

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Фізико-технічний інститут, Інженерно-фізичний  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Фізичне матеріалознавство  
(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Удосконалення технології обробки  
несферичних металевих деталей для виготовлення  
деталей методом 3-D друку

Виконав: студент VI курсу, групи 400-212М  
спеціальності (напряму підготовки)

6.050403 Інженерне матеріалознавство  
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Немарнов В.К. Нк

(прізвище та ініціали)

Керівник Ольшанецький В.Ю

(прізвище та ініціали)

Рецензент Сніжний В.А.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2017 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Запорізький національний технічний університет  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Фізико-технічний, Інженерно-фізичний  
 Кафедра Фізичне матеріалознавство  
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр  
 Спеціальність 132 Промислове матеріалознавство  
 (код і назва)  
 Напрямок підготовки 6.050403 Інженерно матеріалознавство  
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Албтиненко  
Вадим Пилипівич  
 "11" грудня 2017 року

**ЗАВДАННЯ**  
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Кемеронов Владислав Костянтинович  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Уточнювальна технологія" отримання  
персферичних титанових порошків для виготовлення  
деталей методом 3-D друку  
 керівник проекту (роботи) Олександрович Вадим Юхимович д.т.н професор  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "03" лютого 2017 року № 375

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 08.12.2017р.  
 3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технологій та можливостей їх застосування в  
сучасних умовах. Матеріали і методи дослідження виготовлення  
титанових персферичних порошків для зривних технологій. Застосування  
персферичних порошків у процесі виготовлення та зривування  
для отримання виробів в зривних технологіях. Експериментальне вивчення  
використання дослідження. Висновки проєкту та безпечно використовувати технології

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Схема отримання деталі за технологією "SL 3D". Схема отримання деталі за  
технологією "DIRECT DEPOSITION". Результат проектування параметричної моделі  
титанового з'єднання. Результат заготовлення персферичних порошків і технологія виготовлення  
деталі PTD. Застосування титанових порошків нового типу (HDM) в зривних технологіях  
співставлення властивостей отриманих виробів з титанових матеріалів різницями  
методами виготовлення.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
Огляд літератури	Сивманецький В.Ю проф		
Методи дослідження	Сивманецький В.Ю проф		
Робота з джерелами	Сивманецький В.Ю проф		
Економіка, АТМВ	Курасікова В.В, доц		
Управління	Нестеров В, доц		
Норматив	Климов В.В, доц.		

7. Дата видачі завдання 03.10.2017р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Приміт
1	Визначення технологій та можливості їх застосування в інших умовах	18.10.2017	
2	Матеріали і методи дослідження використаних технологій	05.11.2017	
3	Застосування використаних технологій в певних умовах	20.11.2017	
4	Економічне обґрунтування всіх використаних досліджень та тенденції розвитку ринку асфальту.	25.11.2017	
5	Управління проектом та безпека у подібних ситуаціях	05.12.2017	

Студент

  
 (підпис) Нестеров В.К.  
 (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
 (підпис) Сивманецький В.Ю  
 (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: с.95, рис.27, джерела 28, табл. 18.

Мета роботи - удосконалення високоефективних експериментальних адитивних технологій для виготовлення деталей з високоякісних титанових порошків.

При використанні методів адитивних технологій в процесі отримання готових виробів заданої форми (методи 3D – друку) зазвичай використовують порошкові металеві матеріали зі сферичною формою частинок необхідного фракційного складу. В той же час найбільш перспективним напрямом розвитку такого роду технологій є застосування порошкових матеріалів з довільною формою металевих частинок у складі порошків. Перевагою таких частинок у порівнянні зі сферичним аналогом є низька собівартість процесу 3D друку та значне контактне механічне зчеплення частинок між собою при послідовному формуванні і обробці (спочатку силовій, а потім і температурній) шарів, що у купі відтворюють тривимірну будову конкретної металевої деталі.

**АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПОРОШОК, ГРАНУЛИ, ТИТАНОВІ СПЛАВИ,  
ЧАСТИНКА, СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ, ФРАКЦІЯ, 3D МОДЕЛЬ.**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	7
1.2 Розробка технології одержання сферичних гранул нових матеріалів з регульованим складом методом плазмового розпилення для адитивних технологій.....	16
1.3 Відпрацювання процесу плазмового відцентрового розпилення сплавів системи ti-zr-al-si.....	18
1.4 Розробка порошків титанових сплавів несферичної форми для адитивних технологій стосовно до деталей гтд.....	24
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТИТАНОВИХ НЕСФЕРИЧНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	31
3 ЗАСТОСУВАННЯ НЕСФЕРИЧНИХ ПОРОШКІВ ТИТАНУ МЕТОДОМ ГІДРУВАННЯ ТА ДЕГІДРУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИРОБІВ В АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ.....	40
4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗИТКУ РИНКУ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	53
4.1 Тенденції розвитку ринку адитивних технологій.....	53
4.2 Планування науково-дослідних робіт.....	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	72
ВИСНОВОК.....	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	93

## ВСТУП

Адитивні технології є перспективним напрямком у розвитку таких галузей промисловості як високоточне машинобудування і авіадвигунобудування. (АМ-технології) дозволяють об'єднати в собі головні переваги таких методів отримання виробів, як порошкова металургія, ливарне виробництво і наплавка. Зазначені технології припускають виготовлення виробу за даними цифрової моделі (або САD-файлу) методом пошарового додавання матеріалу. Процес пошарового нарощування виробів різними методами адитивних технологій набуває все більшої популярності, оскільки має низку значних переваг перед існуючими, традиційними методами виготовлення, обробки і ремонту деталей. Формування виробів відбувається поступово, відповідно до конфігурації перетину цифрової моделі і з'єднання кожного наступного шару з попереднім, (замість існуючої технології обробки металів різанням, коли матеріал як би «віднімається»).

Технології 3D друку дозволили об'єднати в собі не тільки переваги порошкової металургії, такі як високий коефіцієнт використання матеріалу, що не виходить досягти методами лиття, але також і переваги ливарного виробництва при отриманні деталей складної форми і різної конфігурації. У той же час висока собівартість процесу 3D друку і відсутність альтернативи (сферичному порошку) сировини перешкоджає широкому поширенню зазначених технологій. У даній роботі показана принципова можливість використання більш дешевих порошкових матеріалів на основі титану з несферичною формою частинок, одержуваних за технологією гідрування-дегідрування і призначених для виготовлення об'ємних виробів різними методами адитивних технологій. Розглянуто можливість застосування різних джерел енергії для пошарового нарощування матеріалу при формуванні виробів. Описано перевага запропонованих порошків в порівнянні з використовуваними на сьогоднішній день порошками сферичної форми.

## 1 АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

На сьогоднішній день все частіше можна почути про перспективи впровадження адитивних технологій у тій або іншій сфері діяльності, що, безумовно, пов'язано з перевагами, наданими їх застосуванням.

Адитивні технології (від англійського Additive Fabrication або Additive Manufacturing AM) – це технології, що передбачають виготовлення виробу за даними цифрової моделі (або CAD-файлу) методом пошарового додавання матеріалу [1].

Організація ASTM International (American Society for Testing and Materials), яка займається розробкою технічних стандартів для широкого спектру матеріалів, виробів, систем і послуг класифікує адитивні технології таким чином, поділяючи їх на 7 категорій:

- Material extrusion – «видавлювання матеріалу»;
- Material etting – «розбризування матеріалу»; «струменеві технології»;
- Binder jetting – «розбризування связуючого»;
- Sheet lamination – «з'єднання листових матеріалів»;
- Vat photopolymerization – «фотополімеризація в ванне»;
- Powder bed fusion – «розплавлення матеріалу в заздалегідь сформованому шарі»;
- Directed energy deposition «пряме підведення енергії безпосередньо в місце побудови».

В міжнародному співтоваристві, усталеної класифікації адитивних технологій поки не прийнято [1].

Різні автори поділяють їх:

- по застосовуваних будівельних або модельних матеріалів (рідкі, сипучі, полімерні, метало-порошкові тощо);
- по джерелу енергії (лазер або електронний промінь);
- за методами підведення енергії для фіксації шару побудови (з допомогою теплового впливу, опромінення ультрафіолетовим або видимим світлом, за допомогою сполучного складу тощо);
- за методами формування шару.

Говорячи про аддитивних технологіях маються на увазі, звичайно ж, технології тривимірного друку» (3-D printing), які з кожним роком набирають все більшу популярність. Технологія тривимірного друку» з'явилася наприкінці 80-х рр. XX ст. «Піонером» у цій галузі була компанія 3D Systems, яка розробила першу комерційну стереолітографічну машину – SLA – Stereolithography Apparatus (1986 р). До середини 90-х рр. вона використовувалася головним чином в науково-дослідної та дослідно-конструкторської діяльності, пов'язаної з оборонною промисловістю [2].

SLA - технологія тривимірної друку використовує сировину у вигляді рідкого фотополімеру, який твердне під впливом світлового випромінювання лазера, утворюючи тверду поверхню в точці проекції лазера.

Основні плюси цієї технології:

- відмінна точність позиціонування, гладкість поверхні;
- виготовлення моделей будь-якої складності (тонкостінні і дрібні деталі);
- досить висока, порівняно з іншими технологіями, швидкість створення об'єкта;

- відсутність будь-яких технологічних проблем з друком (перегрів, розшарування, обвалення під вагою, збій маршруту головки, погане прилипання, відклеювання кутів).

До недоліків можна віднести:

- невисоку фізичну міцність виготовлених об'єктів;
- обмеження у виборі матеріалів (можливість задіяти тільки спеціальні типи фотополімерів);
- необхідність в ультрафіолетовій засвіченні об'єкту після друку, для остаточного затвердіння.

На сьогоднішній день найпоширенішою є FDM — технологія, яка полягає в пошаровому напрямку пластику, який безперервно подається на контур майбутньої деталі через тонке формувальне сопло.

Переваги цього методу полягають у наступному:

- недороге і широко поширена сировина для друку (полімери і пластик);
- проста у виготовленні і ремонті механічна частина пристрою;
- можливість використання великої палітри кольорів для друку;
- невисока вартість друку.

Недоліками є:

- розтікання пластику із-за нагріву за межами друкованої області;
- обмеження застосування інших матеріалів, крім тих, які можна розплавити і продавити;
- чутливість до перепадів температур під час процесу друку.

Останнє, мабуть, єдине, що принципово відрізняє два види адитивних технологій — це спосіб подачі матеріалу.

Тобто в цій технології інструментом затвердіння є лазер, який тут, на відміну від лазерної стереолітографії (SLA-технології), є джерелом тепла [2]. «Селективне лазерне спікання» сміливо можна назвати самою цікавою і цінною, на сьогоднішній день, технологією, з точки зору точного машинобудування, і, зокрема, авіабудування.

До переваг цього методу слід віднести насамперед:

- можливість здійснювати друк об'єктів без використання підтримуючих структур, під нависаючими поверхнями (на відміну від технології Direct deposition зображеної на рисунку 1.1).

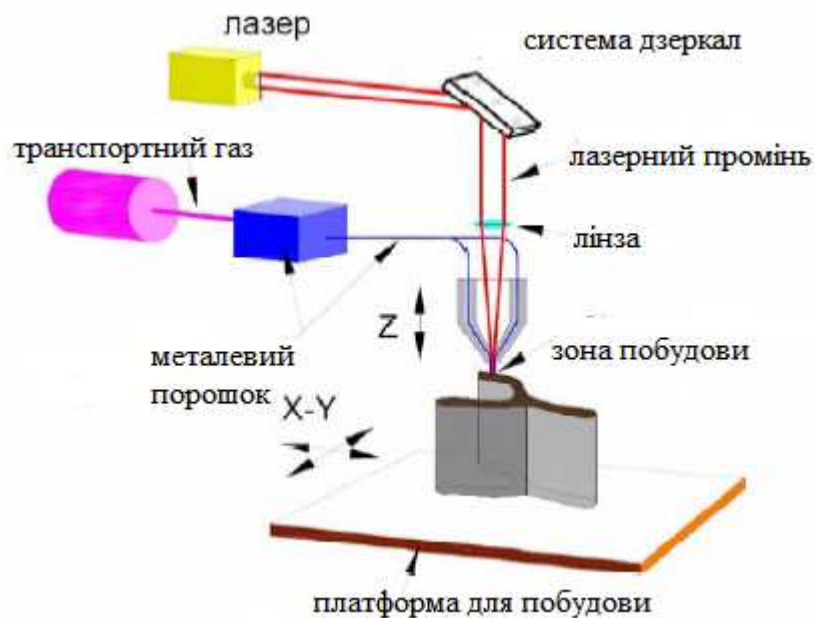


Рисунок 1.1. Технологія Direct deposition [2].

В даному випадку сам порошок служить підтримкою і не дає моделі зруйнується поки вона остаточно не сформується (рис. 1);

- крім того, можна використовувати різноманітні матеріали для друку;
- при цьому можна досягти високої міцності виробів, при використанні відповідного матеріалу (на сьогоднішній день в якості сировини доступні нейлон, скло, пластик, кераміка, різні метали);

До недоліків даної технології належать:

- складність подальшої обробки (випалення) після друку, в спеціальній печі для остаточного спікання порошку (якщо це необхідно);

- усадка деталі після випалу досягає деколи значень 30% (а в середньому 8-10% в залежності від використовуваного матеріалу) від початкового обсягу, що накладає обмеження на допуски точності, і вимагає подальшої механічної обробки для приведення до необхідних значень параметрів якості;

- порошок леткий і при неправильно підібраних режимах роботи, здатний забруднювати робочий простір і погіршувати якість друку;

- складність і громіздкість устаткування, використовуваного в основному при промисловому виробництві (наприклад, необхідність захисту порошоків титану від окислення шляхом застосування захисних газів або використання вакуумного обладнання);

- не можливість застосування даного методу як технології відновлення та ремонту деталей;

- можливо спікання сусідніх порошинок в місці побудови;

- ця технологія дозволяє виготовляти деталі з закритими порожнинами;

- висока вартість устаткування, а головне висока вартість сировини (сферичного порошку).

Схема ходу лазера і пошарові побудови деталі по технології селективного лазерного спікання представлено на рисунку 1.2.

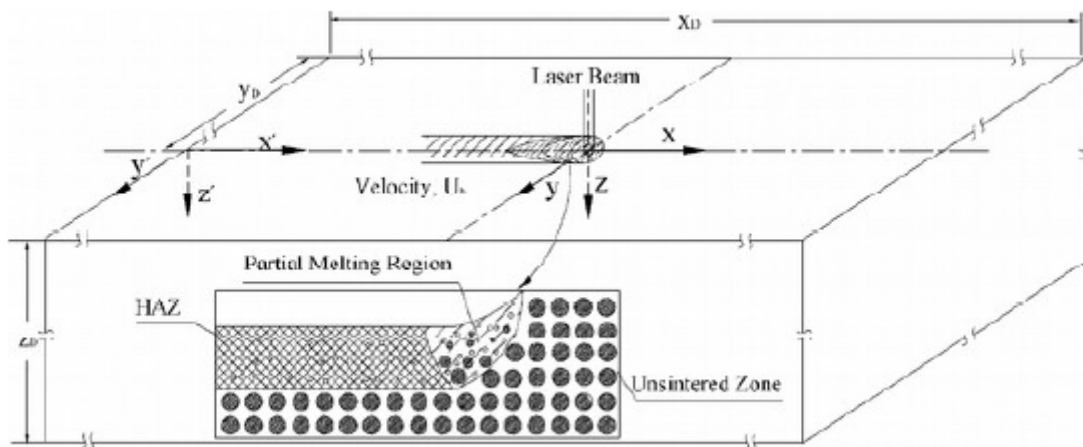


Рисунок 1.2. Схема побудови деталі по технології SLS [3].

Другий вид адитивних технологій – «Direct Deposition» можна перекласти, як «пряме або безпосереднє осадження (матеріалу)», тобто безпосередньо в точку, куди підводиться енергія і де відбувається у даний момент побудову фрагменту деталі.

Іншими словами, на відміну від першого виду, тут не формується шар будівельного матеріалу, а матеріал подається в конкретне місце, куди в даний момент часу підводиться енергія і де йде процес формування деталі.

Перевагою даної технології 3-D друку є те, що її можна використовувати в якості методу відновлення деталей з різною конфігурацією, а так само для формування закритих порожнин при пошаровій побудові.

Загальною особливістю технологій Direct deposition є необхідність застосування спеціальних підтримок – своєрідних якорів, які утримують деталь яка будується від термічних деформацій. При побудові деталей з порошків за технологією Bed deposition в цьому немає необхідності, деталь при побудові знаходиться в масиві порошку, і не спечений порошок сам виконує функцію підтримок. При сплавці металевих порошків концентрація

теплової енергії в робочій камері надзвичайно висока, і без утримуючих «якорів» деталь може «поплисти», деформувати і навіть пошкодити елементи дозуючої системи машини. Крім того, видалення підтримок – це досить відповідальний процес. Необхідно, по-перше, зняти залишкові напруги для цього потрібно мати відповідне термічне обладнання. По-друге, необхідно мати відповідний інструмент для акуратного відділення побудованої деталі від платформи і подальшого видалення підтримуючих структур. По-третє, необхідно обладнання для пост-обробки побудованих деталей, що є значним недоліком технології Direct deposition. Крім того, АМ-машини – це цілий комплекс, що включає в себе пристрої для просіювання та змішування порошків, завантаження, розвантаження та очищення машини, системи фільтрації і охолодження, системи зберігання порошків, системи генерації та подачі інертних газів та ін [2].

Зазвичай, коли говорять про серійне виробництво, мають на увазі кількість, вимірюється тисячами або сотнями тисяч одиниць. Проте існує й інше серійне виробництво, вимірюваний десятками або сотнями виробів. Таких виробів, часто складної геометрії, із спеціальних матеріалів досить багато в авіаційній промисловості, космічній індустрії, енергетичному машинобудуванні та ряді інших галузей. І саме там виникає особливий інтерес до АМ-технологіям, «безпосереднього вирощування» металевих виробів, в якості альтернативи традиційним технологічним методам, для виробництва не прототипів або досліджувальних зразків, а цілком товарної продукції. Причому, мотивацією тут є не можливість створити щось унікальне, з незвичайними властивостями, а економічна доцільність. У ряді випадків при об'єктивних розрахунках реальних витрат адитивні технології виявляються менш дорогими, ніж традиційні. [9].

Розвитку АМ-технологій у цьому секторі промисловості, безумовно, сприяло істотне розширення номенклатури металопорошкових матеріалів. Якщо на початку нульових років це був перелік не більше 5-6 найменувань,

то сьогодні пропонуються десятки видів різноманітних композицій від звичайних конструкційних сталей до жароміцних сплавів дорогоцінних металів. І цей перелік стрімко розширюється [2].

У теж час АМ-технології дають нові можливості і для більш традиційних форм виробництва, дозволяючи виготовляти складну оснастку. Наприклад, прес-форма може бути вирошена разом з каналами охолодження довільної конфігурації, що неможливо зробити при звичайних методах механообробки.

Іншими словами, канали охолодження прокладаються в масиві форми так, як треба, а не так, як дозволяють традиційні технології. Застосування ливарних форм з рівномірним або регульованими охолодженням дозволяє скоротити час перебування виливка у формі до 30%. В даному випадку АМ-технології це не протиставлення, а пропозиція нових можливостей для оптимізації витрат і підвищення ефективності виробництва.

Обслуговування серійного виробництва також пов'язано з необхідністю виготовлення спеціальних пристосувань, шаблонів, кондукторів і т. д., і тут застосування АМ-технологій може бути економічно ефективно. Багато компаній стикаються з проблемою оцінки реального обсягу виробництва якого-небудь виробу. Від цього залежать витрати на технологічну підготовку. І все частіше виникає питання, яку стратегію прийняти: виростити партію деталей на АМ-машині або робити «нормальну» оснастку, але з ризиком, що через короткий час потрібно внесення змін і оснастку доведеться переробляти.

Окремим питанням при впровадженні адитивних технологій є вибір сировини, який не так вже й великий. В даний час не існує загальних вимог до метало-порошкових композицій, що застосовуються в АМ-технологіях. Різні компанії-виробники АМ-машин наказують роботу з певним переліком матеріалів, зазвичай поставляються самою цією компанією.

Загальноприйнятим є той факт, що чим більше частинок одного діаметра в партії порошку, тим краще якість одержуваних з нього метало-порошкових композицій. Ось чому порошки після виготовлення додатково сортують за розмірами частинок [2], з чим ми не зовсім згодні, оскільки це не узгоджується з правилом Плато [5].

Загальною вимогою до порошоків для АМ-машин є сферична форма частинок. Це пов'язано, по-перше, з тим, що такі частинки більш компактно укладаються в певний обсяг [2]. Що також суперечить правилу Плато [5]. До того ж у роботі [6] показано, що частинки кутастої форми можуть забезпечити меншу пористість порошкових виробів, а також, на відміну від сферичних порошоків, можуть бути спресовані в холодному стані [7].

І, по-друге, необхідно забезпечити «плинність» порошкової композиції в системах подачі матеріалу з мінімальним опором (Direct deposition). Це як раз досягається при сферичній формі частинок, оскільки порошок, що має кутасту форму, має невисоку плинність.

Основними технологіями отримання порошоків для АМ-машин, які дозволяють виготовляти порошки необхідного розміру і забезпечують виконання цих вимог, є газова атомізація, вакуумна атомізація і відцентрова атомізація[2,8].

При газовій атомізації метал розплавляють в плавильній камері (зазвичай у вакуумі або в інертному середовищі) і потім зливають в керованому режимі через спеціальний пристрій – розпилювач, де проводиться руйнування потоку рідкого металу струменем інертного газу під тиском.

Процес вакуумної атомізації відбувається за рахунок розчиненого в розплаві газу. Суть його полягає в наступному. Атомайзер складається з двох камер – плавильної і розпилювальної. В плавильній камері створюють надлишковий тиск газу (водень, гелій, азот), який розчиняється в розплаві.

Під час атомізації метал під дією тиску в плавильній камері надходить нагору по сопловому апарату, який виходить в розпилювальну камеру, де створюють вакуум. Виникає перепад тиску спонукає розчинений газ до виходу на поверхню крапель розплаву і «підриває» краплі зсередини, забезпечуючи при цьому сферичну форму і дрібнодисперсну структуру порошку.

Нарешті, технологія відцентрової атомізації передбачає розпилення розплаву, що утворюється електричною дугою між прутком матеріалу і вольфрамовим електродом.

Немає ніякої гарантії, що купивши матеріал у одного виробника і додаткову кількість іншого, ви отримаєте вироби однакової якості. Все це диктує необхідність стандартизації матеріалів для АМ-технологій. Тут теж необхідна велика дослідницька робота, оскільки сучасні методи, застосовувані для оцінки властивостей матеріалів для традиційних технологій, не можуть бути застосовані до адитивних технологій в силу наявності анізотропії, неминучої при шаровому принципі створення виробу. [9].

Таким чином, можна зробити висновок, що застосування АМ-технологій є перспективним напрямком у розвитку різних галузей виробництва дозволяє отримувати як готові вироби, так і необхідну в промисловості технологічно складну оснастку.

Технології 3-D друку дозволили об'єднати в собі не тільки переваги порошкової металургії такі, як високий коефіцієнт використання матеріалу, що не виходить досягти методами лиття, а також і переваги ливарного виробництва, такі, як отримання деталей складної форми і різної конфігурації, але навіть перевершила їх. [9].

1.2 Розробка технології одержання сферичних гранул нових матеріалів з регульованим складом методом плазмового розпилення для адитивних технологій.

Велику увагу в останній час приділяється залученню методів порошкової металургії для виготовлення деталей із сплавів титану. Цей напрямок робіт почав розвиватися в 70-х роках і мав за мету економію металу і як наслідок дешевшу ціну кінцевих деталей. Високий коефіцієнт використання металу при цьому дозволяє в два-три рази знизити загальну вартість деталей.

Технологія виготовлення деталей і порошків із сплавів титану розвивається в двох основних напрямках: використання легованих порошків титану і використання сумішей порошків вихідних елементів.

Аналіз відомих жароміцних титанових сплавів (серії ВТ) показує, що можливості їх твердорозчинного зміцнення практично вичерпані. У цьому зв'язку з метою підвищення жароміцності титанових сплавів доцільно було б звернутися до традиційного способу дисперсного зміцнення металів різними фазами впровадження – оксидами, нітридами, боридами і карбідами. Однак літературні дані і наші власні дослідження показали, що цей шлях безперспективний. Оксидне і нітридне зміцнення виявляються неефективними і навіть шкідливими через високу розчинність кисню й азоту в титані, що викликає різке зростання крихкості сплавів. Карбідне зміцнення не охрупчує сплави, але збільшення у властивостях незначне. Зміцнення боридами може бути ефективним тільки в порошкових матеріалах. При плавці такі склади мають несприятливу (грубу голчасту) морфологію, що знижує технологічність сплавів.

Розробки останніх років в Україні і за кордоном показали, що вирішення цієї проблеми можливо шляхом додаткового зміцнення титанових сплавів різними інтерметалідами. Найбільш кращими серед них є відомі алюмініди титану  $Ti_3Al$ ,  $TiAl$  і  $TiAl_3$ , а також силіцид титана  $T_5Si_3$ . У вже

досліджених складах системи Ti-Si-Al, алюмініди виступають у ролі матриці, а силіцид  $Ti_5Si_3$  у ролі зміцнюючої тугоплавкої фази. Розроблена і випробувана в напівпромислових умовах ціла гама нових жароміцних складів цієї системи.

Предметом дійсної роботи є дослідження структури і механічних властивостей матеріалів системи Ti-Al-Si де основою є металева матриця  $\alpha$ -Ti. Алюміній є основним легуючим елементом, який підвищує жароміцність титану, тому він присутній практично в будь-якому титановому сплаві в кількості 3...6 мас. %. Наявність у цій системі довгого ряду евтектичних складів дозволяє одержувати двофазні композиції  $\alpha$ -Ti+ $Ti_5Si_3$ , що по сучасним уявленням є перспективними для розробки нових жароміцних матеріалів. Відзначимо, що наше звертання до цієї системи не перше, раніш був установлений підвищений опір повзучості направлено закристалізованих евтектичних складів  $\alpha$ -Ti+ $Ti_5Si_3$  (8,5 % Si), а також цих складів, додатково легованих цирконієм (до 10%). Одна з робіт присвячена дослідженню механізму гетерогенних силіцидних виділень у евтектоїдних складах (~ 2,4% Si) багатокомпонентної системи Ti-Zr-Al-Si.

Відродження інтересу до системи Ti-Al-Si зв'язане з тим, що сплави цієї системи деякими дослідниками розглядаються як перспективні матеріали для двигунів внутрішнього згорання і дизельних адіабатних двигунів нового покоління.

Основний спосіб одержання легованих порошків титану – це плазмове розпилення електроду, що обертається.

1.3 Відпрацювання процесу плазмового відцентрового розпилення сплавів системи ti-zr-al-si.

Одним із головних методів одержання порошків на основі титану, у тому числі порошків високої чистоти, є розпилення електроду, що обертається. Спосіб складається в наступному: електрод сплаву що

розпорошується (рисунку 1.3.1) обертається навколо горизонтальної осі, а його вільний кінець розплавляють за допомогою плазмотрона. Краплі розплавленого металу зриваються з електроду, що обертається і закристалізуються у вільному польоті до зіткнення із стінками камери розпорошення. У камері, де обертається електрод і відбувається розпилення, повинно бути захисне від окислення середовище. Це дозволяє одержувати порошки з високою чистотою поверхні. Частинки порошку гладенькі, сферичної форми, середній розмір частинок 200 мкм, вихід частинок з розмірами від 50 до 500 мкм складає 75 %.

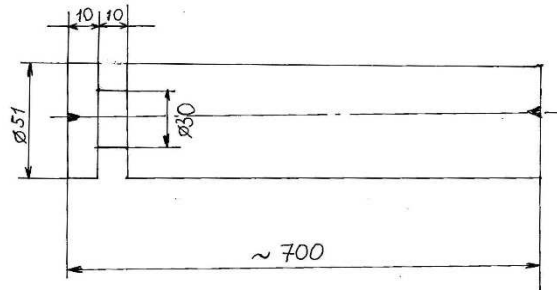


Рисунок 1.3.1 – Креслення електроду, що розпорошується.

У роботі було досліджено процес розпилення евтектичного сплаву Ti-14,8Al-5Si-3,9Zr. Виплавлені зливки після механічної обробки використовували в якості електродів для розпилення на лабораторній установці плазмового відцентрового розпилення ВГУ-2М в середовищі суміші інертних газів Ar та He після попереднього вакуумування робочої камери.

Таблиця 1.3.1–Технико-економічні показники установки плазмового відцентрового розпилення ВГУ-2М. [10]

Характеристика	Показники	Примітка
1. Диаметр камеры в зоне распыления, м.	2,0	

2. Рабочая камера.	Водоохолоджувана, вакуумна.	
3.Максимальна продуктивність, кг/год		
4. Швидкість обертання шпинделя, об / хв.	0 – 13000	
5. Метод плавлення вихідної шихти.	Плазменно-дуговий	
6. Плазмообразующий газ	Аргон, гелій, азот, суміш газів	
7. Витрата газу без рециркуляції, л / хв..	10-20	

Продовження таблиці 1.3.1

8. Максимальний струм, А	2000	
9.Напруга холостого ходу, В.	160	
10.Попереднє розрядження в камері мм. рт. ст.	$2 \times 10^{-3}$	
11. Витрата води на охолодження, м <sup>3</sup> /час	10	
12. Вихідна шихта.	Штанга	Можливість використовувати штангу 80мм.
13. Швидкість обертання, об/хв	Регульована, до 10.	
14.Час зміни електрода, хв.	5	
15.Отриманий продукт.	Сферичні гранули розміром 10-500 мкм.	
16. Габарити установки, м.	6,0 x 6,0 висота 6,0	

Даний метод дозволяє одержувати високоякісні гранульовані порошки з мінімальним вмістом кисню й інших сторонніх включень. Змінюючи швидкість обертання електроду від 2 000 до 13 000 об./хв. можна одержати як сферичні гранули розміром менше 500 мкм, так і лускаті порошки товщиною 20...100 мкм. Швидкість охолодження порошоків може знаходитись в діапазоні  $10^4$  -  $10^6$  град./с.

При розмірі гранул (200-300 мкм) швидкість їх охолодження в процесі кристалізації досягає  $10^4$  C/с, що забезпечує суттєве диспергування структурних складових сплавів і визначає достатні механічні властивості. Можливість інтенсифікації охолодження гранул титанових сплавів у процесі їх формування була оцінена з позиції вибору технологічних параметрів розпилення – діаметр заготовки, швидкість плавлення і частота обертання електроду, що розпорошується.

Установка для розпилення на Рисунку 1.3.2 дозволяє варіювати цими параметрами в широких інтервалах. Фракція гранульованого порошку має в основному розмір 300-400 мкм.



Рисунок 1.3.2 – Установка ВГУ-2М для відцентрового плазмового розпилення електроду, що обертається.

Розрахунки показують, що для різних титанових сплавів у цьому випадку швидкість кристалізації частинок складає близько  $10^4$  град/с. Зменшення розміру гранул до 100 мкм забезпечує збільшення швидкості охолодження до близько  $10^5$  град/с і, відповідно, до подальшого диспергування фрагментів мікроструктури. Крім того, зменшення розміру гранул суттєво зменшує величину потенційно можливих дефектів у вигляді

неоднорідних включень, що забезпечує підвищення фізико-механічних характеристик у компактному матеріалі.

Для підвищення якості розпиленого порошку використовують комплекс необхідних пристроїв, що забезпечують послідовне видалення різного виду включень із порошку. Першим етапом обробки порошку є його магнітна сепарація. Надалі покращення якості гранул можливо шляхом їх наклепу, що забезпечує ефективне очищення поверхні й активізації частинок.

Компактний матеріал, одержаний з гранул, отриманих методом плазмового розпилення електроду, що обертається, має рівень властивостей не нижче ніж у матеріалів, виготовлених методами традиційного металургійного перероблення. Метод розпилення дозволяє додатково легувати сплав рідкоземельними металами.

У роботі досліджені мікроструктура, фазовий склад і структура поверхні гранул титанових легованих сплавів.

У залежності від умов розпилення гранулометричний склад порошків може змінюватися в широких інтервалах (від 50 до 500 мкм). Характер мікроструктури гранул залежить від їх розмірів. Частинки менш 100 мкм мають структуру голкового мартенситу, 100-200 мкм – структуру з яскраво вираженою дендритною будовою. Гранули розміром близько 200-500 мкм володіють структурою обох типів. З ростом гранул ( від 400 до 600 мкм) розміри дендритних осередків збільшуються від 1 до 5 мкм. Гранули різних фракцій мають однаковий хімічний склад.

За результатами рентгеноструктурного аналізу, фазовий склад гранул легованого титану залежить від їх дисперсності. Особливістю фазового складу гранул є наявність  $\alpha^{\text{II}}$ -фази. Зі збільшенням розміру гранул спостерігається зниження інтенсивності ліній цієї фази і зменшення міждублетної відстані ліній  $(200)\alpha^{\text{II}}$  і  $(130)\alpha^{\text{II}}$ . Останнє вказує на зниження ромбічності решітки  $\alpha^{\text{II}}$  – фази і, отже, на зменшення ступеню її легованості.

У гранулах розміром 400-500 мкм, поряд з  $\alpha^I(\alpha)$ - фазою (основою), присутня деяка кількість  $\beta$ -фази і , можливо,  $\alpha^{II}$ - фази. Однозначно визначити знаходження  $\alpha$ -фази в гранулах розміром вище 300 мкм важко через сильне падіння інтенсивності і розвитку інтерференційних ліній, які відносяться до  $\alpha^{II}$ -фази.

Таким чином, особливістю гранул легованих титанових сплавів є перехід від дендритної структури до голкової і поява  $\alpha^{II}$ -фази зі зменшенням розмірів частинок. Найшвидше це зв'язано з високою швидкістю кристалізації при охолодженні рідкого металу в процесі розпилення. У результаті різної швидкості кристалізації окремих гранул може мати місце утворення дендритної структури з різним ступенем неоднорідності хімічного складу осей дендритів і міжосьових проміжків. При швидкому охолодженні із  $\beta$  - області в об'ємах з різним ступенем легованості фіксуються різноманітні нестабільні фази, в тому числі мартенситні  $\alpha^I$  і  $\alpha^{II}$  у гранулах з розміром до 400 мкм та  $\alpha^I$  і  $\beta$  у більш крупних. Крім того, різниця у фазовому складі гранул різної величини може бути зв'язана з неоднорідністю вихідного електроду, а також з неоднаковою швидкістю охолодження отриманих гранул. У випадку дуже великої швидкості охолодження мілких гранул ( $V_{\text{охол.}} > 10^4$  град/с) процес перебудови об'ємноцентрованої решітки  $\beta$ -фази в гексагональну може проходити неповністю. Така висока швидкість охолодження може приводити до утворення  $\alpha^{II}$ -фази.

Становище поверхні гранул характеризується утворенням вельми тонкої (не перевищуючої декілька десятків мікрон) плівки нижчих окислів титана  $Ti_2O_3$ ,  $Ti_3O_5$ ,  $Ti_4O_7$ . Наявність лише низьких окислів і відсутність рутилу зв'язано, імовірно, з надзвичайно високою швидкістю охолодження гранул до температури не вище 300-350°C, коли сплави титану майже не окислюються.

Металургія гранул, основана на використанні високої швидкості кристалізації мілких крапель розплаву, забезпечує в компактному матеріалі,

одержаному із гранул, дуже мілко зернисту рівномірну структуру, диспергування надлишкових зміцнюючих фаз і високу хімічну однорідність. Матеріал з більш удосконаленою структурою, в порівнянні з литим, відрізняється підвищеними міцністю та пластичними характеристиками.

Загальноприйнятий метод визначення швидкостей охолодження при кристалізації по дендритному параметру дозволяє оцінити цю величину в інтервалі від  $1 \times 10^4$  для частинок діаметром близько 300 мкм, до  $1 \times 10^5$  град/с для гранул розміром менше 100 мкм.

Задача досягнення високих швидкостей кристалізації обумовлюється необхідністю одержання гранул малих розмірів, що забезпечується порівняно високими швидкостями обертання електроду.

Для випадку розпилення жароміцних титанових сплавів була розрахована величина гранул, які утворюються при різних швидкостях обертання електроду.

В таблиці 1.3.2 представлений розрахунок розміру гранул.

Таблиця 1.3.2 – Розрахунок розміру гранул.

Швидкість обертання електроду, об./хв.	Кутова швидкість, $C^{-1}$	Розрахунковий діаметр гранул, $10^{-4}$ см		Експериментальні дані	
		При $\eta=1$	При $\eta=0,8$	Розмір гранул, мкм	Зміст фракції, %
2530	264,9	1079,4	967,2	-1200+630	81,7
4840	506,7	564	506	-630+400	81,6
7800	816,7	350	314	-400+200	73,4
11700	1225,0	233	209	-315+200	83,4

13500	1413,4	202	181	-315+160	66,7
-------	--------	-----	-----	----------	------

\*  $\eta$  - доля діаметру гранул;

Готовий матеріал, одержаний з гранул розпилених методом плазмового розпилення електроду, що обертається, має рівень властивостей (у тому разі і втомлювальні) не нижче ніж у матеріалів, виготовлених методами традиційного металургійного перероблення. Метод розпилення дозволяє додатково легувати сплав рідкоземельними металами.

1.4 Розробка порошків титанових сплавів несферичної форми для адитивних технологій стосовно до деталей ГТД.

Для виготовлення деталей методами АМ в якості витратного матеріалу переважно застосовуються порошки з необхідними параметрами: хімічний склад, розміри і сферична форма частинок. Необхідні розміри частинок і сферичну форму порошків титанових сплавів отримують за допомогою різноманітних технологій атомізації, які засновані на процесах розпилення металу з розплавленої титанової заготовки. [11]

Найбільш поширеними зарубіжними титановими сплавами, застосовуваними для адитивного виробництва, є сплави з системою

легування титан-алюміній-ванадій типу (Grade5, SAT-64, T-A6V, Ti-Al-V) - аналоги VT6, із середнім вмістом алюмінію на рівні 6% і ванадію -4%. Однак деталі вітчизняних ВМД, крім матеріалу VT6, виготовляються зі сплавів VT3-1, VT8, VT9 і ін. На даний момент порошки зі сплавів VT3-1, VT8, VT9 практично не виробляються. Відповідно, основними стримуючими факторами промислового розвитку АМ технологій для виготовлення і ремонту деталей ГТД в Україні є висока вартість порошків і відсутність порошків з вітчизняних титанових сплавів.

Роботи проводили на прикладі матеріалів ВТЗ-1. Досягнення поставленої мети в роботі здійснювали шляхом вирішення наступних послідовних завдань:

- отримання заготовок титанових сплавів із заданим хімічним складом і рівномірним розподілом легуючих елементів;
- отримання легованих порошків титану з заданим хімічним складом, розмірами і формою частинок по промислово відтворюється технології.

Заготовки титанових сплавів необхідного хімічного складу з рівномірним розподілом легуючих елементів отримували по раніше розробленої спільно з ДП "ГНПІ Інститут титану" технології, яка передбачає легування в процесі магнітотермічного відновлення і вакуумної сепарації блоку легованого губчастого титану. . [11]

Аналіз хімічного складу зразків титану, отриманого за розробленою технологією легування, показав його відповідність щодо змісту основних елементів сплаву ВТ-3-1 (ГОСТ 19807 - 91).

Результати рентгеноспектрального мікроаналізу (РСМА) також підтвердили наявність легуючих елементів в структурних складових титану (рисунки 1.4.1 і 1.4.2).

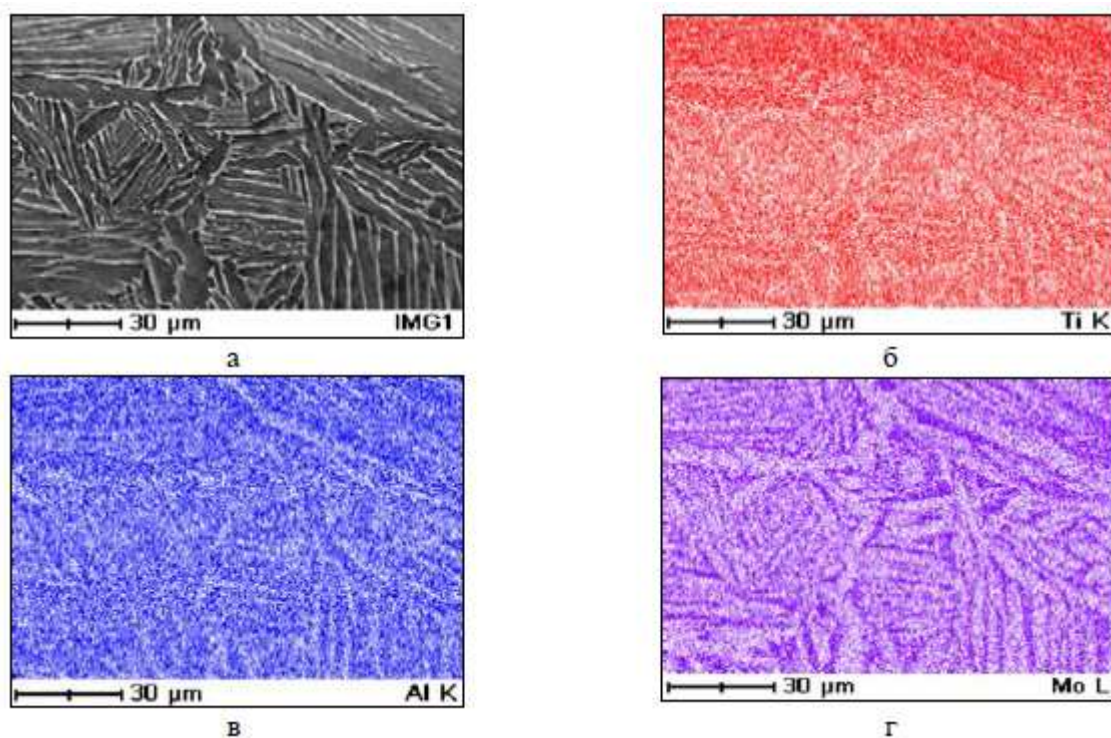


Рисунок 1.4.1 – Результати енергодисперсійного рентгеноспектрального мікроаналізу розподілу легуючих елементів в випробувальних титанових заготовках:

а - мікроструктура матеріалу в місці дослідження; б - розподіл Ti;  
в - розподіл Al; г - розподіл Mo. . [11]

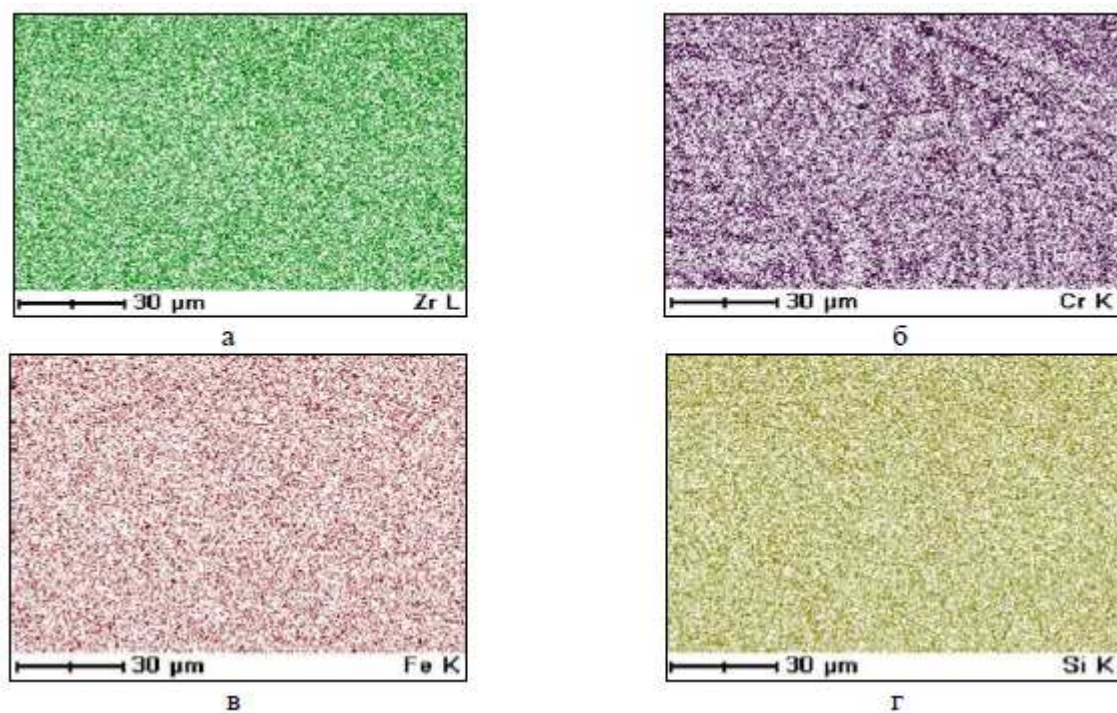


Рисунок 1.4.2 – Результати енергодисперсійного рентгеноспектрального мікроаналізу розподілу легуючих елементів в випробувальних титанових заготовках: а - Zr; б - Cr; в - Fe; г - Si. [11]

Більшому вмісту елемента відповідали більш інтенсивний колір щодо лінії сканування. З наведених даних можна зробити висновок, що основні легуючі елементи рівномірно розподілені в структурі зразка і не утворюють хімічних неоднорідностей. Таким чином, випробувальні титанові зразки можливо використовувати як заготовку для подальшого отримання легованих порошків титану.

Другу задачу - отримання порошків титанових сплавів заданого хімічного складу і розмірів частинок - вирішували шляхом подрібнення отриманого легованого титану. Подрібнення або дроблення легованого титану проводили за методом термохімічного окрихчування за допомогою водню (метод гідрування-дегідрування, HDH). Для цього на конструктивно модернізованій установці гідрування відпрацьовані режими насичення воднем легованого титану губчастого і наступних процесів дроблення, розсівання і дегідрування. . [11]

В результаті отримані HDH порошки легованого титану BT3-1, хімічний склад і вміст домішок в яких представлені в таблицях 1.4.1 та 1.4.2.

Таблиця 1.4.1 – Хімічний склад сплавів отриманих за експериментальною технологією. [11]

Матеріал	Вміст легуючих елементів, %				
	Al	Mo	Cr	Fe	Si
Титан легований експериментальний (BT3-1)	6,25	2,34	1,17	0,32	0,17

Таблиця 1.4.2 – Вміст домішок в сплавах, отриманих за експериментальною технологією і за типовими технологіями. . [11]

Матеріал	Вміст домішок, %				
	N <sub>2</sub>	C	H <sub>2</sub>	Fe	O <sub>2</sub>
Титан легований експериментальний (BT3-1)	0,025	0,019	0,075	0,32	0,15
НДН порошок BT3-1 за експериментальною технологією	0,023	0,018	0,011	0,19	0,18
Сплав BT-6 (дріт)	0,050	0,100	0,015	0,60	0,20
Ti-6Al-4V Grade 5 (ASTM B348) (дріт)	0,050	0,080	0,015	0,40	0,20
Ti-6Al-4V PREP* (порошок)	0,007	0,050	0,003	0,17	0,17

\* Plasma rotating electrode process – процес диспергування заготовки, що обертається в плазмі.

Як випливає з аналізу даних, наведених у таблиці 1.4.1, згідно з хімічним складом, порошок, виготовлений за експериментальною технологією, за всіма елементами відповідає стандартному сплаву BT3-1, а також практично не поступається по домішкам порошків, отриманим на установках атомізації. Характеристики порошкових матеріалів з титанових сплавів, що застосовуються для адитивних технологій, представлені в таблиці 1.4.3.

Таблиця 1.4.3 – Характеристики порошкових матеріалів з титанових сплавів, що застосовуються для адитивних технологій. [11]

№	Виробник	Фракція, мкм	Форма частинок	Спосіб отримання	Густина, г/см <sup>3</sup>
1	ATI Power Metals	-150+45	Сферична	Газова атомізація (ГА)	-
2	Raymor Industries Inc.	-160+45 (250+30)	Сферична	Плазмова атомізація (ПА)	2,5
3	Baoji Orchid Titanium	-210+45	Сферична	PREP	-
4	TSL Technik GmbH	-150+53	Сферична	ГА	-
5	Tekna Plasma Systems Inc.	-150+37	Сфероїд	ПА	-
6	Affinity International	-150	Сферична	ГА та PREP	-
7	Arcam	-106+45	Сферична /сфероїд	ПА	2,65
8	AMETEK, Inc	-150+45	Сферична /сфероїд	Плазмова сфероїдизація	-
9	Експериментальна технологія BT3-1	-150+50	Несферич	HDH	2,71

На рисунку 1.4.3 показаний зовнішній вигляд порошків титанових сплавів Ti-Al-V, отриманих за різними технологіями і з різної вихідної сировини.

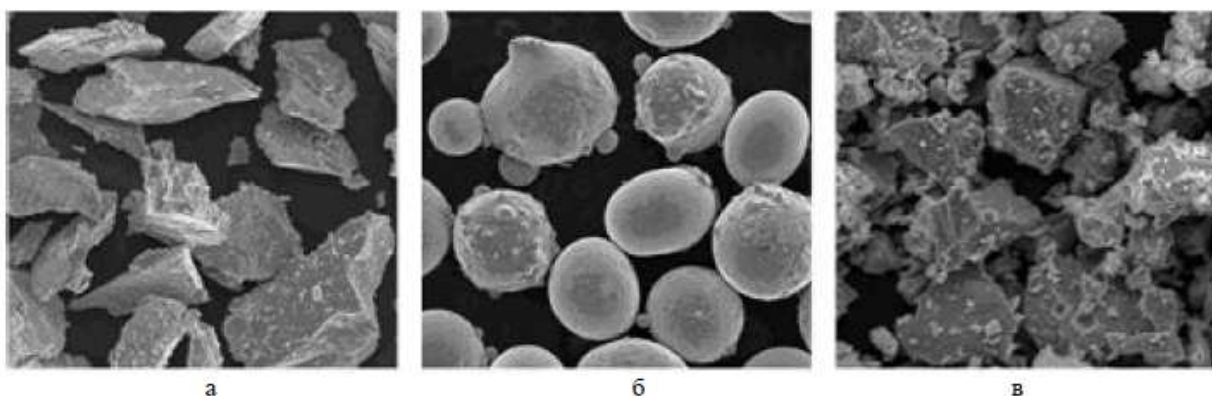


Рисунок 1.4.3 - Мікроструктура (x200) порошків титану і сплавів на його основі:

а - порошок, отриманий методом HDH із злитка, виплавленого за допомогою вакуумно-дугового переплаву (ВДП);

б - сферичний порошок, отриманий методом газової атомізації;

в - порошок, отриманий за експериментальною технологією HDH складу BT3-1. [11]

Виходячи з аналізу зовнішнього вигляду порошків (рис. 1.4.3, а) очевидно, що форма порошків, отриманих по досліджувальній технології, є несферичною. Частинки порошку мають несферичну незграбну форму, в зв'язку з чим мають більш низьку сипучість. Однак частинки викривленої форми можуть забезпечити меншу пористість порошкових виробів, а також, на відміну від сферичних порошків, можуть бути більш ефективно скомпановані в холодному стані.

В даний час є рішення щодо застосування несферичних порошків титанових сплавів при виготовленні деталей на 3D принтерах, а також можливості сфероїдизації дегідрированих порошків. На рисунку. 1.4.4 зображена технологічна схема отримання легованих порошків титану.



Рисунок. 1.4.4 – Схеми отримання легованих порошків титану для адитивних технологій:

а - традиційна схема виготовлення порошків; б - експериментальна схема виготовлення порошків. [11]

## 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТИТАНОВИХ НЕСФЕРИЧНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Застосування адитивних технологій є перспективним напрямком в розвитку різних галузей промисловості (особливо таких, як високоточне машинобудування і авіобудування), що дозволяє одержувати готові вироби, а також і виготовляти необхідне в промисловості технологічно складне пристосування. Ці технології (AM-технології Additive Manufacturing) дозволяють об'єднати в собі головні переваги таких методів отримання виробів, як порошкова металургія, ливарне виробництво і наплавлення. Зазначені технології передбачають виготовлення виробу за даними цифрової моделі (або САD-файлу) методом пошарового додавання матеріалу. Процес пошарового нарощування виробів різними методами адитивних технологій набуває все більшу популярність, оскільки має ряд значних переваг перед існуючими традиційними методами виготовлення, обробки і ремонту деталей.

Спочатку формують шар, наприклад, насипають на робочу платформу дозу порошкового матеріалу і розрівнюють порошок з допомогою ролика або «ножа», створюючи таким чином рівний шар матеріалу певної товщини; потім вибірково (селективно) обробляють порошок у сформованому шарі лазером або іншим способом (електронним променем), скріплюючи частинки порошку (сплавляючи або склеюючи) у відповідності з поточним перерізом вихідної САD-моделі. Ця технологія в англійській традиції називається «Bed Deposition» тобто передбачається, що є якась платформа – Bed (англ. – ліжка), на якій спочатку формують шар, а потім у цьому шарі вибірково роблять твердим будівельний матеріал.

На рисунку 2.1 зображена схема «Bed Deposition».

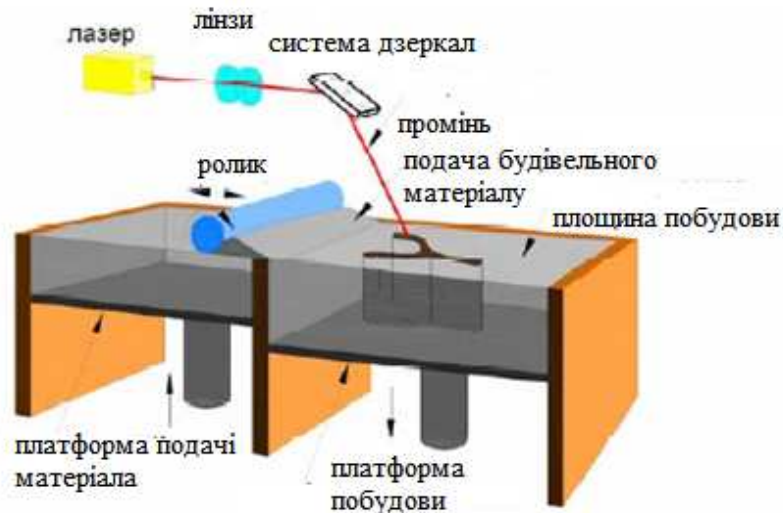


Рисунок 2.1. SLСтехнологія (Beddeposition) [2].

Положення площини побудови незмінно. При цьому частина будівельного матеріалу (в даному випадку - порошку) залишається у створеному шарі недоторканою. Цієї технології достатньо точно відповідає термін «селективний синтез» або «селективне лазерне спікання» (або англійською SLS – Selective Laser Sintering). У цьому методі використовується подрібнений порошок (можливе використання порошоків титану, алюмінію та ін) який спікається лазером в точці контакту і нарощує тим самим структуру виготовляється об'єкта.

Сьогодні ведуться активні роботи по використанню в якості сировини для таких технологій різних металевих та керамічних порошоків.

Найважливішим завданням при цьому є заміна існуючих дорогих імпортованих порошкових матеріалів більш дешевими аналогами. Таким чином, розвитку АМ-технологій у секторі промисловості, безумовно, сприяло б істотне розширення номенклатури металопорошкових матеріалів різної морфології. Якщо на початку 2000-х років це був перелік не більше 5-6 найменувань, то сьогодні намагаються використовувати десятки видів різноманітних композицій від звичайних конструкційних сталей до жароміцних сплавів дорогоцінних металів в основному порошоків сферичної

форми [12 - 13]. У теж час порошки із спеціальних сплавів (наприклад, титанові) мають дуже обмежену номенклатуру видів цих матеріалів.

До основних переваг адитивних технологій можна віднести наступне:

- Можливість виготовлення деталей складної геометрії і різної конфігурації.

- Можливість оперативно змінювати геометрію деталей.

- Високий коефіцієнт використання матеріалу.

- Використання для відновлення та ремонту виробів, а також можливість виготовляти деталі з закритими порожнинами.

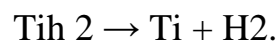
Незважаючи на всі переваги, які надає використання 3D друку, залишається ряд проблем, що стримують поширення цієї технології в промисловості. Однією з них є необхідність ретельних досліджень властивостей (механічних, фізичних) одержуваних виробів з різних порошкових матеріалів, в залежності від таких факторів як вплив фракційного складу і форми самих частинок, що безумовно дуже важливо в таких відповідальних галузях виробництва, як авіабудування. При цьому слід зазначити, що на сьогоднішній день вже існує ряд деталей, виготовлених методами 3D друку, які встановлюються на газотурбінні двигуни виробництва зарубіжних компаній. Ще однією важливою проблемою є дорожня обладнання для 3D друку, хоча, виходячи з досвіду підприємств, які впроваджують у своєму виробництві технології пошарового вирощування виробів, можна зробити висновок, що головним стримуючим чинником на шляху до широкого застосування АМ-технологій є подорожчання сировини для об'ємного друку. Особливо це позначається при використанні порошоків титану, як легованих, так і нелегованих, і основну роль у ціноутворенні тут відіграє не стільки вартість легуючих елементів, скільки вартість самої технології отримання порошоків необхідної сферичної форми (яка становить близько 500-700 доларів за кілограм).

Таким чином, існує необхідність розробки порошоків для АМ-технологій. Тому основним завданням, поставленої в даній роботі, було

визначити можливість застосування титанових порошків несферической форми, які пройшли процеси гідрування і дегідрування, в адитивних технологіях для отримання готових виробів.

Процес гідрування титану (губчастого) полягає в прямому насиченні воднем титану і проходить при температурах 400...600°C. Гідрування титану губчастого проводиться з метою насичення і окрихчення вихідного матеріалу для подальшого подрібнення.

Процес дегідрування здійснюється при температурах 700...900 °C і полягає у дегазації гідриду титану при температурах розкладання гідриду:



Аналіз технологічних показників виробництва порошків, їх переваг і недоліків показав, що найбільш перспективним матеріалом для АМ - технологій є порошок, одержуваний за гідридною технологією. Такий матеріал має низькорозвинені поверхні граней порошинок, наближені за формою до сферичних. Він менше, ніж решта, забруднений домішками, оскільки водень сприяє очищенню титану при дегідруванні [14].

Тому нами запропоновано використання титанових порошків, які були попередньо піддані операціями гідрування і дегідрування в технологічному ланцюжку їх виробництва для подальшого отримання виробів різними методами адитивних технологій.

Сукупність технологічних рішень виробництва таких порошків титану дозволяє отримувати більш щільний матеріал з меншим вмістом шкідливих домішок, що підвищує якість порошку і покращує морфологію окремих його часток.

Зазвичай вважають, що найкращими за формою частинками є сферіди приблизно однакового розміру [14], при цьому кожен шар таких частинок зазвичай компанують шляхом додатка незначних поверхневих зусиль (наприклад, з допомогою обертового валика). Оскільки подальша технологічна операція передбачає спікання або проплавлення шару з такого роду частинок [14], то необхідно спочатку передбачити можливість

використання чисто термодинамічних підходів для отримання найкращих результатів, як за часом завершення процесу зчленування шарів, так і за якістю формованої поверхні.

Для того, щоб оцінити можливості застосування термодинамічних принципів, розглянемо ряд умовних модельних уявлень. На рисунках 2.1 та 2.2 показані схеми щільної укладки (в нормальних перерізах) сферичних частинок і частинок у вигляді багатогранників, найпростішої зручної для аналізу форми (кубічної з можливими надрізами).

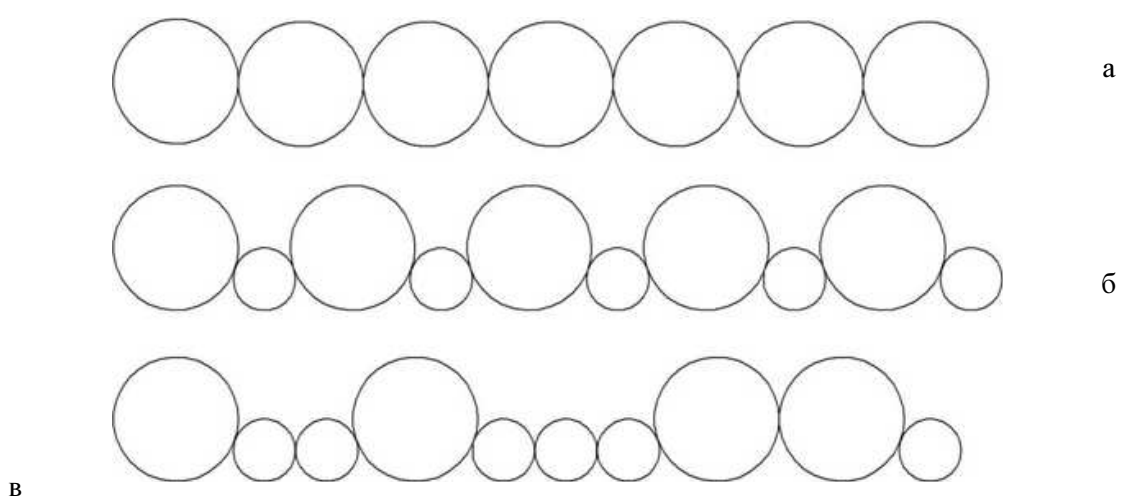


Рисунок 2.1. Схематичні зображення шарів порошоків різного фракційного складу з частинками сферичної форми (а, б, в).

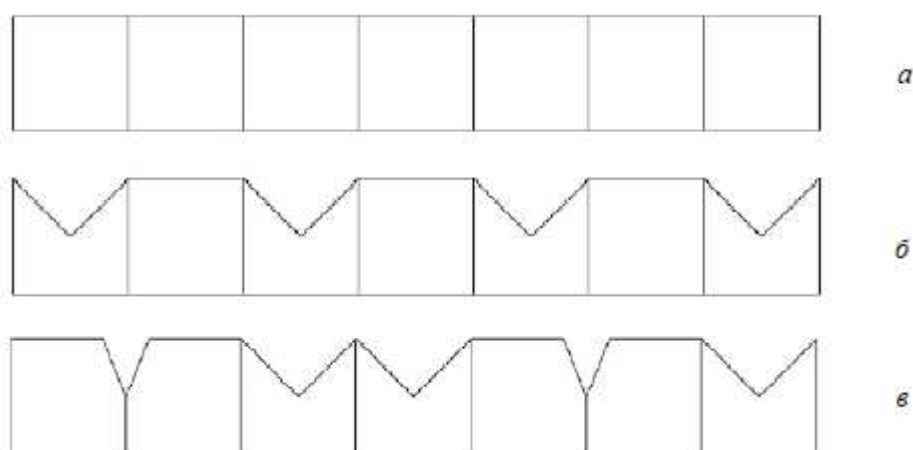


Рисунок 2.2. Схематичні зображення шарів порошоків несферической форми (а, б, в).

Останні варіанти можуть виглядати більш переважними з урахуванням чисто механічного ущільнення при зіткненні плоских граней частинок і

появи внутрішніх термодинамічних сил, які прагнуть шляхом надлишкових тисків скоротити обсяги надрізів гострокутної форми (рисунок 2.2). На підставі теорії, викладеної в роботі [15], такого роду тиску створюються по лініях зчленування площин надрізів з-за відсутності у цих випадках ефекту гідростатичності, при якому тиск по всій поверхні частинки є однаковим (стискаючим) і нормальним в кожній точці гладкої викривленої поверхні. Оскільки в розглянутому випадку дискретні тиски є внутрішніми, то їх дія допомагає чисто дифузійним шляхом забезпечити швидке усунення даного виду несучільностей (гострокутних канавок). Це має сприяти більшій технологічності процесу формування кожного наступного шару майбутнього виробу.

Гострота будь-яких таких канавок разом з її глибиною забезпечують величину надлишкового тиску, яке можна оцінити за такими формулами

$$\Delta p = k \frac{1}{a} \operatorname{ctg} \left( 120^\circ - \frac{\theta}{2} \right);$$

[15]:

где  $k$  – коефіцієнт пропорційності;  $a$  – сторона канавки;  $\theta$  – двохгранний кутперетину вільної канавки.

$$\Delta p = c \frac{1}{l} \left( 2 \cos \frac{\xi}{2} - 1 \right),$$

де  $c$  – коефіцієнт пропорційності;  $l$  – середня відстань між канавками;  $\xi$  – двохгранний кут гранічної канавки.

Причому, відповідно до існуючої теорії [15], при кожному певному значенні ширини сторони середньої ширини перерізу канавки зменшення кута  $\xi$  призводить до збільшення тиску тільки в певному інтервалі значень числового параметра [15].

На рисунках 2.3 та 2.4 наведені реальні частинки титанового порошку сферичної форми і частинками порошку титану, одержаного за технологією гідрування дегідрування [15]. Шари з такими частинками приблизно

відповідають розглянутим вище спрощеним моделям різних типів укладання гіпотетичних часток тієї чи іншої форми.

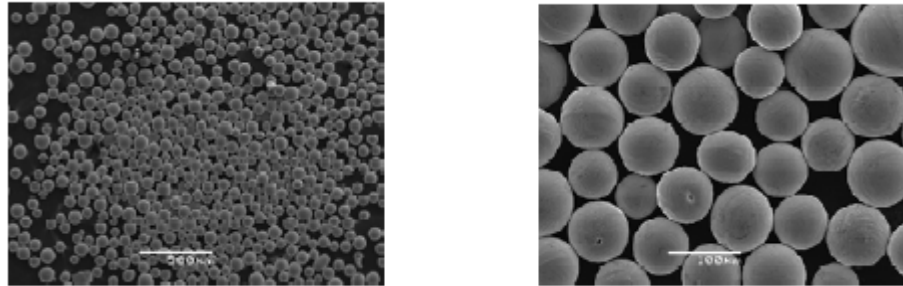


Рисунок 2.3. Зовнішній вид сферичного порошка в РЕМ[15].

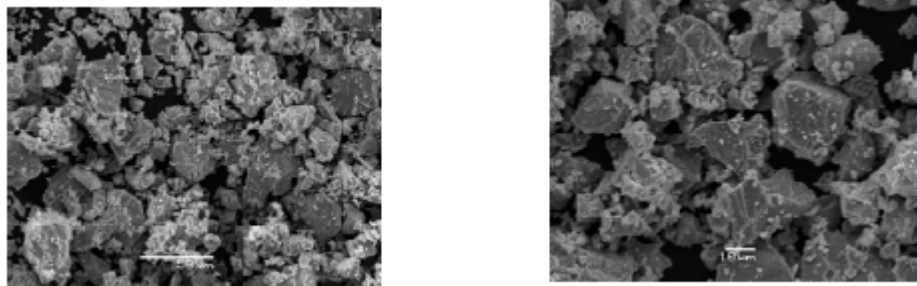


Рисунок 2.4. Зовнішній вид несферичного порошка в РЕМ[15].

Питання про характер спряженості частинок за контактним поверхням (і точок контакту) можна приблизно вирішити з допомогою прогону головки профілометра-профілографа вздовж і поперек насипаних і закріплених з підкладкою порошкових шарів мінімальної товщини (одинарною укладакою) тобто шарів, що мають мінімальну висоту.

Для отримання зазначених об'єктів дослідження нами були використані скляні плоскі зразки, покриті тонким шаром маловязкої клейової основи. Попередні результати експериментів з використанням зазначеного вище приладу наведено на рисунку. 2.5.

Вони свідчать про те, що в разі порошоків різних фракцій «найбільш гладка зовнішня поверхня виходить при використанні порошкового матеріалу, в якому частинки мають форму многогранників умовно



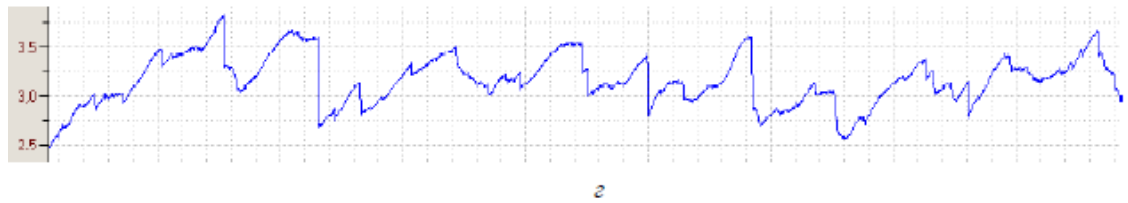


Рисунок 2.5. Результати дослідження порошків на профілометра-профилографе:

- а, б – сферичний порошок фракції -200+100 мкм;
- в – несферический порошок фракції -250+100 мкм;
- г – несферический порошок фракції -50 мкм[15].

Можна зробити висновок про те, що є певна перспектива заміни коштовного сферичного порошку значно дешевшими порошками іншого виду (порошками з частинками близьких до поліедричних форм). Слід також очікувати, що в майбутньому вдасться розробити адитивну технологію 3-D друку, з використанням саме такого роду порошків, яка дозволить значно здешевити процес отримання виробів цим методом, як за вартістю вихідних матеріалів, так і за часом тривалості самого технологічного процесу. У кінцевому результаті, при використанні таких порошкових матеріалів з`явиться цілком реально виготовляти в майбутньому різні деталі авіаційних двигунів (наприклад, лопатки компресорів газотурбінних двигунів).

### 3.ЗАСТОСУВАННЯ НЕСФЕРИЧНИХ ПОРОШКІВ ТИТАНУ МЕТОДОМ ГІДРУВАННЯ ТА ДЕГІДРУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИРОБІВ В АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Процес пошарового вирощування виробів різними методами адитивних (additive manufacturing - AM) технологій набуває все більшої популярності в різних галузях виробництва та авіадвигунобудуванні зокрема. Але на даному етапі розвитку вітчизняного ринку машинобудування, адитивні технології поки що не набули широкого поширення, оскільки володіють одним головним недоліком – велика ціна сировини, якою є сферичні порошки зарубіжного виробництва.

Титанові порошки вітчизняного виробництва можуть підійти в якості альтернативної сировини для AM-технологій з невеликим доопрацюванням.

Термомеханічний порошок титану несферичної форми, отримують при дробленні блоків титану губчастого та подальшого розсіву дробленої частини по фракція. Дрібні частинки губки, з яких складається розглянутий порошок, характеризується власною пористістю і можуть включати кілька зерен. Кожна така частинка має високорозвинену поверхню, а також насичена супутніми шкідливими домішками, такими як хлор і залізо. Порошок титану можна отримувати користуючись технологіями гідрування. [16]. Так, блоки титану губчастого піддають гидрированню для підвищення крихкості титану. Крихкий титановий блок подрібнюють механічним шляхом і розсіюють по фракціях. Головним недоліком цієї технології є необхідність використання дорогого і складного устаткування. До того ж гідрування блоку титану губчастого вимагає застосування великогабаритного обладнання. Незважаючи на перераховані недоліки такої технології отримання порошків, їх використання дозволяє отримувати заготовки високої якості.

Аналіз технологічних показників виробництва порошків, показав, що найбільш перспективним матеріалом для AM - технологій є порошок,

одержуваний за технологією гідрування. Такий матеріал має поверхні порошинок, контури яких наближені до сферичної форми.

Він менше, ніж інші, забруднений домішками, оскільки водень сприяє очищенню титану при дегідруванні [17,18]. Сукупність технологічних рішень виробництва таких порошків титану дозволяє отримувати більш щільний матеріал з меншим вмістом шкідливих домішок, що підвищує якість порошку і покращує його морфологію [19, 20].

В цій роботі представлені результати моделювання процесу тривимірного друку за технологією SLS (Selective Laser Sintering – селективне лазерне спікання) з використанням менш дорогого порошку титану, що отримується дробленням титанової губки (рисунок 3.1 в, г), у порівнянні зі сферичними порошками (рисунок 3.1 а, б), вартість яких у кілька разів перевищує вартість вищезгаданого порошку. Технологія SLS обрана тому, що порошинки мають кутасту форму, мають невисоку плинність, що є важливим фактором при використанні інших методів друку [21]. Слід зазначити, що частинки довільної форми забезпечують меншу пористість порошкових виробів, а також, на відміну від сферичних порошків, можуть бути скомпановані в холодному стані [22].

На рисунку 3.1 зображені титанові порошки різної форми.

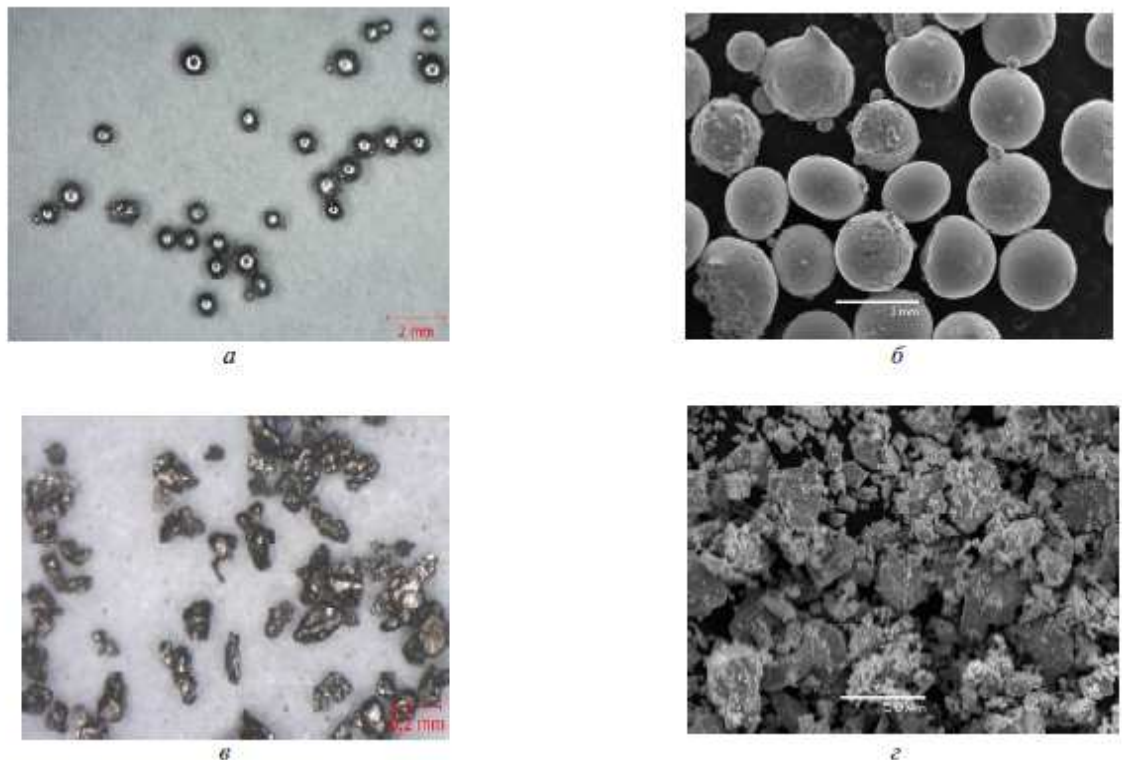


Рисунок 3.1. Титанові порошки різної форми: а – сферичний (оптичний мікроскоп), б – сферичний (електронний мікроскоп); в – несферический (оптичний мікроскоп), г – несферический (оптичний мікроскоп) [23].

Для моделювання процесу пошарової побудови титанового зразка був обраний гідрований-дегідрований порошок титану з фракцією 50-300 мкм виробництва ДП «Державного науково-дослідного і проектного інституту титану».

Процес 3-D друку здійснювали шляхом насипання невеликого шару порошку на підкладку, з такого ж матеріалу (попередньо спресованого і спеченого) і подальшого впливу імпульсним YAG-лазером з густиною потужності випромінювання  $900 \text{ МВт/м}^2$  при частоті проходження імпульсів 20 Гц для спікання порошинок, як між собою так і з матеріалом підкладки. Основним завданням було визначення можливості та якості такого спікання титанового порошку, з метою одержання щільної безпористої структури [23].

На рисунку 3.2 зображені зразки до та після моделювання 3-D друку.

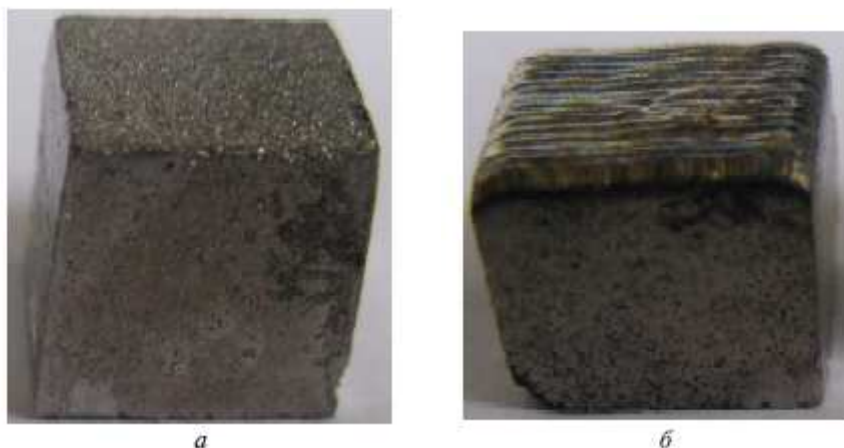


Рисунок 3.2. Зовнішній вигляд зразка: а – до і б – після моделювання процесу 3-D друку[23].

У першому випадку товщина шару становила близько 200...300 мкм, а в другому приблизно 50...100 мкм. Мікроструктура отриманих зразків наведено на рисунках 3.3 і 3.4.



Рисунок 3.3 Мікроструктура основного матеріалу та наплавленого шару товщиною 250–300 мкм[23].

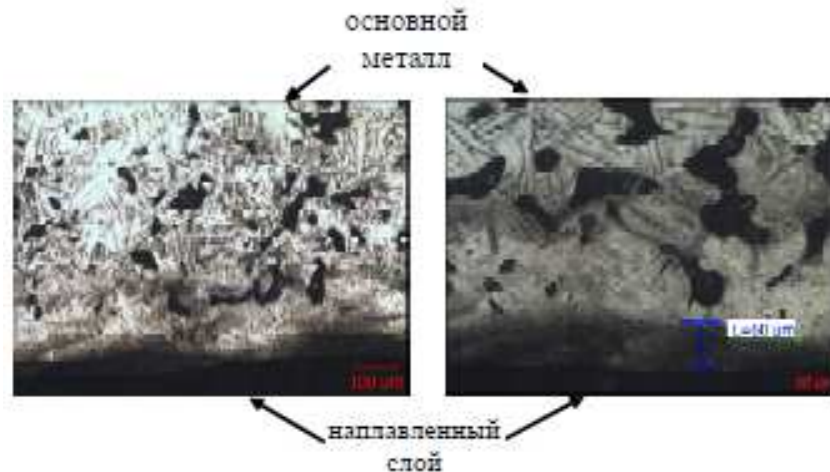


Рисунок 3.4. Мікроструктура основного матеріалу і наплавленого шару товщиною 50-100 мкм.

Як видно з наведених рисунків, при побудові 3-D моделі з використанням порошку фракцією 50...100 мкм утворюється менш пориста і більш однорідна структура порівняно з порошком який має розмір 250...300 мкм, що, у свою чергу, буде позитивно позначатися на механічних властивостях одержуваних виробів.

Вимірювання мікротвердості показали, що значення твердості наплавленого шару і матеріалу підкладки знаходяться в одному діапазоні і складають приблизно 3000 МПа. Таким чином, можна зробити висновок, що титанові порошки, які пройшли технологічний процес гідрування і дегідрування, є перспективним матеріалом для застосування у АМ-технологіях в якості альтернативної сировини.

Все це дозволяє застосувати адитивні технології як при масовому, так і при дрібносерійному виробництві. Слід також зазначити, що особливості різних методів 3-D друку дозволяють використовувати їх для відновлення і ремонту пошкоджених виробів.

З метою визначення перспективних режимів і технологій ремонту деталей ГТД методами адитивних технологій були проведені дослідно-промислові роботи, щодо створення пристосувань для моделювання процесу 3D друку на

існуючому обладнанні АТ «Мотор Січ». Для цього були виготовлені дослідні зразки імітатори пошкоджених деталей ГТД.

На рисунку 3.5 зображені дослідні зразки імітатори пошкоджених деталей ГТД.



Рисунок 3.5. Зовнішній вигляд дослідних зразків, отриманих з використанням порошку марки ВТ1-0 (фракція  $-0,63/+0,315$  мм):

а – ЕЛС (одношаровий); б – АДЗ (одношаровий); в – АДЗ (двошаровий).

Проведений їх ремонт методами пошарового нарощування з використанням порошкових матеріалів різної морфології. Наплавлення порошку (з несферичною формою часток), відповідного за хімічним складом титану марки ВТ1-0 (фракцією  $-0,63/+0,315$  мм), здійснювали двома методами:

- методом ЕПЗ (електронно-променевого зварювання) на установці ЕЛУ-20 з попередньою насипаним порошком (орієнтовні режими наплавлення: струм наплавлення  $I_n = 40...50$  мА; струм фокусування  $I_f = 605...610$  мА; швидкість наплавлення  $v = 1,11$  мм/сек).

- методом АДЗ (аргонодугового зварювання), при якому наплавлення робили вручну, з пошаровим насипом і оплавленням порошку, в камері з контрольованим середовищем (аргон).

Режим наплавлення був приблизно однаковим для всіх варіантів порошкових сумішей – зварювальний струм до 30А, джерело струму Fronius TT3000.

Далі, були проведені металографічні дослідження отриманих дослідних зразків, результати яких представлені на рисунку 3.6. Результати визначення мікротвердості наведені в таблиці 3.1.

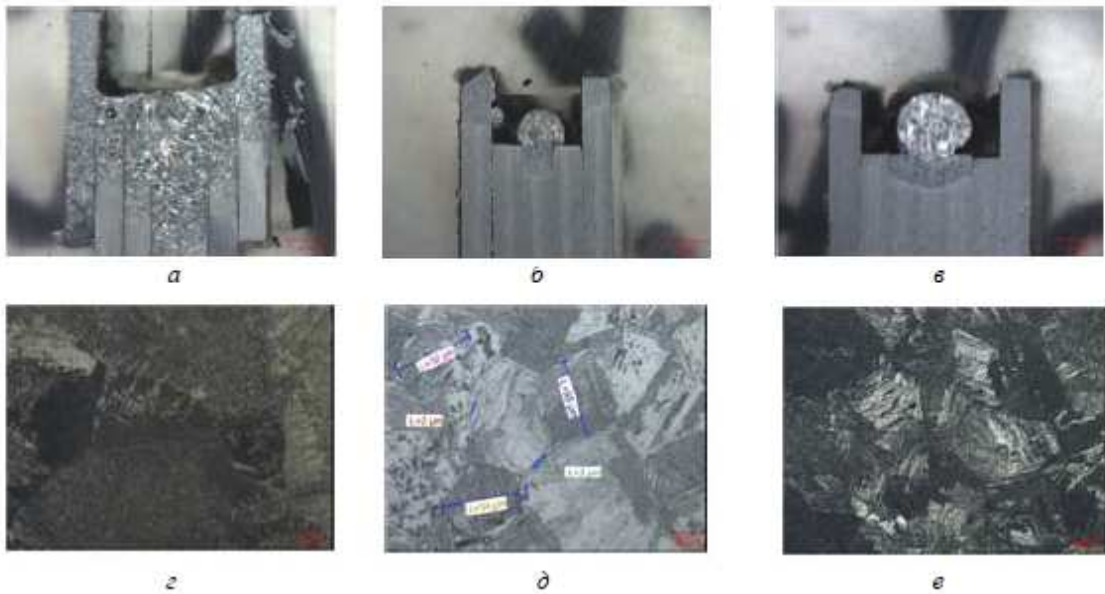


Рисунок 3.6. Зображення макро- (а, б, в) і мікроструктури (г, д, е) зразків, отриманих з використанням порошку марки ВТ1-0 (фракція -0,63/+0,315 мм): а, г – ЕПЗ (одношаровий); б, д – АДЗ (одношаровий); в, е – АДЗ (двошаровий).

Таблиця 3.1 – Результати дослідження мікротвердості

Хімічний склад	Форма частинок	Фракція, мм	Вид наплавлення та кількість шарів(цифри)	Середнє значення мікротвердості, МПа
ВТ1-0	несферична	-63/+0,315	АДЗ-1	4311
			АДЗ-2	5678
			ЕПЗ-1	2497

З наведених вище даних можна зробити висновок, що структура матеріалу отриманих одношарових і двошарових зразків незалежно від методу наплавлення є пластинчастою і дрібнозернистою, що відповідає структурі

литих зразків. Встановлено, що отримані зразки за своїми властивостями не поступаються литим зразкам відповідного хімічного складу, про що свідчать результати вимірювання мікротвердості, наведені в таблиці. 3.1.

Тому для оцінки технологічної реалізації нових конструктивних рішень розроблена 3D модель дифузора компресора високого тиску ГТД. На рисунку 3.7 розробленої моделі виготовлені прототипи виробів з полімерних порошкових матеріалів .

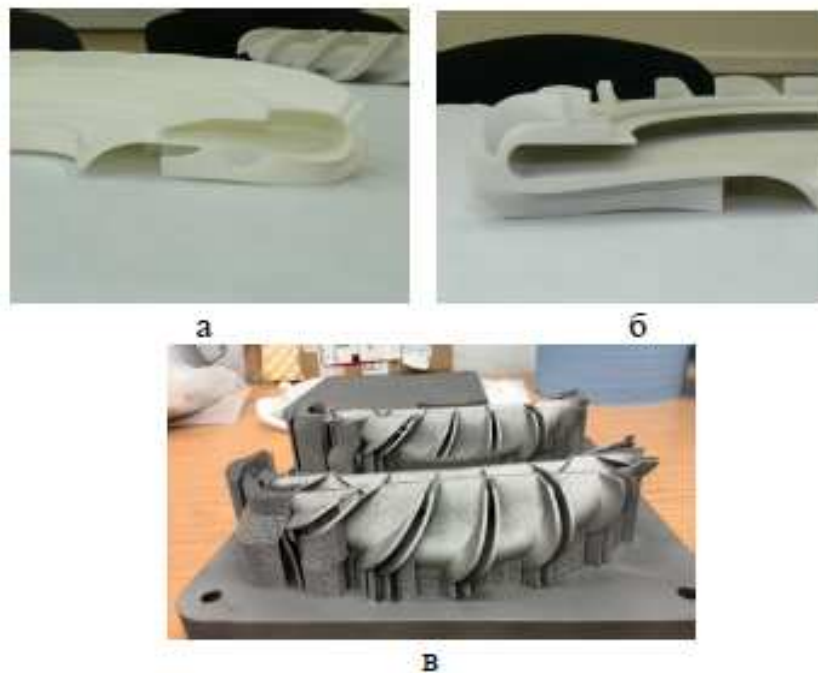


Рисунок 3.7. Вид моделей дифузора компресора високого тиску ГТД з порошкових матеріалів з різною конструкцією: перетин деталі, отриманої за традиційною технологією (а), перетин деталі, отриманої за новою адитивною технологією (б), деталь, отримана за адитивною технологією з металу (в)[24].

З аналізу конструкції наведених вище виробів встановлено, що нова геометрія забезпечує більш жорстку конструкцію за рахунок технологічної можливості виготовлення у внутрішніх порожнинах ребер жорсткості. Основною перевагою виробів, отриманими за адитивною технологією, є суттєве до 30% зниження маси деталі.

Це дає підставу зробити висновок, що виготовлення даного виробу з металевих, зокрема титанових, порошкових матеріалів забезпечить ті ж переваги із збереженням міцності і службових властивостей такого роду деталей. Однак, цього можна досягти за умови забезпечення необхідного рівня механічних властивостей конструкційного матеріалу, що можна реалізувати за рахунок застосування порошкових матеріалів із спеціальними системами легування. Враховуючи специфіку процесів 3D друку пов'язаних з розплавленням порошків і швидким охолодженням сплавів необхідно використовувати ливарні або зварювані матеріали, що забезпечують необхідний рівень механічних і службових властивостей. Для виготовлення деталей ГТД вироблених на АТ «Мотор Січ» до числа таких сплавів відносяться псевдо  $\alpha$ -титанові сплави типу BT20 з системою легування Ti-Mo-Al-V-Zr. З даних сплавів на сьогоднішній день не виробляють порошкові матеріали. Аналіз зарубіжних і вітчизняних порошків титану і порошків на основі його сплавів показав, що їх характеристики і вартість суттєво обмежують можливості виробництва деталей ГТД із титанових сплавів. Так орієнтовна вартість виробів, отриманих на 3D принтері з різних порошкових матеріалів, наведена на рисунок 3.8.

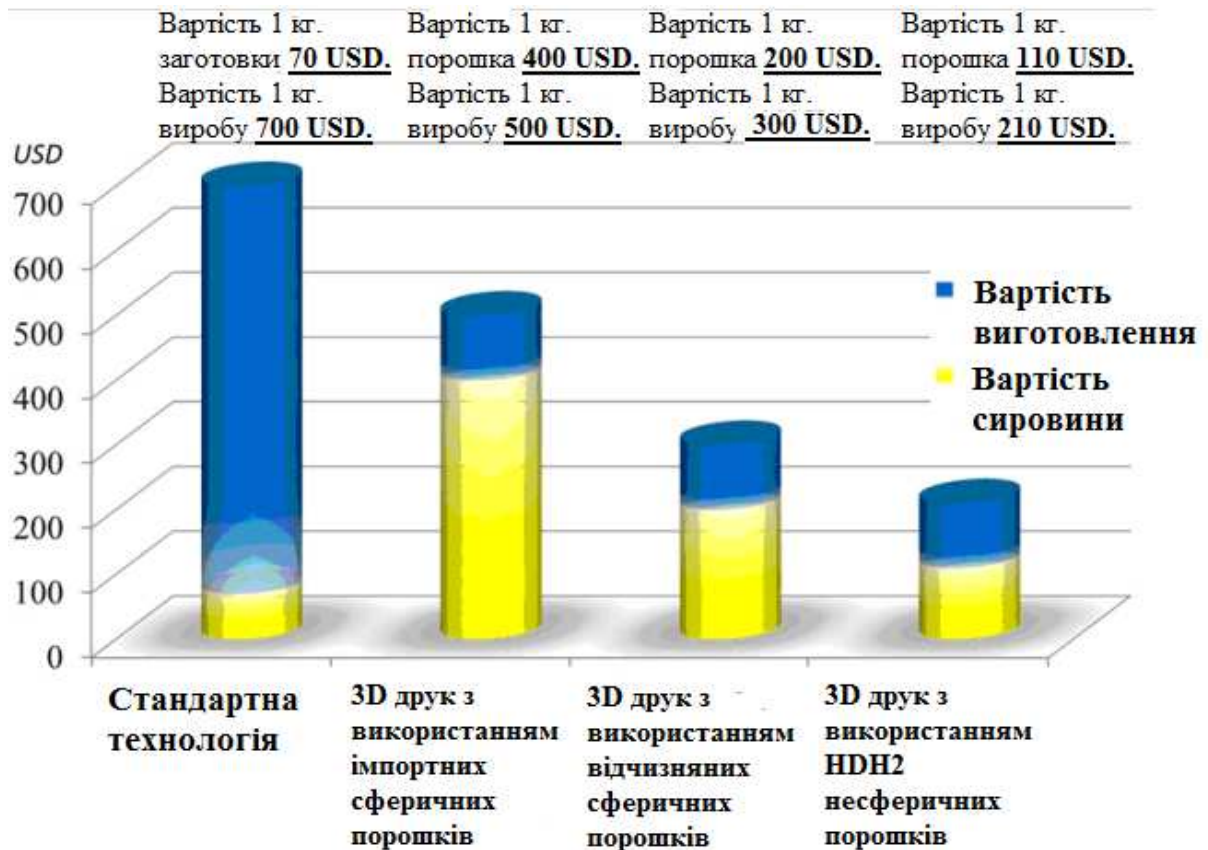


Рисунок 3.8. Орієнтовна вартість отримання виробів з титанових матеріалів різними методами виробництва.

Як випливає з аналізу наведених даних виробництво виробів за новими технологіями є економічним порівняно з традиційними технологіями лиття і механічної обробки при вартості порошків не більше 200 дол./кг. Тому для розширення номенклатури деталей, вироблених за адитивним технологіями, необхідно розробляти порошкові матеріали більш широкого спектру хімічних і фракційних складів за технологіями, які забезпечують істотне зниження їх вартості.

Досягнення поставленої мети в роботі здійснювали шляхом отримання легованих порошків титану з заданим хімічним складом і розмірами за промисловою технологією. Дезінтеграцію або дроблення легованого губчастого титану проводили за допомогою методу термохімічного окрихчення допомогою водню (метод гідрування-дегідрування, HDH). Для цього на конструктивно модернізованій установці гідрування,

відпрацьовані режими насичення воднем легованого титану губчастого і наступних процесів дроблення, розсіву і дегідрування. [24]

В результаті отримані HDH порошки легованого титану (Ti-Mo-Al-V-Zr), хімічний склад яких представлений у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вміст легуючих елементів і домішок у сплавах, отриманих за розробленою технологією.

Матеріал	N	C	H	Al	V	Mo	Zr	Fe	Si
BT20 HDH2	≤0.05	≤0.1	0.012	5.5-7	0.8- 2.5	0.5-2	1.5- 2.5	≤0.3	≤0.15
BT20 PREP*	≤0.05	≤0.1	≤0.15	6.0- 6.8	1-2.3	0.6- 1.8	1.6- 2.4	0.25	≤0.15
BT20 ГОСТ	≤0.05	≤0.1	≤0.15	5.5-7	0.8- 2.5	0.5- 2.0	1.5- 2.5	0.25	≤0.15

Plasmarotatingelectrodeprocess –процес диспергування заготовки, що обертається в плазмі.

Як випливає з аналізу даних, наведених в таблиці 3.2, згідно хімічного складу, порошок, виготовлений за технологією дослідження, за всіма елементами відповідає марочному сплаву BT20.

На рисунку 3.9 показано структури порошків титанових сплавів Ti-Mo-Al-V-Zr, отриманих за різними технологіями та різної вихідної сировини.

З рисунку 3.9 видно, що форма порошків, отриманих за технологією HDH, є несферичною. Частинки порошку мають кутасту форму, у зв'язку з чим володіють невисокою плинністю [24].

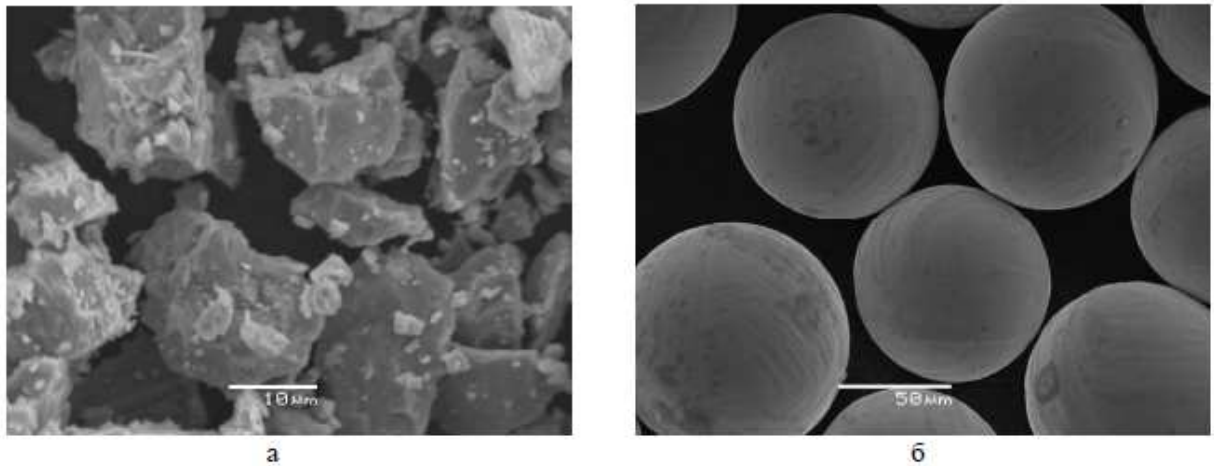


Рисунок 3.9. Морфологія отриманих порошків: несферичної форми, отриманий методом HDH (а), сферичної форми, отриманий розпиленням розплаву (б).

Однак, частинки кутастої форми можуть забезпечити меншу пористість порошкових виробів, а також, на відміну від сферичних порошків, можуть бути скомпановані в холодному стані. Процес друку забезпечує переплав порошків, тому їх форма не впливає на геометрію кінцевого виробу. Основний вплив форма порошку має на схему його подачі в робочу камеру. Нині є рішення щодо використання несферичних порошків титанових сплавів при виготовленні деталей на 3D-принтерах [24], а також можливості сфероїдизації дегідрированих порошків [24].

Таким чином, запропонована технологічна схема отримання легованих порошків титану дозволяє виключити дорогі і складні операції виробництва пруткових заготовок з титанових сплавів: змішування титанової шихти з лігатурами, вакуумні сполучення, виплавка злитків, їх атомізації в спеціальних складних пристроях – атомізаторах, а також забезпечити можливість виробництва порошків на базі існуючого промислового обладнання.

Отримані порошкові матеріали використовували при отриманні зразків методами пошарового нарощування із застосуванням електронного променя. Аналіз структури матеріалу отриманих зразків показав, що незалежно від

морфології використовуваних порошкових матеріалів структура є дрібнозернистою і повністю відповідає структурі литих зразків. Встановлено, що отримані зразки за своїми властивостями не поступаються литим відповідного хімічного складу.

В цілому можна зробити наступні висновки:

- розроблена 3D модель і виготовлений (методами адитивних технологій) прототип дифузора компресора високого тиску ГТД. Основною перевагою отриманого виробу є істотне до 30% зниження маси, чого вдалося досягти за рахунок отримання деталі нової геометрії, яка забезпечує більш жорстку конструкцію;
- розроблена технологічна схема одержання порошків легованого титану забезпечує їх хімічний і фракційний склад, що відповідає зарубіжним аналогам для АМ-технологій, а також дає можливість створення серійного виробництва HDH порошок системи Ti-Mo-Al-V-Zr на базі існуючого промислового обладнання;
- проведені дослідження впливу морфології порошкових матеріалів на структуру, при одержанні зразків методами електронно-променевої зварювання показали, що незалежно від форми частинок порошку отримана структура відповідає структурі литих зразків аналогічного хімічного складу.



## 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РИНКУ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

### 4.1 Тенденції розвитку ринку адитивних технологій.

Адитивні технології — один з головних світових трендів, згаданих у контексті нової промислової революції. Щорічне зростання цього ринку, який насправді ще не сформований і не має чітких меж, варіюється в межах 20-30%.

У 2015 році спостерігалось зростання ринку 3D-друку, а також матеріалів і супутніх послуг на 56% порівняно з минулим роком. Тоді обсяг ринку становив 5,2 млрд. дол. Сьогодні аналітики IDC прогнозують, що обсяг ринку до 2017 року в грошовому еквіваленті зростання складе приблизно 59%, а в кількісному – 30%. У 2018 році, за прогнозами Canalys Research, обсяг ринку складе 16,2 млрд. дол. З них 70% припадає на супутні сервіси та витратні матеріали, а 30% - на продаж принтерів.[25]

На рис. 4.1 зображено графік розвитку ринку 3D друку.



Рис. 4.1 – Графік розвитку ринку 3D друку [25].

Згідно зі звітом, який опублікував Markets and Markets, темпи зростання ринку тривимірного друку з 2013 до 2020 року збільшаться на 23%. До 2020 року частка ринку складе близько 8,4 млрд. дол. А за іншими даними він досягне позначки в 20,2 млрд. дол. вже до 2019 року.[25]

Спочатку 3D друк використовувалася виключно для прототипування об'єктів, але останнім часом адитивні технології зробили радикальний крок у бік виробництва і галузі застосування 3D друку багатогранно зростають. Серед галузей, що активно освоюють 3D друк, найбільшу частку займають автомобільна промисловість, аерокосмонавтика, медицина і виробництво споживчих товарів. За даними «M&M», обсяги 3D друку в аерокосмонавтиці в найближчому майбутньому будуть зростати в геометричній прогресії. Технологія 3D друку має значний потенціал зростання, вона незамінна там, де необхідно штучне виробництво персоналізованих виробів або виробів тонкої архітектури. [27]

На рис. 4.2 зображено основні галузі які використовують адитивні технології

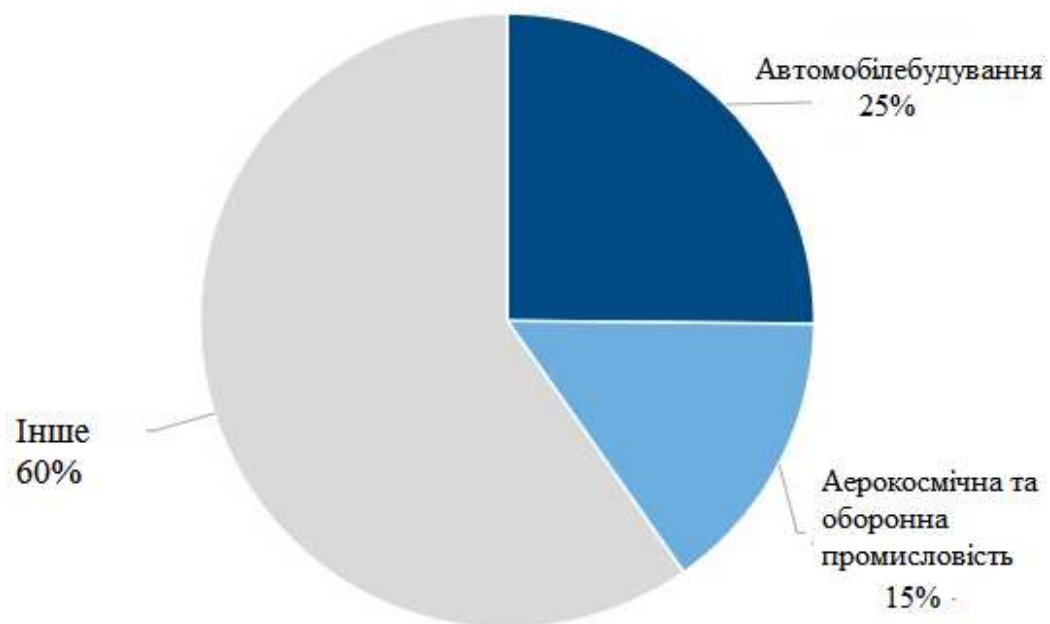


Рис. 4.2 – Основні галузі які використовують адитивні технології [26].

Географічний аналіз ринку 3D друку (рис. 4.3) показує, що його більша частина припадає на США, друге місце за величиною сегмента займає Європа. Очікується, що до 2020 року Європа перевершить Америку по доходах на ринку тривимірного друку, і велику роль тут відіграють усвідомлення вигоди від 3D друку перед традиційними методами виробництва, вдосконалення технології, поява нових матеріалів для створення тривимірних об'єктів і бюджетне фінансування розробок у даній сфері. [27]

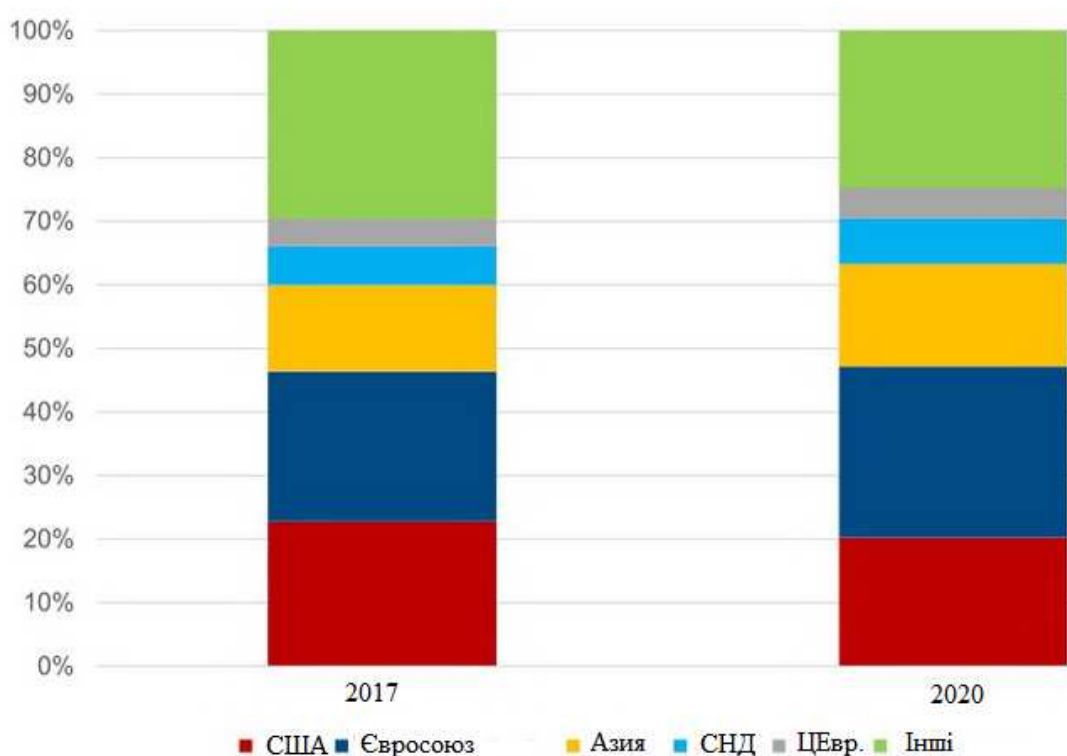


Рис. 4.3 – Географічний аналіз ринку 3D друку[26]

Тим не менш, самим швидкозростаючим і самим перспективним ринком для 3D друку є Азіатсько-Тихоокеанський басейн, який характеризується інтенсивним промисловим зростанням, технічною обізнаністю, законодавчою та фінансовою підтримкою інновацій з боку федерального уряду. [27]

В даний час найбільшими гравцями на ринку 3D друку є американські компанії «3D Systems», «Stratasys», «ExOne» і «Optomec», німецькі компанії «Envisiontec», «EOS» і «MicroTec», бельгійські компанії «Layerwise» і «Materialise» і швейцарська компанія «Arcam».[27]

На українському ринку вже формується попит на адитивні технології. 3D-принтери вже з'явилися в українських інтернет-магазинах, а також спеціалізовані майданчики з продажу витратних матеріалів, надання послуг сканування та інше. Але є такі труднощі як велика ціна на :

-обслуговуванням 3D-принтерів;

-використанням імпортової сировини для 3D-принтерів .

Виготовляти обладнання та сировину для адитивних технологій, українські підприємства, на думку іноземних фахівців, не можуть. Так як український ринок істотно відстає в розвитку від європейського та американського через нестачу інформації, а також брак кваліфікованих фахівців. Еволюція цього ринку буде відрізнятися від шляху, по якому пройшли ринки Азії, Європи і Америки, а найбільше завдання стоїть перед нашою системою освіти – це новий підхід до вивчення технологій та реформи існуючої програми навчання.[28]

#### 4.2 Планування науково-дослідних робіт

Основна умова раціонального планування НДР - скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних й грошових ресурсів.

Для цього необхідно вирішити наступні питання по плануванню НДР: визначення трудомісткості й тривалості ; складання календарного графіка виконання; визначення витрат на проведення.

#### 4.2.1 Визначення трудомісткості та тривалості НДР

Розрахунок тривалості виконання НДР і кожного її етапу роблять відповідно до кількості виконавців по кожному етапу по формулі:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R \cdot K_{\text{в.н.}}}, \quad (4.1) \quad \text{де } T_{\text{ц}} - \text{тривалість}$$

циклу, днів;

робіт, люд.-годин;

виконавців, людей;

$Q$  – трудомісткість

$R$  – кількість

$K_{\text{в.н.}}$  - плановий коефіцієнт виконання

норм на відрядних роботах,

$$K_{\text{в.н.}} = 1,05 \dots 1,1.$$

$$T_{\text{ц}} = 84 \text{ днів};$$

$$R = 3 \text{ людини};$$

$$K_{\text{в.н.}} = 1,075.$$

Визначаємо трудомісткість робіт, люд.-годин -  $Q$ :

$$Q = T_{\text{ц}} \cdot R \cdot K_{\text{в.н.}},$$

Результати розрахунків наведено у таблиці. 4.2.1

Таблиця 4.2.1 – Тривалість етапів НДР

Етап НДР	Трудомісткість		Виконавці		Тривалість, днів
	Людино-днів	% до підсумку	Спеціальність	Кількість людей	
1	2	3	4	5	6
1.Пошук літератури	12,9	6,94	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	2	7
2.Підготовка матеріалів	7,5	4,03	Лаборант	1	7
3.Розробка методик	21,5	12,07	Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник.	2	10
4.Виготовлення зразків	32,25	17,6	Лаборант, Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник.	3	10
5.Аналіз мікроструктури	19,35	10,96	Молодший науковий співробітник,	3	6

			Головний науковий Співробітник, Лаборант		
--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 4.2.1

6.Визначення впливу конфігурації порошоків на мех. властивості	16,12	8,81	Лаборант, Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	3	5
7.Обробка результатів	10,75	5,5	Молодший науковий співробітник,	1	10
8.Складання звіту	15,05	8,81	Молодший науковий співробітник,	1	14
9.Оформлення графічних матеріалів	23,65	15,6	Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник,	2	11
10.Нормоконтроль	2,15	1,5	Головний науковий Співробітник.	1	2
11.Рецензія	2,15	1,5	Головний науковий Співробітник.	1	2
Разом	168,76	100	-	-	84

Розрахунок очікуваного часу виконання етапу робіт із формули:

$$t_{\text{оч}} = , \quad (4.2)$$

де  $t_{оч}$  - очікувана оптимальна оцінка часу виконання етапу НДР, днів;

$t_{min}$  – мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

$t_{max}$  – максимальні витрати часу на виконання роботи з даного етапу при несприятливих умовах, днів.

Розрахунок дисперсії  $\sigma^2$  являє собою значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається по формулі:

$$\sigma^2(t) = \left( \frac{t_{max} - t_{min}}{5} \right)^2, \quad (4.3)$$

Результати розрахунків зводяться в таблиці.4.2.2

Таблиця 4.2.2 – Тривалість НДР

Етап НДР	Тимчасові оцінки, днів			Дисперсія	Виконавці	
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{оч}$		Спеціальність	Кількість, людей
1	2	3	4	5	6	7
1.Пошук літератури	5	7	5,8	0,16	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	2
2.Підготовка матеріалів	5	7	5,8	0,16	Лаборант	1
3.Розробка методик	7	10	8,2	0,36	Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник,	2
4.Виготовлення зразків	5	10	7	1	Лаборант	1
5.Аналіз мікроструктури	4	6	4,8	0,64	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник, Лаборант	3

6. Визначення впливу конфігурації порошків на мех. Властивості	3	5	3,8	0,16	Лаборант, Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	3
7. Обробка результатів	8	10	8,8	0,16	Молодший науковий співробітник.	1
8. Складання звіту	11	14	12,2	0,36	Молодший науковий співробітник.	1
9.Оформлення графічних матеріалів	8	11	9,2	0,36	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	2
10.Нормоконтроль	1	2	2,6	0,04	Головний науковий Співробітник	1
11.Рецензія	1	2	2,6	0,04	Головний науковий Співробітник	1
Разом	58	84	70,8	3,44	-	-

#### 4.2.2 Складання календарного графіка

Використовуючи дані таблицях 4.2.1 і 4.2.2, побудуємо календарний графік виконання НДР.

При побудові сіткового графіка необхідно скласти перелік робіт і подій за таблицею 4.2.3.

Таблиця 4.2.3 – Перелік робіт і подій для сіткового графіка

Номер події	Події	Код роботи	Зміст роботи	Тривалість роботи
1	2	3	4	5
1	Пошук літератури	0-1	Уточнення проектного завдання. Підбор і аналіз літератури й аналогів. Уточнення змісту теми і питань, зв'язаних з її виконанням.	7
2	Підготовка матеріалів	1-2	Закупівля дослідницьких зразків	7
3	Розробка методик	1-3	Складання методики та плану дослідження	10
4	Виготовлення зразків	2-4	Виготовлення зразків для випробувань на механічні властивості	10
5	Аналіз мікроструктури	3-5	Аналіз структури на дефекти и не провари	6
6	Визначення впливу конфігурації порошків на мех. властивості	4-6	Аналіз і встановлення параметрів	5

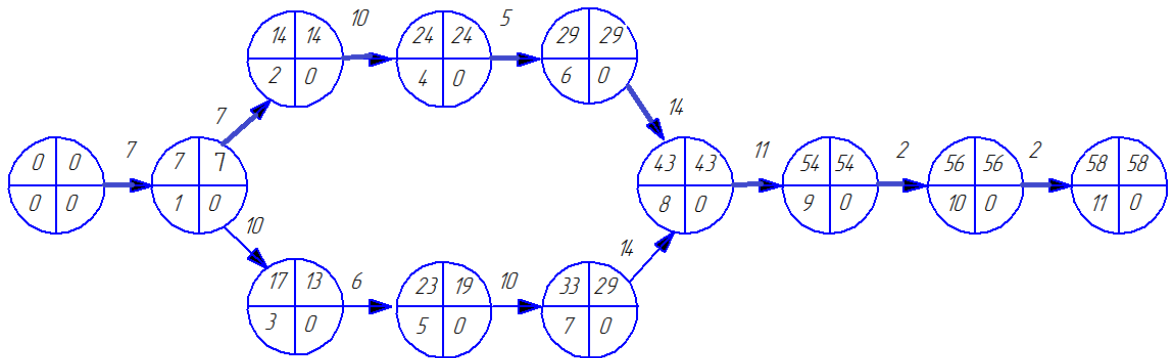
## Продовження таблиці 4.2.3

7	Обробка результатів	5-7	Узагальнення отриманих результатів досліджень, визначення шляхів подальшого їхнього використання отриманих результатів.	10
8	Складання звіту	6-8 7-8	Складання звіту, обговорення його і затвердження, оформлення графічного матеріалу. Аналіз економічної ефективності.	14
9	Оформлення графічних матеріалів	8-9	Виготовлення графічної частини для наочної оцінки результатів.	11
10	Нормоконтроль	9-10	Перевірка роботи згідно з нормами	2
11	Рецензія	10-11	Відгук про роботу	2

Сітковий графік являє собою інформаційно-динамічну модель, в якій зображуються взаємозв'язку і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети проектування. При побудові мережевого графіка використовуються два графічних елемента: роботи і події.

Робота - це процес, що вимагає витрат часу, наявності виконавців і матеріальних ресурсів. Подіями називаються результати проведених робіт, на

графіку події показуються кружками з номером. Сітковий графік будується за даними табл. 4.2.3 і представлений на рисунку 4.2.1



Рисунок

нок 4.2.1 – Сітковий графік

Після складання сіткового графіка визначаємо його параметри:

$t$  – тривалість шляхів;

$t_{\text{кр}}$  – тривалість критичного шляху;

$R_{\text{Лр}}$  – резерв часу шляхів;

$t_i^p$  – ранній термін здійснення події;

$t_i^n$  – пізній термін здійснення події;

$R_i$  – резерв часу здійснення події;

$t_{ij}^{pn}$  – ранній термін початку роботи;

$t_{ij}^{pz}$  – ранній термін закінчення роботи;

$t_{ij}^{nn}$  – пізній термін початку роботи;

$t_{ij}^{nz}$  – пізній термін закінчення роботи;

$R_{ij}^n$  – повний резерв часу роботи;

$R_{ij}^B$  – вільний резерв часу роботи;

$K_{\text{HL}}$  – коефіцієнт напруженості шляху.

Таким чином, побудований графік подій, сітковий графік, знайдений критичний шлях. Таким шляхом є 0-1-2-4-6-8-9-10-11, що має довжину 58 днів. Роботи виконувалися паралельно.

Результати розрахунків в таблицях 4.2.4 – 4.2.6

Таблиця 4.2.4 – Параметри шляхів

Номер шляху	Номера подій, через які проходить шлях	Тривалість робіт, через які проходить шлях	Довжина шляху	Резерв шляху
1	0-1	0-7	58	0
	1-2	7-14	58	0
	2-4	14-24	58	0
	4-6	24-29	58	0
	6-8	29-43	58	0
	8-9	43-54	58	0
	9-10	54-56	58	0
	10-11	56-58	58	0
2	0-1	0-7	58	0
	1-3	7-17	58	0
	3-5	17-23	58	0
	5-7	23-33	58	0
	7-8	33-43	58	0
	8-9	43-54	58	0
	9-10	54-56	58	0
	10-11	56-58	58	0

Таблиця 4.2.5 – Параметри подій

Кількість робіт, що передують події	Номер події	$t_i^p$	$t_i^n$	$R_i$
1	0-1	7	7	0
	1-2	7	7	0
	2-4	10	10	0
	4-6	5	5	0
	6-8	14	14	0
	8-9	11	11	0
	9-10	2	2	0
	10-11	2	2	0
2	0-1	7	7	0
	1-3	10	10	0
	3-5	6	6	0

	5-7	10	10	0
	7-8	14	14	0
	8-9	11	11	0
	9-10	2	2	0
	10-11	2	2	0

Таблиця 4.2.6 – Параметри робіт

Код роботи	$t_{ij}$	$t_{ij}^{pn}$	$t_{ij}^{p3}$	$t_{ij}^{nn}$	$t_{ij}^{n3}$	$R_{ij}^n$	$R_{ij}^B$
0-1	7	7	7	7	7	0	0
1-2	7	14	14	14	14	0	0
2-4	10	24	24	24	24	0	0
4-6	5	29	29	29	29	0	0
6-8	14	43	43	43	43	0	0
8-9	11	54	54	54	54	0	0
9-10	2	56	56	56	56	0	0
10-11	2	58	58	58	58	0	0

Коефіцієнт напруженості  $K_{HL}$  визначаємо за формулою:

$$K_{HL} = t_{ij}^{nn} / (t_{ij}^{pn} + R_{ij}^B), \quad (4.4)$$

$$K_{HL} = 1$$

Визначення витрат на проведення НДР

У складі витрат на проведення НДР враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

З метою визначення витрат на проведення науково-дослідницької роботи слід скласти кошторис витрат (Таблиця 4.2.7).

Таблиця 4.2.7 – Кошторис витрат на виконання НДР

Стаття витрат	Сума, грн.
Матеріали	86100
Витрати на спеціальне устаткування	51600
Основна заробітна плата	32 970
Додаткова заробітна плата	3297
Єдиний соціальний внесок	7978
Накладні витрати	29673
Інші витрати	1129
Витрати на енергоресурси	67,52

Разом	212814,52
-------	-----------

Розрахунок вартості матеріалів.

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження (Таблиця 4.2.8).

Ціни на матеріальні ресурси визначають за відповідними прайс-листами. Транспортно-заготівельні витрати: 3-5% від вартості матеріалів.

Таблиця 4.2.8 - Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, грн/кг	Сума витрат, грн.
Титановий несферичний порошок	10	8000	80000
Реактиви	-	-	2000
Усього			82000
Транспортно - заготівельні витрати (5%)			4100
Усього			86100

Спеціальне устаткування для науково-експериментальних робіт.

В цій статті враховуються витрати на закупівлю, доставку і монтаж лабораторних установок, вимірювальних і регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури і тому подібне (Таблиця 4.2.9)

Таблиця 4.2.9 - Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Собівартість експлуатації, год.
Установка SLS	ЕЛУ-20	1	1 500 000	50000
Твердомір	ТК-2	1	30 000	1200
Оптичний мікроскоп	МИМ - 8	1	10 000	400
Разом				51600

Розрахунок заробітної плати.

Витрати по цій статті складаються з планового фонду заробітної плати усіх категорій працівників, зайнятих в проведенні наукових досліджень.

Розрахунок заробітної плати робиться на підставі даних про трудомісткість (Таблиця 4.2.10 ).

Кількість місяців роботи науково-дослідної групи задається на підставі терміну виконання дипломної роботи. В даному випадку 80 днів. Місячні посадові оклади і годинні тарифні ставки приведені в додатку. Результати розрахунків зводяться в таблиці 4.2.10

Таблиця 4.2.10 - Розрахунок основної заробітної плати

№	Посада виконавця	Кількість, Людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зарплата, грн	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума, грн
1	Головний науковий співробітник	1	7400	352	52	18340
2	Молодший науковий співробітник	1	3200	152	77	11 740
3	Лаборант	1	2500	85	34	2890
Разом						32 970

Додаткова зарплата визначається в розмірі 8-10 % від основної заробітної плати штатних працівників.

$$ЗП_{дон} = ЗП_{осн} \cdot 0,1 = 32\,970 \cdot 0,1 = 3297 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

Основна й додаткова заробітна плата по кошторису не повинна перевищувати 40 % кошторисної вартості.

Відрахування на соціальні заходи визначаються в розмірі 22 % від основної й додаткової заробітної плати.

$$C_{соц.емр.} = (ЗП_{осн} + ЗП_{дон}) \cdot 0,22 = (32970 + 3297) \cdot 0,22 = 7978 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Накладні витрати по проведенню науково-дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців ( у межах 80-100%). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

$$C_n = 3\Pi_{осн} \cdot 0,9 = 32970 \cdot 0,9 = 29673 \text{ грн} \quad (4.7)$$

Стаття "Інші витрати" складає 2-3 % суми усіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

$$C_i = (C_{соц.стп} + C_n) \cdot 0,02 = (7978 + 29673) \cdot 0,02 = 1129 \text{ грн} \quad (4.8)$$

Розрахунок витрат на енергоспоживання

Витрати на силову енергію визначають по формулі:

$$(4.9)$$

де  $\Pi_y$  – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування кВт;

$\Phi_{эф}$  – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин;

$K_B$  – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу ( $K_B \approx 0,8 \dots 0,9$ );

$\text{Ц}_e$  – ціна 1 кВт година електроенергії, грн./кВт година;

ККД = 0,8...0,9.

Виконанні розрахунки занесено в таблицю 4.2.11

Таблиця 4.2.11 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Марка	Потужність, кВт	$\Phi_{эф}$ , год.	Ціна, грн./кВт година	Вартість енергоресурсів грн
Установка	ЕЛУ-20	10,3	4		65,92

SLS				1,60	
Твердомір	ТК-2	0,1	2		0,32
Оптичний мікроскоп	МИМ - 8	0,2	4		1,28
Разом					67,52

Розрахунок економічної ефективності.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі:

$$, \quad (4.10)$$

де  $K_{\text{НДР}}$  – рівень ефективності дослідження;

де  $J^n$  – важливість роботи;

де  $R$  – результативність роботи;

де  $T$  – технічна складність виконання НДР;

де  $B_{\text{НДР}}$  – витрати на проведення НДР, тис. грн.;

де  $n$  – показник використання результатів НДР;

де  $t_{\text{НДР}}$  – тривалість проведення НДР, років.

=1,8

При проведенні теоретичних НДР і використання їхніх результатів на промисловому підприємстві техніко-економічну ефективність можна визначити, використовуючи значення наступних коефіцієнтів:

$K_1$  – коефіцієнт, що характеризує досягнутий ефект;

$K_2$  – коефіцієнт обсягу використання результатів НДР;

$K_3$  – коефіцієнт складності вирішення задачі;

$K_4$  – коефіцієнт істотних відмінностей;

Для визначення ступеня ефективності проведеної НДР необхідно, щоб добуток цих коефіцієнтів був не менше 4, в даному випадку:

$$K = 6,0 \cdot 5 \cdot 6,25 \cdot 4,0 = 750$$

Галузевий коефіцієнт економічної ефективності  $K_{\text{НДР}} = 1,5$ , виходячи з проведених розрахунків ми отримали  $K_{\text{НДР}} = 1,8$ , тому можна зробити висновок, що дані дослідження є економічно доцільними та ефективними.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи із охорони праці, при удосконаленні технології отримання несферичних титанових порошків для виготовлення деталей методом 3-D друку.

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек:

а) небезпеки які пов'язані з розробкою вихідних засад для проведення експериментальних робіт по отриманню деталей за 3-D технологією, зокрема: небезпеки які пов'язані, з використанням персонального комп'ютера;

б) небезпеки які пов'язані, з використанням електронно-променевої інсталяції для спікання титанових порошків, зокрема негативний вплив електронно-променевого випромінювання, світлового випромінювання зварювальної ванни, випарів металу, випарів хімічних реактивів і розчинників.

в) небезпеки які пов'язані із проведенням робіт по виготовленню дослідницьких деталей, зокрема можливість ураження електричним струмом та негативний вплив теплового випромінювання;

г) небезпеки, які пов'язані при визначенні результатів дослідницьких робіт, зокрема можливість отримання механічних травм при випробуванні виробів на механічні властивості.

д) незадовільні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітря обміну;

е) незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

є) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

ж) небезпеки, які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях.

## 5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки:

### а) Загальні вимоги до техніки безпеки при роботі на комп'ютері

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96. А також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є : -  
електростатичні поля;

-електромагнітне випромінювання;

-наявність потужних іонізуючих випромінювань;

- загальна втома;

- стомлюваність очей;

-небезпека ураженням електричним струмом;

-пожежонебезпека;

Режими праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності.

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А – робота із зчитуванням інформації з екрану комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б – робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу;

За основну роботу з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50 % роботи протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості і напруженості роботи з комп'ютером, які визначаються:

- для групи А – по сумарному числу опрацьованих знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

- для групи Б – по сумарному числу зчитуються або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 40 000 знаків;

- для групи В – по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером;

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблокове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинно бути не менше 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21 С, допустимі 18-22 С, відносна вологість повітря 62-55 %.

У кабінеті слід здійснювати наскрізне провітрювання для поліпшення якісного складу повітря, щодня проводити вологе прибирання.

Для підвищення вологості повітря слід використовувати зволожувачі. У приміщенні повинно бути штучне і природне освітлення. Основний потік природного світла повинен бути ліворуч, не допускається праворуч, ззаду і спереду. На вікнах повинні бути завіси в два рази більше ширини вікна.

Забороняється застосовувати для вікон чорні завіси.

Кабінет, де знаходиться комп'ютери відноситься до пожежонебезпечного приміщенню категорії «Б», тому необхідно мати вуглекислотний вогнегасник типу ОУ – 5 і вміти ним користуватися.

Звернути увагу на заземлення, тому що в комп'ютері використовуються мікросхеми, чутливі до статичної електрики. Звернути особливу увагу на цілісність ізоляції всіх кабелів та роз'ємів, щоб не виявитися несподівано під напругою щодо землі. Виключається робота з комп'ютером і його периферійними пристроями з відкритим корпусом, самостійно перемикати силові та інтерфейсні кабелі, проливати рідини і т.д. Робоче місце на комп'ютері передбачено обладнати спеціальним меблями: обертовим стільцем із змінною висотою сидіння і кута нахилу спинки. При роботі на комп'ютері працюючий повинен бути уважним, не відволікатися на побудову справи.

Під час роботи комп'ютера забороняється:

- залишати комп'ютер без нагляду;
- проводити ремонт;
- знімати корпус з комп'ютера.

Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії, запобігання розвитку втоми доцільно виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБ. Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розрізненість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення.

Категорично забороняється використання на робочому місці електронагрівальних приладів з відкритим елементом, відкритим вогнем. Користуватися електронагрівальними приладами з закритим нагрівальними

елементами дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях. Недотримання вимог до мікроклімату приміщення може не тільки різко знижувати продуктивність праці, викликати втрати робочого часу через збільшеного числа помилок у роботі, але і приводити до функціональних розладів або хронічних захворювань органів дихання, нервової системи, імунної системи.

б) Заходи захисту при спіканні титанових порошоків.

До виконання робіт на інсталяції допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, спеціальне навчання та інструктаж з техніки безпеки в обсязі, відповідному до покладених обов'язків, і склали іспит кваліфікаційної комісії на право провадження робіт у відповідності з вимогами ГОСТ 12.3.003.

При експлуатації електронно-променевих установок небезпеку становлять:

- електрична напруга;
- електронно-променеве випромінювання;
- світлове випромінювання зварювальної ванни;
- шум і вібрація при роботі механічних вакуумних насосів;
- випари металу, обложені на внутрішніх стінках камери, при попаданні в дихальні шляхи;
- випари хімічних реактивів і розчинників, застосовуваних при очищенні вакуумної камери і насосів;
- можливість вибуху парів масла при прориві атмосферного повітря в високовакуумні насоси.

На інсталяції дозволяється працювати одночасно не менше двох фахівців, які пройшли усі необхідні інструктажі та навчені правилам надання першої допомоги постраждалим.

Залишати без нагляду включені установки суворо забороняється.

Електробезпека робіт повинна забезпечуватися виконанням вимог ГОСТ 12.1.038, ГОСТ 12.2.007.3, ГОСТ 12.2.007.8 та "Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів" і "Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів".

Високовольтний блок зварювальної установки повинен мати блокування, вимикати живлення при відкриванні дверей.

Основним захистом персоналу від впливу електронно-променевого випромінювання є екранування джерела такого випромінювання та захист відстанню.

Приміщення для проведення ЕПЗ повинно бути обладнане загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією згідно з ГОСТ 12.4.021.

Для захисту очей оператора від світлового випромінювання при спостереженні за зварюванням оглядове вікно повинно бути закрито світлофільтром.

Рівень шуму і вібрації від робіт механічних вакуумних насосів і електродвигунів повинен відповідати ГОСТ 12.1.029, ГОСТ 12.1.003 і ГОСТ 12.1.012.

Для захисту дихальних шляхів від попадання в них обложених на стінках камери ЕПУ парів металів, при очищенні камери необхідно користуватися засобами захисту по ГОСТ 12.4.034:

- респіратор.

При обслуговуванні вакуумної камери ЕПУ, нагрівачі вакуумних насосів повинні бути вимкнені.

Вентиляція повинна бути розрахована на забезпечення протипожежної безпеки та захисту повітряного середовища, згідно Санітарним нормам 245-71.

Приміщення для ЕПЗ повинно бути оснащено тепловими або димовими сповіщувачами пожежної небезпеки та засобами пожежогасіння.

Розміщення і зберігання заготовок, що підлягають ЕПЗ, повинно здійснюватися на спеціальних стелажах, що забезпечують безпечну установку і зняття заготовок при проведенні роботи у відповідності з вимогами ГОСТ 12.2.003.

На ділянці ЕПЗ забороняється зберігати матеріали, які мають небезпечні та шкідливі властивості, на неогороженій ділянці. Допускається зберігання цих матеріалів на спеціально обгородженій ділянці, розташованому не ближче 5 м від діючого обладнання у відповідності з вимогами ГОСТ 12.1.004.

Забороняється працювати на ЕПУ при відсутності індивідуальних захисних засобів (розрядна штанга, килимки, гумові рукавички тощо) та робочого одягу персоналу (халати, комбінезони і т. д.).

Заходи щодо пожежної безпеки повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.004. Для роботи в приміщенні повинно бути виділено особа відповідальна за пожежну безпеку. Загальні вимоги безпеки повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.3.002.

в) Для попередження можливості ураження електричним струмом та мінімізації негативного впливу теплового випромінювання передбачено:

Організаційні заходи:

- знання основних заходів, з електробезпеки;

- до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним нормативним актом є ПУЕ 2013;
- ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал;
- для кожного електрообладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи:

- розташування струмоведучих частин на недоступній висоті ( до 1000 В ), не менше 3,5 м ( більше 1000 В – 6 м );
- всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами. Відкриття яких можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв;
- опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом;
- захисне заземлення або занурення;
- використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти;
- встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини, зокрема кільцеві вимикачі.

Заходи захисту від теплових випромінювань: автоматизація виробничих процесів, дистанційне керування і спостереження, теплова ізоляція джерел випромінювання, зокрема екранування.

Теплова ізоляція знижує температуру випромінюючої поверхні і зменшує як загальне тепловиділення, так і радіаційну його частину.

Екранування - найбільш поширений і ефективний спосіб захисту від теплового випромінювання. Екрани застосовуються для локалізації джерел променистої теплоти, зниження опромінення на робочих місцях, зниження температур навколо робочих місць . За принципом дії екрани

підрозділяються на тепловідбиваючі, теплопоглинальні, тепловідвідні. По конструкції і можливості спостереження за технологічним процесом екрани можна розділити на три групи:

- Непрозорі.
- Напівпрозорі.
- Прозорі.

г) Основні запобіжні заходи при проведенням випробувань механічних властивостей дослідницьких зразків.

Випробування матеріалів пов'язаних з внутрішньою загрозою із-за високих потужностей, швидких рухів. Робітник повинен уважно вивчити всі відповідні інструкції користувача та попередження, завжди пам'ятати про всі рухомі та працюючі компоненти машин, які є потенційно небезпечними, зокрема про силові приводи і рухомі головки.

Основні загрози при роботі з випробувальним обладнанням:

- загроза вильоту осколків – неправильне закріплення зразків створює тиск на елементи кріплення або захвати, що може призвести до їх поломки. Випробування проводяться на високих швидкостях, і існує можливість посиленого викиду зламаної частини за межі робочої зони. Щоб уникнути вильоту осколків, зразок слід встановити в центрі губок захвату і вирівняти його по напрямку навантаження. Використовуючи всі прикладені центруючі і вирівнюючі пристосування.

- загроза зіткнення – неприпустимо встановлення або зняття зразка, в межах небезпечної зони на шляху молота. Переконайтеся в тому, що всі рухи траверси або приводу здійснюються з повільною швидкістю і зниженою потужністю.

- загроза деталей що обертаються – якщо обладнання необхідно включити для обслуговування зі знятими захисними панелями, переконайтеся, що висячий одяг, довге волосся і т. д. надійно зібрані.

- неправильне налаштування обмежувача – правильне налаштування робочих обмежувачів, проведена до початку випробування, зменшить ризик пошкодження зразка, системи або загрози для оператора.

- пошкодження електричних кабелів – втрата сигналів управління і зворотного зв'язку, викликана розмиканням мережі або пошкодженням кабелю, може змусити компоненти системи рухатися на максимумі. Ніколи не розташовуйте кабелі на підлозі без відповідного захисту, не піддавайте їх перегріву під надмірним навантаженням. Використовуйте прокладки для зменшення тертя в місцях, де дроти проходять по кутах або через отвори.

### 5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці :

е) Завданням вентиляції і кондиціонування є забезпечення чистоти повітря і заданих метеорологічних умов у виробничих приміщеннях. Вентиляція досягається видаленням забрудненого або нагрітого повітря з приміщення і подачею до нього свіжого повітря.

За способом переміщення повітря вентиляція буває з природним спонуканням (природною) і з механічним (механічною). Можливо також поєднання природної і механічної вентиляції (змішана вентиляція).

Вентиляція буває припливною, витяжною або припливно-витяжною в залежності від того, для чого служить система вентиляції, - для подачі (припливу) або видалення повітря з приміщення або (і) для того й іншого одночасно.

За місцем дії вентиляція буває загальнообмінною і місцевою.

Дія загальнообмінної вентиляції засноване на розведенні забрудненого, нагрітого, вологого повітря приміщення свіжим повітрям до гранично

допустимих норм. Цю систему вентиляції найчастіше застосовують у випадках, коли шкідливі речовини, теплота, волога виділяються рівномірно по всьому приміщенню. При такій вентиляції забезпечується підтримка необхідних параметрів повітряного середовища у всьому об'ємі приміщення.

Повітрообмін у приміщенні можна значно скоротити, якщо вловлювати шкідливі речовини в місцях їх виділення. З цією метою технологічне устаткування, що є джерелом виділення шкідливих речовин, постачають спеціальними пристроями, від яких проводиться відсмоктування забрудненого повітря. Така вентиляція називається місцевою витяжкою.

На виробництві часто влаштовують комбіновані системи вентиляції (загальнообмінну з місцевою, загальнообмінну з аварійною і т.п.).

Для ефективної роботи системи вентиляції важливо, щоб ще на стадії проектування були виконані наступні технічні та санітарно-гігієнічні вимоги:

- кількість припливного повітря повинна відповідати кількості видаляемого (витяжки); різниця між ними повинна бути мінімальною;

- припливні і витяжні системи в приміщенні повинні бути правильно розміщені. Свіже повітря необхідно подавати в ті частини приміщення, де кількість шкідливих речовин мінімальна, а видаляти, де виділення максимальні;

- система вентиляції не повинна викликати переохолодження або перегріву працюючих;

- система вентиляції не повинна створювати шум на робочих місцях, що перевищує гранично допустимі рівні;

- система вентиляції повинна бути електро-, пожежо-і вибухобезпечна, проста по пристрою, надійна в експлуатації та ефективна.

ж) Заходи покращення освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

Для створення сприятливих умов праці виробниче освітлення повинне відповідати наступним вимогам:

- освітленість на робочому місці повинна відповідати гігієнічним нормам. Збільшення освітленості робочої поверхні до певної межі поліпшує видимість об'єкту, збільшує швидкість розрізнення предметів і підвищує продуктивність праці;

- яскравість на робочій поверхні і в межах оточуючого простору повинна розподілятися по можливості рівномірно, оскільки перехід погляду з яскраво освітленої на слабо освітлену поверхню і навпаки викликає стомлення очей; Рівномірному розподілу яскравості сприяє світле забарвлення стелі, стін, устаткування.

- на робочій поверхні не повинно бути різких тіней, оскільки вони створюють нерівномірний розподіл яскравості, спотворюють форму і розміри об'єктів і викликають стомлення зору, а наявність жвавих тіней, крім того, сприяє виникненню травм;

- освітлення повинне забезпечувати необхідний спектральний склад світла для правильної передачі кольорів. Правильну передачу кольорів створює природне освітлення і штучні джерела світла із спектральною характеристикою, близькою до природного освітлення.

Природне освітлення — освітлення приміщень світлом неба (прямим або відображеним), проникаючим через світлові отвори в зовнішніх захищаючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найсприятливішим.

Природне освітлення може бути:

- бічним — через світлові отвори в зовнішніх стінах (вікна);
- верхнім — через світлові отвори в покритті і ліхтарі, а також через світлові отвори в місцях перепадів висот суміжних будівель;

- комбіноване — поєднання верхнього і бічного освітлення.

Штучне освітлення буває двох систем: загальне і комбіноване. Загальне освітлення — це освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно (загальнерівномірне освітлення) або стосовно розташування устаткування (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення — це освітлення, при якому до загального освітлення додається місцеве. Місцеве освітлення — це додаткове до загального освітлення, створюване світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях (поверхнях).

Таким чином доцільно використовувати поєднання природного освітлення з системою загального рівномірного освітлення, яка складається з світильників типу РСП та люмінесцентних ламп ЛД-40-60 Вт.

#### 5.4 Заходи з пожежної безпеки :

є) Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна, ящика з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу.

Визначення категорії приміщення в конструкторському бюро

За вибухо-пожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяють на п'ять категорій: А,Б,В,Г,Д.

Встановлення категорії приміщення виконується шляхом послідовної

перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (А) до найнижчої (Д) з урахуванням характеру технологічних процесів і пожежо-небезпечних властивостей речовин, що в них застосовується, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків.

Приймаємо категорію Д, так як ця категорія більш підходить по характеристиці речовин і матеріалів, що зберігаються в приміщенні, а саме знаходяться незаймісті речовини і матеріали в холодному стані, а також кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБНВ.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);

- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;

- клас С – пожежі газів;

- клас D – пожежі металів та їх сплавів;

- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас Е (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння.

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежо-небезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих май-

данчиків та установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок.

Для виробничих приміщень правила розташування та вибору засобів пожежогасіння є такими:

Пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розміщується на спеціальних пожежних щитах (стендах). Такі щити (стенди) відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні" встановлюють на території об'єкта з розрахунку один щит (стенд) на площу 5000 м<sup>2</sup>. До комплекту засобів пожежогасіння, які розміщують на стенді, слід включити: вогнегасники – 3 шт.; ящик із піском – 1 шт.; пожежне покривало розміром 2×2 м – 1 шт.; гаки – 3 шт.; лопати – 2 шт.; ломи – 2 шт.; сокири – 2 шт. Ящик із піском, який є елементом конструкції пожежного щита (стенда), повинен мати місткість не менше 0,1 м<sup>3</sup> та виключати потрапляння в нього опадів.

Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії.

Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється згідно вогнегасної здатності вогнегасників, граничної площі, класу пожежі горючих речовин та матеріалів у захищуваному приміщенні, або на об'єкті (стандарт ISO 3941–77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) зумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшених їх розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники.

Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати: 20 м – для громадських будівель та споруд; 30 м – для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та

рідини); 40 м – для приміщень категорій В, Г; 70 м – для приміщень категорії Д.

Для гасіння великих загорянь у приміщеннях категорій А, Б, В застосовують стаціонарні установки водяного, газового, хімічного та повітрянопінного гасіння.

#### 5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях:

ж) Укриття населення в захисних спорудах – це комплекс заходів із завчасним будівництвом захисних споруд, а також пристосуванням наявних приміщень для захисту населення та підтримання їх у готовності до використання.

Укриттю в захисних спорудах надзвичайних ситуаціях підлягає все населення України. Фонд захисних споруд створюється шляхом обстеження й обліку підземних та наземних будівель і споруд, що відповідають вимогам захисту населення; дообладнання з урахуванням реальної обстановки підвалів, погребів та інших заглиблених приміщень; обстеження і взяття на облік підземних і наземних будівель та споруд гірничих виробок і природних порожнин, що відповідають вимогам захисту; у разі необхідності переобладнання цих приміщень; будівництво заглиблених споруд пристосованих для захисту, що окремо розташовані від об'єктів виробничого призначення; масового будівництва в період загрози надзвичайних ситуацій найпростіших сховищ та укриттів; будівництво окремих сховищ та протирадіаційних укриттів.

Центральний орган виконавчої влади, до компетенції якого належать питання захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій визначає перелік сховищ, протирадіаційних укриттів та інших захисних споруд, які необхідно будувати, що затверджується Кабінетом Міністрів України.

Потреби в захисних спорудах визначають, виходячи з необхідності укриття всіх працюючих за місцем роботи і проживання, усього непрацюючого населення за місцем проживання.

Укриття населення в захисних спорудах є надійним способом захисту від уражаючих факторів ядерної, хімічної, бактеріологічної, звичайної зброї, у разі аварії і деяких стихійних лих (ураганів, снігових заносів).

Захисні споруди за своїм призначенням і захисними властивостями поділяють на сховища протирадіаційні укриття (ПРУ) і найпростіші укриття – щілини.

Сховища і протирадіаційні укриття будують завчасно, вони мають подвійне призначення: для потреб об'єктів народного господарства (навчальні класи, для спортивних секцій та ін.) і укриття населення.

Сховища це інженерні споруди, які забезпечують надійний захист людей від усіх уражаючих факторів ядерного вибуху, отруйних і СДЯР, бактеріальних засобів і уражаючих факторів звичайної зброї, обвалів і уламків зруйнованих будівель і споруд.

Класифікуються вони за захисними властивостями, місткістю, місцем розміщення, забезпеченням фільтровентиляційним обладнанням і часом побудови.

За захисними властивостями (від дії вибухової хвилі) сховища поділяються на п'ять класів.

За місткістю сховища поділяються на: малі – до 150 осіб; середні – від 160 до 450, великі – понад 450 осіб.

За місцем розташування – на вбудовані, які розміщені у підвальних приміщеннях будівель, та окремо побудовані поза будівлями.

За забезпеченням фільтровентиляційним обладнанням – промислового виготовлення і спрощене, виготовлене з підручних матеріалів.

За часом побудови на : побудовані завчасно і швидко споруджені.

Сховища будуються з урахування таких вимогб забезпечувати захист людей від усіх уражаючих факторів, безперервне перебування в них людей не менше двох діб, розташування на місцевості, що не затоплюється на відстані від ліній водостоку і каналізації, мати входи і виходи з тим ступенем захисту, що й основні приміщення, а на випадок їх запалу – аварійні виходи, мати вільні підходи, де не повинно бути горючих або дуже димлячих матеріалів, висота основних приміщень, не менше 2.2 м і рівень полу, вище ґрунтових вод не менш як на 20 см.

Сховища складаються з основного приміщення для розміщення людей і допоміжних приміщень – входів, для фільтровентиляційного обладнання, санітарного вузла, для дизельної установки, резервуарів для води чи артезіанських свердловин, для продуктів харчування, медичної кімнати, тамбур-шлюзи.

Площу приміщення, призначеного для укриття людей, розраховують на одну особу 0,5 м<sup>2</sup> при двоярусному і 0,4 м<sup>2</sup> при триярусному розміщенні нар, у робочих приміщеннях пунктів управління – 2 м<sup>2</sup> на одного працюючого, місця для сидінь, розміром 0,45 x 0,45 м, а для лежання – 0,55 x 1,8 м.

Щоб у сховище не проникало повітря, забруднене радіоактивними речовинами, отруєне небезпечними хімічними речовинами і заражене бактеріальними засобами, воно має буди герметичним.

Входи до сховищ обладнують двома шлюзовими камерами, відокремленими від основного приміщення і перегородженими між собою герметичними дверима. Зовні знаходяться міцні захисні герметичні двері, які можуть витримати ударні хвилі ядерного вибуху.

Аварійний вихід – це підземна галерея з виходом на територію, яка не завалюється, через вертикальну шахту й оголовок. Аварійний вихід закривається, захисно-герметичними віконцями, дверима для захисту від

ударної хвилі. Оголовок розміщується від будівель на відстані, яка дорівнює половині висоти найбільшої будівлі плюс 3 м – це і є територія, яка не завалюється.

Якщо сховище загерметизоване повністю і надійно, то після закривання дверей і приведення фільтровентиляційного агрегату в дію тиск повітря всередині сховища стає трохи вищим ніж атмосферний, утворюється так званий підпір. За величиною підпору роблять висновки про стан герметизації сховища: він має дорівнювати приблизно 5 Па (0,5 мм вод. ст.).

У сховищі обладнують різні інженерні системи: електропостачання – труби з електропроводкою фарбують у чорний колір, водопостачання – труби фарбують у зелений колір, опалення – труби фарбують у коричневий колір, радіотрансляційна точка, телефон і радіозв'язок. Там також мають бути дозиметричні й хімічні прилади розвідки, засоби індивідуального захисту. Засоби гасіння пожеж. Аварійний запас інструментів, засоби аварійного освітлення, запас медичних засобів, продуктів і води.

Після деякого дообладнання – встановлення захисних герметичних пристроїв, систем фільтровентиляції, водопостачання та ін., як сховища можуть бути використанні шахтні виробки, катакомби, метрополітен, транспортні й пішохідні тунелі, заглиблені частини будівель, підземні (у скельних породах) приміщення різного господарського призначення.

## ВИСНОВОКИ

Підсумовуючи наведені в роботі результати, можна очікувати, що є певна перспектива заміни кошовного сферичного порошку значно дешевшими порошками іншого виду (порошками з частинками близьких до поліедричних форм). Слід також очікувати, що в майбутньому вдасться розробити адитивну технологію 3-D друку, з використанням саме такого роду порошків, яка дозволить значно здешевити процес отримання виробів цим методом, як за вартістю вихідних матеріалів, так і за часом тривалості самого технологічного процесу. У кінцевому результаті, при використанні таких порошкових матеріалів з'явиться цілком реально виготовляти в майбутньому різні деталі авіаційних двигунів (наприклад, лопатки компресорів газотурбінних двигунів).

В цілому з результатів роботи можна зробити такі висновки:

- технологія отримання легованого титану губчастого дозволяє позбавити витратні і технологічно складні операції змішування титанової шихти з лігатурами, вакуумні переплави, виплавки злитків, атомізації сплавів;
- розроблено технології легування титану губчастого у процесі магнітотермічного відновлення, яку дозволяє отримувати титан губчастий з заданим вмістом і з рівномірним розподілом легувальних елементів;
- розроблено 3D модель і виготовлений (методами адитивних технологій) прототип дифузору компресора високого тиску ГТД. Основною перевагою отриманого виробу є істотне до 30% зниження маси, чого вдалося досягти завдяки використанню нової геометрії деталі, що забезпечує більш жорстку конструкцію;
- розроблено технологічну схему отримання порошків легованого титану, яка забезпечує необхідний хімічний і фракційний склад сумішей, відповідних закордонним аналогам для АМ-технологій, а також дає можливість створення технологійсерійного виробництва HDH порошку системи Ti-Mo-Al-V-Zr на базі існуючого промислового обладнання;

- проведені дослідження впливу морфології порошкових матеріалів на структуру, при отриманні зразків методами електронно-променевого зварювання показали, що незалежно від форми частинок порошку отримана структура відповідає структурі якісних литих зразків аналогічного хімічного складу. Це дозволяє застосувати адитивні технології як при масовому, так і при дрібносерійному виробництві. Слід також зазначити, що особливості різних методів 3-D друку дозволяють використовувати їх для відновлення і ремонту пошкоджених виробів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия изметалла / В. М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко // Библиотечка литейщика. – 2014. – № 9. – С. 14–71.
2. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. – Санкт-Петербург : Издательство политехнического университета, 2013. – 221 с.
3. Bin xiao Partial melting and resolidification of metal powder in selective laser sintering / Bin Xiao and Yuwen Zhang // Journal of thermophysics and heat transfer. – 2006. – Vol. 20, №. 3. – P. 439–448.
4. Powder Metal Technologies and Applications Volume 7 of ASM Handbook. – ASM International, 1998. – 2762 p.
5. МакЛин Д. Границы зерен в металлах / Д. МакЛин. – М. :Металлургиздат, 1960. – 325 с
6. Водородная технология титановых сплавов / А. А. Ильин, Б. А. Колачев, В. К. Носов, А. М. Мамонов; подбщ. ред. А. А. Ильина. – М. : МИСИС.– 2002. – 392 с.
7. Порошковая металлургия титановых сплавов / Под ред.Ф. Х. Фроус и Дж. Е. Смугерски : пер. с англ. под ред.С. Г. Глазунова. – М. : Металлургия, 1985.-263 с.
8. Сфероидизация порошков в дуговой плазме / Порошковая металлургия / [С. А. Макарова, Р. Т. Голышевская, Н. А. Кошелев, О. Н. Кузовлева] // Сталь. – 1985 . –№ 8 . – 79–82.
9. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні // Джуган О.А., Овчинников О.В., Ольшанецький В.Ю. Адитивні технології і можливості їх застосування в сучасних умовах (огляд). – 2014 – №2.

10. <http://www.sferamet.ru/assets/files/statya-dlya-konferentcii.pdf>.
11. Авиационно-космическая техника и технология // И. А. Петрик, О. В. Овчинников, О. Г. Селиверстов Розробка порошків титанових сплавів для адитивних технологій стосовно до деталей гтд. № 8– 2015 – № 8 С.11-16.
12. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 221 с.
13. Волхносский А.Е., Дудков К.В. Методы изготовления прототипов и деталей агрегатов различных изделий промышленности с помощью аддитивных технологий // Образовательные технологии. – 2014. – № 1. – С. 127–143.
14. Поверхневі явища при нагріванні порошку гідриду титану / О.М. Івасишин, О.Б. Бондарчук, М.М. Гуменяк, Д.Г. Саввакін // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – Т. 12, № 4.– С. 900–907.
15. Овчинников А.В., Ольшанецкий В.Е., Джуган А.А. Возможность использования несферических титановых порошков для аддитивных технологий // Актуальные проблемы в машиностроении – 2016 – №3 С. 82-86.
16. Cokmak G. The processing of Mg-Ti for hydrogen storage; mechanical milling and plasma synthesis / G. Cokmak, Z. Karoly, I. Mohai, T.Ozturk, J. Szepvolgui // International journal of hydrogen energy. – 2010. – № 35. – P. 118–125.
17. Івасишин О. М. Поверхневі явища при нагріванні порошку гідриду титану / О. М. Івасишин, О. Б. Бондарчук, М. М. Гуменяк, Д. Г. Саввакін // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. –Т. 12, №4. – С. 900–907.
18. Ивасишин О. М. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, К. А. Бондарева [и др.] //Наука та інновації. – 2005. – № 2. – С. 44–57.

19. Бережко П. Г. Гидрирование титана и циркония и термическое разложение их гидридов /П. Г. Бережко, А. И. Тарасов, А. А. Кузнецов [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – № 11. – С. 47–56.
20. Єршова О. Г. Дослідження процесів гідрування-дегідрування титанового дроту / О. Г. Єршова // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – № 3. – С. 785–790.
21. Порошковая металлургия титановых сплавов / под ред. Ф. Х. Фроус и Дж. Е. Смугерски ; пер. с англ. под ред. С. Г. Глазунова. – М. : Металлургия, 1985. – 263 с.
22. Водородная технология титановых сплавов /[А. А. Ильин, Б. А. Колачев, В. К. Носов, А. М. Мамонов] ; под общей ред. А. А. Ильина. – М. : МИСИС. – 2002. – 392 с.
23. А. В. Овчинников, В. Е. Ольшанецкий, А. А. Джуган Применение несферических гидрированных и дегидрированных порошков титана для получения изделий в аддитивных технологиях // Вестник двигателестроения – №1 – 2015 С.114-117.
24. П. Д. Жеманюк, Ю. Ф. Басов, О. В. Овчинников, О. А. Джуган, А. В. Михайлютенко. Застосування титанових порошків нового покоління (hdh2) в адитивних технологіях // Авиационно-космическая техника и технология – №8 – 2016 С. 139-145.
- 25.<https://ageyenko.ua/business/2017/01/12/tehnologija-3d-pechaty-bystrajapribyl-ili-bezosnovatelnyj-risk/>.
- 26.<http://www.pcweek.ua/themes/detail.php?ID=152854>.
- 27.<http://www.orgprint.com/novosti/Perspektivy-razvitiya-3D-pechaty-do-2020-goda>.

28.<https://seomarket.ua/3d-pechat-v-ukraine-kakie-perspektivy-sovremennye-tekhnologii-otkryvayut-dlya-ukrainskogo-rynka.html>.