

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій БОГОМОЛ
«__» _____ 2022 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Створення основ технології виготовлення деталей складної форми із
порошків титанових сплавів»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ФН-81

Хатіпоглу Бахадир Сінан

Керівник:

Професор, д.т.н., професор

Лобода П.І

Консультант з економічно-організаційного розділу:

доцент, к. т. н., доцент

Нараєвський Юрій Вікторович

Консультант з охорони праці:

зав. каф., доктор тех. наук, професор,

Левченко Олег Григорович

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Л. О.

Рецензент:

Заступ. директора ІМЗ, к. т. н, доцент

Гурія І, М

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона**

**Кафедра високотемпературних матеріалів та
порошкової металургії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій БОГОМОЛ**

«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Хатіпоглу Бахадир Сінан

1. Тема роботи «Створення основ технології виготовлення деталей складної форми із порошків титанових сплавів», керівник роботи Лобода П.І, Професор, д.т.н., професор затверджені наказом по університету від 09.06.2022 р. № 992

2. Термін подання студентом роботи 20.06.2022

3. Вихідні дані до роботи : аналізу адитивних методів виробництва деталей з порошку титану, аналіз технічного процесу виробництва на установках електронного променевого плавлення та селективного лазерного плавлення

Економічні засади повинні забезпечувати оцінку науково-технічного ефекту не нижчий за 1. Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації повинні відповідати нормативним вимогам.

4. Зміст роботи

- а) Провести аналіз отримання деталей складної форми з порошку титану з великою поверхнею
- б) Провести аналіз виробництва адитивних методів виробництва та провести вибір методи
- в) Провести аналіз літератури технічних параметрів електронно–променевого плавлення та вплив параметрів на характеристики виробу
- г)Провести аналіз структури та механічний характеристик деталі виробленої за створеним технологічним процесом
- д) визначити шкідливі та небезпечні виробничі фактори;
- е) розробити заходи для попередження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

5. Перелік ілюстративного матеріалу : технологічна схема принципу роботи електронно-променевого плавлення та селективного лазерного плавлення, зображення виробів та дефектів, презентація доповіді .pptx на захисті дипломної роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно—економічний	старший викладач к.е.н. Нараєвський С.В.	05.05.2022	
Охорона праці	доцент, к.т.н. Левченко О.Г	05.05.2022	

7. Дата видачі завдання 05.05.2022 р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Підготовка експериментального матеріалу	10.05	
2	Підготовка ілюстративного матеріалу	15.05	
3	Написання тексту роботи	10.06	
4	Підготовка презентації	20.06	
5	Оформлення роботи.	20.06	
6	Захист дипломної роботи.	24.06	

Студент

Бахадир Сінан ХАТІПОГЛУ

Керівник

Петро ЛОБОДА

Відгук
на дипломну роботу
студента IV курсу, групи ФН-81 Хатіпоглу Бахадир Сінана
на тему: «Створення основ технології виготовлення деталей складної
форми із порошків титанових сплавів», виконану на здобуття ступеня
бакалавра за освітньо-професійною програмою «Нанотехнології та
комп'ютерний дизайн матеріалів» спеціальності 132
«Матеріалознавство»

Дипломна робота виконана за актуальною темою, що стосується створення основ порошкової технології виготовлення деталі типу крила із змінними по товщині геометричними розмірами. Для виконання роботи студент отримав креслення деталі, технологію виготовлення якого необхідно було створити. На основі огляду науково-технічної літератури в роботі розглянуто суть технології 3Д друку з застосуванням порошку титанового сплаву ВТ6, механічні характеристики якого задовольняють вимогам конструкторської документації, вказаної в кресленні реального замовника. Студентом досить професійно проведено аналіз, співставлення переваг та недоліків технологій лазерного і електронно-променевого 3Д друку порошків титанових сплавів. Переконливо показано особливості формування анізотропної мікроструктури під час пошарового селективного плавлення порошків титанових сплавів. Визначені основні параметри процесів нагрівання та плавлення висококонцентрованим джерелом енергії прошарку порошку титанового сплаву, які дозволяють відтворювати без пористий стан та властивості матеріалу деталі, що виготовляється. З'ясовані вимоги до фізичних, хімічних і технологічних властивостей порошків та причини виникнення залишкової пористості в матеріалі виробу. Визначені методи контролю структури та властивостей матеріалу виробу, сформованого під час селективного плавлення порошків титанового сплаву електронним променем. Студент продемонстрував володіння прикладними

програмами виготовлення конструкторської документації та керування процесом формування виробу, виготовивши цифрову модель виробу. В цілому студентом успішно виконано завдання щодо створення основ технології електронно-променевого 3Д друку виробів типу крило. Під час виконання студент проявив вміння самостійно працювати з науково-технічною літературою, досить ґрунтовні знання з фундаментальних та фахових дисциплін та вміння застосовувати їх для вирішення конкретних завдань по створенню основ технології виготовлення виробів із порошків. Вважаю, що **Хатіпогл Бахадир Сінан** заслуговує присудження йому **ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів» спеціальності 132 «Матеріалознавство».**

Керівник роботи,

д.т.н., професор Лобода П.І.

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломну роботу
на здобуття ступеня бакалавра,
виконана на тему:
«Створення основ технології виготовлення деталей складної форми із
порошків титанових сплавів»
студентом
Хатіпоглу Бахадир Сінаном

У дипломній роботі, що рецензується, студентом Хатіпоглу Б. С. представлено технологічний процес виготовлення деталі типу «Крило» із порошку титанового сплаву марки ВТ6С та визначено механічні властивості виробу.

До роботи входить шість розділів: літературний огляд, де висвітлено адитивні технології, що застосовують для виготовлення деталей складної конфігурації, їх переваги та недоліки; розділ, присвячений основам технологічного процесу, а саме підготовці порошків, впливу характеристик порошку та параметрів процесів формування, нагрівання та селективного плавлення на властивості отриманого виробу; матеріали та методи досліджень; результати дослідження та їх обговорення, де відображено мікроструктуру, значення шорсткості та механічних властивостей виробу, виготовленого за представленою у роботі технологією; охорона праці; організаційно-економічна частина.

Зауваженням до роботи є мала увага, приділена обговоренню отриманих результатів дослідження та висновкам.

Вважаю, що дипломна робота «Створення основ технології виготовлення деталей складної форми із порошків титанових сплавів» заслуговує 60 балів, а її автор, Хатіпоглу Бахадир Сінан, присвоєння кваліфікації бакалавра матеріалознавства за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Рецензент

доцент, к.т.н., доцент кафедри ЛВ

Ірина ГУРІЯ

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: 64 стор., 18 рис., 14 табл., 20 джерел.

ЕЛЕКТРОНО ПРОМЕНЕВО ПЛАВЛЕННЯ ТИТАН, КРИЛО, ОСНОВИ
ТЕХНІЧНОГО ПРОЦЕСУ

В дипломній роботі викладено огляд літератури адитивних методів для виготовлення деталі типу крило з порошку сплаву титану з акцентом на електронно–променево плавлення

Об’єкт дослідження: Виріб типу крило з сплаву титану

Предмет дослідження: Механічні характеристики виробу з використанням установки електронно–променевого плавлення

У результаті роботи було створено технічні параметри для виробництва деталі на установки електронно-променевого плавлення та були порівняні механічні характеристики виробу с виробами отриманими традиційними методами

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 64 pages, 18 figures, 14 tables, 20 references.

ELECTRON BEAM MELTING, TITANIUM ALLOY, TECHNOLOGICAL
PROCESS OF PRODUCTION

The object of study was the production of a part of a given shape

The subject of research was the mechanical properties of AM part in comparison with traditional manufacturing

The purpose of this thesis is the creation of a set of process parameters for the production of a given shape with a large surface area

The research method was the analysis of available literature on the effects of process parameters on the produced part with the purpose of creating a set of optimal parameters

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	14
1.1 Переваги застосування сплавів титану для аерокосмічної техніки	14
1.1.1 Хімічний склад, структура та властивості сплаву VT6C.....	14
1.2 Перспективні технології виготовлення виробів з великою площею поверхні	16
1.2.1 Адитивні технології з концентрованими джерелами енергії	17
1.2.2 Фізико-хімічний процеси у порошку під час виробництва	23
1.2.2.1 Лазерна технологія.....	24
1.2.2.2 Електронно-променева технологія. переваги і недоліки	25
1.2.3 Дефекти структури та властивостей матеріалу виробу сформованих в умовах селективного плавлення прошарку порошку	27
1.3 Висновки та постановка задачі дослідження щодо створення технології виготовлення деталі типу крило.	28
1.4 Основи технологічного процесу виготовлення крила із порошків сплаву VT6C	28
1.4.1 Підготовка порошків.....	28
1.4.2 Вплив розміру та гранулометричного складу вихідного порошку на точність геометричних розмірів виробу.	29
1.4.3 Вплив фізичних та технологічних властивостей порошку на рівномірність щільності виробу	30

1.4.4 Вплив параметрів процесів формування, нагрівання та селективного плавлення на структуру та властивості матеріалу виробу.....	7
---	----------

1.4.4.1 Вплив температури розігріву	30
---	----

1.4.4.2 Вплив швидкості сканування	32
--	----

1.4.4.3 Вплив отступу лінії.....	33
----------------------------------	----

1.4.5 Вибір напрямку пошарового друкування крила.....	34
--	-----------

1.4.6 Методи контролю структури та властивостей матеріалу готового виробу.....	35
---	-----------

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
---	-----------

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТІ ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	39
---	-----------

4 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ	41
-------------------------------------	-----------

4.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації.....	41
--	----

4.2 Аналіз параметрів мікроклімату у приміщенні	42
---	----

4.3 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці при виконанні роботи	43
--	----

4.4 Освітленість приміщення.....	47
----------------------------------	----

4.5 Електрична безпека	47
------------------------------	----

4.6 Пожежна безпека	48
---------------------------	----

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО–ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	47
--	-----------

5.1 Науково–технічна актуальність НДР	49
---	----

5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР	50
---	----

5.2.1 Витрати на оплату праці	50
-------------------------------------	----

5.2.2 Єдиний соціальний внесок	51
--------------------------------------	----

5.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень.....	52
5.2.4 Інші прямі неврахована витрати.....	52
5.2.5 Накладні витрати	53
5.2.6 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми ..	53
5.3 Науково-технічна ефективність НДР.....	54
ВИСНОВКИ.....	59
CONCLUSIONS.....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	61

ВСТУП

Процеси адитивного виробництва дозволяють виготовляти компоненти складної геометрії з високою точністю, яку важко або неможливо реалізувати за допомогою звичайних методів. Адитивне виробництво титанових сплавів набуває все більшої уваги, оскільки титанові сплави дорого та важко формувати і обробляти звичайними методами.

Метою даної роботи є вироблення технологічного процесу виробництва деталі складної форми з сплаву титану VT6C

Для створення даного процесу:

Розглянуто характеристики матеріалу;

 Вивчено методи адитивного виробництва та порівняно з традиційними методами

- Описано вплив параметрів процесу на виріб та створено оптимальний параметри

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1. Переваги застосування сплавів титану для аерокосмічної техніки

У галузі аерокосмічної промисловості титан та титанові сплави використовуються у багатьох компонентах [1]

Матеріали, що використовуються в аерокосмічній промисловості, повинні мати ряд властивостей залежно від застосування, до них належать низька щільність, стійкість до високих температур і крихкості при низькій температурі, висока корозійна стійкість і низьке теплове розширення [1].

У порівнянні з більшістю сталей і алюмінієвих сплавів, титанові сплави мають вищу питому міцність і стійкість до корозії. Титанові сплави знайшли все більше застосування так як вони мають вищу температурну стабільність ніж алюмінієві сплави і вдвічі меншу масу чим більшість сталей та хорошу втомну міцність, стійкість до поширення тріщини і міцності на руйнування [1].

Наприклад, сплави титану використовуються для виготовлення рам, частин двигунів, гідравлічних труб, та деталей шасі. Найпоширенішим титановим сплавом в аерокосмічній промисловості є Ti-6Al-4V (BT6C). Цей $\alpha+\beta$ сплав має гарне поєднання механічних властивостей, широкий діапазон температур для обробки та добре зварюваний [2] 

1.1 Хімічний склад, структура та властивості сплаву BT6C

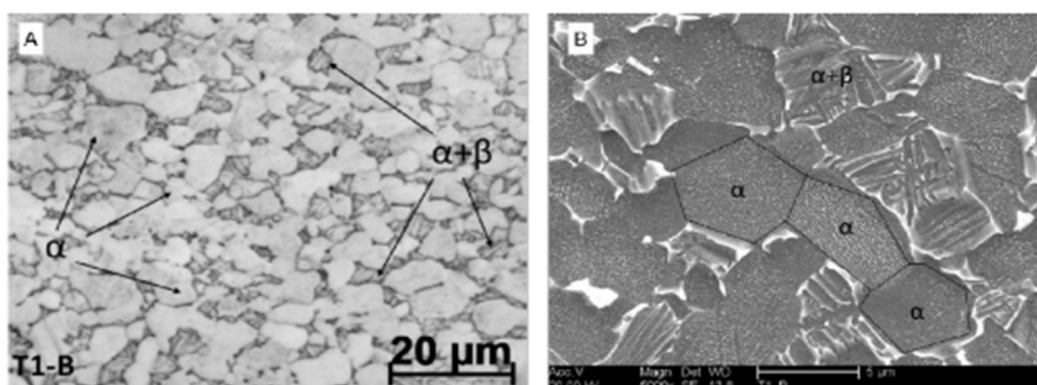
Сплав титана BT6C(TiAl6V4) це дуплексний сплав в якому α фаза має ГЦП комірку яка стабілізується за присутністю алюмінію та $\alpha+\beta$ фазою з кубічною структурою комірка яка стабілізується за присутністю ванадію. Властивості титанового сплаву залежать від мікроструктури, розміру та розташування α і β фаз. [3]

Мікроструктура залежить від процесу швидкості охолодження. крайні форми— це пластинчаста і глобулярна мікроструктура.

Просте охолодження від β -фази приводить до пластинчастої мікроструктури в якій ламелі збільшуються зі зниженням температури.

Швидке гартування призводить до перетворення β -фази з дрібною структурою. Обидві форми мікроструктур можуть існувати в розподілі у матеріалу. повністю пластинчаста структура, як правило, є кращою для високої міцності на руйнування та стійкості до поширення тріщини втоми

Приклад мікроструктури зображено у рисунку 1.1



А – оптичний мікрограф; В – знімок РЕМ

Рисунок 1.1 – Мікроструктура сплаву VT6C [1]

Хімічний склад даного матеріалу наведено у таблиці 1 та характеристики сплаву наведені у таблиці 2.

Таблиця 1 – Вміст сплаву VT6C [4]

	Ti	Al	V	Fe	O	C	N	H	Y
Min	87,6	0,3	0,5						
Max	91,2	6,5	4,5	0,3	0,2	0,08	0,05	0,015	0,005

Таблиця 2 – Характеристики сплаву [1]

Термічні властивості		Механічні властивості	
Температура плавлення	1660 °C	Міцність на розтяг	1170 МПа
Температура солідуса	1604 °C	Міцність на розрив, текучість	1100 МПа
Температура ліквідуса	1660 °C	Подовження при розриві:	10 %
Beta транзус	980 °C	Модуль пружності:	114 ГПа

1.2 Перспективні технології виготовлення виробів з великою площею поверхні

у даній момент адитивні методи виробництва з титанових сплавів мають поширений інтерес так як використання традиційних методів для виробництва складних деталей з титанових сплавів складніше та економічно не вигідними [1] По стандарт ISO адитивні методи поділяються на 7 розділів з яких 4 можливо використовувати з металічними матеріалами [5]

Sheet lamination або метод листовій ламінації базується на пошаровому накладенні листів матеріалу та вирізанням необхідною форму на кожному шару включає ультразвукове адитивне виробництво (UAM), селективне осадження ламінування (SDL), та виробництво ламінованих об'єктів (LOM). тонкий лист матеріалу подається з валу або укладається на будівельну платформу. Залежно від типу ламінування листів наступний шар може бути приклеєний до попереднього. SDL і UAM з'єднують шари разом, а потім вирізають тривимірну форму в кінці, тоді як CAM-LEM нарізає шари у форму, а потім з'єднує шари разом. Цей процес продовжується до тих пір, поки він не завершить всі шари для досягнення повної висоти. а всі небажані зовнішні краї видаляються, щоб виявити надрукований

3D-об'єкт.

При листовому ламінуванні товщина шару така ж, як і товщина листів матеріалу, і визначає кінцеву якість. Товщина шару також залежить від машини та використовуваного процесу. Даній метод не відповідає вимогам виробництва необхідній деталі так як у результаті процесу виникає багато втрати матеріалу та міцність з'єднання між шарами непригідна для використання деталі [6].

Binder jetting технологія заснована на змішуванні порошку з адезівним матеріалом для пошарового формування деталі. Получено таким методом виробу крихкі за рахунок використання сполучного матеріалу та потребують декілька кінцевих операцій [7].

Переваги методу

- Деталі можуть бути виконані в різних кольорах
- Використовує цілий ряд матеріалів: метал, полімери та кераміку
- як правило, швидше, ніж інші методи

Недоліки

- Не завжди підходить для конструктивних деталей, через використання сполучного матеріалу
- Додаткова подальша обробка може додати значний час до загального процесу

1.2.1 Адитивні технології з концентрованими джерелами енергії

Direct energy deposition(DED) використовує принципи зварювання для створення тривимірних об'єктів шляхом плавлення матеріалу з осадженням за допомогою сфокусованої теплової енергії, такої як лазер, електронний промінь або плазмова дуга. джерела енергії та соплом подачі матеріалу керують за допомогою портальної системи [7].

Хоча технологію DED можна використовувати для виготовлення металевих, керамічних та полімерних деталей, переважно використовується для виготовлення металевих деталей. DED можна класифікувати на наступні групи за джерелом енергії для розплавлення матеріалу.

Лазерні системи DED, такі як система DED Laser Engineering Net Shape (LENS) Optomes, використовує лазер як основне джерело енергії.

Системи DED на основі електронних променів, такі як Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM), використовують електронний промінь для розплавлення порошкоподібної сировини.

Системи DED на основі плазмової або електричної дуги, такі як адитивне виробництво дроту (WAAM) Процес DED використовує електричну дугу для розплавлення дроту.

Через природу технології DED створення опорних структур не можливо під час процесу побудови, отже виробництво деталей з формами як звиси, не можливі [7].

Переваги методу

- Підходить для застосування, яке вимагає додавання металу до наявних деталей, тому підходить для ремонту
- машини DED мають можливість мати кілька різних контейнерів для порошків або дроту, що дозволяє створювати сплави у процесу.
- за допомогою DED можна створити порівняно більші деталі можливою висотою у декілька метрів
- Оскільки матеріал подається під час процесу на вимогу з окремих контейнерів для порошку, його легко заповнити або змінити

Powder Bed Fusion і є одним із семи методів адитивного виробництва, в якому використовується лазер, тепло або електронний промінь, для плавлення та будови тривимірного об'єкту. Даний метод можливо розділити на дві групи за джерелом енергії

Електронне–променево плавлення

Селективне лазерно плавлення

Переваги методу

- Порівняно невисока вартість.
- відсутність необхідності у використанні опорних конструкцій, оскільки порошок діє як інтегрована опорна структура
- У деяких випадках порошок може бути перероблений

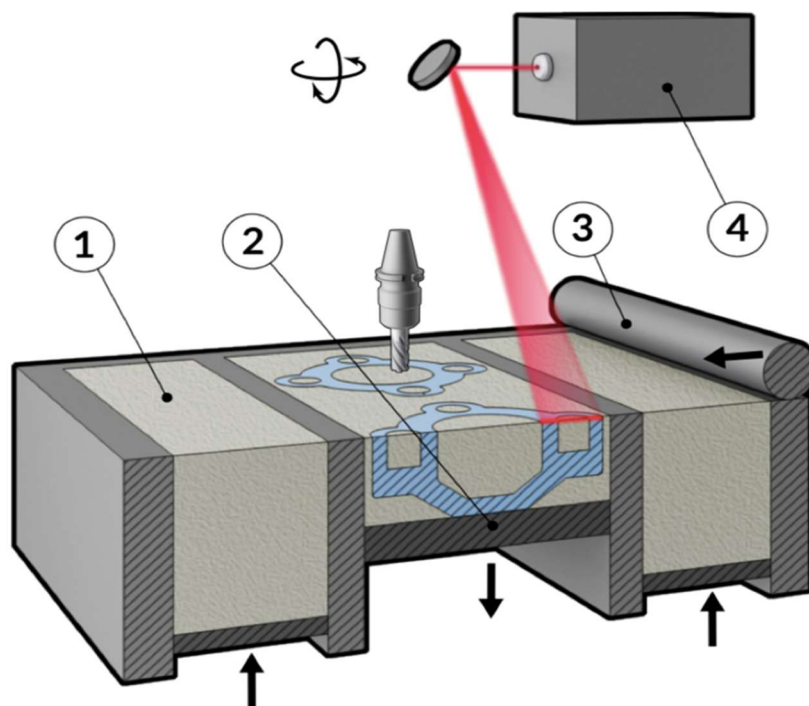
Недоліки методу:

- Один з найповільніших у адитивному виробництві.
- Оскільки деталі виготовляються з сплавлення металевого порошку, якість поверхні залежить від розміру зерна порошку
- Використовує багато енергії для створення деталей

Для використання у даній роботі були вибрані методи Powder Bed Fusion за можливістю повторного використання порошку та відносно низкою ціною виробництва. Для вибору використовуваного джерела розглянемо методи більш детально.

Селективне лазерне плавлення це адитивна технологія виробництва, яка включає сплавлення шарів металевого порошку за допомогою керованого комп'ютером, потужного лазерного променя.

технологія заснована на печаті 3D моделі за допомогою лазера, який сплавлює частини порошку шарами для отримання необхідної форми. Процес селективного лазерного плавлення зображений на рисунку 1.2



1 – резервуар з порошком; 2 – виробнича платформа; 3 – ролер;
4 – блок лазера

Рисунок 1.2 – Схема процесу селективного лазерного плавлення [7]

Резервуар 1 який містить порошок вихідного матеріалу розміром 0,06–0,04 мм. Виробнича платформа 2, яка рухається вниз при закінченні формування шару і для початку формування наступного. Ролер 3 розподіляє порошок після формування одного шару. Блок лазера 4 з регуляторними лінзами та двома дзеркалами, які контролюють інтенсивність та напрямок падіння лазера на будівельну платформу. Цей лазер будує шаровий розріз деталі сплавляючи частинка порошку.

Для забезпечення відсутності оксидації робоча камера заповнюється інертним газом. Порошок який не був використаний можливо використовувати повторно після просіювання.

Переваги методу

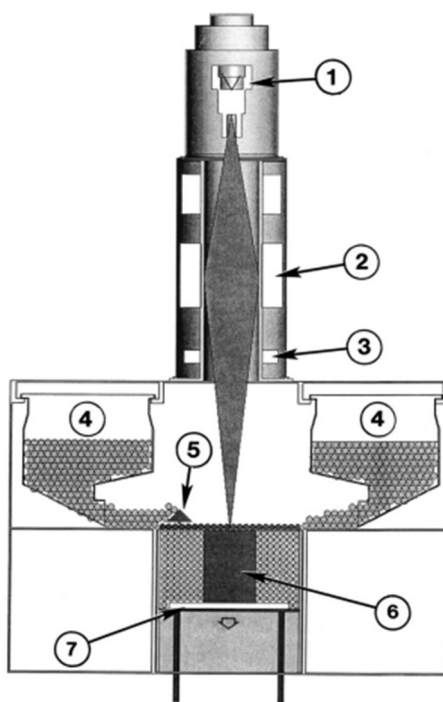
- Механічні властивості деталей прирівнюються до традиційно сформованих деталей
- Можливо використання багатої кількості сплавів

Недоліки методу:

- вимагає дорогої обробки
- За рахунок швидкого охолодження у деталі виникають значні внутрішні напруги які зменшують зносостійкість виробу
- Можливо зміна у форми виробу за рахунок швидкого охолодження та розширення матеріалу
- Оптичні характеристики впливають на виріб

Електронне–променево плавлення

Система створює шари знизу вгору шляхом вибіркового сканування сфокусованим електронним променем для розплавлення певних ділянок порошкового шару за допомогою 3D CAD моделі. порошок постійно додається з резервуару (4) доверху, як показано на рис. 1. Розподільна платформа показана як (5) переміщується після завершення кожного шару між двома сторонами резервуару та будівельної платформи для рівномірного розподілу порошкових шарів. будівельна платформа(7) рухається вниз після формування першого шару для формування наступного. Система ЕВМ є електронно–оптичною системою де електронна гармата (1) генерує сфокусований електронний промінь (2), якій можна систематично сканувати (за допомогою котушок відхилення (3)) по всій частині будівельної платформи вся побудова відбувається у вакуумі.



- 1 – електронна гармата; 2 – сфокусований електронний промінь;
 3 – котушка відхилення; 4 – резервуар; 5 – розподільна платформа; 6 – виріб;
 7 – будівельна платформа

Рисунок 1.3 – Схема ЕВМ [9]

важливо, щоб порошок мав сферичну морфологію, високу сипучість, високу щільність упаковки, відсутність внутрішньої пористості (та щільний розподіл частинок за розміром. До розробки параметрів використовуючи систему ЕВМ, порошок також має бути перевірено на безпечність використання методом ЕВМ. Важливо виконувати випробування мінімальній енергії запалювання для вимірювання легкості запалювання порошкового пилю електричним і електростатичним розрядом. Для систем ЕВМ рекомендується використовувати порошки з розміром частинок 45–105 мкм розподілу, які мають мінімальну енергію запалювання $\geq 0,5$ Дж.



Після вибору порошку для процесу ЕВМ виходячи з його фізичних характеристик, наступним кроком є перевірити поведінку порошку в системі та визначити а вікно параметрів, на основі якого потім можна оптимізувати параметри

процесу. спочатку в виконується «тест на дим». При розподілі щільності заряду якій перевищує критичну межу порошку, частинки порошку відштовхуються один від одного і відбувається електричний розряд, що викликає вибух порошку всередині камери. Важливо визначити набори параметрів у зоні «без диму». Для стабільного процесу побудови.

Переваги методу

- Зниження залишкової напруги за рахунок підвищення температури процесу
- Зниження окислення за рахунок вакуумного середовища

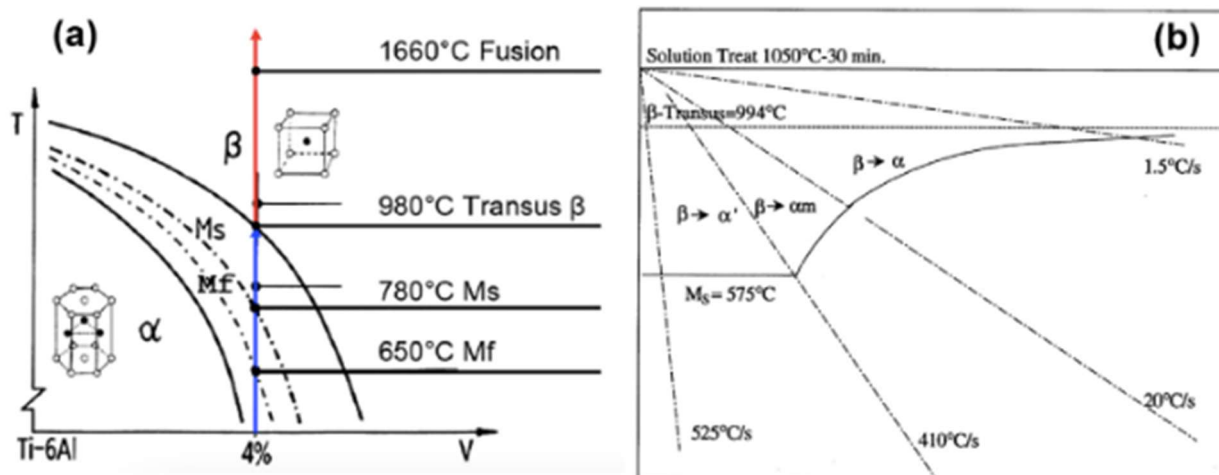
Недоліки методу:

- доступні матеріали обмежені
- Висока шорсткість поверхні

1.2.2 фізико-хімічний процеси у порошок під час виробництва

Ti6Al4V підтримує $\alpha + \beta$ двофазний при кімнатної температурі. Однак фазове перетворення в Ti6Al4V сильно залежать від швидкостей охолодження під час процесу виробництва.

Подвійна фаза $\alpha + \beta$ існує лише в процесах повільного охолодження. При швидкому охолодженні з температури вище температури β транзус, β фаза буде розкладена нерівноважної мартенситної реакцією замість $\alpha + \beta$ перетворення. Утворення альфа первинної (α') мартенситної фази утворюється за рахунок швидкого охолодження шляхом бездифузійного перетворення, тоді як $\alpha + \beta$ перетворення є дифузійним процесом [2], Діаграма цих перетворень наведена у рисунку 1.4



а – фазова діаграма сплаву; б – Фазові перетворення як функція швидкості охолодження

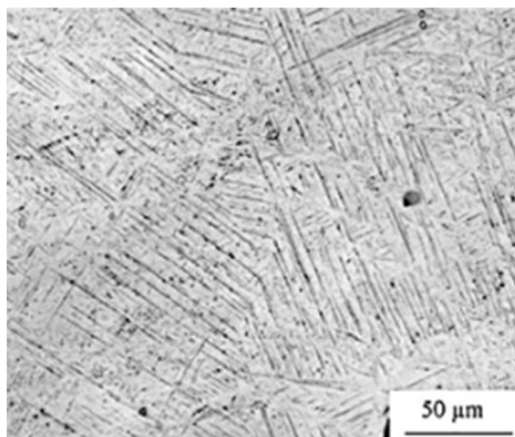
Рисунок 1.4 – Фазові діаграми сплаву VT6C [1]

У рисунку 1.4 показана фазова діаграма сплаву Ti-6Al-4V У випадку повного плавлення та затвердіння, Ti-6Al-4V у відбуваються $\alpha + \beta \rightarrow \beta \rightarrow \text{рідина} \rightarrow \beta \rightarrow \alpha + \beta/\alpha'$ фазові перетворення. Утворення α' мартенситу вимагає певної швидкості охолодження поряд з температурою, нижчою за початкової температури формування мартенситу (M_s).

α' мартенсит утворюється в межах специфічного діапазона швидкостей охолодження показаних на рис.1.2.6(b) Регіон, в якому швидкість охолодження перевищує 410°C/s відбувається повний перехід у α' мартенсит, у регіону з швидкістю охолодження від 410°C/s до 20°C/s відбувається неповне перетворення до α' фази, у регіону з швидкістю охолодження більше 20°C/s не відбувається перетворення у α' фазу

1.2.2.1 Лазерна технологія

Як показано у рисунку 1.4 при високій швидкості охолодження β фаза перетворюється у фазу α' . На рисунку 1.5 показана мікроструктура виробів SLM яка складається з мартенситу подібній фази α' яка містять велику кількість дислокацій і двійників за рахунок яких з'являються внутрішні напруги у виробу.



рисун1.5 – Мікроструктура виробу SLM [1]

Мартенситна α' фаза є нерівноважною фазою з деформованою структурою гратки. Його формування приводе к деформацій решітки. Крім того, висока щільність дислокацій яка спостерігається у α' мартенситах призводить до дислокаційного зміцнення, тому вона має високі значення міцності чім $\alpha + \beta$ фази

1.2.2.2 Електронно–променева технологія. Переваги і недоліки

фазове перетворення в ЕВМ може як правило, спростить до основних етапів відповідно до параметрам роботи. На першому етапі розплав охолоджується швидко від пікової температури до робочій температури з високою швидкістю охолодження. На цій стадії відбувається бездифузійне мартенситне перетворення. Другий етап можна розглядати як квазі–ізотермічна стадія відпалу, оскільки деталь витримується при робочій температурі (600–750 °C) де метастабільний α' розкладається на $\alpha + \beta$ структуру до завершення процесу. а також усуває теплові напруження. За рахунок чого міцність виробів ЕВМ сильно залежить від товщини α –планки в збалансованої $\alpha + \beta$ пластинчастої мікроструктурі.

Зі збільшенням товщини α –планки межа плинності зменшується оскільки більш товста α –планка збільшує ефективну довжину ковзання і, отже, знижує межу плинності.

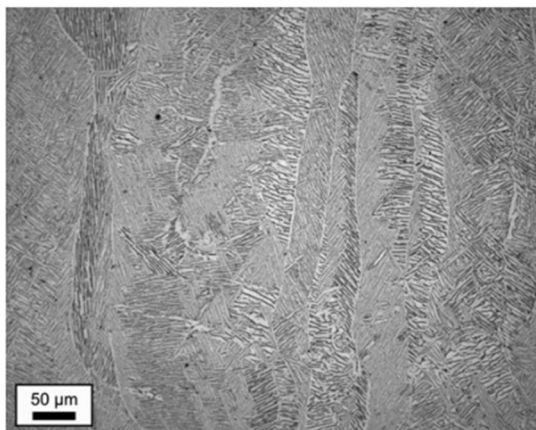


Рисунок 1. 6 – Мікроструктура сплаву ЕВМ [1]

Також на мікроструктуру впливає циклічна природа методу, попередні шари проходять цикли частинного розплавлення та температури β –транзісу яке сприяє епітоксійному росту β зерен. Цім можливо об’яснити анізотропію у виробу.

Подовжені стовпчасті β –зерна. Як показано у рисунку 1.6 β –зерна ростуть поздовжньо напрямку будови з довжиною близько 20 мм, тоді як ширина β –зерен дорівнює всього кількох сотень мікрон. також присутність міжзерневий α –фаз на границе β зерен руйнує цілісність мікроструктури і веде себе як слабкій з’єднувач та служать містом руйнування. приклад приведено у рисунку 1.7

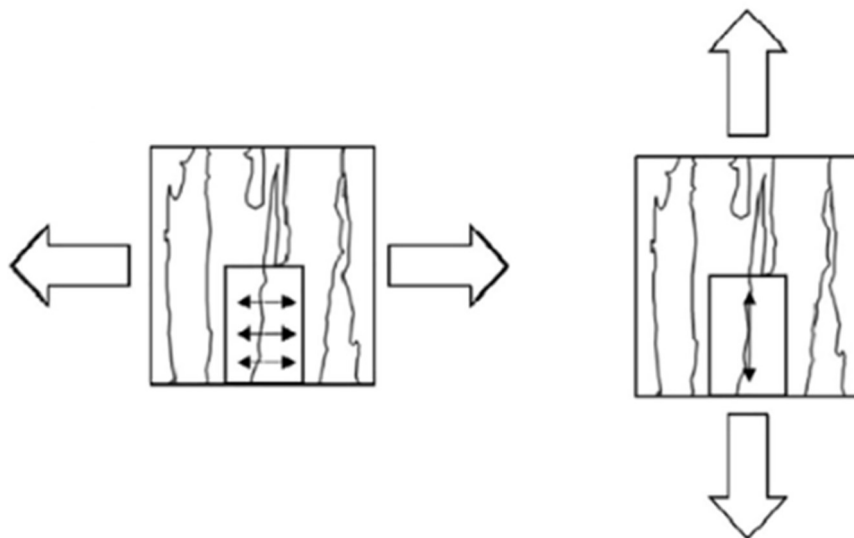


Рисунок 1.7 – Пріклад анізотропії виробу [1]

Рисунок 1.7 ілюструє анізотропну поведінку створеного виробу за допомогою ЕВМ, які піддаються навантаженням розтягування вздовж горизонтального та поздовжнього напрямку. При дії розтягу в горизонтальному напрямку, розтягуючи навантаження діють на короткі осі β -зерен і межі α зерен, що відокремлює сусідні β -зерна, у вертикальному розтягу довгі осі β зерен і вся межа α зерен піддаються поздовжнім розтягуючим навантаженням. Отже, анізотропна Мікроструктура значно схиляє горизонтальні зразки легко виходить з ладу в порівнянні з поздовжніми зразками.

1.2.3 Дефекти структури та властивостей матеріалу виробу сформованих в умовах селективного плавлення прошарку порошку

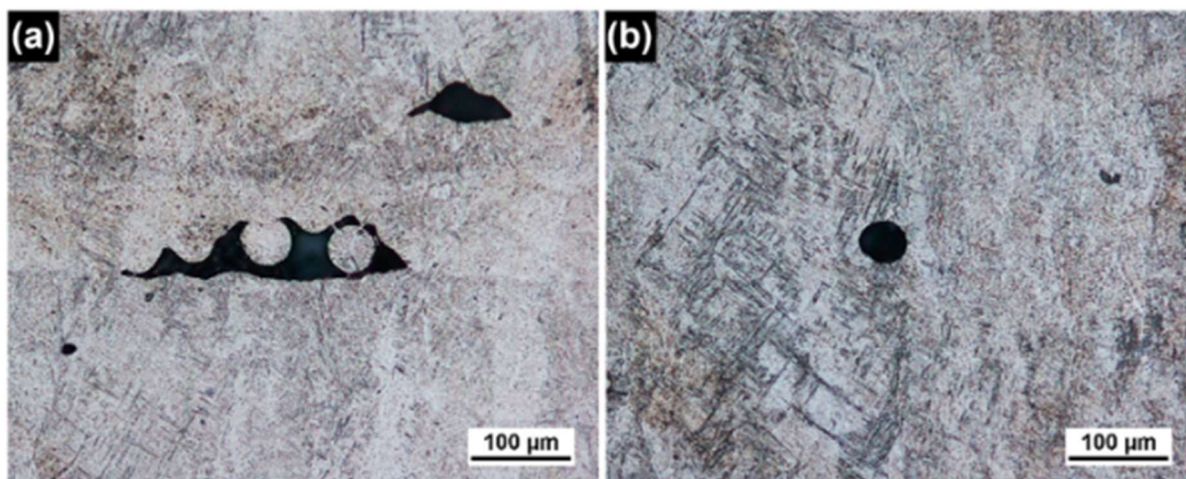
Основним типами дефектів у виробу є пористість, неповне сплавлення шарів, та включення не розплавлених частин порошку. Також можливо наявність дефектів поверхні як висока шорсткість поверхні.

У виробів ЕВМ була досліджена пористість 0.17–0.3 % з розмірами пор у діапазоні від 50 мкм до 300 мкм [10]. Основні пори за формуванням можливо розділити на газові пори та пори не сплавлення

Газові пори з'являються при залишенню газу у розплав при охолодженні. Такі пори мають сферичну форму та повільно у об'єму виробу. Для зменшення такого типу пор важливо використовувати вхідних порошок без закритих пор. Також можливо використання гарячого ізостатичного пресування.

Пори не сплавлення з'являються при не сплавленні шарів порошку за рахунок не оптимальних параметрів приладу. Такі пори розташовані між шарами у напрямку перпендикулярно до осі будови

На рисунку 1.8 наведені приклади обох типів пор



а – пора не сплавлення; б – газова пора

Рисунок 1.8 – Зображення пор [10]

1.3 Висновки та постановка задачі дослідження щодо створення технології виготовлення деталі типу крило

У даній роботі поставлена задача створення технологічного процесу виробництва виробу типу “Крило” показаному у додатку 1. Методом виробництва було вибрано електронне променево плавлення за рахунок відносно низькій вартості, швидкості формування за рахунок можливості розділення променю та значно менших внутрішніх напружень.

Для створення технологічного процесу важливо оптимізація технічних параметрів приладу ЕВМ та параметри вхідного порошку.

1.4 Основи технологічного процесу виготовлення крила із порошків сплаву ВТ6С



1.4.1 Підготовка порошків

До розробки параметрів використовуючи систему ЕВМ, порошок перевірен на безпечність використання методом ЕВМ. Важливо виконувати випробування мінімальній енергії запалювання для вимірювання легкості запалювання порошкового пилу електричним і електростатичним розрядом. Для систем ЕВМ

рекомендується використовувати порошки з розміром частинок 45–105 мкм розподілу, які мають мінімальну енергію запалювання $\geq 0,5$ Дж.

Після вибору порошку для процесу ЕВМ виходячи з його фізичних характеристик, наступним кроком є перевірка поведінки порошку в системі та визначити вікно параметрів, на основі якого потім можна оптимізувати параметри процесу. спочатку в виконується «тест на дим». При розподілі щільність заряду якій перевищує критичну межу порошку, частинки порошку відштовхуються один від одного і відбувається електричний розряд, що викликає вибух порошку всередині камери. Важливо визначити набори параметрів у зоні «без диму». Для стабільного процесу побудови.

Далі випробування на спікання, під час якого будівельна плита попередньо нагрівається і витримують при заданих температурах протягом 30 хвилин для визначення температури при якій починає спікання у точках контакту частин порошку, тест повторюється при вищій температурі при ні присутність спікання у частин. Порошок повинен бути спеченим для стабільності платформи під час згрібання, а також для теплопровідності. Випробування на спікання визначає необхідну енергію та час, для початку процесу [11].

1.4.2 Вплив розміру та гранулометричного складу вихідного порошку на точність геометричних розмірів виробу

Розмір частинок у порошках є дуже важливим фактором, оскільки щільність упаковки повинна бути максимальною. На сипучість і стисливість порошку також впливає гранулометричний склад. Поряд із щільністю упаковки, всі три характеристики є важливими у процесі. Вони забезпечують однорідність і повинні бути оптимізовані для створення продукту, який не має дефектів, таких як пори, тріщини, включення, залишкові напруження та небажана шорсткість поверхні.

1.4.3 Вплив фізичних та технологічних властивостей порошку на рівномірність щільності виробу

Вплив властивостей порошку засноване на зміні його відносної щільності та текучості яка впливає на щільність виробу за рахунок характеру розподілення порошку на будівельній платформі в якій порошок з низкою текучістю може бути розподілений не рівно та створити зміну у рівні розплавленого матеріалу. У даній роботі був вибрано вхідний порошок сферичної форми з розмірами частин у 50–100 μm для високої текучості та щільності пакування.

1.4.4 Вплив параметрів процесів формування, нагрівання та селективного плавлення на структуру та властивості матеріалу виробу

1.4.4.1 Вплив температури розігріву

Основна мета попереднього розігріву є запобігти руйнуванню конструкції ефектом диму якій з'являється зарядженням частин порошку та їх відштовхування других частин. Також розігрів попереднє нагрівання може збільшити міцність, електричну та теплопровідність спеченого порошку це також зменшує утворення дефектів поверхні і знижує тепловий градієнт під час плавлення, зменшуючи викривлення, та залишкові напруження

три недоліки попереднього розігріву:

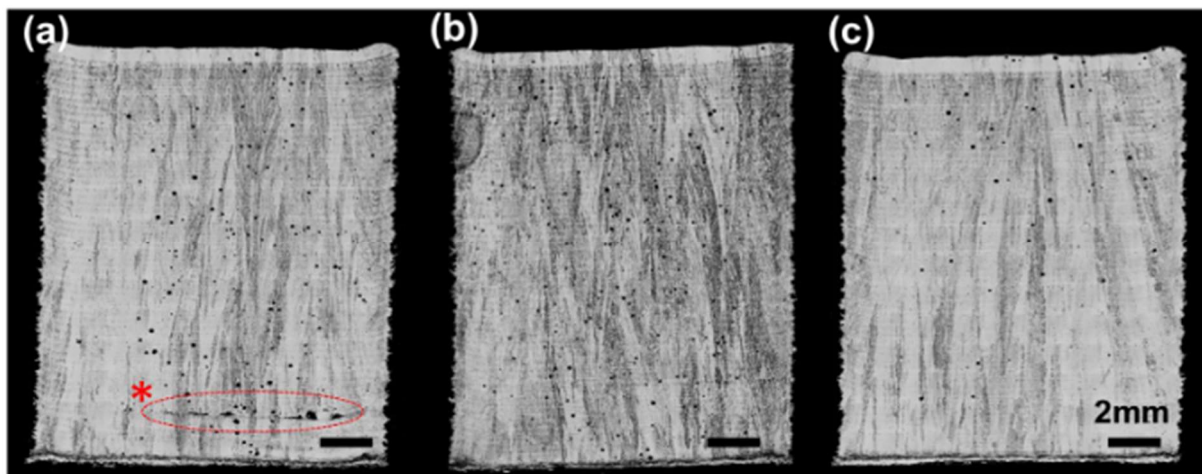
це збільшення загального часу будови та споживання енергії; необхідність етапу обробки, щоб видалити спечені частинки та це може обмежити деталізацію функцій побудови, оскільки спечені частинки важко видалити з складної внутрішньої геометрії.

Усі три недоліки можна ефективно контролювати, використовуючи різну температуру розігріву.

Для вибору температури розігріву були аналізовані результати досліджень Chu Lun Alex Leung et al [12] у яких було виявлена оптимальна температура 750 $^{\circ}\text{C}$

яка поєднає низку кількість спікання не використаного порошку та підвищену міцність виробу за рахунок зменшення розміру зерен α фази.

Булі досліджені 3 зразки з різною температурою розігріву які показані На рисунку 2.1

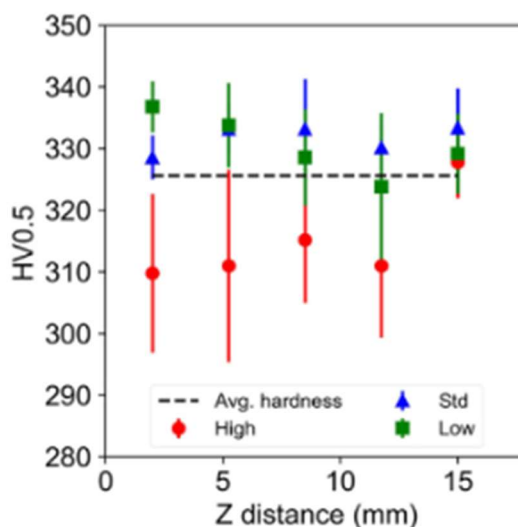


a – 650 C°; b – 750 C°; c – 850 C°

Рисунок 2.1 Розріз зразків з рінімі темперптури розігріву [12]

Показані у рисунку 2.1 зразки (b) та (c) мають газову пористість яка зменшується с збільшенням температурі розігріву. Зразок а також має пори не сплавлення(виділене красним) що показує не оптимальність температури

Також було проведено дослідження твердості зразків результати показані у рисунку 2.2



Low – 650 C°; Std – 750 C°; High – 850 C°

Рисунок 2.2 – Графік зміни твердості у висоті виробів з різними температурами підігріву [12]

На графіка показані значення твердості виробів з якого видно значне зменшення твердості при температурі розігріву 850 C° що показує не оптимальність температури

1.4.4.2 Вплив швидкості сканування

У установках Arcam присутні алгоритми контролю швидкості сканування які оптимізують необхідну швидкість під назвою Speed function(SF)

Вплив значення SF були вивчені у дослідженнях Xiaoqing Wang, et al [13], результати виміру твердості показані у рисунку 2.3 з якій був визначено оптимальний проміжок SF у 35–60.

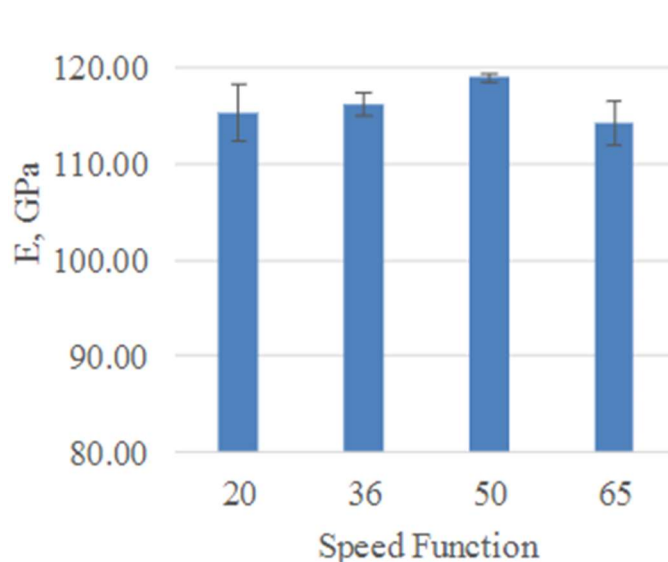


Рисунок 2.3 – Графік зміни модуля Юнга зі зміною значення SF [13]

Збільшення модуля Юнга до значення SF 50 було пояснена зменшенням розміру зерен та правилом Хола–Петча. Зменшення механічних характеристик при значенні SF більше 50 можливо пояснити меншим розміром розплаву за рахунок чого з'являються більша кількість пор

1.4.4.3 Вплив отступу лінії

Вплив отступу лінії можливо вивчити з результатів роботи Haijun Gong et al. [10] які показують значне збільшення пористості при значеннях відступу лінії більше 0.18 мм. приклади показаний у рисунку 2.4

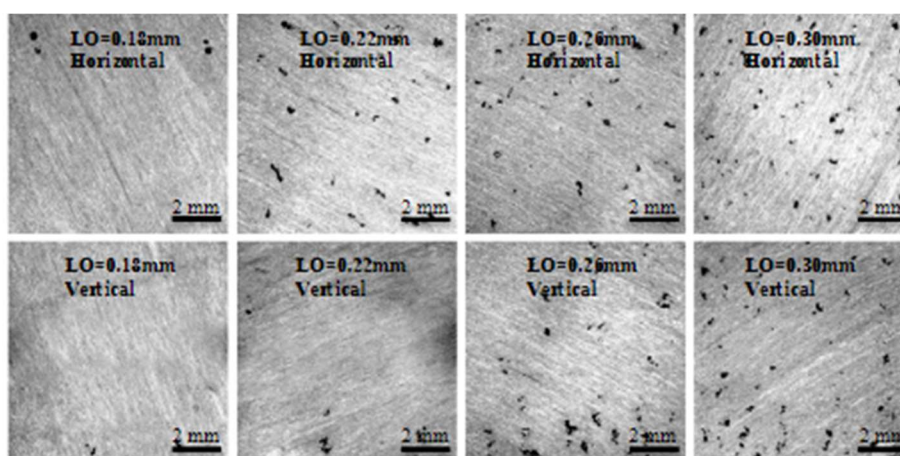


Рисунок 2.4 – Знімки розрізу виробів з різними відступами лінії [10]

Причиною даних результатів є не повне сплавлення матеріалу.

Приклад показано у рисунку 2.5

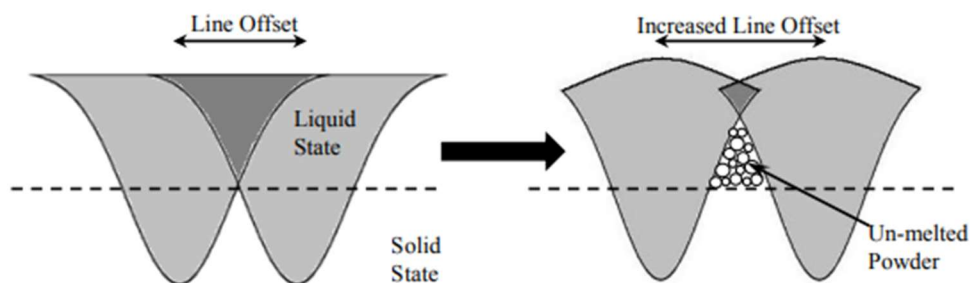


Рисунок 2.5 – Повне сплавлення(ліво) та не повне плавлення при великому значенні відступу лінії(право) [10]

1.4.5 Вибір напрямку пошарового друкування крила

Описані у розділі 1.2.3.2 анізотропні характеристики з'являються за рахунок росту β зерен у напрямку будови, які потребують вироблення деталей з напрямком навантаження перпендикулярно напрямку зерен .

Для будови заданої деталі було вибрано у вертикальному напрямку за рахунок більшої навантаження на широкі частини деталі.

Напрямок будови показано у рисунку 2.3

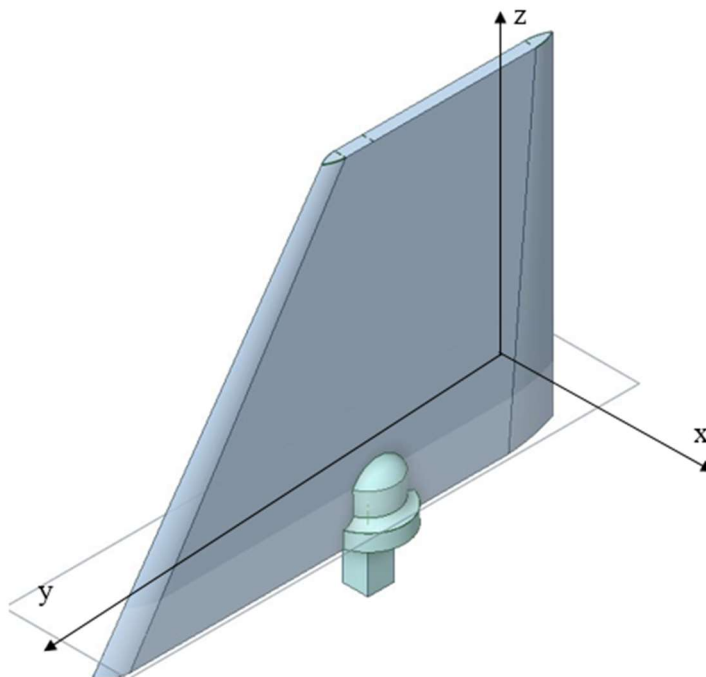


Рисунок 2.3 – Деталь з напрямком будови z

1.4.6 Методи контролю структури та властивостей матеріалу готового виробу

Для контролю бід час процесу виробництва установки Arcam мають установку 'Arcam LayerQam' Система камер високої роздільної здатності для потужного виявлення дефектів. Яка досліджує пористість за шарами та повідомляє про дефекти всієї конструкції та окремих компонентів

Для контролю дефектів також можливо використовувати неруйнівні ультразвукові та рентгенівські методи.

Визначення щільності виробів можливо використанням принципу Архімеда
Механічні характеристики можливо вивчити и за допомогою твердомірів та тесту на розтяг.

Для вивчення мікроструктури необхідно процеси шліфування та протравлення та використання оптичних та електронних мікроскопів

2. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перед початком виробництва було проведено аналіз вхідного порошку. Аналіз хімічного складу вхідного порошку методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії та форма частинок порошку був проведений за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ 106И. Отриманні значення записані у таблицю 2.1 та форма частинок була показана у рисунку 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати виміру хімічного складу вхідного порошку

Елемент	%
Ti	91.20
Al	5.21
V	3.47
Fe	0.10

Отриманий у таблиці 2.1 хімічний склад є приємним для використання

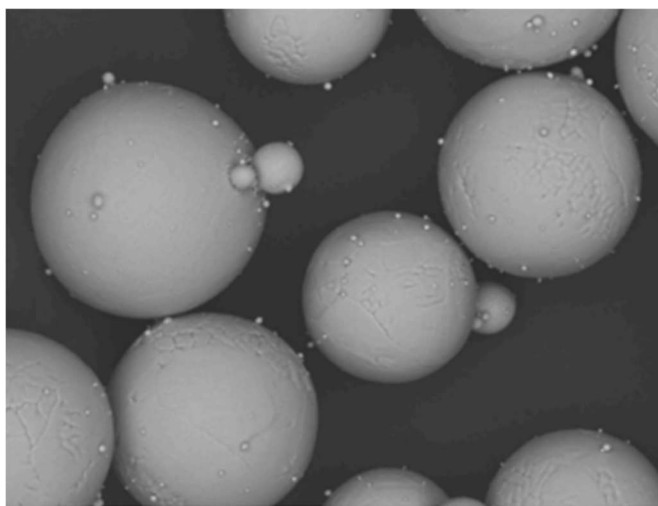


Рисунок 2.1 – Форма частинок порошку

Ситовий аналіз для визначення гранулометричного складу порошку був проведений за допомогою вібросита з розмірами сит у 20,45,63,75,100 та 125 μm з

тривалістю просіювання 30 хв з інтервалами у 10 с та амплітудою 1.2 мм. Отриманні значення записані у таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Гранулометричний склад порошку

Фракція	%
0–20	4
20–45	11
45–63	49
63–75	19
75–100	17

Для виробництва була використана установка Arcam Spectra–H та сферичний порошок сплаву титану VT6C з розміром частин 50–100 μm

3Д модель була створена на основі креслення деталі(Додаток 1) за допомогою програмного забезпечення CAD у якій була побудована спочатку поверхня деталі яка потім була заповнена для створення об'ємної моделі , та перетворена у формат SLT для використання з установкою

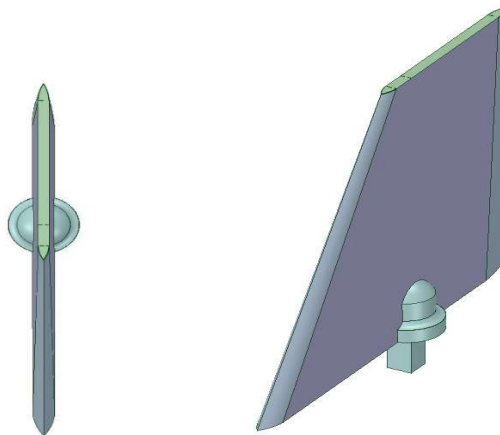


Рисунок 2.2 – 3Д модель виробу

Оптимальні параметри процесу були вибрані на основі результатів попередніх досліджень та рекомендацій виробника установки та указані у таблиці

2.3 

Таблиця 2.3 – Параметри процесу

Товщина шару	50 $\mu\text{м}$
Температура підігріву	750 $^{\circ}\text{C}$
Струм променю	15 мА
стратегія сканування	Растрова
Швидкість сканування	SF 50
Лінійний відступ	0.099 мм

Підогрів булл проведено у двох стадіях за стандартними параметрами приладу. Перша стадією являє собою підігрів всього порошу до температури 500 $^{\circ}\text{C}$. Метою другою фази є спікання частин порошку для зменшення ефекту диму та проводиться нагрівом контуру деталі до температури 700 $^{\circ}\text{C}$. Також у будівельну камеру додано газ гелію у кількості 10^{-1} Па для знаття заряду з частин порошку

Після отримання деталі кінцевої форми, охолодження деталі проходило у приладу та у атмосфері аргону для прискорення процесу

Випробування на шорсткість було проведено за допомогою приладу профілометра–профілографа TS–7 на верхній поверхні виробу для зменшення впливу ‘сходового’ ефекту викликаним шарами поверхні

Після завірення процесу виріб відполіровуваний спочатку шліфувальним папером SiC з збільшенням зернистості до 1000 після чого алмазна суспензія до 0.05 $\mu\text{м}$ була використана для завершення полірування

Для випробування на мікротвердість полірований виріб бив розрізані у середині та куб з розмірами 20x20x20 мм було вирізане з поверхні розрізу. Вимірання мікротвердості за Віккерсом було проведено з допомогою твердоміру HV 1000 з навантаженням 0.5 кг з часом навантаження 20 с

Полірований зразок також бил оброблено розчином 1 мл HF 3 мл HNO_3 у 7 мл дистильованій води для вивчення мікроструктури за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ 106И

З виробу були вирізані 2 зразка перпендикулярно та вздовж напрямку будови для в випробування на розтягування формою згідно ДСТУ EN  02-1:2006.ї

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТІ ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У результаті вимірювання шорсткості поверхні було отримано значення показнику $Sa=7 \mu m$ яке показую необхідність додаткової обробки поверхні для зменшення шорсткості та збільшення зносостійкості виробу за рахунок зникнення кількості дефектів які спроваджують росту тріщини під час роботи деталі.

Вимірювання мікротвердості показали значення у зразка взятого з розрізу виробу $HV=348$ яке більше значення $340 HV$ виміряного у деталей створеними традиційними методами це можливо об'яснити структурою сполученою за рахунок термічних параметрів та витримки виробу у температурі $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до завершення формування деталі

Отриманий з вивчення мікроструктури рисунок 3.1 показує двох фазну структуру з світлими зернами β фази які видовжені у напрямку осі будови виробу та темною α фазою

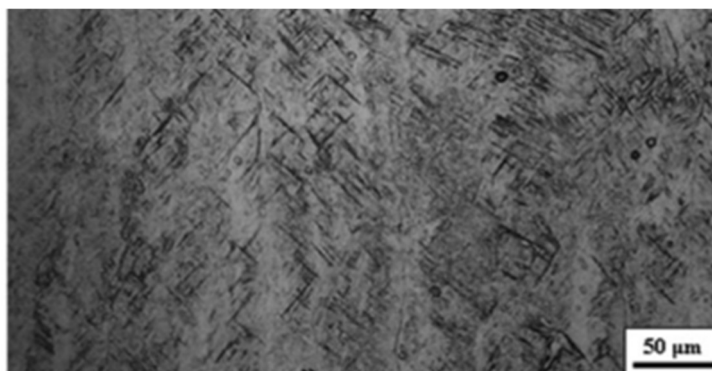


Рисунок 3.1 – Мікроструктура виробу

У результаті випробування на розтягування були отриманні значення межі міцності, текучості та відносне видовження. Отриманні значення записані у таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Результати випробування на розтягування

	Вертикальний	Горизонтальний
межі міцності	1008 мПа	1029 мПа
межі текучості	961 мПа	982 мПа
видовження	7.1%	12.2 %

У порівнянні отриманих механічних характеристик видне анізотропний характер виробу причина якого була описана у розділі 1.2.3.1

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою даного розділу дипломної роботи є визначення небезпечних джерел і факторів при виготовленні деталей зі сплаву титану за допомогою установки електронно–променевого плавлення. Охорона праці включає в себе технічні заходи, що поліпшують умови праці робітників і їх продуктивність.

Основна ціль розділу проаналізувати шкідливі чинники, які впливають на людину і заходи для безпечних умов праці персоналу, що використовує дані установки.

4.1 Характеристика об'єкту та умови його експлуатації

Досліди по створенню деталей складної форми із сплаву TiAl_6V_4 методом електронно–променевої плавки проводяться в лабораторії електронно–променевих технологій. На рисунку 4.1 наведено схему лабораторії і установок, що наявні у ній.

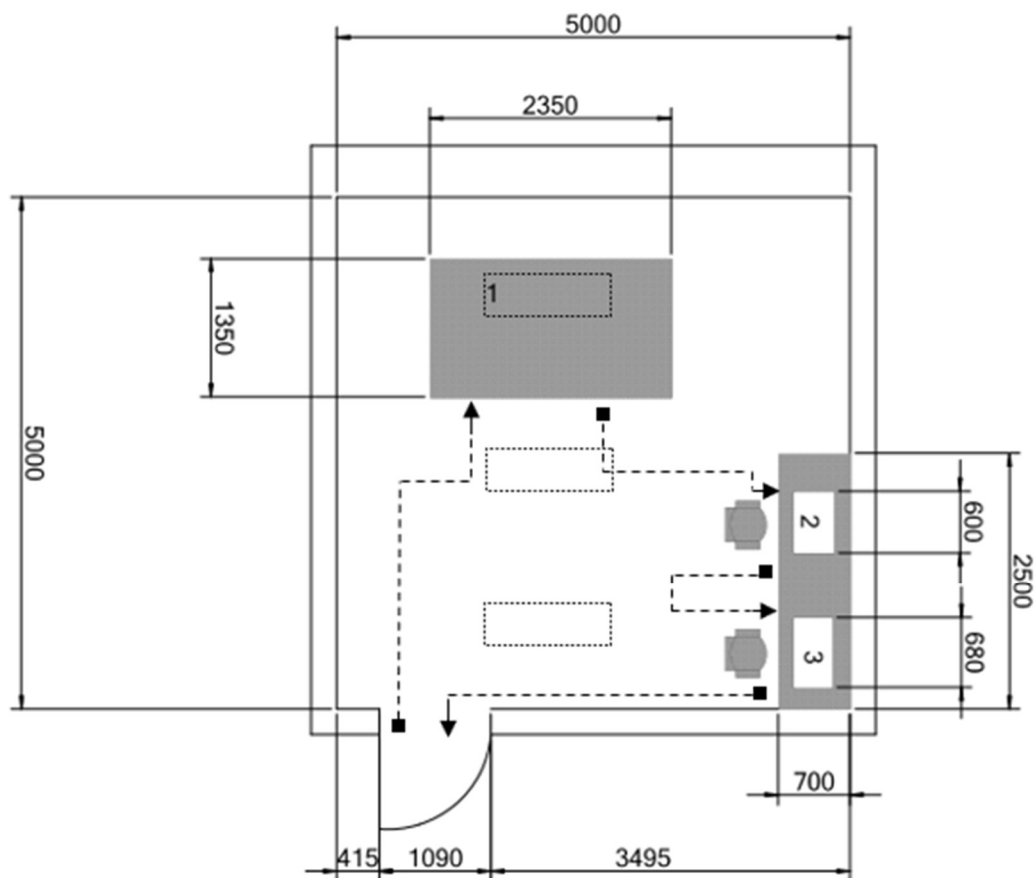


Рисунок 4.1 – План лабораторії електронно–променевих технологій

З рисунку 4.1 визначаємо, що площа приміщення складає $S = 25 \text{ м}^2$, знаючи, що висота стін дорівнює 3,3 м, знаходимо об'єм приміщення $V = 82,5 \text{ м}^3$. Чисельність робітників складає 3 людини.

Визначимо площу на одну людину:

$$S = \frac{25}{3} = 8,3 \text{ м}^2.$$

Визначимо об'єм на одну людину:

$$V = \frac{82,5}{3} = 27,5 \text{ м}^3.$$

Порівняємо нормативні і реальні значення площі і об'єму, що відведені на одного робітника. Дані занесено у таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Реальні та нормативні характеристики приміщення і розміщення технологічного обладнання [14]

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1	Площа на 1 працюючого	8,3 м ²	4,5 м ²
2	Об'єм на одного працюючого	27,5 м ³	15 м ³
3	Мінімальна ширина проходу	1,5 м	1,5 м

Лабораторія що використовується у даній дипломній роботі відповідає нормативним значенням площі і об'єму, що вимагаються на одну людину.

4.2 Аналіз параметрів мікроклімату у приміщенні

Мікрокліматом виробничих приміщень називають умови середовища, які впливають на теплообмін працюючих людей. Оптимальними називають умови,

параметри яких забезпечують збереження теплового стану організму в нормі при тривалому контакті із шкідливими факторами.

Відповідно до ДСН 3.3.6-042-99 [15], категорія робіт у даній лабораторії Па, тобто вимагає переміщення дрібних виробів і предметів, з прикладенням невеликих фізичних напружень. Мікроклімат в лабораторії відповідає нормативним значенням. Оптимальні умови мікроклімату наведено у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Нормативні значення мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/сек.
Холодний	Середньої важкості Па	19–21	60–40	0,2
Теплий	Середньої важкості Па	21–23	60–40	0,3

4.3 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці при виконанні роботи

Небезпечні фактори можуть бути хімічного, фізичного і психофічного і біологічного характеру. Фізичні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- Висока температура готового виробу;
- Рухома будівельна платформа;
- Камера з вакуумом 10^{-2} ;
- Насоси для створення вакууму;
- Іонізуюче та ультрафіолетове випромінювання з вольфрамового філамента;

Хімічні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- Пил металічного порошку;
- металічні пари з розплаву.

Головним джерелом небезпечних та шкідливих факторів у лабораторії є установка електронно–променевого плавлення з інтенсивним фактором ультрафіолетового, видимого, іонізуючого випромінювання та електричного струму. Установка також має помірний фактор шкідливих речовин, шуму, система працює під тиском і має рухомі механізми. Також у лабораторії присутні прилади для виміру характеристик поверхні та мікротвердості виробу з незначним фактором рухомих механізмів.

Обладнання, що використовується в роботі працює без рентгенівського випромінювання, вібрація відсутня. Заходи безпеки від цих небезпек не передбачені.

Робота складається із таких операцій: дозування порошку, завантаження у камеру, плавлення за допомогою установки Arcam Spectra–H, вимірювання шорсткості і мікротвердості поверхні.

В таблиці 4.3 наведено специфікацію технологічного обладнання.

Таблиця 4.3 – Специфікація технологічного обладнання та оснащення вибраного приміщення

№ п.п	Найменування	Розміри Д/Ш/В	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Електронно–променева установка Arcam Spectra–H	2350/1350/2860	Викликає запиленість і шум. Теплове випромінення. Ультрафіолетове випромінення	1	1
2	Профілометр–профілограф TS–7	660/200/300	Небезпека ураження електричним струмом	1	2
3	Мікротвердомір MVH–100	680/300/30	Механічні травми за рахунок рухомих частин пристрою	1	3

Запиленість повітря порошком TiAl_6V_4 можлива при дозуванні порошку і завантаженні його в установку для електронно–променевого плавлення. Порошок титану не значно впливає на організм людини, але при потраплянні великих доз у органи дихання здатний викликати їх подразнення. При потраплянні великої кількості у шлунок, може викликати отруєння різного ступеню важкості.

Небезпечними є пари алюмінію, що виділяються під час процесу плавлення порошкового матеріалу. При постійному контакті, алюміній здатний

накопичуватись в організмі людини і викликати такі захворювання як артрит, анемія і сприяє появі інших хронічних захворювань.

Безпечні умови праці досягаються використанням засобів індивідуального захисту і дотриманням умов мікроклімату на робочому місці. Відповідно до ДСТУ EN 133:2005 [16], працюючи в умовах забрудненого повітря, необхідно використовувати респіратори і маски. Поширеними є:

- газопилозахисні респіратори «МРІЯ»;
- респіратор ШБ–1 «ЛЕПЕСТОК–200»;
- респіратор «СНЕЖОК–ГП».

Не менш небезпечним є випромінення, що надходить від установки Argam Spectra–H. Ультрафіолетові хвилі випромінює вольфрамовий філамент. Ультрафіолет впливає безпосередньо на шкірний покрив людини, може приводити до екзем, дерматитів і інших шкірних захворювань, в залежності від кількості поглинутого випромінення. Інтенсивність випромінення на робітників знижується за рахунок їх віддалення від джерела.

Установка для електронно–променевого плавлення також випромінює і інфрачервоні промені, оскільки працює за підвищених температур в діапазоні 800–1100 °С. Згідно діючих санітарних норм температура нагрітих поверхонь устаткування та огорожень не повинна перевищувати 45 °С [17]. Враховуючи, що в лабораторії знаходиться лише одна установка, економічно не доцільно використовувати екранування для поглинання тепла. Найбільш прийнятним видом захисту є захист відстанню.

Рівень шуму, викликаний установкою не є критичним. У випадку даної лабораторії шум є непостійний і незначно впливає на людину, тобто рівень звуку протягом робочого дня змінюється більше ніж на 5 дБА [18]. Шум негативно впливає на загальне самопочуття людини і її психічну складову.

4.4 Освітленість приміщення

Освітлення поділяється на природне, штучне і суміщене.

Природнім називається освітлення світлом неба, що потрапляє у будівлю шляхом віконних прорізів. Вони можуть знаходитись як збоку, так і зверху. Таке освітлення вважається найбільш доцільним за рахунок свого спектрального складу.

Суміщене освітлення використовується тоді, коли природнього освітлення недостатньо і доповнюється штучним.

Штучне освітлення буває комбінованим і загальним. Загальним вважають верхнє освітлення із використанням світильників у верхній зоні приміщення. При комбінованому використовується ще й місцеве освітлення, для більшої концентрації на робочих місцях.

В даній лабораторії не передбачене природнє освітлення. Штучне освітлення здійснюється трьома встановленими чотириламповими світильниками, що задовольняє ДБН В 2.5–28–2006 [19].

4.5 Електрична безпека

Із розвитком різноманітних технологій і новітнього устаткування, збільшується тенденція до використання електричної енергії при виробництві деталей методом порошкової металургії.

Результатом дії електричного струму на людину називають електротравмою і поділяються на:

- локальні, за яких відбувається ураження органів і частин тіла людини, без загрози для життя;
- загальні, наслідком яких є загроза життю, шляхом ураження життєво важливих органів;
- змішані.

У даній роботі використовується установка для ЕПП, що під'єднана до високовольтної мережі. Головним чинником небезпеки ураження електричним

струмом даного приміщення є забруднення повітря металевим пилом, який негативно впливає на опір ізоляції устаткування, що може приводити до коротких замикань. Важливо постійно контролювати вологість, температуру і запиленість приміщення із дотриманням норм мікроклімату на робочому місці.

Згідно ПУЕ, розрізняють ураження електричним струмом прямим і непрямим дотиком. Для запобігання ураження струмом дотиком, застосовують ізоляції струмовідних частин установки, що витримують теплові і електричні навантаження, з розміщення в недоступних для працівників місцях.

В лабораторії, де проводились дослідні роботи, виконане захисне заземлення електричних установок і приладів. План розташування робочих місця унеможливує випадкових дотиків до струмопровідних частин. Встановлено попереджувальні знаки.

4.6 Пожежна безпека

Горінням називають процес із виділенням полум'я і диму, що виникає за наявності горючої речовини, окисника і джерела запалювання. Відповідно до ДСТУ Б В.1.1–36:2016 [20], розрізняють категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою, приміщення відноситься до категорії Б і є вибухопожежно небезпечною, оскільки порошок TiAl_6V_4 у великій кількості здатен самозапалюватись. В приміщенні знаходиться установка для ЕПП, що працює у вакуумному середовищі.

Причинами пожежі часто бувають:

- пошкодження ізоляції і перенавантаження мережі;
- самозапалення порошків;
- порушення правил безпеки;
- несправність установок.

За можливості, для попередження пожежі використовують матеріали, що не займаються або строго контролюють їх дозування у повітряному середовищі.

Постійний контроль температури і тиску робочого середовища запобігає вибухонебезпечним ситуаціям.

Для запобігання пожежі у лабораторії ЕПП знаходяться вогнегасники і протипожежний інвентар – молотки, сокири, покривала з негорючого теплоізоляційного полотна або повсті, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати.

У лабораторії розроблена інструкція про заходи пожежної безпеки, якої повинен дотримуватись кожен співробітник. Це спеціальні навчання, протипожежні інструктажі і протипожежні тренування. Лабораторія оснащена евакуаційним виходом із приміщення, що веде до коридору.

5.ОРГАНІЗАЦІЙНО–ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Науково–технічна актуальність НДР

Метою даної роботи є вироблення технологічного процесу виробництва деталі складної форми з сплаву титану VT6C за допомогою адитивних методів

Процеси адитивного виробництва дозволяють виготовляти компоненти складної геометрії з високою точністю, яку важко або неможливо реалізувати за допомогою звичайних методів. Адитивне виробництво титанових сплавів набуває все більшої уваги, оскільки титанові сплави дорого та важко формувати і обробляти звичайними методами.

5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

5.2.1 Витрати на оплату праці

Таблиця 5.1 – Трудомісткість робіт по темі

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино—днів		
	Інженер 1.кат	Інженер	Лаборант
1	2	3	4
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	1	2	—
2. Аналіз науково—технічних публікацій з теми	—	2	—
3.Розробка 3д—моделі виробу	—	1	—
4.Розробка технічних параметрів виробництва	3	1	—
5.Виробництво на установки Spectra—H	—	3	—
6.Шліфування деталі	—	—	1
7.Вимірювання твердості деталі за допомогою установки MHV 1000	—	—	1
8.Вимірювання поверхні деталі за допомогою профілометра TS—7	—	—	1
Разом за виконавцями теми	4	9	3

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1. Інженер 1.кат	4	10 010	472,17	1 888,68
2. Інженер	9	8 375	395,05	3 555,45
3. Лаборант	3	6 766	319,15	957,45
Разом оплата праці з теми				6 401,58

5.2.2. Єдиний соціальний внесок



Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) – це обов’язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Базою для нарахування ЄСВ слугують загальні витрати на оплату праці по темі

Наразі ЄСВ буде становити:

$$\text{ЄСВ} = 6\,401,58 \cdot 0,22 = 1\,408,3476 \text{ грн.}$$

5.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Таблиця 5.3 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування матеріалу	Стандарт, технічні умови	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1. Титановий порошок ВТ6С	ДСТУ 19807 — 91	кг	1.7	5 302,34	9 013,98
Загальні витрати на матеріали					9 013,98

Транспортно–заготівельні витрати приймаємо на рівні 10 % від планової вартості загальних витрат на матеріали:

$$T_v = 9\,013,978 \cdot 0,1 = 901,39 \text{ грн.}$$

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити:

$$B_m = 9\,013,978 + 901,39 = 9.915,368 \text{ грн.}$$

5.2.4 Інші прямі неврахована витрати

При проведенні роботи інші прямі витрати приймаємо на рівні 10 % від суми врахованих витрати на виконання НДР.

$$I_v = (ЗП + ЄСВ + B_m) \cdot 0,1 .$$

Наразі I_v буде становити:

$$I_v = (6\,401,58 + 1\,408,35 + 9.915,37) \cdot 0,1 = 1\,772,53 \text{ грн.}$$

5.2.5 Накладні витрати

Накладні витрати включаються до калькуляції кошторисної вартості теми пропорційно обсягам витрат на оплату праці основних виконавців або пропорційно сумі прямих витрат на виконання теми досліджень по нормативам організації–виконавця цього дослідження.

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією–виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних засобів; витрати на науково–технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо.

Розглянемо варіант розрахунку накладних витрат пропорційно сумі прямих витрат на рівні 20 %.

$$H_B = (ЗП + \text{€CB} + B_M + I_B) \cdot 0,2 .$$

Наразі H_B буде становити:

$$H_B = (6401,58 + 1408,35 + 9915,37 + 1772,53) \cdot 0,2 = 3.899,57 \text{ грн.}$$

5.2.6 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних (табл. 5.4)

Таблиця 5.4 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	6 401,58	Відповідно до розрахунків
2.Єдиний соціальний внесок	1 408,35	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3.Матеріали для проведення досліджень	9 013,98	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	—	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
5.Спецобладнання для наукових цілей	—	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6.Вартість послуг сторонніх організацій	—	За договором із сторонніми організаціями (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
7.Витрати на службові відрядження	—	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	1 772,53	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9.Накладні витрати	3 899,57	Відповідно до нормативів організації–виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10.Усього витрат по темі	23 397,40	Сума попередніх статей

5.3 Науково–технічна ефективність НДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту НДР необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи. Проте він може бути розрахований лише по НДР, які безпосередньо спрямовані на створення нових матеріалів, покращення параметрів якості продукції, а також створення нових конструкцій.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (K_1);
- можливість використання результатів розробки (K_2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- складність дослідження (K_4).

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- б) робота виконується за угодою про науково–технічне співробітництво – 3 бали;
- в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- в) результати розробки можуть бути використані декількома організаціями – 5 балів.
- г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;
- д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

- а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;
- б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

- в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;
- г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо – 6 балів;
- д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

- а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;
- б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;
- в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;
- г) робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;
- д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$Б = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 .$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 1.5 становить:

$$Б = 1 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 3 = 72 .$$

Таблиця 5.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів	1
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	8
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
4. Складність дослідження	K_4	роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень	3

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot B_{\text{НДР}},$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$B_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 1.4);

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot 72 - 0,25 \cdot 23\,397,40 = 30\,150,65 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}}{B_{\text{НДР}}}.$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{30\,150,65}{23\,397,40} = 1,28.$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково–дослідної роботи перевищує одиницю, що свідчить про доцільність її виконання.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено аналіз літератури та створення основ технологічного процесу виробництва деталі складної форми з сплаву титану ВТ6С. За результатом проведеного аналізу літератури впливу технічних параметрів на характеристики виробу були вибрані оптимальні параметри для виробу форми крило. результати вимірів характеристик виробу показують

Анізотропію у виробу з підвищеними значеннями перпендикулярно осі будови. Також виміри показують механічні характеристики схожими або кращими чим вироби традиційних методів

CONCLUSIONS

As a result of the analysis conducted on available literature on the effect of process parameters on the mechanical and structural characteristic of the end product, a set of optimal parameters for the given part was created and used to produce a prototype. After tensile testing the part exhibited anisotropic properties with the higher mechanical properties being perpendicular to the build direction. The produced exhibited mechanical properties on the same level or better compared to more traditional methods of production



1. Eckart U. , Robert K., Tiago B.K., et al. Additive Manufacturing of Titanium Alloy for Aircraft Components / Eckart U. , Robert K. // Procedia CIRP – 2015 –Vol. 35 –P. 55-60.
2. L. Shunyu. Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review./ L Shunyu,C. Shin// Materials & Design – 2019 – Vol. 164.
3. C. Formanoir , S.Michotte, O. Rigo ,et al. Electron beam melted Ti–6Al–4V: Microstructure, texture and mechanical behavior of the as-built and heat-treated material/ C. Formanoir , S.Michotte // Materials Science and Engineering: A – 2016 – Vol 652 – P.105-119
4. A.Polishetty, G.Littlefair, V.Manoharan. et al. MACHINABILITY ASSESSMENT OF Ti-6AL-4V FOR AEROSPACE APPLICATIONS/ A.Polishetty – Alabamal: ASME Early Career Technical Conference -2013
5. ISO 52900:2021 Additive manufacturing General principles Terminology [Electronic resource] / Technical Committee ISO/TC 261, –2021 –28p
– Mode of access : [<https://www.iso.org/standard/74514.html>]
6. X.Zhang,F Liou. Chapter 1 - Introduction to additive manufacturing/ X.Zhang,F Liou// Additive Manufacturing – 2021 – Vol. 16 – P. 1-31
7. Y.Zhang Additive manufacturing processes and equipment/Y.Zhang, W. Jarosinski, Y.Jung, et al// Materials, Processes, Quantifications and Applications – 2018 – Vol 1 – p. 39-51
8. Selective Laser Melting and Milling, SLMM. [Electronic resource] / Manufacturing guide
–Mode of access: [<https://www.manufacturingguide.com/en/selective-laser-melting-and-milling-slmm>]
9. G. Mandil Building new entities from existing titanium part by Electron Beam Melting: Microstructures and mechanical properties/G. Mandil, V.Le, H. Paris. el al// The International Journal of Advanced Manufacturing Technology –2016 –Vol 85 – P.5-8



10. Haijun G., H.Rafi Defect Morphology in Ti-6Al-4V Parts Fabricated by Selective Laser Melting and Electron Beam Melting./ Haijun G.H.Rafi, K.Nadimpalli. et al //24th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium–Louisville, 2016 – 453P.
11. Rutuja S., Electron Beam Melting: From Powder to Part. [Electronic resource]/ Rutuja S., Frank M. // – Mode of access: [https://ewi.org/wp-content/uploads/2018/12/v4-Samant_Medina_Electron-Beam-Melting-From-Powder-to-Part.pdf]
12. C.Lun, R.Tossi Effect of preheating on the thermal, microstructural and mechanical properties of selective electron beam melted Ti-6Al-4V components/C.Lun, R.Tossi,E.Muzangaza,et al//Materials&Design –2019 –Vol174
13. Xiaoqing W,. Scanning Speed Effect on Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Alloy Processed by Electron Beam Additive Manufacturing/Xiaoqing W. Xibing G. Kevin C. //Procedia Manufacturing, – 2015 – Vol 1 –P. 287-295
14. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.Г. Левченко, Г.В. Демчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 90,9 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 16 с.
15. ДСН 3.3.6-042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – [Чинний від 01.12.1999]. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України. 1999. – 16 с.
16. ДСТУ EN 133:2005. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація. – [Чинний з 14.05.2005]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 14 с.
17. . Охорона праці та цивільний захист: Підручник для студентів, які навчаються за спеціальностями галузей знань «Автоматизація та приладобудування» / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська. За ред. О. Г. Левченка. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 420 с.

18. ДСНЗ.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – [Чинний з 01.12.1999]. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 26 с.

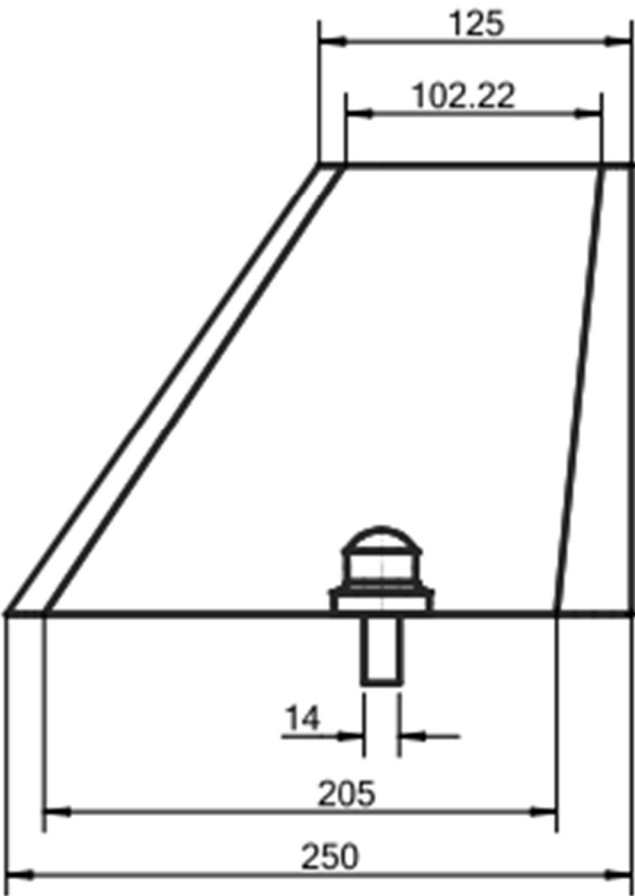
19. ДБН В.2.5.28-2006. Природне та штучне освітлення. – [Чинний з 15.05.2006]. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 79 с.

20. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – [Чинний з 01.01.2017]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. – 66 с.

018HΦ

18.03

30



					ФН
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		Хатіпоглу С.			
Перевірів		Лобода П.І.			
Т.контр.		Бірюковіч Л. О.			