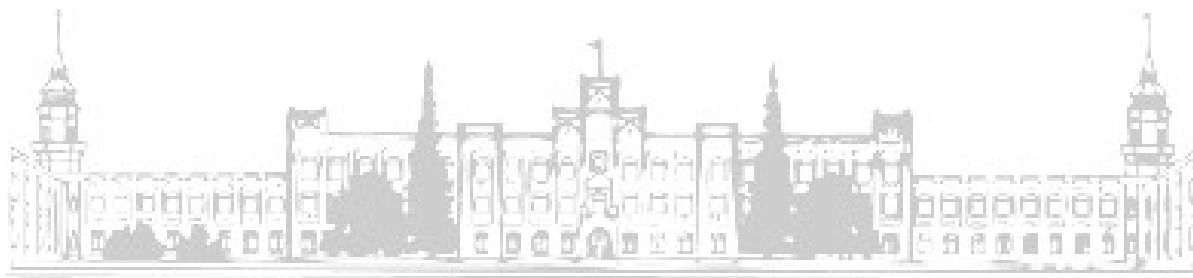


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”



Проектування виробництв порошкових, композиційних та наноструктурованих матеріалів та виробів

Курсовий проєкт (міждисциплінарний)

Навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавр,
за освітньою програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»*

Укладачі: А. М. Степанчук, А. В. Мініцький, І. І. Білик

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент Маслюк В. А., д.т.н., проф., Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Відповідальний
редактор: Троснікова І. Ю., к. т. н., доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 6 від 24 червня 2022 р.)
за поданням Вченої ради НН Інституту матеріалознавства та
зварювання імені Є. О. Патона (Протокол № 4/22 від 20 червня 2022 р.)*

У навчальному посібнику викладено основні вимоги до структури та об'єму курсового проєкту та відображено характеристики питань, які повинні бути розроблені в курсовому проєкті при виробництві порошкових, композиційних та наноструктурних виробів; наводяться приклади розрахунку окремих задач. Надано рекомендації щодо опису та вибору технологічних схем виготовлення порошкових композиційних та наноструктурних матеріалів різного функціонального призначення. Зазначено основні критерії вибору обладнання для кожної технологічної операції. Наведено приклади розрахунків матеріального балансу, залежно від заданої продуктивності дільниці, а також кількості одиниць обладнання для основних технологічних операцій. Призначено для здобувачів ступеня бакалавр, що навчаються за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Реєстр. № НП _____. Обсяг _____ авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
ВСТУП.....	7
1 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	8
1.1 Вибір матеріалу.....	8
1.2 Вибір і обґрунтування технологічного процесу.....	8
1.3 Висновки та поставка задачі проектування	9
2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	10
2.1 Обґрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї	10
2.2 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї	10
2.3 Опис технологічних операцій	11
3 РОЗРАХУНОК І СКЛАДАННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ	14
4 ВИБІР І РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ОБЛАДНАННЯ.....	32
4.1 Обладнання для змішування та розмелювання	35
4.2 Обладнання для просіву.....	38
4.3 Обладнання для пресування	38
4.4 Обладнання для спікання.....	41
4.5 Обладнання для напилювання	47
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	56
ДОДАТОК А ТИТУЛЬНА СТОРІНКА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ.....	57
ДОДАТОК Б ЗРАЗОК ВІДОМОСТІ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ.....	58
ДОДАТОК В ТИТУЛЬНА СТОРІНКА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	59
ДОДАТОК Г ПРИКЛАД ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ.....	60
ДОДАТОК Д ПРИКЛАД КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ.....	61
ДОДАТОК Е ПРИКЛАД СПЕЦИФІКАЦІЇ ДО КРЕСЛЕННЯ.....	62

ПЕРЕДМОВА

Робота над курсовим проєктом, полягає у вивченні технологічних процесів виготовлення порошкових та композиційних матеріалів різного функціонального призначення з визначенням необхідної рецептури та технологічного обладнання для виготовлення порошкових і наноструктурних виробів.

Курсовий проєкт представляє собою розробку дільниці з виробництва порошкових, композиційних та наноструктурних виробів і покриттів багатофункціонального призначення, з урахуванням впливу основних технологічних параметрів (тиску пресування, температури спікання, часу ізотермічної витримки під час спікання, часу напилювання тощо) на експлуатаційні властивості виробів та покриттів.

Метою виконання курсового проєкту є формування у студентів здатностей організовувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці; обирати технологічний процес та його оптимальні умови для отримання виробів з композиційних, наноструктурованих та порошкових матеріалів; визначати вид та необхідну кількість технологічного обладнання та його конструктивних елементів для одержання порошків та виробів з них.

Предметом курсового проєкту є проєктування дільниці, що пов'язано із аналізом порошкових та композиційних матеріалів і номенклатури виробів та вибором технологій їх виробництва на підставі розрахунку матеріального балансу та необхідного обладнання згідно продуктивності виробництва.

Після розробки курсового проєкту студент повинен знати:

- знати і використовувати методи фізичного і математичного моделювання при створенні нових та удосконаленні існуючих матеріалів, технологій їх виготовлення;
- фізико-хімічні основи формування заданої структури консолідованих матеріалів;

– основні технології виготовлення, оброблення, випробування матеріалів та умов їх застосування.

Після розробки курсового проєкту студент повинен уміти:

- здійснювати технологічне забезпечення виготовлення матеріалів та виробів з них;
- передавати свої знання, рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і неспеціалістам в ясній і однозначній формі;
- описувати послідовність підготовки виробів та обчислювати економічну ефективність виробництва матеріалів та виробів з них.

Курсовий проєкт виконується у відповідності до завдання, запропонованого керівником з урахуванням продуктивності виробництва.

Завдання на курсовий проєкт включає такі пункти:

1. П. І. Б. студента, тема проєкту; посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали наукового керівника проєкту.
2. Строк подання проєкту до захисту.
3. Вихідні дані до виконання проєкту.
4. Зміст пояснювальної записки: перелік питань, що їх належить розробити.
5. Перелік графічного матеріалу: апаратурно-технологічна схема.

Графік виконання курсового проєкту здійснюється згідно календарного плану.

Завдання і календарний план підписують студент та керівник курсового проєкту.

Курсовий проєкт виконується за вимогами до конструкторської документації і включає пояснювальну записку, загальні вимоги до оформлення якої наведено у [1], та графічні матеріали (креслення) [2].

Пояснювальна записка складається з таких структурних елементів і розділів:

- титульні сторінки теки, відомості курсового проєкту та пояснювальної записки (додатки А, Б, В);
- завдання курсового проєкту (додаток Г);
- календарний план (додаток Д);
- ЗМІСТ;
- ВСТУП;
- 1 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ;
- 2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ;
- 3 РОЗРАХУНОК І СКЛАДАННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ;
- 4 ВИБІР І РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ОБЛАДНАННЯ;
- ВИСНОВКИ;
- ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ;
- ДОДАТКИ (специфікація – додаток Е).

Детальна характеристика розділів і рекомендації до проєктування виробництва буде надана у подальших розділах посібника, включаючи список рекомендованої літератури. Специфікації, як і креслення, є конструкторськими документами і виконуються відповідно до вимог стандартів Єдиної системи конструкторської документації [2].

Графічні матеріали проєкту включають креслення апаратурно-технологічної схеми виробництва.

ВСТУП

У структурному елементі пояснювальної записки курсового проєкту “ВСТУП” необхідно висвітлити сучасний стан технічного рівня розвитку промисловості в світі за обраним напрямом проєктування. Дати коротку історичну довідку про розвиток галузі промисловості по виробництву виробів з матеріалів з використанням технології порошкової металургії та нанотехнологій і показати досягнення сучасної науки і техніки у цьому напрямі.

Необхідно розглянути технічні особливості проєкту та його масштаби залежно від продуктивності, що визначається об’ємом готової продукції за одиницю часу.

Вибір масштабів виробництва, тобто річної продуктивності, повинно бути обґрунтовано, у першу чергу, попитом даної продукції та економічною доцільністю.

1 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Для обґрунтування вибору технологічного процесу відповідно до завдання на курсовий проєкт необхідно:

- вибрати матеріал для виготовлення виробу;
- вибрати технологічну схему виробництва виробів;
- розробити і описати технологічний процес для отримання матеріалів або виробів;
- провести розрахунок матеріального балансу та балансу матеріалів;
- вибрати технологічне обладнання і розрахувати його необхідну кількість.

1.1 Вибір матеріалу

Виходячи із призначення та умов роботи виробу, які зазначаються у завданні на курсовий проєкт необхідно провести аналіз літературних джерел і довідкових даних щодо властивостей існуючих матеріалів, що використовуються для виготовлення виробів у зазначеній у завданні області застосування, методів їх отримання, економічної доцільності їх використання. На підставі порівняльного аналізу характеристик матеріалів, роблять вибір найбільш прийняттого матеріалу, який у повній мірі забезпечить задані властивості виробу, виробництво якого проєктується у курсовому проєкті.

1.2 Вибір і обґрунтування технологічного процесу

Вибір технологічного процесу полягає у проведенні порівняльного аналізу декількох апробованих і впроваджених у виробництво сучасних технологій, які забезпечують найкращі якісні виробничі показники продукції і відповідають поставленим у завданні на курсовий проєкт технічним умовам.

Для кожної технології необхідно навести технологічну схему, охарактеризувати вихідну сировину, коротко описати основні технологічні операції, зазначаючи режими їх проведення та переваги і недоліки. Наприкінці навести особливості, переваги та недоліки технології в цілому.

Характеристика переваг та недоліків наведених варіантів технологій визначається, перш за все, якістю продукції, що передбачається виробляти на виробництві, що проектується. А також техніко-економічними показниками. Якщо у практиці виробництва тих чи інших виробів відсутні різні технологічні варіанти їх виготовлення, то для вибору оптимального технологічного процесу порівнюють різні варіанти окремих технологічних операцій (одержання вихідних порошків, операцій підготовки вихідної шихти, пресування, спікання тощо). При цьому використовують ті ж підходи, що і у порівнянні окремих технологічних процесів, враховуючи якість продукції, техніко-економічні показники, екологію тощо. А також необхідно розглядати порівняльні характеристики технологічних процесів з точки зору охорони праці та впливу на навколишнє середовище. Варіанти, що не забезпечують необхідні умови охорони праці та техніки безпеки, не можуть бути прийняті до застосування, або у випадку їх вибору потребують удосконалення у відповідності до норм техніки безпеки і охорони навколишнього середовища. Для остаточного висновку про придатність тієї чи іншої технологічної схеми необхідно також враховувати ступінь завантаження обладнання по потужності і продуктивності.

1.3 Висновки та поставка задачі проектування

У цьому пункті підводиться підсумок порівняльного аналізу технологій, які відповідають поставленим у завданні на курсовий проєкт технічним умовам, робляться висновки щодо переваг обраної технології і на рисунку наводиться її технологічна схема. Формулюються задачі на проектування виробництва за обраною технологією.

2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Перед описом технологічного процесу необхідно обґрунтувати асортимент продукції та технічні умови на неї, а, також, вибір основних видів сировини і технічні умови на неї. За необхідності можна навести ескізи виробів, які планується виготовляти на виробництві, що проєктується.

2.1 Обґрунтування асортименту продукції і технічних умов на неї

Номенклатура, асортимент, склад і технічні умови на продукцію, яку передбачається випускати на підприємстві, що проєктується, повинні бути обґрунтовані попитом споживачів і відповідати стандартам або технічним умовам. Номенклатуру та асортимент продукції вибирають на підставі реальних даних по відповідній галузі промисловості. Технічні умови на продукцію наводять у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні умови на готову продукцію

Найменування	Характеристика	Державний стандарт або технічні умови

Окрім того, саме у даному пункті наводять ескізи виробів, які передбачається виготовляти на виробництві, що проєктується, із зазначенням їх основних розмірів.

2.2 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї

Вибір вихідної сировини повинен бути обґрунтований такими умовами:

- вартістю сировини та вартістю її перевезень;
- ступенем дефіцитності сировини;

- технологічною придатністю.

Для основних видів сировини варто коротко викласти технологію їх виробництва, її особливості, які основні характеристики сировини вона забезпечує. До основних характеристик сировини відносяться хімічний і гранулометричний склад (приводяться у формі кінцевих границь, наприклад, вміст кисню в залізі складає не більше 0,2 %), в окремих випадках – механічні властивості і структура.

Характеристики вихідної сировини та технічні умови на неї наводять у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні умови на сировину та напівфабрикати

Найменування	Характеристика	Державний стандарт або технічні умови

2.3 Опис технологічних операцій

Опис технологічних операцій слід починати із чіткого заголовка з номером та найменуванням. В описі кожної технологічної операцій зазначається:

- мета операції;
- фізико-хімічні основи процесу, який лежить в її основі та механізм формування заданих властивостей напівфабрикату чи готового виробу;
- характеристика обладнання, яке може використовуватись на даній операції, з обґрунтуванням доцільності його використання (при цьому особливу увагу варто приділити питанням механізації та автоматизації процесів), технологічні прийоми роботи на обладнанні – особливості пресування, спікання тощо;
- технологічні режими з їх обґрунтуванням (температура, тиск,

тривалість, швидкість подачі і види газів, концентрації розчинів тощо);

- опис робочих прийомів, з яких складається операція;
- відомості по технічному контролю режимів та якості одержаних напівфабрикатів чи готових виробів на операції.

2.4 Технологічний контроль і контроль якості продукції

Технологічний контроль і контроль якості продукції – одна із важливих задач сучасного виробництва. Метою задач контролю є:

- запобігання випуску браку, своєчасне встановлення його причин з метою його ліквідації, боротьба за високу якість продукції і напівфабрикатів;
- підвищення вилучення металів у готову продукцію;
- скорочення енергетичних витрат.

У відповідності з цими задачами об'єктами технічного контролю являються:

- сировина, напівфабрикати, допоміжні матеріали та готова продукція;
- технологічні режими – температура, тиск, тривалість виробничих операцій.

Контроль сировини, напівфабрикатів, готової продукції – фізичний, хімічний, технологічний – служить для визначення складів відповідних матеріалів, їх основних фізичних характеристик і технологічних властивостей.

Технологічний контроль забезпечує дотримання цих режимів, оптимальних для отримання матеріалів потрібного складу і характеристик.

В курсовому проєкті варто описати організацію технічного контролю – цеховий відділ технічного контролю, систему паспортизації готової продукції і напівфабрикатів, об'єкти контролю, відбір проб (системи відбору проби, маса проби і розмір партії матеріалу, що контролюється), методи і прилади контролю, технічні умови.

Якщо прилади і методи контролю стандартні, широко розповсюджені, то

достатньо лише коротко відмітити їх призначення і прийоми контролю. Тоді як для нових приладів і методів рекомендується дати докладний опис.

Розробляючи контроль матеріалів, варто орієнтуватися на експрес-методи хімічних аналізів, коротко описати їх сутність і переваги, а також на сучасні методи технічного аналізу – полярографічний, потенціометричний, в окремих випадках – рентгенівський, спектральний, визначення крупності порошків методами адсорбції, лазерної дифракції та електронної мікроскопії.

По кожному процесу варто точно встановити параметри, які контролюються, а також дати вказівки з організації контролю під час проведення даної операції.

3 РОЗРАХУНОК І СКЛАДАННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ

Матеріальний баланс є основним вихідним параметром для розрахунку необхідної кількості вихідних матеріалів, кількості технологічного обладнання та визначення техніко-економічних показників виробництва, що проєктується.

Для складання матеріального балансу технологічного процесу визначальним є продуктивність ділянки, яка вказується у завданні на курсовий проєкт.

Розрахунки треба проводити відносно добової продуктивності, для визначення якої необхідно розрахувати фонд часу роботи обладнання на рік.

Для цього вираховують число календарних днів року для проведення планово-попереджувального ремонту, під час яких обладнання не приймає участі у технологічному процесі.

Кількість таких днів на поточних лініях, на яких, звичай, ремонт всього обладнання проводиться одночасно, час простоїв визначається за тривалістю ремонту обладнання із найвищою категорією складності, а під час послідовного ремонту – за сумою їх простоїв на ремонт.

Поточні ремонти та огляд обладнання виконують, як правило, у неробочий час лінії. Кількість днів, необхідних для ремонту обладнання неавтоматизованого виробництва, визначають на підставі графіку планово-попереджувального ремонту (табл. 3.1), який складають за нормативними заводськими даними та досвідом роботи. Під час його складання необхідно врахувати можливість організації та проведення ремонту у вихідні та святкові дні.

За даними таблиці 3.1 (чисельник – день місяця; знаменник – кількість годин на проведення ремонту) визначають середній час простою обладнання, який не повинен перевищувати 4–6 % за двозмінної та 10 % за трьохзмінної роботи. Час на зміну технологічного режиму складає 1,6 % загального часу роботи обладнання.

Таблиця 3.1 – Графік планово-попереджувального ремонту обладнання

Обладнання	1 квартал			2 квартал			3 квартал			4 квартал			Всього
	Місяці												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Змішувач								$\frac{20}{8}C$					8
Гранулятор								$\frac{20}{8}C$					8
Екструдер		$\frac{20}{4}O$								$\frac{1-5}{36}K$			40
Піч спікання										$\frac{1-5}{40}K$			40
Усього													96

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

За однозмінної роботи ремонтників кількість днів на планово-попереджувальний ремонт визначається як

$$96:8 = 12 \text{ днів.}$$

Для визначення дійсного фонду часу роботи обладнання необхідно від календарного числа днів року (365 днів) відняти число днів, необхідних на планово-попереджувальний ремонт і неробочі дні цеху.

У масовому виробництві, особливо для відділення отримання порошків і спікання, економічно вигідною є робота без вихідних днів та зупинок на загальнонаціональні свята. Тому для таких відділень кількість робочих днів на рік визначається як різниця між календарним числом днів на рік та кількістю днів, необхідних для планово-попереджувального ремонту.

Баланс часу роботи цеху записують в формі таблиці 3.2.

Визначивши кількості робочих днів (n), розраховують *добову продуктивність цеху* за сировиною або за готовою продукцією за формулою:

$$A = \frac{G}{n}, \quad (3.1)$$

де G – річний випуск продукції;

n – кількість робочих днів на рік.

Таблиця 3.2 – Баланс часу роботи цеху (цифри умовні)

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

Під час отримання кінцевої продукції у процесі переробки вихідної сировини можуть мати місце втрати, тому для забезпечення добової продуктивності в процес повинні бути введені матеріали з деяким надлишком для компенсації цих втрат.

Кількість матеріалу, що направляється на початок процесу в перший день (A_0) із врахуванням втрат визначають за формулою:

$$A_0 = \frac{A}{\varphi} 100, \quad (3.2)$$

де A_0 – кількість матеріалу, що направляється на початок процесу, %;

φ – вилучення (вихід придатного по всьому технологічному процесу).

Щоб обчислити вилучення необхідно врахувати втрати по всіх операціях.

Втрати можуть бути зумовлені різними причинами.

Це можуть бути *технологічні втрати*:

- вигорання (випаровування) зв'язки;
- випаровування розчинника;
- відновлення оксидів тощо.

Ці втрати розраховуються і відносяться до *незворотних*.

Коли в технологічному процесі для виготовлення заготівок виробів використовують пластифікатори, мастила, зв'язки, які вводяться до шихти на початкових операціях технологічного процесу (змішування, замішування), то їх видалення на наступних операціях (сушіння, спікання) призводить до зменшення ваги заготівок.

Так під час виготовлення захисних чохлів термопар із карбіду кремнію або нагрівачів із тугоплавких сполук, як пластифікатор застосовують 20-ти % розчин крохмалю у воді. Після пресування заготівок їх сушать. При цьому відбувається втрата ваги виробів за рахунок випаровування розчинника пластифікатору (води). Втрата ваги складає біля 80 % маси пластифікатору, який знаходився у виробі. У подальшому під час спікання практично повністю вигорає інша складова пластифікатору – крохмаль (20 % від кількості пластифікатору), що також призводить до незворотних втрат ваги виробу.

Для виготовлення нагрівачів з карбіду ніобію на операцію замішування надходить 60 кг карбіду ніобію і пластифікатор – 20-ти % розчин крохмалю у воді – у кількості 15 % від маси карбіду ніобію (тобто 9 кг, з яких 1,8 кг крохмалю і 7,2 кг води). Отже, усього маса шихти складає 69 кг.

Після того, як шихта проходить операції замішування, протирки, грануляції та пресування заготівок, де є відповідні механічних втрати, на операцію сушіння надходять заготівки масою вже 57,6 кг. Пластифікатор складає 15 % цієї маси, тобто 8,64 кг, з яких 6,912 кг води (80 %) і 1,728 кг крохмалю (20 %). Під час сушіння вода випаровується. За рахунок цього процесу незворотні втрати на операції будуть складати 12 %. З урахуванням інших втрат, втрати на цій операції можуть бути і більшими.

На наступну операцію спікання вже надходять заготівки масою

$57,6 - 6,912 = 50,688$ кг, з якої маса крохмалю, що вигорає, складає 1,728 кг, (залишком попелу та коксу від вигорання крохмалю у розрахунках можна знехтувати). За рахунок цього процесу незворотні втрати на операції спікання будуть складати

$$\frac{1,728}{50,688} \cdot 100 \% = 3,4 \%$$

Втрати також можуть бути *механічними*:

- втрати за рахунок виділення пилу та висипання шихти (0,01–0,05 %);
- виникнення браку (зазвичай 0,5–1,5 %, 5–6 % – під час екструзії, шлікерному литві).

Механічні втрати можуть бути як незворотними, так і зворотними. Якщо втрати можна повернути у технологічний процес безпосередньо або після відповідної переробки запланованої на підприємстві, що проєктується, то такі втрати відносяться до *зворотних*. У описі технологічного процесу та в технологічній схемі під час розрахунку матеріального балансу необхідно вказувати, на яку операцію повертаються ці втрати. Як правило, такі втрати повертаються на попередні операції.

Під час розробки технологічного процесу величину втрат на операціях у відсотках (як зворотні (*a*), так і незворотні (*b*)) приймають на основі даних матеріального балансу діючого виробництва і корегують із врахуванням удосконалення технології та модернізації обладнання.

Загальні втрати на операції розраховують, як суму зворотних і незворотних втрати на усіх операціях $\sum(a + b)$.

Загальні втрати на даній операції η (%) розраховують за формулою:

$$\eta = 100 - (a + b). \quad (3.3)$$

Визначивши загальний витяг на операції, необхідно розрахувати загальний витяг на кожній операції по відношенню до вихідного матеріалу φ_n за формулою:

$$\varphi_n = \left(\frac{\eta_1}{100} \times \frac{\eta_2}{100} \times \dots \times \frac{\eta_n}{100} \right) \cdot 100 = \frac{\eta_1 \times \eta_2 \times \dots \times \eta_n}{100^{n-1}}. \quad (3.4)$$

Загальний витяг по відношенню до вихідного матеріалу буде дорівнювати загальному вилученню.

Втрати по відношенню до вихідної сировини на даній операції визначають із післяопераційних втрат і повного витягу по відношенню до вихідної сировини

$$\alpha_n(\beta_n) = \frac{a_n(b_n) \times \varphi_{n-1}}{100}, \quad (3.5)$$

де $a_n(b_n)$ – зворотні (незворотні) втрати по відношенню до вихідної сировини;

φ_{n-1} – повний витяг по відношенню до вихідної сировини на попередній операції.

Потім розраховують добову продуктивність і кількість матеріалу, що направляється до процесу у день пуску виробництва. Кількість матеріалу, що переробляється на окремих операціях технологічного процесу розраховують у прямій послідовності технологічної схеми. Вихідною цифрою для розрахунку є кількість матеріалу A_0 , що надходить до технологічного процесу у перший день. Виходячи із значення A_0 можна розрахувати абсолютні значення зворотних та незворотних втрат за формулою:

$$q_n^a(q_n^b) = \frac{A_0 \times \alpha_n \times (\beta_n)}{100}. \quad (3.6)$$

Обчисливши суму зворотних втрат, визначають *кількість матеріалів*, необхідних для введення у голову процесу *кожний день* B . Для цього від A_0 необхідно відняти суму зворотних втрат:

$$B = A_0 - \sum a . \quad (3.7)$$

Ця кількість матеріалів надходить на першу операцію. Крім того, на цю операцію поступають зворотні втрати, якщо такі передбачені технологічним процесом. Для розрахунку кількості матеріалу, яка виходить з операції, необхідно від отриманого числа відняти зворотні і незворотні втрати на першій операції. Те ж саме виконують і на решті операцій. Кількість матеріалу, яка виходить з останньої операції повинна відповідати добовій продуктивності A виробництва, що проєктується.

По кожній операції складають загальний і поопераційний баланси основних матеріалів. Допоміжні матеріали розраховують по кожній операції на основі стехіометричного підрахунку за операціями і практичних даних, необхідних надлишків, а також із урахуванням втрат основних матеріалів на даній операції. Одержані результати розрахунків заносяться до таблиці 3.6.

**Розрахунок матеріального балансу розглянемо на прикладі виробництва пластин із твердого сплаву продуктивністю 15 тонн на рік згідно технологічного процесу, схему якого наведено на рисунку 3.1.*

Для визначення добової потужності дільниці розраховуємо фонд часу роботи обладнання. Для цього визначаємо календарне число днів на рік, необхідних для планово-попереджувального ремонту обладнання (табл. 3.1).



Рисунок 3.1 – Поопераційні втрати виробництва пластин із твердого сплаву

Складаємо баланс часу роботи дільниці у вигляді таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Баланс часу роботи дільниці

Елементи балансу часу	Прихід днів	Витрати часу
Кількість календарних днів в році	365	—
Час на планово-попереджувальний ремонт	—	8
Святкові дні	—	9
Вихідні дні (суботи, неділі)	—	98
Всього:		115

Згідно цієї таблиці кількість робочих днів цеху на рік визначається як:

$$n = 365 - 115 = 250 \text{ днів.}$$

Далі за формулою (1.1) розраховуємо добову потужність цеху по готовій продукції (A):

$$A = 15000/250 = 60,0 \text{ кг.}$$

У зв'язку з тим, що під час переробки вихідної сировини мають місце втрати (рис. 3.1), їх враховуємо шляхом визначення виходу придатного φ_n . Знаючи вихід придатного, визначаємо кількість матеріалу, яку необхідно направляти в голову процесу із урахуванням втрат (A_0).

Для визначення виходу придатного необхідно виконати низку розрахунків.

1. Визначаємо прямий поопераційний витяг на кожній операції за формулою (3.3):

<i>На першій операції</i>	$\eta_1 = 100 - (a + b) = 100 - (0 + 0) = 100 \text{ \%};$
<i>На другій операції</i>	$\eta_2 = 100 - (0.1 + 0) = 99,9 \text{ \%};$
<i>На третій операції</i>	$\eta_3 = 100 - (0.05 + 0) = 99,95 \text{ \%};$
<i>На четвертій операції</i>	$\eta_4 = 100 - (0.5 + 0) = 99,5 \text{ \%};$
<i>На п'ятій операції</i>	$\eta_5 = 100 - (1 - 0) = 99 \text{ \%};$
<i>На шостій операції</i>	$\eta_6 = 100 - (0,8 + 1.5) = 97,7 \text{ \%};$
<i>На сьомій операції</i>	$\eta_7 = 100 - (4 + 0) = 96 \text{ \%};$
<i>На восьмій операції</i>	$\eta_8 = 100 - (0.5 + 0) = 99,5 \text{ \%}.$

2. Визначаємо загальний витяг по відношенню до вихідного матеріалу на кожній операції φ_n визначаємо за формулою (3.4):

$$\varphi_1 = \eta_1 = 100;$$

$$\varphi_2 = \frac{100 \cdot 99,9}{100} = 99,9;$$

$$\varphi_3 = \frac{99,9 \cdot 99,95}{100} = 99,85;$$

$$\varphi_4 = \frac{99,85 \cdot 99,5}{100} = 99,351;$$

$$\varphi_5 = \frac{99 \cdot 99,351}{100} = 98,357;$$

$$\varphi_6 = \frac{97,7 \cdot 98,357}{100} = 96,095;$$

$$\varphi_7 = \frac{96 \cdot 96,095}{100} = 92,251;$$

$$\varphi_8 = \frac{99,5 \cdot 92,251}{100} = 91,79.$$

3. За формулою (3.2) визначаємо кількість сировини, яку необхідно направляти у голову процесу в перший день:

$$A_0 = \frac{A}{\varphi} = \frac{60 \cdot 100}{91,79} = 65,366 \text{ кг.}$$

4. Визначаємо зворотні α_n і незворотні β_n втрати по відношенню до вихідного матеріалу на кожній операції за формулою (3.5):

Зворотні	Незворотні
$\alpha_1 = a_1 = 0;$	$\beta_1 = b_1 = 0;$
$\alpha_2 = 0;$	$\beta_2 = \frac{0,3 \cdot 100}{100} = 0,1;$
$\alpha_3 = 0;$	$\beta_3 = \frac{0 \cdot 99,9}{100} = 0,05;$
$\alpha_4 = 0;$	$\beta_4 = \frac{6 \cdot 99,95}{100} = 0,499;$
$\alpha_5 = 0;$	$\beta_5 = \frac{0,5 \cdot 99,5}{100} = 0,995;$
$\alpha_6 = \frac{1,5 \cdot 99}{100} = 1,4753;$	$\beta_6 = \frac{0,5 \cdot 99}{100} = 0,786;$
$\alpha_7 = 0;$	$\beta_7 = \frac{0,5 \cdot 97,7}{100} = 3,8438;$
$\alpha_8 = 0.$	

$$\beta_8 = \frac{0,5*96}{100} = 0,4613.$$

5. Визначаємо абсолютні зворотні q_n^a і незворотні q_n^b втрати (кг) за формулою (3.6):

$q_1^a = a_1 = 0;$	$q_1^b = a_1 = 0;$
$q_2^a = 0;$	$q_2^b = \frac{65,366*0,1}{100} = 0,065;$
$q_3^a = 0;$	$q_3^b = \frac{65,366*0,05}{100} = 0,032;$
$q_4^a = 0;$	$q_4^b = \frac{65,366*0,499}{100} = 0,326;$
$q_5^a = 0;$	$q_5^b = \frac{65,366 * 0,995}{100} = 0,649;$
$q_6^a = \frac{65,366 * 1,4753}{100} = 0,964;$	$q_6^b = \frac{65,366*0,792}{100} = 0,514;$
$q_7^a = 0;$	$q_7^b = \frac{65,366 * 3,908}{100} = 2,512;$
$q_8^a = 0.$	$q_8^b = \frac{65,366*0,48}{100} = 0,301.$

6. Визначаємо кількість матеріалу, яку необхідно подавати кожен день у голову процесу B за формулою (3.7):

$$B = 65,366 - 0,964 = 64,402 \text{ кг.}$$

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

На першу операцію:

– надходить: 64,402 кг;

– виходить: $64,4022 - 0 = 64,402$ кг;

На другу операцію:

– надходить: 64,402 кг;

– виходить: $64,402 - 0,0653 = 64,336$ кг;

На третю операцію:

– надходить: 64,336 кг;

– виходить: $64,336 - 0,032 = 64,304$ кг;

На четверту операцію:

– надходить: 64,304 кг;

– виходить: $64,304 - 0,326 = 63,977$ кг;

На п'яту операцію:

– надходить: 63,977 кг;

– виходить: $63,977 - 0,649 = 63,328$ кг;

На шосту операцію:

– надходить: 63,328 кг;

– виходить: $63,328 - 0,514 + 0,96 = 62,814$ кг;

На сьому операцію:

– надходить: 62,814 кг;

– виходить: $62,814 - 2,512 = 60,301$ кг;

На восьму операцію:

– надходить: 60,301 кг;

– виходить: $60,301 - 0,301 = 60,000$ кг.

Одержані результати розрахунків матеріального балансу використовуємо для розрахунку балансу матеріалів і представляємо у виді таблиці 3.4.

Розраховуючи баланс матеріалів, необхідно врахувати, що остаточна вага виробів формується на операції спікання.

На операції замішування для формування пластин у шихту додають пластифікатор – розчин синтетичного каучуку у бензині у кількості 8–10 % від кількості шихти, що надходить на операцію (тобто, для прикладу 6,530 кг).

На операції сушки за рахунок випаровування вологи маса заготівок зменшується на 2–3 %. Практично повністю пластифікатор вигорає під час спікання.

Таблиця 3.4 – Поопераційний матеріальний баланс

Назва операції	Поопераційні втрати, %			Пряме поопераційне вилучення, %	Загальне вилучення, %	Втрати відносно введеного матеріалу, %		Абсолютні втрати, кг		Маса матеріалу, що надходить на операцію, кг			Маса матеріалу, що виходить з операції, кг
	Зворотні	Незворотні	Загальні			Зворотні	Незворотні	Зворотні	Незворотні	З попередньої операції	Зворотні втрати	Всього	
Просів	0	0	0	100	100	0	0	0	0,00000	64,40220	0	64,402	64,402
Сушка	0	0,1	0,1	99,9	99,9	0	0,1	0	0,06537	64,40220	0	64,402	64,336
Змішування	0	0,05	0,05	99,95	99,850	0	0,049	0	0,03265	64,33683	0	64,336	64,304
Сушка	0	0,5	0,5	99,5	99,350	0	0,499	0	0,32634	64,30418	0	64,304	63,977
Протирка	0	1	1	99	98,357	0	0,993	0	0,64942	63,97784	0	63,977	63,328
Пресування	1,5	0,8	2,3	97,7	96,095	1,475	0,786	0,964	0,51434	63,32841	0,96439	64,292	62,814
Спікання попереднє	0	4	4	96	92,251	0	3,8438	0	2,51256	62,814	0	62,814	60,301
Спікання основне	0	0,5	0,5	99,5	91,790	0	0,4612	0	0,30151	60,301	0	60,301	60,00

Результати цих розрахунків, які у подальшому використовуються для розрахунку необхідної кількості обладнання, зводимо у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Баланс матеріалів

Назва операції	ВК-6	Розчин СК	Усього, кг
Просів	-	-	65,366
Сушка	-	-	65,366
Змішування	58,770	6,530	65,301
Сушка	-	-	65,268
Протирка	-	-	64,941
Пресування	-	-	64,291
Спікання попереднє	-	-	64,744
Спікання основне	-	-	62,189

4 ВИБІР І РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ОБЛАДНАННЯ

Обладнання, яке необхідне для здійснення технологічного процесу вибирають виходячи з низки вимог.

1. Обладнання повинно бути стандартним і відрізнятись простотою конструктивних рішень вузлів, деталей та їх монтажу. Це знижує його вартість та полегшує ремонт за рахунок використання стандартних запасних частин.

2. Воно повинно відповідати сучасному рівню розвитку науки і техніки, тобто забезпечувати максимальну продуктивність за мінімальної чисельності обслуговуючого персоналу, сприяти зниженню втрат матеріалів та енерговитрат, дозволяти без істотних конструктивних змін проводити механізацію, автоматизацію управління і регулювання технологічних режимів.

3. Обладнання повинно відповідати вимогам техніки безпеки.

4. Продуктивність допоміжного обладнання (транспортне обладнання, насоси, вентилятори) повинно бути, як правило, вище продуктивності основного обладнання, тобто мати необхідний резерв для підвищення розрахункових норм продуктивності основних агрегатів шляхом використання передових прийомів праці.

Вибір кожного типу обладнання повинен бути обґрунтованим як з точки зору виконання технологічного процесу, так і у відповідності з зазначеним вище. Обраний у курсовому проєкті тип обладнання варто порівняти із іншими аналогічними агрегатами і показати його переваги.

При цьому необхідно коротко описати принцип дії і основні характеристики обраних агрегатів.

Розраховуючи кількості одиниць кожного типу обладнання, необхідно виходити із поопераційного балансу матеріалів технологічного процесу, з якого відомо масу або об'єм матеріалу, що переробляється на даному обладнанні.

Розрахункове число одиниць обладнання визначається за формулою:

$$n_{розр} = \frac{G}{p \times \tau}, \quad (4.1)$$

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

p – продуктивність агрегату, кг/год;

τ – число годин роботи за добу.

Зазвичай, $n_{розр}$ – дробове число, яке округляють до найближчого більшого цілого числа. Для складного обладнання, що потребує складного обслуговування та частого ремонту або, яке не може бути тимчасово замінено іншими типами обладнання, *фактичне число обладнання* приймають на одиницю більше, тобто $n + 1$. На підставі отриманих даних розраховують *коефіцієнт завантаження обладнання* K_z :

$$K_z = \frac{n_{розр}}{n_{факт}}. \quad (4.2)$$

Коефіцієнт завантаження можна також підрахувати як відношення добової продуктивності на даній операції до добової продуктивності прийнятого числа агрегатів.

Кількість матеріалу, що переробляється на даному виді обладнання, визначають з матеріального балансу за кількістю матеріалу, який надходить на операцію у тому випадку, якщо кількість днів роботи обладнання на рік співпадає із кількістю днів роботи цеху, прийнятим за розрахунками матеріального балансу.

Якщо кількість днів роботи обладнання інше, добове завантаження визначають додатково за формулою:

$$G_{\text{доб}} = \frac{G_{\text{м}} \times N_{\text{ц}}}{N_{\text{об}}}, \quad (4.3)$$

де $G_{\text{м}}$ – кількість матеріалу, який надходить на операцію, у відповідності із матеріальним балансом чи балансом матеріалів;

$N_{\text{ц}}$ – кількість робочих днів цеху на рік;

$N_{\text{об}}$ – кількість днів роботи обладнання на рік.

Наприклад, якщо на операцію спікання, виробництва, що працює 252 днів на рік, у відповідності з матеріальним балансом надходить 1000 кг матеріалу, а діляниця спікання працює без зупинок на святкові і вихідні дні, за виключенням зупинок на планово-попереджувальний ремонт, тобто 350 днів на рік, то добове завантаження обладнання на операції спікання становить:

$$G_{\text{доб}} = \frac{1000 \times 252}{350} = 720 \text{ кг.}$$

Важливим у виборі кількості необхідного обладнання є визначення продуктивності агрегату, яку розраховують для вибраного обладнання відносно конкретних матеріалів і виробів, що передбачається виготовляти в цеху. Розглянемо приклади розрахунку продуктивності основних видів обладнання.

4.1 Обладнання для змішування та розмелювання

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

$$P_{зм} = \frac{V \times \varphi \times \gamma_{нас}}{\tau}, \quad (4.4)$$

де V – об’єм змішувача, $м^3$;

φ – коефіцієнт заповнення, $\varphi = 0,4-0,5$;

$\gamma_{нас}$ – насипна щільність, $кг/м^3$;

τ – тривалість операції, год.

Приклад. На операції змішування карбіду кремнію з графітом виробництва захисних чохлів термопар із самозв’язаного карбіду кремнію одночасно проходить розмел карбіду кремнію та змішування його з графітом. Тому для цієї операції доцільно використовувати кульові, атриторні, планетарні млини тощо, в яких можливе поєднання цих двох процесів. Серед зазначених млинів, кульовий млин є найпростіший в обслуговуванні і має найбільшу продуктивність, тому для проведення операції змішування у даному прикладі доцільно обрати кульовий млин із такими характеристиками:

Робочий об’єм – $0,4 м^3$;

Габаритні розміри – $2,1 \times 0,85 \times 1,5 м$;

Потужність – $1,9 кВт$;

Вартість – 5,6 тис. грн.

Визначаємо продуктивність млина за формулою:

$$P_{\text{зм}} = \frac{G_{\text{зав}}}{\tau_{\text{зм}}},$$

де $G_{\text{зав}}$ – вага одного завантаження у млин, кг.

$\tau_{\text{зм}}$ – технологічний час змішування, 12 год.

Визначаючи вагу завантаження, треба пам'ятати, що об'єм заповнення млина, який визначається коефіцієнтом заповнення φ , є сумою об'ємів – об'єму матеріалу та об'єму розмельних тіл, який визначається коефіцієнтом розпушення кульок η . Вагу одного завантаження визначаємо за формулою:

$$G_z = V_m \times \varphi \times \eta \times \gamma_{\text{нас}},$$

де V_m – об'єм млина, см^3 ;

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

η – коефіцієнт розпушення кульок, $\eta = 0,28$;

$\gamma_{\text{нас}}$ – насипна щільність вихідної шихти, $\gamma_{\text{нас}} = 0,2\text{--}0,3$ від $\gamma_{\text{комп.}}$.

Шихта складається з двох компонентів, тому необхідно визначити середню густина $\gamma_{\text{комп. сер.}}$ за формулою адитивності:

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

де γ_{SiC} , γ_{C} – густина карбіду кремнію та графіту, відповідно, дорівнює $3,2 \text{ г/см}^3$ та $1,85 \text{ г/см}^3$;

a_{SiC} , a_{C} – відсотковий вміст у шихті карбіду кремнію та графіту, відповідно, складає 94,0 % та 6,0 %.

Отже,

$$\gamma_{\text{комп.сер.}} = (3,23 \times 1,85 \times 100) / (3,2 \times 6,0 + 1,85 \times 94,0) = 3,1 \text{ г/см}^3.$$

Тоді,

$$G_3 = 0,4 \times 10^6 \times 0,5 \times 0,28 \times 3,1 \times 0,3 = 52080 \text{ г} = 52,08 \text{ кг}.$$

А продуктивність млина буде дорівнювати

$$P_{\text{зм}} = 52,08 / 12 = 4,3 \text{ кг/год}.$$

Тепер за формулою (1.8) визначаємо розрахункову кількість млинів:

$$n_{\text{м}} = 631,12 / (4,3 \times 24) = 6,1.$$

З урахуванням складності обладнання і навантаження на нього, приймаємо, що фактично на операції змішування буде працювати 8 млинів. Коефіцієнтом завантаження їх визначаємо за формулою (1.9)

$$K_3 = 6,1 / 8 = 0,76.$$

4.2 Обладнання для просіву

Продуктивність сит можна оцінити за формулою:

$$P_c = 36 \times h \times B \times K \times v \times \gamma \times 10^3,$$

де h – висота шару матеріалу в ситі, m ;

B – ширина сита, m ;

K – коефіцієнт розпушування порошку, $K=0,4-0,6$;

v – середня швидкість переміщення порошку, m/s ;

γ – густина матеріалу, kg/m^3 .

Визначаючи продуктивності сит необхідно враховувати, що крім параметрів процесу просіву і розмірів сит на їх продуктивність впливають спосіб подання матеріалу, властивості порошків (форма, розмір частинок, вологість), номер сітки, через яку проводиться просів.

4.3 Обладнання для пресування

Операція пресування призначена для ущільнення порошків чи пластифікованої суміші та надання заданих розмірів заготівці.

Вибір пресового обладнання здійснюють враховуючи потрібне зусилля пресування (залежить від площі виробу) та кількості ходів за хвилину (залежить від продуктивності виробництва).

Відповідно, спочатку визначають площу пресування і потрібне зусилля

пресування по формулі:

$$P = p \times S ,$$

де p – потрібне зусилля пресування, κH ;

S – площа пресування, $см^2$.

Номінальне зусилля преса приймаємо рівним не менше $1,25p$.

За потрібному зусиллю пресування, мінімально допустимій висоті засипки порошку, зусиллю виштовхування вибирають прес, та наводяться його характеристики: потужність, κBm ; вартість, тис. грн.; габаритні розміри, $м$;

Продуктивність пресу визначають за формулою, $[кг/год]$:

$$P_n = 60 \times q \times K,$$

де q – маса однієї деталі, $кг$;

K – кількість ходів за хвилину.

Для автоматичних пресів K вказується у паспорті або у каталогах, а для пресів періодичної дії визначають на підставі нормування праці.

Приклад. Технологічним процесом передбачається пресування заготовок із середньою площею пресування $80\text{--}100\text{ см}^2$ та вагою $200\text{--}300\text{ г}$. При цьому тиск пресування приймаємо у межах $120\text{--}150\text{ МПа}$.

Для вибору преса для пресування треба визначити його необхідне зусилля за формулою:

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

де $S_{\text{пр}}$ – площа пресування. Приймаємо 90 см^2 ;

p – зусилля пресування. Приймаємо $120 \text{ МПа} = 12 \text{ кН/см}^2$.

Тоді

$$N_{\text{пр.}} = 90 \times 12,0 \times 1,25 = 1350 \text{ кН.}$$

Згідно розрахованим параметрам вибираємо гідравлічний прес марки ДА 1530А із такими характеристиками:

Зусилля пресування – 2000 кН ;

Габаритні розміри – $1,85 \text{ м} \times 1,35 \text{ м} \times 3,2 \text{ м}$;

Потужність – 22 кВт ;

Вартість – 120 тис. грн.;

Кількість ходів ($P_{\text{пр}}$) – 2–4 ход./хв.

Необхідну кількість пресів визначаємо за формулою:

$$N_{\text{пр}} = G_3 / (P_{\text{пр}} \times 60 \times \tau),$$

де G_3 – кількість пресовок, яку необхідно спресувати за добу;

$P_{\text{пр}}$ – кількість ходів (пресувань) за хвилину. Приймаємо 2 ход./хв.

Якщо кількість пресовок, яку необхідно спресувати на добу буде:

$$G_3 = 648,41 / 0,25 = 2594 \text{ шт.},$$

то необхідна кількість пресів буде:

$$N_{\text{пр}} = 2594 / (2 \times 60 \times 16) = 1,35.$$

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

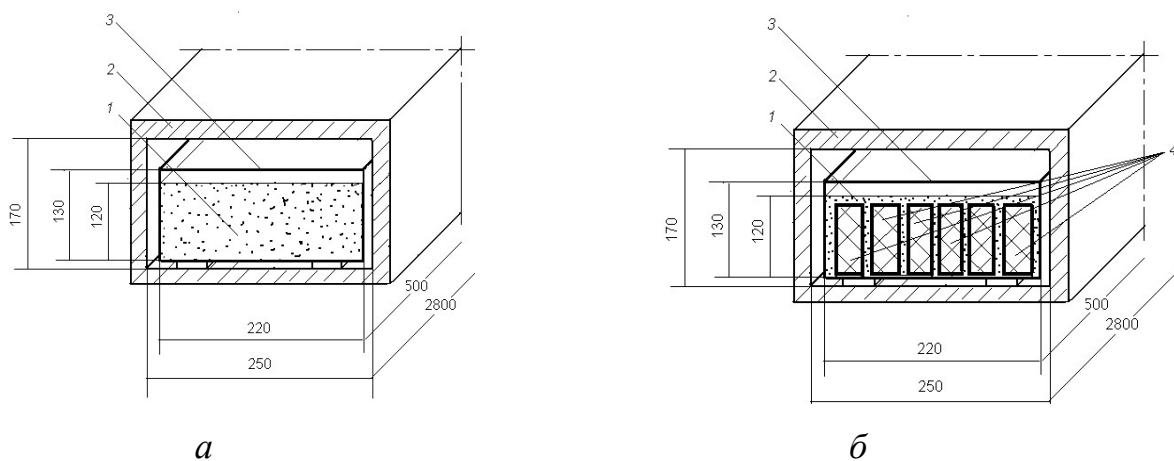
$$K_3 = 1,35 / 2 = 0,675.$$

Надалі необхідно привести зображення зовнішнього вигляду пресу, його будову та принцип дії.

4.4 Обладнання для спікання

Продуктивність печі треба розраховувати у кожному конкретному випадку, так як вона залежить від виду матеріалу, призначення печі (отримання порошку, спікання тощо), часу нагріву та спікання виробів, габаритних розмірів робочого простору, розмірів піддонів (човників) та виробу, що спікається, способу завантажування у піддон.

У визначенні продуктивності печі важливим є розрахунок кількості (ваги) матеріалу, що завантажують на один піддон. Кількість матеріалу залежить від габаритів робочого простору печі (муфеля), розмірів піддону, габаритних розмірів деталі, ваги однієї деталі, насипної щільності вихідної шихти тощо. Так, наприклад, для отримання порошків металів та спікання порошкових виробів може використовуватись муфельна піч із розмірами робочого простору (муфеля) $0,170 \text{ м} \times 0,250 \text{ м} \times 2,8 \text{ м}$. У цьому випадку можна застосовувати піддони із розмірами, які показані на рисунку 4.1.



а

б

а – завантаження порошкової шихти

1 – порошкова шихта; 2 – муфель печі; 3 – піддон

б – завантаження заготовок

1 – засипка; 2 – муфель печі; 3 – піддон; 4 – заготовки

Рисунок 4.1 – Схема завантаження матеріалів у піч

Для відновлення порошкової шихти (рис. 4.1 *а*) її вагу, яку завантажують в один піддон, визначають за формулою:

$$G_{\text{ш}} = \gamma_{\text{нас.ш.}} \times V_{\text{ш}},$$

де $\gamma_{\text{нас.ш.}}$ – насипна щільність вихідної шихти;

$V_{\text{ш}}$ – об'єм шихти в одному піддоні, який визначають виходячи із розмірів піддону.

Отже, об'єм шихти у прикладі буде складати:

$$V_{\text{ш}} = 120 \times 220 \times 500 = 13,2 \times 10^6 \text{ мм}^3 = 13,2 \times 10^3 \text{ см}^3 = 13,2 \times 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Для визначення ваги порошкових деталей, які завантажують на один піддон, визначають їх кількість, яку можна розмістити на ньому. Тоді вага деталей одного завантаження буде визначатись за формулою:

$$G_d = g_d \times N_d,$$

де g_d – вага однієї деталі;

N_d – кількість деталей, що можна завантажити на один піддон.

Потім розраховують необхідну швидкість проштовхування піддонів по довжині печі, $мм/хв$:

$$v_n = \frac{L}{\tau},$$

де L – довжина зони нагріву, $мм$;

τ – час ізотермічної витримки, $хв$.

Та період штовхання піддонів, $хв$:

$$N = \frac{l}{v_n},$$

де l – довжина піддону, $мм$.

Погодинну продуктивність печі розраховують за формулою:

$$P_n = \frac{G \times 60}{N}.$$

Приклад. Для забезпечення технологічного процесу була вибрана прохідна штовхальна піч ЦЕП-144 із такими характеристиками:

Робоча температура	– 1200 °С;
Габаритні розміри, $L \times B \times H$	– 3,5 м × 1,0 м × 1,8 м;
Розміри робочої зони, $L \times B \times H$	– 1,0 м × 0,25 м × 0,14 м
Потужність	– 28 кВт
Продуктивність	– розрахункова;
Вартість	– 25 тис. грн.;

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

$$V_n = \frac{L}{\tau},$$

де L – довжина робочої зони (нагріву), м. Згідно характеристики печі $L = 1$ м;

τ – час спікання. Згідно технологічного процесу час спікання дорівнює 2 год (120 хв).

Тоді,

$$V_n = 1 / 120 = 0,0083 \text{ м/хв.} = 8,3 \text{ мм/хв.}$$

Далі розраховуємо необхідний період проштовхування піддонів по довжині печі:

$$N = \frac{l}{V_n},$$

де l – довжина піддона. Приймаємо $l = 500$ мм.

Тоді необхідний період штовхання буде:

$$N = 500 / 8,3 = 60 \text{ хв.}$$

Визначивши період штовхання розраховуємо продуктивність печі за формулою:

$$p_n = \frac{q \times 60}{N},$$

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

Так, наприклад, у піддон із розмірами 500 мм × 200 мм × 100 мм можна завантажити 50 штук деталей, кожна вагою 0,180 кг. Тоді кількість матеріалу, що завантажується на один піддон дорівнює

$$q = 0,18 \times 50 = 9 \text{ кг.}$$

А отже, продуктивність печі складе:

$$p_n = 9 \times 60 / 60 = 9 \text{ кг/год.}$$

Необхідну кількість печей для забезпечення технологічного процесу розраховуємо згідно формули:

$$n_{\pi} = \frac{G_{\pi}}{p_{\pi} \times \tau},$$

де G_{π} – кількість матеріалу, що переробляється за добу, наприклад 1020 кг.

Тоді,

$$n_{\pi} = 1020 / 9 \times 24 = 4,7.$$

Зважаючи на інтенсивність експлуатації та складність обслуговування печей, приймаємо фактичну їх кількість не 5, а більше на одну – 6, коефіцієнт завантаження яких складе

$$K_3 = 4,7 / 6 = 0,79.$$

Дані розрахунків необхідної кількості обладнання і його характеристики заносять до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведена відомість обладнання цеху

Найменування операції	Найменування обладнання	Продуктивність, кг/год.	Число годин роботи агрегату на добу	Добове завдання, кг	Необхідна кількість одиниць обладнання	Прийнята кількість одиниць обладнання	Коефіцієнт завантаження	Встановлена потужність, кВт	Вартість, тис. грн.

4.5 Обладнання для напилювання покриттів

Вибір способу напилювання покриття визначається якістю покриття та його товщиною. Високу якість покриття можна отримати вакуумно-конденсаційним напилюванням [3]. Особливо за тих способів, за яких паровий потік має високу густину. Перевагами вакуумно-конденсаційного напилювання є мінімальна кількість домішок в покритті, 100 % густина покриття, можливість отримувати широкий спектр структур в тому числі наноструктур з різних матеріалів, як чистих так і композиційних.

Якість покриттів залежить не лише від способу напилювання, а від способу підготовки поверхні перед напилюванням. З усіх відомих способів підготовки поверхні (шліфування, струменево-абразивне оброблення, нарізання канавок, електроіскрове оброблення тощо.) для вакуумно-конденсаційних покриттів застосовується шліфування і поліровка.

Підготовка поверхні для вакуумно-конденсаційного напилювання наведена на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Схема підготовки поверхні за технологією вакуумно-конденсаційного напилювання

Для визначення кількості матеріалу, який потрібен для напилювання однієї деталі необхідно визначити товщину та площу покриття виходячи з умов експлуатації.

Після визначення розмірів деталі і покриття приводиться креслення на якому вказують розміри покриття для розрахунків його об'єму з врахуванням допусків на обробку після напилювання. Необхідно також врахувати втрати на операціях сушки, просіювання і напилювання. Під час напилювання втрати визначаються коефіцієнтом використання матеріалів. На базі приведених розмірів розраховується кількість матеріалу, яку потрібно напилити на одну деталь (P). Добова потреба в матеріалах становить:

$$P_{\text{д}} = A \times P,$$

де $P_{\text{д}}$ – добова потреба в матеріалах для напилювання;

A – кількість деталей на добу;

P – кількість матеріалу на одну деталь.

$$P = P_n + \Delta + (1 - K_{\text{вик}}),$$

де P_n – кількість матеріалу для отримання номінальних розмірів покриття;

Δ – допуск по товщині покриття на обробку після напилювання;

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання для обраного способу напилювання.

Розрахункова кількість одиниць обладнання визначається за формулою:

$$n_{\text{роз}} = \frac{A}{T_{\text{ш}} \tau},$$

де A – кількість деталей, що напилюють за добу, *шт*;

$T_{ш}$ – час на напилювання однієї деталі, $год^{-1}$;

τ – кількість годин роботи на добу.

Розрахунок $T_{ш}$ проводять за формулою:

$$T_{ш} = T_{осн} + T_{під} + T_{доп},$$

де $T_{осн}$ – основний час на операцію;

$T_{під}$ – час підготовки до операції;

$T_{доп}$ – допоміжний час на технічне і організаційне обслуговування робочого місця.

Основний час визначається теоретичним розрахунком по встановленим формулам, або хронометражем операції, час підготовки і допоміжний час приймаються по встановленим нормам.

Для вакуумно-конденсаційного напилювання основний час визначається відношенням потрібної товщини до швидкості напилювання ($0,3 - 0,5 \text{ мкм/хв}$).

Приклад. Технологічним процесом передбачається підготовка поверхні перед напилюванням вібро-абразивним обробленням і мийка поверхні ультразвуком та власне процес напилювання.

Обладнання для вібро-абразивної обробки. Вібраційно-абразивне оброблення проводять зазвичай після шліфування (рис. 4.2). В залежності від шорсткості поверхні визначають час обробки, а в деяких випадках навіть змінюючи величину зернистості абразиву.

Для оброблення поверхні деталей склад робочого середовища – абразивні гранули з електрокорунду, або карбідів кремнію зернистістю 2–5 *мкм*. Контейнер заповнюють робочим середовищем до 0,5 його об'єму, а потім до 0,75 обсягу з деталями з вихідної шорсткістю $R_z = 10\text{--}6,3$ *мкм*.

Для оброблення буде застосовуватись двокамерна установка УВГ-200:

- найбільший діаметр деталі 80 *мм*;
- максимальна кількість імпульсів 3000 коливань за хвилину;
- потужність електродвигуна 2 *кВт*;
- об'єм камери 2х60 *л*.

Одночасно в установку завантажують 20 деталей. Час обробки 0,5 години.

Режим оброблення: частота коливань в 1 *хв* – 2000 з амплітудою 4 *мм*.

Продуктивність установки: $P = \frac{20}{0,5} = 40 \frac{\text{шт}}{\text{год}}$.

Розрахункова кількість обладнання:

$$n_p = \frac{G}{P \times \tau},$$

де G – кількість деталей перероблюваних за добу, *шт.*;

P – продуктивність установки, *шт/год*;

τ – кількість годин роботи за добу, *год*.

Розрахункова кількість агрегатів: $n_p = \frac{200}{40 \cdot 8} = 0,62$ фактична кількість установок: $n_{\phi} = 1 \text{ шт.}$

Коефіцієнт завантаження обладнання: $K_z = 0,62$, отже приймаємо одну установку.

Обладнання для ультразвукової мийки. Для очищення деталей вибираємо ультразвукову ванну УЗВ-15М, яка призначена для очищення від жирових та механічних забруднень деталей з різних матеріалів:

- потужність 2,5 кВт;
- робоча місткість 4,2 л;
- габаритні розміри 0,83 x 0,665 x 0,955.

Оскільки об'єм ванни має бути заповнений на 30 % деталями, а інший об'єм займає мийний засіб, то кількість деталей, що завантажуються за один раз складає: $N=3$ шт.

$$T_{шт.} = T_{nid} + T_{осн} + T_{дод},$$

де $T_{осн}$ – основний час на операцію, хв;

T_{nid} – допоміжний час, хв;

$T_{дод}$ – додатковий час, хв;

$$T_{шт} = 5 + 8 + 5 = 18 \text{ хв (0,3 год)}.$$

Продуктивність: $P=3/0,3 = 10 \text{ дет./год}$.

Розрахункова кількість ван:

$$n_p = \frac{G}{P \times \tau},$$

$$n_p = \frac{200}{10 \cdot 8} = 0,25.$$

Приймаємо фактичну кількість ультразвукових ван $n_{\phi}=1$. Коефіцієнт завантаження обладнання: $K_3 = 0,25$.

Обладнання для напилювання.

Для напилювання використовуємо "Булат-ЗТ" характеристики:

- потужність 50 кВт;
- площа поверхні, що покривається 6 дм^2 ;
- витрати води 1 $\text{м}^3/\text{год}$;
- габаритні розміри 2,17 x 1,95 x 2,16 м;
- продуктивність напилення нітриду титану: 0,3 мкм за хвилину;
- товщина покриття 6 мкм .

Одночасно в камеру можна завантажити 12 деталей для напилювання.

Обчислимо час, який необхідний для напилювання однієї партії:

$$T_{шт.} = T_{під} + T_{осн} + T_{доп},$$

де $T_{осн}$ – основний час на операцію, хв;

$T_{під}$ – час підготовки, хв;

$T_{доп}$ – додатковий час, хв.

Основний час для напилювання обчислюємо виходячи з товщини покриття і швидкості осадження: $T_{осн} = \frac{6}{0,3} = 20 \text{ хв (0,33 год)}$.

Час підготовки розраховується залежно від швидкості відкачування камери напилювання і часу її завантаження. В практиці напилювання може складати від 10 до 30 хвилин.

$$T_{шт.} = 20 + 20 + 10 = 50 \text{ хв (0,83 год)}.$$

Продуктивність: $P = 12 / 0,83 = 15 \text{ дет./год}$.

Розрахункова кількість установки:

$$n_p = \frac{G}{P \times \tau},$$

$$n_p = \frac{200}{15 \cdot 8} = 1,7.$$

Фактична кількість машин $n_{\phi} = 2$. Коефіцієнт завантаження обладнання:
 $K_z = 0,8$. Отже, приймаємо дві установки з коефіцієнтом завантаження $K_z = 0,8$.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів [Текст] : навч. посібник / А. М. Степанчук. – Київ : Центр учбової літератури, 2016. – 336 с.

2. Степанчук А. М. Обладнання виробництв порошкових та композиційних матеріалів. Каталог обладнання [Текст] : метод. вказівки до практичних занять та виконання курсових і дипломних проєктів для студентів спеціальності "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" / А. М. Степанчук, М. О. Сисоєв. – Київ : НТУУ"КПІ", 2009. – 99 с.

3. Степанчук А. Н. Технология порошковой металлургии [Текст] : учеб. пособие / А. Н. Степанчук, И. И. Билык, П. А. Бойко. – Киев : Вища школа, 1989. – 415 с.

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

5. Степанчук А. М. Матеріали для напилювання покриттів [Текст] : навч. посібник / А. М. Степанчук, І. І. Білик. – Київ : Центр учбової літератури, 2016. – 236 с.

6. Специальные технологии и материалы порошковой металлургии [Текст] : учеб. пособие / Д. С. Кива, С. А. Бычков, О. Ю. Нечипоренко, И. Г. Лавренко. – Киев : КВІЦ, 2014. – 664 с.

7. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук [Текст] : підручник / А. М. Степанчук. – Київ : НТУУ «КПІ», 2006. – 353 с.

8. Сизоненко О. Н. Перспективные процессы изготовления порошковых материалов [Текст] : учебник / О. Н. Сизоненко, А. И. Ивлев, Г. А. Баглюк. – Николаев : НУК, 2014. – 376 с.

9. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля. – Москва : Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.

10. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та діляниць [Текст] : навчальний посібник / А. Ф. Будник. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 212 с.

11. Наноматериалы, нанопокрyтия, нанотехнологии [Текст]: учеб. пособие / Азаренков Н. А., Береснев В. М., Погребняк А. Д. [и др.]. – Харків : ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. – 209 с.

12. Кипарисов С. С. Оборудование предприятий порошковой металлургии [Текст] : учебник для вузов / С. С. Кипарисов, О. В. Падалко. – Москва : Металлургия, 1988. – 447 с.

13. Карпинос Д. М. Новые композиционные материалы [Текст] : справочник / Д. М. Карпинос, Л. И. Тучинский, Л. Р. Вишняков. – Киев : Вища школа, 1985. – 312 с.

14. Радомысльский И. Д. Конструкционные порошковые материалы [Текст] : учебник / И. Д. Радомысльский, Г. Г. Сердюк, Н. И. Щербань. – Киев : Техника, 1985. – 152 с.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до виконання дипломних робіт за ОКР «Бакалавр» за напрямом підготовки 6.050403 “Інженерне матеріалознавство” / укладачі: Степанчук А. М., Білик І. І., Бірюкович Л. О. – Київ : НТУУ ”КПІ“, 2011. – 40 с.
2. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів ОКР “Бакалавр” напряму підготовки 6.050403 “Інженерне матеріалознавство” : Частина 1. Загальні вимоги / укладач: Бірюкович Л. О. – Київ : НТУУ “КПІ”, 2015. – 65 с.
3. Білик І. І. Технологія та обладнання напилених покриттів [Текст] : навч. посібник / І. І. Білик. – Київ : Політехніка, 2002. – 101 с.

ДОДАТОК А
ТИТУЛЬНА СТОРІНКА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

НН Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

Назва проєкту

шифр проєкту

Студент групи _____ П.І.Б. _____

Керівник проєкту _____ П.І.Б. _____

Проєкт захищено з оцінкою _____

Члени комісії _____ П.І.Б.

_____ П.І.Б.

Київ 20YY

ДОДАТОК Б

ЗРАЗОК ВІДОМОСТІ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

ДОДАТОК В
ТИТУЛЬНА СТОРІНКА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

НН Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Назва проєкту

шифр проєкту

Студент групи _____ П.І.Б. _____

Керівник проєкту _____ П.І.Б. _____

Проєкт захищено з оцінкою _____

Члени комісії _____ П.І.Б.

_____ П.І.Б.

Київ 20YY

ДОДАТОК Г
ПРИКЛАД ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

НН Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

ЗАВДАННЯ

до виконання курсового проєкту

Тема курсового проєкту: _____.

Продуктивність виробництва: _____

Деталь: Вказати тип, форму та розміри деталі

Назва графічного матеріалу: апаратно-технологічна схема.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Рекомендована література:

Студент групи _____

_____ (П.І.Б.)
(підпис)

Керівник

_____ (П.І.Б.)
(підпис)

ДОДАТОК Д
ПРИКЛАД КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

п/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Вибір технологічного процесу	20.10.20YY	
2	Опис технологічного процесу	03.11.20YY	
3	Розрахунок і складання матеріального балансу	10.11.20YY	
4	Вибір і розрахунок кількості обладнання	17.11.20YY	
5	Виконання графічної частини	01.12.20YY	
6	Оформлення пояснювальної записки	08.12.20YY	
7	Захист проєкту	15.12.20YY	

Студент

_____ (П.І.Б.)
(підпис)

Керівник

_____ (П.І.Б.)
(підпис)

ДОДАТОК Е

ПРИКЛАД СПЕЦИФІКАЦІЇ ДО КРЕСЛЕННЯ

[illegible]