

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

«__» _____ 2023 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Виробництво деталей складної форми методами інжекційного
лиття»

Виконав:

студент III курсу, групи ФН-зп01

Широкоступ Юрій Іванович _____

Керівник:

Доцент, к. т. н., доцент

Солодкий Євген Васильович _____

Консультант з економічно-організаційного розділу:

Доцент, к.е.н., доцент,

Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з охорони праці:

професор, д. т. н., зав. кафедри ОППЦБ,

Левченко Олег Григорович _____

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Ліна Олегівна _____

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Виробництво деталей складної форми методами
інжекційного лиття»**

Київ – 2023 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій БОГОМОЛ

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Широкоступу Юрію Івановичу

1. Тема проєкту «Виробництво деталей складної форми методами інжекційного лиття», керівник проєкту Солодкий Євген Васильович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «1» червня 2023 р. № 2125-с

2. Термін подання студентом проєкту: 16.06.2023

3. Вихідні дані до проєкту плановий обсяг продукції 100 000 шт/рік; провести аналіз сучасного стану виробництва деталей методами інжекційного формування; обрати технологічний процес з точки зору отримання найвищих техніко-економічних показників; деталь яка планується розроблятися в межах виробництва типу фіксатор.

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

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): апаратурно-технологічна схема і план цеху, що проектується, із зазначенням на ньому місцезнаходження технологічного обладнання; таблиця економічних показників.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний пошук. Вибір матеріалу для виготовлення сталених деталей складної форми методами інжекційного лиття	25.03. – 31.03.2023р.	
2	Вибір технологічного процесу та його опис.	1.04. – 16.04.2023р.	
3	Матеріальні розрахунки. Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання.	17.04. – 23.04.2023р.	
4	Розробка розділу з охорони праці	24.04. – 30.04.2023р.	
5	Розробка будівельного розділу	1.05. – 07.05.2023р.	
6	Розробка спеціального розділу	8.05. – 14.05.2023р.	
7	Розробка організаційно-економічного розділу	15.05. – 21.05.2023р.	
8	Виконання графічної частини проекту	22.05. – 28.06.2023р.	
9	Оформлення дипломної записки	29.06. – 3.06.2023р.	

Студент

Юрій ШИРОКОСТУП

Керівник

Євген СОЛОДКИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт за освітньо-професійною програмою складається із пояснювальної записки, що містить: стор. – 85, рис. – 18, табл. – 22, літ. – 26 і графічної частини із 3 креслень і 1 плакату.

ГАРТУВАННЯ, ДЕТАЛІ СКЛАДНОЇ ФОРМИ, ІНЖЕКЦІЙНЕ ФОРМУВАННЯ, ПОРОШКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, СТАЛІ

У дипломному проєкті викладено літературний огляд сучасного виробництва по виготовленню деталей складної форми методами інжекційного формування.

Метою проєкту є розроблення конструкторської документації дільниці та технологічного процесу виготовлення на виробництва фіксаторів з більш високими техніко-економічними показниками.

Для досягнення даної мети поставлено наступні завдання:

- провести вибір матеріалу з відповідними фізичними показниками;
- розробити схему технологічного процесу;
- розробити будівельний, спеціальний, організаційно-економічний розділи;

Об'єктом дослідження є порошкові сталі, які застосовуються для інжекційного формування.

Предметом дослідження: техніко-економічні параметри виготовлення деталей складної форми методами інжекційного лиття порошків.

ABSTRACT

The diploma project under the educational and professional program consists of an explanatory note containing: p. – 85, fig. – 18, tab. - 22 ref. – 26 and a graphic part consisting of 3 drawings and 1 poster.

QUENCHING, PARTS OF COMPLEX FORM, INJECTION MOLDING, POWDER TECHNOLOGIES, STEELS

The diploma project presents a literature review of modern production on the manufacture of parts of complex shape by injection molding methods.

The purpose of the project is to develop the design documentation of the site and the manufacturing process for the production of ceiling fasteners with higher technical and economic indicators.

To achieve this goal, the following tasks are set:

- select material with appropriate physical parameters;
- develop a scheme of the technological process;
- to develop construction, special, organizational and economic sections;

The object of research is powder steels used for injection molding.

The subject of the study: technical and economic parameters of manufacturing parts of complex shape by methods of injection molding of powders.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1 Вибір матеріалу	11
1.2 Вибір і обґрунтування технологічного процесу	14
1.3 Висновки та постановка завдання проєктування	20
1.4 Опис технологічного процесу	21
1.4.1 Обґрунтування асортименту продукції в технічних умовах на неї.....	21
1.4.2 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї	22
1.4.3 Опис технологічних операцій.....	22
1.5 Розрахунок і складання матеріального балансу	27
1.6 Вибір і розрахунок кількості обладнання.....	32
1.6.1 Обладнання для інжекційного лиття порошків	32
1.6.2 Обладнання для каталітичного видалення зв'язки	33
1.6.3 Обладнання для спікання.....	35
1.6.4 Обладнання для механічної обробки.....	36
1.6.5 Обладнання для термічної обробки	37
2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	39
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	40
4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ	45
4.1 Загальна характеристика виробничої дільниці	45
4.2 Аналіз параметрів мікроклімату	48
4.3 Аналіз освітлення.....	49
4.4 Шум та вібрація.....	50
4.5 Аналіз загазованості та запиленості	52
4.6 Електробезпека.....	53

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Розроб.	Широкоступ Ю.						
Перевір.	Солодкий Є. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						8	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

4.7 Пожежна безпека	54
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	57
6.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників.....	57
6.2 Визначення фондів заробітної плати	60
6.3 Розрахунок продуктивності праці	62
6.4 Розрахунок капітальний вкладень.....	64
6.5 Визначення планової собівартості одиниці продукції.....	66
6.6 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення.....	71
ВИСНОВКИ.....	75
CONCLUSIONS	76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	77

ВСТУП

Сучасна промисловість за рахунок нових підходів та методів щодо виготовлення деталей має можливість стрімко розвиватись та будувати все складніші та точніші вироби. Порошкова металургія за рахунок широкого спектру конструкційних можливостей є основним донором деталей для машинобудування. Однак, класичні методи порошкових технологій не дозволяють отримувати деталі з великою кількістю переходів по висоті, зовнішніми та внутрішніми пазами тощо. Перспективними технологіями щодо виробництва деталей практично будь якої форми з порошків є інжекційне лиття порошків [1].

Інжекційне формування порошків (Powder Injection Molding, PIM) стає особливо популярним через високу ефективність процесу виготовлення складних деталей з металів, кераміки та їх композитів з високою продуктивністю. Інжекційне формування порошків поєднує в собі переваги традиційних технологій лиття та пластичного формування порошків, дозволяючи отримати деталі з високою точністю, складною геометрією і високою якістю поверхні. Інжекційно вироблені порошкові деталі використовуються у виготовленні двигунів, корпусних деталей, компонентів паливних систем, підвісок та інших вузлів автомобілів. Вони можуть бути виготовлені з металів або кераміки та володіти високою міцністю, стійкістю до тертя та корозії.

Саме завдяки порошковим методам формування вдається досягнути високоефективного методу створення виробів складної форми без подальшої механічної обробки, з високими показниками міцності, твердості та зносостійкості, а також з високою точністю геометричних розмірів. Інжекційне формування як метод формоутворення є на сьогоднішній день найперспективнішою галуззю знать яка може створювати нові продукти для ринку.

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.	Широкоступ Ю.						
Перевір.	Солодкий Є. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Лім.	Арк.	Аркушів
						10	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вибір матеріалу

Метали є одним із тих матеріалів, що найактивніше використовуються людством. Метали завдяки своїй пластичності і відносно невисокій температурі плавлення легко піддаються обробці тиском і литтям, тому виготовлення виробів складної геометрії з металевих матеріалів, як правило, не є проблематичним. Проте використання традиційних технологій обробки металів не завжди економічно вигідно. Порошкові технології мають такі переваги, як значна економія енергії, економія сировини, відмінна продуктивність, висока точність розмірів одержуваних виробів і висока повторюваність, що добре підходить для масового виробництва. Крім того, деякі матеріали та складні деталі, які неможливо виготовити традиційними методами лиття та механічної обробки, також можна виготовляти за допомогою порошкових технологій. Використання порошків дозволяє в широкому діапазоні варіювати пористість та склад матеріалу виробів. Особливе місце серед методів виготовлення деталей складної форми займають методи інжекційного лиття порошків. Даний метод дозволяє отримати практично будь-яку форму виробу, але вимагає спеціально підготовлених вихідних порошків у вигляді гранул з органічною зв'язкою. Основним вихідним матеріалом для виробництва порошкових деталей залишається сталь. В спеціальних виробках зазвичай використовується легована сталь, завдяки введенню таких елементів як хром, молібден, нікель, кремній збільшується міцність, твердість, зносостійкість виробу [1]–[8].

Порошкова сталь МІМ-4140. Порошкова сталь для інжекційного формування МІМ–4140 має хімічний склад наведений в таблиці 1.1. Дана композиція була спеціально розробленою для лиття порошків під тиском, для деталей які працюють в умовах підвищених температур, тисків, зношування та ударних навантажень. Властивості сталі наведено в таблиці 1.2. За своєю

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЙНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.	Широкоступ Ю.І.						
Перевір.	Солодкий Є. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						11	28
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

структурою сталь МІМ–4140 відноситься до класу перлітних низьколегованих сталей. Введення в склад сталі кремнію до 0,6 % має комплексну дію на структуру сталі. Спостерігається ефект придушення виділення карбіду Fe_3C за низькотемпературного відпуску мартенситу та утворення бейніту. Відбувається зміщення інтервалу незворотної відпускнуї крихкості в область більш високих температур та формування безкарбідного бейніту, що володіє підвищеною ударною в'язкістю. Про дію інших легувальних елементів детально буде описано далі [5]–[7].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі МІМ–4140 [11]

Хімічний склад сталі, %				
Fe	Cr	Mo	C	Si
97,4–98,1	0,8–1,2	0,2–0,3	0,3–0,5	0,6

Таблиця 1.2 – Властивості порошкової сталі МІМ–4140 [14]

Характеристика	Показники
Показник плинності розплавів (г/10 хв)	600
Щільність після спікання (г/см ³)	7,5
Твердість (HRB)	70
Міцність на розтяг (МПа)	600
Межа текучості (МПа)	350
Видовження (%)	3

Сталь Catamold 42CrMo4. Порошкова суміш на відміну від МІМ–4140 в складі не має добавок кремнію (табл. 1.3), має дещо вищий вміст вуглецю та хрому. Дані зміни відображаються на збільшенні твердості та деякому підвищенні міцності на розтяг (табл. 1.4). Збільшення твердості підвищує крихкість сталі та може знижувати її ударну в'язкість. До переваги обох видів сировини можна віднести відпрацьованість хімічного складу, технології та повторюваності у виробництві деталей. Також порошки надаються у вигляді готових до використання гранул змішаних з комплексними 2х компонентними зв'язуючими, які мають різний

інтервал термічного видалення. Для отримання гомогенної суміші зазвичай використовують як основу карбонільне залізо та частинки легуючих компонентів. Відповідно гранули для МІМ є механічною сумішшю порошків, а не дифузійно легуваними частинками розпиленого заліза. Це зроблено з метою збереження текучості та заповнюваності форми яке дає карбонільне залізо, за рахунок розміру та сферичної форми. Отримати газовим розпиленням порошки сферичної форми з розміром менше 5 мкм досить проблематично та не ефективно. Вихід придатної фракції < 250 мкм на промислових установках складає до 95 %, з яких лише 5–10 % частинки із задовільними параметрами під методи інжекційного лиття. Тому з економічної точки зору механічна суміш порошків заліза та легуючих більш вигідна [8]–[19].

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі Catamold 42CrMo4 [11]

Хімічний склад сталі, %			
Fe	Cr	Mo	C
97,4–98,1	0,9–1,2	0,15–0,3	0,35–0,45

Таблиця 1.4 – Властивості порошкової сталі Catamold 42CrMo4 [12]

Характеристика	Показники
Показник плинності розплавів (г/10 хв)	516
Щільність після спікання (г/см ³)	7,48
Твердість (HRB)	89
Міцність на розтяг (МПа)	650
Межа текучості (МПа)	350
Видовження (%)	11

Порошкова сталь 38ХМА. Для виробництва деталей складної форми може бути використано і порошки попередньо легуваної сталі. Однак в чистому вигляді порошки не придатні для інжекційного лиття. Для надання необхідного комплексу фізико-хімічних властивостей порошки додатково змішують зі зв'язками та гранулюють. В якості зв'язки можуть бути різні компоненти такі як

поліметилметакрилат, парафін, поліпропілен, стеарин тощо. З точки зору хімічного складу розглянуті сталі мають спільний хімічний склад який базується на введенні близько 1 % Cr та 0,3 % Mo. В хромистих сталях молібден діє як інгібітор процесів знеміцнення під час відпуску. Це досить важливий параметр під час роботи деталей в умовах дії температурних полів та ударно-стираючої дії. Зазвичай подібні властивості притаманні для конструкційних та інструментальних штампових сталей [7]–[11].

1.2 Вибір і обґрунтування технологічного процесу

Завдяки стрімкому розвитку науково-технічного прогресу стало можливим отримання готової деталі за невелику кількість технологічних операцій, що зменшує витрати на виробництво. Зменшення кількості технологічних операцій дозволяє підвищити характеристики та якості матеріалу в готовій деталі та знизити вартість технологічного процесу її виготовлення. У металевих порошкових матеріалах в процесі спікання формується структура, яка значно відрізняється від структури литих і кованих матеріалів. Перш за все спечені пресовки – це пористі вироби, в яких об’ємний вміст пор може змінюватись в широких межах. У порошкових матеріалах пористість виступає в якості структурної складової. На властивості порошкових матеріалів впливають фізико-хімічні властивості вихідних порошків (розмір, вміст і однорідність розподілу легуючих елементів тощо). Формою пор, їх величиною, морфологією і об’ємним вмістом визначаються фізико-хімічні, механічні та інші властивості виробів, а також області їх застосування. Тому властивості деталей з порошкових сталей залежать від технології їх отримання [4].

Технологічний процес виготовлення виробів класичною порошковою металургією складається з наступних технологічних операцій: приготування суміші вихідних порошків заданого хімічного складу (сушка, розподіл за розмірами, очищення, грануляція); пресування суміші порошків; спікання; механічна обробка (шліфування, точіння, полірування) та термічна обробка (рис. 1.1). Найбільший економічний ефект досягається у випадку крупно масштабного виробництва, так як

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вартість пічного та формуючого обладнання достатньо висока і коефіцієнт завантаження має бути високим [5].

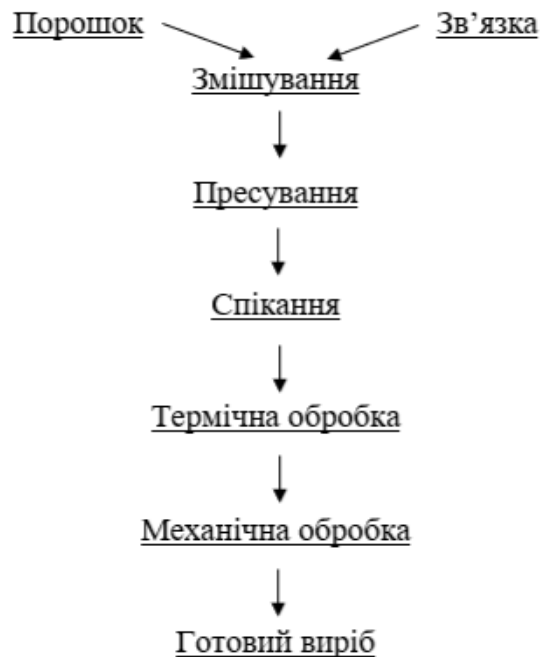


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу виготовлення виробів методами порошкової металургії

Керування гранулометричним складом та морфологією поверхні вихідних частинок порошків дозволяє змінювати пресуємість, формуємість, щільність вихідних заготовок [11]. Пресування широко використовується для створення форм низької висоти, які можна легко вилучити з обладнання. В деяких випадках тиск досягає 840 МПа. До того ж, пресування призводить до відхилення щільності стисненого порошку по висоті пресовки, яке обумовлене тертям між порошком та обладнанням. Натомість однорідний розподіл щільності, що досягається під час використання методу інжекційного лиття порошку (ІЛП), дає рівномірні значення усадки після спікання за високої температури. На рисунку 1.2 зображене порівняння розсіювання за розмірами кінцевих розмірів деталей виготовлених класичним методом порошкової металургії та інжекційним литтям порошків (ІЛП). Спечені щільні деталі, виготовлені шляхом ІЛП, мають набагато нижчий рівень відхилень від заданих розмірів. Сучасним економічно привабливим методом серійного виробництва малогабаритних деталей складної форми є метод лиття під тиском

порошків (PIM). Його переваги досягаються за рахунок поєднання продуктивності методу лиття під тиском з універсальністю процесу спікання шихти порошків необхідного складу [11]–[19].

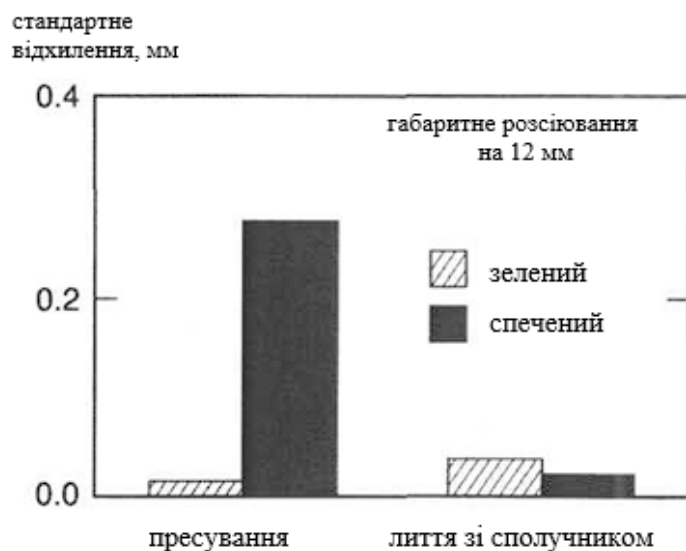


Рисунок 1.2 – Порівняння рівномірності усадки деталей, отриманих ІЛП та класичними методами порошкової металургії [18]

На рисунку 1.3 показано умови, за яких PIM-технологія більш ефективна, ніж традиційні технології виготовлення виробів.

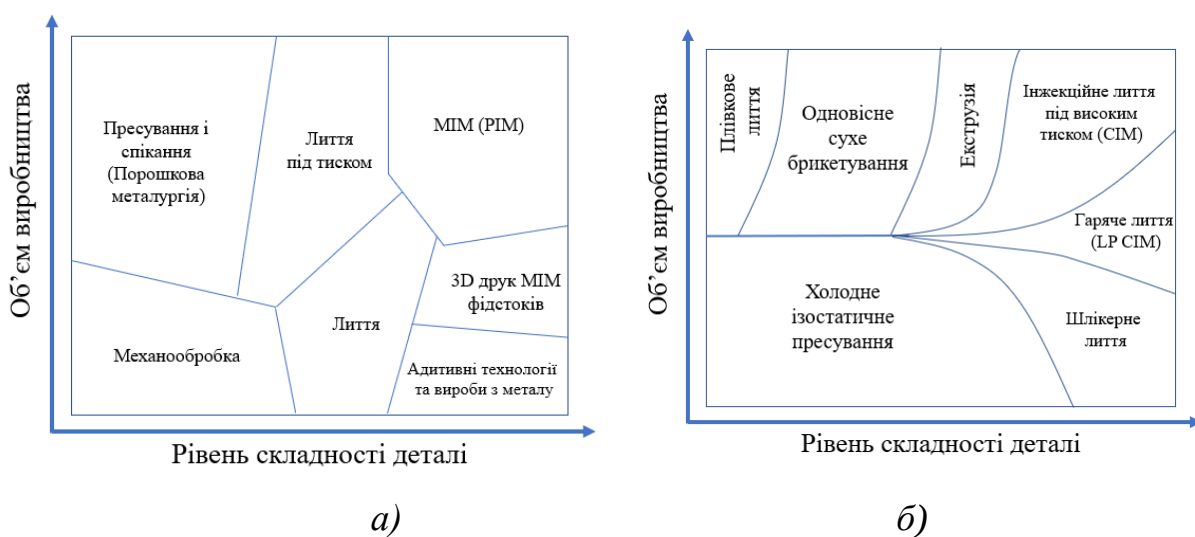


Рисунок 1.3 – Застосування різних технологій для формування виробів з порошків [19]

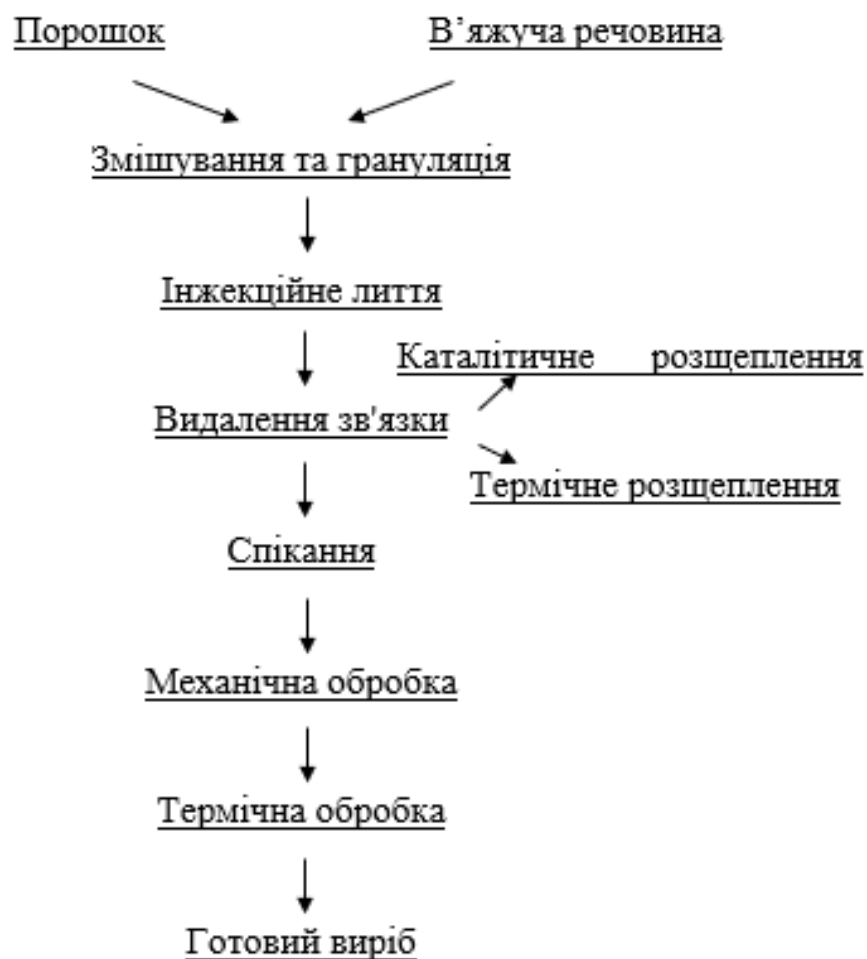


Рисунок 1.3 – Схема технологічного процесу інжекційного лиття порошків

ІЛП дає змогу досягти великих об'ємів виробництва. Різноманітні компоненти ІЛП виробляють по 200 000 штук в день. З іншого боку, можливі і невеликі об'єми виробництва, такі як 5000 деталей на рік. Тим не менш, як і всі інші технології, суттю цих процесів є економія. Інжекційне лиття з порошку дає великі вартісні переваги під час створення складних форм. Ця перевага витікає з усунення вторинних операцій таких як машинна обробка, які часто застосовуються для отримання точних компонентів. Також, з того часу як стало можливим переробляти заготовки (шлаки, пошкоджені вироби), ступінь використання матеріалу виріс майже до 95 %. Це особливо важливо для матеріалів з дорогої сировини, таких як тугоплавкі метали, особлива кераміка та коштовні метали. Тому ІЛП – це тривимірна технологія формування, яка базується на дискретних компонентах, створених на основі лиття

пластику. Ця технологія дає змогу отримати матеріали високої якості з точними розмірами у великих кількостях і з великою економією коштів [13].

Селективне лазерне спікання (SLS) – це метод, в якому як джерело енергії для спікання порошкових матеріалів використовується лазер. У робочу зону насипається і розрівнюється шар порошку, лазерний промінь вибірково спікає порошок відповідно до інформації про поперечний переріз шару, потім наноситься новий шар порошку і відбувається процес спікання. Після завершення спікання надлишок порошку видаляється і спечена деталь може бути вилучена з робочої зони. Відпрацьованими технологіями є друк восковим та пластиковим порошками, а процес спікання металевих чи керамічним порошків все ще вивчається. Більшість матеріалів, що використовуються для SLS, є порошковими матеріалами. Ця технологія використовується у виробництві широкого спектру виробів та охоплює різні матеріали, такі як полімери, метали та композитні матеріали різного складу. SLS має широкий спектр застосування: деталі силових установок, машинобудування, авіакосмічна промисловість та ін [18]. Схема методу наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Схема технологічного процесу отримання виробів методом селективного лазерного спікання

Метод дозволяє одержувати деталі практично будь-якої форми з точністю до 0,1 мм. Переваги методу полягають у широкому виборі матеріалів; можливості виробляти металеві вироби складної форми, які потребують мінімальних обсягів додаткової механічної обробки. До недоліків можна віднести те, що сировина використовується не повністю, високу вартість обладнання та шорстку поверхню виробу [16].

Квазіізостатичне пресування. Квазіізостатичне пресування є перспективним методом виготовлення виробів складної/індивідуальної форми з широкого спектру порошкових матеріалів. Квазіізостатичне пресування відрізняється від ізостатичного пресування тим, що в ньому для передачі тиску порошковому тілу використовується не рідина або газ, замість них використовується квазірідина, яка поміщається в сталеву прес-форму для одновісного одностороннього пресування (рис. 2.4). Середовищем, що передає тиск, може бути еластичне або пластичне тіло з гуми, синтетичного каучуку, термопластичного полімеру тощо. Ущільнення порошку відбувається рахунок стиснення еластичної оболонки, поміщеної в закриту жорстку прес-форму. Еластичний елемент під час об'ємної деформації передає прикладене порошковому тілу подібно до рідини високої в'язкості (квазірідини). Таким чином, тиск преса передається на всю поверхню компакту ізостатично, забезпечуючи всебічне стиснення. Завдяки цьому отримані пресовки мають однакову щільність у будь-якому перерізі. Однак деякі перепади щільності в все-таки спостерігаються від периферії до центру і зумовлені тим, що периферійні шари ущільнюються швидше і перешкоджають передачі тиску пресування всередину. Завдяки всебічному стиску пресованого матеріалу можна гарантувати високу рівномірність розподілу щільності в об'ємі, що забезпечує рівномірну усадку виробів під час спікання. Метод квазіізостатичного пресування може широко використовуватися для формування кераміки, металу, графітового порошку, кремнієвого мікрокристалічного скла, фериту, абразивних виробів, а також для вогнетривких виробів [7]–[15].

Переваги:

1) еластичні оболонки легко та швидко виготовляються та здатні прослужити велику кількість циклів пресування;

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) пресування відбувається у сталевій прес-формі для одновісного одностороннього пресування, яка є універсальним інструментом і потребує заміни лише у разі значного збільшення обсягу виробу.

3) вироби мають високу рівномірність розподілу густини за обсягом.

4) широка номенклатура форм виробів.

5) процес пресування в товстостінних оболонках піддається автоматизації.

Основним недоліком є викривлення та непропорційна деформація формотворчої поверхні внутрішньої порожнини оболонки в процесі пресування. Під час отримання деталей простої геометричної форми величину цього викривлення можна легко передбачити і компенсувати, але під час отримання деталей складної геометрії або деталей з розвиненою поверхнею прогноз формозміни внутрішньої порожнини оболонки стає проблематичним. До руйнування може спричинити і непропорційна деформація різних елементів оболонки [10].

Існує кілька технологій виробництва виробів складної форми з металевих матеріалів, кожна з яких має свої переваги і недоліки і активно використовується в тій чи іншій галузі промисловості. Для виготовлення конструкційних деталей складної форми у кількості 2 млн. шт. в рік використаємо технологію інжекційного лиття порошку. Істотною перевагою технології ІЛП є можливість виготовлення виробів надскладної форми, що найчастіше неможливо під час використання методів традиційної порошкової металургії [18].

1.3 Висновки та постановка завдання проєктування

З проведеного аналізу наявних літературних даних щодо сучасного стану виробництва деталей складної форми можемо зробити висновок, що для виготовлення деталей типу «фіксатор» доцільно використовувати метод інжекційного лиття порошків. В якості матеріалу обрано сталь Catamold 42CrMo4, що володіє комплексом необхідних фізико-механічних властивостей.

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.4 Опис технологічного процесу

1.4.1 Обґрунтування асортименту продукції в технічних умовах на неї

На даній ділянці будуть виготовлятися деталі машин, а саме: розпилююча система, елементи форсунок охолодження поршня, втулка центруюча та фіксатор (рис. 1.5–1.6).



a



б

a – розпилююча система; *б* – елементи форсунок охолодження поршня

Рисунок 1.5 – Деталі автомобіля, які виготовляються за технологією ІЛП

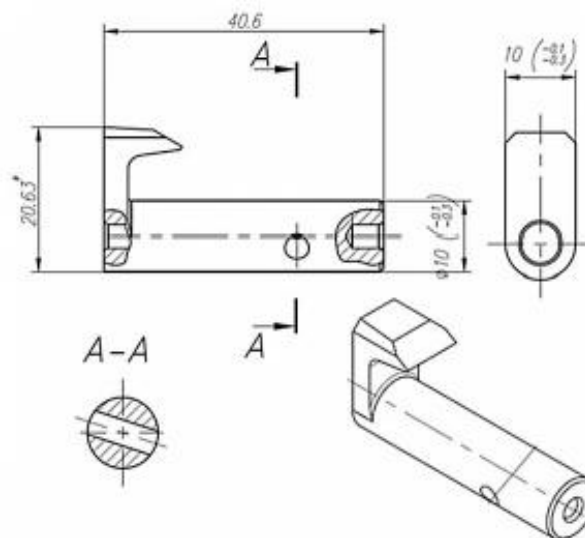


Рисунок 1.6 – Ескіз деталі «Фіксатор», що виготовляється методом ІЛП

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.4.2 Вибір головних видів сировини і технічні умови на неї

Отримання виробів складної форми методом МІМ передбачає ряд допоміжних видів сировини, які наведено в таблиці 1.5. До головних видів сировини відносяться гранули для інжекційного формування на основі поліацеталевої зв'язки. В межах проектування передбачається купівля вже готових гранул сплаву Catamold 42CrMo4. Для каталітичного видалення зв'язки обов'язковою умовою є наявність парів кислоти в реакційному просторі каталізатора. Молекули кислоти руйнують ланцюги поліацеталі та видаляють її з потоком пару.

Таблиця 1.5 – Технічні умови на сировину, напівфабрикати та готову сировину

Найменування	Характеристика	Технічні умови
Catamold 42CrMo4 гранули	Зв'язка на основі поліацеталі. Вміст: Мо 0,15–0,3 %, Cr 0,9 – 1,2 %	ГОСТ 13610-79 [19]
Азотна кислота	Масова доля кислоти 65 %	ГОСТ 18300-87 [20]
Азот газоподібний	Об'ємна частка азоту – 99,6 %; Об'ємна частка кисню – 0,4 %;	ГОСТ10779-78 [21]

1.4.3 Опис технологічних операцій

1.4.3.1 Інклекційне лиття порошку

Інклекційне лиття порошоків проводиться на спеціальних установках для лиття – екструдерах. Для кожного виробу здійснюється проектування прес форми з урахуванням усадки під час спікання. Завантажені в бункер гранули піддають нагріванню для розм'якшення полімерної зв'язки, після чого за рахунок обертання шнеку пластифікована суміш подається під тиском у форму. Під час заповнення форми, суміш твердих частинок та в'язкого полімеру має текстуру дуже схожу на зубну пасту. Після заповнення форми прес-форма охолоджується для затвердіння полімеру та збереження форми виробу. По завершенню циклу охолодження, твердий компонент вилучається зі станка і процес лиття повторюється [12].

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Найвища температура лиття коливається в межах від 130 °С до 190 °С. Оснастка зазвичай холодніша від сировини. Тому сировина зазнає збільшення в'язкості після потрапляння у форму та розігріває її. Відповідно в даний момент постає необхідність компенсувати втрати тиску. Фактичний тиск лиття може змінюватись геометрично від 1,4 МПа до 60 МПа. Оскільки заповнення форми залежить від в'язкості сировини, необхідно уникати відокремлення порошку та сполучної речовини. Більш того, розшарування зв'язки призводить до не рівномірної усадки виробу. Тому для отримання якісних виробів потрібно чітко контролювати технологічні параметри лиття та геометрії прес форми. Для підвищення продуктивності виробництва може бути використано лиття з декількома порожнинами для отримання більшої кількості деталей на одній машині [11]–[16].

1.4.3.2 Каталітичне видалення зв'язки

Принцип каталітичного видалення зв'язки після лиття під тиском полягає у використанні каталізатора для деполімеризації органічного носія, який складається з летучих невеликих молекул. Ці молекули мають вищий тиск пари під час процесу видалення та можуть швидко поширюватися по тілу пресовок [10], [13]–[17].

Сполучна система, яка використовується в процесі каталітичного видалення зазвичай складається поліоксиметилану, полімеру з допоміжним каркасом і стабілізуючими добавками. Поліоксиметилен – це поліацетальна сполучна система яка забезпечує хорошу формувальність і чудове збереження форми. Структура поліацетальної смоли складається з повторюваних зв'язків С-О (рис. 1.7). Він має міцну адгезію, високий глянець, високу твердість, гарну стійкість до погодних умов та хімічну стійкість. Його часто використовують як смолу для підвищення клейкості для покращення адгезії та твердості [12].

Видалення зв'язуючого відбувається в газоподібному кислотному середовищі, тобто висококонцентрованої азотній або щавлевій кислоті, за температури близько 120 °С, що нижче температури розм'якшення зв'язуючого. Кислота діє як каталізатор при розкладанні полімерного сполучного. Продукти реакції спалюють у полум'ї природного газу за температури понад 600°С. Процеси видалення триває до

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3х годин. З точки зору розриву хімічних зв'язків атом кисню полімерного ланцюга чутливі до дії кислоти. Під час дії відповідного кислотного каталізатора каталітична реакція може проводитися за нижчої температури, що призводить до розщеплення макромолекулярної альдегідної смоли на газоподібний CH_2O (формальдегід) [22].

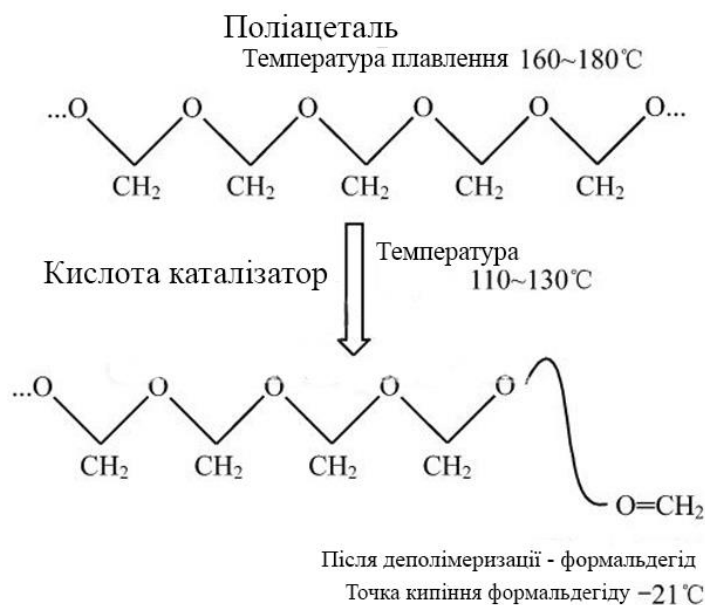


Рисунок 1.7 – Каталітичне видалення зв'язки

1.4.3.3 Термічне видалення зв'язки

В складі гранул входять також допоміжні полімерні сполуки які зберігаються після каталітичного видалення. Їх основна задача збереження форми та міцності пресовки до більш високих температур обробки. Видалення проміжної зв'язки проводять за температур від 550 °C до 600 °C протягом 3–5 год [12].

1.4.3.4 Спикання

Спикання є останнім кроком у процесі МІМ. Деталі, з яких відігнано полімерне зв'язуюче кладуть на керамічні підноси. Ці лотки виготовлені спеціально для мінімального руху під час спикання. Потім його поміщають у високотемпературну піч. Режим спикання передбача повільне нагрівання в печі, за якого будь-які

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залишкові полімери випаровується. Після завершення попереднього прогріву деталь нагрівається до температури, достатньо високої для злиття частинок у деталь. Температурна спікання складає від 1250 °С до 1300 °С та витримкою від 15 год до 20 год. Усадка під час спікання може досягати 20 %. Після проходження режиму печі дають охолонути, а потім деталі можна знімати і вважати їх готовими. Етап спікання є чи найголовнішим в технологічній схемі отримання виробів методом МІМ, оскільки не вірне проектування процесу чи підбір режимів може критично вплинути на фінальний продукт. Досить частиними є явища перекосу, короблення, кручення тощо. Для складних конструкцій варто обов'язково передбачати додаткові ребра жорсткості, розпорні контрукції та фіксатори від провисання . Середовище водень [5]–[18].

1.4.3.5 Механічна обробка

Після спікання вироби піддають галтовці для заокруглення гострих кромek та зняття заусенців. В торцевих отворах виробу наноситься різьба М6. Додатково проводиться свердління наскрізного отвору, зі зміщенням центром. Нанесення отвору механічним методом покликано уникнути нерівномірної усадки, провісань та короблення під час спікання. Вироби отримані МІМ рідко піддаються калібровці за рахунок складної форми, тому отримання додаткових отворів, пазів тощо варто винести на етап механічної обробки. Паралельні площини виробу обробляються шліфовкою для отримання мінимального допуску на не паралельність (не більше 0,03) [10].

1.4.3.6 Термічна обробка

З метою підвищення фізико-механічних властивостей порошкової сталі після спікання може бути застосована термічна обробка шляхом гартування з наступним високим відпуском. Сталі леговані молібденом мають високу стійкість до відпуску, тому для досягнення ефективних величин твердості, міцності та ударної в'язкості відпуск варто проводити за температури 600 °С. Температура загартування 850 °С з

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оохолодженням в розплав селітри да 340 °С. Після термічної обробки міцність на розтяг зростає до 980 МПа. Структура переважно бейніт гартування (рис. 1.8). Після термічної обробки проводиться контрольна калібровка різьб та наскрізного отвору [14].



Рисунок 1.8 – Бейніт гартування сталі

1.4.3.7 Технічний контроль якості продукції

Виробництво деталей складної форми методом МІМ передбачає використання готових гранул порошоків. Тому обов'язковим є вхідний контроль гранул з точки зору визначення в'язкості порошкової шихти під час плавлення зв'язуючого. Після спікання проводиться аналіз мікроструктури, твердості та щільності. Визначення щільності проводиться у відповідності до методу гідростатичного зважування пористих виробів. В структурі матеріалу не допускається збереження не розчинених легувальних елементів. Твердість після спікання проводиться відповідно до шкали Роквелла та повинна складати не менше 70 HRB. Після термічної обробки здійснюється оцінка твердості за допомогою алмазного конуса, твердість не менше 40 HRC [15]–[17].

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Розрахунок і складання матеріального балансу

Матеріальний баланс виробництва є вихідним параметром для побудови адекватного виробничого процесу з точки зору витрати матеріалів на витрату того чи іншого продукту. Для розрахунку вказаних величин потрібно визначити календарну кількість днів роботи цеху та проведення планово-попереджувального ремонту (табл. 1.6-1.7).

Таблиця 1.6 – Баланс часу роботи цеху

Елементи балансу	Кількість днів
Календарна кількість днів	365
Час на планово-попередній ремонт	14
Загальнонаціональні свята	22
Вихідні дні	98
Неробочі дні	127
Робочі дні цеху	235

Таблиця 1.7 – Графік планово-попереджувального ремонту обладнання

Обладнання	1 квартал		2 квартал		3 квартал		4 квартал				Усьо го		
	Місяці												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Екструдер								$\frac{21}{4} \text{ С}$					4
Піч для видалення зв'язки					$\frac{15}{2} \text{ О}$			$\frac{1 - 3}{30} \text{ І}$					32
Піч для спікання										$\frac{21}{4} \text{ С}$	$\frac{1 - 3}{30} \text{ К}$		30
Верстат для нарізання різьби					$\frac{15}{2} \text{ О}$								
Піч для термічної обробки						$\frac{20}{5} \text{ С}$					$\frac{1 - 3}{30} \text{ К}$		35
Усього													101 год

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пропонується виготовлення деталі типу «фіксатор» в кількості 100 000 шт/рік.
Маса одного фіксатора складає – 68 г.

$$G = 100\,000 \times 68 = 6,8 \text{ т}$$

Добова продуктивність цеху складає відповідно:

$$A = \frac{k}{n} = \frac{6800}{235} = 28,93 \text{ кг}$$

З метою побудови вірного ланцюга виробничих витрат потрібно врахувати як технологічні так і механічні витрати матеріалу в ході того чи іншого процесу. Кількість матеріалу який надходить на першу операцію визначаємо за формулою:

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

Для оцінки кількості матеріалу потрібно врахувати зворотні та незворотні витрати і відповідно (рис.) вихід придатного на кожній з операцій. Прямий операційний витяг на кожній з операцій складає:

Незворотні витрати

Порошок

Зворотні витрати

0,2

Інжекційне лиття

0

0,3

Видалення зв'язки

0

0,5

Спікання

0

0

Термічна обробка

0

0,2

Механічна обробка

0

Готовий виріб

0

$$\eta_1 = 100 - (a + b) = 100 - (0,2 + 0) = 99,8 \%$$

$$\eta_2 = 100 - (0,3 + 0) = 99,7 \%$$

$$\eta_3 = 100 - (0,5 + 0) = 99,5 \%$$

$$\eta_4 = 100 - (0 + 0) = 100 \%$$

$$\eta_5 = 100 - (0,2 - 0) = 99,8 \%$$

Визначимо загальний витяг на кожній з операцій відносно матеріалу:

$$\varphi_1 = \eta_1 = 99,8$$

$$\varphi_2 = \frac{99,7 * 99,8}{100} = 99,501$$

$$\varphi_3 = \frac{99,501 * 99,5}{100} = 99,003$$

$$\varphi_4 = \frac{99,003 * 100}{100} = 99,003$$

$$\varphi_5 = \frac{99,003 * 99,8}{100} = 98,805$$

Визначаємо кількість сировини, яка має надійти на початок процесу:

$$A_0 = \frac{A}{\varphi} = \frac{28,93}{98,805} = 29,27 \text{ кг}$$

Визначаємо витрати відносно вихідного матеріалу на кожній операції:

Зворотні

Незворотні

$$\alpha_1 = a_1 = 0$$

$$\beta_1 = b_1 = 0,2$$

$$\alpha_2 = 0$$

$$\beta_2 = \frac{0,4 * 99,8}{100} = 0,299$$

$$\alpha_3 = 0$$

$$\beta_3 = \frac{0,5 * 99,7}{100} = 0,498$$

$$\alpha_4 = 0$$

$$\beta_4 = \frac{0 * 99,9}{100} = 0$$

$$\alpha_5 = 0$$

$$\beta_5 = \frac{0,2 * 100}{100} = 0,2$$

Визначаємо абсолютні витрати у грамах:

Зворотні

$$q_1^a = a_1 = 0$$

$$q_2^a = 0$$

$$q_3^a = 0$$

$$q_4^a = 0$$

$$q_5^a = 0$$

$$q_1^b = \frac{29,279 * 0,2}{100} = 0,058$$

$$q_2^b = \frac{29,279 * 0,299}{100} = 0,087$$

$$q_3^b = \frac{29,279 * 0,498}{100} = 0,145$$

$$q_4^b = \frac{29,279 * 0}{100} = 0$$

$$q_5^b = \frac{29,279 * 0,2}{100} = 0,0585$$

1. Обчислимо суму зворотних втрат і визначаємо суму матеріалу, яка має надходити кожен день на початок процесу (В):

$$B = 29,279 \text{ кг}$$

2. Визначаємо масу матеріалу, що надходить на кожну операцію і виходить з неї.

На першу операцію:

- надходить: 29,279 кг;
- виходить: $29,279 - 0,058 = 29,279$ кг;

На другу операцію:

- надходить: 29,279 кг;
- виходить: $29,279 - 0,087 = 29,221$ кг;

На третю операцію:

- надходить: 29,221 кг;
- виходить: $29,221 - 0,1459 = 29,133$ кг;

На четверту операцію:

- надходить: 29,133 кг;
- виходить: $29,133 - 0 = 29,133$ кг;

На п'яту операцію:

- надходить: 29,133 кг;
- виходить: $29,133 - 0,058 = 28,987$ кг;

Отримані результати зведено до таблиць 1.8

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.8 –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	Всього	
Інжекційне лиття	0	0,2	0,2	99,8	99,8	0	0,2	0	0,058	29,279	0	29,221
Видалення зв'язки	0	0,3	0,3	99,7	99,500	0	0,2994	0	0,087	29,221	0	29,221
Спікання	0	0,5	0,5	99,5	99,003	0	0,4985	0	0,145	29,133	0	29,133
Термічна обробка	0	0	0	100	99,003	0	0	0	0	28,987	0	28,987
Механічна обробка	0	0,2	0,2	99,8	98,805	0	0,2	0	0,0585	28,987	0	28,987

ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ

1.6 Вибір і розрахунок кількості обладнання

1.6.1 Обладнання для інжекційного лиття порошків

З метою якісного заповнення форми і як наслідок отримання високих механічних та експлуатаційних властивостей виробів важливо підібрати сучасний апарат литтям під тиском. На ринку представлено широкий асортимент виробників подібного обладнання, але лідером серед виробників лишається Arburg [14]. Для інжекційного лиття обрано установку серії Allrounder 420 C (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Апарат лиття під тиском для інжекційного формування
Allrounder 420 C

Характеристики обладнання наведено нижче:

- розміри: 4,2 м / 1,5 м / 2,3 м;
- потужність установки: 80 кВт;
- тиск інжекції: 2000 кН;
- тиск витримки: 2000 кН;
- інжекційний потік матеріалу: 140 см³/с;

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- температура нагріву циліндра: 240 °С;
- продуктивність екструдера: 80 шт/год;
- температура прес форми: 140 °С;

Протягом 8 год робочої зміни екструдер працюватиме:

$$n_{\text{роз}} = \frac{426}{80 \times 8} = 0,66$$

Коефіцієнт завантаження:

$$K_z = \frac{0,66}{1} = 0,66$$

Приймаємо екструдер в кількості 1 шт з коефіцієнтом завантаження 0,66.

1.6.2 Обладнання для каталітичного видалення зв'язки

Видалення зв'язуючої речовини здійснюється в 2 етапи – за каталітичним механізмом та термічним. Поліацеталь, яка є основним зв'язуючим елементом сталі Catamold [17] видаляється по каталітичному режиму обробки. У пункті вибору матеріалів було показано, що видалення поліацеталі можливе за рахунок дії парів кислот, тому обладнання для проведення даних робіт має підвищені заходи безпеки та охорони праці. Найчастіше для цілей каталітичного видалення зв'язки застосовують печі ретортного типу. У межах розроблюваного цеху використаємо піч Nabertherm NRA 40/02 (рис. 1.10) яка обладнана насосною системою для подачі парів азотної кислоти та циркуляції їх в камері. Обробка деталі проводиться протягом 2 годин, за температури 120 °С в парах азотної кислоти. Загальна характеристика ретортної печі :

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розмір робочої зони: 100 мм / 200 мм / 500 мм;
- маса завантаження: 45 кг;
- потужність нагрівачів: 2 кВт;
- максимальна температура: 200 °С.



Рисунок 1.10 – Піч для каталітичного видалення зв'язки
Nabertherm NRA 40/02

Об'єм робочої камери складає 1000 см³. За зміну 8 год на дільниці переробляються 426 деталей. Об'єм 1 деталі складає 17 см³ відповідно за 1 цикл обробки (3 год) в камері може бути розміщено 588 деталей . Загальний час роботи печі для видалення зв'язки складає:

$$P = \frac{588}{8} = 73,5 \frac{\text{шт}}{\text{год}}$$

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$n_{\text{роз}} = \frac{426}{73,5 \times 8} = 0,72$$

Коефіцієнт завантаження обладнання складає 0,72. Кількість обладнання 1 шт.

1.6.3 Обладнання для спікання

Після каталітичного видалення зв'язки потрібно проводити термічне видалення зв'язуючої речовини. Зазвичай температурний діапазон видалення коливається в межах від 500 °С до 600 °С. Час ізотермічної витримки 1 год. Остаточне спікання проводиться за температури 1350 °С та витримкою 1 год у водні. Високотемпературне спікання дозволяє отримати щільність виробів до 97 %. Інтенсифікація процесів ущільнення зумовлені утворенням реактивної фази δ -Fe, для якої характерний високий коефіцієнт дифузії. Для спікання пропонується використовувати піч Carbolite Gero НТК (рис. 1.11). В даній печі можливо проводити одночасно термічне видалення зв'язки та остаточне високотемпературне спікання. За рахунок не великої добової продуктивності не має сенсу встановлювати прохідні та штовхальні печі [17].

Характеристика печі:

- робоча камера має корисну місткість 10 л ;
- потужність: 40 кВт;
- габарити печі:
- витрати формуючого газу: 0,3 м³/год;
- нагрівачі – вольфрам;
- максимальна температура: 1600 °С;
- продуктивність печі: 10 кг/год.

$$n_{\text{роз}} = \frac{28}{10 \times 8} = 0,35$$

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Приймаємо 1 піч з коефіцієнтом завантаження 0,35



Рисунок 1.11 – Піч для спікання Carbolite Gero НТК

1.6.4 Обладнання для механічної обробки

Відповідно до креслень деталі на бічній поверхні міститься отвір з різьбою (рис. 1.5). Вказаний елемент конструкції не можливо отримати методами інжекційного лиття, тому було застосовано механічну обробку шляхом одночасно свердління та на різання різьби на різьбонарізному станку Bernardo TM 16 P (рис. 2.11) . Основні характеристики:

- часто обертів шпинделя: 400 об/хв;
- потужність: 600 Вт;
- габаритні розміри: 1 м / 1,5 м / 2,3 м;
- продуктивність станка: 100 шт/год;
- регулювання кутів входу: 0° – 90°;
- тиск: 8 бар;



Рисунок 1.12 – Різьбонарізний станок Bernardo TM 16 P

$$n_{\text{роз}} = \frac{426}{100 \times 8} = 0,53$$

Приймаємо 1 станок з коефіцієнтом завантаження 0, 53

1.6.5 Обладнання для термічної обробки

Термічна обробка сталі ставить за мету підвищити показники міцності та твердості спеченої сталі. У випадку Catamold застосовується режим обробки гартуванням з 840 у розплав селітри температурою 340 градусів. В подальшому деталі піддаються відпуску. Для даної операції застосовано камерні печі типу KJ-M1200-36LZ (рис. 1.13). Характеристика печі:

- максимальна температура нагріву: 1200
- об'єм: 3500 л;
- потужність: 60 кВт;
- габаритні розміри: 1700 мм / 2000 мм / 1800 мм;
- внутрішні розміри камери: 1100 мм / 1400 мм / 1300 мм;
- полиць: 3 шт.

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Рисунок 1.13 – Піч для гартування/відпуску KJ-M1200-36LZ

Площа 1 деталі складає 0.0005 м², відповідно за цикл нагрівання в середовищі печі можуть бути розміщені всі деталі для нагріву під гартування. Кількість деталей, що проходять операцію гартування за годину складає:

$$P = \frac{426}{6} = 71 \frac{\text{шт}}{\text{год}}$$

Необхідні кількість печей для гартування:

$$n_{\text{роз}} = \frac{426}{71 \times 8} = 0,75$$

Приймаємо 2 печі для нагріву під загартування та під подальший відпуск.

2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

За необхідною кількістю обладнання, було розроблено план ділянки по виробництву деталей методами інжекційного формування порошків. Розміри приміщення повинні відповідати сучасним нормам щодо будівництва, та забезпечувати належне розміщення обладнання з точки зору технологічного процесу та переміщення по цеху.

Приміщення складається з ключових ділянок: інжекційного лиття та ділянки спікання і механічної обробки. Передбачається наявність 2х складів готової продукції та складу матеріалів. В межах ділянки присутні ряд допоміжних приміщень. Інформація щодо площі приміщень наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Площі виробничих приміщень

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²
Відділ екструдуювання	128
Відділ термічної обробки	128
ВТК	64
Склад матеріалів	128
Склад готової продукції	128
Директор виробництва	89,6
Побутові приміщення	76,8
Санітарне приміщення	25,6
Технологічний прохід	60

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ		
<i>Розроб.</i>	<i>Широкоступ Ю.</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Солодкий Є. В.</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Бірюкович Л. О.</i>						
<i>Затверд.</i>	<i>Богомол Ю. І.</i>						
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
						39	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Загартування – це процес термічної обробки металу, який використовується для «адаптації» мікроструктури під певні вимоги, та з метою створення напружень певної величини та знаку. Створення наприклад напружень стиску на поверхні деталі, може бути корисним оскільки підвищує втомну міцність деталей. Розтягуючі напруження навпаки створюють ефект клину, який сприяє прискореному руйнуванню матеріалу. Аналіз процесів загартування проводили відповідно за температури нагріву до 870 °С, та охолодженням в селітру температурою 340 °С. Модельний аналіз дозволяє визначити розподіл напружень по об'єму деталі, кількісний та якісний розподіл фаз по об'єму. Для спрощення розгляду було обрано представницький елмент у вигляді циліндра, який володіє всіма властивостями дослідної сталі. Пористість за рахунок її низької величини від 2 % до 3 % знехтувано. Параметри моделі наведені в таблиці 3.1.

В моделі передбачається ряд допоміжних модулів для оцінки різних аспектів процесу гартування. Першим процесом який має бути врахований є фазовий перехід. Перехід між аустенітом в мартенсит описується математичною моделлю Койстінена–Марбургера. Відповідно до даної моделі кількість мартенситу залежить від температури мартенситного петеоврення та кількості доступного аустеніту :

$$\xi^d = -\xi^s \beta T,$$

де ξ^d – кількість мартенситу;

ξ^s – початкова кількість аустеніту;

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.	Широкоступ Ю.						
Перевір.	Солодкий Є. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Лім.	Арк.	Аркушів
						40	5
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

β – константа матеріалу;

T – температура процесу, °C.

Однак дана модель враховує лише трансформацію під час переохолодження аустеніту в мартенсит. Всі інші трансформації визначаються відповідно до моделі Леблонда-Дево:

$$\xi^d = K(T)\xi^s - L(T)\xi^d,$$

де $K(T), L(T)$ – функції, що залежать від температури.

Дана модель вводить додаткові функції K та L які визначають доступну частку вихідної фази і затримуючим членом, який пропорційний поточній частці сформованої кінцевої фази. Перенесення тепла по об'єму описується рівнянням теплопровідності:

$$\rho C_p T + \nabla \times (-k \nabla T) = Q,$$

де T – температура, К;

k – теплопровідність, Вт/кг×К;

ρ – щільність, кг/м³;

C_p , – позначає питому теплоємність.

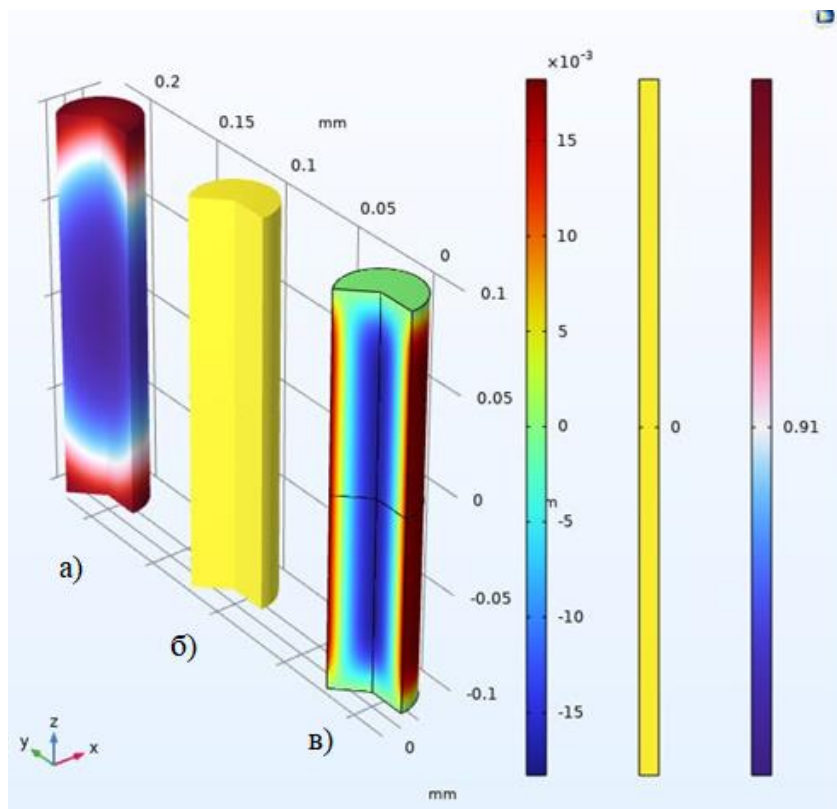
Під час охолодження сталь у структурному стані аустеніту розкладається на суміш фериту, перліту, бейниту та мартенситу. У зв'язку з неоднорідністю швидкості охолодження фазовий склад змінюється по всій заготовці. Наприклад, кінці заготовки охолоджуються швидше, ніж середня частина. Це свідчить про те, що феритні, перлітні та бейнітні фазові перетворення зменшуються на користь перетворення до мартенситу, оскільки це перетворення контролюється кількістю переохолодження нижче початкової температури M_s , (рис. 3.1, а) Під час охолодження матеріал у

заготовці зазнає деформації. Термічні деформації виникають внаслідок зміни температури, а механічні напруги викликають пластичність, викликану трансформацією.

Таблиця 3.1 – Вихідні параметри моделі

Температура	Густина, кг/м ³	Теплоємність, Дж/кг*К	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/кг*К	Модель пружності, ГПа	Коефіцієнт Пуассона	Межа текучості, МПа	Модуль ізотропного зміцнення, ГПа	Коефіцієнт термічного розширення (1/К)
Аустеніт								
0	7930	520	15	210	0,3	200	1	22*10 ⁻⁶
300		560	20	180		135	15	
600		590	22	165		40	11	
900		620	25	120		36	0,6	
Ферит, Перліт, Бейніт								
0	7850	480	50	210	0,3	400	1	1510 ⁻⁶
300		570	43	180		200	15	
600		640	35	165		150	11	
900		700	26	120		35	06	
Мартенсит								
0	7850	480	44	210	0,3	1600	1	14*10 ⁻⁶
300		570	38	190		1500	15	
600		640	30	165		1400	11	
900		650	24	120		100	0,6	

Напруження перевищують початкову межу текучості композитного матеріалу. Це можна побачити на рисунку 3.1, б, де найбільша еквівалентна пластична деформація спостерігається на поверхні заготовки. Симуляція загартування обчислює залишкові напруги. На рисунку 3,1 в показано осьове напруження. Зверніть увагу, що напруги стискають на поверхні заготовки. Зазвичай це корисно з точки зору втоми.



a – вміст мартенситу , *б* – деформації; *в* – напруження

Рисунок 3.1 – Моделювання розподілу деяких величин в об’ємі зразку

Еволюція фазового складу показана для двох місць у середній площині заготовки: на рисунку 3.2 показано фазовий склад на поверхні зразку, а на рисунку 3.3 – фазовий склад у центрі заготовки. Порівнюючи ці фазові склади, кінцева частка мартенситу вища на поверхні, ніж у центрі заготовки. На поверхні швидкість охолодження визначається коефіцієнтом теплопередачі та різницею температур між поверхнею та гартівним маслом. Якщо масло здатне забезпечити досить високу швидкість охолодження, фазові перетворення, контрольовані дифузією, обмежені на користь мартенситного перетворення зміщення. Навпаки, швидкість охолодження точки матеріалу в центрі заготовки обмежена коефіцієнтом теплопровідності матеріалу. Зазвичай до матеріалу додають певні легуючі елементи, щоб змінити характеристики фазового перетворення. Таким чином можна зменшити або навіть придушити певні фазові перетворення, контрольовані дифузією.

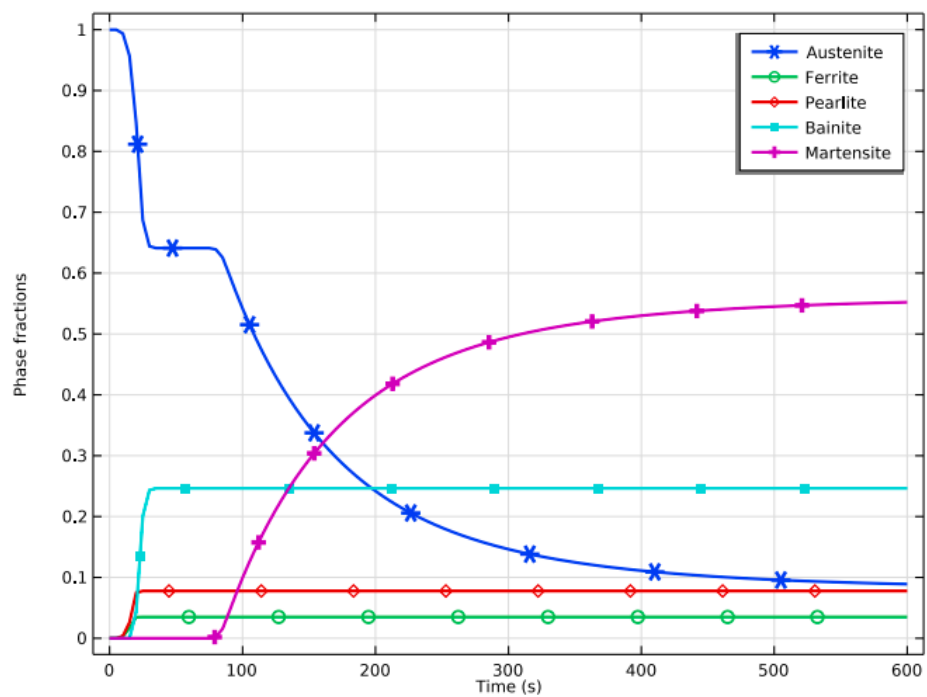


Рисунок 3.2 – Розподіл фаз по краю зразка

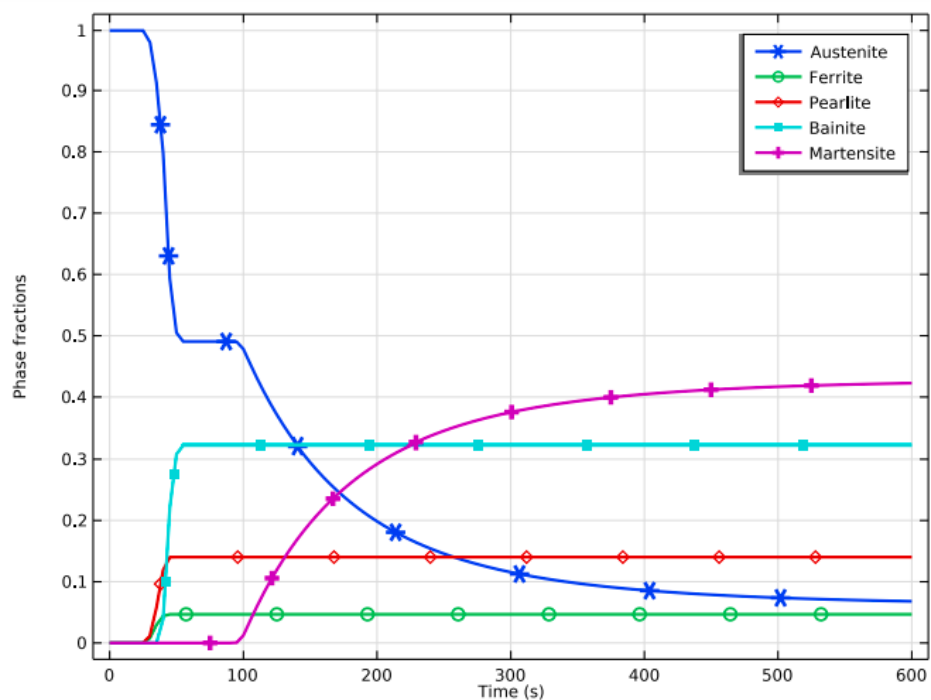


Рисунок 3.3 – Розподіл фаз в центрі зразка

4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Мета розділу охорони праці в проектуванні виробничої дільниці полягає в забезпеченні безпеки та запобіганні можливим ризикам, пов'язаним з цим видом виробництва. Охорона праці включає в себе розробку та впровадження заходів, спрямованих на усунення чи зменшення шкідливих впливів, що виникають під час виробництва деталей методами порошкової металургії.

Однією з головних цілей цього розділу є забезпечення безпечних умов праці для всіх працівників, які займаються порошковою металургією. Це може включати застосування захисного спорядження, встановлення автоматичних систем контролю, організацію регулярних навчань з питань безпеки та інші заходи, спрямовані на зниження ризику виникнення нещасних випадків та професійних захворювань [23].

Охорона праці в проектуванні виробничої дільниці також має на меті забезпечення ефективного використання ресурсів, зниження втрат продуктивності та запобігання витратам, пов'язаним з нещасними випадками та професійними захворюваннями. Правильне проектування виробничої дільниці дозволяє досягти оптимального балансу між безпекою працівників та ефективністю виробництва.

4.1 Загальна характеристика виробничої дільниці

Завдання даного проекту полягає у проектуванні виробничої дільниці для виготовлення деталей складної форми методами інжекційного лиття. Згідно заданих параметрів виробництва було проведено вибір обладнання (табл. 4.1).

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ		
Розроб.	Широкоступ Ю.						
Перевір.	Солодкий Є. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						45	13
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

Таблиця 4.1 – Специфікація обладнання

№ п/п	Найменування	Розміри Д/Ш/В, мм	Основні характеристики	Кіль- кість
1	Екструдер Allrounder 420 C	540x1700x400	Продуктивність 200 сетів/рік потужність 1,8 кВт;	1
2	Високотемпературна камера Nabertherm NRA 40/025	2150x1750x1850	потужність – 15 кВт; температура 150°C максимальна вага завантаження 1200 кг	1
3	Піч Carbolite Gero НТК	1340x1230x2460	Максимальна температура 1600 °C Атмосфера Ar, N2, NH3	1
4	Різьбонарізний станок Bernardo TM 16 P	1200x1100x1000	Продуктивність деталей 100 дет/год	1
5	Піч для гартування / відпуску KJ-M1200-36LZ	1700x2000x1800	Максимальна температура 1200 °C	2

Планування дільниці базується на потребі у достатній площі для розміщення всього устаткування, а також на вимогах безпеки праці під час роботи на виробництві. Детальний план дільниці відповідно до розмірів та кількості обладнання зображено на рисунку 4.1.

Виробнича дільниця для виготовлення деталей складної форми методами інжекційного лиття має широку площу 828 м², що дозволяє розташувати робочі станції, форми для лиття та обладнання для контролю якості. Висота приміщення 4 м забезпечує можливість встановлення високоефективних систем вентиляції для відведення шкідливих випарів, що утворюються під час процесу лиття. Також, на дільниці можуть бути розміщені автоматизовані системи збору та переробки відходів для забезпечення екологічно чистого виробництва.

Вимоги щодо будівлі цеху для виготовлення деталей складної форми методами інжекційного лиття повинні забезпечити безпеку, ефективність та комфорт працівників. Цех повинен мати достатню площу для розміщення

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

робочих станцій, форм для лиття, обладнання та складських приміщень. Коридори та прохідні шляхи повинні бути достатньо широкими для зручного руху працівників та матеріалів.

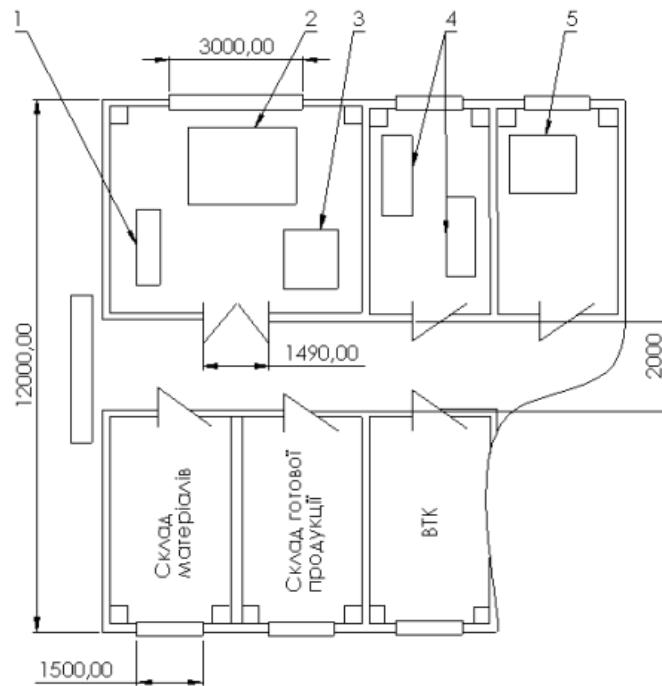


Рисунок 4.1 – План дільниці з виготовлення деталей складної форми методами інжекційного лиття

Цех повинен бути обладнаний ефективною системою вентиляції, яка забезпечує відведення шкідливих випарів, що утворюються під час процесу лиття. Також, необхідно враховувати системи очищення повітря та контролю забруднення для забезпечення здорового робочого середовища. Цех повинен мати достатнє природне та штучне освітлення, щоб забезпечити належну видимість працівникам під час виконання роботи. Будівля повинна відповідати всім вимогам щодо пожежної безпеки, включаючи встановлення пожежної сигналізації, протипожежного обладнання та влаштування вогнестійких матеріалів. Додаткові заходи безпеки, такі як автоматичні системи відключення електроенергії та аварійного вентиляції, також можуть бути необхідними.

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4.2 Аналіз параметрів мікроклімату

Параметри мікроклімату виробничих приміщень, особливо у випадку виробництва за методами порошкової металургії, є важливими з точки зору охорони праці. Основні параметри, на які необхідно звернути увагу, включають температуру, вологість та швидкість руху повітря. Розглянемо описані параметри детальніше.

Температура. У виробничих приміщеннях важливо підтримувати оптимальний рівень температури для забезпечення комфорту працівників і уникнення перегріву або переохолодження. У випадку виробництва порошків та фільтрів тонкої очистки газів, рекомендовано встановлення спеціальних систем кондиціонування або охолодження, які допомагають підтримувати оптимальну температуру у приміщенні.

Вологість. Запиленість і вологість повітря можуть бути проблематичними у виробничих приміщеннях, де використовуються порошки. Важливо контролювати рівень вологості для уникнення утворення пилу та запобігання виникненню проблем з дихальною системою працівників. Встановлення систем вентиляції та очищення повітря є ефективним методом знизити запиленість та забезпечити безпечні умови праці.

Рух повітря. Забезпечення оптимального напрямку та швидкості руху повітря в приміщенні має велике значення для розсіювання пилу та забруднень. Виробничі дільниці повинні мати встановлену ефективну систему вентиляції та витяжку, щоб забезпечити достатню циркуляцію повітря і відведення шкідливих речовин. Це сприятиме зменшенню концентрації пилу та забруднюючих речовин у повітрі та покращить якість мікроклімату.

Регулярні вимірювання параметрів мікроклімату, аналіз результатів та вжиття заходів для покращення умов роботи можуть допомогти забезпечити безпечну та здорову робочу середу виробничої дільниці. Станом на сьогодні в Україні параметри мікроклімату виробничих приміщень регламентуються нормативними документами ДСН 3.3.6.042-99 [24].

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у виробництві деталей складної форми методами інжекційного лиття, рекомендується дотримуватися наступних вимог:

- Вологість повітря повинна знаходитися в діапазоні 40–60%.
- Залежно від періоду року, температурний режим повинен коливатися в межах 17–22°C.
- Швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,2 м/с.
- Для підтримки цих параметрів мікроклімату в приміщенні рекомендується використовувати обладнання для кондиціонування повітря, яке забезпечує регулювання температури та вологості виробничого середовища. Ці заходи допоможуть створити комфортні та безпечні умови праці для виробництва деталей складної форми методами інжекційного лиття.

4.3 Аналіз освітлення

Освітлення в виробництві деталей складної форми методами інжекційного лиття є важливим аспектом охорони праці. Оптимальне освітлення впливає на продуктивність та безпеку працівників. Деякі аспекти, які слід враховувати при аналізі освітлення, включають:

- інтенсивність світла: необхідно забезпечити достатню інтенсивність освітлення у робочих зонах. Недостатнє освітлення може призвести до помилок у виробництві, зниження точності та можливих травм;
- рівномірність освітлення: освітлення повинно бути рівномірно розподілене по всій робочій зоні. Нерівномірне освітлення може створювати тіні, які ускладнюють роботу та можуть призвести до необережного поводження з матеріалами;
- кольорова температура: вибір правильної кольорової температури світла важливий для відтворення кольорів матеріалів та точного контролю якості. Неправильна кольорова температура може спотворити сприйняття кольору та вплинути на якість виробництва.

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Аналіз освітлення у виробництві деталей складної форми методами інжекційного лиття дозволить забезпечити безпеку та ефективність працівників у виробничому середовищі.

Рекомендована система освітлення для виробництва деталей складної форми методами інжекційного лиття може включати комбінацію штучного та природного світла. Для штучного освітлення рекомендується використовувати світлодіодні світильники з високою світловою віддачею, що забезпечують яскраве та рівномірне освітлення робочих зон.

Природне освітлення можна максимально використовувати, встановивши великі вікна або скляні стіни, що сприяють проникненню денного світла. Необхідно враховувати можливі блики, які можуть виникнути на робочих поверхнях через сонячне освітлення, тому рекомендується використовувати жалюзі або штори для регулювання вхідного світла.

У робочих зонах рекомендується встановити світлодіодні лампочки з кольоровою температурою близько 5000-6500 К, що відповідає природному денному світлу. Такі лампочки забезпечать високу якість кольорового сприйняття матеріалів і деталей, а також допоможуть зменшити втому та збільшити концентрацію працівників [25].

Регулювання освітлення можна здійснювати за допомогою диммерів або автоматичних систем управління освітленням, які враховують зміну природного світла протягом дня. Така система дозволить оптимізувати споживання електроенергії та забезпечити комфортне робоче середовище для працівників.

4.4 Шум та вібрація

Негативний вплив шуму та вібрації на організм людини може мати незворотні негативні наслідки на організм людини. Серед основних наслідків безперервного впливу шуму на працівника виділяють:

– Пошкодження слуху: довготривале вплив шуму на високих рівнях може спричинити постійну втрату слуху.

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

– Стрес та психологічні проблеми: постійний шум може призвести до стресу, розладів сну, зниження концентрації та психологічних проблем.

– Постійний вплив вібрації на організм людини може спричинити наступні проблеми:

– М'язово-скелетні порушення: Повторні впливи вібрації на тіло можуть призвести до захворювань опорно-рухової системи, таких як виразкова хвороба, неврити, остеоартроз тощо.

– Порушення кровообігу: Вібрація може вплинути на кровообіг, порушити мікроциркуляцію та призвести до проблем з кровоносними судинами.

Саме тому надзвичайно важливо забезпечити заходи та засоби індивідуального захисту для працівників [26], що працюють в умовах шумового навантаження та вібрації, а саме для захисту від шумового навантаження рекомендується:

– Використання засобів індивідуального захисту: навушники або наголовні навушники з шумозахисними властивостями можуть допомогти зменшити шумове навантаження на слух працівників.

– Регулярний моніторинг рівня шуму: проведення вимірювань шуму та оцінка його впливу на працівників дозволяють вживати відповідних заходів для зниження ризику.

– Для захисту від негативного впливу вібрації необхідно вжити наступних заходів:

– Використання вібраційно поглинаючих підставок: робочі столи та інші робочі поверхні можуть бути обладнані вібраційно поглинаючими матеріалами для зменшення передачі вібрації на тіло працівника.

– Регулярне переривання роботи: проведення періодичних перерв у роботі дозволяє зменшити тривалість впливу вібрації на організм.

Важливо регулярно навчати працівників про небезпеки, пов'язані з шумом та вібрацією, і надавати необхідну інформацію про заходи безпеки та використання засобів індивідуального захисту. Крім того, проведення

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

регулярних медичних оглядів може допомогти виявити можливі наслідки впливу шуму та вібрації на здоров'я працівників та прийняти відповідні заходи для їх запобігання.

4.5 Аналіз загазованості та запиленості

У процесі інжекційного лиття існує ризик потрапляння дисперсних частинок в органи дихання людини. Цей ризик виникає внаслідок наявності пилових частинок або парів, що утворюються під час технологічного процесу лиття.

Під час процесу інжекційного лиття може відбуватися розпилення рідини або розплавленого матеріалу. Це може створювати аерозольні частинки, які потрапляють у повітря та можуть бути вдихнуті працівниками. Під час обробки відпрацьованого матеріалу, який може містити пилові частинки, такі як полімерні порошки, може створюватися пил, який може бути вдихнутий працівниками. У деяких випадках, під час використання розчинників або робочих рідин, можуть утворюватися пари, які також можуть бути вдихнуті працівниками.

Потрапляння дисперсних частинок в органи дихання може мати негативний вплив на здоров'я працівників. Це може призводити до подразнення дихальних шляхів, алергічних реакцій, запалення легенів та інших захворювань дихальної системи. Для запобігання потраплянню дисперсних частинок в органи дихання рекомендуються такі заходи та засоби індивідуального захисту:

- Використання респіраторів. Працівники повинні мати доступ до відповідних респіраторів, які забезпечують захист від пилових частинок та парів. Респіратори повинні відповідати вимогам безпеки [27] та регулярно замінюватися або чиститися.

- Застосування витяжних систем. Виробничі приміщення повинні бути оснащені ефективними витяжними системами, які видаляють пил та інші

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

шкідливі речовини з повітря. Це допомагає знизити рівень дисперсних частинок у робочій зоні.

– Правильне управління відходами. Розпорядження відходами повинно включати належну обробку та утилізацію матеріалів, які можуть містити пилові частинки. Це допомагає зменшити виробничі відходи та пилову запиленість у приміщенні.

– Регулярне прибирання та очищення робочих місць. Робочі місця повинні регулярно очищуватися від пилу та інших дисперсних частинок. Це зменшує ризик потрапляння частинок в органи дихання працівників.

– Навчання та інструктаж. Працівники повинні бути навчені правильному використанню засобів індивідуального захисту, а також процедур та безпечних робочих практик, що допомагають уникнути потрапляння дисперсних частинок в органи дихання.

Ці заходи та засоби індивідуального захисту спрямовані на зменшення ризику впливу шкідливих дисперсних частинок на органи дихання працівників, забезпечуючи безпечніші робочі умови у виробничому середовищі.

4.6 Електробезпека

Додатковою особливістю електробезпеки на виробництві є необхідність враховувати специфічні умови та ризики, пов'язані з конкретними видами виробництва. Наприклад, у деяких галузях, таких як хімічна промисловість чи нафтопереробка, можуть бути присутні легкозаймисті матеріали або вибухонебезпечні середовища, що створюють додаткові ризики для електробезпеки. У таких випадках важливо застосовувати спеціальні заходи безпеки, такі як використання вибухозахищених електроустановок або встановлення систем контролю та виявлення витоку газу. Крім того, залежно від виду виробництва можуть існувати конкретні вимоги щодо

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

електробезпеки, які необхідно враховувати під час проектування, встановлення та експлуатації електрообладнання [28].

Вплив електричного струму на організм людини може мати безліч негативних наслідків і навіть призвести до смерті. Ураження струмом може спричинити травми, включаючи опіки, пошкодження нервової системи та серцево-судинної системи, м'язові спазми та параліч. Великі значення струму можуть призвести до фібриляції шлуночків серця, що може бути смертельною.

Система засобів та заходів для попередження небезпечних ситуацій від електромережі включає наступне:

- Забезпечення належного заземлення та ущільнення електричних систем та обладнання, щоб уникнути витоку струму та виникнення небезпечних напруг.
- Встановлення захисних пристроїв, таких як автоматичні вимикачі, замикання в робочих приміщеннях, що дозволяють автоматично відключати електричну мережу під час виявлення несправностей або перевантажень.
- Регулярне обстеження та технічне обслуговування електричних систем та обладнання для виявлення потенційних проблем та їх запобігання.
- Навчання працівників безпеки роботи з електроустаткуванням, включаючи правила безпеки, процедури роботи з електричними приладами та використання засобів індивідуального захисту.

Ці заходи та засоби допомагають попередити виникнення небезпечних ситуацій від електромережі та забезпечують безпеку працівників у виробничому середовищі.

4.7 Пожежна безпека

Пожежна безпека на виробництві, що використовує методи порошкової металургії, має свої особливості через наявність легкозаймистих матеріалів і потенційну вибухонебезпеку. Дотримання правил пожежної безпеки є критично важливим для запобігання пожежам та забезпечення безпеки

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

персоналу та майна. Ось кілька основних заходів та засобів, які можна рекомендувати в разі виникнення пожежної ситуації на такому виробництві:

План евакуації та навчання персоналу. Необхідно розробити план евакуації (рис. 4.2), який включає маршрути евакуації, місця збору і процедури відліку працівників. Персонал повинен бути навчений процедурам евакуації та використанню вогнегасників.

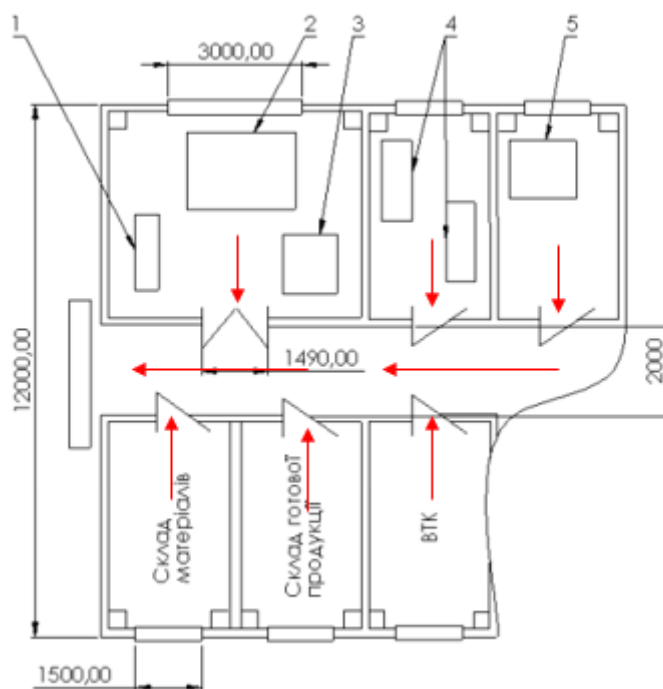


Рисунок 4.2 – План евакуації з виробничої дільниці

Вогнегасники. Слід забезпечити наявність вогнегасників відповідного типу та відповідної ємності, які підходять для гасіння пожеж на основі порошкової металургії [29]. Працівники повинні бути навчені користуватися ними та знати місцезнаходження кожного вогнегасника.

Системи автоматичного пожежогасіння. Необхідно встановити системи автоматичного пожежогасіння, які виявляють пожежу і автоматично включають систему гасіння. Оптимальним варіантом може бути система, що використовує газові гасильники, які швидко гасять пожежу, не завдаючи шкоди обладнанню.

Відокремлення від джерел запалення. Варто уникати розміщення вогнегасників та горючих матеріалів поруч з джерелами запалення, такими як електричне обладнання, сполуки, що можуть загорітися тощо.

Регулярні перевірки та обслуговування. Рекомендовано проводити регулярні перевірки пожежних систем, вогнегасників та автоматичних сповіщувачів про пожежу, щоб переконатися, що вони працюють належним чином, а також забезпечувати своєчасне обслуговування та ремонт у разі виявлення проблем.

Виробничі площі та вентиляція. Важливо забезпечити належну вентиляцію виробничих приміщень, щоб уникнути накопичення пилу або парів, які можуть створювати вибухонебезпеку. Слід розмістити пилозбірники та системи очищення повітря для зменшення кількості легкозаймистих матеріалів у приміщенні.

Системи пожежної сигналізації. Рекомендовано встановити надійну систему пожежної сигналізації, яка автоматично виявляє пожежу і сповіщає персонал про неї. Це допоможе вчасно реагувати на пожежну ситуацію та уникнути поширення вогню.

Запропоновані заходи допоможуть забезпечити пожежну безпеку на виробництві, що використовує методи порошкової металургії, та допоможуть ефективно реагувати в разі виникнення пожежної ситуації.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

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

6.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників

Методика розрахунків планової чисельності працівників окремих категорій визначається специфікою їхньої роботи та галузевими особливостями функціонування підприємства. Для визначення загальної чисельності промислово-виробничого персоналу на плановий період використовують метод коректування базової чисельності або метод розрахунку планової чисельності на підставі повної трудомісткості виготовлення продукції. Чисельність працівників, зайнятих на нормованих роботах ($\text{Ч}_{\text{р.н}}^{\text{пл}}$), розраховують за формулою:

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

де n – кількість найменувань продукції;

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

m_i – кількість продукції i -го виду, одиниць;

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	ОРГАНІЗАЦІЙНО- ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Широкоступ Ю.					
Перевір.		Солодкий С. В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л. О.					
Затверд.		Богомол Ю. І.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						57	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

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

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

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

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

де m_0 – кількість обслуговуваних об'єктів;

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

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

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

Таблиця 6.1 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

Показники	Планові значення
Кількість календарних днів	365
Вихідні та святкові дні	109
Час на планово-попереджувальний ремонт, днів	10
Номінальний фонд робочого часу, днів	246
Невиходи на роботу, днів з них:	26
відпустки	20
захворювання	4
дозволені законом	1
з дозволу адміністрації	0,5
прогули	0,5
Явочний робочий час, днів	220
Середня тривалість робочого дня, год	7,9
Внутрішньозмінні втрати робочого часу та простої, год	0,3
Робочі години	7,6
Ефективний фонд робочого часу за рік, год	1672

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 6.2 – Чисельність основних і допоміжних робітників цеху (дільниці)

Професія, спеціальність	Квалфіка- ційний розряд	Явочна чисельність по змінах			Загалом на добу	Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову	Облікова чисельність
		1-а	2-а	3-а			
Основні робітники							
Оператор змішувача	4	1	-	-	1	1,12	2
Оператор екструдера	4	1	-	-	1	1,12	2
Фахівець з термообробки	5	2	-	-	2	1,12	3
Разом		4			4		7
Допоміжні працівники							
Контролер ВТК	5	1	-	-	1	1,12	2
Завідуючий складом готової продукції	4	1	-	-	1	1,12	2
Завідуючий складом матеріалів	4	1	-	-	1	1,12	2
Разом		3			3		6
Усього робітників		7			7		13

6.2 Визначення фондів заробітної плати

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

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

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 6.3 – Типова тарифна сітка робітників різногалузевих підприємств та організацій

Показник	Тарифні розряди							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Тарифні коефіцієнти	1,0	1,088	1,204	1,350	1,531	1,800	1,892	2,0

Згідно державного бюджету України на 2023 рік мінімальна заробітна плата становить: у місячному розмірі – 6 700 грн, у погодинному розмірі – 40,46 грн. Так, якщо на підприємстві тарифну ставку для першого розряду встановлено на рівні 40,46 грн, то ставка другого розряду становитиме $40,46 \times 1,088 = 44,03$ грн, третього розряду $40,46 \times 1,204 = 48,72$ грн і т. д. Розрахунок фондів зарплати управлінського та обслуговуючого персоналу наведено у таблиці 6.4, а основних і допоміжних робітників у таблиці 6.5.

Таблиця 6.4 – Розрахунок фонду заробітної плати управлінського та обслуговуючого персоналу

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посадовий оклад, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
1	2	3	4
Керівники			
Директор виробництва	1	40000	480000
Разом			480000
Спеціалісти			
Провідний інженер-технолог	1	30000	360000
Провідний інженер термообробки з	1	25000	300000
Разом			660000
Службовці та молодший обслуговуючий персонал (МОП)			
Бухгалтер	1	20000	240000
Прибиральник	1	10000	120000
Разом			360000
Усього по цеху (дільниці)			1 500 000

6.3 Розрахунок продуктивності праці

Продуктивність праці, яка відображає ефективність роботи трудового колективу, розраховують як відношення річного обсягу виробництва до облікового складу всіх працівників цеху (робітників, управлінського персоналу та обслуговуючого персоналу).

Таким чином, продуктивність праці Π – це річний обсяг продукції, виготовленої з розрахунку на одного працівника цеху:

$$\Pi = \frac{G}{\sum \text{Ч}},$$

де G – обсяг продукції, виготовленої цехом (дільницею) за рік, шт;

$\sum \text{Ч}$ – чисельність працівників усіх категорій (робітників, управлінського та обслуговуючого персоналу).

Річний обсяг робіт вимірюють за допомогою різних показників. Це можуть бути натуральні або умовно-натуральні показники: штуки, комплекти, тонни тощо. Використовують також вартісні (у гривнях) та трудові (у нормо-годинах) показники.

Для даного проекту:

$$\Pi = \frac{100\,000}{18} = 5555,56 \frac{\text{шт}}{\text{особу}}$$

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.5 – Розрахунок фонду заробітної плати основних і допоміжних робітників

Професія, спеціальність	Кваліфіка- ційний розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Обліковий склад, осіб	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітна плата, грн. (3×6)	Розрахунок додаткової заробітної плати, грн					Загальний фонд заробітної плати, грн. (7+12)
				Одного робітника	Усіх		Надбавки та доплати				Разом (8+9+ 10+11)	
							Премії (40% від основ- ної заробіт- ної плати)	За роботу в особливих умовах (18%)	Оплата відпусток (12%)	Інші доплати та надбавки (10%)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Основні (технологічні) робітники												
Оператор змішувача	4	54,62	2	1672	3344	182649,28	73059,71	32876,87	21917,91	18264,93	146119,42	328768,70
Оператор екструдера	4	54,62	2	1672	3344	182649,28	73059,71	32876,87	21917,91	18264,93	146119,42	328768,70
Фахівець з термообробки	5	61,94	3	1672	5016	310691,04	124276,42	55924,39	37282,92	31069,10	248552,83	559243,87
Разом						675989,60					540791,68	1216781,28
Допоміжні (обслуговуючі) робітники												
Контролер ВТК	5	61,94	2	1672	3344	207127,36	82850,944	37282,925	24855,283	20712,736	165701,89	372829,248
Завідуючий складом готової продукції	4	54,62	2	1672	3344	182649,28	73059,712	32876,87	21917,914	18264,928	146119,42	328768,704
Завідуючий складом матеріалів	4	54,62	2	1672	3344	182649,28	73059,712	32876,87	21917,914	18264,928	146119,42	328768,704
Разом						572425,92					457940,74	1030366,66
Усього по цеху (виробничій дільниці)						1248415,52					998732,42	2247147,94

6.4 Розрахунок капітальний вкладень

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

Приклад розрахунку капіталовкладень в обладнання та підйомно-транспортувальні засоби наведено у табл. 6.6. Для розрахунку вартість транспортування обладнання, його монтажу і налагодження беруть у розмірі 10–25 % від його ціни.

Таблиця 6.6 – Розрахунок капітальних вкладень в обладнання

Найменування устаткування, його модель або технічна характеристика	Кількість, одиниць	Вартість за одиницю, тис. грн	Загальна вартість, тис. грн	Витрати на транспортування та монтаж, тис. грн	Усього, тис. грн
Основне технологічне устаткування					
Екструдер PSHJ-75	1	741	741	111,15	852,15
Високотемпературна камера EBO120/1,5	1	256	256	38,4	294,4
Піч Cremer MIM-Master Neo 10XL	1	1150	1150	172,5	1322,5
Піч Nabertherm HTK 70/16	4	1340	5360	804	6164
Разом основне технологічне устаткування					8633,05
Допоміжне та підйомно-транспортне устаткування					
Платформовий візок	2	6	12	1,2	13,2
Разом допоміжне та підйомно-транспортне устаткування					13,2
Загалом по цеху (виробничій дільниці)					8646,25

Обсяг капіталовкладень у виробничі будівлі та споруди визначають. Виходячи з площі цеху й усереднених нормативів вартості будівельних конструкцій і промислових проводок (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 – Усереднені ринкові ціни на елементи будівельно-монтажних робіт

Елементи будівельно-монтажних робіт	Вартість, грн/м ³	Загальна вартість, тис. грн.
1. Виробничі будівлі	2500	8280
2. Водопостачання виробничих приміщень	30	99,36
3. Каналізація виробничих приміщень	25	82,8
4. Електропроводка виробничих приміщень	50	165,6
5. Вентиляція виробничих приміщень	70	231,84
6. Зовнішній благоустрій	50	50
7. Невраховані витрати	500	50
Загальна вартість будівлі		8959,6

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

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

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

де M_d – середньодобове споживання сировини та матеріалів, грн;

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

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

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

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

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

Після цього розраховують загальні капітальні вкладення в об'єкт, що проектується (табл. 6.8).

Таблиця 6.8 – Розрахунок загальних капітальних вкладень

Елементи капіталовкладень	Сума	
	тис. грн.	%
1. Виробнича будівля	8959,6	50,18
2. Устаткування		
2.1. Основне технологічне	8633,05	48,35
2.2. Допоміжне та підйомно-транспортне	13,2	0,07
3. Норматив оборотних засобів	250	1,40
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	17855,9	100%

6.5 Визначення планової собівартості одиниці продукції

Для визначення планової собівартості продукції на підприємствах, як правило, складають планові та фактичні калькуляції. Перші розраховують за плановими нормами витрат, другі – за їх фактичним рівнем. Складання калькуляцій передбачає

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення об'єкта калькулювання, вибір калькуляційних одиниць, калькуляційних статей витрат та методики обчислення.

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

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

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

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

- а) сировина та матеріали (за вирахуванням зворотних відходів);
- б) паливо та енергія на технологічні цілі;
- в) основна заробітна плата технологічних робітників;
- г) додаткова заробітна плата технологічних робітників;
- д) єдиний соціальний внесок;
- е) витрати на утримання та експлуатацію устаткування;
- ж) загальновиробничі витрати;
- з) загальногосподарські витрати;
- и) витрати на підготовку та освоєння виробництва;
- к) поза виробничі витрати (на збут продукції, на маркетинг).

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

Під час калькулювання прямі витрати обчислюються безпосередньо на калькуляційну одиницю згідно з чинними нормами й цінами. Для непрямих витрат (утримання та експлуатація устаткування, загальновиробничі та ін.) спочатку

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складають кошторис на певний період, після чого витрати розподіляють між різними виробами чи видами продукції.

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

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

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

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

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

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

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

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

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

Норматив витрат на цю статтю встановлюється кожним підприємством у відсотках до статті «Основна заробітна плата технологічних робітників». Для підприємств порошкової металургії витрати можуть становити 150 %.

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

- амортизація основних засобів та нематеріальних активів загальновиробничого призначення;

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

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

- витрати на удосконалення технології та організації виробництва;

- витрати на освітлення, опалення, водопостачання виробничих приміщень;

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

Величину витрат по вказаній статті калькуляції розраховують у відповідності до нормативу, прийнятого на підприємстві-аналогу. У разі відсутності таких даних загальновиробничі витрати встановлюють на рівні 110 % від величини статті «Основна заробітна плата технологічних робітників».

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

- на підготовку та освоєння нової продукції;

- на освоєння нових технологічних процесів;

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

- на винахідництво і раціоналізацію та деякі інші.

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Норматив вказаних витрат встановлюють за даними підприємства-аналога, а у разі їх відсутності на рівні 40 % від величини статті «Основна заробітна плата технологічних робітників».

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

- відшкодування вантажно-розвантажувальних, складських, пакувальних, транспортних і страхових витрат;
- витрати на гарантійний ремонт та гарантійне обслуговування;
- сплата експортного мита, митних зборів тощо.

Величину витрат по цій статті визначають у відсотках до виробничої собівартості (сума 9-ти перших статей калькуляції). Вони становлять близько 5–10 %. На основі виконаних розрахунків складається планова калькуляція собівартості продукції (табл. 6.9).

Таблиця 6.9 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Найменування статей витрат	Одиниця виміру	Кількість на річну програму	Ціна за одиницю, грн	Витрати на річну програму
1. Сировина та матеріали				
1.1. Catamold 42CrMo4 гранули	кг	27000	450	12150000
1.2. Азотна кислота	л	150	50	7500
1.3 Азот газоподібний	л	1600	80	128000
2. Паливо та енергія на технологічні цілі (енергоносії)				1542511,96
3. Основна заробітна плата технологічних робітників				675989,60
4. Додаткова заробітна плата технологічний робітників				540791,68
5. Єдиний соціальний внесок				494372,546
6. Утримання та експлуатація устаткування				1013984,4
7. Загальновиробничі витрати				743588,56
8. Загальногосподарські витрати				675989,60
9. Витрати на підготовку та освоєння виробництва				270395,84
Виробнича собівартість річної програми				27993624,2
10. Позавиробничі витрати				1399681,21
Повна собівартість річної програми				41678805,4

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

$$C_{\pi} = \frac{41\,678\,805,21}{100\,000} = 416,79 \text{ грн/шт}$$

6.6 Розрахунок показників економічної ефективності проектного рішення

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

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

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

$$t = \frac{Ч_{\text{ос}} \cdot \Phi_{\text{еф}}^{\text{пл}}}{G} = \frac{7 \cdot 1672}{100\,000} = 0,12 \frac{\text{норма-годин}}{\text{шт}},$$

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

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

G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$K_G = \frac{K_{\text{заг}}}{G} = \frac{17\,855\,900}{100\,000} = 178,56 \frac{\text{грн}}{\text{шт}}$$

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

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

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

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

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

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

$$\Gamma\Pi_p = 0,82 \cdot (210 - 178,56) \cdot 100\,000 + 1\,312\,600 = 3\,887\,400$$

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

Ц – ринкова ціна одиниці продукції, грн;

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

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

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна річна сума амортизаційних відрахувань розраховується, виходячи з вартості основних засобів по 16-ом групам та передбаченого мінімального терміну їхньої експлуатації (табл. 6.10).

Таблиця 6.10 – Групи основних засобів та мінімальні терміни їхньої експлуатації

Об'єкт амортизації	Вартість, тис. грн.	Річна норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, тис. грн.
Будівля	8959,6	5	447,98
Обладнання	8646	10	864,6
Всього			1312,6

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

$$P_{\text{ок}} = \frac{17\,855\,900}{3\,887\,400} = 4,6 < P_{\text{ок}}^{\text{н}}$$

Економічна частина проекту закінчується складанням зведеної порівняльної таблиці основних техніко-економічних показників об'єкта, що проектується. Перелік типових порівняльних техніко-економічних показників наведений у таблиці 6.11.

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

Таблиця 6.11 – Порівняльні техніко-економічні показники спроектованого об'єкта

Найменування показників	Одиниця виміру	Спроектоване виробництво
1. Річний плановий обсяг виробництва продукції (G)	шт	100 000
2. Загальна площа цеху (дільниці)	м ²	828
3. Виробнича площа цеху (дільниці)	м ²	320
4. Капіталомісткість продукції (K_G)	$\frac{\text{грн}}{\text{шт}}$	178,56
5. Загальна чисельність у тому числі:	осіб	
основний (технологічний) персонал		7
допоміжний (технологічний) персонал		6
управлінський та обслуговуючий персонал		5
6. Загальний річний фонд заробітної плати	грн	2247147,94
7. Середньомісячна заробітна плата одного працівника	грн	14400
8. Річний виробіток на одного працівника (продуктивність праці)	$\frac{\text{шт}}{\text{особу}}$	5555,56
9. Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{\text{нормо} - \text{годин}}{\text{шт}}$	0,12
10. Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{\text{грн}}{\text{шт}}$	178,56
11. Період окупності ($P_{ок}$)	років	4,6

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті було проведено аналіз сучасного стану виробництва порошкових деталей методами інжекційного формування . Продуктивність виробництва складає 100 000 дет/рік.

У технологічному розділі дипломного проєкту проведено вибір матеріалу та технології виробництва деталі типу фіксатор. Як вихідний матеріал обрано порошкову сталь складу Fe – 97,4–98,1 %, Cr – 0,9–1,2 %, Mo – 0,15–0,3 %, C – 0,35–0,45 %. Дана сталь після термічної обробки дозволяє отримати підвищені показники міцності, твердості та зносостійкості, які є домінуючими параметрами для деталей машинобудування. Серед про описаних технологій виробництва деталей складної форми обрано метод інжекційного формування. Даний метод володіє високою продуктивністю виробництва та забезпечує належний комплекс властивостей деталей. Проведено розрахунок матеріального балансу виробництва, відповідно до якого встановлені матеріальні витрати на проведення виробничого процесу та підібрано відповідне обладнання. Спеціальний розділ містить модельні дослідження процесу гартування сталей відповідно до моделей Леброна-Дево та Койстінен-Марбурга. Розроблено будівельний розділ, що складається з обґрунтування розташування вибраного обладнання в будівлі цеху, характеру його розміщення.

У розділі охорони праці проаналізовано можливі види небезпек та розроблено заходи безпеки виробництва.

Розроблено організаційно-економічний розділ, де проведено розрахунки щодо доцільності даного проєкту, кількості працівників цеху та фонд їхньої заробітної плати. Розрахований термін окупності спроектованого виробництва складає 4,6 роки, що вказує на високу ефективність.

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.	Широкоступ Ю.						
Перевір.	Солодкий С. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						75	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

CONCLUSIONS

In the diploma project, an analysis of the current state of production of powder parts by injection molding methods was carried out. Production productivity is 100,000 pieces/year.

In the technological section of the diploma project, the selection of material and technology for the production of a fastener-type part was carried out. Powdered steel with a composition of Fe – 97,4–98,1 %, Cr – 0,9–1,2 %, Mo – 0,15–0,3 %, C – 0,35–0,45 % was chosen as the starting material. . This steel after heat treatment allows to obtain increased strength, hardness and wear resistance, which are the dominant parameters for mechanical engineering parts. Among the described technologies for the production of parts of complex shape, the method of injection molding was chosen. This method has high production productivity and provides an appropriate set of properties of parts. The material balance of production was calculated, according to which the material costs for the production process were established and the appropriate equipment was selected. A special section contains model studies of the hardening process of steels according to the Lebron-Devaux and Koistinen-Marburg models. The construction section has been developed, which consists of the justification of the location of the selected equipment in the shop building, the nature of its placement.

In the labor protection section, possible types of hazards were analyzed and production safety measures were developed.

An organizational and economic section was developed, where calculations were made regarding the feasibility of this project, the number of shop employees and their salary fund. The calculated payback period of the planned production is 4.6 years, which indicates high efficiency.

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	CONCLUSIONS		
Розроб.	Широкоступ Ю.						
Перевір.	Солодкий Є. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						76	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук : Підручник / А. М. Степанчук. – Київ : НТУУ "КПІ", 2006. – 353 с.
2. Гропянов А. В. Порошковые материалы : учебное пособие / А. В. Гропянов, Н. Н. Ситов, М. Н. Жукова. – Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 74 с.
3. Степанчук А. М. Інженерне матеріалознавство / А. М. Степанчук, А. В. Мініцький. – Київ : НТУУ "КПІ", 2010. – Ч. 1. Пресування, спікання, технологія. – 112 с.
4. Сердюк Г. Г. Технология порошковой металлургии.: Учеб.пособие / Г. Г. Сердюк, Л. И. Свистун. – Краснодар; Изд. ГОУВПО «КубГТУ», 2005. – Ч.1. Порошки – 240 с.
5. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области и применения: Справочник / И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельський [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1985. – 624 с.
6. Степанчук А. Н. Технология порошковой металлургии / А. Н. Степанчук, И. И. Билык, П. А. Бойко. – Киев : "Вища шк.", 1989. – 415 с.
7. Довыденков В. А. Получение металлических деталей методом формования и спекания металлополимерных композиций / В. А. Довыденков, М. А. Крысь, Г. П. Фетисов // Технология металлов. – 2008. – № 6. – С. 28 – 32.
8. Пархоменко А. В. Наукоёмкая технология инжекционного порошкового формования металлических деталей (МИМ-технология) / А. В. Пархоменко, А. П. Амосов, А. Р. Самбурок // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – Т. 12. – № 18. – С. 8 – 13.

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ		
	Дата	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ		
Розроб.	Широкоступ Ю.						
Перевір.	Солодкий Є. В.						
Реценз.							
Н. Контр.	Бірюкович Л. О.						
Затверд.	Богомол Ю. І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						77	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-зп01		

9. Semenov, A. B. Next-generation casting technologies and their adaptation and development in Russia: I. At the beginning of a new technological paradigm / A. B. Semenov, A. E. Gavrilenko, B. I. Semenov // Russian metallurgy (Metally). – 2016. – № 13. – P. 1231 – 1240.

10. Moritz, T. Current status of ceramic injection moulding / T. Moritz, R. Lenk // Bröll GmbH & Co. KG. – 2009. – 110 p.

11. Семенов, А. Б. Литейные технологии нового поколения, их освоение и развитие в России. Ч.1. У истоков новой технологической парадигмы / А. Б. Семенов, А. Э. Гавриленко, Б. И. Семенов // Технология металлов. – 2016. – № 4. – С. 13 – 25.

12. Семенов, А. Б. Thixo- и PIM технологии в современном двигателестроении / А. Б. Семенов, А. Н. Муранов, Б. И. Семенов // Грузовик. – 2017. – Т. 10. – С. 3 – 6.

13. Moritz, T. Ceramic injection moulding: a review of developments in production technology, materials and applications / T. Moritz, R. Lenk // Powder Inject Mould Int. – 2009. – Vol. 3. – № 3. – P. 23 – 34.

14. Influence of powder size on the moldability and sintered properties of irregular iron-based feedstock used in low-pressure powder injection molding / Tafti A. A., Tay B. Y., Liu L. D., Khor K. A. // Powder Technology. – Vol. 420. – 2023. P. 118–135.

15. 1. Heaney D. F. Handbook of metal injection molding / D. F. Heaney. – Sawston : Woodhead Publishing. – 2012. – 586 p.

16. Randall M. German. Powder Injection Molding Design & Applications / Randall M. German. – Wayland : Innovative Materials Solutions, 2003. – 259 p.

17. Mass production of superhydrophilic micropatterned copper surfaces using powder injection molding process / Cho Hanlyun, Park Jae Man, Kim Jong Hyun [et. al] // Powder Technology. – 2022. – Vol. 411. – 119 p.

18. Сердюк Г. Г. Технология порошковой металлургии. / Г. Г. Сердюк, Л. И. Свистун. – Краснодар : Изд. Куб., 2005. – Часть 2. Формование порошков – 160 с.

					ФНзп01.0103.4203.02.01ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

19. Сталь молибденовая порошковая. Технические условия [Текст] : ГОСТ 13610-79 – [Введён с 01.01.1980]. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. – 42 с.

20. Кислоты и реактивы. Технические условия [Текст]: ГОСТ 18300-87 – [Введён с 01.07.1988]. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 57 с.

21. Кислоты газовые. Технические условия [Текст]: ГОСТ10779-78 – [Введён с 01.01.1980]. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. – 39 с.

22. Кипарисов С. С. Оборудование предприятий порошковой металлургии: Учеб. для вузов / С. С. Кипарисов, О. В. Падалко. – Москва : Металлургия, 1988. – 148 с.

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

24. Документація. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 14 с.

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

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

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

28. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. – Чинний з 20.02.1998. – Київ : Державний комітет України з нагляду за охороною праці, 1998. – 22 с.

					ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

29. Установки автоматичні аерозольного пожежогасіння. Проектування, монтування та експлуатування : ДСТУ 4490:2005. – [Чинний з 2006-07-01]. – Київ : Міністерство надзвичайних ситуацій України, 2006. – 4 с.

					<i>ФН9119.4203.02.01.001 ПЗ</i>	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

[illegible]

[illegible]

