

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Дослідження ефективності сучасних методів виготовлення робототехнічних
деталей за допомогою 3D-друку»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело*

Дмитро ОНІЩЕНКО

(підпис)

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач вищої освіти гр. ІСД-42

Дмитро Оніщенко

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:

Анастасія КАЗНАЧЕСВА

науковий ступінь,
вчене звання

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент:

науковий ступінь,
вчене звання

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2024

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру ІПЗАС

_____ Каміла СТОРЧАК

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Оніщенко Дмитру Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження ефективності сучасних методів виготовлення робототехнічних деталей за допомогою 3D-друку

керівник кваліфікаційної роботи Анастасія КАЗНАЧЕСЬВА к.т.н, доцент

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «27» лютого 2024 р. № 36

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «31» травня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Науково-технічна література з теми бакалаврської роботи.

2. Принцип роботи технологій SLA, DLP та FDM.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз існуючих технологій 3D принту.

2. Виявлення перспектив та обмежень впровадження існуючих методів для підвищення результативності у виробництві робототехнічних складових.

5. Ілюстративний матеріал: *презентація*

6. Дата видачі завдання: «27» лютого 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	27.02-05.03.2024	
2	Обґрунтування актуальності роботи	06.03-11.03.2024	
3	Аналіз ринку 3Д друку	12.03-27.03.2024	
4	Розробка макету	28.03-10.04.2024	
5	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	16.05-22.05.2024	
6	Розробка демонстраційних матеріалів	23.05-24.05.2024	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Дмитро ОНІЩЕНКО

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Анастасія КАЗНАЧЕСВА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавр: 69 стор., 2 табл., 34 рис., 13 джерела.

Мета роботи – виявлення найефективнішого способу для розробки робототехнічних запчастин шляхом впровадження 3Д друку

Об'єкт дослідження - процес виготовлення робототехнічних деталей за допомогою 3д друку

Предмет дослідження – 3Д принтери типу SLA, DLP та FDM

Короткий зміст роботи: У роботі проаналізовано можливості використання 3Д друку та різних типів друку для підвищення якості продукування виробів, використовуваних у робототехніці та інших галузях.

Результати дослідження виявляють найефективніші методи 3Д друку для впровадження у серійне та поштучне виробництво робототехнічних складових за такими критеріями, як вартість виробництва та матеріалів, час на виробництво, а також точність кінцевої продукції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: 3Д ПРИНТЕР, ПОЛІМЕР, ДРУК, ЦИФРОВА ОБРОБКА СВІТЛА, ЛАЗЕРНА СТЕРЕОЛІТОГРАФІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАВЛЕННЯ, РОБОТОТЕХНІЧНІ ДЕТАЛІ

ABSTRACT

Text part of the bachelor level qualification work: 69 pages, 32 pictures, 2 table, 13 sources.

The purpose of the work - improving the productivity of the development of robotic parts through the introduction of 3D printing.

Object of research - 3D printing.

Subject of research - SLA, DLP and FDM 3D printers.

Summary of the work: The paper analyzes the possibilities of using 3D printing and various types of printing to improve the quality of production of products used in robotics and other industries.

KEYWORDS: 3D PRINTER, POLYMER, PRINTING, DIGITAL LIGHT PROCESSING, LASER STEREOLITHOGRAPHY, MELTING TECHNOLOGY, ROBOTIC PART

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	10
1 ТЕХНІЧНИЙ ОГЛЯД ПОПУЛЯРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	12
1.1 Особливості застосування лазерної стереолітографії (SLA) для друку робототехнічних складових.....	12
1.2 Огляд можливостей застосування цифрової обробки світла (DLP) для друку робототехнічних складових.....	24
1.3 Параметри та можливості технології плавлення (FDM) для друку робототехнічних складових.....	27
1.4 Порівняльний аналіз технологій лазерної стереолітографії, цифрової обробки світла та методу плавлення.....	30
2. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ВИГОДИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	34
2.1 Оцінка вартості матеріалів при друку робототехнічних деталей та при класичному способі виробництва.....	34
2.2 Оцінка довготривалості виробничого процесу при друку робототехнічних деталей та при класичному способі виробництва.....	38
2.3 Оцінка витрат на обладнання для 3D-друку та його обслуговування порівняно з традиційними методами виробництва.....	41
2.4 Аналіз якості та точності виробництва робототехнічних деталей шляхом 3D- друку.....	45
2.5 Визначення економічно доцільності технології 3D-друку у робототехніці.....	48
3. ПРАКТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ЛАЗЕРНОЇ СТЕРЕОЛІТОГРАФІЇ, ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СВІТЛА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ 3D-ДРУКУ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	54
3.1 Висока точність та роздільна здатність лазерної стереолітографії.....	54
3.2 Швидкість процесу друку при цифровій обробці світла.....	58

3.3 Доступність та дешевизна використання технології плавлення.....	60
3.4 Визначення доцільності та ефективності застосування кожної технології у різних сферах використання.....	62
ВИСНОВОК.....	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	68

ВСТУП

Вибір теми кваліфікаційної роботи був зумовлений проблемою оптимізації виробничих процесів, високою вартістю традиційних методів виробництва, а також необхідністю створення навчального макету для студентів університету, щоб в рамках навчальної лабораторії студенти могли вивчати засоби використання сучасних технологій.

Впровадження новітніх технологій є актуальним завданням нашого часу. Люди навчилися застосовувати 3D друк, дрони та робототехніку у різних галузях. Однак, жодна з існуючих на даний момент технологій не здатна зрівнятися за своєю перспективністю з цими інноваціями. Справді, 3D друк, дрони та робототехніка здатні забезпечити нашу цивілізацію новими можливостями на десятки років. Використання цих технологій має дуже велику кількість переваг і з кожним днем це стає все доступніше.

3D друк – один із напрямків сучасного виробництва, заснований на створенні тривимірних об'єктів шляхом пошарового нанесення матеріалу. Робототехніка передбачає розробку і застосування роботів для автоматизації процесів, а дрони використовуються для виконання різних завдань, від зйомки до доставки вантажів. Всі ці технології дозволяють досягти високої точності, ефективності та скорочення витрат у виробництві.

Інформаційною базою для написання кваліфікаційної роботи використовувалися електронні ресурси, публічно доступні матеріали досліджень та аналітики в даному напрямку, спеціалізована та наукова література та інші джерела, серед яких дослідження асоціації Formlabs, документація електронних компонентів апаратної частини кваліфікаційної роботи, онлайн енциклопедія Wikipedia тощо.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є процес використання 3D друку для підвищення продуктивності створення робототехнічних складових.

Предметом дослідження роботи є способи розробки та використання технологій SLA, DLP та FDM у сферах, пов'язаних з робототехнікою.

Метою дослідження є дослідження стану впровадженості 3D друку в повсякденності, а також його вплив на побут та насиченість ринку даною технологією

Відповідно до мети кваліфікаційної роботи було поставлено наступні задачі:

1. Дослідити сферу 3D друку та зробити висновки про її стан та прогнозоване майбутнє
2. Вивчити поняття, класифікацію та принцип роботи 3D принтерів
3. Ознайомитися з особливостями використання та специфікаціями різних технологій друку

Методика дослідження складається з двох основних етапів – теоретичного і практичного. Спочатку вивчається проблема, проводиться пошук її рішень, пошук шляхів виконання завдань. Проводиться дослідження і теоретичне обґрунтування матеріалів та на основі отриманих даних розробляється план виконання практичної частини.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що вперше було проведено практичне дослідження ефективності впровадження технологій 3Д друку у виробництво робототехнічних складових.

Практична значущість результатів дослідження полягає в можливості використовувати новітні технології у масовому виробництві та сферах поза робототехнікою.

1 ТЕХНІЧНИЙ ОГЛЯД ПОПУЛЯРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

1.1 Особливості застосування лазерної стереолітографії (SLA) для друку робототехнічних складових

Процес 3D-друку SLA вперше з'явився на початку 1980-х років, коли японський дослідник доктор Хідео Кодама винайшов сучасний багатошаровий підхід до стереолітографії, використовуючи ультрафіолетове світло для затвердіння фоточутливих полімерів. Термін стереолітографія ввів Чарльз (Чак) В. Халл, який запатентував цю технологію в 1986 році та заснував 3D Systems для її комерційного використання. Халл описав цей метод як створення 3D-об'єктів шляхом послідовного «друку» тонких шарів матеріалу, що твердіє ультрафіолетовим світлом. Ці перші SLA 3D-принтери були великими промисловими системами, часто вартістю понад 100 000 доларів США, які потребували складної інфраструктури та обслуговування. За останнє десятиліття було розроблено кілька нових типів процесів 3D-друку на основі смоли, які в основному диференціюються за типом джерела світла, яке вони використовують.

Лазерна стереолітографія є технологією адитивного виробництва, яка використовує лазер для звертання рідинних матеріалів у тверді об'єкти шляхом нанесення їх шар за шаром. Цей процес відбувається в спеціальному обладнанні, де лазер фокусується на поверхні рідинного матеріалу (часто смоли), змінюючи його стан і зафіксувавши наступний шар виробництва, яка використовує лазер для звертання рідинних матеріалів у тверді об'єкти шляхом нанесення їх шар за шаром. Це дозволяє створювати складні тривимірні об'єкти з високою точністю та деталізацією. Принцип роботи продемонстровано на рисунку 1.1

У контексті робототехнічних складових, SLA має кілька ключових переваг:

1. Висока точність: SLA дозволяє створювати деталі з високою точністю, що особливо важливо для робототехнічних компонентів, де навіть невеликі розмірні неточності можуть вплинути на їх функціональність.

2. Складна геометрія: технологія SLA дозволяє створювати деталі зі складною геометрією, включаючи тонкі стінки, складні внутрішні порожнини та інші елементи, що можуть бути важливими для робототехнічних систем.

3. Вибір матеріалів: існує широкий спектр матеріалів, які можна використовувати в SLA, з різними властивостями, такими як міцність, гнучкість, стійкість до зношування тощо. Це дає можливість вибрати матеріал, який найкращим чином підходить для конкретної робототехнічної деталі.

4. Швидкість виготовлення: SLA може бути швидшою технологією порівняно з іншими методами виготовлення, що дозволяє прискорити розробку та виготовлення прототипів або невеликих серій робототехнічних деталей.

5. Якість поверхні: друк за допомогою SLA часто надає високу якість поверхні, що може бути важливим для робототехнічних деталей, які потребують гладкої поверхні для правильної роботи механізмів та сенсорів.

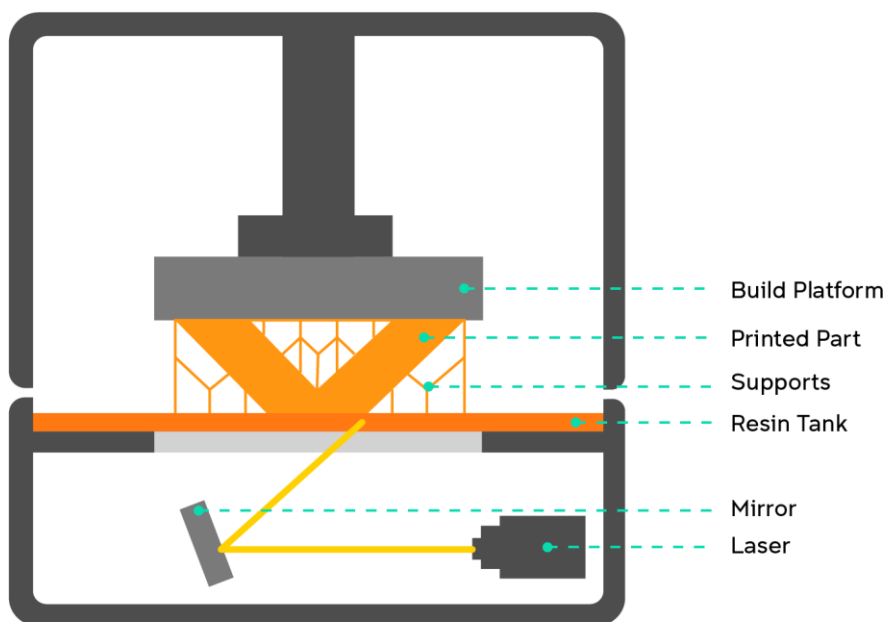


Рисунок 1.1 – принцип роботи SLA принтера [3]

Дана технологія має схожість з іншими типами полімеризації в чанах. Тут для створення тривимірних об'єктів SLA дозволяє здійснювати затвердіння шарами світлочутливої смоли. Така технологія робить метод SLA унікальним.

В якості ультрафіолетового світла використовується лазер, який точно керується за допомогою обертових дзеркал. Вони дозволяють витягувати всі шари, що створюються. Головним плюсом даного методу стала покращена якість друку та підвищена точність. Це пов'язано з невеликим розміром лазера та його точним рухом. Технологія дозволяє домогтися дрібнішої роздільної здатності та деталей. Через таку підвищену якість зменшується швидкість друку. Таке детальне промальовування займає чимало часу. Багато смоли запатентовано. Тому дуже важко провести їхню заміну в різних марках 3D-принтерів.

Користувачі можуть створювати моделі із гладкою поверхнею, складними формами, гострими кутами, тонкими стінками. Тут можна досягти товщини шару 10 мкм, а середні показники перебувають у діапазоні 50-250 мкм. На це значення впливає ряд додаткових факторів, наприклад, пігментація та в'язкість.

Жорсткість допусків у SLA досягає близько 0.127 мм. Це дуже жорсткі допуски, якщо порівняти з іншими видами адитивного виробництва.

Усі стандартні 3D-принтери, які підтримують SLA друк, складаються з наступних частин:

Чан. Цей елемент є резервуаром, куди поміщається рідкий фотополімер. Найчастіше він має вигляд рідкого та прозорого пластику.

Платформа для збірки. Саме ця платформа опускається в чан. Вона може переміщатися вниз і вгору, що залежить від друкувального процесу.

Ультрафіолетовий лазер. З його допомогою відбувається затвердіння шарів.

Комп'ютерний інтерфейс. Цей інтерфейс використовується на принтері. За допомогою його вдається керувати рухом лазера та самою платформою.

Всі елементи вказані на рисунку 1.2

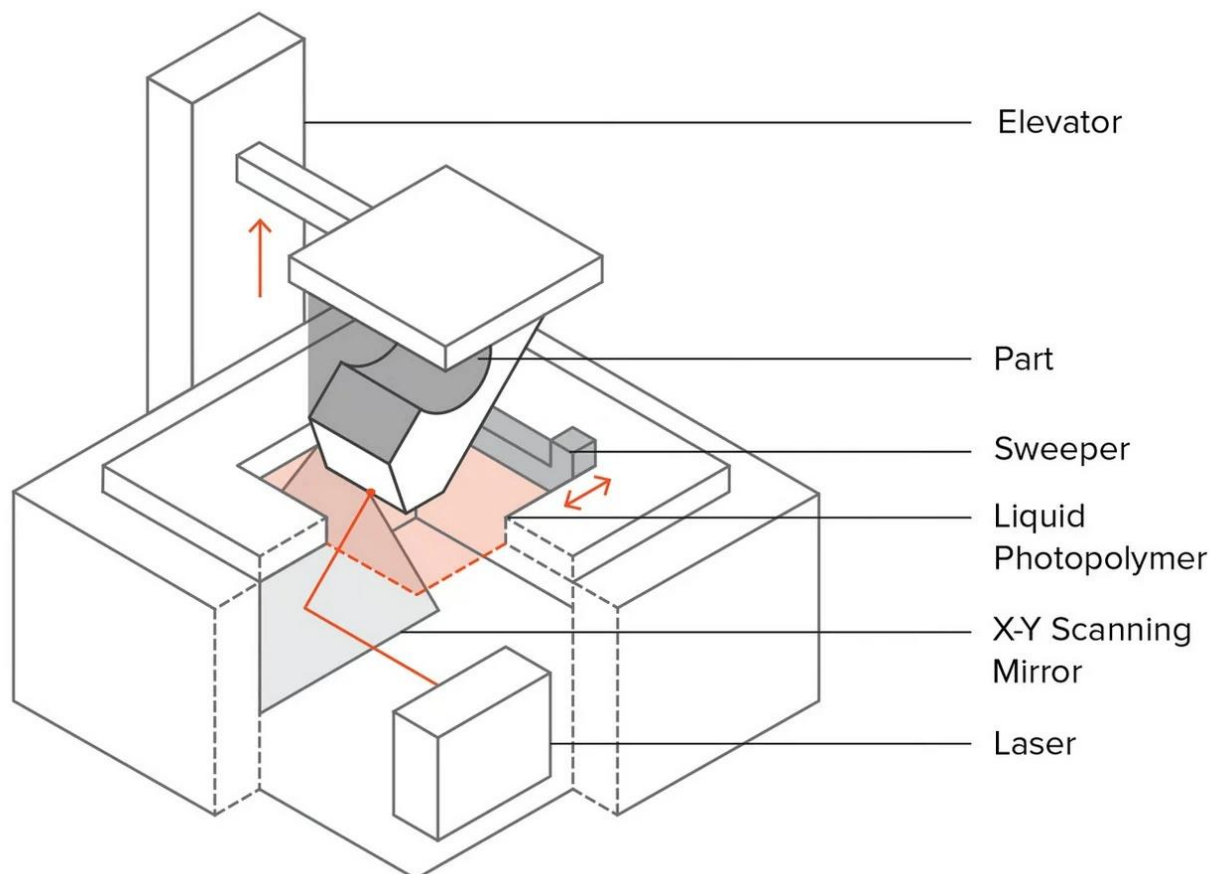


Рисунок 1.2 – будова SLA принтера [11]

Відразу варто відзначити, що практично всі настільні принтери з технологією SLA функціонують у перевернутому положенні. Тут застосовується така схема роботи: лазер прямує нагору на платформу для збірки, яка починає поступово підніматися.

Коли процес друку завершується, відбувається підняття платформи із резервуара. Після завершення процесу відбувається зняття моделі з платформи. Її необхідно очистити спиртом від зайвої смоли, після чого помістити в камеру, де відбувається процес затвердіння через ультрафіолетове випромінювання.

Такий підхід з післядрукарським затвердінням робить усі моделі максимально міцними та стабільними. Це дуже швидкий процес, оскільки затвердіння здійснюється за мінімальної споживаної потужності.

3D-принтери SLA вважаються золотим стандартом для створення деталей із гладкою поверхнею та тонкими деталями. Деталі, надруковані на полімерній основі, можуть легко мати зовнішній вигляд, який можна порівняти з традиційними методами виробництва, такими як лиття під тиском, майже не потребуючи подальшої обробки. І навпаки, деталі, надруковані за допомогою FDM, часто мають

видимі лінії шарів, а деталі, надруковані через SLS, часто мають зернисту, злегка шорстку текстуру на поверхні.

Якість поверхні 3D-друкованих деталей SLA дозволяє створювати продукти кінцевого використання, які виглядають і відчуються як споживчі товари масового виробництва. Це також робить можливим вторинні процеси, такі як швидко виготовлення інструментів.

3D-принтери SLA також можуть досягати кращих функцій і менших мінімальних розмірів, ніж 3D-принтери FDM, порівняно з 3D-принтерами SLS. Світлом у полімерних 3D-принтерах можна керувати набагато точнішими формами, ніж у екструдері нитки, і тому створювати менші деталі або тонші стінки. А оскільки джерела світла SLA можуть бути меншими за потужність, ніж лазери, необхідні для розплавлення порошку в 3D-принтерах SLS, вони можуть полімеризуватися з більшою точністю, що призводить до менших характеристик. Приклад деталі надрукованої на SLA принтері наведено на рисунку 1.3



Рисунок 1.3 - деталь, надрукована на SLA принтері

Також серед переваг технології SLA варто відзначити наступні параметри:

Оскільки при 3D-друку деталі створюються по одному шару, міцність завершених відбитків може відрізнятися залежно від орієнтації деталі відносно процесу друку, з різними властивостями по осях X, Y і Z.

Процеси 3D-друку на основі екструзії, такі як моделювання плавненого осадження (FDM), відомі своєю анізотропією через різницю між шарами, створювану процесом друку. Ця анізотропія обмежує корисність FDM для певних застосувань або вимагає додаткових коригувань на стороні геометрії деталей, щоб компенсувати це.

3D-принтери на основі SLA-смола навпаки, створюють дуже ізотропні деталі. Досягнення ізотропії деталей базується на ряді факторів, якими можна жорстко керувати шляхом інтеграції хімічного складу матеріалу в процес друку. Під час

друку компоненти смоли утворюють ковалентні зв'язки, але шар до шару деталей залишається в напівпрореагованому «зеленому стані».

Перебуваючи в зеленому стані, смола зберігає полімеризуючі групи, які можуть утворювати зв'язки між шарами, надаючи ізотропію та водонепроникність деталі після остаточного затвердіння. На молекулярному рівні немає різниці між площинами X, Y або Z. Це призводить до того, що деталі мають передбачувані механічні характеристики, що є критично важливими для таких застосувань, як пристосування та пристосування, деталі кінцевого використання та створення функціональних прототипів. Схематичне зображення приведено на рисунку 1.4.

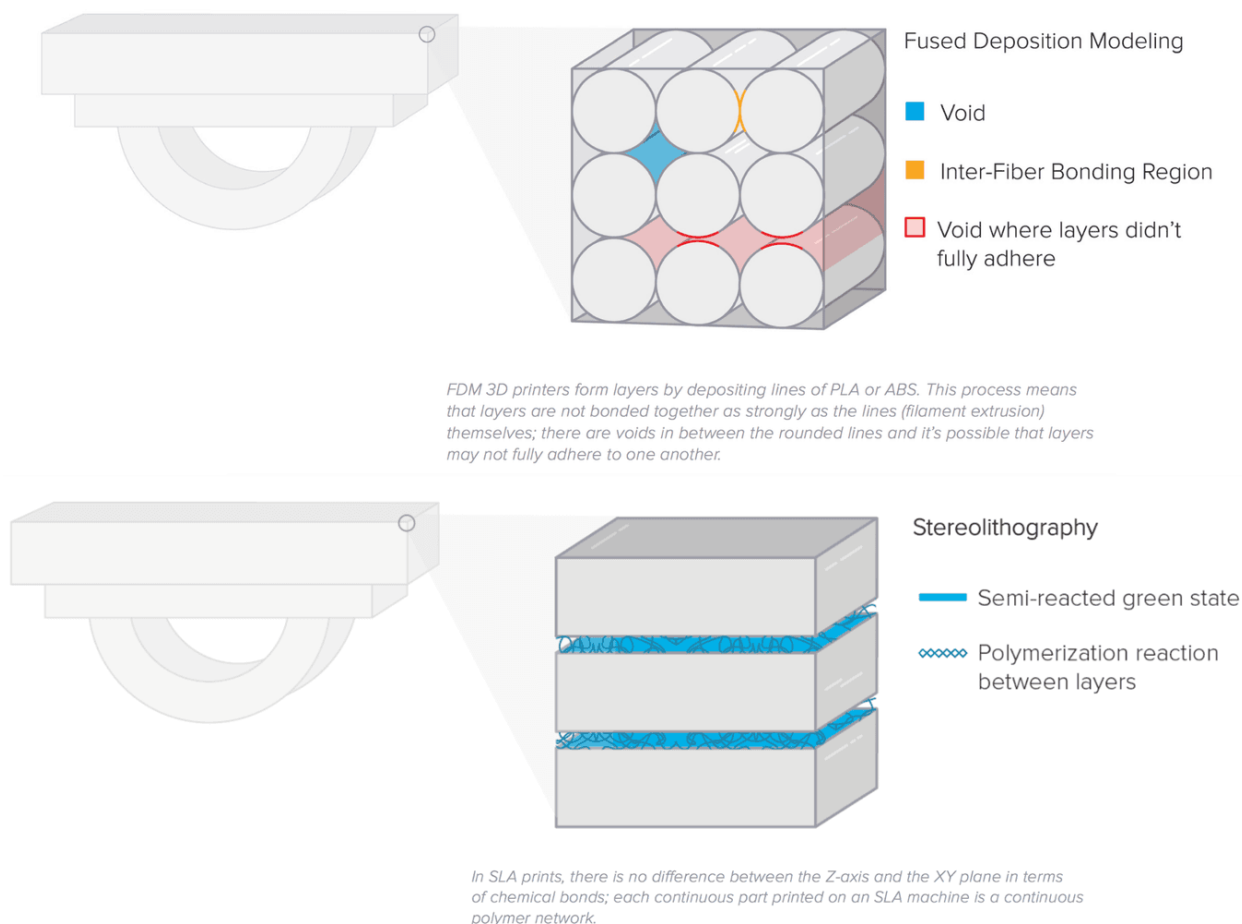


Рисунок 1.4 - Структурна будова моделей, створених на технологіях FDM та SLA

Друковані об'єкти SLA є безперервними, незалежно від того, чи створюються геометрії з суцільними елементами чи внутрішніми каналами. Ця водонепроникність важлива для інженерних і виробничих застосувань, де потік повітря або рідини має бути контрольованим і передбачуваним. Інженери та дизайнери використовують водонепроникність принтерів SLA для вирішення проблем із потоком повітря та рідини для використання в автомобілях, біомедичних дослідженнях і перевірки конструкцій деталей споживчих товарів, таких як кухонна техніка.

Водонепроникні та газонепроникні деталі, виготовлені на замовлення або в малому обсязі, також затребувані в кількох галузях промисловості, таких як морські дослідження, підводна робототехніка, розробка екологічних технологій,

нафтова та газова промисловість та оборона. Хоча деякі технології 3D-друку є ідеальним рішенням для цих деталей, загальне сприйняття деталей, виготовлених за допомогою добавок, полягає в тому, що вони пористі і не можуть використовуватися в середовищах під тиском.

Однак в останні роки це припущення було повністю спростовано. Принтери SLA можуть створювати водонепроникні корпуси та повністю водонепроникні частини. Такі інституції, як Національне управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) і Університет Род-Айленда, досягли неймовірних успіхів у морських дослідженнях, впровадивши недороге високоякісне 3D-друковане обладнання для тестування та дослідження SLA.

3D-друк дає змогу випробувати нові та складні форми для тестування та обладнання для збору зразків, як, наприклад інструмент із компонентами, надрукованими на прозорій смолі (рисунок 1.5).

Гнучкість 3D-друку на вимогу робить можливим і економічно ефективним створення спеціальних пристосувань і пристосувань для досліджень у морі (рисунок 1.6).

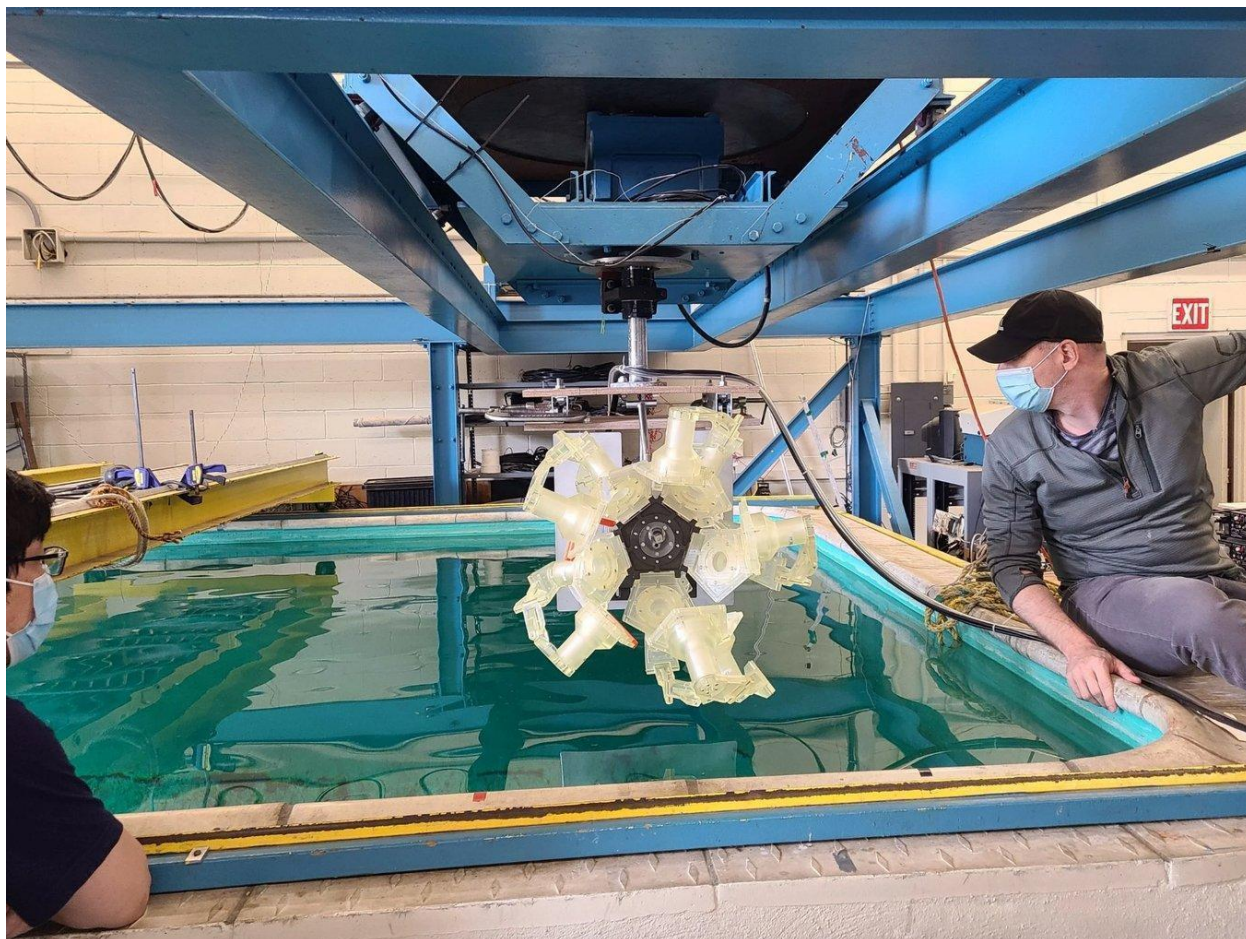


Рисунок 1.5 - Водонепроникне обладнання на основі SLA полімеру

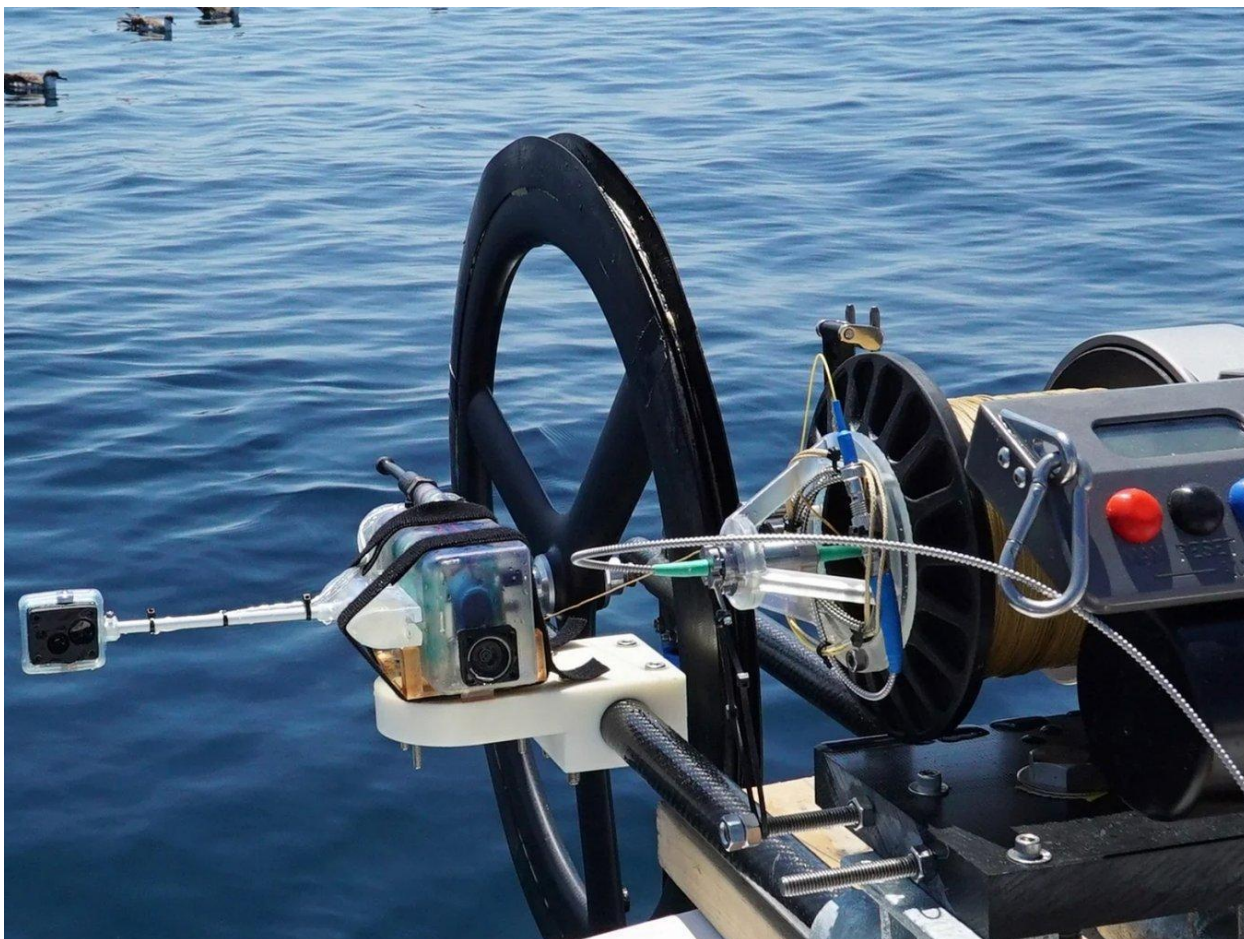


Рисунок 1.6 - Обладнання для дослідженні моря, надруковане на 3Д принтері

3D-друковані деталі на полімері прискорюють інновації та підтримують бізнес у різноманітних галузях і сферах застосування. Сучасні матеріали, неймовірна точність розмірів і доступні робочі процеси роблять деталі можливими на кожному етапі, від створення прототипу до виробництва. Оскільки витрати знизилися, а технологія стала доступнішою та масштабованою, програми для кінцевого використання та масове налаштування стають нормою, а не винятком.

Швидке створення прототипів за допомогою 3D-друку дає змогу інженерам і дизайнерам продуктів перетворювати ідеї на реалістичні докази концепції, просувати ці концепції до високоякісних прототипів, які виглядають і працюють як кінцеві продукти, і направляти продукти через низку етапів перевірки до масового виробництва (рисунок).

Застосування:

- Концептуальні моделі
- Функціональне прототипування
- Валідаційне тестування

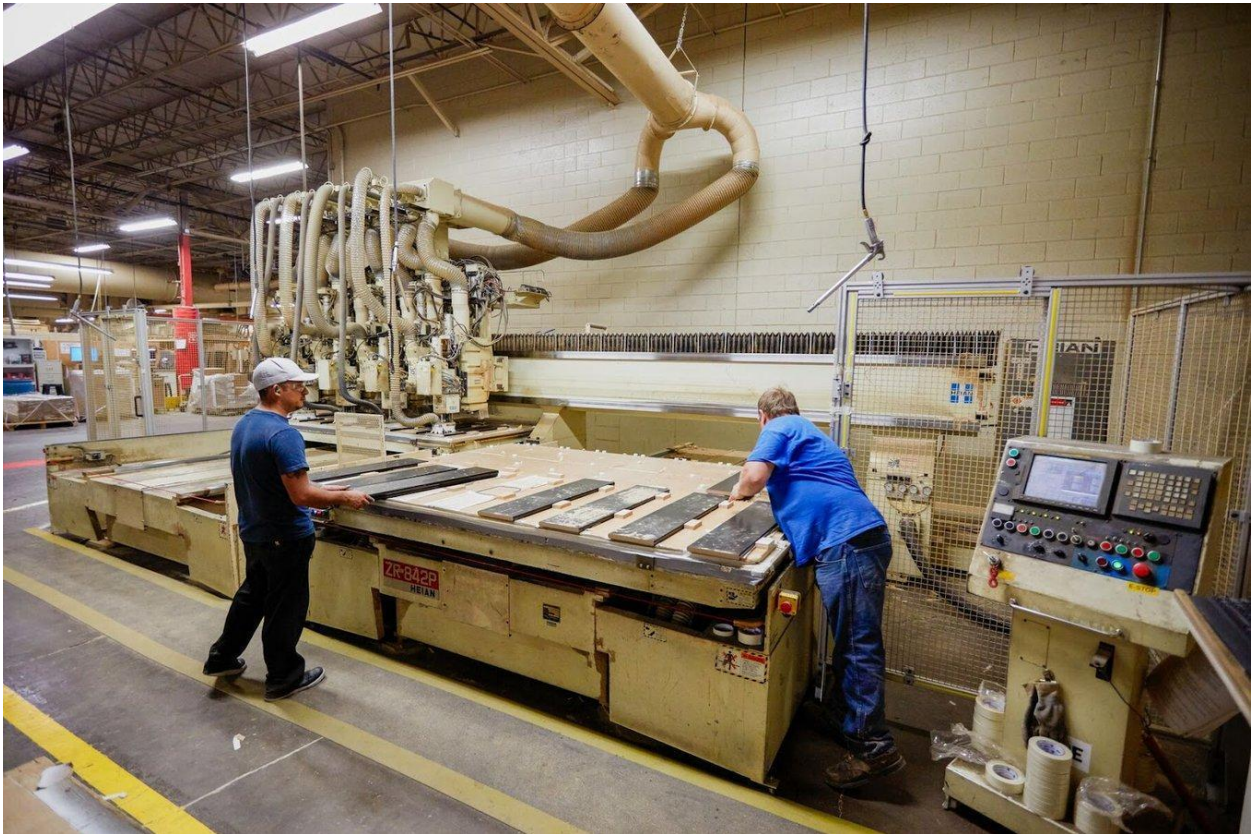


Рисунок 1.7 - Лінія виробництва деталей з впровадженням 3D друку

Виробники автоматизують виробничі процеси та оптимізують робочі процеси шляхом створення прототипів інструментів і безпосереднього 3D-друку спеціальних інструментів, прес-форм і виробничих допоміжних засобів за значно нижчих витрат і часу виконання, ніж у традиційному виробництві. Це зменшує витрати на виробництво та дефекти, підвищує якість, прискорює збірку та максимізує ефективність праці.

Застосування:

- Допоміжні засоби для виробництва (приспособлення та пристосування)
- Швидке формування інструментів (лиття під тиском , термоформування , силіконове формування , видування , лиття металу)

- Малосерійне виробництво
- Масове налаштування

Автомобільні дизайнери, виробники та інженери використовують 3D-друк SLA для різноманітних деталей протягом усього процесу. Від концептуальних моделей до запасних частин, SLA 3D-друк є скрізь і торкається розробки або виробництва кожного автомобіля на дорозі (рисунок 1.8).

- Швидке прототипування (концептуальні моделі , функціональне прототипування , валідаційне тестування)
- Швидке оснащення
- Допоміжні засоби виробництва
- Запчастини кінцевого використання, вторинного ринку та нестандартні запчастини

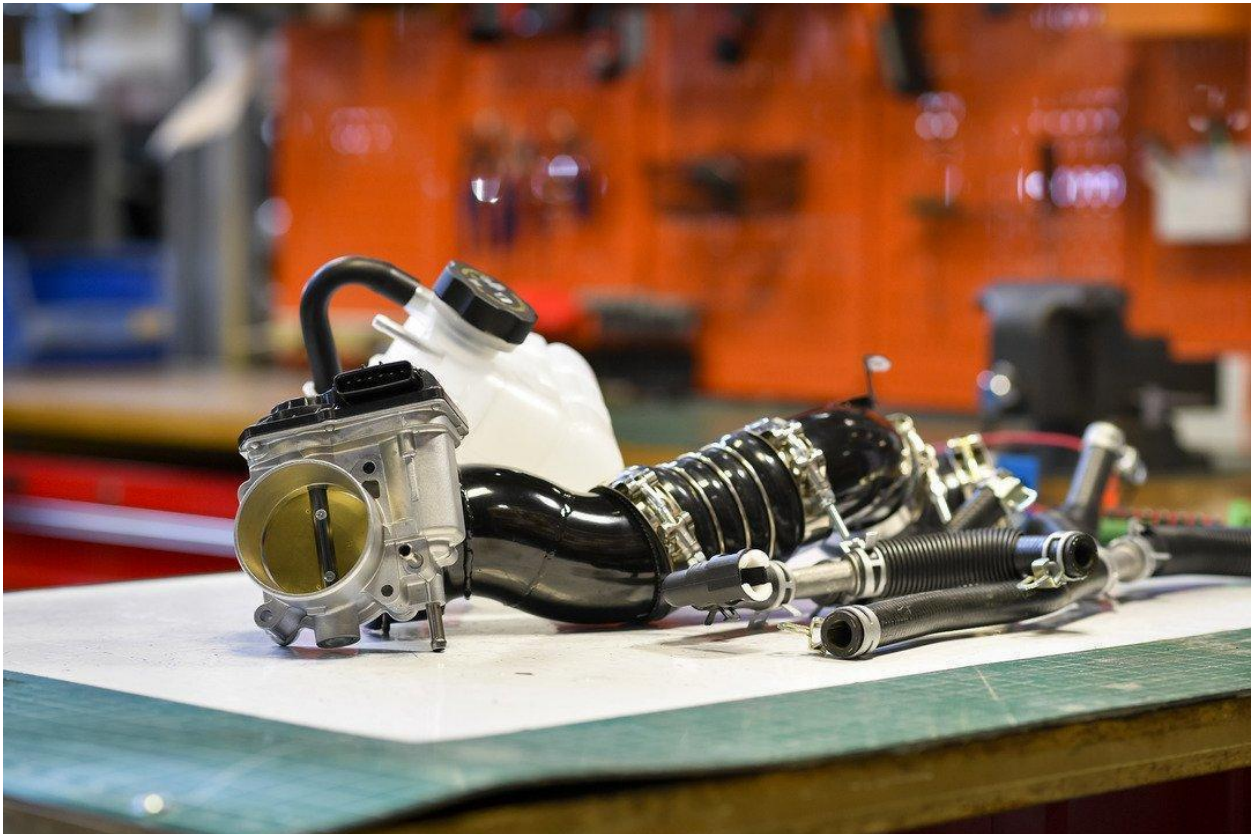


Рисунок 1.8 - Прототип автомобільної запчастини, виготовленої за допомогою SLA принтеру

Аерокосмічна

3D-друковані деталі SLA були відправлені в космос для тестування на Міжнародній космічній станції, використовуються у виробництві для комерційних авіакомпаній і використовуються по всьому світу для тестування, створення прототипів і виробництва як у приватній, так і федеральній аерокосмічній промисловості. Від кріплень, які допомагають створювати лазери для космічних місій, до кераміки, яка використовується для випробувань реактивного палива, деталі SLA допомагають нам досягти останнього рубежу (рисунок 1.9).

- Швидке прототипування (випробування в аеродинамічній трубі)
- Швидке оснащення
- Допоміжні засоби виробництва
- Деталі кінцевого використання, заміни та нестандартні деталі

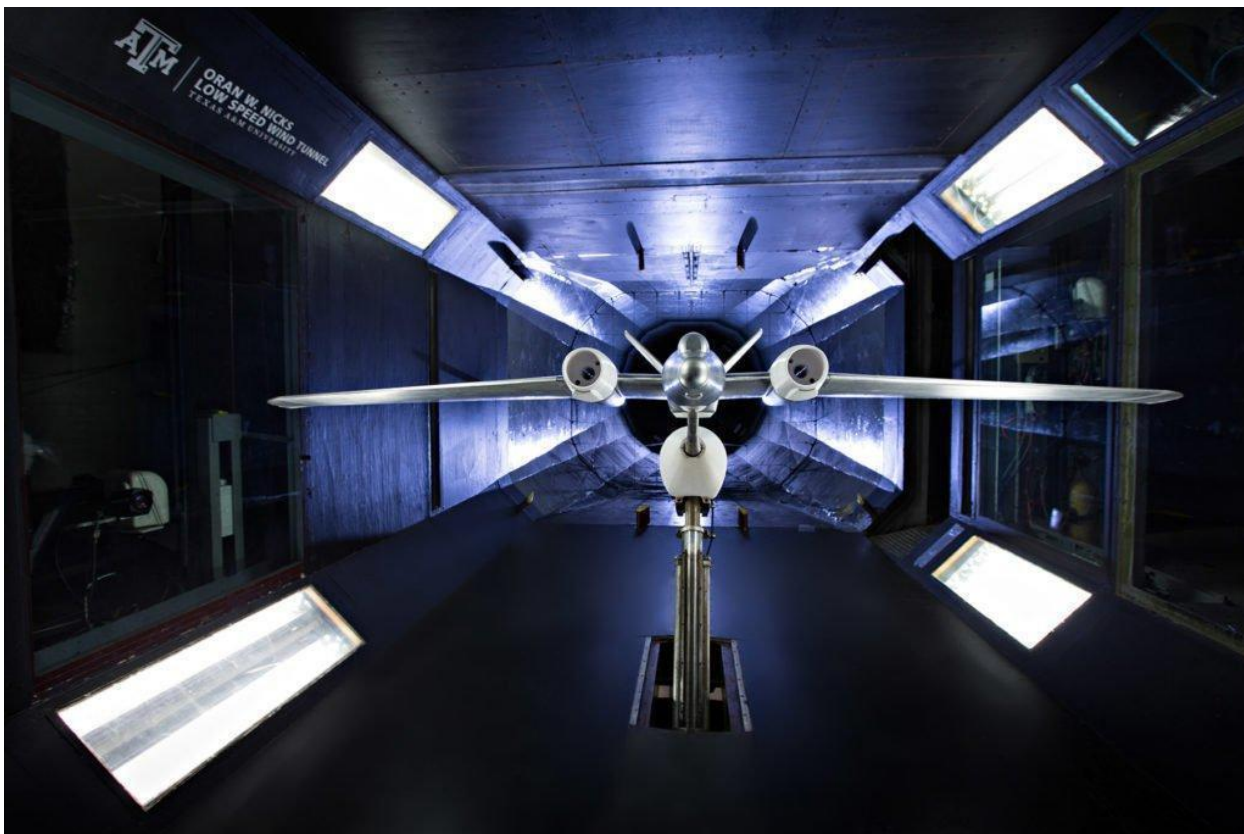


Рисунок 1.9 - Зменшена модель фюзеляжу літака, розроблена з впровадженням SLA технології

Стоматологічний

Цифрова стоматологія зменшує ризики та невизначеності, пов'язані з людським фактором, забезпечуючи вищу послідовність та точність на кожному етапі робочого процесу для покращення догляду за пацієнтами. 3D-принтери можуть виробляти цілий ряд високоякісних виробів і приладів за невеликою вартістю одиниці продукції з чудовою відповідністю та повторюваними результатами (рисунок 1.10).

Застосування:

- Моделі коронок і мостів
- Моделі прозорого елайнера та фіксатора Hawley
- Хірургічні посібники
- Шини та оклюзійні щитки
- Лекала для лиття та пресування
- Зубні протези



Рисунок 1.10 - стоматологічний виріб, виготовлений за допомогою 3D принтера

Медичний

Доступний професійний настільний 3D-друк допомагає лікарям надавати лікування та пристрої з високим рівнем персоналізації, щоб краще обслуговувати кожну унікальну людину, відкриваючи двері для високоефективних медичних програм, заощаджуючи організаціям значний час і кошти (рисунок 1.11).

Застосування:

- Анатомічні моделі для планування операцій
- Медичні прилади та хірургічні інструменти
- Ортопедія та протезування



Рисунок 1.11 - Надлегкий полімерний імплант, надрукований на 3д принтері

Освіта

Смоляні 3D-принтери — це багатофункціональні інструменти для глибокого навчання та поглиблених досліджень. Вони можуть захочувати творчі здібності та знайомити учнів із технологіями професійного рівня, підтримуючи навчальні програми STEAM з науки, інженерії, мистецтва та дизайну.

Застосування:

- Дослідження та розвиток
- Fab labs і makerspaces
- Інструменти навчання між дисциплінами

Розваги

Фізичні моделі високої чіткості широко використовуються в ліпленні, моделюванні персонажів і створенні реквізиту. 3D-надруковані деталі знімалися в кадрових фільмах, відеоіграх, виготовлених на замовлення костюмах і навіть спецефектах для блокбастерів (рисунок 1.12).

Застосування:

- Гіперреалістичні скульптури
- Моделі персонажів
- Виготовлення реквізиту



Рисунок 1.12 - Мініатюрні фігурки персонажів з фільмів

Ювелірні вироби

Професіонали в ювелірній справі використовують САПР і 3D-друк для швидкого прототипування дизайну, підгонки клієнтів і виробництва великих партій готових до відливання виробів. Цифрові інструменти дозволяють створювати послідовні, чітко деталізовані вироби без виснажливості та мінливості воскового різьблення (рисунок 1.13) [5].

Застосування:

- Лиття по виплавленим моделям
- Індивідуальні високоточні прототипи
- Майстер-схеми для формування гуми

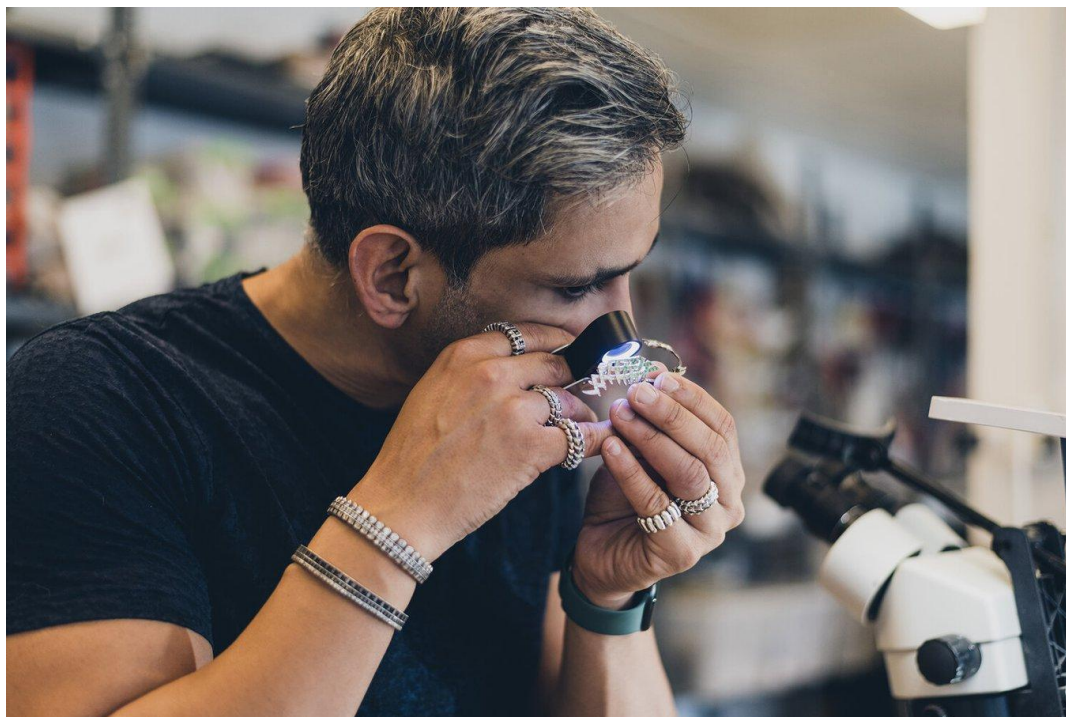


Рисунок 1.13 - Форма для каблучки під лиття

Отже, SLA є ефективним інструментом для виробництва робототехнічних складових, який забезпечує високу якість, точність та можливість роботи з різноманітними матеріалами.

1.2 Огляд можливостей застосування цифрової обробки світла (DLP) для друку робототехнічних складових

Вже досить давно у сфері 3D-друку застосовується смола. Перший патент на цю технологію було видано у 1986 року. Саме тоді фахівцем Чарльзом «Чакком» Холлом було створено технологію SLA (стереолітографія). За допомогою ультрафіолетового світла він намагався досягти затвердіння кожного шару світлочутливих полімерних смол.

Потім пройшло багато часу, з'явилися нові технології, які покращили процес 3D-друку. Час дії патентів минув, на ринку з'явилися нові розробники. На даний момент 3D-принтери на базі смоли поділяються на різні категорії, наприклад, починаючи доступними інструментами для новачків та закінчуючи промисловими професійними агрегатами. Після появи такого асортименту пристроїв з'явилося багато технологій смол: LCD, mSLA, DLP, SLA та інші.

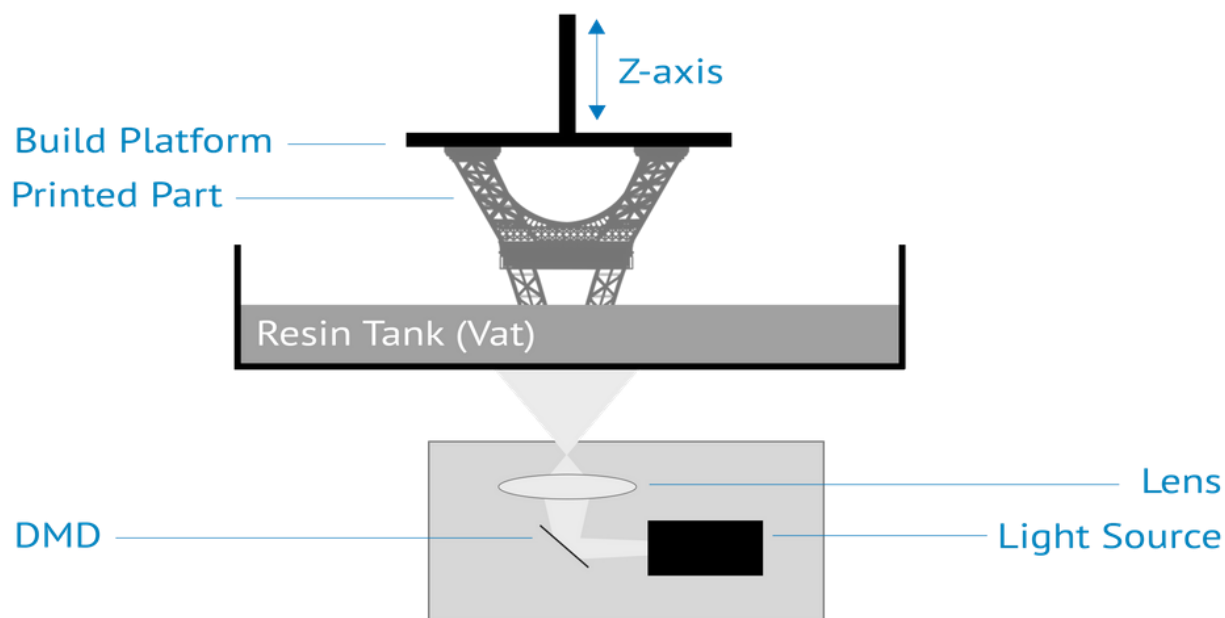
Користувачі можуть мати певні проблеми. Це безпосередньо пов'язано з тим, що потрібно детально розумітися на тому, що саме ви купуєте.

Стандарти ISO відносяться до всіх сфер діяльності у будь-якому напрямку. Це є досить важливим моментом, коли йдеться про промислову сферу. Там запорукою ефективності стало застосування аналогічних очікувань та словникового запасу.

Якщо подивитися на 3D-друк, то суттєва плутанина пов'язана з тим, чи варто весь друкований процес називати смолою стереолітографією. Це лише первісна

технологія. У стандарті ISO/ASTM 52900:2015, користувачі можуть знайти чітку інформацію.[3]

Цифрова обробка світла (DLP) є одним із методів адитивного виробництва, який знаходить широке застосування у виготовленні робототехнічних складових (рисунок 1.14).



WEVolver

Рисунок 1.14 - Принцип роботи цифрової обробки світла (DLP)

Дана технологія має ряд певних переваг та недоліків. Серед переваг можна виділити наступне:

1. Швидкість друку: DLP може пропонувати значну швидкість друку в порівнянні з іншими технологіями, оскільки вона може виконувати одночасну обробку всієї поверхні шару, що дозволяє значно скоротити час друку.

2. Висока роздільна здатність: DLP забезпечує високу роздільну здатність, що дозволяє створювати деталі з високою точністю та деталізацією.

3. Можливість використання різних матеріалів: Технологія DLP дозволяє використовувати різні види матеріалів, включаючи смоли з різними фізичними та механічними властивостями.

4. Відсутність потреби у підтримці: DLP використовує світлодіоди або лазери для полімеризації матеріалу, тому немає потреби в підтримці або заміні дорогих лазерів, що знижує витрати на обслуговування.

З недоліків цифрової обробки світла можна виокремити:

1. Обмеженість матеріалів: Хоча DLP дозволяє використовувати різноманітні матеріали, в порівнянні з іншими технологіями, вибір матеріалів може бути обмеженим.

2. Витрати на обслуговування: Незважаючи на те, що витрати на обслуговування зменшуються порівняно з іншими технологіями, технічне обслуговування пристрою DLP все ще може бути витратним.

3. Високі витрати на спеціальні матеріали: Деякі смоли, призначені для використання в DLP, можуть бути досить дорогими, що впливає на вартість виробництва.

4. Обмеженість в розмірах друку: На відміну від інших технологій, таких як FDM (фузійне осадження), об'єм друку в DLP може бути обмеженим розміром принтера та платформи.

Для технології DLP застосовується інше джерело ультрафіолетового світла. Тут працюють ультрафіолетові проектори, а не лазери. У них проєктоване світло керується через мікродзеркала. Усього за один прохід відбувається проєктування поперечного перерізу шару. Затвердіння у шарі здійснюється одночасно.

Якщо провести порівняння з технологією SLA, то відбувається втрата роздільної здатності. Незважаючи на це, вдається досягти підвищеної швидкості друку, оскільки можна одночасно отвердити весь шар.

3D-відбитки DLP мають піксельний поперечний переріз шару, якщо порівняти з SLA пристроями. Це безпосередньо пов'язано з тим, що проєктор проводить проєктування відразу всієї лінії. Для цього застосовуються пікселі зі свого екрану, що знаходиться на дні резервуару зі смолою.

У деяких випадках це негативно впливає на 3D-відбитки. Вони можуть мати не той рівень гладкості поверхні, який потрібний. При цьому DLP 3D-принтери здатні в технічному плані друкувати більш тонкі стінки, на відміну від SLA, в якому використовується більш товстий лазер.

Існує низка способів вирішити проблему пікселізації. Для цього використовується спеціальний софт для підготовки до DLP друку, наприклад, Lychee, ChiTuBox та різноманітні фірмові слайсери. У них застосовується опція «згладжування». Вона дозволяє згладжувати нерівні маленькі краї, при цьому поза межі об'єкта відбувається часткове затвердіння смоли. У DLP 3D-принтерах існує ще один спосіб вирішення проблеми. Так як в ньому застосовується проєктор, здійснюється масштабування пікселів, які дозволяють смолі затвердіти. Тому плавні лінії можна виконувати шляхом масштабування роздільної здатності такого друку.

Кожен DLP 3D-принтер випромінює певну довжину хвилі рахунку, найчастіше він знаходиться в діапазоні 385-410 нм. Практично всі смоли відрізняються певним діапазоном довжин хвиль світла, що сприяє процесу активації і затвердінню смоли. Користувач повинен переконатися, що пристрій може забезпечити затвердіння смоли. У неприємній ситуації смола не зможе затвердіти. Будова DLP принтеру приведена на рисунку 1.15

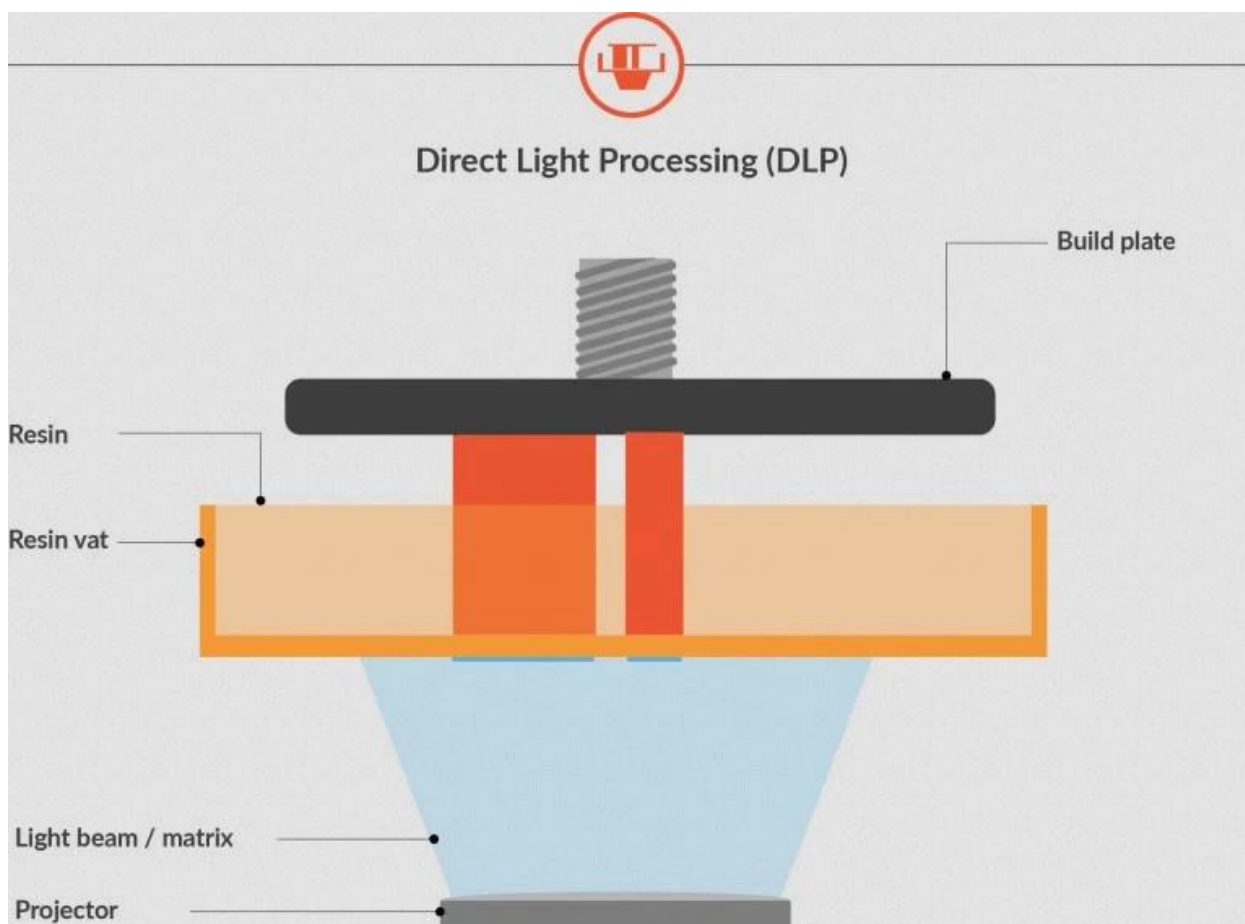


Рисунок 1.15 - Будова DLP принтера

1.3 Параметри та можливості технології плавлення (FDM) для друку робототехнічних складових

Технологія FDM (моделювання методом наплавлення) має цікаву історію свого виникнення та розвитку. Вона була винайдена наприкінці 1980-х років Скоттом Крапом, який став співзасновником компанії Stratasys, що зараз є однією з провідних компаній на ринку 3D-друку.

Історія починається у 1988 році, коли Скотт Крап експериментував з різними матеріалами, намагаючись створити іграшку для своєї дочки. Він використовував суміш воску та поліетилену, яку нагрівав і екструджував через сопло, створюючи шари матеріалу, що поступово формували тривимірний об'єкт. Цей метод здався йому перспективним, і він вирішив розвивати його далі.

У 1989 році Крап подав заявку на патент для своєї технології FDM. Патентування стало важливим кроком для захисту його інновації та залучення інвесторів. Вже в 1992 році він разом зі своєю дружиною Лізою заснував компанію Stratasys, яка зайнялася розробкою та виробництвом комерційних 3D-принтерів на основі FDM-технології. Перші комерційні FDM-принтери мали великий успіх у промисловості, де їх використовували для створення прототипів і моделей.

Комерційний успіх технології FDM не змусив себе чекати. Вона швидко здобула популярність завдяки своїй відносній простоті та ефективності. FDM-принтери стали невід'ємною частиною процесу розробки продуктів у багатьох

галузях, включаючи автомобільну, аерокосмічну, медичну та споживчу електроніку. З часом технологія стала доступнішою, що дозволило проникнути на ринок споживачів. Це дало нові можливості інженерам, дизайнерам, медикам, освітянам та ентузіастам DIY (Do It Yourself).

Принцип побудови прототипу за цим методом відрізняється простотою і зрозумілістю. Цифрова модель завантажується у програмне забезпечення 3D-принтера, де відбувається розрахунок необхідної кількості матеріалу і часу для побудови зразка. Програма розбиває весь процес друку на послідовні горизонтальні шари, після чого запускається друк. На головку принтера, так званий екструдер, розігрітий до температури плавлення матеріалу, подається спеціальна нитка пластика, і, дотримуючись даних 3D-моделі, шари послідовно наносяться на рухому платформу. Так, шар за шаром, виростає прототип. При необхідності, перед початком друку на віртуальній 3D моделі розміщуються допоміжні конструкції (підтримки), які після закінчення друку можуть бути видалені спецрозчином або вручну. Будова самого принтера приведена на рисунку 1.16

Отримані технологією FDM деталі відрізняються міцністю і пружністю, а вибір матеріалу відповідає за такі характеристики як термостійкість, зносостійкість, гнучкість. Точність побудови варіюється від 0,027мм до 1мм. Як правило, у надрукованого об'єкта виходить шарувата (ребриста) поверхня, вираженість якої залежить від товщини одного шару. Від даного ефекту можна позбутися шляхом постобробки хімічними реагентами або шліфуванням.

FDM-технологія має свої певні особливості для широкого примінення в робототехнічній галузі, а саме:

1. Розмір друку: FDM може друкувати деталі різного розміру, від дрібних деталей до великих об'ємів.

2. Широкий спектр вибору матеріалів: FDM працює з різними типами термопластичних філаментів, такими як ABS, PLA, PETG, Nylon, TPU тощо. Це дозволяє вибрати матеріал, що найкраще відповідає вимогам конкретного додатка.

3. Прототипування: FDM часто використовується для швидкого виготовлення прототипів робототехнічних компонентів через широкий вибір матеріалів і достатню точність.

4. Масштабованість: вона легко масштабується для виробництва серійних партій робототехнічних компонентів.

5. Загальна доступність: принтери FDM досить доступні за ціною та прості у використанні, що робить їх популярними для виробництва невеликих серій або індивідуальних деталей.

Хоча технологія FDM має свої обмеження, вона залишається однією з найпопулярніших і ефективних технологій для виробництва робототехнічних складових.

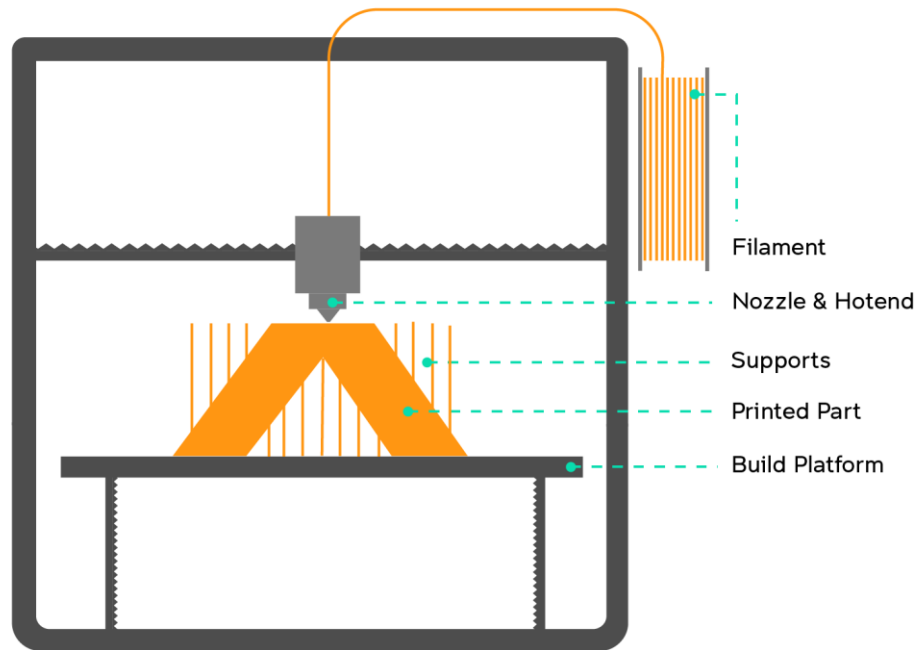


Рисунок 1.16 – Принцип роботи технології FDM [3]

Як і в будь-якій іншій методиці адитивного виробництва суть FDM 3D друку полягає в пошаровому відтворенні об'ємних виробів на основі цифрових даних (3D моделей). Як матеріал в FDM 3D принтерах для цієї мети використовуються спеціальні нитки пластика. Такі нитки можуть бути діаметром 1,75 мм, або 2,85 (3) мм.

По суті, 3D друк FDM - це безперервна подача нитки матеріалу в екструдер (друкуючу головку), оснащений нагрівальним елементом. Останній призначений для нагрівання сопла, через яке подається матеріал. На цьому етапі відбувається плавлення пластику і екструзія (видавлювання) його на платформу 3D принтера. Кожен наступний шар видавлюється на попередній по заданій траєкторії, за рахунок чого і відбувається побудова виробу. Для більш плавної подачі матеріалу, а також швидкого затвердіння шарів, екструдери оснащуються зовнішніми вентиляторами, які створюють різкий перепад температур. [12] Узагальнена схема будови FDM принтерів наведена на рисунку 1.17

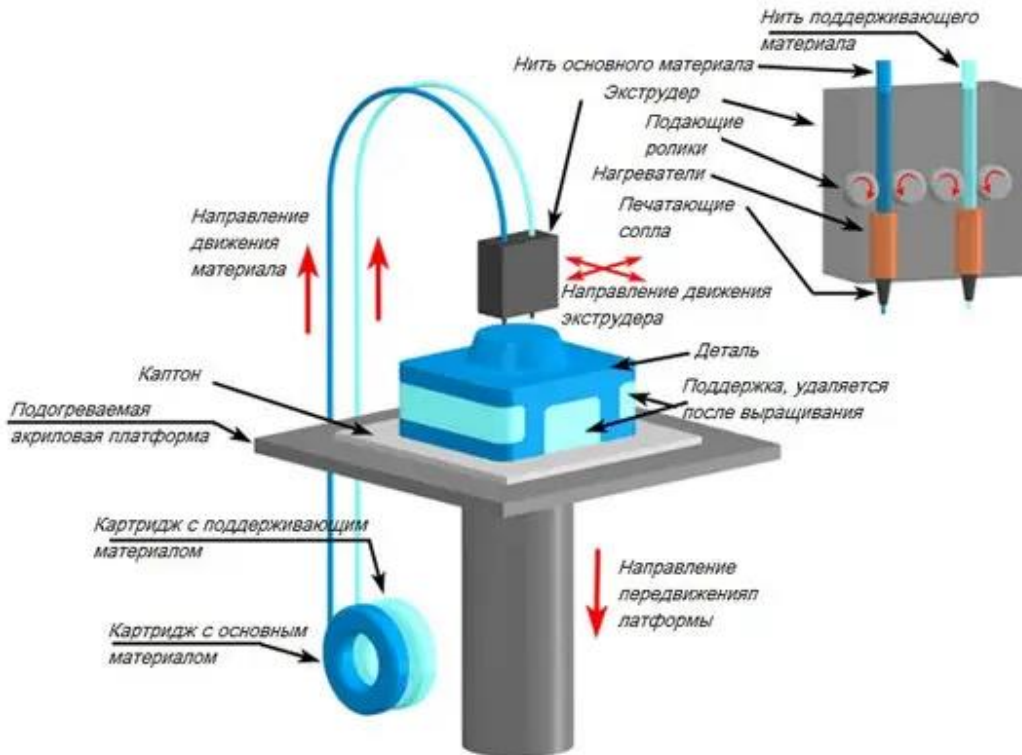


Рисунок 1.17 - Будова FDM принтера

1.4 Порівняльний аналіз технологій лазерної стереолітографії, цифрової обробки світла та методу плавлення

Нещодавно організація 3D Device провела тести різних типів принтерів і зробила графічну оцінку кожного з них, яка наведена на рис.1.18; 1.19 та 1.20 [10]

Оцінка параметрів різних типів принтерів			
	FDM	SLA	DLP
Складність моделювання	🕒🕒🕒	🕒🕒	🕒
Складність підготовки перед запуском друку	🕒	🕒	🕒🕒🕒
Складність заміни матеріалів	🕒🕒	🕒	🕒🕒

Рисунок 1.18 – Оцінка характеристик різних типів принтерів

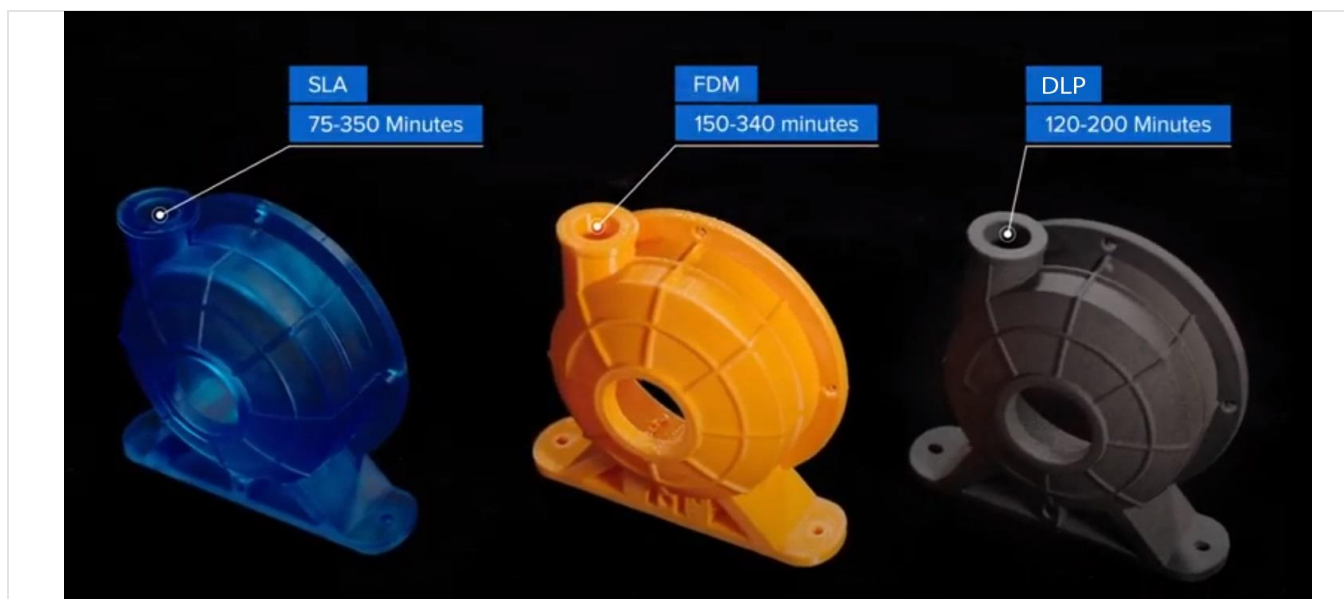


Рисунок 1.19 – Швидкість друку у різних типів принтерів

Виокремити характеристики принтерів можна за складністю моделювання, складністю заміни матеріалів та підготовки перед запуском друку.

DLP-принтери мають найменшу складність моделювання, оскільки проектування цілого шару одночасно спрощує процес. SLA-принтери мають помірну складність, оскільки лазерна точність вимагає певної уваги до деталей у моделюванні. FDM-принтери мають найбільшу складність через те, що кожен шар формується екструзуванням термопластика, і потрібно враховувати можливі проблеми з екструзією та механічну стабільність моделі.

FDM-принтери мають найменшу складність підготовки. Зазвичай це включає завантаження файлу моделі, встановлення філаменту і початкове налаштування принтера. SLA-принтери також відносно прості у підготовці, хоча можуть вимагати налаштування лазера та підготовку смоли. DLP-принтери мають найскладнішу підготовку через необхідність налаштування проекційної системи, точного вирівнювання та перевірки наявності достатньої кількості смоли.

SLA-принтери мають найменшу складність, оскільки зміна фотополімерної смоли зазвичай включає просто заливання нової смоли і, можливо, очищення контейнера. FDM-принтери мають помірну складність. Це включає видалення старого філаменту, завантаження нового і можливе очищення екструдера. DLP-принтери також мають помірну складність, подібну до SLA, але можуть вимагати більше уваги через налаштування проектування та можливе очищення бака від залишків смоли. Цей аналіз дозволяє зрозуміти, що кожна технологія має свої особливості, які слід враховувати при виборі принтера для конкретних завдань.

	FDM	SLA	DLP
 Split Duct Small Part	FAST 150 - 340 minutes	FAST 75 - 350 minutes	120-200 minutes
 Pump Housing Medium Part	SLOW 420 - 1275 minutes	FAST 150 - 660 minutes	660 minutes
 Razor Heads Multiple Parts	SLOW 21 parts 690 - 1710 minutes 33 - 81 minutes per part	12 parts 90-420 minutes 7,5-35 minute per part	FAST 300 parts 2400 minutes (40 hours) 8 minutes per part

Рисунок 1.20 – Час, витрачений на друк різних типів деталей

Оцінивши усі вище описані дані, а також опираючись на дослідження 3D Device можна зробити наступну оцінку характеристик різних типів принтерів, вказану у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - оцінка характеристик різних типів принтерів

Тип друку	Точність друку	Швидкість друку	Вибір матеріалів	Адаптивність для серійного виробництва
SLA	93%	6 деталей за годину	Великий	Середня
DLP	89%	10 деталей за годину	Обмежений	Низька
FDM	61%	7 деталей за годину	Великий	Висока

На основі проаналізованих даних можна зробити наступні висновки: DLP-принтери характеризуються найменшою складністю моделювання завдяки проекції цілого шару ультрафіолетового світла на фотополімерну смолу. Однак, вони мають найбільшу складність підготовки перед запуском друку через необхідність точного налаштування проекційної системи та вирівнювання платформи. Заміна матеріалів у DLP-принтерах є помірно складною, оскільки вимагає очищення бака від залишків смоли та налаштування нового проекту.

SLA-принтери мають помірну складність моделювання через використання лазера для точкового затвердіння рідкої фотополімерної смоли. Підготовка до друку на SLA-принтерах є також помірно складною, включаючи налаштування лазера та перевірку рівня смоли. Заміна матеріалів у SLA-принтерах є найменш

складною серед усіх розглянутих технологій, оскільки зазвичай включає лише заливання нової смоли та очищення контейнера.

FDM-принтери демонструють найменшу складність підготовки перед запуском друку. Вона включає завантаження моделі у програму для нарізки (slicer), встановлення філаменту і початкове налаштування принтера. Проте, FDM-принтери мають найбільшу складність моделювання, що обумовлено необхідністю ретельного налаштування параметрів друку, таких як температура екструзії, швидкість подачі філаменту та висота шару. Заміна матеріалів у FDM-принтерах є помірно складною, оскільки включає видалення старого філаменту, очищення екструдера та завантаження нового філаменту.

Цей аналіз дозволяє зрозуміти, що кожна технологія має свої особливості, які слід враховувати при виборі принтера для конкретних завдань. DLP-принтери підходять для проектів, де важлива висока точність і швидкість, але необхідна складна підготовка. SLA-принтери є оптимальними для завдань, що потребують високої деталізації та легкої заміни матеріалів. FDM-принтери є найкращим вибором для початківців і проектів, де важлива простота підготовки та доступність матеріалів, але потребують більше уваги до налаштувань під час моделювання.

2. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ВИГОДИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

2.1 Оцінка вартості матеріалів при друку робототехнічних деталей та при класичному способі виробництва

В сучасних умовах розвитку промисловості робототехніка займає ключову роль у підвищенні ефективності виробничих процесів. Виробництво робототехнічних деталей є важливою складовою цього процесу, і вибір методу виробництва має вирішальний вплив на економічну ефективність і технічну досконалість кінцевих продуктів. З огляду на різноманітність доступних технологій, одним з найбільш обговорюваних питань є порівняння вартості матеріалів при використанні традиційних методів виробництва та новітніх технологій 3D-друку.

Традиційні методи виробництва, такі як механічна обробка, лиття та штампування, довгий час залишалися основою індустріального виробництва завдяки їх надійності та можливості масового виробництва. Ці методи характеризуються значними витратами на сировину, інструменти та обробку матеріалів, що значно впливає на загальні витрати виробництва. Зокрема, для кожного етапу виробничого процесу потрібні спеціалізовані інструменти та обладнання, а також додаткові витрати на утилізацію відходів матеріалів.

Аналіз оцінки вартості матеріалів при друку робототехнічних деталей та класичному способі виробництва може бути досить складним і залежати від багатьох чинників, таких як тип матеріалу, обсяг виробництва, технології виробництва тощо.

Матеріал значно впливає на кінцеву вартість деталі: наприклад, середня ціна PLA пластику може коливатись від 15 \$/€ за кг до 500 \$/€ за кг і навіть більше. Крім того, слід враховувати, принаймні для деяких технологій, таких як FDM і SLA, вартість опор, які можуть бути в матеріалі (наприклад, BVOH), зазвичай дорожчі, ніж сам матеріал для друку. Щоб оцінити вартість, 3DBenchy об'ємом 16 см³ може коштувати (лише матеріал) приблизно від 0,25 \$/€, якщо виготовлено з дешевого PLA, до 8 \$/€, виготовлене з 500 \$/€ кг (рисунок 2.1) [12]



Рисунок 2.1 - Деталі, виготовлені з пластику різних цінкових категорій

При порівнянні методів виготовлення 1000 деталей робота, класичний метод та метод 3D-друку демонструють суттєві відмінності у витратах. Класичний метод передбачає використання ABS-пластику, де витрати на матеріал складають 2 долари за кілограм, а з урахуванням того, що вага однієї деталі становить 500 грамів, загальна вартість матеріалу для 1000 деталей становитиме 1 долар. Витрати на формування інструментів досягають 1000 доларів, а додаткові витрати на промивання, обробку та фінішне оздоблення складають 300 доларів. З урахуванням витрат на виробництво, які становлять 2000 доларів, загальні витрати на виготовлення 1000 деталей складають 3301 долар.

Метод 3D-друку, натомість, демонструє інший розподіл витрат. Вартість 3D-принтера середнього класу складає приблизно 300 доларів. Вартість матеріалу PLA для друку складає 20 доларів за кілограм, що для виготовлення однієї деталі становить 20 доларів. Амортизаційні витрати принтера, розраховані на рік, складають 30 доларів, а витрати на електроенергію та обслуговування - 100 доларів на рік, що в сумі становить 130 доларів на рік. Витрати за 5 годин друкування складають 10 доларів. Таким чином, загальні витрати на виготовлення 1000 деталей методом 3D-друку складають 360 доларів.

Отже, в даному прикладі витрати на виробництво 1000 деталей за допомогою методу 3D-друку складають 360 доларів, що значно менше, ніж 3301 доларів за класичний метод лиття пластику. Таким чином, 3D-друк може бути більш вигідним з точки зору витрат на виробництво деяких типів робототехнічних деталей.

Всі вище розглянуті фактори мають суттєвий вплив на підсумкову вартість матеріалів та виробництва. Крім того, для обчислення повних витрат потрібно враховувати інші аспекти, такі як витрати на працю, оренду приміщень, логістику, податки тощо. У конкретних випадках рекомендується провести детальний аналіз вартості виробництва, можливо з допомогою фахівців у сфері виробництва або фінансових консультантів.

Організація Sculpteo провела опитування у багатьох компаніях та отримала наступний результат - більшість опитаних активно використовують адитивне виробництво і вважають, що 3D-друк є частково або повністю інтегрованим у їхню

загальну стратегію. Для підтвердження ефективності цієї технології 89% користувачів вбачають в 3D-друці сильну сторону або конкурентну перевагу [1]. Результати опитування вказані на рис. 2.2.

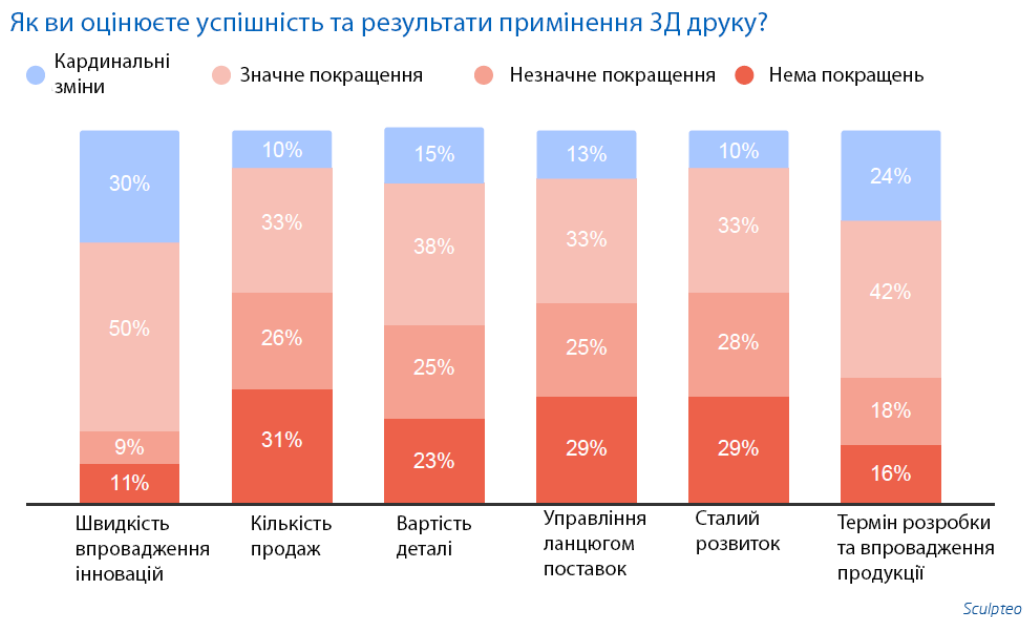


Рисунок 2.2 – Оцінка успішності застосування 3Д друку, за версією Sculpteo [1]

Також варто враховувати різні технології та підходи до створення компонентів, а також вартість матеріалів оптом.

Для 3D-друку за технологією FDM основними матеріалами є термопластичні філаменти, такі як PLA, ABS і PETG. Вартість PLA філамента варіюється від 20 до 30 доларів за кілограм, ABS — від 25 до 40 доларів за кілограм, а PETG — від 30 до 50 доларів за кілограм. При виготовленні робототехнічних деталей середня вартість друку за допомогою цих матеріалів коливається від 0.05 до 0.10 долара за грам, враховуючи витрати на філамент та амортизацію обладнання.

Технології SLA та DLP використовують рідкі фотополімерні смоли, вартість яких становить від 50 до 150 доларів за літр. Вартість друку деталей за допомогою SLA та DLP принтерів є подібною і може коливатися від 0.15 до 0.30 долара за грам, враховуючи витрати на смолу та обслуговування принтера.

До переваг 3D-друку належить можливість швидкого прототипування та виготовлення деталей зі складними геометричними формами без потреби у дорогих формах та інструментах для кожної нової деталі. Це значно знижує витрати на дрібносерійне виробництво. Проте, 3D-друк має і свої недоліки: вища вартість матеріалів на грам порівняно з класичними способами виробництва, а також обмеження в міцності та механічних властивостях матеріалів у порівнянні з металевими компонентами.

Класичні методи, такі як лиття, фрезерування та штампування, використовують різноманітні матеріали, включаючи метали (сталь, алюміній, латунь) і пластмаси (ABS, нейлон, поліпропілен). Вартість сировини для металів становить 1-2 долари за кілограм для сталі, 3-4 долари за кілограм для алюмінію та

5-6 доларів за кілограм для латуні. Вартість пластмас варіюється від 2 до 4 доларів за кілограм для ABS, від 4 до 6 доларів за кілограм для нейлону та від 1 до 3 доларів за кілограм для поліпропілену.

Перевагами класичних методів виробництва є низька вартість матеріалів на грам, висока міцність і надійність деталей, особливо з металів, а також висока точність і можливість масового виробництва. Однак ці методи мають значні недоліки, зокрема високі витрати на інструменти та форми для виробництва нових деталей, високу початкову вартість при дрібносерійному виробництві та тривалий час підготовки і виготовлення складних геометричних форм.

Загалом, вибір між 3D-друком та класичними методами виробництва залежить від конкретних потреб і умов. 3D-друк є більш гнучким і швидким для прототипування та дрібносерійного виробництва, але має вищі витрати на матеріали і певні обмеження у властивостях деталей. Класичні методи є економічно вигіднішими для масового виробництва та забезпечують високу якість і міцність деталей, проте потребують значних інвестицій у початковий етап виробництва та довший час підготовки. Всі дані, описані вище наведені у діаграмі (рисунк 2.3)

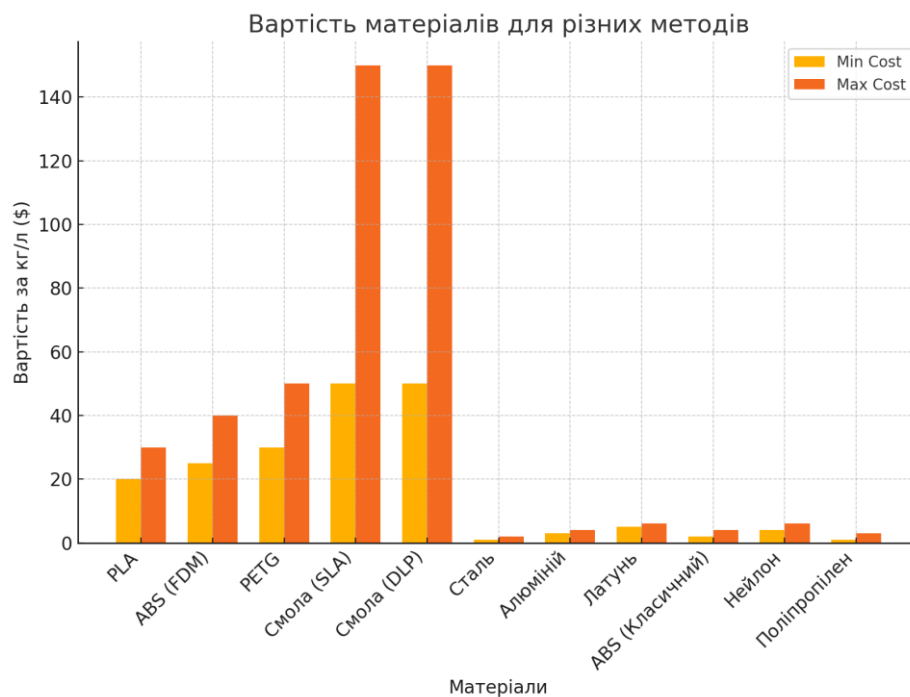


Рисунок 2.3 - Порівняння вартості матеріалів

Вибір між 3D-друком та класичним способом виробництва робототехнічних деталей залежить від специфіки проекту, обсягу виробництва та вимог до матеріалів. 3D-друк є економічно вигідним для прототипування, виробництва складних геометричних форм та дрібносерійного виробництва завдяки низьким накладним витратам. Класичні методи виробництва залишаються кращими для великих серій, де початкові витрати на інструменти та форми компенсуються низькою вартістю матеріалів і високою продуктивністю.

2.2 Оцінка довготривалості виробничого процесу при друку робототехнічних деталей та при класичному способі виробництва

Виробництво робототехнічних деталей є критичним елементом сучасного промислового комплексу. В умовах глобальної конкуренції та технологічного прогресу, вибір оптимального виробничого процесу стає вирішальним фактором для забезпечення конкурентоспроможності підприємства. Традиційні методи виробництва (лиття, механічна обробка, штампування) зіткнулися з серйозною конкуренцією з боку новітніх технологій, зокрема 3D-друку.

Класичні методи виробництва, такі як фрезерування, токарна обробка, лиття під тиском і штампування, мають усталені процеси і технології, які використовуються протягом багатьох десятиліть. Ці методи характеризуються значними початковими витратами часу на підготовчі етапи. Наприклад, створення прес-форм для лиття або матриць для штампування є тривалим і дорогим процесом, що вимагає високої точності і використання спеціалізованого обладнання.

Процес механічної обробки металів, який включає фрезерування і токарну обробку, також потребує значного часу на налаштування верстатів, підготовку інструментів і програмування обробки. Ці етапи є необхідними для забезпечення високої якості та точності готових деталей. Тривалість самого виробничого процесу залежить від складності деталі і матеріалу, що обробляється. Наприклад, виготовлення складних деталей з високоміцних матеріалів може займати від кількох годин до кількох днів.

Крім того, після основної обробки необхідно проводити додаткові операції, такі як термічна обробка, полірування, анодування або фарбування, що також додає до загальної тривалості виробничого процесу. Контроль якості, який включає в себе вимірювання та перевірку готових деталей, є обов'язковим етапом, що забезпечує відповідність продукції заданим параметрам.

Адитивне виробництво, або 3D-друк, пропонує інший підхід до виготовлення деталей, який може суттєво зменшити загальну тривалість виробничого процесу. Основною перевагою 3D-друку є можливість безпосереднього виготовлення деталей за цифровими моделями без потреби у виготовленні інструментів, прес-форм чи матриць. Це значно знижує початкові витрати часу на підготовку виробництва.

Процес 3D-друку починається з розробки тривимірної моделі деталі, яка створюється за допомогою САД-програмного забезпечення. Ця модель потім перетворюється на цифровий формат, придатний для друку, і завантажується до 3D-принтера. Сам процес друку залежить від обраної технології та матеріалу. Наприклад, технологія FDM (fused deposition modeling) дозволяє швидко друкувати деталі з термопластиків, тоді як SLM (selective laser melting) використовується для друку металевих деталей з високою точністю і міцністю.

Тривалість друку залежить від розмірів та складності деталі, але в багатьох випадках 3D-друк дозволяє значно скоротити час виготовлення у порівнянні з традиційними методами. Після завершення друку може знадобитися незначна

механічна обробка для видалення підтримок або шліфування поверхні, але ці етапи є значно менш трудомісткими у порівнянні з традиційними методами.

Контроль якості при 3D-друці також є важливим етапом, однак можливість використання автоматизованих систем перевірки і контролю дозволяє знизити витрати часу і підвищити точність вимірювань.

До прикладу, друк простої архітектурної моделі будівлі розмірами 45 x 30 x 17 см в довжину, ширину й висоту відповідно займає 1 годину 17 хвилин, в той час, як створення такої ж макету через лиття займає від двох годин (рисунок 2.4)

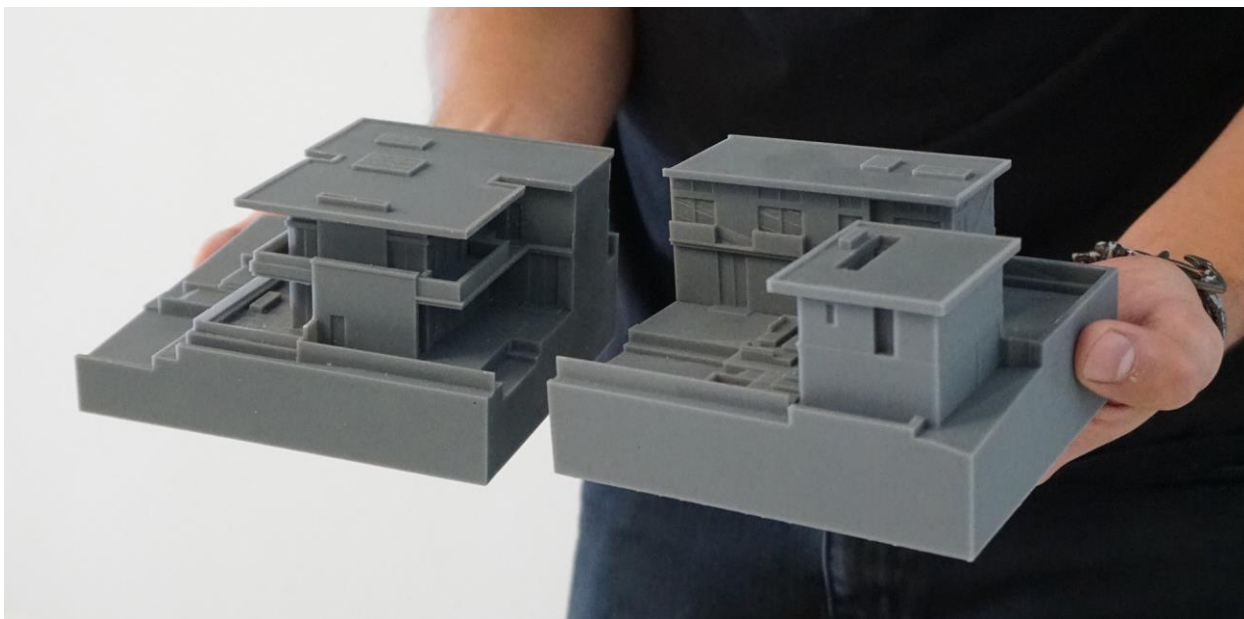


Рисунок 2.4 - Макет будівлі, створеної на 3D принтері

Для оцінки ефективності та довготривалості виробничих процесів у контексті виготовлення робототехнічних деталей, варто розглянути як 3D-друк, так і класичний метод лиття пластику. Ці методи мають різні підходи до виробництва, що впливають на загальний час виготовлення продукції.

Процес 3D-друку включає кілька етапів. Спочатку проводиться моделювання деталі на програмному рівні, що займає в середньому 60 хвилин. Після цього необхідно підготувати файл для друку, що триває ще 30 хвилин. Наступним кроком є налаштування принтера та підготовка матеріалу, на що витрачається близько 15 хвилин. Сам процес друкування кожної деталі триває 60 хвилин. Якщо взяти за приклад виготовлення 100 деталей, то загальний час на друкування складатиме 6000 хвилин, враховуючи постійну тривалість друку кожної окремої деталі.

У випадку класичного методу лиття пластику, першим етапом є виготовлення форми, що займає приблизно три дні. Після цього слідує підготовка матеріалу та заливка форми, на що витрачається близько двох годин. Витримка та видалення деталі з форми займає один день. Таким чином, загальний час на виготовлення 100 деталей методом лиття пластику складає чотири дні.

Аналізуючи ці дані, можна зробити висновок, що 3D-друк вимагає більше часу для виробництва великої кількості деталей через необхідність друку кожної окремої деталі. Однак цей метод забезпечує високу гнучкість у виготовленні

складних геометричних форм і є ефективним для дрібносерійного виробництва та прототипування. З іншого боку, класичний метод лиття пластику, хоча й потребує більше часу на початковий етап виготовлення форми, є більш ефективним для масового виробництва великої кількості однакових деталей. Він дозволяє значно скоротити час на виготовлення після створення форми, що робить його оптимальним вибором для великих партій виробів. Всі вищеперелічені дані наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - затрати часу для різних методів виробництва

Етап виробництва	Метод 3D-друку (FDM)	Класичний метод лиття пластику
Моделювання деталі на програмному рівні	60 хвилин (усереднено)	-
Підготовка файлу для друку	30 хвилин	-
Налаштування принтера та підготовка матеріалу	15 хвилин	-
Друкування кожної деталі	60 хвилин	-
Загальний час на друкування 100 деталей	6000 хвилин	-
Виготовлення форми	-	3 дні
Підготовка матеріалу та заливка форми	-	2 години
Витримка та видалення деталі з форми	-	1 день
Загальний час на виготовлення 100 деталей	4 дні	4 дні

Також для конкретного прикладу можна взяти створення корпусу автономного мобільного дрону з вбудованою камерою.

При використанні FDM-принтера для виготовлення корпусу, весь процес включає кілька етапів. Спершу необхідно створити 3D-модель, що займає приблизно 8 годин. Після цього слідує підготовка файлу для друку, яка триває 30 хвилин. Сам процес друку займає близько 24 годин. Завершальним етапом є післяобробка, що включає видалення підтримок і полірування, на що витрачається ще одна година. Таким чином, загальний час виготовлення корпусу за допомогою FDM-принтера складає 33 години.

Фрезерування корпусу з алюмінієвого сплаву включає інші етапи і займає більше часу. Спершу потрібно створити технічні креслення, що займає 16 годин. Далі слідує виготовлення інструментів та форм, що займає приблизно два тижні. Сам процес фрезерування корпусу займає 48 годин. Після цього необхідно провести механічну обробку та полірування, що додає ще 8 годин до загального часу. Отже, загальний час виробництва корпусу методом фрезерування складає два тижні та 56 годин.

На основі наведених даних, виготовлення корпусу дрону за допомогою 3D-друку (FDM) займає значно менше часу — 33 години, порівняно з класичним методом фрезерування, який потребує більше часу — два тижні та 56 годин. Отже, 3D-друк є швидшим методом виробництва в даному контексті, що робить його привабливим для прототипування та виготовлення деталей у короткі терміни.

Метод 3D-друку потребує меншого часу на підготовку та виробництво деталей, а також дозволяє виготовляти деталі без необхідності виготовлення складних форм. Також варто зазначити, що час виробництва сильно залежить від типу принтера, пластику, складності деталей, їх кількості та багатьох інших факторів.

Класичний метод лиття пластику вимагає більше часу на підготовку форм та процес виробництва. Проте, якщо виробництво здійснюється великими партіями, час на виготовлення форми може бути виправданим через економію часу на самому процесі лиття.

Отже, за швидкістю виробництва метод 3D-друку є більш ефективним і зручним, особливо для виробництва невеликих серій або одиничних деталей.

2.3 Оцінка витрат на обладнання для 3D-друку та його обслуговування порівняно з традиційними методами виробництва

3D-друк має ряд переваг у порівнянні з традиційними методами виробництва, у тому числі й економічна ефективність для дрібносерійного виробництва: традиційні методи виробництва часто вимагають дорогих форм та інструментів, що може зробити дрібносерійне виробництво надмірно дорогим. З іншого боку, 3D-друк набагато рентабельніший для дрібносерійного виробництва, оскільки не вимагає дорогих інструментів або витрат на налаштування.

Налаштування та гнучкість дизайну: 3D-друк забезпечує набагато більшу гнучкість та налаштування дизайну, оскільки можна створювати складні та хитромудрі форми, які було б важко чи неможливо виготовити з використанням

традиційних методів. Це означає, що дизайнери та виробники можуть створювати продукти, адаптовані до конкретних потреб, переваг або специфікацій клієнтів.

Більш швидкий час виробництва: 3D-друк може бути набагато швидшим, ніж традиційні методи виробництва, оскільки немає потреби в інструментах або процесах механічної обробки. Це означає, що продукти можна розробляти, створювати прототипи та виробляти набагато швидше, ніж за допомогою традиційних методів.

Щоб скористатися перевагами 3D-друку, необхідно інвестувати у 3D-принтери. На сайті 3d4u.com.ua ви можете знайти різні 3D-принтери, доступні для покупки.

Традиційне виробництво, як і раніше, має деякі переваги в порівнянні з 3D-друком у певних областях, у тому числі:

Більш ефективний для великосерійного виробництва: традиційні методи виробництва, такі як лиття під тиском та методи масового виробництва, як і раніше, більш ефективні, коли йдеться про виробництво великої кількості ідентичних деталей.

Доступний широкий спектр матеріалів: традиційні методи виробництва можуть працювати з ширшим спектром матеріалів, включаючи метали, кераміку та композити, що може бути неможливо при використанні сучасних технологій 3D-друку.

Встановлені заходи контролю якості: традиційне виробництво має заходи контролю якості, що добре зарекомендували себе, щоб гарантувати, що продукція виробляється відповідно до єдиного стандарту. [6]

Однак придбання обладнання для 3D-друку, такого як високоякісні принтери та відповідне обладнання, може вимагати значних початкових інвестицій. Вартість просунутих 3D-принтерів із багатьма функціями, високою точністю та великими обсягами друку може стати перешкодою для невеликих підприємств. Крім того, регулярне технічне обслуговування обладнання для 3D-друку має важливе значення для забезпечення стабільної роботи. Витрати, пов'язані з обслуговуванням, ремонтом і потребою в кваліфікованих техніках, можуть збільшити загальні експлуатаційні витрати. Через ці фактори попит на цих роботів зменшиться.

Провідні гравці ринку змушені конкурувати із різноманітними інноваційними пропозиціями, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку, а також приймати різні стратегії, щоб задовольнити попит, що надходить з різних галузей. Ключовими стратегіями розвитку на ринку є придбання та партнерство та співпраця. Нещодавнє опитування показало відсоток доходу, який поділяють деякі з провідних компаній на ринку (рисунок 2.5).

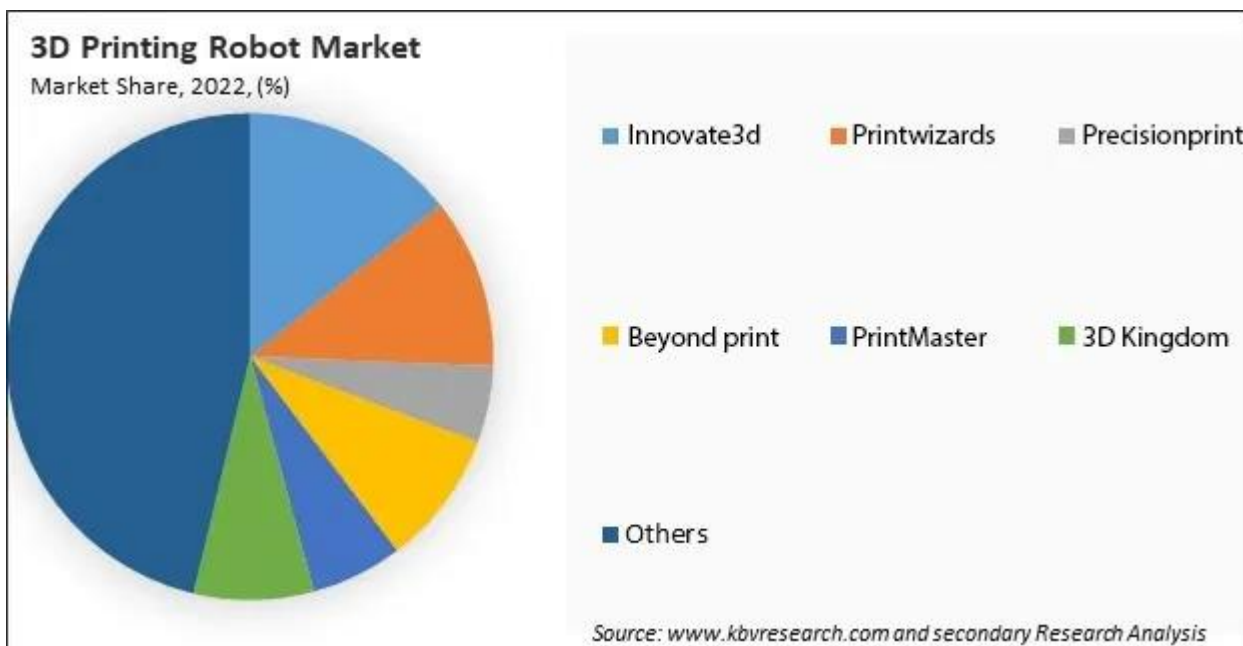


Рисунок 2.5 - Відсоток доходу, який поділяють деякі з провідних компаній на ринку

Для прикладу можна взяти виготовлення коліщатка для промислового робота.

Використання 3D-друку для виготовлення коліщатка передбачає витрати на обладнання, матеріали та обслуговування. FDM-принтер середнього класу, такий як Creality Ender 3, коштує від 200 до 300 доларів. Крім цього, для обслуговування принтера необхідні додаткові інструменти та підтримка, що додають до загальних витрат ще 50-100 доларів. Вартість пластику для друку, наприклад PLA, коливається між 20 та 30 доларами за кілограм. Обслуговування FDM-принтера включає періодичне очищення та заміну деталей, таких як сопла, що становить приблизно 20-50 доларів на рік.

З іншого боку, традиційний метод виготовлення коліщатка на токарному верстаті передбачає значно більші витрати на обладнання. Вартість токарного верстата може варіюватися від 5,000 до 20,000 доларів, залежно від його розміру та характеристик. Обслуговування та інструменти для роботи з верстатом додають ще 200-500 доларів до загальних витрат. Вартість металевої заготовки, наприклад сталі, становить приблизно 50-100 доларів за кілограм. Крім цього, традиційний метод потребує регулярної заточки та заміни інструментів, що додає до витрат ще 100-200 доларів на рік.

Загалом, FDM-принтери є дешевшими у порівнянні з токарними верстатами. Витрати на матеріали для 3D-друку також можуть бути меншими, оскільки не потребують великих металевих заготовок. Щодо обслуговування, традиційні методи зазвичай вимагають більше витрат на регулярне обслуговування та заміну інструментів.

Таким чином, вибір між 3D-друком та традиційним методом залежить від конкретних вимог до виробу та економічних можливостей. Для дрібносерійного виробництва та прототипування 3D-друк може бути більш економічно вигідним та

гнучким варіантом. Водночас, для масового виробництва з високими вимогами до міцності та точності металевих деталей традиційний метод залишається оптимальним вибором, незважаючи на більші початкові витрати.

Важливо зазначити, що пост-обробка є обов'язковою для будь-якого 3D-принтера, і вона має серйозний недолік — значну вартість, яку часто серйозно недооцінюють. Насправді фінішна обробка — це не просто видалення опор під час друку FDM або SLA, що вимагає часу і часто може призвести до пошкодження деталі.

Додаткова обробка також потрібна принтерам MJF і SLS: у цьому випадку щойно виготовлена деталь покривається залишками будівельного пилю, які потрібно видалити за допомогою дороговартісної технології оброблення відростками (рисунок 2.6) [13].



Рисунок 2.6 - Деталі після постобробки

Як можна стверджувати, при умові що витрати на обладнання для 3D-друку можуть бути нижчими, загальні витрати на матеріали та обслуговування можуть бути меншими за допомогою традиційних методів, якщо розглядати широкомасштабне виробництво або деталі з великим обсягом виробництва. Однак для прототипування та невеликих серій виробництва 3D-друк може бути більш економічно вигідним варіантом.

2.4 Аналіз якості та точності виробництва робототехнічних деталей шляхом 3D-друку

У сучасному виробництві робототехнічних компонентів, ключовими параметрами є якість та точність виготовлення, оскільки вони безпосередньо впливають на функціональність і надійність кінцевих виробів. З розвитком технологій адитивного виробництва, особливо 3D-друку, відкрилися нові можливості для створення складних, високоточних деталей з мінімальними відходами матеріалу. Цей метод виробництва набуває все більшої популярності завдяки своїм численним перевагам перед традиційними технологіями, такими як механічна обробка, лиття та штампування.

Традиційні методи виробництва, такі як фрезерування, токарна обробка, лиття під тиском та штампування, залишаються основними у промисловості через їхню здатність до масового виробництва та високої продуктивності. Ці методи характеризуються значними витратами на підготовку інструменту, форм і матриць, а також високим рівнем матеріальних відходів. У процесі механічної обробки матеріал часто знімається у вигляді стружки, що призводить до значних втрат матеріалу. Лиття, з іншого боку, вимагає створення дорогих і складних форм, що робить цей метод менш гнучким при виготовленні деталей невеликими партіями або одиничними екземплярами.

3D-друк, або адитивне виробництво, базується на принципі пошарового нарощування матеріалу для створення тривимірних об'єктів. Цей метод дозволяє виготовляти деталі з високою геометричною складністю, які часто неможливо отримати за допомогою традиційних методів. Технології 3D-друку, такі як селективне лазерне плавлення (SLM), стереолітографія (SLA) та моделювання методом наплавлення (FDM), пропонують різні підходи до формування деталей, кожен з яких має свої переваги та обмеження.

Якість 3D друк фотополімерного 3D принтера- це сукупність багатьох факторів, починаючи від технічних параметрів принтера і закінчуючи властивостями фотополімерів. Не можна розглядати "якість друку", як якийсь окремий показник роботи 3D принтера у відриві від матеріалу, яким плануєте друкувати, тим більше, що властивості багатьох недорогих матеріалів такі, що їх усадка і паразитне засвічення більші, ніж заявлені параметри "якості друку" принтера. [7]

Однак за результатами дослідження, проведеного Global Market Insights у 2023 році ринок роботів-3D-друків у Північній Америці займав понад 35% і, як очікується, зростатиме великими темпами. Результати дослідження вказані на рисунку 2.7.

Досягнення роботизованого 3D друку сприяють значним інвестиціям регіону в дослідження та розробки та складній технологічній інфраструктурі. Ці роботи швидко використовуються в аерокосмічній, автомобільній та охороні здоров'я промисловості через їхні передові виробничі вимоги. Крім того, сильний акцент на технології налаштування, швидкого прототипування та біодруку сприяють

зростанню ринку, що в цілому може свідчити про перевагу 3D друку над класичними методами виробництва. [9]

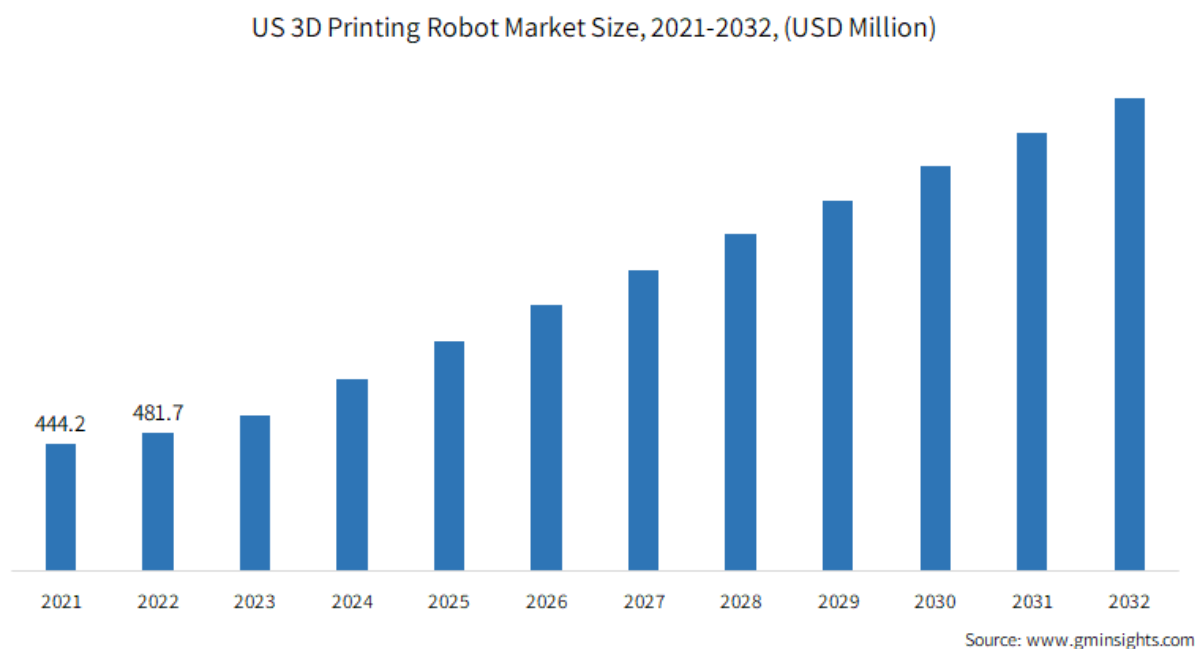


Рисунок 2.7 – Прогнози на ринок роботів для 3D друку від Global Market Insights

Для точного аналізу якості та точності виробництва робототехнічних деталей необхідно порівняти адитивні методи виробництва (3D друк) з традиційними методами, такими як фрезерування та токарна обробка, а також лиття під тиском. За основу порівняння взято технічні параметри різних видів 3D принтерів і верстатів, а також реальні приклади застосування.

Fused Deposition Modeling (FDM) характеризується точністю ± 0.1 мм та шорсткістю поверхні від 6 до 25 мкм, що залежить від висоти шару. Використовуються різні термопластики, такі як PLA, ABS, PETG та нейлон. Приклади принтерів включають Prusa i3, Ultimaker та MakerBot. Хоча FDM-друк дозволяє створювати деталі зі складною геометрією, його точність і якість поверхні поступаються іншим методам через більш грубі шари та можливі дефекти, пов'язані з екструзією матеріалу.

Stereolithography (SLA) забезпечує вищу точність ± 0.05 мм та шорсткість поверхні від 1 до 10 мкм. Цей метод використовує фотополімерні смоли, що дозволяє отримати високу гладкість поверхні. SLA-принтери, такі як Formlabs Form 3 та Anycubic Photon, ідеально підходять для створення деталей з високими вимогами до точності та деталізації, що робить цей метод популярним для прототипування та виробництва малих серій.

Digital Light Processing (DLP) аналогічно до SLA, має точність ± 0.05 мм та шорсткість поверхні від 1 до 10 мкм. Використання фотополімерних смол та технології проектування дозволяє отримувати деталі з високою якістю поверхні. Приклади таких принтерів включають EnvisionTEC та B9Creator. DLP-друк забезпечує швидке та точне виготовлення деталей, що робить його привабливим для високоточного виробництва.

Фрезерування (CNC) відзначається високою точністю ± 0.01 мм або краще та шорсткістю поверхні від 0.8 до 3.2 мкм. Цей метод дозволяє обробляти метали (алюміній, сталь) та пластики, забезпечуючи високу якість поверхні та точність. Фрезерні верстати, такі як Haas VF Series та DMG MORI, використовуються для масового виробництва високоточних деталей з вимогами до механічної міцності та стійкості.

Токарні верстати (CNC) забезпечують ще вищу точність ± 0.005 мм або краще та шорсткість поверхні від 0.4 до 1.6 мкм. Ці верстати підходять для обробки металів та пластиків, створюючи деталі з винятковою точністю та якістю поверхні. Приклади включають Okuma LB3000 та Mazak QT Series. Токарні верстати ідеально підходять для виготовлення валів, шестерень та інших деталей з вимогами до високої точності.

Лиття під тиском має точність близько ± 0.1 мм, яка залежить від матеріалу та форми, та шорсткість поверхні від 0.8 до 3.2 мкм. Цей метод використовується для виготовлення деталей з металів (алюмінієві та магнієві сплави) та пластиків, що робить його ефективним для масового виробництва складних компонентів. Лиття під тиском дозволяє отримувати деталі з високою механічною міцністю, але початкова вартість форм та обладнання є значною.

Аналіз технічних параметрів показує, що 3D-друк (особливо методи SLA та DLP) забезпечує високу точність і якість поверхні, що підходить для прототипування та малосерійного виробництва складних деталей. Проте, для масового виробництва високоточних та міцних компонентів традиційні методи, такі як фрезерування, токарні верстати та лиття під тиском, є більш підходящими завдяки їх високій точності та можливості обробки металів. Вибір методу залежить від специфічних вимог до деталей, економічних обмежень та обсягів виробництва.



Рисунок 2.8 - Рулони термопластику різного типу

Для проведення аналізу на основі реальних прикладів використання даних технологій, достатньо взяти декілька типових виробів: корпусні деталі, шестерні та прототипи рухомих елементів.

3D друк (DLP) для виробництва корпусних деталей малого робототехнічного пристрою має точність ± 0.05 мм і шорсткість поверхні 5 мкм. Час виробництва складає 3 години, а вартість матеріалів становить \$30. Цей метод забезпечує швидке та економічно вигідне виготовлення, особливо підходить для

малосерійного виробництва або прототипування. Проте, дещо нижча точність і шорсткість поверхні можуть потребувати додаткової обробки.

Фрезерування (CNC), з точністю ± 0.01 мм і шорсткістю поверхні 1.6 мкм, займає 1-2 дні на виробництво. Вартість виробництва становить \$150, включаючи налаштування верстата. Цей метод забезпечує високу точність і якість поверхні, що робить його ідеальним для серійного виробництва з високими вимогами до якості.

3D друк (SLA) для виробництва шестерень з високою точністю забезпечує точність ± 0.05 мм і шорсткість поверхні 3 мкм. Час виробництва становить 4 години, а вартість матеріалів — \$50. Цей метод дозволяє швидко виготовляти високоточні деталі з достатньою для багатьох застосувань якістю. Проте, різниця в точності у порівнянні з токарною обробкою може бути критичною для високоточних механічних систем.

Токарна обробка (CNC), з точністю ± 0.005 мм і шорсткістю поверхні 0.8 мкм, займає один день на виробництво. Вартість виробництва становить \$200, включаючи налаштування верстата. Цей метод забезпечує найвищу точність і якість поверхні, необхідні для високоточних механічних систем.

3D друк (FDM) для прототипування рухомих елементів робототехнічної руки має точність ± 0.1 мм і шорсткість поверхні 15 мкм. Час виробництва складає 5 годин, а вартість матеріалів — \$20. FDM-друк ідеально підходить для швидкого прототипування і тестування функціональних моделей завдяки низькій вартості та швидкому виробництву. Проте, точність і якість поверхні можуть бути недостатніми для кінцевих продуктів.

Фрезерування (CNC) з точністю ± 0.01 мм і шорсткістю поверхні 1.6 мкм займає 2 дні на виробництво. Вартість виробництва становить \$300, включаючи налаштування верстата. Цей метод забезпечує високу точність і якість поверхні, що робить його більш придатним для кінцевих продуктів з високими вимогами до міцності та якості.

Якість та точність 3D друку, зокрема методів DLP та SLA, є достатніми для багатьох робототехнічних деталей, особливо в контексті прототипування та малосерійного виробництва. Висока точність та низька шорсткість поверхні у фрезеруванні та токарній обробці роблять ці методи більш придатними для виробництва кінцевих продуктів, особливо коли потрібна дуже висока точність і якість поверхні. Вибір між 3D друком і традиційними методами залежить від специфічних вимог до деталі, обсягів виробництва та економічних чинників.

2.5 Визначення економічної доцільності технології 3D-друку у робототехніці

Технології 3D-друку, або адитивного виробництва, набули значного поширення в різних галузях промисловості завдяки своїм унікальним можливостям та перевагам. У робототехніці, де точність, складність конструкцій та індивідуалізація є критично важливими, 3D-друк виявляється особливо корисним. Економічна доцільність цієї технології пов'язана з її здатністю забезпечувати

ефективне використання матеріалів, зменшення витрат на виробничі процеси та підвищення гнучкості виробництва.

Один з головних економічних аспектів 3D-друку полягає у зменшенні витрат на матеріали. Традиційні методи, такі як фрезерування та токарна обробка, базуються на субтрактивних процесах, де матеріал видаляється з цільної заготовки, що призводить до значних відходів. У адитивному виробництві, матеріал додається пошарово, що дозволяє мінімізувати відходи і максимально використовувати вихідну сировину. Це особливо важливо при роботі з дорогими матеріалами, такими як титан або високоякісні полімери.

Крім того, 3D-друк значно знижує потребу у спеціалізованих інструментах та оснастці. Традиційні методи часто вимагають виготовлення складних і дорогих прес-форм, матриць та різальних інструментів. У 3D-друці ці витрати значно знижуються, оскільки сам процес друку не потребує таких інструментів. Це не тільки знижує початкові витрати, але й зменшує час на підготовку виробництва.

Економічна доцільність 3D-друку також пов'язана з його високою гнучкістю. В умовах швидкозмінних вимог ринку та індивідуалізації продукції, можливість швидко адаптувати виробничий процес є великою перевагою. 3D-друк дозволяє легко модифікувати конструкції деталей без необхідності значних змін у виробничому обладнанні або технологічному процесі. Це особливо важливо у робототехніці, де часто виникає потреба у створенні прототипів або малих серій деталей для тестування нових розробок.

Швидкість виробництва деталей за допомогою 3D-друку також є значним економічним фактором. Традиційні методи часто потребують тривалого часу на підготовку, виготовлення інструментів та налагодження обладнання. 3D-друк дозволяє значно скоротити ці етапи, що знижує загальний час виготовлення деталей. Це може бути критично важливим для швидкого виходу на ринок нових продуктів або для швидкої реакції на зміну споживчого попиту.

Очікується, що до 2030 року світовий ринок роботів для 3D-друку досягне 4,3 мільярда доларів США, зростаючи за прогнозованого середньорічного зростання ринку на 14,8%. Використання 3D-друку металу, зокрема титанових і алюмінієвих сплавів, є незамінним в аерокосмічному секторі. Це дозволяє виготовляти складні, легкі компоненти з винятковою міцністю та довговічністю. Ця функція пропонує значні переваги в аерокосмічній промисловості, зокрема щодо зменшення ваги літака та підвищення ефективності палива. Отже, до 2030 року аерокосмічний і оборонний сегмент придбає майже 25% загальної частки ринку. Композитні матеріали, виготовлені шляхом злиття різних матеріалів для досягнення бажаних властивостей, знаходять застосування в аерокосмічному секторі. Завдяки використанню композитних матеріалів 3D-друк полегшує виготовлення складних конструкцій, які є легкими та міцними (рисунок 2.9).

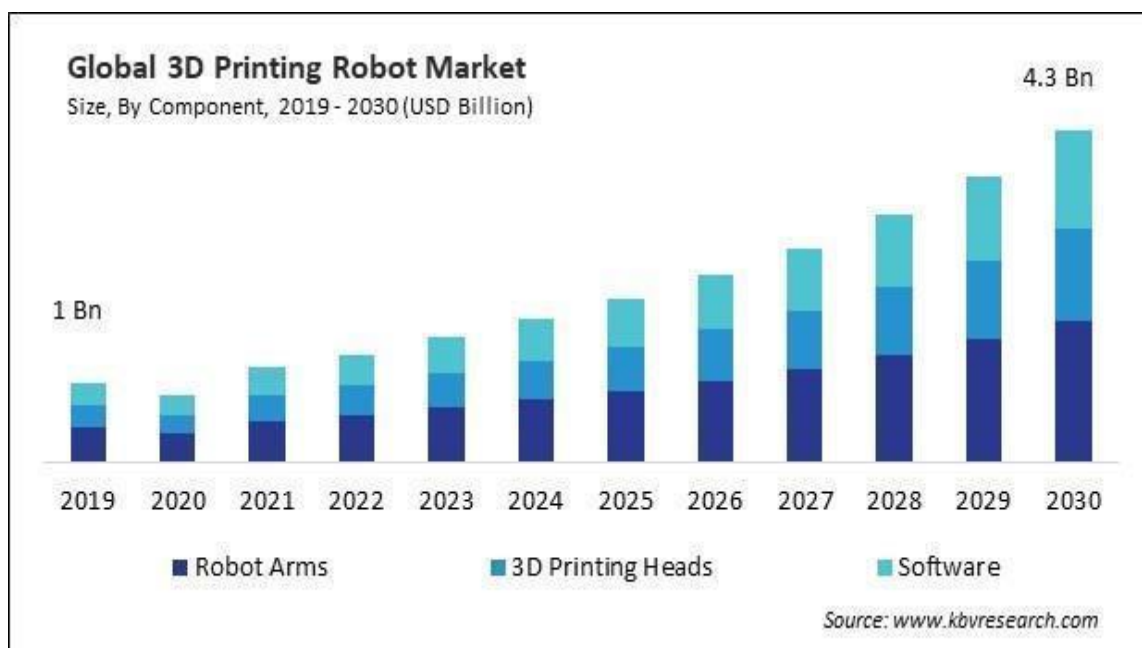


Рисунок 2.9 - Дослідження ринку 3Д друку від kbvresearch [8]

Щорічно Sculpteo збирає дані з галузі адитивного виробництва, які потім аналізує, щоб виявити основні тренди в цій швидкозростаючій індустрії. У 2023 році звіт має міжнародний характер, більшість респондентів перебувають у Європі (63%) та США (23%). Основні користувачі 3D-принтерів сьогодні – керівний склад, інженери та проектувальники. Статистика щодо користувачів та їх цілей наведена на рисунку 2.10[1]

З якою ціллю ви використовуєте 3Д друк?



Рисунок 2.10 – Статистика галузей примінення 3д принтерів

Результати опитування відображають зростаючий рівень зрілості в різних секторах: 39% користувачів мають від одного до п'яти років досвіду у сфері 3D-

друку, а 27% використовують технологію щодня. Галузь, у якій 3D-технології застосовуються найбільше, – це споживчі товари (14%), за нею йдуть промислові товари (13%) та освіта (11%).

Адитивне виробництво підтверджує свій статус реального виробничого рішення, що використовується для наукової роботи, освіти, НДДКР та кінцевого використання. Ми бачимо, що більшість респондентів використовують 3D принтери, коли вони потребують менше 1000 деталей. Дійсно, ця технологія пропонує значні переваги, коли передбачається створення невеликої партії виробів. 40% просунутих користувачів використовують 3D-друк для виготовлення дрібних серій, а до 18% – для масового виробництва.

Існує багато варіантів використання цих двох технологій.

Для початку будівельна галузь могла б отримати найбільшу вигоду від роботизованого 3D-друку. Фактично, багато фірм у цій галузі вже встановили промислові роботизовані руки у свої існуючі системи для 3D-друку різних типів матеріалів.

Крім того, ще однією можливістю є роботизоване адитивне виробництво з металевими матеріалами. Голландська робототехнічна компанія MX3D вже створила версію «гібридного» 3D-принтера, (рисунок 2.11) який поєднує промислову робототехніку зі зварювальними апаратами для створення масштабних конструкцій.

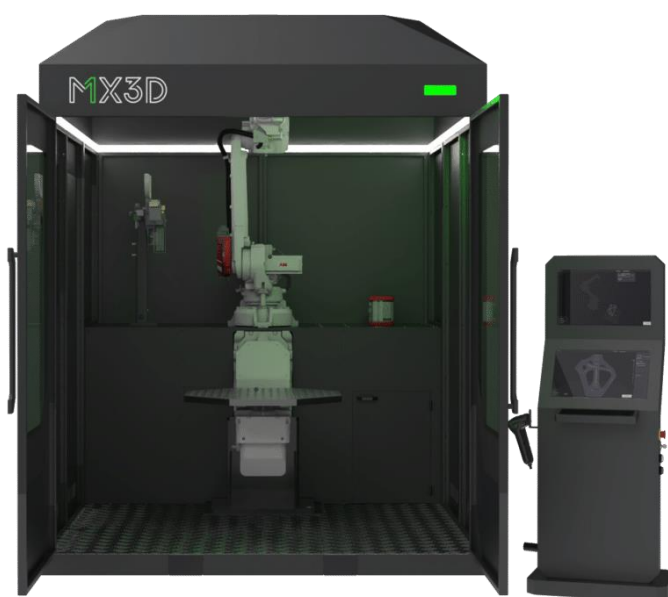


Рисунок 2.11 - Гібридний 3D принтер від M1 System Industrial 3D Printing Robotics

Існують також компанії ШІ, які просувають застосування роботизованого 3D-друку. Лондонська компанія AI Build розробила численні способи поєднання штучного інтелекту та комп'ютерного зору з 3D-друком для великого масштабу. Результатом є AiMaker. Ця головка інструменту для 3D-друку роботизована та працює на основі штучного інтелекту (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 - Великий робот для 3D-друку на основі ШІ

Його можна приєднати практично до будь-якої роботизованої руки, що дозволяє виробникам брати участь у адитивному виробництві великомасштабних пластикових деталей. Алгоритми, вбудовані в цей пристрій, у поєднанні з датчиками та камерами можуть негайно виявляти помилку в процесі друку.[2]

Однією з основних переваг технології 3D-друку, або адитивного виробництва, є значне зменшення витрат на матеріали. На відміну від традиційних субтрактивних методів, таких як фрезерування та токарна обробка, де матеріал видаляється з цільної заготовки, що призводить до великих обсягів відходів, 3D-друк додає матеріал пошарово. Це дозволяє мінімізувати відходи і максимально ефективно використовувати вихідну сировину, що є особливо важливим при роботі з дорогими матеріалами, такими як титан або високоякісні полімери.

Додатково, 3D-друк значно знижує потребу у спеціалізованих інструментах та оснащенні. Традиційні методи виробництва часто вимагають виготовлення складних та дорогих прес-форм, матриць та різальних інструментів. Процес 3D-друку не потребує таких інструментів, що значно знижує початкові витрати та зменшує час на підготовку виробництва.

Економічна доцільність 3D-друку також обумовлена його високою гнучкістю. В умовах швидкозмінних вимог ринку та індивідуалізації продукції можливість швидкої адаптації виробничого процесу є великою перевагою. Технологія 3D-друку дозволяє легко модифікувати конструкції деталей без необхідності значних змін у виробничому обладнанні або технологічному процесі. Це особливо важливо у робототехніці, де часто виникає потреба у створенні прототипів або малих серій деталей для тестування нових розробок.

Швидкість виробництва деталей за допомогою 3D-друку також є значним економічним фактором. Традиційні методи потребують тривалого часу на підготовку, виготовлення інструментів та налагодження обладнання. 3D-друк дозволяє значно скоротити ці етапи, що знижує загальний час виготовлення

деталей. Це може бути критично важливим для швидкого виходу на ринок нових продуктів або для швидкої реакції на зміну споживчого попиту.

У робототехніці точність та складність конструкцій є критично важливими. Технології 3D-друку дозволяють створювати деталі зі складними геометріями, які можуть бути важко або неможливо виготовити за допомогою традиційних методів. Це забезпечує можливість створення більш функціональних та ефективних робототехнічних систем. Крім того, високий рівень точності, досягнутий за допомогою 3D-друку, дозволяє виробляти компоненти, що відповідають найвищим стандартам якості.

Згідно з дослідженнями, очікується, що до 2030 року світовий ринок роботів для 3D-друку досягне 4,3 мільярда доларів США, зростаючи за прогнозованого середньорічного зростання на 14,8%. Використання 3D-друку металів, зокрема титанових і алюмінієвих сплавів, є незамінним в аерокосмічному секторі, що дозволяє виготовляти складні, легкі компоненти з винятковою міцністю та довговічністю. Це сприяє зменшенню ваги літаків та підвищенню ефективності палива.

3. ПРАКТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ЛАЗЕРНОЇ СТЕРЕОЛІТОГРАФІЇ, ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СВІТЛА ТА ТЕХНОЛОГІ ПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ 3D-ДРУКУ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Висока точність та роздільна здатність лазерної стереолітографії

Поставленою задачею був друк декількох запчастин для FPV-дрону, а саме корпусу та пропелерів.

Саме для корпусу була обрана технологія лазерної стереолітографії (SLA) через її високу роздільну здатність та точність отриманого виробу.

3D-друк корпусів використовується в двох цілях: для виготовлення прототипів та для серійного виробництва кінцевих виробів. Вона забезпечує свободу дизайну, дозволяє надрукувати прототип або готову деталь всього за кілька годин і значно економить ресурси в порівнянні з традиційними методами виробництва. Друк прототипу дозволяє швидко оцінити відповідність його форми та розмірів початковому проекту, а у випадку розбіжностей внести корективи та за короткий час надрукувати новий прототип. На відміну від традиційних технологій, такий метод виготовлення займе кілька годин, максимум, кілька днів.

Для початку було створено модель у 3D пакеті Blender відповідно до всіх розмірів, вказаних у документації (11,3 см в довжину, 7,25 см в ширину та 6,5 см в висоту). Blender — це потужний пакет для 3D-моделювання, анімації та рендерингу, який використовується як у професійних, так і в академічних середовищах для створення візуальних ефектів, анімаційних фільмів, інтерактивних 3D-додатків та ігор. Його відкритий вихідний код і безкоштовний доступ роблять його привабливим для дослідників та розробників, що сприяє його широкому поширенню і розвитку. Вигляд моделі у самій програмі продемонстровано на рисунку 3.1

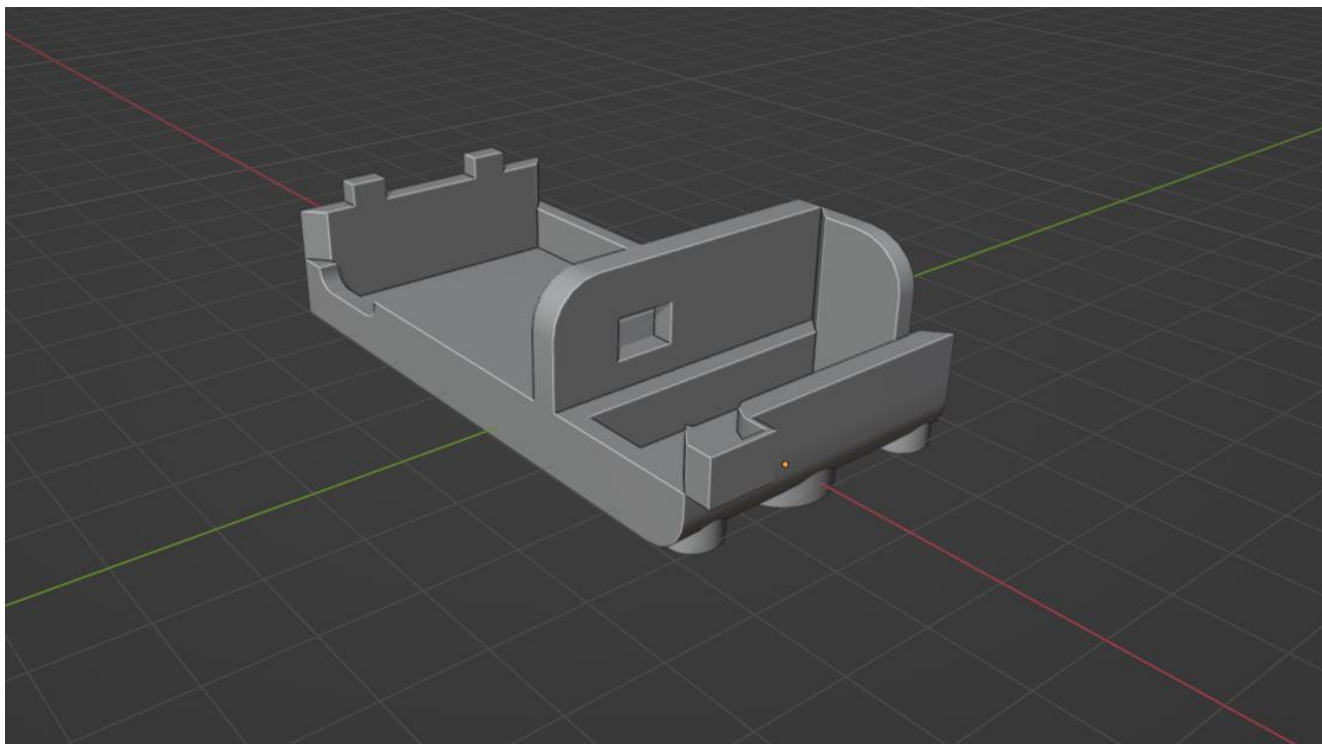


Рисунок 3.1 - 3Д модель корпусу, змодельована в Blender

Далі модель була експортована у форматі Stl., що є найпопулярнішим форматом для 3д друку та розбита на слої у програмі Cura. Cura - один з найпопулярніших варіантів слайсера, ймовірно, тому, що він безкоштовний, з відкритим вихідним кодом і може легко працювати з різними програмами САПР. Його також легко використовувати, якщо ви новачок. Він був розроблений Ultimaker, але на ранньому етапі був адаптований для роботи не тільки з принтерами Ultimaker.

Крім надання частих оновлень, включаючи додавання профілів для «конкуруючих» 3D-принтерів, Ultimaker також дозволяє користувачам розробляти сторонні плагіни для Cura. В нього можна завантажувати 3MF, OBJ і популярні формати файлів STL, і він при необхідності відремонтує моделі. Додаткові функції включають показ траєкторії головки принтера, оцінки кількості матеріалу і часу друку. Інтерфейс Cura продемонстровано на рисунку 3.2.

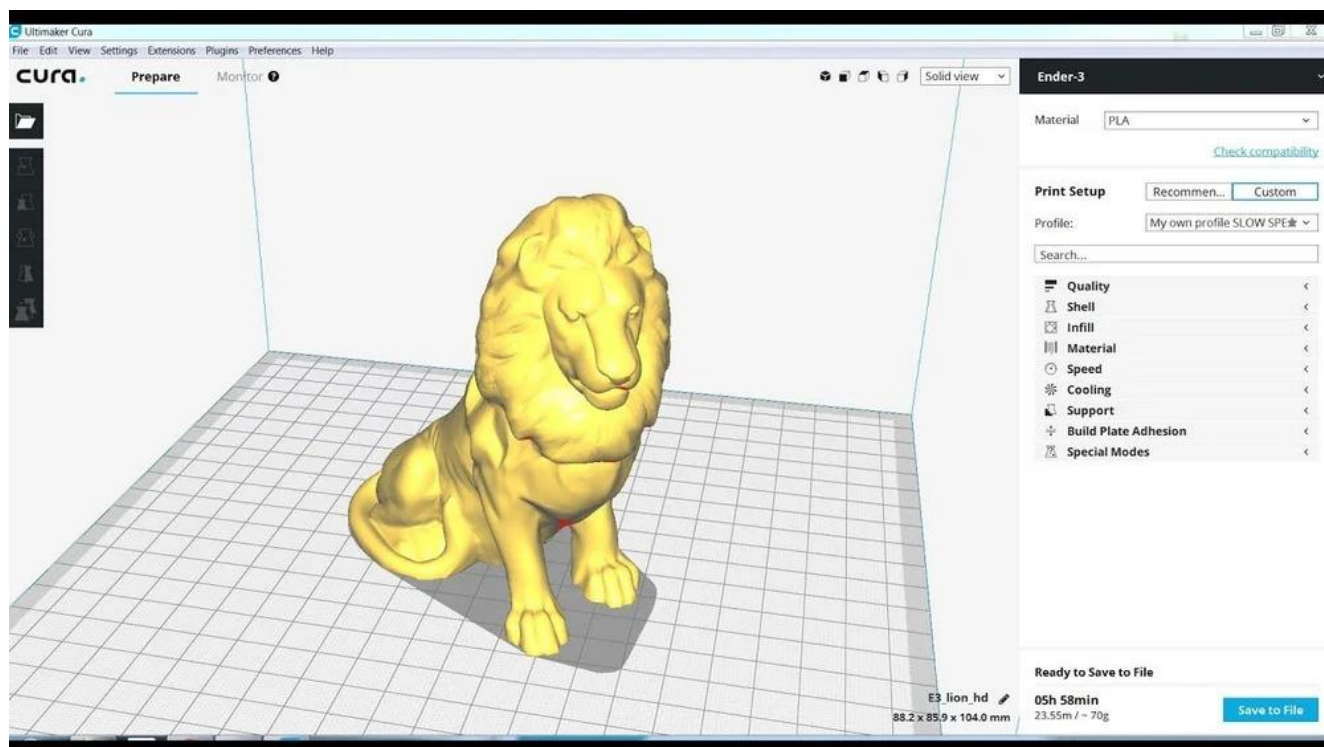


Рисунок 3.2 - Інтерфейс програми Cura

За результатами практичного випробування на друк моделі 11,3 см в довжину, 7,25 см в ширину та 6,5 см в висоту методом лазерної стереолітографії витрачається 24 хвилини, в той час як традиційний метод друку зайняв би більше 2 годин часу. Економія часу склала близько 500%.

Отриману деталь продемонстровано на рисунку 3.3.

Але суттєвим недоліком стала ціна даної деталі, так як полімер, що використовувався має надвисоку вартість, порівняно зі звичайним пластиком. Наприклад 1кг фотополімеру, який використовує даний принтер коштує в середньому 1300-1500 грн, в той час, як вартість звичайного рулону пластику такої ж ваги сягає від 300 до 700 грн, що здешевлює виробництво в кратну кількість разів.

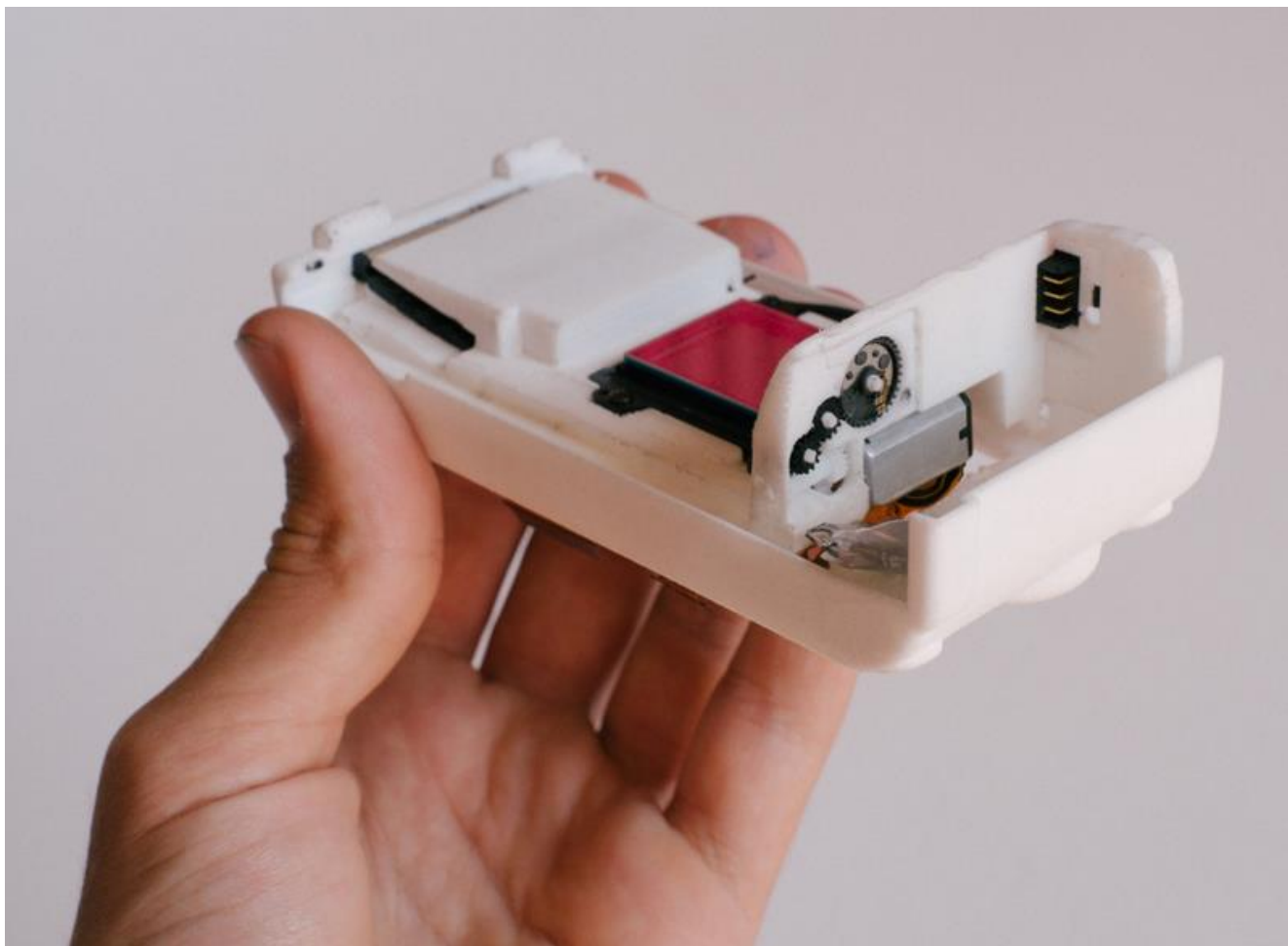


Рисунок 3.3 - Частина корпусу FPV дрону, надрукована на SLA принтері

Лазерна стереолітографія забезпечує найвищу якість поверхні і практично не потребує постобробки; на виході з 3D-принтера поверхня виходить гладкою і рівною. SLA не зовсім підходить для виробництва дрібносерійних виробів, але служить ідеальним рішенням для прототипування. Відхилення від вихідних розмірів не перевищує 0,5% з нижньою межею 0,15 мм. Висота шару становить 25-100 мкм. Після завершення друку потрібно очистити порожні секції від фотополімеру, видалити підтримки та зашліфувати місця кріплення підтримок до деталі.

SLA працює з широким асортиментом фотополімерних смол, всі вони відрізняються за характеристиками та властивостями. Наприклад, за допомогою еластичних смол можна створювати гнучкі корпуси, що дозволяють натискати кнопки або переміщати вимикачі. У 2021 році компанією Boston Micro Fabrication було представлено новітнє обладнання для 3D-друку, яке зробило можливим високоточний друк мікрокорпусів у серійному масштабі. 3D-принтери від BMF друкують дрібні вироби з відмінною деталізацією з роздільною здатністю до двох мікрон, і для цієї мети вони використовують інженерні та керамічні фотополімери нового покоління з винятковими механічними властивостями.

3.2 Швидкість процесу друку при цифровій обробці світла

Для пропелерів алгоритм залишається незмінним - розробка 3д моделі в програмному забезпеченні (рисунок 3.4) , експорт у форматі Stl, розбиття на шари у слайсері, підготовка до друку та сам друк.

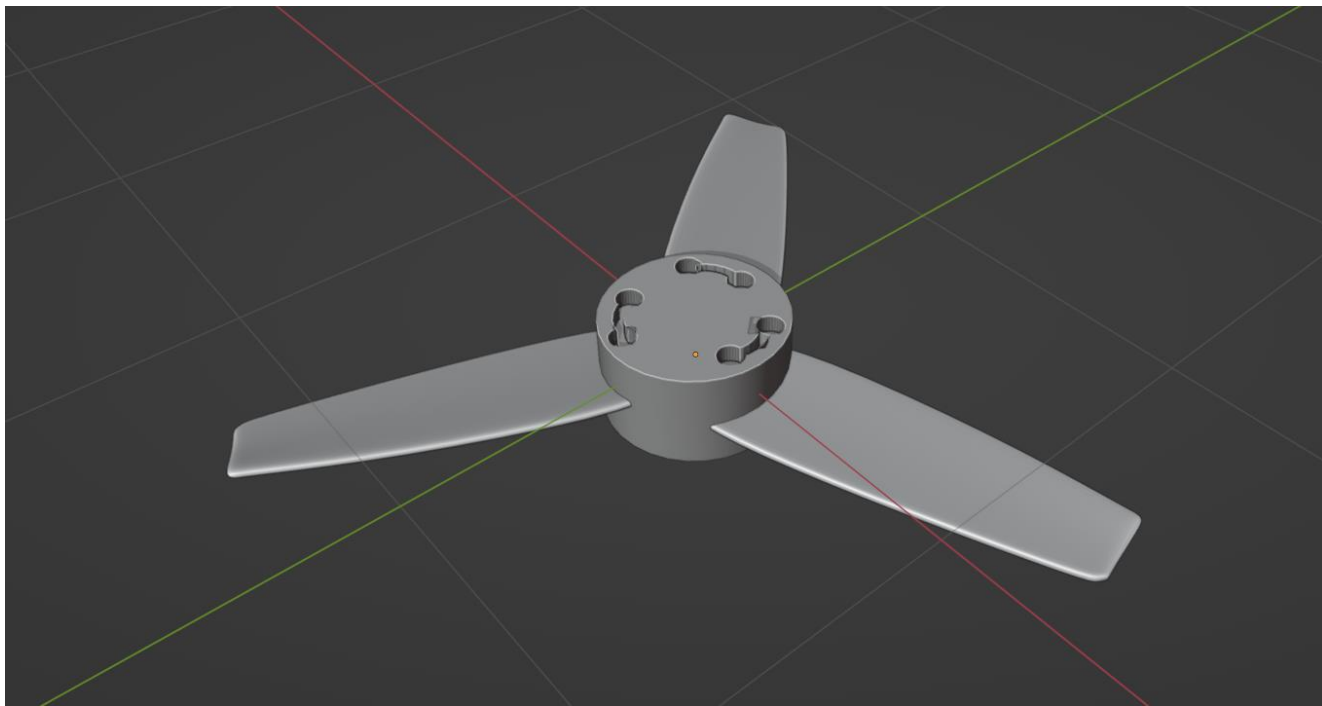


Рисунок 3.4 - Пропеллер, змодельований у програмі Blender

Але варто зазначити, що на відміну від технології SLA, цифрова обробка світлом має інший принцип роботи, відповідно й іншу роздільну здатність, що позначається на фінальному виробі у вигляді “сходинок” на поферхні. Даний недолік детально продемонстровано на рисунку 3.5. Подібні дефекти можна усунути через постобробку, або звичайну шліфовку наждачним папером чи іншим спеціалізованим інструментом.

Також суттєвим фактором для вибору даної технології є вартість матеріалів друку - фотополімерного пластику, що може варіюватись від декількох сотень грн за кілограм матеріалу, до тисячі й більше. Це може сприяти на друк при низькому бюджеті виробництва, так як при відсутності необхідності спеціалізованих якостей кінцевого вибору (наприклад прозорість пластику, його підвищена міцність, електронепровідність, тощо) можна обрати більш дешевий полімер, зберігши при цьому необхідну якість продукту.



Рисунок 3.5 - Нерівності та шорсткість поверхні після друку через цифрову обробку світла

Якщо ж говорити про кінцевий виріб, то необхідно обирати матеріали з захистом від статичної електрики ESD safe. Це матеріали, які запобігають накопиченню електростатичних зарядів. Вся проблема в тому, що такі розряди можуть пошкодити електричні компоненти і поставити під загрозу життя людини. Адитивне виробництво вже навчилося використовувати інженерні пластики, які не накопичують електростатичні заряди. Такі матеріали найбільш затребувані в області електроніки та для друку виробів, що експлуатуються у вибухонебезпечному середовищі.

3.3 Доступність та дешевизна використання технології плавлення

Для задніх пропелерів буде використовуватись технологія плавлення, тобто FDM. На даний момент вона є найдоступнішою та найдешевшою серед вищеперелічених, але й має ряд суттєвих недоліків, таких як низька точність та роздільна здатність, а також відносно невелика швидкість друку.

Для згаданих вище пропелерів, розмір яких становить 17см в діаметрі, час друку зайняв 18 хвилин, що майже ідентично до SLA принтеру, який за трохи більше часу надрукував більш складну деталь та більшу за розміром, при тому, що налаштування друку залишалися майже однаковими.

До того ж варто зазначити, що шорсткість поверхні залишалася достатньо високою одразу після друку, що змусило вдаватися до постобробки та шліфовки. Кінцевий виріб мав схожу структуру, що й на DLP принтері, але при цьому часу було витрачено набагато менше (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 - Пропелер, надрукований за допомогою технології FDM

Шліфування — найпростіший, доступний та ефективний спосіб обробки готових виробів з пластику. Сгладжування поверхні може здійснюватися вручну або з використанням шліфувального апарату. Особливо добре цей метод підходить для виробів, надрукованих за технологією FDM, які мають стики між шарами. Якщо вам важливі точні розміри, то протягом всього процесу необхідно регулювати кількість знятого матеріалу. Тут дуже великий вплив людського фактора, тому такий спосіб не підходить для виготовлення уніфікованих виробів, скоріше він підійде для обробки прототипів, зразків або макетів. Зазвичай шліфування є підготовчим етапом перед фарбуванням.

Існує і інший спосіб обробки готової продукції - це галтівка. Даний вид обробки здійснюється шляхом змішування готових виробів з наповнювачем (абразивним матеріалом) у спеціальних ємностях, які обертають або приводять у рух за допомогою вібрації. В ролі абразиву можуть виступати гірські породи, пісок, тирса, наждачний папір та інші матеріали. Галтівка добре полірує поверхню деталей і підходить для обробки різних матеріалів, вона дозволяє досягти необхідного рівня шорсткості та заданої якості поверхні. Особливо добре це помітно на металі: оброблені галтівкою металеві деталі набувають блискучу гладку поверхню. Галтівка може виконуватися не тільки в сухому середовищі (з сипучими

матеріалами), але і в мокрому — зі спеціальними розчинами. Слід прийняти до уваги, що такий вид постобробки є доволі дорогавартісним та важко реалізованим у домашніх умовах. Приклад поверхні до примінення галтівки та після наведено на рисунку 3.7

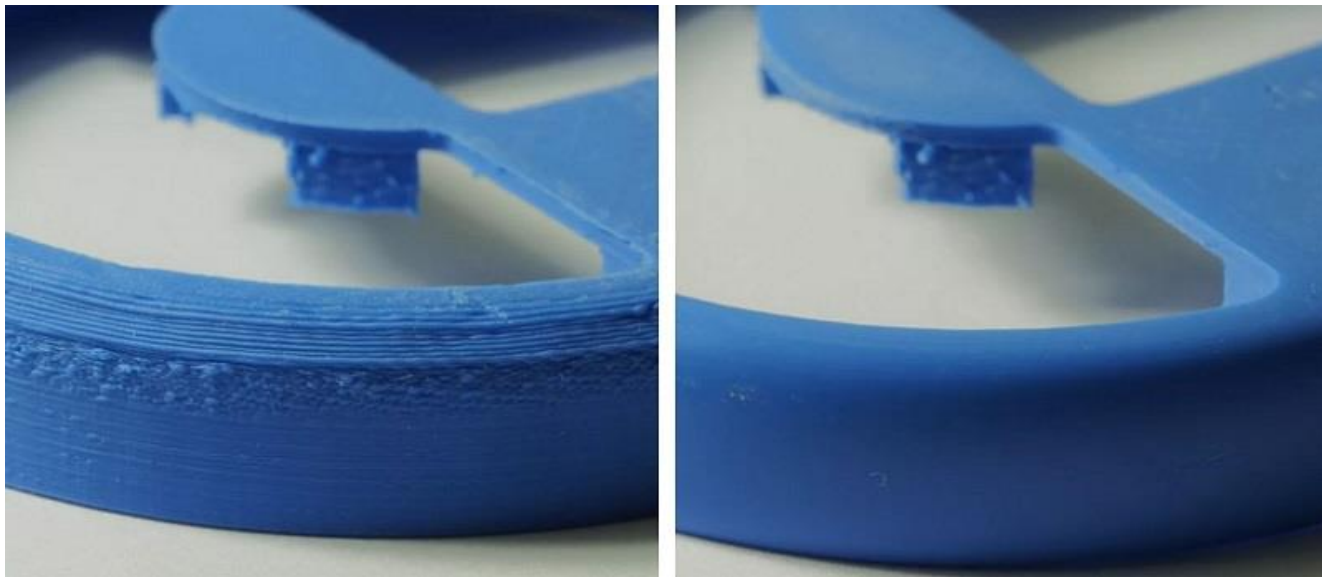


Рисунок 3.7 - Якість поверхні деталі до та після галтівки

Варто також звернути увагу на середню вартість та широкий вибір матеріалів для подібних принтерів. FDM принтери можуть друкувати декількома видами пластику, такими як ABS, PLA та PETG.

ABS пластик - найпопулярніший матеріал для FDM 3D-друку. Основна перевага цього пластику – низька вартість. Поставляється у вигляді котушок нитки діаметром 1,75 і 3 мм. Температура друку пластиком – 220-260 °С. Має неприємний запах, схильний до термічної деформації та делямінації. Легко шліфується. Витримує температуру до 80-90 градусів.

PLA пластик екологічно чистий, харчовий і повністю безпечний матеріал. Не виділяє неприємного запаху і шкідливих речовин під час друку. Добре передає геометрію деталі. Може друкуватися на принтерах практично всіх видів.

Пластик PETG - харчовий, нетоксичний, простий матеріал для FDM 3D-друку. Міцний, твердий пластик. Підходить для друку шестерень, кріплень, елементів корпусу і т.д. Більшість деталей інженерного призначення можна друкувати саме з цього матеріалу. Розчиняється у чистому ацетоні, дихлорметані.

Ціна ж на дані види пластику може варіюватись від 200-300 грн і доходючи до 700, що робить виробництво та прототипування виробів дуже дешевим да загальнодоступним.

3.4 Визначення доцільності та ефективності застосування кожної технології у різних сферах використання

Проаналізувавши попередні дані можна зробити висновок щодо кожного типу технологій:

Лазерна стереолітографія (SLA) є однією з найточніших технологій 3D-друку, що забезпечує високу якість поверхні без потреби в значній постобробці. Ця технологія дозволяє досягти відхилення від вихідних розмірів не більше 0,5% з нижньою межею 0,15 мм, а висота шару може становити від 25 до 100 мкм. Це робить SLA ідеальним вибором для прототипування, де потрібна висока точність і детальність. Проте висока вартість фотополімерів, які використовуються в цій технології (1300-1500 грн за кілограм), порівняно зі звичайними пластиками (300-700 грн за кілограм), робить її менш доцільною для масового виробництва.

SLA також демонструє велику гнучкість у виборі матеріалів, що дозволяє створювати вироби з різними механічними властивостями, такими як гнучкість чи підвищена міцність. Наприклад, еластичні смоли дозволяють створювати гнучкі корпуси, що підходять для деталей з кнопками або перемикачами.

Цифрова обробка світлом (DLP) є схожою технологією, але має інший принцип роботи, що призводить до появи "сходинок" на поверхні кінцевого виробу. Ці дефекти можна усунути через постобробку, але це додає додаткові витрати і час. Вартість матеріалів для DLP може значно варіюватися, що дозволяє обирати більш дешеві варіанти для менш критичних застосувань, зберігаючи при цьому прийнятну якість продукту.

Технологія FDM (Fused Deposition Modeling) є однією з найбільш економічно вигідних для масового виробництва та прототипування. Використання матеріалів, таких як ABS, PLA та PETG, забезпечує широкий вибір властивостей та характеристик. ABS є найпопулярнішим матеріалом для FDM 3D-друку завдяки своїй низькій вартості та простоті обробки. Проте він має недоліки, такі як неприємний запах під час друку та схильність до термічної деформації і деламінації. PLA, з іншого боку, є екологічно чистим, харчовим та безпечним матеріалом, що не виділяє шкідливих речовин і добре передає геометрію деталі. PETG є ще одним популярним матеріалом, відомим своєю міцністю та стійкістю до хімічних речовин. Вартість матеріалів для FDM 3D-друку зазвичай коливається від 200 до 700 грн за кілограм, що робить цю технологію доступною та економічно вигідною для багатьох застосувань.

Всі дані приведено на рисунку 3.8 та 3.9.

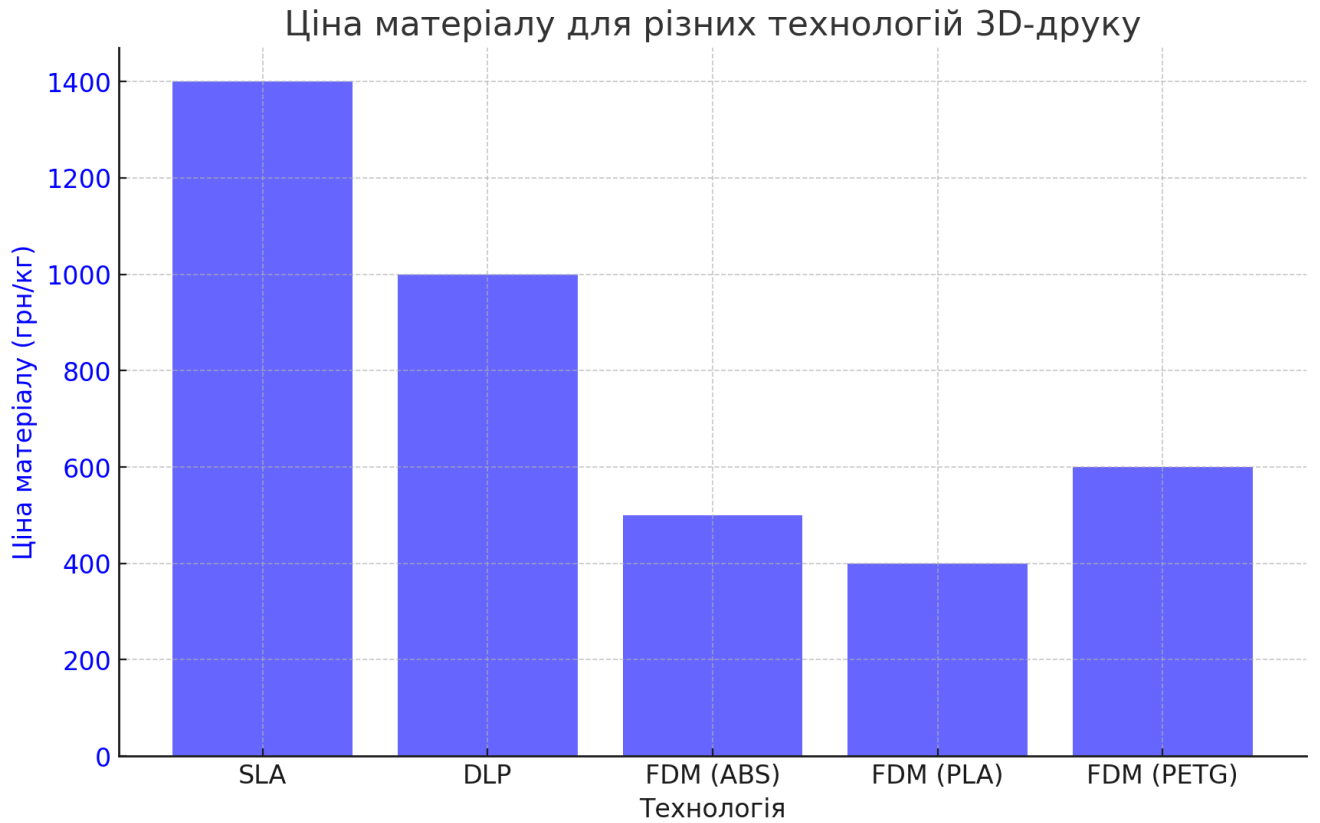


Рисунок 3.8 - Усереднені ціни на матеріали для 3Д друку

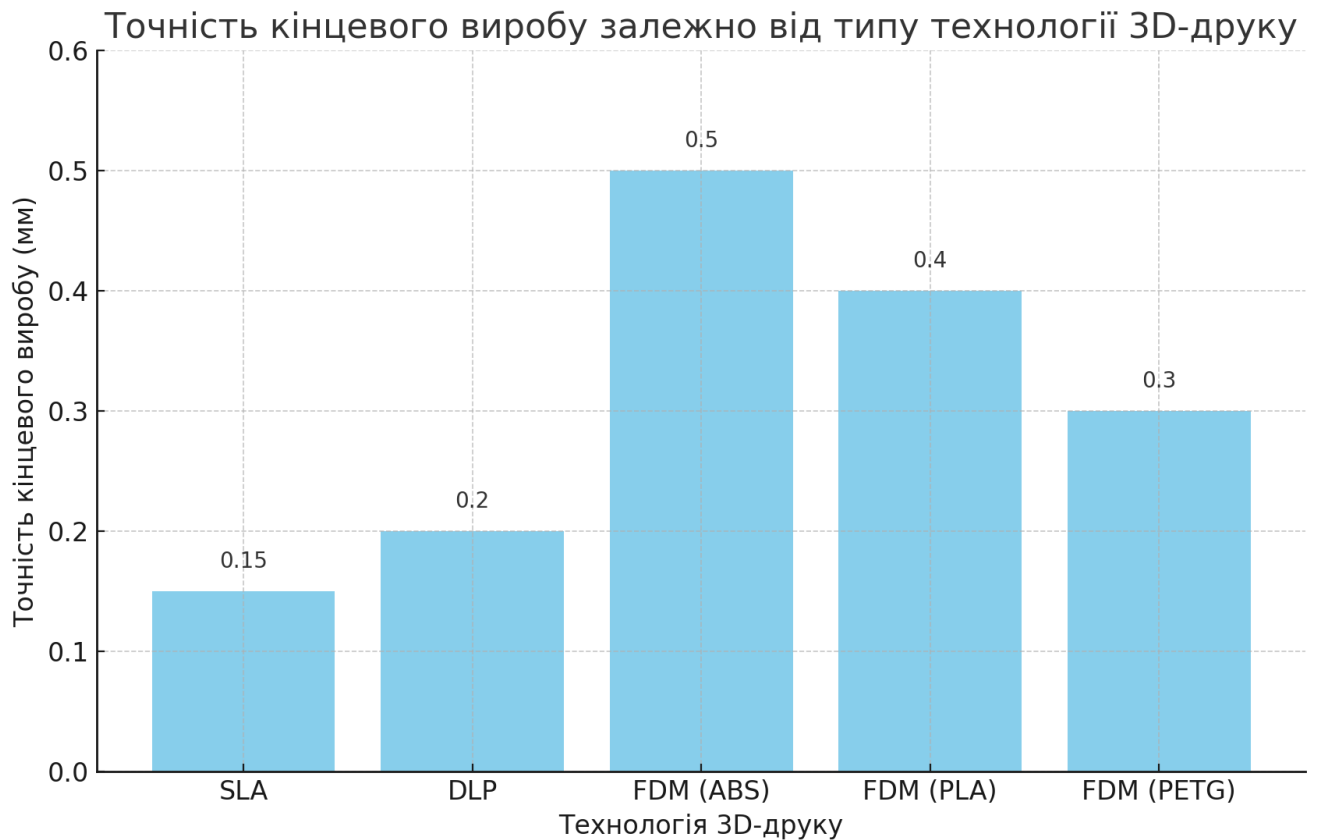


Рисунок 3.9 - Аналіз точності кінцевого виробу

Особливу увагу слід приділяти вибору матеріалів з захистом від статичної електрики (ESD safe) для друку виробів, які використовуються у вибухонебезпечному середовищі або в електроніці. Такі матеріали запобігають накопиченню електростатичних зарядів, що можуть пошкодити електричні компоненти та поставити під загрозу життя людини. Адитивне виробництво вже навчилось використовувати інженерні пластики, які не накопичують електростатичні заряди, що робить їх найбільш затребуваними в цих сферах.

Таким чином, вибір технології 3D-друку залежить від конкретних вимог до кінцевого виробу, таких як точність, вартість, механічні властивості та необхідність у постобробці. SLA та DLP підходять для високоточного прототипування, тоді як FDM є більш економічно вигідною для масового виробництва та прототипування виробів з менш жорсткими вимогами до точності. Розуміння цих факторів дозволяє оптимізувати виробничі процеси та знизити витрати, забезпечуючи при цьому необхідну якість кінцевих продуктів.

ВИСНОВОК

Говорячи про 3D-друк, необхідно розуміти, що це технологія, яка суттєво відрізняється від традиційних методів виробництва. В умовах сучасного розвитку технологій 3D-друк набуває дедалі більшого значення, замінюючи деякі традиційні методи обробки матеріалів, та виступає важливим кроком у бік ефективнішого і гнучкішого виробництва. Виробництво, транспортування та використання 3D-принтерів практично не супроводжуються значними шкідливими викидами, і навіть якщо такі викиди присутні, їх вплив на навколишнє середовище є мінімальним порівняно з традиційними виробничими методами.

Дослідження в сфері 3D-друку показали, що з 2010 до 2021 року технології, такі як SLA, DLP та FDM, значно вдосконалилися, збільшивши свою потужність та поширеність. Країни, такі як Німеччина, Франція, Італія, Іспанія та Нідерланди, стали лідерами у впровадженні цих технологій. Вартість 3D-принтерів і матеріалів для друку, таких як пластик і полімери, зменшується з кожним роком, що сприяє зростанню обсягів використання 3D-друку в найближчі десятиліття, адже ця технологія є більш ефективною та економічною.

Під час вивчення принципу роботи 3D-принтерів були виявлені такі їхні переваги: безшумність, ефективність, можливість виготовлення об'єктів будь-якої складності, відсутність механічних компонентів, можливість автономної роботи, довговічність і незалежність від централізованих виробничих ліній. До недоліків 3D-друку можна віднести високу вартість спеціалізованих матеріалів, потребу в технічному обслуговуванні та залежність від складних налаштувань і зовнішніх факторів. Проте переваги 3D-друку значно переважають його недоліки, тому ця технологія є ключовою для майбутнього виробництва.

Відомо, що ефективність 3D-принтерів максимальна, коли їх параметри оптимально налаштовані для конкретних завдань. Наприклад, в технології SLA (лазерна стереолітографія) та DLP (цифрова обробка світлом) якість друку залежить від точного контролю положення лазера або світлового променя, що забезпечує високу роздільну здатність і точність. При використанні оптимальних алгоритмів і параметрів можна досягти продуктивності, яка значно перевищує можливості стаціонарних принтерів з фіксованими налаштуваннями.

Розробка нових 3D-принтерів і матеріалів для друку, таких як полімери та спеціалізовані пластики, проходить в декілька етапів: створення апаратної частини пристрою, розробка програмного забезпечення та тестування. Апаратна частина складається з таких компонентів, як друкуючі головки, контролери та механічні системи для переміщення, тоді як програмне забезпечення відповідає за точне управління процесом друку. Наприклад, при використанні контролерів типу ESP можливе дистанційне керування та моніторинг, що відкриває нові можливості для вдосконалення проектів і покращення зручності використання 3D-принтерів.

Таким чином, 3D-друк, завдяки своїм численним перевагам, включаючи економічність, гнучкість і високу точність, продовжує розширювати сферу свого застосування, стаючи важливою технологією майбутнього.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gaget L. The State of 3D Printing Report: 2022 by Sculpteo. Sculpteo. URL: <https://www.sculpteo.com/en/ebooks/state-of-3d-printing-report-2022/> (date of access: 31.05.2024).
2. Robotics 3D Printing: How 3D Printing Benefits Robot Creators in 2021. Jiga. URL: <https://jiga.io/3d-printing/robotics-3d-printing/> (date of access: 31.05.2024). Що таке технологія 3D-друку на основі смоли: SLA, DLP та LCD? <https://artline.ua/uk/blogs/chto-takoe-tekhnologiya-3d-pechati-na-osnove-smoly-sla-dlp-i-lcd>
3. 3D-принтер. Як розрахувати витрати пластику та час друку. Собівартість 3D друку. – 3Dprinter. 3Dprinter – Сайт з продажу 3d принтерів, послуг 3d друку тощо. URL: <https://www.3dprinter.ua/3d-prynter-yak-rozrahuvaty-vytraty-plastyku-ta-chas-druku-sobivartist-3d-druku/> (дата звернення: 31.05.2024).
4. Best-in-class 3D Printers | Formlabs. Formlabs. URL: <https://formlabs.com/asia/resources/> (date of access: 31.05.2024).
5. Вибір між 3D-друком та традиційним виробництвом: що підходить для вашого бізнесу?. 3D друк, 3D принтери, 3D ручки, 3D пластик в Україні. URL: <https://3d4u.com.ua/uk/blog/post/126-vibir-mizh-3d-drukom-ta-tradicijnim-virobnictvom-ssho-pidkhodit-dlya-vashogo-biznesu> (дата звернення: 31.05.2024).
6. Точність 3D принтера або який принтер краще за якістю друку?. Статті компанії «pro3d.com.ua». "pro3d.com.ua" - контакти, товари, послуги, ціни. URL: <https://pro3d.com.ua/a382456-tochnist-printera-abo.html> (дата звернення: 31.05.2024).
7. 3D Printing Robot Market Size, Share & Growth Forecast 2030. KBV Research. URL: <https://www.kbvresearch.com/3d-printing-robot-market/> (date of access: 31.05.2024).
8. 3D Printing Robot Market Size, Share & Analysis Report - 2032. Global Market Insights Inc. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/3d-printing-robot-market> (date of access: 31.05.2024).
9. Технології 3D в Україні і всьому світі Технології - 3DDevice. 3DDevice. URL: <https://3ddevice.com.ua/blog/tekhnologii-druku-3d-printeriv> (дата звернення: 31.05.2024).
10. Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing. Formlabs. URL: <https://formlabs.com/asia/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/> (date of access: 31.05.2024).
11. 3D ДРУК методом наплавлення (FDM). Статті компанії «pro3d.com.ua». "pro3d.com.ua" - контакти, товари, послуги, ціни. URL: <https://pro3d.com.ua/a366711-druk-metodom-naplavlennya.html> (дата звернення: 31.05.2024).
12. Weerg staff. How much does 3D printing cost?. High Quality 3D Printing & CNC Machining Services - Weerg. URL: <https://www.weerg.com/guides/how-much-does-3d-printing-cost> (date of access: 31.05.2024).

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОТ ТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ 3Д ДРУКУ»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

Виконав: Оніщенко Д.В., ІСД-42

Науковий керівник роботи:

Казначєва А.В.

Київ - 2024

Актуальність теми: Вибір теми кваліфікаційної роботи був зумовлений проблемою оптимізації виробничих процесів, високою вартістю традиційних методів виробництва, а також необхідністю створення навчального макету для студентів університету, щоб в рамках навчальної лабораторії студенти могли вивчати засоби використання сучасних технологій.

Наукова новизна: Наукова новизна дослідження полягає в тому, що до цього часу технологія 3Д друку є не сильно популярною у повсякденності, а також рідко впроваджуваною у масовому виробництві.

Об'єкт дослідження: Процес виготовлення робототехнічних деталей за допомогою 3Д друку

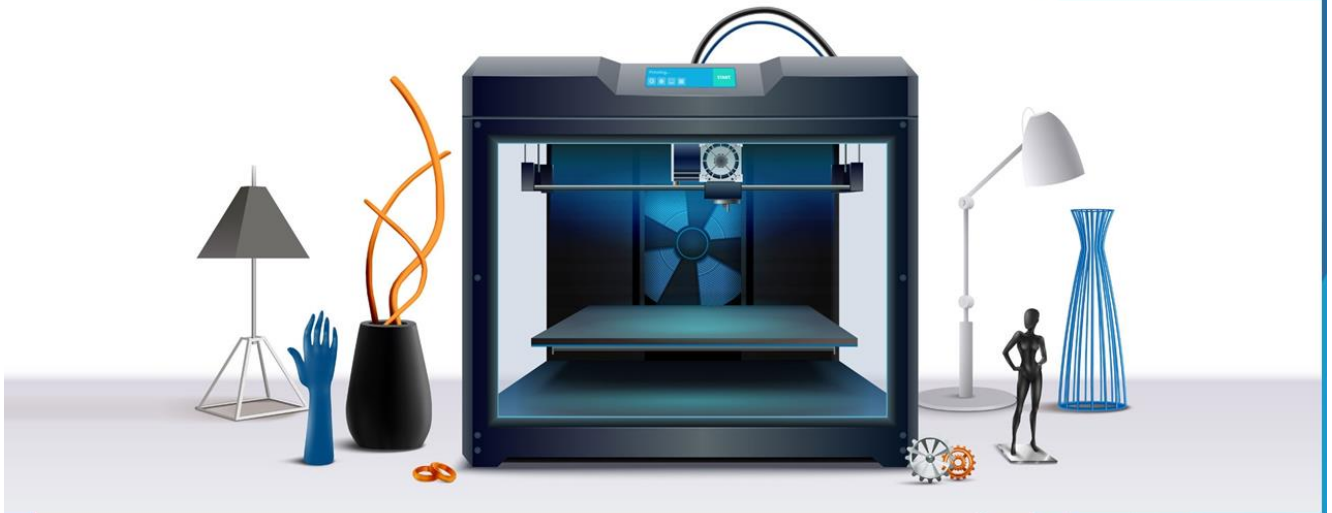
Предмет дослідження: 3Д принтери типу SLA, DLP та FDM

Мета дослідження: покращення продуктивності розробки робототехнічних запчастин через впровадження 3Д друку

Завдання дослідження:

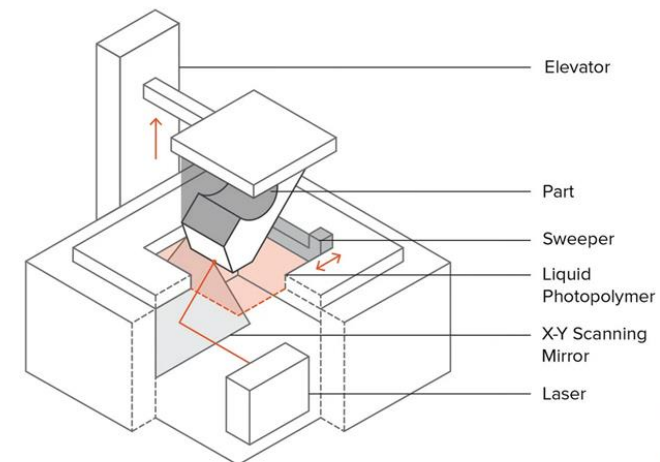
1. Дослідити сферу 3Д друку та зробити висновки про її стан та прогнозоване майбутнє
2. Вивчити поняття, класифікацію та принцип роботи 3Д принтерів
3. Ознайомитися з особливостями використання та специфікаціями різних технологій друку

- **3Д друк: введення**



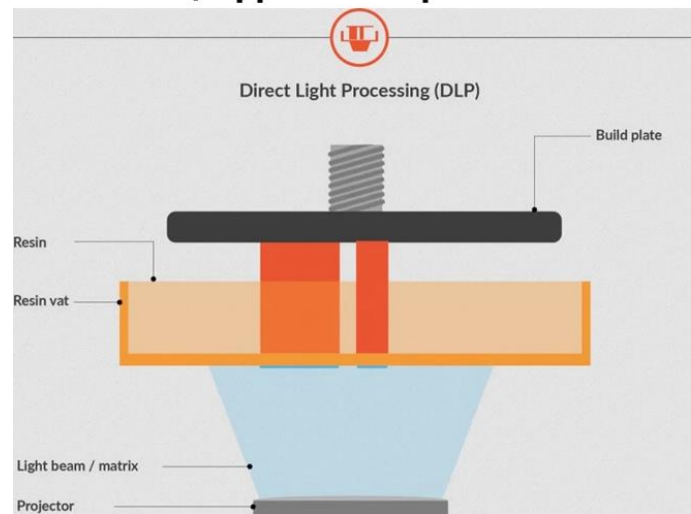
03

- **Особливості застосування лазерної стереолітографії (SLA) для друку робототехнічних складових**



03

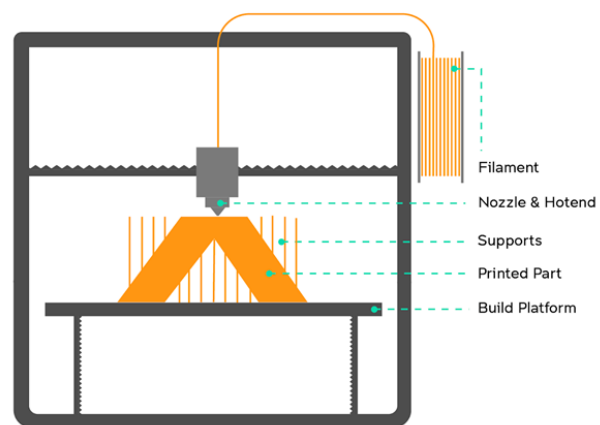
Огляд можливостей застосування цифрової обробки світла



04

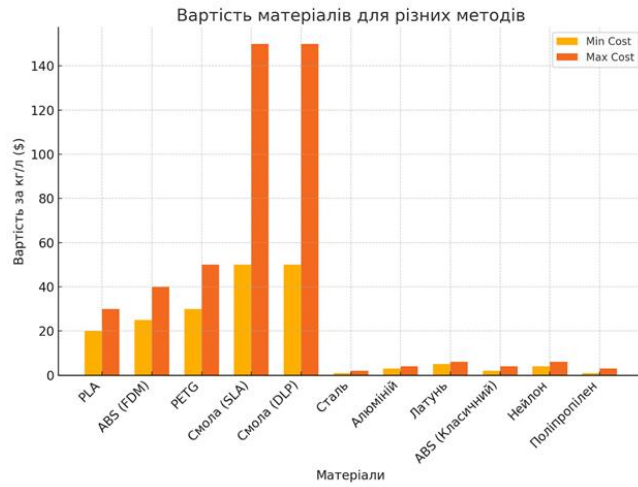
SolarPower
Europe

Параметри та можливості технології плавлення (FDM) для друку робототехнічних складових



05

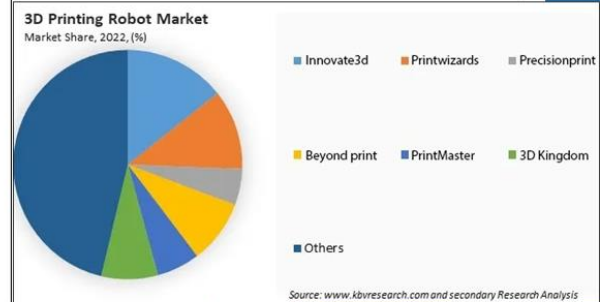
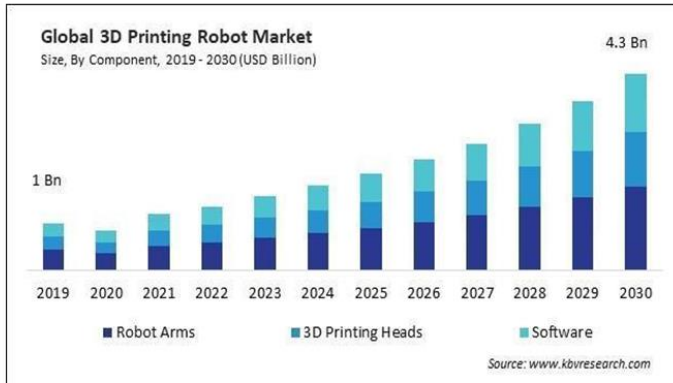
Оцінка вартості матеріалів при друку робототехнічних деталей та при класичному способі виробництва



07

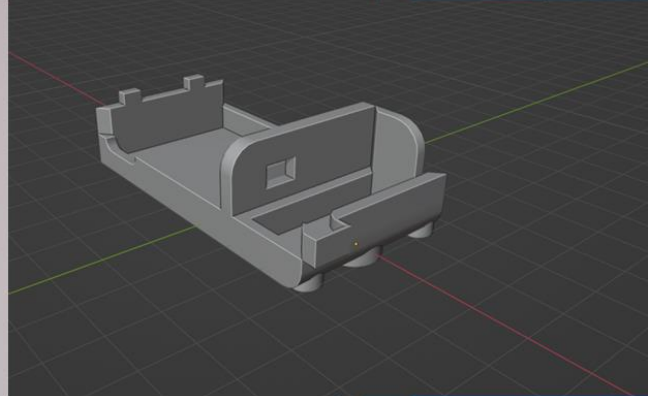
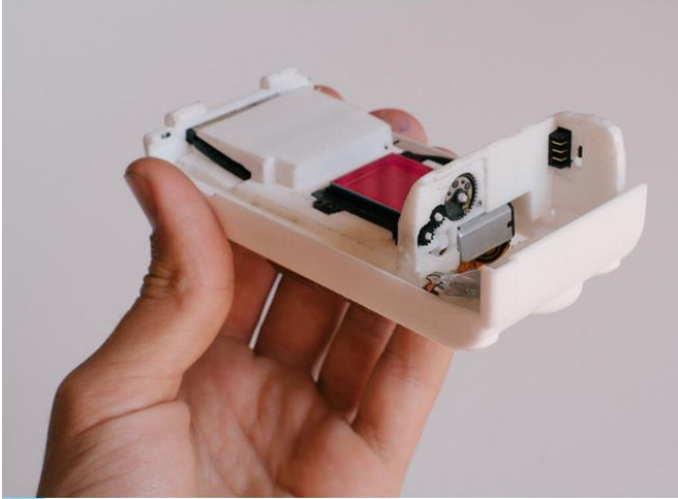
Аналіз та прогнози щодо ринку 3Д друку

Як ви оцінюєте успішність та результати примінення 3Д друку?

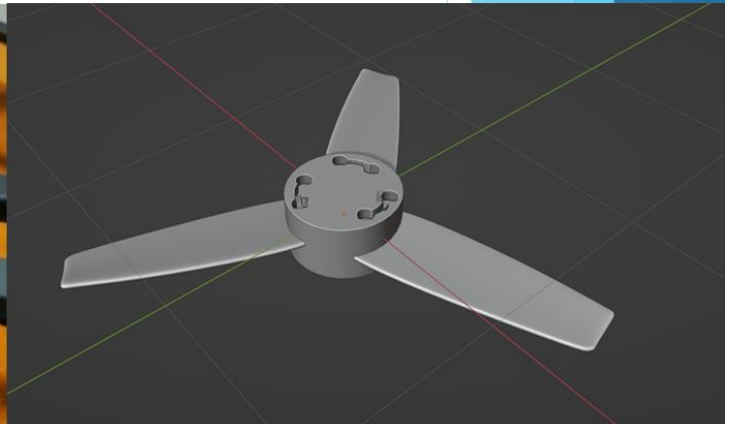


11

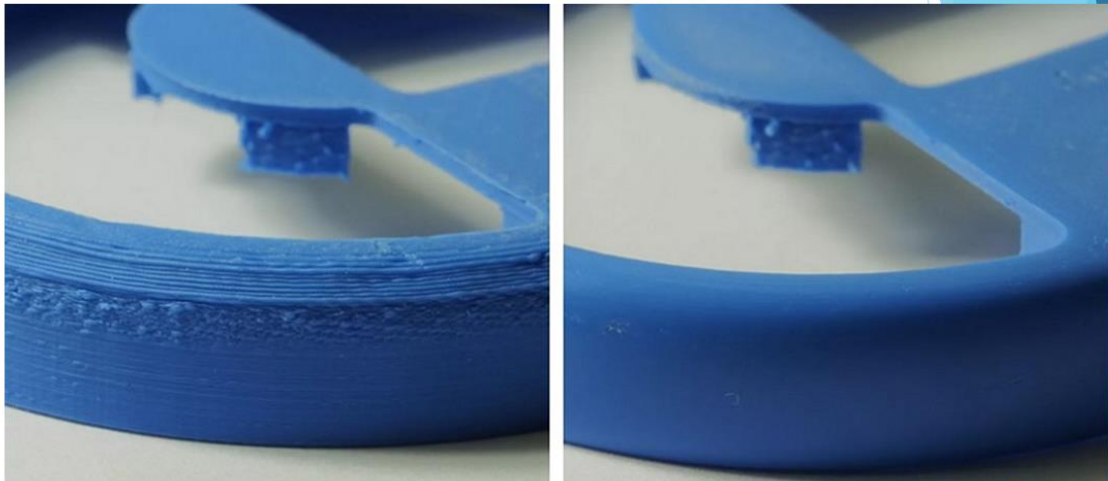
Висока точність та роздільна здатність лазерної стереолітографії



Швидкість процесу друку при цифровій обробці світла



Постобробка кінцевих виробів



Поверхня деталей до та після галтівки

ВИСНОВКИ

В даній роботі було досліджено найпопулярніші типи технологій 3Д друк, обладнання та матеріали, що підходять для роботи, а також перспективи розвитку ринку 3Д друк. Практичним методом було виявлено які технології краще підходять для конкретних задач при певних умовах, таких як бюджет, час, точність кінцевого виробу, тощо.

Апробація

1. The State of 3D Printing Report
2. INTRODUCTION TO 3D PRINTING WITH DESKTOP STEREOLITOGRAPHY
3. Global 3D Printing Robot Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component, By Application
4. 3D Printing Robot Market

**ДЯКУЮ
ЗА УВАГУ**