

<https://meet.google.com/rvm-ucdj-kyb>
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

«___» _____ 2026 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»

на тему: «ДІЛЬНИЦЯ З ВИРОБНИЦТВА ЗНОСОСТІЙКИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ
РОБОТИ В УМОВАХ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ
І АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ФН-21

Леонов Володимир Володимирович _____

Керівник:

к.т.н, професор

Степанчук Анатолій Миколайович _____

Консультант з економічно-організаційного розділу:

к.е.н., доцент

Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці:

Д.т.н., професор, зав.кафедри

Левченко Олег Григорович _____

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент Бірюкович Л. О. _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

Затверджую:

Завідувач кафедри

_____ *Ю. І. Богомол*

“ _____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня “Бакалавр”
студенту Леонову Володимиру Володимировичу

1. Тема проекту “ ДІЛЬНИЦЯ З ВИРОБНИЦТВА ЗНОСОСТІЙКИХ ДЕТАЛЕЙ
ДЛЯ
РОБОТИ В УМОВАХ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ
І АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ”

Затверджена наказом по університету від « 28 » 05 2026 р. № 1987 с

2. Термін здачі студентом закінченої роботи «15» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: Аналіз сучасного стану виробництва зносостійких композиційних матеріалів і абразивного інструменту та вихідних матеріалів для їх виготовлення та формулювання шляхів отримання їх з більш високими техніко-економічними показниками.

Методи отримання вихідних матеріалів повинні забезпечувати задані їх властивості, які, у свою чергу повинні забезпечувати високі показники інструменту.

Технологічні режими розроблюваного технологічного процесу повинні забезпечувати задані властивості виробів : щільність не менша за 95%, знос у межах $(5-8) \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^2 \text{ хв.}$.

Організаційно-економічні засади повинні забезпечувати нормативний коефіцієнт економічної ефективності не нижчий за 1,4–1,45.

Охорона праці та екологія на спроектованому виробництві повинні відповідати нормативним вимогам.

4 Перелік питань, які мають бути розроблені:

а) основна частина:

- провести аналіз сучасного стану теорії і технології отримання зносостійких виробів для роботи в умовах ударних навантажень;
- спроектувати виробництво гранул продуктивністю 70 т/ рік з більш високими експлуатаційними властивостями та економічними показниками їх виготовлення.

б) економічна частина:

- визначити фонд заробітної плати основних робітників та управлінського та допоміжного персоналу;
- провести економічні розрахунки;
- визначити техніко-економічні показники спроектованого виробництва.

в) охорона праці та навколишнього середовища:

- провести аналіз площі, об'єму цеху та мікроклімату та факторів небезпеки у його відділках;
- визначити умови електробезпеки, необхідного заземлення, пожежної безпеки та провести необхідні перевірочні розрахунки;
- розрахувати місцеву вентиляцію;
- розробити засади охорони навколишнього середовища та екології.

5. Перелік ілюстративного та графічного матеріалу:

- апаратурно - технологічна схема виробництва пастиг;
- схема просочування; пластифікованої суміші;
- креслення муфельної печі спікання;
- план розміщення обладнання в спроектованій ділянці;
- техніко-економічні показники спроектованого виробництва;

6. Рекомендована література

1. Степанчук А.М. Методичні вказівки до виконання курсових та дипломних проектів / А. М. Степанчук, П. А. Бойко, В. І. Кривда, О. Г. Моляр. – Київ : Видавництво “Політехніка”, 2004. – 52 с.
2. Степанчук А. Н., Билык И. И., Бойко П. А. Технология порошковой металлургии / А. Н. Степанчук, И. И. Билык, П. А. Бойко. – Киев : «Вища шк.», 1989. – 415 с.
3. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В. Н. Анцыферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин и др. – Москва : Металлургия, 1987, – 792 с.
4. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельский и др.; Отв. редактор И. М. Федорченко. – Киев : Наук. думка, 1985. – 624 с.
5. Порошковая металлургия. Спеченные композиционные материалы / Б. Финдайзен, Э. Фридрих, В. Шарфе и др. ; Под ред. В. Шатта. – Москва : Металлургия, 1983. – 520 с.
6. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. – Киев : Наук. думка, 1980. – 404 с.
7. Кипарисов С. С. Оборудование предприятий порошковой металлургии: Учеб. для вузов. / С. С. Кипарисов, О. В. Падалко. – Москва : Металлургия, 1988. – 148 с.
8. Степанчук А. М. Обладнання виробництв порошкових та композиційних матеріалів. Каталог обладнання / А. М. Степанчук, М. О. Сисюєв. – Київ : НТУУ “КПІ”, 2009. – 99 с.

Затверджую
Керівник проекту

_____ А. М. Степанчук
“ _____ ” _____ 2026 р.

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	Провести аналіз сучасного стану теорії і технології отримання зносостійких матеріалів; Вибір та опис технологічного процесу.	01.04.2026 р.	
2	Розробити технологічний процес \виробництва зносостійких пластин	15.04.20236 р.	
3	Розрахунки матеріального балансу та вибір розрахунків потрібної кількості технологічного обладнання	05.05.2026 р.	
4	Проведення конструкторської розробки Вузла формування заготовок	15.05.2026 р.	
5	Економічний розділ	25.05.2026 р.	
6	Розділ охорони праці та навколишнього середовища	05.06.2026 р.	
7	Оформлення дипломної записки та виготовлення ілюстративного та графічного матеріалу	08.06.2026 р.	

Студент _____ (Леонов В.В.)
(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота за освітньо-професійною програмою складається із пояснювальної записки, що має: 99 с., 10 табл., 7 рис., 21 літ, ____ додатків.

Метою роботи є розроблення технологічного процесу та проектування виробництва футерувальних зносостійких пластин для роботи в умовах інтенсивного абразивного зношування та ударних навантажень.

У дипломній роботі проведено аналіз сучасних матеріалів і технологій виготовлення зносостійких деталей для подрібнювального обладнання. Розглянуто високомарганцеві сталі, наплавочні матеріали, безвольфрамові тверді сплави, тверді сплави системи ВК та композиційні матеріали. На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір композиційного матеріалу, який складається з гранул твердого сплаву та металевої зв'язки на основі самофлюсівного сплаву.

Розроблено технологічний процес виготовлення футерувальних пластин, який включає операції замішування, протирки, грануляції, сушіння, спікання, просочування та механічної обробки. Виконано матеріальні розрахунки виробництва, здійснено вибір основного технологічного обладнання та визначено його необхідну кількість для забезпечення проєктної продуктивності. Також розроблено заходи з охорони праці, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища.

У дипломній роботі також розглянуто питання охорони праці та виробничої безпеки. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, характерних для процесів порошкової металургії, зокрема утворення пилу, підвищеної температури обладнання, дії електричного струму та рухомих частин механізмів. Для забезпечення безпечних умов праці передбачено використання вентиляційних систем, засобів індивідуального захисту, заходів пожежної безпеки та дотримання вимог електробезпеки.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Леонов В. В.			РЕФЕРАТ		
Перевір.		Степанчук А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	
					НТУУ «КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп		

ABSTRACT

The bachelor's degree project under the educational and professional program consists of an explanatory note containing: 99 pages, 10 tables, 7 figures, 21 references, ____ appendices.

The purpose of the project is to develop a technological process and design a production facility for wear-resistant lining plates intended for operation under conditions of intensive abrasive wear and impact loading.

The thesis analyzes modern materials and technologies used in the manufacture of wear-resistant parts for crushing equipment. High-manganese steels, surfacing materials, tungsten-free hard alloys, WC-Co cemented carbides, and composite materials were considered. Based on the conducted analysis, the choice of a composite material consisting of hard-alloy granules and a metallic binder based on a self-fluxing alloy was substantiated.

A technological process for manufacturing lining plates was developed, including mixing, screening, granulation, drying, sintering, infiltration, and machining operations. Material balance calculations were carried out, the main technological equipment was selected, and the required quantity of equipment was determined to ensure the designed production capacity. Measures for occupational safety, fire safety, and environmental protection were also developed.

The project also addresses occupational health and industrial safety issues. An analysis of hazardous and harmful factors characteristic of powder metallurgy processes was carried out, including dust generation, elevated equipment temperatures, electric current hazards, and moving machine components. To ensure safe working conditions, the use of ventilation systems, personal protective equipment, fire safety measures, and compliance with electrical safety requirements has been provided.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Леонов В. В.			РЕФЕРАТ		
Перевір.		Степанчук А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Лім.	Арк.	Аркушів
						7	
					НТУУ «КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-з21мп		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 Технологічний розділ	11
1.1. Вибір та обґрунтування схеми технологічного процесу.....	11
1.1.1 Вибір матеріалів	11
1.1.2. Технологічні варіанти виготовлення зносостійких виробів	34
2 Технологічний процес виготовлення футеровочних зносостійких пластин для подрібнювачів.....	33
2.1. Характеристика вихідних матеріалів	37
2.2 Опис технологічних операцій	38
2.3. Розрахунок і складання матеріального балансу.....	42
2.4. Вибір та розрахунок кількості обладнання	60
3 Охорона праці та екологічна безпека.....	73
3.1. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	73
3.2 Розрахунок вентиляції шнекового замішувача	81
3.3 Загальні вимоги безпеки.....	87
3.4 Пожежна безпека.....	89
3.5 Захист навколишнього середовища	90
4 Енергетичний розділ	91
5 Організаційний розділ.....	95
5.1 Розрахунок чисельності виробничих виробників.....	95
Висновки	101
Список джерел	103

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст		
Розроб.		Леонов В. В.					
Перевір.		Степанчук А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушіє
						8	
					НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-з21мп		

Вступ

Обладнання, яке застосовується для подрібнення різноманітних матеріалів, працює в умовах значних механічних навантажень, що за своїм характером можуть бути віднесені до екстремальних. У процесі експлуатації робочі елементи таких машин піддаються одночасному впливу ударних і абразивних навантажень з боку матеріалу, що подрібнюється, а також взаємодіють із мелючими тілами. До зазначеної групи обладнання належать щоківі дробарки, кульові млини, відцентрові та роторні подрібнювачі й інші агрегати, що широко використовуються в промисловості. Особливий інтерес становить обладнання гірничодобувної галузі, де процеси подрібнення супроводжуються інтенсивним зношуванням робочих поверхонь. Насамперед це стосується відцентрових подрібнювачів різних конструкцій, елементи яких експлуатуються в умовах постійного абразивного впливу. Високий рівень зношування призводить до скорочення строку служби обладнання, підвищення витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також до зниження загальної ефективності виробництва.

Підвищення довговічності подрібнювального обладнання може бути досягнуте як шляхом удосконалення його конструкції, так і за рахунок створення та застосування нових матеріалів із підвищеною зносостійкістю. У першу чергу це стосується найбільш навантажених елементів, таких як відбійні плити, футерувальні деталі та інші робочі поверхні, які безпосередньо контактують із абразивним середовищем. Слід зазначити, що використання традиційних матеріалів, зокрема легованих сталей і спеціальних чавунів, не забезпечує повною мірою необхідного рівня зносостійкості в умовах інтенсивної експлуатації. У зв'язку з цим все більшої актуальності набуває застосування порошкових композиційних матеріалів та покриттів [1], [2], [3], [4], [5], до складу яких входять тугоплавкі сполуки [6] або тверді сплави [7]. Такі матеріали відзначаються високою твердістю, значним модулем пружності, підвищеною стійкістю до абразивного зношування та специфічною структурою, що визначає їх експлуатаційні характеристики. Разом із тим вони мають і суттєві недоліки, серед яких основним

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

є підвищена крихкість. Саме ця властивість обмежує можливість їх використання в умовах значних ударних навантажень, характерних для роботи подрібнювального обладнання.

Частковим вирішенням зазначеної проблеми є створення композиційних матеріалів, у яких тверді тугоплавкі фази поєднуються з металевою зв'язкою, що має підвищену пластичність [8], . Використання такої матриці дозволяє зменшити крихкість матеріалу та підвищити його опір руйнуванню. Як правило, подібні матеріали отримують із застосуванням методів порошкової металургії, які забезпечують не лише високу економічну ефективність, але й широкі можливості регулювання складу, структури та властивостей кінцевого продукту. Завдяки цьому з'являється можливість створення зносостійких матеріалів із заданими характеристиками, які можуть бути адаптовані до конкретних умов експлуатації та властивостей матеріалу, що підлягає подрібненню. Використання таких матеріалів у конструкції подрібнювального обладнання дозволяє значно підвищити його ресурс роботи та зменшити витрати на обслуговування.

Таким чином, розробка нових зносостійких матеріалів, а також створення ефективних технологій і виробництв для їх виготовлення є актуальним завданням сучасної науки і техніки. Дуже важливим аспектом є забезпечення конкурентоспроможності продукції, що значною мірою залежить від вибору вихідної сировини, застосованого технологічного процесу та організаційних умов виробництва.

Крім того, суттєве значення мають такі фактори, як наявність необхідної інфраструктури в місці розташування виробництва, забезпеченість трудовими ресурсами, енергетичними та транспортними комунікаціями, що в сукупності визначає техніко-економічні показники підприємства. Враховуючи наведене, метою даного проєкту є розробка виробництва з виготовлення зносостійких елементів обладнання, призначеного для подрібнення матеріалів. Водночас передбачається використання сучасних вихідних матеріалів і технологічних рішень, в основі яких лежать методи порошкової металургії.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Вибір та обґрунтування схеми технологічного процесу.

Вибір раціональної схеми технологічного процесу є одним із визначальних етапів проектування виробництва, оскільки він значною мірою впливає на якість кінцевої продукції, її експлуатаційні характеристики та економічні показники. Такий вибір у першу чергу залежить від складу матеріалу, структурних особливостей виробу, а також умов, у яких він буде працювати.

У виготовленні зносостійких елементів подрібнювального обладнання можуть застосовуватися різні матеріали, до складу яких, як правило, входять тугоплавкі сполуки [6], та тверді сплави [7], . Вибір конкретного матеріалу визначається вимогами до зносостійкості, міцності та довговічності виробу. У зв'язку з цим доцільно детально розглянути можливі варіанти вихідних матеріалів і обґрунтувати їх використання відповідно до поставленого завдання.

1.1.1 Вибір матеріалів

Вибір матеріалів для виготовлення зносостійких виробів здійснюється з урахуванням умов їх експлуатації, які характеризуються поєднанням інтенсивного абразивного зносу та значних ударних навантажень. У таких умовах працюють основні елементи конструкцій подрібнювачів. До цих елементів належать відбійні плити роторних і відцентрово-ударних подрібнювачів, а також робочі органи струминних, молоткових і лопатевих відцентрових машин. Під час подрібнення матеріалів із високою абразивністю ресурс роботи зазначених деталей часто обмежується кількома годинами або добами, що суттєво знижує економічну ефективність процесу та призводить до підвищення матеріалоємності виробництва.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Леонов В. В.			ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						11	
					НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ГМ Гр. ФН-321мп		

У зв'язку з цим розробка та використання нових матеріалів із підвищеною зносостійкістю для виготовлення робочих елементів подрібнювачів є актуальним інженерним завданням.

На сьогодні для виготовлення зносостійких деталей застосовують різні групи матеріалів, зокрема: композиційні матеріали з тугоплавкими сполуками, сталі, чавуни, порошкові тверді сплави, керамічні матеріали та інші.

Для подрібненні матеріалів середньої твердості доцільним є використання білих і високолегованих спеціальних чавунів. Значного поширення набули білі чавуни, леговані нікелем, які відомі під назвою ніхард (США). Такі матеріали використовуються для виготовлення бил і відбійних плит млинів, футерувальних елементів, мелючих тіл кульових млинів, а також сопел піскоструминних установок.

У виробництві гранітного щебеню та подрібненні таконітових руд доцільно застосовувати зносостійкі елементи з білого чавуну, легованого бором і молібденом. Встановлено, що їх зносостійкість приблизно вдвічі перевищує зносостійкість високомарганцевих або перлітних сталей [9], .

Найбільш поширеними матеріалами для виготовлення зносостійких елементів залишаються високомарганцеві сталі Гадфільда (типу 110Г13Л) [10], . Вони характеризуються високими показниками зносостійкості під час подрібненні граніту, кварцу та інших твердих матеріалів. Додаткове підвищення їх експлуатаційних властивостей може бути досягнуте шляхом легування, наприклад ванадієм. Водночас слід зазначити, що застосування термічної обробки з метою підвищення твердості таких сталей не завжди є доцільним. Це пов'язано з тим, що в процесі роботи у сталі Гадфільда відбувається наклеп, у результаті якого твердість поверхневого шару збільшується у 2-3 рази та може досягати значень близько HV700. Проте навіть за таких умов її використання не завжди є ефективним. Наприклад, в процесі подрібненні кварцу, залежно від режиму роботи обладнання, її зносостійкість може бути нижчою, ніж у звичайних вуглецевих сталей.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Підвищення зносостійкості та довговічності деталей можливе також за рахунок застосування наплавлених покриттів. Відомо близько 100 різновидів наплавочних матеріалів, до складу яких входять тугоплавкі сполуки – карбіди, боридаи та їх комбіновані системи. У якості металевої зв'язки в них використовують залізо, кобальт або нікель [11], .

Формування робочої структури наплавленого шару відбувається безпосередньо в процесі наплавлення. Наплавлення може здійснюватися різними способами: дуговою наваркою, газополуменевою обробкою, а також плазмовим напиленням із подальшим розплавленням нанесеного шару. Як приклад, можуть використовуватися композиції типу «карбід хрому – нікель» із вмістом нікелю в межах 15–40 %, а також системи, що містять залізо, вуглець, бор, кремній і перехідні метали, здатні утворювати карбіди та боридаи. У процесі наплавлення таких матеріалів у структурі покриття формуються тверді карбідні та боридні фази, які забезпечують підвищену зносостійкість. Разом з тим необхідно враховувати, що наплавлені покриття не завжди ефективні в процесі подрібнення особливо твердих матеріалів, зокрема кварцовмісних. Це пояснюється нерівноважністю їх структури, підвищеною крихкістю металевої зв'язки (залізо, нікель, кобальт) внаслідок розчинення в ній тугоплавких сполук, а також труднощами отримання товстих і однорідних шарів.

У зв'язку з цим, незважаючи на підвищену зносостійкість у порівнянні зі сталями та чавунами, наплавлені матеріали доцільніше використовувати для захисту від зношування або відновлення корпусних деталей подрібнювачів, особливо у невеликих кутах атаки абразивного потоку.

Високі показники зносостійкості під час подрібнення матеріалів із підвищеною твердістю демонструють робочі елементи, виготовлені з порошкових твердих сплавів, зокрема сплавів типу ВК. Проте їх широке застосування обмежується значною вартістю та дефіцитністю вихідних компонентів, необхідних для їх виробництва.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

У зв'язку з цим перспективним напрямом є використання безвольфрамкових твердих сплавів, створених на основі карбідів або карбонітридів титану, а також карбідів хрому. Такі матеріали дещо поступаються за зносостійкістю класичним вольфрамовмісним сплавам, проте суттєво перевершують наплавочні матеріали на основі карбіду хрому з нікелевою зв'язкою [7], .

Високі експлуатаційні характеристики порошкових твердих сплавів зумовлені їх значною міцністю, яка, у свою чергу, визначається дрібнозернистою та однорідною структурою, а також властивостями тугоплавких фаз, що входять до їх складу. Наприклад, тверді сплави на основі карбіду вольфраму мають підвищену зносостійкість завдяки високому модулю пружності та фізико-механічним властивостям карбіду вольфраму [12], . Слід зазначити, що тверді сплави фактично є єдиними матеріалами, здатними ефективно працювати як зносостійкі у подрібненні кварцових пісків. Проте ця перевага реалізується переважно в умовах мікроударного впливу частинок матеріалу. У випадках, коли процес подрібнення супроводжується значними ударними навантаженнями, використання твердих сплавів є обмеженим через їх крихкість. За таких умов у матеріалі виникають мікро- та макротріщини, що призводить до передчасного руйнування деталей ще до повного зношення.

Для виготовлення зносостійких елементів, які працюють в умовах дії дрібнодисперсного кварцового абразиву, можливе також застосування чистих тугоплавких сполук. Зокрема, можуть використовуватися бориди титану і цирконію, а також композиційні матеріали типу карбід кремнію - карбід бору (наприклад, сплав С-8). Проте, подібно до твердих сплавів, ці матеріали мають обмежене застосування через їх крихкість і недостатню стійкість до ударних навантажень і вібрацій.

Окрему групу становлять матеріали, стійкість яких під час подрібнення кварцу перевищує зносостійкість сталей і чавунів у 5–20 разів. До них належать самофлюсівні сплави на основі нікелю, кобальту та заліза. До їх складу входять кремній, бор, вуглець, а також легуючі елементи, такі як хром, вольфрам, молібден та інші, залежно від вимог до властивостей матеріалу. Зносостійкі покриття на

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

основі таких сплавів, як правило, отримують методами плазмового або газополуменового напилення. Однак ці методи характеризуються формуванням покриттів невеликої товщини та високою вартістю, що обмежує їх застосування. У зв'язку з цим самофлюсівні сплави переважно використовуються для захисту окремих елементів обладнання, які працюють в умовах підвищених температур, а також у лабораторних або спеціалізованих подрібнювальних установках для обробки цінних і високоабразивних матеріалів.

Особливий інтерес становлять композиційні матеріали, що поєднують самофлюсівні сплави з тугоплавкими сполуками або твердими сплавами [13], . Проведені дослідження впливу армування хромонікелевого сплаву типу ХН80СР4 макровключеннями зерен тугоплавких сполук і твердих сплавів (зокрема CrC, WC+W₂C, MoC, а також сплавів типу ВК, ТК, ТТК) на експлуатаційні характеристики біметалевих систем «покриття – сталева основа» показали, що працездатність таких матеріалів визначається низкою факторів. До основних з них належать: міцність зчеплення покриття з основою, схильність матеріалу до окрихчування, технологічна міцність, рівень гарячої твердості, а також стійкість до корозійного впливу високошвидкісних абразивних потоків. Встановлено, що легування сплавів системи Ni-Cr-Si-B тугоплавкими сполуками призводить до підвищення абразивної зносостійкості, але водночас може знижувати міцність зчеплення покриття зі сталеву основою та збільшувати крихкість матеріалу.

Дослідження процесів абразивної ерозії показали, що найвищу зносостійкість мають покриття на основі сплаву типу Х80СР4, які містять зерна литого карбіду вольфраму, монокарбіду вольфраму, карбіду титану, а також композицій типу TiC-Co і WC-Co. Було встановлено, що вміст твердих зерен у таких матеріалах повинен становити не менше 40 %. Зменшення їх концентрації призводить до різкого зниження зносостійкості покриттів.

Експериментально також встановлено, що зносостійкість матеріалу практично не залежить від розміру зерен тугоплавких фаз, але значною мірою визначається структурою металевої матриці та властивостями її складових. Підтверджено, що зі збільшенням твердості структурних компонентів і їх об'ємної

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

частки у матеріалі зростає і загальна зносостійкість. За рівнем зносостійкості тугоплавкі складові можна розташувати у наступній послідовності (у порядку зростання ефективності) [4], :



Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що найбільш доцільними для виготовлення зносостійких елементів є композиційні матеріали, які складаються з твердих тугоплавких фаз або твердих сплавів, з'єднаних металевою матрицею. У якості зв'язки доцільно використовувати самофлюсівні сплави на основі нікелю або заліза. У такому випадку можливо отримати монолітні матеріали з високою зносостійкістю та достатньою конструкційною міцністю, що забезпечує підвищення ресурсу роботи деталей в умовах інтенсивного абразивного зношування.

У подальшому доцільно розглянути технологічні особливості виготовлення таких зносостійких матеріалів і виробів на їх основі.

1.2 Технологічні варіанти виготовлення зносостійких виробів

Як зазначалося раніше, для виготовлення зносостійких елементів робочих органів подрібнювального обладнання може застосовуватися високомарганцева сталь типу 10Г13, розроблена Р. А. Гадфільдом [10], . Використання методів порошкової металургії дозволяє отримувати вироби з цього матеріалу за відповідною технологічною схемою (наведеною на рисунку). За цією схемою, вихідний матеріал – порошкова високомарганцева сталь – формується із механічної суміші порошків заліза, феромарганцю та вуглецевмісних компонентів, таких як сажа або порошок сірого чавуну. Отриману суміш ретельно перемішують для забезпечення однорідності складу, після чого піддають пресуванню з формуванням заготовок. Процес пресування здійснюється під тиском 450-500 МПа, що дозволяє отримати заготовки з достатньою щільністю та необхідною формою. Наступним

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

етапом є спікання, яке проводять з температурою 1100–1200 °С протягом 15–20 хвилин. Спікання здійснюється в газовому середовищі, що складається із суміші водню та природного газу. Використання такої атмосфери є необхідним для запобігання втратам вуглецю внаслідок його газифікації, що може негативно вплинути на структуру та властивості матеріалу.

У випадках, коли виготовляються деталі, що працюють в умовах підвищених механічних навантажень, застосовується додатковий етап ущільнення – гаряче штампування [15], . Цей процес здійснюється з температурами у діапазоні 800–1300 °С. Підвищення температури штампування сприяє зростанню щільності матеріалу та зменшенню пористості, однак водночас призводить до інтенсивнішого зношування прес-форм, що необхідно враховувати в разі вибору технологічних параметрів.

Кінцева пористість виробів визначається величиною прикладеного тиску під час пресування [16], . Згідно цього тиск не повинен перевищувати межу текучості матеріалу, оскільки в такому випадку забезпечується ефективна пластична деформація частинок і висока швидкість їх ущільнення. У результаті формується більш щільна структура з покращеними механічними характеристиками. Міцнісні властивості виробів, отриманих методом гарячого штампування порошкових заготовок, наближаються до властивостей литих матеріалів, а в окремих випадках навіть перевищують їх. Це пояснюється тим, що в процесі інтенсивної пластичної деформації відбувається утворення міцних зв'язків між частинками матеріалу. На контактних поверхнях активізуються дифузійні процеси, які сприяють міжкристалічному та внутрішньокристалічному зрощуванню. Активація дифузії зумовлена виходом дислокацій і вакансій на поверхню контакту частинок, що забезпечує їх ефективне з'єднання. Крім того, підвищені міцнісні характеристики таких виробів пояснюються формуванням дрібнозернистої структури, яка є типовою для матеріалів, отриманих методами порошкової металургії.

Для забезпечення необхідної точності розмірів і якості поверхні готових виробів на завершальному етапі обробки доцільно застосовувати механічну

обробку, зокрема шліфування. Це дозволяє отримати деталі з заданими геометричними параметрами та забезпечити їх відповідність технічним вимогам.

Футерувальні пластини, отримані за описаною технологічною схемою, можуть ефективно застосовуватися для виготовлення зносостійких елементів подрібнювального обладнання, призначеного для обробки матеріалів середньої твердості. Однією з ключових переваг такого підходу є відносно невисока собівартість продукції, що робить його економічно доцільним у відповідних умовах експлуатації.

Порошок сталі марки 110Г13 або порошкова суміш



Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення деталей з сталі марки 110Г13

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Саме тому у подрібненні матеріалів середньої твердості доцільно використовувати подібні пластини для футерування робочих поверхонь обладнання. Водночас в процесі застосування цих матеріалів у подрібнювачах, що працюють з твердими та високоабразивними матеріалами, спостерігається їх інтенсивне зношування. Це, у свою чергу, призводить до необхідності частих ремонтів і заміни футерувальних елементів, що знижує загальну ефективність експлуатації обладнання.

Одним із ефективних способів підвищення зносостійкості деталей є формування спеціальних захисних покриттів на їх робочих поверхнях. Сучасні методи наплавлення дозволяють отримувати шари з високими експлуатаційними характеристиками. Для цього застосовуються спеціальні наплавочні матеріали, які зазвичай мають вигляд порошків або гранульованих сумішей. У процесі наплавлення така шихта плавиться і формує на поверхні деталі сплав із заданими властивостями.

Серед відомих наплавочних матеріалів широко використовується сталініт. Він являє собою багатокомпонентну суміш, до складу якої входять ферохром, феромарганець та вуглець. Типовий хімічний склад сталініту включає: 13–17 % марганцю, 16–20 % хрому, до 3 % кремнію, 8–10 % вуглецю, решта - залізо. Такий склад забезпечує формування твердих карбідних фаз у наплавленому шарі, що суттєво підвищує його зносостійкість.

Технологічний процес виготовлення зернистого наплавочного матеріалу, а також нанесення його на основу, є відносно простим і технологічно відпрацьованим. Основні етапи підготовки сталініту включають подрібнення вихідних компонентів, їх просіювання з метою отримання необхідної гранулометрії та подальше ретельне змішування для забезпечення однорідності складу.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

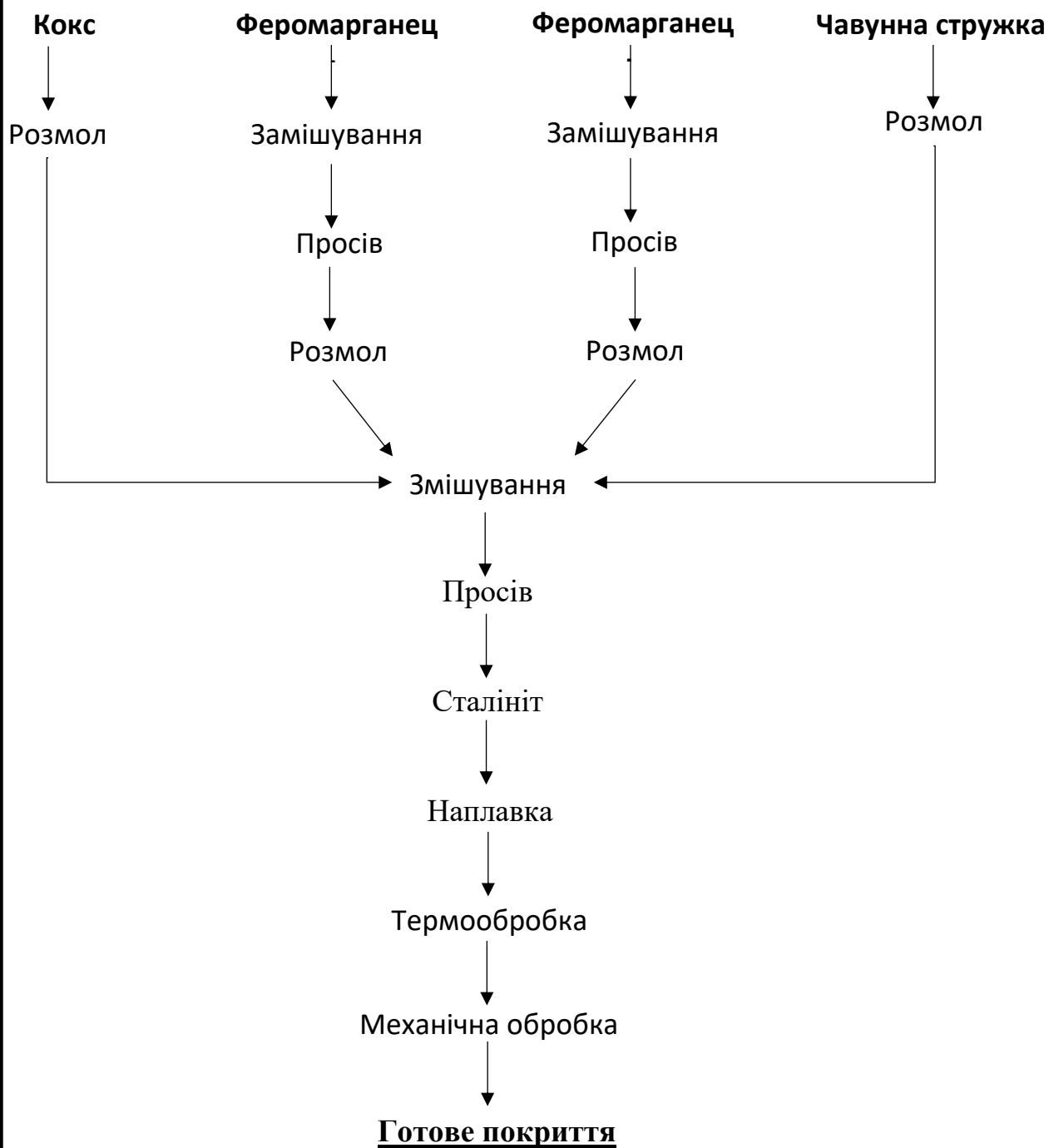


Рисунок 1.2 – Технологічна схема отримання зносостійкого покриття методом наплавки



Рисунок 1.3 – Технологічна схема виготовлення виробів з сплаву КХН

Сталініт наносять на основу з вуглецевої сталі за допомогою електродугового наплавлення за методом Бенардоса із застосуванням вугільного або графітового електрода.

Наплавлення може виконуватися як на постійному, так і на змінному струмі. Для цього використання постійного струму є більш доцільним, оскільки забезпечує стабільніше горіння дуги та, відповідно, вищу якість сформованого покриття. Важливим технологічним параметром є сила струму, яка суттєво впливає на структуру та властивості наплавленого шару. Для сталініту в роботі на постійному струмі оптимальним вважається діапазон 80–160 А. Після завершення процесу наплавлення деталі піддають термічній обробці. Це необхідно для відновлення структури основного металу, яка зазнає змін під час локального нагрівання. Як правило, застосовується нормалізація, що дозволяє знизити внутрішні напруження та стабілізувати структуру матеріалу. Подальша механічна обробка обмежується, як правило, шліфуванням, що забезпечує необхідну точність та якість поверхні.

До основних переваг даної технології належить можливість отримання покриттів із твердістю, що значно перевищує твердість високомарганцевих сталей. Крім того, наплавлення може здійснюватися безпосередньо на зношені деталі, що дозволяє відновлювати їх працездатність без повної заміни. Разом із тим, цей метод має і певні недоліки. Зокрема, з використанням зернистих наплавочних матеріалів практично неможливо сформувати абсолютно щільний і однорідний шар. Товщина наплавленого покриття зазвичай обмежується 3–5 мм, оскільки у більшій товщині зростає ризик його відшарування. Крім того, у процесі наплавлення відбувається термічний вплив на основний матеріал, що може призводити до укрупнення зерна та виникнення внутрішніх напружень.

Для виготовлення елементів подрібнювачів ударної дії також застосовують безвольфрамкові тверді сплави, зокрема марок ТНМ-20 та КХН [7], . Розглянемо технологію отримання пластин зі сплаву КХН (схема наведена на рисунку 2.4). З метою отримання однорідної суміші із заданим гранулометричним складом здійснюють мокрий розмел компонентів у середовищі етанолу або води з подальшим сушінням. Розмел проводиться у кульових млинах протягом приблизно

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

48 годин, що забезпечує рівномірний розподіл компонентів у суміші. Оскільки порошок карбіду хрому характеризується низькою пластичністю, до складу суміші вводять пластифікатор – зазвичай розчин синтетичного каучуку в бензині. Після ретельного перемішування суміш сушать у сушильних шафах за температури 70–90 °С, а потім протирають через сито для руйнування агломератів. Для покращення технологічних властивостей, зокрема текучості, суміш додатково гранулюють, отримуючи гранули розміром 0,5–1,5 мм. Після цього проводять пресування пластин заданої форми та розмірів.

Оскільки вироби мають відносно просту геометрію, застосовується одностороннє пресування під тиском 50–150 МПа. Процес спікання здійснюється у дві стадії: попереднє спікання з температурою 800–1000 °С та остаточне – 1280–1320 °С. Після завершення спікання деталі піддають механічній обробці, зазвичай шліфуванню.

Перевагою даної технології є те, що пластини зі сплаву КХН перевищують за зносостійкістю високомарганцеві сталі та наплавочні покриття. Однак за цим показником вони поступаються виробам із твердих сплавів типу ВК, які залишаються більш ефективними в умовах інтенсивного абразивного зношування.

Тверді сплави марки ВК належать до перших матеріалів цього класу, які отримали широке промислове застосування. Вони використовуються переважно для обробки матеріалів, що утворюють ламку (сколювану) стружку, а також для виготовлення деталей, які працюють в умовах інтенсивного зношування. У порівнянні з іншими типами твердих сплавів, вольфрамові середньокобальтові композиції, окрім високої зносостійкості, характеризуються підвищеною ударною в'язкістю. Ця властивість є особливо важливою для використання таких матеріалів для виготовлення елементів подрібнювачів ударної дії.

Одним із перспективних напрямів підвищення довговічності робочих органів подрібнювального обладнання є застосування композиційних матеріалів. Зокрема, ефективною є технологія виготовлення футерувальних плит, що складаються з твердого сплаву на основі карбіду вольфраму та самофлюсівного сплаву на основі нікелю або заліза. Узагальнена технологічна схема такого процесу наведена на

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

відповідному рисунку 5.1. Згідно з даною технологією, початкову порошкову суміш готують із використанням розчину синтетичного каучуку в бензині, який виконує роль зв'язувальної речовини. Після змішування суміш сушать до досягнення залишкової вологості на рівні близько 10 %. Для руйнування агломератів, що утворюються в процесі змішування, матеріал протирають через металеві сита з розміром чарунок 0,5-1,5 мм.

Наступним етапом є грануляція, яка дозволяє отримати гранули заданого розміру та покращити технологічні властивості суміші, зокрема її сипкість і однорідність засипання у форму. Після сушіння та попереднього спікання гранули засипають у графітові форми, що відповідають геометрії майбутніх пластин, і піддають вібраційному ущільненню. Далі у форму додають порошок самофлюсівного сплаву, після чого заготовку піддають процесу просочення. Під час нагрівання самофлюсівний сплав переходить у рідкий стан і заповнює пори між частинками твердого сплаву, формуючи щільну композиційну структуру. У результаті утворюється монолітний матеріал із поєднанням високої твердості та достатньої в'язкості.

Отримані таким чином футерувальні пластини піддають заключній механічній обробці, яка, як правило, включає шліфування для досягнення необхідних розмірів і якості поверхні.

Розглянута технологія має низку суттєвих переваг. Застосування композиційних матеріалів такого типу дозволяє значно підвищити ресурс роботи зносостійких елементів. Крім того, зменшується ступінь забруднення подрібнюваного матеріалу продуктами зносу футерувальних плит, що є важливим фактором у ряді технологічних процесів.

Широке застосування у виготовленні зносостійких елементів подрібнювачів руд типу «Бармак» знаходить також твердий сплав марки ВК15. Футерувальні пластини з цього матеріалу виготовляють за традиційною технологією виробництва виробів із твердих сплавів, яка наведена на відповідному рисунку 6.1. Основні операції процесу включають підготовку порошкової суміші, пресування заготовок, їх спікання та подальшу механічну обробку. Процеси пресування таких

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

виробів забезпечують формування заготовок із необхідною геометрією та щільністю, що є важливим етапом отримання якісної продукції з заданими експлуатаційними властивостями.

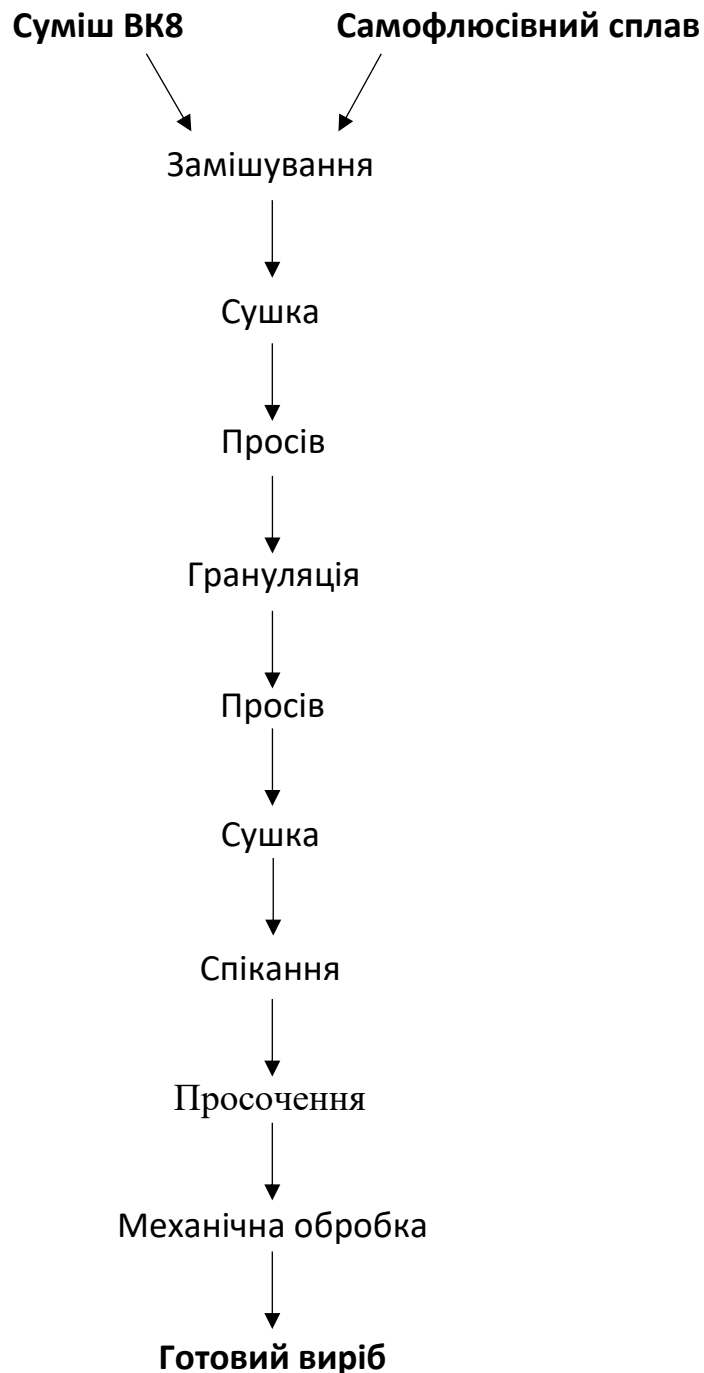


Рисунок 1.4 – Технологічна схема одержання композиційного матеріалу з твердого сплаву ВК8 та самофлюсівного сплаву

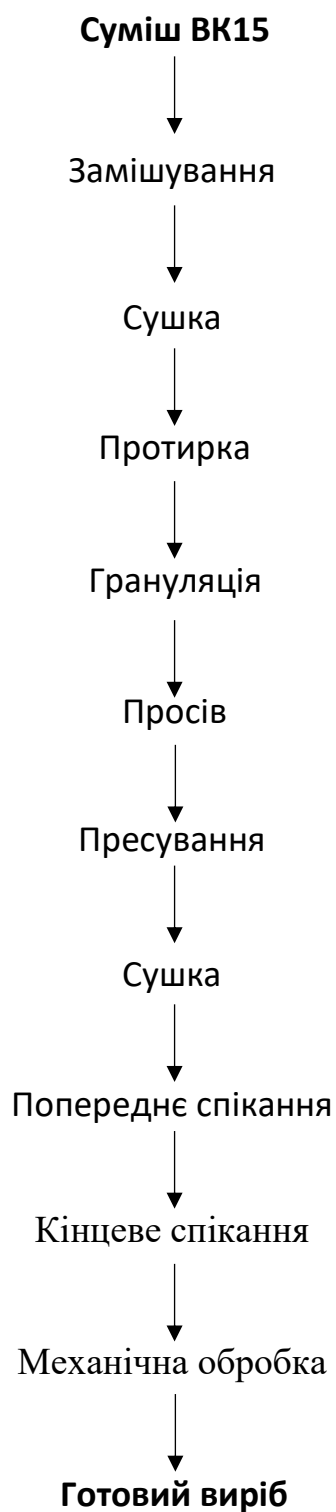


Рисунок 1.5 – Технологічна схема виробництва футеровочних плит з сплаву ВК15

Процеси пресування твердосплавних сумішей, що складаються з тугоплавких сполук і зв'язуючої фази, в цілому не мають принципових відмінностей від класичних методів пресування металевих порошків, які широко застосовуються в порошковій металургії [2], . Проте існує ряд особливостей, обумовлених низькою пластичністю таких сумішей, а також їх високою дисперсністю. Зокрема, якщо більшість металевих порошків у чистому вигляді можуть бути ущільнені до стану, у якому отримані заготовки мають достатню міцність для подальшої обробки, то у випадку твердосплавних композицій ситуація інша. Через наявність у їх складі твердих тугоплавких фаз (карбідів, боридів тощо) сформовані заготовки не забезпечують необхідної міцності згідно тих рівнів ущільнення, які можна досягти без ризику утворення розшарувальних тріщин.

Додатковим ускладненням є висока дисперсність порошкових сумішей, яка обмежує можливість застосування високих тисків під час пресування. Надмірне підвищення тиску може призвести до виникнення дефектів структури, зокрема розшарувань і тріщин. Саме тому технологічно необхідним є введення до складу сумішей спеціальних пластифікаторів, які підвищують їх формувальні властивості. Тиск пресування заготовок зазвичай знаходиться в межах 50-150 МПа і визначається складом суміші, а також видом і кількістю введенного пластифікатора.

Процес спікання виробів із твердих сплавів, як правило, здійснюється у два етапи. Перший етап (попереднє спікання) проводиться за температури 700–1000 °С. Другий етап – остаточне (високотемпературне) спікання – здійснюється з температурою 1350–1550 °С. Попереднє спікання проводять у середовищі сухого очищеного водню, тоді як кінцеве спікання може виконуватися як у водневому середовищі, так і у вакуумі. Основними цілями попереднього спікання є видалення пластифікатора, відновлення залишкових оксидів, а також надання заготовці початкової механічної міцності, достатньої для подальших операцій. Остаточне спікання забезпечує формування щільної структури та досягнення необхідних фізико-механічних властивостей матеріалу.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Розглянуті технологічні підходи виготовлення зносостійких елементів подрібнювачів мають ряд суттєвих переваг порівняно з іншими методами. Зокрема, футерувальні матеріали, виготовлені з твердих сплавів або композицій на їх основі, характеризуються значно вищою зносостійкістю та ударною міцністю. Це є особливо важливим під час використання таких матеріалів для подрібнення залізорудної сировини. Разом із тим, істотним недоліком є висока вартість і дефіцитність вихідних матеріалів, необхідних для виробництва твердих сплавів. Частково цю проблему можна вирішити шляхом використання вторинної сировини, зокрема відходів твердих сплавів. У такому випадку можливе створення композиційного матеріалу, що складається з частинок відходів твердих сплавів розміром приблизно 1–2 мм, які зв'язуються матрицею з твердого сплаву, отриманого з високоякісної первинної сировини. Такий підхід дозволяє поєднати високі експлуатаційні властивості матеріалу зі зниженням його вартості. Для виготовлення виробів із подібних композицій доцільно застосовувати метод гарячого пресування. Технологічна схема цього процесу наведена на відповідному рисунку 7.1. Використання гарячого пресування забезпечує отримання практично безпористих виробів, що обумовлює їх високу твердість, щільність і, відповідно, підвищену зносостійкість.

З точки зору апаратного оформлення, даний технологічний процес є відносно простим. Це, у свою чергу, призводить до зменшення кількості необхідного обладнання та скорочення чисельності обслуговуючого персоналу. У підсумку це позитивно впливає на техніко-економічні показники виробництва: знижуються накладні витрати, амортизаційні відрахування на обладнання, а також витрати на оплату праці. Сукупність цих факторів робить дану технологію економічно доцільною для промислового впровадження.

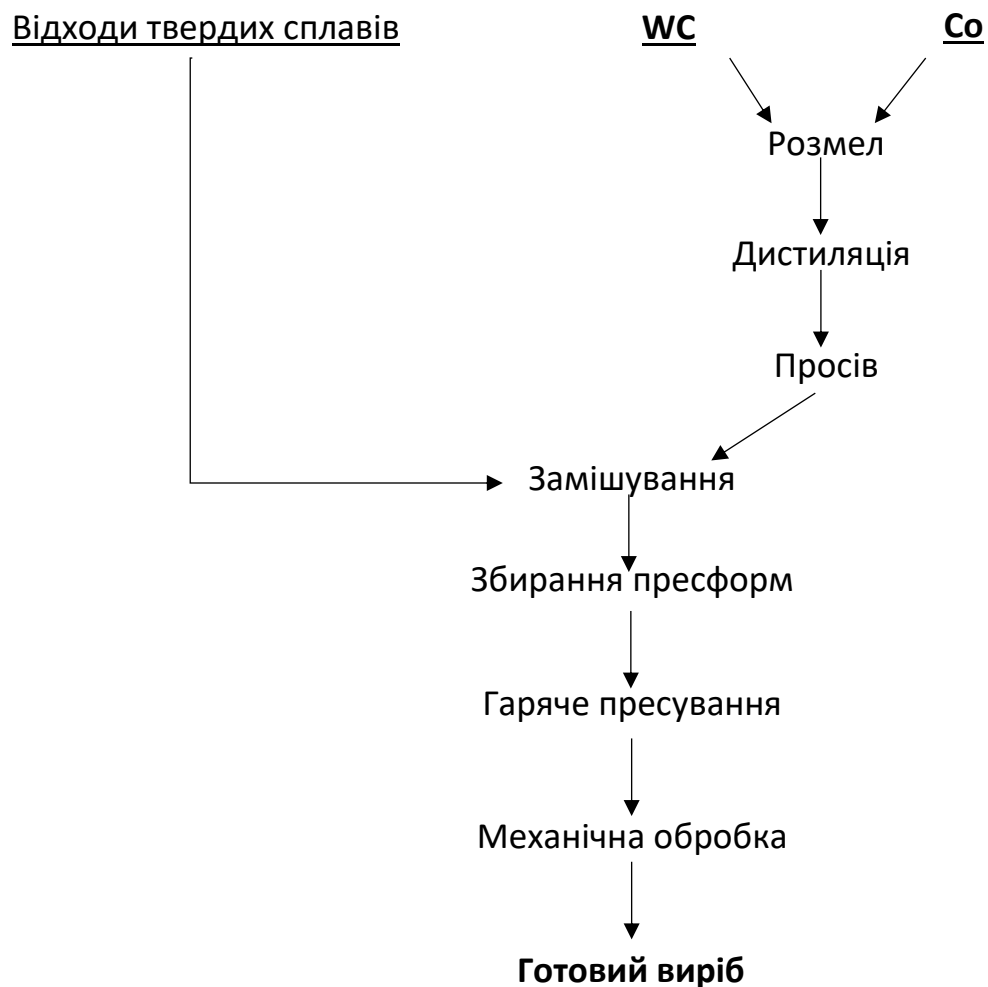


Рисунок 1.6–Технологічна схема виготовлення зносостійких елементів подрібнювачів з використанням відходів твердих сплавів

Висновки та постановка задачі проектування

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для виготовлення зносостійких елементів подрібнювального обладнання можуть застосовуватися різні матеріали та технологічні методи їх отримання. Вибір конкретного матеріалу і технології визначається, насамперед, властивостями матеріалу, що підлягає подрібненню, а також умовами експлуатації обладнання.

В процесі подрібнення матеріалів із невисокою твердістю найбільш доцільним є використання традиційних матеріалів, таких як сталі (зокрема високомарганцева сталь типу Гадфільда) або спеціальні чавуни. У випадку ж обробки твердих і високоабразивних матеріалів ефективнішими є композиційні матеріали, що поєднують тверду зносостійку фазу та металеву зв'язку. Як зв'язувальну складову доцільно застосовувати самофлюсівні сплави на основі нікелю або заліза. Застосування композиційних матеріалів відкриває широкі можливості для керування властивостями готових виробів шляхом варіювання їх структури та складу. Зокрема, зносостійка фаза може вводитися у вигляді зерен, гранул або волокон, що дозволяє оптимізувати експлуатаційні характеристики матеріалу залежно від умов роботи.

З урахуванням проведеного аналізу найбільш раціональною для даного проекту є технологія виготовлення зносостійких елементів на основі композиції твердих сплавів із самофлюсівними сплавами на базі нікелю або заліза. Переваги цього підходу були детально розглянуті у попередніх розділах. У зв'язку з цим у процесі проектуванні виробництва зносостійких елементів подрібнювачів обрано технологічний процес, схема якого наведена на відповідному рисунку.

Основними завданнями проектування є:

- 1) розробка раціонального технологічного процесу з визначенням оптимальних режимів для кожної операції;
- 2) виконання матеріальних розрахунків, а також вибір і обґрунтування необхідної кількості технологічного обладнання для забезпечення заданої продуктивності виробництва;
- 3) визначення техніко-економічних показників спроектованого виробництва;
- 4) розробка заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці персоналу та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**Суміші
порошків ТС**

Замішування

Протирка

Грануляція

Просів

Сушка

Спікання

Просочування

**Самофлюсівні
сплави**

Механічна
обробка

Виріб

Рисунок 1.7 – Технологічний процес виготовлення пластин

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ

Лист

31

2 Технологічний процес виготовлення футеровочних зносостійких пластин для подрібнювачів

2.1 Характеристика вихідних матеріалів

Як було зазначено раніше, у якості твердої фази у виготовленні зносостійких елементів доцільно використовувати тугоплавкі сполуки перехідних металів IV-VI груп періодичної системи, а також тверді сплави на їх основі. До таких матеріалів належать карбіди, нітриди, бориди та карбонітриди титану, вольфраму, молібдену, хрому та інших елементів. Вказані сполуки характеризуються високою твердістю, значним модулем пружності та стійкістю до дії агресивних середовищ, що обумовлює їх ефективність у використанні у якості зносостійких компонентів. Ці порівняння будуть наведені у таблиці 9.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння матеріалів

Матеріал	Густина, г/см ³	Твердість	Межа міцності на згин, МПа	Робоча температура, °C
BK8	14,6–14,9	HRA 89–90	1800–2200	до 800
BK15	13,9–14,2	HRA 86–88	2200–2800	до 800
KXH	6,5–7,5	HRA 87–89	1000–1500	до 900
110Г13	~7,8	HB 180–220	800–1000	до 400

У якості металевої зв'язки доцільно застосовувати самофлюсівні сплави на основі нікелю або заліза, оскільки вони відповідають основним вимогам, що висуваються до матеріалів такого призначення. Дані сплави характеризуються

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

доброю змочувальною здатністю по відношенню до тугоплавких сполук, високою зносостійкістю та підвищеною стійкістю до окислення. Завдяки цьому значно спрощуються умови проведення технологічного процесу, зокрема зменшуються вимоги до захисного середовища під час виготовлення композиційних матеріалів.

Серед номенклатури виробів найбільш поширеними є футеровочні пластини, які являють собою композиційний матеріал, що складається з тугоплавких частинок (у вигляді гранул або волокон), з'єднаних між собою металевою зв'язкою на основі самофлюсівного сплаву. Під час виготовленні футеровочних зносостійких пластин, окрім основних компонентів, використовуються також допоміжні матеріали. До них належать, передусім, пластифікатори, що забезпечують необхідні технологічні властивості сумішей, а також засипки, які застосовуються під час спікання елементів композиційного матеріалу на основі твердих сплавів.

2.1.1 Опис технологічних операцій

Відповідно до обраного технологічного процесу, виготовлення футеровочних зносостійких пластин передбачає отримання виробів, структура яких формується з гранул твердого сплаву, з'єднаних металевою зв'язкою на основі самофлюсівного сплаву. У зв'язку з цим технологічний процес включає дві основні стадії: попереднє виготовлення гранульованої твердої фази та подальше формування композиційного матеріалу шляхом просочення цих гранул розплавом зв'язуючого сплаву.

1. Замішування

Вихідні матеріали, такі як тугоплавкі сполуки та тверді сплави на їх основі, характеризуються високою твердістю і малою пластичністю. Це ускладнює процес їх формування, оскільки такі порошки практично не здатні до пластичної деформації. У зв'язку з цим для забезпечення необхідних формувальних властивостей у склад шихти вводять пластифікуючі добавки. Основним

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

призначенням операції змішування є введення пластифікатора у порошкову суміш та забезпечення його рівномірного розподілу по всьому об'єму матеріалу. У якості пластифікатора доцільно використовувати крохмальний клейстер, який додається у кількості 200–250 мг на 1 кг твердосплавного порошку. Для здійснення процесу змішування можуть застосовуватись різні типи обладнання: барабанні змішувачі з примусовим перемішуванням, шнекові змішувачі (одно- або двошнекові), а також змішувачі з підігрівом – у випадку необхідності видалення розчинника. Крім того, можливе використання каландрових змішувачів. У даному технологічному процесі найбільш доцільним є застосування шнекових змішувачів [17], .

Процес змішування здійснюється у наступній послідовності: спочатку у змішувач подається желеподібний розчин крохмалю, після чого додається порошок твердого сплаву. Перемішування здійснюється за допомогою шнеків до отримання однорідної маси. Тривалість змішування залежить від ряду факторів, зокрема складу шихти, концентрації пластифікатора, середнього розміру частинок та їх гранулометричного складу. Зазвичай цей процес триває від 1 до 3 годин; у даному випадку приймається тривалість 1–1,5 години. Контроль якості змішування проводиться за зовнішнім виглядом суміші та за результатами експрес-аналізу. Готова суміш повинна мати вигляд однорідної густої тістоподібної маси. Після завершення змішування матеріал вивантажують у піддони та направляють на наступну технологічну операцію – формування виробів або грануляцію. У разі необхідності отримання гранульованого матеріалу, пластифіковану масу протирають через сито з розміром отворів 1–2 мм, після чого здійснюють грануляцію у барабанних грануляторах. Отримані гранули класифікують просіванням, виділяючи фракцію розміром 3–5 мм, яка надалі подається на операцію спікання.

2. Протирка

Як зазначалося раніше, у даному технологічному процесі передбачається виготовлення зносостійких пластин із композиційного матеріалу, в якому тверда

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

фаза представлена у вигляді гранул твердого сплаву. У зв'язку з цим суміш, отримана на попередній стадії, підлягає подальшій переробці з метою формування гранульованого матеріалу. Оскільки після замішування матеріал має тістоподібну консистенцію, процес грануляції здійснюється у декілька етапів. Початковою стадією є диспергування маси на окремі частинки неправильної форми шляхом протирки, що і становить суть даної операції. Технологічно процес реалізується шляхом примусового продавлювання пластифікованої суміші через отвори сита. Для цього доцільно використовувати протирочні установки, в яких матеріал проштовхується крізь сито за допомогою обертової лопатки. Розмір отворів підбирається залежно від необхідної крупності напівфабрикату і може змінюватися шляхом встановлення сит з різними параметрами. Конструктивно протирочне сито оснащено приводом від електродвигуна через черв'ячну передачу, яка забезпечує обертання робочого органу. Додатково використовується клинопасова передача для передачі руху на лопатку. Продуктивність процесу значною мірою визначається реологічними властивостями суміші, зокрема її в'язкістю. Зі зростанням в'язкості зменшується інтенсивність проходження матеріалу через сито, що негативно впливає на продуктивність. Для запобігання налипанню маси на робочі поверхні та полегшення процесу протирки необхідно контролювати вміст розчинника: його надлишок може призводити до небажаного підвищення в'язкості. Отриманий після протирки продукт збирають у піддони та направляють на наступну технологічну операцію. Дуже важливо уникати його ущільнення внаслідок вібрацій або механічного впливу, що може погіршити подальший процес грануляції.

3. Грануляція

Операція грануляції призначена для отримання кінцевих заготовок у вигляді гранул, які повинні мати близьку до сферичної форму та розмір у межах 2-5 мм. Окрім геометричних параметрів, до гранул висуваються вимоги щодо їх механічної міцності, необхідної для подальшого транспортування та обробки на наступних

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

стадіях технологічного процесу. Формування гранул здійснюється шляхом обкатування частинок попередньо диспергованої пластифікованої суміші. В основі цього процесу лежить часткове ущільнення матеріалу під дією гравітаційних та відцентрових сил, що сприяє утворенню більш компактної та стабільної структури. На ефективність грануляції суттєво впливають властивості вихідної твердосплавної суміші, а також реологічні характеристики пластифікованого матеріалу. Оскільки деформація частинок відбувається переважно за рахунок їх структурної перебудови, зменшення розміру порошкових частинок призводить до уповільнення процесу гранулоутворення через зростання сил внутрішнього тертя між ними. Аналогічний ефект спостерігається з підвищенням пластичної в'язкості та міцності суміші. Зазначені властивості, у свою чергу, визначаються вмістом пластифікатора та його вологістю. Зі збільшенням кількості пластифікатора та рівня його зволоження спостерігається зниження пластичної міцності та в'язкості суміші, що позитивно впливає на інтенсивність процесу грануляції.

Для реалізації даної операції можуть застосовуватись гранулятори різних конструкцій: барабанні, конусні, дискові тощо [17], . У даному випадку найбільш доцільним є використання барабанних або конусних грануляторів, які забезпечують стабільне формування гранул заданого розміру. Тривалість процесу грануляції залежить від фізико-механічних властивостей суміші та параметрів процесу і, як правило, становить 1–2 години.

Після завершення грануляції отриманий продукт піддають контролю за гранулометричним складом та механічною міцністю (методом роздавлювання). Відібрані гранули засипають у ємності без додаткового ущільнення та механічного впливу і направляють на наступну операцію – просів або термічну обробку.

4. Просів

Метою операції просіювання є розділення гранульованого матеріалу за розмірами та виділення фракції, що відповідає заданим параметрам. У даному технологічному процесі кондиційними вважаються гранули діаметром 2-5 мм.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Окрім класифікації за розмірами, у процесі просіювання відбувається часткове руйнування агломератів, які можуть утворюватися внаслідок злипання окремих гранул під час транспортування або зберігання.

Фізична суть процесу полягає у проходженні частинок через отвори сита під дією сили тяжіння та інерційних сил, що виникають під час коливального руху робочої поверхні. Вібраційний вплив сприяє інтенсифікації розділення та підвищує ефективність класифікації матеріалу.

Для здійснення цієї операції можуть застосовуватись різні типи обладнання: вібраційні та гіраційні грохоти, просіювальні машини, а також вібраційні сита як для вільного, так і для примусового просіювання. У даному випадку доцільним є використання багатодечних вібраційних сит. Конструктивно такі установки складаються з дек (сит), закріплених на пружних елементах, що забезпечують необхідні коливання. Вібрація створюється електродвигуном і передається через клинопасову передачу на робочий вал, що забезпечує рух сит у горизонтальній площині. У технологічному процесі використовується сито з двома деками: верхнє з розміром отворів 5 мм, нижнє – 2 мм. Гранули, що затримуються між цими двома рівнями, тобто проходять через верхнє сито, але не проходять через нижнє, вважаються придатними та направляються на наступну операцію. Частинки, що не відповідають заданому розміру (залишаються на верхньому ситі або проходять крізь нижнє), повертаються у виробничий цикл, як правило, на стадію грануляції для повторної обробки.

Після проведення контролю гранул за розмірами та їх зовнішнім станом, вони завантажуються у піддони та направляються на наступну технологічну стадію – сушіння. Водночас важливо уникати їх ущільнення або злипання, що може виникати внаслідок механічних впливів, зокрема струшування чи вібрації.

5. Сушка

Гранульований матеріал після операції просіву характеризується недостатньою механічною міцністю. Такі гранули легко деформуються або

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

руйнуються навіть під дією незначних навантажень. З метою запобігання утворенню дефектів (таких як тріщини, деформації чи вм'ятини) під час транспортування або подальшого завантаження у піч, передбачено проведення процесу сушіння.

Сушіння здійснюється у спеціальних сушильних шафах без використання захисної атмосфери. Температурний режим і тривалість процесу визначаються фізико-хімічними перетвореннями, що відбуваються у тимчасовій зв'язці під час нагрівання, а також залежать від кількості зв'язуючої речовини та геометричних параметрів гранул [18] .

Оптимальна температура сушіння становить 80–95 °С. Підвищення температури понад зазначений діапазон може призвести до виникнення дефектів, зокрема утворення тріщин або зміни форми гранул. Це пояснюється тим, що випаровування вологи відбувається через порові канали, які формуються внаслідок структурної деформації частинок суміші. У разі інтенсивноно виділення пари, особливо поблизу температури кипіння, зростає тиск усередині цих каналів, що може спричинити руйнування міжчастинкових зв'язків і, як наслідок, появу тріщин.

Тривалість сушіння зазвичай становить 4–6 годин і триває до повного видалення вологи з матеріалу. У процесі роботи в камері утворюється водяна пара, яка відводиться завдяки підтриманню відповідного температурного режиму. Важливим є постійний контроль технологічних параметрів, зокрема температури та часу витримки.

Після завершення сушіння гранули повторно перевіряються на відповідність вимогам щодо зовнішнього вигляду та механічної міцності, після чого направляються на наступну операцію – спікання.

6. Спікання

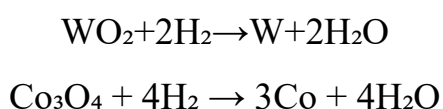
Основною метою етапу спікання є ущільнення гранульованого матеріалу та формування щільної структури з підвищеними фізико-механічними

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

характеристиками. У результаті цього процесу гранули переходять у монолітний стан із заданими експлуатаційними властивостями. Для твёрдосплавних матеріалів типу ВК, які можуть застосовуватись як зносостійкі елементи, процес спікання переважно реалізується за участю рідкої фази.

На початковій стадії нагрівання, в інтервалі температур 200–400 °С, відбувається термічне розкладання та вигорання крохмальної зв'язки. Підйом температури на цьому етапі необхідно здійснювати поступово, щоб уникнути руйнування структури виробів через різке утворення газоподібних продуктів розпаду.

У разі використання твёрдого сплаву марки ВК у проміжку температур 400–700 °С відбуваються відновні реакції оксидів вольфраму та кобальту, зокрема:



Подальше підвищення температури до 700–1340 °С супроводжується процесами твёрдофазного спікання. На цьому етапі відбувається зварювання контактуючих зерен карбіду вольфраму, що призводить до початкового зміцнення структури. В інтервалі 1150-1300 °С формуються твёрді розчини на основі кобальту, а процес супроводжується інтенсивною усадкою матеріалу. Під час досягнення температури плавлення евтектики (приблизно 1340 °С), яка складається з кобальту, розчиненого карбіду вольфраму та вуглецю, з'являється рідка фаза. В цей момент починають діяти капілярні сили поверхневого натягу, які забезпечують ущільнення структури за рахунок переміщення зерен WC та їх більш щільного пакування. Додатково активізуються механізми в'язкої течії та перегрупування частинок карбіду. Подальший процес відбувається у діапазоні 1340–1400 °С і завершується майже повним ущільненням матеріалу. З підвищенням температури до 1400–1500 °С або збільшенні часу витримки активізується механізм перекристалізації карбіду вольфраму через рідку кобальтову фазу. Це призводить до росту зерен WC, формування міжзернових контактів і утворення просторового

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

карбідного каркасу, що визначає кінцеву міцність і зносостійкість виробу. Збільшення розмірів зерен у процесі спікання відбувається внаслідок перекристалізації через рідку фазу. Такий процес зумовлений початковою наявністю в матеріалі зерен карбіду вольфраму WC різних розмірів, які відрізняються за рівнем поверхневої енергії. Додатковим фактором, що впливає на перекристалізацію, є різний ступінь досконалості кристалічної ґратки окремих частинок. Згідно цьому зерна WC з більш рівноважною та дефектною структурою розчиняються першочергово, утворюючи твердий розчин, який стає пересиченим відносно більш стабільних кристалів із досконалішою ґраткою. Підвищені температури спікання та тривалі витримки сприяють розвитку процесів росту зерен, у результаті чого формується крупнозерниста структура, де розміри зерен WC значно перевищують вихідні розміри порошкових частинок.

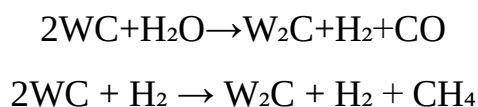
На етапі охолодження сплаву в інтервалі 1500–1300 °C відбувається кристалізація рідкої фази. Спочатку з неї виділяються надлишкові кристали карбіду вольфраму WC, після чого формується подвійна евтектика типу $\gamma + WC$. Подальше зниження температури супроводжується виділенням вуглецю, який був розчинений у кобальтовій фазі.

Сплави системи WC-Co можуть мати різну фазову будову. Найчастіше вони є двофазними і складаються з зерен WC та зв'язуючої кобальтової фази. У деяких випадках формуються трифазні структури, коли додатково присутні включення графіту або η' -фаза (Co_3W_2C), яка утворюється внаслідок дефіциту вуглецю та перерозподілу компонентів у системі.

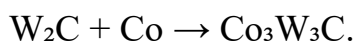
Спікання вольфрамвмісних твердих сплавів переважно проводять у відновному середовищі водню. Температура процесу визначається складом сплаву та, зокрема, вмістом кобальту: зі збільшенням частки Co температура спікання знижується. Для сплавів із вмістом кобальту близько 8 % оптимальною є температура приблизно 1410 °C. Тривалість витримки в процесі спікання залежить від розмірів виробу і зазвичай становить 0,5–2 години. Під час спікання у водневому середовищі можливе часткове зниження вмісту вуглецю в карбіді

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

вольфраму внаслідок взаємодії водню та слідів водяної пари з матеріалом. Це супроводжується перебігом реакцій:



У процесі спікання за наявності рідкої фази може відбуватися часткове видалення вуглецю з карбіду вольфраму. У результаті цього W_2C взаємодіє з кобальтовою зв'язкою з утворенням η' -фази відповідно до реакції:



Формування η' -фази негативно впливає на експлуатаційні властивості матеріалу, оскільки призводить до зниження його механічної міцності та зносостійкості. Для запобігання деградації складу сплаву та утворенню небажаної η' -фази застосовують спеціальні засипки. Вони також виконують додаткову функцію – розділяють гранули між собою та ізолюють їх від стінок тигля або лодочки під час спікання.

У моменті обробки сплавів системи WC–Co найчастіше використовують засипки на основі корраксу з додаванням невеликої кількості графіту (приблизно 1,5 %). У таких умовах вуглець взаємодіє з воднем і киснем, що присутні в атмосфері печі, утворюючи оксид вуглецю або вуглеводневі сполуки. Це сприяє формуванню вуглецьвмісного середовища, яке стабілізує хімічний склад сплаву. Крім газового впливу, вуглець із засипки може дифундувати в об'єм гранул, компенсуючи можливі втрати та забезпечуючи необхідний кінцевий вміст вуглецю після завершення спікання.

Важливо зазначити, що роль засипки не обмежується лише регулюванням газового середовища. Вона також виконує функцію теплопередачі, забезпечуючи рівномірний нагрів гранул за рахунок передачі теплоти від стінок контейнера до матеріалу, що спікається.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Для реалізації процесу спікання можуть застосовуватись муфельні печі з робочою температурою 1450–1500 °С, а також печі типу Таммана. У даному випадку, з метою мінімізації неконтрольованого насичення матеріалу вуглецем, доцільним є використання прохідних муфельних печей з алундовим муфелем та молібденовими нагрівачами. Після завершення процесу спікання гранули відділяють від засипки шляхом просіювання через сито вручну. Далі здійснюється контроль їх властивостей, зокрема міцності, твердості, зносостійкості та мікроструктури. Для цього використовують також зразки-свідки, які проходять спікання одночасно з основними виробами.

Додатково контролюються основні технологічні параметри процесу, такі як температура спікання та тривалість ізотермічної витримки.

7. Просочування

Метою етапу просочування є формування остаточної структури та забезпечення необхідного комплексу фізико-механічних і експлуатаційних властивостей зносостійких пластин. На дану операцію надходять попередньо спечені гранули твердого сплаву, які укладаються у графітові форми відповідно до геометричних розмірів майбутніх виробів із урахуванням припусків на подальшу механічну обробку.

Щоб уникнути взаємодії матеріалу з графітовою оснасткою, внутрішні поверхні форм попередньо покривають шаром змащувальної суспензії на основі нітриду бору, після чого здійснюється їх сушка. Одночасно у форми завантажуються порошок самофлюсівного сплаву, який виконує роль металевої зв'язки у майбутньому композиційному матеріалі. Після заповнення форми проходить етап віброуцільнення, метою якого є підвищення щільності пакування компонентів та забезпечення більш рівномірного розподілу частинок зв'язки між гранулами твердого сплаву. Уцільнення може виконуватись як вручну, так і на вібраційному обладнанні протягом 1,5–3 хвилин з частотою 250–300 Гц і амплітуді 0,225–0,450 мм. Після завершення підготовки форми встановлюються у піддони та

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

завантажуються в піч, де відбувається процес просочування розплавом самофлюсівного сплаву.

Просочування за своєю суттю є різновидом спікання з участю рідкої фази, яка зберігається до завершення процесу [16], . Воно застосовується для формування щільних металокомпозиційних матеріалів із заданими властивостями. Процес здійснюється за температур 1150–1400 °С залежно від температури плавлення зв'язуючого сплаву, а також з урахуванням необхідного перегріву на 150–200 °С для підвищення його текучості. Ключовою умовою якісного просочування є ефективне змочування твердих частинок рідкою фазою. Оптимальним вважається кут змочування менше 90°, однак на практиці він зазвичай становить 0–15°. Значний вплив на цей показник має чистота поверхні твердих частинок, оскільки наявність оксидних плівок суттєво погіршує змочування. Для покращення умов процесу застосовуються самофлюсівні сплави, що містять бор і кремній. Під час нагрівання ці елементи взаємодіють з оксидами, утворюючи боросилікатні шлаки, які зв'язують оксидні домішки та очищують поверхню, тим самим покращуючи змочуваність і проникнення рідкої фази.

Операція просочування виконується у печах, конструктивно подібних до тих, що використовуються для спікання. Після завершення процесу пластини вибірково контролюються за основними експлуатаційними характеристиками, зокрема твердістю, ударною в'язкістю та зносостійкістю. Додатково перевіряються технологічні параметри процесу, такі як температура просочування та тривалість ізотермічної витримки.

На завершальному етапі деталі передаються на механічну обробку.

8. Механічна обробка

Механічна обробка виконується на завершальному етапі технологічного процесу з метою надання виробам остаточних геометричних розмірів і забезпечення необхідної точності.

Обробку доцільно здійснювати на шліфувальних верстатах із застосуванням

					ФН-2.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

надтвердих абразивних матеріалів, таких як алмаз або кубічний нітрид бору. Враховуючи високу твердість твердосплавних матеріалів типу ВК, використання традиційних абразивів є неефективним і не дозволяє досягти необхідної якості обробки. Застосування алмазного інструменту або інструменту на основі кубічного нітриду бору забезпечує високу точність розмірів, а також формує якісну поверхню з мінімальною шорсткістю. Це особливо важливо для деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу. Для виконання операції можуть використовуватись плоскошліфувальні верстати відповідного типу.

Після завершення механічної обробки готові вироби проходять заключний контроль, під час якого перевіряється відповідність їх геометричних розмірів, фізико-механічних властивостей і складу встановленим вимогам. Далі продукція направляється на складування.

2.2. Розрахунок і складання матеріального балансу

Розрахунок матеріального балансу є необхідним етапом проектування виробництва, оскільки його результати використовуються при виборі технологічного обладнання, визначенні необхідної кількості машин і агрегатів, а також при розрахунку техніко-економічних показників роботи цеху [19], . Під час складання матеріального балансу визначають кількість матеріалів, що надходять на кожну технологічну операцію, вихід готової продукції, величину втрат та добову продуктивність виробництва.

Для визначення продуктивності цеху необхідно розрахувати дійсний фонд часу роботи обладнання. З цією метою спочатку визначають календарний фонд часу роботи, який приймається виходячи з кількості календарних днів у році. Після цього враховують час, необхідний для проведення планово-попереджувальних ремонтів обладнання, а також неробочі дні.

У потокових лініях ремонт технологічного обладнання, як правило, проводиться одночасно, тому тривалість простою визначається часом ремонту обладнання найбільшої категорії складності. У випадку послідовного проведення

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ремонтів загальна тривалість простоїв визначається сумою часу ремонту окремих одиниць обладнання.

Для виробництв неавтоматизованого типу, до яких належить і виробництво футеровочних зносостійких пластин, кількість днів, необхідних для проведення планово-попереджувальних ремонтів, визначають відповідно до графіка ремонтів. Такий графік складають на основі нормативних даних, а також з урахуванням результатів, отриманих під час проходження переддипломної практики. Графік планово-запобіжного ремонту обладнання наведений у таблиці 2.2. Дійсний фонд часу роботи обладнання визначають шляхом віднімання від календарного фонду часу кількості неробочих днів та часу, необхідного для проведення ремонтних робіт. Баланс часу роботи цеху наведено у таблиці 2.3.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 2.2 – Графік планово - запобіжного ремонту обладнання

Обладнання	1 квартал			2 квартал			3 квартал			4 квартал			Всього
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	
Замішування		O(1/2)				O(5/2)				O(8/2)			10
Протирка				O(10/2)				C(15/4)				O(5/2)	12
Грануляція	O(4/3)					C(20/6)				O(8/2)			10
Просів		T(5/4)					O(10/2)				C(5/6)		16
Сушка			O(10/3)							T(8/8)			15
Спікання		T(5/6)					K(1-10/24)			T(8/8)			33
Просочування		T(5/6)					K(1-10/24)			T(8/8)			33
Механічна обробка				O(20/2)					C(20/8)			T5/8)	15
Всього													144

Умовні позначення: О - огляд; Т - оточний ремонт; С - середній ремонт; К - капітальний ремонт;

18 днів

чисельник - дні місяця;

знаменник - кількість годин на ремонт.

Всього днів на планово-попереджувальний ремонт: $144 : 8 = 18$ днів

Таблиця 2.3 – Баланс часу роботи цеху

Елементи балансу часу	Прихід днів	Витрати часу
Кількість календарних днів в році	365	–
Час на планово-попереджувальний ремонт		18
Св'яткові дні		9
Вихідні дні (суботи, неділі)		102
Всього:		129

Кількість робочих днів цеху на рік:

$$n = 365 - 129 = 236 \text{ днів}$$

Після визначення кількості робочих днів цеху на рік розраховуємо добову потужність його по готовій продукції (A) [19], :

$$A = G / n = 170000 / 236 = 723,4 \text{ кг.}, 170000 / 236 = 723,4 \text{ кг.},$$

де G – річний випуск продукції

n – кількість робочих днів цеху за рік

У процесі переробки вихідної сировини на окремих технологічних операціях виникають неминучі втрати матеріалу (рисунок 1.6), пов'язані з просипанням, налипанням матеріалу на робочі поверхні обладнання, видаленням некондиційної продукції, механічними втратами під час транспортування та іншими технологічними факторами. У зв'язку з цим при розрахунку матеріального балансу необхідно враховувати вихід придатної продукції, який характеризується коефіцієнтом виходу гідного ϕ .

Знаючи величину виходу гідного, можна визначити кількість матеріалу, яку необхідно подавати на початок технологічного процесу з урахуванням технологічних втрат. Кількість вихідної сировини A_0 визначається за залежністю:

$$A_0 = A / \phi * 100, \text{ кг}$$

Для визначення виходу гідного проводимо наступні розрахунки.

1. Визначаємо пряме поопераційне вилучення на кожній операції по формулі [19] :

$$\eta = 100 - (a + b),$$

де **a** – поворотні втрати на операції, %

b – безповоротні втрати на операції, %

Тоді:

На першій операції

$$\eta_1 = 100 - (0 + 0,2) = 99,80$$

На другій операції

$$\eta_2 = 100 - (0 + 0,15) = 99,85$$

На третій операції

$$\eta_3 = 100 - (0 + 0,3) = 99,70$$

На четвертій операції

$$\eta_4 = 100 - (4,0 + 0,20) = 95,80$$

На п'ятій операції

$$\eta_5 = 100 - (0 + 0,10) = 99,90$$

На шостій операції

$$\eta_6 = 100 - (0 + 0,15) = 99,85$$

На сьомій операції

$$\eta_7 = 100 - (0 + 0,10) = 99,90$$

На восьмій операції

$$\eta_8 = 100 - (0 + 0,40) = 99,60$$



Рисунок 2.3 – Втрати матеріалу на операціях

2. Визначаємо повне вилучення " φ " по відношенню до вихідного матеріалу на кожній операції [19] :

$$\varphi = (\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \dots \times \eta_n) \times 100_{\wedge n-1}$$

або:

$$\varphi_n = \varphi_{n-1} \times \eta_n / 100$$

$$\varphi_1 = \eta_1 = 99,80$$

$$\varphi_2 = \frac{99,8 \times 99,85}{100} = 99,65$$

$$\varphi_3 = \frac{99,65 \times 99,7}{100} = 99,35$$

$$\varphi_4 = \frac{99,35 \times 95,8}{100} = 95,18$$

$$\varphi_5 = \frac{95,18 \times 99,9}{100} = 95,08$$

$$\varphi_6 = \frac{95,08 \times 99,85}{100} = 94,94$$

$$\varphi_7 = \frac{94,94 \times 99,9}{100} = 94,846$$

$$\varphi_8 = \frac{94,846 \times 99,6}{100} = 94,47$$

3. Визначаємо кількість сировини, яку необхідно направляти у голову процесу в перший день:

$$A_0 = \frac{A \times 100}{\varphi_7}$$

$$A_0 = \frac{723,4 \times 100}{94,47} = 765,745 \text{ кг}$$

4. Визначаємо втрати по відношенню до вихідного матеріалу на кожній операції (β_n , α_n):

$$\beta_n (\alpha_n) = (b_n (a_n) \varphi_{n-1}) / 100, \%$$

Втрати складають:

Зворотні

$$\alpha_1 = a_1 = 0$$

$$\alpha_2 = 0;$$

$$\alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 = 4,0 \times 99,35 / 100 = 3,974$$

Беззворотні

$$\beta_1 = b_1 = 0,20$$

$$\beta_2 = 0,15 \times 99,8 / 100 = 0,149$$

$$\beta_3 = 0,3 \times 99,65 / 100 = 0,297$$

$$\beta_4 = 0,20 \times 99,35 / 100 = 0,199$$

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\alpha_5 = 0$$

$$\beta_5 = 0,1 \times 95,18/100 = 0,095$$

$$\alpha_6 = 0$$

$$\beta_6 = 0,15 \times 95,08/100 = 0,143$$

$$\alpha_7 = 0$$

$$\beta_7 = 0,10 \times 94,94/100 = 0,095$$

$$\alpha_8 = 0$$

$$\beta_8 = 0,40 \times 94,846/100 = 0,379$$

5. Визначаємо абсолютні втрати (ga_n , gb_n):

$$ga_n (gb_n) = A_0 * \alpha_n (\beta_n) / 100 \quad , \text{ кг.}$$

Зворотні

Беззворотні

$$ga_1 = 0$$

$$gb_1 = 765,745 \times 0,2/100 = 1,53$$

$$ga_2 = 0;$$

$$gb_2 = 765,745 \times 0,149/100 = 1,14$$

$$ga_3 = 0$$

$$gb_3 = 765,745 \times 0,297/100 = 2,274$$

$$ga_4 = 765,745 \times 3,974/100 = 30,43 \quad gb_4 = 765,745 \times 0,199/100 = 1,52$$

$$ga_5 = 0$$

$$gb_5 = 765,745 \times 0,095/100 = 0,73$$

$$ga_6 = 0$$

$$gb_6 = 765,745 \times 0,143/100 = 1,095$$

$$ga_7 = 0;$$

$$gb_7 = 765,745 \times 0,095/100 = 0,73$$

$$ga_8 = 0 ;$$

$$gb_8 = 765,745 \times 0,379/100 = 2,90$$

6. Розраховуємо суму зворотніх втрат та визначаємо кількість матеріалу, яку необхідно подавати кожен день у голову процесу (B):

$$B = A_0 - \sum ga = 765,745 - 30,43 = 735,315 \text{ кг.}$$

7. Визначаємо кількість матеріалу, яка поступає на кожну операцію і виходить з неї:

На першу операцію :

поступає: 735,315

виходить: $735,315 - 1,53 = 733,785$ кг.

На другу операцію:

поступає 733,785 кг. ;

виходить: $733,785 - 1,14 = 732,645$ кг.

На третю операцію:

поступає: 732,645 кг. з другої операції та зворотні втрати з четвертої операції: $732,645 + 30,43 = 763,075$ кг

виходить: $763,075 - 2,274 = 760,801$ кг.

На четверту операцію:

поступає: 760,801 кг;

виходить: $760,801 - (30,43 + 1,52) = 728,851$ кг.

На п'яту операцію:

поступає: 728,851 кг;

виходить: $728,851 - 0,73 = 728,121$ кг.

На шосту операцію:

поступає: 728,121 кг;

виходить: $728,121 - 1,095 = 727,026$ кг.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На сьому операцію:

поступає: 727,026 кг;

виходить: $727,026 - 0,73 = 726,296$ кг.

На восьму операцію:

поступає: 726,296 кг

виходить: $726,296 - 2,9 = 723,396 = 723,4$ кг

Одержані результати розрахунків використовують для складання матеріального балансу виробництва. При цьому необхідно враховувати особливості формування маси виробу на окремих технологічних операціях. Кінцева маса футеровочних пластин формується переважно на операції просочування, під час якої спечені гранули твердого сплаву просочуються розплавом самофлюсівного сплаву. Кількість металевої зв'язки становить приблизно 25–35 % від загального об'єму композиційного матеріалу, що забезпечує формування щільної структури та необхідних фізико-механічних властивостей виробу.

Під час виготовлення гранул до вихідної твердосплавної шихти вводять пластифікатор, який подається на операцію змішування у кількості близько 6 мас. %. Пластифікатор забезпечує необхідні реологічні властивості суміші та покращує формування гранул. На операції сушіння маса пластифікатора зменшується на 10–15 % внаслідок випаровування вологи або розчинника. Під час подальшого спікання гранул органічна складова пластифікатора практично повністю видаляється з матеріалу в результаті термічного розкладання та вигорання.

Отримані результати розрахунків матеріального балансу зводять у таблицю 2.4.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Таблиця 2.4 – Поопераційний матеріальний баланс

Назва операції	Поопераційні втрати, %			Пряме поопераційне вилучення, %	Загальне вилучення, %	Втрати по відношенню до введенного матеріалу, %		Абсолютні втрати, кг		Кількість матеріалу, яка поступає на операцію, кг			Кількість матеріалу яка виходить з операції, кг.
	Зворотні	Беззворотні	Загальні			Зворотні	Беззворотні	Зворотні	Беззворотні	З попередньої операції	Зворотні втрати	Всього	
Замішування	0	0,20	0,20	99,80	99,80	0	0,200	0	1,530	735,315	0	735,315	733,785
Протирка	0	0,15	0,15	99,85	99,65	0	0,149	0	1,140	733,785	0	733,785	732,645
Грануляція	0	0,30	0,30	99,70	99,35	0	0,297	0	2,274	732,645	30,43	763,075	760,801
Просів	4,0	0,20	4,20	95,80	95,18	3,974	0,199	30,430	1,520	760,801	0	760,801	728,851
Сушка	0	0,10	0,10	99,90	95,08	0	0,095	4,937	0,730	728,851	0	728,851	728,121
Спікання	0	0,15	0,15	99,85	94,94	0	0,143	0	1,095	728,121	0	728,121	727,026
Просочування		0,10	0,10	99,90	94,85	0	0,095	0	0,730	727,026	0	727,026	726,296
Механічна обробка	0	0,40	0,40	99,60	94,47	0	0,379	0	2,900	726,296	0	726,296	723,400

Таблиця 2.5 – Баланс матеріалів

Назва операції	Порошки твердих сплавів, кг	Порошок самофлюсів ного сплаву, кг	Крохмаль ний клейстер, кг	Всього, кг
Змішування	590		35,4	733,785
Протирка				732,645
Грануляція				760,801
Просів				728,851
Сушка				728,121
Спікання				727,026
Просочування		109,00		726,296
Механічна обробка				723,400

2.3. Вибір та розрахунок кількості обладнання [19],

1. Замішування

Відповідно до прийнятого технологічного процесу для виготовлення гранул із порошків твердих сплавів або тугоплавких сполук необхідно приготувати пластифіковану суміш, що складається з порошків твердосплавної компоненти та пластифікатора. У даному випадку як пластифікатор використовується водний розчин крохмалю (крохмальний клейстер).

Для приготування таких сумішей необхідне інтенсивне примусове перемішування, оскільки порошки твердих сплавів мають високу дисперсність та низьку пластичність. Найбільш доцільним обладнанням для проведення цієї операції є шнекові змішувачі, які забезпечують рівномірний розподіл пластифікатора по об'єму суміші та отримання однорідної пластичної маси.

Для проектного виробництва вибираємо шнековий змішувач КС-1000 з такими технічними характеристиками [18], :

Робочий об'єм	- 2м ³
Габаритні розміри	- 2,1 × 1,75 × 2,75 м
Потужність	- 2,2 кВт.
Вартість	- 77 100 грн.

Необхідну кількість змішувачів визначаємо за формулою:

$$N = G1 / P_m \times \tau,$$

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де : **G** – кількість матеріалу, яку треба змішувати за добу, 733,785 кг.

τ – час роботи змішувача на добу, 16 год.

Рм – продуктивність змішувача, кг/ год (розрахункова)

Продуктивність змішувача для нашого випадку визначаємо за формулою:

$$P_m = G_z / \tau_m,$$

де : **Gз** – вага однієї заправки у змішувач.

τм – технологічний час змішування, 2 год

Вагу однієї заправки визначаємо за формулою:

$$G_z = V_m \times \phi \times \gamma_{нас},$$

де : **Vм** – об'єм змішувача, см³;

φ – коефіцієнт заповнення змішувача, φ = 0,5

γнас – насипна щільність вихідної шихти, **γнас** = 0,2 - 0,3 **γнас** (сер).

Середню щільність матеріалу шихти визначаємо за формулою:

$$\gamma_{\text{ком. сер}} = \frac{\gamma_{\text{тс}} \times \gamma_{\text{п}} \times 100}{\gamma_{\text{тс}} \times a_{\text{п}} + \gamma_{\text{п}} \times a_{\text{тс}}}$$

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тоді :

$$\gamma_{\text{ком. Сер}} = \frac{13,23 \times 1,25 \times 100}{13,23 \times 6 + 1,25 \times 94} = 8,4 \text{ г/см}^3$$

$$G_3 = 200 \times 0,5 \times 8,4 \times 0,3 = 25,2 \text{ кг}$$

$$P_m = 25,2 / 2 = 12,6 \text{ кг/год}$$

Необхідна кількість змішувачів буде:

$$N_m = 733,785 / 12,6 \times 16 = 3,64$$

Приймаємо 6 змішувачів з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = 3,64 / 4 = 0,91$$

2. Протирка

Відповідно до прийнятого технологічного процесу виготовлення зносостійких пластин передбачається одержання гранул із твердосплавної суміші. Процес грануляції здійснюється у дві стадії. На першій стадії пластифіковану суміш, отриману після операції змішування, піддають протирці через сито з розміром отворів 2–3 мм. У результаті цього утворюються окремі частинки неправильної форми, які в подальшому використовуються для формування гранул.

Для проведення цієї операції можуть застосовуватись різні типи обладнання: протирочні сита, барабанні або конусні гранулятори. У даному випадку найбільш доцільним є використання протирочних сит, оскільки вони

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

мають просту конструкцію, забезпечують достатню продуктивність та дозволяють отримувати частинки необхідного розміру. Для цієї операції було обрано конвеєрне вібросито. Характеристики вібраційного протиручного сита наступні [18] :

Габарити - 0,8 × 1,2 × 1,4 м

Потужність - 1,5 кВт

Продуктивність - 40–50 кг/год

Вартість - 150000 грн

Необхідну кількість протиручних сит визначаємо за формулою:

$$N = G / p * t,$$

де **G** – кількість матеріалу, що переробляється на операції, 732,645 кг;

p – продуктивність протиручного сита, 40 кг/год;

t – час роботи сита на добу, 16 год.

Тоді необхідна кількість протиручних сит дорівнює:

$$N = 732,645 / 45 \times 16 = 1,02$$

Приймаємо два протиручних сита з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = 1,02 / 2 = 0,51$$

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Грануляція

Операція грануляції призначена для отримання гранул сферичної форми діаметром 3–5 мм, які в подальшому використовуються для виготовлення композиційних футеровочних пластин. Як вихідний матеріал застосовується попередньо підготовлена пластифікована шихта, отримана після операції протирки через сито.

Для проведення грануляції можуть використовуватись барабанні, конусні, тарілчасті та інші типи грануляторів. Після аналізу конструктивних та технологічних характеристик для даного виробництва вибираємо конусний гранулятор, який характеризується простотою конструкції, надійністю в роботі та достатньою продуктивністю при переробці твердосплавних сумішей. Його характеристики наступні [18] :

Габарити - $1,05 \times 0,72 \times 1,20$ м ;

Потужність - 1,5 кВт;

Робочий об'єм барабану - 35 л;

Продуктивність - 35 кг/год

Вартість - 45000 грн.

Кількість необхідних грануляторів визначаємо за формулою:

$$N = G / p * t ,$$

де **G** – кількість матеріалу, що переробляється на операції грануляції, 760,801 кг;

p – продуктивність гранулятора. Приймаємо 35 кг/год;

t – час роботи гранулятора на добу. Приймаємо 16 год.

Тоді:

$$N = 760,801 / 35 \times 16 = 1,36$$

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приймаємо 2 гранулятори з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = 1,36/2 = 0,68$$

4. Просів

У процесі грануляції з використанням конусних грануляторів частина гранул може не відповідати заданим розмірам. У зв'язку з цим після грануляції необхідно проводити просів напівфабрикату з метою виділення кондиційних гранул розміром 3–5 мм та повернення некондиційного продукту на повторну переробку.

Для проведення цієї операції найбільш доцільно використовувати вібраційні сита, які забезпечують ефективне розділення гранул за розмірами та мають достатню продуктивність при роботі з порошковими матеріалами. Для проектного виробництва вибираємо вібраційне сито з діаметром обичайки 0,5 м. Обичайка сита встановлена на пружинних амортизаторах. Вібрація в горизонтальній площині створюється електродвигуном через клинопасову передачу та ведучий вал. Такі сита призначені для просіювання невеликих партій сипучих матеріалів. Для цієї операції було обрано вібраційне сито з такими характеристиками [18]:

Габарити - 0,8 x 0,8 x 1,2 м;

Потужність - 1,5 кВт;

Продуктивність - 50 кг/год.;

Кількість дек - 2

Вартість - 28000 грн.

Необхідну кількість сит визначаємо за формулою:

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$N = G \times p \times t,$$

де **G** – Кількість матеріалу, що переробляється на операції, 728,851кг;

p – продуктивність сита. Приймаємо 50 кг/год

t – час роботи сита на добу, 16 год.

Тоді:

$$N = 728,851 / 50 \times 16 = 0,91$$

Приймаємо одне сито з коефіцієнтом завантаження

$$K_z = 0,91 / 1 = 0,91$$

5. Сушка

Після грануляції напівфабрикат містить значну кількість вологи, оскільки під час приготування пластифікованої суміші використовується водний розчин крохмалю. Наявність залишкової вологи негативно впливає на міцність гранул та може спричинити їх деформацію або руйнування під час подальшого спікання. Тому перед проведенням операції спікання гранули необхідно піддати сушінню.

Для сушіння гранул можуть застосовуватись різні типи обладнання: природне сушіння на повітрі, сушильні печі, інфрачервоні сушарки та сушильні шафи. З урахуванням вимог технологічного процесу найбільш доцільним є використання сушильних шаф, які забезпечують рівномірний

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

нагрів матеріалу, прості в експлуатації та характеризуються невеликими витратами енергії. Для цієї операції було обрано сушільну шафу SNOL 120/300 LSN11. Її характеристики наступні [18]:

Габаритні розміри - 750 × 775 × 880 мм

Потужність - 2,2 кВт

Вартість - 50000 грн.

Продуктивність - розрахункова

Потрібну кількість шаф визначаємо за формулою:

$$N_{\text{шф}} = G_5 / P_{\text{шф}} \times \tau ,$$

де G_5 – кількість матеріалу, що переробляється на операції,

$$G_5 = 728,121;$$

$P_{\text{шф}}$ – продуктивність шафи. Її розраховуємо виходячи з того, що вага однієї загрузки складає 120 кг, і час сушки складає 8 годин;

Тоді:

$$P_{\text{шф}} = 120 / 8 = 15 \text{ кг/ год.}$$

Тоді: $N_{\text{шф}} = 728,121 / (15 \times 16) = 3.033$

Приймаємо чотири шафи з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = 3.033 / 4 = 0.758$$

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

6. Спінання

Згідно з розробленим технологічним процесом для проведення операції спінання можуть використовуватись печі різних типів: печі Таммана, муфельні печі періодичної та безперервної дії, а також вакуумні печі. Для умов виробництва, що проектується, найбільш доцільним є застосування муфельної прохідної електропечі для спінання твердих сплавів, оскільки вона забезпечує достатньо високу продуктивність, стабільність температурного режиму та можливість автоматизації процесу. Вибираємо муфельну електропеч з штовхачем для спінання твердих сплавів марки ОКБ-416 .

Її характеристики наступні [20]:

Габаритні розміри - $1,2 \times 1,2 \times 3,6$ м

Потужність - 32 кВт

Вартість - 120000 грн.

Продуктивність - розрахункова

Потрібну кількість печей визначаємо за формулою:

$$N_{пч} = G_6 / P_{пч} * \tau,$$

де G_6 – кількість матеріалу, що переробляється на операції,

$$G_6 = 618,9 \text{ кг}$$

$P_{пч}$ – продуктивність печі. Її визначаємо виходячи з промислових даних по спінанню твердих сплавів марки ВК. Це 10–15 кг/год. Приймаємо продуктивність печі 14 кг/год.;

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тоді:

$$N_{пч} = 727,026 / (14 \times 24) = 2.163$$

Приймаємо 3 печі з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = 2.163 / 3 = 0.721$$

7. Просочування

Згідно з розробленим технологічним процесом операцію просочування необхідно проводити при температурі 1300–1350 °С. Для реалізації цього процесу можуть використовуватись муфельні печі періодичної та безперервної дії, а також вакуумні печі. Для умов виробництва, що проектується, найбільш доцільним є використання муфельної прохідної електропечі, яка забезпечує високу продуктивність, рівномірний нагрів виробів та можливість автоматизації технологічного процесу. Вибираємо електропеч для спікання марки Nabertherm VHT 80/16.

Її характеристики наступні:

Габаритні розміри - 2000 × 3500 × 3000 мм

Потужність - 30 кВт

Вартість - 200000 грн.

Продуктивність - розрахункова

Потрібну кількість печей визначаємо за формулою:

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$N_{пч} = G_7 / P_{пч} \times \tau,$$

де G_7 – твердих сплавів марки кількість матеріалу, що переробляється на операції,

$$G_7 = 726,296 \text{ кг}$$

$P_{пч}$ – продуктивність печі. Її визначаємо виходячи з промислових даних по спіканню порошкових виробів. Це 15–20 кг/год. Приймаємо продуктивність печі 18 кг/год.;

Тоді:

$$N_{пч} = 726,296 / (18 \times 24) = 1.68$$

Приймаємо 2 печі з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = 1,68 / 2 = 0,84$$

8. Механічна обробка

Згідно з розробленим технологічним процесом завершальною операцією виготовлення футеровочних пластин є механічна обробка, яка проводиться з метою забезпечення необхідних геометричних розмірів, точності та якості поверхні виробів. Враховуючи високу твердість композиційного матеріалу, обробку доцільно виконувати методом шліфування. Для операції механічної обробки було обрано шліфувальний станок R-RP1300.

Його характеристики:

Габаритні розміри - 3000 × 2000 × 2000 мм

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Потужність - 3,7 кВт

Вартість - 300000 грн.

Продуктивність - 25–30 виробів за годину

Кількість потрібних станків визначаємо за формулою:

$$N_{\text{ст}} = K / P_{\text{ст}} \times t,$$

де **K** – кількість деталей за добу, визначаємо виходячи з того,

що вага однієї пластини 1,2 кг, а кількість матеріалу 723,4 кг.

$$K = 723,4 / 1,2 = 602 \text{ шт.}$$

P_{ст.} – продуктивність станка, дет./год. Згідно нормування 25 дет./год.;

t – кількість годин роботи станка на добу. Приймаємо 16 год.

Тоді:

$$N_{\text{ст}} = 602 / (25 \times 16) = 1,505$$

Приймаємо 2 станки з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = 1,505 / 2 = 0,7525$$

Одержані дані по розрахунку потрібної кількості обладнання зводимо у таблицю

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 2.6 – Зведена відомість устаткування цеху

Назва операції	Назва устаткування	Число роботи на добу	Прийняте число одиниць устаткування	Коефіцієнт завантаження	Встановлена потужність, кВт	Вартість, тис.грн.
Замішування	КС-1000	16	6	0,91	2,2	77,1
Протирка	ПС-0,46	16	2	0,51	1,5	150
Грануляція	КГ-1,2	16	2	0,68	1,5	45
Просів	ВС-0,5	16	1	0,91	1,5	28
Сушка	SNOL 120/300 LSN11	16	4	0,758	2,2	55
Спікання	Піч спікання ОКБ-416	24	3	0.721	32	120
Просочування	Піч Nabertherm VHT 80/16	24	2	0,84	30	200
Механічна обробка	Шліф. станок R-RP1300	16	2	0,7525	3,7	300

3. Охорона праці та екологічна безпека

У даному дипломному проєкті розглядається проєктування цеху з виробництва випаровувачів металів і сплавів на основі тугоплавких матеріалів, які виготовляються із застосуванням технологій порошкової металургії. Особливості таких виробництв пов'язані з використанням високотемпературного обладнання, металевих порошків та спеціальних технологічних процесів, що висуває підвищені вимоги до забезпечення безпечних умов праці та захисту навколишнього середовища [21].

Ефективна організація системи охорони праці на підприємстві передбачає своєчасне виявлення та усунення факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Тому перед розробленням комплексу заходів щодо забезпечення безпечної роботи персоналу необхідно провести аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають під час виконання технологічних операцій. Вплив таких факторів може спричиняти професійні захворювання, погіршення самопочуття працівників, зниження працездатності та підвищення ризику виробничого травматизму.

3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Для оцінки умов праці необхідно надати загальну характеристику виробничих приміщень, у яких здійснюється технологічний процес виготовлення випаровувачів із тугоплавких сполук.

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА		
Розроб.		Леонов В. В.					
Перевір.		Степанчук А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.					
Затверд.		Богомол Ю. І.			Літ. Арк. Аркушів		
					71		
					НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп		

Основні характеристики ділянки:

- площа виробничих приміщень – 513 м²;
- об'єм виробничих приміщень – 4104 м³;
- чисельність працюючого персоналу – 34 особи.

Зазначені параметри відповідають вимогам будівельних норм щодо виробничих приміщень і забезпечують необхідний простір для розміщення обладнання, організації робочих місць та безпечного переміщення працівників.

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 роботи, що виконуються в цеху, належать до категорії середньої важкості (категорія Пб). До цієї категорії відносяться виробничі операції, які супроводжуються постійним пересуванням працівників, виконанням робіт у положенні стоячи та переміщенням вантажів масою до 10 кг. Енергетичні витрати працівників при цьому становлять від 232 до 293 Вт.

Одним із найважливіших чинників, що визначають умови праці на виробництві, є мікроклімат виробничих приміщень. Його параметри формуються під впливом температури повітря, відносної вологості, швидкості руху повітряних потоків та інтенсивності теплового випромінювання від технологічного обладнання.

Відхилення показників мікроклімату від нормативних значень може призводити до перегрівання або переохолодження організму людини, зниження працездатності, підвищення втомлюваності та погіршення загального стану здоров'я. Особливо актуальним контроль мікроклімату є для підприємств порошкової металургії, де окремі технологічні операції виконуються за підвищених температур. Тому підтримання нормативних

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

параметрів повітряного середовища є одним із пріоритетних завдань системи охорони праці на даному виробництві.

Оптимальні та допустимі норми мікроклімату приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 3.1- Оптимальні та допустимі норми мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень цеху

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість Повітря, %	Швидкість руху Повітря, м/с
Оптимальні:			
Холодний	17–19	60–40	0,2
Теплий		60–40	0,3
Допустимі:			
Холодний	20–22	60–40	0,3
Теплий			

Освітлення в цеху відповідає СН и П II-4-79 (таблиця 5.2). У вечірній час забезпечується загальне штучне освітлення. Днем має місце природне освітлення разом з місцевим штучним при необхідності.

Таблиця 3.2 – Норми освітлення при штучному освітленні та КЕО при природньому та змішаному освітленні (СН и П II – 4 –79)

Характеристика зорової праці	Найменший розмір об'єкту визначення	Розряд зорової праці	Підрозряд зорової праці	Контраст об'єкту визначення з фоном	Характеристика фона	Освітлення штучне загальне, лк	КЕО, %
Груба (дуже мала точність)	Більше 5 мм	VI	–	Незалежно від характеристики та контрасту об'єкту с фоном		150	1,5–2

Основними шкідливими виробничими факторами у цеху є аерозолі дезінтеграції та конденсації, що утворюються під час виконання технологічних операцій і можуть чинити негативний вплив на організм людини. Особливу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки пилу тугоплавких сполук, які здатні тривалий час перебувати в повітрі робочої зони та проникати до органів дихання працівників.

Утворення пилу відбувається на різних етапах виробничого процесу, зокрема під час дозування компонентів шихти, завантаження та вивантаження технологічного обладнання, транспортування матеріалів, а також у процесі пресування виробів. Додатковим джерелом забруднення повітря можуть бути операції термічної обробки, під час яких утворюються аерозолі конденсації та газоподібні продукти.

Тривалий вплив пилу тугоплавких сполук на організм людини може призводити до розвитку професійних захворювань. Насамперед уражаються органи дихання, що проявляється у вигляді хронічних бронхітів, пневмоконіозів та інших патологій легеневої системи. Крім того, пилові частинки можуть негативно впливати на серцево-судинну систему, викликати подразнення слизових оболонок і спричиняти запальні процеси шкірних покривів.

З метою забезпечення безпечних умов праці концентрація пилу та шкідливих газоподібних речовин у повітрі робочої зони повинна постійно контролюватися та не перевищувати встановлених нормативних значень. Допустимі рівні вмісту шкідливих речовин визначаються чинними санітарно-гігієнічними нормами та стандартами безпеки праці.

Гранично допустимі концентрації пилу тугоплавких сполук, що застосовуються під час виробництва випаровувачів, наведено в таблиці 5.3. Дотримання цих нормативів є обов'язковою умовою забезпечення безпечного виробничого середовища та збереження здоров'я працівників.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Таблиця 3.2 – Гранично-допустимі концентрації пилу порошків сплавів на основі заліза та нікелю, тугоплавких сполук та аерозолей [22]

Найменування речовин	Агрегатний стан	ПДК, мг/м ³
Тугоплавкі сполуки	Пил	6

Під час експлуатації технологічного обладнання у виробничих приміщеннях виникають фізичні фактори виробничого середовища, серед яких найбільше значення мають шум і вібрація. Їхній вплив на працівників може призводити до погіршення самопочуття, зниження працездатності та розвитку професійних захворювань.

У цеху, що проєктується, джерелами шуму є різні види технологічного обладнання. Зокрема, у шихтовому відділенні під час роботи змішувальних та транспортних механізмів утворюється переважно середньочастотний шум. Рівень шумового навантаження на робочих місцях може досягати 100 дБ, що значно перевищує комфортні умови праці та потребує застосування спеціальних засобів захисту. У пресовому відділенні основним джерелом шуму є пресове обладнання. Для даної ділянки характерний високочастотний шум, який виникає в процесі пресування виробів. При цьому механічні преси створюють вищі рівні шуму порівняно з гідравлічними. Залежно від режиму роботи обладнання рівень шуму в пресовому відділенні може змінюватися в межах 80–100 дБ.

Тривалий вплив шуму негативно позначається на функціонуванні організму людини. Насамперед страждають органи слуху та нервова система. Підвищені рівні шуму можуть викликати швидку втому, дратівливість, зниження концентрації уваги та продуктивності праці. За тривалої дії

можливий розвиток професійних захворювань, зокрема приглухуватості та шумової хвороби. Для забезпечення безпечних умов праці рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати допустимих значень, установлених ДСН 3.3.6.037-99. Крім шуму, під час виробництва випаровувачів на працівників впливає вібрація, яка виникає при роботі змішувачів, пресів та іншого технологічного обладнання. Особливо небезпечною є тривала дія вібрації, оскільки вона може спричиняти функціональні порушення в організмі людини.

Вплив вібрації негативно відображається на стані нервової та серцево-судинної систем, порушує процеси обміну речовин, погіршує кровообіг і загальний фізіологічний стан працівників. Тривалий контакт з джерелами вібрації може призвести до розвитку професійного захворювання – вібраційної хвороби. З метою запобігання шкідливому впливу вібрації її рівень повинен відповідати вимогам ДСН 3.3.6.039-99 і не перевищувати допустиме значення 108 дБ. Для зниження впливу шуму та вібрації на виробництві необхідно передбачити застосування сучасного обладнання зі зниженими шумовими характеристиками, використання віброгасних опор, звукоізоляційних конструкцій, а також забезпечення працівників засобами індивідуального захисту органів слуху.

Під час експлуатації печей спікання та просочування на працівників може впливати теплове випромінювання, джерелом якого є нагріті поверхні технологічного обладнання. Основну небезпеку становлять інфрачервоне та червоне випромінювання, що утворюються в процесі високотемпературної обробки матеріалів.

Найбільшу проникну здатність мають інфрачервоні промені з довжиною хвилі в межах 0,78–1,4 мкм. Таке випромінювання частково проходить крізь поверхневі шари шкіри та проникає в глибші тканини організму, викликаючи їх нагрівання. Тривалий вплив теплового випромінювання може спричиняти підвищення температури тіла, порушення водно-сольового балансу, посилене потовиділення та загальне перегрівання організму. Перегрів негативно

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

впливає на функціонування нервової та серцево-судинної систем, викликає швидко втому, зниження концентрації уваги та погіршення працездатності працівників. За значного теплового навантаження можливе виникнення теплового виснаження та інших патологічних станів, пов'язаних із порушенням процесів терморегуляції. Для забезпечення безпечних умов праці інтенсивність теплового опромінення на робочих місцях повинна відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99. Допустимий рівень інтенсивності теплового випромінювання становить 0,140 кВт/м². З метою зменшення впливу теплового випромінювання необхідно передбачати теплоізоляцію нагрітих поверхонь, встановлення захисних екранів, ефективну вентиляцію та використання засобів індивідуального захисту.

У проєктованому цеху передбачається застосування технологічного обладнання, яке працює від електричної мережі напругою 220 В та 380 В. У зв'язку з цим особлива увага повинна приділятися забезпеченню електробезпеки персоналу. Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) виробничі приміщення даного цеху належать до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. Це обумовлено наявністю факторів, що збільшують ризик електротравматизму, зокрема струмопровідного пилу, великої кількості металевих конструкцій та обладнання, а також можливістю одночасного дотику працівника до заземлених елементів будівельних конструкцій і металевих корпусів електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Небезпека ураження електричним струмом полягає в тому, що його дія може викликати порушення роботи нервової системи, опіки, судомні скорочення м'язів, втрату свідомості та зупинку серця. Тому всі електроустановки повинні відповідати вимогам електробезпеки, а їх експлуатація має здійснюватися із застосуванням захисного заземлення, занулення, автоматичних засобів захисту та регулярного контролю технічного стану електрообладнання.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Причинами ураження працівників електричним струмом можуть бути безпосередній контакт із струмопровідними частинами обладнання, дія електричної дуги, пошкодження ізоляції електричних мереж, а також технічні несправності електрообладнання. До факторів підвищеного ризику належать недотримання вимог інструкцій з охорони праці, порушення правил технічної експлуатації електроустановок, використання несправних засобів індивідуального захисту або засобів із простроченим терміном експлуатації. Крім того, небезпека виникає у випадках відсутності належного контролю за технічним станом електрообладнання та несвоєчасного проведення профілактичних оглядів і ремонтів.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення проєктованого цеху відповідно до вимог ОНТП 24-86 належать до категорії «В» – пожежонебезпечні виробництва. Така категорія обумовлена застосуванням у технологічному процесі тонкодисперсних порошків тугоплавких сполук, а також допоміжних матеріалів, здатних до займання за певних умов. У процесі виконання окремих технологічних операцій можливе утворення пожежо- та вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей. Найбільш імовірним є їх виникнення під час завантаження та вивантаження змішувального обладнання, а також у разі порушення герметичності технологічних апаратів і транспортних систем. Накопичення пилу в повітрі робочої зони створює додаткову небезпеку виникнення пожежі або вибуху при наявності джерела займання. Потенційним джерелом пожежної та вибухової небезпеки є також печі спікання, у яких застосовуються захисні газові середовища. Особливої уваги потребують процеси, де як захисний газ використовується водень або конвертований газ. У разі порушення герметичності обладнання можливе утворення вибухонебезпечних сумішей водню з повітрям. Для воднево-повітряних сумішей нижня концентраційна межа вибуховості становить 4 %, а верхня – 74,2 %, що свідчить про широкий діапазон вибухонебезпечних концентрацій. Джерелами займання можуть бути короткі замикання в електричних мережах, іскроутворення, перегрів

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

електрообладнання, а також перевантаження електричних проводів і пристроїв. У таких випадках відбувається інтенсивне виділення тепла, що може спричинити руйнування ізоляції, займання горючих матеріалів та подальше поширення пожежі.

Основними виробничими факторами, які можуть негативно впливати на навколишнє середовище, є пил тугоплавких сполук та шкідливі газоподібні викиди. Потрапляння цих речовин в атмосферне повітря, ґрунт або водні об'єкти може призводити до забруднення довкілля та створювати небезпеку для здоров'я населення. Для запобігання забрудненню навколишнього середовища на підприємстві передбачаються спеціальні природоохоронні заходи. До них належать герметизація технологічного обладнання, застосування місцевої витяжної вентиляції, використання пиловловлювальних установок і систем очищення повітря, а також обладнання виробничих приміщень ефективною припливно-витяжною вентиляцією. Місцева витяжна вентиляція призначена для видалення забрудненого повітря безпосередньо в місцях утворення пилу та шкідливих речовин, що дозволяє запобігти їх поширенню по виробничому приміщенню. Для уловлювання та відведення забрудненого повітря над джерелами виділень встановлюються витяжні зонти та інші вентиляційні пристрої. Розрахунок місцевої витяжної вентиляції та витяжного зонта наведено в наступному підрозділі.

3.2 Розрахунок вентиляції шнекового змішувача

Для локалізації та видалення пилу, що утворюється під час роботи шнекового змішувача, передбачається встановлення місцевої витяжної вентиляції. Найбільш поширеним типом місцевих відсмоктувачів для такого обладнання є витяжні зонти, які забезпечують ефективне уловлювання забрудненого повітря безпосередньо в зоні його утворення та запобігають поширенню шкідливих речовин у виробничому приміщенні.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для шнекового змішувача, що використовується в даному проєкті, передбачено встановлення витяжного зонта, схема якого наведена на рисунку 3.3 Основні геометричні параметри зонта визначаються з урахуванням габаритних розмірів обладнання та висоти його розташування над джерелом виділення пилу.

Розміри зонта визначаються за такими залежностями:

$$A = a + 0,8h$$

$$B = b + 0,8h$$

де **a, b** – розміри поверхні, яку необхідно перекрити зонтом, м;
h – відстань від нижньої кромки зонта до поверхні обладнання, м.
 Для змішувача, що проєктується:

$$A = 3,2 + 0,8 \times 0,5$$

$$B = 2,0 + 0,8 \times 0,5 \quad (3.1)$$

Отже, розрахункові розміри витяжного зонта становлять:

$$A = 3,6 \text{ м}$$

$$B = 2,4 \text{ м}$$

Кут розкриття зонта приймається рівним 60. Повна висота зонта визначається за формулою:

$$A - D_0 \quad h_3 = 2 \lg \varphi / 2 \quad (3.2)$$

де **D₀** – діаметр витяжної труби, м;
h₃ – висота борту, м.

Отримані розрахункові параметри використовуються для подальшого визначення продуктивності вентиляційної системи, швидкості руху повітря та

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

підбору вентиляційного обладнання, яке забезпечуватиме нормативні умови праці в зоні розташування шнекового змішувача.

Для визначення геометричних параметрів витяжного повітропроводу необхідно встановити об'єм повітря, який повинен видалятися від шнекового змішувача системою місцевої витяжної вентиляції. Витрату повітря розраховують за формулою:

$$L = 3600 \cdot F \cdot V_0 \quad (3.3)$$

де L – об'єм повітря, що видаляється, м³/год;

F – площа розрахункового перерізу зонта, м²;

V_0 – середня швидкість руху повітря в розрахунковому перерізі зонта, м/с.

Площа розрахункового перерізу визначається виходячи з габаритних розмірів зонта та його розташування відносно джерела пиловиділення. Для даного випадку приймаємо середню швидкість руху повітря в перерізі зонта $V_0 = 0,85$ м/с.

Тоді необхідна продуктивність місцевої витяжної вентиляції становить:

$$L = 3600 \times 3,8 \times 2,4 \times 0,85 = 27907 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отримане значення використовується для подальшого підбору повітропроводу та вентиляційного обладнання.

Діаметр витяжного повітропроводу визначається за аеродинамічною номограмою залежно від витрати повітря та швидкості його руху в трубопроводі. Для забезпечення ефективної роботи вентиляційної системи швидкість руху повітря в повітропроводі приймається рівною 12 м/с.

При витраті повітря $L = 27907$ м³/год та швидкості 12 м/с за номограмою отримуємо діаметр повітропроводу:

$$h_3 = (3,6 - 0,495) / (2 \times 1,4771) + 0,2$$

$$h_3 = 1,25$$

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

Після розрахунку витяжного зонта обирається схема повітропроводу. Далі визначаються загальні втрати тиску в повітропроводі, здійснюється підбір вентилятора та розраховується потужність електродвигуна, необхідна для його нормальної роботи.

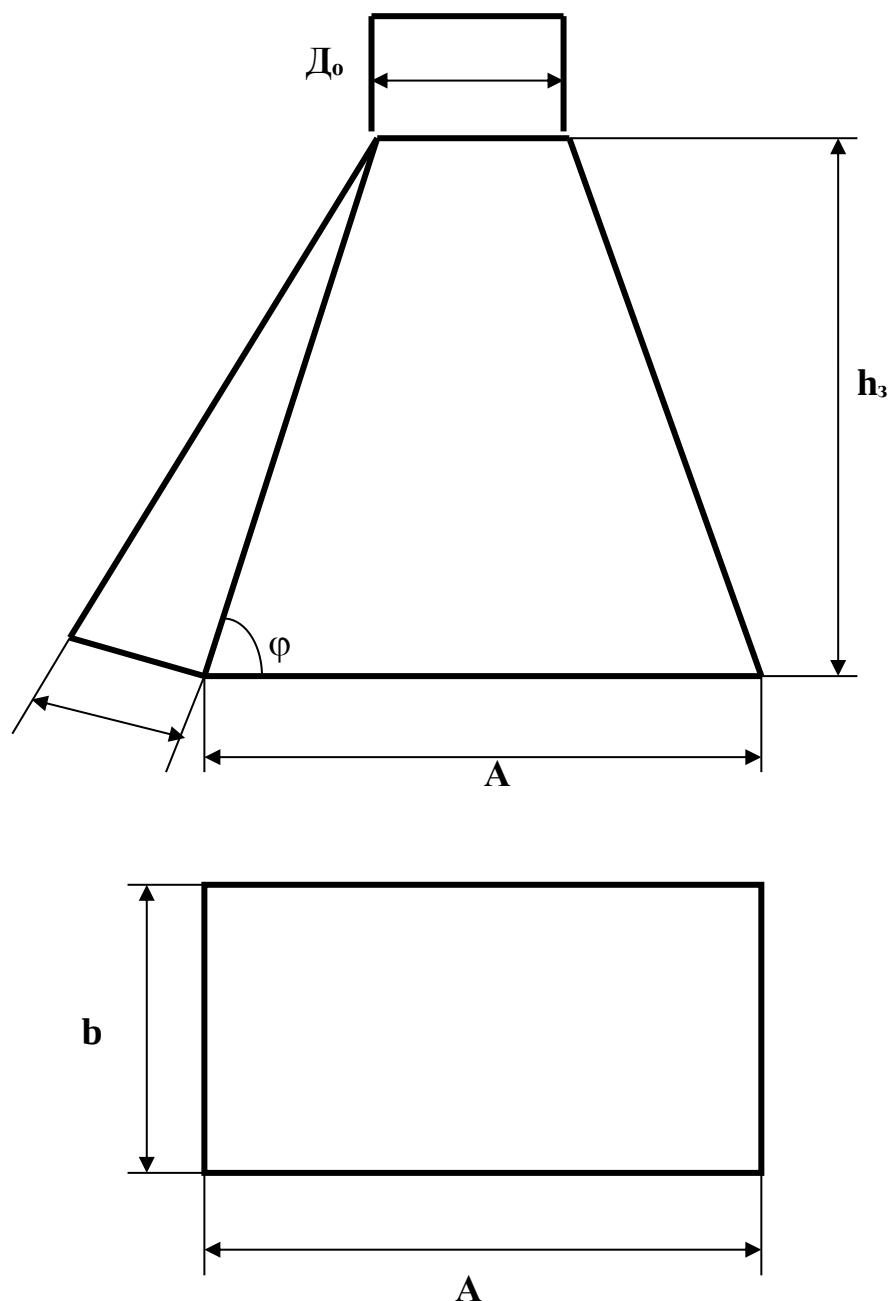


Рисунок 3.1 – Схема витяжного зонта.

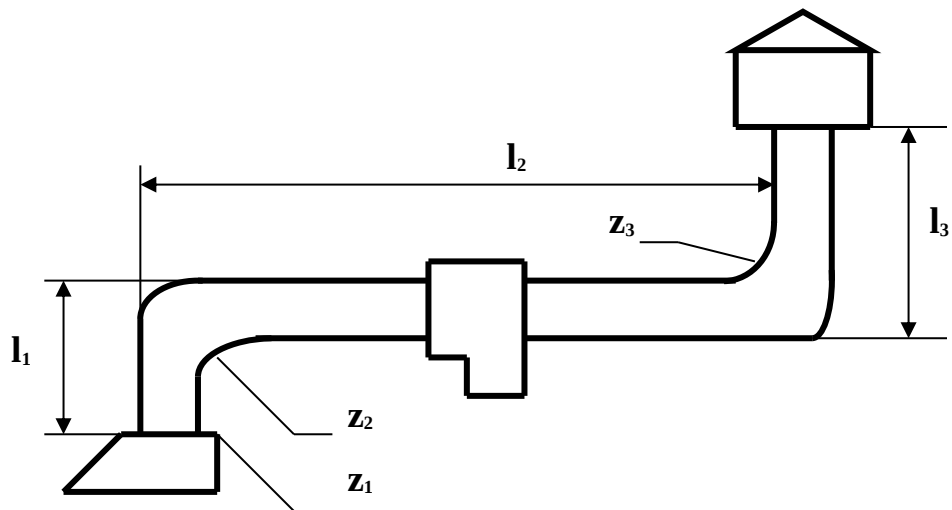


Рисунок 3.2 – Схема повітряпроводу.

Визначаємо втрати на тертя $R_{тр}$ та динамічний тиск:

$$R_{мп} = 0.3 \text{ кг/м}^3$$

$$H_g = 0.3 \text{ кг/м.}$$

Загальні втрати тиску повітря складають:

$$H = H_1 + H_2 + H_3 \quad Z_1 = \xi \times H_g$$

$$H_1 = R_{тр} \times l_1 + Z_1 + Z_2$$

$$H_2 = R_{тр} \times l_2 + Z_3$$

$$H_3 = R_{тр} \times l_3$$

де $R_{тр}$ – питомі втрати тиску на тертя на один погонний метр повітряпроводу, кг/м^2 ;

L – довжина ділянок повітряпроводу, м ;

z – втрати тиску на місцевий опір, кг/м^2 ;

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

l_1, l_2, l_3 – приймаємо конструктивно: $l_1 = 2$ м, $l_2 = 8$ м, $l_3 = 3$ м.

ξ – коефіцієнт місцевого опору (КМО)

$$\xi = K (1 - 0.495/3.6)^2 = 0,37$$

Тоді:

$$Z_1 = 0,37 \times 0,3 = 0,11 \text{ кг/м}^2 ;$$

$$Z_2 = 1,1 \times 0,3 = 0,33 \text{ кг/м}^2 ;$$

$$Z_3 = 1,1 \times 0,3 = 0,33 \text{ кг/м}^2 ;$$

$$H_1 = 0,3 \times 2 + 0,11 + 0,33 = 1,04 \text{ кг/м}^2 ;$$

$$H_2 = 0,3 \times 8 + 0,33 = 2,73 \text{ кг/м}^2 ;$$

$$H_3 = 0,3 \times 3 = 0,9 \text{ кг/м}^2$$

$$H_{\text{заг}} = 1,04 + 2,73 + 0,9 = 4,67 \text{ кгш/м}^2 = 45,77 \text{ Па}$$

Вибираємо вентильатор ВЦ 4-70 №4 . по номограмі попередньо розрахувавши Z_v .

$$Z_v = 27907 \times 1,1 = 30697,7 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Потужність електродвигуна на валу визначаємо за формулою:

$$N_{\text{ц}} = N \times K ,$$

де K – коефіцієнт запасу, який дорівнює 1,25.

Тоді:

$$N_{\text{ц}} = 1,6 \times 1,29 = 2,0 \text{ кВт}$$

Знаючи H_v та Z_v вибираємо електродвигун, який відповідає значенням цих величин. Вибираємо електродвигун марки АІР 71В2 з коефіцієнтом К.К.Д=0,8.

3.3 Загальні вимоги безпеки

Технологічне обладнання, що застосовується у процесі виготовлення зносостійких елементів подрібнювачів, повинно відповідати вимогам чинних нормативних документів з охорони праці, зокрема стандартів системи безпеки машин ДСТУ EN ISO 12100 та загальних вимог безпеки виробничого обладнання.

Конструкція машин і механізмів має забезпечувати безпечні умови експлуатації, виключати можливість доступу працівників до небезпечних зон, а також передбачати наявність захисних огорожень рухомих частин відповідно до вимог чинних стандартів безпеки виробничого обладнання.

Для зниження впливу пилу необхідно передбачати герметизацію технологічного обладнання та місць інтенсивного пиловиділення з обов'язковим використанням систем місцевої витяжної вентиляції. Відпрацьоване повітря перед викидом в атмосферу повинно проходити очищення у пиловловлювальних установках відповідно до екологічних вимог та санітарних норм.

У пічному відділенні необхідно забезпечити ефективну загальнообмінну вентиляцію, яка призначена для видалення надлишкового тепла та підтримання нормативних параметрів мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.

Шнекові змішувачі та пресове обладнання слід встановлювати на віброзахисних основах із застосуванням сучасних методів віброгасіння, що відповідають вимогам стандартів з віробезпеки ДСТУ EN ISO 5349.

В електроустановках повинні бути передбачені заходи електробезпеки, зокрема захисне заземлення, автоматичне відключення живлення та інші засоби захисту від ураження електричним струмом відповідно до ПУЕ та чинних норм електробезпеки.

Працівники, які виконують роботи в умовах підвищеного пилоутворення, повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

органів дихання, спеціальним захисним одягом, головними уборами та респіраторами фільтрувального типу.

Працівники, які зазнають впливу теплового випромінювання, повинні використовувати засоби індивідуального захисту очей та рук, зокрема захисні окуляри та термостійкі рукавиці відповідно до чинних стандартів засобів індивідуального захисту.

Змішувальне та пресове обладнання рекомендується розміщувати в окремих ізольованих приміщеннях або зонах з метою зниження рівня шумового, пилового та вібраційного навантаження на працівників.

Системи водопостачання, каналізації та очищення стічних вод повинні функціонувати за принципом замкненого або оборотного водокористування. Перед скиданням у зовнішні мережі або природні водойми стічні води підлягають обов'язковому очищенню відповідно до екологічних та санітарних вимог чинного законодавства України.

3.4 Пожежна безпека

У проєктованому цеху передбачено комплекс організаційних та технічних заходів із забезпечення пожежної безпеки відповідно до вимог чинного законодавства України та нормативних документів у сфері пожежної безпеки.

Готова продукція, напівфабрикати та пакувальні матеріали повинні зберігатися виключно у спеціально відведених складських зонах. Розміщення таких зон здійснюється з урахуванням вимог пожежної безпеки та забезпечення вільного доступу для обслуговування і можливого гасіння пожежі. Усі виробничі приміщення повинні утримуватися у чистоті та належному санітарному стані. Виробничі відходи та пил необхідно своєчасно видаляти, не допускаючи їх накопичення у робочих зонах.

Проходи, евакуаційні виходи та сходові марші повинні постійно утримуватися у справному стані, бути вільними від захащення та

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						86
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

забезпечувати безперешкодну евакуацію персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Цех забезпечується первинними засобами пожежогасіння відповідно до встановлених норм. На території виробництва передбачаються пожежні щити, укомплектовані необхідним інвентарем, а також вогнегасниками різних типів, зокрема:

- ОУ-8 – 4 шт.;
 - ОХПВ-10 – 6 шт.;
 - ОП-10 – 8 шт.;
 - ОП-9 – 7 шт.;
- а також ящики з піском.

Хімічні пінні вогнегасники типу ОХПВ-10 застосовуються для гасіння загорянь горючих рідин та мастил. Вуглекислотні вогнегасники ОУ-8 використовуються для гасіння різних матеріалів, а також електрообладнання, що перебуває під напругою, завдяки їх діелектричним властивостям. Порошкові вогнегасники типу ОП-9 та ОП-10 є універсальними та застосовуються для ліквідації загорянь твердих, рідких і газоподібних речовин.

Додатково для забезпечення пожежної безпеки передбачено облаштування пожежних гідрантів із кроком розміщення не більше 25 м. Для пожежогасіння використовується технічна вода, що подається через внутрішні та зовнішні системи водопостачання.

3.5 Захист навколишнього середовища

У процесі експлуатації проєктованого виробництва можливе потрапляння в навколишнє середовище дрібнодисперсного пилу, що містить порошки сплавів на основі нікелю, заліза та тугоплавких сполук. Такі аерозолі

					ФН-2.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

можуть негативно впливати на стан атмосферного повітря, а також становити небезпеку для екосистем і здоров'я населення.

Для зменшення викидів пилу у вентиляційних системах передбачається багатоступенева очистка повітря. Зокрема, застосовується попереднє (грубе) та тонке очищення повітряного потоку. Видалення пилових частинок здійснюється за допомогою циклону як першого ступеня очищення та рукавних фільтрів як другого, більш ефективного ступеня.

Водні ресурси на підприємстві також можуть зазнавати забруднення внаслідок потрапляння металевих порошоків і технологічних домішок. У зв'язку з цим система водопостачання повинна бути організована за принципом замкненого (оборотного) водокористування. Це дозволяє мінімізувати скиди забруднених вод у навколишнє середовище та зменшити водоспоживання підприємства.

Вода, що використовується для охолодження обладнання та інших технологічних потреб, підлягає очищенню та повторному використанню в межах оборотного циклу.

Стічні води санітарно-побутових приміщень направляються на міські очисні споруди та очищаються відповідно до встановлених санітарних і екологічних вимог.

4. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі розраховується кількість електроенергії, яка необхідна для забезпечення нормальної роботи цеху, що проектується. Витрати електроенергії визначаємо виходячи з кількості вибраного обладнання та режиму його роботи, а також конструкції будівлі цеху (див. графічну частину проекту лист 1).

Витрати електроенергії необхідної для роботи обладнання визначаємо за формулою:

$$E = M \times \Phi_0 \times K_1 \times K_2 \times \eta \times n ,$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт

Φ_0 – річний фонд роботи обладнанн, год.Приймається для двозмінної роботи обладнання 3840год. та для трьохзмінної – 5760 год.

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи, який приймається для печей 0,6; для двигунів 0,3; для генераторів 0,8.

K_2 - коефіцієнт використання потужності , $K_2 = 0,7$.

η – коефіцієнт завантаження обладнання.

N – кількість однотипного обладнання на операції

Визначаємо витрати електроенергії на технологічних операціях:

$$E_1 = 2,2 \times 3840 \times 0,3 \cdot 0,7 \times 0,91 \times 6 = 11823 \text{ кВт год}$$

$$E_2 = 1,5 \times 3840 \times 0,3 \times 0,7 \times 0,51 \times 2 = 1235 \text{ кВт год}$$

$$E_3 = 1,5 \times 3840 \times 0,3 \cdot 0,7 \times 0,68 \times 2 = 1647 \text{ кВт год}$$

					ФН-21мп.3944.1103.005.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Леонов В. В.					
Перевір.		Степанчук А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.					
Затверд.		Богомол Ю. І.			Літ. Арк. Аркуші		
					88		
					НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп		

$$E_4 = 1,5 \times 3840 \times 0,3 \times 0,7 \times 0,91 \times 1 = 2658 \text{ кВт год}$$

$$E_5 = 2,2 \times 3840 \times 0,3 \times 0,7 \times 0,758 \times 4 = 8809 \text{ кВт год}$$

$$E_6 = 32 \times 3840 \times 0,3 \times 0,7 \times 0,721 \times 3 = 59242 \text{ кВт год}$$

$$E_7 = 30 \times 3840 \times 0,3 \times 0,7 \times 0,84 \times 2 = 43046 \text{ кВт год}$$

$$E_8 = 3,7 \times 3840 \times 0,3 \times 0,7 \times 0,7525 \times 2 = 5635 \text{ кВт год}$$

Всього витрати електроенергії для забезпечення роботи технологічного обладнання складають: $E_{\text{заг}} = 134095 \text{ кВт}$.

Розрахунок витрат електроенергії на освітлення ведемо виходячи з площі цеху, його відділень та побутових приміщень. При цьому враховуємо, що цех складається з слідуєчих приміщень:

1. Склад вихідної сировини – 45 м
2. Склад готової продукції – 45 м
3. Шихтове відділення – 90 м
4. Відділення спікання – 90 м
5. Відділення просочування – 90 м
6. Відділення механічної обробки – 45 м
7. Коридори – 90 м
8. Побутові та службові приміщення – 90м

Для розрахунків використовуємо формулу:

$$E = S g \tau f / 1000,$$

де S – площа, що освітлюється, м;

g – поверхнева щільність теплового потоку, який приймаємо для виробничих приміщень 15 Вт/м а для побутових та службових приміщень 10 Вт/м [];

τ – кількість годин горіння освітлювальних приладів на рік, год;

					ФН-2.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

Приймаємо для двозмінної роботи 2500 год, а для трьохзмінної 4700 год;

f – коефіцієнт одночасності горіння.

Приймаємо для виробничих приміщень $f = 0,8$ а для побутових та службових $f = 0,7$.

Тоді витрати будуть:

Склад вихідної речовини:

$$E1 = 45 \times 15 \times 2500 \times 0,8 / 1000 = 1350 \text{ кВт год}$$

Склад готової продукції:

$$E2 = 45 \times 15 \times 2500 \times 0,8 / 1000 = 1350 \text{ кВт год.}$$

Шихтове відділення:

$$E3 = 90 \times 15 \times 2500 \times 0,8 / 1000 = 2700 \text{ кВт год.}$$

Відділення спікання:

$$E4 = 90 \times 15 \times 4700 \times 0,8 / 1000 = 5076 \text{ кВт год.}$$

Відділення просочування:

$$E5 = 90 \times 15 \times 4700 \times 0,8 / 1000 = 5076 \text{ кВт год}$$

Відділення механічної обробки:

$$Q6 = 45 \times 15 \times 2500 \times 0,8 / 1000 = 1350 \text{ кВт год}$$

Коридори:

$$E7 = 90 \times 15 \times 4700 \times 0,8 / 1000 = 5076 \text{ кВт год}$$

Всього на виробничі приміщення: **21978 кВт год.**

Побутові та службові приміщення:

$$E8 = 90 \times 10,0 \times 2500 \times 0,7 / 1000 = 1575 \text{ кВт год}$$

Всього витрат електроенергії на освітлення по цеху: **23553 кВт год.**

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

5. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

В організаційному розділі обґрунтовується чисельність основних виробничих та допоміжних робітників, управлінського персоналу, розмірів фондів їх заробітної плати, визначаємо показники продуктивності праці.

5.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Чисельність персоналу та його кваліфікаційний склад для проєктованого виробництва визначаються шляхом формування штатного розкладу підприємства. На першому етапі розробляється так званий розстановочний штат, який відображає кількість працівників, безпосередньо задіяних у технологічному процесі протягом однієї робочої зміни.

Далі, з урахуванням прийнятого режиму роботи підприємства та кількості змін, виконується розрахунок добової чисельності персоналу. Це дозволяє визначити загальну потребу у робітниках для забезпечення безперервного функціонування виробництва.

Формування штатного складу здійснюється на основі чинних нормативів чисельності персоналу, а також з урахуванням даних діючих підприємств порошкової металургії та аналогічних виробництв, що прийняті як базові для проєктування.

Для врахування планових витрат робочого часу на відпустки, хворобу та інше складаємо баланс робочого часу (таблиця 5.1) і визначаємо коефіцієнт списочного складу.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ			
Розроб.	Леонов В. В.							
Перевір.	Степанчук А.							
Реценз.								
Н. Контр.	Бірюкович Л.							
Затверд.	Богомол Ю. І.							
					Літ.	Арк.	Аркуші	
							91	
					НТУУ «КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп			

Таблиця 5.1 – Баланс робочого часу

Найменування затрат часу	кількість днів
1. Кількість календарних днів у році	365
2. Неробочі дні, у тому числі:	
2.1 Свята	9
2.2 Вихідні	104
2.3 Планово-попереджувальні роботи	17
2.4 Чергова та додаткова відпустка	24
2.5 Хвороба	4
2.6 Скорочений робочий день матерям з малими дітьми, підліткам	1,5
2.7 Невиходи з дозволу адміністрації	
Всього неробочих днів:	161
3. Кількість робочих днів:	204
4. Кількість днів роботи підприємства	235

На основі балансу робочого часу визначається коефіцієнт спискового складу працівників, який враховує різницю між явочною та обліковою чисельністю персоналу. Його розрахунок виконується за співвідношенням:

$$K_c = 235 / 204 = 1,15$$

Отримане значення коефіцієнта використовується для переходу від явочної (добової) чисельності працівників до спискового складу підприємства. Спискова чисельність виробничих робітників визначається шляхом множення добового штату на коефіцієнт спискового складу, що дозволяє врахувати відпустки, неявки та інші планові втрати робочого часу.

Кількість допоміжного персоналу встановлюється на основі аналізу організації праці на базовому виробництві, а також з урахуванням особливостей технологічного процесу проєктованого підприємства та прийнятих норм обслуговування обладнання.

Результати розрахунків кількості основних та допоміжних робітників заносимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Штатний розклад виробничих робітників.

Професія, спеціальніс ть	Кваліфіка ційний розряд	Розтановочний штат по змінам			Всього на добу	Коефіцієнт списочног о складу	Списоч- ний штат
		1–а	2–а	3–я			
Основні виробничі робітники							
1.Шихтовщ ик	V	3	3	–	6	1,15	7
	V1	1	1	1	3	1,15	4
2.Спікальщ ик	V	4	4	4	12	1.15	14
	IV	2	2	–	4	1,15	5
3.Спікальщ ик							
4.Шліфовщ ик							
Всього:					25		30
Допоміжні робітники							
Черговий слюсар	V	2	1	–	3	1,15	3
Черговий електрик	VI	2	1	1	4	1,15	5
Крановщик- електрокар щик	IV	1	1	–	2	1,15	3
Всього:					9		11
Загалом:					34		41

Чисельність управлінського персоналу, ІТР та МОП визначаємо виходячи з аналізу виробництва та підприємства-аналога. Результати розрахунків зводимо у таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Відомість управлінського персоналу, ІТР та МОП

Штатна посада	Чисельність, чол.
I. – Керівники	
1.1. – Начальник цеху	1
1.2. – Начальник відділення	1
1.3. – Майстер	2
Всього:	4
II. – Спеціалісти	
2.1. – Ведучий інженер-технолог	1
2.2. – Інженер технолог 2 категорії	1
2.3. – Диспетчер цеху	1
Всього:	3
III. – Службовці	
3.1. – Лаборант	1
3.2. – Обліковець	1
3.3. – Комірник	1
3.4. – Прибиральниця	2
Всього:	5
Всього по цеху:	12

Продуктивність праці на проєктованому виробництві визначається як відношення річного обсягу випуску продукції до середньооблікової чисельності працівників цеху. Оскільки виробництво характеризується

обмеженою номенклатурою виробів, показник продуктивності праці доцільно визначати у натуральному вираженні – як кількість продукції (кг), що припадає на одного працівника.

Розрахунок виконується за формулою:

$$T = Q / N = 3207,5 \text{ кг /чол}$$

де Q – річний обсяг випуску продукції, кг;

N – середньооблікова чисельність працівників, чол.

Підставляючи вихідні дані, отримуємо:

$$T = 170000 / 53 = 3207,5 \text{ кг/чол}$$

Отримане значення характеризує рівень продуктивності праці в цеху та використовується для подальшого аналізу ефективності виробництва.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання проєктної роботи проведено аналіз сучасних конструкційних матеріалів, придатних для виготовлення зносостійких елементів подрібнювального обладнання. Встановлено, що найбільш доцільним є застосування композиційних матеріалів, які поєднують високу твердість, зносостійкість та стабільність експлуатаційних характеристик у складних умовах роботи.

Проаналізовано основні технологічні процеси виготовлення виробів із композиційних матеріалів із використанням тугоплавких сполук. На основі проведеного аналізу розроблено технологічну схему виробництва зносостійких футерувальних плит для подрібнювачів, яка відповідає вимогам сучасних технологій порошкової металургії.

Виконано матеріальні розрахунки виробництва та визначено потребу в технологічному обладнанні. Підібране обладнання відповідає сучасному рівню розвитку машин та апаратів для порошкової металургії та забезпечує необхідні техніко-технологічні параметри процесу.

Розроблено комплекс заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища, спрямованих на забезпечення безпечних та екологічно прийнятних умов праці, а також мінімізацію впливу шкідливих виробничих факторів.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Леонов В. В.			Висновки			Літ.	Арк.	Аркушіє	
Перевір.		Степанчук А.								97	
Реценз.								НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп			
Н. Контр.		Бірюкович Л.									
Затверд.		Богомол Ю. І.									

CONCLUSIONS

An analysis of modern materials suitable for manufacturing wear-resistant elements of crushing equipment was carried out. It was established that composite materials are the most appropriate due to their high hardness, wear resistance, and stable operational properties.

The main technological processes for producing composite material products with refractory compounds were considered. Based on this analysis, a technological process for manufacturing wear-resistant lining plates for crushers was developed in accordance with modern powder metallurgy principles.

Material balance calculations were performed, and the required amount of technological equipment was determined. The selected equipment meets modern requirements for powder metallurgy production systems.

The sintering time of granular hard alloy materials was calculated according to the specified technological parameters, allowing optimization of the thermal treatment stage.

Occupational safety and environmental protection measures were developed to ensure safe working conditions and reduce the impact of harmful production factors on the environment.

.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Леонов В. В.			CONCLUSIONS			Лім.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Степанчук А.							98	
Реценз.								НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп		
Н. Контр.		Бірюкович Л.								
Затверд.		Богомол Ю. І.								

ЛІТЕРАТУРА

1. Степанчук А. М. Магістерська дисертація за освітньо-професійною програмою. Частина 2. Рекомендації до проектування [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство» освітньої програми «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А. М. Степанчук, А. В. Мініцький, С. В. Нараєвський. – Електронні текстові дані (1файл: 1,82 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 86 с. – Назва з екрана. URI : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45852>
2. Антонова Е. А., Семенов С. А., Манько П. А. Зносостійкість покриттів Ni–В5 при сухому терті // Захисні покриття. – Ленінград : Наука, 1979. – С. 212–219.
2. Гулгоркін В. Н. Підвищення зносостійкості молотків молоткових млинів / В. Н. Гулгоркін, І. В. Франценюк, ВІ. Л. Галкін // Металознавство і термічна обробка металів. – 1974. – № 4. – С. 23–32
3. Юзвенко Ю. А. Особливості застосування тугоплавких сполук для дугового наплавлення / Ю. А. Юзвенко, М. П., Пащенко, Г. Г Корицький // Автоматичне зварювання. – 1973. – № 2. – С. 1–4.
4. Самсонов Г. В., Данькін А. А., Марков А. І. Зносостійкість керметів на основі карбіду титану при газоабразивному зношуванні / Г. В. Самсонов, А. А. Данькін, А. І. Марков // Машинознавство. – 1974. – № 3. – С. 98–102
5. Газотермічні покриття з порошкових матеріалів : довідник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. П. Сидоренко та інші. – Київ : Наукова думка, 1987.– 544 с.

					ФН-21.3944.1103.005.01ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Леонов В. В.			ЛІТЕРАТУРА		Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Степанчук А.							99	
Реценз.							НТУУ«КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп			
Н. Контр.		Бірюкович Л.								
Затверд.		Богомол Ю. І.								

6. Дослідження сплавів, наплавлених шихтою, що містить тугоплавкі сполуки / С. Я. Пирогов, І. І. Шипко, І. І. Марков та інші. // Порошкова металургія. – 1984. – № 10. – С. 17–25.
7. Шевченко В. Г. Нові конструкційні матеріали та ефективні методи їх отримання та робки. – Київ : УМК ВО, 1988. – 55 с.
8. Степанчук А. М., Білик І. І., Бойко П. А. Технологія порошкової металургії. – Київ : Вища школа, 1989. – 415 с.
9. Степанчук А. М. Закономірності пресування порошкових матеріалів. – Київ : УМК ВО, 1992. – 176 с.
10. Степанчук А. М., Бойко П. А., Білик І. І. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування. – Київ : КПІ, 1987. – 84 с.
11. ISO 45001:2018. Системи управління охороною праці. Вимоги та настанови щодо застосування. – Женева : Міжнародна організація зі стандартизації, 2018.
12. ISO 12100:2010. Безпека машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання та зниження ризиків. – Женева : Міжнародна організація зі стандартизації, 2010.
13. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпека машин. Електрообладнання машин. – Київ : УкрНДНЦ, 2015.
14. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення понять. – Київ : УкрНДНЦ, 2014.
15. Davis J. R. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. – Materials Park, Ohio : ASM International, 2001. – 576 p.
16. Totten G. E. Steel Heat Treatment : Metallurgy and Technologies. – 3rd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – 1200 p.
- *17. German R. M. Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing. – Princeton : Metal Powder Industries Federation, 2005. – 528 p.
18. ASM Handbook. Vol. 18 : Friction, Lubrication, and Wear Technology. – Materials Park, Ohio : ASM International, 2017. – 1088 p.

19. ISO 8062-3:2007. Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts. – Geneva : International Organization for Standardization, 2007.

20. SO 14713-1:2017. Zinc coatings – Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures. – Geneva : International Organization for Standardization, 2017. ASTM B962-23. *Standard Test Methods for Density of Compacted or Sintered Powder Metallurgy Products Using Archimedes' Principle*. ASTM International, 2023.

					ФН-21м.3944.1103.005.01ПЗ	Лист
						1 из 1
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		