

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі
(назва теми)

«Маточина» за допомогою гібридного виробництва»

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи М-113м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ЄМЕЛЬЯНОВ Б.О.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТРИШИН П.Р.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Машинобудівний
Кафедра «Технологія машинобудування»
Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

СМЕЛЬЯНОВУ Богдану Олександровичу

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Маточина» за допомогою гібридного виробництва

керівник проєкту (роботи) к.т.н ., доцент ТРИШИН Павло Романович,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» жовтня 2024 року №443

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=50шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Гібридне виробництво; 2. Автоматизація виробництва; 3. Технологічна частина; 4. Конструкторська частина; 5. Розрахунок деталі на міцність; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів - 15

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	ТРИШИН П.Р., к.т.н ., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., к.т.н ., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Гібридне виробництво	22.09.2024	
2	Автоматизація	08.10.2024	
3	Технологічна частина	15.10.2024	
4	Конструкторська частина	22.10.2024	
5	Розрахунок на міцність	05.11.2024	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2024	
8	Нормоконтроль	04.12.2024	
9	Рецензія	05.12.2024	
10	Захист дипломного проекту	12.12.2024	

Студент _____ **Богдан СМЕЛЬЯНОВ**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи) _____ **Павло ТРИШИН**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 92 с., 41 рис., 22 табл., 2 додатки, 13 джерел.

МАТОЧИНА, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ
ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ
РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – деталь «Маточина».

Мета роботи – вдосконалити технологічний процес виготовлення деталі
«Маточина» за допомогою гібридного виробництва

Методи дослідження – метод системного аналізу; методи інженерної
механіки; розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання
експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів
механічної обробки.

В магістерській роботі вдосконалено базову технологію виготовлення
маточини за рахунок використання гібридного виробництва, обрано сучасне
обладнання з ЧПК, інструмент, розраховані режими різання, норми часу,
запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації гібридного
виготовлення заготовки, спроектовано робоче пристосування для свердління
отворів та контрольне пристосування для контролю биття, проведено розрахунок
деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, розроблено
керуючу програму для операцій з ЧПК.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1. Гібридне виробництво.....	9
1.1 Вступ.....	9
1.2 Обладнання для гібридного виробництва.....	13
1.3 Спрямоване енергетичне осадження	17
1.4 Адитивне виробництво з використанням дрютяної дуги.....	19
1.5 Холодне розпилення	21
1.6 Ультразвукове адитивне виробництво.....	24
1.7 Застосування гібридного виробництва.....	26
1.8 Висновки.....	31
2 Автоматизація виробництва за допомогою використання гібридного верстату.....	34
3 Технологічна частина.....	38
3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	38
3.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт.....	39
3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням..	40
3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	42
3.4.1 Вибір технологічних баз.....	42
3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	43
3.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	45
3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	48
3.6 Розрахунок режимів різання.....	53
3.7 Технічне нормування операцій.....	57
3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	60
4 Конструкторська частина.....	63
4.1 Проектування робочого пристосування.....	63

4.1.1 Конструкція та принцип роботи пристосування.....	63
4.1.2 Розрахунок пристосування.....	64
4.2 Проектування контрольного пристосування.....	66
4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	66
4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....	67
5. Розрахунок деталі на міцність.....	69
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	71
7 Заходи з охорони праці.....	82
Висновки	87
Перелік джерел посилання.....	88
Додаток А. Специфікація робочого пристосування	90
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування.....	92

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

AB – адитивне виробництво

KBM – коефіцієнт використання матеріалу

KKД – коефіцієнт корисної дії

KП – керуюча програма

MВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ЧПК – числове програмне керування

DED – технологія спрямованого енергетичного напилення

CS – технологія холодного напилення

LENS – технологія лазерного формування сітки

LMD – технологія лазерного напилення металу

SLS – технологія селективного лазерного спікання

UAM – технологія ультразвукового адитивного виробництва

WAAM – технологія дротово-дугового адитивного виробництва

ВСТУП

В умовах сучасної індустріалізації та зростаючих вимог до якості продукції, виробничі процеси потребують постійного вдосконалення. Технологічні інновації, такі як адитивні технології та гібридні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), пропонують нові можливості для зменшення часу виготовлення та вартості деталей. У цій дипломній роботі розглядається розробка технологічного процесу виробництва маточини з титанового сплаву для дрібносерійного виробництва, заснованого на використанні гібридного верстата з ЧПК. Особливістю даного процесу є поєднання адитивного виготовлення заготовки та подальшої токарної обробки без зміни установки деталі, що дозволяє суттєво оптимізувати виробничі витрати та час.

Мета дослідження полягає в аналізі та розробці ефективного процесу виготовлення маточини з титанового сплаву, що дозволяє знизити трудомісткість і собівартість виробництва за рахунок об'єднання адитивних та субтрактивних технологій на одному обладнанні.

1 ГІБРИДНЕ ВИРОБНИЦТВО

1.1 Вступ

Гібридне виробництво – це поєднання різних технологій, що дозволяє досягати нових вершин у виробництві складних деталей та компонентів. Цей підхід поєднує в собі два принципово різні методи: адитивні процеси (3D-друк) та субтрактивні процеси (токарна, фрезерна обробка). Цей симбіоз дозволяє отримати більш точні, складні та економічно вигідні вироби, ніж при використанні одного з методів.

Гібридне виробництво об'єднує два виробничі підходи однією обладнанні (рис. 1.1). Адитивне виробництво (АВ), або 3D-друк, нарощує пошарово матеріал, створюючи деталь, в той час як субтрактивні методи, такі як фрезерування або токарна обробка, видаляють зайвий матеріал, надаючи виробу кінцеву форму і необхідну точність.



Рисунок 1.1 – Виготовлення деталей за допомогою гібридного виробництва [1]

Ключовою особливістю гібридного виробництва є те, що обидва процеси повинні відбуватися на одному верстаті. Наприклад, якщо деталь спочатку надрукована на 3D-принтері, а потім оброблена на фрезерному верстаті, це не

вважатиметься гібридним виробництвом, оскільки процеси не об'єднані в одному пристрої.

Хоча технологія гібридного виробництва знаходиться на ранніх стадіях розвитку, вона вже привертає увагу інженерів та виробників завдяки своїм потенційним перевагам:

1) Економія часу (рис. 1.2). Адитивне виробництво дозволяє швидко створити складні форми, а субтрактивні процеси доповнюють їх необхідною точністю. Використання одного верстата для виконання обох процесів скорочує час на підготовку та транспортування деталі між різними етапами виробництва.

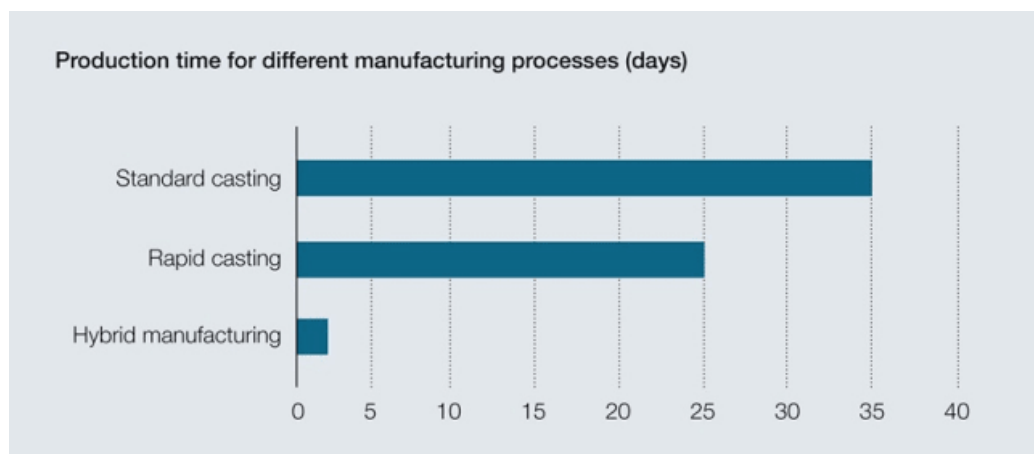


Рисунок 1.2 – Порівняння термінів виготовлення закритих робочих коліс [1]

2) Поліпшення якості деталей. Гібридне виробництво допомагає усунути недоліки адитивного виробництва, такі як груба поверхня. Наприклад, після створення заготовки за допомогою 3D-друку, її можна відразу обробити для отримання гладкої поверхні та поліпшення характеристик міцності.

3) Економія матеріалів. На відміну від суто субтрактивних методів, при яких великий обсяг матеріалу йде у відходи, гібридне виробництво дозволяє скоротити кількість надлишків за рахунок адитивного етапу. Це може значно знизити вартість виробництва, особливо під час роботи з дорогими матеріалами, такими як титан або рідкісноземельні метали (рис. 1.3).

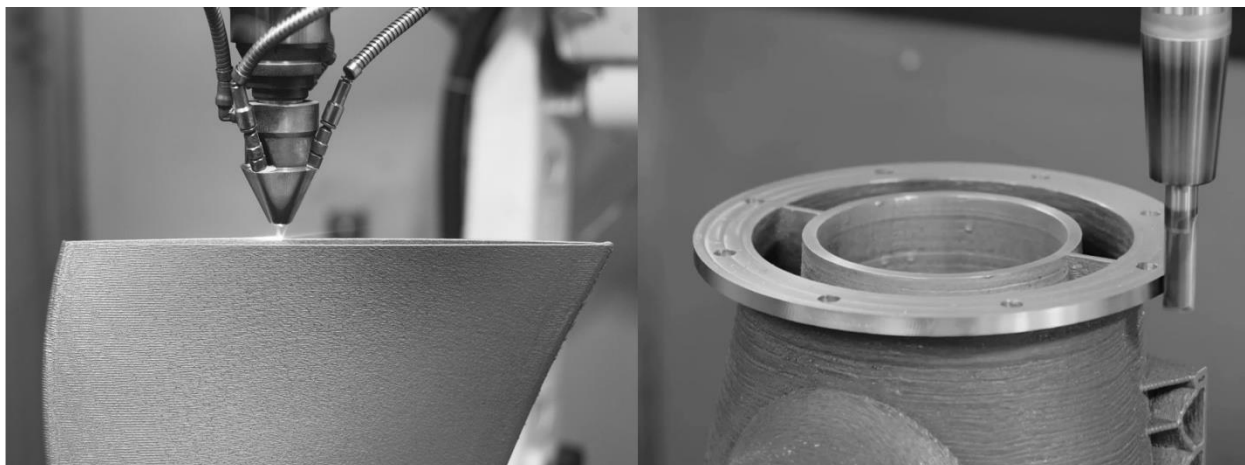


Рисунок 1.3 – Приклад гібридного виробництва [2]

Технологія гібридного виробництва поки що є новинкою навіть для такої молоді галузі, як адитивне виробництво. Проте вже сьогодні можна побачити перспективні приклади її використання в аерокосмічній промисловості, медицині, автомобільній галузі та інших високотехнологічних галузях.

Незважаючи на те, що гібридне виробництво поки не стало масовим, експерти вважають, що його потенціал є величезним. Можливості створення складних деталей на одному верстаті, скорочення виробничих циклів та підвищення якості роблять цю технологію дуже привабливою для багатьох галузей.

Як і у випадку з 3D-друком, ранні послідовники гібридного виробництва з оптимізмом дивляться в майбутнє, очікуючи, що розвиток технологій відкриє нові горизонти для промисловості. Очікується, що в міру покращення обладнання та зниження вартості технології, вона стане більш доступною та широко використовується у виробничих процесах по всьому світу.

Виробничий світ руйнується новими технологіями, і адитивне виробництво є одним із них. АВ може створювати складні конструкції, які абсолютно неможливі за допомогою традиційних технологій (лиття під тиском тощо) за набагато нижчою вартістю, проте АВ не має потенціалу масового виробництва. Традиційне виробництво не буде повністю замінено АВ через певні переваги, такі як масове виробництво за нижчою вартістю та високоточні

компоненти. Злиття адитивного виробництва та традиційного виробництва може створити гібридну виробничу систему, яка може використовувати найкраще з обох технологій. Доповнюючи один одного, гібридна виробнича система має потенціал відкрити нові можливості у ширшому промисловому спектрі. Гібридне виробництво може створювати прецизійні вироби, які мають складну конструкцію та форму, із зменшеними відходами та витратами.

Деталі, виготовлені за допомогою АВ, іноді піддаються механічній обробці для досягнення більш жорстких допусків та якості поверхні відповідно до потреби, і це відома загальногалузєва практика. Якщо обидві технології об'єднані, це відомо як гібридна виробнича система. Це означає, що той самий верстат містить як адитивні, так і субтрактивні виробничі можливості. В даний час верстат з ЧПК вирізає форму з металевого блоку відповідно до даних системи автоматизованого виробництва (САПР), а віддалений матеріал є просто відходами. Для дорогих матеріалів, таких як титан, легвана сталь тощо, це дорогі відходи. Гібридне виробництво найбільше підходить для дрібносерійного виробництва металевих компонентів. На ринку є верстати, які містять як адитивні, так і маршеві налаштування з ЧПК. Існуючі верстати з ЧПК можна модернізувати за допомогою додаткових можливостей АВ, наприклад, за допомогою системи модернізації АВ, яку надає компанія Hybrid Manufacturing Technologies.

Щоб використати силу гібридної системи, конструктор повинен спроектувати деталь, що підходить для такого типу виробничої установки. Спочатку система АВ створює форму, яка відома як майже чиста форма, а потім обробляється ЧПК для вирізання остаточної форми, близької до розмірної точності, з подальшою постобробкою відповідно до вимог (рис. 1.4). Або спочатку деталь обробляється на верстаті з ЧПК, а потім функції створюються системою АВ, яка знову обробляється на верстаті з ЧПК з необхідними розмірними допусками.

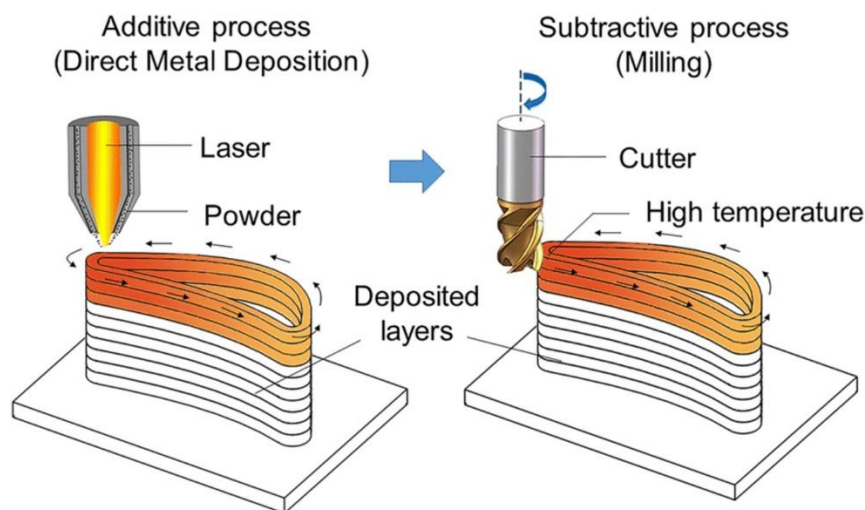


Рисунок 1.4 – Приклад гібридного виробництва [3]

Гібридне виробництво, що поєднує адитивні та субтрактивні методи, не тільки розширює можливості створення складних деталей, а й допомагає економити ресурси, що робить його важливим кроком на шляху до більш ефективного та екологічного виробництва.

1.2 Обладнання для гібридного виробництва

Устаткування для гібридного виробництва - це ключовий елемент, що забезпечує об'єднання адитивних та субтрактивних технологій в одному пристрої. Незважаючи на те, що кількість доступних гібридних верстатів на ринку поки що відносно невелика, їх можна розділити на дві основні категорії: готові гібридні верстати та адитивні модифікації для існуючих субтрактивних верстатів.

Гібридні верстати (рис. 1.5), які з самого початку були розроблені для об'єднання технологій, є рішенням "під ключ" для тих, хто хоче використовувати переваги як 3D-друку по металу, так і традиційної обробки. Серед провідних виробників таких верстатів виділяються такі компанії:

1) DMG MORI - відомий світовий виробник висококласного обладнання для гібридного виробництва, що пропонує рішення, що поєднують металообробку з адитивними процесами.

2) ELB-Schliff, Matsuura, Mazak, Mitsui Seiki та Okuma – компанії, що також пропонують гібридні верстати, кожен з яких має свої особливості у поєднанні адитивних та субтрактивних процесів.

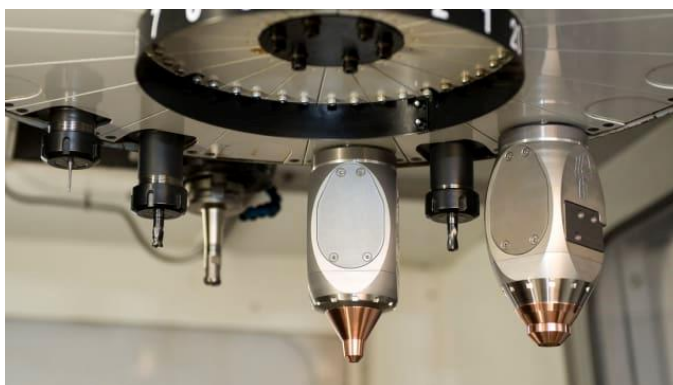


Рисунок 1.5 – Інструменти АМВІТ поруч із звичайними субтрактивними інструментами в інструментальному магазині [1]

Менш відомі компанії, такі як Diversified Machine Systems, Fabrisonic та Optomec (рис. 1.6), також розробляють гібридні верстати, здатні виконувати завдання високої складності.



Рисунок 1.6 – Гібридна машина Optomec для виробництва біорозкладних медичних імплантатів [1]

Ці верстати дозволяють користувачам виконувати повний цикл виробництва деталі від створення форми за допомогою адитивного процесу до фінальної обробки для отримання точності і гладкості поверхні.

Крім готових гібридних рішень, на ринку є можливість адитивних модифікацій для існуючих верстатів. Це підхід для тих, хто вже має субтрактивні верстати і хоче додати можливість адитивного виробництва. На даний момент доступність таких модифікацій обмежена, проте кілька компаній працюють у цьому напрямі:

1) Hybrid Manufacturing Technologies – одна з провідних компаній, що пропонують модифікації для стандартних верстатів, додаючи до них інструменти 3D-друку (рис. 7).

2) 3D-Hybrid Solutions, Inc. – Компанія, що пропонує спеціалізовані адитивні рішення для модифікації субтрактивних верстатів.



Рисунок 1.7 – Гібридна система LUMEX Avance-60 [3]

Ці модифікації включають інструменти для металодруку, які інтегруються в існуючі верстати, працюючи разом із традиційними інструментами, такими як фрези або різці токарні. Деякі виробники, такі як ELB-Schliff, Mazak та Mitsui

Seiki, вже пропонують такі адитивні опції, як стандартні для своїх верстатів, що спрощує процес модернізації для клієнтів.

Гібридне обладнання відрізняється не тільки способом інтеграції адитивних та субтрактивних процесів, а й технологіями 3D-друку, що використовуються. Основні технології, які використовуються в гібридних машинах, включають:

1) Спрямоване енергетичне напилення (DED) – технологія, коли метал у вигляді порошку чи дроту подається у зону зварювання, де він плавиться лазером чи іншим джерелом енергії. Це одна з найпоширеніших технологій у гібридних верстатах.

2) Дротово-дугове адитивне виробництво (WAAM) – метод, при якому використовується електрична дуга для плавлення металевого дроту, що особливо ефективно при створенні великих металевих деталей.

3) Холодне напилення (CS) – технологія, що використовує надзвукове напилення металевих частинок для створення шарів. Перевагою є відсутність необхідності плавлення матеріалу, що знижує тепловий вплив на деталь та мінімізує деформацію.

4) Ультразвукове адитивне виробництво (UAM) від компанії Fabrisonic – унікальна технологія, за якої шари металу з'єднуються за допомогою ультразвукових хвиль. Цей метод дозволяє створювати багатошарові металеві конструкції з точною геометрією та унікальними властивостями.

Гібридне виробництво - це перспективна технологія, що поєднує переваги адитивного та субтрактивного підходів. Розвиток устаткування цього типу виробництва відкриває нові можливості у різних галузях, від авіації до медицини. Компанії, що пропонують як готові гібридні верстати, так і адитивні модифікації для стандартних верстатів, продовжують розвивати цю сферу, пропонуючи ефективніші та економічніші рішення. Залежно від конкретних завдань та вимог виробництва, вибір відповідної технології 3D-друку, будь то DED, WAAM, CS або UAM, стає важливим аспектом успішного впровадження гібридного підходу.

1.3 Спрямоване енергетичне осадження

Спрямоване енергетичне осадження – це одна з ключових технологій у гібридному виробництві, заснована на додаванні металу до розплавленої зони деталі з використанням високоенергетичного джерела, такого як лазер або електронний промінь (рис. 1.8). В процесі DED металевий порошок або дріт подаються безпосередньо в розплавлену ванну, що створюється на поверхні деталі, що обробляється. Насправді, цей процес нагадує селективне лазерне спікання (SLS), з тим винятком, що матеріал додається строго в необхідні області, що підвищує точність і ефективність.

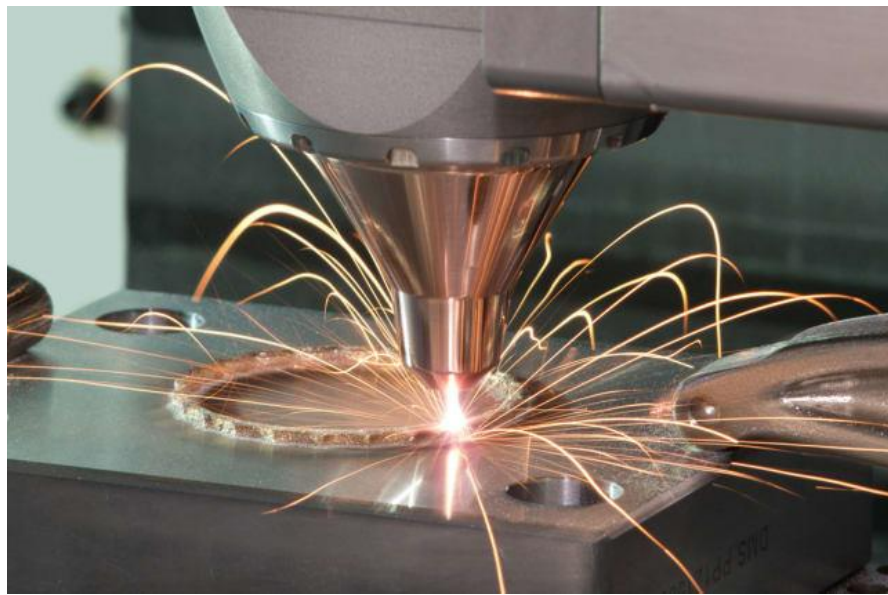


Рисунок 1.5 – Технологія DED

DED підтримує широкий спектр матеріалів, включаючи титан, нержавіючу сталь, алюміній та інші метали, які складно обробляти традиційними методами. Це робить технологію особливо привабливою для аерокосмічної та медичної галузей, де необхідно виробляти складні компоненти із високоміцних та легких матеріалів.

Крім того, деякі гібридні машини, такі як багатозадачні верстати LASER EX від Okuma або опції від 3D-Hybrid Solutions, дозволяють використовувати лазер для проведення операцій із загартування металів. Це важлива перевага, тому що вона дозволяє зміцнювати оброблені деталі в ході того ж виробничого циклу, що скорочує кількість операцій та час обробки.

В залежності від металу, DED часто вимагає створення атмосфери інертного газу для запобігання окисленню матеріалу в процесі плавлення. Традиційно це досягається за рахунок заповнення всієї робочої камери інертним газом, наприклад, аргоном. Однак сучасні гібридні верстати, такі як LASERTEC 65 3D hybrid та LASERTEC 4300 3D hybrid від DMG MORI, використовують локальні зони інертного газу, що значно знижує споживання газу та спрощує процес. Це рішення також допомагає краще контролювати властивості розплавленого матеріалу, забезпечуючи більш високу міцність та однорідність готового виробу.

Багато компаній активно розробляють рішення на базі DED для своїх гібридних верстатів. Однією з таких компаній є Hybrid Manufacturing Technologies, яка використовує головки AMBIT для лазерного напилення металу (LMD) – підтипу DED. Ці головки можуть бути встановлені на існуючі верстати, що дозволяє додати функціонал адитивного виробництва традиційні субтрактивні верстати.

Серед інших виробників, які використовують DED у своїх рішеннях, виділяються ELB-Schliff, Mazak та Mitsui Seiki, які пропонують гібридні верстати з підтримкою цієї технології. Крім того, компанія Optomec використовує технологію лазерного формування сітки (LENS), що також є варіантом DED. Її гібридні верстати LENS 500 та LENS 860 пропонують унікальні можливості для створення складних металевих деталей та їх подальшої обробки на одному верстаті.

Технологія спрямованого енергетичного осадження займає важливе місце у гібридному виробництві завдяки своїй здатності обробляти широкий спектр матеріалів та інтеграції із субтрактивними процесами. Використання DED

дозволяє створювати високоточні металеві деталі з мінімальною кількістю відходів та забезпечує високу міцність та довговічність кінцевих виробів. Сучасні гібридні верстати, оснащені DED, пропонують широкий спектр можливостей для компаній, які прагнуть оптимізації виробничих процесів та підвищення якості своєї продукції.

1.4 Адитивне виробництво з використанням дротяної дуги

Адитивне виробництво з використанням дротяної дуги – це технологія, яка поєднує в собі методи дугового зварювання та адитивного виробництва для створення великих металевих деталей (рис. 1.9). На відміну від інших адитивних технологій, таких як спрямоване енергетичне осадження, яке найкраще підходить для виготовлення більш точних та акуратних деталей, WAAM виділяється за рахунок своєї високої швидкості наплавлення та здатності працювати з великими компонентами.



Рисунок 1.9 – Технологія WAAM

Однією з ключових переваг WAAM є швидкість наплавлення матеріалу. Технологія дозволяє нарощувати від двох до п'яти фунтів металу на годину в

залежності від сплаву, що використовується. Це значно швидше порівняно з адитивними порошковими технологіями, такими як DED, які вимагають більш тривалого часу для нарощування аналогічних обсягів матеріалу.

Наприклад, гібридна система DMS Huron Peak працює зі швидкістю наплавлення від трьох до п'яти фунтів на годину, що робить її ефективним рішенням для великих виробничих завдань. Більше того, дрютяно-дугові системи не вимагають інертного середовища, що знижує операційні витрати, проте для забезпечення безпеки процесу необхідні заходи захисту, як і за будь-якого дугового зварювання.

Ще одним важливим аспектом WAAM є ефективне використання матеріалу. WAAM не конкурує безпосередньо з іншими адитивними технологіями, такими як лазерне адитивне виробництво, яке призначене для більш дрібних та точних деталей. Одним із обмежень технологій на основі порошків є те, що приблизно 20% порошку втрачається в процесі, що збільшує вартість виробництва. Наприклад, вартість матеріалу для порошкових технологій може коливатися в діапазоні від 12 до 25 доларів за унцію, що робить їх менш економічними під час виробництва великих деталей.

У свою чергу, WAAM використовує дріт, що дозволяє додавати матеріал у 15–20 разів важчий порівняно з порошком, тим самим збільшуючи ефективність виробництва великих деталей. Технологія дозволяє мінімізувати відходи та знизити собівартість деталей, що особливо актуально під час роботи з дорогими металами.

Однією з найбільш вражаючих переваг WAAM є можливість створення великогабаритних компонентів (рис. 1.10). За допомогою цієї технології можна виготовляти деталі довжиною до 42 метрів, шириною до шести метрів та висотою до двох метрів, при цьому підтримуючи повторюваність у межах 20–30 тисячних дюймів. Це робить WAAM унікальною технологією для виробництва в аерокосмічній, суднобудівній та енергетичній галузях, де потрібне створення великогабаритних металевих конструкцій з високою точністю та мінімальною кількістю відходів.



Рисунок 1.10 – Дротово-дугова головка 3D-Hybrid Solutions

WAAM – це потужна технологія для адитивного виробництва, яка вигідно відрізняється високою швидкістю наплавлення, економічним використанням матеріалу та можливістю створювати великі деталі. Хоча вона не конкурує з більш точними методами, такими як лазерні адитивні технології, WAAM знаходить застосування у тих випадках, коли важлива висока продуктивність та економічність. У майбутньому ця технологія може відігравати важливу роль у виробництві великих металевих конструкцій у різних галузях промисловості.

1.5 Холодне розпилення

Холодне розпилення (Cold Spray) – це сучасна технологія, яка широко застосовується у гібридному виробництві для нанесення металевих покриттів та відновлення поверхонь деталей (рис. 1.11). Спочатку розроблена для нанесення захисних покриттів на вали, ця технологія тепер активно використовується для створення складних металевих компонентів.



Рисунок 1.11 – Холодне напилення міді на оправлення

Компанія 3D-Hybrid Solutions пропонує дві спеціалізовані головки для холодного розпилення: одна призначена для обробки твердіших сплавів, а друга використовує лазерну підтримку, що дозволяє значно збільшити швидкість нанесення матеріалу. Це робить процес холодного розпилення гнучкішим і ефективнішим при роботі з різними металами та їх сплавами.

Холодне розпилення виникло на основі методів термічного напилення, проте принципово відрізняється тим, що порошок не піддається плавленню. На відміну від термічного напилення, де метал нагрівається до рідкого стану, холодне розпилення зберігає порошок у твердому вигляді протягом усього процесу. Замість плавлення металеві частинки розганяються до надзвукових швидкостей і вбиваються в підкладку під впливом високої кінетичної енергії.

У процесі холодного розпилення металеві порошки можуть розігріватися до 80% від температури плавлення, проте вони залишаються в твердому стані. Металеві частинки, досягаючи надзвукової швидкості через сопло, можуть розганятися до 2 або 3 Маха, що еквівалентно швидкості в два-три рази перевищує швидкість звуку.

Основною перевагою холодного розпилення є:

1) Частинки металу при ударі деформуються та створюють міцний металургійний зв'язок із підкладкою. Це на відміну від інших процесів, де зв'язок

між металом і підкладкою часто носить механічний характер. Металургійний зв'язок значно підвищує міцність з'єднання та стійкість нанесеного шару.

2) Висока міцність зв'язку: Частинки металу при холодному розпиленні утворюють міцний зв'язок із підкладкою, здатний витримувати понад 8000 фунтів на квадратний дюйм.

3) Низька пористість: Пористість покриття після холодного розпилення становить менше 1%, що значно покращує його якість та довговічність.

4) Міцність на розрив: Для таких матеріалів, як титан, міцність на розрив може досягати 56245568 кг/м², що робить цей процес придатним для використання у високотехнологічних галузях, таких як аерокосмічна та військова промисловість.

Холодне розпилення активно використовується у гібридному виробництві для нанесення захисних покриттів, відновлення зношених компонентів та створення нових деталей із високими механічними властивостями. Його переваги включають можливість роботи з високоміцними сплавами та здатність наносити метал без перегріву підкладки, що мінімізує ризик термічних пошкоджень та деформацій.

Ця технологія особливо корисна у випадках, коли необхідно наносити метали з високою міцністю, такі як титан, сталь нержавіюча або алюмінієві сплави, і при цьому зберегти оригінальні властивості матеріалу. Завдяки можливості роботи без плавлення металу холодне розпилення знижує ймовірність виникнення структурних дефектів, таких як тріщини або небажана пористість.

Технологія холодного розпилення є важливою частиною гібридного виробництва, надаючи унікальні можливості нанесення міцних металевих покриттів та створення нових деталей. Висока міцність, низька пористість та здатність працювати з різними металами роблять холодне розпилення перспективним рішенням для різних галузей промисловості, включаючи авіацію, медицину та енергетику. Використання холодного розпилення в гібридних

верстатах розширює можливості адитивного виробництва та відкриває нові горизонти для створення більш міцних та довговічних компонентів.

1.6 Ультразвукове адитивне виробництво

Ультразвукове адитивне виробництво, розроблене компанією Fabrisonic, засноване на технології ультразвукового зварювання, яке було винайдено ще у 1950-х роках. Ця технологія використовує ультразвукові вібрації для створення міцних з'єднань між металевими шарами, що робить її унікальною серед інших адитивних методів.

Процес UAM полягає у використанні ультразвукових хвиль для з'єднання тонких металевих фольг у тривимірні об'єкти. Технологія використовує спеціальний ролик, який прокочується фольгою, одночасно віброуючи. Ці вібрації створюють механічне очищення поверхні металів, що сприяє їх надійному з'єднанню. Цей процес не вимагає плавлення матеріалу, що є його ключовою перевагою.

Основні етапи роботи UAM включають:

- 1) Прокат фольги з одночасними ультразвуковими вібраціями, що призводить до зчеплення шарів.
- 2) Накладення шарів один на одного на кшталт "цегляної кладки", створюючи тривимірну форму.
- 3) Завершення процесу за допомогою субтрактивних методів (фрезерування), що дозволяє отримати виріб з високою точністю та якістю поверхні.

Однією з головних переваг ультразвукового адитивного виробництва є його низька робоча температура. У процесі UAM деталі нагріваються не вище 200°F (близько 93°C), що мінімізує вплив тепла на структуру металу. Завдяки цьому властивості матеріалу зберігаються як на вході, так і на виході. Наприклад,

такі матеріали, як алюміній або титан, що не змінюють свої характеристики в процесі з'єднання, що робить UAM ідеальним для створення складних деталей, що вимагають збереження початкових властивостей.

Ще одна значна перевага UAM – це здатність з'єднувати різномірні метали в одній деталі без утворення інтерметалідів або інших небажаних металургійних наслідків. Це відкриває можливості для створення композитних матеріалів із унікальними властивостями, таких як міцність та теплопровідність, комбінуючи метали, які складно поєднати традиційними методами.

Наприклад, за допомогою UAM можна з'єднати такі метали, як алюміній та мідь, які в нормальних умовах важко зварити один з одним через відмінності в температурах плавлення та фізичних властивостях. Це робить технологію особливо корисною для створення складних компонентів, які застосовуються в аерокосмічній, автомобільній та медичній галузях.

Fabrisonic модернізує стандартні фрезерні верстати з ЧПК, додаючи до них ультразвукову зварювальну головку. Це дозволяє гібридним верстатам працювати з використанням стандартного G-коду, що спрощує керування процесом. В результаті верстат може послідовно виконувати два процеси: друкувати деталі з використанням ультразвукового зварювання, а потім обробляти їх субтрактивними методами для досягнення необхідних розмірів та якості поверхні.

Така інтеграція двох технологій в одному верстаті забезпечує високу точність та ефективність, дозволяючи створювати деталі у формі, близькій до заданої, з мінімальною кількістю відходів.

Переваги UAM:

- 1) Низька температура обробки: відсутність необхідності у плавленні матеріалу дозволяє зберігати вихідні властивості металів.
- 2) Комбінація різномірних металів: можливість поєднувати матеріали, які складно поєднати іншими методами.
- 3) Інтеграція з традиційними верстатами ЧПК: використання стандартних фрезерних верстатів із додаванням адитивних можливостей.

4) Економія матеріалів: технологія ультразвукового зварювання мінімізує відходи та знижує витрати на матеріали.

5) Міцність з'єднання: завдяки металургійному зв'язку між шарами фольги, з'єднання виходять міцними та довговічними.

Ультразвукове адитивне виробництво знаходить застосування у різних галузях, де потрібна висока точність, комбінування різнорідних матеріалів та збереження вихідних властивостей металів. Це особливо важливо в авіаційній промисловості, де потрібне поєднання легкості та міцності, а також у медицині для створення високоточних компонентів для імплантатів та медичних приладів.

Технологія ультразвукового адитивного виробництва відкриває нові горизонти у гібридному виробництві, поєднуючи низькотемпературне зварювання, економічне використання матеріалів та можливість інтеграції з традиційними верстатами ЧПК. Це робить її перспективним вибором для високоточних галузей, які потребують складних та довговічних металевих компонентів.

1.7 Застосування гібридного виробництва

Гібридне виробництво - це перспективна технологія, яка знаходить застосування в різних галузях, завдяки поєднанню адитивних та субтрактивних методів. Основні галузі застосування гібридного виробництва включають аерокосмічну промисловість, медицину, виробництво прес-форм та штампів, а також ремонт та відновлення деталей. Розглянемо докладніше, як ці технології впроваджуються у конкретних галузях.

Аерокосмічна галузь є однією з найбільших сфер для адитивного виробництва металів, включаючи гібридне виробництво. У цій галузі необхідна висока точність та міцність деталей, що використовуються у літаках та космічних кораблях. Гібридне виробництво дозволяє створювати складні

металеві компоненти, які не тільки відповідають жорстким вимогам щодо ваги та міцності, але і можуть бути виготовлені з меншими витратами порівняно з традиційними методами.

Процес нашарування металів та розробки нових сплавів також відкриває можливості для створення унікальних деталей, які здатні витримувати екстремальні умови експлуатації. Однак однією з головних проблем залишається необхідність суворої сертифікації як матеріалів, так і процесів. В аерокосмічній промисловості потрібна не тільки кваліфікація готової деталі, а й перевірка на відповідність матеріалів та обладнання, що використовується у виробництві, що може ускладнити впровадження нових технологій.

Медична галузь також активно використовує гібридне виробництво, особливо у створенні імплантатів. Наприклад, титанові, нержавіючі або кобальт-хромові імплантати, такі як пластини, гвинти та стрижні, часто використовуються для фіксації кісток. Однак наявність цих імплантатів в організмі може призвести до довгострокових ускладнень, які вимагають їх видалення через кілька тижнів після операції.

Доктор Силі [1] запропонував інноваційне застосування гібридного виробництва для створення імплантатів, які можуть деградувати з певною швидкістю, що усуває необхідність повторної операції. Використовуючи можливості гібридного виробництва, можна контролювати швидкість деградації матеріалу імплантату. Наприклад, імплантати для молодих пацієнтів можуть бути запрограмовані на швидку деградацію, тоді як для людей похилого віку цей процес може бути сповільнений, щоб відповідати швидкості відновлення кісткової тканини.

У виробництві прес-форм та штампів гібридне виробництво відкриває нові можливості для ремонту та продовження терміну служби інструментів. Наприклад, можна наплавляти зношені ділянки прес-форм, відновлюючи їх функціональність, або створювати конформні канали, що охолоджують, що покращує ефективність роботи форми. Це дозволяє підприємствам економити на виготовленні нових прес-форм та знижує витрати на виробництво. Гібридне

виробництво в цій сфері може не тільки ремонтувати, а й модифікувати прес-форми, додаючи нові функціональні елементи, такі як канали, що охолоджують, які збільшують продуктивність і термін служби інструменту.

Одним із найбільш популярних застосувань гібридного виробництва є ремонт та відновлення металевих деталей. Це особливо актуально для складних компонентів, які складно чи дорого замінити. Гібридні машини можуть сканувати пошкоджену деталь, порівнювати її з оригінальним кресленням та додавати необхідну кількість матеріалу для відновлення функціональності.

Технологія спрямованого енергетичного осадження особливо підходить для відновлення зношених частин деталей, додаючи матеріал саме там, де це необхідно.

Однією із значних переваг адитивного виробництва є його здатність відновлювати зношені компоненти, замість замінювати їх повністю. В рамках проекту FlexiMan вчені показали успішне застосування АВ для ремонту робочих коліс суднових двигунів (рис. 1.12), лопаті яких були пошкоджені. Зазвичай таку деталь було б викинуто і замінено новою. Однак за допомогою адитивного виробництва було надруковано нові лопаті, що дозволило відновити функціональність колеса та продовжити термін його служби.

Якщо компонент не підлягає ремонту, його можна переробити, розбивши на сировину для подальшого використання у виробництві нових деталей. Цей підхід сприяє більш стійкому використанню ресурсів, що є важливим для морської галузі, де термін служби компонентів відіграє ключову роль.

Ще одна важлива перевага адитивного виробництва – можливість створювати гібридні рішення. У морській галузі часто використовуються великі та важкі деталі, які вимагають міцності, але не всі їх частини зазнають однакових навантажень. FlexiMan пропонує використовувати комбінацію традиційних матеріалів та адитивно виготовлених компонентів. Наприклад, великі деталі можуть бути виготовлені з дешевшої звичайної сталі, в той час як критично важливі частини, схильні до зносу, виготовляються з високоякісних матеріалів з використанням АВ.

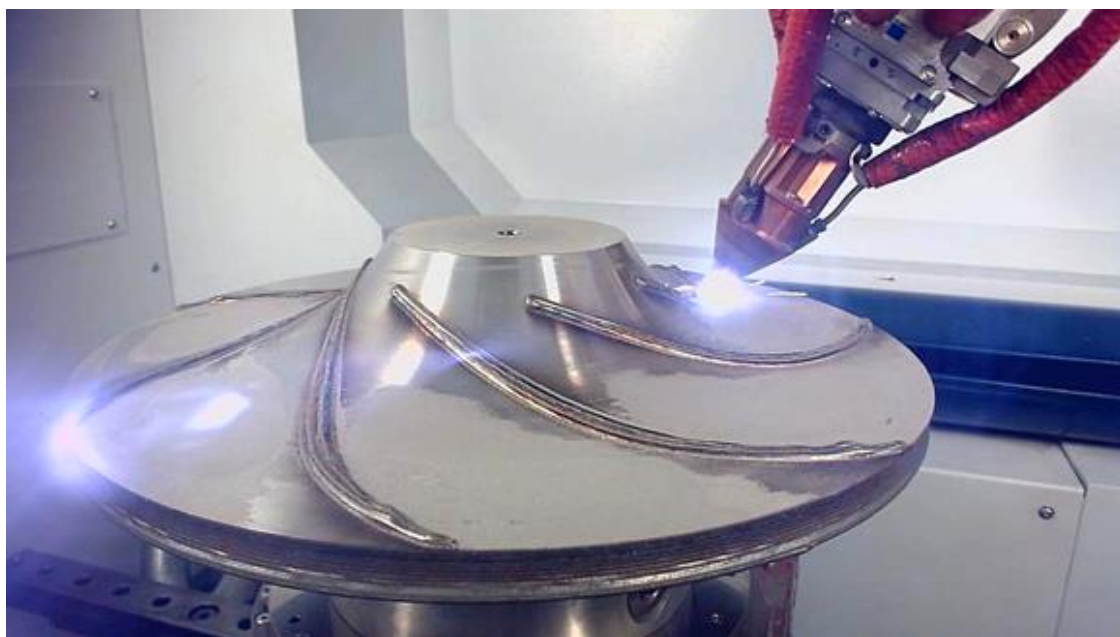


Рисунок 1.12 – Реактивні робочі колеса для суднового двигуна, що ремонтується з використанням адитивного виробництва

Крім того, завдяки адитивному виробництву можна створювати порожнисті компоненти, такі як пропелери, що дозволяє значно знизити вагу деталі. Легкі компоненти вимагають менше палива для роботи, що безпосередньо впливає на економію ресурсів та зниження викидів у морській галузі. Однак при проектуванні таких деталей необхідно враховувати їхню міцність і довговічність, що потребує детальних розрахунків та випробувань.

Незважаючи на переваги АВ, морська галузь стикається з певними викликами, пов'язаними із суворими правилами та стандартами. На відміну від аерокосмічної та автомобільної галузей, де адитивне виробництво вже активно використовується, морська галузь змушена повільно впроваджувати нові технології. Проект FlexiMan працює над тестуванням виробничих процесів, які відповідають морським стандартам. В рамках досліджень були протестовані компоненти, такі як реактивний імпелер та судновий гребний гвинт.

Завдяки АВ вони змогли надрукувати кришку імпелера цілком замість того, щоб виробляти три окремі деталі і потім їх збирати. На додаток до цього,

3D-друк дозволяє виготовляти до 30 клапанів одночасно, що значно скорочує час виробництва.

Застосування адитивного виробництва у морській галузі також може суттєво змінити процес технічного обслуговування. У майбутньому компанії, такі як Kongsberg Maritime, планують виготовляти запасні частини безпосередньо на борту судна або порту, що виключить необхідність утримувати великі запаси деталей на складі. Це покращить оперативність ремонту та знизить витрати на логістику.

Таким чином, проект FlexiMan демонструє потенціал адитивного виробництва в морській галузі як з точки зору стійкості, так і з точки зору ефективності. Технологія АВ відкриває нові можливості для розробки більш легких, міцних та стійких компонентів, а також полегшує процеси ремонту та технічного обслуговування суден.

Гібридне виробництво дозволяє наносити захисні покриття, такі як зносостійкі або антикорозійні, на деталі, продовжуючи тим самим термін їх служби.

Гібридне виробництво дозволяє додавати нові функціональні елементи до вже існуючих компонентів. Наприклад, можна взяти заготовку, обробити її традиційними методами, а потім надрукувати на її поверхні новий елемент. Це відкриває можливості для створення багатофункціональних деталей, які поєднують різні методи обробки.

Гібридне виробництво пропонує різноманітні та перспективні рішення для таких галузей, як аерокосмічна, медична, інструментальна та ремонтна промисловість. Можливості комбінування адитивних і субтрактивних процесів дозволяють як створювати нові компоненти, а й відновлювати зношені деталі, що робить цю технологію привабливою підприємств, котрі прагнуть скорочення витрат і підвищення ефективності.

1.8 Висновки

Коли мова заходить про гібридні верстати, природно виникає питання: чи справді варто об'єднувати адитивні та субтрактивні процеси в одній машині? В умовах, коли існують як автономні субтрактивні верстати, так і все більше автономних 3D принтерів для металів, стає важливим зрозуміти, в чому конкретні переваги гібридних верстатів перед автономними машинами.

Автономні 3D-принтери для металів швидко розвиваються. Вони пропонують високу точність, можливість друку складних геометрій та виключають необхідність інтеграції із субтрактивними процесами на одному етапі. Сучасні системи з автоматичною зміною піддонів можуть забезпечити послідовний друк та обробку, скорочуючи час простою. Однак, такі принтери вимагають перенесення надрукованої деталі на інший верстат для подальшої обробки, що додає логістичних складнощів та збільшує час на виробництво.

Гібридні машини, у свою чергу, пропонують унікальну можливість поєднати адитивні та субтрактивні процеси в одній установці. Це особливо важливо для деталей складної форми, які вимагають обробки під час виробництва, а не лише на фінальному етапі.

Доцент Університету штату Арізона Дрив Бейт висловлює думку [1], що якщо гібридний верстат не здатний завершити виробництво деталі за один крок, включаючи видалення підтримки та остаточне оздоблення, то його переваги втрачаються. Його аргумент полягає в тому, що якщо після використання гібридного верстата все одно потрібні додаткові операції, доцільніше продовжувати використовувати автономні машини, уникаючи значних інвестицій у дорогі гібридні системи.

З іншого боку, гібридні машини можуть запропонувати переваги у специфічних умовах. Наприклад, доктор Сілі [1] наголошує на важливості інертного середовища при обробці реактивних металів, таких як магній. У таких ситуаціях гібридні машини дозволяють зберігати інертне середовище протягом

усього виробничого процесу, що знижує ризик займання, оскільки не потрібно переміщати деталь між операціями.

Ще одна перевага гібридних машин - можливість перемикання між адитивними та субтрактивними операціями без необхідності переміщення заготовки. Це особливо важливо при друкуванні складних внутрішніх конструкцій. Наприклад, якщо деталь потребує обробки внутрішніх частин, після використання автономних 3D-принтерів це може бути неможливо після завершення друку. Гібридні машини дозволяють друкувати деталь, обробляти її на проміжних етапах, а потім продовжити друк, що відкриває додаткові можливості для створення складних конструкцій.

Джейсон Джонс [1], генеральний директор Hybrid Manufacturing Technologies акцентує увагу на економічних перевагах гібридних машин. Він наводить приклад компанії з Південної Америки, яка спромоглася скоротити свої капітальні витрати на обладнання майже на 50%, перейшовши на гібридну машину. До цього вони використовували три або чотири установки для виконання різних операцій, включаючи попереднє нагрівання, додавання металу ручним зварюванням та механічну обробку. Поєднання цих процесів в одній машині дозволило значно знизити витрати та спростити виробничий процес.

Гібридне виробництво має потенціал змінити способи, якими ми проектуємо, виробляємо, ремонтуємо та модифікуємо критично важливі компоненти у таких галузях, як аерокосмічна, медична, інструментальна та штампова промисловості. Наприклад, гібридні машини можуть бути ідеальними для ремонту та відновлення складних металевих деталей, а також додавання нових функцій до вже існуючих компонентів. Можливість поєднувати функції друку та обробки на одному верстаті знижує кількість необхідних виробничих кроків, що призводить до економії часу та ресурсів.

Впровадження гібридного виробництва в автомобільній промисловості поки що не набрало значних оборотів. Однак гібридні машини пропонують перспективи для масового виробництва за рахунок своєї універсальності щодо низької вартості та можливості інтеграції з існуючими програмними рішеннями.

Це може зробити гібридне виробництво ідеальним варіантом для впровадження адитивних технологій у виробництво на великих підприємствах.

Гібридні машини забезпечують гнучкість та можливість інтеграції адитивних та субтрактивних операцій в одному процесі. Залежно від конкретних завдань та галузі, вибір застосування даного методу залежатиме від вимог до точності, швидкості та капітальних витрат.

2 АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНОГО ВЕРСТАТУ

В умовах технологій, що стрімко розвиваються, виробництво механічних деталей стає все більш автоматизованим та інноваційним. Одним із передових рішень для створення складних деталей, таких як маточини, є використання гібридних верстатів з ЧПК, таких як LASERTEC 65 DED hybrid (рис. 2.1). Цей верстат поєднує можливості адитивного виробництва з методами традиційної механічної обробки, що дозволяє як підвищити точність виготовлення деталей, а й значно скоротити часові витрати весь процес.



Рисунок 2.1 – Верстат LASERTEC 65 DED hybrid [4]

Технічні характеристики верстата:

- 1) Максимальний хід по осі X – 735 мм
- 2) Максимальний хід по осі Y – 650 мм
- 3) Максимальний хід осі Z – 560 мм
- 4) Потужність лазера – 3000 Вт

5) Максимальна вага заготовки – 600 кг

Верстат використовує 5-осьове напилення матеріалу коаксіальним соплом для рівномірного розподілу порошку, незалежно від напрямку лазерного зварювання. Верстат включає AM Assistant для кращої надійності процесу та комплексної простежуваності. А також інтегровану тепловізійну камеру для спостереження за всією робочою зоною, адаптивного керування процесом та постійного контролю робочої відстані, датчик швидкості подачі порошку, автоматичне калібрування порошку.

У санці встановлений AM Evaluator для візуалізації відповідних даних процесу (наприклад, розмір розплавленої ванни, масова витрата порошку) у вигляді цифрової 3D-моделі, а також у хронологічній послідовності.

Верстат має панель керування ERGO line 21,5" з CELOS, Sinumerik 840D sl, мультисенсорним дисплеєм та тактильними клавішами керування (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Панель керування верстата

Переваги гібридного верстата LASERTEC 65 DED hybrid:

1) LASERTEC 65 DED hybrid – це унікальний верстат, який поєднує в собі адитивне виробництво методом DED та традиційну токарну обробку. Ось ключові переваги цієї системи:

2) Швидкість та економія часу: Гібридний верстат дозволяє виконувати процес створення заготівлі, так і її механічну обробку на одному обладнанні. Це унеможлиблює переміщення заготовки між різними верстатами, що прискорює процес виробництва.

3) Висока точність: Після завершення адитивного створення заготівлі маточини верстат переходить до традиційної механічної обробки без зміни інструменту або заготівлі. Це дозволяє зберігати точність виконання операцій кожному етапі.

4) Мінімізація відходів: Метод DED вимагає лише потрібної кількості матеріалу для створення заготовки, що зменшує об'єм металевої стружки та відходів. При обробці маточок це особливо важливо, оскільки форма деталі може мати складні геометричні особливості.

5) Універсальність: LASERTEC 65 DED hybrid здатний працювати з різними матеріалами, що відкриває можливості для виробництва деталей зі сталі, титанових сплавів та інших високоміцних металів, що використовуються в авіаційній, автомобільній та інших галузях промисловості.

Процес виробництва маточини на верстаті LASERTEC 65 DED hybrid включає:

1) Етап адитивного створення заготовки: Верстат починає процес із застосування технології DED. Під впливом лазера на заготівлю наноситься металевий порошок, який плавиться та твердіє, формуючи основу маточини. Процес відбувається по заздалегідь заданій 3D-моделі, що забезпечує високу точність форми та розмірів.

2) Токарна обробка заготовки: Після завершення формування заготовки верстат переходить до наступного етапу - механічної обробки. Використовуючи токарні інструменти, верстат обробляє поверхню маточини, надаючи їй остаточної форми та забезпечуючи необхідні допуски та шорсткість поверхні.

3) Завершальний контроль якості: Після обробки заготовки верстат виконує контрольні виміри, щоб переконатися, що всі параметри деталі

відповідають вимогам креслення. У разі необхідності виконується фінальне припасування.

Використання гібридного верстата LASERTEC 65 DED hybrid для автоматизованого виробництва маточок має кілька важливих переваг:

1) Скорочення виробничих етапів: За рахунок об'єднання адитивного та традиційного методів на одному обладнанні скорочується час на виробництво.

2) Підвищення якості деталей: Автоматизація та висока точність процесів зводять до мінімуму ймовірність помилок.

3) Економія матеріалів: При використанні методу DED витрачається мінімальна кількість матеріалу, що особливо важливо під час роботи з дорогими металами.

4) Гнучкість у виборі матеріалів та конфігурацій: Верстат дозволяє працювати з широким спектром металів та створювати маточини різної складності та конфігурації.

Таким чином, гібридні верстати, такі як Lasertec 65 DED hybrid, відкривають нові горизонти для автоматизації виробництва механічних деталей. Вони поєднують у собі точність, економічність та можливість інтеграції передових технологій, що робить їх незамінними у сучасній промисловості.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Маточина – це важливий елемент авіадвигуна, призначений для з'єднання шківів з швидкохідним валом. Вона відіграє ключову роль у передачі обертального моменту та утриманні шківів на осі, а також забезпечує його плавне обертання.

Маточина має циліндричну форму із внутрішнім отвором (рис. 3.1). У середині маточини виконані шліци для щільного з'єднання з валом, що забезпечує надійну передачу обертального моменту. На фланці передбачені отвори для кріплення шківів. По зовнішньому діаметру 35 мм встановлюється підшипник. Установка підшипника дозволяє рівномірно розподіляти навантаження та знижувати тертя у вузлі.

Маточина, виготовлена із титану VT0-1 та характеризується хорошими механічними властивостями. VT0-1 призначений для виробів з високою міцністю при достатній пластичності та в'язкості, високим опором малим пластичним деформаціям, крихкому та втомному руйнуванню, що застосовуються в машинобудуванні, приладобудуванні та інструментальній промисловості, для виготовлення виробів криогенної техніки. Хімічний склад VT0-1: Ti – основа, Fe<0,25%, Si<0,1%, N<0,04%, C<0,07%. Механічні властивості представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізичні властивості VT0-1 [5]

Властивість	Значення
Щільність	4500 кг/м ³
Межа міцності при розтягуванні	540 МПа
Межа плинності	355 МПа
Відносне подовження	15 %

Виготовлення маточини зі ВТ0-1 забезпечує високу міцність і довговічність, що робить її відмінним вибором для застосування в авіадвигунах.

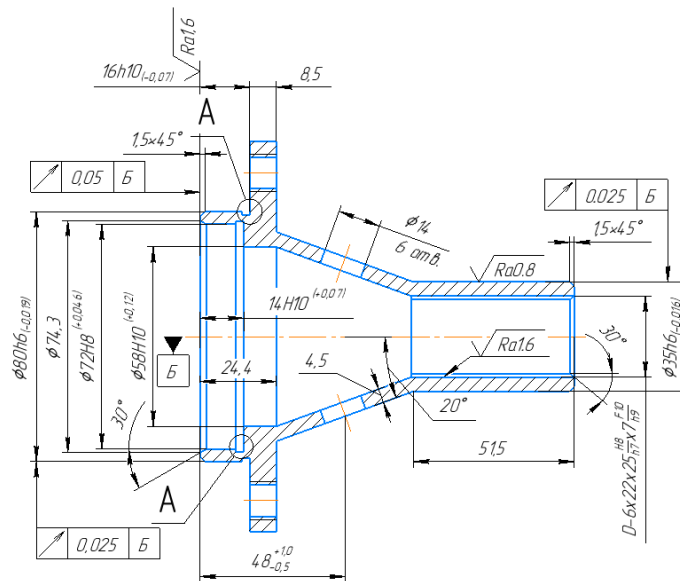


Рисунок 3.1 – Маточина

3.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Для виготовлення 50 штук маточин на рік масою 1,15 кг попередньо вибираємо одиничний тип виробництва [6]. Для такої партії попередньо вибираємо потокову форму організації робіт [6]. Партія оброблюваних деталей:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (3.1)$$

де N – річна програма випуску, $N=50$ шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво, $\alpha=3\dots 5$;

A – кількість робочих днів на рік, $A=250$ днів.

$$n = \frac{5 \cdot 50}{250} = 1 \text{ шт}$$

3.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Враховуючи те, що тип виробництва одиничний, партія деталей, що запускається у виробництво складає одну штуку, застосовувати такі методи отримання заготовок, як штампування або лиття економічно не доцільно. Тому обираємо для порівняння наступні методи отримання заготовок: прокат (рис. 3.2) та адитивне виробництво (рис. 3.3). Маса заготовок визначаємо за допомогою програмного забезпечення.

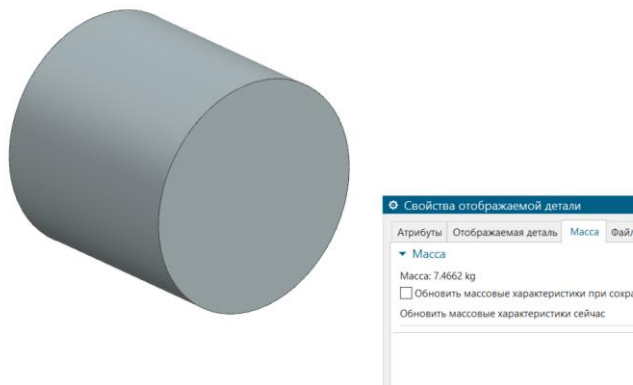


Рисунок 3.2 – Ескіз заготовки отриманої з прокату

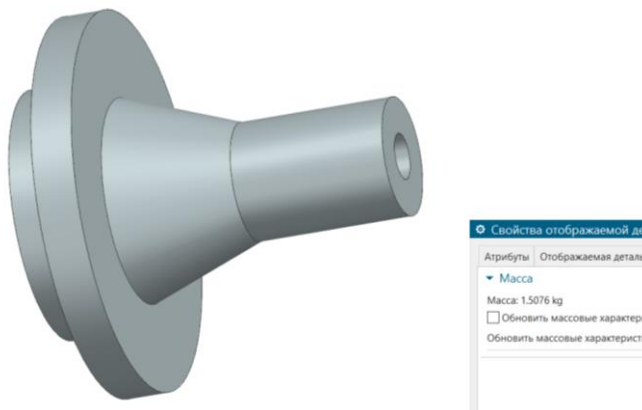


Рисунок 3.3 – Ескіз заготовки отриманої адитивним методом

Заготовка отримана адитивним методом, створюється шляхом наплавлення металу на попередньо виготовлену основу. Основа уявляє собою диск виготовлений з прокату масою 1,8 кг (рис. 3.4). Собівартість виготовлення заготовки адитивним методом складається з вартості прокату, механічної обробки основи (1000 грн/шт), вартості 0,7 кг дроту (2700 грн/кг) для наплавлення на існуючому обладнанні.

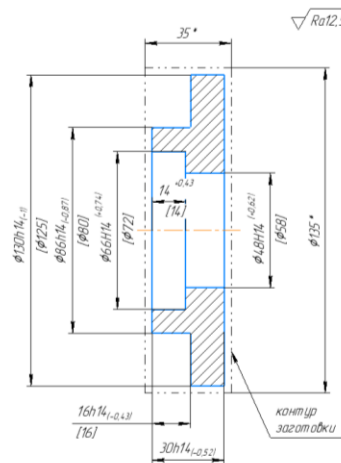


Рисунок 3.4 – Ескіз основи під адитивне наплавлення заготовки

Собівартість виготовлення заготовки розраховуємо за формулою [7]:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000} \quad (3.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість прокату з ВТ1-0, $B_B=1600\ 000$ грн/т.

$B_{\text{відх}}$ – вартість стружки, $B_{\text{відх}}=8000$ грн/т.

$$B_{\text{п1}} = \frac{1600000}{1000} \cdot 7,46 - (7,46 - 0,66) \cdot \frac{8000}{1000} = 11392 \text{ грн}$$

$$B_{\text{п2}} = \frac{1600000}{1000} \cdot 1,8 - (1,8 - 0,9) \cdot \frac{140}{1000} = 2808 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ад}} = 2808 + 1000 + 2700 \cdot 0,7 = 5698 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою [7]:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (3.3)$$

$$\eta_{\text{п}} = \frac{0,66}{7,46} = 0,09$$

$$\eta_{\text{ад}} = \frac{0,66}{0,7+1,8} = 0,26$$

Річні заощадження при виготовленні заготовок адитивним методом:

$$E_{\text{в}} = (B_{\text{п}} - B_{\text{ад}}) \cdot N, \quad (3.4)$$

$$E_{\text{в}} = (11392 - 2808) \cdot 50 = 429200 \text{ грн}$$

Заощадження на металі при виготовленні заготовки штампуванням:

$$M_{\text{е}} = \frac{q(\eta_{\text{п}} - \eta_{\text{ад}})}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ад}}} \cdot N \quad (3.5)$$

$$M_{\text{е}} = \frac{0,66 \cdot (0,26 - 0,09)}{0,26 \cdot 0,09} \cdot 50 = 239,7 \text{ кг}$$

Розрахунок собівартості показав, що найбільш економічним методом отримання заготовок є адитивні технології.

3.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

3.4.1 Вибір технологічних баз

Для базування при адитивному виготовленні заготовки в якості бази використовуємо зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 80$ та крайній торець (рис. 2.1). При чорновому та чистовому точінні деталі в якості бази використовуємо

зовнішні циліндричні поверхні Ø125, Ø80 та крайній торець. При свердлінні отворів в якості бази використовуємо внутрішні шліці. Для шліфування використовуємо в якості баз фаски в центральному отворі. Для протягування шліців обираємо як базу крайній торець та зовнішню циліндричну поверхню Ø35.

3.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Проектування маршруту обробки поверхонь (МОП) – це розробка певної послідовності технологічних переходів обробки поверхні заготовки, необхідні досягнення заданих показників якості цієї поверхні в деталі.

Загальне уточнення за показниками для поверхні Ø16_{-0,043} розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (3.6)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, $Td_3 = 2000$ мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, $Td_d = 16$ мкм;

$$\varepsilon_d = \frac{2}{0,016} = 125;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (3.7)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, $Ra_3 = 50$;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, $Ra_d = 0.8$;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{50}{0.8} = 62,5;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (3.8)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, $\Delta_3 = 1000$ мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, $\Delta_d = 25$ мкм.

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{1}{0,025} = 40;$$

Розраховуємо кількість переходів обробки за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (3.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 125 = 4,8 \rightarrow 5$$

Встановлюємо наступну послідовність показників точності та якості (ПШТЯ):

1) Для допуску – IT17 → h12 → h10 → h8 → h7 → h6;

2) Для шорсткості – Ra50 → Ra12,5 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння напівчистове, точіння чистове, шліфування чорнове, шліфування чистове.

Для першого переходу уточнення ($T_{D1}=250$ мкм; $T_{Ra1}=12,5$ мкм [8]):

$$\varepsilon_{d1} = \frac{2000}{250} = 8;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{50}{12,5} = 4.$$

Для другого переходу уточнення ($T_{D2}=100$ мкм; $T_{Ra2}=6,3$ мкм [8]):

$$\varepsilon_{d2} = \frac{250}{100} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{12,5}{6,3} = 2.$$

Для третього переходу уточнення ($T_{D3}=39$ мкм; $T_{Ra3}=3,2$ мкм [8]):

$$\varepsilon_{d3} = \frac{100}{39} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra3} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Для четвертого переходу уточнення ($T_{D4}=25$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [8]):

$$\varepsilon_{d4} = \frac{39}{25} = 1,5;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Для п'ятого переходу уточнення ($T_{D5}=16$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [8]):

$$\varepsilon_{d4} = \frac{25}{16} = 1,5;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{1,6}{0,8} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 8 \cdot 2,5 \cdot 2,5 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 112,5 < \varepsilon_d = 125;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 64 < \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

Для решти поверхонь розрахунок проводимо аналогічним чином, отримані результати наведені в таблиці 3.2.

3.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) – послідовність виконання технологічних операцій з визначенням змісту операцій, вибором обладнання та технологічного оснащення для їх виконання. МВД деталі «Маточина» визначимо у наступній послідовності:

- 1) Отримання основи для адитивного вирощування заготовки.

Таблиця 3.2 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня Ø35 _(-0,016) Ra0,8	Td	125	4,8	5	ΔIT = IT17 – h6 = 11 IT17 → h12 → h10 → h8 → h7 → h6 Ra50 → Ra12,5 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	1	Заготовка	2	50	-	-
						2	Точіння чорнове	0,25	12,5	8	4
	3	Точіння напівчистове	0,1	6,3		2,5	2				
	4	Точіння чистове	0,039	3,2		2,5	2				
	5	Шліфування чорнове	0,025	1,6		1,5	2				
	6	Шліфування чистове	0,016	0,8		1,5	2				
Зовнішня циліндрична поверхня Ø80 _(-0,019) Ra0,8	Td	45,8	3,8	4	ΔIT = h14 – h6 = 8 h14 → h12 → h10 → h8 → h6 Ra12,5 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	1	Заготовка	0,87	12,5	-	-
						2	Точіння чорнове	0,3	6,3	2,9	2
	3	Точіння чистове	0,12	3,2		2,5	2				
	4	Шліфування чорнове	0,046	1,6		2,6	2				
	5	Шліфування чистове	0,019	0,8		2,4	2				

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 72^{(+0,019)}$ Ra0,8	Td	38,9	3,7	4	$\Delta IT = H14 - H6 = 8$ H14 → H12 → H10 → H8 → H6 Ra12,5 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	1	Заготовка	0,74	12,5	-	-
						2	Точіння чорнове	0,3	6,3	2,5	2
	Ra	15,6				3	Точіння чистове	0,12	3,2	2,5	2
						4	Шліфування чорнове	0,046	1,6	2,6	2
						5	Шліфування чистове	0,019	0,8	2,4	2
Торцюва поверхня $14^{(+0,07)}$ Ra3,2	Td	6,1	1,8	2	$\Delta IT = H14 - H10 = 4$ H14 → H12 → H10 Ra12,5 → Ra6,3 → Ra3,2	1	Заготовка	0,43	12,5	-	-
						2	Точіння чорнове	0,18	6,3	2,4	2
	Ra	4				3	Точіння чистове	0,07	3,2	2,6	2
Торцюва поверхня $16^{(-0,07)}$ Ra3,2	Td	6,1	1,8	2	$\Delta IT = H14 - H10 = 4$ H14 → H12 → H10 Ra12,5 → Ra6,3 → Ra3,2	1	Заготовка	0,43	12,5	-	-
						2	Точіння чорнове	0,18	6,3	2,4	2
	Ra	4				3	Точіння чистове	0,07	3,2	2,6	2

- 2) Отримання заготовки адитивним методом
- 3) Механічна чорнова та чистова обробка.
- 4) Мийка, контроль.
- 5) Механічна фінішна обробка.
- 6) Мийка, контроль.

Докладний МВД наведено в графічній частині дипломної роботи.

3.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для поверхні $\varnothing 35_{(-0,016)}$ припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом. Призначимо характеристику поверхонь за переходами:

- 1) для заготовки: $Rz_1=320$ мкм та $h_1 = 250$ мкм [8];
- 2) для чорнового точіння: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [8];
- 2) для получистового точіння: $Rz_3=20$ мкм та $h_2=20$ мкм [8];
- 3) для чистового точіння: $Rz_4=10$ мкм та $h_3=15$ мкм [8];
- 4) для шліфування чорнового: $Rz_5=6,3$ мкм та $h_5=10$ мкм [8];
- 4) для шліфування чистового: $Rz_6=3,2$ мкм та $h_5=5$ мкм [8];

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{\text{пар}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2}, \quad (3.10)$$

де $\rho_{\text{кор}}$ – похибка від перекоосу.

$\rho_{\text{пар}}$ – похибка паралельності

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\text{п}} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (3.11)$$

$$\rho_{\text{пар}} = \Delta_{\text{оп}} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (3.12)$$

де $\Delta_{\text{п}}$ – перекіс центрального отвору, $\Delta_{\text{п}}=2,5$ мкм/мм [8];

$\Delta_{\text{оп}}$ – похибка паралельності, $\Delta_{\text{оп}} = 2,2$ мкм/мм [8].

$$\rho_{\text{кор}} = 2,5 \cdot 120 = 300 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{пар}} = 2,2 \cdot 120 = 264 \text{ мкм}$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,300^2 + 0,264^2} = 0,4 \text{ мм}$$

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються за формулою:

$$\rho_j = K_{\text{ут}} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (3.13)$$

де $K_{\text{ут}}$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [8].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 400 = 24 \text{ мкм}$$

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 24 = 1 \text{ мкм}$$

$$\rho_4 = 0,03 \cdot 1 = 0,03 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 0,02 \cdot 0,03 = 0 \text{ мкм}$$

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 0 = 0 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення за переходами розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon_i = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (3.14)$$

де ε_2 – похибка закріплення, $\varepsilon_2=0,4\text{мм}$ [8].

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 40 = 24 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_4 = 0,03 \cdot 24 = 1 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 0,02 \cdot 1 = 0,02 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0,02 = 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної:

$$2z_i^{\text{min}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (3.15)$$

$$2z_2^{\text{min}} = 2(320 + 250 + \sqrt{400^2 + 400^2}) = 2271 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\text{min}} = 2(40 + 40 + \sqrt{24^2 + 24^2}) = 228 \text{ мкм};$$

$$2z_4^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{1^2 + 1^2}) = 84 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,03^2 + 0,02^2}) = 50 \text{ мкм};$$

$$2z_6^{\min} = 2(6,3 + 10 + \sqrt{0^2 + 0^2}) = 32 \text{ мкм};$$

Максимальний розмір поверхні:

$$d_6^{\max} = d_6^{\min} + ES_{d_6} \quad (3.16)$$

$$d_6^{\max} = 35 + 0 = 35 \text{ мм}$$

Максимальний розмір для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (3.17)$$

$$d_5^{\max} = 35 + 0,032 + 0,025 = 35,057 \text{ мкм};$$

$$d_4^{\max} = 35,057 + 0,05 + 0,039 = 35,146 \text{ мкм};$$

$$d_3^{\max} = 35,146 + 0,084 + 0,1 = 35,33 \text{ мкм};$$

$$d_2^{\max} = 35,33 + 0,228 + 0,25 = 35,808 \text{ мкм};$$

$$d_1^{\max} = 35,808 + 2,271 + 2 = 40,079 \rightarrow 40,1 \text{ мкм}.$$

Мінімальний розмір поверхні:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (3.18)$$

$$d_6^{\min} = 35 - 0,016 = 34,984 \text{ мм};$$

$$d_5^{\min} = 35,057 - 0,025 = 35,032 \text{ мм};$$

$$d_4^{\min} = 35,146 - 0,039 = 35,107 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 35,33 - 0,1 = 35,23 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 35,808 - 0,25 = 35,558 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 40,1 - 2 = 38,1 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (3.19)$$

$$2z_2^{\max} = 40,1 - 35,558 = 4,542 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 35,808 - 35,23 = 0,578 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\max} = 35,33 - 35,107 = 0,223 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 35,146 - 35,032 = 0,114 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 35,057 - 34,984 = 0,162 \text{ мм};$$

Перевірка правильності розрахунків технологічних розмірів:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}}; \quad (3.20)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min}; \quad (3.21)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max}; \quad (3.22)$$

$$2z_0^{\max} = 40,1 - 34,984 = 5,116 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\min} = 38,1 - 35 = 3,1 \text{ мм};$$

$$TD_0 = 2 + 0,016 = 2,016 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 5,116 - 3,1 = 2,016 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 38,9_{-0,8}^{+1,2}$ мм.

Для решти поверхонь розрахунок проводимо аналогічним чином та заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок припусків

Поверхня	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки		Td, мм	d_i^{\max} , мм	d_i^{\min} , мм	$2z_i^{\max}$ МКМ	
Ø35 _(-0,016)	17	Заготовка	2	40,1	38,1	-	-	Ø38,9 ^{+1,2} _{-0,8}
	14	Точіння чорнове	0,25	35,808	35,558	4542	2271	Ø 35,8 _{-0,25}
	10	Точіння получистове	0,1	35,33	35,23	578	228	Ø 35,3 _{-0,1}
	8	Точіння чистове	0,039	35,146	35,107	223	84	Ø 35,15 _{-0,039}
	7	Шліфування чистове	0,025	35,057	35,032	114	50	Ø 35,06 _{-0,025}
	6	Шліфування чистове	0,016	35	34,984	162	32	Ø35 _{-0,016}
Ø80 _(-0,019)	14	Заготовка	0,87	84,6	83,73	-	-	Ø84,6 _{-0,87}
	10	Точіння чорнове	0,3	81,266	80,966	3634	2500	Ø 81,2 _{-0,3}
	8	Точіння чистове	0,12	80,466	80,346	920	500	Ø 80,4 _{-0,12}
	7	Шліфування чистове	0,046	80,146	80,1	366	200	Ø 80,15 _{-0,046}
	6	Шліфування чистове	0,019	80	79,981	165	100	Ø 80 _{-0,019}
Ø72 ^(+0,019)	17	Заготовка	0,74	68,234	67,494	-	-	Ø 67,5 ^{+0,74}
	14	Точіння чорнове	0,3	71,034	70,734	3540	2500	Ø 70,7 ^{+0,3}
	12	Точіння чистове	0,12	71,654	71,534	920	500	Ø 71,5 ^{+0,12}
	10	Шліфування чистове	0,046	71,9	71,854	366	200	Ø 71,8 ^{+0,046}
	9	Шліфування чистове	0,019	72,019	72	165	100	Ø 72 ^{+0,019}
14 ^(+0,07)	14	Заготовка	0,43	10,82	10,39	-	-	Ø 10,4 ^{+0,43}
	12	Точіння чорнове	0,18	13,5	13,32	3110	2500	Ø 13,3 ^{+0,18}
	10	Точіння чистове	0,07	14,07	14	750	500	Ø 14 ^{+0,07}

3.6 Розрахунок режимів різання

Режими різання виконаємо на прикладі токарної чистової операції 045 (рис. 3.5). Для операції обираємо токарний верстат з ЧПК OKUMA LU 15 W. Для закріплення деталі використовуємо трьохкулачковий патрон. Операція складається з двох переходів: точіння зовні та розточування отвору. Технічна характеристика верстата OKUMA LU 15W:

- 1) Управління – OSP 7000L.
- 2) Максимальний діаметр над станиною – 530 мм.
- 3) Максимальний діаметр повороту – 270 мм.
- 4) Відстань між шпинделями – 875 мм.
- 5) Обороти шпинделя від 45 до 4500 об/хв.
- 6) Інструментальний магазин – 12 інструментів.
- 7) Тримачі інструменту – VDI 40.
- 8) Потужність двигуна шпинделя – 15/22 кВт.
- 9) Вага машини – 5300 кг.

В якості інструменту обираємо: різець підрізний $\varphi=95^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\gamma=8^\circ$; $r=0,8$ мм, 25x16x140, BK6 ГОСТ 18880-73 [9]; різець розточний $\varphi=95^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\gamma=8^\circ$; $r=0,8$ мм, 25x16x140, BK6 ГОСТ 18883-73 [9];

Розрахуємо режими різання для переходу точіння зовні.

Припуск на різання:

$$h = D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}, \quad (3.23)$$

де $D_{\text{заг}}$ – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$ – операційний розмір деталі, мм.

$$h = 35,3 - 35,15 = 0,15 \text{ мм}$$

$K_{SM}=0,8$ [10];

K_{SI} – коефіцієнт, що враховує відношення вильоту різця до його довжини,
 $K_{SI}=0,74$ [10];

$K_{S\varepsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{S\varepsilon}=1,0$ [10].

$$K_S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \cdot 1,0 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,29$$

$$S_0 = 0,28 \cdot 0,29 = 0,08 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_0 = 0,1$ мм/об.

Швидкість точіння розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (3.27)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T=80$ м/хв [10];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{Vj} \cdot K_{Vo} \cdot K_{VT} \cdot K_{VNB} \cdot K_{V\varepsilon} \cdot K_{Vж} \quad (3.28)$$

де K_{VM} – коефіцієнт, що враховує матеріал, $K_{VM}=0,85$ [10];

K_{VI} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{VI}=0,8$ [10];

K_{Vj} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата, $K_{Vj}=1,0$ [10];

K_{Vo} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{Vo}=0,9$ [10];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента, $K_{VT}=0,7$ [10];

K_{VNB} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу,
 $K_{VNB}=1,0$ [10];

$K_{V\varepsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{V\varepsilon}=1,0$ [10];

$K_{Vж}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{Vж}=1,0$ [10].

$$K_V = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,43$$

$$V = 80 \cdot 0,43 = 34,4 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (3.29)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 34,4}{3,14 \cdot 125} = 87,6 \text{ об/хв}$$

Приймаємо фактичну частоту обертання шпинделя $n_d=90$ об/хв.

Дійсна швидкість різання розраховується за формулою:

$$V_d = \frac{n_d \cdot \pi \cdot D}{1000} \quad (3.30)$$

$$V_d = \frac{90 \cdot 3,14 \cdot 125}{1000} = 35 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу при точінні розраховується за формулою:

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (3.31)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – довжина врізання [10];

$l_{пер}$ – довжина перебігу [10].

$$L_{px} = 2 + 183,9 + 2 = 187,9 \text{ мм}$$

Розрахунок для розточування отвору виконуємо аналогічно, результат розрахунків наведено в таблиці 2.8.

Основний час точіння розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (3.32)$$

$$t_o = \frac{131,6}{0,1 \cdot 90} + \frac{56,3}{0,1 \cdot 500} = 20,9 \text{ хв}$$

Для інших операцій розрахунок режимів різання виконуємо аналогічним чином, результати цих обчислень наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок режимів різання

Номер та назва операції	Номер	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кількість проходів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
010 Токарна з ЧПК	01	1	4	0,2	30	900
	02	5	1	0,1	10	300
	03	10	1	0,1	10	150
015 Токарна з ЧПК	01	1	4	0,2	32	90
	02	1	4	0,2	32	100
025 Фрезерна з ЧПК	01	1	4	0,2	33	320
	02	1	4	0,2	30	400
030 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	30	90
	02	1	2	0,2	35	400
035 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	33	320
	02	0,5	2	0,1	30	400
040 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	32	90
	02	0,5	2	0,1	30	150
	03	2,5	1	0,05	40	150
	04	2,5	1	0,05	32	150
045 Токарна з ЧПК	01	0,2	1	0,1	35	90
	02	0,2	1	0,1	35	500
050 Протяжна	01	1,5	1	0,025мм/зуб	2м/хв	
055 Свердлильна з ЧПК	01	1	6	0,2	10	1600
	02	7	6	0,2	10	230
060 Свердлильна з ЧПК	01	1	6	0,2	10	1600
	02	4	6	0,2	10	400
080 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,005	50	1670
085 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,005	50	1670
090 Внутрішньошліфувальна	01	0,2	1	0,005	30/25	2300/500
095 Круглошліфувальна	01	0,1	1	0,0025	50	1670
100 Круглошліфувальна	01	0,1	1	0,0025	50	1670
105 Внутрішньошліфувальна	01	0,1	1	0,0025	30/25	2300/500

3.7 Технічне нормування операцій

Технічне нормування виконаємо на прикладі токарної операції 045.

Розраховуємо допоміжний час:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{пр.рух.}} + t_{\text{контр}} , \quad (3.33)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,3$ хв [11];

$t_{\text{уп}}$ – час на управління верстатом, $t_{\text{уп}} = 0,1$ хв [11];

$t_{\text{пр.рух.}}$ – час пришвидшених рухів, $t_{\text{пр.рух.}} = 0,3$ хв [11];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, $t_{\text{контр}} = 0,1$ хв [11];

$$t_{\text{доп}} = 0,3 + 0,1 + 0,3 + 0,1 = 0,8 \text{ хв}$$

Розраховуємо оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}} \quad (3.34)$$

$$t_{\text{оп}} = 20,9 + 0,8 = 21,7 \text{ хв}$$

Розраховуємо додатковий час:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (3.35)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [11].

$$t_{\text{дод}} = 21,7 \cdot 0,1 = 2,17 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучний час:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (3.36)$$

$$t_{\text{шт}} = 21,7 + 2,17 = 23,87 \text{ хв}$$

Розраховуємо підготовчо-заклучний час:

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} \quad (3.37)$$

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що включає наладку верстату, інструменту, пристосування,

$$t_{\text{пз1}} = 15 \text{ хв [11];}$$

$t_{пз2}$ – час на отримання інструменту, пристосування, здачу їх після роботи,
 $t_{пз2} = 5$ хв [11].

$$t_{пз} = 15 + 5 = 20 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (3.38)$$

$$t_{шт-к} = 23,87 + \frac{20}{1} = 43,87 \text{ хв}$$

Технічне нормування решти операцій виконуємо аналогічним чином, результати розрахунків наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{дод}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
010 Токарна з ЧПК	25	0,8	2,58	28,38	20	48,38
015 Токарна з ЧПК	20	0,8	2,08	22,88	20	42,88
025 Фрезерна з ЧПК	35	1,5	3,65	40,15	25	65,15
030 Токарна з ЧПК	30	0,8	3,08	33,88	20	53,88
035 Токарна з ЧПК	27	0,8	2,78	30,58	20	50,58
040 Токарна з ЧПК	22	0,8	2,28	25,08	20	45,08
045 Токарна з ЧПК	20,9	0,8	2,17	23,87	20	43,87
050 Протяжна	5	1,2	0,62	6,82	18	24,82
055 Свердлильна з ЧПК	15	1,3	1,63	17,93	22	39,93
060 Свердлильна з ЧПК	12	1,3	1,33	14,63	22	36,63
080 Круглошліфувальна	5	0,6	0,56	6,16	27	33,16
085 Круглошліфувальна	5	0,6	0,56	6,16	27	33,16
090 Внутрішньошліфувальна	7	0,6	0,76	8,36	27	35,36
095 Круглошліфувальна	3	0,6	0,36	3,96	27	30,96
100 Круглошліфувальна	4	0,6	0,46	5,06	27	32,06
105 Внутрішньошліфувальна	6	0,6	0,66	7,26	27	34,26

3.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Виконаємо розробку керуючої програми (КП) на токарну операцію з ЧПК №045. Розробку проводимо в програмному забезпеченні NX. Для цього було розроблено 3D-моделі деталі (рис. 3.6).

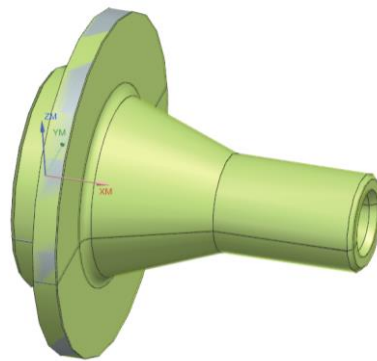


Рисунок 3.6 – 3D-модель деталі

Було внесені в програмі необхідні параметри заготовки та деталі (рис. 3.7).

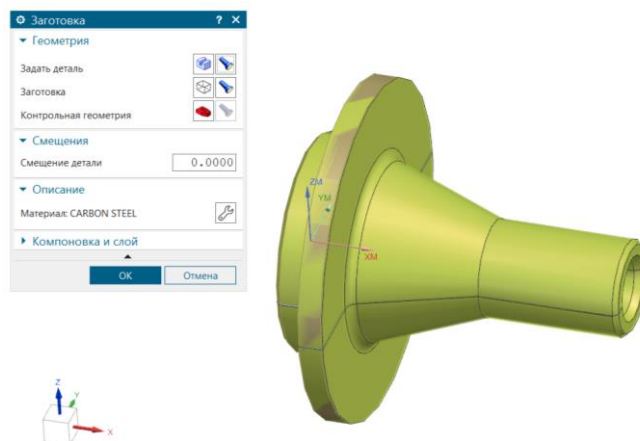


Рисунок 3.7 – параметри заготовки

Наступним кроком було генерування переріз деталі при токарній обробці (рис. 3.8).

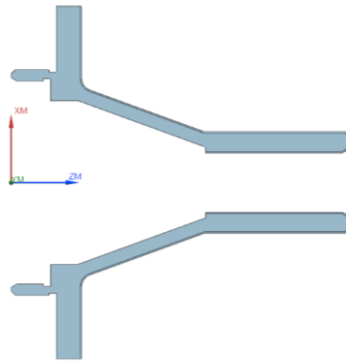


Рисунок 3.8 – Переріз деталі при токарній обробці

Було створено необхідний інструмент для токарної операції (рис. 3.9).

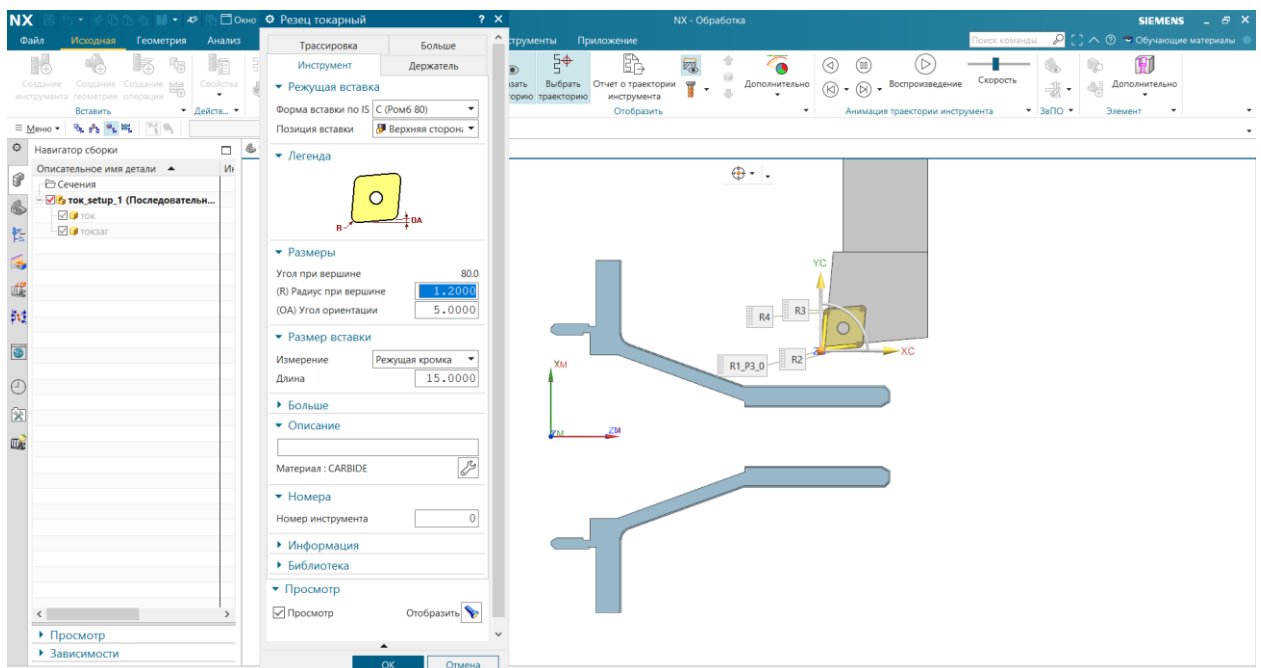


Рисунок 3.9 – Токарний інструмент

Розробляємо переходи токарної обробки. Отримана траєкторія приведена на рис. 3.10. Для перевірки траєкторії проводимо візуалізацію обробки (рис. 3.11).

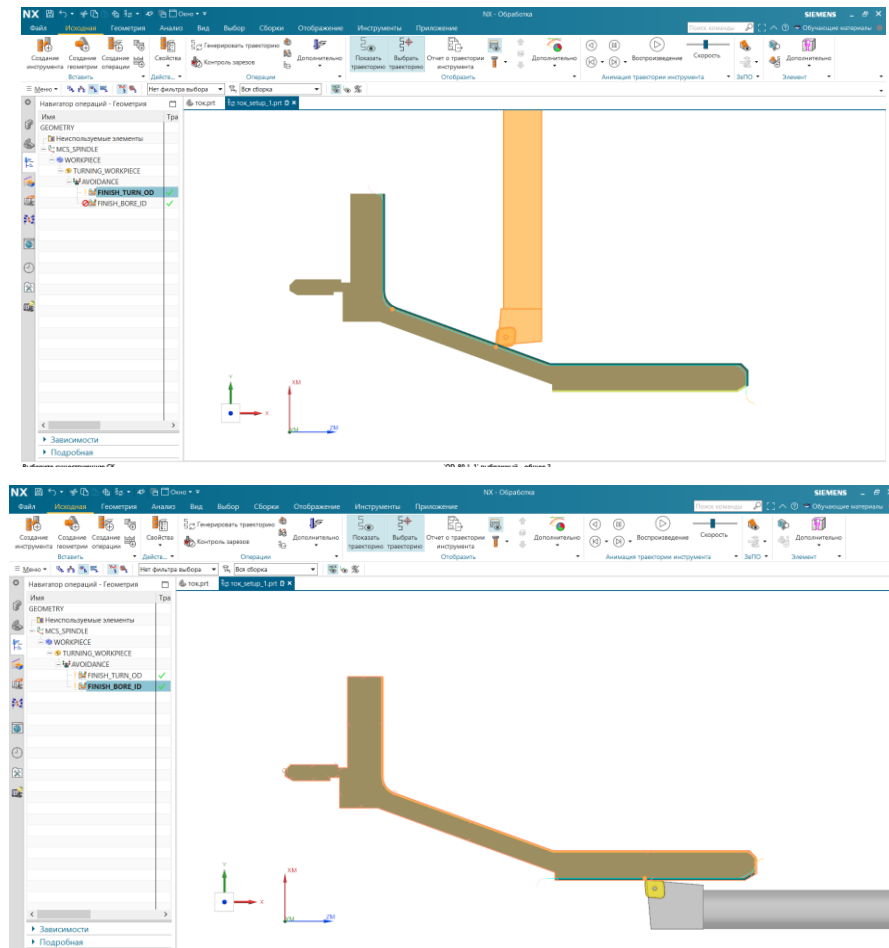


Рисунок 3.10 – Траекторія обробки

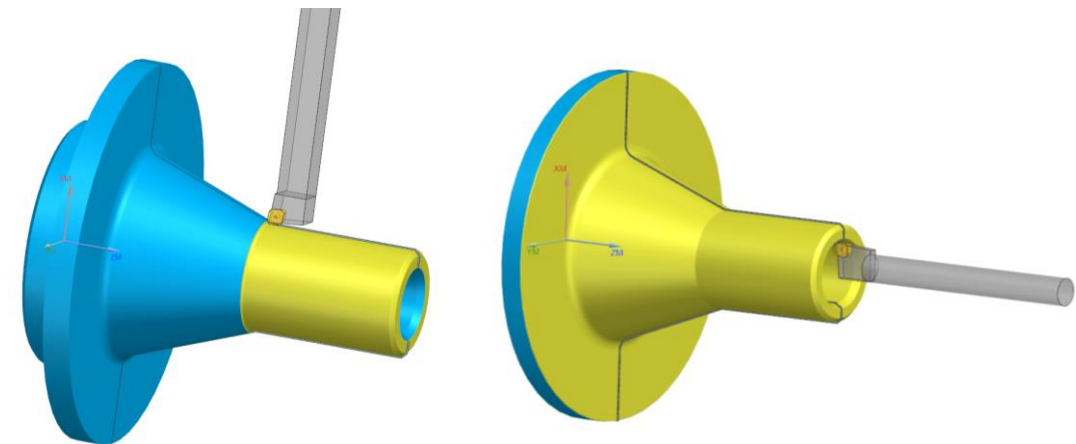


Рисунок 3.11 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки для решти операцій з ЧПК наведено в графічній частині дипломного проекту.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Проектування робочого пристосування

4.1.1 Конструкція та принцип роботи пристосування

Робоче пристосування (рис. 4.1) призначено для закріплення маточини підчас свердління отворів. Маточина встановлюється в робоче пристосування в отвір основи 3, закріпленої в корпусі 1. Центрується по зовнішньому діаметру $\text{Ø}35,15_{-0,039}$ і впирається в фланець. Зверху одягається кришка 2 та шайба розрізна 12. У корпусі 1 встановлений пневмоциліндр, при надходженні повітря під тиском поршень 5 та шток 4 рухаються донизу та тягнуть за собою кришку 2, яка закріплює деталь. Після закінчення обробки шток 4 та поршень 5 переміщується вгору і звільняють деталь.

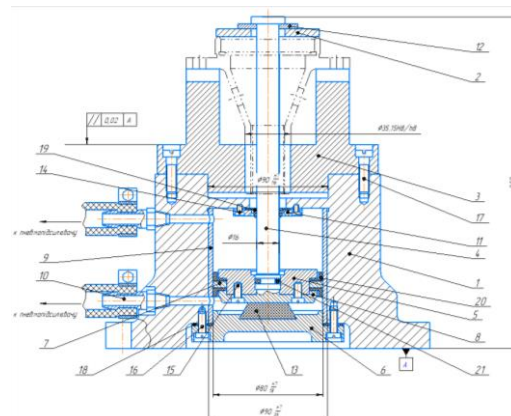


Рисунок 4.1 – Робоче пристосування

4.1.2 Розрахунок пристосування

Похибка встановлення розраховується за формулою [12]:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (4.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення

Деталь встановлюється по шийці $\text{Ø}35,15_{-0,039}$ (рис. 4.2).

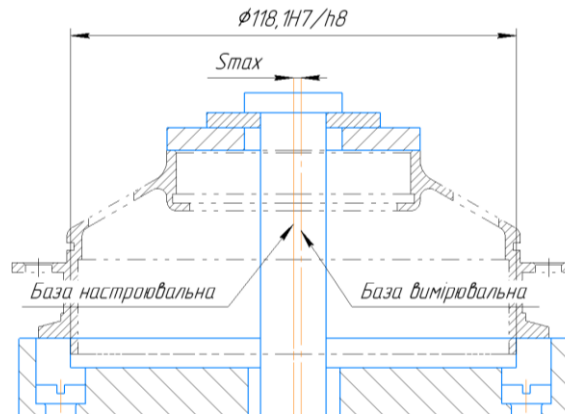


Рисунок 4.2 – Схема базування деталі

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = S_{\text{max}} / 2 \quad (4.2)$$

де S_{max} – максимальний зазор у з'єднанні.

$$S_{\text{max}} = D_{\text{max}} - d_{\text{min}} \quad (4.3)$$

де D_{max} , d_{min} – конструктивні розміри.

$$S_{\text{max}} = 35,189 - 35,111 = 0,078 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,078 / 2 = 0,039 \text{ мм}$$

Так як напрямок свердління отворів та напрямок сили закріплення взаємноперпендикулярні, тому похибка закріплення дорівнює нулю.

Похибка встановлення згідно формули (4.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,039^2 + 0} = 0,039 \text{ мм}$$

Отримана похибка встановлення не перевищує точність виготовлення

отворів, тому дана схема базування деталі та умови її закріплення забезпечують придатність пристосування за точністю.

Дійсна сила затиску деталі в пристосуванні [12]:

$$W_{\partial} = \frac{3 \cdot M_{\text{кр}} \cdot k}{f \left[\left(\frac{D_1^3 - D_2^3}{D_1^2 - D_2^2} \right) + \left(\frac{D_3^3 - D_4^3}{D_3^2 - D_4^2} \right) \right]} \quad (4.4)$$

де $D_3=72$ мм, $D_4=79$ мм, где $D_1=125$ мм, $D_2=74$ мм – конструктивні розміри.

$f = 0,15$ – коефіцієнт тертя;

k – коефіцієнта запасу, що визначається залежно від умов обробки;

$M_{\text{кр}}$ – крутний момент для свердління, Н·м;

$$M_{\text{кр}} = 10 C_m D^q S^y K_p \quad (4.5)$$

де $C_m=0,041$, $q=2$, $y=0,8$, $K_p=1$ – коефіцієнти [10].

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,041 \cdot 12^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,03 = 16,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (4.6)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $k_0=1,5$ [12];

k_1 – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці, $k_1=1$ [12];

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту, $k_2=1,15$ [12].

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання, $k_3=1$ [12];

k_4 – коефіцієнт, що враховує непостійність сил затиску, що розвиваються приводами, $k_4=1$ [12];

k_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток, $k_5=1$ [12];

k_6 – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту, $k_6=1,5$ [12].

$$k = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,58.$$

$$W_{\partial} = \frac{3 \cdot 2,58 \cdot 16,8}{0,15 \left[\left(\frac{0,125^3 - 0,074^3}{0,125^2 - 0,074^2} \right) + \left(\frac{79^3 - 0,072^3}{79^2 - 0,072^2} \right) \right]} = 3024 \text{ Н}$$

Мінімальний діаметр штока [12]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (4.7)$$

де α – коефіцієнт затягування, $\alpha=2,25$ [12];

$[\sigma]$ – допустиме напруження на розтяг для сталі 40Х, $[\sigma]=100$ МПа [1].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 3024}{3,14 \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0,009 \text{ м} \quad (4.8)$$

Діаметр циліндра [12]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (4.9)$$

де η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя, $\eta = 0,85 \dots 0,9$ [12].

p – тиск в пневмосистемі, $p=0,4 \dots 0,6$ МПа [12];

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3024}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,85} + 0,009^2} = 0,068 \text{ м}$$

4.2 Проектування контрольного пристосування

4.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Для контроль биття 0,02 мм поверхні $\varnothing 35$ відносно вісі деталі було спроектовано контрольне пристосування (рис. 4.3). Пристосування складається з корпусу, штанги, центрів і індикаторного годинника. Це пристосування може досить легко переналаштуватися під будь-який розмір деталі за рахунок рухомої штанги. Деталь при контролі встановлюється в центра по центральному отвору. Індикаторний годинник на штанзі встановлюється на поверхню $\varnothing 35$. Шляхом обертання деталі на індикаторному

годиннику знімаються показання радіального биття. Вони дорівнюють максимальному відхиленню стрілки від нульового значення.

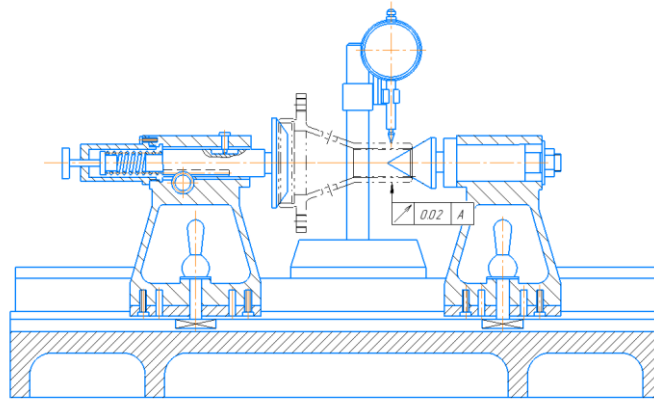


Рисунок 4.3 – Контрольне пристосування

4.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустима сумарна похибка [16]:

$$\varepsilon_{вим} = \varepsilon_{uy} + \varepsilon_{уп} + \varepsilon_{ум} + \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{зак}^2 + \varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{си}^2 + \varepsilon_{др}^2} \quad (4.10)$$

де $\varepsilon_{ум}$ – похибка, спричинена неточністю еталону, $\varepsilon_{ум}=0$ [12];

$\varepsilon_{баз}$ – похибка базування, $\varepsilon_{баз}=0$ [12];

$\varepsilon_{зак}$ – похибка закріплення, $\varepsilon_{зак}=0$ [12];

$\varepsilon_{иу}$ – частка похибки конструкції пристосування, $\varepsilon_{иу}=0,0015$ мм [12];

$\varepsilon_{зп}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв, $\varepsilon_{зп}=0,006$ мм [12];

$\varepsilon_{си}$ – похибка засобу вимірювання, $\varepsilon_{си}=0,001$ мм [12];

$\varepsilon_{др}$ – похибка, викликана дією випадкових факторів, $\varepsilon_{др}=0,0015$ мм [12].

$$\varepsilon_{ип} = \Delta_{рд} + \Delta_{ру} + \Delta_{рн} + \Delta_{рк} + \Delta_{ра} \quad (4.11)$$

$\Delta_{рд}$ – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів, $\Delta_{рд}=0$ [12];

$\Delta_{ру}$ – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів, $\Delta_{ру}=0$ [12];

$\Delta_{рн}$ – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів, $\Delta_{рн}=0$ [12];

$\Delta_{рк}$ – похибка від зміщення точки контакту важелів, $\Delta_{рк}=0$ [12];

$\Delta_{рп}$ – похибка прямої передачі [12].

$$\varepsilon_{ип} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0,0002 = 0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{вим} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,008 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{вим} = 0,008 \text{ мм} \leq [\varepsilon_{вим}] = 0,02 \text{ мм}$$

5. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

Розрахунок маточини на міцність проведено за допомогою програмного забезпечення NX. Для цього будується 3D модель деталі та розбивається на сітку кінцевих елементів. В місцях закріплення по отворах було накладено обмеження руху, по шліцам був прикладений крутний момент (рис. 5.1).

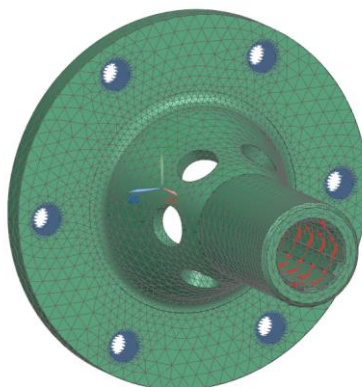


Рисунок 5.1 – Прикладення обмежень

Після виконання комп'ютерного розрахунку було отримано графічне зображення розподілення напружень (рис. 5.2).

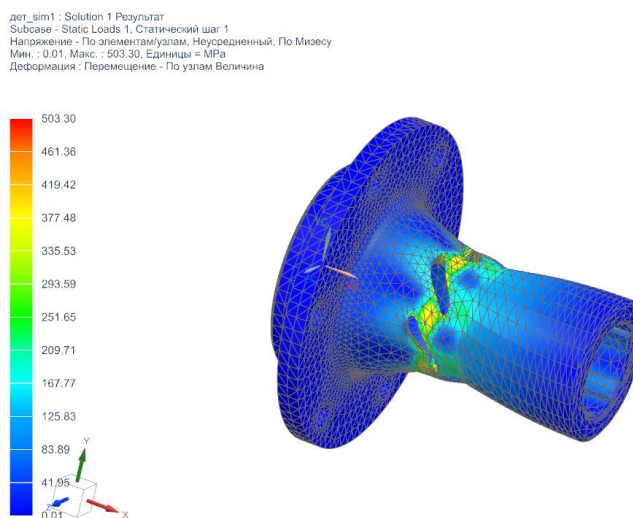


Рисунок 5.2 – Розподіл напружень

Найбільші напруження знаходяться в отворах $\varnothing 14$ і дорівнюють 503,3 МПа.

Коефіцієнт запасу міцності:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} \quad (5.1)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності для ВТ0-1 $[\sigma]=590$ МПа [5];

σ_{max} – максимальне напруження.

$$k = \frac{590}{503,3} = 1,17$$

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення деталі «Маточина» за допомогою гібридного виробництва було змінено механічну обробку на універсальних токарно-гвинторізних верстатах моделі 1К62 обробкою на токарних верстатах з ЧПК моделі OKUMA LU 15 W (таблиця 6.1).

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників за формулою (2.6) з джерела [18]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_{б} \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (6.1)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{шт-кі}$ – норма штучного часу виконання i -ої операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_{б}$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному обслуговуванні, $K_{б}=0,39$;

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, $k_{доп} = 1,2$;

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{соц} = 1,4$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.2, 6.3.

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою (2.7) з джерела [18]:

$$Z_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{тар.н} \cdot Ч_н \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{тар.н}$ – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_н$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2096$ год;

$m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія					
	1M65	1M65	1M65	1M65	1M65	1M65	OKUMA LU 15 W	OKUMA LU 15 W	OKUMA LU 15 W	OKUMA LU 15 W	OKUMA LU 15 W	OKUMA LU 15 W
Модель верстата												
Штучний час $t_{шт}$, хв	45	45	35	35	25	25	28,38	22,88	33,88	30,58	25,08	23,87
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	378840						774000					
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Потужність електродвигунів N , кВт	22	22	22	22	22	22	15	15	15	15	15	15

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
010	Токарна	45	76,6	1,2	1,4	96,52
015	Токарна	45	76,6	1,2	1,4	96,52
020	Токарна	35	76,6	1,2	1,4	75,07
025	Токарна	35	76,6	1,2	1,4	75,07
030	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
035	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
					Σ	450,41

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
10	Токарна	28,38	57,5	1,2	1,4	45,69
15	Токарна	22,88	57,5	1,2	1,4	36,84
30	Токарна	33,88	57,5	1,2	1,4	54,55
35	Токарна	30,58	57,5	1,2	1,4	49,23
40	Токарна	25,08	57,5	1,2	1,4	40,38
45	Токарна	23,87	57,5	1,2	1,4	38,43
					Σ	265,12

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Ф _р , год	C _{тар} , грн	Ч _н	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
10	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	1015,89
15	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	1015,89
30	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	1015,89
35	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	1015,89
40	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	1015,89
45	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	1015,89
						Σ	6095,34

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою (2.9) з джерела [18]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.5, 4.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою (2.11) з джерела [18]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.4)$$

де $C_{\text{ін}ij}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, грн/шт;

$t_{\text{шт}ij}$ – штучний час роботи j -го інструменту на i -ої операції, хв;

η_m – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення $t_{\text{маш}}/t_{\text{шт}}$;

T_{ij} – період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, хв;

$n_{\text{ін}}$ – номенклатура інструментів на i -ої операції;

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.7, 6.8.

Таблиця 6.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{\text{шт}}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{\text{від}}$, грн
010	Токарна	45	378840	12,2	4015	8,63
015	Токарна	45	378840	12,2	4015	8,63
020	Токарна	35	378840	12,2	4015	6,72
025	Токарна	35	378840	12,2	4015	6,72
030	Токарна	25	378840	12,2	4015	4,80
035	Токарна	25	378840	12,2	4015	4,80
					Σ	40,29

Таблиця 6.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
10	Токарна	28,38	774000	12,2	4015	11,12
15	Токарна	22,88	774000	12,2	4015	8,97
30	Токарна	33,88	774000	12,2	4015	13,28
35	Токарна	30,58	774000	12,2	4015	11,99
40	Токарна	25,08	774000	12,2	4015	9,83
45	Токарна	23,87	774000	12,2	4015	9,36
					Σ	64,55

Таблиця 6.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	Найменування інструменту	C_i , грн	$n_{ін}$	T, хв	n_j	η_{MI}	$S_{ін}$, грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	45	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	9,38
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	7,50
015	Токарна	45	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	9,38
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	7,50
020	Токарна	35	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	5,63
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	7,50
025	Токарна	35	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	5,63
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	7,50
030	Токарна	25	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	5,63
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	3,75
035	Токарна	25	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	5,63
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	3,75
								Σ	78,75

Таблиця 6.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт, хв}$	Найменування інструменту	Ц _і грн	$n_{ін}$	T, хв	n_j	η_{MI}	S _{ін} грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	28,38	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	6,75
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	3,89
015	Токарна	22,88	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	4,50
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	4,08
030	Токарна	33,88	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	4,88
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	4,08
035	Токарна	30,58	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	3,75
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	7,72
040	Токарна	25,08	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	5,63
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	3,78
045	Токарна	23,87	Різець прохід.	450	2	120	3	0,4	4,50
			Різець розточ.	450	2	120	3	0,4	4,45
								Σ	58,0

Визначимо витрати на електроенергію за формулою (2.13) з джерела [18]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (6.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

k_q – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$ – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії, $k_w = 1,08$;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_e – коефіцієнт виконання норм часу;

C_e – вартість електроенергії, $C_e = 3,45$ грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.9, 6.10.

Таблиця 6.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт, хв}$	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_{ч}$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
010	Токарна	45	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	17,88
015	Токарна	45	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	17,88
020	Токарна	35	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	13,91
025	Токарна	35	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	13,91
030	Токарна	25	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	9,94
035	Токарна	25	3,45	22	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	9,94
										Σ	83,46

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт, хв}$	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_{ч}$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
010	Токарна	28,38	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	18,93
015	Токарна	22,88	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	15,26
030	Токарна	33,88	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	22,59
035	Токарна	30,58	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	20,39
040	Токарна	25,08	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	16,73
045	Токарна	23,87	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	15,92
										Σ	109,81

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою (2.14) з джерела [18]:

$$S_p = \frac{Ц_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (6.6)$$

де $Ц_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p = 0,02$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.11, 6.12.

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	378840	0,02	0,64	96,98
015	Токарна	378840	0,02	0,64	96,98
020	Токарна	378840	0,02	0,64	96,98
025	Токарна	378840	0,02	0,64	96,98
030	Токарна	378840	0,02	0,64	96,98
035	Токарна	378840	0,02	0,64	96,98
				Σ	581,9

Таблиця 6.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	774000	0,02	0,78	241,49
015	Токарна	774000	0,02	0,78	241,49
030	Токарна	774000	0,02	0,78	241,49
035	Токарна	774000	0,02	0,78	241,49
040	Токарна	774000	0,02	0,78	241,49
045	Токарна	774000	0,02	0,78	241,49
				Σ	1448,93

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом за формулою (2.15) з джерела [18]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{\text{гн}} \cdot t_{\text{ін}} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (6.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту, $\varphi = 1,3$;

$C_{\text{гн}}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{\text{ін}}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{\text{ін}} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{\text{ін}} = 5$ хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_m – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

T_M – середня стійкість інструменту, хв.;

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{\text{гн}}$, грн/год	n_i	$t_{\text{ін}}$, хв	K_T	T_M	m	S_H , грн
010	Токарна	Різець прохід.	28,38	50,9	6	4	0,9	240	4	0,07
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,09
015	Токарна	Різець прохід.	22,88	50,9	6	4	0,9	240	4	0,05
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	4	0,09
030	Токарна	Різець прохід.	33,88	50,9	6	4	0,9	240	4	0,05
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	120	4	0,11
035	Токарна	Різець прохід.	30,58	50,9	6	5	0,9	120	4	0,10
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	240	4	0,11
040	Токарна	Різець прохід.	25,08	50,9	6	5	0,9	240	4	0,08
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	240	4	0,05
045	Токарна	Різець прохід.	23,87	50,9	6	5	0,9	240	4	0,06
		Різець розточ.		50,9	6	5	0,9	240	4	0,06
									Σ	0,93

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою (2.16) з джерела [18]:

$$I_H = Z_o \cdot k_{zag} \quad (6.8)$$

де k_{zag} – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, $k_{zag} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{H1} = 450,41 \cdot 0,2 = 90,08 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 265,12 \cdot 0,2 = 53,02 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою (1.3) з джерела [18]:

$$C_T = Z_o + Z_H + A_{від} + S_{ін} + S_e + S_p + S_H + I_H \quad (6.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 6.14.

Таблиця 6.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	450,41	265,12
Заробітна плата наладчика	Z_H		60,95,34
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	40,29	64,55
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	78,75	58
Витрати на електроенергію	S_e	83,46	109,81
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	581,9	1448,93
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_H		0,93
Витрати інші	I_H	90,08	53,02
Технологічна собівартість	C_T	1324,89	2000,36

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою (1.4) з джерела [18]:

$$E_{yp} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{yp} = (1324,89 - 2000,36) \cdot 50 = -33773,5 \text{ грн}$$

Згідно розрахунків при впровадженні нової технології з річною партією 50шт не має економії від впровадження за статтею собівартість, а є збитки рівні 33773,5 грн. Для отримання прибутку необхідно збільшити програму випуску даної деталі або дозавантажити дільницю іншими деталями.

7 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

При роботі на гібридних верстатах, що поєднують адитивне виробництво (спрямоване енергетичне осадження) та фрезерну обробку, важливо дотримуватися заходів з охорони праці для забезпечення безпеки персоналу та зменшення ризику нещасних випадків. Основні заходи охорони праці включають:

1) Загальні заходи:

а) Проведення інструктажів. Обов'язковий вступний, первинний та періодичний інструктаж для персоналу, що працює на гібридних верстатах.

б) Медичний огляд. Персонал повинен проходити періодичний медичний огляд для оцінки їх здатності працювати з високотехнологічним обладнанням.

в) Дотримання інструкцій. Використання інструкцій з експлуатації обладнання, наданих виробником, та локальних правил охорони праці.

2) Захист від шкідливих факторів:

а) Захист від лазерного випромінювання:

- Робота з адитивною частиною верстата вимагає застосування спеціальних окулярів або щитків для захисту очей.

- Обладнання повинно мати захисні екрани, що мінімізують прямий контакт з лазерним випромінюванням.

б) Захист від металевих частинок. У процесі фрезерування та адитивного виробництва можливе утворення дрібних часток і стружки. Використовуйте захисні окуляри, рукавички та спеціальний одяг.

в) Вентиляція. Забезпечення ефективної системи вентиляції або аспірації для видалення пилу, диму та парів, які утворюються під час роботи.

3) Електробезпека:

а) Заземлення: Обладнання повинно бути заземленим для уникнення ураження електричним струмом.

б) Ізоляція проводів: Перевірка кабелів і електричних з'єднань на наявність пошкоджень.

в) Відключення: Після закінчення роботи або в разі виникнення аварійної ситуації обладнання слід відключати від електромережі.

4) Робота з матеріалами:

а) Безпечне поводження з порошковими матеріалами:

- Порошки, що використовуються в адитивному виробництві, можуть бути токсичними або легкозаймистими, тому їх слід зберігати у спеціально відведених місцях.

- Використання рукавичок і респіраторів під час роботи з порошками.

б) Утилізація відходів. Забезпечення правильної утилізації залишків матеріалів та стружки.

5) Організація робочого місця:

а) Освітлення. Робоче місце має бути добре освітленим для зниження напруги зору.

б) Порядок. Підтримуйте чистоту та порядок для запобігання випадковим травмам.

в) Зони безпеки. Обмеження доступу до робочої зони верстата для сторонніх осіб.

б) Пожежна безпека:

а) Засоби пожежогасіння: Робоче місце має бути обладнане вогнегасниками (вуглекислотними або порошковими).

б) Датчики диму: Встановлення системи виявлення диму та пожежі.

в) Навчання персоналу: Проведення навчання з користування засобами пожежогасіння.

7) Перевірка обладнання:

а) Регулярна перевірка справності механічних вузлів, лазерної системи та фрезерних інструментів.

б) Планове технічне обслуговування відповідно до рекомендацій виробника.

Дотримання цих заходів сприяє зменшенню ризиків для здоров'я і життя працівників та забезпечує безперебійну роботу обладнання.

Окрім специфічних заходів безпеки, характерних для роботи на гібридних верстатах, важливо дотримуватися загальнопромислових заходів безпеки, які забезпечують комфортні та безпечні умови праці для працівників у будь-якому виробничому середовищі. Ось ключові аспекти:

1) Освітлення:

а) Нормоване освітлення: Відповідно до ДСТУ, освітлення в робочій зоні має бути не менше 300–500 люкс (для точних робіт – 750 люкс).

б) Тип освітлення: Використовуйте лампи зі спектром світла, близьким до денного (4000–5000К).

в) Запобігання відблискам: Освітлювальні прилади повинні бути розташовані так, щоб уникати створення тіней та відблисків на робочій поверхні.

г) Резервне освітлення: Передбачте аварійне освітлення для безпечної евакуації у випадку зникнення основного живлення.

2) Контроль шуму:

а) Допустимий рівень шуму: Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 80 дБ відповідно до нормативів.

б) Ізоляція джерел шуму: Використовуйте звукопоглинальні матеріали в конструкції приміщень та огороження навколо шумних машин.

в) Засоби індивідуального захисту: Забезпечте працівників берушами або шумозахисними навушниками, якщо рівень шуму перевищує допустимий.

г) Регулярний моніторинг: Проводьте вимірювання рівня шуму спеціальними приладами.

3) Вентиляція та якість повітря:

а) Місцева вентиляція: Використовуйте витяжні вентиляційні системи для видалення пилу, диму, парів від процесів адитивного виробництва та фрезерування.

б) Загальна вентиляція: Система кондиціонування та приточно-витяжна вентиляція має забезпечувати мінімальний повітрообмін 60 м³/год на працівника.

в) Фільтрація: Встановіть фільтри для очищення повітря від дрібнодисперсних часток, які можуть виникати внаслідок роботи з порошковими матеріалами або металевою стружкою.

г) Моніторинг повітря: Регулярно перевіряйте рівень шкідливих речовин у повітрі за допомогою спеціальних датчиків.

4) Температурний режим:

а) Комфортна температура: Температура повітря в робочих приміщеннях має бути в межах 18–22°C.

б) Уникнення перепадів: Забезпечте рівномірний розподіл тепла без утворення протягів.

5) Організація робочого простору:

а) Просторові норми: Робоче місце повинно мати достатньо простору для безпечного пересування, встановлення обладнання та інструментів.

б) Ознакування зон: Використовуйте попереджувальне ознакування небезпечних зон (наприклад, зони дії рухомих частин обладнання).

в) Ергономіка: Забезпечте належну висоту столів, розташування інструментів для зменшення фізичного навантаження працівників.

6) Захист від вібрації:

а) Зниження вібрації: Використовуйте віброізоляційні прокладки для машин та верстатів.

б) Засоби захисту: У разі постійного впливу вібрацій працівники повинні носити антивібраційні рукавички.

7) Побутові умови:

а) Зони відпочинку: Обладняйте місця для відпочинку працівників, особливо у приміщеннях з високим рівнем шуму чи температури.

б) Санітарні норми: Забезпечте доступ до чистої питної води, санітарних приміщень та місць для переодягання.

8) Пожежна безпека:

а) Пожежний контроль: Проводьте регулярний огляд протипожежних систем.

б) Встановлення сигналізації: Оснастіть приміщення системами автоматичного сповіщення про пожежу.

9) Навчання та моніторинг:

а) Навчання персоналу: Проводьте регулярні навчання з правил безпеки та поведінки у надзвичайних ситуаціях.

б) Інспекції: Регулярно проводьте перевірки на дотримання заходів безпеки та умов праці.

Ці заходи допомагають створити безпечні умови праці, зменшити вплив негативних факторів на працівників і запобігти аварійним ситуаціям.

ВИСНОВКИ

Було розроблено гібридну технологію виготовлення деталі «Маточина». Було економічно обґрунтовано отримання заготовки на гібридному верстаті LASERTEC 65 DED hybrid методом DED, розраховано масу заготовки 2,5 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,26. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки даним методом становив 429200 грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення.

Для токарної операції з ЧПК була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX.

Було спроектовано робоче пристосування для свердлильної операції. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний пневмоциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Hybrid Manufacturing & The Future of 3D Printing for Production [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.engineering.com/hybrid-manufacturing-the-future-of-3d-printing-for-production/> (дата звернення: 19.09.2024). – Назва з екрана.
2. What is hybrid manufacturing? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.3dsculptlab.xyz/Blog/post/What-is-hybrid-manufacturing> (дата звернення: 19.09.2024). – Назва з екрана.
3. LUMEX Avance-60 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lumex-matsuura.com/english/lumex-avance-60> (дата звернення: 19.09.2024). – Назва з екрана.
4. Directed Energy Deposition through Powder Nozzle Select series [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.dmgmori.com/products/machines/additive-manufacturing/powder-nozzle/lasertec-65-ded-hybrid> (дата звернення: 19.09.2024). – Назва з екрана.
5. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
6. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
7. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.

8. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
10. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.
11. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.
12. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.
13. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 - 41 с.

ДОДАТОК А

Специфікація робочого пристосування

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Лист	примен						
					<u>Документация</u>		
				НУЗП 293226.002	Складальне креслення		
					<u>Детали</u>		
				1	Корпус	1	
				2	Кришка	1	
				3	Основа	1	
				4	Штак	1	
				5	Поршень	1	
				6	Кришка	1	
				7	Кільце	1	
		Лист	и дата	8	Кришка	1	
9	Стакан			1			
10	Штуцер			2			
11	Кришка			1			
12	Шайба розрізна			1			
13	Упор			1			
Лист	и дата						
					<u>Стандартные изделия</u>		
Лист	и дата	14	Гвинт М4х8 ГОСТ 1491-80	4			
		15	Гвинт М6х16 ГОСТ 1491-80	6			
НУЗП 293226.002							
Лист	№ подл	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
		Разроб.	Емельянов				
		Проб.	Тришин				
		Нконтр.	Дядя				
		Утв.	Дядя				
Пристосування				Лист	Лист	Листов	
					1	2	
				НУЗП М-113М			

ДОДАТОК Б

Специфікація контрольного пристосування

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
			НУЗП 402153.002	Складальне креслення	1	
<u>Сборочные единицы</u>						
		1		Корпус лівого центру	1	
		2		Корпус правого центру	1	
		3		Стійка індикаторна	1	
		4		Ручка	2	
<u>Детали</u>						
		5		Основа	1	
		6		Плита	1	
<u>Стандартные изделия</u>						
		7		Гвинт М10х40 ГОСТ 1491-70	4	
		8		Штифт 10х50 ГОСТ 3128-70	2	
НУЗП 402153.002						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Емельянов				Лит.	Лист
Проб.	Тришин					Листов
Н.контр.	Дядя				1	
Утв.	Дядя				НУЗП	
Пристосування для контролю біття					зр. М-113М	
Копіював					Формат А4	