком в межах від 1 до 96 пітчів.
13. Межі числа оборотів шпинделя – від 12,5 до 2000 об/хв.
14. Межі поздовжніх подач супорта – від 0,07 до 4,16 мм/об., поперечних – від 0,035 до 2,08 мм/об.

1К62 за паспортом та технічними характеристиками оснащений чотирма електродвигунами:

- двигуном головного приводу потужністю 10 квт;
- двигуном швидких переміщень потужністю 0,8 кВт;
- двигуном гідростанції з потужністю 1,1 кВт;
- двигуном насоса охолодження з 0,125 кВт потужності.

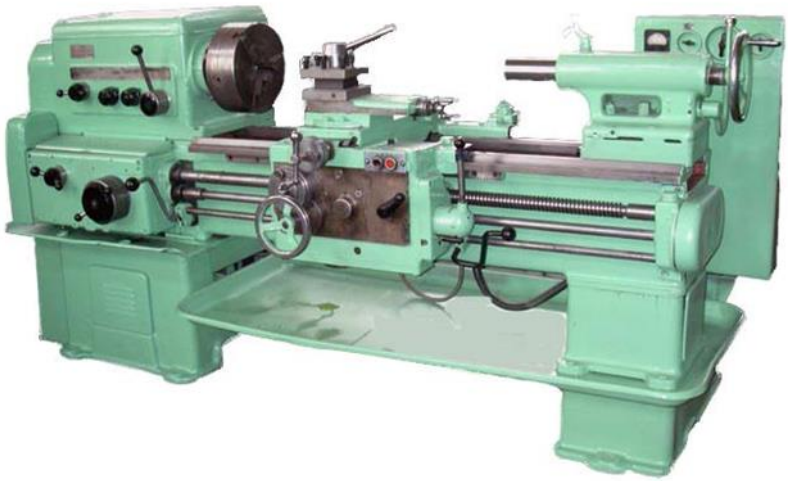


Рисунок 1.7 – Токарний верстат 1К62

Відповідно то технологічної інструкції у зливках міді проточуються поперечні отвори для розміщення наважки цирконію та ітрію.

Для цього використовується свердлильний верстат 2А135, технічні параметри якого наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічні параметри вертикально-сверлильного верстата 2А135

Макс. Ø свердління (сталь), мм	35
Розміри роб. поверхності стола, мм	450 х 500
Діапазон швидкостей шпинделя, об/хв	68-1100
Напруга живлення, В	380
Потужність двигунів, кВт	4.5
Габаритні розміри, мм	1240 х 810 х 2500
Маса, кг	1300

1.7.2 Обладнання для процесу вакуумного осадження конденсованого матеріалу

Електронно-променеве високошвидкісне випаровування з наступною конденсацією у вакуумі є головною складовою технологічного процесу, який застосовується при отриманні тонких (до 5 мкм) плівок для радіотехніки, мікроелектроніки, обчислювальної техніки та ін., а також товстих (більше 5 мкм), що використовуються в якості ефективних захисних і зносостійких покриттів.

Прогнозна оцінка світового виробництва металевих матеріалів з різними технологічними процесами (традиційної металургії та осадження з парової фази, включаючи тонкі плівки, одержувані способом магнетронного розпилення металевих мішеней) свідчить про подальше зростання виробництва нових матеріалів, отриманих осадженням парової фази у вакуумі.

Незважаючи на очевидні переваги, вакуумні покриття не завжди економічно виправдані, оскільки коефіцієнт їх використання зазвичай не перевищує 20%. Нездоланні труднощі при випаровуванні з одного джерела матеріалів на основі міді або срібла з добавками тугоплавких металів в тому чи іншому співвідношенні, відповідному складу сучасних електроконтактних матеріалів, виникають через різницю в пружності пари компонентів.

Значний науковий і практичний інтерес представляє застосування високошвидкісного електронно-променевого випаровування з наступною конденсацією металів і неметалів у вакуумі для отримання масивних композиційних матеріалів (КМ) — тобто товстих конденсатів для електрич- них контактів на основі міді та тугоплавких металів VIa групи — W, Mo та Cr. При впровадженні нових технологій завжди виникає ряд прикладних та наукових задач, однією з яких є економічна. За вартістю електроконтактні матеріали, одержувані способом випаровування з наступною конденсацією у вакуумі, повинні бути порівняні з подібними матеріалами, що виготовляють за допомогою порошкової металургії.

Найбільший інтерес представляє розробка і застосування для електричних контактів КМ, які не містять дорогоцінних металів, зокрема конденсатів на основі міді та металів VIa групи. За експлуатаційною надійністю конденсовані електроконтактні матеріали не повинні поступатися спеченим порошковим композиціям. З цією метою проведено удосконалення конструкцій промислового обладнання на НПП „ЕЛТЕХМАШ” (м. Вінниця), яке дозволяє виготовляти КМ на основі міді та тугоплавких металів (зокрема, W, Mo, Cr) із покращеними характеристиками для заміни срібловмістних матеріалів електроконтактного призначення при роботі на повітрі.

Удосконалена електронно-променева установка, яка отримала назву Л5, представлена на рис. 1.8. Устаткування обладнано системою диференціального відкачування з робочої камери і камери гармат, що дозволяє суттєво підвищити надійність роботи електронно-променевих нагрівачів, особливо при випаровуванні кераміки; високовольтним джерелом зі стабілізацією прискорюючої напруги при зміні навантажень або напруги в мережі. Блоки управління розгортками електронних пучків забезпечують до 1600 варіантів розгорток. Крім того, установку оснастили електронним блоком для отримання конденсованих матеріалів мікрошаруватого типу і блоками контролю якості і швидкості подачі зливку, що випаровується.

Рисунок 1.8- Зовнішній вигляд промислової електронно-променевої установки Л5 для одержання паро фазних конденсатів на основі міді

Розташування основних вузлів установки наведено на рис. 1.9, а схему технологічного процесу, що реалізується на ній, — на рис. 1.10. Технічні параметри установки представлено у таблиці 1.5.

Блок камер складається з робочої камери, де відбувається процес осадження матеріалів, які випаровуються, на виріб (підкладку) при вакуумі $(6—10)\cdot10^{-2}$ Па; камери гармат, відокремленої від технологічної камери водоохолоджуємою мідною плитою, на якій розміщено два нагрівача для випаровування матеріалів з тиглів, два нагрівача для нагріву виробу знизу і зверху. Електроживленням забезпечуються всі чотири електронних нагрівачів в будь-якому поєднанні. З правого боку технологічної камери вмонтовано камеру, куди ховається заслінка на час напилення. Знизу камери заслінки пристиковано два високовакуумних паромасляних насоса, що забезпечують необхідний ступінь вакууму в технологічній камері.

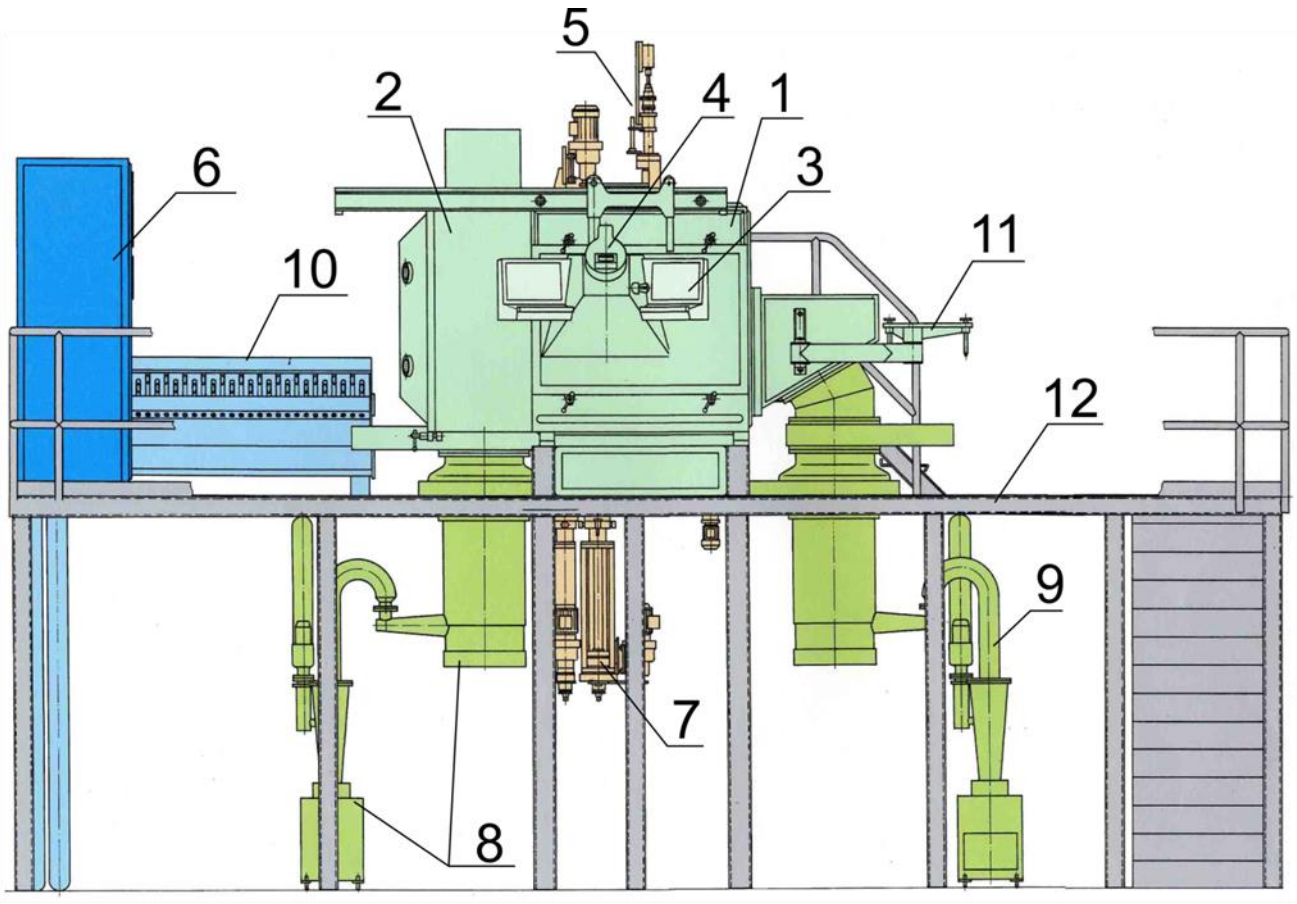


Рисунок 1.9 – Розташування основних вузлів установки Л5:

1 – технологічна камера; 2 – камера електронних гармат; 3 – пульт оператора; 4 – оглядова система; 5 – механізм підвіски та обертання підкладки; 6 – шафи електричних систем управління; 7 – механізми подачі зливків в тиглі; 8 – насоси вакуумної системи; 9 – магістралі вакуумної системи; 10 – гідроблок системи охолодження; 11 – маніпулятор; 12 – платформа обслуговування

На передній кришці технологічної камери, яка відкривається, встановлено оглядову систему для спостереження за процесом випаровування матеріалів з тиглів. Позаду технологічної камери розташовано дві оглядові системи для спостереження за нагріванням виробів знизу або зверху. Поруч з оглядовими системами знаходяться пульти управління електронними нагрівачами. Знизу технологічної камери пристиковано блок тиглів, до складу якого входять чотири мідних водоохолоджуваних тигля і чотири механізма подачі зливків, що випаровуються. Завантаження зливків, що випаровуються, з механізми проводиться зверху через тиглі.

Таблиця 1.8 – Технічні параметри установки Л5

Параметр	Величина
Максимальний діаметр напилюваної підкладки, мм	1000
Швидкість обертання підкладки на вертикальном штоці, об/хв	4.8…48
Товщина конденсату, мм	0,1…6
Швидкість конденсації, мкм / хв для металу	50 10
Вантажопідйомність механізму підвіски і обертання виробу, кг, не більше	100
Кількість тиглів, шт	2
Внутрішні діаметр тиглів, мм	70,100
Довжина зливків, що випаровуються мм, не більше	600
Швидкість подачі зливків, мм/хв	0,15…300
Відстань від верхнього зрізу тиглів до площини напилення, мм	550
Кількість і номінальна потужність електронних нагрівачів, n × кВт: для випаровування матеріалів з тиглів, для нагріву підкладки	2 x 100 2 x 60
Споживча потужність, кВт, не більше перетворювачем допоміжним обладнанням	230 50
Номінальна робоча прискорююча напруга, кВ	20
Рабочий вакуум в камерах, Па (мм рт. ст.) в межах:	$6\times10^{-3} – 1\times10^{-2}$ $(5\times10^{-5} – 1\times10^{-4})$
Напруга живильної трифазної мережі промислової частоти 50 Гц, В	380
Тиск води охолодження, Па (кг/см^2), в межах	$3\times10^5 – 4\times10^5$ (3 – 4)
Витрата води охолодження (при температурі 15°С), м^3 /год ,не більше	12

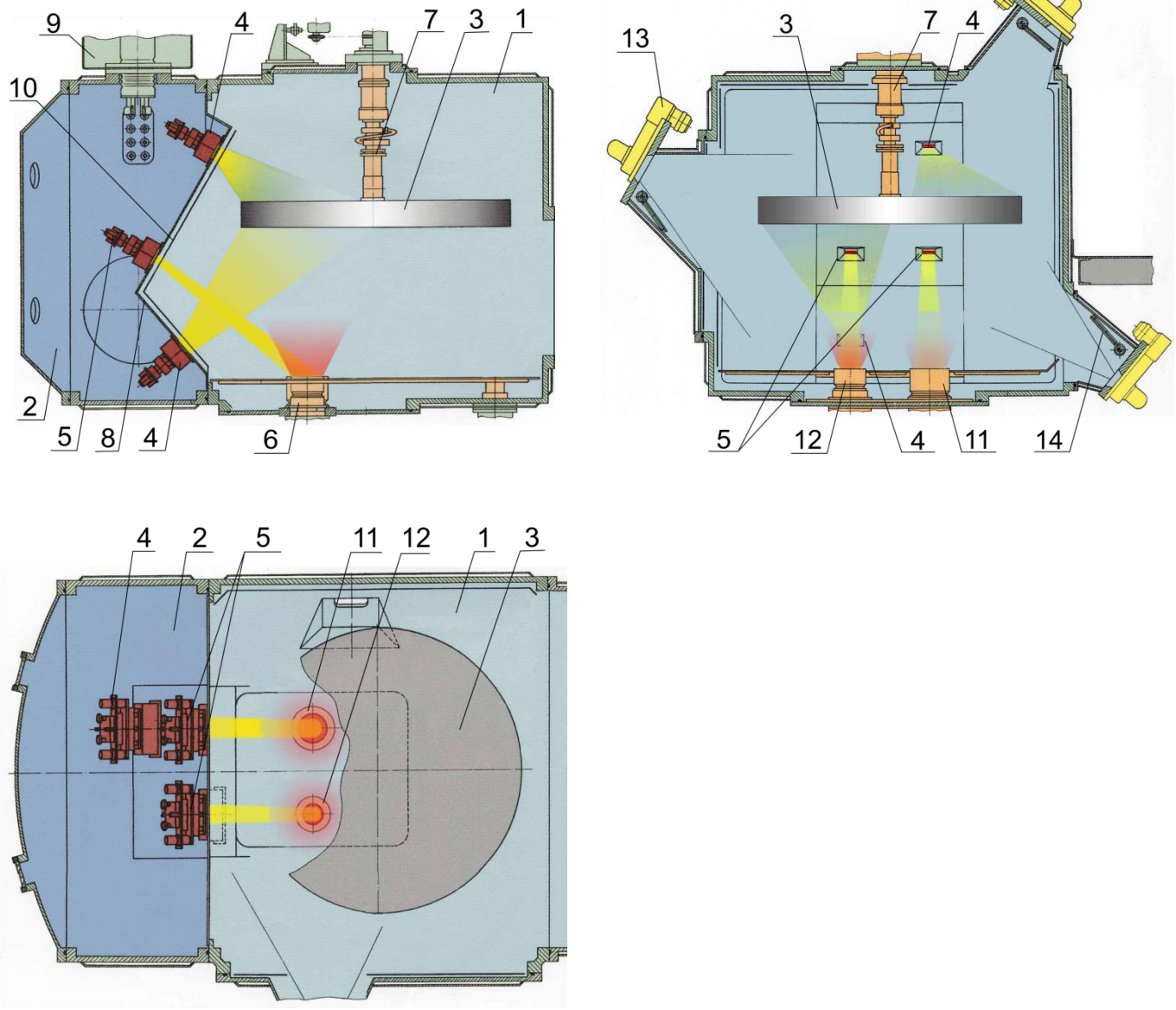


Рисунок 1.10 – Технологічна схема процесу осадження парофазних конденсованих матеріалів на установці Л5:

1 – технологічна камера; 2 – камера електронних гармат; 3 – підкладка; 4 – гармати для нагріву підкладки; 5 – гармати для випаровування матеріалів; 6 – блок тиглів; 7 – механізм підвіски та обертання підкладки; 8 – водоохолоджувана плита-перегородка; 9 -високовольтний електричний ввід; 10 – знімний екран; 11 – тигель Ø100 мм; 12 – тигель Ø70 мм; 13 – оглядова система; 14 – заслонка.

В залежності від прийнятої технології включаються електронні нагрівачі для нагріву підкладки (оснастки) зверху чи знизу. Зливки в тиглях розігріваються і виводяться на режим випаровування електронними нагрівачами.

Після досягнення заданих параметрів напилення на підкладку або заготовки, що покривають (температури підкладки, контрольованої термопарами, швидкості обертання і струмів променів електронних нагрівачів, які здійснюють випаровування матеріалів з тиглів) відкривається тигельна заслінка і проводиться осадження на підкладку або заготовку, що покривають, відповідно до технологічної інструкції. Після закінчення процесу напилення вимикаються електронні нагрівачі, виріб витримується в камері певний час для охолодження, в камеру напускається атмосферне повітря і проводиться вивантаження виробу.

1.7.3 Обладнання для порубки конденсованого матеріалу

Для порубки кондесованого матеріалу на необхідні розміри згідно технічних умов, а також умов замовників використовують гільйотинні ножиці кривошипні листові з похилим ножем Н3118 .

Технічні характеристики ножиць Н3118:

Призначені для прямого поздовжнього та поперечного різання листового металу. Різання аркуша відбувається за один хід ножа за розміткою або за упором.

Найбільша товщина розрізуваного листа – 6,3 мм.

Найбільша ширина розрізаних аркушів – 2000 мм.

Відстань від крайки нерухома. ножа до станини (виліт) – 500 мм.

Кількість ходів ножа за хвилину – 55 хід/хв.

Кут нахилу рухомого ножа – 1˚ 30'.

Ширина відрізуваного листа по задньому упору — найбільша 900 мм.

Хід ножа – 80мм .

Кількість різальних крайок ножа – 4 шт. .

Номінальне зусилля різання 20000 кг.

Габарити ножиць у плані спереду-назад: з подовжувачем – 1950 мм;

без подовжувача – 1930 мм; зліва-праворуч – 3160 мм.

Рисунок 1.11 – Загальний вигляд гільйотинних ножиць для порубки матеріалу

1.7.4 Обладнання для контролю конденсованих матеріалів на розшарування

Контроль матеріалів МДК на розшарування проводять на стенді СКР-1 (стенд контролю розшарування, рис.1.12). Стенд контролю розшарування конденсованих матеріалів представляє собою обладнання, розміщене на спеціальному столі та призначене для нагрівання зразків свідків, контролю температури печі, охолодження зразків у воді та їх вигину.

Обладнання для проведення контролю МДК на розшарування:

1) Піч муфельна типу ПМ-8.

Технічні дані: |

Напруга живлення – змінний струм 220 В, 50 Гц.

Максимальна споживча потужність – 2,4 кВт.

Максимальна температура всередині муфеля печі – 900 °С.

Внутрішні розміри муфеля печі – 500х190х120 мм.

Маса – не більше 29 кг.

2) Потенціометр типу КСП-4.

Технічні дані:

Клас точності – 1,0.

Живлення силової схеми прибору – від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц.

Споживча потужність – 16 ВА .

Швидкість просування діаграмної стрічки – 60,180,360,720 мм/год.

Габаритні розміри – 160х200х500 мм.

Маса – не більше 12,5 кг.

3) Ванна з водою. В

4) Механізм вигину зразків.

5) Лабораторні кліщі.

6) Металева лінійка, 1000 мм.

7) Штангенциркуль.

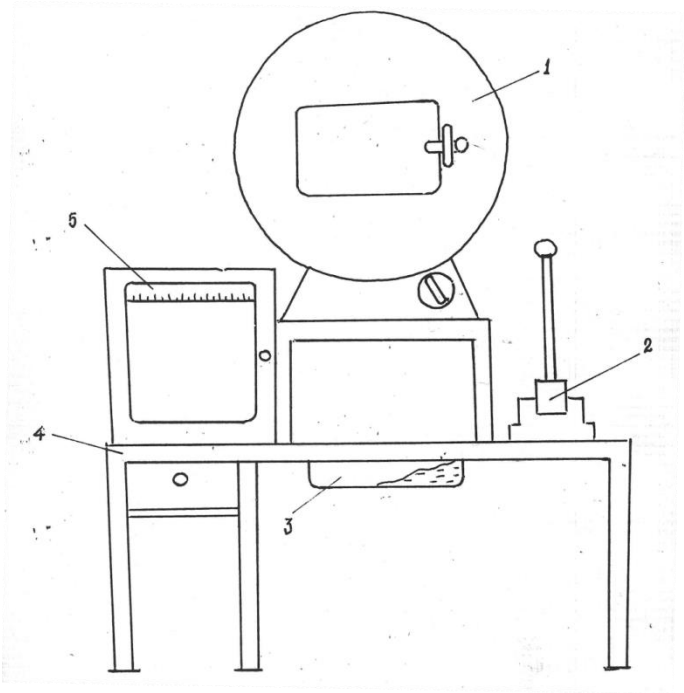


Рисунок 1.12 – Стенд контролю розшарування конденсованих матеріалів МДК:

1– муфельна піч ПМ-8; 2 – важільний механізм згину зразків; 3 – ванна з водою; 4 – стіл; 5 – потенціометр КСП-4.

Партія конденсованого матеріалу, з якої зразки-свідки мають ознаки поздовжнього розшарування піддається високотемпературному відпалу у вакуумі в печі СНВЕ.

Рисунок 1.13 – Загальний вигляд вакуумної електропечі опору CHBE-16/13

Таблиця 1.9 – Технічні параметри вакуумної електропечі опору CHBE-16/13

Потужність встановлена, кВт	30
Потужність номінальна електронагрівачів, кВт	16
Максимальна температура, °С	1400
Розміри робочого простору печі, L x B x H, мм	400 x 200 x 200
Маса садки, не більше, кг	20
Граничний вакуум в камері, Па (мм. рт. ст.)	$4{,}0*10^{-4}$ $(4{,}0*10^{-6})$
Номінальна напруга живлення, В	380/220
Число фаз нагрівача	1
Витрата води на охолодження печі, $м^3$/год	1,5
Габаритні розміри, L x B x H, мм	2650 x 1500 x 1850
Маса печі, не більше, кг	1100

2. БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Виробничі приміщення є важливою складовою будь-якого будівельного проекту, оскільки вони створюють умови для ефективного та безпечного виробництва. Виробничі приміщення повинні мати достатній розмір та правильну конфігурацію для забезпечення потрібного обсягу виробничих операцій та руху працівників та обладнання. Розташування робочих місць, прохідних шляхів та зон вантажопереміщення повинно бути обґрунтованою та ергономічною.

Проектування виробничих приміщень повинно враховувати оптимальне розташування робочих зон, складських приміщень, адміністративних приміщень та інших необхідних функціональних зон. Це дозволить ефективно використовувати простір і забезпечити зручність руху та комунікації. Виробничі приміщення повинні мати достатнє природне та штучне освітлення та відповідати вимогам пожежної безпеки, включаючи наявність пожежних виходів, вогнегасників, автоматичних систем пожежного сповіщення та гасіння. Наявність ефективної системи вентиляції є важливою для забезпечення чистого та безпечного повітря в приміщеннях, особливо виробничих зонах з викидами шкідливих речовин або пилу.

Врахування вимог до виробничих приміщень є ключовим елементом успішного будівельного проекту. Функціональність, безпека, енергоефективність та комфортність працівників є головними факторами, які слід брати до уваги при проектуванні та будівництві виробничих приміщень.

Ділянка з виготовлення конденсованих матеріалів МДК для електричних контактів розташована в цеху електронно-променевої технології у східній частині міста Вінниця. Рельєф ділянки – рівнинний. Грунти – переважно суписки.

Вітрові впливи характеризуються середньою швидкістю вітру по напрямках і повторюваністю (в %) по румбах.

На території цеху існують склади призначені для зберігання сировини та готової продукції. Поблизу цеху йде транспортна магістраль на Київ, Умань, Хмельницький. Таким чином, завод має транспортні зв'язки з усіма регіонами України. Цех для виготовлення конденсованих матеріалів для електричних контактів безпосередньо має під'їзні шляхи, що забезпечує можливість доставляти сировину та забирати готові вироби.

В залежності від об'єму продукції, що підлягає виготовленню прийнято розміри в плані 32,5 х 20,5 м, висоту до низу крокв'яних конструкцій 6 м. Передбачено встановлення воріт 4,0 х 3,0 м, а також двох дверей 0,9 х 2,1 м. На випадок евакуації використовуються ворота, рівномірно розміщені по периметру. Будівля відноситься до II класу відповідальності і відповідає ступеню вогнестійкості IIа. Будівля каркасної системи (конструктивна схема – з поперечним розташуванням ригелів).

Вертикальними несучими конструкціями є колони. Горизонтальними елементами (несучими) є суцільні залізобетонні балки і ребристі плити покриття. При проєктуванні каркасу будівлі були обрані залізобетонні конструкції. Будівля цеху– це одноповерхова рамна система. В поздовжньому напрямку це система розкріплена в’язями, а в протилежному напрямку розраховуємо як раму.

Основними несучими елементами каркасу будівлі є колони та двохскатні балки. Зовнішні стіни корпусу запроєктовані із збірних керамзитобетонних панелей по серії 1.452.-5 вип 1., товщина 200 мм з питомою вагою 1000 кг/м3. Вертикальні і горизонтальні шви між панелями заповнюються цементнопіщаним розчином марки М50 з послідуючою герметизацією мастикою УМС-50 і пофарбуванням фарбою ФВФ за 2 рази. Внутрішнє огородження в корпусі виконане із збірних залізобетонних панелей по серії 1.4.31-20 вип.2 товщиною 80 мм з питомою вагою 2500 кг/м3 , а також із звичайної глинястої цегли (ДЕСТ 530-80) марки 75 на розчині м 50 з питомою вагою 1200 кг/м3.

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

З відомих типів композиційних матеріалів, одержуваних методом випаровування-конденсації, дисперсно-зміцнених, мікропористих та мікрошарових [9-12], найбільш перспективними для створення наноструктурних систем є мікрошарові композиції. Формування внутрішньої наноструктури в шарах з міді та молібдену при температурах конденсації 700 °С очікується, якщо товщини шарів будуть менше 0,5-0,6 мкм, і вони не будуть схильні до розпаду. Основними технологічними факторами, що впливають на утворення шаруватої структури, є швидкість обертання підкладки і швидкість осадження компонентів, а на стабільність структури впливають товщина шарів, що чергуються, і температура конденсації. При отриманні подібних КМ важливе значення має також геометричне розташування тиглів і підкладки щодо тиглів. У технічній літературі [20] досить докладно описано розподіл атомів (молекул) при випаровуванні з точкового джерела (конусоїдальний закон розподілу). Очікуваний розподіл справедливий, якщо тиск пари незначний і коли процес випаровування не утруднений (наприклад, оксидними плівками, які можуть утворюватися на поверхні ванни, що випаровується). У реальних умовах отримання ККМ спостерігаються суттєві відхилення від зазначеного закону. У роботах [44, 45]. Визначено основні граничні умови, за яких можливе утворення шаруватої структури з товщиною одиничного шару менше 0,5 мкм при одночасному випаровуванні-конденсації міді та молібдену на підкладку, що обертається.

На рис. 3.1 представлена схема розподілу парових потоків міді та молібдену на підкладці. Видно, що при певному геометричному розташуванні тиглів, прийнятих при розрахунках за точкові джерела випаровування, і підкладки, що обертається, існують області розподілу практично чистих міді і молібдену, що випаровуються.

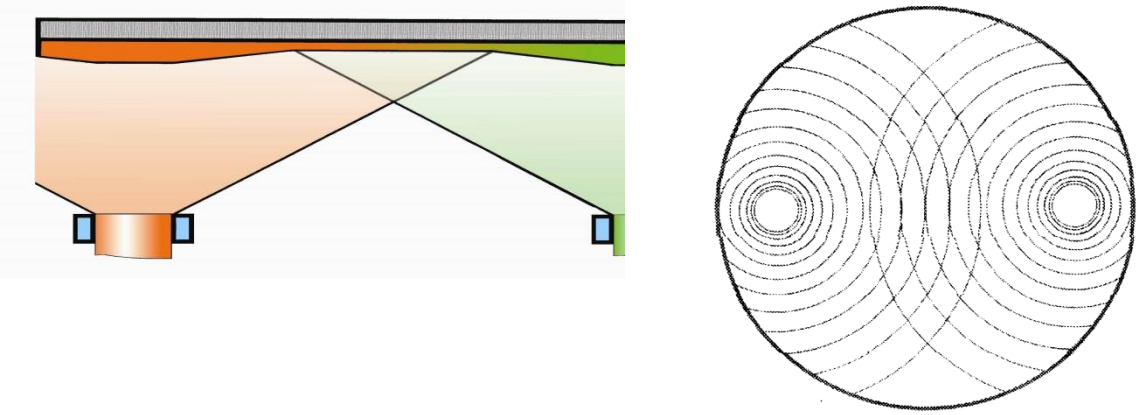


Рисунок 3.1 – Схема розподілу парового потоку при випаровуванні міді та молібдену з двох окремих тиглів: а – вид спереду; б – вид знизу

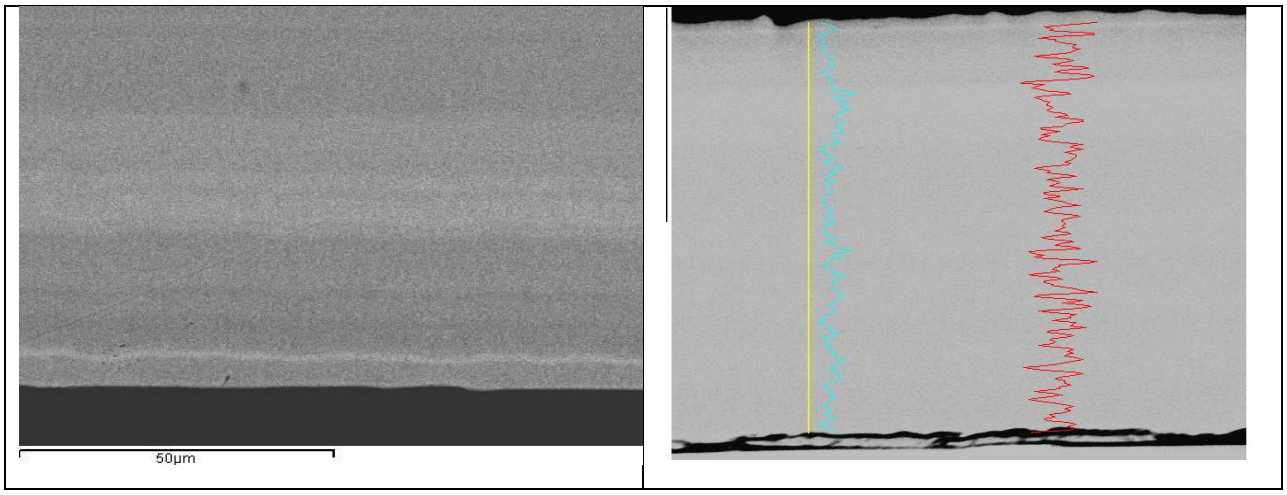
Щільність розподілу атомів міді і молібдену, що конденсуються, монотонно зменшується зі збільшенням діаметра підкладки. В результаті в певній зоні підкладки відбувається змішування парових потоків з утворенням перехідного шару між компонентами, що формують конденсат. Обертання підкладки забезпечує перехід від компонента А (міді) до компонента Б (молібдену) і навпаки. Відповідно до рис. 3.1 також можна зробити висновки, що на підкладці існують зони з мінімальною щільністю розподілу парових потоків міді та молібдену. У цих зонах найбільш ймовірно утворення оксидів і карбідів внаслідок взаємодії матеріалів, що випаровуються, з парами мастила вакуумних насосів (вуглецем) і з залишковою атмосферою робочої камери (киснем, азотом).

Комплексний хімічний та рентгенофазовий аналіз градієнтних КМ Cu – Mo товщиною 20-30 мкм, отриманих на стаціонарній підкладці, показав, що в конденсатах з боку випаровування міді присутній молібден (0,07-0,09 % мас.), а з боку випаровування молібдену – мідь (0,28- 0,45% мас.). У плівках також виявлені Zr та Y, загальний вміст яких не перевищував 0,07% мас., і оксиди міді (CuO) та молібдену (MoO_3). Їхня концентрація склала близько 3% мас. З цього випливає, що шари, що чергуються на основі міді, складаються з малолегованого сплаву на основі міді (Cu–Zr–Y), зміцненого дисперсними частинками Mo, MoO_3, CuO, а шари на основі молібдену містять дисперсні частинки Cu, CuO і Mo.

Зміцнення дисперсними частинками сприяє подрібненню структури та підвищенню термічної стабільності шарів, а плавний перехід від компонента А до компоненту В нівелює розпад шарів при підвищених температурах конденсації та зменшує рівень напруги, обумовлених різними КТЛР міді та молібдену.

За результатами рентгенофазового аналізу структура конденсату представлена двома основними фазами: ГЦК на основі міді та ОЦК на основі молібдену кристалічними ґратками. При цьому спостерігається сильне розмивання ліній молібдену та менш виражене ліній міді та їх зміщення у бік великих кутів. Зазвичай це характеризує матеріали з нанорозмірними частинками та зернами.

Обертання підкладки сприяє суттєвому зменшенню шаруватості та розкиду розподілу компонентів по товщині КМ, характерне для градієнтних композитів. На рис. 3.2 наведено типовий розподіл міді та молібдену в КМ Cu – (8-12 % мас.) Mo.

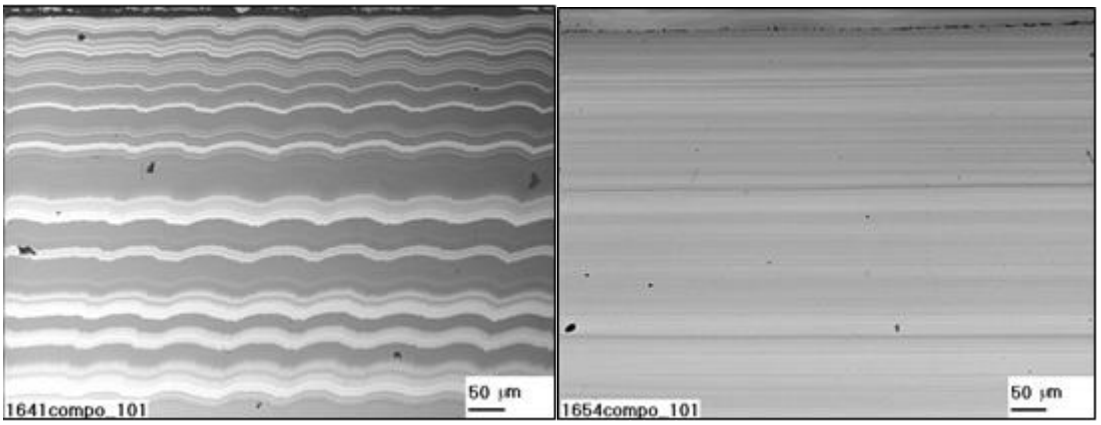


а б

Рисунок 3.2 – Шарувата структура композиційного матеріалу(Cu-0,1%Zr,Y)-(8-12% мас.Mo) (а) та розподіл міді й молібдену в КМ (б)

Для конденсованих композиційних матеріалів із вмістом Mo більше 5% мас. характерна ієрархія шаруватої структури на мікро (рис.3.3,а) та субмікронному рівнях (рис.3.3,б). Утворення шаруватої структури на мікрорівні обумовлено особливостями випаровування технічно чистих компонентів досліджуваних КМ, у яких є домішки. У рідкій (випаровуваній) ванні відбувається накопичення домішок. Тому на різних етапах технологічного процесу спостерігається випаровування малолегованих сплавів на основі міді та молібдену з різною концентрацією домішок.

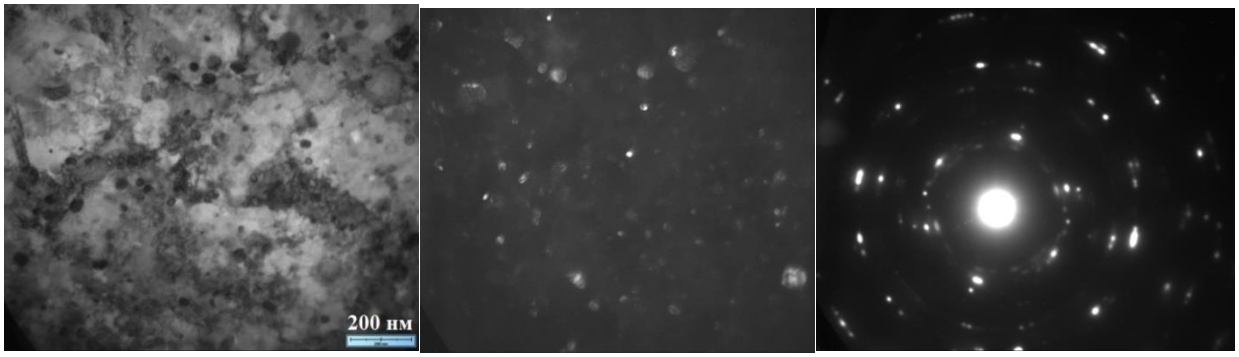
На процес утворення шаруватості також істотно впливають коливання швидкості випаровування вихідних компонентів, пов'язані зі змінами температури на поверхні рідких ванн, і наявністю оксидних плівок та ін.



а б

Рисунок 3.3 – Ієрархія шаруватої структури конденсатів на мікро-(а); та субмікронному рівнях х 100 (б)

Формування структури на субмікронному рівні (рис.3.3,б) здійснюється комплексним впливом обертання підкладки, що забезпечують утворення шарів товщиною менше 0,5 мкм і розпадом пересичених твердих розчинів на основі міді і молібдену. Електронно-мікроскопічні дослідження на просвіт шаруватих КМ Cu-(8-12) % мас. Mo показали, що середній розмір зерна міді коливається від 58 до 96 нм, молібдену від 46 до 62 нм.



а б в

Рисунок 3.4 – Трансмісійна елекктронна мікроскопія зразка КМ (Cu-0,1%Zr,Y)-(8-12%) Mo у світлому (а) і темному (б) полі та електронна дифракція дисперсної фази (в)

В об’ємі зерен рівномірно розподілені дисперсні частинки зміцнюючих фаз. Їх розмір коливається від 10 до 18 нм і залежить від природи фаз, що зміцнюють (оксиди, метали). Типове електронно-мікроскопічне зображення структури наведено на рис. 3.4 (а,б). Мікро-електронограма композиту (рис.3.4 в) має характерну кільцеподібну форму, властиву нанокристалічній структурі.

Таким чином можна дійти до висновків:

1. Структура ККМ на основі міді та молібдену складним чином залежить від технологічних умов їх одержання (хімічного складу випаровуваних злитків, швидкості їх осадження, умов осадження (стаціонарна або обертова підкладка), температури підкладки, глибини вакууму, геометричного розташування тиглів з випаровуваними матеріалами.

2. Типові дисперсно-зміцнені матеріали на основі Cu і Mo, конденсовані з парової фази при температурах підкладки 700-900 °С можна отримати у відносно вузькому концентраційному діапазоні зміцнюючої фази молібдену 0,1-3 % мас.

3. При вмісті молібдену 3-5% мас. відбувається зміна форми зміцнюючої фази з округлої в голчасту з орієнтованим її розташуванням у матеріалі у вигляді переривчастих ланцюжків, перпендикулярних до падіння парового потоку.

4. В області концентрації молібдену більше 5% мас. для ККМ характерна шарувата структура з суцільних шарів міді та молібдену. Стабільність суцільності шарів залежить від умов осадження КМ.

5. Експериментально підтверджено, що шаруваті ККМ на основі малолегованих сплавів на основі міді і молібдену товщиною до 6 мм, отримані на обертовій підкладці, нагрітій до температури 700 ±30 °С, відносяться до об'ємних нанокристалічних матеріалів, у яких розмір зерна не перевищує фази 18 нм.

4. РОЗДІЛ ОХОРОНА ПРАЦІ

Об'єктом проектування є виробнича дільниця для виготовлення парофазних конденсованих матеріалів на основі міді для електричних контактів, зокрема матеріалів, що отримали назву МДК. МДК виготовляють методом електронно-променевого випаровування з подальшою конденсацією в вакуумі змішаного парового потоку міді, молібдену, цирконію, ітрію та інших легованих добавок.

Призначення виробничої дільниці полягає у виготовленні матеріалу МДК, який зазвичай використовується у електричних контактах гірничо-шахтного устаткування, підйомно-транспортних механізмах, портових, корабельних кранах, міському транспорті, ліфтовому господарстві як замінник срібловмісних композицій.

Метою даного розділу є оптимізація процесу для забезпечення безпеки операторів та ефективного функціонування виробничої дільниці; проведення аналізу ризиків та розробка заходів з охорони праці, що забезпечують безпеку працівників під час роботи з матеріалами та обладнанням; врахування вимог нормативно-правової бази з охорони праці та виробничої безпеки, забезпечення дотримання стандартів та норм безпеки на робочому місці

4.1 Загальна характеристика об’єкту та умови його експлуатації

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров’я і дієздатності людини в процесі праці [38]. Головна мета охорони праці – забезпечити безпеку та здоров'я працівників під час виконання їхніх обов'язків на виробничій дільниці для гарячої штамповки. Це

досягається шляхом впровадження ефективних заходів превентив-ного характеру, які спрямовані на запобігання травмам, професійним захворюван-ням та інцидентам на робочому місці. При проектуванні дільниці важливо дотримуватися нормативно-правових документів, що регламентують умови експлуатації виробничої дільниці для виготовлення матеріалів МДК методом електронно-променевого випаровування і осадження [39]. Спроектована дільниця має наступну загальну характеристику:

1. Площа дільниці складає 660 квадратних метрів, що забезпечує достатньо місця для розташування обладнання, робочих місць та прохідних зон.
2. Об'єм дільниці становить 4000 кубічних метрів, що враховує необхідну висоту приміщення та може використовуватись для розрахунку вентиляційних та кондиціонерних систем.
3. Кількість працівників на дільниці – 7 осіб. Це оператори електронно-променевої установки, а також робітники з обслуговування обладнання, які здійснюють операції з механічної обробки, порубки та інші операції.

Узагальнений план дільниці представлено на рисунку 4.1.

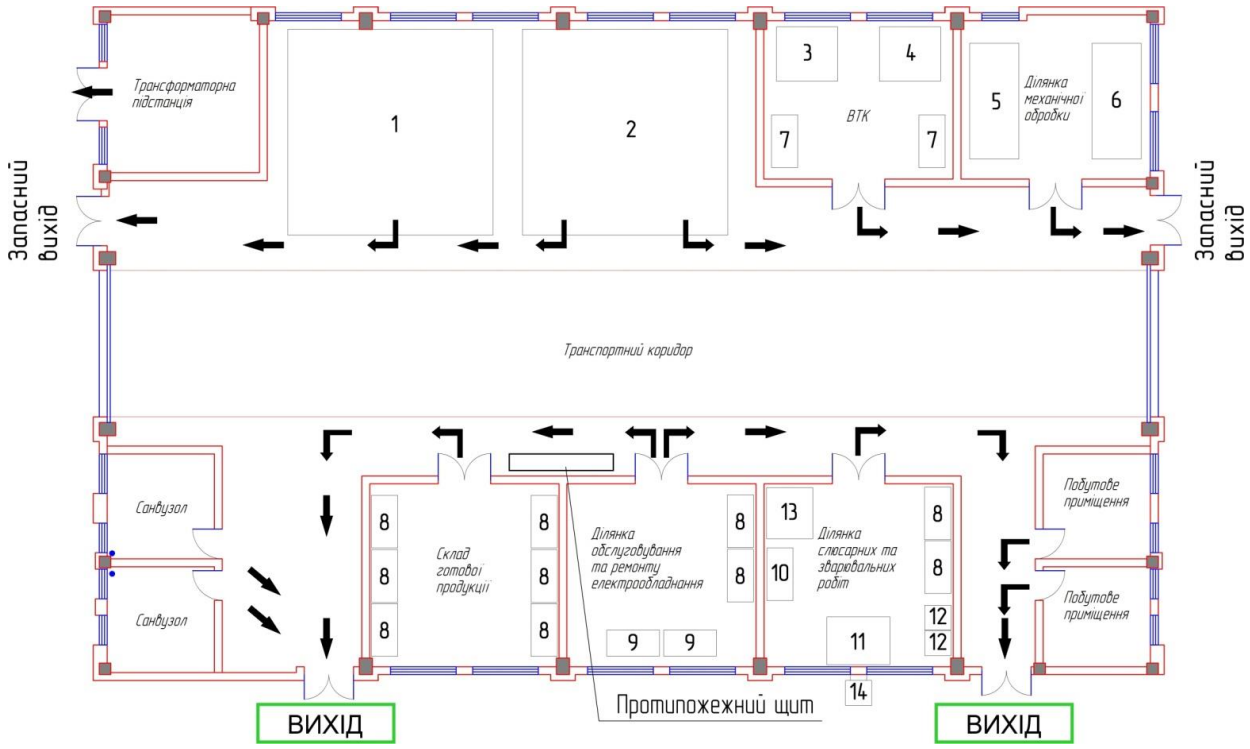


Рисунок 4.1 – План виробничого цеху з напрямками евакуації

Враховуючи значні виробничі площі та правила розміщення обладнання, номінальні параметри приміщення на 1 працівника, а саме площа на 1 працюючого та об'єм на 1 працюючого із запасом вписуються в нормативні значення.

Таблиця 4.1 – Специфікація технологічного обладнання

№ п/п	Найменування	Розміри, Д/Ш/В,мм	Основні характеристики	Кіль-кість	Поз. на ри-сунку
1	Електронно-променева установка Л5	5000 х 5000 х 3500	Прискор. напруга 20 кВ, макс. потужність гармат 2х100 кВт, 2х60 кВт	1	1
2	Піч плавильна електронно-променева Л4	6000 х 6000 х 5000	Прискор. напруга 30 кВ, макс.потужність гармат 4х100 кВт	1	2
3	Стенд випробувальний	1200 х 900 х 1300	Напруга 220в, t =900 °С	1	3
4	Електропіч опору вакуумна СНВЕ -16/13	2650 х 1500 х 1850	Потужність 16 кВт, макс t =900 °С	1	4
5	Верстат 1к62 токарно-гвинторізний	2812 х 1160 х 1324	Потужність 10 кВт, мак. к-ть обертів 2000 об/хв	1	5
6	Ножиці гільйотинні Н3118	3160 х 1950 х 2175	Макс. товщина 6,3 мм, потужність 7,5 кВт	1	6
7	Стіл офісний	1400 х 750 х 750		2	7
8	Шафа зберігання матеріалів та інструментів	1000 х 600 х1800		10	8
9	Стіл електромонтажний	1800 х 800 х 800		2	9
10	Стіл слюсарний	1300 х 900 х 800		1	10
11	Стіл зварювальний	1200 х 1200 х 700		1	11
12	Шафа зберігання балонів зі стисненими газами	1000 х 600 х1800		2	12

Продовження таблиці 4.1

13	Верстат вертикально-сверлильний 2А135	1240 х 810 х 2500	Діапазон швидкостей 68-1100, потужність 4,5 кВт	1	13
14	Вентилятор радіальний ВР-160	1000 х 770 х 1100	Продуктивність 2,4 тис.м^3/год	1	14

4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

При аналізі небезпечних робочих місць та ділянок основною зоною підвищенної небезпеки є електронно-променева установка для отримання конденсованих матеріалів. Також до робіт з підвищеною небезпекою відноситься робота на токарному станку, гільйотинних ножицях, муфельній печі та вакуумній печі для відпалу.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть бути впливати на обслуговуючий персонал установки для отримання конденсованих матеріалів:

1. Висока напруга. При експлуатації установки небезпеку може представляти висока напруга 20 кВ і мережева напруга 380 В та 220 В.
2. Паромасляні системи відкачування з гарячими насосами: потрапляння в низ повітря внаслідок розгерметизації може призвести до вибуху.
3. Рентгенівське випромінювання, що виникає при гальмуванні електронів на поверхнях металу в тиглях і на підкладці.
4. Світлове випромінювання, що виникає при випаровуванні металів і неметалів, що може призвести до ураження очей.
5. Токсичність конденсату, здатність його до займання, а також дрібно-дисперсний пил, що може вразити органи дихання.
6. Отруєння хімічними реактивами і розчинниками, що застосовуються при промиванні вакуумної камери і насосів.
7. Можливість травмування рухомими частинами установки.
8. Шум та вібрація механічних вакуумних насосів.

Більшість з цих факторів також присутні на інших вузлах технологічного процесу.

Для зниження впливу шкідливих факторів, працівники повинні використовувати спецодяг та засоби індивідуального захисту:

- халат, рукавиці, окуляри, респіратор, головні убори;
- захисні світлофільтри або темні окуляри – під час ведення техпроцесу;
- засоби захисту від ураження електричним струмом – діелектричні рукавички, боти, килимки, заземлюючі штанги, які повинні перебувати на робочому місці у справному стані та мати штамп, що свідчить про їхню придатність до застосування.

Працюючі на установці не повинні зберігати і приймати їжу на робочому місці, щоб уникнути отруєння токсичними речовинами, які можуть утворитися при проведенні техпроцесу.

4.3 Радіаційна безпека

1. Електронно-променева установка Л5 є джерелом рентгенівського випромінювання, що не використовується.

2. До роботи на установці допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд та не мають медичних протипоказань. Подальші медичні огляди проводяться щороку. Особи, допущені до роботи за результатами медогляду, до початку роботи мають бути навчені також правилам безпеки виконання робіт та правилам особистої гігієни.

3. Експлуатація та ремонтні роботи на установці повинні проводитись за наявності у зміні не менше двох осіб з відповідною кваліфікаційною групою з електробезпеки.

4. Після закінчення монтажу установки робочий пуск має бути здійснений з обов'язковим дозиметричним контролем ефективності захисту.

5.Введення установки в експлуатацію провадиться комісією, що призначається керівником підприємства за участю санітарно-епідеміологічної служби. В разі задовільних результатів перевірки складається акт введення в експлуатацію установки. Акт введення установки в експлуатацію є документом, який дозволяє проводити роботи на установці.

6. Дозиметричний контроль ефективності захисту установки проводити не рідше одного разу на квартал, а також у таких випадках:

– при зміні конструкції установки та електричної схеми;

– після ремонту установки;

– під час заміни електронної гармати.

7. Дозиметричний контроль ефективності захисту установки повинен здійснюватись при найбільших значеннях прискорюючої напруги, струму променя та на зразках, матеріал яких аналогічний робочим зливкам.

8. Потужність експозиційної дози випромінювання на поверхні установки не повинна перевищувати 0,03 мкР/с.

9. При перевищенні значень дози рентгенівського випромінювання, зазначеного у п.8 роботи на установці мають бути припинені. Робота на установці може бути відновлена лише після усунення дефектів захисту, підтверджених повторним дозиметричним контролем.

4.4 Електробезпека

Електронно-променеві гармати установки Л5 працюють з прискорюючою напругою 20 кв, вакуумні насоси та насоси водяного охолодження живляться від мережі 380 В. В цеху також використовується інше обладнання, яке живиться від мережі з напругою 380 В, а саме токарний станок, гільйотинні ножиці, вакуумна піч для відпалу, відповідно до правил улаштування електроустановок. Приміщення цеху, за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до приміщення з особливою небезпекою ураження електричним струмом.

Для запобігання враження струмом, всі установки мають захисне заземлення, тобто електричне з’єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин електроустаткування згідно вимог ПУЕ-7 «Заземлення і захисні заходи електробезпеки». Також встановлене захисне вимкнення, що забезпечує автоматичне відключення електроустаткування, коли в ньому виникає небезпека ураження

струмом, а саме при замиканні фази на корпус електроустаткування та появи в мережі більш високої напруги. Призначена кваліфікована особа яка періодично перевіряє стан ізоляції та електроустаткування на предмет пошкодження або зниження опору, стан захисного заземлення устаткування. Для попередження ураження електричним струмом на підприємстві використовуються знаки безпеки, а також інструкції і плакати.

На всьому обладнанні, а також кожухах, що закривають електроапаратуру, є напис "Висока напруга". Також весь персонал повинен регулярно проходити інструктаж з техніки безпеки.

Відчиняти двері приміщень, в яких розміщено силовий трансформатор, високовольтний перетворювач та блоки накалів дозволяється тільки при відключених рубильниках та головному автоматі в блоці пускозахисної апаратури перетворювача.

Забороняється увімкнення електронних нагрівачів без захисних екранів, які оберігають котушки управління нагрівачів від пошкоджень і, зокрема, від високовольтних розрядів у вакуумі.

Забороняється працювати на установці з несправними затворами вакуумнихнасосів.

На майданчику обслуговування та корпусах шаф керування у доступному місці повинні бути встановлені болти заземлення діаметром не менше 8 мм.

Під час роботи на установці забороняється:

- знімати захисні кожухи, проводити обслуговування, ремонт електрообладнання та механізмів;
- перебувати всередині приміщення, де розміщено джерело живлення ЕПН;
- перекривати вентилі у системі охолодження.

Система контролю повинна забезпечувати відключення прискорюючої напруги при температурі води на виході, що перевищує 60°С, а також при падінні тиску води на вході в гідроблоках нижче 1,5 х 10^5 Па.

Не рідше 1 разу на місяць перевіряти справність дверних блокувань та сітчастих огорож високовольтної частини електроустаткування.

Конструкція електрообладнання установки забезпечує захист від проникнення пилу у кількості, достатній для порушення установки.

Не рідше одного разу на рік вся апаратура повинна піддаватись огляду та випробуванню за участю представників служби техніки безпеки. Контрольній перевірці підлягають електровимірювальні прилади, стан заземлення, ізоляції, сигналізації та радіаційного захисту.

4.5 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». виробництво за пожежною безпекою належить до категорії Б, тому що зумовлена використанням тонко-дисперсних порошків металів і легкозаймистих допоміжних матеріалів.

Джерелом загорання можуть служити: короткі замикання, що супроводжуються великими виділеннями тепла, перевантаження дротів пристроїв, що спричиняє сильніший розігрів струмоведучих дротів й загорання ізоляції, легкозаймисті рідини, пошкоджений електричний дріт, зношування та корозія обладнання, порушення правил використання матеріалів та обладнання.

Для запобігання займання легкозаймистих матеріалів, таких як мастила розроблені правила їх зберігання та використання. Ці речовини зберігаються у металевій, щільнозачиненій тарі.[39]

При роботі з матеріалами, схильними до займання, повинні дотримуватися заходи безпеки, оскільки при відкритті, огляді та чищенні установки після проведення технологічного процесу можливе займання виробів конденсації на стінках вакуумної камери:

- забезпечення гарної місцевої та загальнообмінної вентиляції;
- виключення скупчень великих кількостей конденсату на робочому місці;
- очищення приміщень від скупчень пилоподібного порошку, що утворюється

при чищенні вакуумної камери, екранів плит гармат, технологічної оснастки та осідає на установці та допоміжному обладнанні.

Для ліквідації пожежі передбачено такі засоби пожежогасіння:

- автоматична система пожежогасіння;
- розташований, у приміщенні, щит з протипожежним інвентарем згідно ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», а саме вогнегасники – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., протипожежне покривало – 1 шт., багор або лом та гак – 2 шт., лопати – 2 шт., сокири – 2 шт;
- пересувний вогнегасник ВВП-100;
- пожежний кран;[17,18]

В кожному приміщенні в наявності є план евакуації.(рис 4.2).

4.6 Аналіз освітлення

Освітлення виробничої дільниці для отримання паро фазних композиційних матеріалів є важливим аспектом охорони праці, оскільки добре освітлена робоча зона забезпечує безпеку та ефективність працівників. При проектуванні системи освітлення необхідно враховувати площу дільниці і висоту стін, а також тип ламп та їх кількість. Згідно нормативу освітлення виробничих приміщень ДБН В.2.5.28-2006 [39], розробимо оптимальну систему освітлення, що включатиме наступні елементи:

Природнє освітлення. По всьому периметру цеху, у верхній частині стін вмонтовані вікна, що забезпечують якісне природнє освітлення.

Світильники. Рекомендується використовувати світильники, які забезпечу-ють розсіяне та рівномірне освітлення по всій площі дільниці. Наприклад, світильники з розсіювальними плафонами або світильники зі світлодіодними панелями.

Тип ламп. Один з найефективніших та економічних типів ламп для виробни-чих приміщень – світлодіодні (LED) лампи. Вони мають високу світлову віддачу, довгий термін служби та енергоефективність. LED лампи також не містять ртуті та мають меншу здатність до теплового випромінювання порівняно зі стандартними люмінесцентними лампами.

Кількість ламп. Для розрахунку кількості ламп необхідно враховувати освітлювану площу та висоту стелі. Рекомендована освітленість для виробничих дільниць становить приблизно 300-500 люкс (лк).

Регульовані системи освітлення. Для забезпечення комфортних умов роботи слід використовувати регульовані системи освітлення, які дозволяють працівникам регулювати яскравість або напрямок світла за необхідності.

Враховуючи розміри дільниці та типові вимоги до освітлення, рекомендується застосовувати змішаний тип освітлення, що включає природнє освітлення та систему штучного освітлення. Це допоможе забезпечити необхідний рівень освітлення за будь-яких погодних умов.

4.7 Хімічні джерела небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Технологічний процес отримання парофазних композиційних матеріалів може створювати певні хімічні небезпеки на виробничій дільниці.

Пил металевого порошку : при обточці зливків міді та молібдену може утворюватися пил, який може бути шкідливим при вдиханні. Пил металів може містити речовини, які можуть бути концерогенними або токсичними для дихальної системи.

Шкідливі випари та гази: під час відкривання дверей камери можуть виділятися інші шкідливі речовини у формі випарів та газів. Це можуть бути продукти згоряння мастил або випаровування розчинників, які використовуються у процесі. Працівники повинні бути захищені від цих випарів та газів шляхом використання витяжної вентиляції та відповідного особистого захисту.

Вміст небезпечних речовин у повітрі робочого приміщення регламентується документам, затвердженим Міністерством охорони здоров'я України. Для забезпечення безпеки працівників необхідно виконувати такі заходи:

1. Встановити ефективну систему вентиляції, яка забезпечуватиме відведення пилу та шкідливих речовин.

2. Забезпечити використання особистого захисту, такого як респіратори, захисні окуляри та спеціальний одяг.

3. Чищення установки, а також підготовку підкладки до наступного

технологічного процесу проводити в респіраторі, спецодязі, захисних окулярах, рукавицях та обов'язково в присутності іншої особи.

4. Надати належне навчання та інструктаж працівникам щодо безпечного використання матеріалів та обладнання, а також процедур поводження у випадку аварійних ситуацій.

5. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Питання щодо організації виробництва в цеху вирішуємо на основі даних попередніх розділів проєкту, зокрема, технологічного (розрахунок потрібного обладнання, його розміщення, організаця технічного контролю та контролю якості тощо). У цьому розділі обгрунтовуємо необхідну чисельність робітників та управлінського персоналу, розмір фондів їх заробітної плати, визначаємо показники продуктивності праці.

5.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Чисельність працівників, зайнятих на нормованих роботах ($Ч_{р.н}^{пр}$), розраховують за формулою:

$$Ч_{р.н}^{пр} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i \cdot m_i}{Т_{р.ч} \cdot К_{в.н}}$$

де n – кількість найменувань продукції;

t_i – планова трудомісткість одиниці i-го виду продукції, нормо-годин;

m_i – кількість продукції i-го виду, одиниць;

$Т_{р.ч}$ – розрахунковий ефективний час роботи одного робітника, год.

$К_{в.н}$ – очікуваний коефіцієнт виконання норми (1,0 – 1,5).

Чисельність основних робітників, зайнятих на ненормованих роботах ($Ч_{ос}^{пр}$) розраховують за нормами обслуговування, а саме:

$$Ч_{о.с}^{пр} = \frac{m_0 \cdot П_{зм} \cdot К_{п}}{Н_{об}}$$

де m_0 – кількість обслуговуваних об'єктів;

$П_{зм}$ – кількість робочих змін протягом доби;

$К_п$– коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову;

$Н_{об}$– норма обслуговування (кількість одиниць обладнання, що обслуговує один працівник).

В таблиці 5.1 розраховано та приведено баланс робочого часу середньооблікового працівника.

Таблиця 5.1 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

Показники	Планові значення
Кількість календарних днів	365
Вихідні та святкові дні	113
Час на планово-попереджувальний ремонт, днів	12
Номінальний фонд робочого часу, днів	240
Невиходи на роботу, днів з них:	30
відпустка	24
захворювання	4
дозволені законом	1
з дозволу адміністрації	0,5
прогули	0,5
цілодобові простої	0
страйки	0
Явочний робочий час, днів	210
Середня тривалість робочого дня, год	7,9
Внутрішньозмінні втрати робочого часу та простої, год	0,3
Робочі години	7,6
Ефективний фонд робочого часу за рік, год	1596

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

$$К_п = \frac{100}{(100-k)}$$

$$К_п = \frac{100}{(100-12,5)} = 1,14$$

де k – плановий відсоток невиходів на роботу (за даними табл. 5.1)

$$k = \frac{30}{240} \cdot 100 = 12,5$$

Розрахунки чисельності основних і допоміжних робітників наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Чисельність основних і допоміжних робітників дільниці

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Явочна чисельність по змінах			Загалом на добу	Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову	Облікова чисельність
		1-а	2-а	3-а			
Основні робітники							
Оператор електронно-променевої установки	5	1	-	-	1	1,14	2
Верстатник ножиць	4	1	-	-	1	1,14	1
Токар-шліфувальник	5	1	-	-	1	1,14	1
Разом		3			3		4
Допоміжні працівники							
Лаборант	5	1	-	-	1	1,14	1
Завідуючий складом	4	1	-	-	1	1,14	1
Слюсар-ремонтник	4	1	-	-	1	1,14	1

Разом		3			3		3
Усього робітників		6			6		7

5.2. Визначення фондів заробітної плати

Основним організаційно-правовим інструментом обґрунтування диференціації зарплати працівників підприємства різних форм господарчої діяльності є тарифно-посадова система, основні елементи якої: тарифно-кваліфікаційні довідники; кваліфікаційні довідники посад керівників, спеціалістів і службовців; тарифні сітки й ставки; схеми посадових окладів або єдина тарифна сітка.

Тарифна сітка встановлює відповідні співвідношення в оплаті праці працівників різної кваліфікації. Вона є, власне, переліком тарифних розрядів і відповідних коефіцієнтів. Установлені в Україні параметри тарифної сітки наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Типова тарифна сітка робітників різногалузевих підприємств та організацій

Показник	Тарифні розряди							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тарифні коефіцієнти	1,0	1,088	1,204	1,350	1,531	1,800	1,892	2,0

Важливим елементом тарифної системи є тарифна ставка. Її абсолютну величину визначають згідно зі встановленим державою мінімальним розміром заробітної плати. Згідно державного бюджету України на 2025 рік мінімальна заробітна плата становить: у місячному розмірі – 8 000 грн, у погодинному розмірі – 48 грн. Так, якщо на підприємстві тарифну ставку для першого розряду встановлено на рівні 48 грн, то ставка другого розряду становитиме 48 × 1,088 = 52,22 грн, третього розряду 48×1,204=57,79 грн і т. д.

Результат розрахунку фондів зарплати управлінського та обслуговуючого персоналу наведено у таблиці 5.4, а основних і допоміжних робітників у таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 – Розрахунок фонду заробітної плати управлінського та обслуговуючого персоналу

Штатна посада	Чисельність	Місячний посадовий оклад, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Керівники			
Директор	1	25000	300000
Разом			300000
Спеціалісти			
Інженер-електрик	1	20000	240000
Інженер - технолог	1	20000	240000
Разом			480000
Службовці та молодший обслуговуючий персонал (МОП)			
Бухгалтер	1	18000	216000
Прибиральниця	1	10000	120000
Разом			336000
Усього по цеху (дільниці)			1116000

Таблиця 5.5 – Розрахунок фонду заробітної плати основних і допоміжних робітників

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Обліковий склад, осіб	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітна плата, грн.	Розрахунок додаткової заробітної плати, грн.					Загальний фонд заробітної плати, грн.
							Надбавки та доплати				Разом	
				Одного робітника	Усіх		Премії	За роботу в особливих умовах	Оплата відпусток	Інші доплати та надбавки		
Основні (технологічні) робітники												
Оператор електронно-променевої установки	5	73,49	2	1596	3192	234580,08	93832,03	42224,41	28149,61	23458,01	187664,06	422244,14
Верстатник листових ножиць	4	64,8	1	1596	1596	103420,8	41368,32		12410,50	10342,08	64120,90	167541,70
Токар-шліфувальник	5	73,49	1	1596	1596	117290,04	46916,02		14074,80	11729,0	72719,82	190009,86
Разом						455290,92					324504,78	779795,70

Таблиця 5.5 – Розрахунок фонду заробітної плати основних і допоміжних робітників (продовження)

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Обліковий склад, осіб	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітна плата, грн.	Розрахунок додаткової заробітної плати, грн.					Загальний фонд заробітної плати, грн.
							Надбавки та доплати				Разом	
				Одного робітника	Усіх		Премії	За роботу в особливих умовах	Оплата відпусток	Інші доплати та надбавки		
Допоміжні (обслуговуючі) робітники												
Лаборант	5	73,49	1	1596	1596	117290,04	46916,02		14074,80	11729,0	72719,82	190009,86
Слюсар-ремонтник	4	64,8	1	1596	1596	103420,8	41368,32		12410,50	10342,08	64120,90	167541,70
Зав. складом матеріалів	4	64,8	1	1596	1596	103420,8	41368,32		12410,50	10342,08	64120,90	167541,70
Разом						324131,64					200961,62	525093,26
Усього по цеху (виробничої дільниці)						**779422,56**					**525466,40**	**1304888,96**

5.3 Розрахунок продуктивності праці

Продуктивність праці, яка відображає ефективність роботи трудового колективу, розраховують як відношення річного обсягу виробництва до облікового складу всіх працівників цеху (робітників, управлінського персоналу та обслуговуючого персоналу).

Таким чином, продуктивність праці П – це річний обсяг продукції, виготовленої з розрахунку на одного працівника цеху:

$$П = \frac{G}{\sum Ч}$$

де G – обсяг продукції, виготовленої цехом (дільницею) за рік, кг;

ΣЧ – чисельність працівників усіх категорій (робітників, управлінського та обслуговуючого персоналу.

Річний обсяг робіт вимірюють за допомогою різних показників. Це можуть бути натуральні або умовно-натуральні показники: штуки, комплекти, тонни тощо. Використовують також вартісні (у гривнях) та трудові (у нормо-годинах) показники.

Для даного проекту:

$$П = \frac{3000}{12} = 250\ \frac{кг}{особу}$$

5.4. Розрахунок капітальний вкладень

Капітальні вкладення у проектований об’єкт складаються із капіталовкладень у основні засоби (виробничі будівлі та споруди, технологічне і допоміжне обладнання, підйомно-транспортувальні засоби, оснащення тощо), а також оборотних нормованих засобів (витрати на створення оборотних запасів матеріалів і сировини, змінного обладнання, запчастин, інструменту, незавер-шеного виробництва та ін.).

Приклад розрахунку капіталовкладень в обладнання та підйомно-транспор-тувальні засоби наведено у таблиці 5.6. Для розрахунку вартість транспортування обладнання, його монтажу і налагодження беруть у розмірі 5 – 15 % від його ціни.

Таблиця 5.6 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання

Найменування устаткування, його модель або технічна характеристика	Кіль-кість, оди-ниць	Вартіс-ть за одиниц ю, тис. грн	Загальна вартість, тис. грн	Витрати на транспор-тування та монтаж, тис.грн	Усього, тис.грн
Основне технологічне устаткування					
Установка електронно-променева Л5	1	25000	25000	2500	27500
Верстат токарний 1К62	1	200	200	20	220
Ножиці гільйотинні Н3118	1	120	120	10	130
Вакуумна піч СНВЕ 16/13	1	400	400	30	430
Стенд контролю з муфельною піччю ПМ-8	1	45	45	5	50
Разом основне технологічне обладнання					28 330
Допоміжне технологічне обладнання					
Верстат сверлильний 2А135	1	90	90	10	100
Кран-балка 3,2Т	1	320	320	40	360
Разом допоміжне та підйомно-транспортне устаткування					460
Загалом по цеху					28 790

Обсяг капіталовкладень у виробничі будівні та споруди визначають виходячи з площі цеху й усереднених нормативів вартості будівельних конструкцій і промислових проводок (табл. 5.7). Безперервну виробничу діяльність цеху (дільниці) забезпечують оборотні засоби, мінімальна необхідна величина яких має назву нормативу оборотних засобів. Найбільшим за розміром елементом (до 70 %) нормативу оборотних засобів є

Таблиця 5.7 – Усереднені ринкові ціни на елементи будівельно-монтажних робіт

Елементи будівельно-монтажних робіт	Об'єм будівлі, $м^3$	Вартість, грн/$м^3$	Загальна вартість, тис.грн
Виробничі будівлі	4000	2600	10400
Водопостачання виробничих приміщень		40	160
Каналізація виробничих приміщень		30	120
Електропроводка виробничих приміщень		80	320
Вентиляція виробничих приміщень		80	320
Зовнішній благоустрій		85	340
Невраховані витрати		500	2000
Загальна вартість будівлі			13 660

поточний запас матеріалів, який створюється для забезпечення процесу виробництва матеріальними ресурсами в період між двома черговими поставками. Середній поточний запас (Зм) визначається за формулою:

$$З_М = М_Д \cdot \frac{Т_{пост}}{2}$$

де МД – середньодобове споживання сировини та матеріалів, грн;

Тпост – інтервал між поставками матеріалів у днях (приймається в межах 15–30 днів).

Середньодобове споживання матеріалів визначається як вартість річної потреби в основних та допоміжних матеріалах, сировині, запасних частинах, інструменту, спецодягу тощо, розділених на 240 (де 240 розрахункове число днів за рік).

Так як згідно ринкової ціни основних сировинних матеріалів міді та молібдену, річна потреба в них складає близько 3550 тис. грн, то загальну річну потребу в основних і допоміжних матеріалах приймаємо 4500 тис. грн.

$З_м = 4\ 500\ 000 \cdot 30/240 \cdot 2 = 281{,}250$ тис. грн.

Величину всіх інших елементів загального нормативу оборотних засобів (транспортного, підготовчого та резервного запасів матеріалів; незавершеного виробництва; витрат майбутніх періодів; готової продукції на складі та ін.) можна приймати на рівні 50 % від розрахованого нормативу поточних запасів.

Таким чином, загальний річний норматив оборотних коштів ($Н_{заг}$) по об'єкту, що проектується, складе:

$$Н_{заг} = 1{,}5 \cdot З_М$$

$$Н_{заг} = 1{,}5 \cdot 281{,}250 = 421{,}875 \text{ тис. грн}$$

Після цього розраховують загальні капітальні вкладення в об'єкт, що проектується (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок загальних капітальних вкладень

Елементи капіталовкладень	Сума	
	тис.грн	%
1. Виробнича будівля	13660	31,86
2. Устаткування 2.1 Основне технологічне	28330	66,08
2.2 Допоміжне та підйомно-транспортне	460	1,07
3. Норматив оборотних засобів	422	0,99
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	42872	100

5.5 Визначення планової собівартості одиниці продукції

Типова номенклатура калькуляційних статей витрат для більшості підприємств різних галузей виглядає так:

1. Сировина та матеріали (за вирахуванням зворотних відходів);
2. Паливо та енергія на технологічні цілі;
3. Основна заробітна плата технологічних робітників;
4. Додаткова заробітна плата технологічних робітників;
5. Єдиний соціальний внесок;
6. Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;

7. Загальновиробничі витрати;

8. Загальногосподарські витрати;

9. Витрати на підготовку та освоєння виробництва;

10. Позавиробничі витрати (на збут продукції, на маркетинг).

На основі виконаних розрахунків складається планова калькуляція собівартості продукції (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Найменування статей витрат	Одиниця виміру	Кількість на річну програму	Ціна за одиницю, грн	Витрати на річну програму, тис.грн
1. Сировина та матеріали 1.1 Мідь марки М1,М2 в прутках .2 Молібден МЧ в прутках	кг	 2920 324	 600 4000	 1752 1296
2.Паливо та енергія на технологічні цілі 2.1 Електроенергія	МВт/год	200	7500	1500
3.Основна заробітна плата технологічних робітників				779
4.Додаткова заробітна плата технологічних робітників				525
5.Єдиний соціальний внесок (22%)				287
6. Утримання та експлуатація устаткування				825
7.Загальновиробничі та загальногосподарські витрати				1411
8. Витрати на підготовку та освоєння виробництва				290
Виробнича собівартість річної програми				8665
9. Адміністративні витрати				1363
10.Позавиробничі витрати				240
Повна собівартість річної програми				10 268

Повну собівартість одиниці продукції (Сп) розраховують як відношення повної собівартості річної програми випуску продукції (Спріч) до річного обсягу (програми) випуску продукції цехом (дільницею):

$$\text{Сп} = \frac{10\ 268\ 000}{3000} = 3423\ \text{грн/кг}$$

5.6. Розрахунок показників економічної ефективності

Порівняння спроектованого цеху, дільниці чи робочого місця, як правило, здійснюють із об'єктом, де виробляється аналогічна продукція, за такими показниками:

– трудомісткість продукції (зворотний показник продуктивності живої праці);

– капіталомісткість (фондомісткість) продукції;

– період окупності капітальних витрат.

Трудомісткість продукції (t) у нормо-годинах можна розрахувати за формулою:

$$t = \frac{\text{Ч}_{\text{ос}} \cdot \Phi_{\text{еф}}^{\text{пл}}}{G} = \frac{12 \cdot 1596}{3000} = 3{,}7\ \frac{\text{нормо} - \text{годин}}{\text{кг}}$$

де $\text{Ч}_{\text{ос}}$– загальна чисельність основних (технологічних) робітників, осіб;

$\Phi_{\text{еф}}^{\text{пл}}$– плановий ефективний фонд робочого часу одного працівника за рік, год;

G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

Капіталомісткість (фондомісткість) продукції (К_G) визначається як відно-шення загальних капітальних витрат ($\text{К}_{\text{ЗАГ}}$) у будівництво чи реконструкцію цеху

(дільниці) або на технічне переоснащення виробництва до річного планового обсягу виробництва продукції:

$$\text{К}_G = \frac{\text{К}_{\text{заг}}}{G} = \frac{42\ 872\ 000}{3000} = 14290{,}7\ \frac{\text{грн}}{\text{кг}}$$

Найбільш розповсюдженим показником економічної ефективності капітальних витрат на нове будівництво, реконструкцію, впровадження нового обладнання чи технології, є період окупності капітальних витрат ($\text{П}_{\text{ок}}$), який має критеріальний

характер:

$$П_{ок} = \frac{К_{заг}}{ГП_р} < П_{ок}^{Н}$$

де $ГП_р$– річна сума грошового потоку, грн;

$П_{ок}^{Н}$– нормативний період окупності, років.

Грошовий потік за рік розраховується як сума чистого прибутку та амортизаційних відрахувань, визначених за рік експлуатації спроектованого об'єкту:

$$ГП_р = 0{,}82 \cdot (Ц - С_п) \cdot G + \sum А$$

$$ГП_р = 0{,}82 \cdot (8300 - 3423) \cdot 3000 + 3562 = 12\,000\,982$$

де 0,82 – коефіцієнт, який враховує частку чистого прибутку у валовому прибутку;

Ц – ринкова ціна одиниці продукції, грн;

$С_п$– повна собівартість одиниці продукції, грн;

$\sum А$ – загальна річна сума амортизаційних відрахувань, грн.

Загальна річна сума амортизаційних відрахувань розраховується, виходячи з вартості основних фондів та встановлених норм амортизаційних відрахувань(табл. 5.10).

Таблиця 5.10 – Групи основних засобів та суми річних амортизаційних відрахувань

Об'єкт амортизації	Вартість, тис. грн	Річна норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, тис.грн
Будівля	13660	5	683
Обладнання	28790	10	2879
Всього			3562

Нормативний період окупності капітальних вкладень у створення нових чи реконструкцію існуючих цехів (дільниць), вкладень на технічне переобладнання виробництва приймається у межах 3–7 років.

$$П_{ок} = \frac{42\,872\,000}{12\,000\,982} = 3{,}57 < П_{ок}^{Н}$$

Робимо висновок, що розроблений проєкт є економічно доцільним. Всі витрати на створення виробництва парофазних матеріалів на основі міді для електричних контактів окупаються приблизно через 3,5 роки.

Економічна частина проекту закінчується складанням зведеної порівняльної таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Порівняльні техніко-економічні показники спроектованого об'єкта

Найменування показників	Одиниця виміру	Спроектоване виробництво
1.Річний плановий обсяг виробництва продукції (G)	кг	3000
2.Загальна площа цеху(дільниці)	$м^2$	660
3.Виробнича площа цеху(дільниці)	$м^2$	440
4.Капіталомісткість продукції (K_G)	$\frac{грн}{кг}$	14290,7
5.Загальна чисельність у тому числі: основний (технологічний) персонал допоміжний (технологічний) персонал управлінський та обслуговуючий персонал	осіб	12 4 3 5
6.Загальний річний фонд заробітної плати	грн	2420889
7. Середньомісячна заробітна плата одного працівника	грн	17000
8. Річний виробіток на одного працівника (продуктивність праці)	$\frac{кг}{особу}$	250
Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{нормо-годин}{кг}$	3,7
Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{грн}{кг}$	3423
Період окупності ($П_{ок}$)	років	3,53

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті зазначена актуальність теми повязана з отриманням методом електронно-променевого випаровування-конденсації у вакуумі електричних контактів на основі міді, яка набуває особливого значення для заміни срібловмісних контактів.

У технологічному розділі проведено вибір матеріалу та технологічного процесу отримання КМ на осові Cu і Mo, які мають термодинамічну та кінетичну сумісність. Також для отримання КМ вибрано метод електронно-променевого випаровування-конденсації, який відкриває певні можливості в конструюванні композицій з наперед заданими фізико-хімічними характеристиками.

Проведено розрахунок матеріального балансу, що дозволяє ефективно використовувати ресурси, зменшувати втрати та покращувати економічну ефективність виробництва.

У будівельному розділі відмічено, що врахування вимог до виробничих приміщень є ключовим елементом успішного проєкту. Функціональність, безпека, енергоефективність та комфортність працівників є головними факторами, які слід брати до уваги при проектуванні та будівництві виробничих приміщень.

Спеціальний розділ містить дослідження структури, хімічний та рентгенофазовий аналіз градієнтних КМ Cu–Mo. Експериментально підтверджено, що КМ на основі Cu і Mo товщиною до 6 мм мають шарувату структуру і відносяться до об’ємних нанокристалічних матеріалів, з розміром зерна до 18 нм.

У розділі охорони праці проаналізовано шкідливі та небезпечні фактори, які впливають на обслуговуючий персонал та безпеку виробництва.

У організаційно-економічному розділі проведено розрахунки щодо чисельності працівників та фонду їхньої заробітної плати. Розрахований термін окупності спроєктованого виробництва складає 3,5 роки, що вказує на його економічну доцільність.

CONCLUSIONS

In this diploma project, the relevance of the topic is noted in connection with the production of electrical contacts based on copper by electron beam evaporation-condensation in vacuum, which is of particular importance for replacing silver-containing contacts.

In the technological section, the material and technological process for obtaining CM on the Cu and Mo axis, which have thermodynamic and kinetic compatibility, were selected. Also, the electron beam evaporation-condensation method was chosen to obtain CM, which opens up certain possibilities in the design of compositions with predetermined physicochemical characteristics.

A material balance calculation was performed, which allows for the effective use of resources, reducing losses and improving the economic efficiency of production.

In the construction section, it is noted that taking into account the requirements for production facilities is a key element of a successful project. Functionality, safety, energy efficiency and comfort of workers are the main factors that should be taken into account when designing and building production facilities.

A special section contains a study of the structure, chemical and X-ray phase analysis of gradient Cu–Mo CMs. It has been experimentally confirmed that Cu and Mo-based CMs with a thickness of up to 6 mm have a layered structure and belong to bulk nanocrystalline materials, with a grain size of no more than 18 nm.

The occupational health and safety section analyzes harmful and dangerous factors that affect service personnel and production safety.

The organizational and economic section calculates the number of employees and their salary fund. The calculated payback period of the designed production is 3.5 years, which indicates its economic feasibility.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 34875 Україна. Композиційний матеріал для електричних контактів та спосіб його отримання / М. І. Гречанюк, В. О. Осокін, І. Б. Афанасьєв, І. М. Гречанюк; опубл. 16. 12. 2002 р.
2. Пат. 74155 Україна. Спосіб отримання мікрошаруватих термостабільних матеріалів / М. І. Гречанюк; опубл. 15. 11. 2005р.
3. Пат. 32368А Україна. Контактний матеріал для дугогасних камер та спосіб його отримання / М. І. Гречанюк, М. М. Плащенко, В. О. Осокін, І. Б. Афанасьєв, І. М. Гречанюк; опубл. 15. 12. 2000 р, Бюл № 7.
4. Пат. 76737 Україна. Контактна система вакуумної дугогасної камери / М. І. Гречанюк, М. М. Плащенко, А. В. Зварич, В. О. Осокін; опубл. 15. 09. 2006р.
5. Пат. 86434 Україна. Композиційний матеріал для електричних контактів і електродів та спосіб його отримання / М. І. Гречанюк, І. М. Гречанюк; В. О. Денисенко, В. Г. Гречанюк; опубл. 27. 04. 2009 р.
6. Development of copper alloy / N. Watai, T. Nishijuma, Y. Oohashi [and other] // Yasaki Techn. Rept. – 1996. – № 20. – P. 57–62.
7. Францевич И. Н. Электрические контакты, получаемые методами порошковой металлургии /И. Н. Францевич// Порошковая металлургия. – 1980. – № 8. – С. 36–47.
8. Композиционные материалы для контактов и электродов / Р. В. Минакова, М. Я. Грекова, А. П. Кресанова [и др.] // Порошковая металлургия. – 1995. – № 7–8. – С. 32–52.
9. Минакова Р. В. Композиционные материалы для контактов и электродов. Материалы на основе Мо: сборник научных трудов / Р. В. Минакова, А. П. Кресанова, Н. И. Гречанюк // Электрические контакты и электроды. Серия «Композиционные материалы». – К.: Институт проблем материаловедения НАН Украины – 1996. – С. 95–105.

					ФНз11.9112.4203.003.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гречанюк К.І..			ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	Літ.	Арк. 83 / Аркушів 4
Перевір.		Шемет В.Ж..					
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФК-з91	
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.					
Затверд.		Богомол. Ю. І.					

10. Скороход В. В. Высокопористые вольфрам-медные материалы, полученные жидкофазным спеканием. II. Физико-механические свойства и сопротивление деформированию / В. В.Скороход, С. М. Солонин, Л. И. Чернышев // Порошковая металлургия. – 1978. – № 10. – С. 89–92.

11. Косторнов А. Г. Особенности формирования межчастичных контактов при спекании пористых молибден-медных композиций / А. Г Косторнов, В. П. Семенец // Порошковая металлургия. – 1990. – № 3. – С. 25–29.

12. Скороход В. В. Порошковые материалы на основе тугоплавких металлов и соединений / В. В Скороход. – Киев : Техніка, 1982. – 167 с.

13. Композиционные материалы: Справочник / [под ред. Д. М. Карпиноса]. – Киев: Наук. Думка, 1985. – 592 с.

14. Singh J. Review Nano and macro-structured component fabrication by electron beam-physical vapor deposition (EB-PVD) / J. Singh, D. E. Wolfe // Journal of materials science. – 2005. – Vol. 40. – P. 1–26.

15. Мовчан Б. А. Неорганические материалы, осаждаемые из паровой фазы в вакууме. Современное материаловедение XXI / Б. А. Мовчан. – Киев: Наук. думка, 1998. – С. 318–332.

16. Мовчан Б. А. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме / Б. А. Мовчан, И. С. Малашенко. – Киев. : Наукова думка, 1983. – 230с.

17. Композиционные материалы на основе меди и молибдена для электрических контактов, конденсированные из паровой фазы. Основы электронно-лучевой технологии получения материалов для электрических контактов. Часть 2 / Н. И. Гречанюк, В. А. Осокин, И. Н. Гречанюк [и др.] // Современная электрометаллургия 2006. – № 2. – С. 9-19.

18. Бухановский В. В. Влияние химического состава и термической обработки на механические характеристики микрослойных композиционных материалов системы Cu-Zr-Y-Mo в широком диапазоне температур / В. В. Бухановский, Н. П. Рудницкий, И. Мамузич // МиТОМ. – 2006. – № 3. – С. 18-22.

19. Bukhanovskii V. V. The effect of temperature on mechanical characteristics of copper-carbonic composite / V. V. Bukhanovskii, I. Mamuzic, N. P. Rudnitsky // Kovove Materialy (Metallic Materials). – 2008. – № 1. – P. 33-37.

20. Bukhanovskii V. V. The effect of temperature on mechanical characteristics of copper-chromium composite / V. V. Bukhanovskii, N. P. Rudnitsky, Mamuzich I. // Materials Science and Technology. – 2009. – № 8. – P. 1057-1061.

21. Structure and properties of dispersion – strengthened Cr-MgO, Cr-Y2O3, Cr-Y and Cr-Cu condensates / V. A. Movchan, N. I. Grechanyuk, G. G. Didikin [and ather] // Thin Solid Films. – 1984. – 111. – № 4.

22. Гречанюк Н. И. Исследование структуры и свойств толстых вакуумных конденсатов системы Cu-Y / Н. И. Гречанюк, Г. Г. Дидикин, Б. А. Мовчан // Проблемы спецэлектрометаллургии. – 1983 – № 18. – С. 57-59.

23. Структура и свойства толстых вакуумных конденсатов Cu-NbC / В. И. Топал, Н. И. Гречанюк, Б. А. Мовчан [и др.] // Спецэлектрометаллургия. – 1984. – № 54. – С. 66-72.

24. Композиционные материалы в технике / [Карпинос Л. И., Тучинский Л. Б., Сапожникова и др.]. – К. : Техника, 1985. – 150 с.

25. Композиционные материалы на основе меди и молибдена для электрических контактов, конденсированные из паровой фазы. Структура, свойства, технология. Современное состояние и перспективы применения технологии электронно-лучевого высокоскоростного испарения-конденсации для получения материалов электрических контактов. Часть 1 / Н. И. Гречанюк, В. А. Осокин, И. Н. Гречанюк [и др.] // Современная электрометаллургия. – 2005. – № 2. – С. 28-35.

26. Композиционные материалы на основе меди и молибдена для электрических контактов, конденсированные из паровой фазы. Основы электронно-лучевой технологии получения материалов для электрических контактов. Часть 2 / Н. И. Гречанюк, В. А. Осокин, И. Н. Гречанюк [и др.] // Современная электрометаллургия 2006. – № 2. – С. 9-19.

27. Гречанюк М. І. Элетронно-лучевые технологии / М. І. Гречанюк, Осокін В. А., Гречанюк І. М. // Рынок металлов. – № 4, 1999. – С. 58-60.

28. Гречанюк І. М. Структура і властивості композиційних матеріалів Cu-Mo-Zr-Y та електронно-променева технологія їх одержання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.01 “Матеріалознавство” / І. Н. Гречанюк. –

Київ, 2007. – 24 с.

29 Orak Lucia. Materiale composite cu proprietati speciale: the dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of a Dr.Sci.Tech. behind a speciality material science / Lucia Orak. – Romania, 2009. – 45 pages.

30. Pat. US 6, 923, 868 BZ. Installation for electron – ray coatication of coatings / N. I. Grechanyuk, P. P. Kucherenko; publ. 02. 08. 2005.

31. Пат. 2265078 РФ. Установка для електронно-лучевого нанесения покрытий / Н. И. Гречанюк, П. П. Кучеренко; публ. 12. 07. 2005.

32. Пат. № 40664 Україна. Електронна гармата з лінійним термокатотодом для електронно-променевого нагрівання / М. І. Гречанюк, П. П. Кучеренко, Є. Л. Піюк; опубл. 14. 07. 2001.

33. Aplication of glow discharge electron guns for plasma activated deposition of coating / S. V. Denbnovetskiy, Melnik V. G., , Melnik I. V. [and ather] // Электротехника и электроника. – 2006. – № 5-6. – С. 115-118.

34. Grechanyuk N. I. Modern electron-beam technologies of melting and evaporation of materials in vacuum, used by Gekont Company, Ukraine // N. I.Grechanyuk, I. Mamuzich, P. Shpak // Metalurgiya. – 2002. – V. 41 № 2. – P. 125-128.

35. Хоменко Е. В. Структура и свойства медно-хромовых конденсатов и перспективы их использования в качестве вакуумных контактов / Е. В. Хоменко,

36. Р. В. Минакова, В. А. Осокин [и др.] // Труды ин-та проблем материаловедения НАН Украины. Серия «Электрические контакты и электроды». – 2001. – С. 12-22.

37. Современное состояние и перспективы применения технологии высокоскоростного электронно-лучевого испарения и последующей конденсации в вакууме металлов и неметаллов для получения материалов электрических контактов и электродов: сборник научных трудов / Н. И. Гречанюк, Р. В. Минакова, О. П. Василега [и др.] // Электрические контакты и электроды. Серия «Композиционные материалы». – Киев. – 2010. – 291с.

38. НПАОП 27.0-1.01-08. Правила охорони праці в металургійній промисловості.

39. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с

Фор.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
А1			ФНз11.9112.4203.003.02АС	Апаратурно-		
				технологічна схема	1	
				Обладнання		
		1		Електронно-променева		
				установка Л5	1	
		2		Гільйотині ножиці	1	
		3		Вакуумна електропіч		
				опору СНВЕ-16/13	1	
		4		Токарний верстат 1К62	1	

					ФНз11.9112.4203.003.02АС		
Зм.	Арк.	ПІБ	Підпис	Дата			
Розробив		Гречанюк К.І.			АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	Літ.	Аркуш 86 / Аркушів 1
Перевірив		Шемет В.Ж					
Реценз						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМіПМ Гр. ФК-з91	
Н. контр.		Бірюкович Л.О					
Зав.каф		Богомол Ю.І.					

Фор.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт-ка
				Документація		
А1			ФНз11.9112.4203.003.03ПД	План дільниці	1	
				Обладнання		
		1		Електронно-променева установка Л5	1	
		2		Піч плавильна електронно-променева Л4	1	
		3		Стенд випробувальний	1	
		4		Електропіч опору вакуумна СНВЕ -16/13	1	
		5		Верстат 1к62 токарно-гвинторізний	1	
		6		Ножиці гільйотинні Н311і	1	
		7		Стіл офісний	2	
		8		Шафа зберігання матеріалів та інструментів	10	
		9		Стіл електромонтажний	2	
		10		Стіл слюсарний	1	
		11		Стіл зварювальний	1	
		12		Шафа зберігання балонів зі стисненими газами	2	
		13		Верстат вертикально-сверлильний 2А135	1	
		14		Вентилятор радіальний ВР-160	1	

Зм.	Арк.	ПІБ	Підпис	Дата	ФНз11.9112.4203.003.03ПД		
Розробив		Гречанюк К.І.			ПЛАН ДІЛЬНИЦІ	Літ.	Аркуш 88 / Аркушів 1
Перевірив		Шемет В.Ж					
Реценз						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМіПМ Гр. ФК-з91	
Н. контр.		Бірюкович Л.О					
Зав.каф		Богомол Ю.І.					