

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 ріжучого інструменту для чистової
обробки чабану»

Виконав (-ла):

студент (-ка) III курсу, групи НН-п31

Кравченко Олексій Олегович _____

Керівник:

Доцент, к. т. н., доцент

Бірюкович Ліна Олегівна _____

Консультант з економічно-організаційного розділу:

Доцент, к.е.н., доцент

Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці:

Зав. кафедри, д.т.н., професор

Левченко Олег Григорович _____

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент

Троснікова Ірина Юріївна _____

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент кафедри ФМТО

Дудка Олександр Іванович _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання ім. 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
КРАВЧЕНКУ ОЛЕКСІЮ ОЛЕГОВИЧУ

1. Тема проєкту *«Дільниця з виробництва ріжучого інструменту для чистової обробки чавуну»*. Керівник проєкту Бірюкович Л. О., доцентка, к.т.н., затверджені наказом по університету від «28» травня 2026 р. № 1988-с .

2. Термін подання студентом дипломного проєкту: 11.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз сучасного стану виробництва із виготовлення ріжучого інструменту для чистової обробки чавуну, який дозволить сформулювати шляхи отримання виробів із вищими техніко-економічними показниками.

Продуктивність дільниці, що проєктується із виготовлення ріжучого інструменту для чистової обробки чавуну складає 600 тис. шт. на рік.

Технологічні процеси повинні забезпечувати певний рівень найважливіших властивостей ріжучого інструменту такі, як висока зносостійкість та міцність, достатня теплопровідність та термостійкість. Ці показники залежать від складу вихідного матеріалу та його структури, що формується у процесі спікання.

Організаційно-економічні засади повинні забезпечувати нормативний коефіцієнт економічної ефективності не нижчий за 1,5.

Заходи з охорона праці на виробництві, яке проєктується, повинні відповідати нормативним вимогам.

4. Зміст пояснювальної записки.

Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) технологічний розділ:

- провести аналіз сучасного стану теорії і технології отримання ріжучого інструменту з наперед заданими властивостями та високими техніко-економічними показниками;

- вибрати номенклатуру виробів для виробництва, що проєктується;
- вибрати матеріал для виготовлення ріжучого інструменту;
- розробити технологічну схему для виготовлення ріжучого інструменту;
- скласти баланс матеріалів та провести розрахунки необхідної кількості вихідних матеріалів, зворотних та незворотних втрат матеріалів, розрахувати необхідну кількість обладнання та скласти план його розташування у цеху.

б) будівельний розділ:

- описати план ділянки з переліком та характеристикою всіх приміщень
- виробничих, допоміжних та службових;

в) розділ охорони праці:

- визначити шкідливі та небезпечні виробничі фактори;
- розрахувати місцеву вентиляцію;
- розробити заходи для попередження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

- розробити заходи протипожежної безпеки та захисту навколишнього середовища;

г) спеціальний розділ:

- спроектувати матрицю і пуансони для пресування виробів, які виготовляються на ділянці, що проєктується;

д) організаційно-економічний розділи:

– обґрунтувати необхідну кількість робітників та управлінського персоналу, розмір фонду їх заробітної плати, визначити показники продуктивності праці;

– довести, що спроектоване виробництво є ефективним.

5. Перелік графічного матеріалу:

– апаратурно-технологічна схема;

– план ділянки;

– спец-агрегат;

– таблиця техніко-економічних показників

– презентація.

6. Консультанти розділів дисертації.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний розділ	к.е.н., доцент Нараєвський С. В.		
Розділ охорони праці	д.т.н., професор Левченко О. Г.		

7. Дата видачі завдання: 7 травня 2026 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз сучасного стану виробництва ріжучого інструменти для чистової обробки чавуну	22.05.26	
2	Вибір вихідних матеріалів для виробів	24.05.26	
3	Вибір та розроблення технологічного процесу	26.05.26	
4	Розрахунок матеріального балансу	31.05.26	
5	Вибір та розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання	3.06.26	
6	Розрахунок та проєктування матриці та пуансонов для пресування виробів	6.06.26	
7	Розділ охорони праці	8.06.26	
8	Організаційно-економічний розділ	10.06.26	
9	Оформлення дипломної записка та графічних матеріалів	14.06.26	

Студент _____ Олексій КРАВЧЕНКО

Керівник _____ Ліна БІРЮКОВИЧ

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Дільниця з виробництва ріжучого інструменту
для чистової обробки чабану»**

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломного проекту містить: 106 сторінок, 6 рисунків, 20 таблиць, 33 літературних джерела. Графічна частина включає 2 креслень та 1 плакат.

ЗМІННІ БАГАТОГРАННІ ПЛАСТИНИ, КАРБІД ВОЛЬФРАМУ, КОБАЛЬТ, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ПРЕСУВАННЯ, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, СПІКАННЯ, ТВЕРДИЙ СПЛАВ, ЧАВУН.

У дипломному проєкті виконано аналіз сучасних технологій виготовлення твердосплавного різального інструменту для чистової обробки чавунів. За результатами аналізу обрано сплав ВК3 (97 % WC, 3 % Co) та технологічну схему холодного двостороннього пресування з двостадійним спіканням для серійного випуску змінних багатогранних пластин SNMG 120408 із річною продуктивністю 600 тис. штук.

Розраховано поопераційний матеріальний баланс, підібрано основне технологічне обладнання (шарові млини, вакуумні сушарки, преси, печі спікання, верстати з ЧПУ, алмазні шліфувальні станки) та визначено коефіцієнти його завантаження. Розроблено об'ємно-планувальне рішення будівлі площею 540 м². У спеціальному розділі спроектовано прес-форму з перевіркою матриці, пуансонів та стрижня на міцність. Проаналізовано небезпечні виробничі фактори, розраховано місцеву витяжну вентиляцію, визначено категорії пожежовибухонебезпечності приміщень.

Економічний аналіз підтвердив доцільність проєкту: собівартість продукції – 47,04 грн/шт., ринкова ціна – 130 грн/шт., капітальні вкладення – 52 669 тис. грн, період окупності – 1,1 року.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ		
Розроб.		Кравченко О.О.					
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						8	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		

ABSTRACT

The diploma project explanatory note contains: 106 pages, 6 figures, 20 tables, 33 references. The graphical part includes 2 drawings and 1 posters.

CEMENTED CARBIDE, TUNGSTEN CARBIDE, COBALT, CUTTING TOOL, INDEXABLE INSERTS, POWDER METALLURGY, PRESSING, SINTERING, CAST IRON.

The diploma project presents an analysis of modern technologies for manufacturing cemented carbide cutting tools intended for finish machining of cast iron. Based on the analysis, the WC–Co alloy grade VK3 (97 % WC, 3 % Co) was selected along with a production route comprising cold double-sided die pressing followed by two-stage sintering for the serial manufacture of SNMG 120408 indexable inserts at an annual output of 600 thousand pieces.

A step-by-step material balance was calculated, and the principal process equipment was selected (ball mills, vacuum dryers, presses, sintering furnaces, CNC machines, diamond grinding machines) with the corresponding utilisation factors determined. A facility layout covering a total area of 540 m² was developed. The special section covers the design of a pressing die, including strength verification of the die body, punches and core pin. Occupational hazards were analysed, a local exhaust ventilation system was designed, and fire and explosion hazard categories were assigned to each production area.

The economic analysis confirmed the feasibility of the project: the unit production cost is UAH 47.04, the market price is UAH 130, the total capital investment amounts to UAH 52 669 thousand, and the payback period is 1.1 years.

					<i>HH-п31.4804.4203.003.01ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ABSTRACT</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Кравченко О.О.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Бірюкович Л.О.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Троснікова І. Ю.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Богомол Ю. І.</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						<i>9</i>	<i>1</i>
					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i> <i>Каф. ВТМ та ПМ</i> <i>Гр. HH-п31</i>		

ЗМІСТ

ВСТУП	12
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	13
1.1 Вибір технологічного процесу	13
1.1.1 Вибір матеріалу	15
1.1.2 Вибір і обґрунтування технологічного процесу.....	19
1.1.3 Висновки та поставка задачі проєктування	28
1.2 Опис технологічного процесу.....	29
1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї ..	29
1.2.2 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї	31
1.2.3 Опис технологічних операцій	31
1.3 Розрахунок і складання матеріального балансу	37
1.4 Вибір і розрахунок кількості обладнання.....	48
1.4.1 Обладнання для дозування.....	48
1.4.2 Мокрий розмел.....	51
1.4.3 Сушка.....	53
1.4.4 Змішування з пластифікатором	54
1.4.5 Сушка.....	55
1.4.6 Грануляція	56
1.4.7 Пресування.....	56
1.4.8 Попереднє спікання.....	58
1.4.9 Механічна обробка (заточування ріжучих кромek).....	59
1.4.10 Остаточне спікання.....	60
1.4.11 Механічна обробка (шліфування).....	61
2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	63
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	66

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кравченко О.О.			ЗМІСТ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бірюкович Л.О.							10	2
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.								
Затверд.		Богомол Ю. І.								

3.1 Розрахунок розмірів прес-форми.....	66
3.2 Розрахунок матриці на міцність.....	68
3.3 Розрахунок пуансонів на міцність	70
3.4 Розрахунок формуючого стрижня (голки) на міцність.....	73
4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	77
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	77
4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці.....	80
4.3 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції.....	83
4.4 Пожежна безпека.....	86
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	89
5.1 Енергетичний розділ.....	89
5.2 Організаційний розділ.....	91
5.2.1 Розрахунок чисельності робітників.....	91
5.2.2 Визначення фондів заробітної плати	93
5.2.3 Продуктивність праці.....	94
5.3 Економічний розділ.....	94
5.3.1 Розрахунок капітальних вкладень.....	94
5.3.2 Планова калькуляція собівартості.....	95
5.3.3 Показники економічної ефективності.....	96
ВИСНОВКИ.....	99
CONCLUSIONS.....	101
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	103
ДОДАТКИ.....	107

ВСТУП

Механічна обробка металів різанням залишається фундаментальним технологічним процесом сучасного машинобудування. Ефективність та якість фінішних операцій безпосередньо визначаються властивостями різального інструменту, зокрема його зносостійкістю, твердістю та здатністю зберігати геометрію ріжучої кромки в умовах інтенсивних термомеханічних навантажень. Особливої гостроти ця проблема набуває під час обробки чавунних деталей, де інструмент зазнає інтенсивного абразивного зношування внаслідок наявності в структурі чавуну високотвердих фаз – цементиту, фосфідної евтектики та включень ливарного піску.

Серед усього спектру інструментальних матеріалів вольфрамокобальтові тверді сплави групи ВК займають домінуюче положення у промисловій практиці обробки чавунів. Сплав марки ВК3 (97 % WC, 3 % Co) завдяки мінімальному вмісту кобальтової зв'язки та дрібнозернистій структурі карбідної фази забезпечує максимальну твердість і розмірну стабільність різального клина, що робить його оптимальним вибором для чистових операцій фрезерування та точіння. Конструктивно сучасний різальний інструмент для таких операцій реалізується у вигляді змінних багатогранних непереточуваних пластин (ЗБП), які забезпечують оперативну заміну зношеної ріжучої кромки без демонтажу інструментальної збірки.

Виготовлення твердосплавних виробів здійснюється виключно методами порошкової металургії – галузі, що безперервно розвивається завдяки впровадженню нових технологій підготовки порошків, прецизійного формоутворення та високотемпературного спікання. Вибір раціональної технологічної схеми виробництва є ключовим інженерним завданням, оскільки він визначає якість кінцевого продукту, продуктивність дільниці та економічну ефективність підприємства.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Кравченко О.О			ВСТУП	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Бірюкович Л.О.					12	1	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31			
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.							
Затверд.		Богомол Ю. І.							

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вибір технологічного процесу

Механічне оброблення металів різанням є складним взаємопов'язаним комплексом фізико-хімічних явищ, що виникають у зоні контакту інструментального та оброблюваного матеріалів. Фізична сутність процесу руйнування припуску ґрунтується на локальній пластичній деформації зрізаного шару, яка неминуче супроводжується активним виділенням теплової енергії та контактним тертям [1]. У теплову енергію перетворюється близько 75–80 % витраченої механічної роботи, викликаючи екстремальний розігрів робочих поверхонь інструменту. Хімічний складник процесу обумовлений взаємодією новоутворених поверхонь стружки з ріжучим клином: за умов високих температур інтенсифікуються процеси мікродифузії легувальних елементів, поверхневого окиснення та адгезійного схоплювання фаз, що призводить до прогресуючої деградації структури інструменту [2].

У промисловій практиці механообробки різання чавунів демонструє специфічну кінематику порівняно зі сталями. Головною особливістю є формування дискретної стружки відриву (зламу), що суттєво мінімізує ризик пакетування стружки та спрощує геометрію стружковідвідних елементів. Однак ключовою технологічною проблемою є інтенсивне абразивне зношування робочих поверхонь ріжучого елемента. Така руйнівна дія зумовлена як наявністю структурно-вільного цементиту безпосередньо у матриці чавуну, так і специфікою ливарного походження заготовок – присутністю твердої гетерогенної кірки із вкрапленнями заформувальних піщаних частинок. Для компенсації цього фактора під час фінішних операцій різальний інструмент повинен мати оптимізовану (підсилену) геометрію ріжучої частини та виготовлятися з матеріалів із підвищеним опором

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Кравченко О.О.					
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						13	50
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		

механічному стиранню по задній поверхні [3].

Підбір інструментальних матеріалів здійснюється індивідуально, виходячи з кінематичних режимів різання (швидкості, подачі, глибини різання) та фізико-механічних характеристик заготовки. На практиці найпоширенішими ріжучими матеріалами є швидкоріжучі сталі та спечені тверді сплави

Швидкоріжучі сталі (HSS) традиційно використовуються для виготовлення інструментів складної просторової конфігурації (фасонні різці, свердла, черв'ячні фрези, розвертки та протяжки), де базовими критеріями є прецизійна точність профілю та високий опір динамічним (ударним) навантаженням [5]. Головними перевагами цього класу матеріалів є висока міцність на згин і значна в'язкість руйнування, що зводить до мінімуму схильність до крихкого викришування робочої крайки, а також відмінна технологічність (оброблюваність різанням) у відпаленому стані, яка дозволяє виконувати прецизійне загострення [4]. Водночас основним обмежувальним фактором швидкоріжучих сталей є їх відносно низька теплостійкість, або червоностійкість (втрата макротвердості за температурного нагріву понад 600–650 °C), що обмежує їх застосування низько- та середньошвидкісними режимами [4].

Тверді сплави є гетерогенними композиційними матеріалами, синтезованими за технологіями порошкової металургії, і є домінуючими у сучасному машинобудуванні [6]. Їхні фундаментальні переваги – екстремальна твердість (HRA 85–94) та високий поріг червоностійкості (збереження різальних властивостей за температурного розігріву до 800–1000 °C), що дозволяє форсувати швидкості різання у 3–5 разів порівняно зі сталевими аналогами [7]. Серед структурних недоліків спечених карбідів слід виділити підвищену схильність до крихкого руйнування, високу чутливість до циклічних теплових та ударних імпульсів, а також технологічну складність формоутворення суцільних виробів складної геометрії [6].

Залежно від фазово-хімічного складу, промислові тверді сплави поділяють на такі базові групи [7]:

1. Вольфрамокобальтові (група ВК): складаються з карбідної фази

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вольфраму WC та пластичної кобальтової зв'язки Co. Спеціалізуються на обробленні чавунів, кольорових сплавів та важкооброблюваних неметалічних матеріалів.

2. Титановольфрамові (група ТК): містять карбіди вольфраму та титану TiC. Застосовуються переважно для обробки сталей, оскільки фаза карбіду титану суттєво знижує коефіцієнт тертя та підвищує опір дифузійному руйнуванню.

3. Титанотанталовольфрамові (група ТТК): складні трикарбідні системи, леговані карбідами вольфраму, титану та танталу TaC. Виділяються підвищеною в'язкістю руйнування та стійкістю до важких умов чорнового різання з переривчастими (ударними) навантаженнями.

4. Безвольфрамові тверді сплави (кермети): композити на основі карбонітриду титану (Ti(C,N)) з нікель-молібденовим зв'язуючим матеріалом. Оптимізовані для фінішної обробки сталей на високих швидкостях завдяки низькій адгезійній спорідненості до заліза.

1.1.1 Вибір матеріалу

Фінішне механічне оброблення деталей із чавуну висуває жорсткі вимоги до інструментальних матеріалів, що зумовлено специфікою фазово-структурного стану та фізико-механічних характеристик цих сплавів. Чавуни є багатокомпонентними залізовуглецевими сплавами (із вмістом вуглецю понад 2,14 %), мікроструктура яких характеризується наявністю вільного графіту різної морфології та високотвердих структурних складових – цементиту або фосфідної евтектики [4]. Сірі чавуни (СЧ) із пластинчастою формою графіту характеризуються задовільною оброблюваністю різанням: графітні включення діють як тверде мастило та концентратори напружень, що полегшують дроблення стружки. Однак гетерогенна структура з наявністю абразивних фаз спричиняє інтенсивне механічне зношування різального клина. У свою чергу, високоміцні (ВЧ) та ковкі (КЧ) чавуни відрізняються підвищеними показниками пластичності й міцності, що під час різання генерує значні теплові навантаження на контактні

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні інструменту, вимагаючи від нього підвищеної термостійкості [4].

Технологічна специфіка чистових операцій (точіння, фрезерування) полягає у знятті припусків малого перерізу на форсованих швидкостях різання. Це ініціює інтенсивне локальне тепловиділення та концентрацію значних контактних напружень на мікроскопічній площі ріжучої кромки. З огляду на це, сучасні інструментальні матеріали повинні характеризуватися комплексом властивостей: надвисокою макротвердістю, червоностійкістю, хімічною інертністю (мінімальною схильністю до адгезійного захоплення із заготовкою) та високою розмірною стійкістю – здатністю зберігати геометрію різального клина під час тривалої експлуатації [1].

Конструктивно сучасний ріжучий інструмент для фінішних операцій переважно реалізується у вигляді змінних багатогранних непереточуваних пластин (ЗБП) різноманітної топології: ромбічної, трикутної, квадратної чи круглої [5]. Застосування ЗБП забезпечує прецизійне базування елемента в корпусі інструменту, оперативну індексацію зношеної ріжучої кромки та високу стабільність просторової геометрії, що є ключовим фактором забезпечення нормативних показників шорсткості.

Базовим інструментальним матеріалом для оброблення чавунних заготовок традиційно залишаються вольфрамокобальтові тверді сплави. Проте сучасні тенденції матеріалознавства спрямовані на синтез структур із використанням дрібнозернистих, субмікронних та нанодисперсних порошків карбіду вольфраму. Подрібнення розміру карбідного зерна в металевій матриці забезпечує синергетичний ефект – одночасне підвищення мікротвердості та в'язкості руйнування (тріщиностійкості). Використання таких субмікронних структур зі зниженою часткою кобальтової зв'язки гарантує високу розмірну стабільність профілю і дозволяє формувати екстремально гострі ріжучі кромки. Це, своєю чергою, мінімізує складові сили різання та забезпечує досягнення мінімальної шорсткості поверхні [8].

Радикальним кроком у підвищенні експлуатаційного ресурсу твердосплавного інструменту є впровадження багат шарових зносостійких

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покриттів, методами хімічного (CVD) або фізичного (PVD) осадження з газової фази. Практика механообробки чавуну доводить найвищу ефективність композиційних покриттів на базі карбонітриду титану та оксиду алюмінію. Ці надтонкі плівки (завтовшки кілька мікрметрів) функціонують як потужний термодинамічний бар'єр, суттєво екрануючи твердосплавну основу від теплових ударів. Крім того, вони відіграють роль хімічно інертної мембрани, що нівелює дифузійне розчинення компонентів твердого сплаву у стружці та унеможливорює адгезійне схоплювання фаз [1].

Під час реалізації технологій високошвидкісного фінішного оброблення сірих і високоміцних чавунів «насухо» (без застосування мастильно-охолоджувальних технологічних рідин) перспективним напрямом є використання інструментальної мінералокераміки. Особливий промисловий інтерес становить нітридокремнієва кераміка, яка, на відміну від класичної оксидної, характеризується значно вищою в'язкістю руйнування та безпрецедентною термостійкістю. Завдяки хімічній інертності до залізовуглецевих сплавів навіть за температур у зоні різання понад 1000 °С, матеріали на основі нітриду кремнію є оптимальними для форсованих режимів, за яких традиційні вольфрамокобальтові сплави піддаються катастрофічній пластичній деформації або терморозтріскуванню [6].

В екстремальних умовах високошвидкісного чистового різання чавунів ($V=300\text{--}600$ м/хв), коли контактні температури перевищують 1000 °С, спостерігається стрімке дифузійне зношування зі втратою вихідної геометрії твердосплавного інструменту. У цьому діапазоні режимів високоефективною альтернативою є застосування надтвердих матеріалів (НТМ) на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Структура КНБ зберігає свої фізико-механічні параметри за температур до 1300 °С і проявляє абсолютну хімічну інертність до заліза. Експериментальні дослідження доводять, що ресурс інструменту з КНБ під час обробки високоміцних чавунів кратно перевищує показники твердих сплавів. Зокрема, під час фінішного торцевого фрезерування використання пластин із КНБ забезпечує параметри шорсткості в межах $Ra\ 0,32\text{--}2,5$ мкм, що дозволяє виключити з технологічного процесу трудомістку абразивну обробку (шліфування).

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Проте обов'язковою передумовою ефективної експлуатації крихких інструментів із КНБ є забезпечення високої динамічної жорсткості та температурної стабільності технологічної системи верстата [9].

Передовий досвід провідних світових виробників різального інструменту (наприклад, компанії ISCAR) доводить, що ефективність механообробки чавунів обмежується не лише абразивним впливом графіту, але й циклічними термічними навантаженнями. Для нівелювання цих факторів у сучасних конструкціях ЗБП застосовують спеціальну підготовку ріжучої кромки – формування Т-подібної (скошеної) фаски. Сучасні методи комп'ютерного моделювання процесу стружкоутворення дозволяють оптимізувати параметри фаски, що радикально підвищує макроміцність леза та унеможлиблює його мікрОВикришування на фінішних операціях [10].

Крім того, для високошвидкісного оброблення чавунів (зокрема сірого та ковкого) доведено технічну доцільність застосування керамічних пластин на основі нітриду кремнію (Si_3N_4) зі спеціальними CVD-покриттями, а також впровадження інноваційних архітектур покриттів, що комбінують технології хімічного (CVD) та фізичного (PVD) осадження на єдиній твердосплавній основі. Такі конструктивні рішення дозволяють підвищити швидкості різання у 3–5 разів порівняно з традиційними вольфрамокобальтовими сплавами та забезпечують еталонну якість обробленої поверхні [10].

Таким чином, для досягнення найвищих експлуатаційних показників під час чистового фрезерування поверхні корпусу редуктора, виготовленого із сірого чавуну (СЧ), найбільш раціональним є вибір безпокриттєвого твердого сплаву марки ВК3 (група застосування K01–K10 за стандартом ДСТУ ISO 513 [11]) у вигляді змінних багатогранних непереточуваних пластин. Дрібнозерниста структура карбідної фази та мінімальний вміст кобальтової зв'язки (3 %) у даному матеріалі забезпечують гранично високу матричну твердість, що гарантує тривале збереження розмірної точності інструменту та стабільно низькі параметри шорсткості обробленої поверхні в умовах інтенсивного абразивного витирання. Окрім суто технологічних переваг, вибір базового сплаву ВК3 обумовлений

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високою економічною доцільністю. На відміну від впровадження додаткових багат шарових модифікуючих покриттів (CVD або PVD), які критично підвищують собівартість готового інструменту через високу енергоємність, капіталомісткість обладнання та тривалість високотемпературного синтезу, високий природний потенціал зносостійкості сплаву ВКЗ дозволяє повністю забезпечити задану якість фінішного оброблення корпусної деталі за суттєво нижчих виробничих витрат.

1.1.2 Вибір і обґрунтування технологічного процесу

Розробка технологічного процесу виробництва змінних багатограних пластин (ЗБП) із твердих сплавів для чистової обробки чавуну (зокрема, фрезерування корпусу редуктора) вимагає врахування жорстких вимог до якості інструменту, його експлуатаційних характеристик в умовах інтенсивного абразивного зношування, а також економічної ефективності та масштабованості виробництва. У межах даного підрозділу проаналізовано основні технологічні підходи до виготовлення заготовок із дрібнозернистого вольфрамокобальтового твердого сплаву марки ВКЗ, обраного для цієї мети, з урахуванням специфіки його застосування.

Узагальнену технологічну схему виготовлення виробів з вольфрамівмісних твердих сплавів зображено на рисунку 1.1.

Вибір конкретної технологічної схеми виробництва твердосплавних виробів визначається маркою сплаву, необхідним комплексом фізико-механічних властивостей, геометрією інструменту та загальною техніко-економічною доцільністю. Основна відмінність технологічних схем полягає у застосуванні різних методів формоутворення (пресування). Водночас існують спеціалізовані технологічні процеси, які дозволяють інтегрувати стадії ущільнення порошкової шихти та її спікання в єдиний комплексний цикл.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Узагальнена послідовність технологічних операцій виготовлення вольфрамовмісного твердосплавного інструменту [12]

Технологія холодного ізостатичного пресування (ХІП) базується на всебічному гідростатичному обтисненні порошкової шихти, що забезпечує рівномірний розподіл щільності по всьому об'єму заготовки та мінімізацію залишкових внутрішніх напружень (рис1.2). Цей метод є високоефективним для виготовлення великогабаритних деталей або виробів зі складною просторовою конфігурацією. Проте для серійного та масового випуску компактних змінних багатогранних пластин (ЗБП) стандартизованої форми застосування технології ХІП є економічно невиправданим через високу трудомісткість операцій, низьку циклову продуктивність та загальну складність апаратного оформлення процесу.

На початковому етапі здійснюється синтез базових компонентів сплаву. Металевий вольфрам (W) отримують шляхом відновлення вольфрамового ангідриду (WO_3) у середовищі водню з подальшим просіюванням. Паралельно, за аналогічною схемою відновлення (з оксиду кобальту), отримують порошок металічного кобальту (Co), який виконуватиме функцію пластичної зв'язки. Отриманий вольфрам змішують із вуглецем (сажею) та піддають високотемпературній карбідизації (за 1400–1500 °C) для синтезу карбіду вольфраму (WC). Синтезований карбід проходить етапи розмелювання та контрольного просіювання.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступним важливим етапом є приготування робочої шихти. Порошки карбіду вольфраму та кобальту завантажуються для сумісного мокрого розмелу (зазвичай в етиловому спирті), що забезпечує їх подрібнення та гомогенізацію. Після цього суміш проходить дистиляцію (відгонку рідини), просіювання та змішування з технологічним пластифікатором. Для надання порошку необхідних технологічних властивостей (текучості та пресованості) суміш піддають сушінню, протиранню через сито, грануляції та фінальному просіюванню.

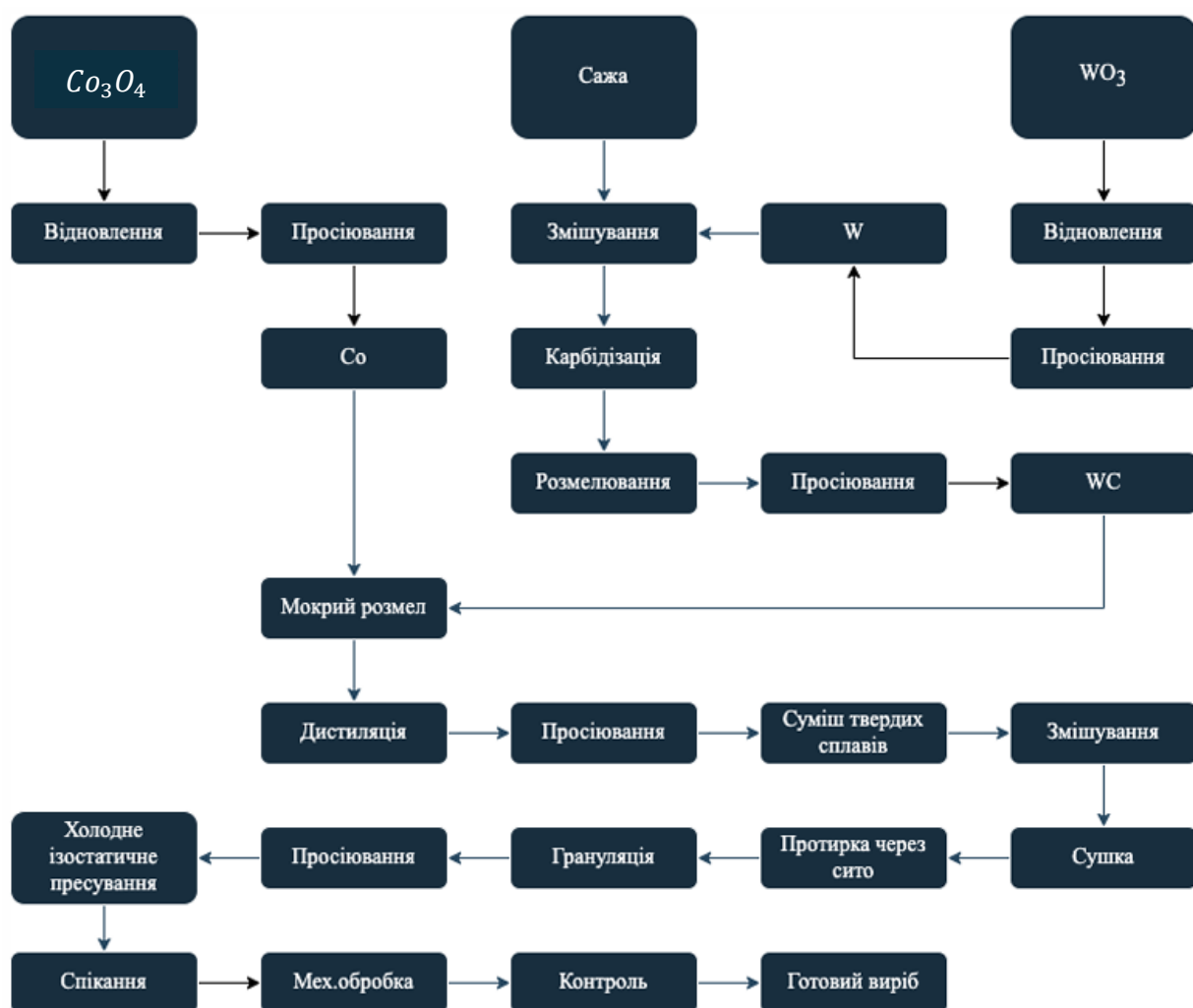


Рисунок 1.2 – Схема технологічного процесу формування твёрдосплавних виробів методом холодного ізостатичного пресування

Наступним важливим етапом є приготування робочої шихти. Порошки карбіду вольфраму та кобальту завантажуються для сумісного мокрого розмелу (зазвичай в етиловому спирті), що забезпечує їх подрібнення та гомогенізацію.

Після цього суміш проходить дистиляцію (відгонку рідини), просіювання та змішування з технологічним пластифікатором. Для надання порошку необхідних технологічних властивостей (текучості та пресованості) суміш піддають сушінню, протиранню через сито, грануляції та фінальному просіюванню.

Сформований гранульований прес-порошок направляється на операцію формоутворення методом холодного ізостатичного пресування. Порошок засипають в еластичні оболонки (матриці) та піддають всебічному гідростатичному стисненню в ізостатах за високого тиску. Це дозволяє отримати великогабаритні заготовки зі складною конфігурацією, які характеризуються рівномірним розподілом щільності та відсутністю внутрішніх напружень.

На фінальній стадії спресовані напівфабрикати проходять високотемпературне рідиннофазне спікання у вакуумі або захисному середовищі, де остаточно формується монолітна твердосплавна структура. Після цього спічені заготовки піддаються алмазній механічній обробці (для забезпечення точних геометричних розмірів), проходять вихідний технічний контроль і маркуються як готовий виріб [6].

Метод гарячого пресування застосовують для термомеханічної консолідації порошкових матеріалів з метою досягнення мінімальних показників залишкової пористості(рис. 1.3). Це забезпечує формування структури з щільністю, близькою до теоретичної, та гарантує високі міцнісні характеристики готових виробів.

Відповідно до технологічної схеми (рис. 1.3), відмінною рисою даної технології є об'єднання процесів формоутворення та термічної обробки в єдину термомеханічну операцію. Після повного циклу підготовки шихти підготовлений прес-порошок завантажується безпосередньо в матриці, виготовлені з жароміцного графіту.

Для консолідації вольфрамокобальтового сплаву марки ВК3 процес гарячого пресування реалізується за температур 1450–1550 °С та питомого тиску 7–15 МПа. Варто зазначити, що через мінімальний вміст легкоплавкої кобальтової фази (лише 3 %), температура гарячого пресування для ВК3 підтримується на верхній межі робочого діапазону. Інтенсивне нагрівання найчастіше здійснюється індукційним

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

методом або шляхом прямого пропускання електричного струму через провідні графітові пуансони. Це зумовлює екстремально швидке ущільнення матеріалу за рахунок інтенсифікації процесів пластичної течії, скорочуючи час ізотермічної витримки до 2–4 хвилин [13].

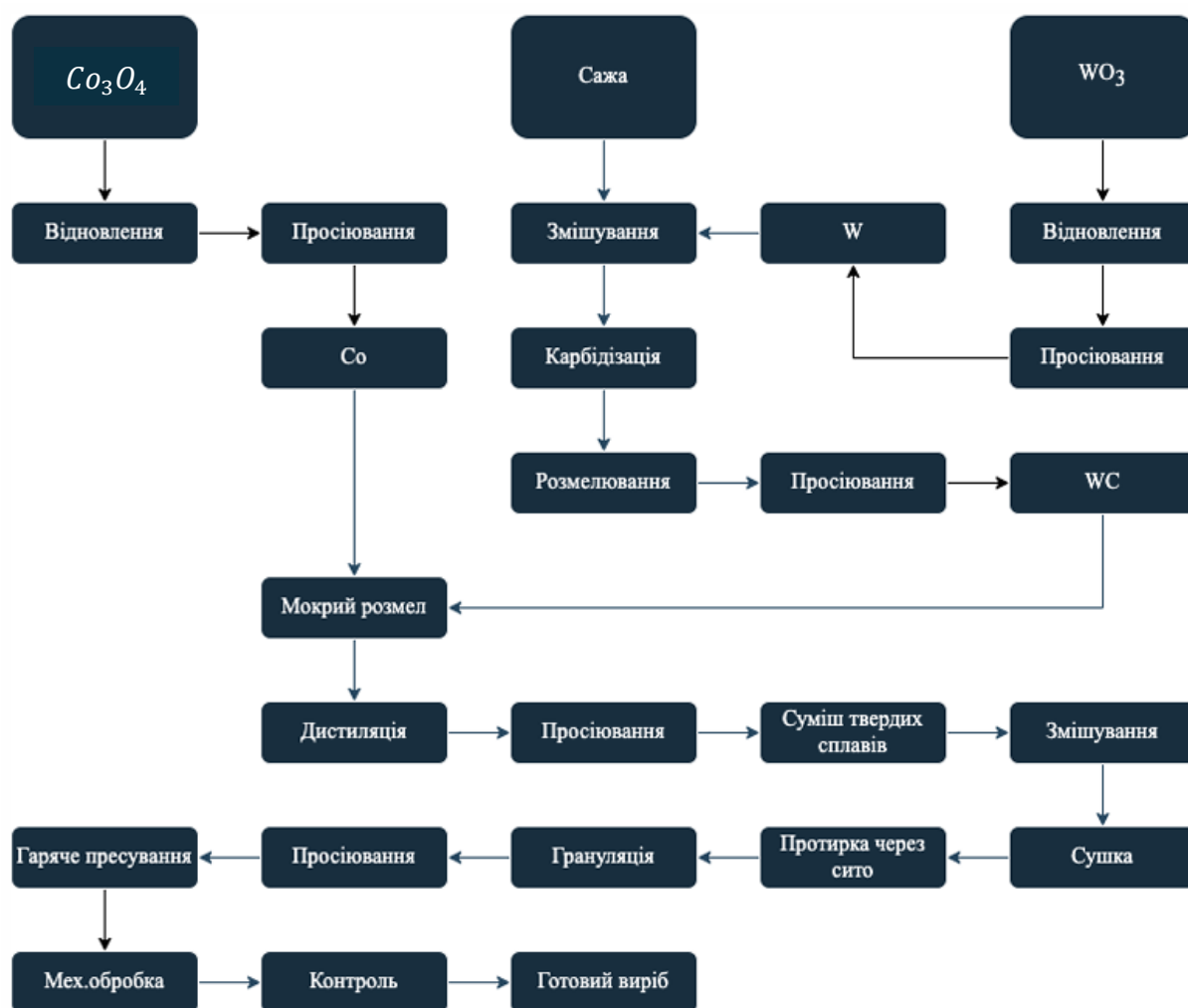


Рисунок 1.3 – Схема технологічного процесу виготовлення твердосплавних виробів методом гарячого пресування

Для консолідації вольфрамокобальтового сплаву марки ВК3 процес гарячого пресування реалізується за температур 1450–1550 °С та питомого тиску 7–15 МПа. Варто зазначити, що через мінімальний вміст легкоплавкої кобальтової фази (лише 3 %), температура гарячого пресування для ВК3 підтримується на верхній межі робочого діапазону. Інтенсивне нагрівання найчастіше здійснюється індукційним методом або шляхом прямого пропускання електричного струму через провідні

графітові пуансони. Це зумовлює екстремально швидке ущільнення матеріалу за рахунок інтенсифікації процесів пластичної течії, скорочуючи час ізотермічної витримки до 2–4 хвилин [13].

Хоча одночасна дія тиску та високої температури дозволяє отримати твердосплавні заготовки з щільністю, що наближається до теоретичної, і мінімальним розміром зерна карбідної фази, для серійного виробництва змінних багатогранних пластин (ЗБП) цей метод є техніко-економічно недоцільним.

Головними обмежувальними факторами є критично низька стійкість формувальної оснастки (графітові матриці витримують лише один або декілька циклів через окиснення та зношування), висока загальна енергоємність процесу, необхідність тривалого охолодження заготовок разом із формою, а також неможливість забезпечення масової циклової продуктивності.

Відповідно до представленої технологічної схеми (рис. 1.4), метод мундштучного пресування (екструзії) має специфічні відмінності, що стосуються переважно стадій підготовки шихти та безпосереднього формоутворення.

Початкові етапи хіміко-металургійного синтезу вихідних порошків вольфраму (W), кобальту (Co) та карбіду вольфраму (WC), а також їх сумісний мокрий розмел ідентичні класичним схемам порошкової металургії. Однак ключова відмінність полягає на етапі змішування твердосплавної шихти з пластифікатором. Для забезпечення процесу екструзії порошкова суміш має бути перетворена на високов'язку пластичну масу (так зване «твердосплавне тісто»). Для цього в порошок вводять значну кількість (до 8–12 % за масою) спеціальних пластифікаторів – розчинів парафіну, бджолиного воску або синтетичних каучуків у летких розчинниках.

Підготовлена пластифікована маса завантажується в робочу камеру екструзійного преса. Під дією пуансона або шнека суміш продавлюється через профільований отвір спеціальної матриці – мундштука. Цей метод дозволяє безперервно формувати довгомірні заготовки сталого поперечного перерізу: суцільні прутки, трубки або профілі зі складними внутрішніми каналами для

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підведення охолоджувальної рідини. Сформована безперервна стрічка розрізається на заготовки заданої довжини.

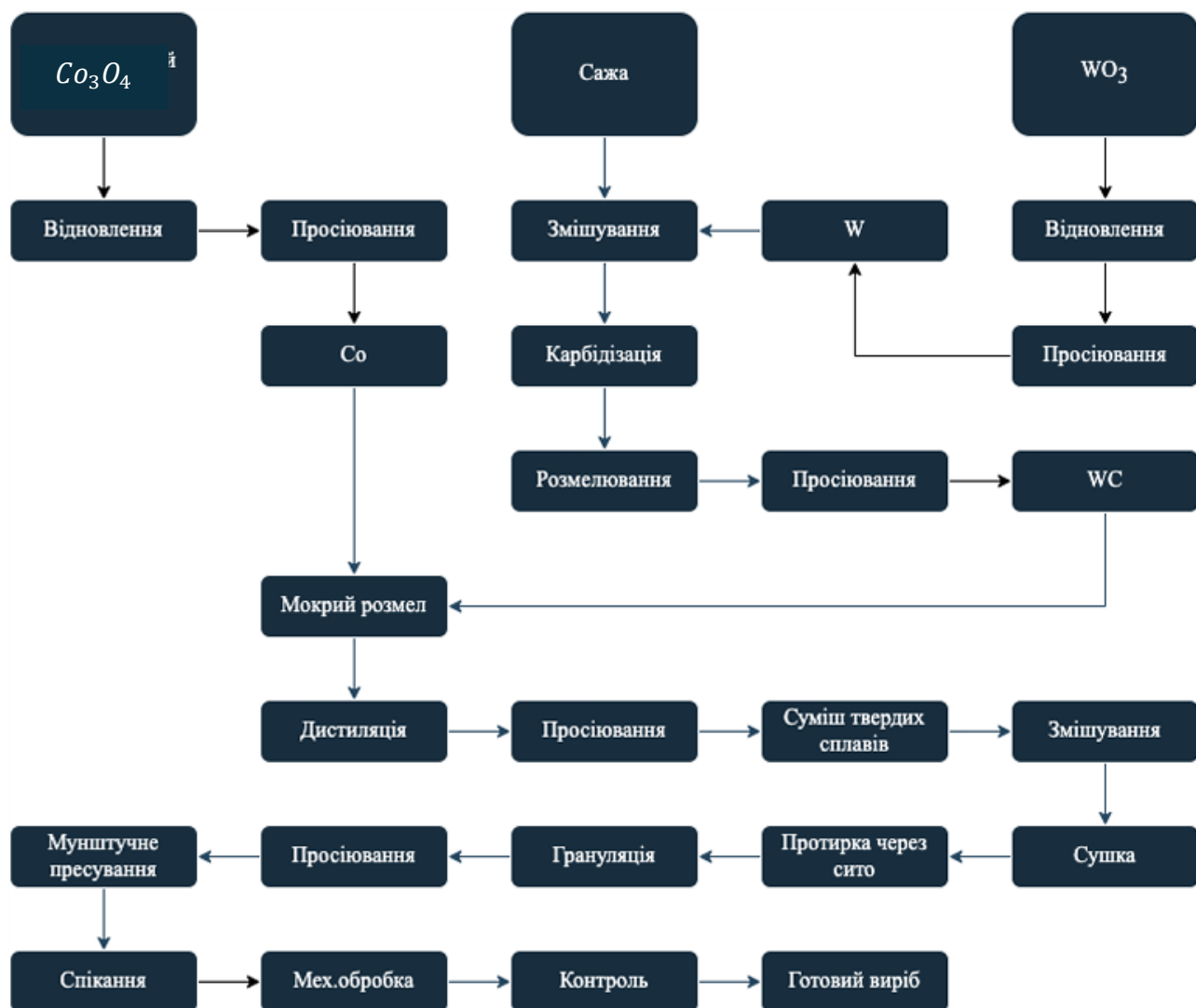


Рисунок 1.4 – Схема технологічного процесу виготовлення твердосплавних виробів методом мундштучного пресування

Після пресування заготовки проходять тривалу стадію термічної деваксації для обережного видалення великої кількості пластифікатора, після чого піддаються високотемпературному рідиннофазному спіканню. На фінальному етапі спічені профілі проходять механічну обробку та вихідний контроль.

Незважаючи на високу продуктивність методу мундштучного пресування під час виготовлення осьового інструменту (свердел, кінцевих фрез, розверток), його застосування для виготовлення змінних багатогранних пластин (ЗБП) зі сплаву ВКЗ

є технологічно неможливим. Екструзія дозволяє отримувати лише вироби, витягнуті вздовж однієї осі, і не здатна забезпечити просторове просторове формоутворення плоских багатогранних деталей із центральними отворами, фасками та стружколамальними канавками. З огляду на це, даний метод виключається з подальшого розгляду як нерелевантний для об'єкта даного дипломного проєкту [13].

Для спрощення технологічного циклу дільниці та зниження його капіталомісткості у цьому дипломному проєкті передбачається використання готових промислових порошків карбіду вольфраму (WC) та металевого кобальту (Co) із заданим субмікронним гранулометричним складом і високою хімічною чистотою. Такий підхід дозволяє виключити металургійні операції з отримання вихідної сировини, які є надзвичайно технологічно складними, енергоємними та критично впливають на загальну собівартість виробництва. Зокрема, уникнення стадій відновлення вольфрамового ангідриду, подальшого високотемпературного синтезу карбіду вольфраму (карбідизації в середовищі водню або вакуумі за температур понад 1400 °C), а також первинного грубого подрібнення дозволяє відмовитись від спеціалізованого хіміко-металургійного обладнання та суттєво скоротити витрати на енергоносії. Використання якісних стандартизованих порошків дає змогу зосередити виробничі потужності підприємства виключно на ключових етапах формоутворення та спікання інструменту.

Традиційна та найбільш економічно обґрунтована технологічна схема виробництва вольфрамокобальтових твердих сплавів передбачає чітку послідовність операцій: прецизійну підготовку вихідної шихти (сумісне розмелювання порошків із пластифікатором), формування заготовок (пресування) та рідиннофазне спікання. Цей базовий метод є безальтернативним для масового виробництва різальних пластин, оскільки він забезпечує стабільність фізико-механічних характеристик (максимальну твердість), структурну однорідність та прецизійну точність геометричних параметрів ЗБП [13].

Як остаточну технологічну схему виготовлення твердосплавного інструменту зі сплаву ВКЗ для операцій чистового фрезерування корпусу редуктора обрано

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схему, до якої входить метод холодного пресування у прес-формах із наступним двостадійним спіканням та проміжною механічною обробкою (рис.1.5).



Рисунок 1.5 – Схема технологічного процесу виготовлення твердосплавних виробів холодного пресування з двостадійним спіканням

Даний технологічний маршрут базується на використанні готових високоякісних порошків, що дозволяє уникнути енергоємних стадій хіміко-металургійного синтезу. На початковому етапі здійснюється прецизійне дозування вихідних компонентів: 97 % субмікронного порошку карбіду вольфраму (WC) та 3 % порошку кобальту (Co). Шихта піддається мокрому розмелюванню в шарових млинах у середовищі етилового спирту для досягнення максимальної гомогенізації та подрібнення карбідної фази.

Після попередньої сушки, яка видаляє рідке середовище, порошок проходить стадію замішування з розчином пластифікатора (найчастіше – парафіну в бензині). Наступна сушка видаляє розчинник пластифікатора, після чого маса піддається грануляції (протиранню через сита). Цей етап є критично важливим для надання прес-порошку необхідної текучості та забезпечення рівномірного заповнення матриці.

Формоутворення заготовок здійснюється методом холодного пресування у сталевих або твердосплавних прес-формах. Оскільки виготовлення складного

профілю фрезерних пластин безпосередньо під час пресування є ускладненим, прес-форма задає лише базову (чорнову) геометрію виробу.

Ключовою особливістю обраної технологічної схеми є розділення операції спікання на два етапи. Попереднє спікання проводиться за температур 800–1000 °С у захисному середовищі. На цій стадії відбувається повна деваксація (випаровування пластифікатора) та первинна твердофазна взаємодія компонентів. Заготовка набуває міцності, подібної до крейди, що дозволяє застосувати проміжну механічну обробку (заточування). На цьому етапі за допомогою звичайного лезового або абразивного інструменту формується точний профіль виробу, задаються необхідні передні та задні кути ріжучої кромки з урахуванням припуску на усадку (18–22 %). Впровадження цієї операції є економічно виправданим для сплаву ВКЗ, оскільки його обробка після кінцевого спікання є надзвичайно трудомісткою через екстремально високу твердість.

Сформовані пластини направляються на кінцеве спікання, яке відбувається за температур 1450–1550 °С. Під час рідиннофазного спікання розплавлений кобальт змочує зерна карбіду вольфраму, забезпечуючи інтенсивне ущільнення матеріалу до стану, близького до теоретичної щільності.

На фінальній стадії готові вироби піддаються прецизійній механічній обробці (алмазному шліфуванню) для зняття мінімальних припусків, забезпечення точних геометричних допусків та формування ідеальної шорсткості робочих поверхонь, необхідної для чистового фрезерування чавуну.

1.1.3 Висновки та поставка задачі проєктування

У результаті проведеного аналізу сучасних методів порошкової металургії, придатних для виготовлення різального інструменту, встановлено, що альтернативні технології із застосуванням гарячого, ізостатичного або мундштучного пресування не задовольняють вимогам серійного випуску змінних багатогранних пластин (ЗБП). Їх застосування є економічно та технологічно недоцільним через високу енергоємність, низьку стійкість формувальної оснастки

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

та неможливість отримання складних просторових профілів у масовому виробництві.

Для виготовлення інструменту, призначеного для чистового фрезерування корпусів редукторів із сірого чавуну, як оптимальний матеріал обрано особливо твердий дрібнозернистий сплав марки ВКЗ (97 % WC, 3 % Co). З огляду на специфіку цього матеріалу та конструктивні вимоги до виробу, найраціональнішою визнано технологічну схему, в якій застосовується холодне двостороннє пресування у сталевих матрицях із застосуванням готових вихідних порошків та двостадійного спікання (рис. 1.5).

1.2 Опис технологічного процесу

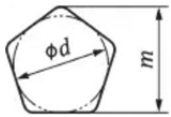
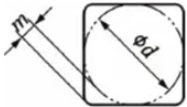
1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї

На основі проведеного аналізу ринку твердосплавного інструменту для чистової обробки чавунів встановлено, що найвищий стабільний попит спостерігається на змінні багатогранні пластини (ЗБП) для оснащення збірних торцевих фрез та токарних різців [10]. З огляду на це, номенклатура виробництва, що проектується, орієнтована на випуск ЗБП найбільш затребуваної геометрії, а саме: п'ятигранних, тригранних, ромбічних та квадратних. Детальні масо-габаритні та геометричні характеристики обраної номенклатури виробів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні умови на готову продукцію

Найменування	Характеристика	Державний стандарт або технічні умови
1	2	3
Пластина трикутника зі стружколамом		ДСТУ ISO 1832:2015 (ISO 1832:2012, IDT)[14]

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Пластина п'ятигранна		ДСТУ ISO 1832:2015 (ISO 1832:2012, IDT)[14]
Пластина квадратна зі стружколамом на обох площинах		ДСТУ ISO 1832:2015 (ISO 1832:2012, IDT)[14]

На ділянці, що проектується, планується серійне виготовлення квадратних змінних багатограних пластин (форми SNMG 120408) зі стружколамальними канавками на обох робочих площинах. Відповідно до чинних нормативних документів, базові геометричні параметри цих виробів становлять:

- діаметр вписаного кола, $d = 12,7$ мм;
- товщина пластини, $m = 4,76$ мм;
- теоретична довжина різальної кромки, $l = 12,7$ мм;
- діаметр центрального кріпильного отвору, $d_1 = 5,16$ мм;
- радіус скруглення при вершині, $r = 0,8$ мм.

Ескіз змінної багатогранної пластини із зазначенням основних геометричних параметрів наведено на рисунку 1.1.

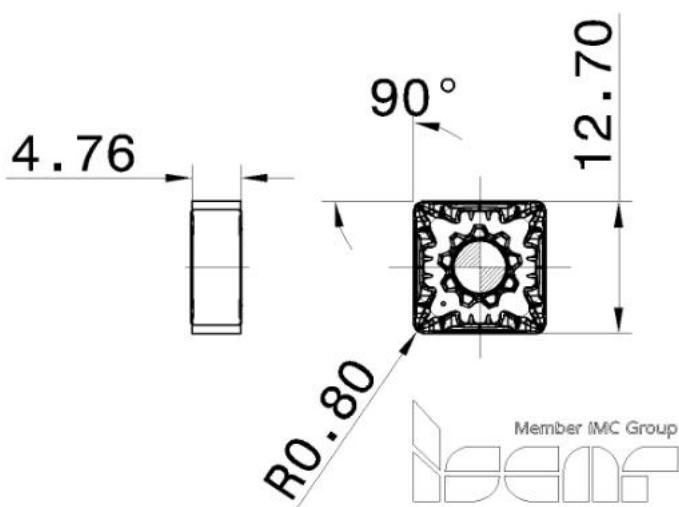


Рисунок 1.6 – Ескіз та геометричні параметри квадратної змінної багатогранної пластини форми SNMG 120408 [10]

1.2.2 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї

Як базова вихідна сировина для реалізації технологічного процесу, що проектується, планується використовувати промислові порошки карбіду вольфраму (WC) та металевого кобальту (Co). Детальні фізико-хімічні та технологічні характеристики цих матеріалів наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики порошків

Порошок	Склад	Характеристика	ДСТУ або ТУ
Карбіду вольфраму (WC250/1.0)	Mo	$\leq 0,18 \%$	ТУ 48-19-540-92[15]
	Si	$\leq 0,006 \%$	
	Fe	$\leq 0,03 \%$	
	Na	$\leq 0,06 \%$	
	Ca	$\leq 0,07 \%$	
	C	6,04–6,13 %	
	S	$\leq 0,02 \%$	
Металевого кобальту (K1A)	Co	$> 99,3 \%$	ДСТУ ГОСТ 123:2009 [16]
	Fe	$\leq 0,3 \%$	
	Cd	$\leq 0,001$	
	Cu	$\leq 0,03$	
	As	$\leq 0,002$	
Парафін (П-1)	Масова частка золи	$\leq 0,001 \%$	ГОСТ 23683-89 [17]
	Масова частка масла	$\leq 0,8 \%$	

1.2.3 Опис технологічних операцій

Процес виготовлення твердого сплаву розпочинається з вагового дозування вихідних порошків карбіду вольфраму (WC) та кобальту (Co) у строго регламентованій пропорції 97 % WC до 3 % Co за масою. Враховуючи мінімальний вміст кобальтової фази у сплаві марки ВКЗ, допуск на похибку під час зважування зводиться до мінімуму, оскільки навіть незначні відхилення хімічного складу призводять до різкого падіння міцності або твердості готового інструменту [18].

Віддозовані компоненти завантажуються у барабанні кульові млини. Для

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

запобігання забрудненню шихти сторонніми домішками (зокрема залізом), внутрішня футеровка барабана та розмелювальні тіла (кулі) виготовляються з твердого сплаву аналогічної або близької марки. Процес здійснюється за принципом мокрого розмелювання. Як розмелювальне (дисперсійне) середовище використовується технічний етиловий спирт. Рідина виконує три критично важливі функції: запобігає окисненню високоактивних дрібнодисперсних порошків, запобігає їх злежуванню на стінках барабана та забезпечує ефект Ребіндера (адсорбційне зниження міцності), що інтенсифікує мікрорізання та руйнування агломератів карбиду вольфраму [6].

Завантаження млина здійснюється із дотриманням оптимальних технологічних пропорцій: відношення маси розмелювальних тіл до маси порошку (шихти) зазвичай становить від 3:1 до 5:1, а об'єм рідини підбирається з розрахунку 0,3–0,5 літра на 1 кг твердої фази.

З точки зору матеріалознавства, під час тривалого мокрого розмелювання (від 24 годин до 48 годин) відбувається не просто механічне диспергування частинок. Оскільки карбід вольфраму є крихким, а кобальт – високопластичним металом, під впливом ударно-стиральної дії куль частинки кобальту пластично деформуються і тонким шаром «намазуються» (плакуються) на поверхню подрібнених зерен карбиду вольфраму [19]. Саме цей механізм гарантує ідеальне обволікання кожної частинки твердої фази металевою зв'язкою, що є головною передумовою для успішного рідиннофазного спікання сплаву ВКЗ і формування практично безпористої структури.

Після завершення циклу гомогенізації та досягнення необхідного гранулометричного складу (менше 1–1,5 мкм), готова твердосплавна пульпа вивантажується з млина. Далі суміш направляється у спеціальні вакуумно-дистиляційні апарати, де за температури 60–80 °С та зниженого тиску відбувається випаровування і регенерація етилового спирту. На виході отримують суху, ідеально перемішану порошкову суміш, готову до подальшої пластифікації [20].

Високодисперсна твердосплавна суміш після розмелювання має вкрай низьку плинність (текучість) та малу насипну щільність, що абсолютно унеможлиблює її

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

точне об'ємне дозування в матриці швидкісних пресів-автоматів. Крім того, карбід вольфраму є крихким матеріалом, який погано ущільнюється без змащувальних речовин. Тому для надання порошку необхідних технологічних властивостей – плинності та пресованості – здійснюється операція пластифікації з подальшою грануляцією [6].

Як пластифікатор (тимчасову технологічну зв'язку) використовують розчин високоочищеного твердого нафтового парафіну (марки П-1) у леткому розчиннику (наприклад, екстракційному бензині). Вибір саме парафіну П-1 є критично важливим для виробництва сплаву ВКЗ. Оскільки цей парафін має зольність менше 0,001 %, що гарантує повну відсутність залишкових неметалевих включень (шлаків) у структурі пластини після його термічного випаровування на стадії деаерації. Будь-які домішки стали б центрами концентрації напружень і призвели б до крихкого руйнування фрези під час обробки чавуну [19].

Процес пластифікації відбувається у шнекових змішувачах із паровим чи електричним підігрівом. До сухої шихти додають парафіновий розчин (з розрахунку 1,5–2,5 % чистого парафіну від маси порошку). Під час інтенсивного механічного перемішування розчин рівномірно обволікає кожну твердосплавну частинку, утворюючи тонку адсорбційну плівку.

Після досягнення повної гомогенізації вологу масу піддають сушінню у вакуумних сушильних шафах за температур 60–90 °С для повного видалення леткого розчинника (пари бензину конденсуються та повертаються в технологічний цикл). У результаті утворюється сухий, але зцементований парафіном блок твердосплавної маси.

Наступним кроком є безпосередня грануляція: висушена маса подається у вібраційні або роторні гранулятори, де вона обережно протирається через систему металевих сіток (зазвичай із розміром вічка 0,2–0,5 мм). У результаті механічного протирання утворюється гранульований прес-порошок (гранулят) [20].

Завдяки округлій (сфероїдальній) формі гранул та наявності парафінової плівки, яка додатково діє як змазка під час пресування, гранулят набуває відмінної плинності та стабільної насипної щільності. Це гарантує ідеальне об'ємне

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозування шихти у прес-формах та дозволяє уникнути небезпечних градієнтів щільності у спресованих заготовках, що є головною умовою відсутності мікротріщин у готовому інструменті [6].

Операція формоутворення призначена для отримання з гранульованого прес-порошку напівфабрикату («сирцю») із заданою конфігурацією та початковою щільністю. Для великосерійного виробництва змінних багатогранних пластин (ЗБП) застосовується метод холодного двостороннього пресування у жорстких матрицях на спеціалізованих багатопозиційних пресах-автоматах [6].

Гранулят подається у прес-форму за допомогою автоматичного об'ємного дозатора. Двостороннє прикладання навантаження (зустрічний рух верхнього та нижнього пуансонів) є критично важливим технологічним рішенням для мінімізації градієнта щільності по висоті заготовки. Оптимальний питомий тиск пресування для суміші ВКЗ становить 150–250 МПа. Такий тиск забезпечує руйнування оболонки гранул, щільне пакування субмікронних карбідних зерен та їх механічне зчеплення через кобальтовий прошарок, але при цьому запобігає виникненню надмірної пружної післядії, яка могла б призвести до появи макроскопічних тріщин (перепресування) [20].

Парафінова плівка, що покриває частинки, на цьому етапі відіграє роль змазки: вона суттєво знижує сили міжчастинкового тертя, а також тертя порошку об стінки матриці. Сама матриця виготовляється з твердого сплаву групи ВК (з високим вмістом кобальту) для запобігання її абразивному зношуванню. Геометричні розміри робочої порожнини прес-форми (і, відповідно, отриманого «сирцю») розраховуються зі значним припуском, оскільки під час остаточного рідиннофазного спікання сплав ВКЗ дає лінійну усадку на рівні 18–22 % [18].

Спресовані заготовки мають відносно низьку механічну міцність і містять значну кількість пластифікатора (до 2,5 % мас.), який необхідно повністю видалити до початку високотемпературного ущільнення. Для цього застосовують багатоступеневу операцію попереднього спікання, яка проводиться у вакуумних або захисно-відновних (водневих) прохідних печах за максимальних температур 800–1000 °С [20].

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термічний цикл розпочинається з повільного нагрівання до температурного діапазону 200–400 °С із тривалою ізотермічною витримкою. Цей критичний етап називається деваксацією (видаленням зв'язки). Швидкість нагрівання має бути жорстко регламентована (не більше 2–5 °С/хв), оскільки занадто інтенсивне випаровування або термічна деструкція парафіну призводить до різкого підвищення внутрішнього тиску газів у порах заготовки. Це неминуче викликає мікроскопічні розриви та макроскопічне розшарування (здуття) пресовки [18].

Після повної відгонки та конденсації пари пластифікатора температуру в робочому просторі печі підвищують до 800–1000 °С. У цьому температурному інтервалі ініціюється процес первинного твердофазного спікання. Завдяки інтенсифікації поверхневої дифузії атомів кобальту, між розмеленими зернами карбіду вольфраму утворюються первинні металеві контакти (містки зчеплення), а також знімаються залишкові мікронапруження після пресування [6].

У результаті охолодження після попереднього спікання твердосплавна заготовка набуває специфічного «крейдоподібного» стану (міцність на згин досягає 10–15 МПа). Такої міцності цілком достатньо для безпечного міжопераційного транспортування та закріплення у патронах верстатів, однак матеріал залишається достатньо податливим для подальшої проміжної механічної обробки звичайним інструментом [20].

Впровадження стадії проміжної механічної обробки є критично необхідним технологічним рішенням для виробництва інструменту зі сплаву марки ВК3. Оскільки даний сплав містить лише 3 % пластичної кобальтової зв'язки, після остаточного спікання він набуває екстремально високої твердості (89–91 HRA), що робить фінішне профілювання стружколамальних канавок, фасок та задніх кутів різального клина економічно вкрай невигідним через значний знос алмазного інструменту [19].

Обробка здійснюється по напівспеченому матеріалу («сирцю»), який після деваксації має структуру з відкритими порами та механічну міцність, подібну до крейди. На спеціалізованих верстатах з ЧПУ за допомогою стандартного твердосплавного або абразивного інструменту заготовці надають кінцевої

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

просторової геометрії. Головною інженерною особливістю цієї операції є те, що всі розміри профілю, радіуси та кути розраховуються та виконуються зі строго визначеним припуском на майбутню об'ємну усадку. Для системи WC-Co коефіцієнт лінійної усадки становить 18–22 % і залежить від початкової щільності пресування [18].

Остаточне спікання є найважливішою фізико-хімічною операцією, що формує кінцеву мікроструктуру та експлуатаційні властивості багатогранних пластин. Процес проводиться у високотемпературних вакуумно-компресійних печах. Враховуючи низький вміст легкоплавкої фази у сплаві ВКЗ, температура ізотермічної витримки встановлюється на рівні 1450–1550 °С, що значно вище, ніж для сплавів з більшим вмістом зв'язки (наприклад, ВК8 або ВК15) [18].

З позицій матеріалознавства, ущільнення відбувається за механізмом рідиннофазного спікання. За температури вище 1320 °С (температури плавлення евтектики WC-Co) кобальт переходить у рідкий стан. Розплавлена кобальтова фаза ідеально змочує поверхню субмікронних карбідних зерен. Під дією потужних капілярних сил (тиску Лапласа) відбувається стягування твердих частинок та інтенсивне перегрупування карбідного каркаса. Одночасно запускається механізм розчинення-осадження: дрібні зерна карбіду вольфраму та їх дефектні ділянки розчиняються в рідкому кобальті і переосаджуються на більших зернах [20].

Для сплаву ВКЗ час ізотермічної витримки суворо лімітується (зазвичай 30–60 хв), щоб запобігти надмірному росту (рекристалізації) карбідних зерен, адже субмікронна структура є запорукою високої зносостійкості при фрезеруванні чавуну. У результаті спікання пористість зменшується практично до нуля, а сплав досягає щільності, близької до теоретичної (15,0–15,3 г/см³). Після ізотермічної витримки слідує стадія контрольованого охолодження, під час якої кобальтова зв'язка кристалізується, міцно цементуючи карбідний каркас [19].

Спечені твердосплавні пластини мають незначні відхилення розмірів (через похибки усадки) та окисні плівки на поверхні. Тому на фінальній стадії ЗБП піддаються прецизійному алмазному шліфуванню виключно по базуючих (опорних) поверхнях для забезпечення жорстких регламентованих допусків на

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

розміри. За необхідності проводиться мікропідготовка різальної кромки (honing) – створення мікрорадіуса для запобігання викришуванню інструменту за ударних навантажень під час фрезерування переривчастих поверхонь чавунного корпусу редуктора [8].

1.3 Розрахунок і складання матеріального балансу

Виконання розрахунку матеріального балансу дільниці що проєктується, є основою для визначення кількісної потреби у вихідній сировині, допоміжних матеріалах, технологічному обладнанні та трудових ресурсах, а також для формування базових техніко-економічних показників виробництва.

Вихідним параметром для проведення розрахунків є річна продуктивність дільниці, яка відповідно до завдання на дипломний проєкт становить 600 тис. шт. пластин на рік.

З метою ефективного планування та організації виробничих процесів визначається добова продуктивність дільниці, що потребує попереднього розрахунку дійсного (ефективного) річного фонду часу роботи обладнання. При цьому враховується кількість календарних днів простою під час проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР), упродовж яких устаткування виводиться з виробничого циклу. Тривалість цих періодів регламентується часом ремонту основного обладнання з найвищим ступенем складності, а також тривалістю простоїв устаткування під час послідовно виконуваних ремонтних робіт. Додатково враховується час на ремонт неавтоматизованого обладнання згідно із затвердженим графіком ППР.

На основі вихідних даних таблиці 1.3 (де у чисельнику вказано день місяця, а в знаменнику – тривалість ремонту в годинах) розраховується середній час простою устаткування. Даний показник не повинен перевищувати 4–6 % за двозмінного та 10 % за тризмінного режиму роботи дільниці. Нормативний час на переналагодження та зміну технологічного режиму приймається обсягом 1,6 % від загального фонду часу роботи обладнання.[13]

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Графік планово-попереджувального ремонту обладнання

Обладнання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Всього
Шаровий млин						$\frac{20}{4}C$							4
Вакуумна сушарка							$\frac{20}{4}C$						4
Шнековий змішувач								$\frac{1}{1}O$				$\frac{20}{6}C$	7
Сушильна шафа				$\frac{20-21}{16}C$				$\frac{25}{5}C$					5
Гранулятор									$\frac{20}{4}C$				4
Гідравлічний прес			$\frac{20}{2}O$					$\frac{1-4}{32}K$					34
Піч поперед. спікання											$\frac{1-4}{25}K$		25
Токарний станок				$\frac{20}{4}O$						$\frac{1-2}{16}C$			20
Піч остат. спікання											$\frac{20-23}{15}K$		25
Шліфувальний станок					$\frac{25}{4}O$								20
Всього													148

O – огляд; K – капітальний ремонт; C – середній ремонт

За умови однозмінної організації праці ремонтного персоналу, розрахункова тривалість планово-попереджувальних ремонтів (ППР) становить:

$$\frac{148}{8} = 19 \text{ діб.}$$

Визначення дійсного (ефективного) фонду робочого часу устаткування здійснюється шляхом вирахування із загальної кількості календарних днів у році (365 діб) сумарної кількості днів, відведених на проведення ППР, а також

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

регламентованих неробочих (святкових і вихідних) днів. Вихідні календарні дані для розрахунку часового фонду проєктованої дільниці систематизовано в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Баланс часу роботи дільниці

№ п/п	Елементи балансу	Кількість днів
1	Календарне число днів	365
2	Час на планово-попереджувальний ремонт	19
3	Загальнонаціональні свята	9
4	Вихідні дні	104
5	Неробочі дні дільниці	132
6	Робочі дні дільниці	233

На основі визначеного ефективного фонду робочого часу розраховується добова продуктивність проєктованої дільниці за формулою:

$$A = \frac{G}{n}, \quad (1.1)$$

де G – задана річна програма випуску продукції, шт.;

n – розрахункова кількість робочих днів на рік.

Підставляючи вихідні дані у формулу (1.1), визначаємо планову добову потужність виробництва:

$$A = \frac{600000}{233} = 2575 \text{ шт.}$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Відповідно до затвердженої номенклатури, геометрії виробів (табл. 1.1) та фізичних властивостей обраного матеріалу, розраховується середня маса однієї твердосплавної пластини.

Для базової квадратної пластини форми SNMG 120408 (ДСТУ ISO 1832:2015) об'єм суцільної заготовки (без отвору) становить:

$$V_{\text{заг}} = l * d * m = 12,7 * 12,7 * 4,76 = 767,7 \text{ мм}^3,$$

$$V_{\text{отв}} = \frac{\pi * d_1^2}{4} * m = \frac{3,14 * 5,16^2}{4} * 4,76 = 99,5 \text{ мм}^3.$$

Корисний об'єм пластини (з урахуванням мінусових поправок на радіуси при вершинах $r = 0,8 \text{ мм}$ та об'єм двосторонніх стружколамальних канавок) становить близько $V = 660 \text{ мм}^3$ ($0,66 \text{ см}^3$).

Теоретична густина вольфрамокобальтового твердого сплаву марки ВКЗ (97 % WC, 3 % Co) становить $\rho = 15,1 \text{ г/см}^3$ [13].

Виходячи з цього, номінальна маса однієї готової пластини становить:

$$m = V * \rho = 0,66 \text{ см}^3 * 15,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10 \text{ г (0,01 кг)}.$$

Чиста добова потреба у матеріалі для забезпечення планової продуктивності (без урахування технологічних втрат) становить:

$$2575 \text{ шт.} * 0,01 \text{ кг} = 25,75 \text{ кг/добу}.$$

Однак під час проходження порошкової шихти через усі стадії технологічного циклу неминуче виникають матеріальні втрати. Для коректного складання балансу їх класифікують на незворотні (повністю вилучені з виробництва, наприклад, випаровування пластифікатора чи розпил) та зворотні (технологічні відходи, які можуть бути зібрані, регенеровані та повернуті на початкові стадії процесу).

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив усіх видів втрат на загальний баланс враховується через комплексний показник загального (наскрізного) витягу придатної маси – φ . Знаючи цей коефіцієнт, обчислюється фактична кількість вихідного матеріалу (A_0), яку необхідно щодобово завантажувати на першу операцію процесу для компенсації всіх технологічних витрат:

$$A_0 = A \cdot \frac{100}{\varphi}. \quad (1.2)$$

Нормативні відсоткові показники втрат для кожної технологічної операції виготовлення різальних пластин систематизовано в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Втрати на операціях з виготовлення ріжучих пластин

№ п/п	Незворотні втрати	Технологічна операція	Зворотні втрати
1	0,5	Дозування	0
2	0,1	Мокрий розмел	0
3	0,1	Сушка	0
4	0,1	Змішування з пластифікатором	0
5	0,3	Сушка	0
6	0,5	Грануляція	0
7	0,5	Пресування	1,5
8	4	Попереднє спікання	0
9	0,8	Механічна обробка (заточування ріжучих кромek)	4
10	0,5	Остаточне спікання	0
11	1	Механічна обробка (шліфування)	0

З метою визначення загального наскрізного виходу придатної продукції попередньо здійснюється послідовний розрахунок коефіцієнтів прямого витягу для кожної технологічної операції:

- на першій операції: $\eta_1 = 100 - 0,5 = 99,5$;
- на другій операції: $\eta_2 = 100 - 0,1 + 5,5 = 105,4$;
- на третій операції: $\eta_3 = 100 - 0,1 = 99,9$;
- на четвертій операції: $\eta_4 = 100 - 0,1 = 99,9$;
- на п'ятій операції: $\eta_5 = 100 - 0,3 = 99,7$;
- на шостій операції: $\eta_6 = 100 - 0,5 = 99,5$;
- на сьомій операції: $\eta_7 = 100 - 0,5 - 1,5 = 98$;
- на восьмій операції: $\eta_8 = 100 - 4 = 96$;
- на дев'ятій операції: $\eta_9 = 100 - 0,8 - 4,0 = 95,2$;
- на десятій операції: $\eta_{10} = 100 - 0,5 = 99,5$;
- на одинадцятій операції: $\eta_{11} = 100 - 1 = 99$.

Загальний витяг на кожній операції φ відносно вихідного матеріалу визначаємо за формулою:

$$\varphi = (\eta_1/100 \cdot \eta_2/100 \cdot \dots \cdot \eta_n/100) \cdot 100 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n / 100^{n-1}.$$

- $\varphi_1 = \eta_1 = 99,5 \%$;
- $\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \eta_2/100 = 99,5 \cdot 105,4/100 = 104,87 \%$;
- $\varphi_3 = \varphi_2 \cdot \eta_3/100 = 104,87 \cdot 99,9/100 = 104,77 \%$;
- $\varphi_4 = \varphi_3 \cdot \eta_4/100 = 104,77 \cdot 99,9/100 = 104,67 \%$;

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$- \varphi_5 = \varphi_4 \cdot \eta_5/100 = 104,67 \cdot 99,7/100 = 104,36 \ %;$$

$$- \varphi_6 = \varphi_5 \cdot \eta_6/100 = 104,36 \cdot 99,5/100 = 103,84 \ %;$$

$$- \varphi_7 = \varphi_6 \cdot \eta_7/100 = 103,84 \cdot 98/100 = 101,76 \ %;$$

$$- \varphi_8 = \varphi_7 \cdot \eta_8/100 = 101,76 \cdot 96/100 = 97,69 \ %;$$

$$- \varphi_9 = \varphi_8 \cdot \eta_9/100 = 97,69 \cdot 95,2/100 = 92,99 \ %;$$

$$- \varphi_{10} = \varphi_9 \cdot \eta_{10}/100 = 92,99 \cdot 99,5/100 = 92,53 \ %;$$

$$- \varphi_{11} = \varphi_{10} \cdot \eta_{11}/100 = 92,53 \cdot 99/100 = 91,60 \ %.$$

Таблиця 1.6 – Втрати відносно вихідного матеріалу на кожній операції

№ операції	Зворотні	Незворотні
1	$\alpha_1 = 0$	$\beta_1 = 0,5$
2	$\alpha_2 = 0$	$\beta_2 = 0,1 \cdot 99,5/100 = 0,10$
3	$\alpha_3 = 0$	$\beta_3 = 0,1 \cdot 104,87/100 = 0,10$
4	$\alpha_4 = 0$	$\beta_4 = 0,1 \cdot 104,77/100 = 0,10$
5	$\alpha_5 = 0$	$\beta_5 = 0,3 \cdot 104,67/100 = 0,31$
6	$\alpha_6 = 0$	$\beta_6 = 0,5 \cdot 104,36/100 = 0,52$
7	$\alpha_7 = 1,5 \cdot 103,84/100 = 1,56$	$\beta_7 = 0,5 \cdot 103,84/100 = 0,52$
8	$\alpha_8 = 0$	$\beta_8 = 4 \cdot 101,76/100 = 4,07$
9	$\alpha_9 = 4 \cdot 97,69/100 = 3,91$	$\beta_9 = 0,8 \cdot 97,69/100 = 0,78$
10	$\alpha_{10} = 0$	$\beta_{10} = 0,5 \cdot 92,99/100 = 0,46$
11	$\alpha_{11} = 0$	$\beta_{11} = 1 \cdot 92,53/100 = 0,92$

Визначимо кількість сировини, яку необхідно направити на початок процесу в перший день за формулою (1.2):

$$A_0 = 25,75 \cdot \frac{100}{91,60} = 28,11 \text{ кг.}$$

Визначимо втрати відносно вихідного матеріалу на кожній операції згідно формули (1.3) та занесемо дані в таблицю 1.6:

$$\alpha_n(\beta_n) = \frac{\alpha_n(\beta_n) \varphi_n^{-1}}{100}. \quad (1.3)$$

Розрахуємо абсолютні втрати за формулою (1.4) та занесемо їх в таблицю 1.7:

$$q_n^a (q_n^b) = A_0 \cdot \alpha_n(\beta_n) / 100. \quad (1.4)$$

Таблиця 1.7 – Абсолютні втрати вихідного матеріалу на кожній операції

Зворотні	Незворотні
$q_1^a = 0$	$q_1^b = 28,11 \cdot 0,5/100 = 0,14$
$q_2^a = 0$	$q_2^b = 28,11 \cdot 0,10/100 = 0,03$
$q_3^a = 0$	$q_3^b = 28,11 \cdot 0,10/100 = 0,03$
$q_4^a = 0$	$q_4^b = 28,11 \cdot 0,10/100 = 0,03$
$q_5^a = 0$	$q_5^b = 28,11 \cdot 0,31/100 = 0,08$
$q_6^a = 0$	$q_6^b = 28,11 \cdot 0,52/100 = 0,14$
$q_7^a = 28,11 \cdot 1,56/100 = 0,44$	$q_7^b = 28,11 \cdot 0,52/100 = 0,14$
$q_8^a = 0$	$q_8^b = 28,11 \cdot 4,07/100 = 1,10$
$q_9^a = 28,11 \cdot 3,91/100 = 1,10$	$q_9^b = 28,11 \cdot 0,78/100 = 0,21$
$q_{10}^a = 0$	$q_{10}^b = 28,11 \cdot 0,48/100 = 0,13$
$q_{11}^a = 0$	$q_{11}^b = 28,11 \cdot 0,96/100 = 0,26$

Далі обчислюємо суму зворотних втрат і визначаємо масу матеріалу, яка має надходити кожен день на початок процесу (В) за формулою:

$$B = A_0 - \sum q_n^a,$$

$$B = 28,11 - 1,54 = 26,57 \text{ кг.}$$

Визначимо масу матеріалу що надходить та виходить на кожну операцію та занесемо ці дані в таблицю 1.8.

На першу операцію:

надходить 26,57 кг;

виходить $26,57 - 0,14 = 26,43 \text{ кг.}$

На другу операцію:

надходить $26,43 + 0,44 + 1,10 = 27,97 \text{ кг;}$

виходить $27,97 - 0,03 = 27,94 \text{ кг.}$

На третю операцію:

надходить 27,94 кг;

виходить $27,94 - 0,03 = 27,91 \text{ кг.}$

На четверту операцію:

надходить 27,91 кг;

виходить $27,91 - 0,03 = 27,88 \text{ кг.}$

На п'яту операцію:

надходить 27,88 кг;

виходить $27,88 - 0,09 = 27,79 \text{ кг.}$

На шосту операцію:

надходить 27,79 кг;

виходить $27,79 - 0,15 = 27,64 \text{ кг..}$

На сьому операцію:

надходить 27,64 кг;

виходить $27,64 - 0,15 = 27,49 \text{ кг..}$

На восьму операцію:

надходить 27,49 кг;

виходить $27,49 - 1,14 = 26,35 \text{ кг.}$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На дев'яту операцію:

надходить 26,35 кг;

виходить $26,35 - 0,22 = 26,13$ кг.

На десятую операцію:

надходить 26,13 кг;

виходить $26,13 - 0,13 = 26,00$ кг.

На одинадцяту операцію:

надходить 26,00 кг;

виходить $26,00 - 0,26 = 25,74$ кг.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змн.	Арк.	Таблиця 1.8 – Поопераційний матеріальний баланс														
№ докум.	Підпис	Дата	Назва операції	Поопераційні втрати, %			Пряме поопераційне вилучення, %	Загальне вилучення, %	Втрати по відношенню до введеного матеріалу, %		Абсолютні витрати, кг		Кількість матеріалу, яка надходить на операцію, кг			Кількість матеріалу, яка виходить з операції, кг
				Зворотні	Незворотні	Загальні			Зворотні	Незворотні	Зворотні	Не зворотні	Із попередньої операції	Зворотні витрати	Всього	
НН-ПЗ1.4804.4203.003.01ПЗ			Дозування	0	0,5	0,5	99,5	99,5	0	0,5	0	0,13	-	0	26,57	26,43
			Мокрий розмел	0	0,1	0,1	105,4	104,87	0	0,10	0	0,03	26,43	1,54	27,97	27,94
			Сушка	0	0,1	0,1	99,9	104,77	0	0,10	0	0,03	27,94	0	27,94	27,91
			Змішування з пластифікатором	0	0,1	0,1	99,9	104,67	0	0,10	0	0,03	27,91	0	27,91	27,88
			Сушка	0	0,3	0,3	99,7	104,36	0	0,31	0	0,08	27,88	0	27,88	27,79
			Грануляція	0	0,5	0,5	99,5	103,84	0	0,52	0	0,14	27,79	0	27,79	27,64
			Пресування	1,5	0,5	2,0	98	101,76	1,56	0,52	0,42	0,14	27,64	0	27,64	27,49
			Попереднє спікання	0	4	4	96	97,69	0	4,07	0	1,10	27,49	0	27,49	26,35
			Механічна обробка	4	0,8	4,8	99,2	96,91	3,91	0,78	1,05	0,21	26,35	0	26,35	26,13
			Остаточне спікання	0	0,5	0,5	99,5	96,43	0	0,48	0	0,13	26,13	0	26,13	26,00
		Механічна обробка	0	1	1	99	95,47	0	0,96	0	0,26	26,00	0	26,00	25,74	
Арк.	47															

1.4 Вибір і розрахунок кількості обладнання

Раціональний підбір та ефективна експлуатація технологічного устаткування є визначальними факторами забезпечення заданої продуктивності ділянки за умови мінімізації капітальних витрат. Обладнання обирається з урахуванням відповідності сучасному рівню розвитку техніки, простоти конструктивних рішень, вимог техніки безпеки та забезпечення необхідного резерву продуктивності допоміжних агрегатів.

Вихідною базою для розрахунків слугують результати поопераційного матеріального балансу (табл. 1.8), що жорстко регламентують масу матеріалу, який підлягає переробці на кожному технологічному етапі.

1.4.1 Обладнання для дозування

Операція дозування є першою та однією з найбільш відповідальних у технологічному циклі виробництва. Її головною метою є забезпечення співвідношення компонентів шихти (97 % карбіду вольфраму та 3 % кобальту за масою) із мінімальною похибкою. Враховуючи мінімальний вміст кобальтової зв'язки у сплаві ВКЗ, будь-яке відхилення від заданої пропорції напряду впливає на формування рідкої фази під час спікання, що, у свою чергу, визначає кінцеві механічні властивості готового інструменту – передусім твердість та опір крихкому руйнуванню.

Принциповою особливістю дозування шихт твердих сплавів є необхідність застосування двох рівнів точності зважування одночасно: технічного (для основного компонента – карбіду вольфраму, маса якого складає переважну частину завантаження) та прецизійного аналітичного (для мікродомішки – кобальту). Тому для реалізації операції обрано двоступеневу систему дозування, що включає два типи ваг різного класу точності, доповнених стаціонарними бункерами-накопичувачами для попереднього зберігання вихідних порошків у захисній атмосфері.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для дозування основного компонента – порошку карбіду вольфраму – обрано промислові електронні ваги моделі ВТА-60 (з максимальним навантаженням 60 кг та дискретністю відліку 2 г). Великогабаритна платформа дозволяє зважувати порошок безпосередньо у транспортних контейнерах із подальшим висипанням у завантажувальний бункер шарового млина.

Для прецизійного дозування кобальту обрано лабораторні аналітичні ваги моделі AXIS BTU3000 (з максимальним навантаженням 3 кг та дискретністю 0,01 г).

Розрахунок добових витрат компонентів виконується виходячи з матеріального балансу (табл. 1.8). На операцію дозування щодоби надходить $G_{\text{доб}} = 26,57$ кг готової шихти. Відповідно до прийнятого співвідношення компонентів:

$$m_{WC} = 0,97 \cdot G_{\text{доб}} = 0,97 \cdot 26,57 \approx 25,77 \text{ кг/добу};$$

$$m_{Co} = 0,03 \cdot G_{\text{доб}} = 0,03 \cdot 26,57 \approx 0,80 \text{ кг/добу}.$$

Тривалість повного циклу дозування однієї добової партії шихти, з урахуванням послідовного зважування обох компонентів, контрольного перезважування та технологічних операцій (відкривання/закривання бункерів, висипання порошку у транспортний контейнер), становить $\tau_{\text{доз}} = 0,5$ год.

Продуктивність дозувального вузла визначається за формулою:

$$P_{\text{доз}} = G_{\text{доб}} / \tau_{\text{доз}} = 26,57 / 0,5 \approx 53,1 \text{ кг/год.} \quad (1.5)$$

Розрахункова кількість комплектів ваг визначається за формулою:

$$n_{\text{роз}} = G_{\text{доб}} / (P_{\text{доз}} \cdot \tau) = 26,57 / (53,1 \cdot 16) \approx 0,031. \quad (1.6)$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове значення $n_{\text{роз}}$ є очікувано низьким, оскільки операція дозування за тривалістю значно коротша за робочу зміну. Проте, з огляду на технологічну необхідність наявності одного комплекту ваг для обслуговування ділянки та неможливість дроблення обладнання на менші одиниці, приймаємо фактичну кількість $n_{\text{ф}} = 1$ комплект (з ваг обох типів – ВТА-60 та AXIS BTU3000). Коефіцієнт завантаження за формулою:

$$K_z = n_{\text{роз}} / n_{\text{ф}} = 0,031 / 1 \approx 0,03. \quad (1.7)$$

Низький коефіцієнт завантаження ваг є нормою для ділянок порошкової металургії і не свідчить про неефективне використання обладнання. У вільний від основного дозування час комплект ваг використовується для контрольних зважувань напівфабрикатів між технологічними операціями, для допоміжного дозування пластифікатора (парафіну) та технологічного етилового спирту, а також для оперативного контролю балансу матеріалів у разі позаштатних ситуацій. Крім того, наявність ваг високої точності є обов'язковою вимогою для забезпечення метрологічної простежуваності продукції згідно з вимогами ISO 9001 [21].

Технічні характеристики обладнання Ваги ВТА-60:

- макс. навантаження 60 кг;
- габаритні розміри 600 × 450 × 150 мм;
- потужність 0,02 кВт;

Технічні характеристики обладнання Ваги AXIS BTU3000:

- макс. навантаження 3 кг;
- габаритні розміри 350 × 250 × 120 мм;
- потужність 0,01 кВт;
- вартість 25000 грн.

Допоміжне обладнання дозувальної ділянки – два стаціонарні бункери-накопичувачі ємністю 200 кг кожен (для зберігання тижневого запасу WC і місячного запасу Co), оснащені герметичними кришками та клапанами для подачі

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисного газу (аргону). Бункери виготовлені з нержавіючої сталі AISI 304, що виключає контамінацію порошків залізом. Передача матеріалів від бункерів до ваг здійснюється вручну за допомогою сталевих совків із полімерним покриттям.

1.4.2 Мокрий розмел

Для операції сумісного мокрого розмелу та гомогенізації шихти WC–Co обрано шаровий барабанний млин моделі МШ-150 з твердосплавною футеровкою. Принцип дії базується на ударно-стиральній взаємодії розмелювальних твердосплавних куль із частинками шихти в середовищі етилового спирту. Перевагами цього типу обладнання є висока надійність, можливість тривалого циклу та мінімальне забруднення шихти металевими включеннями (за умови застосування твердосплавних футеровки й куль).

Технічні характеристики обладнання:

- робочий об'єм 0,15 м³;
- габаритні розміри 2100 × 850 × 1500 мм;
- потужність 5,5 кВт;
- вартість 280000 грн.

Розрахунок продуктивності млина базується на вазі одного завантаження, яка визначається об'ємом барабана, коефіцієнтами заповнення та розпушення куль і насипною щільністю шихти:

$$G_z = V_m \cdot \varphi \cdot \eta \cdot \gamma_{\text{нас}}, \quad (1.8)$$

де $V_m = 0,15 \cdot 10^6 \text{ см}^3$ – об'єм барабана млина;

$\varphi = 0,5$ – коефіцієнт заповнення;

$\eta = 0,28$ – коефіцієнт розпушення куль;

$\gamma_{\text{нас}}$ – насипна щільність шихти, г/см³.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насипна щільність становить $\gamma_{\text{нас}} = (0,2-0,3) \cdot \gamma_{\text{комп}}$, де $\gamma_{\text{комп}}$ – компактна (теоретична) щільність двохкомпонентної шихти, що визначається за правилом аддитивності:

$$\gamma_{\text{комп}} = (\gamma_{\text{WC}} \cdot \gamma_{\text{Co}} \cdot 100) / (\gamma_{\text{WC}} \cdot a_{\text{Co}} + \gamma_{\text{Co}} \cdot a_{\text{WC}}), \quad (1.9)$$

де $\gamma_{\text{WC}} = 15,6 \text{ г/см}^3$ – щільність карбіду вольфраму;

$\gamma_{\text{Co}} = 8,9 \text{ г/см}^3$ – щільність кобальту;

$a_{\text{WC}} = 97 \%$ і $a_{\text{Co}} = 3 \%$ – масовий вміст компонентів у сплаві ВКЗ.

Підстановкою у формулу (1.9):

$$\gamma_{\text{комп}} = \frac{15,6 \cdot 8,9 \cdot 100}{15,6 \cdot 3 + 8,9 \cdot 97} = \frac{13884}{910,1} = 15,26 \text{ г/см}^3.$$

Прийнявши коефіцієнт переходу 0,3, отримаємо $\gamma_{\text{нас}} = 0,3 \cdot 15,26 \approx 4,58 \text{ г/см}^3$, що добре узгоджується з довідковими значеннями для субмікронного порошку WC–Co.

Вага одного завантаження:

$$G_3 = 0,15 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 0,28 \cdot 4,58 = 96\,180 \text{ г} \approx 96,2 \text{ кг}.$$

Враховуючи тривалий технологічний час розмелу для досягнення субмікронного гранулометричного складу $\tau_{\text{зм}} = 36$ год, продуктивність млина становить:

$$P_{\text{зм}} = G_3 / \tau_{\text{зм}} = 96,2 / 36 = 2,67 \text{ кг/год}.$$

Згідно з матеріальним балансом (табл. 1.8), на операцію мокрого розмелу щодоби надходить $G_{\text{доб}} = 27,97 \text{ кг}$ шихти. Розрахункова кількість млинів при $\tau = 8$ год/добу:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\text{роз}} = G_{\text{доб}} / (P_{\text{зм}} \cdot \tau) = 27,97 / (2,67 \cdot 8) \approx 1,31.$$

Округлюючи до цілого в більшу сторону, приймаємо фактичну кількість $n_{\text{ф}} = 2$ шт. Обидва млини працюють у режимі чергування – доки один знаходиться в активній фазі розмелу, інший проходить операції завантаження/вивантаження та технологічного обслуговування. Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = n_{\text{роз}} / n_{\text{ф}} = 1,31 / 2 \approx 0,65.$$

1.4.3 Сушка

Для регенерації етилового спирту після мокрого розмелу обрано вакуумну сушарку моделі СВ-50 ($V = 50$ л). Принцип роботи полягає у нагріванні пульпи до 60–90 °С за зниженого тиску, що дозволяє випаровувати спирт значно нижче атмосферної точки кипіння та забезпечує повну конденсацію й повернення розчинника до технологічного циклу.

Технічні характеристики обладнання:

- максимальна загрузка 50 л;
- габаритні розміри 800 × 600 × 900 мм;
- потужність 4,0 кВт;
- вартість 185000 грн.

На операцію надходить $G_{\text{доб}} = 27,94$ кг твердої фази (за вирахуванням 0,1 % втрат на попередньому етапі). Тривалість повного циклу сушіння – $\tau_{\text{цикл}} = 6$ год (включаючи завантаження, нагрів, ізотермічну витримку, охолодження, вивантаження). Тоді добова продуктивність по твердій фазі:

$$P_{\text{сушарки}} = G_{\text{завант}} / \tau_{\text{цикл}} = 27,94 / 6 \approx 4,66 \text{ кг/год.}$$

Розрахункова кількість сушарок при $\tau = 8$ год/добу:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\text{роз}} = 27,94 / (4,66 \cdot 8) = 0,75.$$

Приймаємо $n_{\text{ф}} = 1$ шт. Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = 0,75 / 1 = 0,75.$$

Отриманий K_3 близький до оптимального значення для допоміжного обладнання, що підтверджує правильність вибору моделі. Запас 25 % робочого часу залишений на технічне обслуговування сушарки та можливі коливання вологості шихти.

1.4.4 Змішування з пластифікатором

Для рівномірної пластифікації висушеної шихти розчином парафіну в бензині обрано шнековий змішувач Z-типу моделі ЗШ-25 з паровою сорочкою. Принцип дії – примусове перемішування Z-подібним ротором за умов одночасного нагрівання до 80–100 °С для повного розчинення парафіну та формування адсорбційної плівки на поверхні твердосплавних частинок.

Технічні характеристики обладнання:

- робочий об'єм 25 л;
- габаритні розміри 900 × 600 × 1100 мм;
- потужність 2,2 кВт;
- вартість 125000 грн.

На операцію надходить $G_{\text{доб}} = 27,91$ кг. Тривалість циклу змішування $\tau_{\text{цикл}} = 2$ год. Продуктивність:

$$P = 27,91 / 2 = 13,96 \text{ кг/год.}$$

Розрахункова кількість змішувачів при $\tau = 8$ год/добу:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\text{роз}} = 27,91 / (13,96 \cdot 8) = 0,25.$$

Приймаємо $n_{\phi} = 1$ шт. Коефіцієнт завантаження:

$$K_z = 0,25 / 1 = 0,25.$$

1.4.5 Сушка

Для випаровування бензинового розчинника пластифікатора після змішування застосовано вакуумну сушильну шафу SNOL 60/350 з конденсатором парів.

Технічні характеристики обладнання:

- максимальна загрузка 60 л;
- габаритні розміри $900 \times 700 \times 1200$ мм;
- потужність 2,5 кВт;
- вартість 90000 грн.

Процес відбувається за $T = 60\text{--}90$ °С впродовж $\tau_{\text{цикл}} = 4$ год. Маса завантаження $G_{\text{доб}} = 27,88$ кг.

$$P = 27,88 / 4 = 6,97 \text{ кг/год.}$$

Розрахункова кількість сушильних шаф при $\tau = 8$ год/добу:

$$n_{\text{роз}} = 27,88 / (6,97 \cdot 8) = 0,50.$$

Приймаємо $n_{\phi} = 1$ шт., $K_z = 0,50$.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.6 Грануляція

Для отримання сфероїдальних гранул із зцементованої парафіном маси обрано сито протирочне. Принцип роботи полягає у механічному протиранні висушеної маси лопатями через систему металевих сит, що формує гранулят з оптимальною плинністю для подальшого автоматизованого пресування.

Технічні характеристики обладнання:

- сита 0,2–0,5 мм;
- габаритні розміри $800 \times 600 \times 1200$ мм;
- потужність 1,1 кВт;
- вартість 70000 грн.

Маса завантаження $G_{\text{доб}} = 27,79$ кг. Паспортна продуктивність $p = 10$ кг/год.

Розрахункова кількість грануляторів при $\tau = 8$ год/добу:

$$n_{\text{роз}} = 27,79 / (10 \cdot 8) = 0,347.$$

Приймаємо $n_{\text{ф}} = 1$ шт., $K_3 \approx 0,35$.

1.4.7 Пресування

Формоутворення заготовок змінних багатогранних пластин здійснюється методом холодного двостороннього пресування на гідравлічному прес-автоматі. Вибір моделі преса проводиться послідовно за двома критеріями: потрібним зусиллям пресування (визначається площею перерізу пластини та питомим тиском пресування шихти) і необхідною продуктивністю (визначається числом ходів за хвилину).

Технічні характеристики обладнання:

- зусилля пресування 100 кН;
- габаритні розміри $1200 \times 800 \times 2200$ мм;
- потужність 7,5 кВт;

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- кількість ходів 15 ход/хв;
- вартість 480000 грн.

Згідно з обраним типорозміром виробу (квадратна пластина SNUN 1204 за ДСТУ ISO 1832:2015[14] з діаметром вписаного кола $d = 12,7$ мм), сторона спеченої пластини $a_{\text{сп}} = 12,7$ мм. З урахуванням лінійної усадки сплаву ВКЗ під час рідиннофазного спікання (≈ 20 %), розмір пресовки до спікання:

$$a_{\text{прес}} = a_{\text{сп}} / (1 - \delta) = 12,7 / 0,80 = 15,875 \text{ мм.}$$

Площа пресування:

$$F = a_{\text{прес}}^2 = 15,875^2 \approx 252 \text{ мм}^2.$$

Питомий тиск пресування для шихти ВКЗ (97 % WC + 3 % Co) у середньому становить $P_{\text{пит}} = 200$ МПа. Потрібне зусилля пресування на одну порожнину:

$$Q = F \cdot P_{\text{пит}} = 252 \cdot 200 = 50\,400 \text{ Н} = 50,4 \text{ кН.}$$

Обираємо стандартний прес ПА-100 з номінальним зусиллям 100 кН, що забезпечує ~ 2 -кратний запас і компенсує можливі коливання щільності шихти при двосторонньому пресуванні. Кількість ходів $n_{\text{ход}} = 15$ ход/хв; при односекційній прес-формі продуктивність:

$$p = n_{\text{ход}} \cdot 60 = 15 \cdot 60 = 900 \text{ пластин/год.}$$

Визначаємо добову кількість пресовок. Маса однієї пресовки ВКЗ практично дорівнює масі готової пластини, оскільки під час спікання випаровується лише $\sim 2,5$ % парафіну, а маса твердосплавної фази зберігається. Таким чином,

$$m_{\text{прес}} \approx 10,25 \text{ г.}$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$N = G_{\text{доб}} / m_{\text{прес}} = 27,64 / 0,01025 \approx 2\,696 \text{ пластин/добу.}$$

Розрахункова кількість пресів при $\tau = 8$ год/добу:

$$n_{\text{роз}} = N / (p \cdot \tau) = 2\,696 / (900 \cdot 8) \approx 0,374.$$

Приймаємо $n_{\text{ф}} = 1$ шт. Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = 0,374 / 1 \approx 0,37.$$

1.4.8 Попереднє спікання

Двостадійна термічна обробка – деваксація з первинним твердофазним спіканням – реалізується у прохідній вакуумно-водневій печі моделі СНВЭ-1.3.1/16. Принцип роботи передбачає безперервне переміщення касет із заготовками через зони контрольованого нагрівання та охолодження в очищеному водні (або вакуумі). Швидкість нагрівання у діапазоні 200–400 °С жорстко лімітована (≤ 5 °С/хв) для запобігання макроскопічному розшаруванню заготовок під дією парів пластифікатора, що випаровується. Операція виконується в тризмінному безперервному режимі.

Технічні характеристики обладнання:

- габаритні розміри: 1900 × 1600 × 1900 мм;
- Потужність: 20 кВт;
- Вартість: 1 500 000 грн.

На операцію надходить $G_{\text{доб}} = 27,49$ кг. Паспортна продуктивність прохідної печі $p = 5$ кг/год. Розрахункова кількість печей при $\tau = 24$ год/добу:

$$n_{\text{роз}} = 27,49 / (5 \cdot 24) \approx 0,229.$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $n_{\phi} = 1$ шт. Працюючи у безперервному тризмінному режимі, одна прохідна піч повністю покриває добову потребу з достатнім технологічним запасом. Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = 0,229 / 1 \approx 0,23.$$

1.4.9 Механічна обробка (заточування ріжучих кромek)

Проміжна механічна обробка напівспеченого «сирцю» виконується на 5-осьовому фрезерному обробному центрі DMU 50 з ЧПУ. Обробка ведеться стандартним твердосплавним інструментом по матеріалу з «крейдоподібною» структурою для формування кінцевого профілю пластини (стружколамальні канавки, передні та задні кути різання) з урахуванням припуску на усадку 20 % при кінцевому спіканні. Операція виконується в тризмінному безперервному режимі.

Кількість заготовок, що надходить на цю операцію, з урахуванням втрат на подальших операціях (опе. 10 – 0,5 %; опе. 11 – 1,0 %), становить:

$$N_9 = 2\,575 / (0,995 \cdot 0,99) \approx 2\,614 \text{ шт./добу.}$$

Норматив часу на повну обробку однієї пластини $t_{\text{шт}} = 1,2 \text{ хв} = 1/50 \text{ год.}$
Загальна трудомісткість операції:

$$T_{\text{заг}} = N_9 \cdot t_{\text{шт}} = 2\,614 \cdot (1/50) \approx 52,28 \text{ год/добу.}$$

Розрахункова кількість верстатів при $\tau = 24 \text{ год/добу.}$

$$n_{\text{роз}} = T_{\text{заг}} / \tau = 52,28 / 24 \approx 2,18.$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $n_{\phi} = 3$ шт. Резерв не передбачається, оскільки за умови виходу з ладу одного верстата, інші два здатні забезпечити виконання програми за рахунок незначного ущільнення графіка роботи. Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = 2,18 / 3 \approx 0,73.$$

1.4.10 Остаточне спікання

Кінцеве рідиннофазне спікання пластин при $T = 1450\text{--}1550$ °С виконується у вакуумній печі періодичної дії моделі ВКС-15 з можливістю надтиску аргону. Принцип роботи: після досягнення робочого вакууму 10^{-3} Па заготовки нагрівають до температури рідиннофазного спікання з ізотермічною витримкою 30–60 хв. Подача надтиску аргону (1–10 МПа) у момент завершення рідиннофазної стадії дозволяє «запечатати» залишкові мікропори, забезпечуючи щільність сплаву на рівні 15,0–15,3 г/см³ (близько до теоретичної). Операція виконується в тризмінному безперервному режимі.

На операцію надходить $G_{\text{доб}} = 26,13$ кг. Маса одного завантаження $G_{\text{завант}} \approx 20$ кг. Тривалість повного циклу (вакуумування, нагрів, витримка, охолодження): $\tau_{\text{цикл}} = 12$ год.

$$p = G_{\text{завант}} / \tau_{\text{цикл}} = 20 / 12 \approx 1,67 \text{ кг/год.}$$

Розрахункова кількість печей при $\tau = 24$ год/добу:

$$n_{\text{роз}} = 26,13 / (1,67 \cdot 24) \approx 0,652.$$

Приймаємо $n_{\phi} = 1$ шт. У тризмінному режимі одна вакуумна піч ВКС-15 виконує два повні цикли на добу (~ 24 год / 12 год), що повністю покриває потребу. Коефіцієнт завантаження:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_3 = 0,652 / 1 \approx 0,65.$$

1.4.11 Механічна обробка (шліфування)

Фінішне прецизійне алмазне шліфування опорних поверхонь спечених пластин (рис. 1.5) виконується на алмазно-шліфувальному верстаті класу точності А моделі MSO 15. Верстат оснащений алмазними кругами зернистістю D15–D25 на полімерній зв'язці, що забезпечує параметри шорсткості Ra 0,4–0,8 мкм та розмірні допуски $\pm 0,01$ мм, необхідні для правильного базування пластини в корпусі фрези. Операція виконується в тризмінному безперервному режимі.

Кількість пластин, що надходить на операцію:

$$N_{11} = 2\,575 / 0,99 \approx 2\,601 \text{ шт./добу.}$$

Норма часу на шліфування однієї пластини $t_{шт} = 1,5 \text{ хв} = 1/40 \text{ год}$. Загальна трудомісткість:

$$T_{заг} = 2\,601 \cdot (1/40) \approx 65,0 \text{ год/добу.}$$

Розрахункова кількість верстатів при $\tau = 24 \text{ год/добу}$:

$$n_{роз} = 65,0 / 24 \approx 2,71.$$

Приймаємо $n_{ф} = 4 \text{ шт}$. Коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = 2,71 / 3 \approx 0,68.$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.9 – Зведена відомість технологічного обладнання ділянки

Назва операції / обладнання	Марка / модель	Кількість, шт.	Технічні характеристики	Кз
Дозування (комплект ваг)	ВТА-60 +AXIS BTU3000	1	60 кг / 3 кг; d = 2 / 0,01 г	0,06
Мокрий розмел	МШ-150	2	V = 0,15 м³; P = 5,5 кВт; n = 35 об/хв	0,65
Сушка (після мокрого розмелу)	СВ-50	1	V = 50 л; T = 60–90 °C; P = 4,0 кВт	0,75
Змішування з пластифікатором	ЗШ-25	1	V = 25 л; T = 100 °C; P = 2,2 кВт	0,25
Сушка (після пластифікації)	SNOL 60/350	1	V = 60 л; Tmax = 350 °C; P = 2,5 кВт	0,50
Грануляція	ГРС-25	1	сита 0,2–0,5 мм; p = 10 кг/год; P = 1,1 кВт	0,35
Пресування	ПА-100	1	Q = 100 кН; n = 15 ход/хв; P = 7,5 кВт	0,37
Попереднє спікання	СНВЭ-1.3.1/16	1	Tmax = 1100 °C; p = 5 кг/год; P = 18 кВт	0,23
Механічна обробка (заточування ріжучих кромки)	DMU 50	3	5-осьовий; n = 18 000 об/хв; P = 7,5 кВт	0,73
Остаточне спікання	ВКС-15	1	Tmax = 1600 °C; P = 25 кВт; вакуум 10 ⁻³ Па	0,65
Механічна обробка (шліфування)	MSO 15	4	Клас точн. А; n = 3000 об/хв; P = 3,0 кВт	0,68

2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

На основі аналізу габаритних розмірів технологічного обладнання (найбільший за габаритами агрегат – вакуумна піч остаточного спікання ВКС-15) та вимог нормативних документів щодо проєктування цехів порошкової металургії, прийнято такі будівельні параметри будівлі дільниці:

- тип будівлі: одноповерхова, прямокутна, однопрольотна, безкранова;
- ширина прольоту: 12 м;
- крок колон: 6 м;
- довжина будівлі: 60 м (10 кроків по 6 м);
- висота від підлоги до низу несівної конструкції покриття: 6,0 м;
- загальна площа в плані: $60 \times 12 = 720 \text{ м}^2$.

Об'ємно-планувальне рішення передбачає двосмугове компонування приміщень із центральним коридором-проїздом шириною 3,0 м. Верхня смуга (шириною 4,5 м) відведена переважно під підготовчі та термічні ділянки, нижня смуга (4,5 м) – під ділянки механічної обробки, допоміжні та складські приміщення. Колони залізобетонні, квадратного перерізу $400 \times 400 \text{ мм}$. Зовнішні стіни – легкобетонні панелі. На обох торцях будівлі передбачено ворота ($3,6 \times 3,6 \text{ м}$) для транспорту.

Експлікація приміщень верхньої смуги (зліва направо):

- склад матеріалів (0–12 м): приймання та зберігання порошків у герметичних бункерах, прецизійне дозування шихти;
- відділення підготовки суміші (12–24 м): ділянка мокрого розмелювання (млини МШ-150), вакуумної сушки (СВ-50), змішування (ЗШ-25) та грануляції (ГРС-25);
- відділення пресування (24–36 м): ізольоване приміщення для гідравлічного прес-автомата ПА-100;

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Кравченко О.О.					
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						63	3
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		

– відділення попереднього спікання (36–48 м): приміщення з вогнетривкими перегородками для вакуумної печі СНВЕ-1.3.1/16 (деаксація та первинне спікання);

– вентиляційна камера та компресорна (48–60 м): розміщення витяжних установок та компресорів для забезпечення роботи пневматичних систем верстатів і печей.

Експлікація приміщень нижньої смуги (зліва направо):

– склад готової продукції (0–6 м): зберігання та пакування готових твердосплавних пластин;

– кімната майстра (6–12 м): робоче місце керівника дільниці;

– ВТК (12–18 м): відділ технічного контролю (мікроскопія, вимірювання твердості та геометрії);

– відділення шліфування (18–30 м): фінішна алмазна обробка опорних поверхонь пластин на верстатах MSO 15 (4 шт.);

– відділення остаточного спікання (30–42 м): ізольоване приміщення для вакуумної печі ВКС-15;

– відділення проміжної механічної обробки / заточування (42–60 м): ділянка обробки напівспечених заготовок на 5-осьових фрезерних центрах DMU 50 (5 шт.).

Матеріальний потік організовано за U-подібною схемою. Сировина надходить через ліві торцеві ворота, проходить технологічний цикл по верхній смузі (підготовка → пресування → попереднє спікання), перетинає центральний коридор і рухається у зворотному напрямку по нижній смузі (заточування → остаточне спікання → шліфування → ВТК). Готова продукція відвантажується через ті самі ліві ворота. Це мінімізує довжину комунікацій та виключає перехрещення вантажопотоків.

Нормативи ширини проїздів та проходів, згідно з якими спроектовано центральний коридор, наведено в таблиці 2.1.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Нормативи ширини проїздів та проходів

Найменування та призначення проїзду (проходу)	Напрямок руху	Масове та багатосерійне виробництво, м	Одиничне та дрібносерійне виробництво, м
Транспортний проїзд	Односторонній	2,0 – 3,5	2,5 – 3,5
Транспортний проїзд	Двосторонній	5,0	5,0
Допоміжний проїзд для ручних візків, проходу працюючих	Односторонній	1,2 – 1,5	1,2 – 1,5
Допоміжний проїзд для ручних візків, проходу працюючих	Двосторонній	1,6 – 2,0	1,6 – 2,0

Отже, для розміщення обладнання необхідна будівля загальною площею 540 м² (габаритні розміри 30х18 м) та висотою 6 м. План ділянки представлений на рисунку 2.1.

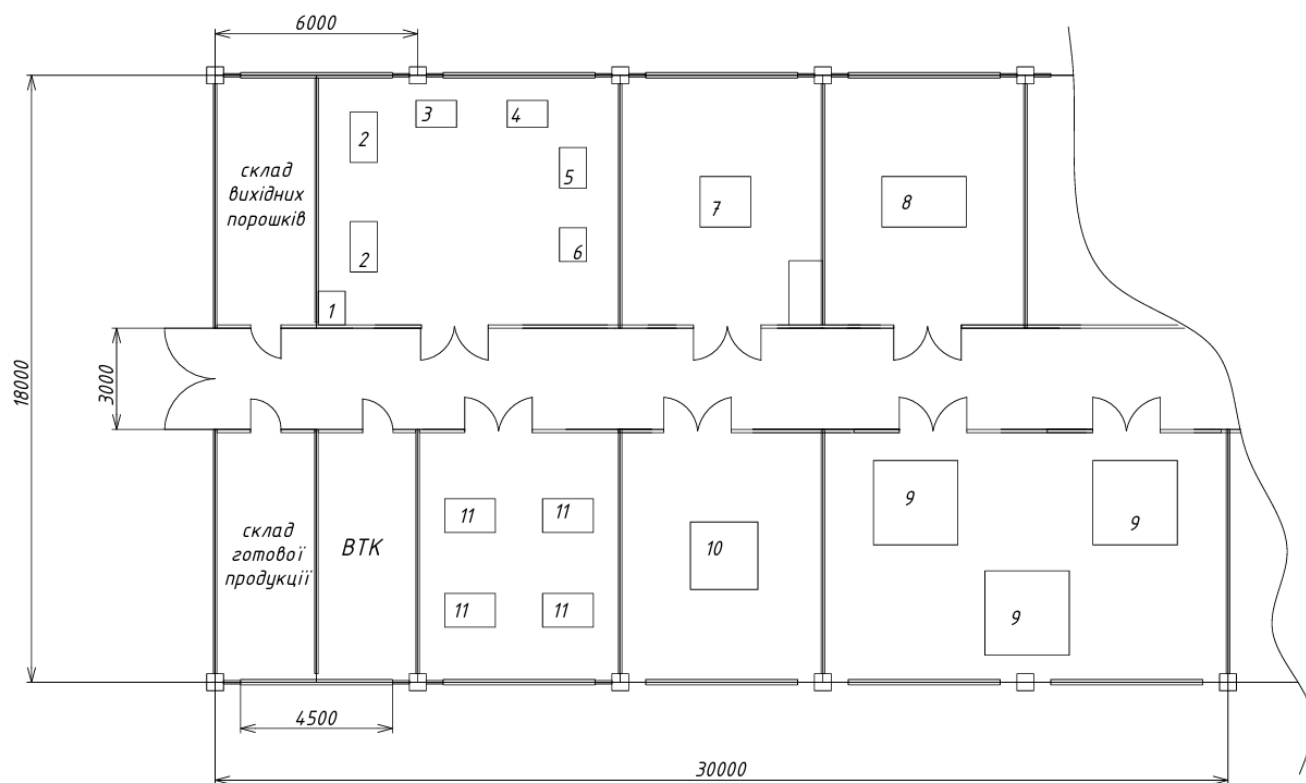


Рисунок 2.1 – План ділянки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ

Арк.

65

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок розмірів прес-форми

Для проєктування прес-форми необхідно розрахувати розміри її робочої порожнини з урахуванням зміни об'єму заготовки на двох етапах: збільшення розмірів за рахунок пружної післядії після зняття тиску пресування та значного зменшення розмірів (усадки) під час рідкофазного спікання.

Вихідні дані для розрахунку:

Виріб: Квадратна непереточувана різальна пластина (тип SNMG 120408).

Матеріал: Твердий сплав ВК3 (97% WC, 3% Co).

Маса виробу (m): 10 г.

Розміри готового спеченого виробу:

—довжина сторони квадрата ($L_{\text{сп}}$): 12,7 мм.

—товщина пластини ($H_{\text{сп}}$): 4,76 мм.

Фізичні характеристики порошку та пресовки:

—густина спеченого сплаву ВК3 ($\gamma_{\text{сп}}$): 15,1 г/см³.

—густина сирової пресовки ($\gamma_{\text{пр}}$): приймаємо 8,5 г/см³ (забезпечується тиском пресування = 150 МПа).

—насипна густина гранульованої шихти з пластифікатором ($\gamma_{\text{нас}}$):
3,5 г/см³.

—коефіцієнт пружної післядії $\alpha_{\text{п}}$): 1,0 %.

Розрахунок розмірів сирової пресовки (до спікання). Під час спікання твердих сплавів відбувається значна усадка. Об'ємний коефіцієнт усадки (K_V) визначається як відношення густини спеченого виробу до густини пресовки:

$$K_V = \frac{\gamma_{\text{сп}}}{\gamma_{\text{пр}}} = \frac{15,1}{8,5} = 1,776.$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Кравченко О.О.					
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Лім.	Арк.	Аркушів
						66	10
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		

Оскільки усадка в твердосплавних виробх простої форми відбувається відносно ізотропно (рівномірно в усіх напрямках), лінійний коефіцієнт усадки (K_L) дорівнює кубічному кореню з об'ємного коефіцієнта:

$$K_L = \sqrt[3]{K_V} = \sqrt[3]{1,776} = 1,211.$$

Розрахуємо розміри сирової пресовки:

Довжина сторони пресовки:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{сп}} * K_L = 12,7 * 1,211 = 15,38 \text{ мм.}$$

Висота (товщина) пресовки:

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{сп}} * K_L = 4,76 * 1,211 = 5,76.$$

Розрахунок виконавчих розмірів матриці. Після виштовхування пресовки з матриці відбувається її пружне розширення (пружна післядія). Тому внутрішній розмір порожнини матриці має бути трохи меншим за необхідний розмір сирової пресовки.

Внутрішня довжина сторони квадратної порожнини матриці становить:

$$L_M = \frac{L_{\text{пр}}}{1 + \frac{\sigma_{\text{п}}}{100}} = \frac{15,38}{1 + 0,01} = \frac{15,38}{1,01} = 15,23 \text{ мм.}$$

Розрахунок висоти засипки порошку. Для забезпечення заданої маси та товщини виробу необхідно точно розрахувати висоту завантажувальної камери (глибину опускання нижнього пуансона), в яку буде засипатися гранульована шихта:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{\text{зас}} = H_{\text{пр}} * \frac{\gamma_{\text{пр}}}{\gamma_{\text{нас}}} = 5,76 * \frac{8,5}{3,5} = 5,76 * 2,428 = 13,98.$$

Визначення загальної висоти матриці. Загальна висота матриці складається з висоти засипки порошку та величини заходу в матрицю верхнього і нижнього пуансонів для забезпечення надійного центрування.

Приймаємо глибину заходу верхнього пуансона $h_{\text{в.п}} = 15$ мм, нижнього пуансона $h_{\text{н.п}} = 15$ мм.

$$H_{\text{М}} = H_{\text{зас}} + h_{\text{в.п}} + h_{\text{н.п}} = 13,98 + 15 + 15 = 43,98 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань стандартизації оснастки округлюємо загальну висоту матриці до найближчого цілого значення: $H_{\text{М}} = 45$ мм.

3.2 Розрахунок матриці на міцність

Під час двостороннього пресування порошоків у закритій прес-формі вертикальний тиск від пуансонів частково передається на бокові стінки матриці через внутрішнє тертя частинок порошку (явище бокового розпору). Розрахунок матриці полягає у визначенні необхідної товщини стінки, яка гарантує відсутність руйнування та недопустимих пружних деформацій під час робочого ходу преса.

Вибір матеріалу матриці та допустимих напружень. Для пресування твердосплавних сумішей із високою абразивністю матрицю виготовляють із високолегованої інструментальної сталі. Приймаємо для виготовлення матриці сталь X12M із наступною термічною обробкою (загартування та відпуск) до твердості 58-60 HRC.

—межа плинності сталі X12M: $\sigma_{\text{T}} = 1600$ МПа.

—коефіцієнт запасу міцності для закритої оснастки: $n = 2,0$.

—допустиме напруження на розрив:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{1600}{2,0} = 800 \text{ МПа.}$$

Визначення бокового тиску на стінки матриці. Для досягнення сировою пресовкою зі сплаву ВКЗ заданої густини (8,5 г/см³) потрібен питомий тиск пресування $P_{\text{пр}} = 250 \text{ МПа}$.

Боковий тиск порошку визначається через коефіцієнт бокового тиску ξ (коефіцієнт Пуассона для сипучих тіл). Для твердосплавних шихт із пластифікатором $\xi \approx 0,35$.

$$p_6 = P_{\text{пр}} * \xi = 250 * 0,35 = 87,5 \text{ МПа}$$

Розрахунок товщини стінки. Оскільки порожнина матриці має форму квадрата (сторона $L_M = 15,23 \text{ мм}$ з розрахунку 3.1), розрахунок ведеться за еквівалентним радіусом, що відповідає колу з такою ж площею.

–площа пресування: $F = L_M^2 = 15,23^2 = 231,95 \text{ мм}^2$.

–еквівалентний діаметр: $d_{\text{екв}} = 1,13 \cdot \sqrt{F} = 1,13 \cdot \sqrt{231,95} = 17,21 \text{ мм}$

–еквівалентний внутрішній радіус: $r_{\text{екв}} = 17,21/2 = 8,61 \text{ мм}$.

Необхідно врахувати, що квадратна форма порожнини є потужним концентратором напружень. Навіть із радіусами заокруглення кутів 0,8 мм (для пластини SNMG 120408), вводимо емпіричний коефіцієнт концентрації напружень у кутах $K_\sigma = 2,0$

Мінімально необхідний зовнішній радіус матриці за критерієм міцності обчислюється за формулою:

$$R_3 = r_{\text{екв}} * \sqrt{\frac{[\sigma] + p_6 * K_\sigma}{[\sigma] - p_6 * K_\sigma}}$$

Підставляємо значення розрахункового напруження ($p_6 \cdot K_\sigma = 87,5 * 2,0 = 175 \text{ МПа}$):

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$R_3 = 8,61 * \sqrt{\frac{800+175}{800-175}} = 8,61 * \sqrt{\frac{975}{625}} = 8,61 \cdot \sqrt{1,56} = 8,61 * 1,249 = 10,75 \text{ мм.}$$

Мінімальна розрахункова товщина стінки матриці:

$$S_{min} = R_3 - r_{екв} = 10,75 - 8,61 = 2,14 \text{ мм.}$$

Конструктивні міркування. Отримане значення $S_{min} = 2,14$ мм є достатнім з погляду теоретичної міцності. Однак, з технологічних міркувань (забезпечення високої просторової жорсткості, уникнення термічних поведень під час гартування, можливість запресовування в стандартну блок-обойму), стінки матриць не роблять такими тонкими.

Відповідно до уніфікованих стандартів проектування оснастки для порошкової металургії, зовнішні габарити матричних вставок для пресування дрібних деталей приймаються значно більшими.

Приймаємо конструктивний зовнішній діаметр циліндричної матриці:

$$D_3 = 60 \text{ мм.}$$

Перевіримо фактичну товщину стінки в найнебезпечнішому (найтоншому) перерізі – від кута квадратної порожнини до зовнішнього краю матриці:

$$S_{факт} = \frac{D_3}{2} - \frac{L_M \cdot \sqrt{2}}{2} = 30 - \frac{15,23 \cdot 1,414}{2} = 30 - 10,77 = 19,23 \text{ мм.}$$

3.3 Розрахунок пуансонів на міцність

Пуансони передають тиск від повзуна преса на порошкову шихту і працюють у важких умовах: вони піддаються високим напруженням стиску, а також можливому поздовжньому згину. Для пластин типу SNMG конструкція пуансонів

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ускладнюється наявністю центрального отвору, в якому розміщується формуючий стрижень (голка).

Визначення виконавчих розмірів пуансонів. Для забезпечення виходу повітря під час пресування та уникнення заклинювання, між пуансоном і матрицею призначається гарантований зазор. Для порошків твердих сплавів односторонній зазор приймається $\Delta = 0,015$ мм

Зовнішня сторона квадратного пуансона:

$$L_{\Pi} = L_{\text{м}} - 2\Delta = 15,23 - 2 \cdot 0,015 = 15,20 \text{ мм.}$$

Діаметр кріпильного отвору в готовій спеченій пластині SNMG 120408 становить $d_{\text{сп}} = 5,16$ мм. З урахуванням лінійного коефіцієнта усадки діаметр отвору в сирій пресовці (і відповідно діаметр стрижня) складатиме:

$$d_{\text{пр}} = d_{\text{сп}} \cdot K_L = 5,16 \cdot 1,211 = 6,25 \text{ мм.}$$

Щоб пуансон міг вільно ковзати по стрижню, внутрішній отвір пуансона виконується з таким самим зазором:

$$d_{\Pi} = d_{\text{пр}} + 2\Delta = 6,25 + 0,03 = 6,28 \text{ мм.}$$

Визначення площі робочого перерізу пуансона. Робоча площа пуансона – це площа квадрата мінус площа центрального отвору:

$$F_{\Pi} = L_{\Pi}^2 - \frac{\pi \cdot d_{\Pi}^2}{4} = 15,20^2 - \frac{3,14 \cdot 6,28^2}{4} = 231,04 - 30,96 = 200,08 \text{ мм}^2.$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок напружень стиску. Приймаємо матеріал пуансонів – інструментальну штампову сталь Х12М (загартування до 58-60 HRC). Межа міцності на стиск для цієї сталі становить

$$\sigma_{\text{ст}} = 2200 \text{ МПа.}$$

Зусилля пресування, необхідне для досягнення тиску $P_{\text{пр}} = 250 \text{ МПа}$ на заданій площі, становить:

$$P_{\text{зус}} = P_{\text{пр}} \cdot F_{\text{п}} = 250 \cdot 200,08 = 50020 \text{ Н} \approx 50,0 \text{ кН.}$$

Напруження стиску в тілі пуансона дорівнює питомому тиску пресування:
 $\sigma_c = 250 \text{ МПа.}$

Коефіцієнт запасу міцності на стиск:

$$n = \frac{\sigma_{\text{ст}}}{\sigma_c} = \frac{2200}{250} = 8,8.$$

Умова міцності на чистий стиск виконується з великим запасом.

Перевірка пуансона на поздовжній згин (стійкість). Верхній пуансон має значну вільну довжину і працює як стійка. Перевіримо його на стійкість за критерієм гнучкості. Приймаємо розрахункову вільну довжину верхнього пуансона $l_{\text{п}} = 50 \text{ мм.}$

Осьовий момент інерції для квадратного перерізу з центральним круглим отвором:

$$I_x = \frac{L_{\text{п}}^4}{12} - \frac{\pi \cdot d_{\text{п}}^4}{64} = \frac{15,20^4}{12} - \frac{3,14 \cdot 6,28^4}{64} = 4454,6 - 76,3 = 4378,3 \text{ мм}^4.$$

Мінімальний радіус інерції перерізу:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_x}{F_n}} = \sqrt{\frac{4378,3}{200,08}} = \sqrt{21,88} = 4,67 \text{ мм.}$$

Гнучкість пуансона:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l_n}{i_{min}}.$$

де $\mu = 0,7$ – коефіцієнт зведеної довжини для випадку, коли один кінець жорстко закріплений у повзуні, а другий має шарнірне опирання (направляється матрицею).

$$\lambda = \frac{0,7 \cdot 50}{4,67} = 7,49.$$

Критична гнучкість для інструментальних сталей, нижче якої втрата стійкості неможлива, становить близько 90.

Оскільки фактична гнучкість $\lambda = 7,49 \ll 90$, пуансон є абсолютно жорстким «коротким стрижнем». Явище поздовжнього згину для нього неможливе, і деталь працює виключно на стиск.

3.4 Розрахунок формуючого стрижня (голки) на міцність

Формуючий стрижень (голка) призначений для утворення центрального кріпильного отвору в різальній пластині SNMG 120408. Це найбільш вразливий елемент оснастки, який піддається інтенсивному абразивному зношуванню, а також знакозмінним осьовим навантаженням: стиску під час опускання пуансона та розтягу під час виштовхування сирої пресовки через силу тертя порошку.

Вибір матеріалу та геометричні параметри голки. Враховуючи високу абразивність порошку карбіду вольфраму, для виготовлення голки обираємо швидкорізальну сталь Р6М5 (загартування до 62-64 HRC).

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

—межа міцності сталі Р6М5 на стиск: $\sigma_{\text{ст}} = 2500$ МПа.

—межа міцності на розтяг: $\sigma_p = 1500$ МПа.

—модуль пружності: $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Діаметр голки дорівнює діаметру отвору сирої пресовки, розрахованому раніше: $d_r = 6,25$ мм.

Площа поперечного перерізу голки:

$$F_r = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 6,25^2}{4} = 30,66 \text{ мм}^2.$$

Розрахунок осевого навантаження від тертя порошку. Під час пресування та виштовхування шихта притискається до поверхні голки з боковим тиском $p_6 = 87,5$ МПа (визначено в п. 3.2).

Коефіцієнт зовнішнього тертя гранульованої твердосплавної шихти (з додаванням пластифікатора) об поліровану сталеву поверхню приймаємо $f = 0,15$.

Площа контакту порошку з голкою визначається висотою сирої пресовки:

$$S_{\text{конт}} = \pi \cdot d_r \cdot H_{\text{пр}} = 3,14 \cdot 6,25 \cdot 5,76 = 113,04 \text{ мм}^2.$$

Максимальна осева сила, що діє на голку внаслідок тертя порошку:

$$P_r = p_6 \cdot f \cdot S_{\text{конт}} = 87,5 \cdot 0,15 \cdot 113,04 = 1483,6 \text{ Н.}$$

Перевірка голки на розтяг та стиск. Максимальне нормальне напруження, що виникає в тілі голки під дією сили тертя:

$$\sigma_r = \frac{P_r}{F_r} = \frac{1483,6}{30,66} = 48,39 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт запасу міцності голки на розтяг під час виштовхування пресовки:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_r} = \frac{1500}{48,39} = 31,0.$$

Дане напруження є мізерним порівняно з границею міцності матеріалу, отже, розрив голки під час ежекції неможливий.

Перевірка голки на поздовжній згин (стійкість). Під час робочого ходу пресування сила тертя намагається стиснути голку. Оскільки її діаметр малий, необхідно перевірити деталь на втрату стійкості (поздовжній згин).

Вільна довжина голки, що не має бокової підтримки (відповідно до габаритів прес-форми), становить $l_r = 50$ мм.

Осьовий момент інерції для круглого суцільного перерізу:

$$I_r = \frac{\pi \cdot d_r^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 6,25^4}{64} = 74,87 \text{ мм}^4.$$

Радіус інерції:

$$i_{min} = \frac{d_r}{4} = \frac{6,25}{4} = 1,56 \text{ мм.}$$

Гнучкість стрижня з урахуванням коефіцієнта зведеної довжини $\mu = 0,7$ (один кінець жорстко закріплений у хвостовику, інший рухається в направляючій порожнині пуансона):

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l_r}{i_{min}} = \frac{0,7 \cdot 50}{1,56} = 22,4.$$

Оскільки гнучкість $\lambda < 90$, деталь не підлягає розрахунку за формулою Ейлера. Вона працює в зоні простого стиску без ризику втрати стійкості.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для додаткового підтвердження розрахуємо критичну силу втрати стійкості за Ейлером:

$$P_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\Gamma}}{(\mu \cdot l_{\Gamma})^2} = \frac{9,87 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 74,87}{(35)^2} = \frac{155183000}{1225} = 126680 \text{ Н} \approx 126,7 \text{ кН.}$$

Фактична сила стиску від тертя порошку у 85 разів менша за критичну силу поздовжнього згину.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Технологічний процес виготовлення твердосплавних різальних пластин зі сплаву ВКЗ методом порошкової металургії пов'язаний із використанням високодисперсних порошків карбіду вольфраму (WC) та кобальту (Co), летких органічних розчинників (етиловий спирт, екстракційний бензин), вибухонебезпечного водню як захисного газу, а також високотемпературних процесів спікання (до 1550 °C). Поєднання цих факторів створює комплекс шкідливих і небезпечних виробничих умов, що потребують ретельного аналізу та розробки ефективних інженерних рішень для захисту здоров'я та життя працівників дільниці.

Метою цього розділу є ідентифікація шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ), що виникають на проєктованій дільниці, розробка комплексу інженерних рішень для забезпечення безпеки праці, виконання розрахунку системи місцевої витяжної вентиляції, а також аналіз пожежної безпеки виробничих приміщень.

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Виробництво виробів з вольфрамокобальтового твердого сплаву ВКЗ передбачає послідовне виконання 11 технологічних операцій: дозування вихідних порошків, мокрий розмел у шарових млинах, вакуумну сушку (дзмішування з парафіновим пластифікатором у бензиновому розчині, сушку (видалення бензину), грануляцію, холодне двостороннє пресування, попереднє спікання (деваксацію + твердофазне спікання) у водневому або вакуумному середовищі, проміжну механічну обробку (заточування на верстатах з ЧПУ), кінцеве рідиннофазне спікання у вакуумі з надтиском аргону та фінішне алмазне шліфування.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кравченко О.О.			РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бірюкович Л.О.								
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.								
Затверд.		Богомол Ю. І.								

Кожна з цих операцій генерує специфічний набір ШНВФ, класифікація яких за природою дії на організм людини наведена нижче.

Хімічні фактори. Найбільш небезпечним хімічним фактором є пил кобальту, що відноситься до 1-го класу небезпеки з ГДК у повітрі робочої зони $0,05 \text{ мг/м}^3$ відповідно до Гігієнічних регламентів хімічних речовин [22]. Кобальт є токсичним металом, здатним спричиняти фіброз легень («кобальтова хвороба»), дерматити та канцерогенні ефекти при хронічній інгаляційній дії. Пил карбиду вольфраму (ГДК $6,0 \text{ мг/м}^3$, 4-й клас небезпеки) є менш токсичним, проте при тривалому впливі здатний викликати пневмоконіоз. Найбільше пилоутворення відбувається під час операцій дозування (висипання порошків), завантаження/вивантаження шарових млинів та алмазного шліфування спечених пластин.

Пари етилового спирту (ГДК 1000 мг/м^3 , 4-й клас) виділяються під час мокрого розмелювання та вакуумної сушки пульпи. Пари екстракційного бензину (ГДК 300 мг/м^3 , 4-й клас) утворюються під час змішування шихти з парафіновим розчином та подальшої сушки. Крім безпосередньої токсичної дії на центральну нервову систему, пари бензину та етанолу є вибухопожежонебезпечними і утворюють з повітрям вибухонебезпечні суміші. Під час деваксації (попереднього спікання при $200\text{--}400^\circ\text{C}$) утворюються продукти термічної деструкції парафіну та оксид вуглецю (ГДК 20 мг/м^3 , 4-й клас).

Використання водню як захисного газу на операції попереднього спікання існує ризик утворення вибухонебезпечної суміші H_2 –повітря (межі вибуховості: 4–75 % об. H_2). Аргон, що застосовується в кінцевому спіканні, є інертним газом, проте при витіканні у великій кількості може викликати асфіксію внаслідок витіснення кисню з повітря робочої зони.

Фізичні фактори. Шарові млини МШ-150 генерують шум рівнем 85–95 дБА (при нормі 80 дБА за ДСН 3.3.6.037-99 [23]) та загальну вібрацію. Вібраційний гранулятор ГРС-25 та гідравлічний прес ПА-100 також є джерелами технологічної вібрації, рівень якої може перевищувати нормативні значення за ДСН 3.3.6.039-99 [24]. Печі попереднього та кінцевого спікання (з робочими температурами до 1000

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

°C та 1550 °C відповідно) є потужними джерелами інфрачервоного випромінювання. Допустима інтегральна інтенсивність теплового випромінювання на робочих місцях не повинна перевищувати 350 Вт/м² відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [25].

Небезпечні виробничі фактори. Електричний струм (живлення обладнання від мережі 380/220 В) становить небезпеку ураження при порушенні ізоляції печей, пресів, верстатів з ЧПУ та шліфувальних верстатів. Рухомі елементи обладнання (обертові частини млинів, пуансони преса, шпинделі верстатів) створюють ризик механічного травматизму. Під час роботи шліфувальних верстатів можливе розривання абразивного круга з утворенням осколків.

Психофізіологічні фактори. Тризмінний режим роботи ділянки (операції спікання та механічної обробки) може призводити до порушення біоритмів. Монотонність окремих операцій (пресування, контроль спікання) підвищує ризик помилок оператора.

Систематизований перелік основних ШНВФ проєктованої ділянки з зазначенням нормативних параметрів наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Шкідливі та небезпечні виробничі фактори ділянки

Шкідлива речовина / фактор	ГДК / ГДР	Клас небезпеки	Джерело	Операція
1	2	3	4	5
Пил карбіду вольфраму (WC)	6,0 мг/м ³	4	Пилоутворення	Дозування, розмелювання, шліфування
Пил кобальту (Co)	0,05 мг/м ³	1	Пилоутворення	Дозування, розмелювання, шліфування
Пари етилового спирту (C ₂ H ₅ OH)	1000 мг/м ³	4	Випаровування	Мокрий розмел, сушіння
Пари бензину (розчинник парафіну)	300 мг/м ³	4	Випаровування	Змішування з пластифікатором, сушіння
Продукти термодеструкції парафіну	300 мг/м ³	4	Термодеструкція	Деваксація (попереднє спікання)

1	2	3	4	5
Водень (H ₂)	- (вибухонебез.)	-	Захисне середовище	Попереднє спікання у водні
Оксид вуглецю (CO)	20 мг/м ³	4	Термодеструкція	Попереднє та кінцеве спікання
Шум (від кульових млинів)	80 дБА	-	Обертання барабана	Мокрий розмел
Вібрація (від млинів, грануляторів)	92 дБ	-	Обертові механізми	Розмел, грануляція, пресування
ІЧ-випромінювання (від печей)	350 Вт/м ² (інтегр.)	-	Нагріті поверхні	Попереднє та кінцеве спікання
Електричний струм	U _{xx} ≤ 113 В (=)	-	Обладнання 380/220 В	Усі операції (преси, печі, верстати)

4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Комплекс інженерних рішень для забезпечення безпеки праці на проєктованій ділянці розроблено з урахуванням вимог НПАОП 28.52-1.31-13 [26], ДБН В.2.5-67:2013 [27] та інших нормативних документів і включає технологічні, санітарно-технічні, організаційно-планувальні заходи та засоби індивідуального захисту.

Технологічні заходи. Для мінімізації пилоутворення всі операції з порошками (дозування, завантаження млинів, вивантаження сухої шихти) виконуються з використанням герметизованих бункерів-накопичувачів з арговою подушкою, що одночасно запобігає окисненню субмікронних порошків і забрудненню повітря робочої зони. Мокрий розмел у середовищі етилового спирту є принципово менш пилогенеруючим процесом порівняно з сухим розмелом. Грануляція висушеної маси через сита забезпечує перехід від пилоподібного порошку до сфероїдальних гранул з мінімальним пилоутворенням на подальших операціях.

Вентиляція. Основним заходом колективного захисту від шкідливих аерозолів та парів є система припливно-витяжної вентиляції, організована відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 [27]. На ділянці передбачено комбіноване вентилявання: місцеву витяжну вентиляцію для кожного джерела ШНВФ та

загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію для компенсації нелокалізованих шкідливих речовин. Місцеві відсмоктувачі встановлено: над зоною завантаження/вивантаження шарових млинів МШ-150; над вакуумною сушаркою СВ-50 (для уловлювання парів спирту); над шнековим змішувачем ЗШ-25 та сушильною шафою SNOL 60/350 (для уловлювання парів бензину); над гранулятором ГРС-25; над кожним шліфувальним верстатом MSO 15 (для уловлювання дрібнодисперсного пилу WC-Co). Видалене повітря проходить двоступеневу систему очищення: перший ступінь – циклон для вловлювання великих частинок, другий ступінь – НЕРА-фільтр класу H13 для уловлювання субмікронного пилу кобальту.

Загальнообмінна вентиляція розрахована на видалення не менше 25 % шкідливих речовин, не вловлених місцевими витяжними пристроями, до рівня ГДК. Подавання припливного повітря здійснюється у робочу зону з температурою не нижче +20 °C відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [25].

Захист від шуму та вібрації. Шарові млини МШ-150 розміщено у відділенні підготовки суміші, ізольованому від решти ділянки вогнетривкими перегородками з шумоізоляційним наповненням (мінеральна вата, $\delta = 50$ мм). Млини встановлено на віброізолюючих фундаментах із гумовими амортизаторами для зниження передачі вібрації на будівельні конструкції. Гранулятор ГРС-25 та прес ПА-100 також оснащені віброгасними опорами. Персонал, що обслуговує млини, забезпечується засобами індивідуального захисту органів слуху (протишумові вкладки або навушники) для зниження рівня шуму до нормативного значення 80 дБА.

Захист від теплового випромінювання. Печі попереднього спікання СНВЭ-1.3.1/16 та кінцевого спікання ВКС-15 розміщено в окремих ізольованих приміщеннях з вогнетривкими перегородками. Зовнішні поверхні печей мають теплоізоляційне покриття, що забезпечує температуру зовнішнього кожуха не вище 45 °C за нормальної роботи. Для персоналу, що виконує операції завантаження/вивантаження нагрітих заготовок (при температурі до 100–200 °C

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

після охолодження), передбачено термозахисні рукавиці та захисні екрани з водяним охолодженням при інтенсивності випромінювання понад 350 Вт/м².

Електробезпека. Усе електрообладнання дільниці (печі, преси, верстати ЧПУ, шліфувальні верстати) підключено до мережі 380/220 В і відповідає вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 [28] та ДНАОП 0.00-1.32-01 [29]. Кожна одиниця обладнання має окремий провід захисного заземлення, приєднаний до магістралі заземлення з опором не більше 4 Ом відповідно до ПУЕ-2017 [30]. Електрощитова розташована в окремому приміщенні з обмеженим доступом. Печі спікання обладнані системами автоматичного відключення при порушенні вакууму, перегріві або аварійному підвищенні тиску. Верстати з ЧПУ мають кнопки аварійної зупинки (НЕ) червоного кольору на кожному робочому місці. З точки зору безпеки ураження електричним струмом виробниче приміщення дільниці відноситься до категорії підвищеної небезпеки (наявність металевих підлог, великої кількості заземлених корпусів).

Захист від механічного травмування. Рухомі частини шарових млинів (привідні шестерні, з'єднувальні муфти) огорожені стаціонарними захисними кожухами. Прес ПА-100 обладнаний двокнопковою системою запуску (обидві кнопки натискаються одночасно двома руками оператора), що виключає потрапляння рук у зону пресування. Верстати з ЧПУ DMU 50 обладнані захисними кабінами з блокуванням, що зупиняє шпиндель при відкриванні дверей. Шліфувальні верстати MSO 15 мають захисні кожухи алмазних кругів з аварійним гальмуванням.

Засоби індивідуального захисту. Персонал дільниці забезпечується ЗІЗ відповідно до ДСТУ 7239:2011 [31]: спецодяг з бавовняної тканини; захисні окуляри закритого типу (при роботі з порошками та на шліфувальних верстатах); респіратори типу «Лепесток-200» або «ЗМ 8210» (клас захисту FFP2) для захисту від субмікронного пилу WC-Co; протишумові вкладки або навушники (при роботі у відділенні підготовки суміші); термозахисні рукавиці (при операціях з нагрітими заготовками); діелектричні рукавички та килимки (при обслуговуванні

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

електрообладнання в умовах підвищеної небезпеки); захисне взуття з металевим підноском.

Екологічні заходи. Для захисту атмосферного повітря від викидів пилю WC та Co вентиляційне повітря перед скиданням в атмосферу проходить двоступеневу систему очищення (циклон + HEPA-фільтр), що забезпечує ступінь очищення не менше 99,5 %. Етиловий спирт, що виділяється під час вакуумної сушки, конденсується та повертається в технологічний цикл. Пари бензину, що видаляються вентиляцією, проходять через адсорбер з активованим вугіллям. Відходи твердих сплавів (зворотні втрати з операцій 7 та 9) повертаються у виробничий цикл на стадію мокрого розмелу. Шлам від алмазного шліфування збирається та передається на переробку спеціалізованим підприємством.

4.3 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції

Виконаємо розрахунок місцевої витяжної вентиляції для відділення алмазного шліфування, як ділянки з найвищим ризиком утворення високотоксичного субмікронного пилю кобальту (1-й клас небезпеки, ГДК = 0,05 мг/м³). На ділянці розташовано 4 алмазно-шліфувальних верстати MSO 15, кожен з яких обладнується індивідуальним місцевим витяжним пристроєм (відсмоктувачем) з округлим отвором, оснащеним екраном (верстатний стіл слугує екранною поверхнею).

Вихідні дані для розрахунку систематизовано у таблиці 4.2.

Об'єм повітря, яке необхідно видалити одним місцевим витяжним пристроєм, визначається за формулою (відповідно до рекомендацій [13]):

$$L_m = 3600 \cdot F_o \cdot V_o, \quad (4.1)$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунку місцевої витяжної вентиляції

Параметр	Позначення	Значення
Діаметр витяжного отвору (округлий, з екраном)	d	0,20 м
Площа витяжного отвору	$F_o = \pi d^2/4$	0,0314 м ²
Відстань від центра отвору до зони пилоутворення	X	0,30 м
Потрібна швидкість повітря в зоні джерела	V_x	0,5 м/с

Об'єм повітря, яке необхідно видалити одним місцевим витяжним пристроєм, визначається за формулою (відповідно до рекомендацій [13]):

$$L_m = 3600 \cdot F_o \cdot V_o, \quad (4.1)$$

де F_o – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м²;

V_o – швидкість всмоктування повітря у цьому отворі, м/с.

Швидкість всмоктування V_o для округлого отвору з екраном визначається за формулою:

$$V_o = 8 \cdot V_x \cdot (X / d)^2, \quad (4.2)$$

де V_x – потрібна швидкість повітря в зоні пилоутворення (біля джерела), м/с;

X – відстань від центра витяжного отвору до джерела шкідливих речовин, м; d – діаметр витяжного отвору, м.

Для алмазного шліфування твердих сплавів прийнято $V_x = 0,5$ м/с (відповідає рекомендованій швидкості руху повітря біля джерел виділення дрібнодисперсного пилу згідно з [13]).

Підставляючи числові значення у формулу (4.2), отримаємо:

$$V_o = 8 \cdot 0,5 \cdot (0,30 / 0,20)^2 = 4,0 \cdot 2,25 = 9,0 \text{ м/с.}$$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Об'єм повітря, що видаляється одним відсмоктувачем, за формулою (4.1):

$$L_m = 3600 \cdot 0,0314 \cdot 9,0 = 1017 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Оскільки на ділянці розташовано 4 шліфувальні верстати MSO 15, загальна продуктивність місцевої витяжної вентиляції відділення шліфування становить:

$$L_{\text{заг.місц}} = 4 \cdot 1017 = 4068 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Кількість шкідливих речовин, що локалізується місцевою вентиляцією для витяжних пристроїв з екраном, становить не більше 90 % (відповідно до [13]). Решта 10 % шкідливих речовин повинна видалятися загальнообмінною вентиляцією. Тоді необхідна продуктивність загальнообмінної вентиляції для ділянки шліфування:

$$L_{\text{заг.обм}} = L_{\text{заг.місц}} \cdot \frac{0,10}{0,90} = 4068 \cdot 0,111 \approx 452 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Сумарна продуктивність вентиляційної системи відділення алмазного шліфування:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{заг.місц}} + L_{\text{заг.обм}} = 4068 + 452 \approx 4520 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Аналогічні розрахунки виконуються для інших відділень дільниці. Загальна необхідна продуктивність вентиляційної системи дільниці з урахуванням усіх джерел шкідливих речовин (млини, сушарки, змішувач, гранулятор, шліфування) орієнтовно становить 12 000–15 000 м³/год. Підбір вентиляційного обладнання (вентилятори, фільтри, повітроводи) здійснюється за стандартними каталогами з урахуванням аеродинамічного опору мережі.

Перевірка: при загальному об'ємі відділення шліфування $V_{\text{пом}} = 6 \times 12 \times 6 = 432 \text{ м}^3$ (довжина 12 м, ширина 6 м, висота 6 м), кратність повітрообміну становить:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

$$n = \frac{L_{\Sigma}}{V_{\text{пом}}} = 4520 / 432 \approx 10,5 \text{ год}^{-1},$$

що відповідає рекомендованим значенням кратності повітрообміну для виробничих приміщень з пилотгенеруючим обладнанням (8–12 год⁻¹) і підтверджує коректність розрахунку.

4.4 Пожежна безпека

Аналіз пожежовибухонебезпечності проєктованої дільниці виконано з урахуванням характеристик речовин і матеріалів, що використовуються в технологічному процесі, можливих джерел запалювання та відповідно до вимог НАПБ Б.03.002-2007 [32].

На дільниці присутні такі пожежовибухонебезпечні речовини: етиловий спирт (ЛВЖ, температура спалаху +13 °С, межі вибуховості парів 3,3–19 % об., клас небезпеки 4); екстракційний бензин (ЛВЖ, температура спалаху –17 °С, межі вибуховості 1,1–5,4 % об.); парафін П-1 (горюча речовина, температура спалаху +160 °С); водень (горючий газ, межі вибуховості 4–75 % об., мінімальна енергія запалювання 0,017 мДж – надзвичайно вибухонебезпечний). Зазначені речовини присутні в окремих відділеннях дільниці, що враховано при визначенні категорій пожежовибухонебезпеки кожного приміщення.

Відділення підготовки суміші, де зберігаються та використовуються етиловий спирт і бензин, відноситься до категорії А (вибухопожежонебезпечне) відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 [32], оскільки в приміщенні наявні ЛВЖ з температурою спалаху нижче +28 °С (бензин). Відділення попереднього спікання, де використовується водень, також відноситься до категорії А (горючий газ). Решта виробничих приміщень (пресування, заточування, кінцеве спікання, шліфування) відноситься до категорії Г (негорючі речовини в гарячому, розжареному стані). Клас зони пожежовибухонебезпечності: для приміщень категорії А – зона 1 (вибухонебезпечна); для приміщень категорії Г – зона II-Па.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Можливими джерелами запалювання є: електрична дуга або іскра при порушенні ізоляції обладнання; перегрів електрообладнання при перевантаженні; іскри від ударів металевих предметів; самозаймання пропитаних бензином ганчірок; розряд статичної електрики (при пересипанні сухих порошоків). Клас можливої пожежі: В (горючі рідини – спирт, бензин), С (горючі гази – водень) та Е (електроустановки).

Для забезпечення пожежної безпеки передбачено наступні заходи. Усі електрообладнання захищено автоматичними вимикачами та плавкими запобіжниками від короткого замикання і перевантаження. Відділення підготовки суміші (категорія А) обладнане вибухозахищеним електрообладнанням класу «Ех», іскробезпечною проводкою та системою блискавкозахисту. Для контролю концентрації водню у відділенні попереднього спікання встановлено автоматичні газоаналізатори з пороговою сигналізацією при досягненні 20 % від нижньої межі вибуховості (0,8 % об. Н₂).

Приміщення дільниці обладнане автоматичною пожежною сигналізацією з димовими (ДИП-3) та тепловими (ТП-10) датчиками, підключеними до центрального пульта пожежної сигналізації з виведенням сигналу на пульт охорони підприємства. Тип виконання електрообладнання відповідає класу зони пожежо- та вибухобезпечності кожного приміщення.

Номенклатуру та кількість первинних засобів пожежогасіння визначено відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 [32] і наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Первинні засоби пожежогасіння дільниці

Приміщення / ділянка	Категорія	Клас пожежі	Тип вогнегасника
Підготовка суміші (етанол, бензин)	А (ЛВЖ)	В	ОВП-10 - 2 шт., ОП-5 - 2 шт.
Пресування	Г	Е	ОУ-5 - 2 шт.
Попереднє спікання (Н ₂)	А (водень)	С, Е	ОП-10А - 2 шт., ОУ-8 - 1 шт.
Мех. обробка (ЧПУ)	Г	Е	ОУ-5 - 2 шт.
Кінцеве спікання (Аг)	Г	Е	ОУ-8 - 1 шт., ОП-5 - 1 шт.
Шліфування	Г	Е	ОУ-5 - 2 шт.

На ділянці передбачено два протипожежні щити (на вході та в середині коридору), укомплектовані вуглекислотними вогнегасниками ОУ-5, порошковими вогнегасниками ОП-10А, ломачами, пожежними відрами, совками та ящиками з піском. Сухість піску перевіряється щоквартально.

Евакуація персоналу передбачена через центральний коридор до двох торцевих евакуаційних виходів (ворота 3,6 × 3,6 м) на протилежних кінцях будівлі. Ширина коридору (3 м) відповідає вимогам ДБН В.2.2-28:2010 [33] для евакуаційних шляхів (не менше 2 м). Двері з кожного виробничого приміщення відкриваються у бік коридору (у напрямку евакуації). Максимальна відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не перевищує 30 м, що відповідає нормі для приміщень категорії А–Г. Евакуаційні виходи позначені світловими таблом «ВИХІД» з автономним живленням.

У випадку виникнення пожежі кожен працівник зобов'язаний негайно сповістити пожежну охорону за телефоном 101, вжити заходів до евакуації людей та розпочати гасіння наявними засобами. При пожежі на електрообладнанні першочергово необхідно відключити напругу рубильником, а потім використовувати вуглекислотні (ОУ) або порошкові (ОП) вогнегасники. Використання водяних і пінних вогнегасників на електроустановках під напругою категорично забороняється

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Енергетичний розділ

Завданням енергетичного розділу є розрахунок кількості електроенергії, необхідної для забезпечення роботи проєктованої ділянки. Обсяг витрат електроенергії визначено на підставі вибору та розрахунку технологічного обладнання (табл. 1.9), його встановленої потужності та запланованого режиму роботи за формулою:

$$W = M \cdot \Phi_0 \cdot K_3 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5.1)$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год;

K_3 – коефіцієнт завантаження;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (для електричних печей – 0,6; для електродвигунів – 0,3);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (0,7).

Режим роботи ділянки: підготовчі операції (дозування, розмел, змішування, грануляція, пресування) – однозмінний,

$\Phi_0 = 233 \times 8 = 1\,864$ год/рік; операції спікання та механічної обробки – тризмінний,

$\Phi_0 = 233 \times 24 = 5\,592$ год/рік. Результати розрахунку наведено в таблиці 5.1.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОРГАНІЗАЦІЙНО- ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Кравченко О.О.					
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.			Лім.		
					Арк.		
					Аркушів		
					89		
					9		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
					Каф. ВТМ та ПМ		
					Гр. НН-п31		

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача	Кількість	Потужність, кВт	Фонд часу, год/рік	Кз	К ₁	К ₂	Витрати, кВт·год
Комплект ваг (ВТА-60 + AXIS BTU3000)	1	0.07	1864	0.06	0.3	0.7	2
Шаровий млин МШ-150	2	5.5	1864	0.65	0.3	0.7	2799
Вакуумна сушарка СВ-50	1	4	1864	0.75	0.3	0.7	1174
Шнековий змішувач ЗШ-25	1	2.2	1864	0.25	0.3	0.7	215
Сушильна шафа SNOL 60/350	1	2.5	1864	0.50	0.3	0.7	489
Гранулятор вібраційний ГРС-25	1	1.1	1864	0.35	0.3	0.7	151
Прес-автомат ПА-100	1	7.5	1864	0.37	0.3	0.7	1086
Піч поп. спікання СНВЭ-1.3.1/16	1	18	5592	0.23	0.6	0.7	9723
Верстат ЧПУ DMU 50	5	7.5	5592	0.73	0.3	0.7	32147
Піч кінц. спікання ВКС-15	1	25	5592	0.65	0.6	0.7	38165
Шліфувальний верстат MSO 15	4	3	5592	0.68	0.3	0.7	9582
Усього							95533

Витрати електроенергії на освітлення розраховано за формулою:

$$W_{\text{осв}} = S \cdot q \cdot T_{\text{гор}} \cdot K_{\text{одн}} / 1000,$$

де S – освітлювальна площа, м²;

q – поверхнева густина теплового потоку (для виробничих приміщень – 13 Вт/м², для побутових – 10 Вт/м²);

$T_{\text{гор}}$ – число годин горіння на рік (4700 год для тризмінного режиму);

$K_{\text{одн}}$ – коефіцієнт одночасного горіння (0,8 для виробничих, 0,7 для побутових).

Дільниця: $30 \times 18 = 540$ м² (виробнича площа $2 \times 225 = 450$ м² + коридор 90 м²)

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування	Площа, м ²	q, Вт/м ²	Години/рік	К_одноч	Витрати, кВт·год
Виробничі приміщення (верхня смуга)	225	13	4700	0.8	10998
Виробничі приміщення (нижня смуга)	225	13	4700	0.8	10998
Центральний коридор	90	11	4700	0.8	3722
Побутові та службові приміщення	0	10	2500	0.7	0
Усього					25718

Загальні річні витрати електроенергії по дільниці:

$$W_{\text{заг}} = 95533 + 25718 = 121251 \text{ кВт·год/рік} \approx 121 \text{ тис. кВт·год/рік.}$$

5.2 Організаційний розділ

5.2.1 Розрахунок чисельності робітників

Чисельність основних робітників, зайнятих на ненормованих роботах (контроль технологічного процесу, керування устаткуванням), розраховано за нормами обслуговування згідно з формулою:

$$Ч_{\text{ос}} = m_0 \cdot П_{\text{зм}} \cdot К_{\text{п}} / Н_{\text{об}},$$

де m_0 – кількість обслуговуваних об'єктів (табл. 1.9);

$П_{\text{зм}}$ – кількість змін;

$К_{\text{п}}$ – коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову;

$Н_{\text{об}}$ – норма обслуговування.

Для розрахунку прийнято баланс робочого часу: ефективний фонд 1 672 год/рік, явочний час 220 днів, $K_p = 100 / (100 - 10,6) = 1,12$ (де 10,6 % – плановий відсоток невиходів).

Результати розрахунку чисельності основних та допоміжних робітників наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Чисельність основних і допоміжних робітників дільниці

Професія, спеціальність	Розряд	1 зм	2 зм	3 зм	На добу	Кп	Облікова
Основні робітники							
Оператор дозування/підготовки	4	1	0	0	1	1,12	2
Оператор млинів/змішувачів	4	1	0	0	1	1,12	2
Оператор преса	4	1	0	0	1	1,12	2
Спікальник (поп. спікання)	5	1	1	1	3	1,12	4
Оператор ЧПУ (заточувальник)	5	2	2	2	6	1,12	7
Спікальник (ост. спікання)	5	1	1	1	3	1,12	4
Шліфувальник	4	2	2	2	6	1,12	7
Разом		9	6	6	21		24
Допоміжні працівники							
Наладчик обладнання	6	1	1	1	3	1,12	4
Черговий слюсар-електрик	5	1	1	1	3	1,12	4
Вантажник	2	1	0	0	1	1,12	2
Лаборант ВТК	4	1	0	0	1	1,12	2
Разом		4	2	2	8		9
Усього робітників		13	8	8	29		33

Чисельність управлінського та обслуговуючого персоналу визначено виходячи з організаційної структури дільниці (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Розрахунок ФЗП управлінського та обслуговуючого персоналу

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний оклад, грн	Річний ФЗП, грн
Начальник ділянки	1	25 000	300 000
Майстер (змінний)	2	18 000	432 000
Лаборант ВТК (старший)	1	14 000	168 000
Прибиральниця	1	8 000	96 000
Разом управлінський та обслуговуючий	5		996 000

Загальна чисельність персоналу ділянки: 38 осіб (у т.ч. основних робітників – 24, допоміжних – 9, управлінського та обслуговуючого персоналу – 5).

5.2.2 Визначення фондів заробітної плати

Тарифну ставку 1-го розряду прийнято на рівні 48,00 грн/год (відповідає мінімальній заробітній платі 8 000 грн/міс у 2026 р.). Середня тарифна ставка основних робітників (розряди 4–5): 65 грн/год, допоміжних (розряди 2–6): 58 грн/год. Основна заробітна плата розрахована як добуток облікової чисельності, ефективного фонду робочого часу та погодинної тарифної ставки. Додаткова заробітна плата – 20 % від основної.

Фонд основної ЗП основних робітників: $24 \times 1\,672 \times 65 = 2\,608\,320$ грн.
Додаткова ЗП: 521 664 грн. Разом по основних робітниках: 3 129 984 грн.

Фонд основної ЗП допоміжних робітників: $9 \times 1\,672 \times 58 = 872\,784$ грн.
Додаткова ЗП: 174 557 грн. Разом по допоміжних: 1 047 341 грн.

Загальний річний ФЗП по ділянці (з управлінським персоналом): 5 173 325 грн $\approx$ 5173 тис. грн. Єдиний соціальний внесок (22 %):
1 138 132 грн $\approx$ 1138 тис. грн.

5.2.3 Продуктивність праці

Продуктивність праці визначено як відношення річного обсягу виробництва до загальної чисельності персоналу:

$$\Pi = G / \Sigma \text{Ч} = 600\,000 / 38 = 15789 \text{ шт./особу на рік.} \quad (5.2)$$

5.3 Економічний розділ

Основне завдання цього підрозділу – довести, що розроблений проєкт є економічно ефективним, шляхом розрахунку капітальних вкладень, планової собівартості продукції та показників економічної ефективності.

5.3.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення у обладнання розраховано з урахуванням витрат на транспортування та монтаж у розмірі 15 % від ціни обладнання (таблиця 5.5).

Капіталовкладення у виробничу будівлю: $V_{\text{буд}} = 540 \times 6 = 3\,240 \text{ м}^3$; вартість: $3\,240 \times 3\,000 = 9720 \text{ тис. грн.}$ Інженерні мережі (водопостачання, каналізація, електропроводка, вентиляція): $3\,240 \times 195 = 632 \text{ тис. грн.}$ Разом будівля: 10352 тис. грн.

Норматив оборотних засобів: середньодобове споживання матеріалів $M_d = 11652\,000 / 360 \approx 32367 \text{ грн/добу}$; середній поточний запас $Z_m = 32367 \times 15/2 = 242753 \text{ грн}$; загальний норматив $H_{\text{заг}} = 1,5 \times 242753 \approx 364130 \text{ грн} \approx 364 \text{ тис. грн.}$

Загальні капітальні вкладення: $K_{\text{заг}} = 41953 \text{ (обладнання)} + 10352 \text{ (будівля)} + 364 \text{ (оборотні)} = 52669 \text{ тис. грн.}$

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

Таблиця 5.5 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання

Найменування обладнання	Кількість	Ціна, тис. грн	Загальна, тис. грн	Монтаж 15%, тис. грн	Усього, тис. грн
Комплект ваг (ВТА-60 + AXIS BTU3000)	1	80	80	12	92
Шаровий млин МШ-150	2	400	800	120	920
Вакуумна сушарка СВ-50	1	250	250	38	288
Шнековий змішувач ЗШ-25	1	200	200	30	230
Сушильна шафа SNOL 60/350	1	100	100	15	115
Гранулятор вібраційний ГРС-25	1	150	150	23	173
Прес-автомат ПА-100	1	1200	1200	180	1380
Піч поп. спікання СНВЭ-1.3.1/16	1	2500	2500	375	2875
Верстат ЧПУ DMU 50	5	4000	20000	3000	23000
Піч кінц. спікання ВКС-15	1	8000	8000	1200	9200
Шліфувальний верстат MSO 15	4	800	3200	480	3680
Разом обладнання					41953

5.3.2 Планова калькуляція собівартості

Планову калькуляцію собівартості річного обсягу виробництва 600 тис. шт. (6 000 кг) пластин ВКЗ складено за 10 статтями витрат відповідно до методичних вказівок (таблиця 4.6). Стаття «Сировина та матеріали» включає порошки WC (5 820 кг × 1 800 грн/кг = 10 476 тис. грн), Со (186 кг × 1 500 грн/кг = 279 тис. грн), етанол, парафін, бензин, алмазний інструмент та захисні гази (разом ~897 тис. грн).

Таблиця 5.6 – Планова калькуляція собівартості

Стаття витрат	Витрати на річну програму, тис. грн	Примітки
1. Сировина та матеріали	11652	WC, Со, спирт, парафін, бензин, алмаз. інстр., газ
2. Паливо та енергія на технол. цілі	546	Тариф 4,50 грн/кВт·год
3. Основна ЗП технол. робітників	2608	Основні робітники, 24 осіб
4. Додаткова ЗП (20 %)	522	
5. ЄСВ (22 %)	1138	Від загального ФЗП по дільниці
6. Утримання та експл. устаткування (150 %)	3912	Від ст. 3
7. Загальновиробничі витрати (110 %)	2869	Від ст. 3
8. Загальногосподарські витрати (80 %)	2087	Від ст. 3
9. Витрати на підготовку та освоєння (40 %)	1043	Від ст. 3
Виробнича собівартість	26377	Сума ст. 1–9
10. Позавиробничі витрати (7 %)	1846	Від виробничої с/в
Повна собівартість	28223	

Повна собівартість одиниці продукції: $C_{\text{п}} = 28223 \text{ 000} / 600 \text{ 000} = 47.04 \text{ грн/шт.}$

5.3.3 Показники економічної ефективності

Ринкова ціна твердосплавної різальної пластини ВК3 типу SNUN 1204 на ринку України та ЄС становить 130–200 грн/шт. (залежно від партії). Для розрахунку прийнято консервативну ціну $C = 130 \text{ грн/шт.}$

Технологічна трудомісткість одиниці продукції:

$$t = C_{\text{ос}} \cdot \frac{\Phi_{\text{еф}}}{G} = 24 \cdot 1 \frac{672}{600000} = 0.1059 \text{ нормо – год/шт.} \quad (5.3)$$

Капіталомісткість продукції:

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

$$K_G = \frac{K_{\text{заг}}}{G} = \frac{52669000}{600000} = 87.78 \text{ грн/шт.} \quad (5.4)$$

Амортизаційні відрахування: будівлі (група 3, 5 %): 518 тис. грн/рік;
обладнання (група 4, 20 %): 8391 тис. грн/рік. Разом: 8909 тис. грн/рік.

Річний грошовий потік:

$$\text{ГП}_p = 0,82 \cdot (\text{Ц} - \text{C}_n) \cdot G + \Sigma A = 0,82 \cdot (130 - 47.04) \cdot 600\,000 + 8909\,000 = 49726. \quad (5.5)$$

Період окупності капітальних витрат:

$$\text{П}_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{\text{ГП}_p} = \frac{52669}{49726} = 1.1 \text{ року} < 5-7 \text{ років (норматив)}. \quad (5.6)$$

Таблиця 5.7 – Техніко-економічні показники проєктованої ділянки

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення
Річний обсяг виробництва	тис. шт.	600
Загальна площа ділянки	м ²	540
Загальна чисельність персоналу	осіб	38
у т.ч. основні робітники	осіб	24
допоміжні робітники	осіб	9
управлінський та обслуг. персонал	осіб	5
Загальний річний ФЗП	тис. грн	5173
Середньомісячна ЗП одного працівника	грн	11345
Річний виробіток на одного працівника	шт./особу	15789
Технологічна трудомісткість	нормо-год/шт.	0.1059
Повна собівартість одиниці продукції	грн/шт.	47.04
Ринкова ціна одиниці продукції	грн/шт.	130
Загальні капітальні вкладення	тис. грн	52669
Капіталомісткість продукції	грн/шт.	87.78
Річний грошовий потік	тис. грн	49726
Період окупності	років	1.1 (норм. 5–7)

Зведені порівняльні техніко-економічні показники проєктованої ділянки наведено в таблиці 5.7.

Таким чином, період окупності капітальних вкладень у проєктовану ділянку становить 1.1 року, що значно менше нормативного значення 5–7 років. Це свідчить про високу економічну ефективність проєкту, зумовлену значною ринковою вартістю твердосплавних різальних пластин та відносно невеликим обсягом початкових капіталовкладень порівняно з річним обсягом виручки.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті розроблено технологічний процес та виконано проєктування виробничої ділянки для серійного виготовлення змінних багатограних непереточуваних пластин форми SNMG 120408 із вольфрамокобальтового твердого сплаву марки ВКЗ (97 % WC, 3 % Co), призначених для чистового фрезерування корпусних деталей із сірого чавуну.

На основі порівняльного аналізу методів формоутворення порошкової металургії обґрунтовано вибір технологічної схеми холодного двостороннього пресування у прес-формах із двостадійним спіканням як найбільш раціональної для масового випуску пластин заданої геометрії. Альтернативні технології (гаряче, ізостатичне та мундштучне пресування) відхилено через низьку продуктивність, високу енергоємність або неможливість формування складного профілю виробу.

Виконано поопераційний матеріальний баланс для одинадцяти технологічних операцій із урахуванням зворотних та незворотних втрат. Встановлено, що загальний наскрізний вихід придатної продукції становить 91,60 %, а добова потреба у свіжій сировині — 26,57 кг для забезпечення річної програми випуску 600 тис. штук пластин.

Підібрано основне технологічне обладнання для кожної операції та розраховано необхідну кількість одиниць із визначенням коефіцієнтів завантаження. Розроблено об'ємно-планувальне рішення виробничої будівлі загальною площею 540 м² із забезпеченням прямоточності матеріального потоку.

У спеціальному розділі спроектовано прес-форму для холодного двостороннього пресування пластин. Виконано розрахунки матриці, верхнього та нижнього пуансонів і формуючого стрижня на міцність, які підтвердили працездатність конструкції за робочого тиску пресування

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.		Кравченко О.О.					
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						99	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		

Проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори дільниці, розроблено комплекс інженерних заходів щодо забезпечення нормативних умов праці. Виконано розрахунок системи місцевої витяжної вентиляції та визначено категорії пожежовибухонебезпечності приміщень.

Економічний аналіз підтвердив доцільність реалізації проєкту. Повна собівартість одиниці продукції становить 47,04 грн за ринкової ціни 130 грн, загальні капітальні вкладення — 52 669 тис. грн, річний грошовий потік — 49 726 тис. грн, період окупності — 1,1 року. Отримані показники свідчать про високу рентабельність проєктованого виробництва.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CONCLUSIONS

The diploma project presents the development of a production process and the design of a manufacturing facility for the serial production of SNMG 120408 indexable inserts made of VK3 tungsten–cobalt cemented carbide (97 % WC, 3 % Co), intended for the finish milling of grey cast iron housing components.

Based on a comparative analysis of powder metallurgy forming methods, cold double-sided die pressing followed by two-stage sintering was selected as the most rational production route for the mass manufacture of inserts with the required geometry. Alternative technologies (hot pressing, cold isostatic pressing, and extrusion) were rejected due to low productivity, high energy consumption, or inability to form the complex insert profile.

A step-by-step material balance was calculated for eleven process operations, accounting for both recoverable and irrecoverable losses. The overall through-process yield was determined to be 91.60 %, with a daily fresh material input of 26.57 kg required to meet the annual production target of 600 thousand inserts.

The principal process equipment was selected for each operation, and the required number of units was calculated along with utilisation factors. A facility layout covering a total area of 540 m² was developed to ensure a straight-line material flow.

The special section covers the design of a cold pressing die. Strength calculations for the die body, upper and lower punches, and the core pin confirmed the structural integrity of the tooling under operating pressing loads.

Occupational hazards associated with the production facility were analysed, and a set of engineering measures was developed to ensure compliance with workplace safety standards. A local exhaust ventilation system was designed, and fire and explosion hazard categories were assigned to each production area.

					<i>НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>CONCLUSIONS</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Кравченко О.О.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Бірюкович Л.О.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Троснікова І. Ю.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Богомол Ю. І.</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						<i>101</i>	<i>2</i>
					<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського</i>		
					<i>Каф. ВТМ та ПМ</i>		
					<i>Гр. НН-п31</i>		

The economic analysis confirmed the feasibility of the project. The unit production cost amounts to UAH 47.04 at a market price of UAH 130, total capital investment is UAH 52 669 thousand, annual cash flow is UAH 49 726 thousand, and the payback period is 1.1 years. These indicators demonstrate the high profitability of the designed production facility.

					<i>HH-п31.4804.4203.003.01ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Кушнір, В. Г. Фізичні основи процесу різання металів [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Кушнір. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2010. – 165 с.
2. Лола, В. М. Теорія різання металів [Текст] : навч. посібник / В. М. Лола, В. І. Коваленко, В. В. Рутковський. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 235 с.
3. Розуміння стандартних інструментів для обробки чавуну [Електронний ресурс] // Anebon Metal : [офіційний сайт]. – Режим доступу: <https://www.anebonmetal.com/uk/news/understanding-the-standard-tools-for-cast-iron-processing/> – дата звернення: 17.05.2026.
4. Матеріалознавство [Текст] : підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. – Київ : Політехніка, 2001. – 484 с.
5. Металорізальні інструменти [Текст] : підручник / В. С. Антонюк ; за ред. В. С. Антонюка. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Київ : НТУУ «КПІ», 2005. – 544 с.
6. Степанчук, А. М. Технологія порошкової металургії [Текст] : підручник / А. М. Степанчук, Ю. В. Белоусов, К. Г. Чорнооченко. – Київ : ЕКМО, 2011. – 414 с.
7. Антонюк, В. С. Сучасні інструментальні матеріали та покриття [Текст] : навч. посіб. / В. С. Антонюк, П. О. Киричок, В. В. Кравчук. – Київ : НТУУ «КПІ», 2009. – 288 с.
8. Керівництво з металообробки [Текст] : практ. посіб. для техн. спеціалістів / Sandvik Coromant. – [Б. м.] : Sandvik Tooling, 2012. – 672 с.
9. Радкевич, С. І. Оброблюваність чавунів при фінішному торцевому фрезеруванні плоских поверхонь надтвердими матеріалами [Текст] / С. І. Радкевич, Л. Є. Глембоцька, П. П. Мельничук // Технічна інженерія, 2021. – № 1 (87). – С. 38–48.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кравченко О.О.			ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ		
Перевір.		Бірюкович Л.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Троснікова І. Ю.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
						Літ.	Арк.
							Аркушів
							103
							4
						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31	

10. Обработка чугуна инструментами линейки LOGIQ [Электронный ресурс] // ISCAR Украина : [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://www.iscar.com.ua/uk-ua/technical-articles/year-2018/cast-iron-logiq> – дата звернення: 17.05.2026.

11. Материалы твердые резальные для снятия стружки с певними резальними крайками. Класифікація та застосування. Позначення основних груп щодо снятия стружки і груп щодо застосування [Текст] : ДСТУ ISO 513:2015 (ISO 513:2012, IDT). – [Чинний з 2016-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 21 с.

12. Чуланов, Ю. С. Виробництво ріжучого інструменту для чистової обробки чавуну [Текст] : дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавра : 132 «Матеріалознавство» / Ю. С. Чуланов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 96 с.

13. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения [Текст] : справочник / И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельский [и др.] ; отв. ред. И. М. Федорченко. – Киев : Наукова думка, 1985. – 624 с.

14. Пластины змінні багатогранні для резальных інструментів. Позначення [Текст] ДСТУ ISO 1832:2015 (ISO 1832:2012, IDT).. – [Чинний від 2017-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 24 с.

15. Порошки карбида вольфрама. Технические условия [Текст] : ТУ 48-19-540-92. – [Введ. 1993-01-01]. – Москва : Институт Гиредмет, 1992. – 12 с.

16. Кобальт. Технічні умови (ГОСТ 123-2008, IDT) [Текст] ДСТУ ГОСТ 123:2009.. – [Чинний від 2009-10-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 8 с.

17. Парафины нефтяные твёрдые. Технические условия [Текст] ГОСТ 23683-89 – [Введ. 1990-01-01]. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 10 с.

18. Третьяков, В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов [Текст] / В. И. Третьяков. – 2-е изд., перераб. и доп. –

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Москва : Металлургия, 1976. – 528 с.19. Лошак, М. Г. Міцність і довговічність твердих сплавів [Текст] / М. Г. Лошак. – Київ : Наукова думка, 2014. – 384 с.

20. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них [Текст] : учеб. пособие / В. С. Панов, А. М. Чувилін. – Москва : МИСИС, 2004. – 464 с.

21. Системи управління якістю. Вимоги [Текст] ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT).. – [Чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 22 с.

22. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [Текст] : затв. наказом МОЗ України від 08.04.2014 № 248. – Київ : МОЗ України, 2014. – 48 с.

23. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст] ДСН 3.3.6.037-99.. – [Чинний від 1999-12-01]. – Київ : МОЗ України, 1999. – 29 с.

24. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [Текст] ДСН 3.3.6.039-99.. – [Чинний від 1999-12-01]. – Київ : МОЗ України, 1999. – 39 с.

25. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст] ДСН 3.3.6.042-99.. – [Чинний від 1999-12-01]. – Київ : МОЗ України, 1999. – 10 с.

26. Правила охорони праці під час виробництва металевих порошків та виробів з них [Текст] НПАОП 28.52-1.31-13.. – [Чинний від 2014-03-01]. – Київ : Держгірпромнагляд, 2013. – 42 с.

27. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст] ДБН В.2.5-67:2013.. – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 149 с.

28. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] ДНАОП 0.00-1.21-98.. – [Чинний від 1998-02-09]. – Київ : Держнаглядохоронпраці, 1998. – 52 с.

29. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Текст] ДНАОП 0.00-1.32-01.. – [Чинний від 2001-07-01]. – Київ : Держнаглядохоронпраці, 2001. – 117 с.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

30. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [Текст] : [5-те вид., переробл. і доповн.]. – Київ : Мін'юст України, 2017. – 758 с.

31. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація [Текст] ДСТУ 7239:2011.. – [Чинний від 2012-10-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2011. – 6 с.

32. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] НАПБ Б.03.002-2007.. – [Чинний від 2007-12-01]. – Київ : Держстандарт України, 2007. – 33 с.

33. Будинки адміністративного та побутового призначення [Текст] ДБН В.2.2-28:2010.. – [Чинний від 2011-10-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 54 с.

					НН-п31.4804.4203.003.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

[illegible]

Я№ з/п	Форма т	Позначення	Найменування	Кількіс ть листів	Примітка
			Документація		
A4		НН-п31.4804.4203.003.02АС	Апаратурно-технологічна схема	1	
			Обладнання		
	1		Ваги ВТА-60	1	
			AXIS BTU3000	1	
	2		Шаровий млин МШ-150	2	
	3		Вакуумна сушарка СВ-50	1	
	4		Шнековий змішувач		
			ЗШ-25	1	
	5		Сушильна шафа		
			SNOL 60/350	1	
	6		Протиральне сито		
			ГРС-25	1	
	7		Гідравлічний прес		
			ПА-100	1	
	8		Піч попереднього спікання		
			СНВЭ-1.3.1/16	1	
	9		Заточувальний		
			верстат DMU 50	3	
	10		Вакуумна піч ВКС-15	1	
	11		Шліфувальний верстат		
			MSO 15	4	
				НН-п31.4804.4203.003.02АС	
		ПІБ	Підп.	Дата	
Розробн.	Краєченко О.О.				Лист 108
Керівн.	Бірюкович Л.О.				
Консульт.					
Н/контр.	Троснікова І.Ю.				
Зав.каф.	Богомол Ю. І.				
				АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	
				Листів 1	
				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31	

Я№ з/п	Форма т	Позначення	Найменування	Кількіс ть листів	Примітка
			<u>Документація</u>		
A4		НН-п31.4804.4203.003.04ПД	Апаратурно-технологічна схема	1	
			<u>Обладнання</u>		
	1		Ваги ВТА-60	1	
			AXIS VTU3000	1	
	2		Шаровий млин МШ-150	2	
	3		Вакуумна сушарка СВ-50	1	
	4		Шнековий змішувач		
			ЗШ-25	1	
	5		Сушильна шафа		
			SNOL 60/350	1	
	6		Протиральне сито		
			ГРС-25	1	
	7		Гідравлічний прес		
			ПА-100	1	
	8		Піч попереднього спікання		
			СНВЭ-1.3.1/16	1	
	9		Заточувальний		
			верстат DMU 50	3	
	10		Вакуумна піч ВКС-15	1	
	11		Шліфувальний верстат		
			MSO 15	4	
				НН-п31.4804.4203.003.04ПД	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Кравченко О.О.			ПЛАН ДІЛЬНИЦІ	Лист
Керівн.	Бірюкович Л.О.				Листів
Консульт.					109
Н/контр.	Троснікова І.Ю.				1
Зав.каф.	Богомол Ю. І.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31

ЗАУВАЖЕННЯ
до дипломного проєкту на здобуття ступеня бакалавра студента
Кравченка Олексія Олеговича

№	Зауваження	Відмітка
ЗАВДАННЯ		
1	Неправильно вказана тема у завданні	ЗАВДАННЯ
2	Не співпадає кількість сторінок у ПЗ і вказані у РЕФЕРАТі	РЕФЕРАТ
ТЕКСТ ПРОЄКТУ		
3	Відомість ДПІ без заголовку	ВІДОМІСТЬ
4	Неправильно розміщені ключові слова	РЕФЕРАТ
5	Не вказано кількість сторінок, рис. тощо	ABSTRACT
6	Неправильна нумерація рисунків	C.30
7	Неправильно оформлені переліки	C.51,53,54,55-57
8	Відсутнє посилання у тексті на табл. 1.11 і неправильна її нумерація (має бути 1.9)	C.62,91
9	Неправильна назва університету у рамці	У всіх великих рамках по тесту
10	Відсутні посилання на рисунки у тексті	C.61
11	Невідступлений порожній рядок між текстом і назвою підпункту рядок	C. 68
12	Неспівпадіння назв розділів у ЗМІСТі та тексті	C.71,79
13	Відсутній шифр у рамці	C.79
14	Неправильно оформлено назву таблиці	C.80
15	Неправильно оформлено підпис розділу (має бути без абзацу по центру)	C.101,103
16	Непронумероване обладнання	C.108
17	Кресленики і таблиця не входять до ПЗ	C. 108-110
18	Неправильна рамка	C.112
19	Неправильно оформлено описи у специфікації (має бути у кожному рядку)	C. 112-113
ПРЕЗЕНТАЦІЯ		
20	Неправильна назва теми	Слайд 1
21	Відсутні підписи обладнання	Слайд 10
22	Неправильна назва університету у рамці	Слайди 10-12

Відповідальна за нормоконтроль
кафедри ВТМ та ПМ

16.06.2026 р.



Ірина ТРОСНІКОВА



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

KravchenkoOO_pFN31

Автор

Кравченко Олексій Олегович

Науковий керівник / Експерт

Бірюкович Ліна Олегівна

ІД документу

334316453

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

National Technical University of Ukraine Igor Sikorskyi Kyiv Politech Institute

підрозділ

ІМЗ, К-ра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

ЗВІТ

Дата звіту

6/14/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



17718

Кількість слів

137418

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		59
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		9
Парафрази (SmartMarks)		204

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

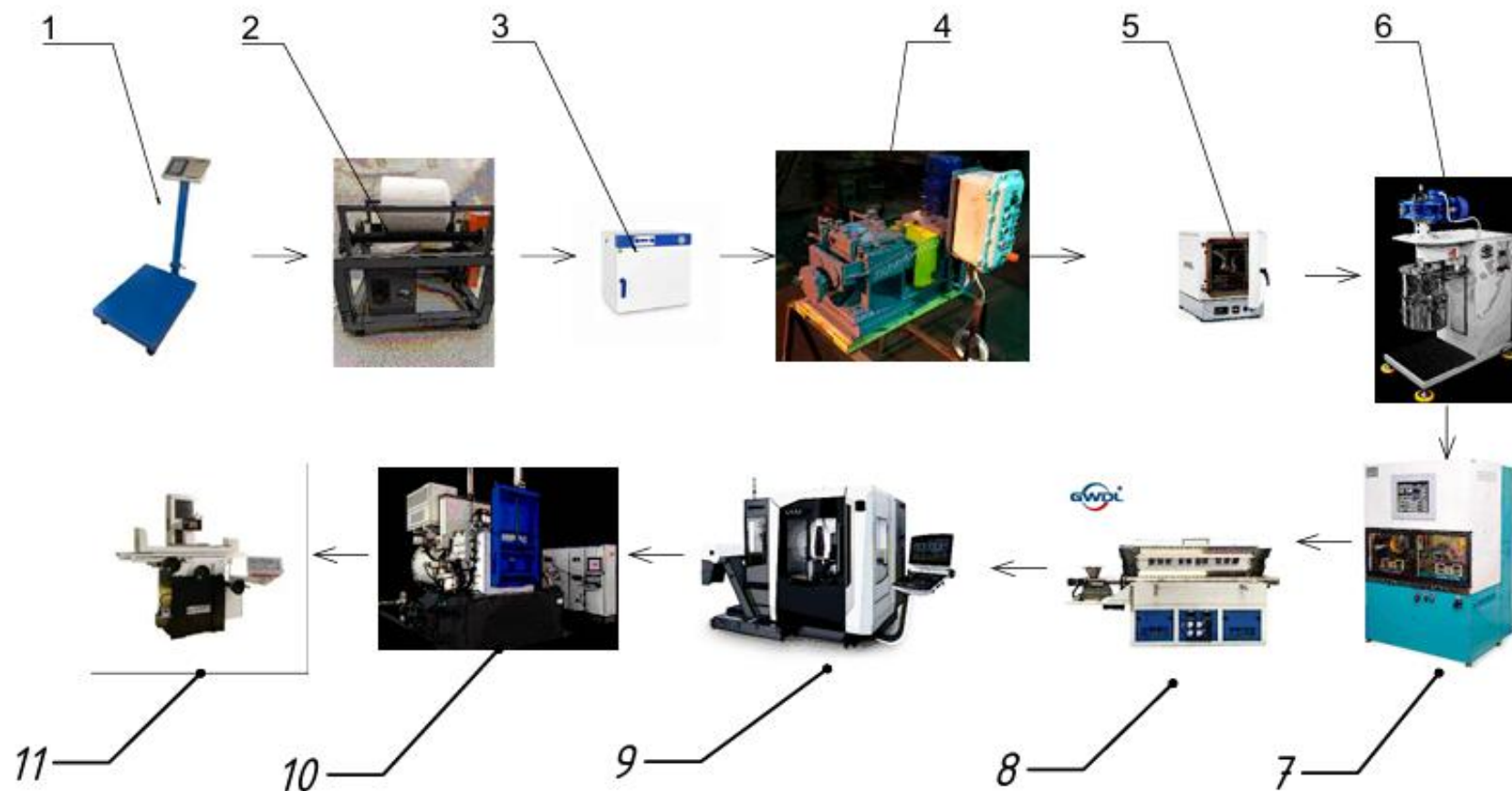
10 найдовших фраз

Колір тексту

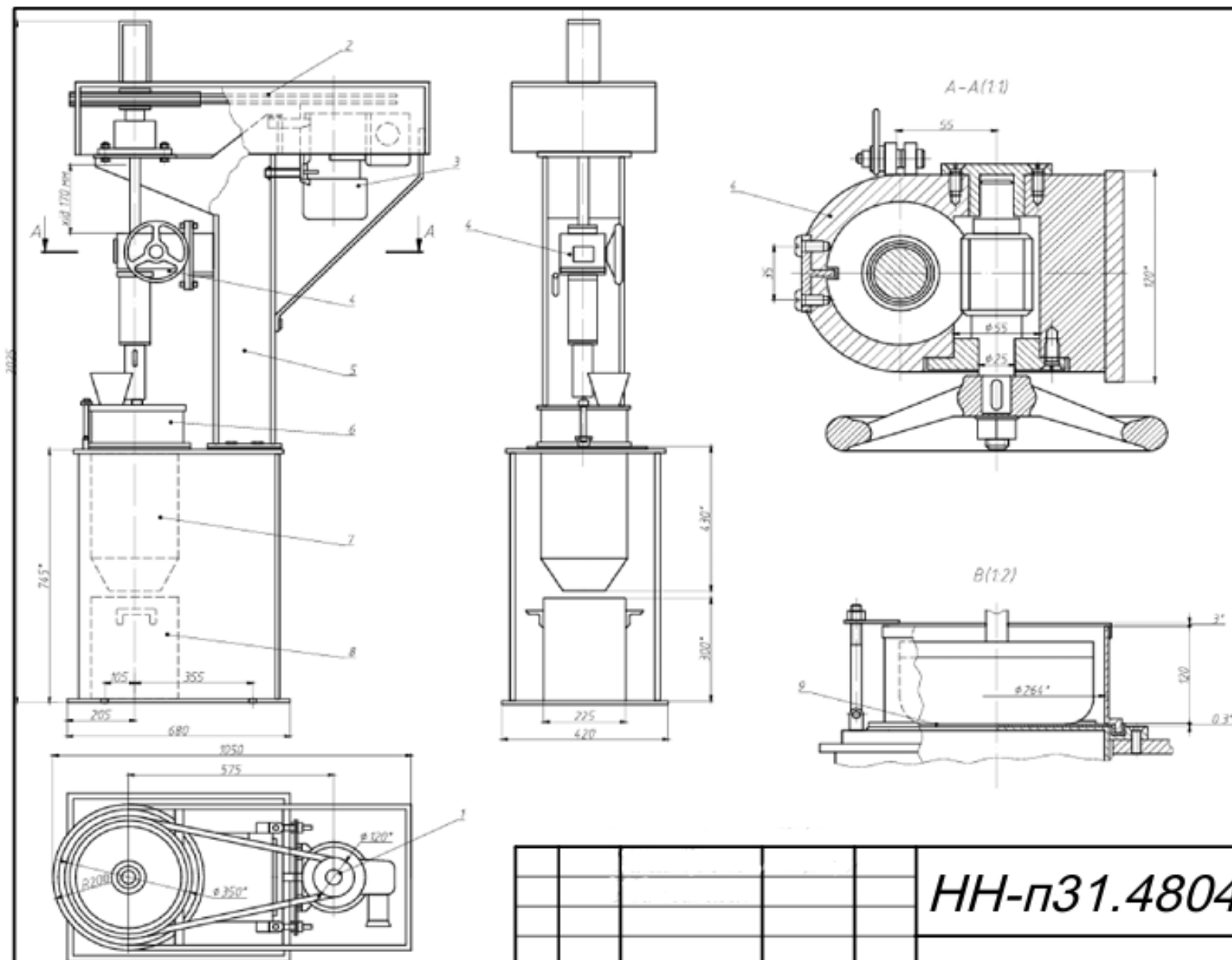
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	--	--

Техніко-економічні показники

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення
Річний обсяг виробництва	тис. шт.	600
Загальна площа ділянки	м²	540
Загальна чисельність персоналу	осіб	38
у т.ч. основні робітники	осіб	24
допоміжні робітники	осіб	9
управлінський та обслуг. персонал	осіб	5
Загальний річний ФЗП	тис. грн	5173
Середньомісячна ЗП одного працівника	грн	11345
Річний виробіток на одного працівника	шт./особу	15789
Технологічна трудомісткість	нормо-год/шт.	0.1059
Повна собівартість одиниці продукції	грн/шт.	47.04
Ринкова ціна одиниці продукції	грн/шт.	130
Загальні капітальні вкладення	тис. грн	52669
Капіталомісткість продукції	грн/шт.	87.78
Річний грошовий потік	тис. грн	49726
Період окупності	років	1.1 (норм. 5–7)



					НН-п31.4804.4203.002.02АС			
					АПАРАТУРНО - ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	Літ.	Арк.	Аркушів
							114	1
						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31		
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кравченко О.О.						
Перев.		Бірюкович Л.О.						
Т.контр.								
Н.контр.		Троснікова І.Ю.						
Затв.		Богомол Ю. І.						



					НН-п31.4804.4203.003.03СА				
					ПРОТИРАЛЬНЕ СИТО		Літ.	Арк.	Аркушів
								115	
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Кравченко О.О.								
Перев.	Бірюкович Л.О.								
Т.контр.									
Н.контр.	Троснікова І.Ю.				КПІ ім . Ізгоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. НН-п31				
Затв.	Богомол Ю. І.								