

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 проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Дільниця з виробництва деталей підвищеної зносостійкості
для піскострую»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ФН-з21

Морозов Олексій Максимович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н., ст.дослідник

Солодкий Є.В. _____

Консультант з економічно-організаційного розділу:

Доцент, к. е. н., доцент,

Нараєвський С. В. _____

Консультант з охорони праці:

Завідувач кафедри, д. т. н., професор,

Левченко О. Г. _____

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Л. О. _____

Рецензент:

Доцент кафедри ФМТО, к.т.н., доцент

Іващенко Є.В. _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4				Завдання на		
					дипломний проєкт	3	
2	A4	ФНз2101.1103.001.01ПЗ			Пояснювальна		
					записка	106	
3.	A3	ФНз2101.1103.001.02АС			Апаратурно	1	
					технологічна схема		
4.	A3	ФНз2101.1103.001.02АС			План діляниця	1	
5	A3	ФНз2101.1103.001.01ПЗ			Креслення сопла	1	
					ФНз1201.1103.001.01ПЗ		
		ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.		Морозов О.М.			ВІДОМІСТЬ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	Лист	Листів
Керівн.		Солодкий Є.В.				2	112
Консульт.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМтаПМ гр.ФН-з21	
Н/Контр.		Бірюкович Л.О.					
Зав.Каф.		Богомол Ю.І.					

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій БОГОМОЛ

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Морозову Олексію Максимовичу

1. Тема проєкту «Дільниця з виробництва деталей підвищеної зносостійкості для піскострую», керівник проєкту Солодкий Є.В. Доцент каф. ВТМ та ПМ, к.т.н., ст.дослідник, затверджені наказом по університету від «28» травня 2026 р. №1988-с.

2. Термін подання студентом проєкту 16.06.2026

3. Вихідні дані до проєкту: 1) Вимоги до деталі: форма згідно рисунку 1. Розміри: довжина 35 мм, діаметр 20 мм; діаметр вихідного отвору 6 мм, діаметр вхідного отвору 17 мм; 2) Вимоги до матеріалу. Твердість понад 22 ГПа, тріщиностійкість понад 2 МПа•м^{1/2}, міцність при вигині понад 400

МПа, висока зносостійкість; 3) Річна продуктивність виробництва: 12000 шт/рік.



Рисунок 1 - Ескіз сопла для піскоструменевої обробки

4. Зміст пояснювальної записки Зміст пояснювальної записки: технологічний розділ, будівельний розділ, спеціальний розділ, розділ з охорони праці, організаційно-економічний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): апаратурно-технологічна схема, яка детально відображає послідовність і взаємозв'язок етапів виробництва; план ділянки, що проектується, при цьому розташування обладнання оптимізовано з урахуванням ергономіки, безпеки праці та ефективного використання виробничих площ; креслення спеціального агрегату (містить детальні зображення конструктивних елементів агрегату, його складальних одиниць і специфікацію матеріалів, що забезпечує можливість його виготовлення та експлуатації; таблиця економічних показників.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання 20.04.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературно-патентний пошук.	20.04-22.04	
2	Вибір та обґрунтування матеріалу для виробництва НБП.	22.04-28.04	
3	Огляд технологічних процесів. Вибір оптимального технологічного процесу та його опис.	29.04-05.05	
4	Матеріальні розрахунки згідно отриманого завдання. Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання.	06.05-12.05	
5	Розробка будівельного розділу	13.05-18.05	
6	Розробка спеціального розділу	19.05-25.05	
7	Розробка розділу з охорони праці	09.06-11.06	
8	Розробка організаційно-економічного розділу	11.06-12.06	
9	Виконання графічної частини проєкту	12.06 – 13.06	
10	Оформлення дипломної записки	13.06 – 15.06	

Студент

Олексій Морозов

Керівник

Солодкий Євген

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему:
«Виробництво сопел підвищеної зносостійкості для піскострую»

Київ – 2026 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка обсягом 111 сторінок містить 12 рисунків, 28 таблиць, 4 додатки та 23 бібліографічні найменування. Графічна частина представлена 2 плакатами на аркушах формату А1 та презентацією.

ГАРЯЧЕ ПРЕСУВАННЯ, ЕРОЗІЙНИЙ ЗНОС, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, КАРБІД БОРУ, НАДТВЕРДІ МАТЕРІАЛИ, ПІСКОСТРУМЕНЕВЕ СОПЛО, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ.

Метою дипломного проекту є проектування ділянки з виробництва сопел підвищеної зносостійкості для піскоструменевої обробки з річною продуктивністю 12 000 шт/рік.

В дипломному проекті вибрано та обґрунтовано матеріал виробу – карбід бору, який забезпечує твердість понад 30 ГПа. Визначено оптимальну схему технологічного процесу на основі вакуумного гарячого пресування, проведено матеріальні розрахунки, які дозволили вибрати основне технологічне обладнання та встановити його необхідну кількість для забезпечення заданої програми випуску.

Проведено аналіз конструкції виробу та обґрунтовано вибір геометрії каналу сопла для мінімізації ерозійного зношування.

Проаналізовано умови праці на ділянці порошкової металургії, визначено параметри небезпечних і шкідливих чинників (зокрема, вплив дрібнодисперсного пилу та високих температур), розроблено заходи, які спрямовані на забезпечення безпеки персоналу та охорону навколишнього середовища.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реферат		
Розроб.		Морозов О.М..					
Перевір.		Солодкий Є.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						2	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321		

В енергетичному, організаційному та економічному розділах проекту розраховано витрати на електроенергію, необхідну для роботи вакуумних печей, визначено чисельність персоналу ділянки та фонд заробітної плати. Шляхом розрахунку собівартості та очікуваного прибутку доведено, що розроблений проект є високоефективним, а термін окупності капітальних вкладень складає 0,8 року.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The explanatory note consists of 111 pages and contains 12 figures, 28 tables, 4 appendices, and 23 bibliographic references. The graphical part is presented by 2 A1-format posters and a presentation.

Keywords: BORON CARBIDE, POWDER METALLURGY, SANDBLASTING NOZZLE, HOT PRESSING, WEAR RESISTANCE, SUPERHARD MATERIALS, EROSION WEAR

The aim of the diploma project is to design a production unit for high-wear-resistant sandblasting nozzles with an annual capacity of 12,000 units per year.

In this diploma project, boron carbide was selected and justified as the product material, providing a hardness exceeding 30 GPa. The optimal technological process scheme based on vacuum hot pressing was determined. Material calculations were performed, which allowed for the selection of the main technological equipment and the determination of the required quantity to meet the specified production program.

An analysis of the product design was conducted, and the choice of the nozzle channel geometry was justified to minimize erosive wear.

Working conditions in the powder metallurgy department were analyzed, and parameters of hazardous and harmful factors (specifically, the impact of fine dust and high temperatures) were identified. Measures aimed at ensuring personnel safety and environmental protection were developed.

In the energy, organizational, and economic sections of the project, electricity consumption for the vacuum furnaces was calculated, and the number of personnel along with the payroll fund was determined. By calculating the cost of production and expected profit, it was proved that the developed project is highly efficient, with a payback period of 0.8 years.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Морозов О.М.			ABSTRACT		
Перевір.		Солодкий Є.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю.І.					
					Лім.	Арк.	Аркуші
						4	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп		

ЗМІСТ

ВСТУП	12
1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	14
1.1 Аналітичний огляд	14
1.2 Вибір та обґрунтування матеріалу.....	19
1.3. Опис технологічної схеми виробництва	23
1.4 Матеріальні розрахунки та баланс матеріалів	40
1.5 Вибір та розрахунок кількості обладнання.....	47
2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	58
2.1 Архітектурно-планувальні параметри ділянки.....	58
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	61
3.1 Аналіз параметрів приміщення.....	62
3.2 Аналіз освітленості приміщення.....	63
3.3 Аналіз шуму та вібрації.....	65
3.4 Аналіз загазованості та запиленості.....	66
3.5 Аналіз систем вентиляції та кондиціонування приміщення.....	68
3.6 Аналіз інфрачервоного випромінювання.....	69
3.7 Електробезпека.....	71
3.8 Пожежна безпека.....	74
3.9 Засоби індивідуального захисту для виконання робіт у ділянці.....	75
4. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	78
5. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	82
5.1. Розрахунок чисельності виробничих робітників.....	82
5. 2. Визначення фондів заробітної плати.....	86

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Морозов О.М.			ЗМІСТ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Солодкий Є.В.							5	112
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-з21		
Н. Контр.		Бірюковия Л.О								
Затверд.		Богомол Ю. І.								

ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	90
6.1. Розрахунок капітальний вкладень	90
6.2. Визначення планової собівартості одиниці продукції.....	93
6.3. Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення.....	101

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування та будівництва потребує ефективних методів підготовки поверхонь, серед яких провідне місце посідає піскоструменева (абразивоструминна) обробка. Ключовим елементом таких установок, що безпосередньо впливає на продуктивність та якість робіт, є сопло. Робота сопла відбувається в умовах екстремального ерозійного зношування під дією високошвидкісного потоку абразивних частинок.

Традиційні матеріали (сталі, чавуни) мають вкрай низький ресурс, що призводить до частоті зупинки обладнання та зміни геометрії факела розпилення. Тому створення сопел підвищеної зносостійкості з надтвердих керамічних та композиційних матеріалів, що здатні зберігати стабільність вихідного отвору (6 мм) протягом тривалого часу, є актуальним науково–технічним завданням.

Мета роботи – розробка та обґрунтування технологічного процесу виробництва сопел підвищеної зносостійкості з використанням методів порошкової металургії, що забезпечують твердість понад 22 ГПа та міцність при вигині не менше 400 МПа.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення зносостійких деталей складної форми з високощільних керамічних матеріалів. Предмет дослідження – склад матеріалу, режими пресування та спікання, а також конструктивні параметри сопла, що визначають його експлуатаційний ресурс.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.		Морозов О.М..					
Перевір.		Солодкий Є.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюковия Л.О					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						7	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп		

Практичне значення отриманих результатів полягає у проектуванні виробничої ділянки річною продуктивністю 12 000 виробів, що дозволить забезпечити промисловість вітчизняними комплектуючими з ресурсом, що перевищує показники стандартних аналогів у кілька разів.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналітичний огляд

Насадка для виминування виконує роль звужуючої горловини системи. Він прискорює повітря та абразивну суміш від дозвукового потоку до надзвукових швидкостей (часто понад 450 миль на годину). Тертя, що виникає при таких швидкостях, величезне. Зі зношуванням внутрішньої підкладки канал отвору розширюється [1].

Збільшення діаметра вихідного отвору всього на 1,5 мм призводить до втрати тиску на 30–40%, що різко знижує ефективність очищення та збільшує витрати стисненого повітря. Тому ключовою вимогою до матеріалу є збереження геометрії каналу (35 мм довжини та 6 мм виходу)[2].

На ринку представлено кілька основних типів сопел залежно від матеріалу вставки:

1. Технічна кераміка (Al_2O_3) – найдешевший варіант. Має непогану твердість (15–18 ГПа), але низьку тріщиностійкість. Ресурс роботи з піском – до 2–4 годин. Процес виробництва карбідного піскоструминного сопла є складнішим, а вартість відносно вища, а термін служби насадки з твердоструминного сплаву довший, ніж у металевого. Виробничий процес керамічного піскоструминного сопла є складним, а вартість виробництва вища, ніж у металу та твердокарбонатного сплаву, але вона має кращу стійкість до зносу. З точки зору терміну служби ресурс роботи з піском – до 2–4 годин., якщо середовище для струміння складається з менших частинок (наприклад, абразивного кварцового піску), термін служби керамічного піскоструминного насадки у кілька разів перевищує насадку з твердобридного сплаву.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Морозов О.М.					
Перевір.		Солодкий Є.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.			Літ. Арк. Аркушів		
					9		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321		

Однак, якщо субстраат для виминування є більша частинка, термін служби насадки для обробки піску з глинозюму буде коротшим, ніж у твердострумененого твердострумененого матеріалу, оскільки кераміка – це крихкий матеріал, який легко тріскається і спричиняє відшарування матеріалу при ударі. Тому кераміка не підходить для сильного удару. Висновок: технічна кераміка (Al_2O_3), економічно недоцільна в виготовленні та відповідає заданим характеристикам[3].

2. Наступними ми порівнюємо такі матеріали як: Карбід вольфраму (WC), Карбід кремнію (SiC) та Карбід бору (B_4C). Щоб зрозуміти, який саме матеріал потрібний ми будемо оцінювати такі фактори, як: фактор ерозії, шкала твердості та ресурс, щільність, комфорт у використанні.

- Карбід вольфраму (WC) дуже щільний має густину 14-15 г/см³, що надає соплу важкого, міцного відчуття в руці. Оскільки він містить металевий зв'язувач, має певну пластичність. Це найменш крихкий із трьох високопродуктивних матеріалів. Стійкість до ударів – це головна перевага, якщо випадково впустити сопло з карбіду вольфраму на сталеву терасу або бетонну підлогу то він, ймовірно, виживе. Металевий зв'язувач запобігає поширенню тріщин. Має дуже великий недолік – швидке зношування твердими абразивами: WC чудово підходить для піску, скляних намистин і шлаку. Однак, якщо використовувати оксид алюмінію (Al_2O_3) або карбід кремнію, сопло зношується за кілька годин. Абразивні частинки твердіші за зв'язувач, змиваючи кобальт і спричиняючи випадіння карбідних зерен[4].

- Карбід кремнію (SiC): має високу твердість (25–28 ГПа), густина складає 3,2 г/см³. Сопло SiC важить приблизно п'яту частину сопла WC такого ж розміру. SiC краще справляється з різкими змінами температури, ніж більшість кераміки. Має дуже великий недолік – SiC не має металевого біндера, який є у WC . Це чиста кераміка. Якщо його

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

впустити, він трісне. Зовнішня оболонка (зазвичай алюмінієва або поліуретанова) забезпечує певний захист, але сама підкладка крихка. [4]

- Карбід бору (B_4C) – дуже легкий матеріал густина приблизно $2,5 \text{ г/см}^3$) Твердість сягає 30–35 ГПа. Він практично стійкий до зношування від стандартних абразивів. Сопло з карбіду бору може служити у 5–10 разів довше, ніж карбід вольфраму, і у 2–3 рази довше, ніж карбід кремнію. Завдяки збереженню розміру діаметра B_4C запобігає перевантаженню компресора. Це економить паливо та електроенергію протягом усього терміну служби сопла. Підходить для роботи на заводах, що працюють цілодобово. Не дивлячись на що даний матеріал являється більш дорогим, його ресурс працездатності повністю компенсує цей недолік[4].

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця характеристик матеріалів

Матеріал	Твердість, ГПа	Тріщиностійкість, МПа·м ^{1/2}	Ресурс (пісок), год	Посилання
Оксид алюмінію	16–18	3–4	1–4	[3]
Карбід вольфраму	19–21	8–12	20–40	[4]
Карбід бору	30–35	2,5–3,5	500–1000	[4]

Для виготовлення сопел із керамічних матеріалів на основі карбіду бору (B_4C) використовують три основні методи термічної консолідації порошків, кожен з яких визначає фінальну мікроструктуру та експлуатаційні властивості виробу.

Метод гарячого пресування. Цей метод є пріоритетним для отримання безпористої структури чистого карбіду бору. Процес полягає в одночасній дії

високої температури (2000–2200 °C) та одноосьового механічного тиску (20–40 МПа)[7].

Використовуються високоміцні графітові прес-форми (матриці та пуансони), здатні витримувати екстремальні температури у вакуумі або інертному середовищі (аргон) [7].

Швидкість нагріву становить 10–20 °C/хв, ізотермічна витримка під тиском триває від 30 до 60 хвилин залежно від маси заготовки.

Дозволяє досягти відносної щільності понад 99% від теоретичної. Завдяки мінімальному росту зерна сопла мають максимальну твердість (30–35 ГПа) та найвищу зносостійкість серед усіх аналогів [7].

Метод вільного (безтискового) спікання. Метод базується на попередньому холодному формуванні заготовки з наступним високотемпературним випалом без прикладання зовнішнього тиску.

Порошок спочатку пресується у сталевих формах або ізостатично (під тиском 100–200 МПа для отримання «сирцю». Спікання проводиться у графітових печах опору в середовищі гелію або аргону [8].

Температура спікання становить 2250–2350 °C (близько до температури плавлення B_4C). Час витримки складає 2–4 години. Для активації процесу обов'язковим є введення добавок (0,5–3% вуглецю у вигляді сажі або фенольної смоли) [8].

Метод є більш продуктивним та дешевшим, проте через значну усадку (до 20%) важко отримати високу точність розмірів. Наявність залишкової пористості (3–7%) знижує твердість до 25–28 ГПа [8].

Метод реакційного спікання. Технологія заснована на капілярному просочуванні пористого каркаса рідким металом, що супроводжується хімічною реакцією [8].

Використовуються графітові тиглі, в яких розміщується заготовка («преформа») з суміші B_4C та вільного вуглецю, а зверху – наважка металевого кремнію. Процес проходить у вакуумних печах [8].

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура процесу складає 1450–1600 °С (вище точки плавлення кремнію). Витримка триває 20–40 хвилин. Рідкий кремній змочує зерна карбіду та реагує з вуглецем, утворюючи вторинний карбід кремнію (SiC), який зв'язує структуру [8].

Метод дозволяє отримувати складні фасонні форми без усадки (точність 0,1%). Проте в структурі залишається 5–15% вільного кремнію, що знижує загальну твердість сопла до 20–22 ГПа та погіршує стійкість до удару крупним абразивом [8].

Метод гарячого ізостатичного пресування. Цей метод вважається високоефективним методом для усунення залишкової мікропористості. На відміну від звичайного гарячого пресування, де тиск прикладається лише в одному напрямку (що може створювати внутрішні напруження), тут тиск діє рівномірно з усіх боків [9].

Заготовки поміщаються у спеціальні герметичні капсули (металеві або скляні) або піддаються «безконтейнерному» гарячому ізостатичному пресуванню (якщо деталь вже має щільність понад 95%). Процес проходить у газостатах – камерах високого тиску [9].

Робочим середовищем є інертний газ (аргон або азот). Тиск сягає 100–200 МПа, а температура – 1700–2000 °С. Час витримки може складати від 2 до 6 годин [9].

Метод дозволяє отримати матеріал із теоретичною щільністю 100%. Це критично для сопел, що працюють під екстремальним тиском, оскільки повна відсутність пор унеможливорює зародження мікротріщин. Проте обладнання для НІР є найдорожчим у галузі [9].

ГІП є одним із найефективніших методів ущільнення порошкових матеріалів та усунення внутрішньої пористості. Його головна особливість полягає у одночасній дії високої температури та ізостатичного газового тиску на матеріал з усіх напрямків [9].

На відміну від гарячого пресування, де тиск прикладається лише в одному напрямку через пуансони, у процесі ГП навантаження передається рівномірно через інертний газ (зазвичай аргон), що забезпечує однорідне ущільнення по всьому об'єму виробу [9].

Процес здійснюється у спеціальній герметичній камері високого тиску. Заготовки попередньо можуть бути спресовані або отримані методами порошкової металургії та часто поміщаються в капсули (скляні, металеві або еластомерні), які запобігають контакту з газовим середовищем [9].

Нагрівання та пресування відбуваються одночасно при високих температурах (для карбіду бору приблизно 1800–2100 °С) та тиску 100–200 МПа. Загальний цикл ГП є значно довшим порівняно з SPS і може тривати від кількох годин до десятків годин залежно від розміру виробу та матеріалу.

Завдяки рівномірному ізостатичному тиску та тривалому витримуванню досягається практично повна щільність матеріалу, зменшується пористість і підвищується механічна міцність. Однак через тривалу термічну обробку можливий ріст зерна, що може впливати на кінцеві властивості матеріалу.

ГП широко застосовується для отримання відповідальних керамічних та композитних деталей складної форми, де критично важлива висока щільність та структурна однорідність [9].

1.2. Вибір та обґрунтування матеріалу

Вибір конструкційного матеріалу для сопел піскоструменевої обробки є ключовим етапом проектування, оскільки саме фізико–механічні властивості обраної речовини визначають термін експлуатації виробу та стабільність технологічного процесу абразивної очистки. Враховуючи вихідні технічні вимоги (твердість > 22 ГПа, тріщиностійкість $2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$, міцність при вигині > 400 МПа), необхідно провести глибокий

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

аналіз існуючих надтвердих матеріалів та обґрунтувати перевагу одного з них.

Вибір технології виробництва сопел напряму залежить від необхідності керування мікроструктурою кераміки. Основними чинниками, що визначають зносостійкість B_4C , є залишкова пористість, розмір кристалічного зерна та фазовий склад.

Пористість є головним дефектом кераміки, що працює в умовах абразивного зносу. Пори діють як концентратори напружень і стають центрами зародження мікротріщин. Для карбіду бору встановлено експоненціальну залежність твердості від відносної щільності.

Таблиця 1.2. – Залежність властивостей B_4C від відносної щільності

Метод отримання (орієнтовно)	Відносна щільність, %	Залишкова пористість, %	Твердість за Віккерсом (HV), ГПа	Модуль пружності, ГПа
Вільне спікання	85	15	18–20	320
Гаряче пресування	98	2	32–35	440
НІР	99,9	< 0,1	37–39	460

З таблиці видно, що зниження пористості всього на 5–7% дозволяє збільшити твердість майже в півтора рази. Саме тому методи вільного спікання, які залишають високу пористість, не підходять для виготовлення сопел підвищеної зносостійкості.

Для керамічних матеріалів характерне зростання твердості та міцності при зменшенні розміру зерна. При високих температурах спікання (понад

2200 °C) спостерігається інтенсивне збиральне рекристалізація (ріст зерен), що призводить до падіння тріщиностійкості.

Крупнозерниста структура (> 10 мкм) - полегшує міжкристалітне руйнування (тріщина легко проходить по межах зерен).

Дрібнозерниста структура (< 3 мкм) - створює складний рельєф для руху тріщини, змушуючи її змінювати напрямок, що підвищує енергоємність руйнування.

Використання методів гарячого пресування дозволяє знизити температуру та час процесу, що блокує ріст зерен і дозволяє отримати наноструктуровану кераміку з рекордною зносостійкістю.

Для забезпечення вимог ТЗ (твердість > 22 ГПа, міцність > 400 МПа) необхідно отримати кераміку з відносною щільністю не менше 97% та розміром зерна до 5 мкм. Це можливо лише при використанні методів активного ущільнення під тиском, які мінімізують час перебування матеріалу при критичних температурах та забезпечують повну консолідацію фазового складу.

Процес зношування внутрішнього каналу сопла відбувається під дією високошвидкісного потоку твердих частинок. В результаті зіткненні абразиву з поверхнею матеріалу виникають локальні напруження, що перевищують границю плинності більшості металів. Для керамічних матеріалів основним механізмом руйнування є крихке викришування мікрооб'ємів структури. Таким чином, матеріал повинен не тільки мати високу твердість, щоб протистояти впровадженню абразиву, але й достатню в'язкість руйнування (тріщиностійкість), щоб запобігти швидкому поширенню магістральних тріщин під ударами великих частинок піску або дробу [5].

Розглянемо детально основних кандидатів на роль робочого матеріалу сопла:

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Оксидна кераміка (на основі Al_2O_3). Корунд є традиційним і найдешевшим матеріалом для керамічних вставок. Проте аналіз його властивостей показує, що середня твердість оксиду алюмінію становить лише 16–18 ГПа. Це суттєво нижче встановленого порогу у 22 ГПа. Окрім того, за підвищенні температури в зоні тертя (що неминуче за тривалий роботі) твердість оксидів падає швидше, ніж у карбідів. Міцність при вигині для промислової кераміки рідко перевищує 300–350 МПа. Таким чином, оксидна кераміка відхиляється як така, що не здатна забезпечити заданий ресурс за роботі з агресивними абразивами, такими як карбід кремнію або сталевий дріб [3].

Тверді сплави (система WC–Co). Сплави карбіду вольфраму з кобальтовою зв'язкою широко використовуються в інструментальній промисловості. Вони мають відмінну міцність при вигині (до 1500 – 2000 МПа) та високу тріщиностійкість завдяки пластичній металевій фазі. Проте їхня максимальна твердість зазвичай обмежена рівнем 18–20 ГПа. Крім того, велика питома вага вольфраму (густина $\sim 15 \text{ г/см}^3$) робить сопло важким, що підвищує втомлюваність оператора при ручній роботі [4].

Карбід кремнію (SiC). Даний матеріал має твердість на рівні 25–28 ГПа. Він легкий і має високу теплопровідність, що сприяє відведенню тепла від зони ерозії. Однак карбід кремнію, отриманий методом реакційного спікання, часто містить залишки вільного кремнію, який є слабкою ланкою структури. Міцність при вигині SiC становить близько 350–450 МПа, що знаходиться на межі допустимого. Карбід кремнію є хорошим альтернативним варіантом, проте він поступається наступному матеріалу за головним показником – зносостійкістю.

Розглянемо основні характеристики карбіду бору:

1. Твердість: карбід бору займає третє місце за твердістю після алмазу та кубічного нітриду бору. Його мікротвердість становить 30–35

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

ГПа, що значно вище заданих 22 ГПа. Це гарантує мінімальне заглиблення абразивних зерен у поверхню каналу.

2. Густина: B_4C має дуже низьку густину ($2,52 \text{ г/см}^3$), що робить сопло майже в 6 разів легшим за аналогічне з твердого сплаву. Це суттєво покращує ергономіку використання піскоструменевого пістолета.

3. Міцність та тріщиностійкість: при використанні методу гарячого пресування вдається досягти міцності при вигині на рівні 400–500 МПа та тріщиностійкості близько $3\text{--}4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$. Це дозволяє матеріалу витримувати не лише стираючу дію піску, але й ударні навантаження від сталевих дробу великої фракції. [4].

4. Хімічна стійкість: матеріал інертний до більшості кислот та лугів, що важливо при використанні вологого піскострую або роботі в агресивних середовищах.

На основі порівняльного аналізу для проектування обрано саме карбід бору.

Враховуючи необхідність забезпечення максимального ресурсу при діаметрі вихідного отвору 6 мм, найбільш доцільним є використання карбиду бору (B_4C), отриманого методом гарячого пресування. Його експлуатаційні характеристики (твердість ~ 32 ГПа, міцність ~ 450 МПа) перебивають вимоги технічного завдання та забезпечують економічну доцільність проекту за рахунок тривалого міжремонтного циклу.

1.3. Опис технологічної схеми виробництва

Виготовлення виробів з надтвердої кераміки, зокрема сопел для піскоструменевої обробки, є складним багатостадійним процесом. Оскільки карбід бору має високу частку ковалентних зв'язків та низьку швидкість дифузії, досягнення безпористої структури вимагає специфічних

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

технологічних підходів. Розглянемо три основні варіанти технологічних схем виробництва.

1. Метод вільного безтискового спікання.
2. Метод гарячого пресування.
3. Реакційне спікання.

Метод вільного безтискового спікання

Метод вільного безтискового спікання ґрунтується на процесах твердофазного спікання, рушійною силою яких є зменшення вільної поверхневої енергії системи. У процесі нагрівання між частинками порошку формуються міжзернові контакти, що сприяє ущільненню матеріалу та зменшенню його пористості [8].

Карбід бору характеризується переважно ковалентним типом міжатомного зв'язку, що зумовлює низьку швидкість самодифузії та ускладнює процес спікання. Для підвищення ефективності ущільнення до порошкових сумішей часто вводять тимчасові органічні зв'язуючі, зокрема фенолформальдегідні смоли, а також вуглецевмісні активуючі добавки у вигляді аморфного вуглецю або сажі. Під час нагрівання вуглець взаємодіє з оксидом бору (B_2O_3), який присутній на поверхні частинок, що сприяє очищенню міжчастинкових контактів та активізації процесів спікання.

Спікання кераміки на основі карбіду бору зазвичай проводять при температурах 2250–2350 °С. За таких температур основними механізмами масопереносу є об'ємна дифузія та дифузія по межах зерен. Важливим технологічним параметром є швидкість нагріву, оскільки її надмірне збільшення може призвести до утворення ізольованої закритої пористості та погіршення кінцевої щільності матеріалу [8].

Через відсутність зовнішнього тиску для досягнення високого ступеня ущільнення необхідні підвищені температури та тривала витримка, яка може становити до декількох годин. Одним із недоліків методу є

інтенсивний ріст зерен під час тривалого перебування матеріалу при високих температурах, що може призводити до збільшення середнього розміру зерен до 15–20 мкм та погіршення окремих механічних властивостей готової кераміки [8].

Підготовка шихти (B_4C , спирт, олеїнова кислота)



Подрібнення (помел) порошку B_4C



Помел (з додаванням пластифікатора)



Змішування та гомогенізація шихти



Сушіння шихти та ранулювання



Холодне пресування



Видалення органічної зв'язки



Високотемпературне безтискове спікання

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



Контрольоване охолодження та механічна обробка та контроль якості

Рисунок 1.3 – Технологічна схема виробництва керамічних виробів методом вільного безтискового спікання.

Дана схема є найкращою для метода вільного безтискового спікання

1. Підготовка вихідних матеріалів. На цьому етапі здійснюється підбір порошку карбіду бору необхідної чистоти та дисперсності, а також органічних зв'язуючих (парафін) [10].

2. Подрібнення (помел) порошку B_4C . Порошок карбіду бору піддається інтенсивному подрібненню у планетарних або кульових млинах. Метою операції є руйнування агломератів, зменшення середнього розміру частинок, підвищення питомої поверхні та активності порошку. Помел проводиться у рідкому середовищі - спирт з додаванням поверхнево-активних речовин, зокрема олеїнової кислоти. Її введення забезпечує змочування поверхні частинок, зниження поверхневої енергії та запобігає повторній агломерації порошку під час механічного впливу [10].

3. Змішування та гомогенізація шихти. Подрібнений порошок B_4C змішують із органічною зв'язкою та активуючими добавками. Змішування проводять у планетарному млині або змішувачах інтенсивної дії до отримання однорідної композиції [10].

4. Сушіння шихти. Після мокрого помелу та змішування суспензію висушують для видалення розчинника та отримання сипкого порошку [10].

5. Гранулювання. Проводиться для покращення технологічної текучості порошку та рівномірного заповнення прес-форм [10].

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Холодне пресування заготовок. Формування заготовок здійснюється одно- або двостороннім пресуванням у сталевих прес-формах під високим тиском, що забезпечує початкову міцність виробу [10].

7. Видалення органічної зв'язки. Заготовки нагріваються до температур 400–800 °С для термічного розкладання та видалення органічних компонентів без руйнування структури виробу [10].

8. Високотемпературне безтискове спікання. Спікання проводиться у вакуумі або інертній атмосфері аргону при температурах 2250–2350 °С. Основними механізмами ущільнення є дифузійні процеси та зростання міжзернових контактів [10].

9. Контрольоване охолодження. Охолодження здійснюється з контрольованою швидкістю для запобігання виникненню термічних напружень і мікротріщин [10].

10. Механічна обробка та контроль якості. Готові вироби піддаються шліфуванню або доведенню. Проводиться контроль густини, пористості, твердості, міцності та тріщиностійкості.

Головною перевагою є можливість одночасного завантаження великої кількості виробів у піч, що вигідно для масового виробництва. Проте, через високу пористість (до 5–10%), такі сопла мають нижчу твердість та зносостійкість, що не дозволяє стабільно досягати показника твердості у 22 ГПа без використання дуже дорогих нанопорошків. [10].

Метод гарячого пресування

Гаряче пресування класифікується як інтенсифікований термомеханічний метод ущільнення порошкових матеріалів, при якому одночасна дія високої температури та прикладеного тиску суттєво прискорює кінетику спікання [11].

При підвищених температурах (понад 0,7 від температури плавлення компонентів системи) у матеріалі активізуються дифузійні процеси,

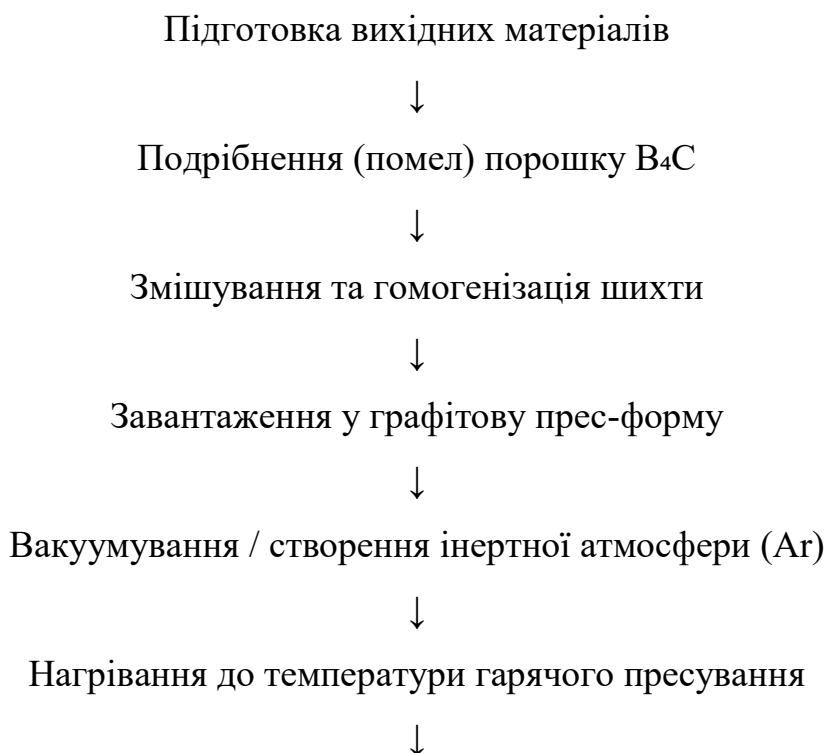
					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізми повзучості та зернограничного ковзання, що забезпечує інтенсивне зближення та зчеплення частинок [11].

Прикладений тиск (30–40 МПа) сприяє активації механізмів ущільнення, зокрема дифузійно-повзучого переносу матеріалу та перебудови структури в області контактів зерен. Це супроводжується формуванням додаткового градієнта хімічного потенціалу, який спрямовує потік вакансій від зон контакту до пор, що сприяє їх зменшенню та закриттю [11].

У результаті комбінованої дії температури та тиску досягається висока щільність матеріалу при нижчих температурах у порівнянні з вільним спіканням.

Як прес-матеріал для форм зазвичай використовують ізостатично пресований графіт, який забезпечує високу теплопровідність та рівномірний розподіл температурного поля. Водночас можливе формування певної структурної анізотропії, зумовленої напрямком прикладеного тиску та особливостями ущільнення порошкового матеріалу [11].



Гаряче пресування ($T \approx 1800\text{--}2100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P \approx 30\text{--}40\text{ МПа}$)



Витримка при робочих параметрах



Механічна обробка



Контрольоване охолодження



Розвантаження та контроль якості

Рисунок 1.4 – Технологічна схема виробництва керамічних виробів методом гарячого спікання.

Метод гарячого пресування одночасну дію високої температури та механічного тиску на порошок, що знаходиться у графітовій прес-формі.

1. Підготовка вихідних матеріалів. На цьому етапі здійснюється підбір порошку карбіду бору необхідної чистоти та дисперсності, а також органічних зв'язуючих (парафін) [10, 11].

2. Подрібнення (помел) порошку B_4C . Порошок карбіду бору піддається інтенсивному подрібненню у планетарних або кульових млинах з метою руйнування агломератів, зменшення середнього розміру частинок та підвищення питомої поверхні. Помел проводиться у рідкому середовищі (етиловий або ізопропіловий спирт) з додаванням поверхнево-активної речовини, зокрема олеїнової кислоти, що забезпечує стабілізацію суспензії та запобігає повторній агломерації частинок [10, 11].

3. Змішування та гомогенізація шихти. Подрібнений порошок B_4C змішують із органічною зв'язкою та функціональними добавками до отримання однорідної порошкової композиції [10, 11].

4. Завантаження у графітову прес-форму. Сформовані заготовки розміщуються у графітовій прес-формі, яка виконує роль нагрівального та навантажувального елемента. Графіт забезпечує високу термостійкість та рівномірний розподіл температури [10, 11].

5. Вакуумування, створення інертної атмосфери (Ar). Робоча камера установки вакуумується або заповнюється інертним газом (аргоном) для запобігання окисненню карбіду бору та графітових елементів при високих температурах [10, 11].

7. Нагрівання до температури гарячого пресування. Здійснюється контрольований нагрів системи до робочих температур гарячого пресування (приблизно 1800–2100 °C). На цьому етапі активуються дифузійні процеси та початкове ущільнення матеріалу [10, 11].

8. Гаряче пресування. Одночасна дія високої температури та тиску (30–40 МПа) забезпечує інтенсифікацію дифузійно-повзучих механізмів, зростання контактних площ між частинками та формування щільної керамічної структури з мінімальною пористістю [10, 11].

9. Контрольоване охолодження. Охолодження здійснюється з регульованою швидкістю для запобігання утворенню термічних напружень, мікротріщин та деформацій виробу [10, 11].

10. Розвантаження та контроль якості. Після завершення процесу виробу витягуються з прес-форми. Виконується механічна обробка (за необхідності) та контроль основних характеристик: густини, пористості, твердості, міцності та тріщиностійкості.

Головною перевагою методу гарячого пресування є можливість отримання виробів з високою щільністю за рахунок одночасної дії температури та тиску, що забезпечує інтенсивне ущільнення порошкового матеріалу та значне зниження пористості. Завдяки цьому досягається практично повна консолідація структури (залишкова пористість зазвичай не

перевищує 1–2%), що позитивно впливає на механічні характеристики матеріалу.

У результаті гарячого пресування кераміка на основі карбіду бору характеризується підвищеною твердістю та зносостійкістю порівняно з матеріалами, отриманими методом вільного спікання. Це дозволяє стабільно досягати високих значень твердості (порядку 20–22 ГПа і вище) без обов’язкового використання нанодисперсних порошків, хоча застосування дрібнодисперсних систем додатково покращує кінцеві властивості [10, 11].

Метод гарячого ізостатичного пресування (ГІП).

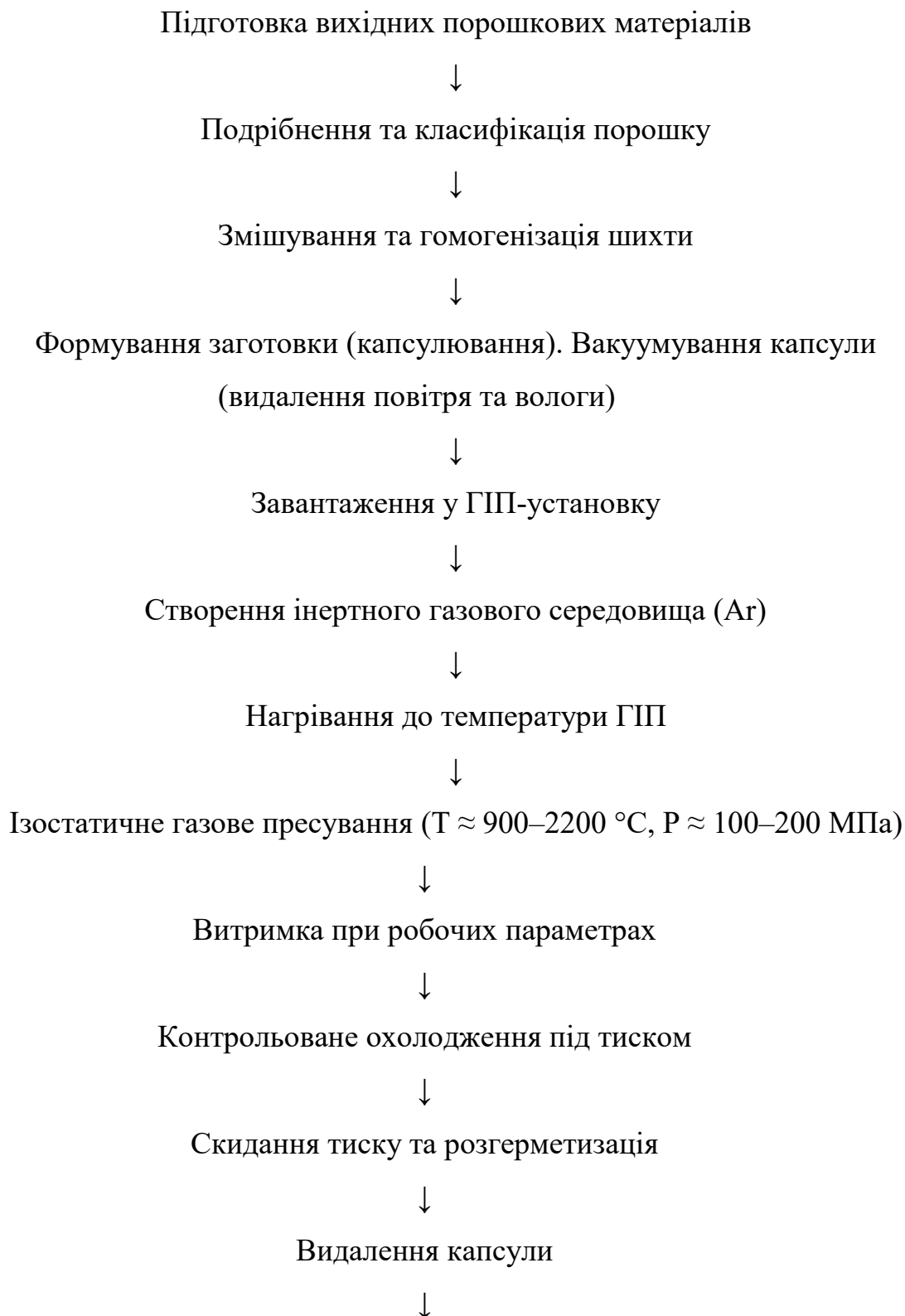
Гаряче ізостатичне пресування (ГІП) є процесом ущільнення або консолідації матеріалів при високих температурах і всебічному (ізостатичному) тиску. Вироби, отримані методом ГІП, характеризуються підвищеною щільністю та практично повною відсутністю пор, що забезпечує покращені механічні властивості [9].

У процесі ГІП заготовку розміщують у печі, яка знаходиться всередині герметичного контейнера високого тиску. Матеріал нагрівають до температури спікання та одночасно піддають дії інертного газу (зазвичай аргону або гелію). Газ створює всебічний ізостатичний тиск, який рівномірно передається на поверхню заготовки та сприяє її ущільненню до високої щільності [9].

Температура, тиск і тривалість процесу ГІП залежать від властивостей матеріалу, що обробляється. Як правило, використовують температури в діапазоні 500–2200 °С та тиски від вакуумних умов до 200 МПа. При цьому допустимі відхилення температури є мінімальними, оскільки процес потребує високої стабільності параметрів для отримання рівномірної структури [9].

Для забезпечення ефективності процесу технологія ГІП повинна бути гнучкою та відтворюваною. Гаряче ізостатичне пресування є добре

відпрацьованим і загально визнаним методом економічно доцільної обробки матеріалів, який дозволяє отримувати вироби з високою щільністю та покращеними експлуатаційними характеристиками [9].



					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Механічна обробка (за потреби)



Контроль щільності та якості виробу

Рисунок 1.5 – Технологічна схема виробництва керамічних виробів методом гарячого спікання

1. Підготовка вихідних порошкових матеріалів. На цьому етапі здійснюється відбір та підготовка сировинних компонентів, що використовуються для отримання карбіду бору або композицій на його основі. Перевіряється хімічна чистота порошків, вміст домішок, вологість та гранулометричний склад. За необхідності проводиться сушіння та попереднє очищення матеріалів для забезпечення стабільності подальшого технологічного процесу [12].

2. Подрібнення та класифікація порошку. Подрібнення спрямоване на зменшення розміру частинок порошку до заданого рівня з метою підвищення його реакційної здатності та однорідності ущільнення. Використовуються механічні методи помелу, зокрема планетарний млин. Після подрібнення проводиться класифікація (ситовий або повітряний поділ) для виділення фракцій необхідного розміру та вилучення грубих агломератів [12].

3. Змішування та гомогенізація шихти. На цьому етапі здійснюється рівномірне змішування всіх компонентів порошкової системи (основний порошок, зв'язуючі добавки, модифікатори структури, пластифікатори). Метою є отримання однорідної шихти з рівномірним розподілом частинок по всьому об'єму. Для цього застосовують барабанні, планетарні або інтенсивні змішувачі. Якість гомогенізації безпосередньо впливає на щільність, мікроструктуру та кінцеві властивості виробу [12].

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Формування заготовки (капсулювання). Капсулювання є ключовим етапом підготовки порошкової заготовки перед гарячим ізостатичним пресуванням (ГПІ), особливо при виготовленні відповідальних керамічних виробів складної форми, таких як сопла з карбіду бору (B_4C). Основною метою цього процесу є створення герметичної оболонки, яка передає ізостатичний тиск рівномірно на порошкову шихту та ізолює її від робочого газового середовища.

Перед капсулюванням порошкова шихта попередньо формується в заготовку (методом легкого пресування або віброущільнення), яка наближається за формою до майбутнього сопла. Це дозволяє зменшити усадку під час подальшого ущільнення та забезпечити більш рівномірну щільність по всьому об'єму виробу [12].

Після цього заготовка поміщається в капсулу, виготовлену з матеріалів, що витримують високі температури та тиск. Найчастіше використовуються металеві оболонки (нержавіюча сталь, нікелеві сплави), скляні капсули або еластомерні форми для попереднього формування. Для сопел складної геометрії капсула виготовляється індивідуально, з максимально точною повторюваністю внутрішнього профілю.

Далі проводиться герметизація капсули — видалення повітря та вологи шляхом вакуумування з наступним запаюванням або зварюванням швів. Це критично важливо, оскільки наявність газових включень може призвести до утворення внутрішніх пор і дефектів у готовому соплі.

Завантаження у ГПІ-установку. На цьому етапі підготовлені капсульовані заготовки або попередньо спресовані вироби завантажуються у робочу камеру гарячого ізостатичного преса. Розміщення здійснюється таким чином, щоб забезпечити рівномірний вплив тиску з усіх боків та уникнути локальних концентрацій навантажень. Важливою умовою є правильна фіксація заготовок у робочій зоні, що запобігає їх зміщенню під час подальшого підвищення тиску і температури [12].

Готова герметична капсула із порошковою заготовкою завантажується в установку гарячого ізостатичного пресування. Під дією високого тиску інертного газу (зазвичай аргону) та температури відбувається рівномірне ущільнення матеріалу по всьому об'єму. Після завершення циклу капсула видаляється механічним або хімічним способом, а отримане сопло проходить остаточну механічну обробку та контроль якості.

Таким чином, капсулювання забезпечує можливість отримання щільних, бездефектних керамічних сопел складної геометрії з високими експлуатаційними характеристиками, включаючи зносостійкість, термостійкість та міцність при ударних навантаженнях.

Створення інертного газового середовища (Ar). Після завантаження робоча камера установки герметизується та заповнюється інертним газом, найчастіше аргонем. Аргон використовується через свою хімічну інертність, що виключає взаємодію з матеріалом заготовки при високих температурах. Створення інертного середовища також запобігає окисненню та деградації як порошкового матеріалу, так і елементів обладнання. Далі система проходить стадію контрольованого підвищення тиску до робочих значень[12, 9].

Нагрівання до температури ГП. Після стабілізації газового середовища здійснюється нагрівання робочої камери до заданої температури процесу. Нагрів відбувається поступово для уникнення термічних напружень у матеріалі. Для карбіду бору температура ГП зазвичай становить 1800–2100 °С, залежно від складу шихти та вимог до кінцевої щільності. Одночасно з підвищенням температури може збільшуватися тиск інертного газу до робочого рівня, що забезпечує рівномірне ізостатичне ущільнення матеріалу по всьому об'єму заготовки.

Ізостатичне газове пресування є основним етапом технології ГП, під час якого на заготовку одночасно діють висока температура та всебічний

рівномірний тиск інертного газу. Після досягнення встановлених параметрів процесу тиск аргону підвищується до робочих значень, зазвичай у межах 100–200 МПа, а температура підтримується на рівні, необхідному для інтенсивного ущільнення матеріалу[12, 9].

На відміну від звичайного гарячого пресування, де навантаження прикладається лише в одному напрямку, під час ГП тиск передається через газове середовище однаково з усіх боків заготовки. Це забезпечує рівномірне ущільнення матеріалу по всьому об'єму виробу незалежно від його форми та розмірів.

Під дією високої температури й ізостатичного тиску відбувається зближення частинок порошку, закриття пор, активація дифузійних процесів та формування міцних міжчастинкових зв'язків. У результаті суттєво зменшується залишкова пористість, підвищується щільність матеріалу та покращуються його механічні властивості.

Для кераміки на основі карбіду бору процес ізостатичного газового пресування дозволяє досягати щільності, близької до теоретичної, що є особливо важливим для виготовлення сопел, які працюють в умовах високих температур, абразивного зношування та значних механічних навантажень. Рівномірний розподіл тиску сприяє формуванню однорідної мікроструктури без внутрішніх дефектів і зон локального ущільнення.

Тривалість етапу ізостатичного пресування визначається характеристиками матеріалу, розмірами виробу та необхідним ступенем ущільнення і зазвичай становить від кількох десятків хвилин до кількох годин. Після завершення процесу система переходить до стадії витримки або контрольованого охолодження при збереженні необхідних параметрів тиску [12, 9].

Витримка при робочих параметрах. Після досягнення необхідних значень температури та тиску здійснюється витримка заготовки при робочих параметрах протягом визначеного часу. Метою цього етапу є

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завершення процесів ущільнення матеріалу, усунення залишкової пористості та стабілізація сформованої структури виробу.

Під час витримки продовжуються дифузійні процеси між частинками порошку, відбувається закриття дрібних пор і мікрodefектів, а також формування міцних міжзернових зв'язків. Завдяки одночасній дії високої температури та ізостатичного тиску досягається максимально можлива щільність матеріалу та підвищується однорідність його мікроструктури.

Для кераміки на основі карбіду бору тривалість витримки підбирається залежно від розмірів виробу, температури процесу та вимог до кінцевих властивостей. Зазвичай вона становить від 30 хвилин до кількох годин. Недостатній час витримки може призвести до збереження залишкової пористості, тоді як надмірна витримка здатна викликати небажане укрупнення зерен та погіршення окремих механічних характеристик [12, 9].

Для сопел із карбіду бору правильно підібрана витримка забезпечує формування щільної та однорідної структури, що сприяє підвищенню зносостійкості, термостійкості та довговічності виробу в умовах експлуатації.

Скидання тиску та розгерметизація. Після завершення витримки та контрольованого охолодження здійснюється поступове зниження тиску в робочій камері установки гарячого ізостатичного пресування. Скидання тиску проводиться за регламентованою швидкістю, щоб уникнути виникнення внутрішніх напружень, мікротріщин або інших дефектів у матеріалі виробу [12, 9].

У процесі розгерметизації інертний газ поступово відводиться з робочої камери до досягнення атмосферного тиску. Контрольований характер цього етапу є особливо важливим для керамічних матеріалів, оскільки різкі перепади тиску можуть негативно вплинути на їхню цілісність та експлуатаційні властивості.

Після повного вирівнювання тиску камера установки відкривається, а оброблені заготовки виймаються для подальших технологічних операцій. Для капсульованих виробів наступним етапом є видалення оболонки та підготовка деталі до остаточної механічної обробки й контролю якості.

Правильне виконання скидання тиску та розгерметизації дозволяє зберегти сформовану під час ГІП щільну мікроструктуру матеріалу та забезпечити відсутність дефектів, що можуть виникнути внаслідок різкої зміни зовнішніх умов.

Видалення капсули. Після завершення процесу гарячого ізостатичного пресування, охолодження виробу та розгерметизації робочої камери здійснюється видалення капсули, яка використовувалася для герметизації порошкової заготовки. Метою цього етапу є вилучення ущільненого виробу з оболонки без пошкодження його поверхні та структури [12, 9].

Спосіб видалення капсули залежить від матеріалу, з якого вона виготовлена. Металеві капсули зазвичай видаляють механічними методами, такими як різання, токарна обробка, фрезерування або шліфування. У деяких випадках можуть застосовуватися хімічні методи, що забезпечують розчинення матеріалу оболонки без впливу на керамічний виріб.

Для сопел із карбіду бору особлива увага приділяється запобіганню механічним пошкодженням під час розкриття капсули, оскільки керамічні матеріали характеризуються високою твердістю та водночас відносно низькою пластичністю. Після видалення оболонки проводиться очищення поверхні від залишків матеріалу капсули та продуктів взаємодії, що могли утворитися під час високотемпературної обробки.

Якісне видалення капсули забезпечує збереження геометричних параметрів сопла, отриманих у процесі гарячого ізостатичного пресування,

та створює необхідні умови для проведення подальшої механічної обробки й контролю якості готового виробу.

Таблиця 1.3 – Підсумкова таблиця порівняння методів

Характеристика	Вільне спікання	Гаряче пресування	Гаряче ізостатичне пресування
Відносна щільність, %	85–92	98–99	99–100
Твердість (HV), ГПа	18–22	28–33	28–33
Точність розмірів	Низька	Середня	Висока
Складність форми	Висока	Проста	Висока
Вартість виробу	Низька	Висока	Дуже висока
Зносостійкість	Задовільна	Висока	Дуже висока
Ресурс роботи (год)	100-250	800-1500	1500-3000
Тріщиностійкість	2,5–3,5	3,5–5,0	4,5–6,0
Міцність при вигині	150–250	300–450	400–600

Незважаючи на те, що метод гарячого ізостатичного пресування (ГІП) забезпечує найвищі показники щільності, міцності та зносостійкості виробів із карбіду бору, його застосування в умовах даного виробництва є економічно недоцільним. Основним стримуючим фактором є висока вартість обладнання, яка для промислових ГІП-установок становить десятки мільйонів гривень. За річної програми випуску близько 12 000 сопел та прогнозованого прибутку підприємства близько 10 млн грн термін окупності такого обладнання є надмірно великим, що суттєво підвищує інвестиційні ризики проєкту.

Крім значних капітальних витрат, технологія ГІП характеризується складністю виробничого процесу. Для проведення обробки необхідне капсулювання заготовок у герметичні металеві оболонки, вакуумування капсул, їх герметизація зварюванням, а після завершення процесу – видалення оболонки. Це збільшує трудомісткість виробництва, тривалість технологічного циклу та потребує додаткового обладнання і персоналу.

Суттєвим недоліком є також обмежена доступність ГП-технології. В Україні практично відсутні спеціалізовані підприємства, які надають послуги гарячого ізостатичного пресування керамічних матеріалів на комерційній основі. Використання закордонних сервісних центрів призводить до додаткових витрат на транспортування, страхування та логістику, а також збільшує тривалість виробничого циклу.

З огляду на зазначені фактори для виготовлення сопел із карбіду бору доцільно використовувати метод гарячого пресування (ГП). Дана технологія забезпечує отримання матеріалу з високою щільністю (98–99% теоретичної), міцністю при вигині 300–450 МПа та тріщиностійкістю $3,5\text{--}5,0 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$, що є достатнім для експлуатації сопел у піскоструминному обладнанні. При цьому гаряче пресування характеризується значно нижчими капітальними витратами, простішим технологічним процесом, відсутністю необхідності капсулювання та більшою доступністю обладнання.

Таким чином, хоча гаряче ізостатичне пресування забезпечує найвищий рівень властивостей матеріалу, для умов даного виробництва оптимальним є застосування гарячого пресування, яке дозволяє отримати високоякісні вироби при значно менших витратах та забезпечує кращу економічну ефективність проєкту.

1.4. Матеріальні розрахунки та баланс матеріалів

Для розрахунку нам необхідно визначити теоретичну масу одного сопла (рис.1.4). Циліндр довжиною $L = 35 \text{ мм}$, зовнішній діаметр $D = 20 \text{ мм}$, внутрішній канал (середній) $d \approx 11 \text{ мм}$ (враховуючи конус від 17 до 6 мм).

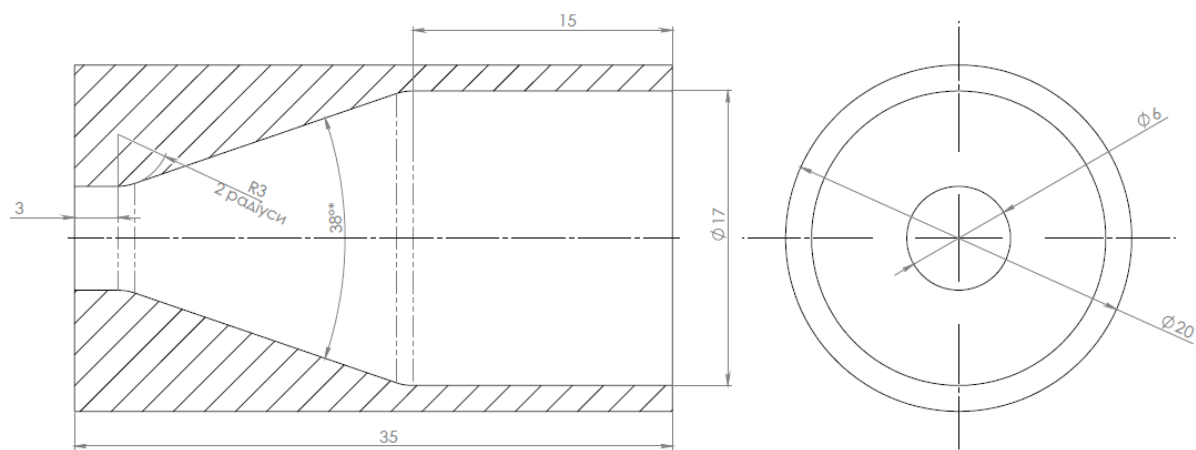


Рисунок 1.6 – Креслення сопла

Матеріал: карбід бору (B_4C).

Теоретична густина: $\rho = 2,52 \text{ г/см}^3$.

Визначення маси готового виробу та заготовки

Розрахуємо об'єм готового виробу (V_g):

$$V_g = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot L$$

$$V_g = \frac{3.14 \cdot (2^2 - 1.1^2)}{4} \cdot 3.5 \approx 7.67 \text{ см}^3$$

Маса готового виробу (m_g):

$$m_g = V_g \cdot \rho$$

$$m_g = 7.67 \cdot 2.52 \approx 19.3 \text{ г}$$

Враховуючи припуски на механічну обробку (алмазне шліфування торців та внутрішнього каналу) та втрати при пресуванні, маса вихідної шихти на один виріб (m_{sh}) буде на 15% більше:

$$m_{sh} = 19.3 \cdot 1.15 \approx 22.2 \text{ г}$$

Загальна потреба сировини (порошку B_4C): 251 кг/рік.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ

Арк.

35

Враховуючи сумарні технологічні втрати при всіх операціях виробництва ($\eta \approx 0.89$), необхідна кількість закупівлі сировини (порошку B_4C):

$$m_0 = 251 / 0.89 \approx 282 \text{ кг/рік} \approx 282 \text{ кг/рік.}$$

Матеріальний баланс є основою для визначення витрат вихідних матеріалів, розрахунку продуктивності технологічного обладнання та встановлення техніко-економічних показників проектного виробництва виробів із карбіду бору.

Для складання матеріального балансу окремих операцій і всього технологічного процесу в цілому вихідним параметром є річна програма випуску продукції, яка згідно із завданням становить:

$$N = 12\,000 \text{ шт/рік}$$

Розрахунки виконуються на основі річного випуску продукції в масовому вираженні та ефективного фонду робочого часу обладнання.

Маса одного виробу (сопла) становить:

$$m = 19,3 \text{ г} = 0,0193 \text{ кг.}$$

Річний випуск продукції в масовому вираженні визначається як добуток кількості виробів на масу одного виробу:

$$G = N \cdot m$$

$$G = 12\,000 \cdot 0,0193 = 231,6 \text{ кг/рік}$$

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У технологічному процесі виготовлення сопел із карбіду бору застосовуються операції підготовки порошкової шихти, її змішування та гомогенізації, формування заготовок, капсулювання та подальшого ущільнення методом гарячого ізостатичного пресування (ГІП), а також фінішної механічної обробки.

Під час виконання зазначених операцій виникають технологічні втрати матеріалу, пов'язані з розсипанням порошку, втратами при транспортуванні, адгезією до обладнання, а також механічною обробкою після спікання.

Для попередніх розрахунків приймається сумарний коефіцієнт технологічних втрат у розмірі:

$$\Delta = 8,8 \%$$

З урахуванням втрат визначається необхідна кількість вихідного порошку, яка забезпечує заданий випуск готової продукції:

$$G_0 = G / (1 - \Delta)$$

$$G_0 = 231,6 / 0,88 = 263,18 \text{ кг/рік}$$

Таким чином, для забезпечення річної програми випуску 12 000 сопел із карбіду бору необхідно близько 263 кг вихідного порошку В₄С на рік. Різниця між масою вихідної шихти та готової продукції становить технологічні втрати, які складають 19,4 кг/рік.

Отримані результати використовуються як вихідні дані для подальшого розрахунку матеріального балансу за окремими стадіями

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічного процесу, а також для підбору обладнання та визначення економічної ефективності виробництва.

Таблиця 1.4 – Баланс часу роботи цеху

№	Елемент балансу	Кількість днів
1	Календарне число днів	365
2	Час на планово-попереджувальний ремонт	12
3	Загальнопланові свята	9
4	Вихідні дні	104
5	Неробочі дні цеху	125
6	Робочі дні цеху n	240

Визначення добової продуктивності.

Визначивши кількість робочих днів, розраховуємо добову продуктивність цеху за готовою продукцією:

$$A = \frac{G}{n}$$

де G річний випуск продукції, шт.; n – к-сть робочих днів на рік.

$$A = \frac{231,6}{240} = 0,965 \text{ кг/добу}$$

У процесі переробки сировини мають місце втрати як технологічні, так і механічні, тому для визначення добової продуктивності вводити матеріали в процес потрібно з деяким надлишком для компенсації цих втрат. Річ у тім, що на кожному виробництві мають місце втрати, зумовлені різними причинами.

Такі втрати належать до технологічних. В іншому випадку втрати можуть бути зумовлені пилевиділенням, виникненням браку та ін. Такі втрати належать до механічних. Як правило, технологічні втрати є незворотними. Механічні втрати можуть бути незворотними та зворотними. Якщо втрати можна повернути в технологічний процес безпосередньо або після відповідної переробки, запланованої на підприємстві, то такі втрати є зворотними. У технологічній схемі вказано, на яку операцію повертаються ці втрати. У зв'язку з тим, що під час переробки вихідної сировини мають місце втрати, враховуємо їх шляхом визначення виходу придатного ф. Обчисливши вихід придатного, можна визначити кількість матеріалу, яка має надходити на початок процесу з урахуванням втрат.

Поопераційні втрати

Таблиця 1.5 – ефіцієнти виходу по операціях

Операція	η , %	Втрати, %
Підготовка вихідних матеріалів	99,5	0,5
Подрібнення (помел) порошку B_4C	97,0	3,0
Змішування та гомогенізація шихти	98,5	1,5
Формування (холодне пресування заготовок)	96,0	4,0
Завантаження у графітову прес-форму	99,0	1,0
Вакуумування / інертна атмосфера (Ar)	99,5	0,5
Нагрівання до температури ГП	99,0	1,0
Гаряче пресування (1800–2100 °C, 30–40 МПа)	97,5	2,5
Витримка при робочих параметрах	99,0	1,0
Контрольоване охолодження	98,5	1,5
Механічна обробка	94,0	6,0
Розвантаження та контроль якості	99,0	1,0

Таблиця 1.6 – Матеріальний баланс по операціях (річний)

Операція	Вхід, кг/рік	Вихід, кг/рік	Втрати, кг/рік
Підготовка вихідних матеріалів	263,18	261,86	1,32
Подрібнення (помел) порошку В ₄ С	261,86	254,02	7,84
Змішування та гомогенізація шихти	254,02	250,00	4,02
Завантаження у графітову прес-форму	240,50	238,10	2,40
Вакуумування / інертна атмосфера (Ar)	238,10	236,92	1,18
Нагрівання до температури ГП	236,92	233,80	3,12
Гаряче пресування (1800–2100 °С, 30–40 МПа)	233,80	228,00	5,80
Витримка при робочих параметрах	228,00	224,80	3,20
Механічна обробка	212,00	231,60	19,60

Висновок щодо зворотних і незворотних втрат

У технологічному процесі виготовлення сопел з карбіду бору (В₄С) втрати матеріалу поділяються на зворотні та незворотні залежно від можливості їх повторного використання у виробництві.

Зворотні втрати становлять 31,58 кг/рік. До них відноситься матеріал, який може бути повернутий у технологічний процес без втрати основних властивостей. У даному виробництві це переважно дрібнодисперсний порошок, що утворюється на стадії пресування (ГП), а також залишки порошкової шихти після видалення капсули.

Такий матеріал після просіву та підготовки може бути повторно введений у стадію змішування, що дозволяє зменшити витрати свіжої сировини та підвищити коефіцієнт використання матеріалу.

Незворотні втрати становлять 31,58 кг/рік. До них належать втрати, які не можуть бути повторно використані у виробничому циклі через зміну структури або забруднення матеріалу.

Це, зокрема, пилові втрати при подрібненні, змішуванні та класифікації порошку, адгезійні втрати при капсулюванні, а також втрати, що виникають під час спікання та механічної обробки виробів. Окрему частку становить брак, виявлений на стадії контролю якості, який не підлягає повторному використанню.

1.5. Вибір та розрахунок кількості обладнання

Обладнання для дозування та розмелювання

Операцію дозування будемо проводити на технічних вагах. Допустима похибка ваг – 0,01.

Першою ланкою в ланцюгу виробництва є ділянка підготовки шихти. Для отримання високощільної кераміки критично важливо забезпечити однорідність суміші та мінімальний розмір зерна. Вибір зупинено на планетарному млині високої енергонапруженості. На відміну від звичайних кульових млинів, планетарний принцип дозволяє досягти подрібнення до субмікронного рівня за короткий проміжок часу. Враховуючи, що для одного замісу масою 5 кг (що еквівалентно приблизно 220 заготовкам) потрібно близько 2 годин, один такий млин з запасом перекриває потреби дільниці навіть при роботі в одну зміну.

Для реалізації обраного технологічного процесу гарячого пресування вибрано наступний комплекс основного обладнання:

Для забезпечення річної програми виробництва 12 000 виробів масою 19.3 г необхідна продуктивність подрібнення порошку карбиду бору на рівні близько 1 кг/добу. З урахуванням властивостей матеріалу (висока твердість та абразивність) доцільним є використання планетарного млина промислового класу, наприклад RETSCH PM 400, що забезпечує достатню продуктивність при отриманні субмікронного порошку, необхідного для подальшого ГП-ущільнення

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначений для надтонкого подрібнення та гомогенізації порошку карбіду бору. Він здатен забезпечити високу енергію подрібнення завдяки відцентровим силам. Це дозволяє отримати субмікронний порошок, що критично для усунення пористості.



Рисунок 1.7 – Планетарний млин RETSCH PM 400 [13]

Таблиця 1.7 – технічні характеристики планетарного млина RETSCH PM 400

Параметр	Значення
Застосування	подрібнення, змішування, гомогенізація, колоїдне подрібнення, механічне легування, механосинтез, наноподрібнення
Області застосування	біологія, геологія/металургія, машинобудування/електроніка, медицина/фармацевтика, довкілля/переробка, сільське господарство, скло/кераміка, будматеріали, хімія
Вихідний матеріал	м'який, твердий, крихкий, волокнистий (сухий або вологий)
Принцип подрібнення	удар, стирання (тертя)
Максимальний розмір часток	< 10 мм
Кінцева тонкість	< 1 мкм (до < 0,1 мкм при колоїдному помелі)

Корисний об'єм / завантаження	макс. 4 × 220 мл або 8 × 20 мл (stacked jars)
Кількість розмелювальних місць	4 / 2
Співвідношення швидкостей	1 : -2 / -2,5 / -3
Швидкість планетарного диска	30 – 400 об/хв
Ефективний діаметр диска	300 мм
“Перезавантаження” (відцентрове перезавантаження)	26,8 g
Тип розмелювальних стаканів	comfort jars, додаткові захисні кришки
Матеріал розмольної гарнітури	загартована сталь, нержавіюча сталь, карбід вольфраму, агат, спечений корунд, нітрид кремнію, оксид цирконію
Розміри стаканів	12 / 25 / 50 / 80 / 125 / 250 / 500 мл
Час подрібнення	00:00:01 – 99:59:59 (цифрове керування)
Інтервальний режим	так, зі зміною напрямку обертання
Інтервали / паузи	00:00:01 – 99:59:59
Кількість програм	до 10
Вимірювання енергії	так
Інтерфейси	RS 232 / RS 485
Привід	3-фазний асинхронний двигун з частотним перетворювачем
Потужність приводу	1,5 кВт
Споживана потужність	~2100 Вт
Електроживлення	різні напруги
Тип мережі	1-фазна
Ступінь захисту	IP 30
Габарити (Ш×В×Г)	836 × 1220 (1900) × 780 мм
Маса нетто	290 кг
Стандарти	CE
Патент / безпека	SafetySlider (DE 202008008473)

Обладнання для просіву та сушіння

Для лабораторного контролю гранулометричного складу порошків та

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

підтвердження відповідності партій вимогам технічних умов доцільно використовувати вібраційний лабораторний просіювач Retsch AS 200 basic. Його застосовують для контрольного ситового аналізу і порівняння фактичного гранулометричного складу з заданими вимогами.



Рисунок 1.8 – Лабораторний вібраційний просіювач Retsch AS 200 basic [14]

Вакуумна сушильна шафа СВ-50 призначена для видалення вологи та легких компонентів із порошкових матеріалів і сформованих керамічних заготовок перед високотемпературними процесами, зокрема гарячим пресуванням.

Сушіння здійснюється в умовах зниженого тиску, що дозволяє ефективно видаляти адсорбовану та капілярну вологу при відносно низьких температурах без окиснення матеріалу. Це особливо важливо для карбіду бору (B_4C), оскільки залишкова волога може призводити до утворення газових включень і дефектів структури під час ГП-ущільнення.



Рисунок 1.9 – Сушильна шафа вакуумна СВ-50

Таблиця 1.8 – технічні характеристики сушильної шафи вакуумної СВ-50

Параметр	Значення
Тип обладнання	Вакуумна сушильна шафа
Модель	СВ-50
Робочий об'єм камери	~50 л
Максимальна температура нагріву	до 200 °C
Робочий тиск (вакуум)	до ~2–5 мбар
Тип сушіння	Кондуктивне + вакуумне
Середовище	Вакуум / інертний газ (опціонально)
Контроль температури	Автоматичний терморегулятор
Рівномірність нагріву	Примусова або кондуктивна (залежно від виконання)
Призначення	Сушіння порошків і керамічних заготовок
Матеріали обробки	Керамічні порошки (В ₄ С), шихти, формовані вироби

Вакуумна сушильна шафа СВ-50 забезпечує ефективне видалення вологи з керамічних заготовок перед процесом гарячого ізостатичного пресування. Використання вакууму дозволяє знизити температуру випаровування вологи, що запобігає структурним дефектам і покращує якість кінцевого ущільненого матеріалу.

Для забезпечення рівномірної гомогенізації порошкових матеріалів перед операцією формування заготовок у процесі гарячого пресування (ГП) застосовуються змішувачі періодичної дії. Їх основною функцією є отримання

однорідної суміші порошків карбіду бору (B_4C) з можливими добавками пластифікаторів або технологічних зв'язуючих.

У даному технологічному процесі доцільно використовувати V-подібні (V-type) змішувачі, які забезпечують м'яке перемішування за рахунок об'ємного пересипання матеріалу без використання інтенсивних механічних органів. Це дозволяє мінімізувати руйнування частинок, запобігти сегрегації та забезпечити стабільну якість суміші, що є критично важливим для подальшого ізостатичного ущільнення.



Рисунок 1.10– V-подібний порошковий змішувач лабораторії Cell Lab

Таблиця 1.9 – технічні характеристики V-подібний порошковий змішувач лабораторії Cell Lab

Параметр	CL0369
Об'єм контейнера, L	10
Робочий (змішувальний) об'єм, L	5
Швидкість обертання, RPM	10–50
Потужність, кВт	0.37
Габарити (Д×Ш×В), мм	1060 × 410 × 890

Маса, кг	80
Напруга	220 V / 50 Hz

Обладнання для пресування та спікання

Для гарячого пресування карбіду бору використовується графітова прес-форма, виготовлена з високощільного ізостатичного графіту. Прес-форма складається з графітової матриці, верхнього та нижнього пуансонів і забезпечує передачу тиску 30–40 МПа при температурах до 2100 °С у вакуумі або атмосфері аргону. Внутрішні поверхні прес-форми покриваються нітридом бору для запобігання взаємодії карбіду бору з графітом та полегшення виймання виробу.



Рисунок 1.13– V-подібній порошковий змішувач лабораторії Cell Lab

Таблиця 1.10 – технічні характеристики V-подібній порошковий змішувач лабораторії Cell Lab

Функція	Роль у процесі спікання	Вплив на карбід бору
Трансмісія під тиском	Передає гідравлічну силу (30–40 МПа) безпосередньо на порошок	Забезпечує високе ущільнення та зменшення пористості

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Визначення геометрії	Формує та утримує порошкову заготовку в заданій формі	Визначає кінцеві розміри та точність виробу
Термічна регуляція	Забезпечує рівномірну теплопередачу в зоні спікання	Зменшує термічні градієнти та ризик тріщин
Структурна стійкість	Зберігає механічну міцність при температурах до 2000–2100 °C	Забезпечує стабільність процесу гарячого пресування
Антиадгезійна функція (з BN-покриттям)	Запобігає прилипанню порошку до графіту	Полегшує виймання виробу та знижує дефекти поверхні

Для ущільнення порошкових заготовок карбіду бору (B_4C) у даному технологічному процесі використовується установка гарячого пресування вакуумного типу KJ-V2200-160G Vacuum Hot Press Furnace. Дане обладнання відноситься до класу вакуумних гарячепресових печей, які забезпечують одночасну дію високої температури, тиску та контрольованого вакуумного середовища.

Використання гарячого пресування дозволяє поєднати процеси спікання та ущільнення в одному технологічному циклі, що суттєво зменшує кількість операцій у порівнянні з класичним вільним спіканням. Це забезпечує отримання щільної керамічної структури з мінімальною пористістю та високими механічними характеристиками.

Процес здійснюється у графітовій оснастці в умовах вакууму або інертного газу. Одночасна дія температури та тиску забезпечує інтенсивне ущільнення порошкової шихти та формування кінцевих властивостей матеріалу, що є критично важливим для експлуатації сопел у абразивних середовищах.

У виробництві сопел із карбіду бору дане обладнання виконує ключову роль завершального етапу формування матеріалу, забезпечуючи досягнення високої щільності (до 98–99% теоретичної) та стабільних експлуатаційних характеристик.



Рисунок 1.15 – KJ-V2200-160G Vacuum Hot Press Furnace

Таблиця 1.11 – технічні характеристики

Параметр	Значення
Модель	KJ-V2200-160G Vacuum Hot Press Furnace
Тип	Установка гарячого пресування вакуумного типу
Максимальна температура	до 2200 °C
Робочий тиск	20–50 МПа
Робоча зона	Ø160 × 160 мм
Середовище процесу	Вакуум / інертний газ (Ar, N ₂)
Рівень вакууму	~10 ⁻³ Pa
Тип нагріву	Графітові нагрівальні елементи
Режим роботи	Циклічний (batch process)
Система керування	PLC автоматизована система
Охолодження	Водяне охолодження корпусу

Обладнання для механічної обробки

Після завершення стадії гарячого пресування заготовки з карбіду бору (B_4C) мають високу щільність, однак не відповідають кінцевим вимогам до геометричної точності та шорсткості поверхні. У зв'язку з високою твердістю матеріалу ($B_4C \approx 9,5\text{--}9,7$ за шкалою Мооса) традиційні методи механічної обробки непридатні, тому застосовуються алмазні абразивні технології.

Фінішна механічна обробка включає калібрування зовнішньої геометрії виробу та формування внутрішнього каналу сопла діаметром 6 мм. Основним завданням даного етапу є забезпечення високої точності розмірів, стабільності геометрії та зниження шорсткості робочих поверхонь, що безпосередньо впливає на рівномірність струменя абразиву під час експлуатації.

Для обробки надтвердих керамічних матеріалів використовується спеціалізований CNC алмазно-шліфувальний верстат, який забезпечує багатокоординатну обробку та високу повторюваність параметрів у серійному виробництві. Використання алмазного інструменту дозволяє ефективно обробляти карбід бору без руйнування структури матеріалу.

Застосування CNC-обладнання є критично важливим для забезпечення серійного виробництва сопел у кількості 12 000 шт/рік, оскільки дозволяє мінімізувати людський фактор, підвищити стабільність якості та забезпечити високу продуктивність фінішної обробки.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.9 – BT-150N 3-Axis CNC Diamond Tool Grinding Machine

Таблиця 1.12 – технічні характеристики BT-150N 3-Axis CNC Diamond Tool Grinding Machine

Найменування обладнання	Призначення	Примітка
BT-150N 3-Axis CNC Diamond Tool Grinding Machine	Фінішна механічна обробка виробів із карбіду бору; калібрування зовнішньої геометрії та внутрішнього каналу сопла	Використання алмазного інструменту; обробка надтвердих матеріалів (B ₄ C, SiC, WC)
Алмазні шліфувальні крути та інструмент	Знімання матеріалу при обробці карбіду бору; формування точних розмірів	Підбір зернистості залежно від стадії обробки
Система подачі СОЖ (охолоджуючої рідини)	Охолодження зони різання та зменшення зносу інструменту	Водна або спеціальна емульсія для керамік
Вимірювальні засоби (мікрометри, калібри, нутроміри)	Контроль геометричних параметрів виробів після механічної обробки	Контроль точності $\pm 0,01 - 0,05$ мм
Ультразвукова мийна установка	Очищення виробів після шліфування від абразиву та графітових залишків	Підготовка до фінального контролю якості

2. БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

У процесі проектування ділянки на підприємстві порошкової металургії особливу увагу слід звернути на планування. Згідно з будівельними нормами і правилами (БНіП), санітарними і протипожежними нормами проектування промислових підприємств, підприємство повинно розташовуватись на промисловому майданчику.

2.1 Архітектурно-планувальні параметри ділянки

Сучасне промислове будівництво базується на принципах уніфікації та типізації конструктивних рішень, що передбачає широке застосування стандартних збірних елементів. Використання таких конструкцій дозволяє значно спростити процес зведення будівель, скоротити терміни монтажу та зменшити загальну вартість будівництва. При цьому важливим є обмеження номенклатури типорозмірів будівельних елементів з метою підвищення ефективності їх виробництва та монтажу.

Архітектурно-планувальні параметри промислових будівель визначаються на основі єдиної модульної системи, що використовує базовий модуль 100 мм. Такий підхід дозволяє стандартизувати геометричні розміри конструктивних елементів, включаючи крок колон, висоту приміщень та пролітні характеристики будівельних споруд, а також забезпечує сумісність із технологічним обладнанням.

Формування промислових об'єктів здійснюється із застосуванням типових розмірних схем і уніфікованих конструктивних рішень, що забезпечує раціональну організацію виробничого простору та можливість ефективного розміщення технологічного обладнання.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ				
Розроб.		Морозов О.М.							
Перевір.		Солодкий Є.В							
Реценз.									
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.							
Затверд.		Богомол Ю. І.							
					Літ.	Арк.	Аркушів		
						52	112		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321				

У проектуванні виробничих будівель для підприємств порошкової металургії доцільним є використання збірних залізобетонних або металевих каркасних конструкцій. Такі елементи широко представлені у стандартних каталогах будівельних виробів і дозволяють реалізувати економічно доцільні архітектурні рішення.

Зовнішні огорожувальні конструкції промислових будівель зазвичай виконуються із залізобетонних або легкобетонних панелей. Вони можуть застосовуватись як у опалюваних, так і в неопалюваних приміщеннях незалежно від типу каркасу. Найпоширеніший крок колон становить 6 м, а висота стінових панелей приймається на рівні 1,2 м.

Під час проектування світлопрозорих конструкцій враховується вплив надмірного засклення на тепловий режим будівлі, оскільки воно може призводити до перегріву в літній період та підвищених тепловтрат узимку. Розміри віконних прорізів приймаються у стандартизованих габаритах, кратних 3200 мм по ширині та 4000 мм по висоті.

Для забезпечення транспортної доступності всередині виробничої будівлі передбачаються ворота, параметри та кількість яких визначаються технологічною схемою виробництва. Їх габарити також уніфіковані та приймаються кратними 600 мм. Для даної ділянки прийнято розміри воріт $3,6 \times 4,2$ м, що забезпечує проїзд внутрішньоцехового транспорту.

Дверні прорізи у промислових будівлях проектуються одно- або двостулковими, залежно від функціонального призначення. Стандартизовані розміри передбачають ширину 1,0–2,0 м та висоту 1,8–2,4 м. Їх розташування визначається вимогами безпеки та забезпеченням евакуації персоналу.

Для організації внутрішньоцехового транспортування матеріалів передбачаються проїзди шириною 4,0 м, що забезпечує безпечне переміщення сировини, напівфабрикатів та готової продукції між технологічними зонами.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проектована діляниця з виробництва виробів із порошкових матеріалів включає склад сировини, підготовче відділення, де здійснюються операції подрібнення, змішування та просіювання, формувальну ділянку для холодного пресування, термічну зону для гарячого пресування у вакуумній установці, а також ділянку механічної обробки та контролю якості готової продукції.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Людина та її здоров'я – найбільша цінність Української держави. Держава докладає великих зусиль, створюючи умови безпечної життєдіяльності людини як в навколишньому середовищі, так і в середовищі праці [16]. Завдання охорони праці – забезпечення безпечних, нешкідливих і сприятливих умов праці через вирішення багатьох складних завдань. Вирішальне значення в розв'язанні цих завдань має науково-технічний прогрес. Використання досягнень науки та техніки сприяє підвищенню рівня безпеки праці, культури та організації виробництва, дозволяє полегшити працю, підсилити її привабливість.

Законодавчими актами, що визначають основні положення про охорону праці, є загальні закони України, а також спеціальні законодавчі акти. До загальних законів, що визначають основні положення про охорону праці належать: Конституція України [17], Закони України «Про охорону праці» [18], «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку», «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», Кодекс законів про працю України (КЗпП).

В основному законі України – Конституції питанням охорони праці присвячені статті 43, 45 та 46. На підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку (ст.15 Закону України «Про охорону праці»).

					РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Морозов О.М..					
Перевір.		Солодкий Є.В.			Літ. Арк. Аркуші 55 112 НТУУ «КПІ» Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321мп		
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю, який зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці ст.13. України «Про охорону праці».

3.1 Аналіз параметрів приміщення

Виробнича дільниця з виготовлення керамічних виробів на основі карбиду бору методом гарячого пресування розміщується у виробничому приміщенні загальною площею 540 м². Планування цеху передбачає раціональне розміщення виробничих, складських та допоміжних зон, що забезпечує послідовність технологічного процесу та мінімізацію внутрішніх транспортних переміщень сировини, напі вфабрикатів і готової продукції [18].

Отже, приміщення за геометричними параметрами відповідає основним вимогам до будівель виробничого призначення за ДБН В.2.2-43:2021 [17], де на одну людину повинно приходиться не менше 6 м² площі та 20 м³ об'єму. Проектування кольорового рішення інтер'єру виробничих приміщень виконуються у відповідності до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [18].

До складу дільниці входять складські приміщення для зберігання вихідної сировини та готової продукції, виробничі відділення підготовки та змішування шихти, формування виробів методом гарячого пресування, механічної обробки та термічної обробки, а також приміщення технічного контролю, кімната майстра і коридори для внутрішнього сполучення між зонами. Така структура забезпечує логічну послідовність операцій технологічного процесу та зменшує непродуктивні витрати часу на транспортування матеріалів.

Умови виробничого середовища в цеху визначаються специфікою технології виготовлення кераміки на основі В₄С, яка включає роботу з

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

дисперсними порошковими матеріалами, високотемпературне пресування та механічну обробку твердих виробів. У зв'язку з цим основними факторами виробничого середовища є підвищена запиленість повітря в зонах подрібнення та змішування порошків, значне тепловиділення в зоні гарячого пресування та спікання, а також підвищений рівень шуму від роботи млинів, пресового обладнання та механічних верстатів.

Параметри мікроклімату у виробничих приміщеннях повинні підтримуватися відповідно до санітарно-гігієнічних вимог. Оптимальними вважаються температура повітря в межах 18–22 °С, відносна вологість 40–60 % та швидкість руху повітря 0,2–0,5 м/с у робочій зоні. Підтримання зазначених параметрів здійснюється за рахунок системи загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції та локальних відсмоктувачів у місцях інтенсивного утворення пилу і тепла [18].

Освітлення виробничих приміщень передбачається комбінованим, тобто загальним та місцевим. Рівень освітленості встановлюється залежно від характеру виконуваних робіт і відповідає вимогам для механічної обробки, складських приміщень та допоміжних зон. Загальне освітлення забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку по всій площі цеху та створює необхідні умови для безпечного і якісного виконання виробничих операцій.

Таким чином, прийняті планувальні рішення та організація виробничого простору забезпечують дотримання вимог охорони праці, раціональну організацію технологічного процесу та створення безпечних і комфортних умов праці для персоналу [18].

3.2 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення виробничих приміщень дільниці з виготовлення керамічних виробів на основі карбіду бору методом гарячого пресування є одним із

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

важливих факторів, що впливають на безпеку праці, точність виконання технологічних операцій та загальну продуктивність праці персоналу.

Зримі роботи, які виконуються на ділянці мають другий розряд і відносяться до роботи середньої точності згідно з ДБН В.2.5–28–2006 [20].

У виробничому процесі використовуються різні за характером зорові роботи, зокрема контроль порошкових матеріалів, обслуговування пресового обладнання, механічна обробка виробів, а також виконання операцій технічного контролю. У зв'язку з цим до системи освітлення висуваються підвищені вимоги щодо рівномірності світлового потоку та достатнього рівня освітленості робочих зон.

Освітлення у цеху прийнято комбінованим, тобто таким, що складається із загального та місцевого освітлення. Загальне освітлення забезпечує рівномірне освітлення всієї площі виробничих і допоміжних приміщень, тоді як місцеве використовується безпосередньо в зонах виконання точних або відповідальних операцій, зокрема на ділянці механічної обробки та технічного контролю.

Рівень освітленості приймається відповідно до характеру зорових робіт. Для ділянок механічної обробки та контролю якості передбачено підвищені норми освітленості, оскільки ці операції вимагають високої точності та візуального контролю поверхні виробів. Для складських приміщень та допоміжних зон допускається нижчий рівень освітленості, достатній для безпечного пересування персоналу та виконання допоміжних операцій.

Загальна площа виробничої ділянки становить 540 м², що зумовлює необхідність рівномірного розміщення світильників для уникнення зон недостатнього або надмірного освітлення. Особлива увага приділяється забезпеченню освітлення у відділеннях підготовки шихти, гарячого пресування та механічної обробки, оскільки саме в цих зонах зосереджені основні технологічні операції.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Для забезпечення нормативних умов освітлення використовуються світлодіодні або люмінесцентні світильники промислового типу, які забезпечують достатню світлову віддачу, енергоефективність та рівномірність світлового потоку. Крім того, передбачається використання захисних розсіювачів та пилозахисних корпусів світильників, що є особливо важливим у зонах з підвищеною запиленістю.

Таким чином, прийнята система освітлення виробничої ділянки забезпечує відповідність санітарно-гігієнічним вимогам, створює безпечні умови праці та сприяє підвищенню точності і якості виконання технологічних операцій.

3.3 Аналіз шуму та вібрації

Шум утворює значне навантаження на нервову систему людини, призводячи на неї психологічний вплив. При перевищенні звуком порогу больової чутливості ($I = 120\text{--}130$ дБ), виникають сильні болі й ушкодження в слуховому апараті. Нормування шуму здійснюється відповідно ДСН 3.3.6.037–99 [21]. Згідно цих норм загальний рівень шуму в приміщенні лабораторії не повинен перевищувати 80 дБ.

У виробничому процесі виготовлення керамічних виробів на основі карбиду бору методом гарячого пресування одним із суттєвих шкідливих факторів є виробничий шум та вібрація, які виникають під час роботи технологічного обладнання.

Основними джерелами шуму у виробничій ділянці є кульові млини, змішувачі, вібросита, гідравлічний прес, обладнання механічної обробки, а також допоміжні вентиляційні установки. Найвищий рівень шумового навантаження спостерігається у зонах подрібнення та класифікації порошків, а також у відділенні механічної обробки, де працює ріжучий інструмент.

Рівень шуму на робочих місцях залежить від типу обладнання та режиму його роботи і може досягати значень, що перевищують допустимі санітарні

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

норми для тривалого впливу. У зв'язку з цим передбачено комплекс заходів щодо зниження шумового навантаження, який включає застосування шумопоглинаючих матеріалів, встановлення обладнання на віброізолюючі основи, а також розміщення найбільш шумного обладнання в окремих ізольованих приміщеннях.

Вібраційний вплив у виробничих умовах виникає переважно під час роботи механічного обладнання, зокрема млинів, пресів та верстатів механічної обробки. Вібрація передається через опорні конструкції та може впливати як на обладнання, так і на персонал при тривалому контакті.

Для зниження рівня вібрації передбачаються конструктивні та організаційні заходи, зокрема встановлення обладнання на амортизуючі основи, застосування віброізоляційних прокладок, а також регулярне технічне обслуговування машин з метою недопущення розбалансування рухомих частин.

Крім технічних заходів, важливе значення має раціональне планування виробничих приміщень, яке передбачає відокремлення найбільш шумних і віброактивних ділянок від робочих місць персоналу, що не бере безпосередньої участі у виконанні відповідних операцій.

Для захисту персоналу від впливу шуму застосовуються індивідуальні засоби захисту органів слуху, зокрема протишумові навушники або беруші, а також регламентується тривалість перебування працівників у зонах підвищеного шумового навантаження.

Таким чином, реалізація комплексу технічних та організаційних заходів дозволяє знизити рівень шуму та вібрації до допустимих значень, забезпечити безпечні умови праці та зменшити ризик професійних захворювань працівників.

3.4 Аналіз загазованості та запиленості

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

У виробничому процесі виготовлення керамічних виробів на основі карбіду бору методом гарячого пресування одним із основних шкідливих виробничих факторів є запиленість повітря робочої зони, що виникає на етапах підготовки, подрібнення та змішування порошкових матеріалів.

Основним джерелом пилу є робота кульових млинів, вібросит та змішувачів, під час яких відбувається інтенсивне диспергування порошку карбіду бору. Додаткове пилоутворення можливе під час транспортування та дозування порошкових компонентів, а також при завантаженні їх у технологічне обладнання.

Пил карбіду бору належить до дрібнодисперсних частинок, які можуть тривалий час перебувати в повітрі у зваженому стані, що підвищує ризик його вдихання персоналом. Тривалий вплив пилу може викликати подразнення дихальних шляхів, тому контроль запиленості є обов'язковою умовою безпечної експлуатації виробництва.

Загазованість виробничого середовища у даному технологічному процесі є незначною, оскільки основні операції не супроводжуються виділенням токсичних газів або парів. Незначні газоподібні домішки можуть утворюватися лише у зоні високотемпературного спікання або гарячого пресування внаслідок можливого термічного розкладу залишкових зв'язуючих або домішок у шихті. Проте їх концентрація, як правило, не перевищує допустимих рівнів за умови правильно організованої вентиляції.

Для зниження запиленості у виробничих приміщеннях передбачено комплекс технічних заходів, що включає герметизацію обладнання, використання закритих систем транспортування порошків, а також застосування місцевих відсмоктувачів безпосередньо у зонах найбільш інтенсивного пилоутворення. Додатково передбачається загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція, яка забезпечує постійне оновлення повітряного середовища у виробничих приміщеннях.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим заходом є також використання індивідуальних засобів захисту органів дихання персоналом, зокрема фільтруючих респіраторів, що дозволяє додатково знизити вплив пилу на організм працівників.

Таким чином, за умови дотримання передбачених організаційних та технічних заходів рівень запиленості та загазованості у виробничій дільниці підтримується в межах допустимих санітарних норм, що забезпечує безпечні умови праці персоналу.

3.5 Аналіз систем вентиляції та кондиціонування приміщення

Стандарт ДБН В.2.5-67:2013 [22] встановлює вимоги до систем вентиляції та кондиціонування приміщень для виробництва порошкових магнітних матеріалів.

У виробничій дільниці з виготовлення керамічних виробів на основі карбиду бору методом гарячого пресування підтримання нормативних параметрів повітряного середовища є одним із ключових факторів забезпечення безпечних і комфортних умов праці. Це обумовлено наявністю пиловиділення під час роботи з порошковими матеріалами, тепловиділенням від технологічного обладнання, а також підвищеними вимогами до чистоти повітря у зонах формування та термічної обробки виробів.

Для забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних умов у виробничих приміщеннях передбачено систему припливно-витяжної вентиляції з механічним спонуканням руху повітря. Дана система забезпечує організований повітрообмін у всіх зонах цеху та дозволяє підтримувати концентрацію шкідливих речовин у межах допустимих значень.

Особлива увага приділяється місцям інтенсивного пилоутворення, зокрема відділенню подрібнення, змішування та транспортування порошоків. У цих зонах застосовуються місцеві відсмоктувачі, які встановлюються

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо над джерелами виділення пилу та забезпечують його локальне видалення до потрапляння у робочу зону.

У відділенні гарячого пресування та термічної обробки передбачено відведення надлишкового тепла за рахунок посиленої витяжної вентиляції, що дозволяє знизити теплове навантаження на персонал та підтримувати нормативні параметри мікроклімату. У складських і допоміжних приміщеннях застосовується загальнообмінна вентиляція з меншою інтенсивністю повітрообміну.

Кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях передбачається переважно для адміністративно-побутових зон, зокрема кімнати майстра та відділу технічного контролю, де необхідно підтримувати стабільні параметри температури та вологості для забезпечення комфортних умов роботи персоналу та точності контрольних операцій.

Система вентиляції працює в поєднанні з пиловловлювальними пристроями та фільтраційними елементами, що дозволяє зменшити забруднення повітря та запобігти поширенню пилу між окремими виробничими зонами. Рух повітря організовано таким чином, щоб забезпечити спрямований потік від чистіших зон до більш забруднених, що додатково підвищує ефективність повітрообміну.

Таким чином, прийнята система вентиляції та кондиціонування забезпечує підтримання нормативних параметрів повітряного середовища, зниження концентрації пилу та теплового навантаження, а також створює безпечні та комфортні умови праці для персоналу виробничої дільниці.

3.6 Аналіз інфрачервоного випромінювання

У виробничій дільниці з виготовлення керамічних виробів на основі карбіду бору методом гарячого пресування значним шкідливим виробничим

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

фактором є інфрачервоне (теплове) випромінювання, яке виникає внаслідок роботи високотемпературного обладнання.

Основним джерелом інфрачервоного випромінювання є установка гарячого пресування, а також печі спікання, у яких температура робочих елементів досягає високих значень. Додаткове теплове випромінювання може виникати від нагрітих поверхонь обладнання, заготовок та елементів технологічного оснащення.

Інфрачервоне випромінювання впливає на організм працівників шляхом теплового навантаження, що може призводити до перегрівання організму, підвищеної втомлюваності, зниження працездатності та погіршення загального самопочуття при тривалому перебуванні у зоні його дії.

Рівень теплового випромінювання залежить від температури обладнання, тривалості його роботи та відстані до джерела випромінювання. Найбільш небезпечними зонами є робочі місця обслуговування гарячого преса та печей спікання, де концентрація теплового навантаження є максимальною.

Для зниження впливу інфрачервоного випромінювання передбачено комплекс технічних та організаційних заходів. До технічних заходів належить застосування теплоізоляційних матеріалів для екранування нагрітих поверхонь обладнання, встановлення захисних екранів, а також автоматизація процесів гарячого пресування та термічної обробки, що дозволяє зменшити необхідність безпосереднього перебування персоналу поблизу джерел тепла.

Організаційні заходи включають раціональне розміщення робочих місць з урахуванням віддаленості від джерел теплового випромінювання, регламентовані перерви у роботі персоналу, а також обмеження часу перебування у зонах підвищеного теплового навантаження.

Додатково для захисту працівників можуть застосовуватися індивідуальні засоби захисту, такі як спеціальний теплозахисний одяг, що зменшує вплив інфрачервоного випромінювання на організм людини.

Таким чином, реалізація комплексу технічних та організаційних заходів дозволяє знизити рівень впливу інфрачервоного випромінювання до допустимих значень та забезпечити безпечні умови праці у виробничій дільниці.

Завдяки застосуванню теплоізоляції, захисту обмеженням часом перебування людини в зоні інфрачервоного випромінювання і відстанню до джерела випромінювання, умови праці в дільниці відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042–99 [22].

3.7 Електробезпека

Спроектowana в проекті автоматизована лінія для виготовлення сопла має вузли, які можуть представляти потенційну небезпеку для здоров'я персоналу, що обслуговує її в процесі експлуатації: електродвигуни змінного струму се, що живляться напругою 220 В.

Нижче перераховані заходи безпеки, передбачені для безпечної роботи на спроектованому пристрої.

Оскільки в спроектованому пристрої є прилади (електродвигуни), що живляться змінним струмом при напрузі 220 В, то згідно з рекомендаціями металеві струмопровідні частини електрообладнання та самого пристрою, які через несправність ізоляції можуть виявитися під напругою, підлягають захисту захасним заземленням.

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання із землею металевих частин обладнання, які не є під напругою в звичайних умовах, але можуть виявитись під напругою в результаті пошкодження ізоляції електрообладнання.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження людини електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, а також при “замиканні на корпус”.

Принцип дії захисного заземлення полягає в пониженні до безпечних значень напруги дотику і кроку, обумовлених “замиканням на корпус”. Це досягається зменшенням потенціалу заземленого обладнання, а також вирівнюванням потенціалів за рахунок підвищення потенціалу основи, на якій знаходиться робітник, до потенціалу “близького обладнання”.

В пристрої для визначення теплостійкості пластмас застосовується контурне заземлення. Воно характеризується тим, що його одиночні заземляючі труби діаметром 40 мм і довжиною 3 м, розміщені по периметру площадки, на якій розміщений спроектований пристрій та інші прилади, що підлягають заземленню.

Безпечність при контурному заземленні забезпечується вирівнюванням потенціалу на захищеній території до такої величини, при якій максимальне значення напруги дотику і кроку не перевищує допустимого. Це досягається шляхом відповідного розміщення одинарних заземлень.

В середині приміщення вирівнювання потенціалу відбувається звичайним шляхом через металеві конструкції, пов’язані з розгалуженим контуром заземлення.

В якості провідників для з’єднання приладів із заземленням застосовуємо сталеву смугу. Монтаж заземляючих провідників виконується по стінах лабораторії чи участку цеху на спеціальних опорах так, щоб вони були доступні для огляду.

Згідно з правилами монтажу електроустановок, опір захисного заземлення в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом (для установок з напругою до 1000 В і потужністю до 100 кВА).

Опір розтіканню струму з одного заземлювача (труби, стержні) залежить від питомого опору ґрунту, глибини від поверхні землі до верху заземлювача і розмірів самого заземлювача (труби). Цей опір визначається за формулою:

$$R_{mp} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,5 \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (2.1),$$

де ρ – питомий опір ґрунту, приймаємо для чорнозему при вологості 10...20% $\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

l – довжина заземлювача, приймаємо $l = 1 \text{ м}$;

d – діаметр заземлювача, приймаємо $d = 0,03 \text{ м}$;

t – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (див. рис. 6.1), приймаємо $t = 1,1 \text{ м}$.

Тоді

$$R_{mp} = 0,366 \frac{20}{1} \left(\lg \frac{2 \cdot 1}{0,03} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,1 + 1}{4 \cdot 1,1 - 1} \right) = 14,05 \text{ Ом}$$

Із врахуванням коефіцієнтів сезонності та екранування кількість заземлювачів (труб) визначається за формулою:

$$n = \frac{R_{mp}}{R_d \cdot \eta_c \cdot \eta_e} \quad (2.2),$$

де $R_{тр}$ – опір одного заземлювача, $R_{тр} = 14,05 \text{ Ом}$;

$R_d = 4 \text{ Ом}$ – допустимий опір розтікання струму заземлення;

$\eta_c = 1,7$ – коефіцієнт сезонності;

$\eta_e = 0,7$ – коефіцієнт екранування

$$n = \frac{14,5}{4 \cdot 1,7 \cdot 0,7} = 2,95$$

Приймаємо кількість заземлювачів (труб) $n = 3$.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

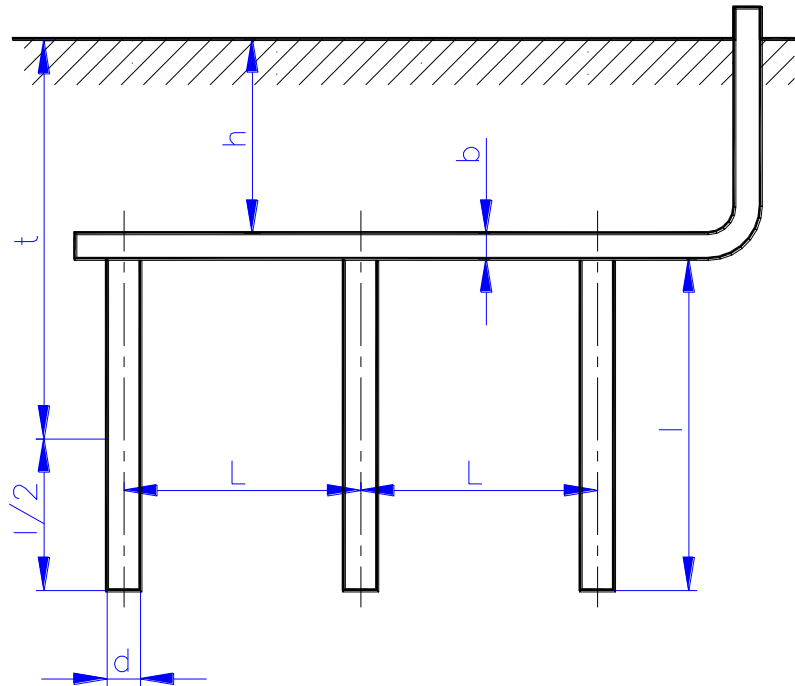


Рисунок 2.1 – Схема розміщення заземлювачів (труб)

Таким чином, для заземлення пристрою використовуємо три заземлювачі (труби) довжиною $l = 1000$ мм і діаметром $d = 30$ мм. Вони і повинні забезпечувати електробезпечну роботу на споектованому пристрої.

Захисне заземлення корпусів електроустаткування і електроприладів згідно НПАОП 40.1-1.21-98 [22].

3.8 Пожежна безпека

У виробничій дільниці з виготовлення керамічних виробів на основі карбіду бору методом гарячого пресування питання пожежної безпеки є важливою складовою загальної системи охорони праці, що обумовлено наявністю електрообладнання, підвищених температур у зоні термічної обробки та використанням дрібнодисперсних порошкових матеріалів.

Відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 [17] приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяються на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д). В даному випадку відділення спікання і термомагнітної обробки відносяться до категорії Г, а відділення механічної обробки, пресування та змішування відносяться до категорії Д.

Основними потенційними джерелами пожежної небезпеки у виробничому процесі є електроустановки (кульові млини, змішувачі, гідравлічні преси, печі спікання), можливі короткі замикання в електромережі, перегрів обладнання, а також накопичення пилу горючих матеріалів у вентиляційних системах та на поверхнях обладнання.

Хоча карбід бору сам по собі має високу термічну стійкість і низьку горючість, наявність технологічних домішок, зв'язуючих речовин та пилу в повітрі може створювати додаткову пожежну небезпеку, особливо у випадку їх накопичення та контакту з високотемпературними поверхнями або іскроутворенням.

Для забезпечення пожежної безпеки у виробничому приміщенні передбачено комплекс організаційних та технічних заходів. До технічних заходів належать застосування автоматичних систем електрозахисту, встановлення пристроїв аварійного вимкнення обладнання, використання термостійкої ізоляції для нагрівальних елементів печей та пресів, а також регулярне очищення вентиляційних систем від пилових відкладень.

Організаційні заходи включають дотримання правил зберігання сировини та готової продукції, заборону використання відкритого вогню у виробничих приміщеннях, проведення регулярних інструктажів з пожежної безпеки, а також контроль справності електрообладнання та заземлюючих пристроїв.

У цеху передбачено оснащення первинними засобами пожежогасіння, зокрема порошковими та вуглекислотними вогнегасниками, які розміщуються у доступних місцях згідно з вимогами нормативної документації. Крім того,

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечується наявність пожежної сигналізації та вільних евакуаційних виходів, що дозволяє оперативно реагувати у разі виникнення аварійної ситуації.

Таким чином, реалізація комплексу заходів пожежної безпеки дозволяє мінімізувати ризик виникнення пожежі у виробничій дільниці та забезпечити захист персоналу, обладнання і виробничих приміщень.

3.9 Засоби індивідуального захисту для виконання робіт у дільниці

На підставі стандартів ДСТУ 7239:2011, ДСТУ EN 133:2005, ДСТУ EN 420:2017 та ДСТУ EN 397:2001, рекомендую такий перелік необхідних засобів індивідуального захисту працівників у цеху виробництва порошкових матеріалів.

а) окуляри або маска для очей. Забезпечують захист очей від пилу, часток матеріалу та інших потенційних небезпек. Рекомендується використовувати окуляри або маску, що відповідають стандартам ДСТУ EN 166:2003 (окуляри захисні) або ДСТУ EN 140:1998 (повітряно фільтруючі напівмаски);

б) респіратори. Використовуються для захисту органів дихання від шкідливих речовин та пилу. Рекомендується використовувати респіратори, які відповідають стандартам ДСТУ EN 149:2001+A1:2009 (респіратори з фільтрами) або ДСТУ EN 136:1999 (повітряно-протигазові маски);

в) рукавиці. Забезпечують захист рук від можливих травм та хімічних речовин. Рекомендується використовувати рукавиці, що відповідають стандартам ДСТУ EN 420:2017 (загальні вимоги до захисних рукавиць) та ДСТУ EN 374-1:2004 (хімічний захист);

г) захисний одяг. Використовується для захисту тіла працівника від потенційних небезпек, таких як хімічні речовини або стружка. Рекомендується

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовувати захисний одяг, який відповідає стандарту ДСТУ EN 340:2007 (загальні вимоги до захисного одягу);

д) захисний головний убір. Забезпечує захист голови та обличчя від потенційних травм та сторонніх речовин. Рекомендується використовувати захисний головний убір, який відповідає стандарту ДСТУ EN 397:2001 (захисні каски для промислових цілей);

е) взуття з захисним носком. Забезпечує захист ніг від можливих травм, включаючи удари та стискання. Рекомендується використовувати взуття з захисним носком, яке відповідає стандарту ДСТУ EN 20345:2011 (захисне взуття для промислових цілей);

є) слуховий захист. Використовується для захисту вух працівників від шуму та інших шкідливих звуків. Рекомендується використовувати засоби слухового захисту, які відповідають стандарту ДСТУ EN 352-1:2002 (захисні навушники);

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Завданням енергетичного розділу проекту є розрахунок кількості електроенергії, необхідної для забезпечення роботи цеху, а також витрат палива, газів та інших енергетичних затрат.

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

$$\mathcal{E} = M\Phi_0\eta_{\text{зв}}K_1K_2,$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

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

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

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

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

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

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

					ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Морозов О.М.					
Перевір.		Солодкий Є.В.			Літ. Арк. Аркуші 72 112 КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-321		
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					

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

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

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

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

де S – освітлювальна площа, м^2 ;

q – поверхнева густина теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

τ – число годин горіння на рік;

f – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину q зазвичай приймають: для виробничих приміщень – $11 \dots 15 \text{ Вт}/\text{м}^2$, для побутових і службових приміщень – $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

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

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

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Найменування споживача	К- сть	Потужність, кВт	Фонд часу, год	Кз	К1	К2	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Планетарний млин RETSCH PM 400	2	2,2	1920	0,8	0,3	0,7	1419,264
Вібраційний просіювач Retsch AS 200 basic	1	0,2	1920	0,8	0,3	0,7	64,512
Вакуумна сушильна шафа CB-50	1	1,5	1920	0,8	0,3	0,7	483,84
V-подібний змішувач Cell Lab	1	0,37	1920	0,8	0,3	0,7	119,395
Vacuum Hot Press Furnace KJ-V2200-160G	1	80	1920	0,8	0,6	0,7	51609,6
							53696,611

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Площа, м ²	q, Вт/м ²	Години, год	К	Річні витрати, кВт·год
Склад вихідної сировини	42	10	240	0,7	70,56
Склад готової продукції	42	10	240	0,7	70,56

Кімната майстра	42	10	1920	0,7	564,48
Відділення підготовки та змішування шихти	42	12	1920	0,8	774,14
Відділ технічного контролю	42	10	1920	0,7	564,48
Коридори та проходи	120	11	1920	0,8	2027,52
Відділення формування	42	12	1920	0,8	774,14
Відділення механічної обробки	42	12	1920	0,8	774,14
Відділення спікання виробів	84	15	1920	0,8	1935,36
Всього					7 555,38

5. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

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

5.1. Розрахунок чисельності виробничих робітників

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

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

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

$$\text{Ч}_{\text{р.н}}^{\text{пл}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot m_i}{T_{\text{р.ч}} \cdot K_{\text{в.н}}},$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Морозов О.М.			ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ		Літ.	Арк.
Перевір.		Солодкий Є.В.						Аркуші
Реценз.							76	112
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-з21	
Затверд.		Богомол Ю. І.						

де n – кількість найменувань продукції;

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

m_i – кількість продукції i -го виду, одиниць;

$T_{p.ч}$ – розрахунковий ефективний час роботи одного робітника, год. (табл. 6.1.)

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

Чисельність основних робітників, зайнятих на ненормованих роботах ($\chi_{ос}^{пл}$) (контроль технологічного процесу, керування апаратами, машинами та іншим устаткуванням), розраховують за нормами обслуговування, а саме:

$$\chi_{ос}^{пл} = \frac{m_0 \cdot P_{зм} \cdot K_{п}}{H_{об}},$$

де m_0 – кількість обслуговуваних об'єктів;

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

$K_{п}$ – коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову;

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

Таблиця 5.1 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

Показники	Планові значення
Кількість календарних днів	365
Вихідні та святкові дні	109
Час на планово-попереджувальний ремонт, днів	10
Номінальний фонд робочого часу, днів	246
Невиходи на роботу, днів	26
з них:	

відпустка	20
захворювання	4
дозволені законом	1
з дозволу адміністрації	0,5
прогули	0,5
цілодобові простої	0
страйки	0
Явочний робочий час, днів	220
Середня тривалість робочого дня, год	7,9
Внутрішньозмінні втрати робочого часу та простої, год	0,3
Робочі години	7,6
Ефективний фонд робочого часу за рік, год	1672

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

$$K_{\pi} = \frac{100}{(100-k)},$$

де k – плановий відсоток невиходів на роботу (за даними таблиці 6.1

$$k = \frac{26}{246} \cdot 100 = 10,6).$$

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

$$\text{Ч}_{\text{д}}^{\text{пл}} = \text{П}_{\text{р.м}} \cdot \text{П}_{\text{зм}} \cdot K_{\pi}$$

де $\text{П}_{\text{р.м}}$ – кількість робочих місць (визначається за планом цеху).

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

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

Приклад оформлення результатів розрахунків чисельності основних і допоміжних робітників (за робочими місцями) наведено в табл. 6.2.

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

Таблиця 5.2 – Чисельність основних і допоміжних робітників цеху (дільниці)

Професія	Кваліфікаційний розряд	1-а змін а	2 - а	3 - я	Разом на доб у	Кп	Облікова чисельність
Шихтувальник	4	1	0	0	1	1,14	1
Пресувальник	5	1	0	0	1	1,14	1
Спікальний	5	1	0	0	1	1,14	1
Шліфувальник	4	1	0	0	1	1,12	1
Разом							4
Допоміжні робітники							
Черговий слюсар-електрик	4	1	0	0	1	1,14	1
Разом		1	0	0	0		1
Усього робітників		5					5

5. 2. Визначення фондів заробітної плати

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

Тарифна сітка встановлює відповідні співвідношення в оплаті праці працівників різної кваліфікації. Вона є, власне, переліком тарифних розрядів і відповідних коефіцієнтів. Установлені в Україні параметри тарифної сітки наведено в табл. 6.3.

Таблиця 5.3 – Типова тарифна сітка робітників різногалузевих підприємств та організацій

Показник	Тарифні розряди							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тарифні коефіцієнти	1,0	1,088	1,204	1,350	1,531	1,800	1,892	2,0
Зростання тарифних коефіцієнтів:		0,088	0,116	0,146	0,181	0,269	0,092	0,108
абсолютне		8,8	10,7	12,1	13,4	1,7,6	5,1	5,7
відносне								

Важливим елементом тарифної системи є тарифна ставка. Її абсолютну величину визначають згідно зі встановленим державою мінімальним розміром заробітної плати. Згідно державного бюджету України на 2021 рік мінімальна

заробітна плата становить: у місячному розмірі – 6 000 грн, у погодинному розмірі – 36,11 грн¹. Так, якщо на підприємстві тарифну ставку для першого розряду встановлено на рівні 36,11 грн, то ставка другого розряду становитиме $36,11 \times 1,088 = 39,29$ грн, третього розряду $36,11 \times 1,204 = 43,48$ грн і т. д.

Приклад розрахунку фондів зарплати управлінського та обслуговуючого персоналу наведено у табл. 6.4, а основних і допоміжних робітників у табл. 6.5.

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посадовий оклад, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Керівники			
Начальник дільниці	1	26 800	321 600
Разом			321 600

Таблиця 5.5 – Розрахунок фонду заробітної плати основних і допоміжних робітників

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Основні (технологічні) робітники													
Професія, спеціальність	Кваліфікаційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Обліковий склад, осіб	Одного робітника	Усіх	Основна заробітна плата, грн. (3×6)	Премії (40% від основ- За роботу в особливих умовах (18%)	За роботу в особливих умовах (18%)	Оплата відпусток (12%)	Інші доплати та надбавки (10%)	Разом (8+9+10+11)	Загальний фонд заробітної плати, грн (7+12)	
							Н а д б а в н о ї п л а т и ,						
							Р о з р а х у н о к д о д а т к о в о ї з а р о б і т н о ї п л а т и ,						
							г р н						

Черговий слюсар-електрик	Допоміжні (обслуговуючі) робітники					Разом	Шліфувальник	Спікальний	Пресувальник	Шихтувальник
5							4	4	4	4
55,28							48,75	48,75	48,75	48,75
1							1	1	1	1
1672,00							1672,00	1672,00	1672,00	1672,00
1672,00							1672,00	1672,00	1672,00	1672,00
92428,16						325839,36	81459,84	81459,84	81459,84	81459,84
36971,26							32583,93	32583,93	32583,93	32583,93
16637,06							167508,00	167508,00	167508,00	167508,00
11091,37							14662,77	14662,77	14662,77	14662,77
9242,81							8145,98	8145,98	8145,98	8145,98
85579,56						418267,52	55392,68	55392,68	55392,68	55392,68
178007,72						547 407,36	1371284,00	1371284,00	1371284,00	1371284,00

Разом						92428,16					85579,56	178007,72
Усього по цеху (виробничій ділянці)						418267,52					332687,96	725415,08

6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Основне завдання цього розділу – довести, що розроблений проект ефективний

6.1. Розрахунок капітальний вкладень

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

Приклад розрахунку капіталовкладень в обладнання та підйомно-транспортувальні засоби наведено у табл. 7.1. Для розрахунку вартість транспортування обладнання, його монтажу і налагодження беруть у розмірі 10–25 % від його ціни.

Таблиця 6.1 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання²

Найменування устаткування, його модель або технічна характеристика	Кількість, од.	Вартість за одиницю, тис. грн	Загальна вартість, тис. грн	Витрати на транспортування та монтаж, тис. грн	Усього, тис. грн
Планетарний млин Retsch PM 400	2	850,0	850,0	85,0	1870

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Морозов О.М.					
Перевір.		Солодкий Є.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						84	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-з21		

Вібраційний просіювач Retsch AS 200 Basic	1	220,0	220,0	22,0	242,0
Сушильна шафа вакуумна CB-50	1	180,0	180,0	18,0	198,0
V-подібний порошковий змішувач Cell Lab	1	150,0	150,0	15,0	165,0
Токарний верстат	1	350,0	350,0	35,0	385,0
KJ-V2200-160G Vacuum Hot Press Furnace	1	4200,0	4200,0	420,0	4620,0
Всього					7480

Обсяг капіталовкладень у виробничі будівні та споруди визначають. Виходячи з площі цеху й усереднених нормативів вартості будівельних конструкцій і промислових проводок (табл. 7.2).

Таблиця 6.2 – Усереднені ринкові ціни на елементи будівельно-монтажних робіт³

Елементи будівельно-монтажних робіт	Вартість, грн/м ³
1	2
1. Виробничі будівлі	
1.1. Одноповерхові	2500...4000
1.2. Багатоповерхові	3500...6000
2. Водопостачання виробничих приміщень	30...40
3. Каналізація виробничих приміщень	25...35

4. Електропроводка виробничих приміщень	50...60
5. Вентиляція виробничих приміщень	70...80
6. Побутові приміщення	3000...5000
7. Водопостачання побутових приміщень	40...50
8. Каналізація побутових приміщень	90...120
9. Електропроводка побутових приміщень	50...70
10. Вентиляція побутових приміщень	70...90
11. Зовнішній благоустрій	50...100
12. Невраховані витрати	500...1000

Безперервну виробничу діяльність цеху (дільниці) забезпечують оборотні засоби, мінімальна необхідна величина яких має назву нормативу оборотних засобів.

Найбільшим за розміром елементом (до 70 %) нормативу оборотних засобів є поточний запас матеріалів, який створюється для забезпечення процесу виробництва матеріальними ресурсами в період між двома черговими поставками. Середній поточний запас (Z_m) визначається за формулою:

$$Z_m = M_d \cdot \frac{T_{\text{пост}}}{2},$$

де M_d – середньодобове споживання сировини та матеріалів, грн;

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

Середньодобове споживання матеріалів визначається як вартість річної потреби в основних та допоміжних матеріалах, сировині, запасних частинах, інструменту, спецодягу тощо, розділених на 360 (де 360 – розрахункове число днів за рік).

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

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

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

$$H_{\text{заг}} = 1,5 \cdot Z_{\text{м}}$$

Після цього розраховують загальні капітальні вкладення в об'єкт, що проектується (табл. 6.3).

Таблиця 3.3

Таблиця 6.3 – Розрахунок загальних капітальних вкладень

Елементи капіталовкладень	Сума	
	тис. грн.	%
1. Будівлі:	11376,0	71,3
2. Устаткування	485,0	28,1
2.1. Основне технологічне		
3. Норматив оборотних засобів	104,1	0,6
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	15956,1	100%

6.2. Визначення планової собівартості одиниці продукції

Для визначення планової собівартості продукції на підприємствах, як правило, складають планові та фактичні калькуляції. Перші розраховують за

плановими нормами витрат, другі – за їх фактичним рівнем. Складання калькуляцій передбачає визначення об'єкта калькулювання, вибір калькуляційних одиниць, калькуляційних статей витрат та методики обчислення.

Об'єктом калькулювання є та продукція чи робота (послуга), собівартість якої розраховують. Головним об'єктом калькулювання є готова продукція, яку поставляють на ринок. Для підприємств порошкової металургії це порошки металів та сплавів, спечені вироби та ін.

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

- максимальну частку витрат, яку включають у собівартість, потрібно обчислювати безпосередньо для окремих виробів;
- статті непрямих витрат необхідно формулювати так, щоб їх можна було враховувати під час визначення вартості окремих виробів.

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

- 1) сировина та матеріали (за вирахуванням зворотних відходів);
- 2) паливо та енергія на технологічні цілі;
- 3) основна заробітна плата технологічних робітників;
- 4) додаткова заробітна плата технологічних робітників;
- 5) єдиний соціальний внесок;
- 6) витрати на утримання та експлуатацію устаткування;
- 7) загальновиробничі витрати;
- 8) загальногосподарські витрати;
- 9) витрати на підготовку та освоєння виробництва;
- 10) позавиробничі витрати (на збут продукції, на маркетинг).

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

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

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

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

Планові витрати основних і допоміжних (технологічних) матеріалів визначають на основі даних матеріального балансу, а ціни на них слід уточнювати у відділі матеріально-технічного забезпечення підприємства під час проходження переддипломної практики (чи скориставшись інформаційними сайтами, про які зазначено вище). Розрахунки оформляють у вигляді табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок загальних вкладень на сировину та матеріали

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Витрата на 1 виріб	Витрата на річну програму	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн	Примітки
Карбід бору В ₄ С	кг	0,0222	267	1650	440 550	основний порошок
Олеїнова кислота	кг	0,0015	18	180	3 240	змочувач/диспергатор
Етиловий спирт 96%	л	0,010	120	60	7 200	технологічний розчинник

Графітова змазка / форма	кг	0,0005	6	250	1 500	допоміжні матеріали
--------------------------------	----	--------	---	-----	-------	------------------------

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

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

Таблиця 6.4 – Розрахунок загальних вкладень на сировину та матеріали

Найменування енергоносія	Одиниця виміру	Кількість на річну програму	Ціна за одиницю, грн	Вартість на річну програму, грн	Примітка
Електроенергія (обладнання)	кВт·год	53696.611	6	322179,66	робота станків і обладнання Таблиця 5.1
Електроенергія (освітлення)	кВт·год	7 555,38	6	45 332,28	виробничі та побутові приміщення таблиця 5.2

Аргон	кг	200	15	3 000,00	захисна атмосфера при ГП
Вода технічна	л	80 000	0,03	2 400,00	охолодження та допоміжні потреби
Всього				372911,94	

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

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

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

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

Норматив витрат на цю статтю встановлюється кожним підприємством у відсотках до статті «Основна заробітна плата технологічних робітників». Для підприємств порошкової металургії витрати можуть становити 100–250 %.

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

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

- амортизація основних засобів та нематеріальних активів загальновиробничого призначення;
- витрати на управління виробництвом в межах виробничого об'єкта, що проектується (оплата праці апарату управління цеху чи дільниці з врахуванням єдиного соціального внеску, офісні витрати в межах цеху чи дільниці);
- витрати на утримання, експлуатацію та ремонт основних засобів загальновиробничого призначення;
- витрати на удосконалення технології та організації виробництва;
- витрати на освітлення, опалення, водопостачання виробничих приміщень;
- витрати на охорону праці, техніку безпеки і охорону навколишнього середовища та ін.

Величину витрат по вказаній статті калькуляції розраховують у відповідності до нормативу, прийнятого на підприємстві-аналогу. У разі відсутності таких даних загальновиробничі витрати встановлюють на рівні 100–120 % від величини статті «Основна заробітна плата технологічних робітників».

Стаття «Загальногосподарські витрати» близька за змістом до попередньої і відрізняється лише рівнем об'єктів визначення витрат. Так, загальновиробничі витрати – це витрати на управління, виробниче і господарське обслуговування в межах цеху. Загальногосподарські витрати – це ті ж самі витрати тільки на рівні всього підприємства загалом. У цю статтю додатково включають витрати на набір і підготовку персоналу, службові відрядження, обов'язкові платежі (страхування майна підприємства, платежі на забезпечення заходів охорони навколишнього середовища та ін.), плату за банківське обслуговування. Для підприємств порошкової металургії загальногосподарські витрати становлять 50–150 % від основної заробітної плати технологічних робітників.

До статті «Витрати на підготовку та освоєння виробництва» належать такі

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

види витрат:

- на підготовку та освоєння нової продукції;
- на освоєння нових технологічних процесів;
- на запуск у виробництво нових цехів, дільниць і окремих агрегатів;
- на винахідництво і раціоналізацію та деякі інші.

Норматив вказаних витрат встановлюють за даними підприємства-аналога, а у разі їх відсутності на рівні 30–50 % від величини статті «Основна заробітна плата технологічних робітників».

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

- відшкодування вантажно-розвантажувальних, складських, пакувальних, транспортних і страхових витрат;
- маркетингові витрати (реклама, участь у виставках, дослідження ринку та ін.);
- витрати на гарантійний ремонт та гарантійне обслуговування;
- сплата експортного мита, митних зборів тощо.

Величину витрат по цій статті визначають у відсотках до виробничої собівартості (сума 9-ти перших статей калькуляції). Вони становлять близько 5–10 %.

На основі виконаних розрахунків складається планова калькуляція собівартості продукції (табл. 7.5).

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

$$C_{\Pi} = \frac{C_{\Pi}^{\text{річ}}}{G},$$

де G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

Таблиця 6.5 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Найменування статей витрат	Одиниця виміру	Кількість на річну програму	Ціна за одиницю, грн	Витрати на річну програму	Примітки
1. Сировина та матеріали					
1.1. Карбід бору	Кг	267	1650	440550,00	
1.2. Олеїнова кислота	Кг	18	180	3240,00	
1.3 Етиловий спирт	Л	120	60	7200,00	
1.4 Допоміжні матеріали	Кг	6	250	1500	
2. Паливо та енергія на технологічні цілі				3729911,94	
3. Основна заробітна плата технологічних робітників				725 415,08	
4. Додаткова заробітна плата технологічних робітників				321 600,00	
5. Єдиний соціальний внесок (22%)				230 343,32	
6. Утримання та експлуатація устаткування				1 088 122,62	
7. Загальновиробничі витрати				870 498,10	
Цехова собівартість (1–7)				4 056 521,12	
8. Загальногосподарські витрати				580 332,06	
9. Витрати на підготовку та освоєння виробництва				290 166,03	
Виробнича собівартість (1–9)				4 927 019,21	
10. Позавиробничі витрати				344 891,34	
Повна собівартість річної програми				5 271 910,55	

6.3. Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення

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

- трудомісткість продукції (зворотний показник продуктивності живої праці);
- капіталомісткість (фондомісткість) продукції;
- період окупності капітальних витрат.

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

$$t = \frac{\chi_{\text{ос}} \cdot \Phi_{\text{еф}}^{\text{пл}}}{G},$$

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

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

G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

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

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_G = \frac{K_{\text{заг}}}{G},$$

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

$$\Pi_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{\Gamma\Pi_p} < \Pi_{\text{ок}}^{\text{н}},$$

де $\Gamma\Pi_p$ – річна сума грошового потоку, грн;

$\Pi_{\text{ок}}^{\text{н}}$ – нормативний період окупності, років.

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

$$\Gamma\Pi_p = 0,82 \cdot (\text{Ц} - \text{C}_{\text{п}}) \cdot G + \sum A,$$

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

Ц – ринкова ціна одиниці продукції, грн;

$\text{C}_{\text{п}}$ – повна собівартість одиниці продукції, грн;

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

Загальна річна сума амортизаційних відрахувань розраховується, виходячи з вартості основних засобів по 16-ом групам та передбаченого мінімального терміну їхньої експлуатації (табл. 7.6).

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.6 – Групи основних засобів та мінімальні терміни їхньої експлуатації

Група	Об'єкти основних засобів	Мінімальний строк корисного використання, років	Річна норма амортизації, %
1	Земельні ділянки	—	амортизація не нараховується
2	Капітальні витрати на поліпшення земель	15	5
3	Будівлі	20	5
3	Споруди	15	5
3	Передавальні пристрої	10	10
4	Машини та обладнання	5	20
4	Електронно-обчислювальні машини та автоматизовані системи	2	50
5	Транспортні засоби	5	20
6	Інструменти, прилади, інвентар (меблі)	4	25
7	Тварини	6	15
8	Багаторічні насадження	10	10
9	Інші основні засоби	12	5
10	Бібліотечні фонди	—	50
11	Малоцінні необоротні матеріальні активи	—	50
12	Тимчасові (не титульні) споруди	5	20
13	Природні ресурси	—	амортизація не нараховується
14	Інвентарна тара	6	15
15	Предмети прокату	5	20

16	Довгострокові біологічні активи	7	10
----	---------------------------------	---	----

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

Економічна частина проекту закінчується складанням зведеної порівняльної таблиці основних техніко-економічних показників об'єкта, що проектується. Перелік типових порівняльних техніко-економічних показників наведений у таблиці 6.7.

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

Таблиця 6.7 – Порівняльні техніко-економічні показники спроектованого об'єкта

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення по варіантам	
		Базовий (підприємство-аналог)	Спроектований
1. Річний плановий обсяг виробництва продукції (G)	т, шт	12000	12000
2. Загальна площа цеху (дільниці)	м ²	540	540
3. Виробнича площа цеху (дільниці)	м ²	420	420
4. Капіталомісткість продукції (K_G)	$\frac{\text{грн}}{\text{т}}$ ($\frac{\text{грн}}{\text{шт}}$)		410,6
5. Загальна чисельність	осіб		

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

у тому числі:			
основний		4	4
(технологічний)		1	1
персонал		1	1
допоміжний			
(технологічний)			
персонал			
управлінський та			
обслуговуючий			
персонал			
6. Загальний річний фонд заробітної плати	грн	-	1 047 015,08
7. Середньомісячна заробітна плата одного працівника	грн		17450
8. Річний виробіток на одного працівника (продуктивність праці)	$\frac{т}{\text{особу}} \left(\frac{\text{шт}}{\text{особу}} \right)$	200	2400
9. Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{\text{нормо} - \text{годин}}{т \text{ (шт)}}$	0,85	0,7
10. Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{\text{грн}}{т \text{ (шт)}}$		439
7. Період окупності (P _{ок})	років		0,85

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту була успішно спроектована виробнича ділянка з виготовлення керамічних виробів із

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

карбіду бору методом гарячого пресування, яка забезпечує випуск 12000 виробів на рік.

У ході виконання роботи було проведено аналіз фізико-хімічних властивостей карбіду бору та технологічних особливостей його отримання. На основі проведеного аналізу було обрано оптимальну технологічну схему виробництва виробів методом гарячого пресування, яка включає основні операції: підготовку сировини, змішування та розмелювання порошків, просіювання, сушіння, формування заготовок, гаряче пресування, механічну обробку та контроль готової продукції.

У рамках проєкту виконано розрахунки матеріального балансу виробництва, визначено річну потребу в основній сировині та допоміжних матеріалах, а також підібрано основне технологічне обладнання, необхідне для реалізації повного виробничого циклу. Для забезпечення стабільної роботи дільниці було проведено розрахунки енергетичних витрат, що включають витрати електроенергії на технологічне обладнання, освітлення, використання аргону, води та інших енергетичних ресурсів.

У розділі охорони праці були враховані основні вимоги нормативно-правових актів щодо безпечної експлуатації високотемпературного вакуумного обладнання, організації вентиляції, електробезпеки та створення безпечних умов праці персоналу виробничої дільниці.

В організаційній частині проєкту визначено оптимальну структуру персоналу, розраховано чисельність основних, допоміжних та інженерно-технічних працівників, а також фонд заробітної плати виробничого персоналу.

В економічному розділі виконано розрахунок капітальних вкладень, собівартості річної програми виробництва, показників економічної ефективності та строку окупності проєкту. У результаті проведених розрахунків встановлено, що розроблений проєкт є економічно доцільним та ефективним, а розрахунковий період окупності капітальних вкладень

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

становить 0,85 року, що є значно нижчим за нормативний показник та підтверджує перспективність впровадження запропонованої виробничої ділянки.

					ФН-з21.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. The Ultimate Guide to Blasting Nozzle Materials: Boron Carbide (B_4C), Silicon Carbide (SiC), and Tungsten Carbide (WC) [Електронний ресурс].
2. Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, No. 24. – Article 11728 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: MDPI Applied Sciences Article 11728.
3. Duratec Technical Ceramics. Alumina Ceramic Sand Blasting Nozzle [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Duratec Technical Ceramics.
4. The Ultimate Guide to Blasting Nozzle Materials: Boron Carbide (B_4C), Silicon Carbide (SiC), and Tungsten Carbide (WC) [Електронний ресурс] / Nice Abrasive. – 2025. – Режим доступу: <https://www.niceabrasive.com/the-ultimate-guide-to-blasting-nozzle-materials-boron-carbide-b%E2%82%84c-silicon-carbide-sic-and-tungsten-carbide-wc/>
5. Deng J. X., Zheng Z. C., Ding Z. L., Wang J. H. Erosion wear of ceramic and cemented carbide nozzles in dry sand blasting process // British Ceramic Transactions. – 2003. – Vol. 102, Issue 2. – P. 61–65. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1179/096797803225009283>
6. TTElements. Boron Carbide (B_4C) Ceramic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.attelements.com/boron-carbide-ceramic/boron-carbide-b4c.html>
7. Carter C. B., Norton M. G. Ceramic Materials: Science and Engineering. – New York : Springer, 2013. – 716 p.
8. Somiya S. (ed.). Handbook of Advanced Ceramics. – London : Academic Press, 2013. – 1056 p.
9. James P. D. (ed.). Процессы изостатического прессования. – Москва : Металлургия, 1988. – 312 с.

10. Кислый П. С., Кузьменкова М. А., Боднарук Н. И., Травчук В. Л. Карбид бора. – Киев : Наукова думка, 1988.
11. Bose A., Eisen W. B. Hot consolidation of powders and particles. – Princeton : Metal Powder Industries Federation, 2003. – 254 p.
12. Hot Isostatic Pressing: Theory and Applications : Proceedings of the Third International Conference, Osaka, Japan, 10–14 June 1991. – London : Elsevier Applied Science, 1992. – 410 p.
13. Планетарний млин РМ 400 // Маролаб : офіційний дистриб'ютор Retsch в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.macrolab.com.ua/catalog/Laboratorni_mlyny/Planetarni_mlyny_Retsch/PM_400/ (дата звернення: 06.04.2026).
14. Vibratory Sieve Shaker AS 200 basic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.retsch.com/products/sieving/sieve-shakers/as-200-basic/>
15. Laboratory V-Shape Powder Mixers (5L, 10L, 20L) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://celllab.co.uk/products/cell-lab-laboratory-v-shape-powder-mixers-5l-10l-20l>
16. Желібо Є. П., Заверуха Н. М., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I–IV рівнів акредитації. – Київ : Каравела, 2001. – 320 с.
17. Закон України Про охорону праці // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – 668 с.
18. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги : ДБН В.1.1-7:2016. – Київ : УкрНДІЦЗ, 2016.
19. Будівлі та споруди. Складські будівлі. Основні положення : ДБН В.2.2-43:2021. – Київ : УкрНДІпроектстальконструкція, 2021.
20. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2006. – Київ : Держстандарт України, 2006. – 76 с.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

21. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : ДСН 3.3.6.037-99. – Київ : Держстандарт України, 1999. – 15 с.
22. Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5-67:2013. – Київ : Інститут «УкрНДІспецбуд», 2013.
23. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. – Київ : Держнаглядохоронпраці, 1998. – С. 11–18.

					ФН-321.1201.1103.003.01ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка
					Документація:		
	A3	ФН-з21.1201.1103.003.03ПД			План-дільниці		
					Обладнання:		
1.					Технічні ваги	1	
2.					Планетарний	2	
					млин		
3.					Віброустановка ВС-2	1	
4.					Сушильна шафа	1	
					вакуумна СВ-50		
5.					KJ-V2200-160G	1	
					Vacuum		
					Hot Press Furnace		
6.					Шліфувальна		
					Машина BT-150N		
					3- Axis CNC Diamond		
					ФН32101.1103.001.01ПЗ		
		ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Морозов О.М.				Апаратурно-технологічна схема	Лист	Листів
Керівн.	Солодкий Є.В					106	113
Консульт.						КПІ ім. Ізгоря Сікорського Каф. ВТМтаПМ гр.ФН-з21	
Н/Контр.	Бірюкович Л.О						
Зав.Каф.	Богомол Ю.І.						