

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

«__» _____ 2022 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Виробництво компонентів ендопротезів суглобів з порошкових
матеріалів»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ФН-81

Чернета Зореслава Євгеніївна _____

Керівник:

асистент, к.т.н. Соловйова Т.О. _____

Консультант з економічно-організаційного розділу:

доцент, к. е. н. Нараєвський С. В. _____

Консультант з охорони праці:

зав. кафедри ОПЦБ, професор, д. т. н.

Левченко О.Г. _____

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Л. О. _____

Рецензент:

д.т.н., проф. Смірнов І.В. _____

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

Студентка

Київ – 2022 року

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Виробництво компонентів ендопротезів
суглобів з порошкових матеріалів»

Київ – 2022 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

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Чернета Зореслава Євгеніївна

1. Тема проєкту «Виробництво компонентів ендопротезів суглобів з порошкових матеріалів», керівник проєкту Соловійова Тетяна Олександрівна, асистент к.т.н., затверджені наказом по університету від «_09_»_____06_____ 2022 р. №992 -с
2. Термін подання студентом проєкту 02.05.2022р.
3. Вихідні дані до проєкту
4. Зміст пояснювальної записки
 - а) літературний огляд:
 - провести аналіз літературних даних, сучасного стану виробництва ендопротезів з трабекулярною структурою;
 - провести вибір матеріалу для виготовлення кульшового протеза;

- обрати технологічну схему виготовлення.

б) технологічний розділ:

- провести розрахунок матеріально балансу матеріалів;
- згідно обраній технологічній схемі та розрахованому матеріальному балансу, розрахувати та підібрати оптимальний тип та кількість обладнання;
- розробити план ділянки та розміщення обладнання.

в) будівельний розділ:

- провести аналіз габаритних розмірів і вимог до розміщення;
- спроектувати будівлю ділянки.

г) спеціальний розділ:

- провести моделювання деформації пористої структури;
- порівняти вплив товщини стінки елементарної комірки на величину деформації титанового сплаву;
- визначити залежність деформації від навантаження при збільшенні кількості елементарних комірок.

в) охорона праці:

- провести аналіз шкідливих та небезпечних факторів виробництва;
- розробити заходи охорони праці, щодо унеможливлення травматизму та захворювання працівників;
- провести аналіз приміщень на відповідність санітарним нормам.

г) організаційно-економічний розділ:

- визначити чисельність основних та допоміжних робітників;
- розрахувати фонд заробітної плати;
- визначити рентабельність та капіталізацію проекту.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) а) план ділянки; б) апаратурно-технологічна схема; в) презентація.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературний огляд сучасного стану виготовлення кульшових ендопротезів	02.05.2022	
2	Вибір матеріалу та технології	09.05.2022	
3	Розрахунок матеріально-технічного балансу	16.05.2022	
4	Вибір обладнання	18.05.2022	
5	Проектування ділянки	21.05.2022	
6	Розробка апаратурно-технологічної схеми	23.05.2022	
7	Моделювання деформації пористої структури	25.05.2022	
8	Аналіз шкідливих та небезпечних факторів виробництва. Розробка ключових заходів охорони праці на виробництві.	27.05.2022	
9	Розрахунок штату працівників. Визначення фондів заробітної плати. Оцінка капіталізації та рентабельно-сті проєкту.	02.06.2022	
10	Оформлення результатів та написання пояснювальної записки	12.06.2022	

Студент

Зореслава ЧЕРНЕТА

Керівник

Тетяна СОЛОВЙОВА

РЕФЕРАТ

Проект складається із пояснювальної записки, що має: стор. – 97, рис. - 19, табл. - 30, літ. – 40 і графічної частини із 3 креслень.

АЦЕТАБУЛЯРНА ЧАШКА, ЕЛЕКТРОННО – ПРОМЕНЕВЕ ПЛАВЛЕННЯ, ЕНДОПРОТЕЗИ, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ТИТАНОВІ ПОРОШКИ.

У проєкті проаналізовано сучасний стан виробництва кульшового ендопротезу, їх різновиди, методи отримання. На підставі аналізу вибрано титановий порошок Ti-6Al-4V для виробництва даної деталі та технологічну схему виробництва.

Метою дипломного проєкту є проектування дільниці з виробництва ендопротезів з порошкових матеріалів, продуктивністю 10 000 шт/рік.

Проведено розрахунки матеріального балансу, розраховано необхідну кількість вихідних матеріалів, визначено кількість необхідного технологічного обладнання. Вибране обладнання відповідає сучасним вимогам до обладнання виробництв порошкової металургії та забезпечує задану продуктивність виробництва.

Проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори виробництва, розроблено заходи, щодо унеможливлення травматизму працівників, та виникнення надзвичайних ситуацій на виробництві.

Розраховано необхідну для забезпечення технологічного процесу чисельність персоналу та середню заробітну плату і доведено, що виробництво, яке проектувалось має є економічно – ефективним з терміном окупованості 2 роки і 4 місяці.

.

РЕФЕРАТ

The project is compiled from an explanatory note, which may: p. - 96, fig. - 19, tabl. - 30, sours. – 42 graphic parts from 3 draws.

ACETABULAR CUP, ELECTRON BEAM MELTING, ENDOPROSTHESES, POWDER METALLURGY, TITANIUM POWDERS.

The project analyzes the current state of the production of hip endoprosthesis, their varieties, methods of production. Based on the analysis, titanium powder Ti-6Al-4V was selected for the production of this part and the production flow diagram.

The purpose of the diploma project is to design a manufacturing site for the production of endoprostheses from powder materials, with a capacity of 10,000 pcs / year.

Calculations of the material balance have been carried out, the required amount of raw materials has been calculated, and the amount of necessary technological equipment has been determined. The selected equipment meets modern requirements for powder metallurgy equipment and ensures productivity.

Dangerous and harmful production factors of production are analyzed, measures are developed to prevent injuries to workers and the occurrence of emergencies at work. The number of personnel required to ensure the technological process and the average salary are calculated, and it is proved that the designed production is cost-effective with a payback period of 2 years and 4 months.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	10
1.1 Вибір і обґрунтування технологічного процесу	10
1.1.1 Вибір матеріалу	10
1.1.2 Вибір технологічної схеми.....	12
1.1.2.1 Нанесення покриттів на литі деталі	17
1.1.2.2 Адитивні методи	20
1.2 Опис технологічного процесу.....	23
1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції в технічних умовах на неї.....	23
1.2.2 Обґрунтування основних видів сировини.....	23
1.2.3 Опис технологічних операцій.....	24
1.2.3.1 Підготовка порошку	24
1.2.3.2 Схема технологічного процесу ЕВМ.....	24
1.2.3.3 Механічна обробка	30
1.2.3.4 Мийка деталі	31
1.2.3.5 Технологічний контроль якості продукції	31
1.3 Розрахунок і складання матеріального балансу	32
1.4 Вибір і розрахунок кількості обладнання.....	39
1.4.1 Обладнання для сушки порошку.....	39
1.4.2 Обладнання для просіву порошку.....	41

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ			
Розроб.		Чернета З. Є.						
Перевір.		Соловйова Т.О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.						
Затверд.					Лім. Арк. Акрушіє			
					8 2			
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81			

1.4.3 Обладнання для електронно – променевого плавлення	42
1.4.4 Обладнання для механічної обробки	43
1.4.5 Обладнання для мийки деталі	45
2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	46
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	47
4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Характеристики ділянки	51
4.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів	55
4.3 Заходи забезпечення охорони праці.....	58
4.4 Пожежна безпека.....	61
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	63
5.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників.....	65
5.2 Визначення фондів заробітної плати	68
5.3 Розрахунок продуктивності праці	72
5.4 Розрахунок капітальний вкладень.....	72
5.5 Визначення планової собівартості одиниці продукції	76
5.6 Розрахунок показників економічної ефективності проєктного рішення.....	82
ВИСНОВКИ.....	86
CONCLUSIONS	87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	88
ДОДАТКИ.....	94

ВСТУП

Протягом десятиліть технологічний процес і висока конкуренція в області традиційних операцій промисловості все більше досягає своїх меж, тоді як адитивне виробництво відкриває нові можливості для інноваційного процесу та впровадження абсолютно нових властивостей кінцевого виробу [1].

У сучасних умовах при виробництві виробів необхідно прагнути до підвищення ефективності на всіх стадіях виготовлення і використання продукції. Цю задачу вирішує порошкова металургія, яка дозволяє вести безвідходне виробництво, зберігати енергію і матеріали, скорочувати трудові витрати, забезпечує охорону навколишнього середовища та дозволяє розв'язати ряд екологічних проблем. На сучасному етапі розвитку економіки України роль порошкової металургії оцінюється неоднозначно. З одного боку, при виготовленні деталей конструкційного призначення вона втрачає свої позиції через значну енергоємність отримання вихідної сировини - порошків. З другого боку, при виготовленні виробів з унікальними властивостями її роль зростає і в багатьох випадках це єдино можливий шлях їх отримання

3D-друк має багато переваг у порівнянні з традиційними та нетрадиційними технологіями виробництва з точки зору зниження витрат, свободи проектування складних деталей, виробництва в один крок та стійкості. Адитивне виробництво – це технологія пошарового виробництва, що скорочує процес механічної обробки. Цей процес безпосередньо створює компоненти до їхньої остаточної форми з меншими втратами матеріалу та досягненням необхідних геометричних розмірів. Компоненти, отримані 3D-друком, знаходять все більш широке застосування в таких областях, як аерокосмічна, структурна, біомедична галузі, виготовлення складних компонентів тощо. З перерахованих областей використання, 3D-друку приділяється найбільше уваги

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловйова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушіє
						10	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

в біомедицині завдяки гнучкому рішенню у виробництві економічно ефективних, швидких хірургічних інструментів та специфічних для пацієнта біоімплантатів. Він використовується не тільки для відновлення або виготовлення тканин людського тіла, таких як зубні імплантати, штучна печінка, штучні серцево-судинні системи та ортопедичні імплантати, а також для виготовлення медичних електронних і мікрорідких пристроїв [2].

Через невідповідність механічних властивостей металевих імплантатів або органів виникає екранування напружень. Це неодноразово призводить до резорбції органу або його частини та відторгнення імплантату. Відмова пов'язана з тим, що їх виготовляють за допомогою традиційних виробничих процесів. Таким чином, розробка технології 3D-друку стала життєздатною альтернативою для виготовлення протезів із контрольованою міцністю та пористістю, відповідними властивостями кісток та органів, що знижує шанси виникнення напружень.

Розробка високопористих поверхонь і каркасів для імітації так званої трабекулярної структури губчастої кістки (мережа губчастої тканини, яка знаходиться, наприклад, в основі кісток), представляє великий інтерес, і його успішне застосування продемонстровано клінічними дослідженнями [3].

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вибір і обґрунтування технологічного процесу

1.1.1 Вибір матеріалу

Ортопедичні імпланти вимагають високої якості, адже зазнають великих труднощів під час використання. Головними вимогами для певного матеріалу виступають циклічні навантаження, ковзний знос і структура тіла людини. Одним із важливих факторів успіху протезних імплантатів є остеоінтеграція, що відповідає за довготривалу фіксацію протезу. Хороша реакція кісток зменшує ризик відшарування або ослаблення імплантату. Однак успіх кісткової реакції в процесах остеоінтеграції значною мірою залежить від властивостей поверхні застосованого матеріалу [4].

Матеріали ортопедичних імплантів мають володіти наступними характеристиками:

- а) високою біосумісністю (біологічно інертний матеріал не викликає побічних клінічних проявів);
- б) корозійною стійкістю (здатність матеріалів чинити опір корозії);
- в) біоінертністю (хімічно інертний матеріал, який не викликає побічних клінічних проявів);
- г) немагнітністю (власне магнітне поле матеріалу відсутнє);
- д) низькою теплопровідністю (коефіцієнт теплопровідності має кореляцію з малим відхиленням до біологічних тканин);
- е) малими термічними деформаціями (коефіцієнт лінійного термічного розширення малий);
- ж) відсутністю токсичності (показник безпеки в медицині) [5].

На сьогоднішній день в Україні практично відсутні виробництва з виготовлення компонентів імплантів кульшового суглобу, тому доводиться

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловйова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						12	36
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

використовувати зарубіжні аналоги, що в свою чергу, підвищує ціну самого виробу.

Операція по заміні суглоба має на увазі дві методики установки даного протеза: механічний чи цементний. Сучасні ендопротези кульшового суглоба виготовляються зі сплавів титану, кобальт-хрому, кераміки та особливо міцної пластмаси.

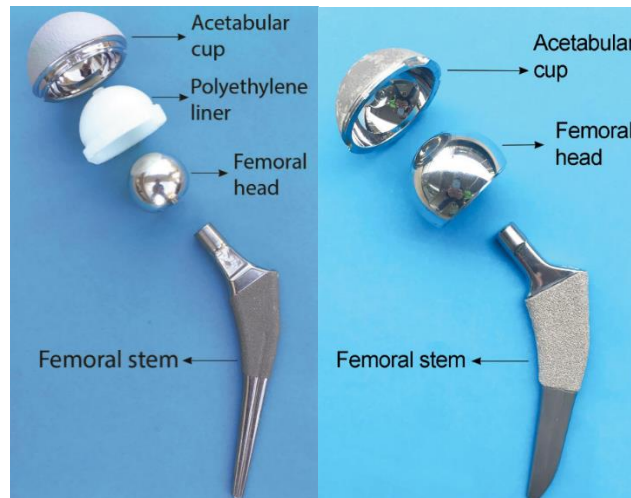
Першим способом є безцементна фіксація, яку фахівці рекомендують застосовувати до молодих людей, у яких суглобова сумка пружна і щільна, що сприяє надійному закріпленню штучного аналога. Найчастіше модель протеза виготовлена зі сплавів титану, які мають чудову сумісність з іншими металами. Він буде взаємодіяти з тканинами пацієнта за допомогою вrostання, тому виробник покриває протез спеціальним покриттям, що має шорстку поверхню для кращого контакту.

Друга методика – це цементна фіксація ендопротеза, що доцільно застосовувати до пацієнтів похилого віку, адже частими місцями перелому є шийка стегнової кістки. Оскільки протез не взаємодіє з кісткою пацієнта, поверхня гладка, без зазубрин і поглиблень, що сприяє збільшенню терміну служби даної анатомічної структури. У переважній більшості покриття є полірованим або сатірованим. При цементної фіксації прийнято використовувати протези зі сплаву кобальту і хрому, адже він досить міцний і еластичний [6].

У здоровому суглобі людини тертя відбувається між суглобовими хрящами. В штучному суглобі тертьові поверхні найчастіше виготовляються з:

- а) металевого сплаву і високоміцного полімеру, який називається поліетиленом високого тиску (пара тертя "метал - пластик");
- б) кераміки (пара тертя "кераміка - кераміка");
- в) металевого сплаву (пара тертя "метал - метал") (рис. 1.1.1).

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



a

б

a – пара метал-пластик; *б* – пара метал-метал

Рисунок 1.1.1 – Види ендопротезів [7]

Перевагою використання пари тертя "метал-пластик" є тривалий час роботи суглобу, проте в процесі експлуатації пластик починає частково зношуватись. Мікрочастинки пластику, потрапляючи в тканини навколо суглоба, сприяють поступовому розхитуванню компонентів ендопротеза. Це призводить до необхідності повторної операції по заміні штучного суглоба.

Пара тертя "кераміка - кераміка" позбавлена таких недоліків, однак має і свої: недостатню механічну міцність, складність виготовлення, дорожнечу. З цих причин такі ендопротези застосовуються значно рідше [8].

Однією з головних характеристик матерів різних типів пар тертя є зношування (табл. 1.1.1). За цим параметром оцінюють рентабельність використання кожної з них для ендопротезів суглобів. Так, наприклад, не зважаючи на доступну ціну, пара тертя "метал-поліетилен" має коефіцієнт зношення більше ніж у 2 рази, за кераміку з поліетиленом. Проте кераміка збільшує ціну виробу і, не запобігає утворенню продуктів зношування полімеру. Використання пар тертя з однакових матеріалів (метал-метал, кераміка-кераміка) дозволяє знизити швидкість зношування, підвищити термін служби протезу, проте до недоліків слід віднести утворення токсичних продуктів тертя, вартість такого протезу та крихкість.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таблиця 1.1.1 – Сучасні пари тертя штучного суглоба виготовлені з різних матеріалів [9]

Тип тертя	Використані матеріали		Зношення мм/рік
Метал - поліетилен	Вкладиш	Високомолекулярний поліетилен	0,2 – 0,5
	Головка	Сплави Co – Cr – Mo, Ti – Al - Nb	
Кераміка - поліетилен	Вкладиш	Високомолекулярний поліетилен	0,1
	Головка	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂	
Метал – метал	Вкладиш	Сплави Co – Cr – Mo, Ti – Al - Nb	0,002
	Головка		
Кераміка - кераміка	Вкладиш	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂	0,01
	Головка		

Сплави титану широко використовуються в ортопедичних імплантатах завдяки кращій біосумісності, корозійній стійкості та чудовим механічним властивостям. Каркас з Ti-30Nb-5Ta-8Zr демонструє аналогічні властивості втомної міцності, стиснення та розтягування з кортикальною кісткою. Nb і Zr також мають хорошу біосумісність і використовуються, як легуючі елементи для поліпшення біологічних і механічних властивостей сплавів Ti. Ti-6Al-4V має більш відповідний модуль пружності до людської кістки та відносно низьку ціну. Каркаси з Ta мають кращу ударну в'язкість та межу втоми, ніж каркаси з Ti-6Al-4V. Проте Ta має вищу ціну, що обмежує його широке застосування. Порівняно зі сплавом Ti та Ta нержавіюча сталь має більш високий модуль пружності, що легко призводить до екранування напружень. Сплав NiTi має характеристики наделастичності та пам'яті форми, які мають гарні перспективи застосування в біомедичній області. Тим не менш, іони Ni в сплаві мають цитотоксичність. Сплав Co–Cr має хорошу біосумісність, корозійну стійкість і зносостійкість [10] і широко використовується в ортопедичній хірургії, особливо при заміні тазостегнового або колінного суглоба. Однак за остеointegraційними та біомеханічними властивостями сплав Co–Cr поступається Ti-6Al-4V.

У таблиці 1.1.2 перераховані механічні властивості різних пористих каркасів, що не біорозкладаються.

Таблиця 1.1.2 – Механічні властивості різних пористих металевих каркасів [11]

Матеріал (структура)	Модуль пружності, ГПа	Границя текучості, МПа
Чистий титан (алмаз)	0.557–0.661	50
Чистий титан (FGPS)	0.28–0.59	3.79–17.75
Ti-6Al-4V (алмаз)	3.8	152.6
Ti-6Al-4V (октаедрична)	2.1–4.7	71–190
Ti-30Nb-5Ta-8Zr (ромбічна)	0.7–4.4	12.5–67
Ti35Zr28Nb (ГЦК)	1.1	27
CoCr F75 (алмаз)	3.43, 2.32, 2.22	116.34, 75.97, 78.57
316L (гіроїд)	2.04, 2.48, 2.71	55, 72.1, 89.4
Ta (додекаедр)	1.22	12.7
NiTi	3.7-13.5	-
Fe-35Mn	33.5	304

Найпоширенішими матеріалами для виготовлення пар тертя ендопротезів крупних суглобів виступають: метал (сплави TiAl-Nb(V), Co-Cr-Mo, Co-Cr), кераміка (Al₂O₃, ZrO₂). Оцінивши параметри різних пар тертя було вирішено обрати "метал-пластик".

Для металевої частини вибрано сплав титану Ti-6Al-4V (BT6). А серед широкого асортименту пластиків вибрано поліетилен низького тиску, оскільки він інертний в кислому і лужному середовищах, не розчиняється у воді та органічних розчинниках. Відсотковий вміст порошку представлений у таблиці 1.1.3.

Таблиця 1.1.3 – Відсотковий вміст Ti-6Al-4V за стандартом ANS4911 [12]

Склад	V	Al	Fe	O	H	N	Ti
(в мас %)	3,5 -4,5	5,5 – 6,75	0,3	0,2	0,015	0,05	залишок

1.1.2 Вибір технологічної схеми

Виготовлення кульшового суглоба з трабекулярною структурою доцільно проводити за допомогою адитивних технологій. Для цього існує загальна технологічна схема (рис. 1.1.2).

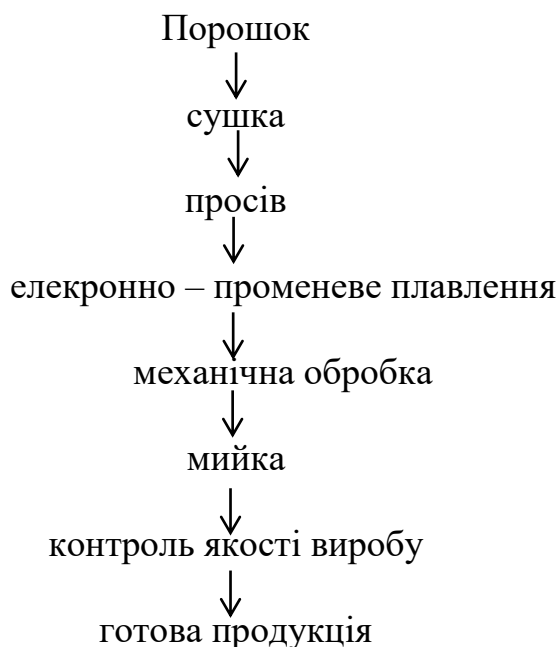


Рисунок 1.1.2 – Технологічна схема вирощування деталі за допомогою адитивних технологій

1.1.2.1 Нанесення покриттів на литі деталі

Різні пористі титанові (Ti) каркаси у вигляді сітки зі спечених Ti волокон, гранули або порошків Ti, яка покрита зверху плазмою, використовуються для біологічної фіксації імплантатів нецементованих компонентів вертлюжної западини. Кілька напівсферичних чашок з пористим покриттям

продемонстрували довготривалу відмінну фіксацію кісток і клінічні результати при випробуваннях. Попереднє покриття поверхні протеза плазмовим напиленням шару пористого титану перед плазмовим напиленням шару гідроксиапатиту (ГА) вважалося рішенням для забезпечення міцного зв'язку між ГА та протезом, і вирішення проблеми відшарування покриття ГА. Таким чином, додавання остеокондуктивного шару ГК може призвести до більш швидкого вrostання кістки та вrostання в пористе титанове покриття та більш раннього досягнення вторинної стабільності. [13]

Плазмове напилення – це метод, у якому електрична дуга постійного струму запалюється між двома електродами, а крізь неї проходить потік (змішаних) газів. Дуга перетворює ці гази в іонізовану суміш (плазму) високої температури і з високою швидкістю до 400 м/с. Температура плазми швидко зменшується залежно від відстані. Усередині дуги досягаються значення до 20 000 К, у той час як за 6 см поза електродами, як правило, температура коливається від 2000 К до 3000 К. Металевий, керамічний або навіть полімерний порошок, зважені в газі-носії, можуть бути введені в плазму і кинуті (частково) у розплавленому або пластичному стані на поверхню. Кожна поверхня з металу, кераміки або навіть органічних матеріалів (таких як папір), поміщена в плазму, потім буде покрита шаром того ж складу, що і порошок [13]. Плазмове напилення зазвичай вважається «холодним» процесом, хоча температура часток може бути значно вищою. Відповідні методи охолодження підтримують температуру поверхні, що підлягає покриттю нижче 100 °С-150°С.

Частково розплавлена частка керамічного порошку має зовнішню температуру не менше 1000 °С, тоді як полімерна частка все ще має температуру поверхні кілька сотень градусів за Цельсієм. Через дуже високі температури плазми термодинамічна нестабільність фосфату кальцію при таких температурах відіграє важливу роль в кінцевих властивостях покриття, що осаджується. В ідеалі лише тонкий зовнішній шар кожної частинки порошку переходить в розплавлений пластичний стан. Хімічні і фізико-технологічні властивості напилених порошків мають істотний вплив на властивості кінцевого покриття

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Хімічне осадження з парової фази -широко використовується в технології обробки матеріалів. Більшість його застосувань включають нанесення твердих тонкоплівкових покриттів. У своєму найпростішому втіленні ХОПФ включає протікання газу – попередника або газів у камеру, що містить один або кілька нагрітих об'єктів, які потрібно покрити. На гарячих поверхнях і поблизу них відбуваються хімічні реакції, в результаті чого на поверхні утворюється тонка плівка. Це супроводжується виробництвом побічних хімічних продуктів, які виводяться з камери разом з непрореагувавшими газами – попередниками.

Метод має ряд переваг:

а) плівки досить комфортні, тобто товщина плівки є однаковою по всій поверхні та покриття можна наносити на деталі різної форми та з глибокими отворами, які не мають прямої видимості;

б) на додаток до широкого спектру матеріалів, які можуть бути осаджені, це відбувається з високою частотою. Це пояснюється відносною легкістю, з якої домішки видаляються з газоподібних – попередників, методом дистиляції;

в) відносно висока швидкість осадження, без використання вакууму.

Але цей метод також має деякі недоліки:

а) в ідеалі попередники повинні бути летючими при температурі, близькій до кімнатної. Це нетривіально для ряду елементів періодичної таблиці, хоча використання металоорганічних попередників полегшило цю ситуацію. Прекурсори ХОПФ також можуть бути високотоксичними (Ni(CO)), вибуховими (ВН) або корозійними (SiCl_4). Побічні продукти реакцій CVD також можуть бути небезпечними (CO , H_2 або HF). Деякі з цих прекурсорів, особливо металоорганічні прекурсори, також можуть бути досить дорогими;

б) плівки зазвичай осаджуються при підвищених температурах. Це накладає певні обмеження на тип підкладки, на яку можна наносити покриття. Що більш важливо, це призводить до напружень у плівках, нанесених на матеріали з різними коефіцієнтами теплового розширення, що може викликати механічну нестабільність нанесених плівок.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.2.2 Адитивні методи

SLS використовує лазер як джерело енергії для спікання порошкових матеріалів. Після розплавлення одного шару обладнання спускається на платформу виготовлення та піднімає платформу подачі порошку. Потім ролик розкочує порошки на виробничому майданчику і починається новий шар спікання. Цей процес повторюється до формування деталі. При використанні SLS у підготовлений матеріал необхідно вводити сполучні матеріали (сплави з низькою температурою плавлення), щоб знизити температуру плавлення, сприяючи спіканню. За допомогою SLS можна отримувати різні матеріали, такі як полімери, метали та сплави тощо, але складно отримати металеві матеріали з високою температурою плавлення. У селективному лазерному спіканні тривалість дії лазерного променя для будь якого розміру частинок коротка, зазвичай від 0,5 мс до 25 мс [14].

SLS-принтери використовують у своїх установках різні лазери, наприклад, CO₂-лазер, Nd:YAG-лазер з ламповим або діодним накачуванням, дисковий або волоконний лазер.

EBM – електронно-променеве плавлення, що працює з електронним променем. Машина розподіляє шар металевого порошку, що розплавляється електронним променем на будівельну платформу. Потім платформа для складання опускається і зверху наноситься наступний шар металевого порошку. Процес нанесення порошкового покриття та плавлення, де це необхідно, повторюється, і деталі нарощуються шар за шаром у порошковій подушці.

Електронно-променева плавка вимагає опорних частин, які прикріплюють деталі та нависні конструкції до будівельної платформи. Це забезпечує передачу тепла від місця плавлення порошку. Деталі будуються під вакуумом (рис. 1.1.3).

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

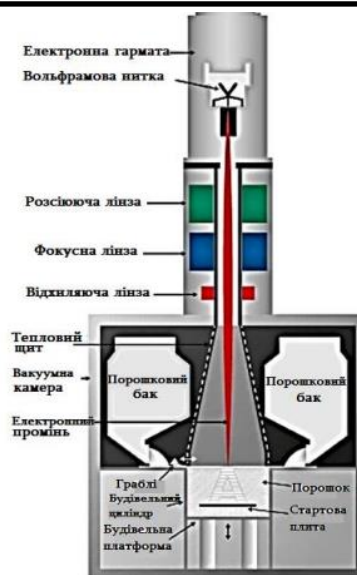


Рисунок 1.1.3 – Схема процесу вирощування деталі за технологією EBM [16]

Шар неспеченого порошку підтримує виготовлену деталь під час процесу SLS, забезпечуючи виробництво без підтримки. Багатообіцяючою особливістю SLS є ефективне використання порошку, оскільки нерозплавлений порошок, що залишився, може бути перероблений. Проте шорховатість поверхні та розмірні неточності деталей, виготовлених за допомогою процесу SLS, вимагають дорогої подальшої обробки, такої як механічна обробка, термообробка, полірування тощо. Мікроструктури пористих структур та каркасів можна контролювати шляхом оптимізації критичних параметрів обробки SLS, включаючи потужність лазера, температуру порошкового шару, швидкість лазерного сканування [15].

Основні переваги технології EBM:

- а) реалізація надзвичайно складної геометрії та пов'язаних структур прямо з файлу CAD 3D;
- б) механічні властивості порошкових структур, отриманих EBM знаходяться на рівні литих;
- в) не потрібно відпалювати надруковану модель для досягнення необхідної механічної міцності – витратні матеріали складаються з чистого металевого порошку без наповнювача, а готові моделі не відрізняються пористістю.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз адитивних методів показав, що найбільш доцільно використовувати технологію електронно – променевого плавлення, так як:

а) Електронно-променева плавка (EBM) дозволяє отримати вільні від домішок складні та сітчасті геометричні форми зі сплавів, що мають біомедичне застосування, включаючи Ti6Al4V та CoCr;

б) здатність електрона проникати далеко в матеріал і однорідно розплавляти частинки порошку порівняно з лазером(рис. 1.1.4) [16];

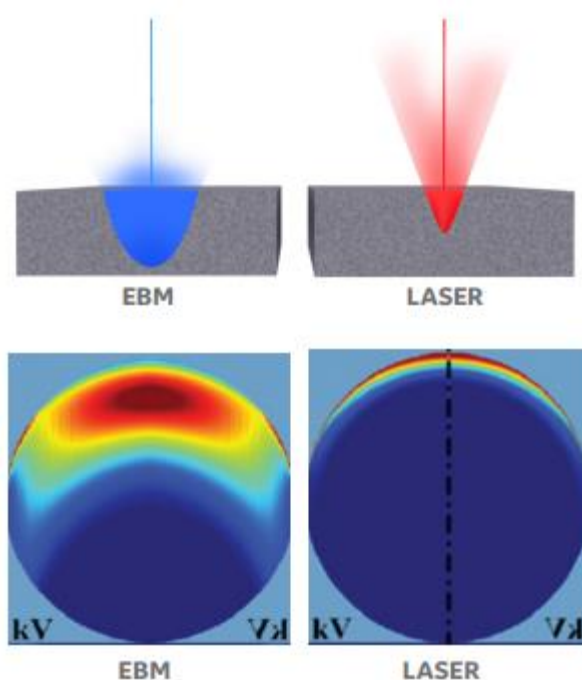


Рисунок 1.1.4 – Проникнення в матеріал променя та лазера [16]

г) широкий спектр клінічних застосувань EBM охоплює відновлення скелета, шляхом серійного виготовлення імплантатів;

д) електронний пучок здатен сканувати титановий порошок в розфокусованому режимі використовуючи високу швидкість, при цьому мінімально зменшивши залишкові напруги, дана технологія добре підходить для деталей з товстими стінками .

1.2 Опис технологічного процесу

1.2.1 Обґрунтування асортименту продукції в технічних умовах на неї

Питання з кульшовим суглобом є надзвичайно актуальними у сучасному світі, адже біль та обмежений рух супроводжує майже кожну людину. Найкращим варіантом покращити таку ситуацію є встановити ендопротез, тобто штучний імплант, що вживлюються замість пошкодженого суглобу. Схему компонента кульшового суглоба (ацетабулярна чашка) з трабекулярною структурою зображено на рисунку 1.2.1.

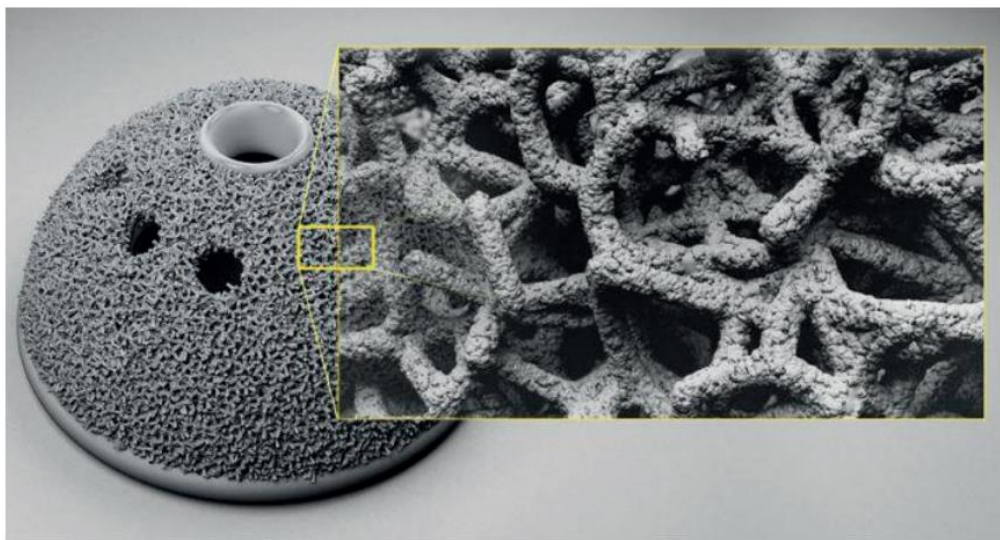


Рисунок 1.2.1 – Структура контактної поверхні імплантат [18]

1.2.2 Обґрунтування основних видів сировини

Для отримання ацетабулярної чашки будемо використовувати порошок титановий Ti-6Al-4V, який піддається обробці методом ЕВМ, адже саме трабекулярна структура має найбільший відсоток приживання в організмі. Технічні умови на продукцію наведено в таблиці 1.2.1.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 1.2.1 – Технічні умови на сировину, напівфабрикати та готову продукцію [18]

Найменування	Характеристика	Державний стандарт або технічні умови
Порошок титановий Ti-6Al-4V Титан класу 23 ELI	Твердість 375 ± 7 HV Модуль Юнга 109 ± 4 ГПа	ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 [19]
Аргон	Густина 0,0017837 г/см ³ Температура плавлення 83,8 К	ДСТУ ГОСТ 10157:2019[20]

1.2.3 Опис технологічних операцій

1.2.3.1 Підготовка порошку

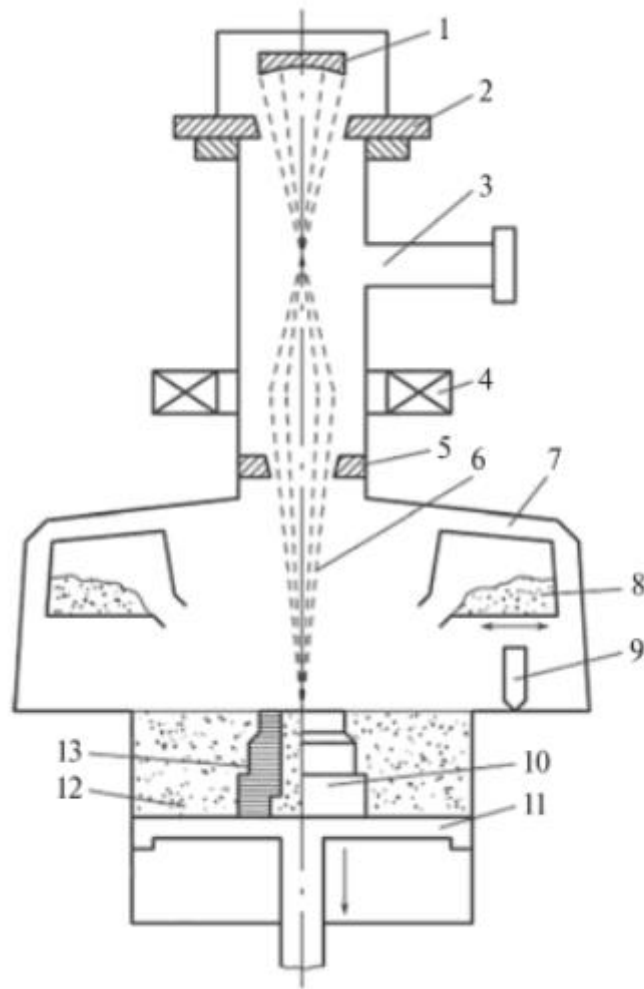
Мета операції: збільшення текучості за рахунок видалення вологи. Дана операція проводиться в печі з контролюванням температури, якщо технологія передбачає попередній відпал, або в сушильній шафі. Ми ж будемо використовувати сушильну шафу, яка вміщує в собі три полицки, на які насипають порошок. В середині корпусу знаходяться плити для внутрішнього обігріву. Зазвичай сушка займає 1 – 2 години, за температури 150 – 200 °С. Апарат має бути щільно закритий, так як операція проводиться в вакуумі, вмикається нагрів, відповідно відбувається процес видалення вологи. Для кращої текучості та позбавлення конгломератів порошок піддають просіву на протиральному станку. Далі порошок подають в наступні процеси.

1.2.3.2 Схема технологічного процесу ЕВМ

Мета операції: отримати деталь з високою щільністю без остаточного напруження з мікроструктурою матеріалу, вільною від мартенситних структур.

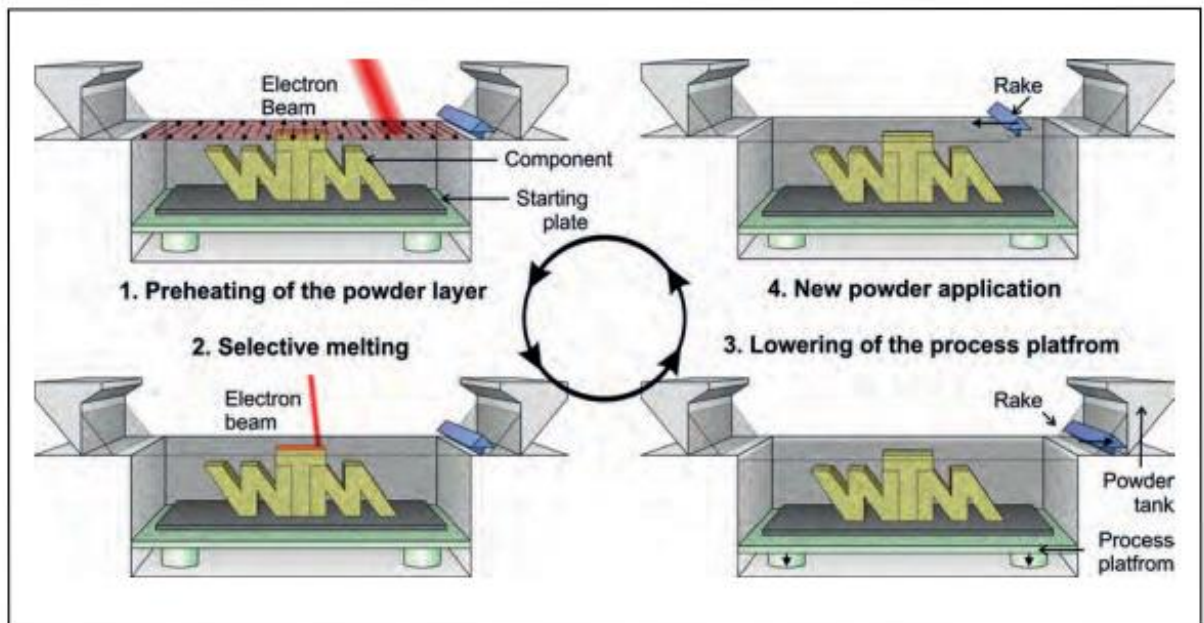
ЕВМ – це інноваційна технологія для виробництва ортопедичних імплантатів, яка використовує високопотужний електричний промінь, створюваний електронною гарматою, для плавлення металевих порошків (рис. 1.2.2; рис. 1.2.3).

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



1 – катод; 2 – анод; 3 – патрубок вакуумної системи; 4 - електромагнітна котушка (лінза); 5 – апаратурна діафрагма; 6 – сфокусований пучок електронів;
 7 – вакуумна камера; 8 – вібробункер з порошком метала; 9 – ракель;
 10 – деталь; 11 – робоча платформа; 12 – конструкційний матеріал;
 13 – сформовані шари

Рисунок 1.2.2 – Схема установки ЕВМ [17]



- 1 – попереднє нагрівання всього шару порошку розфокусованим електронним пучком; 2 – повне розплавлення ділянок відповідно до комп'ютерної моделі; 3 – після консолідації за затвердіння опускання платформи на 1 шар; 4 – нанесення нового шару порошку

Рисунок 1.2.3 – Технологічний ланцюжок ЕВМ [21]

В процесі ЕВМ використовується електронний пучок, який за допомогою електронів, вибитих з вольфрамової нитки при вакуумі прискорює їх попадання на шар титанового порошку, попередньо перед процесом насипаний на будівельну плиту. Швидкість пучка досягає 10000 м/с не використовуючи процес інерції. Відбувається електронно - селективне плавлення порошку, таким чином пошарово «вироснується» деталь. Електронний пучок сканує попередньо титановий порошок в розфокусованому режимі використовуючи високу швидкість, при цьому мінімально зменшивши залишкові напружки, для того аби встановити температуру попереднього нагріву. В залежності від матеріалу температура може бути від 300 °С для чистої міді до 1100 °С для твердих сплавів. Даний процес дозволяє отримати деталь з достатньою електропровідністю.

ЕВМ краще проводити у вакуумі (базовий тиск - $5 \cdot 10^{-4}$ мбар) аби досягти чисте і контрольоване середовища збірки, та запобігти окисленню порошку при

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

нагріванні. Вакуумне виробництво для ЕВМ процесу дуже важливе, оскільки воно підтримує задані фізичні та механічні параметри будівельного матеріалу. В обладнанні для ЕВМ порошок випускається зі спеціально влаштованих бункерів, які підвішені з боку камери машини (рис.1.2.4).

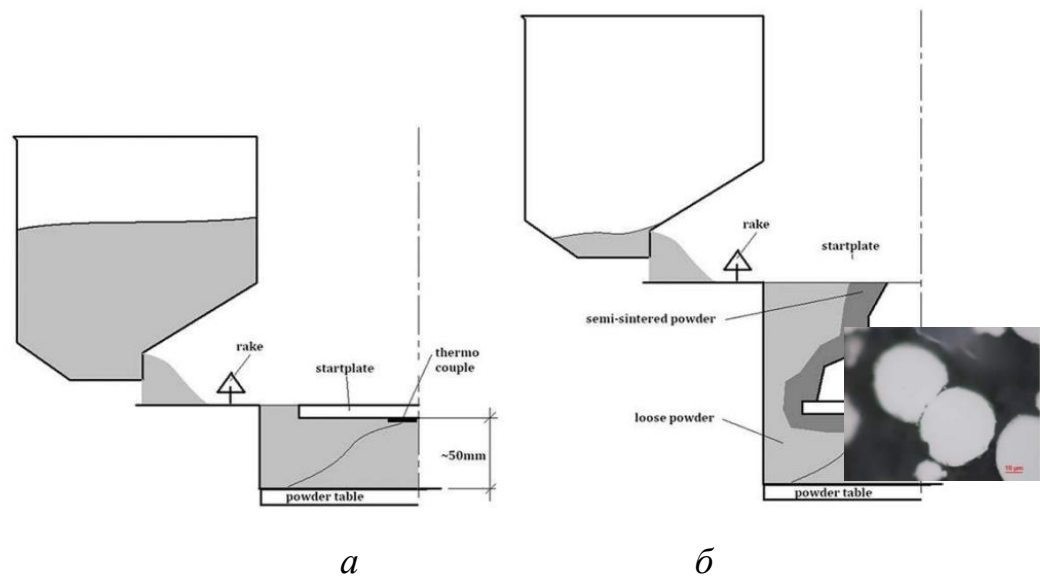


Рисунок 1.2.4 – Схематичне зображення процесу дозування порошку в установці для ЕВМ на початку (а) та в середині процесу наплавлення (б) [21]

Після того, як вікна бункерів відкриваються, порошок починає вільно насипатись на платформу. Під час друку порошок забирається і розподіляється по робочій поверхні спеціальним роликком (ракелем).

Робоча поверхня для першого шару називається «стартовою пластиною» і розміщується на 50 мм вище шару порошку. Для кожного наступного шару, попередній шар використовується, як робоча поверхня. Під час ЕВМ частинки порошку можуть припікатися внаслідок попереднього нагрівання «стартової пластини» для досягнення робочої температури 650 °С. Попередній нагрів виконується шляхом направлення розфокусованого променя на «стартову пластину». Тепло, що передається від нагрітої «стартової пластини» в об'єм насипаного порошку призводить до припікання частинок одна до одної (рис. 1.2.4 (б)). Іншою причиною припікання частинок є попередній нагрів під час друку. Для кожного шару виконується послідовність операцій: розподілу шару

порошку, попереднього нагріву шару і розплавлення різних елементів у збірці. Тут попередній нагрів потрібний для збільшення площі контактів між частинками, і для забезпечення передачі електронів від променю через частинки, які розплавляються.

Таким чином, після завершення друку навколо деталей залишається значна кількість напівспеченого порошку. Цей порошок має бути доставлений до системи відновлення порошку (PRS). Струменева обробка здійснюється за допомогою повітря, зарядженого тим самим матеріалом, який обробляється для збереження чистоти. Сипучий порошок, що залишився в камері машини, очищається спеціальним пилососом. Порошки після струменевої обробки і пилососу просівають і змішують у просівальній шафі. Цей порошок використовується для наступного заповнення машини.

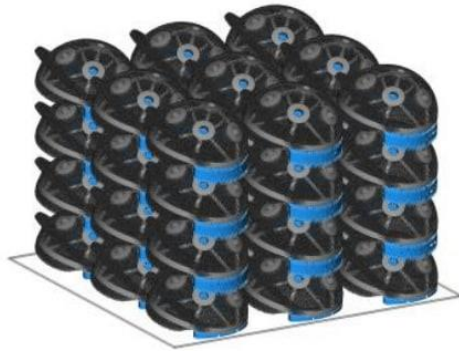
Для того, щоб використати порошок для повторного завантаження камери необхідно враховувати випаровування компонентів з низькою температурою плавлення і можливої зміни хімічного складу.

Під час обробки та повторного завантаження, особливо за температури вище кімнатної, порошок $Ti6Al4V$ може адсорбувати значну кількість кисню. Хоча виробнича камера в машині EBM знаходиться під глибоким вакуумом, волога, що знаходиться на стінках робочої камери, не повністю видаляється і є ще одним важливим джерелом кисню та водню. Поглинання цих елементів може збільшити крихкість матеріалу і зменшити сипучість порошку, запобігаючи належному розподілу порошку по шарах, а іноді і спричиняючи поганесплавлення шарів.

Після вилучення деталей (рис 1.2.5) з робочої камери вони піддаються струменевому очищенню за допомогою стисненого повітря з частинками порошку $Ti6Al4V$. Після цього порошок збирають і змішують з порошком, видаленим з машини за допомогою пилососа. Змішування проводиться всередині просіювальної шафи, після чого порошок готовий до повторного використання. Обробка струменем повітря з частинками порошків під час струминної обробки, розбиває припечені одна до одної частинки порошку, що оточують деталь. Проте зіткнення часток, що викидаються, зі спеченим шаром

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

може викликати деформацію і руйнування деяких частинок, що може істотно змінити їх морфологію. Крім того, тепло, викликане зіткненнями, може призвести до окислення частинок через їх високу питому поверхню.



а



б

Рисунок 1.2.5 – 3д модель (а) та зовнішній вигляд деталей (б) після ЕВМ [22]

Морфологія порошку показує, що значення характеристичного параметра залишається незмінним протягом усіх побудов, крім того розмір частинок знаходиться в діапазоні від 45 до 110 мкм, як показано на рисунку 1.2.6.

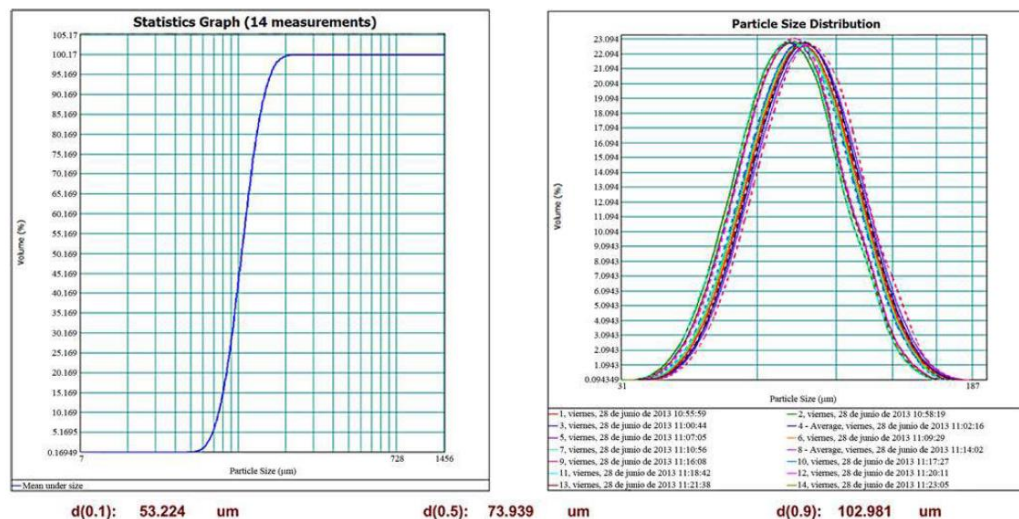


Рисунок 1.2.6 – Аналіз розподілу частинок за розміром для 14 послідовних збірок [22]

Крім того зображення показує, що порошкові частинки залишаються сферичними і добре вираженими (рис. 1.2.7). Це забезпечує постійну сипучість порошку протягом послідовних накаток.

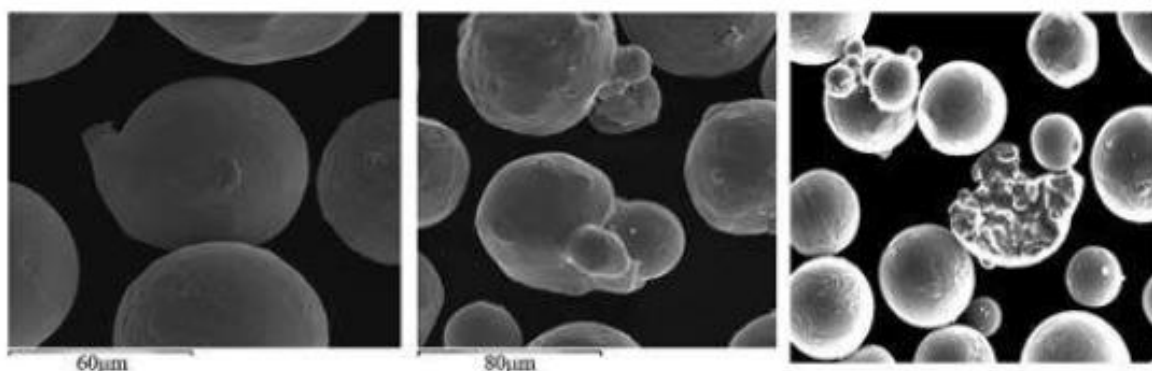


Рисунок 1.2.7 – Типові дефекти частинок [23]

Випадкові деформації можуть бути викликані різними ефектами, наприклад, причинені теплопередачею електронного променя, руйнування порошку або механічний злом шийки в результаті процесу спікання.

1.2.3.3 Механічна обробка

Мета операції: отримання кінцевих розмірів деталі та поверхні високої точності і чистоти.

Після електронно – променевого плавлення деталей надходить на наступну технологічну операцію - механічну обробку, а саме шліфування, адже це дозволяє зняти захисний шар шлаків, які утворились під час друку, а також отримати необхідну чистоту поверхні та геометрію.

Проводять шліфування потрібно при одночасному охолодженні, для зниження термічного впливу на ацетабулярну чашку. Оскільки сплав титану має не високу твердість, то його шліфування проводять на парі з карбідом кремнію різної зернистості: P120, P400, P600, P800, P1200 і P2500. Для полірування використовують суспензію з оксиду алюмінію зернистістю 50 нм.

Швидкість обирають стандарту при навантаженні на зразок 30 Н.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.3.4 Мийка деталей

Мета операції: отримання поверхні високої чистоти.

Після механічної обробки деталь піддають мийці. Дана операція дозволяє зняти захисний шар шлаків, які утворились під час друку, а також отримати необхідну кінцеву чистоту поверхні.

Проводиться мийка в новітньому обладнанні. Автоматична система промивання має робоче колесо, яке переміщує 90% ізопропілового спирту (ІРА) навколо деталей, щоб повністю їх очистити. Після завершення миття автоматично піднімаються частини з ІРА на суху поверхню, виключивши можливість надмірного знаходження відбитків у спирті та їх розтріскування.

Ємність спеціальної шафи для миття деталей вміщує до 8,6 л ІРА, що дозволяє позбавити від забруднення крупні деталі.

1.2.3.5 Технічний контроль якості продукції

Отримані деталі необхідно перевіряти міцність на розрив і пористість. Вимірювання міцності рекомендовано проводити випробуванням на розтяг, з метою:

- а) визначення умовної границі плинності за пластичної та повної деформації;
- б) визначення відносного видовження при розриві.

Іншою характеристикою деталі, які підлягають постійному контролю, являється пористість. Пористість безпосередньо пов'язана з підтримкою зростання кісткової тканини та васкуляризації (остеоінтегративна каркасність). Визначати будемо шляхом гідростатичного зважування.

Їхні основні характеристики:

- а) оптимальний розмір пор для інтеграції м'яких тканин становить від 100 мкм до 200 мкм (для остаточної остеоінтеграції шляхом формування нових остеонових комплексів від 50 мкм до 934 мкм);
- б) об'ємна пористість - від 60% до 80%;

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в) страти (перемички між порами) – 0,45 мкм (що є оптимальним значенням для адгезії остеонформуючих клітинних елементів);

г) висока стійкість до механічних впливів (циклічних деформацій).

1.3 Розрахунок і складання балансу матеріалів

Матеріальний баланс є необхідним параметром для розрахунку необхідної кількості вихідних матеріалів, кількості технологічного обладнання та визначення техніко-економічних показників проектного виробництва. Для складання матеріального балансу окремих операцій і технологічного процесу в цілому визначальним є продуктивність дільниці, який вказується в завданні на проєкт.

Розрахунки проводяться враховуючи добову продуктивність, для визначення якої спочатку обчислюємо фонд часу роботи обладнання на рік. Для вираховуємо календарне число днів року для проведення планово-попереджувального ремонту (табл. 1.3.1), коли обладнання не приймає участі в технологічному процесі. Кількість таких днів для поточних ліній, на яких, зазвичай, усе обладнання ремонтують одночасно, визначають за тривалістю ремонту обладнання найвищої категорії складності, а в разі послідовного ремонту - за сумою простоїв агрегатів на ремонт.

Поточні ремонти та огляд проводять у вільний від роботи час. На підставі графіка планово - попереджувального ремонту визначають число днів, необхідних для ремонту обладнання неавтоматизованого виробництва, який складають за нормативними заводськими даними та з досвіду роботи. Під час його складання обов'язково враховуємо можливість організації та проведення ремонту у вихідні та святкові дні.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3.1 – Графік планово-попереджувального ремонту обладнання

Обладнання	1 кварта л			2 квартал			3 квартал			4 квартал			Всього , год
	Місяці												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Установка для просіюванн я порошку								$\frac{20}{4} \text{ С}$					4
ЕВМ				$\frac{1 - 5}{33} \text{ О}$						$\frac{1 - 5}{33} \text{ К}$			66
5-ти осьовий фрезерний станок					$\frac{22}{6} \text{ С}$								6
Мийка											$\frac{10}{4} \text{ С}$		4
													80

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

$$80:8 = 10 \text{ днів.}$$

Для визначення загального фонду часу роботи обладнання від календарної кількості днів року (365 днів) віднімаємо кількість днів, необхідних для планово-попереджувального ремонту, а також кількість неробочих днів цеху.

Масове виробництво для відділень отримання порошоків і спікання є економічно вигідним, якщо робота проходить без вихідних днів та зупинок на загальнонаціональні свята. Для таких відділень кількість робочих днів на рік визначають як різницю між календарною кількістю днів на рік і кількістю днів, необхідних для планово-попереджувального ремонту (табл. 1.3.2).

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 1.3.2 – Баланс часу роботи дільниці

Елементи балансу	Кількість днів
Календарна кількість днів	365
Час на планово-попередній ремонт	10
Загальнонаціональні свята	9
Вихідні дні	98
Неробочі дні	115
Робочі дні цеху	232

Пропонується виготовляти 10 000 деталей на рік, маса однієї деталі з підтримками становить 50 г.

$$G = 10\,000 \cdot 0,05 = 500 \text{ кг.}$$

Визначивши кількість робочих днів цеху на рік, розраховуємо його добову продуктивність за сировиною:

$$A = \frac{G}{n}; \quad (1.3.1)$$

$$A = 500/232 = 2,16 \text{ (кг).}$$

Під час переробки сировини важливими є втрати технологічні та механічні, тому для визначення добової продуктивності потрібно врахувати даний факт та брати матеріал з певним надлишком.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Таблиця 1.3.3 – Зворотні та незворотні витрати

Зворотні витрати	Вих. матеріал	Незворотні витрати
0	Сушка порошку	0,01
0	ЕВМ	0,005
0	Механічна обробка	0,01
0	Мийка	0
	Готовий виріб	

Для визначення виходу придатного проводимо такі розрахунки.

1. Визначимо прямий поопераційний витяг на кожній операції:

$$\eta_1 = 100 - (a + b) = 100 - 1 = 99\%$$

$$\eta_2 = 100 - 4 = 96\%$$

$$\eta_3 = 100 - 0,5 = 99,5\%$$

$$\eta_4 = 100 - 1 = 99\%$$

2. Загальний витяг на кожній операції φ відносно вихідного матеріалу визначаємо за формулою): $\varphi = \left(\frac{\eta_1}{100} \cdot \frac{\eta_2}{100} \cdot \frac{\eta_n}{100} \right) 100 = \frac{\eta_1 \eta_2 \dots \eta_n}{100^{n-1}} =$

$$\varphi_1 = \eta_1 = 99,0\%$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \eta_2 / 100 = 99,0 \cdot 96,0 / 100 = 95,04 \%;$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 \cdot \eta_3 / 100 = 95,04 \cdot 99,5 / 100 = 94,56 \%;$$

$$\varphi_4 = \varphi_3 \cdot \eta_4 / 100 = 94,56 \cdot 99,0 / 100 = 93,62\%.$$

3. Визначаємо кількість сировини, яка має надійти на початок процесу:

$$A_0 = \frac{A}{\varphi} = \frac{2,16}{93,62} \cdot 100 = 2,307 \text{ кг.}$$

4. Визначаємо втрати відносно введенного матеріалу на кожній

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

операції $\alpha_n(\beta_n)$ згідно з формулою:

$$\alpha_n(\beta_n) = \frac{\alpha_n(\beta_n)\varphi_{n-1}}{100} \quad (1.3.2)$$

Таблиця 1.3.4 - Баланс часу роботи ділянки

Зворотні втрати	Незворотні втрати
$\alpha_1 = a_1 = 0\%$;	$\beta_1 = b_1 = 1\%$;
$\alpha_2 = 0\%$;	$\beta_2 = (4 \times 99) / 100 = 3,96 \%$;
$\alpha_3 = 0 \%$;	$\beta_3 = (0,5 \times 95,04)/100 = 0,477\%$;
$\alpha_4 = 0\%$;	$\beta_4 = (1 \times 94,56)/100 = 0,9456\%$.

5. Розраховуємо абсолютні втрати:

$$q_n^a(q_n^b) = \frac{A_0\alpha_n(\beta_n)}{100}; \quad (1.3.3)$$

Зворотні втрати

$$q_1^a = 0;$$

$$q_2^a = 0;$$

$$q_3^a = 0;$$

$$q_4^a = 0;$$

Незворотні втрати

$$q_1^b = 2,307 \cdot 1 / 100 = 0,02307;$$

$$q_2^b = 2,307 \cdot 3,96 / 100 = 0,0914;$$

$$q_3^b = 2,307 \cdot 0,477 / 100 = 0,011;$$

$$q_4^b = 2,307 \cdot 0,9456 / 100 = 0,0218.$$

6.Обчислюємо суму зворотніх витрат і визначаємо масу матеріалу, яка має надходити кожен день на початок процесу:

$$B = A_0 - \sum q, \quad (1.3.4)$$

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$B = 2,307(\text{кг}).$$

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

На першу операцію:

- надходить: 2,307 (кг);

- виходить: $2,307 - 0,02307 = 2,2839$ (кг).

На другу операцію:

- надходить: 2,2839 (кг);

- виходить: $2,2839 - 0,0914 = 2,1925$ (кг).

На третю операцію:

- надходить: 2,1925(кг);

- виходить: $2,1925 - 0,011 = 2,18153$ (кг).

На четверту операцію:

- надходить: 2,18153 (кг);

- виходить: $2,18153 - 0,0218 = 2,16$ (кг)

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3.5 –Поопераційний матеріальний баланс

Назва операції	Поопераційні втрати, %			Пряме поопераційне вилучення, %	Загальне вилучення, %	Абсолютні втрати, кг		Маса матеріалу, що надходить на операцію, кг			Маса матеріалу, що виходить з операції, кг
	Зворотні	Незворотні	Загальні			Зворотні	Зворотні	З попередньої операції	Зворотні втрати	Всього	
Сушка	0	0,1	0,1	99,0	99,0	0	0,023	2,307	0	2,307	2,2839
Просів	0	0,4	0,4	96,0	95,04	0	0,0914	2,2839	0	2,2839	2,1925
Електронно променева плавка	0	0,05	0,05	99,5	94,56	0	0,011	2,1925	0	2,1925	2,18153
Механічна обробка	0	0,01	0,01	99	93,62	0	0,028	2,18153	0	2,18153	2,16

1.4 Вибір і розрахунок кількості обладнання

1.4.1 Обладнання для сушки порошку

В даній операції має місце сушильна шафа СНОЛ-67/350 (рис.1.4.1), яка допоможе висушити порошок, температура сушки до 300 °С. Пристрій обладнаний точним контролем температури за допомогою якого дозволяється забезпечити високу якість та стабільність процесу.

Інженер самостійно програмує ПД-контролер, також є можливість викликати з пам'яті контролера готові програми нагрівання. Внутрішня камера шафи та висувні полиці зроблені із нержавіючої сталі.

Характеристики пристрою:

розмір шафи: 675 x 600 x 615 мм;

потужність: 4 кВт;

матеріал: нержавіюча сталь;

піддон : 3.

об'єм 1 піддону: 867 см³.



Рисунок 1.4.1 – Сушильна шафа СНОЛ-67/350

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Маса одного завантаження визначається за формулою:

$$G_3 = V_m \gamma_{\text{нас}}, \quad (1.4.1)$$

де V_m – об'єм сушила, м^3 ;

$\gamma_{\text{нас}}$ – насипна щільність порошку, кг .

$$G_3 = 0,000867 \cdot 3 \cdot 4430 = 11,52 \text{ кг}$$

Продуктивність сушила визначається за формулою:

$$p_m = \frac{G_3}{\tau_m}, \quad (1.4.2)$$

де G_3 – маса одного завантаження у сушило, кг ;

τ_m – технологічний час сушіння, год ;

$$p_m = 11,52 / 2 = 5,76 \text{ кг/год},$$

де G_1 – маса матеріалу, перероблюваного на даній операції за добу, кг ;

p_m – продуктивність сушила, кг/год ;

τ_m – час роботи сушила на добу, год .

Необхідна кількість сушил складає:

$$N_m = \frac{G_1}{p_m \cdot \tau_m}, \quad (1.4.3)$$

$$N_{m1} = 2,307 / 5,76 \cdot 8 = 0,05.$$

Додатково для сушки порошку масою 34 кг, що завантажується убункер установки ЕВМ необхідна кількість сушил:

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{m2} = 34 / 5,76 \cdot 8 = 0,74,$$

Разом

$$N_m = 0,74 + 0,05 = 0,79.$$

Отже, необхідна 1 сушильна шафа з коефіцієнтом завантаження $K_3 = 0,79$.

1.4.2 Обладнання для просіву порошку

Для протирання суміші після сушки та конгломератів після ЕВМ обираємо протиральне сито продуктивністю 0,08 т/год.

Привід сита – від електродвигуна через черв'ячну пару шестерень.

Продуктивність, т/год – 0,08;

Встановлена потужність, кВт, 1,0;

Габаритні розміри 0,8×0,95×2,2 м.

Продуктивність сита визначається за формулою:

$$P_c = 36 h B_c K_p v \delta \cdot 10^3, \quad (1.4.4)$$

де h – висота шару матеріалу в ситі, м;

B_c – ширина сита, м;

K_p – коефіцієнт розрихлення порошку;

v – середня швидкість переміщення порошку, м/с;

δ – густина матеріалу, кг/см³.

$$P_c = 36 \cdot 0,15 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,01 \cdot 4512 = 24,36 \text{ кг/год.}$$

Отже, необхідна кількість сит 1.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4.3 Обладнання для електронно – променевого плавлення

Для ЕВМ будемо використовувати установку ArcamEBM (рис.1.4.2), адже вона дозволяє виготовляти компоненти унікальної геометричної форми із твердого металу безпосередньо з САД. Фундаментальна ідея технології – нарощувати металеві частини шарами металевого порошку, кожен з яких розплавляється електронним променем до точно визначеної геометрії за комп’ютерною моделлю. Процес є ефективним і забезпечує доступ до повного розплавлення металевого порошку.



Рисунок 1.4.2 – Arcam EBM

Характеристика ARCAMEBMS12

Обсяг будівельного бака 250*250*200 мм

Максимальний розмір збірки 200*200*180 мм

Швидкість плавлення до 60 см³/год

Товщина шару 0,05 – 0,2 мм

Швидкість сканування > 1000 м/с

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Потужність променя 3500 Вт

Блок живлення 3*400 В, 32 А, 7 кВт

Розмір і вага 1850*900*2200 мм, 1420 кг

ІнтерфейсCAD

Вага 1 деталі 0,050 кг. Розрахуємо кількість деталей, які необхідно надрукувати за добу:

$$G_3 = 10000 / 232 = 44 \text{ шт.}$$

Необхідну кількість принтерів визначаємо за формулою:

$$N_{\text{пр}} = G_3 / (K \cdot \tau), \quad (1.4.5)$$

де G_3 — кількість деталей, яку необхідно надрукувати за добу ;

τ – час роботи принтера;

K –продуктивність принтера (1,04 шт/год).

$$N_{\text{пр}} = 44 / (1,04 \cdot 24) = 1,76.$$

Приймаємо 2 принтера з коефіцієнтом завантаження:

$$K_3 = 1,76 / 2 = 0,88.$$

1.4.4 Обладнання для механічної обробки

Надруковану деталь потрібно механічно обробити, аби зменшити висоту мікронерівностей та заокруглити гострі кути. Для цих цілей використовують універсальний фрезерний станок MIKRON WF 52 C-ID11523(рис. 1.4.3).

Виробник MIKRON

Модель WF 52 C

Рік виробництва 1991

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система керування Bosch CC 320

Переміщення по осі X (мм) 800

Переміщення по осі Y (мм) 500

Переміщення по осі Z (мм) 460

Кут повороту фрезерної головки, °+45/-20

Розмір столу (мм) 1000 x 500

Тип інструментального конуса SK 40

Обороти шпинделя (об/хв) 3150

Прискорений хід X/Y/Z (м/хв) 6

Потужність загальна (кВт) 13,5

Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В) 2200x2700x2350

Вага верстата (кг) 3100



Рисунок 1.4.3 – Фрезерний станок

Потреба в обладнанні: 1 шт.

Розрахуємо кількість годин праці станку на рік при 8 годинному робочому дні:

$$232 \cdot 8 = 1856 \text{ год.}$$

Продуктивність:

$$1856 / 10\,000 = 0.186.$$

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Отже, необхідна кількість установок 1 з коефіцієнтом завантаження $K_3 = 0,186$.

1.4.5 Обладнання для мийки деталі

Надруковану та механічно оброблену деталь потрібно очистити від залишків масла та пилу за допомогою мийки для 3Д принтеру FORMLABS



Рисунок 1.4.4 – Мийка FORMLABS

Розмірии пристрою 26.2 x 29.3 x 34.0 см, висота при відкритті 64 см, вага 6,7 кг, об'єм 8,6 л, максимальні розміри деталі 14.5×14.5×17.5 см.

Рекомендоване робоче середовище: температура сягає від 18° С–до 28 ° С

Метод агітації: магнітно-залежне робоче колесо.

Додаткові дивайси:

- 1) Промивний ківш;
- 2) Ківш для миття;
- 3) Гідрометр;
- 4) Сифонний насос;
- 5) Інструмент для видалення деталей;
- 6) Скребок;
- 7) Пінцет, флеш-різаки.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Визначивши необхідну кількість технологічного обладнання, розробляємо план його розміщення в будівлі дільниці. Для цього слід визначити розміри і обриси будівлі, які мають відповідати будівельним стандартам, вибрати допоміжне, зокрема транспортувальне обладнання, передбачити зручність його обслуговування та ремонту.

Маємо наступні дільниці: склад сировини площа якого становить 42 м² з якого вихідні матеріали транспортують до дільниці для сушки та просіву в якій знаходиться сушильна шафа та протиральний станок, площа дільниці 42 м². Наступною є дільниця 3Д друку, в якій знаходяться два принтери, та займає площу 84 м². Після друку виріб доставляється у дільницю для механічної обробки фрезерним станком, площею 42 м². Дільниця в якій знаходиться мийка займає площу 21 м². Дільниця відділу технічного контролю займає площу 21 м². Остання дільниця це склад готової продукції який займає площу 42 м². Службовий коридор займає площу 86 м². Цех спроектований таким чином, щоб транспортні шляхи між операціями не пересікались. Загальна площа цеху становить 387 м².

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловйова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						46	4
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

У даному розділі буде проведено моделювання деформації пористої структури для виготовлення компонентів ендопротезів. На сьогоднішній день не існує універсального рішення до форми та розміру трабекулярних структур. Властивості кістки та металів сильно розрізняються: модуль пружності губчастої кістки людини (більш м'яка тканина, виявлена всередині кістки) коливається від 0,02 ГПа до 5 ГПа, у той час, як для кортикальної кістки – твердіша і щільніша тканина, що знаходиться в периферії – від 10 ГПа до 40 ГПа. Використання пористих трабекулярних структур дозволяє контролювати щільність імплантатів, що необхідно для отримання протезу з низькою вагою та механічними властивостями, близькими до властивостей кістки, що забезпечить їх остеоінтеграцію, уникаючи екранування напруги. Крім того, значення жорсткості матриці можуть додатково регулюватися зміною розмірів елементарної комірки та товщиною стінки (ефективним діаметром). Щільність трабекулярних структур, надрукованих на 3D-принтері, значно нижча порівняно з реальною кісткою, близько 90% пор для структури, отриманої ЕВМ порівняно з 63 % -70% для реальної кістки [24].

У даній роботі трабекулярні структури з відкритою пористістю (73-85%) було обрано для моделювання властивостей ортопедичних імплантів. Креслення елементарних комірок у вигляді кубу з довжиною грані 10 мм були створені за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Ефективний розмір стінки елементарної комірки для кожної конструкції (d_{eff}) залежить від декількох параметрів обробки 3D-друку (наприклад, розміру порошку, товщини шару і температури). В даній роботі, опираючись на теоретичні дані, передбачалося, що цей конструктивний параметр варіюється в межах 0,25 мм – 0,75 мм [25].

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловйова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						47	4
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

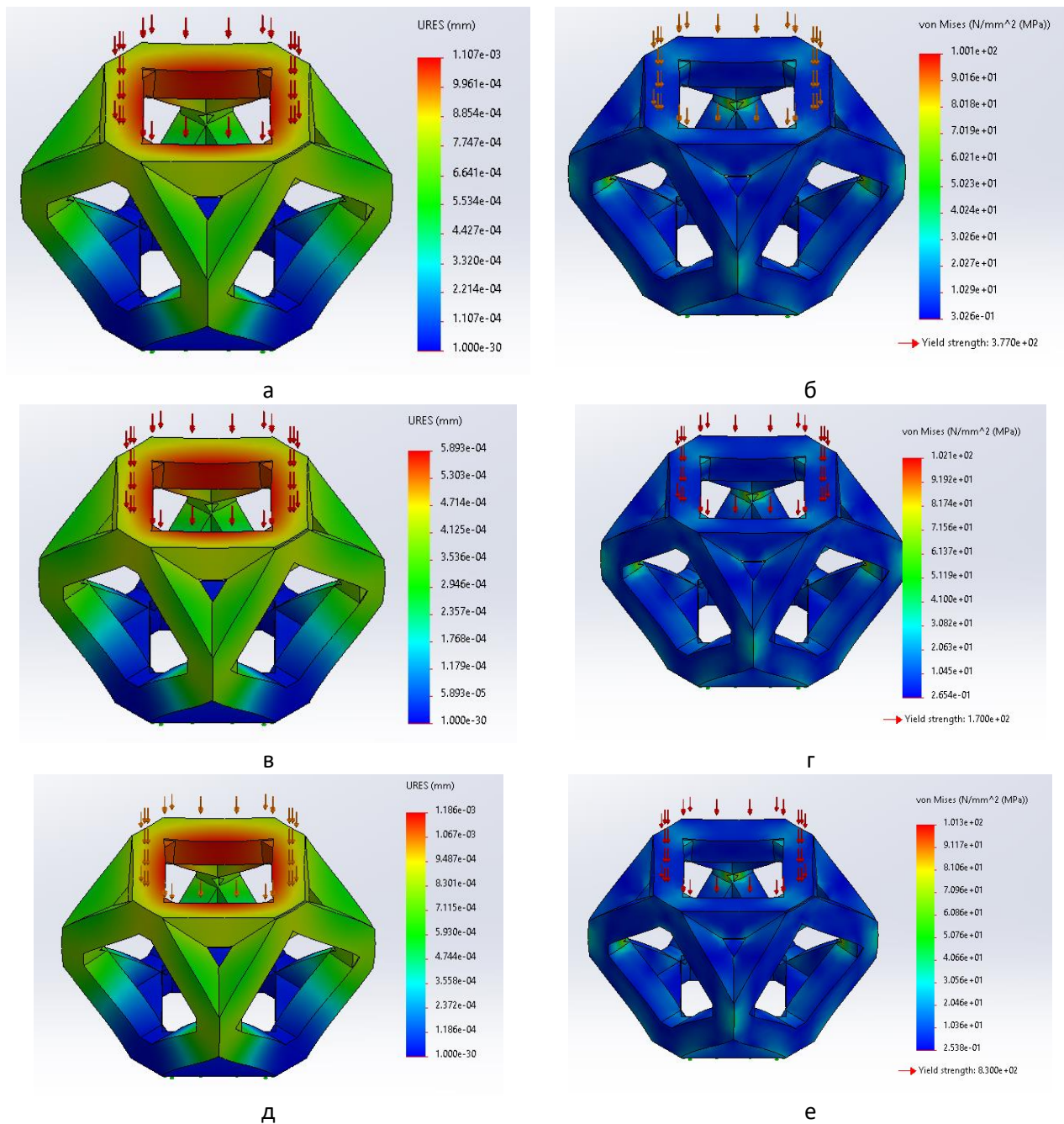
Для врахування одночасно всіх компонентів поля напруження і нормальних, і дотичних, які діють при прикладанні навантаження, використаємо еквівалентне напруження (напруження за Мізесом). Напруження за Мізесом характеризує загальний напружений стан у певній точці:

$$\sigma_M = \sqrt{0,5[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]} \quad (3.1)$$

У формулі через σ і τ позначено відповідно нормальне і дотичне напруження, а індекси показують напрями дії напруження уздовж осей x , y і z [26].

Співвідношення (3.1) дозволяє при заданих навантаженні і розрахунку поперечного перерізу елементів знайти найбільше напруження (напруження за Мізесом) і порівняти його з критичним.

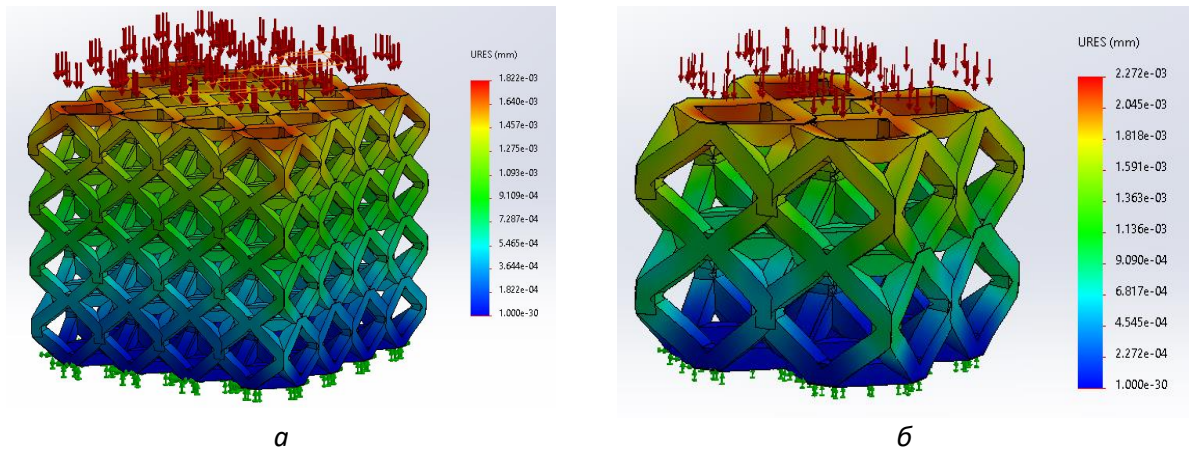
Розподіл напружень за Мізесом при навантаженні в 2 МПа для трьох різних матеріалів показано на рисунку 3.1. Елементарні комірки демонструють виникнення залишкових напружень за Мізесом величиною 100 МПа у всіх матеріалах, проте деформація у сталевого зразка є найменшою $5,89 \cdot 10^{-4}$ мм, що можна пояснити вищим значенням модулю пружності. Максимальна деформація для титанового сплаву становить $1,19 \cdot 10^{-3}$ мм, що менше пластичності матеріалу (близько 0,04). Отримані результати показали, що в однакових умовах навантаження, деформація та напруження Мізеса залежать від пластичності матеріалу.



а, б – Ti; в, г – сталь 316L; д, е – сплав Ti6Al4V

Рисунок 3.1 – Деформація (а) та розподіл напружень за Мізесом (б) для різних типів матеріалів (товщина стінки комірки 0,5 мм)

На рисунку 3.2 порівняно вплив товщини стінки (ефективного діаметру) елементарної комірки на величину деформації титанового сплаву. Встановлено, що при більшому числі елементарних комірок з меншою товщиною стінки деформація зразка є меншою на 20%.



a – товщина стінки 0,5 мм; *б* – товщина стінки 1 мм

Рисунок 3.2 – Деформація зразка зі сплаву Ti6Al4V

Залежність деформації від навантаження для двох типів структур зображено на рисунку 3.3. Як видно з отриманих результатів збільшення кількості елементарних комірок при незмінному значенні пористості дозволяє зменшити рівень деформації, що ж суттєвим для значень навантаження, які перевищують 1 МПа.

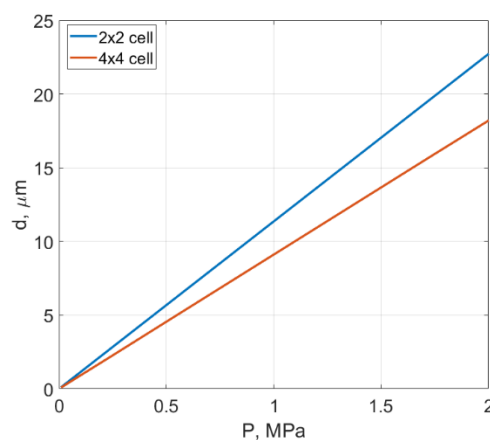


Рисунок 3.3 – Залежність деформації від навантаження

Використання елементарної комірки, яка показує рівномірний розподіл напружень має велике значення з точки зору реінтеграції кістки.

4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Одним із важливих чинників, який визначає надійність і довговічність ендопротезу, є конструкція з трабекулярною структурою. Серед металів найкраща біосумісність і, відповідно, найбільша придатність для виготовлення ендопротезів властива чистому титану. Водночас підвищена схильність до зчеплювання практично з усіма матеріалами унеможлиблюють його використання при виготовленні компонентів пар тертя. Цей недолік також суттєво ускладнює прецизійну обробку виробу алмазно-абразивними методами. Вирішити проблему використання титанових компонентів у парах тертя можливо шляхом модифікації їхньої робочої поверхні, результатом чого має бути оптимальне поєднання міцності й адгезійної інертності. Для виготовлення даного протезу було обрано технологію ЕВМ, адже вона підходить для унікальних, універсальних матеріалів і залишається єдиною комерційно доступною технологією для адитивного виробництва деталей з металів і сплавів.

Метою розділу є забезпечення належних умов праці при виготовленні ендопротезу.

4.1 Характеристики дільниці

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і дієздатності людини в процесі праці. Безпека працюючих – це мета охорони праці. Специфіка виробництва, особливості технологічних процесів, розмаїтість застосованого

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловйова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						51	12
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

устаткування – усе це обумовлює різноманіття принципів забезпечення безпеки [27].

Великі металургійні виробництва, мають у своєму складі велику кількість різних процесів, та технологічних операцій, які безперечно в значній мірі корегуються та керуються засадами охорони праці. Для виготовлення протезів, було спроектовано цех загальною площею 324 м², який складається з 7 приміщень: головна зона, там де сам друк протезу, та другорядні, для підготовки порошку до друку та механічної обробки. У дільниці також знаходяться склад вихідної сировини, склад готової продукції та кімната ВТК. Щоб спроектувати цех потрібно виявити наявність наступних чинників: пил, підвищенні температури, враження електричним струмом, незадовільність освітлення, пожежонебезпечність та вибухонебезпечність.

Виробництво передбачає річний обсяг продукції в кількості 10 000 шт., з технологічної точки зору, це призводить, до того, що найбільш завантаженою і як наслідок найбільш небезпечною буде дільниця по електронно-променевому плавленні та кінцевій механічній обробці. Специфікація обладнання, що використовується наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Специфікація технологічного обладнання та оснащення дільниці по виготовленні ацетабулярної чашки

№ п.п.	Найменування	Розміри Д/Ш/В, мм	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	2	3	4	5	6
1	Сушильна шафа СНОЛ-67/350	675×600×615	потужність: 4 кВт; піддон : 3. об'єм 1 піддону: 867 см ³	1	1
2	Протиральне сито	800×950×2200	Продуктивність – 0,08 т/год Встановлена потужність 1,0 кВт,	1	2

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
3	ARCAMEBMS1 2	1850×900 ×2200	Швидкість плавлення до 60 см ³ /год Товщина шару 0,05 – 0,2 мм Швидкість сканування > 1000 м/с Потужність променя 3500 Вт	1	3
4	Фрезерный станок с ЧПУ универсальный MIKRON WF 52 C-ID11523	2200x270 0x2350	Потужність загальна (кВт) 13,5 Вага станка 3100 кг	1	4
5	Мийка FORMLABS	262 x 293 x 340	Рекомендоване робоче середовище Темп. 18-28 ° С	1	5

Характеристики приміщення в якому знаходиться робоче місце: довжина 18 м, ширина 18 м, висота 4 м. План приміщення представлений на рисунку 4.1.

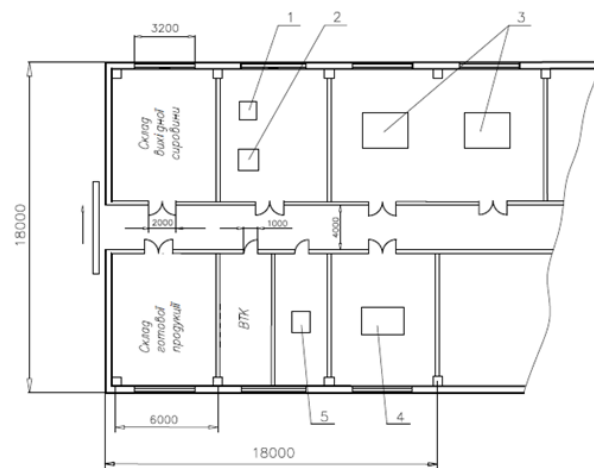


Рисунок 4.1 – План ділянки по виготовленні ендопротеза

Основне завдання даної дільниці, є друк ацетабулярної чашки з трабекулярною структурою, кінцеве доведення обробленої поверхні, контроль та передача деталей на склад готової продукції. Специфіка технологічного процесу передбачає наявності в робочому середовищі в якості хімічно активного середовища газу аргон, оскільки він є нетоксичний і невибухонебезпечний, це не призводить до підвищення небезпеки, та ізопропиловий спирт, підвищена концентрація якого вирішується вентиляцією.

У зоні розташування фрезерного станку для механічної обробки та протирочного сита вставлено місцеву вентиляцію, для уникнення можливого запилення. Підлога в дільниці бетонна, не проводить струм. Для забезпечення високої видимості та уникнення перенапруженості зору дільниця передбачає наявність природного освітлення і комплексного штучного освітлення [28]. За кожним робочим місцем працює лише один оператор. Реальні та нормативні характеристики приміщення наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри мікроклімату [29]

Фактор клімату	Оптимальне	Допустиме	Фактичне	Висновки
Холодний період року				
Температура, °C	17-19	13-23	10-11	Нижче допустимої
Відносна вологість, %	40-60	≤75	60-63	В межах оптимальної
Швидкість руху, м/с	0,2	≤0,4	0,2-0,4	В межах допустимої
Теплий період року				
Температура, °C	20-22	15-30	20	В межах допустимої
Відносна вологість, %	40-60	70	70	В межах допустимої
Швидкість руху, м/с	0,3	0,2-0,5	0,2-0,3	В межах допустимої

Аналіз мікроклімату приміщення, виходячи з допустимих значень в залежності від періоду року. Теплий період року, відповідно з санітарно-гігієнічного нормування, при середньодобовій температурі вище +10 °C,

холодний – середньодобова температура не вище +10 °С. Через невідповідність температури в приміщенні в холодний період року повинен відбуватись обігрів цеху [30]. Параметри приміщення наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Реальні та нормальні характеристики приміщення і розміщення технологічного обладнання [31]

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Площа на 1 працюючого	54 м ²	4.5 м ²
2.	Об'єм на 1 працюючого	216 м ³	15 м ³
3.	Мінімальна ширина проходу	2 м	1.5 м

4.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів

Аналізуючи основні технологічні операції, які лежить в основі роботи дільниці, можна виділити декілька груп небезпечних та шкідливих факторів. У загальному випадку при роботі з обладнанням для виготовлення кульшового суглоба можуть виникати: теплові та хімічні небезпеки; небезпека займання та вибуху; фізична втома від статичного положення тіла. Розглянемо більш детально наведені фактори (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Основні небезпечні та шкідливі фактори
при роботі [32] - [35]

Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причина небезпеки	Наслідки небезпеки
1	2	3	4
Сушильна шафа СНОЛ-67/350	Вилка кабелю живлення	Виникає за рахунок підключення шафи до мережі живлення без заземлення, або використовуються перехідники для підключення до двополюсних розеток без заземлюючого контакту	Ураження струмом працівника, вихід з ладу установки
	Робоча камера та піддони	Виникає за рахунок відкривання дверей камери під час роботи шафи в режимі нагріву	Середні опіки працівника, травми
Установка Arcam EBM	Кабель живлення	Виникає за рахунок несправностей установки	Можливість працівнику отримати електротравми
	Поверхня предметів	Виникає за рахунок контакту з незахищеною поверхнею тіла	Можливість працівнику отримати значні опіки

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
	Робоча платформа	Погана фіксація в установці, розплавлення термопластика або столу печаті	Фізичні травми кінцівок.
	Порошок металу	Ризик впливу хімічних речовин	Потрапляючи в організм людини, можуть викликати алергічні реакції, травмувати слизову оболонку.
Фрезерний станок MIKRON WF 52 C-ID11523	Шумове навантаження	Обробка деталі фрезером	Постійна дія шуму, може призводити до розвитку хронічної втоми робітника, порушення режиму сну, зниження працездатності, та якості слуху.

Проведемо аналіз на відповідність величини інтенсивності наведених факторів, відповідним нормативним документам та актам. Визначимо ГДК та ГДР процесу (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Порівняльний номінальних та нормативних значень ГДР/ГДК для виробничого процесу виготовлення кульшового суглобу

№ п.п.	Небезпечний / шкідливий фактор	Реальне, (очікуване) значення	Нормативні значення
1	Теплове випромінювання	420 Вт/м ²	140 Вт/м ² [32]
2	Вібрація	Загальна вібрація 80 Гц	Загальна вібрація 63,0 Гц [33]
3	Шумове навантаження (фрезерний станок)	250 дБ	125 дБ [34]
4	Шумове навантаження (протиручне сито)	150 дБ	
5	Хімічні викиди парів	ГДК _{СЗН80} = 13 мг/м ³	ГДК _{СЗН80} = 10 мг/м ³ [35]

Попередній аналіз показує, що без введення додаткових засобів охорони праці діляниця не відповідає тим вимогам, які ставлять відповідні нормативні акти.

4.3 Заходи забезпечення безпеки праці

Для забезпечення відповідних умов праці, потрібно проводити комплекс заходів, щодо запобігання та унеможливлення виникнення виробничих факторів, які будуть призводити до виникнення небезпечних ситуації, травмування робітників, зниження їх працездатності.

Заходи з виробничої санітарії:

а) для запобігання запиленості та загазованості приміщення пилом і парами металу, що плавиться при 3D друкуванні необхідно передбачити вентиляційні системи, які повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;

б) для забезпечення відповідних умов праці й мікроклімату в холодну пору року потрібно забезпечити опалення приміщення;

в) оцінку впливу рівня вібрацій необхідно проводити за ДСТУ ISO 2631-1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину» [33]. Рівень шуму при проведенні дослідів в лабораторії не повинен перевищувати 80 дБ згідно вимог (ДСН 3.3.6.037-99) [35];

г) приміщення повинні мати природне та штучне освітлення.

Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення ПК має становити 400 лк, якщо ці значення неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення.

Штучне освітлення має бути комбінованим, тобто поєднується з місцевим. В якості джерел штучного освітлення рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи білого спектрального складу. Місцеве освітлення не повинно створювати відблиски на поверхні екрану та збільшувати освітленість екрану більше 400 лк. Коефіцієнт пульсації не має перевищувати 5%. Тому рекомендується використовувати світильники з розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або відзеркалювачі з високочастотними пускорегулювальними апаратами. Передбачаються вікна розміром 1500 мм, та світильники ЛП-01 згідно вимог ДБН В.2.5.28-2006. Природне та штучне освітлення [36];

д) для зниження впливу випромінювання оператори забезпечуються спецодягом (Респіратор FFP3 (дрібнодисперсні порошки) , окуляри, рукавички нітрилові, комбінезон), та забезпечуються достатньою кількістю питної води для відновлення водного балансу згідно ДСТУ 7239:2011 [37];

е) працівники, які працюють в умовах високих звукових коливань, додатково мають засоби захисту органів слугу.

Технічні заходи:

а) необхідно передбачити захисне розділення мереж та регулярну перевірку ізоляції кабелів живлення;

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) потрібно передбачити захисні чохли для захисту оператора від потрапляння осколків та іскор. При механічній обробці додатково потрібно забезпечити жорстке закріплення деталі для обробки ;

в) забезпечити системи електропостачання, додатковими елементами захисту від ураження струмом персоналу. Доцільно використовувати комплекс огорож та знаків небезпеки;

г) балон, який знаходиться під тиском, потрібно піддавати щоденному огляду перед початком роботи. Зберігати їх потрібно з дотриманням температурного режиму без різких перепадів.

Експлуатаційні заходи:

а) профілактичні огляди та ремонт обладнання слід проводити згідно графіку та НПАОП 0.00-6.18-04 [38];

б) регулярне обслуговування всього технологічного обладнання та допоміжного – очистка вентиляції, заміна стертих абразивів, перевірка на відсутність закупорення труб опалення.

Режимні заходи:

а) заборона паління на території цеху та в околицях;

б) жорсткий пропускний контроль на території цеху.

Заходи ергономіки:

а) інтер'єр та кольори варто підбирати в спокійні виваженій гамі для компотної праці робітників згідно ДСТУ 7234:2011 [39];

б) робочі місця мають бути ергономічними, підібраними під особисті потреби робітника;

в) легкий доступ до обладнання.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Пожежна безпека

Протипожежні профілактичні заходи, насамперед, повинні бути направлені на попередження виникнення пожеж та на створення умов, перешкоджаючих поширенню вогню у випадку пожежі.

Причиною пожежі у цеху можуть стати високодисперсні частки матеріалу, легкозаймисті рідини, пошкоджений електричний дріт, перевантаження в електромережі, зношування та корозія обладнання, порушення правил використання матеріалів. А також причинами пожежі можуть стати: струми коротких замикань; великі перехідні опори; неефективна робота вентиляції.

Передбачаємо ряд заходів щодо пожежної безпеки систем: вентиляції, звукова та світлова сигналізації, які сповіщають про порушення роботи проточних та витяжних систем, заземлення опалювально-вентиляційного обладнання, повітропроводи у вибухонебезпечних приміщеннях передбачені із матеріалів які не горять:

а) облицювання, конструкція, стіни мають бути виконані з негорючих матеріалів;

б) технологічний процес передбачає суттєвий перегріву окремих частин, принтер працює за температур до 1000 °С, тому має високий ступінь ізоляцій від теплового випромінювання;

в) використання газу аргону під високим тиском не призводить до необхідності тримати балон в окремо виділеному приміщенні, але має бути ізольований від середовища горіння;

г) дільниця відноситься до категорії Д, згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [40], так як обладнана ПК з ВДТ встановлюється система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6», яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміщення датчика. Біля входу до цеху встановлено щит та бункер із піском , згідно ДБН В2.5-13-98 [41];

д) передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку, а з іншого – вхідні двері. Як засіб індивідуального пожежегасіння у цеху застосовують вогнегасники ОХП-10, ОВП-10; для гасіння пожеж електроустановок під напругою – вуглекислотні ОУ-5, ОУ-8; обладнуються спеціальні стенди;

е) дільниця має схему евакуації людей під час пожежі. Кожний із працівників цеху повинен проходити інструктаж по пожежній безпеці.

Організаційні:

- а) проведення навчальних пожежних тривог;
- б) проведення моніторингу стану обладнання, перевірку вогнегасників та системи сигналізації.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Для розрахунку економічних витрат потрібно розрахувати кількість електроенергії, необхідної для забезпечення нормальної роботи проекрованої ділянки. Витрата електроенергії визначають на підставі вибору й розрахунку кількості устаткування, його споживаної потужності й режиму роботи:

$$E = M \cdot \Phi_0 \cdot \eta \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (5.1)$$

де E – споживча кількість електроенергії, кВт/год рік ;

M - установлена потужність обладнання;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання;

η - коефіцієнт завантаженості обладнання;

k_1 - коефіцієнт одночасності роботи (для двигунів = 0,3);

k_2 – коефіцієнт використання потужності (0,7).

Витрата енергії на освітлення розраховуємо за формулою:

$$Q = S \cdot g \cdot \tau \cdot f / 1000, \quad (5.2)$$

де S - освітлювана площа, м;

g - поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м;

τ - число годин горіння в році;

f - коефіцієнт одночасного горіння.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловйова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						63	28
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

Результати розрахункових значень витрат електроенергії приводимо у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача струму	Кількість споживачів	Потужність, кВт	Фонд робочого часу на рік	Коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт одночасності роботи	Коефіцієнт використання потужності	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Сушильна шафа СНОЛ-67/350	1	4	480	0,37	0,3	0,7	149,184
Протирочне сито	1	1	1164	0,17	0,3	0,7	41,5548
Установка Argam EBM	2	7	10400	0,88	0,3	0,7	13453,4
Фрезерний станок MIKRONW F 52 C-ID11523	1	13,5	1856	0,19	0,3	0,7	999,734
Мийка Formlabs	1	0,5	1856	0,02	0,3	0,7	3,8976
Усього витрат, кВт·год							28101,3

Розрахунок освітлення виконують по приміщеннях (табл. 5.2) на основі плану дільниці (габаритні розміри приміщень).

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживачів	S, м ²	q, Вт/м ³	f	τ, год	Річні витрати, кВт*год
Склад сировини	42	10	0,7	2500	735
Склад готової продукції	42	10	0,7	2500	735
Приміщення підготовки порошку	42	12	0,8	2500	1008
Відділ друку	42	12	0,8	2500	1008
Відділ механічної обробки	42	15	0,8	2500	1260
Відділ мийки деталі	21	12	0,8	2500	504
Приміщення ВТК	21	15	0,8	2500	630
Коридор	72	10	0,7	2500	1260
Усього витрат, кВт*год					7140

Як вихідні дані також використовують дані по споживанню на освітлення та режими роботи освітлювальних точок.

5.1 Розрахунок чисельності виробничих робітників

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

Для визначення загальної чисельності промислово-виробничого персоналу на плановий період використовують метод 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:

$$\chi_{p.n}^{пл} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot m_i}{T_{p.ч} \cdot K_{в.н}}, \quad (5.3)$$

де n – кількість найменувань продукції;

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

m_i – кількість продукції i -го виду, одиниць;

$T_{p.ч}$ – розрахунковий ефективний час роботи одного робітника, год.
(табл.5.1.1)

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

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

$$\chi_{ос}^{пл} = \frac{m_0 \cdot P_{зм} \cdot K_{п}}{H_{об}}, \quad (5.4)$$

де m_0 – кількість обслуговуваних об'єктів;

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

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

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

Таблиця 5.1.1 – Баланс робочого часу середньооблікового працівника

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

Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову розраховується за формулою:

$$K_{\pi} = \frac{100}{(100-k)}, \quad (5.5)$$

де k – плановий відсоток невиходів на роботу (за даними таблиці 5.1).

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

$$K_{\pi} = \frac{100}{(100-10,6)} = 1,12.$$

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:

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Ч}_{\text{д}}^{\text{пл}} = \text{П}_{\text{р.м}} \cdot \text{П}_{\text{зм}} \cdot \text{К}_{\text{п}}, \quad (5.6)$$

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

Результати розрахунків чисельності основних і допоміжних робітників (за робочими місцями) наведено в таблиці 5.1.2.

Таблиця 5.1.2 – Чисельність основних і допоміжних робітників ділянки

Професія, спеціальність	Квалфікаційний розряд	Явочна чисельність по змінах		Загалом на добу	Коефіцієнт переведення явочної чисельності в облікову	Облікова чисельність
		1-а	2-а			
Основні робітники						
Сушильник	4	1	-	1	1,12	1
Інженер по роботі з ЕВМ принтером	5	1	-	1	1,12	1
Оброблювальник (фрез. станок)	4	1	-	1	1,12	1
Мийник	3	1	-	1	1,12	1
Разом						4
Допоміжні працівники						
Наладчик	6	1	-	1	1,12	1
Черговий слюсар-електрик	5	1	-	1	1,12	1
Вантажник	2	1	-	1	1,12	1
Разом						3
Всього робітників						7

5.2 Визначення фондів заробітної плати

Основним організаційно-правовим інструментом обґрунтування диференціації зарплати працівників підприємства різних форм господарчої діяльності є тарифно-посадова система, основні елементи якої: тарифно-кваліфікаційні довідники; кваліфікаційні довідники посад керівників, спеціалістів і службовців; тарифні сітки й ставки; схеми посадових окладів або

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

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 5.2.1.

Таблиця 5.2.1 – Типова тарифна сітка робітників різногалузевих підприємств та організацій

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

Важливим елементом тарифної системи є тарифна ставка. Її абсолютну величину визначають згідно зі встановленим державою мінімальним розміром заробітної плати. Згідно державного бюджету України на 2021 рік мінімальна заробітна плата становить: у місячному розмірі – 6 000 грн, у погодинному розмірі – 36,11 грн.[42]. Так, якщо на підприємстві тарифну ставку для першого розряду встановлено на рівні 36,11 грн, то ставка другого розряду становитиме $36,11 \times 1,088 = 39,29$ грн, третього розряду $36,11 \times 1,204 = 43,48$ грн, для четвертого = 48,75 грн, для п'ятого = 55,28 грн, для шостого = 65 грн. Розрахунок фондів зарплати управлінського та обслуговуючого персоналу наведено у таблиці 5.2.2, а основних і допоміжних робітників у табл. 5.2.3.

Таблиця 5.2.2 – Розрахунок фонду заробітної плати управлінського та обслуговуючого персоналу

Штатна посада	Чисельність, осіб	Місячний посад. оклад, грн	Річний фонд зароб. плати, грн
Керівники			
Начальник цеху	1	21000	252 000
Заступник начальника цеху	1	19000	228 000
Начальник дільниці	1	16000	384 000
Майстер	1	14000	336 000
Разом			1200 000
Спеціалісти			
Провідний інженер-технолог	1	15000	180 000
Інженер-технолог II-ї категорії	1	12000	144 000
Диспетчер	1	10000	120 000
Разом			444 000
Службовці та молодший обслуговуючий персонал (МОП)			
Обліковець	1	9000	108 000
Комірник	1	9000	108 000
Прибиральниця	1	6000	72 000
Разом			288 000
Усього по цеху (дільниці)			1 932 000

Таблиця 5.2.3 – Розрахунок фонду заробітної основних і допоміжних робітників

Професія, спеціальність	Кв алі фік а- цій ни й роз ряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Облікови й склад, осіб	Кількість годин роботи за рік		Основна заробітн а плата, тис.грн.	Розрахунок додаткової заробітної плати, грн					Загальни й фонд заробітно ї плати, грн. (7+12)
				Одного робітник а	Усіх		Надбавки та доплати				Разом (8+9+10 +11)	
							Премії	За роботу в особлив их умовах (18%)	Оплата відпус ток (12%)	Інші доплати та надбавки (10%)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Основні (технологічні) робітники												
Сушильник	4	48,75	1	1672	1672	81,51	32,604	14,6718	9,7812	8,151	65,208	146,718
Інженер по роботі з ЕВМ	5	55,28	1	1672	1672	92,42816	36,97126	16,6370 7	11,0913 8	9,242816	73,94253	166,3707
Оброблювальн ик (фрезерний станок)	4	48,75	1	1672	1672	81,51	32,604	14,6718	9,7812	8,151	65,208	146,718
Мийник	3	43,48	1	1672	1672	72,69856	29,07942	13,0857 4	8,72382 7	7,269856	58,15885	130,8574
Разом						328,1467					262,5174	590,6641
Допоміжні (обслуговуючі) робітники												
Наладчик	6	65,00	1	1672	1672	108,68	43,472	19,5624	13,0416	10,868	86,944	195,624
Черговий слюсар- електрик	5	55,28	1	1672	1672	92,42816	36,9712 6	16,63707	11,0913 8	9,242816	73,94253	166,3707
Вантажник	2	39,29	1	1672	1672	65,69288	26,2771 5	11,82472	7,88314 6	6,569288	52,5543	118,2472
Разом						266,801	106,720 4				213,4408	480,2419
Усього по цеху (виробничій дільниці)						594,9478					475,9582	1070,906

ФН81.8119.1103.003.01ПЗ

71

Арк.

5.3 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:

$$\Pi = \frac{G}{\sum \text{Ч}}, \quad (5.7)$$

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

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

$$\Pi = 10\,000/17 = 589 \text{ шт/особ.}$$

5.4 Розрахунок капітальних 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.).

Розрахунок капіталовкладень в обладнання та підйомно-транспортувальні засоби наведено у табл. 5.4.1. Для розрахунку вартість транспортування обладнання, його монтажу і налагодження беруть у розмірі 10 % від його ціни.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.4.1 – 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
1	2	3	4	5	6
Основне технологічне устаткування					
Сушильна шафа СНОЛ-67/350	1	23	23	2,3	25,3
Протирочне сито	1	38,5	38,5	3,85	42,35
Установка Arcam EBM	2	8 850	17 700	576	18 276
Фрезерний станок MIKRONWF 52 C-ID11523	1	555	555	55,5	610,5
Мийка Formlabs	1	840	840	84	924
Разом основне технологічне устаткування					19878,15
Допоміжне та підйомно - транспортне устаткування					
Комп'ютер HP ProOne 440 G6 AiO / i5-10500T (1C6Y1EA) + клавіатура + мишка	1	34	34	3,4	37,4
Візок для транспортування порошку УХЛ-МАШ	3	3	9	0,9	9,9
Система водяного охолодження EU&ROW	1	162	162	16,2	178,2
Разом допоміжне та підйомно-транспортне устаткування					225,5
Загалом по цеху (виробничій ділянці)					20 103,7

Оцінка величини капіталовкладень в будівництво цеху проводиться входячи з номінальних розмірів приміщення. Згідно спроектованої раніше плану ділянки довжина приміщення складає 21,5 м, ширина – 18 м висота – 4 м, загальна площа будівлі складає – 387 м², об'ємом – 1548 м³.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Обсяг капіталовкладень у виробничі будівлі та споруди визначають виходячи з площі цеху й усереднених нормативів вартості будівельних конструкцій і промислових проводок (табл.5.4.2).

Таблиця 5.4.2 – Усереднені ринкові ціни на елементи
будівельно-монтажних робіт

Елементи будівельно-монтажних робіт	Об'єм будівлі м ³	Вартість, тис. грн
1	2	3
1. Виробничі одноповерхові будівлі	936	2360
2. Водопостачання виробничих приміщень		30,1
3. Каналізація виробничих приміщень		26,6
4. Електропроводка виробничих приміщень		49,3
5. Вентиляція виробничих приміщень		49,3
Всього		2515,3
6. Побутові приміщення	360	1140
7. Водопостачання побутових приміщень		18,2
8. Каналізація побутових приміщень		35,6
9. Електропроводка побутових приміщень		24,5
10. Вентиляція побутових приміщень		28,8
Всього		1247,1
11. Зовнішній благоустрій	460	65,8
12. Невраховані витрати	460	416,8
Всього		482,6
Загальна вартість будівлі		4245

Безперервну виробничу діяльність 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 ($З_m$) визначається за формулою:

$$З_m = M_d \cdot \frac{T_{\text{пост}}}{2}, \quad (5.8)$$

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 246.

$$З_m = 1946,3 \cdot 25 / 246 \cdot 2 = 98,9 \text{ тис. грн.}$$

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:

$$H_{\text{заг}} = 1,5 \cdot З_m, \quad (5.9)$$

$$H_{\text{заг}} = 1,5 \cdot 98,9 = 148,35 \text{ тис. грн.}$$

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього розраховують загальні капітальні вкладення в об'єкт, що проектується (табл. 5.4.3).

Таблиця 5.4.3 – Розрахунок загальних капітальних вкладень

Елементи капіталовкладень	Сума	
	тис. грн.	%
1. Будівлі:		
1.1. Виробничі	2515,3	10,47
1.2. Побутові	1247,1	5,19
2. Устаткування		
2.1. Основне технологічне	19 878,15	82,78
2.2. Допоміжне та підйомно-транспортне	225,5	0,93
3. Норматив оборотних засобів	148,35	0,61
Всього капіталовкладень у виробничі засоби	24014, 4	100

5.5 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 визначення об'єкта калькулювання, вибір калькуляційних одиниць, калькуляційних статей витрат та методики обчислення. 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) позавиробничі витрати (на збут продукції, на маркетинг).

Стаття «Сировина та матеріали» містить витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, закуплені вироби і напівфабрикати, тобто витрати, які можна обчислити безпосередньо на одиницю продукції на підставі витратних норм і цін. Розрахунки оформляють у вигляді таблиці 5.5.1.

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. Розрахунки оформляють у вигляді таблиці 5.5.2. На основі виконаних розрахунків складається планова калькуляція собівартості продукції (табл. 5.5.3).

Таблиця 5.5.1 – Розрахунок вартості основних і допоміжних матеріалів на річну виробничу програму

Найменування сировини та матеріалів	Добові витрати, л, кг	Планова кількість днів роботи дільниці на рік	Річні витрати, кг, л	Планова ціна за кг, л, грн	Вартість за рік, тис. грн
Основні матеріали					
Порошок Ti6Al4V	2,16	232	501,12	3220	1613,6064
90 % ізопропиловий спирт	8,6	232	1995,2	90	179,568
Аргон	0,7	232	162,4	80	12,992
Усього по дільниці за рік					1806,17

Таблиця 5.5.2 – Відомість витрат енергоносіїв (електроенергії, води)

Споживачі енергоносіїв	Вид енергоносія	Одиниця виміру	Річні витрати	Ціна електроенергії за 1 кВт·год	Вартість на рік, тис. грн
Технологічне та допоміжне устаткування	електроенергія	кВт·год	28101,3	1,44	40465,87
Освітлення виробничих приміщень	електроенергія	кВт·год	7140	1,44	10281,6
Господарчо - санітарні потреби	технічна вода	тис. м3	10	31,8	318
Загально річна вартість енергоносіїв					51065,472

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.

$$590,66 \cdot 0,22 = 129,8 \text{ тис.грн.}$$

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

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

$$328,1467 \cdot 1,5 = 492,22 \text{ тис.грн.}$$

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

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) амортизація основних засобів та нематеріальних активів загальновиробничого призначення;

б) 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);

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

г) витрати на удосконалення технології та організації виробництва;

д) витрати на освітлення, опалення, водопостачання виробничих приміщень;

е) 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-аналогі. У разі відсутності таких даних загальновиробничі витрати встановлюють на рівні 100–120 % від величини статті «Основна заробітна плата технологічних робітників».

$$328,1467 \cdot 1,2 = 393,78 \text{ тис.грн.}$$

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

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

плати технологічних робітників.

$$328,1467 \cdot 1,1 = 360,96 \text{ тис.грн.}$$

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

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

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

$$328,1467 \cdot 0,5 = 164,07 \text{ тис. грн.}$$

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

- а) відшкодування вантажно-розвантажувальних, складських, пакувальних, транспортних і страхових витрат;
- б) маркетингові витрати (реклама, участь у виставках, дослідження ринку та ін.);
- в) витрати на гарантійний ремонт та гарантійне обслуговування;
- г) 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 % (табл. 5.5.3).

На основі виконаних розрахунків складається планова калькуляція собівартості продукції (табл. 5.5.3).

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.5.3 – Планова калькуляція собівартості річного обсягу виробництва продукції

Найменування статей витрат	Витрати на річну програму, тис.грн
1 Сировина та матеріали	1806,17
2 Енергоносії	51065,48
3 Основна заробітна плата	328,15
4 Додаткова заробітна плата	262,52
5 Відрахування на соціальне страхування	129,94
6 Утримання та експлуатація машин та устаткування	492,22
7 Загальновиробничі витрати	393,78
8. Загальногосподарські витрати	360,96
9. Витрати на підготовку та освоєння виробництва	164,07
Виробнича собівартість річної програми	55003,29
10. Позавиробничі витрати	5500,329
Повна собівартість річної програми	60503,619

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

$$C_{\Pi} = \frac{C_{\Pi}^{\text{річ}}}{G}, \quad (5.10)$$

де G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

$$C_{\Pi} = \frac{60503,619}{10000} = 6,05 \text{ тис.грн./ шт.}$$

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

5.6 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:

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

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

$$t = \frac{\chi_{\text{ос}} \cdot \Phi_{\text{еф}}^{\text{пл}}}{G}, \quad (5.11)$$
$$t = \frac{7 \cdot 1672}{10000} = 1,17.$$

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

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

G – річний обсяг (програма) випуску продукції.

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

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_G = \frac{K_{\text{заг}}}{G}, \quad (5.12)$$

$$K_G = \frac{24014400}{10000} = 2401,44 \text{ грн/шт.}$$

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

$$\Pi_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{\Gamma \Pi_p} < \Pi_{\text{ок}}^{\text{н}}, \quad (5.13)$$

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

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

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

$$\Gamma \Pi_p = 0,82 \cdot (\text{Ц} - \text{C}_{\text{п}}) \cdot G + \sum A, \quad (5.14)$$

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

Ц – ринкова ціна одиниці продукції, грн;

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

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

Загальна річна сума амортизаційних відрахувань розраховується, виходячи з вартості основних засобів по 16-ом групам та передбаченого мінімального терміну їхньої експлуатації (табл. 5.5.4).

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.5.4 – Відомості амортизаційних відрахувань

№	Об'єкт амортизації	Вартість, тис. грн.	Відсоток амортизації	Сума амортизаційних відрахувань, тис.грн.
1	Витрати на побудову дільниці	4245	5	212,25
2	Обладнання	20103,7	50	10051,85
Всього				10264,1

$$ГП_p = 0,82 \cdot (8 - 6,05) \cdot 10000 + 10264100 = 10\,280\,090 \text{ грн},$$

$$П_{ок} = \frac{24\,014\,400}{10\,280\,090} = 2,34 = 2 \text{ роки і 4 місяці.}$$

Окупність вкладеного капіталу складає 2 роки і 4 місяці.. Техніко-економічні показники проекту наведено в таблиці 5.5.5

Таблиця 5.5.5 – Техніко-економічні показники спроектованого об'єкта

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
1. Річний плановий обсяг виробництва продукції (G)	шт	10 000
2. Загальна площа дільниці	м ²	324
3. Виробнича площа дільниці	м ²	92
4. Капіталомісткість продукції (K_G)	($\frac{\text{грн}}{\text{шт}}$)	2401,44

Продовження таблиці 5.5.5

1	2	3
5. Загальна чисельність у тому числі: основний (технол.) персонал допоміжний (технол.) персонал управлінський та обслуговуючий персонал	осіб	4 3 10
6. Загальний річний фонд заробітної плати	тис. грн	1070,906
7. Середньомісячна заробітна плата одного працівника	грн	12 748
8. Річний виробіток на одного працівника (продуктивність праці)	$\frac{\text{шт}}{(\text{особу})}$	589
9. Технологічна трудомісткість продукції (t)	$\frac{\text{нормо} - \text{год}}{(\text{шт})}$	1,17
10. Цехова собівартість одиниці продукції	$\frac{\text{грн}}{(\text{шт})}$	6050
7. Період окупності (P _{ок})	років	2 роки і 4 місяці

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз літературних даних, щодо технологій та матеріалів, які використовуються для виготовлення ендопротеза з трабекулярною структурою . Розглянуто основні види матеріалів, які використовуються для даних цілей, та основі технології напилення та 3Д друку. Показано, що найбільш перспективною комбінацією матеріал/технологія для виготовлення, являється титановий порошок Ti-6Al-4V) / електронно – променеве плавлення.

2. Обрано технологічну схему для ЕВМ, описано оптимальні режими кожної операції. Розраховано основну матеріалоемність технологічного процесу та необхідну кількість матеріалів на кожній операції.

3. Для забезпечення високої ефективності та продуктивності праці на дільниці, було розраховано та підібрано : кількість та тип обладнання.

4. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів в умовах виробництва. Розроблено комплекс заходів охорони праці, для забезпечення високої ефективності та безпеки праці на виробництві.

5. Для забезпечення заданої продуктивності дільницю обслуговуватимуть 7 основних та допоміжних робітників, та 10 осіб управлінського та обслуговуючого персоналу. Фонд заробітної плати робітників складає – 1070,906 тис.грн.

6. Розраховано економічні показники, та економічну ефективність дільниці по виготовленні ендопротеза. Показано високу економічну ефективність, повна собівартість річної програми проекту, окупність проекту 2 роки і 4 місяці.

					ФН-81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловійова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						86	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

CONCLUSIONS

1. The analysis of literature data on technologies and materials used for the manufacture of endoprostheses with trabecular structure. The main types of materials used for these purposes and the basis of spraying technology and 3D printing are considered. It is shown that the most promising combination of material / technology for manufacturing is titanium powder Ti-6Al-4V) / electron beam melting.

2. The technological scheme for EBM is chosen, the optimal modes of each operation are described. The main material consumption of the technological process and the required amount of materials for each operation are calculated.

3. To ensure high efficiency and productivity at the manufacturing site, was calculated and selected: the number and type of equipment.

4. The analysis of dangerous and harmful factors in the conditions of production is carried out. A set of labor protection measures has been developed to ensure high efficiency and safety at work.

5. To ensure the set productivity, the manufacturing site will be serviced by 7 main and auxiliary workers, and 10 managerial and service personnel. The wage fund of workers is - 1070,906 thousand UAH.

6. Calculated economic indicators and economic efficiency of the site for the manufacture of endoprostheses. High economic efficiency, full cost of the annual project program, payback period of 2 years and 4 months are shown.

					ФН-81.8119.1103.003.01 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Чернета З. Є.			CONCLUSIONS			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Соловійова Т.О.								87	1
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81			
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.									
Затверд.											

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Murr L. Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies // Journal of Materials Science and Technology. - 2012. – P. 1-14.
2. Заболотний О. Уточнення умови пластичності ущільнювального порошкового середовища з частинками складної форми / О.В. Заболотний // Вісник ЖІТІ. – 2001. – №19 / Технічні науки. – С. 14-17.
3. Грек О.В. Огляд матеріалів для виготовлення ендопротезів суглобів / Грек О.В., Скрицький Р.І. // II Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційно-комп'ютерні технології: стан, досягнення та перспективи розвитку» 14-15 листопада 2019 року : тези – Житомир, 2019. – С. 102.
4. Friedman R.J. Bone Joint Surg./ R.J. Friedman , J. Black , J.O. Galante , J.J. Jacobs , H.B. Skinner , J. – 1993.
5. Regis M. Additive manufacturing of Trabecular Titanium orthopedic implants / M. Regis, Marin, E., Fedrizzi, L., Pressacco, M. MRS Bulletin. – 2015. – P. 137–144.
6. Рокита Т. Підготовка до ендопротезування кульшового суглобу : [Електронний ресурс] / Т. Рокита. – Електронні текстові дані // Клініка доктора Лінько. – 2022. – Режим доступу: <https://arthroscopy.kiev.ua/ua/podgotovka-k-ehndoprotezirovaniyu-tazobedrennogo-sustava.html>. – Назва з екрану.
7. Metal Material, Properties and Design Methods of Porous Biomedical Scaffolds for Additive Manufacturing: A Review / Yuting Lv, Binghao Wang, Guohao Liu // Front Bioeng Biotechnol. – 2021. – №9. – P.641130. doi: 10.3389/fbioe.2021.641130.

					ФН-81.8119.1103.003.01 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ		
Розроб.		Чернета З. Є.					
Перевір.		Соловйова Т.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бірюкович Л.О.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Акрушів
						88	5
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВТМ та ПМ Гр. ФН-81		

8. Рокита Т. Ендопротези для кульшових суглобів: [Електронний ресурс] / Т. Рокита. – Електронні текстові дані // Клініка доктора Лінько. – 2022. – Режим доступу:
<https://arthroscopy.kiev.ua/ua/%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8.html>. – Назва з екрану.
9. В. А. Філіпенко Сучасні тенденції розробки штучних суглобів людини / А. Філіпенко, В. О. Танькут, Н. О. Мельник-Кагляк, О. М. Косяков, С. В. Сохань // Ортопедия, травматология и протезирование. - 2016. - № 4. - С. 102-110.
10. Bonutti P.M. Orthopedics / P.M. Bonutti , R. Pivec , K. Issa , B.H. Kapadia , S. Banerjee , S.F. Harwin , M.A. Mont : T.W. Bauer 36 (8). – 2013. – 417 p.
11. Metal Material, Properties and Design Methods of Porous Biomedical Scaffolds for Additive Manufacturing: A Review / Yuting Lv, Binghao Wang, Guohao Liu // Front Bioeng Biotechnol. – 2021. – №9. – P.641130. doi: 10.3389/fbioe.2021.641130.
12. Tsui YC Plasma sprayed hydroxyapatite coatings on titanium substrates / , Tsui YC, Doyle C, Clyne TW // Part 2: optimisation of coating properties. Biomaterials. – 1998. – 19. – P.2031-2043.
13. Wolke, J. G. C.Sprayed and sputtered calcium phosphate coatings for medical implants / Wolke, J. G. : Thesis Katholieke Universiteit Nijmegen. – 1997. – P.145.
14. K.S. Munir Metallic Foam Bone / K.S. Munir, Y. Li, C. Wen // Woodhead Publishing:ISBN 9780081012895 – 2017. – P. 1–23.
15. Kruth J. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping / J. P.Kruth, M.C.Leu, T. Nakagawa // CIRP Ann.- Manuf. Technol. – 1998. – Vol.47, Issue 2. – P. 525-540.
16. Габовда О.В.Аддитивне виробництво на основі селективно електропроменевого плавлення / Габовда О.В.//Міжнародний науковий

журнал «ОСВІТА І НАУКА» – 2020. – № 1(28). – С. 11–15. –Бібліогр.: 5 назв.

17. ISO 17025.GE Additive and Orchid Sign Agreement to enable Orchid to Drive Scalable Metal 3D Printing Innovation in Large Joint Orthopedic Implants : Electron Beam Melting [Electronic resource] /AP&C receives accreditation for laboratory operations, 2022. – 20p. – Mode of access: <https://www.ge.com/additive/ebm/> - Title from the screen. – Date of appear : 17.04.2022.
18. Porous tantalum and tantalum oxide nanoparticles for regenerative medicine / G. Mohandas, N. Oskolkov, M.T. McMahon [et al.] // Review Acta Neurobiol. Exp. – 2014. – № 74. – P. 188–196.
19. Материалы металлические. Испытания на твердость по Бринеллю. Часть 1. [Текст]: ДСТУ EN ISO 6506-1:2019.- [Чинний від 2019-30-10]. – Москва : Стандартформ, 2019. -13с.
20. Аргон газоподібний та рідкий. Технічні умови [Текст]: ГОСТ 10157:2019.- [Чинний від 2019-21-5]. – Київ : Держстандарт України, 2019. -15с.
21. Additive manufacturing using selective electron beam melting/M. Matthias, L. Matthias,F.Martin [et. al.]/Welding and Cutting. – 2017. – № 3. – P. 177-184.
22. Аджамский С. В. Симуляция влияния остаточных напряжений и параметров SLM-технологии на формирование области границ изделия из жаропрочного никелевого сплава INCONEL 718 / С. В.Аджамский, А. А.Кононенко, Р. В. Подольский // The National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, 17 – 19 March, 2020 : тези – Дніпро, 2020. – С. 4-6.DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001
23. Fabrication and microstructural characterisation of additivemanufactured Ti-6Al-4V parts by electron beam melting / Yihong Kok, Xipeng Tan, Shu Beng Tor [et. al.] // Virtual and Physical Prototyping. – 2015. – Vol. 10, No. 1. – P. 13–21.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Alabort E. Design of metallic bone by additive manufacturing / Alaborta E. D Barbab D., Roger C. // Scripta Materialia. – 2019. - Volume 164. – P. 110-114.– Mode of access : <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.01.022> - Title from the screen.
25. Luigi La Barbera Modeling three-dimensional-printed trabecular metal structures with a homogenization approach: Application to hemipelvis reconstruction / Luigi La Barbera , Milena Trabace, Giancarlo Pennati and José Félix Rodríguez Matas //The International Journal of Artificial Organs. – 2019.-,Vol. 42(10). - P. 575–585. – Mode of access:<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0391398819848001> - Titlefrom the screen.
26. Ji Lit In vitro and in vivo evaluations of the fully porous Ti6Al4V acetabular cups fabricated by a sintering technique / Ji Li† ORCID logoa, Wei Litb, Zhongli Lia, Yuxing Wanga, Ruiling Lic, Jiangping Tuc and Gong Jind // Orthop. Sci : School of Pharmacy Binzhou Medical University, Yantai. – China. – 2019. - Vol. 9.- P. 6717-6723.
27. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Запарний та ін. // За ред. О.Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. – 472 с.
28. Электробезопасность на промышленных предприятиях: Справочник / Р.В. Сабарно, А.Г. Степанов и др. – К.: Техника. 1985. – 288 с.
29. Документація. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999.
30. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст] : ДБН В.2.5-67:2013. Чинний з 2014-01-01. — Київ — Держбуд України, 2014. — 240 с.
31. Про охорону праці [Електронний ресурс]:Закон України від 14.10.1992, № 2694-XII. / Верховна Рада України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. – Назва з екрана. – Дата перегляду : 15.05.2021.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

32. Документація. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999.
33. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [Текст] : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний від 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999.
34. Документація. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999.
35. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони [Текст] : Наказ № 1257. – Чинний від 2017-10-13 – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2017.
36. Державні і будівельні норми України. Природне і штучне освітлення [Текст] : ДБН В.2.5.28-2006. – Чинний з 2006-05-15. – Київ : Мінбуд України. 2006. – 76 с.
37. Система стандартів безпеки труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам [Текст] : ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. – Чинний від 2009-02-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2009. – 65 с.
38. НПАОП 0.00-6.18-04. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки.
39. Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки [Текст] : ДСТУ 7234:2011. . – Київ: Держстандарт України, 2011. – 10 с.
40. Загальні вимоги та методи випробування [Текст] : ДСТУ EN 420:2017. – [Чинний від 2018-02-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 35 с.
41. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст] : ДБН В.1.1.-7-2002. – Чинний з 2002-12-03. – Київ — Держбуд України, 2003. — 42 с.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

42. Закон України «Про Державний бюджет України на 2021 рік»
[Електронний ресурс] : Сайт Верховної Ради України. – Доступ до
ресурсу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1082-20>.

					ФН81.8119.1103.003.01 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

[illegible]

[illegible]