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

«___»_____2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Виробництво струмознімачів рухомого транспорту»

Виконав:
студент IV курсу, групи ФН-01
Махиня Володимир Ігорович _____

Керівник:
професор, к.т.н., професор
Степанчук Анатолій Миколайович _____

Консультант з економічно-організаційного розділу:
доцент, к. е. н., доцент,
Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці:
професор, д. т. н., професор,
Левченко Олег Григорович _____

Нормоконтроль:
доцент, к. т. н., доцент,
Бірюкович Ліна Олегівна _____

Рецензент:
доцент каф.ФМТО, к. т. н., доцент,
Дудка О. І. _____

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

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на		
			дипломний проект	3	
2	А4	ФН01.9106.4203.003.01ПЗ	Пояснювальна		
			записка	106	
3	А1	ФН01.9106.4203.003.01СК	Апаратурно-		
			технологічна схема	1	
4	А1	ФН01.9106.4203.003.01СК	Установка для		
			розпилення	1	
5	А1	ФН01.9106.4203.003.01СК	План дільниці	1	
6	А1	ФН01.9106.4203.003.01СР	Результати		
			досліджень умов		
			пресування	4	
7	А1		Техніко-економічні		
			показники	1	

				ФН01.0930.4230.0002.01ПЗ	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Махиня В.І.			ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ	Лист 1 / Листів 1
Керівн.	Степанчук А.М.				
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-01
Н/контр.	Бірюкович Л.О.				
Зав.каф.	Богомол Ю. І.				

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Виробництво струмознімачів рухомого транспорту»

Київ – 2024 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
«___»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Махині Володимиру Ігоровичу

1. Тема проєкту «Виробництво струмознімачів рухомого транспорту», керівник проєкту Степанчук Анатолій Миколайович, професор, к. т. н., затверджені наказом по університету від «30» травня 2024 р. № 2210-с

2. Термін подання студентом проєкту 15.06.2024

3. Вихідні дані до проекту: Аналіз сучасного стану виробництва струмознімачів рухомого транспорту. Триботехнічні матеріали і вироби з них. Теорія та технологія отримання вихідних матеріалів, їх компактування та властивості виробів з них. Проектування провести з використанням сучасних уявлень про термодинаміку і кінетику процесів отримання вихідних матеріалів і виробів з них, технологічні процеси їх виготовлення . Період окупності зпроектованого виробництва повинен бути меншим за 5 роки. Продуктивність виробництва 80 т/рік.

4. Зміст пояснювальної записки

1 Вступ

Обґрунтувати актуальність отриманню струмознімачів рухомого транспорту з порошкових композиційних сплавів для отримання зносостійких антифрикційних матеріалів і виробів з них для роботи в умовах тертя в атмосферних умовах і дії абразивів.

2 Технологічна частина

Провести аналіз літературних даних по теорії і технології отримання виробів з порошкових композиційних матеріалів триботехнічного призначення.

2.1. Вибрати матеріал для виготовлення струмознімачів рухомого транспорту.

2.2. Вибрати технологічний процес отримання вихідних порошків і виробів з них для роботи як струмознімачів трамваїв.

2.3. Розробити технологічний процес виробництва вихідних матеріалів і виробів з них згідно поставленого завдання.

2.4. Провести дослідження по оптимізації умов компактування вихідних порошків під час виготовлення виробів.

2.5. Провести розрахунок матеріального балансу та необхідної кількості технологічного обладнання. Спроектувати план його розміщення в приміщеннях.

3 Економічна частина

3.1 Розрахувати техніко-економічні показники розробленого виробництва та визначити собівартість за одиницю продукту. Визначити період окупності виробництва.

4 Охорона праці та навколишнього середовища

4.1 Розробити засади охорони праці та навколишнього середовища на спроектованому виробництві згідно поставленого завдання.

5. Перелік графічного матеріалу

5.1 Апаратурно - технологічна схема виробництва струмознімачів рухомого транспорту.

5.2 План розміщення обладнання.

5.3 Загальний вигляд розпилювальної установки

5.4 Результати досліджень умов пресування.

6 Консультанти розділів проєкту

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

7 Календарний план виконання проекту

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Аналіз сучасного стану виробництва струмознімачів рухомого транспорту	20.04.2024	
2	Вибір вихідних матеріалів для отримання виробів	25.04.2024	
3	Вибір та розробка технологічного процесу	25.04.2024	
4	Розрахунок матеріального балансу	15.05.2024	
6	Вибір та розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання	15.04.2024	
7	а. Спеціальний розділ. Визначення оптимальних технологічних параметрів для отримання виробів. Проведення досліджень.	20.05.2024	
8	Розділ охорони праці та навколишнього середовища	25.05.2024	
9	Економічний розділ	28.05.2024	
10	Оформлення дипломної записки. Розробка ілюстративного та графічного матеріалу	01.06.2024	

Студент _____ Володимир МАХИНЯ

Керівник _____ Анатолій СТЕПАНЧУК

РЕФЕРАТ

У даному дипломному проєкті міститься пояснювальна записка, яка має у своїй структурі: стор. – 106, рис. – 20, табл. – 23, літ. – 60 і графічна частина, яка склаадється із 4 креслень і 1 плакату.

КОНТАКТНА ПЛАСТИНА ПАНТОГРАФА, МАТЕРІАЛ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, ПОРОШКОВА ТЕХНОЛОГІЯ, СПІКАННЯ У ВАКУУМІ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

У проєкті описується актуальне на сьогоднішній день виробництво контактних пластин рухомого транспорту, яке базується на технологіях порошкової металургії.

Метою проєкту є вибір матеріалу та технології виготовлення струмознічавів рухомого транспорту, їх аналітика та опис. Також на меті є розробка конструкторської документації дільниці з продуктивністю 166 667 шт/рік.

Об’єктом дослідження є антифрикційні матеріали електротехнічного призначення, які застосовуються для виробництва контактних пластин, що працюють в умовах тертя.

Для забезпечення плану виробництва були поставлені наступні задачі:

– дослідження та вибір матеріалу з необхідними для струмознімачів властивостями;

– огляд та проведення аналізу найпоширеніших технологічних схем виготовлення струмознімачів задля вибору найоптимальнішої з них;

– розробка будівельного, спеціального та організаційно-економічного розділів;

Як результат після проведеної роботи в проєкті було розраховано необхідну кількість матеріалів та обладнання, а також енергетичних ресурсів. Встановлено необхідну кількість основного персоналу, допоміжного та управлінського, щоб забезпечити продуктивність виробництва. Визначено техніко-економічні показники виробництва струмознімачів для роботи в умовах тертя. Період окупності проєкту складає 2 роки 5 місяців.

ABSTRACT

The diploma project under the educational and professional program consists of an explanatory note containing: p. – 106, fig. – 20, tab. - 23 lit – 60 and a graphic part consisting of 4 drawings and 1 poster.

PANTOGRAPH CONTACT PLATE, MATERIAL FOR TRIBOTECHNICAL PURPOSES, POWDER TECHNOLOGY, VACUUM SINTERING, TECHNOLOGICAL PROCESS

The project describes today's production of contact plates of mobile vehicles, which is based on powder metallurgy technologies.

The purpose of the project is the selection of material and technology for the production of current transformers of moving vehicles, their analysis and description. The goal is also to develop design documentation for the site with a productivity of 166,667 units/year.

The object of research is antifriction materials for electrotechnical purposes, which are used for the production of contact plates operating in friction conditions.

To ensure the production plan, the following tasks were set:

– research and selection of material with properties necessary for current collectors;

- review and analysis of the most common technological schemes for the production of current collectors in order to choose the most optimal one of them;

– development of construction, special and organizational and economic sections;

As a result, the necessary amount of materials and equipment, as well as energy resources, was calculated after the work carried out in the project. The required number of core, support and managerial personnel is established to ensure production productivity. The technical and economic indicators of the production of current collectors for operation in friction conditions have been determined. The payback period of the project is 2 years and 5 months.

Зміст

ВСТУП 11

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ 12

1.1 Вибір матеріалу 12

1.2 Вибір і обгрунтування схеми технологічного процесу 21

1.3 Висновки та постановка задачі проєктування 26

1.4 Обгрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї 27

1.4.1 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї 28

1.5 Опис технологічних операцій 28

1.5.1 Плавлення 29

1.5.2 Розпилювання 29

1.5.3 Сушіння 30

1.5.4 Просіювання 31

1.5.5 Змішування 31

1.5.6 Пресування 31

1.5.7 Спікання 32

1.5.8 Технологічний контроль і контроль якості продукції 33

1.6 Розрахунок і складання матеріального балансу 37

1.7 Вибір і розрахунок кількості обладнання 45

1.7.1 Обладнання для плавлення 45

1.7.2 Обладнання для розпилювання 46

1.7.3 Обладнання для сушіння 47

1.7.4 Обладнання для просіювання 49

1.7.5 Обладнання для змішування 50

1.7.6 Обладнання для пресування 52

1.7.7 Обладнання для спікання 55

					ФН01.0930.4230.0002.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Махиня В.І.			ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Степанчук А.М.						
Реценз.						НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-01		
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.						
Затверд.		Богомол Ю. І.						

2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ 60
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ 62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ 70
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ 82
5.1 Енергетичний розділ 82
5.2 Розрахунок чисельності виробничих робітників 86
5.3 Визначення фондів заробітної плати 89
5.4 Розрахунок продуктивності праці 93
5.5 Розрахунок капітальних вкладень 94
5.6 Визначення планової собівартості одиниці продукції 96
5.7 Розрахунок показників економічної ефективності проєктованого рішення 102
ВИСНОВКИ 107
CONCLUSIONS 109
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 111

ВСТУП

Під час експлуатації конструкцій велика частина з них працює в умовах тертя, яке зумовлене рухом середовищ в різних агрегатних станах, відносно інших поверхонь [1]. Це також може бути викликано внутрішніми енергетичними процесами всередині того чи іншого тіла. Через активну роботу конструкцій, в будові яких функціонують дотичні частини, виникає зношування поверхонь цих механізмів. Тому існує поділ на фрикційне зношування, яке відбувається через контакт двох робочих рухомих поверхонь, абразивне зношування, що виникає в процесі контакту поверхні з чужорідною речовиною або частинками, і корозійне зношування, що зумовлене ерозією корозійним середовищем чи матеріалами.

У зв'язку з цим однією з задач матеріалознавства є розробка ефективних методів для зменшення негативного впливу, який характерний для механічного зношування [2]. Через втрату матеріалу на поверхні деталей під час механічного зношування, відбувається їх руйнування та втрата експлуатаційних властивостей. Одним з варіантів вирішення цих проблем є розробка матеріалів з властивостями, які забезпечують їх стійкість під час експлуатації в умовах тертя. Це, перш за все, матеріали триботехнічного призначення [3]. Для таких матеріалів характерна стійкість проти зношування, малий коефіцієнт тертя, спеціальні властивості, такі як тепло– і електропровідність, корозійна стійкість та інші. Під час розробки нових матеріалів необхідно також враховувати економічну ефективність їх виробництва, вплив на навколишнє середовище. Тому проектування виробництв з нових матеріалів, у тому числі антифрикційного призначення, є досить актуальною задачею.

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вибір матеріалу

Антифрикційні матеріали мають як основну характеристику збільшення опору тертя під час відносного руху поверхонь, що дає можливість використовувати їх у сферах промисловості, де деталі піддаються взаємодії одна з одною. До таких матеріалів ставлять наступні вимоги [4]:

– коефіцієнт тертя в межах від 0,05 до 0,3;

– стійкість коефіцієнту тертя за високих температур;

– припрацьовуваність;

– зносостійкість;

– відсутність схоплювання у парі тертя;

– термостійкість;

– теплопровідність;

– висока корозійна стійкість.

Для надання таких властивостей матеріалам антифрикційного призначення найбільш ефективним є застосування методів порошкової металургії. Саме вони дають можливість отримувати вироби з заданими експлуатаційними властивостями. Також їх вагомою перевагою є можливість отримання деталей складної форми, для роботи у вузлах тертя. Але отримання виробів з матеріалів з заданою структурою і різноманітних складових, які забезпечують необхідні експлуатаційні властивості.

Найчастіше антифрикційні матеріали отримують на основі міді або заліза. До їх складу також входять тверді мастила, серед яких найбільш поширеними є графіт, нітрид бору, дисульфід молібдену та інші. Згідно [5], введення до матеріалу на основі алюмінію дисперсних частинок Al_2O_3 сприяє збільшенню його зносостійкості. збільшення зносостійкості матеріалу.

Додатково до викладеного вище, враховуючи що антифрикційні матеріали повинні зменшувати коефіцієнт тертя в парі тертя , вміщують у своєму складі змащувальні компоненти, щоб зменшити коефіцієнт тертя. Тому згідно [6] даний тип триботехнічних матеріалів повинні мати наступні властивості:

- коефіцієнт тертя від 0,12 до 0,30 в умовах сухого;
- коефіцієнт тертя від 0,04 до 0,10 в умовах тертя з мастилом;
- можливість самозмащуватись;
- можливість утримувати мастило;
- висока корозійна стійкість;
- зносостійкість;
- термостійкість;
- теплопровідність більше 100 Вт/м*К;

Антифрикційні матеріали електротехнічного призначення. Антифрикційні матеріали електротехнічного призначення одночасно з забезпеченням стандартних для антифрикційних матеріалів комплексом властивостей наведених вище, мають також проводити електричний струм, намагнічуватися, поляризуватися в електричному полі та змінювати свої значення електропровідності залежно від тих чи інших факторів.

Для виготовлення таких матеріалів найбільш поширеними є [7]:

- матеріали на основі заліза, міді, алюмінію, нікелю, кобальту;
- композиційні матріали;
- металографітні матеріали;
- металеві двошарові матеріали зі сталевою підкладкою;
- матеріали на основі пористих металевих каркасів, просочених фторопластом;
- металоскляні матеріали.

Ці матеріали поділяють на ті, що працюють:

- з наявністю рідкого змащування;

– в середовищі обмеженого змащення;
– з можливістю самозмазування;
– з відсутнім змащенням в повітрі;
– при високих швидкостях ковзання;
– у водному та корозійному середовищах;
– як торцеві та радіальні ущільнення;
– у вакуумі та в середовищі інертних газів;
– при підвищених температурах;
– як ковзаючі контакти та порошкові кільця.

Згідно завдання проекту на виробництві, що проектується передбачається виробництво високовольтних контактних пластин пантографа (рис. 1.1), що працює в умовах постійного навантаження та тертя.

Рисунок 1.1 – Контактна пластина пантографу

Вона створена для забезпечення провідності електричного струму з мережі до електричного транспорту (трамваї, потяги метрополітену, тролейбуси тощо). Саме структура пластини пантографа є ключовою для забезпечення постійної безперебійної роботи електричного транспорту, при цьому забезпечуючи відсутність консерогенів для запобігання негативного впливу на екологію [10].

Тепер, для виготовлення пластин широкого використання набули сплави на основі міді та графіт.

Як матеріал для електричних контактів в умовах ковзання, графіт має такі переваги як висока електропровідність в діапазоні від 104 до 105 см/м та низький коефіцієнт тертя в межах від 0,1 до 0,2 для застосування у контактах ковзання [8]. Додатково, графіт наділений високим значенням теплопровідності в межах від 130 до 170 Вт/м*К та стійкістю до підвищених температур. Тому він підходить для вузлів, де виникають або можуть виникати вагомі теплові навантаження.

З недоліків матеріалу виділяють низькі зносостійкість, твердість (0,5–1,0 ГПа за Віккерсом), низькі значення міцності (7–10 МПа) [9]. Через це деталі з графіту потрібно часто замінювати та обслуговувати, що є негативним з точки зору експлуатаційної та економічної.

Сплави на основі міді. Мідь наділена одним з найбільш високих значень електропровідності серед чистих металів – 59,6×106 См/м [10]. Її легують для забезпечення механічної міцності та зносостійкості, проте це негативно впливає на електропровідність, адже вона є чутливим металом, тому реагує також до незначних кількостей добавок. До прикладу, 0,1 % фосфору зменшує провідність міді на 50 %, а 1 % олова майже на 40 % [11].

Щоб забезпечити покращення механічної міцності мідного сплаву і його електропровідності застосовують опційну термічну обробку. Наприклад, відповідно до дослідницької роботи, зміцнення берилієвої міді осадженням впливає на виведення берилію з твердого розчину і осаджує його як окрему фазу. Та мідна матриця, яка залишилась, вона чистіша і, через те, що вона є переважаючим об'ємом у всьому сплаві, електропровідність набуває значень тієї, що має чиста мідь [12].

Однак недоліком міді є її низька механічна міцність, від того зменшується зносостійкість всього виробу [13], відповідно це зумовлює застосування різних типів бронз. Їх властивості саме для електротехнічного призначення додані до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості певних типів бронз [14]

Сплав	Питома провідність γ, % в порівнянні з провідністю міді	Межа міцності при розриві, МПа	Відносне подовження при розриві, Δl/l, %
Кадмієва бронза (0,9%Cd)	83–90	310	50
Бронза (0,8%Cd, 0,6% Sn)	55–60	290	До 55
Бронза (2,5%Al, 2%Sn)	15–18	370	До 45
Фосфориста бронза (7%Sn, 0,1%P)	10–15	400	До 60
Латунь (30%Zn)	25	320–350	60–70

Відровідно до таблиці 1.1 можемо бачити, що підвищення механічних властивостец відбувається за рахунок наявності легувальних добавок, але це знижує провідність виробу.

Відповідно до сучасних уявлень про мідь, її оксид, утворюваний в процесі робочої експлуатації є канцерогеном для організму людей. Тому наразі досліджується велика кількість аналогів, які не є концерогенами для організму людини та шкідливими для екології, до того ж вигідніші з точки Одними із зазначених матеріалів є сплави на основі алюмінію.

Використання алюмінію як антифрикційного матеріалу зумовлена високою електропровідністю ($37{,}7\times10^6$ см/м), відносно низьким коефіцієнтом тертя (0,4–0,6). Для зниження коефіцієнту тертя застосовують додаткові легуючі елементи.

В вузлах, де потрібна підвищена міцність на втому використовуються Алюмінієво–олов'яні сплави з вмістом олова до 20 відсотків від маси. Відповівдно

до діаграми стану, сплави системи Al–Sn різняться обмеженою розчинністю компонентів (рис. 1.2).

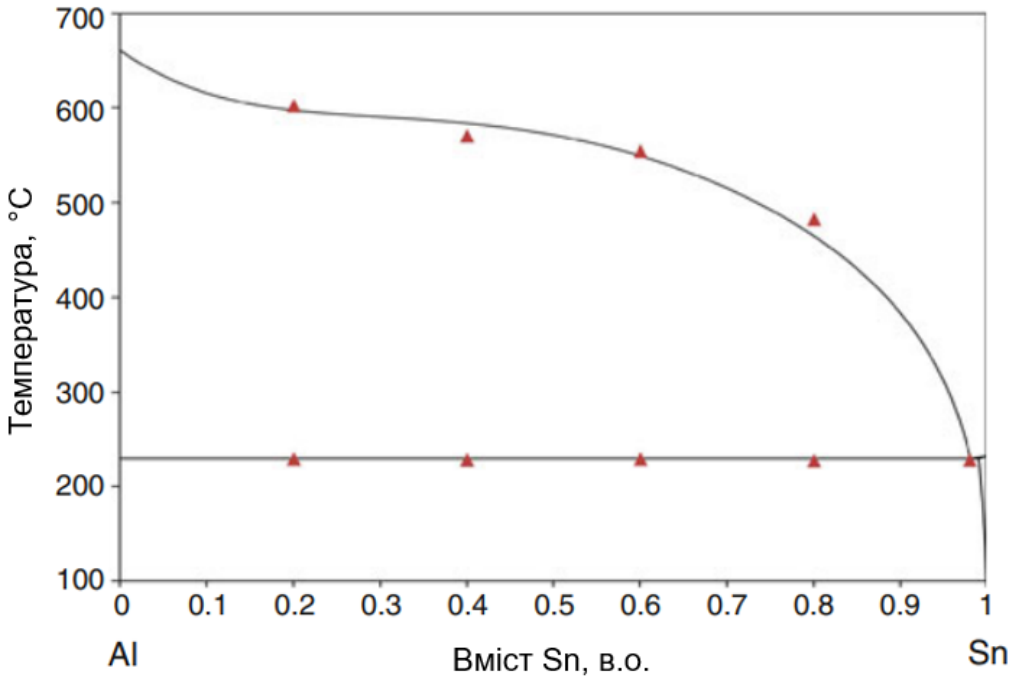


Рисунок 1.2 – Діаграма стану системи Al–Sn [15], [16]

Сплави на основі алюмінію також стійкі до корозії, наділені високою теплопровідністю та електропровідністю і економічно вигідніші за сплави на основі олова. З недоліків вони наділені високою швидкістю теплового розширення, від того потребують більших зазорів при кімнатній температурі.

Додатково сплави на основі алюмінію забезпечують кращу сумісність зі сталлю, якщо мають у своєму складі високий вміст олова.

З економічної точки зору, вигідніше застосовувати свинець замість олова. Попри обмежену розчинність в алюмінієвій матриці, свинець переходить у твердий розчин за підвищених температур (рис. 1.3).

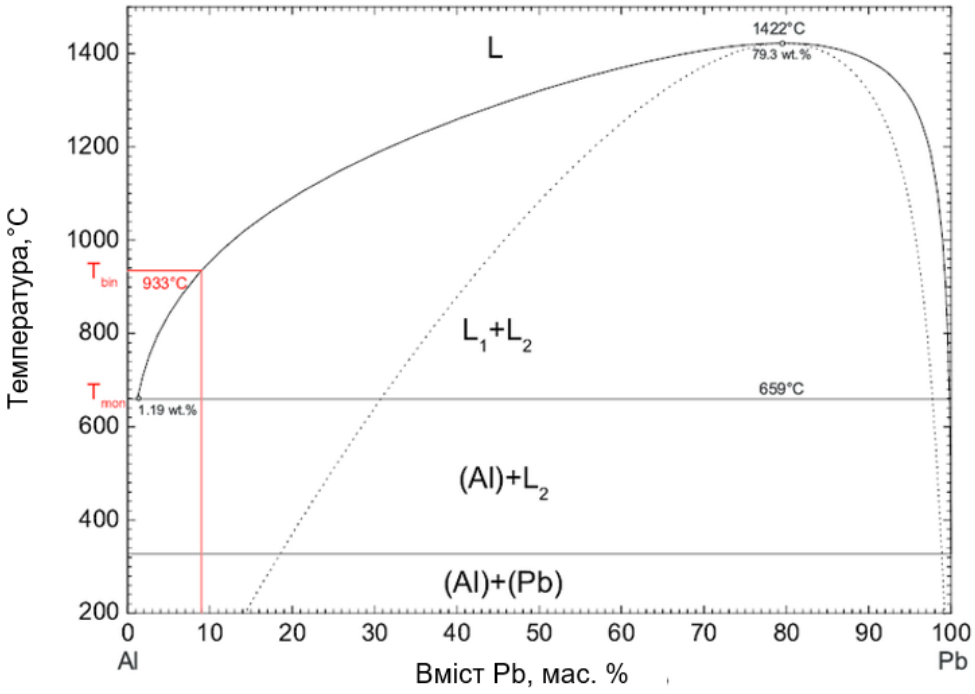


Рисунок 1.3 – Діаграма стану Al–Pb [17]

Під час охолодження в товсті виливки виникає сегрецію, тому свинець та алюміній часто поєднують спіканням цих металів у порошковому вигляді на сталевій смузі, послідовно згортаючи утворений композит у циліндричну форму. В цьому випадку наведений сплав досягає значень втомної міцності як у алюмінієво-олов'яному сплаві з двадцяти відсотками олова, при тому маючи вищу зносостійкість.

Як негативним явищем в системах Al–Sn та Al–Pb, що призводить до зниження коефіцієнта тертя слугує обмежена розчинність легуючих компонентів в алюмінієвій матриці [18]. Як рішення даного ускладнення легувальними елементами з обмеженою розчинністю, які перебувають у вигляді інтерметалідів в алюмінієвій матриці слугують Fe, Ni, Co, Sc, Zr. Ці елементи дають можливість зберігати інтерметалеві включення і за високих температур, при яких вв інакшому випадку легувальні елементи кристалізувалися б. Проте навіть Si, Cu, Mn, Mg, які показують необхідні для виробництва пластин фізико–механічні властивості не

зберігають включення при широкому діапазоні температур, через зворотню розчинність інтерметалевих включень при локальному нагріві. Відповідно для забезпечення задовільних значень міцності та зносостійкості Саме рекомендовано легувати алюміній залізом.

Fe слугує основною супутньою домішкою алюмінію, що не може бути повністю розчиненою. Наразі в масштабах виробництва алюмінієві сплави містять мінімум 0,1 % Fe. Для вищої кількості включень у сплав використовують методи порошкової металургії, цим самим уможливлюючи додавання заліза до 15 відсотків від загальної маси включно. Ці методи дають можливість контролювати вміст інтерметалевої фази, розподіл цієї фази по структурі, а також сам розмір включень інтерметалідів.

Згідно діаграми стану Al–Fe (рис. 1.4), система має можливість утворювати велику кількість інтерметалідів таких як FeAl, Fe_3Al, $FeAl_2$, Fe_2Al_5, $FeAl_3$ [19].

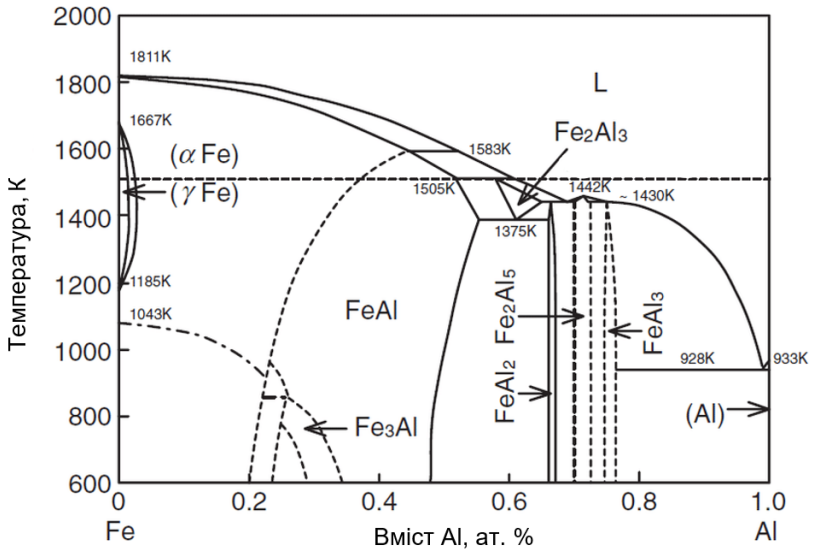


Рисунок 1.4 – Діаграма стану Al–Fe [19]

Інтерметалеві включення мають безпосередньо прямий вплив на властивості деталі, її міцність, ламкість, зносостійкість тощо. Для нашого випадку, як антифрикційний матеріал, важливими є коефіцієнт тертя та зносостійкість. В роботі [21], яка за завдання ставить дослідження впливу

технологічних параметрів виготовлення сплаву Al–15Fe на триботехнічні властивості вихідного продукту зазначено, що зазначений сплав має високу стійкість до абразивного зносу відповідно має місце використання його як матеріалу триботехнічного призначення. Наголошується також, що безпосередньо сплав на основі алюмінію з додаванням 15 відсотків заліза від маси за рахунок електропровідності та теплопровідності може надійно слугувати для розробки деталі пластини пантографа для рухомого електричного транспорту.

Для збереження низького коефіцієнту тертя за відсутності змазки є доцільним додавання до складу графіту, сульфідів, оксидів, карбідів, які виконують роль сухої змазки. Введення MoS_2 суттєво покращує властивості матеріалу, що дозволяє зменшити втрати енергії та підвищити ефективність роботи контактних пар [20].

Сьогодні актуальним завданням залишається розробка технології отримання матеріалів порошків цих сплавів та подальшого їх компактування. Сплави алюмінію легованого залізом мають коефіцієнт тертя в межах від 0,4 до 0,6 і тому можуть використовуватись для виробництва струмознімачів трамваїв [21]. Вони відповідають вимогам до дисперсних матеріалів, а саме інтерметалічні включення заліза не розчиняються в системі при робочих температурах, вони є когерентними, співпадають фазами та залізо не може бути повністю розчинене за підвищених температур. Як тверде мастило вирішили застосувати MoS_2, оскільки сполука є хімічно інертною, що знижує ризик корозії і взаємодії з іншими матеріалами у парі тертя, вона менш схильна до окислення у порівнянні з графітом, що дозволяє підтримувати мастильні властивості протягом тривалого часу в умовах високих температур та агресивних середовищ, та має коефіцієнт тертя 0,16.

1.2 Вибір та обгрунтування схеми технологічного процесу

З технологічної точки зору, для виготовлення антифрикційних матеріалів доцільним є використання метод порошкової металургії, що значною мірою пояснюється перевагами, описаними відносно виготовлення фрикційних матеріалів, а саме можливість контролю складу та структури готового матеріалу для забезпечення високої зносостійкості [22]. Водночас під час виготовлення антифрикційних матеріалів важливо забезпечити низький коефіцієнт тертя, що досягається шляхом введення в структуру дисперсних частинок твердого мастила (наприклад, графіту або дисульфіду молібдену) [23]. Саме рівномірно розподілене тверде мастило в загальному об'ємі матеріалу дає можливість самозмащування у вузлах тертя. Відповідно до роботи [24] висновком є те, що в додавання до 14 об. % графіту до алюмінієвої основи коефіцієнт тертя зменшується лінійним чином. З іншого боку в реалістичних умовах, наявність твердого мастила сприяє прискоренню зношування [25]. Запобігання або зменшення зазначених процесів і є одним із основних наших завдань, що впливає на вибір необхідного технічного процесу. Також необхідно забезпечити високі значення механічної міцності.

Антифрикційні порошкові матеріали, які застосовуються для виготовлення деталей вузлів тертя, класифікують за складом та призначенням.

Таблиця 1.2 – Технічні режими виготовлення деяких порошкових антифрикційних матеріалів

Матеріал	Пористість, %	Тиск пресування, МПа	Температура спікання, °С	Час витримки, год	Захисне середовище
Пористе залізо	20–30	500–700	1100–1200	1–2	Водень, дисоційований аміак
Графіт легований міддю та сульфідований	15–20	400–800	1050–1150	1–3	Те ж, конвертований природний газ, ендогаз
Залізографіт (4-7%)	15–30	300–600	До 1050	1–3	Те ж
Бронза пориста та бронзографіт (1-4%)	10–30	200–400	720–850	0,5–2,0	-
Металографіт (10-50% С)	5–15	300–1000	1050–1200	1–3	Водень
Олов'яна бронза із порошку зі сферичними частинками	30–40	-	830–880	1–2	Те ж
Свинцева бронза	-	До 400	660–900	1–3	Те ж
Алюмінієві сплави	5–25	50–40	450–650	0,16–1,0	Водень, вакуум, аргон, повітря
Високолеговані сплави на основі заліза	5–20	500–800	1050–1250	1–3	Водень, вакуум, ендогаз
Матеріали на основі нержавіючої сталі	4–25	400–800	950–1150	2–4	Водень, герметизований контейнер з плавким затвором

Технологія виготовлення більшості порошкових антифрикційних виробів включає в себе такі основні операції: приготування шихти, пресування, спікання, іноді просочення машинним маслом і калібрування. У деяких випадках вироби піддаються додатковій обробці — термічній, хіміко-термічній та механічній

обробці. Поширеною також є технологія виготовлення антифрикційних матеріалів на підкладках (рис. 1.5).

Як основна схема для виготовлення виробів на основі міді та заліза (рис. 1.6) застосовується наступна: підготовка вихідних компонентів і суміші порошків, пресування, спікання, просочення виробів маслом, калібрування, повторне просочення маслом і, можливе також, зняття зовнішніх та внутрішніх фасок. Ця схема забезпечує виготовлення антифрикційних матеріалів з пористістю 15–35%. Задля виробів із більш щільних антифрикційних матеріалів з пористістю 10–15%, а також з додаванням твердого мастила, застосовують подвійне пресування і спікання або об'ємне стиснення порошкового брикету (рис 1.7). Для виробів із антифрикційних матеріалів з пористістю менше 10% (рис. 1.8) застосовують спіканням під тиском, гарячим пресуванням, екструзією або іншими операціями. Вони використовуються для виготовлення невеликих серій виробів, але є поширеними процесами, оскільки дозволяють виробляти матеріали з більш високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями, а також розширювати склади матеріалів та розміри виробів.

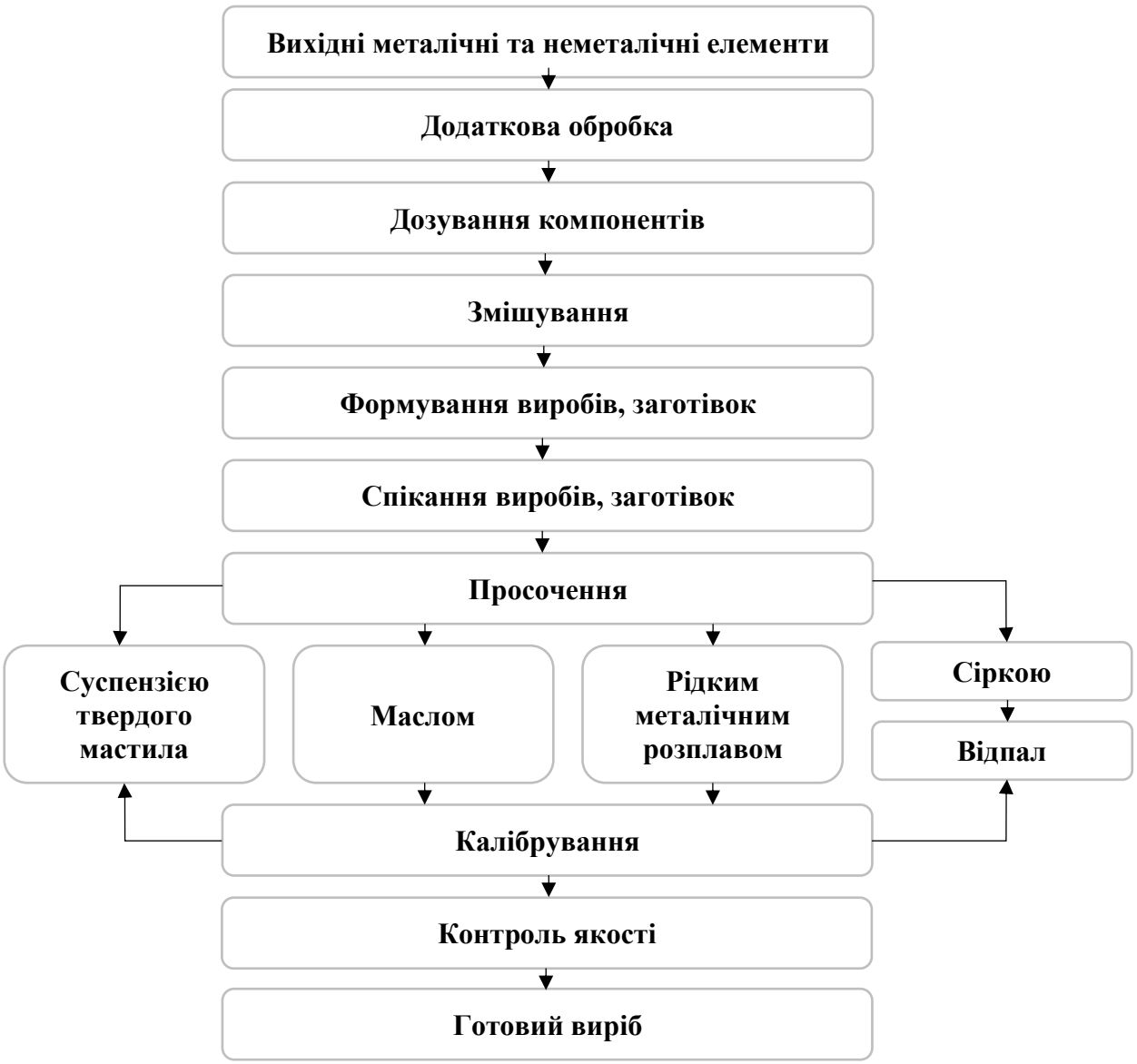


Рисунок 1.5 – Узагальнена технологічна схема виготовлення композиційних антифрикційних матеріалів

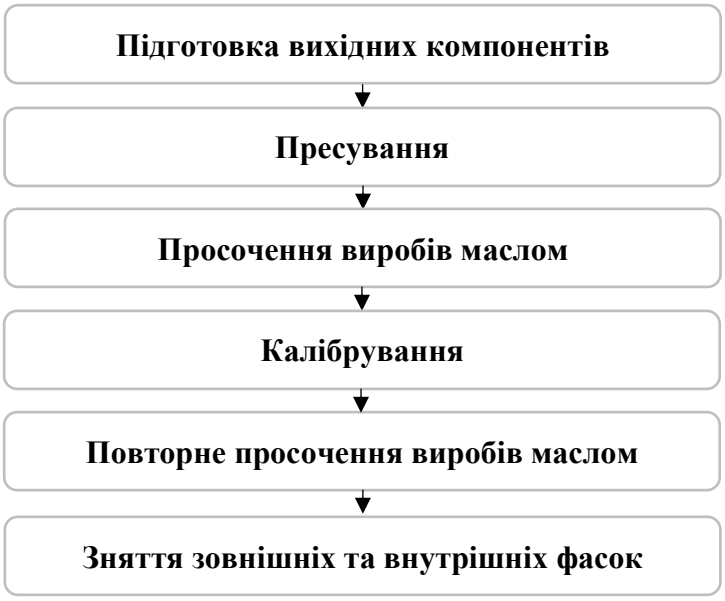


Рисунок 1.6 – Технологічна схема виготовлення антифрикційних матеріалів з пористістю 15-35%

Рисунок 1.7 – Технологічна схема виготовлення антифрикційних матеріалів з пористістю 10-15%

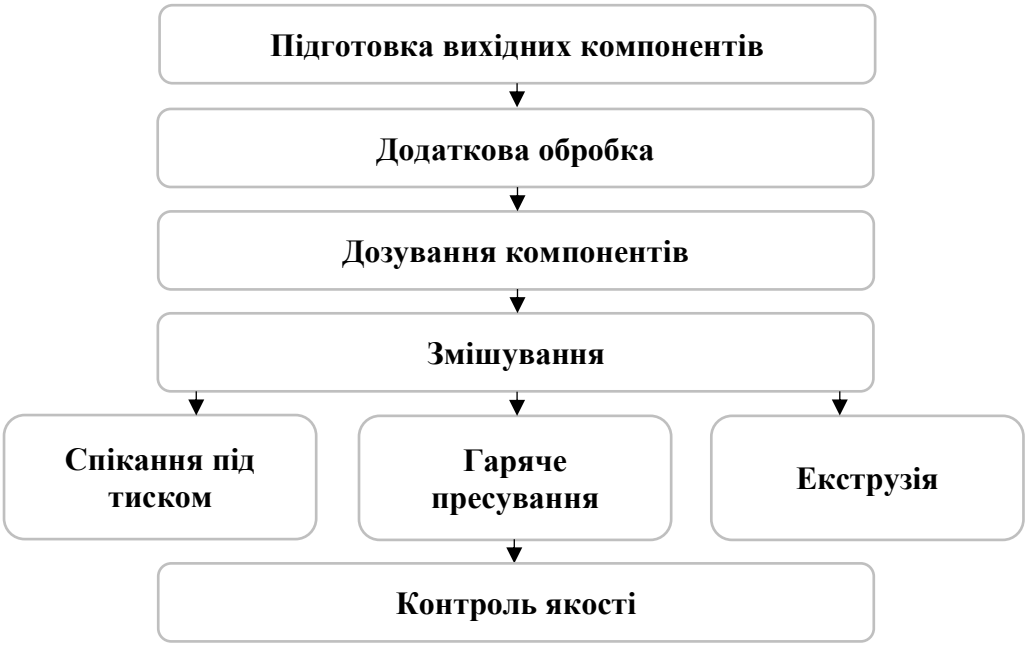


Рисунок 1.8 – Технологічна схема виготовлення антифрикційних матеріалів з пористістю менше 10%

1.3 Висновки та постановка задачі проєктування

Виходячи з представлених схем, а також беручи до уваги специфічні завдання нашого актуального проекту - виготовлення контактної пластини пантографу, наша технологічна схема матиме наступний вигляд, наведений на рисунку 1.9.

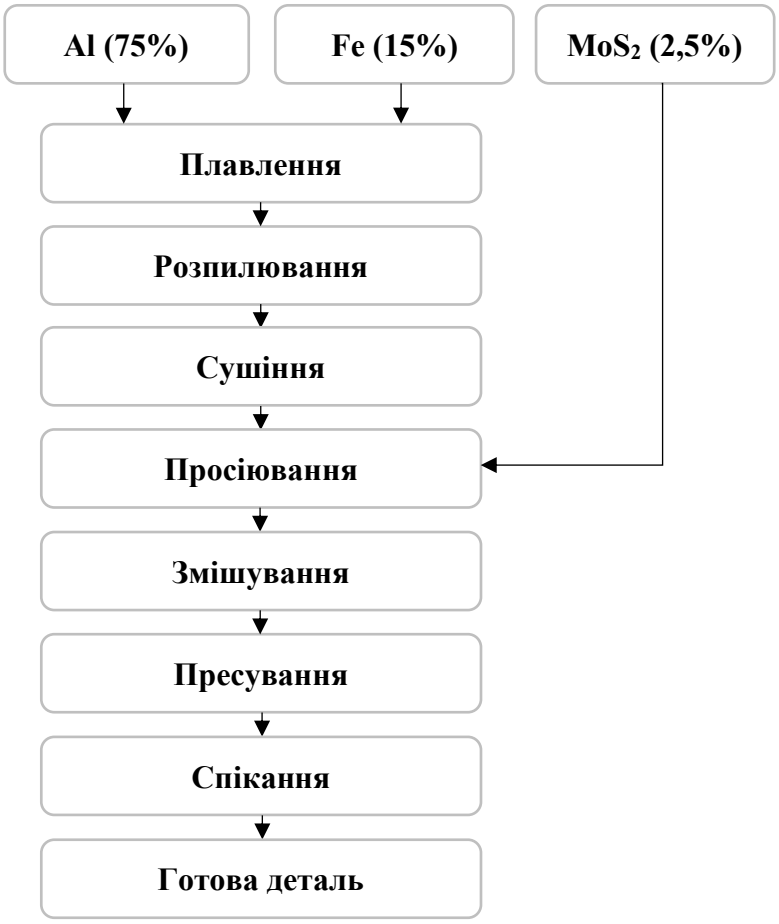


Рисунок 1.9 – Технологічна схема виготовлення контактної пластини пантографу на основі композиційних антифрикційних матеріалів

1.4 Обґрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї

На виробнипцтві планується випускати контактні пластини пантографу. Застосовуються пантографи в основному для забезпечення ефективної провідності електричного струму з мережі до електричного транспорту (трамваї, потяги метрополітену, тролейбуси). Забезпечення ефективної роботи струмознімачів дозволяє забезпечити безперебійність роботи громадського транспорту, а також зменшення експлуатаційних витрат та впливу на екологію. Обсяг виробництва складатиме 166 667 деталей на рік. Для виробництва пластин використовується Al-Fe з інтерметалідами MoS2 у розмірі 2.5%.

1.4.1 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї

Для забезпечення потрібних електричних і механічних властивостей застосовується Al-15Fe-2,5MoS_2. Даний сплав є оптимальним з економічної точки зору, алюміній забезпечує високу електропроввідність, залізо надає структурі допустимі значення міцності, а включення дисульфіду молібдену забезпечують деталь низьким коефіцієнтом тертя.

1.5 Опис технологічних операцій

Для того, щоб надати вихідним матеріалам характеристики, які забезпечують необхідні властивості виробів, вони можуть бути піддані підготовчим операціям: відновлювальному відпалу, розмеленню, розсіванню на фракції, просіванню для видалення домішок і грудок, сушінню або прожаровуванню.

Неметалеві порошки (графіт, сірка, сульфіди металів) висушують або відпалюють і просівають. Сірку сушать на повітрі за температури не вище 60-65 °С, сульфіди металів проливають у повітрі за 90–100 °С або в середовищі іншого захисного газу протягом 1,5–2 год.

Компоненти шихти дозують за масою або об'ємом, завантажують у робочий простір змішувача та перемішують протягом 2–4 годин.

Щоб запобігти ліквації графіту або інших компонентів суміші, що відрізняються за щільністю від основного металу, шихту зволожують бензином (до 1,5 %) або маслом (до 0,5%). Шліфувальні тіла в цьому випадку не застосовуються, оскільки вони сприяють обволіканню частинок металу графітовою плівкою або іншим мастильним матеріалом, що перешкоджає утворенню металевих контактів.

У деяких випадках при виготовленні складних сумішей легуючі елементи вводять у вигляді лігатури. Лігатуру готують попередньо за допомогою спільного

відновлення оксидів, спільного хімічного осадження, подрібнення литого сплаву, попереднього дифузійного відпалу введених компонентів тощо. У вигляді лігатури в суміш також можна вводити добавки, які використовуються для полегшення її пресування (стеарати).

Дисульфід молібдену (MoS_2) має низький коефіцієнт тертя (0.03–0.05) та високу зносостійкість, що забезпечує тривалий термін служби компонентів. Він перевершує функціонально графіт у вакуумі та сухих умовах, оскільки не потребує вологості для ефективного функціонування і показує кращі змащувальні властивості в умовах низького вмісту кисню. MoS_2 ефективно працює в широкому температурному діапазоні, від кріогенних умов до ≤ 500 °C, що робить його ідеальним для високотемпературних застосувань.

1.5.1 Плавлення

Процес плавлення металів поступовий через різні значення температури плавлення алюмінію та заліза. Маючи температуру плавлення 660 °C алюміній додається першим, послідовно при досягненні згаданої температури додається і залізо, що допомагає повністю розчинити метали один з одним і відбувається процес гомогенізації. При досягненні температури приблизно 1538 °C – температура плавлення заліза, розплав відливається в на наступний етап розпилення.

1.5.2 Розпилення

Мета процесу полягає в отриманні порошку металу із заданими розмірами частинок для подальшої обробки і утворення деталі.

Розпилення розплавленого металу відбуватиметься методом механічного диспергування розплавів. Процес характеризується високою продуктивністю, технологічністю, ступенем автоматизації і порівняно невеликими

енергозатратами та є екологічно чистим. За допомогою обраного методу на виході ми отримаємо задані розміри частинок 90–200 мкм. Середовищем розпилювання слугує вода, яка виконує функцію охолодження, контролю розміру частинок за рахунок регулювання кількості її подачі та зниження оксидування під час охолодження.

Найвагомішими факторами, які впливають на діаметр порошків що отримуються є в'язкість розплаву, температура, за якої проводиться розпилення, поверхневий натяг розплаву, витрати газу. У нашому випадку для оптимізації розпилення розплаву процес відбувається на установці механічного диспергування, яка передбачає розплавлення металу та механічне диспергування струменя металу з вище зазначеним діаметром частинок. Їх розмір залежить від швидкості обертання полет і вихідної температури розплаву. В нашому випадку передбачається швидкість обертання 3000 об/хв, температура вихідного розплаву [30]. В сумі час відведений на плавлення та розпилювання дорівнює 2 години.

1.5.3 Сушіння

Метою операції сушіння порошку металів є ефективне видалення вологи, яка була середовищем на процесі розпилювання. Середовищем слугувала вода з добавкою бішофіту, тому після вилучення порошку з етапу фільтрації, яка відбувається в установці, порошок поступає в сушильні шафи, задається така температура в камері, щоб запобігти окисненню матеріалу. Відповідно до [31], оптимальною температурою для даного процесу сушіння є $\leq$ 100°C. Для попередження окиснення середовищем слугує вакуум.

Після етапу розпилення, коли порошки алюмінію (Al) та заліза (Fe) піддаються розпиленню, наступним важливим процесом є сушіння. Сушіння необхідне для видалення залишкової вологи з порошків, що може негативно вплинути на подальші етапи виробництва.

Протягом сушіння важливо забезпечити рівномірне розподілення тепла і постійне перемішування порошків для уникнення утворення агломератів. Тривалість сушіння залежить від початкової вологості порошків і у нашому випадку триває протягом 3 годин.

1.5.4 Просіювання

Метою операції є відсіювання порошку з певним розміром частинок. Для нашого виробництва порошок повинен мати розмір ≤ 200 мкм. Тому висушений порошок просіюється на вібраційних ситах, які мають розміри отворів деки 200 мкм.

1.5.5 Змішування

Мета операції змішування полягає в отриманні рівномірної суміші із матеріалу, який слугує основою (Al–15Fe) та дисульфід молібдену, який є твердим мастилом.

У зв’язку з тим, що компоненти мають різну густину, потрібно проводити примусове змішування на шнековому обладнанні. Загальний час змішування складає 4 години, щоб отримати на виході якісну рівномірну суміш.

1.5.6 Пресування

Метою процесу пресування слугує надання порошку заданих розмірів із необхідною щільністю. Для виготовлення контактної пластини пантографа, пресформа має мати розміри LxBxH 200x50x20 мм.

З усіх відомих методів пресування для виготовлення порошкових антифрикційних виробів найчастіше використовується метод холодного

пресування в закритих прес-формах при тиску від 300 до 800 МПа. Цей метод є найпростішим і високопродуктивним.

Тиск пресування залежить від складу суміші та визначається пресуванням основного компонента, в нашому випадку Al–15Fe. Для виявлення оптимального тиску у даному проекті було виконано дослідження по оптимізації впливу тиску пресування та властивостей порошків на механізм і ступінь їх ущільнення (див. Розділ 3). Відповідно до отриманих результатів проведеного дослідження тиск пресування має бути 800 МПа . В зв'язку співрозмірності розмірів виробу (загальний вигляд відношення має вигляд $\frac{H}{D} \leq 1 - 1{,}5$) , можемо використовувати одностороннє пресування (рис. 1.10).

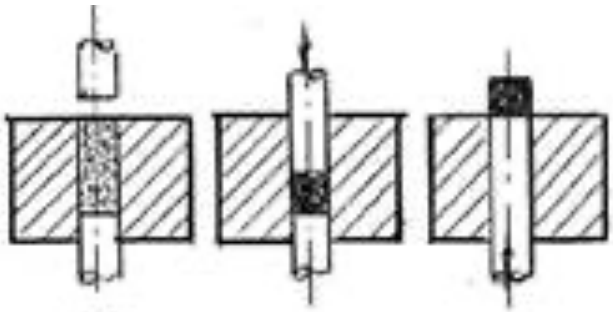


Рисунок 1.10 – Схема одностороннього пресування

Відповідно для виготовлення деталі ми вирішили використовувати гідравлічний прес, який дає можливість точно контролювати тиск пресування.

1.5.7 Спікання

Після пресування деталі останнім етапом є спікання. Метою процесу слугує надання кінцевих властивостей матеріалу і досягнення щільності 98 %.

В основі процесу спікання лежить спосіб спікання у твердій фазі. Основний механізм, який задіюється в процесі є механізм в'язкої течії об'ємної самодифузії.

Спікання антифрикційних матеріалів на основі алюмінію та заліза проводиться в захисному середовищі водню в муфельних печах з часом витримки в 1 годину та температурою спікання 600 °С, щоб запобігти утворенню рідкої фази.

1.5.8 Технологічний контроль і контроль якості продукції

На операціях технологічного роцесу передбачається проведення контролю технологічних параметрів та якості напівфабрикатів і готової продуції на відповідність їх тхнологічному процесу і необхідним властивостям.

Плавлення. На операції контролюється тмпература і час плавлення. Якість розплаву визначається вимірюванням його хімічного складу за допомогою експресаналізу на відповідність гомогенності (вмісту елементів в трьох пробах, які повинні бути однаковими.

Розпилюввання. Контролюється температура розплаву у металоприймачі. Також контролюється швикість обертання лопатей на відповідність технологічним параметрам і подачі охолоджувальної рідини на лопаті.

Сушіння. На операції контролюються технологічні параметри – температура в сушильній шафі і час сушіння. Кінцева продукція (порошок) каонтролюється на вологість за допомогою конденсаційного методу.

Просіювання. Контролюються технологічні параметри і якість отримуваного порошку. Визначається гранулометричний склад порошку, середній розмір порошку, його морфологія і структура в загальнозаводській лабораторії з використанням ситового аналізу і металографічних досліджень. Також визначається хімічний склад за допомогою експрес аналізу на відповідність вмісту в порошку складових – алюмінію і заліза.

Змішування. На операціїї змішування контролюються технологічні параметри та контроль якості змішування. Враховуючи важливість впливу якості

змішування на властивості кінцевої продукції для контролю застосовується метод статистичного аналізу проб за однією випадковою величино [5].

Для оцінки якості змішування з суміші виділяють один компонент, вважаючи його основним (у нашлму випадку порошок сплаву Al–15%Fe, а MoS_2 – другим компонентом.

Основним критерієм якості змішування є середнє квадратичне відхилення, яке визначається за формулою :

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(x_i - \overline{m}\right)^2}{(n-1)}}, \qquad (3.1)$$

де x_i – зміст основного компонента в i -й пробі (значення випадкової величини x в i -й пробі);

$\overline{m}$ – середнє арифметичне вмісту основного компонента у всіх пробах;

n – загальне число відібраних проб.

Пресування. На операції контролюються технологічні параметри та властивості пресовок. Основним технологічним параметром є тиск пресування.

Пресовки котролюються на вагу, щільність, відповідність заданим розмірам та проводиться зовнішній огляд на наявність сколів та деформацій.

Спікання. Контролюється якість (рівномірність) уладання вихідних пресовок у човники. Проводиться контроль технологічних параметрів відносно температури та часу спікання. Особлива увага приділяється герметичність муфелю. Необхідно контролювати наявність факелу полум під час згорання надлишкового водню.’я , яке горить на виході з холодильника печі.

Після спікання вироби контролюються зовнішнім оглядом на наявність короблення та відповідність заданим розмірам

Вибірково котролюються властивості – щільність, структура, електропровідність, твердість та коефіцієнт тертя.

Розрахунок і складання матеріального балансу

Основним вихідним параметром для розрахунку потрібної кількості технологічного обладнання, кількості вихідних матеріалів та визначення техніко-економічних показників виробництва, що проектується являється матеріальний баланс.

Першим етапом для складання матеріального балансу технологічного процесу слугує визначення продуктивності дільниці, яка має значення 166 667 шт/рік. Розрахунки проводяться відносно добової продуктивності, визначення якої розраховується як кількість часу роботи обладнання на рік. Для цього потрібно порахувати кількість календарних днів року для проведення планово-попереджувального ремонту, через яке обладнання не застосовується у виробництві. Час простоїв для обладнання, на яких ремонт проводиться одночасно, визначається за тривалістю ремонту обладнання із найвищою категорією складності, а під час послідовного ремонту – за сумою простоїв на ремонт. Ремонт та огляд обладнання зазвичай проводиться у неробочий час лінії. Час, який необхідний для планово-попереджувального ремонту складає 90 годин або 12 днів.

За даними таблиці 1.3 визначають середній час простою обладнання, який не повинен перевищувати 4–6% за двозмінної та 10% за трьох змінної роботи. Час, для зміни технологічного режиму складає 1,6% від всього часу роботи обладнання.

Якщо ремонт відбувається в одну зміну, то кількість днів на планово-попереджувальний ремонт визначається як

$$96/8 = 12 \text{ днів}$$

Для визначення актуального фонду часу роботи обладнання потрібно від календарного числа днів року (365) відняти число днів, що потрібні для планово-попереджувального ремонту і неробочих днів цеху.

Таблиця 1.3 – Баланс часу дільниці

Елементи балансу	Вихід, днів
Календарна к-сть днів	365
Час на планово-попереджувальний ремон	12
Загальнонаціональні свята	9
Вихідні дні	104
Неробочі дні дільниці	125
К-сть робочих днів	240

Оскільки маса одного пантографа становить 0.48кг, добова продуктивність за готовою продукцією А становить:

$$A = G/n = 80000/240 = 333,33 \text{ кг}$$

Невід'ємною частиною при отримані кінцевої продукції під час переробки вихідної сировини являються втрати, тому для їхньої компенсації, в процес виробництва має бути введено надлишкову кількість матеріалу.

Кількість матеріалу із врахуванням втрат, що відправляється на початок процесу в перший день (А0) визначають за формулою:

$$A0 = A * 100 / \varphi ,$$

Під час переробки сировини можуть відбуватися технологічні та механічні втрати, тому потрібно вводити більше матеріалу у виробництво для компенсації цих втрат. Технологічні втрати зазвичай являються незворотними, а механічні можуть бути і зворотні і незворотні. Зворотніми втратами називають втрати, які можна повернути в технологічний процес, який вказується на технологічній схемі, до або після відповідної обробки. Відповідно незворотні втрати – це втрати,

які неможливо повернути в технологічний процес. Механічні втрати – це втрати, зумовлені внаслідок механічної дії, наприклад пиловиділення або брак. Технологічні втрати – це втрати зумовлені різними причинами в процесі виробництва.

Так як під час переробки відбуваються втрати матеріалу, то враховуємо їх шляхом визначення придатного φ. Кількість матеріалу, яка має надійти на початок процесу з урахуванням втрат визначається з допомогою виходу придатного.

Рисунок 1.11- Пооперацiйні втрати при виробництві пластини на основі порошку Al-Fe

Для знаходження виходу придатного проводимо наступні розрахунки:

1. Прямий пооперaційний витяг на кожній операції:

На першій операції: η1 = 100- (2.8 + 0) = 97.2 %;

На другій операції: η2 = 100- (1.6 + 0) = 98.4%;

На третій операції: η3 = 100- (1.4 + 0) = 98.6 %;

На четвертій операції: η4 = 100- (0.16 + 3.6) = 96.24 %;

На п'ятій операції: η5 = 100- (0.12 + 0) = 99.88 %;

На шостій операції: η6 = 100- (0.8 + 2.1) = 97.1 %;

На сьомій операції: η7 = 100- (0.2 + 1.5) = 98.3 %;

2. Розраховуємо загальний витяг по відношенню до вихідного матеріалу на кожній операції φn за формулою:

$$\varphi_n = (\frac{\eta_1}{100} \times \frac{\eta_2}{100} \times \ldots \times \frac{\eta_n}{100}) \cdot 100 = \frac{\eta_1 \times \eta_2 \times \ldots . \times \eta_n}{100^{n-1}}.$$

φ1 = 97.2 %

φ2 = (97.2 * 98.4 / 100) = 95.64%;

φ3 = (95.64 * 98.6 / 100) = 94.3 %;

φ4 = (94.3 * 96.24 / 100) = 90.75 %;

φ5 = (90.75* 99.88 / 100) = 90.64 %;

φ6 = (90.64* 97.1 / 100) = 88.01 %;

φ7 = (88.01* 98.3 / 100) = 86.51 %;

3. Розраховуємо кількість сировини, що направлятиметься на початок процесу в перший день за формулою:

$$A_0 = A * 100 / \varphi = (333 * 100) / 86.51 = 384.92 \text{ кг}$$

4. Розраховуємо втрати відносно вихідного матеріалу на кожній операції αn(βn) згідно з формулою: αn(βn) = (αn(βn)φn-1) / 100

Операції; зворотні незворотні

На першій	$\alpha_1 = 0$;	$\beta_1 = 2.8$;
На другій	$\alpha_2 = 0$	$\beta_2 = 1.6*97.2/100=1.55$;
На третій	$\alpha_3 = 0$;	$\beta_3 = 1.4*95.64/100=1.34$;
На четвертій	$\alpha_4 = 3.6*94.3/100=3.39$;	$\beta_4 = 0,16*94.3/100=0.15$;
На п’ятій	$\alpha_5 = 0$;	$\beta_5 = 0.12*90.75/100=0.11$;
На шостій	$\alpha_6 = 2.1*90.64/100=1.9$;	$\beta_6 = 0.8*90.64/100=0.73$;
На сьомій	$\alpha_7 = 1.5*88.01/100=1.32$;	$\beta_7 = 0.2*88.01/100=0.18$.

5. Розраховуємо абсолютні зворотні *q*an і незворотні *q*bn втрати за формулою:

$$q_n^{\,a}\left(q_n^{\,b}\right) = \frac{A_0 \times \alpha_n \times (\beta_n)}{100}.$$

q_1^a=0кг q_1^b=384.92*2.8/100=10.78 кг

q_2^a=0кг q_2^b=384.92*1.55/100=5.97 кг

q_3^a=0кг q_3^b=384.92*1.34/100=5.16 кг

q_4^a=384.92*3.39/100=13.04 кг q_4^b=384.92*0.15/100=0.58 кг

q_5^a=0кг q_5^b=384.92*0.11/100=0.42 кг

q_6^a=384.92*1.9/100=7.31 кг q_6^b=384.92*0.73/100=2.81 кг

q_7^a=384.92*1.32/100=5.08 кг q_7^b=384.92*0.18/100=0.69 кг

6. Розраховуємо кількість матеріалу, яку необхідно подавати кожен день у голову процесу В за формулою:

$$B = A_0 - \sum a \cdot$$

B = 384.92-25.43=359.49 кг

7. Розраховуємо кількість матеріалу, яка надходить на кожну операцію і виходить з неї.

На першу операцію:

- надходить: 359.49 кг;
- виходить: 359.49-10.78=348.71 кг;

На другу операцію:

- надходить: 348.71 кг;
- виходить: 348.71-5.97=342.74 кг;

На третю операцію:

- надходить: 342.74 кг;
- виходить: 342.74-5.16=337.58 кг;

На четверту операцію:

- надходить: 337.58 кг;
- виходить: 337.58-0.58=337 кг;

На п’яту операцію:

- надходить: 337 кг;
- виходить: 337-0.42=336.58 кг;

На шосту операцію:

- надходить: 336.58 кг;
- виходить: 336.58-2.81=333.77 кг;

На сьому операцію:

- надходить: 333.77 кг;
- виходить: 333.77-0.69=333.08 кг;

Отримані результати розрахунків матеріального балансу застосовуємо для розрахунку балансу матеріалів і представляємо у виді таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Пооперaційний матеріальний баланс

Назва операції	Пооперaційні втрати, %			Пряме пооперaційне вилучення, %	Загальне вилучення, %	Втрати по відношенню до введеного матеріалу, %		Абсолютні втрати, кг		Кількість матеріалу, яка поступає на операцію, кг			Кількість матеріалу, яка виходить з операції, кг.
	Зворотні	Не зворотні	Загальні			Зворотні	Не зворотні	Зворотні	Не зворотні	З попередньої опера	Поворотні втрати	Всього	
Плавлення	0	2.8	2.8	97.2	97.2	0	2.8	0	10.78	359.49	0	359.49	348.71
Розпилювання	0	1.6	1.6	98.4	95.64	0	1.55	0	5.97	348.71	0	348.71	342.74
Сушіння	0	1.4	1.4	98.6	94.3	0	1.34	0	5.16	342.74	0	342.74	337.58
Просіювання	3.6	0.16	3.76	96.24	90.75	3.39	0.15	13.04	0.58	337.58	13.04	350.62	337
Змішування	0	0.12	0.12	99.88	90.64	0	0.11	0	0.42	337	0	337	336.58
Пресування	2.1	0.8	2.9	97.1	88.1	1.9	0.73	7.31	2.81	336.58	7.31	343.89	333.77
Спікання	1.5	0.2	1.7	98.3	86.51	1.32	0.18	5.08	0.69	333.77	5.08	338.85	333.08

≅ 333,33 кг.

Дані з таблиці 1.5 розрахунків матеріального балансу використовуємо для розрахунку балансу матеріалів.

Таблиця 1.5 – Баланс матеріалів

Назва операції	Al-15Fe, кг	MoS_2, кг (2,5%)	Всього, кг
Плавлення	350,5	-	350,5
Розпилювання	339,99	-	339,99
Сушіння	334,17	-	334,17
Просіювання	329,15	-	329,15
Змішування	328,575	8.425	337
Пресування	328,165	8,415	336,58
Спікання	325,426	8,344	333,77

1.7 Вибір і розрахунок кількості обладнання

1.7.1 Обладнання для плавлення

Для першого етапу плавлення порошку було обрано електричну індукційну піч з продуктивністю 50 кг/год. На плавлення у вибрану піч буде направлено 350,5 кг скрапу металів алюмінію та заліза. Дана піч має наступні характеристики:

- Продуктивність – 50 кг/год;
- Потужність – 25 кВт;
- Час плавлення – 60 хв;
- Робоча температура – 1600-1700 °C;
- Габарити, L×B×H – 1700×1500×1900mm.

Розрахункове число одиниць обладнання визначається за формулою:

$$n_{\text{розр}} = \frac{G}{p \times \tau},$$

де G – маса матеріалу, що переробляється на операції, кг;

p – продуктивність агрегату, кг/год;

τ – число годин роботи за добу.

За рахунок послідовності і нероздільності з розпилюванням, плавлення обмежене в продуктивності і тому беремо значення 25кг/год, в підсумку маємо наступні розрахунки:

$$n_{\text{розр}} = \frac{350,5}{25 \times 8} = 1,75,$$

На підставі отриманих даних розраховують коефіцієнт завантаження обладнання Кз за формулою :

$$K_{\text{з}} = \frac{n_{\text{розр}}}{n_{\text{факт}}},$$

$n_{факт}$ приймають на одиницю більше, тобто n + 1.

Підставляємо значення $n_{розр}$ та $n_{факт}$:

$$K_{\text{з}} = \frac{1,75}{2} = 0,86,$$

На виробництві задіємо дві печі з коефіцієнтом навантаження 0,86 та часом роботи 8 годин. Ціна обладнання 370 000*2=740 000 грн.

1.7.2 Обладнання для розпилення

Як зазначалось вище, за рахунок послідовності і нероздільності з процесом плавлення скрапу, розпилення обмежене в продуктивності і тому значення продуктивності будуть однаковими.

Розпилення порошку відбуватиметься за допомогою установки для механічного диспергування розплавів типу “Полет”. Технічні характеристики установки:

Фракція порошку – 200мкм;

- Робоча вага – 25 кг;
- Швидкість обертання лопатей 2000-3500 об/хв;
- Максимальна температура плавильного пристрою – 1600 °С;
- Потужність – 60 кВт;
- Габарити, L×B×H - 3000×2500×1800мм;
- Продуктивність – 50 кг/год.

Визначаємо розрахункове число одиниць обладнання:

$$n_{\text{розр}} = \frac{339{,}99}{25 \times 8} = 1{,}69\ ,$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання Кз:

$$K_{\text{з}} = \frac{1{,}69}{2} = 0{,}845\ ,$$

На виробництві задіємо один атомайзер з коефіцієнтом навантаження 0,845 та часом роботи 8 годин. Ціна однієї установки 400 000 грн. Відповідно ціна двох 800 000.

1.7.3 Обладнання для сушіння

Для сушіння 342.74 кг матеріалу, який поступає на даний етап застосовуватиметься промислова сушка Carbolite Gero HT4-28 (рис. 1.12). Вона має наступні характеристики:

- Температурний діапазон – 60-150 °С;
- Продуктивність – 27 кг/год; ?
- Час сушіння – 90-120 хв;
- Габарити, L×B×H - 880×685×885мм;
- Потужність – 4 кВт;

Рис. 1.12 – Промислова сушка Carbolite Gero HT4-28

Визначаємо розрахункове число одиниць обладнання:

$$n_{\text{розр}} = \frac{334{,}17}{27 \times 8} = 1{,}55\,,$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання Кз:

$$K_{\text{з}} = \frac{1{,}55}{2} = 0{,}775\,,$$

На виробництві задіємо дві сушки з коефіцієнтом навантаження 0,775 та часом роботи 8 годин. Ціна двох сушок 150 000×2 = 300 000 грн.

1.7.4 Обладнання для просіювання

Оскільки на операцію просіювання буде надходити 337,58кг матеріалу в день, то відповідно недоцільним є використання промислових вібраційних сит.

ТБеручи до уваги об’єми виробництва, доцільним є використання просіювальної машини hi-sifter 1000 machine (рис. 1.13) із такими характеристиками:

- Продуктивність – 52 кг /год;
- Потужність вібратора – 2,5 кВт;
- Площа просіву – 0.132 м^2;
- Габарити– 1000 мм;
- Діапазон - 10 мкм - 200 мм.

Рисунок 1.13 – Ситовий аналізатор hi-sifter 1000 machine

Визначаємо розрахункове число одиниць обладнання:

$$n_{\text{розр}} = \frac{329{,}15}{52 \times 8} = 0{,}79\,,$$

Приймемо 2 ситових аналізатора hi-sifter 1000 machine, з коефіцієнтом навантаження:

$$К_З = 0,79/2 = 0,395 ,$$

Приймаємо коефіцієнт навантаження 0,395. Вартість обладнання 74 000 грн *2=148 000.

1.7.5 Обладнання для змішування

Для змішування порошків протягом 4 годин буде застосовуватися горизонтальний шнековий змішувач СГШ-400 зображений на рисунку 1.14 із наступними характеристиками:

- Робочий об'єм - 0,4 $м^3$
- Частота обертів - 45 об/хв
- Потужність – 1,5 кВт
- Габарити, L×B×H – 1100х720х1550 мм;
- Продуктивність - розрахункова;
- Вартість – 40 000 грн

Рисунок 1.14 – Горизонтальний шнековий змішувач СГШ-400

Продуктивність (кг/год) змішувачів (млинів) визначають за формулою:

$$P_{\text{зм}} = \frac{V \times \varphi \times \eta \times \gamma_{\text{нас}}}{\tau},$$

де V– об'єм змішувача, м^3;

φ – коефіцієнт заповнення, φ = 0,5;

$\gamma_{\text{нас}}$ – насипна щільність, кг/м^3. $\gamma_{\text{нас}}$ = 0,3 від $\gamma_{\text{комп.}}$;

η - коефіцієнт розпушення кульок, η = 0,28;

τ – тривалість операції, год.

У нашому випадку шихта складається з двох компонентів. Тому необхідно визначити середню щільність $\gamma_{\text{комп. сер.}}$.Середню щільність матеріалу шихти визначаємо за формулою адитивності:

$$\gamma_{\text{комп.сер.}} = \frac{\gamma_{\text{Al}} \times \gamma_{Fe} \times 100}{\gamma_{\text{Al}} \times a_{Fe} + \gamma_{\text{Fe}} \times a_{Al}},$$

де γ_{Al} та γ_{Fe} – щільність алюмінію та заліза відповідно 2,70 і 7,87 г/ см^3;

a_{Al} , a_{Fe} - вміст в шихті алюмінію та заліза відповідно 75 та 25 %.

Тоді :

$$\gamma_{\text{комп.сер.}} = \frac{2{,}7 \times 7{,}87 \times 100}{2{,}7 \times 25 + 7{,}87 \times 75} = 3{,}23 \text{ г/см}^3 ,$$

Розраховуємо $P_{\text{зм}}$:

$$P_{\text{зм}} = \frac{0{,}4 \times 10^6 \times 0{,}5 \times 0{,}28 \times 3{,}23 \times 0{,}3}{4} = 13{,}566 \text{ кг} ,$$

Необхідна кількість млинів:

$$n_{\text{розр}} = \frac{337}{13{,}566 \times 8} = 3{,}11 ,$$

Робимо висновок, що нам необхідно мати 4 одиниці обладнання для покриття запланованих об’ємів виробництва, вартість складає 40 000*4=160 000 грн.

1.7.6 Обладнання для пресування

Передбачається пресування заготівок з середньою площею пресування 10 см^2 та вагою 480 г. При цьому тиск пресування приймаємо в 800 МПа.

Для вибору преса для пресування визначаємо його необхідне зусилля за формулою:

$$N_{пр.} = S_{пр} \times p \times 1{,}25 ,$$

де $S_{пр}$–площа пресування. Приймаємо 10 см^2;

p– зусилля пресування. Приймаємо 800 МПа = 80 кН/см^2.

Тоді

$$N_{пр.} = 10 \times 80{,}0 \times 1{,}25 = 1000 \text{ кН},$$

Згідно з розрахованими параметрами вибираємо електрогідравлічний прес ТРА500/4 НР з зусиллям 100 тон (рис. 1.15) із такими характеристиками:

- Зусилля пресування – 1000 кН;
- Габаритні розміри – 1,8 м х 0,8 м х 1,8 м;
- Потужність – 37 кВт;
- Вартість – 324 000 грн.;
- Кількість ходів ($Р_{пр}$) – 5 ход./хв.

Рисунок 1.15 – Елеткрогідравлічний прес ТРА500/4 НР

Необхідну кількість пресів визначаємо за формулою:

$$N_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{з}}}{P_{\text{пр}} \times 60 \times \tau},$$

де $G_З$– кількість пресовок, яку необхідно спресувати за добу;

$P_{пр}$– кількість ходів (пресувань) за хвилину. Приймаємо 5 ход./хв.

Розрахуємо кількість пресовок, яку необхідно спресувати за добу:

$$G_З = \frac{336{,}58}{0{,}48} = 701 \text{ шт}.$$

Необхідна кількість пресів буде:

$$N_{\text{пр}} = \frac{701}{5 \times 60 \times 8} = 0{,}29,$$

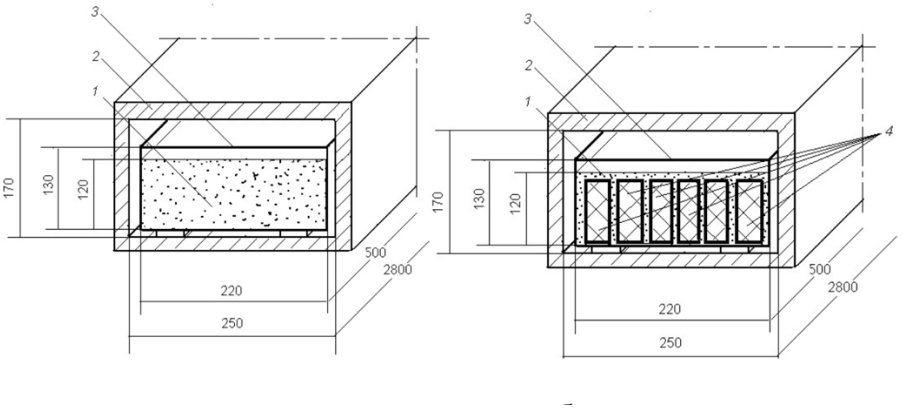
Округляємо до цілого числа і приймаємо 2 преса, які будуть працювати із коефіцієнтом завантаження:

$$K_З = \frac{0{,}29}{2} = 0{,}145.$$

Даний гідравлічний порошковий прес оснащений декількома пластинами, розроблений для забезпечення високої, при цьому зберігаючи жорсткі допуски преса. Модульна конструкція даного гідравлічного преса оснащена системою змінних штампів для ефективного налаштування та забезпечення високої швидкості поступання виробів.

1.7.7 Обладнання для спікання

Продуктивність печі потрібно розраховувати індивідуально для кожного конкретного випадку, оскільки вона залежить від властивостей матеріалу, призначення печі (спікання, виробництва порошку тощо), загальної продуктивності печі, часу нагріву та спікання виробів, розмірів робочого простору, розмірів піддонів (човників) і продукту спікання, а також методу завантаження піддонів (рис. 1.16).



а б

а – завантаження порошкової шихти: 1 – порошкова шихта; 2 – муфель печі; 3 – піддон; б – завантаження заготівок: 1 – засипка; 2 –муфель печі; 3 – піддон; 4 –заготівки

Рисунок 1.16 – Схема завантаження матеріалів у піч

Щоб відповідати вимогам забезпечення технологічного процесу та спікання була обрана штовхальна піч СТН-2.25.1-2/12 із наступними характеристиками:

- Робоча температура – 700 °С;
- Габаритні розміри, LxBxH – 9,4 м х 2,5 м х 2,1 м;
- Потужність – 60 кВт;
- Розміри робочої зони, LxBxH – 2,5 м х 0,25 м х 0,1 м;

- Продуктивність – розрахункова;

- Вартість – 249 000 грн.

Для визначення продуктивності печі розраховуємо необхідну швидкість проштовхування піддонів по довжині печі, мм/хв:

$$V_{\text{п}} = \frac{L}{\tau},$$

де L – довжина робочої зони (нагріву), м. В нашому випадку L = 2.5 м;

τ – час спікання. Відповідно для забезпечення технологічного процесу τ = 2год.

$$V_{\text{п}} = \frac{2{,}5}{120} = 0{,}0208\,\frac{\text{м}}{\text{хв}} = 20{,}8\,\frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

Формула розрахунку періоду проштовхування піддонів по довжині печі наступна:

$$N = \frac{l}{V_{\text{п}}},$$

де l – довжина піддона. Приймаємо l = 1200 мм.

З неї розраховуємо, підставляючи дані:

$$N = \frac{1200}{20{,}8} = 58\ \text{хв}.$$

Продуктивність печі визначається за формулою:

$$p_{\text{п}} = \frac{q \times 60}{N},$$

де q – кількість матеріалу, що завантажується на один піддон.

Піддон має розміри 1200 мм х 200 мм х 300 мм в який можна завантажити 100 штук деталей, вагою 0,48 кг/шт. Відповідно кількість матеріалу для завантажується на один піддон:

$$q = 0{,}48 \times 100 = 48 \text{ кг}$$

Тому продуктивність печі буде наступною:

$$p_{\text{п}} = \frac{48 \times 60}{58} = 49{,}66 \text{ кг/год}$$

Відповідно необхідна кількість печей розраховується за формулою

$$n_{\text{п}} = \frac{G_n}{p_n \times \tau},$$

де Gп– кількість матеріалу, яка переробляється за добу, кг.

Розраховуємо необхідну кількість печей:

$$n_{\text{п}} = \frac{333{,}77}{49{,}66 \times 8} = 0{,}84,$$

Коефіцієнт завантаження в такому випадку складатиме:

$$\text{К}_{\text{з}} = \frac{0{,}84}{2} = 0{,}42.$$

Робимо висновок, що для забезпечення виробництва нам потрібно 2 печі 250 000×2 = 500 000 грн.

Результати розрахунків необхідної кількості обладнання та його основні характеристики додані до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зведена відомість обладнання дільниці

Найменування операції	Найменування обладнання	Продуктивність, кг/год	Кількість годин роботи агрегату на добу	Добове завдання, кг	Необхідна кількість одиниць обладнання	Прийнята кількість одиниць обладнання	Коефіцієнт завантаження	Встановлена потужність, кВт	Вартість, тис. грн.
Плавлення	Індукційна піч	25	8	350,5	2	2	0,845	25	740
Розпилювання	Установка для диспергування розплавів типу “Полет”	25	8	339,99	2	2	0,86	4	800
Сушіння	Сушка Carbolite Gero HT4-28	27	8	334,17	2	2	0,775	4	300
Просіювання	Просіювальна машина hi-sifter 1000	52	8	329,15	2	2	0,395	2,5	148
Змішування	Горизонтальний шнековий змішувач СГШ-400	13,566	8	337	4	4	0,78	1,5	160
Пресування	Гідравлічний прес ТРА 500/4 НР	42,06	8	336,58	2	2	0,145	37	648
Спікання	Піч СТН-2.25.1-2/12	49,66	8	333,77	2	2	0,42	60	500

2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Щоб спроектувати дільницю успішно, потрібно брати до уваги такі фактори як особливості місця розташування, відповідно до технології виготовлення виробу, передбачити можливість перепланування у разі зміни технологічної схеми. Для конструкційних елементів рекомендовано обирати типові деталі та інші елементи.

Підлога. Зазвичай під час проектування підлоги враховуються різні фактори, такі як механічні та теплові навантаження. Окрім цього, важливо враховувати електропровідність, можливість потрапляння рідин (лугів, кислот, розчинників тощо), пиловидалення та утворення іскор. У цехах з високими навантаженнями використовуються металеві плити або фібробетон. У місцях, де працює обладнання з високими температурами, слід застосовувати жаростійкий бетон або чавунні плити. Фібробетон також можна вважати жаростійким, якщо його армувати базальтовими волокнами.

Стіни. Найчастіше стіни виробничих дільниць виробляють зі збірних панелей, тоді як зовнішні стіни складаються з бетонних навісних панелей. Окремі ділянки стін можуть бути з цегли, наприклад, кладка навколо воріт або дверей, де панелі використовувати недоцільно.

Покрівля. Відповідно до вимог дах має можливість бути виконаним із рулонних матеріалів, часто це чотиришарова рулонна покрівля.

Віконні прорізи. Вікна можуть бути окремими або суцільними. Суцільні віконні прорізи доцільні за результатами техніко-економічних показників, але вони призводять до збільшення витрат на опалення. Оптимальним варіантом є використання окремих вікон.

Двері та ворота. Мінімальна ширина зовнішніх дверей повинна бути не менше 0,8 м, а максимальна — 2,4 м. Для приміщень з габаритним обладнанням рекомендовано ширину дверей 2,4 м. Ширина воріт залежить від типу транспорту, який буде задіяним.

Виробнича дільниця складається з відділень для виробництва порошку, зважування, просіювання, змішування та відділення пресування. Також до складу дільниці входять склад вихідного матеріалу, ремонту та модернізації обладнання та склад готової продукції. План дільниці наведений на рисунку 2.1.

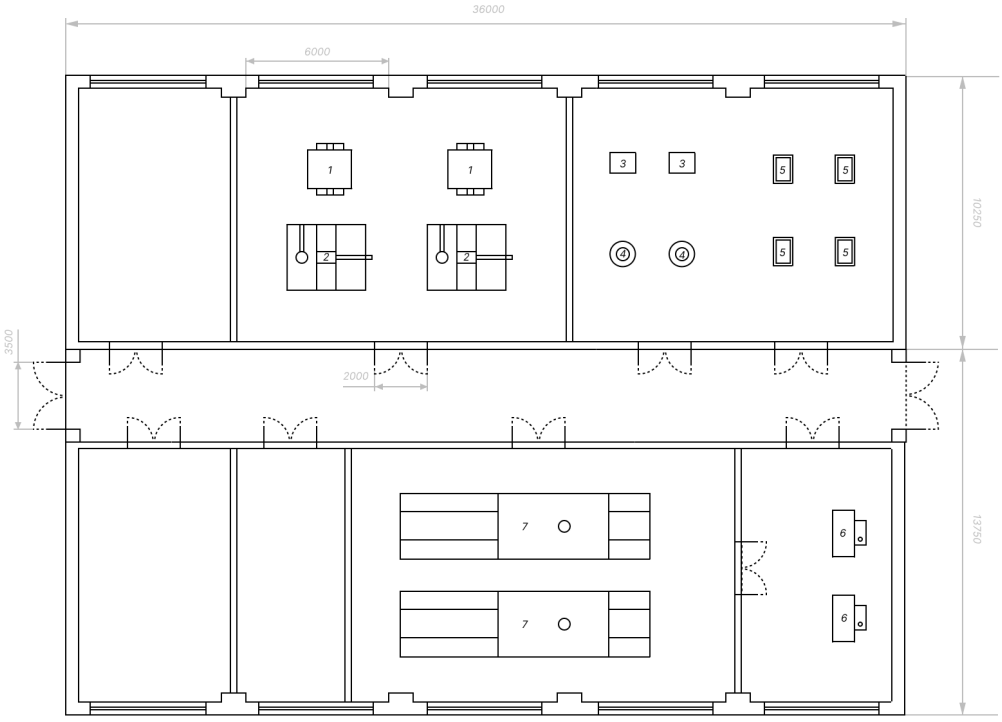


Рисунок 2.1 – План виробничої дільниці

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

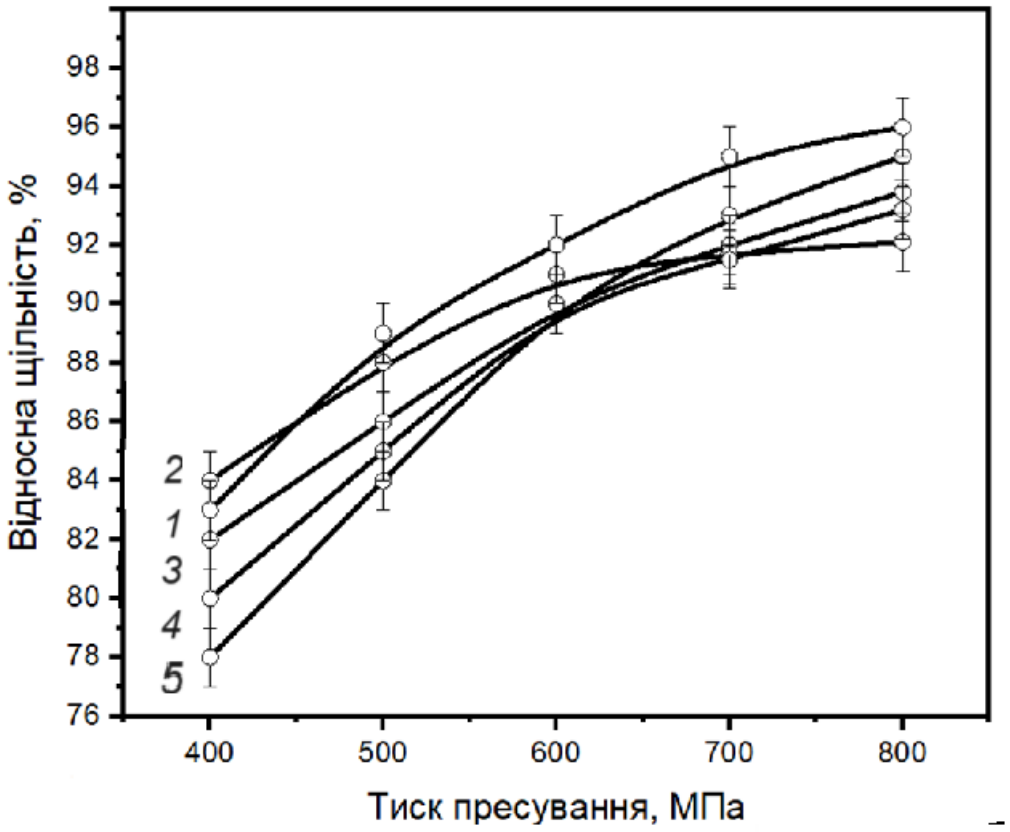
3.1 Дослідження по оптимізації умов компактування вихідних порошків

Вивчався процес компактування отриманих таким чином порошків з метою визначення оптимальних умов пресування під час виготовлення виробів з них. Вивчався вплив тиску пресування та властивостей порошків (розміру частинок, структури) на механізм і ступінь їх ущільнення. Ущільнення проводили методом статичного одностороннього пресування за тисків 400, 500, 600, 700, 800 МПа. Середній розмір частинок вихідних порошків складав 100 мкм, 200 мкм, 282 мкм та 357 мкм.

Результати дослідження процесу пресування порошків з сплаву Al–Fe наведені в таблиці 3.1 і на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати дослідження процесу пресування порошкових матеріалів

Матеріал	Розмір порошку, мкм	Тиск, МПа	Вага, *г*	Висота пресовки, см	Діаметр пресовки, мм	Об’ єм пресовки, $см^3$ $г/см^3$	Щільність пресовки, $г/см^3$ $г/см^3$	Відносна щільність, %	Пористість f ,. %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Al-Fe	100	400	4,46	11,5	16	2,312	1,929	66,520	33,480
		500	4,50	9,5		1,910	2,356	81,242	18,758
		600	4,49	9		1,810	2,481	85,540	14,460
		700	4,50	9		1,810	2,486	85,731	14,269
		800	4,49	8,7		1,749	2,567	88,523	11,477
	200	400	4,50	12		2,413	1,865	64,307	35,693
		500	4,57	10		2,011	2,273	78,362	21,638
		600	4,54	9		1,810	2,508	86,493	13,507
		700	4,57	8,7		1,749	2,613	90,101	9,899
		800	4,56	8,7		1,749	2,607	89,904	10,096
	282	400	4,57	11,5		2,312	1,977	68,160	31,840
		500	4,56	10		2,011	2,268	78,191	21,809
		600	4,53	9		1,810	2,503	86,302	13,698
		700	4,56	9		1,810	2,519	86,874	13,126
		800	4,50	8,8		1,769	2,544	87,718	12,282
	357	400	4,52	11		2,212	2,043	70,462	29,538
		500	4,56	10		2,011	2,268	78,191	21,809
		600	4,55	9		1,810	2,514	86,683	13,317
		700	4,49	9		1,810	2,481	85,540	14,460
		800	4,52	9		1,810	2,497	86,112	13,888



1– суміш; 2 – 357 мкм; *3* – 282 мкм; *4* – 200 мкм ; *5* – 100 мкм

Рисунок 3.1 – Залежність відносної щільності зразків Al–15Fe різного фракційного складу від тиску пресування

Згідно з рисунком 3.1 збільшення щільності пресовок порошків з різним середнім розміром і суміші спостерігається одночасно зі збільшенням тиску пресування, але має місце різна швидкість ущільнення. За тисків пресування до 600 МПа, порошки з розміром частинок понад 100 мкм демонструють вищу швидкість ущільнення. Однак, при подальшому підвищенні тиску пресування, спостерігається зворотна залежність – збільшується швидкість ущільнення порошків з меншим розміром частинок.

Така тенденція відповідає сучасними уявленнями про механізм ущільнення порошкових виробів. Відповідно, на перших етапах, під час ущільнення порошків має місце структурна деформація (відносне переміщення частинок порошків під дією прикладених тисків). Під дією сил тертя між частинками, яка протидіє

зусиллю прикладеному до ущільнення, воно сповільнюється. На стадії структурної деформації ступінь ущільнення порошків, які мають менший розмір частинок менша, адже площа тертя прямопропорційна питомій поверхні частинок порошків і тому збільшується зі зменшенням розміру цих частинок. За Н. І. Щербанем після процесу утворення стабільних просторових структур, які мають координаційні числа у межах від 4 до 12, за наступне ущільнення матеріалу у прес-формі відповідає пластична деформація (крихке руйнування), що заповнює в свою чергу щілини між частинками.

Сам об'єм пустот, який утворюється між частинками порошку залежить від розміру цих частинок (d) та за В. І. Іващенка середній розмір яких дорівнює $d_п < 0{,}256\ d$. Відповідно, пресовки порошків, які мають менший діаметр частинок утворюватимуть пустоти меншого розміру, і щоб їх заповнити потребується менша ступінь деформації. Це відбувається і в зворотному вигляді відносно більших частинок, що пов'язано зі збільшенням тиску пресування. Теоретичні засади відповідають практичним, отриманим в результаті проєктного дослідження. За тисків рівних або більших 650 МПа та за інших рівних умов, зі зменшенням розміру частинок, сама щільність збільшуєтсья

Під час дослідження аналізувались отримані дані також для встановлення залежності ступеня деформації від ущільнення порошків сплаву Al–15Fe. Це зв'язано з тим, що сплав складається з пластичної фази α–Al та твердих інтерметалідів Al_6Fe та $Al_{13}Fe_4$, що в свою чергу фактично пластично не деформувались.

Частинки з розміром менше 200 мкм (суміш частинок порошків) як показало дослідження деформації найбільше ущільнюються . Тому у подальшому ця залежність була вибрана основною для встановлення аналітичного опису процесу пресування порошків, які використовувались для проектування виробництва проєкту.

Для опису процесу пресування було вибрано перше рівняння Михайла Юльєвича Бальшина, яке отримане опираючись на твердження, що в основі ущільнення лежить пластична деформація:

$$lgP = -L(\beta - 1) + lgP_{max},$$

де P – тиск пресування;

L – фактор пресування;

P_{max} – тиск за якого досягається стовідсоткова щільність пресовки. Величини (сталі) L та P_{max} визначаються за експериментальними даними графічним методом. Розрахункові дані наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження придатності рівняння Михайла Юльєвича Бальшина

Матеріал	Тиск, МПа	lgP	Відносна Щільність Ѳ, %	Відносний об'єм, β
1	2	3	4	6
Al–Fe	400	2,602	76,520	1,403
	500	2,699	81,242	1,231
	600	2,778	85,540	1,169
	700	2,845	88,523	1,166
	800	2,903	90,405	1,130
	400	2,602	74,307	1,355
	500	2,699	78,362	1,276

Продовження таблиці 3.2

Al–Fe	600	2,778	86,493	1,156
	700	2,845	90,101	1,110
	800	2,903	90,904	1,09
	400	2,602	78,160	1,367
	500	2,699	83,191	1,279
	600	2,778	86,302	1,159
	700	2,845	86,974	1,151
	800	2,903	87,218	1,140

Отримана залежність lgP – β показана на рисунку 2.1. Як видно вона не відповідає теоретичним уявленням. Має не прямолінійну, а складну залежність lgP від β. Останнє свідчить, що в основі ущідьнення лежить не тільки пластична деформація.

На початковій стадії ущільнення у прошарках, що контактують в основі ущільнення лежить пластична деформація про що свідчать, згідно уявлень М. Ю. Бальшина, прямолінійна та близька до прямолінійної залежність $LgP - \beta$. Зміна значення фактору пресування L на залежності $lgP - \beta$ свідчити про зміну механізму деформації матеріалу частинок порошків.

Причиною даного відхилення від прямолінійної залежності $lgP - \beta$ можна вважати безпосередній фазовий склад матеріалу частинок порошків. Відповідно до даних в проєкті вони мають в структурі матрицю на основі твердого розчину заліза в алюмінії (α–Al), з наявними в ній інтерметалідами Al_xFe_y. Ці сполуки є твердими, крихкими і пластично не деформуються. Тому за високого тиску пресування вони також беруть участь в ущільненні структури, що впливає на збільшення тиску пресування. При цьому у процесі ущільнення деформація частинок порошків відбувається за рахунок крихкого руйнування.

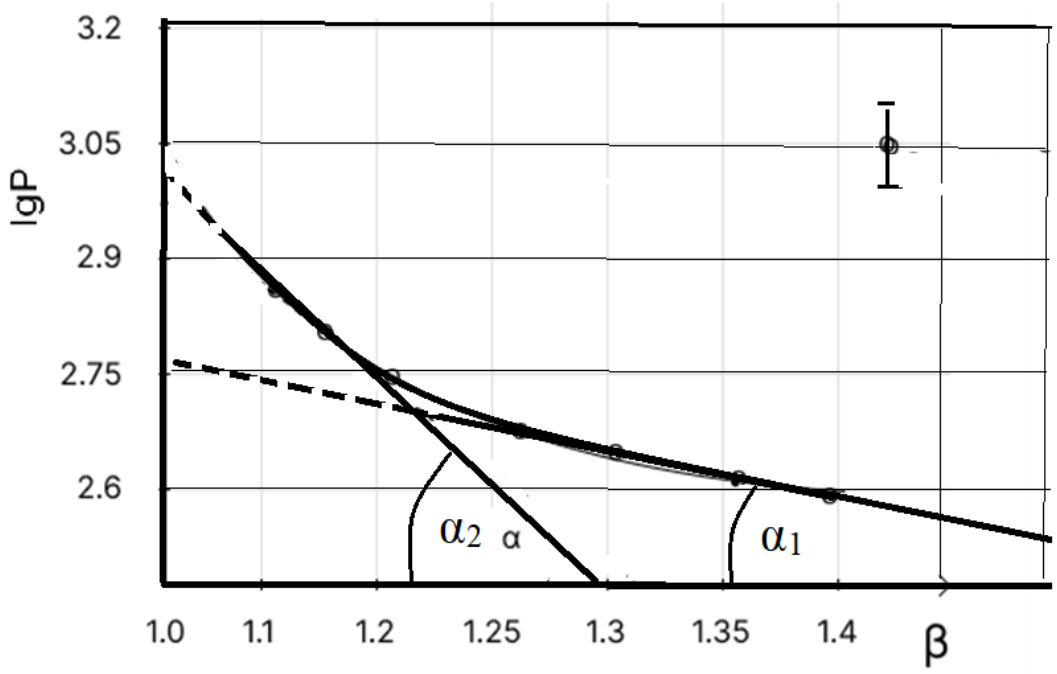


Рисунок 3.2 – Залежність lgP від β згідно першого рівняння М. Ю. Бальшина

Виходячи з графіка наведеному на рисунку 3.2 визначали сталі у рівнянні Бальшина для двох етапів ущільнення. На першому етапі, коли в основі ущільнення лежить пластична деформація і на другому етапі за об'ємного описання матеріалу, коли в основі ущільнення лежить квазіпластична деформація алюмінієвої матриці зміцненою дисперсними включеннями інтерметалідів. Для першого етапу ущільнення lgP і β відповідно дорівнюють 2,903 і 1,130. Для другого етапу ущільнення вони дорівнюють 2,903 і 1,09 відповідно.

Відповідно рівняння за допомогою яких можна оптимізувати процеси ущільнння мають вигляд:

Для першого етапу

$$lgP = -0{,}463(\beta - 1) + 2{,}795$$

Для другого етапу

$$lgP = 1{,}498(\beta - 1) + 3{,}012$$

Рівняння адекватно описують процес ущільнення порошкових матеріалів Al-Fe в межах досліджених тисків. Це підтверджується тим, що теоретична та практична залежності знаходяться у межах довірчого інтервалу визначення величин, які ми досліджували. Таким чином, рівняння придатні для використання у прогнозуванні результатів пресування за різних умовах.

Відповідно для нашого проекту, найоптимальніший варіант тиску пресування буде досягнений за 800 МПа.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Для забезпечення безпеки працівників, зайнятих у виробництві електрознімачів рухомого транспорту, необхідно вживати заходів щодо проектування, а також технічних та організаційних рішень з метою зменшення або повного уникнення впливу шкідливих факторів на їх здоров'я.

На етапі проектування виробництва важливо визначити місця виникнення шкідливих факторів та оцінити їх рівень. Наступним етапом необхідно проаналізувати, які заходи найдоцільніше застосувати для усунення або зменшення шкідливих факторів до рівня, встановленого стандартами та нормами. Це може включати використання спеціальних систем вентиляції, витяжних пристроїв, фільтрів для очищення повітря та інших методів, спрямованих на зниження концентрації шкідливих речовин у робочій зоні.

Ці заходи не тільки зберігають здоров'я працівників, але й підвищують продуктивність праці, зменшуючи ризик професійних захворювань і покращуючи умови роботи.

Головним завданням є вивчення, аналіз і зниження рівня шкідливих факторів на виробничій дільниці. Це включає проведення регулярних оглядів та аналізу впливу робочих умов на здоров'я працівників, впровадження нормативно-правових вимог щодо охорони праці та безпеки, а також забезпечення необхідного інструктажу та навчання працівників безпечним методам роботи.

Головна мета всіх цих заходів – створення безпечних умов праці та підвищення продуктивності на виробництві [33]

4.1 Характеристики об'єкту та умови його експлуатації

Метод виготовлення контактних пластин полягає в традиційному пресуванні та спіканні у вакуумі. Технологічний процес також включає розплав скрапу металів та розпилення його для утворення порошків, їх сушіння, змішування з твердим мастилом, пресування та подальше спікання. Дана деталь є важливою для громадського електротранспорту, адже забезпечує ефективну передачу струму з електроконтактів до приймача.

Як уже зазначили вище, контактна пластина пантографу застосовується у багатьох видах громадського електротранспорту, а саме тролейбусах, трамваях, метрополітені, електропоїздах та інших. Із основних фізико хімічних властивостей, які повинні мати пластини це низький коефіцієнт ковзання, висока електро та теплопровідність та зносостійкість. Цей проєкт створений для моделювання виробництва струмознімачів, розрахунку витрат на його запуск і функціонування, а також оцінки рентабельності цієї промисловості.

Специфікація технологічного обладнання та оснащення, яке необхідне для виробництва, наведено нижче в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Специфікація технологічного обладнання

№ п.п.	Найменування	Розміри, мм Д / Ш / В	Основні характеристики	Кіль кість	Позиція на рисунку
1	Індукційна піч	1700/1500/ 1900	Продуктивність 50 кг/год Потужність 25 кВт Максимальна робоча температура 1700 C°	2	1
2	Установка для диспергування розплавів типу “Полет”	3000/2500/ 1800	Продуктивність 50 кг/год Робоча вага 50 кг Потужність 60 кВт Максимальна робоча температура 2200 C°	2	2
3	Сушка Carbolite Gero HT4-28	880/685/ 885	Температурний діапазон 150 C° Потужність 4 кВт Продуктивність 27 кг/год	2	3

Продовження таблиці 4.1

4	Просіювальна машина hi-sifter 1000	1000/1000/1300	Продуктивність 52 кг/год Потужність вібратора 2,5 кВт Площа просіву 0,132 м^2	2	4
5	Горизонтальний шнековий змішувач СГШ-400	1100/720/1550	Робочий об'єм 0,4м^3 Частота обертів 45 об/хв Потужність 1,5 кВт Продуктивність 13,566 кг/год	4	5
6	Гідравлічний прес ТРА 500/4 НР	1800/800/1800	Зусилля пресування 1000 кН Потужність 37 кВт Кількість ходів 5 ход/хв	2	6
	Піч СТН-2.25.1-2/12	9400/2500/2100 Робоча зона 2500/250/100	Робоча температура 700 С^o Потужність 60 кВт Продуктивність 148,97 кг/год	2	7

Основними вимогами при проектуванні виробничої дільниці є забезпечення безпеки, ефективності та комфорту працівників. Крім того, цех повинен мати достатню площу для розміщення необхідного обладнання, а також широкі коридори та проходи для зручного пересування працівників і транспортування матеріалів. Детальний план дільниці, з урахуванням розмірів та кількості обладнання, представлено на рисунку 4.1.

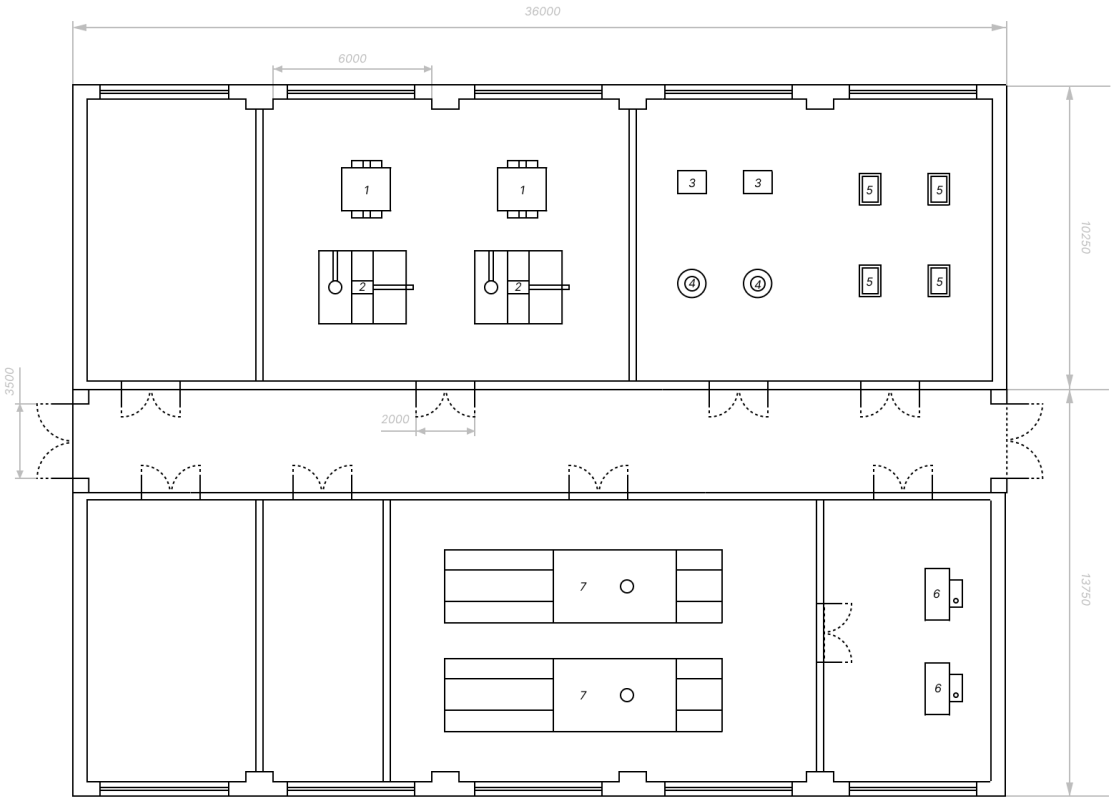


Рисунок 4.1 – План виробничої дільниці

Виробнича дільниця по виготовленню пластин обраним методом, а саме статичного пресування має велику площу 696 м^2, що дозволяє розташувати все необхідне обладнання. Висота приміщення 5 м забезпечує розміщення систем вентиляції для відведення шкідливого пилу, що може утворитися під час виготовлення пластин. Для забезпечення екологічно чистого виробництва можуть бути встановлені автоматизовані системи збору та переробки відходів. Дільниця повинен відповідати нормам щодо достатнього природного та штучного освітлення, щоб забезпечити належну видимість працівникам під час роботи. Будівля має відповідати всім вимогам пожежної безпеки, включаючи обов'язкове встановлення пожежної сигналізації, протипожежного обладнання та використання вогнестійких матеріалів.

Додаткові заходи безпеки, такі як автоматичні системи відключення електроенергії та аварійної вентиляції, також можуть бути необхідними, особливо

якщо обладнання є надто потужним. Цех складається з кількох виробничих відділів, включаючи приміщення для зберігання складових шихти, відділ плавлення, розпилення, відділ просіювання, відділ змішування, відділ пресування, відділ спікання, склад готової продукції, а також відділення для зберігання інструментів.

4.2 Аналіз параметрів мікроклімату

Параметри мікроклімату виробничих приміщень, особливо при виробництві методами порошкової металургії, є важливим аспектом охорони праці. Основні параметри, на які необхідно звернути увагу, це: температура, вологість та швидкість руху повітря.

Температура. Для виробничих приміщеннях потрібно забезпечити оптимальні значення температури, щоб підтримувати комфорт працівників і уникати явищ перегріву та переохолодження. Задля підтримки даних умов бажано встановлювати спеціальні системи кондиціонування та охолодження, що створені для підтримки клімату приміщенні. Для виробництва деталей електроприймачів, необхідно дотримуватись температурного режиму 16-23 °С, залежно від пори року.

Вологість. Контроль рівня вологості на підприємствах, де використовуються порошки, є важливим для уникнення утворення пилу та запобігання проблемам з дихальною системою працівників. Основною задачею є інсталювання системи вентиляції та очищення повітря, адже це ефективний метод зниження запиленості. Рівень вологості повітря повинен підтримуватись у діапазоні від 35 % до 55 %.

Рух повітря. Щоб забезпечити необхідний рівень розсіювання пилу або забруднень рекомендовано організувати правильний напрям та швидкість руху повітря. Ділянки виробництва мають бути обладнані ефективною системою

вентиляції та витяжки для оптимальної циркуляції повітря і відведення шкідливих речовин. Це сприятиме зменшенню концентрації пилу у повітрі та покращить мікроклімат і комфорт працівників. Швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,3 м/с.

Регулярний моніторинг та аналіз параметрів мікроклімату, а також своєчасне прийняття рішень та заходів допоможуть забезпечити працівникам не лише комфортні, але й безпечні умови праці. Параметри мікроклімату виробничих приміщень регламентуються нормативним документом ДСН 3.3.6.042-99 [32].

4.3 Аналіз освітлення

Освітлення на виробництві контактних пластин електротранспорту є важливим аспектом охорони праці. Саме для підтримки високої продуктиввності та безпеки працівників, потрібно забезпечити оптимальний рівень освітлення. При аналізі освітлення потрібно врахувати наступні фактори:

- **Інтенсивність світла:** Задля запобігання помилок та травмування робітників на виробництві потрібно налаштувати оптимальні значення інтенсивності освітлення.
- **Рівномірність освітлення:** Щоб уникати утворення контрасних та тіньових зон, а також уникнути негативного впливу на зір працівників, варто рівномірно розподілити освітлення по робочій зоні.
- **Кольорова температура:** Саме правильно обрана температура кольорів освітлення впливає на сприйняття справжніх кольорів матеріалів на виробництві та позитивно впливає на етап контролю якості. При поєднанні штучного та природного освітлення, кольорова температура повинна бути близькою до денного світла, тобто в діапазоні 5500-6500 К.

Для підприємства рекомендовано комбінування природного і штучного освітлення. Як штучне освітлення ефективними є світлодіодні світильні джерела

з високою віддачею світла, що дають яскраве та рівномірне освітлення робочих зон. Природне освітлення забезпечується великими встановленими вікнами, а для регулювання посткпання денного світла ефективними є жалюзі для запобігання відблискування.

4.4Шум та вібрація

Шуми та вібрації негативно впливають на організм людини, що може призвести до серйозних наслідків. Основні наслідки постійного впливу шуму та вібрацій включають:

- **Пошкодження слуху:** довготривалий шумовий вплив на високих рівнях має можливість спричинити тимчасову або навіть постійну втрату слуху.
- **М'язово-скелетні порушення:** інтенсивні вібрації часто призводять до захворювань опорно-рухової системи.
- **Стрес та психологічні проблеми:** надмірний довготривалий рівень шуму може викликати стрес, дратування, погіршення концентрації та психологічні проблеми.
- **Порушення кровообігу:** вібрації також можуть впливати на кровообіг, що може призвести до порушення мікроциркуляції та проблем із кровоносними судинами.

Для захисту працівників, які працюють в таких умовах, необхідно впровадити заходи індивідуального захисту. Рекомендовано вжити наступні заходи:

- **Використання засобів індивідуального захисту,** таких як шумозахисні навушники.
- **Регламентовані проведення контролю шуму та аналіз отриманих результатів.**
- **Використання прорезиненого вібраційно-поглинального покриття на**

підлозі для зменшення впливу вібраційних коливань і забезпечення захисту працівників дільниці від потенційного удару струмом.

– **Проведення регулярних перерв у роботі,** що зменшить час впливу вібрацій на стан робітників.

Необхідним є регулярне проведення медичних оглядів працівників, що попередить або вкаже на можливі наслідки шуму та вібрацій і організує своєчасне вжиття відповідних заходів.

4.5 Аналіз загазованості та запиленості

Під час технологічного процесу виробництва деталей контактних пластин пантографів виконуються операції, при яких може утворюватися пил, який можуть вдихнути робітники. До таких операцій належать: просіювання та змішування порошків. Потрапляння дисперсних частинок порошків металів у дихальні органи людини може призвести до подразнення дихальних шляхів, запалення легенів та інших захворювань дихальної системи. Для захисту робітників від пилу необхідно дотримуватися наступних вимог:

– Використання респіраторів: працівники повинні мати при собі респіратори, які відповідають нормам. Фільтри в респіраторах необхідно регулярно змінювати або очищувати [5].

– Застосування витяжних систем: це є доцільним у дільницях, де присутня можливість загазованості або запиленості середовища, обов'язково мають бути розміщені витяжні системи, щоб мати можливість очищувати повітря від дисперсних частинок, які виникають в процесі виробництва. Дані системи поділяються на канальні і безканальні. Зазвичай на виробництвах мають місце канальні системи, тому наша розроблена дільниця також їх має. Схема вентиляції зображена на рисунку 4.2. Вентилятори мають продуктивність роботи 2000-3500 м³/год та потужність 1500 Вт.

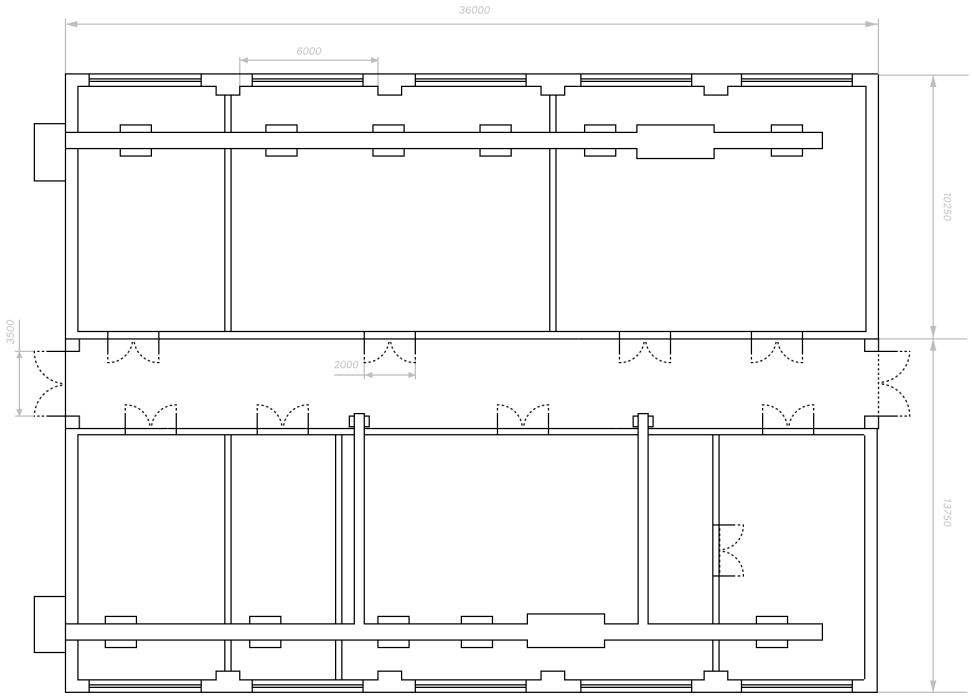


Рисунок 4.2 – Схема вентиляції спроектованої дільниці

– Важливим також є регулярне вологе прибирання зони працівників з ціллю зменшення кількості пилу порошків, який осідає на поверхні обладнання.

Зазначені заходи потрібні зниження кількість запиленості на виробництві до мінімальних значень та оптимізувати продуктивністю, при цьому не нехтуючи здоров’ям працівників.

4.6 Електробезпека

Кожне підприємство використовує електричне обладнання, тому до цього питання потрібно ставитися серйозно, особливо коли у виробництві використовуються легкозаймисті матеріали [6]. Після ураження струмом електричним тіло людини ймовірно отримає опіки, травми, порушення нервової або серцево-судинної систем, параліч або можливий і летальний випадок. Для забезпечення безпеки на зоні виробництва важливо притримуватись наступних пунктів:

- **Наявність заземлення та ізоляція всіх можливих витоків струму.**
- **Прорезинена підлога для** уникнення масштабного розповсюдження струму, якщо станеться витік.
- **Встановлення окремих автоматичних вимикачів для кожного обладнання** на випадок короткого замикання.
- **Регулярний осблуговування та регламентований огляд електричного обладнання** для запобігання або виявлення можливих майбутніх витоків.

4.7 Пожежна безпека

На виробництвах, де вихідними матеріалами є порошки, існує підвищена загроза пожежної небезпеки, адже вони є легкозаймистими від того і вибухонебезпечними. Тому необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки та паралельно вживати всі можливі заходи для зменшення ризику пожежної небезпеки. Від того ефективними заходами вважаються наступні:

- **Обов'язкове навчання працівників правильної евакуації та створення плану евакуації:** Розробити наглядний план евакуації зі вказівками маршрутів для точок збору та евакуації задля оптимізації евакуації. Персонал повинен бути навчений правильно евакуюватися, і для кращого запам'ятовування цих правил необхідно хоча б раз на місяць проводити тренувальну евакуацію.
- **Наявність вогнегасників та системи автоматичного пожежогасіння [7]:** потрібно забезпечити наявність вогнегасників, щоб працівники могли погасити незначну пожежу до її розповсюдження. Слід провести інструктаж для персоналу щодо правильного користування вогнегасниками. Цех повинен бути обладнаний системами автоматичного пожежогасіння на випадок, якщо пожежу не вдасться загасити вогнегасником. Найкраще використовувати порошкові вогнегасники та газові гасильники у системах гасіння, щоб не пошкодити обладнання.

- **Встановлення систем автоматичного сповіщення персоналу про пожежу:** Задля оперативного попередження пожежної безпеки слід обладнати приміщення системами пожежної безпеки
- **Регулярні перевірки та обслуговування всього обладнання пожежної безпеки:** Даний процес націлений на виявлення пошкоджень, проблем або інших неполадок обладнання задля подальшого їх усунення.

Як підсумовування, потрібно сказати, що вище описані заходи створенні для забезпечення провідних та оптимальних умов пожежної безпеки, задля подальшого виготовлення контактних пластин пантографу на спроектованому виробництві.

На проведенні процесу просіювання не було виявлено небезпеки для працівників, адже воно відбувається у закритому середовищі самого обладнання, після завершення процесу порошок осідає в ємності, які далі переходять на змішування. Як рекомендація, можна радити одягати распіратор та окуляри задля уникнення потрапляння окремих частинок в слизову оболонку тіла, а також вмикати витяжку. Етап змішування в горизонтальному шнековому змішувачі є небезпечним з точки зору рухомих деталей, вібрацій обладнання та шуму. Звернути увагу потрібно на пресування та спікання. В процесі пресування є ризик задіти рухомий гідропривід, також є небезпека у вигляді шуму та ураження струмом. На спікання небезпечною є робота безпосередньо з розігрітими до високих температур печі та заготівок і також утворюваним шумом. Дані на кожен з етапів наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Види небезпек та їхні наслідки на кожній операції технологічного процесу

№ п.п.	Найменування обладнання	Вид небезпеки	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Індукційна піч	Теплова небезпека	Матеріал, частини виробничого обладнання	Розплав матеріалу, нагрівання тиглю	Сильні опіки
2	Установка для диспергування розплавів типу “Полет”	Теплова небезпека	Матеріал, частини виробничого обладнання	Розплав матеріалу, нагрівання тиглю	Сильні опіки
3	Просіювальна машина hi-sifter 1000	Шкідливості (вібрація і шум)	Частина обладнання	Шкідливість виникає при звичайній роботі обладнання	Погіршення слуху, дратівливість
4	Горизонтальний шнековий змішувач СГШ-400	Механічна небезпека	Рухома частина обладнання	Неправильне поводження з пристроєм, збій роботи	Фізичні травми та каліцтво
5	Гідравлічний прес ТРА 500/4 НР	Механічна небезпека	Рухома частина обладнання	Неправильне поводження з обладнанням, збій роботи	Тяжкі фізичні травми та каліцтво
6	Піч СТН-2.25.1-2/12	Теплова небезпека	Матеріал, частини виробничого обладнання	Розплав матеріалу, нагрівання тиглю	Сильні опіки

3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Енергетичний розділ

В енергетичному розділі завданням виступає розрахунок кількості енергії задля забезпечення економічно-оптимальної роботи цеху, витрат енергетичних ресурсів у вигляді палива, газів та інших.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи:

$$Э = M\Phi_0\eta_{зв}K_1K_2 ,$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{зв}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для електродвигунів – 0,3; для генераторів високочастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

Витрати енергії піднімально-транспортного обладнання визначають виходячи з його потужності.

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

$$Q = \frac{Sq\tau f}{1000},$$

де S – освітлювальна площа, м^2;

q – поверхнева густина теплового потоку, Вт/м^2;

τ – число годин горіння на рік;

f – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину q зазвичай приймають: для виробничих приміщень – 11…15 Вт/м^2, для побутових і службових приміщень – 10 Вт/м^2.

Залежно від тривалості освітлювального періоду значення τ приймають рівним: для двозмінної роботи – 2500 год, для тризмінної роботи – 4700 год.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймають: для виробничих прогонів – 0,8; для побутових та службових приміщень – 0,7; для підвалів – 0,9.

Результати розрахунків витрат електроенергії зводять в таблиці 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Наймену-вання споживача струму	Кількі-сть спо-жи-вачів	Потужні-сть, кВт	Фонд робочо-го часу на рік, год	Коефіці-єнт завант-таженості	Коефіц-ієтн одноч-асності	Коефіці-єнт вико-ристання потужнос-ті	Річні витрати електро-енергії, кВт·год
Індукційна піч	2	25	1920	0,845	0,6	0,7	17 035,2
Установка для диспергування розплавів типу “Полет”	2	4	1920	0,86	0,3	0,7	1 387
Сушка Carbolite Gero HT4-28	2	4	1920	0,775	0,3	0,7	1 249, 9
Просіювальна машина hi-sifter 1000	2	2,5	1920	0,395	0,3	0,7	398,2
Горизонтальний шнековий змішувач СГШ-400	4	1,5	1920	0,78	0,3	0,7	471,7
Гідравлічний прес ТРА 500/4 НР	2	37	1920	0,145	0,3	0,7	2 163, 2
Піч СТН-2.25.1-2/12	2	60	1920	0,14	0,6	0,7	6 773,8
Усього витрат, кВт·год							29 479

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, $м^2$	Поверхнева щільність теплового потоку, $Вт/м^2$	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Склад порошків	52,28	10	1608	0,7	588,46368
Відділення плавлення та розпилювання	99,43	11	1608	0,8	1406,97427
Відділення для сушіння	41	11	1608	0,7	507,6456
Відділення просіювання	41	11	1608	0,7	507,6456
Змішувальне відділення	63,55	11	1608	0,7	786,85068
Відділення пресування	77,9	11	1608	0,8	1102,31616
Відділення спікання	116,85	11	1608	0,8	1653,47424
Склад готової продукції	61,5	10	1608	0,7	692,244
Склад оснащення	41	10	1608	0,7	461,496
Коридор	101,5	10	1608	0,8	1305,696
Усього витрат, кВт·год					9012,81

Частину питань щодо організації виробництва в проектованому цеху (дільниці) вирішуються на основі даних попередніх розділів проекту, зокрема, технологічного (розрахунок потрібного обладнання, його розміщення, організація технічного контролю та контролю якості тощо). У цьому розділі слід обґрунтувати необхідну чисельність робітників основного виробництва, обслуговуючих працівників та управлінського персоналу, а також розмір фондів їхньої заробітної плати, визначити показники продуктивності праці.

5.2 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Методика розрахунків планової чисельності працівників окремих категорій визначається специфікою їхньої роботи та галузевими особливостями функціонування підприємства.

Для визначення загальної чисельності промислово-виробничого персоналу на плановий період використовують метод коректування базової чисельності або метод розрахунку планової чисельності на підставі повної трудомісткості виготовлення продукції.

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

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

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. (табл. 5.3.)

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

Чисельність основних робітників, зайнятих на ненормованих роботах ($Ч_{ос}^{пл}$)

(контроль технологічного процесу, керування апаратами, машинами та іншим устаткуванням), розраховують за нормами обслуговування, а саме:

$$Ч_{ос}^{пл} = \frac{m_0 \cdot П_{зм} \cdot К_п}{Н_{об}},$$

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).

Таблиця 5.3 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

Показники	Планові значення
Кількість календарних днів	365
Вихідні та святкові дні	104
Час на планово-попереджувальний ремонт, днів	12
Номінальний фонд робочого часу, днів	249
Невиходи на роботу, днів з них:	9
відпустка	7
захворювання	1
дозволені законом	1
з дозволу адміністрації	0
прогули	0
цілодобові простої	0
страйки	0
Явочний робочий час, днів	240
Середня тривалість робочого дня, год	7,0
Внутрішньозмінні втрати робочого часу та простої, год	0,3
Робочі години	6,7
Ефективний фонд робочого часу за рік, год	1608

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

$$К_п = \frac{100}{(100-k)},$$

де k – плановий відсоток невиходів на роботу (за даними таблиці 6.1 $k = \frac{9}{249} \cdot 100 = 3{,}6$).

Чисельність допоміжних працівників ($Ч_д^{пл}$), для яких неможливо встановити норму обслуговування та розрахувати трудомісткість робіт, визначають за кількістю робочих місць за формулою:

$$Ч_д^{пл} = П_{р.м} \cdot П_{зм} \cdot К_п ,$$

де $П_{р.м}$ – кількість робочих місць (визначається за планом цеху).

Загальну чисельність робітників цеху, як основних, так і допоміжних, округлюють до найближчого цілого числа.

Приклад оформлення результатів розрахунків чисельності основних і допоміжних робітників (за робочими місцями) наведено в табл. 5.4.

Чисельність управлінського персоналу встановлюють, виходячи з організаційної структури управління цехом (дільницею) на аналогічному підприємстві.

Таблиця 5.4 – Чисельність основних і допоміжних робітників цеху (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							
Прожарювач	4	2	-	-	2	1,04	3
Оператор розпилювальної сушарки	4	2	-	-	2	1,04	3
Оператор сушильного устаткування	3	2	-	-	2	1,04	3
Оператор вібросита	3	2	-	-	2	1,04	3
Оператор змішувача	3	4	-	-	4	1,04	5
Пресувальник	4	2	-	-	2	1,04	3
Спікальник	6	2	-	-	2	1,04	3
Разом		16	-	-	16	-	23
Допоміжні працівники							
Наладчик	6	1	-	-	1	1,04	2
Завідувач складом готової продукції	4	1	-	-	1	1,04	2
Завідувач складом матеріалів	4	1	-	-	1	1,04	2
Черговий електрик	5	1	-	-	1	1,04	2
Разом		4	-	-	1	-	8
Усього робітників		20	-	-	4	-	31

5.3. 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. Працюючи над проектом, можна використовувати дані підприємства-аналога.

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 табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – 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
Зростання тарифних коефіцієнтів: абсолютне відносне		0,088 8,8	0,116 10,7	0,146 12,1	0,181 13,4	0,269 1,7,6	0,092 5,1	0,108 5,7

Важливим елементом тарифної системи є тарифна ставка. Її абсолютну величину визначають згідно зі встановленим державою мінімальним розміром заробітної плати. Згідно державного бюджету України на 2024 рік мінімальна заробітна плата становить: у місячному розмірі – 8 000 грн, у погодинному розмірі – 48 грн[1]. 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.

Приклад розрахунку фондів зарплати управлінського та обслуговуючого персоналу наведено у табл. 5.6, а основних і допоміжних робітників у табл. 5.7.

Таблиця 5.6 – Розрахунок фонду заробітної плати управлінського та обслуговуючого персоналу[2]

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посадовий оклад, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Керівники			
Начальник цеху	1	21000	252000
Заступник начальника цеху	2	19000	456000
Начальник дільниці	4	16000	768000
Майстер	8	14000	1344000
Разом			2820000
Спеціалісти			
Провідний інженер-технолог	1	15000	180000
Інженер-технолог ІІ-ї категорії	2	12000	288000
Диспетчер	1	10000	120000
Разом			588000
Службовці та молодший обслуговуючий персонал (МОП)			
Обліковець	2	9000	216000
Комірник	2	9000	216000
Прибиральниця	1	6000	72000
Разом			504000
Усього по цеху (дільниці)			3912000

[2] Реальний розмір заробітних плат можна знайти на сайті пошуку роботи.
Work.ua [Електронний ресурс] : Сайт пошуку роботи work.ua. Доступ до ресурсу : https://www.work.ua/.

Таблиця 5.7 – Розрахунок фонду заробітної плати основних і допоміжних робітників

Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Облікований склад, осіб	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітна плата, грн. (3×6)	Розрахунок додаткової заробітної плати, грн					Загальний фонд заробітної плати, грн. (7+12)
							Надбавки та доплати				Разом (8+9+10+11)	
				Одного робітника	Усіх		Премії (40% від основ-ної заробіт-ної плати)	За роботу в особливих умовах (18%)	Оплата відпусток (12%)	Інші доплати та надбавки (10%)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Основні (технологічні) робітники												
Прожарювач	4	64,80	3	1608	4824	312 595,2	125 038,08	56 267,14	37511,42	31259,52	250076,16	562671,36
Оператор розпилювальної сушарки	4	64,80	3	1608	4824	312 595,2	125 038,08	56 267,14	37511,42	31259,52	250076,16	562671,36
Оператор сушильного устаткування	3	57,79	3	1608	4824	278 778,96	111 511,58	50 180,21	33453,48	27877,896	223023,17	501802,13
Оператор вібросита	3	57,79	3	1608	4824	278 778,96	111 511,58	50 180,21	33453,48	27877,896	223023,17	501802,13
Оператор змішувача	3	57,79	5	1608	8040	373 313,28	148 682,11	66 906,95	44604,63	37170,528	297364,22	669069,50
Пресувальник	4	64,80	3	1608	4824	312 595,2	125 038,08	56 267,14	37511,42	31259,52	250076,16	562671,36
Спікальник	6	86,4	3	1608	4824	416 793,6	166 717,44	75 022,85	50015,23	41679,36	333434,88	750228,48
Разом			23			**2 285 450,4**	913536,96	411 091,63	274061,09	228384,24	**1 827 073,92**	4 114 775,52
Допоміжні (обслуговуючі) робітники												
Наладчик	6	86,4	2	1608	3216	277 862,4	111 144,96	50 015,23	33 343,49	27 786,24	222 289,92	500 152,32
Завідувач складом готової продукції	4	64,80	2	1608	3216	208 396,8	83 358,72	37 511,42	25 007,62	20 839,68	166 717,44	375 114,24
Завідувач складом матеріалів	4	64,80	2	1608	3216	208 396,8	83 358,72	37 511,42	25 007,62	20 839,68	166 717,44	375 114,24
Черговий електрик	5	73,49	2	1608	3216	236 343,84	94 537,536	42 541,89	28 361,26	23 634,38	189 075,07	425 418,91
Разом			8			930 999,84	372 399,94	167 579,97	111 719,98	93 099,98	744 799,87	1 675 799,71
Усього по цеху (виробничій дільниці)						3 214 842,24						**5 790 575,23**

5.4. 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;

$\sum Ч$ – 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.

П = 166 666 / 55 = 3030,3 шт/особу

5.5. 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, незавершеного виробництва та ін.).

Приклад розрахунку капіталовкладень в обладнання та підйомно-транспортувальні засоби наведено у табл. 5.8. Для розрахунку вартість транспортування обладнання, його монтажу і налагодження беруть у розмірі 10–25 % від його ціни.

Таблиця 5.8 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання[3]

Найменування устаткування, його модель або технічна характеристика	Кількість, одиниць	Вартість за одиницю, тис. грн	Загальна вартість, тис. грн	Витрати на транспор-тування та монтаж, тис. грн	Усього, тис. грн
Основне технологічне устаткування					
Індукційна піч	2	370	740	89	829
Установка для диспергування розплавів типу “Полет”	2	400	800	96	896
Сушка Carbolite Gero HT4-28	2	150	300	36	336
Просіювальна машина hi-sifter 1000	2	74	148	18	166
Горизонтальний шнековий змішувач СГШ-400	4	40	160	19	179
Гідравлічний прес ТРА 500/4 НР	2	324	648	78	726
Піч СТН-2.25.1-2/12		250	500	60	560
Разом основне технологічне устаткування					3 692
Допоміжне та підйомно-транспортне устаткування					
Електро-штаблер ЕШ-188М (Р – 5 м; вантажопідйомність 500 кг)	1	400	400	25	425
Візок гідравлічний 2т	2	12	24	2	26
Разом допоміжне та підйомно-транспортне устаткування					451
Загалом по цеху (виробничій дільниці)					4 143

Обсяг капіталовкладень у виробничі будівні та споруди визначають. Виходячи з площі цеху й усереднених нормативів вартості будівельних конструкцій і промислових проводок (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Усереднені ринкові ціни на елементи будівельно-монтажних робіт[4]

Елементи будівельно-монтажних робіт	Вартість, грн/м^3
1	2
1. Виробничі будівлі 1.1. Одноповерхові	3500
2. Водопостачання виробничих приміщень	35
3. Каналізація виробничих приміщень	27
4. Електропроводка виробничих приміщень	50
5. Вентиляція виробничих приміщень	70
6. Зовнішній благоустрій	60
7. Невраховані витрати	800

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

$$З_м = М_д \cdot \frac{Т_{пост}}{2},$$

де $М_д$ – середньодобове споживання сировини та матеріалів, грн;

$Т_{пост}$ – інтервал між поставками матеріалів у днях (приймається в межах 15-30 днів).

Суміш порошків – 80 000 х 90 = 7 200 000 грн
Добовий норматив оборотних засобів – 7 200 000 / 240 х 10 = 300 000 грн

$З_м$ = 4 136 096 х 15 / 2 = 2 250 000 грн

Середньодобове споживання матеріалів визначається як вартість річної потреби в основних та допоміжних матеріалах, сировині, запасних частинах,

[4] Реальні ціни на різні види будівельних робіт можна знайти за наступним посиланням.
Розцінки com.ua [Електронний ресурс] : Сайт Розцінки України. – Доступ до ресурсу : https://rascenki.com.ua/ua/city/kiev/stroitelnye_raboty/.

інструменту, спецодягу тощо, розділених на 360 (де 360 – розрахункове число днів за рік).

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:

$$Н_{заг} = 1{,}5 \cdot З_{м} ,$$

$$Н_{заг} = 1{,}5 \text{ х } 2\ 250\ 000 = 3\ 375\ 000 \text{ грн}$$

Після цього розраховують загальні капітальні вкладення в об'єкт, що проектується (табл. 5.10).

Таблиця 5.10 – Розрахунок загальних капітальних вкладень

Елементи капіталовкладень	Сума	
	грн.	%
1. Будівлі: 1.1. Виробничі	11 690 465	60.86
2. Устаткування 2.1. Основне технологічне	3 692 000	19.22
2.2. Допоміжне та підйомно-транспортне	451 000	2.35
3. Норматив оборотних засобів	3 375 000	17.57
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	19 208 465	100%

5.6. Визначення планової собівартості одиниці продукції

Для визначення планової собівартості продукції на підприємствах, як правило, складають планові та фактичні калькуляції. Перші розраховують за плановими нормами витрат, другі – за їх фактичним рівнем. Складання калькуляцій передбачає визначення об'єкта калькулювання, вибір калькуляційних одиниць, калькуляційних статей витрат та методики обчислення.

Об'єктом калькулювання є та продукція чи робота (послуга), собівартість

якої розраховують. Головним об’єктом калькулювання є готова продукція, яку поставляють на ринок. Для підприємств порошкової металургії це порошки металів та сплавів, спечені вироби та ін.

Проводячи розрахунки витрати групують за калькуляційними статтями, номенклатура яких залежить від особливостей виробництва. Установлюючи статті витрат, слід дотримуватися таких вимог:

– максимальну частку витрат, яку включають у собівартість, потрібно обчислювати безпосередньо для окремих виробів;

– статті непрямих витрат необхідно формулювати так, щоб їх можна було враховувати під час визначення вартості окремих виробів.

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).

Сума перших семи статей становить цехову собівартість, дев’яти – виробничу собівартість, а усіх десяти статей – повну собівартість.

Під час калькулювання прямі витрати обчислюються безпосередньо на калькуляційну одиницю згідно з чинними нормами й цінами. Для непрямих витрат (утримання та експлуатація устаткування, загальновиробничі та ін.) спочатку складають кошторис на певний період, після чого витрати розподіляють між різними виробами чи видами продукції.

Стаття **«Сировина та матеріали»** містить витрати на сировину, основі та допоміжні матеріали, закуплені вироби і напівфабрикати, тобто витрати, які можна обчислити безпосередньо на одиницю продукції на підставі витратних норм і цін.

Планові витрати основних і допоміжних (технологічних) матеріалів визначають на основі даних матеріального балансу, а ціни на них слід уточнювати у відділі матеріально-технічного забезпечення підприємства під час проходження переддипломної практики (чи скориставшись інформаційними сайтами, про які зазначено вище). Розрахунки оформляють у вигляді табл. 7.4.

Стаття **«Паливо та енергія на технологічні цілі»**. До цієї статті калькуляції відносять вартість річних затрат технологічних енергоносіїв: електроенергії, природного газу, пари, стиснутого повітря, гарячої води та ін. носіїв енергії. Суму витрат обчислюють у відповідності до норм витрат певних видів енергоресурсів і діючих тарифів та цін.

У разі відсутності норм витрат електроенергії використовують розрахунковій метод, за яким витрачання цього виду ресурсів визначають по встановленій потужності токоприймачів, планового фонду часу роботи відповідного устаткування та коефіцієнта втрат електроенергії.

Стаття **«Основна заробітна плата технологічних робітників»** містить витрати на оплату праці робітників, безпосередньо зайнятих виготовленням основної продукції. Це основні (технологічні) робітники, а фонд їхньої заробітної плати наведено у табл. 6.5.

Стаття **«Додаткова заробітна плата технологічних робітників»** обчислюється у відсотках від основної заробітної плати технологічних робітників (табл. 6.5).

Стаття **«Єдиний соціальний внесок»** (ЄСВ) – це обов'язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Базою для нарахування ЄСВ слугує загальний фонд заробітної плати по цеху.

Стаття **«Утримання та експлуатація устаткування»** є комплексною й охоплює амортизаційні відрахування на повне відтворення виробничого устаткування, підйомно-транспортних засобів; витрати на проведення усіх видів ремонту та міжремонтного обслуговування.

Норматив витрат на цю статтю встановлюється кожним підприємством у відсотках до статті «Основна заробітна плата технологічних робітників». Для підприємств порошкової металургії витрати можуть становити 135 %.

Утримання та експлуатація устаткування = 2 283 842,4 х 1,35 = 2968995,12 грн.

Стаття **«Загальновиробничі витрати»** також є комплексною. До неї належать наступні види витрати:

– амортизація основних засобів та нематеріальних активів загальновиробничого призначення;

– витрати на управління виробництвом в межах виробничого об’єкта, що проектується (оплата праці апарату управління цеху чи дільниці з врахуванням єдиного соціального внеску, офісні витрати в межах цеху чи дільниці);

– витрати на утримання, експлуатацію та ремонт основних засобів загальновиробничого призначення;

– витрати на удосконалення технології та організації виробництва;

– витрати на освітлення, опалення, водопостачання виробничих приміщень;

– витрати на охорону праці, техніку безпеки і охорону навколишнього середовища та ін.

Величину витрат по вказаній статті калькуляції розраховують у відповідності до нормативу, прийнятого на підприємстві-аналогу. У разі відсутності таких даних загальновиробничі витрати встановлюють на рівні 102 % від величини статті «Основна заробітна плата технологічних робітників».

Загальновиробничі витрати = 2 283 842,4 х 1,02 = 2329519,25 грн.

Стаття **«Загальногосподарські витрати»** близька за змістом до попередньої і відрізняється лише рівнем об'єктів визначення витрат. Так, загальновиробничі витрати – це витрати на управління, виробниче і господарське обслуговування в межах цеху. Загальногосподарські витрати – це ті ж самі витрати тільки на рівні всього підприємства загалом. У цю статтю додатково включають витрати на набір і підготовку персоналу, службові відрядження, обов'язкові платежі (страхування майна підприємства, платежі на забезпечення заходів охорони навколишнього середовища та ін.), плату за банківське обслуговування. Для підприємств порошкової металургії загальногосподарські витрати становлять 50 % від основної заробітної плати технологічних робітників.

Загальногосподарські витрати = 2 283 842,4 х 0,5 = 1141921,2 грн.

До статті **«Витрати на підготовку та освоєння виробництва»** належать такі види витрат:

– на підготовку та освоєння нової продукції;

– на освоєння нових технологічних процесів;

– на запуск у виробництво нових цехів, дільниць і окремих агрегатів;

– на винахідництво і раціоналізацію та деякі інші.

Норматив вказаних витрат встановлюють за даними підприємства-аналога, а у разі їх відсутності на рівні 30 % від величини статті «Основна заробітна плата технологічних робітників».

Витрати на підготовку та освоєння виробництва = 2 283 842,4 х 0,3 = = 685152,72 грн.

Стаття **«Позавиробничі витрати»** включає витрати на реалізацію продукції підприємства:

– відшкодування вантажно-розвантажувальних, складських, пакувальних, транспортних і страхових витрат;

– маркетингові витрати (реклама, участь у виставках, дослідження ринку та ін.);

– витрати на гарантійний ремонт та гарантійне обслуговування;

– сплата експортного мита, митних зборів тощо.

Величину витрат по цій статті визначають у відсотках до виробничої собівартості (сума 9-ти перших статей калькуляції). Вони становлять близько 10 %.

Виробнича собівартість річної програми = ∑ пунктів 1 – 9 = 20 279 308,6 грн.

Позавиробничі витрати = 20279308,6 х 0,1 = 2027930,86 грн.

На основі виконаних розрахунків складається планова калькуляція собівартості продукції (табл. 5.11).

Повну собівартість одиниці продукції ($С_п$) розраховують як відношення повної собівартості річної програми випуску продукції ($С_п^{річ}$) до річного обсягу (програми) випуску продукції цехом (дільницею):

$$С_п = \frac{С_п^{річ}}{G},$$

де G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

$С_п$ = 22 031 161,64 / 166 667 = 132,19 грн/шт

Таблиця 5.11 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Найменування статей витрат	Одиниця виміру	Кількість на річну програму	Ціна за одиницю, грн	Витрати на річну програму
1. Сировина та матеріали 1.1. Скрап алюмінію, заліза та порошок дисульфід молібдену	кг	86 277,6	90	7 764 984
2. Паливо та енергія на технологічні цілі (енергоносії)				120 476,8
3. Основна заробітна плата технологічних робітників				2 285 450,4
4. Додаткова заробітна плата технологічний робітників				1 827 073,92
5. Єдиний соціальний внесок Цей пункт має складати 22% від суми пунктів 3 та 4				904755,35
6. Утримання та експлуатація устаткування				2 968 995,12
7. Загальновиробничі витрати				2 329 519,25
8. Загальногосподарські витрати				1 141 921,2
9. Витрати на підготовку та освоєння виробництва				685 152,72
Виробнича собівартість річної програми				20 028 328,76
10. Позавиробничі витрати				2002832,876
Повна собівартість річної програми				22 031 161,64

5.7. Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення

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 визначається як відношення витраченої кількості праці до загального обсягу виробленої продукції. Технологічна трудомісткість одиниці продукції розраховується як сума витрат часу по окремим операціям технологічного процесу. Менш точно технологічну трудомісткість (t) у нормо-годинах можна розрахувати за формулою:

$$t = \frac{Ч_{ос} \cdot Ф_{еф}^{пл}}{G},$$

де $Ч_{ос}$ – загальна чисельність основних (технологічних) робітників, осіб;

$Ф_{еф}^{пл}$ – плановий ефективний фонд робочого часу одного працівника за рік, год.;

G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

t = 23 х 1608 / 166 667 = 0,222 нормо-годин/шт

Капіталомісткість (фондомісткість) продукції ($К_G$) визначається як відношення загальних капітальних витрат ($К_{заг}$) у будівництво чи реконструкцію цеху (дільниці) або на технічне переоснащення виробництва до річного планового обсягу виробництва продукції:

$$К_G = \frac{К_{заг}}{G},$$

K_G = 19 208 465/ 166 667 = 115,25 грн

Найбільш розповсюдженим показником економічної ефективності капітальних витрат на нове будівництво, реконструкцію, впровадження нового обладнання чи технології, є період окупності капітальних витрат ($П_{ок}$Пок), 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.

$П_{ок}$ = 19 208 465 / 7 740 019 = 2,5 років

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

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

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.

$ГП_р$ = 0,82 х (180-132,19) х 166 667+ 1 205 973 = 7 740 019 грн.

Загальна річна сума амортизаційних відрахувань розраховується, виходячи з вартості основних засобів по 16-ом групам та передбаченого мінімального терміну їхньої експлуатації (табл. 5.12).

Таблиця 5.12 – Групи основних засобів та мінімальні терміни їхньої експлуатації

Групи	Мінімально допустимі строки корисного використання, років	Річна норма амортизації, %
група 1 – земельні ділянки	Амортизація не нараховується	
група 2 – капітальні витрати на поліпшення земель, не пов'язані з будівництвом	15	5
група 3 – будівлі	20	5
споруди	15	5
передавальні пристрої	10	10
група 4 – машини та обладнання	5	20
з них		
електронно-обчислювальні машини, інші машини для автоматичного оброблення інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, пов'язані з ними комп'ютерні програми (крім програм, витрати на придбання яких визнаються роялті, та/або програм, які визнаються нематеріальним активом), інші інформаційні системи, комутатори, маршрутизатори, модулі, модеми, джерела безперебійного живлення та засоби їх підключення до телекомунікаційних мереж, телефони (в тому числі стільникові), мікрофони і рації, вартість яких перевищує 2500 гривень	2	50
група 5 – транспортні засоби	5	20
група 6 – інструменти, прилади, інвентар (меблі)	4	25
група 7 – тварини	6	15
група 8 – багаторічні насадження	10	10
група 9 – інші основні засоби	12	5
група 10 – бібліотечні фонди	-	50
група 11 – малоцінні необоротні матеріальні активи	-	50
група 12 – тимчасові (не титульні) споруди	5	20
група 13 – природні ресурси	Амортизація не нараховується	
група 14 – інвентарна тара	6	15
група 15 – предмети прокату	5	20
група 16 – довгострокові біологічні активи	7	10

Нормативний період окупності капітальних вкладень у створення нових чи реконструкцію існуючих цехів (дільниць), вкладень на технічне переобладнання виробництва приймається у межах 5–7 років.

Економічна частина проекту закінчується складанням зведеної порівняльної таблиці основних техніко-економічних показників об'єкта, що проектується. Перелік типових порівняльних техніко-економічних показників наведений у таблиці 5.13.

Представлена номенклатура порівняльних показників, які характеризують проект, може доповнюватись специфічними показниками окремих галузей та виробництв.

Таблиця 5.13 – Порівняльні техніко-економічні показники спроектованого об’єкта

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення по варіантам
		Спроектований
1. Річний плановий обсяг виробництва продукції (G)	шт	166 667
2. Загальна площа цеху (дільниці)	м^2	856
3. Виробнича площа цеху (дільниці)	м^2	696
4. Капіталомісткість продукції ($К_G$)	$\frac{грн}{т}$ ($\frac{грн}{шт}$)	115,25
5. Загальна чисельність у тому числі: основний (технологічний) персонал допоміжний (технологічний) персонал управлінський та обслуговуючий персонал	осіб	55
6. Загальний річний фонд заробітної плати	грн	5 790 575,23
7. Середньомісячна заробітна плата одного працівника	грн	16 000
8. Річний виробіток на одного працівника (продуктивність праці)	$\frac{т}{особу}$ ($\frac{шт}{особу}$)	3030,3
9. Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{нормо-годин}{т\ (шт)}$	0,222
10. Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{грн}{т\ (шт)}$	132,19
7. Період окупності ($П_{ок}$)	років	2,5

ВИСНОВКИ

У наслідок проетування спректовано виробництво струмознімачів рухомого транспорту продуктивністю т /рік (166 667 шт/рік пластин).

1. Під час проектування проведено аналіз існуючих матеріалів, які використовуються для виготовлення струмознімачів. Показано, що перспективним матеріалом для їх виготвлення можуть бути порошкові сплави Al-Fe з додаванням як твердого мастила дісульфіду молібдена. Останнє зумовлено тим, що у випадку сплавів Al-Fe в структурі матеріалу за певних умов утворюються інтерметаліди алюмінію Al_xFe_y, які відіграють роль дисперсно зміцнюючої фазової складової.

2. Проведено аналіз існуючих технологічних варіантів отримання вихідних порошків з заданою структурою. Показано, що порошки з дисперсно зміцненою структурою, в яких фазова складова з інтерметалідів Al_xFe_y має розмір менший за 1– 5 мкм утворюється під час отримання порошків диспергуванням розплавів за умови швидкості охолодження продуктів диспергування 1×10^{-5} – 1×10^{-7} °C/c. Тому в проекті передбачено отримання вихідних порошків механічним диспергуванням розплаві за допомогою установки типу «Полет».

3. Розроблений технологічний процес отримання виробів з заданими характеристиками. Для встановлення оптимальних умов компактування були проведені дослідження умов пресування вихідних порошків. Як наслідок було запропоноване рівняння для визначення умов пресування для отримання заданої структури і щільності. Рівняння має вигляд:

$$lgP = 1{,}498(\beta - 1) + 3{,}012 .$$

4. Виходячи з аналізу механізмів спікання багатокомпонентних матеріалів були запропоновані умови спікання виробів з сплавів Al-Fe.

					ФН01.0930.4230.0002.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Махиня В.І.			ВИСНОВКИ	Літ.	Арк. / Аркушів
Перевір.		Степанчук А.М.					
Реценз.						НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-01	
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					

Спікання передбачається проводити за температури 600 ºС у твердій фазі, що забезпечує спадковість дисперсно зміцненої структури вихідних порошків у кінцевому виробі.

5. Проведені розрахунки матеріального балансу та балансу матеріалів і вибір і розрахунок потрібної кількості технологічного обладнання, яке забезпечує необхідні властивості напівпродуктів і кінцевого виробу.

6. Розроблений розділ охорони праці і навколишнього середовища. Розроблені умови праці на підприємстві забезпечують безпечні умови роботи працівників і охорону навколишнього середовища.

7. Проведені розрахунки техніко-економічних показників спроектованого виробництва. Розрахований термін окупності, який складає 2,5 роки. Останнє свідчить про рентабільність виробництва.

CONCLUSIONS

As a result of the design, the production of mobile transport pantographs with a productivity of t/year (166,667 plates/year) is planned.

1. During the design, an analysis of the existing materials used for the manufacture of current collectors was carried out. It is shown that Al-Fe powder alloys with the addition of molybdenum disulfide as a solid lubricant can be a promising material for their production. The latter is caused by the fact that, in the case of Al-Fe alloys, in the structure of the material under certain conditions, aluminum intermetallics AlxFey are formed, which play the role of a dispersed strengthening phase component.

2. An analysis of existing technological options for obtaining initial powders with a given structure was carried out. It is shown that powders with a dispersion-strengthened structure, in which the phase component of AlxFeu intermetallics has a size smaller than 1–5 μm, are formed during the production of powders by dispersion of melts under the condition of a cooling rate of dispersion products of 1×10-5 – 1×10-7 oC/ with.

Therefore, the project provides for the production of initial powders by mechanical dispersion of the melt using a "Flight" type installation.

3. The technological process of obtaining products with specified characteristics has been developed. In order to establish the optimal conditions for compaction, studies of the conditions of pressing of the original powders were carried out. As a result, an equation was proposed for determining the pressing conditions for obtaining a given structure and density. The equation has the form:

$$lgP = 1{,}498(\beta - 1) + 3{,}012$$

4. Based on the analysis of the mechanisms of sintering of multicomponent materials, the conditions of sintering of products made of Al-Fe alloys were proposed. Sintering needs to be carried out at a temperature of 600 °C in the solid phase, which ensures the heredity of the dispersion-strengthened structure of the initial powders in the final product.

5. Calculations of the material balance and the balance of materials and the selection and calculation of the required amount of technological equipment, which provides the necessary properties of semi-finished products and the final product, have been carried out.

6. The section on labor and environmental protection has been developed. The developed working conditions at the enterprise ensure safe working conditions for employees and environmental protection.

7. Calculations of the technical and economic indicators of the planned production were carried out. The calculated payback period is 2.5 years. The latter indicates the profitability of production.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ханин М. В. Механическое изнашивание материалов [Текст] / Ханин М. В. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – 152 с.

2. Glaeser William A. Materials for Tribology [Text] / A. Glaeser William // Elsevier Science Ltd. – 1992. – Vol. 20. – 260 p.

3. Becker E. P. Trends in tribological materials and engine technology [Text] / E. P. Becker // Tribol Int. – 2004. – Vol. 37, № 7. – P. 569–575.

4. Barquins M. Friction and wear of rubber-like materials [Text] / M. Barquins // Wear. – 1993. – Vol. 160, № 1. – P. 1–11.

5. Kato K. Wear in relation to friction: a review [Text] / K. Kato // Wear. – 2000. – Vol. 241, № 2. – P. 151–157.

6. Kök M. Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al_2O_3 particles [Text] / M. Kök, K. Özdin // J Mater Process Technol. – 2007. – Vol. 183. – P. 301–309.

7. Макаренко Н.О. Антифрикційні матеріали [Електронний ресурс] / редкол.: Н. О. Макаренко, І. М. Дзюба, А. І. Жуковський., М. Г. Железняк [та ін.] // Енциклопедія Сучасної України – Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2001. – Режим доступу: https://esu.com.ua/article42922. – Назва з екрану . – Дата перегляду : 22.02.2024.

8. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы [Текст] / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. – Киев : Наук. думка, 1980. – 404 с.

9. Jha A.K. Sintered 6061 aluminium alloy—solid lubricant particle composites: sliding wear and mechanisms of lubrication [Text] / A.K. Jha, S.V. Prasad, G. S. Upadhyaya// Wear. – 1989. – Vol. 133, № 1. – P. 163–172.

10. Журавель Д.П. Взаємозв'язок між коефіцієнтом зносу та коефіцієнтом тертя матеріалів [Текст] / Д.П. Журавель // Вісник СевНТУ: зб. наук. праць / СевНТУ. – Севастополь, 2012. – Вип. 128 : Машиноприладобудування та транспорт. – С. 72-76.

11. Findik F. Latest progress on tribological properties of industrial materials [Text] / F. Findik // Mater Des. – 2014. – Vol. 57. – P. 218–244.

12. Chung D.D.L. Review Graphite [Text] / D.D.L. Chung // J Mater Sci. – 2002. – Vol. 37, № 8. – P. 1475–1489.

13. Hammond C.R. The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics [Text] / C.R. Hammond // 81st ed. CRC Press. – 2004.

14. Smith W.F. Foundations of Materials Science and Engineering [Text] / W.F. Smith, Javad Hashemi // McGraw-Hill Professional. – 2003. – 223 p.

15. Верховлюк А. М. Функціональні матеріали на основі міді із заданою електропровідністю [Текст] / А. М. Верховлюк, О. А. Щерецький, Р. А. Сергієнко. – Київ : Наукова думка, 2019. – 152 р.

16. G.C. Pratt. New Developments in bearing Materials [Text] / G.C. Pratt // SAE paper. – 1969. – Vol. 690112.

17. Balanović L. Calorimetric study and thermal analysis of Al–Sn system [Text] / L. Balanović // J Therm Anal Calorim. – 2013. Vol. 111 № 2. – P. 1431–1435.

18. Zhang S. Effects of sliding velocity and normal load on tribological behavior of aged Al-Sn-Cu alloy [Text] / Zhang S. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – Vol. 26, № 7. – P. 1809–1819.

19. McAlister A.J. The Al-Pb (Aluminum-Lead) system [Text] / A.J. McAlister // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. – 1984. – Vol. 5, № 1. – P. 69–73.

20. Meydaneri F. Thermal conductivities of solid and liquid phases for pure Al, pure Sn and their binary alloys [Text] / F. Meydaneri, B. Saatçi, M. Özdemir // Fluid Phase Equilib. – 2010. – Vol. 298, № 1. – P. 97–105.

21. Li X. The Al-Rich Part of the Fe-Al Phase Diagram [Text] / X. Li // J Phase Equilibria Diffus. – 2016. – Vol. 37, № 2. – P. 162–173.

22. Степанчук А. Вплив структури та складу порошкових матеріалів на основі Al-Fe-C на їх стійкість під час абразивного зношування [Текст] / С. Тесля, А. Степанчук, О. Кучер // Problems of Friction and Wear. – 2022. – № 1(94). – P. 36–45.

23. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов : [учебное пособие для вузов] / Н. П. Жук. – Москва : ООО ТИД «Альянс», 2006. – 472 с.

24. Peng J. Influence of Al content and pre-oxidation on the aqueous corrosion resistance of binary Fe-Al alloys in sulphuric acid / J. Peng // Corros Sci. Elsevier Ltd. – 2019. – Vol. 149. – P. 123–132.

25. Rommel S. Corrosion phenomena in a powder-processed Al alloy containing icosahedral quasicrystalline dispersoids [Text] / S. Rommel // Corros Sci. Pergamon. – 2020. – Vol. 177. – P. 108970.

26. Jiao X. High-temperature oxidation behavior and pore structure of porous TiAl3 intermetallics at 650 °C to 900 °C [Text] / X. Jiao // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 22. – P. 2398–2408.

27. Shang Z. 3D microstructure and anti-oxidation behavior of porous CoAl intermetallic fabricated by rapid thermal explosion [Text] / Z. Shang // Corros Sci. – 2022. – Vol. 208. – P. 110715.

28. John Young David. High temperature oxidation and corrosion of metals [Text] / David John Young // Elsevier corrosion series. – 2008. – Vol. 1. – 574 p.

29. Косторнов А. Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов [Текст] / А. Г. Косторнов // Т.1. – Киев : Наукова думка, 2002. – 569 с.

30. Охорона праці та цивільний захист [Текст] / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. ; за ред. О.Г. Левченка. – Київ : Основа, 2019. – 472 с.

31. Документація. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – [Чинний з 1999-12-01]. – Київ : Міністерствво охорони здоров'я України, 1999. – 14 с.

32. Державні і будівельні норми України. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5.28-2006. – Чинний з 2006-05-15. – Київ : Мінбуд України. 2006. – 76 с.

33. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний від 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 10 с.

34. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація : ДСТУ EN 133:2005. – Чинний з 01.07.2006. – Київ : Технічний комітет «Безпека промислової продукції та засоби індивідуального захисту працюючих», 2006. – 11 с.

35. Степанчук А.М. Магістерська дисертація за освітньо-науковою програмою. Вимоги до виконання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство» за освітньою програмою “Нанотехнології та комп’ютерний дизайн матеріалів” / уклад.: А. М. Степанчук, П. І. Лобода. // КПІ ім. Ігоря Сікорського – Електронні текстові дані (1 файл: 1,42 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 43 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41411 . – Дата перегляду : 22.02.2024.