

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
Машинобудування, мехатроніки і
Робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
05 червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**Розробка 3Д принтера для виготовлення деталей
типу тіл обертання**

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ТМ)-21
ОПП «Прикладна механіка»
Спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Олександр ПУДРИК

Керівник роботи:
д-р тех. наук, професор
_____ Андрій КИРИЧЕНКО

Рецензент:
д-р техн. наук, професор

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інженеринг технологій,
робототехніка і 3D друк

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри машинобудування,
Мехатроніки і робототехніки
канд. тех. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
10 квітня 2025р.

Завдання на кваліфікаційну роботу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти Пудрику Олександром Романовичу

Тема роботи:

Розробка 3D принтера для виготовлення деталей типу тіл обертання

Керівник роботи:

д-р тех. наук, професор Андрій КИРИЧЕНКО

Затверджено наказом ЦНТУ від 01 квітня 2024 року № 130-02

Строк подання роботи до захисту:

20 червня 2025р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета роботи: Розробка 3D принтера для виготовлення деталей типу тіл обертання

Завдання: Аналіз існуючих 3D принтерів;

Вибір конструкції яка доцільна для виконання завдання;

Конструювання 3D принтера з обраною кінематикою руху;

Проведення розрахунків які підтверджують доцільність запропонованих рішень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	19.04.2025р.	
2	Виконання загальної частини	25.04.2025р.	
3	Виконання технологічної частини	09.05.2025р.	
4	Виконання конструкторської частини	25.05.2025р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2025р.	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	10.06.2025р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	14.06.2025р.	
8	Рецензування роботи	16.06.2025р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2025р.	

Дата видачі завдання

9 квітня 2025р.

Здобувач вищої освіти

Олександр ПУДРИК

Керівник роботи

Андрій КИРИЧЕНКО

АНОТАЦІЇ

Пудрик О.Р. Розробка 3Д принтера для виготовлення деталей типу тіл обертання : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка наук. кер. А.М.Кириченко ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 51 с.

Креслеників – разом 3 аркушів формату А1.

Метою роботи є розробка 3Д принтер для виготовлення деталей типу тіл обертання

В роботі проведено аналіз доступної інформації по різних видах 3Д принтерів, з яких було обрано тип ротопринтера. При аналізі оригінальної конструкції було запропоновано ряд конструкторських рішень, доцільність яких перевірено розрахунками.

При розробці даного принтера було сконструйовано модернізацію до звичайного декартового 3Д принтера, яка надає йому кінематику ротопринтера.

ANNOTATION

Pudryk O.R. Development of a 3D Printer for Manufacturing Parts of the Revolution Body Type: Bachelor's Qualification Thesis, Specialty 131 Applied Mechanics / Scientific Supervisor A.M. Kyrychenko; Central Ukrainian National Technical University. – Kropyvnytskyi: CUNTU, 2025.

Drawings – total – A1 format sheets.

The aim of the work is to develop a 3D printer for manufacturing parts of the revolution body type.

The thesis includes an analysis of available information on various types of 3D printers, from which the rotary printer type was selected. Based on the analysis of the original design, a number of engineering solutions were proposed, the feasibility of which was verified by calculations.

During the development of this printer, a modification of a conventional Cartesian 3D printer was designed, giving it the kinematics of a rotary printer.

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Розробка 3Д принтера для виготовлення деталей
типу тіл обертання**

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ТМ)-21
ОПП «Прикладна механіка»
Спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Пудрик ОЛЕКСАНДР

Керівник роботи:
д-р тех. наук, професор
_____ Андрій КИРИЧЕНКО

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

Перелік позначень і скорочень	7
Вступ	9
1. РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСТОРІЇ ТА ВИДІВ 3Д ПРИНТЕРІВ	11
1.1. Історичні відомості	11
1.2. Види 3Д принтерів	14
1.3. SLA 3Д принтери	14
1.4. SLS 3Д принтери	15
1.5. FDM 3Д принтери	17
1.6. Конструкція FDM 3Д принтера	22
1.7. Типи FDM 3Д принтерів	30
2. РОЗДІЛ 2 КОНСТРУЮВАННЯ 3Д ПРИНТЕРА	39
2.1 Вибір 3Д принтера для виконання завдання	39
2.2 Розрахунок довжини кроку валу 3Д ротопринтеру	40
2.3 Розрахунок мінімальної Довжини пасу	43
2.4 Розрахунок моменту інерції	44
2.5 Розрахунок довговічності підшипників	46
2.6 Розрахунок лінійного теплового розширення валу	47
2.7 Конструювання 3д ротопринтера	47
Висновок	49
Список використаних джерел	50

USPTO - Патентне відомство США та торговельних марок;
 SLA – Стереолітографія;
 STL(Standard Template Library) - Бібліотека стандартних шаблонів;
 FDM - Моделювання плавленим осадженням;
 SLS - Селективне лазерне спікання;
 PLA - Полілактид;
 ABS - Акрилонітрилбутадієнстирол;
 PETG – Поліетилентерефталат;
 PC – Полікарбонат;
 TPU - Термопластичний поліуритан;
 NYLON – Поліамід;
 CFC - Вуглецевоволоконний композит;
 GFC - Скловолоконний композит;
 MFF - Металонаповнений полімер;
 RAMPS - RepRap Arduino Mega Pololu Shield;
 SCARA - робот-маніпулятор селективної відповідності;
 l – Довжина одного кроку, мм;
 r – Радіус круга, м;
 z – Кількість зубців меншого зубчатого колеса;
 Z - Кількість зубців більшого зубчатого колеса;
 l – Довжина, м;
 a – Міжосьова відстань, м;
 d – Діаметр, м;
 J – Момент інерції, кг/м^2 ;
 m – Маса, кг;
 ρ – Густина, кг/м^3 ;
 v – Об'єм, м^3 ;
 L – номінальна довговічність, млн. обертів;
 C - динамічна вантажність, Н;
 P - еквівалентне динамічне навантаження, Н;
 p - показник ступеня;
 V – коефіцієнт обертання;
 X – коефіцієнт радіального навантаження;
 F_r – радіальне навантаження підшипника, Н;
 Y – коефіцієнт осьового навантаження;
 F_a – осьове навантаження підшипника, Н;

K_B - коефіцієнт безпеки;

K_T - температурний коефіцієнт;

ΔR – зміна радіальної довжини;

b – коефіцієнт теплового розширення;

R_0 – початковий радіус;

ΔT – різниця температури;

На даний момент 3Д друк дуже розповсюджений, як серед користувачів так і комерційних компаній, в основному це FDM принтери, за рахунок своєї популярності 3Д принтери розвиваються, як по функціоналу так і по їх різноманіттю. В сучасному світі існує безліч варіацій комерційних варіантів 3Д принтерів, а розроблених інтузіастами ще більше. За рахунок розвитку технологій, та її здешевлення, все частіше розробляють унікальні принтери з впровадженням нових, для 3Д друку, технологій. Але існують типи принтерів які не користуються популярністю, причини різні: складна та дорога конструкція, складне програмне забезпечення, обмежені можливості друку, або просто застаріла концепція. Розвиток того чи іншого типу 3Д принтера обумовлений в першу чергу потребою його функціоналу та перевагами над подібними. Також відсутність успіху можливий через відсутність технологій, що зазвичай і відбувається, спочатку створюють теоретичну модель роботи механізму. Зазвичай відсутність успіху спіткає види принтерів створених інтузіастами, так як в розробці не бере участь велика кількість спеціалістів, як наприклад у великих компаніях які роками випускають на світовий ринок свою продукцію, їхні проекти залишаються в недоробленому стані. В свою чергу великі компанії не бажають викупати права та доробляти проект, так як для них це ризик. Тому зазвичай виявити потребу в них складно так як самі проекти маловідомі, і за декілька років про них забувають.

Так наприклад майже забутий навчальний проект студента університету мистецтва та дизайну Burg Giebichenstein Jonas Duteloff розробив унікальний тип 3Д принтера під назвою ротопринтер. Основне завдання якого було друкувати деталі по типу тіл обертання. Конструкція цього принтера вирішувала проблеми з кінематикою при друку подібних деталей, а також проблему пошарового створення деталей типу тіл обертання. Проблема з нашаровуванням матеріалу доволі не проста так як через принцип друку звичайним 3Д принтером деталь друкується пошарово, і в тонких місцях при недостатньому сплавленні матеріалу залишається послаблена зона. Кінематика ротопринтера вирішує дану проблему змінюючи принцип нашаровування матеріалу, що не тільки не створює послаблені зони, а й підвищує механічні властивості деталі.

Принтери які вирішують дану проблему існують, наприклад такі як 3Д принтер встановлений на роботу, проте в більшості дані рішення важко порівнювати з ротопринтером через різницю у вартості. Тому у даній роботі представлено розробку 3Д принтера з кінематикою ротопринтера. Метою даної роботи являється розробка модернізації 3Д принтера, яка надає кінематику

ротопринтера. Додатковою метою являється покращення оригінальної конструкції для розширення функцій та спрощення обслуговування. Також умовою розробки являється простота модернізації, для можливості зміни конфігурації за потреби з ротопринтера на декартовий 3Д принтер без глибокої зміни компонентів.

В результаті модернізації повина відкривати нові можливості друку без серйозних змін, виконувати задану функцію з друку деталей типу тіл обертання. А також використовувати в переважності наявні компоненти для здешевлення і зпрощення конструкції, що дасть переваги над іншими видами рішень проблеми.

Актуальність роботи полягає у вирішенні проблеми неточності форми та пошаровий друк деталі типу тіл обертання на 3Д принтері.

Мета роботи: розробити 3Д принтер для друку деталей типу тіл обертання

Завдання роботи:

- проаналізувати існуючі види 3Д принтерів та обрати кінематику та конструкцію для вирішення завдання;
- запропонувати покращення оригінальної конструкції для розширення функціоналу та зменшення складності конструкції;
- провести розрахунки для обґрунтування запропонованих технічних рішень по покращенню конструкції.

Практичне значення: у роботі проведено розробку модернізації декартового 3Д принтера Creality Ender 3 для отримання можливостей друку з кінематикою ротопринтера, що дозволяє друкувати деталі типу тіл обертання з покращеними характеристиками по точності форми та механічними властивостями. Проведено модернізацію оригінальної конструкції що дає змогу друкувати деталь більшого діаметру з прийнятною точністю, а також можливістю змінити конфігурацію принтера до звичайного стану за потреби.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСТОРІЇ ТА ВИДІВ 3Д ПРИНТЕРІВ

1.1 Історичні відомості

Загальну концепцію 3D-друку вперше описав Murray Leinster у своєму творі 1945 року « Things Pass By ».[1] Також його описав Raymond Fisher Jones у своїй історії « Tools of the Trade » опублікованій у журналі Astounding Science Fiction за листопад 1950 року, у цій історії він назвав це « molecular spray ».

Перше обладнання для адитивного виробництва були розроблені в 1980-х роках. У квітні 1980 року Хідео Кодама з Муніципального промислового науково-дослідного інституту Нагої винайшов два методи виготовлення тривимірних моделей. Він подав патент який був опублікований 10 листопада 1981 року (JP S56-144478).Його пристрій не отримав високого пріоритету в лабораторії, а його бос не виявив інтересу. І через обмежене фінансування придбання патентних прав було припинено, а проект закрито.

6 квітня 1982 року компанія Raytheon Technologies Corp надає патент США № 4323756 який описує використання сотень шарів порошкового матеріалу і лазерного джерела енергії.

2 липня 1984 року американський підприємець William Masters подав патент (US 4665492) Ця заявка зареєстрована в USPTO як перший в історії патент на 3D-друк,цим патентом володіє компанія Masters.

16 липня 1984 року Alain Le Méhauté,Olivier de Witte та Jean Claude André подали заяву на патент на процес стереолітографії. Заяву на патент було відхилено компаніями General Electric Company (нині Alcatel-Alsthom) і CILAS (The Laser Consortium),заявленою причиною була «відсутність бізнес-перспектив».

8 серпня 1984 року було подано патент US4575330, переданий UVP, Inc., пізніше переданий Chuck Hull з корпорації 3D Systems , його власний патент на систему виробництва стереолітографії. Внеском Халла був формат файлу STL а також стратегії цифрового нарізання та заповнення, загальні для багатьох процесів сьогодні.

У 1986 році Чарльз «Чак» Халл отримав патент на цю систему, і його компанія 3D Systems Corporation була створена. Через два роки в 1988 році вони випустили революційний перший комерційно доступний 3D-принтер – SLA-1

Рисунок 1.1. Технологія, яка використовується більшістю 3D-принтерів на сьогоднішній день, особливо в моделях, орієнтованих на любителів і споживачів, — це моделювання плавленого осадження, спеціальне застосування екструзії пластику, розроблене в 1988 році S. Scott Crump і комерціалізоване його компанією Stratasys, яка випустила на ринок свою першу машину FDM в 1992 році. Володіння 3D-принтером у 1980-х роках коштувало понад 300 000 доларів (650 000 доларів у доларах 2016 року).

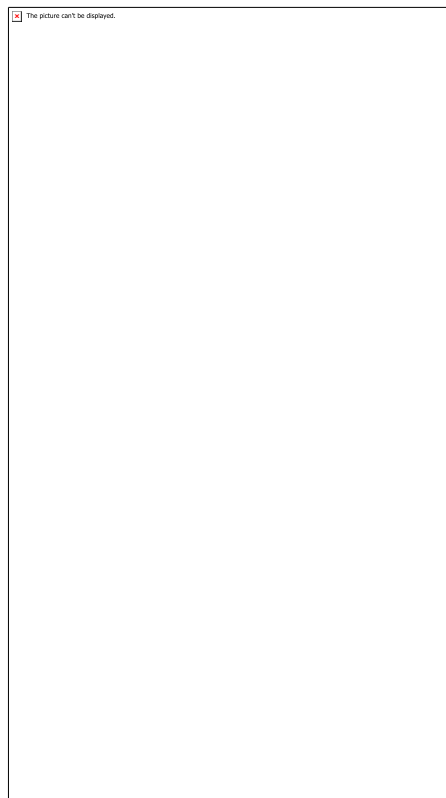


Рисунок 1.1. 3Д принтер SLA-1

У 1993 році також була заснована компанія струменевих 3D-принтерів, спочатку названа Sanders Prototype, Inc, а пізніше названа Solidscape, представивши високоточну систему виготовлення полімерних струменів із розчинними опорними структурами.

У 1995 році Товариство Fraunhofer Society (німецька державна дослідницька організація з 76 інститутами, розташованими по всій Німеччині) розробило процес селективного лазерного плавлення.

У 2000-х роках ця технологія почала широко використовуватися в промисловості, найчастіше в архітектурі та медицині, хоча зазвичай її використовували для низькоточного моделювання та тестування.

У 2009 році закінчився термін дії патентів на технологію моделювання плавленого осадження (FDM).[2] Це відкрило двері для нової хвилі стартап-компаній, багато з яких були засновані основними учасниками цих ініціатив із відкритим кодом.

У листопаді 2021 року британський пацієнт на ім'я Стів Верзе отримав перший у світі протез ока, повністю надрукований на 3D-принтері, в лікарні Moorfields Eye Hospital у Лондоні.

У липні 2024 року дослідники опублікували статтю в *Advanced Materials Technologies*, в якій описують розробку штучних кровоносних судин за допомогою технології 3D-друку, які є такими ж міцними та довговічними, як природні кровоносні судини .

1.2 Види 3D принтерів

На сьогоднішній день існує багато різних 3Д принтерів. Вони відрізняються матеріалом яким друкують, типом нанесення матеріалу, та іншим. Та загалом вони поділяються на 3 основні види:

1.3 SLA(стереолітографія)

Перший в історії метод адитивного виробництва. Основний принцип роботи полягає в опроміненні ультрафіолетовим лазером фотополімерну смолу.[3]

За допомогою програмного забезпечення ультрафіолетовий лазер опромінює фотополімерну смолу, яка формує один шар поперечного перерізу 3Д моделі рисунок 1.2, після чого поверхня на якій друкується деталь зміщується на товщину одного шару перерізу, операція повторюється доки деталь не буде надрукована. Готову деталь потрібно промити розчинником змивши вологу смолу з деталі.

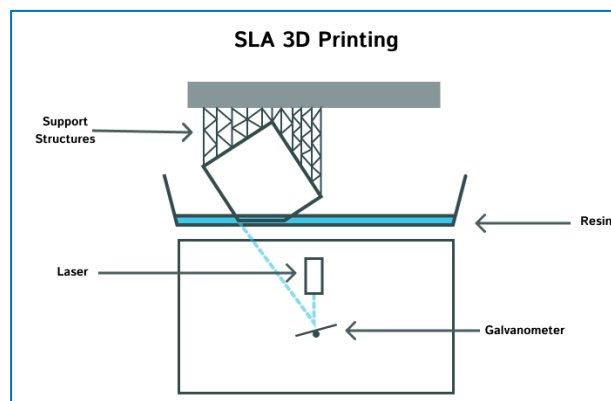


Рисунок 1.2. Принцип роботи SLA принтера

Найбільш популярним методом SLA-друку являється друк «знизу вгору». Використовуючи ванну з прозорим дном, через яку ультрафіолетовий лазер опромінює смолу, дозволяє друкувати 3Д моделі більші за розміри ванни, так як друк відбувається на дні ванни, єдине що потрібно це те щоб ванна залишалась заповненою смолою.

Як і в методі FDM друку в SLA потрібне застосування опорних конструкцій, які кріплять до платформи, щоб запобігти прогинанню або

утримувати щойно створені елементи. Зазвичай опори створюються автоматично під час підготовки 3Д моделі, а також можуть бути заданими в ручну. Після друку опори потрібно видалити в ручному режимі.

Для SLA друку використовують рідкі матеріали які являють собою термореактивні полімери. Властивості деталі залежать від рецептури смоли, завдяки цьому можливо створювати деталі з різними механічними та термостійкими властивостями. Смоли можна розподілити по таким категоріям: Стандартні смоли для загального прототипування. Інженерні смоли для забезпечення специфічних механічних та термічних властивостей, Стоматологічні та медичні смоли для сертифікації біосумісності. Біоматеріальні смоли, виготовлені у вигляді водних розчинів синтетичних полімерів.

1.1 SLS(селективне лазерне спікання)

Даний вид принтерів характеризується використанням лазера як джерела тепла, що спікає порошковий матеріал.[4] Лазерний промінь автоматично спрямовують на точку в просторі ,визначені 3д моделлю, спікаючи порошковий матеріал для створення міцної структури.

Технологія адитивного виробництва шарів, SLS, передбачає використання потужного лазера для сплавлення дрібних частинок порошку. Лазер сплавляє порошковий матеріал скануючи поперечні перерізи отримані на основі 3Д-моделі деталі.

Після закінчення спікання одного поперечного перерізу порошковий матеріал опускається на один шар товщини, наноситься новий шар порошкового матеріалу ,після чого процес повторюється, доки деталь не буде надрукована рисунок 1.3.

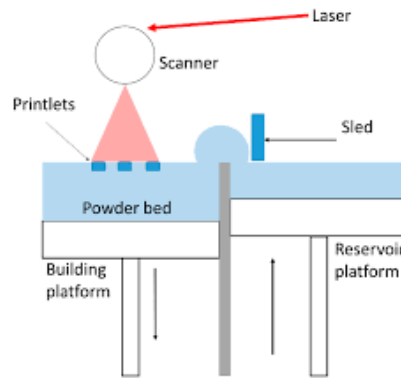


Рисунок 1.3. Принцип роботи

Оскільки щільність деталі залежить від пікової потужності лазера, а не від тривалості його роботи, використовують імпульсний лазер.

На відміну від SLA та FDM, які вимагають підтримок або спеціалізованих модернізацій для друку нависаючих елементів, SLS не потребує витрат матеріалу на підтримки або спеціалізованого обладнання, оскільки друківана деталь оточена не спеченим матеріалом. Це дозволяє створювати деталі складної геометрії. Проте на відміну від SLA та FDM, які можуть друкувати закриті деталі з порожнинами в середині, SLS потребує отвори через які можна дістати неспечений порошок з середини.

На якість друку впливає безліч факторів, включаючи властивості порошку, такі як розмір і форма частинок, щільність, шорсткість і пористість порошку. Комерційно доступні матеріали випускають у вигляді порошку та включають полімери такі як поліаміди, полістироли, термопластичні еластomers, поліарилетеркетони. Поліаміди одні з найрозповсюдженіших SLS-матеріалів завдяки їхній поведінці при спіканні як напівкристалічного термопластику, що призводить до отримання деталей з доволі високими механічними властивостями. Металеві матеріали не часто використовують в SLS через розробку селективного лазерного плавлення. Полікарбонати являє собою матеріал з високими показниками міцності, термічній стабільності та вогнестійкості, однак такі полімери, оброблені SLS, як правило призводить до отримання деталі із зниженими механічними властивостями, точністю розмірів.

SLS широко використовується у багатьох галузях завдяки здатності створювати складну геометрію з застосування мінімальних виробничих зусиль. Її застосовують у створенні прототипів на ранніх етапах проектування, таких як моделі для автомобільного обладнання, моделі аеродинамічних труб. Також все частіше SLS використовують в обмеженому виробництві для виробництва в аерокосмічній, військовій, медичній, фармацевтичній та електронній промисловості. SLS може застосовуватись для швидкого виготовлення пристосувань;

1.2 FDM

Даний тип друку характеризується використанням термопластичного матеріалу. філамент подається, за допомогою крокового двигуна, до нагрітої головки екструдора принтера з якої наноситься на робочий стіл.[5]

Перед початком друку готову 3Д модель у вигляді формату STL обробляють в програмі(слайсери) рисунок 1.4, яка перетворює 3Д модель в G-код, в даній програмі задаються основні параметри для друку такі як: швидкість друку, екструзія матеріалу, розміщення деталі на столі, температура сопла, температура стола, швидкість переміщення, довжина ретракту, розміщення і форма підтримок нависаючих елементів, внутрішнє заповнення деталі, форма заповнення деталі, пасивне охолодження друкованого матеріалу, товщини стін деталі, та інше. Дані програми(слайсери) можуть відрізнятися і мати унікальні функції наприклад: розділення деталі на зони в яких можна задавати різні параметри друку, можливість друкувати декількома головками екструдора, також більшість з них можуть відстежувати процес друку при наявному підключенні до принтера, та інше.

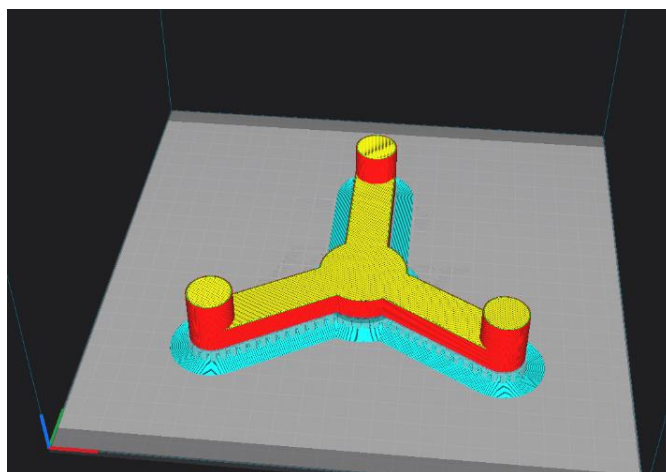


Рисунок 1.4. Програма слайсер

Готовий код перевіряють через візуалізацію готової деталі в програмі на наявність помилок при обробці 3Д моделі, це можуть бути як помилки в заданих параметрах друку, так і помилка самої програми при створенні G-коду.

Також перед друком необхідно налаштувати сам принтер. У звичайного FDM принтера вісь руху екструдера обмежена двома осями переміщення а стіл третьою віссю, тому налаштування проводять над висотою стола за допомогою підпружиненого гвинтового з'єднання або додаванням шайб під кріплення стола. Дану процедуру виконують з нагрітим столом до робочої температури(робоча температура стола залежить від матеріалу яким друкують),зазор між нагрітим столом і соплом екструдера повинен дорівнювати висоті одного шару філаменту. Якщо зазор між столом і соплом не буде дорівнювати висоті одного шару перші шари деталі будуть з дефектами.

Також перед початком друку необхідно очистити робочий стіл для кращої адгезії, щоб деталь надійно була зафіксована в процесі друку. Особливо актуальна проблема адгезії при використанні філаменту по типу NYLON(нейлон) даний вид матеріалу дуже важко використовувати в 3Д друку так як він показує погану адгезію. Щоб друкувати таким видом філаменту рекомендують застосовувати термокамеру з активною підтримкою температури, а також спеціальний клей який наносять на робочий стіл.

На початку друку деталі всі вісі переміщення автоматично відправляються до датчиків для визначення нульової точки координат. Після чого головка екструдера надрукує невелику полосу або щось інше, для того щоб друкуюча головка була заповнена філаментом. Після цього почнеться друк деталі, який можливо відстежувати через програму при наявності підключення до принтера та наявності даної функції в програмі. Перший шар деталі може друкуватись з додатковим розширенням (спідницею), це потрібно для кращої фіксації деталі, але далеко не завжди вона потрібна.

Друк деталі відбувається вштовхуванням розплавленого філаменту через сопло, розплавлений елемент прилипає до робочого столу, після чого його охолоджує пасивний вентилятор рисунок 1.5. Голова екструдера переміщається друкуючи перший шар деталі після чого піднімається на висоту одного шару деталі і друкує слідуючи шарю. Дана процедура повторюється до тих пір поки деталь не буде надрукована.

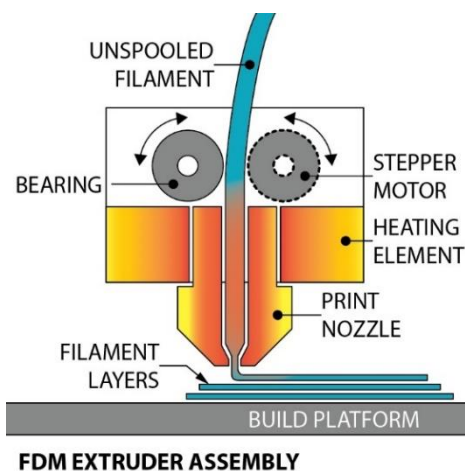


Рисунок 1.5. Плавлення матеріалу

В процесі друку важливо стежити за процесом, особливо на початкових етапах, при нанесенні перших шарів. Це дозволить виявити проблеми друку з меншими витратами філаменту та витратами часу. Проблеми можуть бути різних характерів: неправильне позиціонування деталі, неправильно вказані параметри друку, погана фіксація деталі на столі, та інше.

Після закінчення друку деталь потрібно очистити від дефекту друку який спричинили такі фактори як: неоднорідність філаменту, неправильні налаштування екструзії матеріалу, зношення елементів подачі філаменту, та інше. А також від підтримок нависаючих елементів, стиків початку і кінця переміщення сопла екструдера, дефектів при ретракції філаменту.

У FDM друку використовують багато різних матеріалів, [6,7] таких як: **термопластичні полімери**-до них відносяться такі види як:

PLA(Полілактид)

Переваги:біорозкладний, простий у друці, мінімальна усадка, відсутність токсичних випарів.

Недоліки:менша міцність і термостійкість, крихкість при ударах, чутливість до вологи.

Сфери застосування:декоративні, прототипування моделі, екологічні продукти, освітні проекти.

ABS(Акрилонітрилбутадієнстирол)

Переваги:висока механічна міцність і ударостійкість, термостійкість, легко піддається постобробці, стійкий до хімічних речовин і масел.

Недоліки:виділяє токсичні випари, висока усадка під час охолодження, складність у друці.

Сфери застосування:автомобільна промисловість, корпуси електронних елементів.

PETG(Поліетилентерефталат)

Переваги:висока хімічна стійкість, висока термостійкість, невелике виділення токсичних випарів при друці, висока гнучкість і міцність, легкий у друку.

Недоліки:чутливість до ультрафіолетового випромінювання, висока вязкість, вимагає кращого налаштування друку.

Сфери застосування-харчова промисловість, медичні пристрої.

PC(Полікарбонат)

Переваги:висока міцність та ударостійкість, термостійкість, стійкість до зовнішнього впливу.

Недоліки:низька еластичність, висока температура плавлення, потреба спеціального обладнання для друку.

Сфери застосування:виготовлення корпусних частин обладнання, сільському господарстві.

TPU(Термопластичний поліуритан)

Переваги: висока гнучкість та еластичність, стійкість до механічних пошкоджень, стійкість до хімічних речовин та мастил.

Недоліки: низька швидкість друку, вимога спеціальних налаштувань друку, обмеження в застосуванні через механічні властивості.

Сфери застосування: виробництво гнучких механічних компонентів, медичні пристрої.

NYLON(Поліамід)

Переваги: стійкість до хімічних речовин та ультрафіолетового випромінювання, високий рівень міцності і зносостійкості, готова деталь легка в обробці.

Недоліки: вимога спеціалізованого обладнання, висока усадка, чутливість до вологи.

Сфери застосування: медичні пристрої, корпуси електронних елементів.

Дані види філаменту являються найрозповсюдженими в FDM друку, це забезпечено простотою використання та доступністю до покупки. Дані види пластику відрізняються своїми механічними, термічними та текучими властивостями, дані властивості можуть відрізнятися у одного виду філаменту виготовленого різними компаніями. Філамент запаковується у герметичну упаковку щоб полімер залишався сухим, так як з часом на повітрі він почне вбирати вологу з повітря. Це буде впливати на деталь у вигляді дефектів, також це може спричинити утворення пробки в екструдері. Тому при довгому зберіганні філаменту, на відкритому повітрі, рекомендують його просувати, дана процедура допоможе зберігати якість друку та зменшити ризик утворення пробки екструдера;

Композитні матеріали-це комбіновані матеріали де основу відіграють філаменти по типу PLA, ABS та інші, до основи додають армування різних матеріалів, що призводить до зростання багатьох показників залежно від доданих матеріалів. Існує багато композитів, кожен із них додає унікальні властивості деталі по типу значного підвищення механічних властивостей або зниження опору електричного струму та інше. Проте кожен з них має свої слабкості по типу підвищеної хрупкості, зносу сопла, налаштувань принтера.

Поширеними композитами являються: CFC (вуглецевоволоконий композит), GFC (скловолоконий композит), MFF (металонаповнений полімер);

Інші види матеріалу-існує багато інших типів матеріалів для друку, які не так поширені як попередні, вони більш спеціалізовані під вузько направлені завдання. До таких типів відносяться друк технічною керамікою, гончарною глиною, бетоном та будівельними матеріалами, біоматеріалами, силіконом та їжею.

1.3 Конструкція FDM принтера

Друкуюча головка

Являється головним елементом 3Д-принтера, він відповідає за подачу і плавлення матеріалу під час друку. Друкуюча головка складається з двох частин екструдера і нагрівачого елемента рисунок 1.6.[8,9]

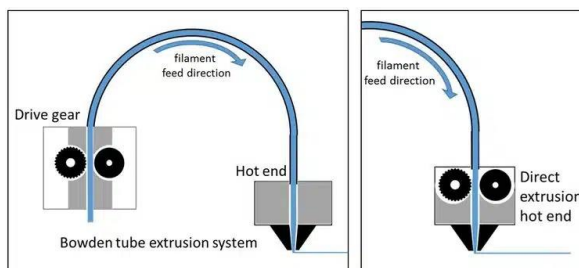


Рисунок 1.6. Принцип роботи друкуючої головки

Екструдер(cold-end) являє собою механізм, основним завданням якого є подача матеріалу до нагрівачого елемента. Найрозповсюджені два типи екструдерів це прямий(direct) і непрямий(bowden).

Прямий тип-у даного типу подаючий механізм знаходиться на самій друкуючій головці. Таке розташування дає кращу точність та швидкість друку, за рахунок мінімальної відстані подачі матеріалу. Дозволяє друкувати гнучкими матеріалами зі значно більшою точністю, а також полегшує заміну витратного матеріалу. Проте даний вид має недоліки у вигляді збільшення маси і габаритів друкуючої головки, що збільшує складність конструкції та інерцію друкуючої

головки. Складність конструкції ускладнює обслуговування механізму подачі, а збільшення інерції вимагає більш тонкого налаштування.

Не прямий тип-у даного типу подаючий механізм винесений за межі рами і подає матеріал в хотенд по трубці, що забезпечує меншу масу друкуючої головки. Проте довша відстань вимагає більш потужного двигута, а також таке розташування значно обмежить роботу з гнучкими матеріалами. Також заміна витратного матеріалу ускладнюється за рахунок більшої відстані до друкуючої головки.

Нагрівальний елемент(hot-end)-це набір елементів, призначення яких полягає в плавленні матеріалу перед його осадженням рисунок 1.7. Він завжди працює з екструдером, прямим або не прямим. Екструдер проштовхує матеріал в камеру де він плавиться, і завдяки тиску розплавлений матеріал виходить з сопла, де він твердіє осаджуючись на поверхні стола або деталі. Оскільки матеріал проштовхується необхідно щоб матеріал залишався твердим перш ніж він розплавиться. Для цього в хотенді існує дві розмежовані зони холодна зона та гаряча зона з коротким переходом між ними.

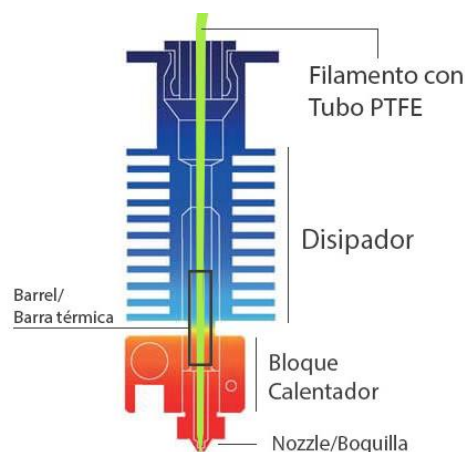


Рисунок 1.7. Конструкція нагрівального елемента

Хотенд здебільшого складається з шести основних елементів:

Сопло-це кінцевий елемент хотенда, який визначає роздільну здатність принтера на площині. Основні параметри по яким обирають сопло всього три система до якої вони належать, діаметр та матеріал сопла. Існують декілька систем хотендів, найпопулярнішими є дві V6 та Mk8. Крім них існують інші

системи відомих брендів, такі як Ultimaker, BCN3D або Raise 3D, мають свої власні системи. При своїй схожості сопла систем V6 та Mk8 вони не взаємозамінні тому, що хоч вони мають однаковий тип з'єднання з хотендом, різьбу M6, довжина з'єднання різна. При встановленні неправильного сопла може утворитись пробка в середині хотенду.

У більшості випадків використовують сопло діаметром 0,4 міліметра, оскільки такий діаметр вважають компромісом між швидкістю друку та його точністю. Проте в деяких випадках використовують інші діаметри, які краще підходять. У більшості діаметр сопла коливається від 0,25 міліметрів до 0,8 міліметрів. Це пов'язано із внутрішніми проблемами, при плавленні матеріалу він зберігає свою вязкість, тому менші діаметри сопла потребують вищого тиску. Через вязкість неможливо друкувати деякими матеріалами з соплом малого діаметру. Для сопел діаметрів понад 0,8 міліметрів обмеження пов'язані з розплавленням матеріалу в середині хотенду, матеріал не встигає розплавитись, що не забезпечує достатню екструзію. Нитка не встигає повністю розплавитись, що значно зменшує швидкість і якість друку. Незважаючи на це двом компаніям вдалося вирішити цю проблему різними способами.

Компанія E3D вирішила проблему, створивши дві підсистеми Volcano та Supervolcano (рис. 1.8), шляхом збільшення довжини гарячої зони, що дозволяє розплавити більший потік матеріалу. ця система друкує на більших швидкостях при спільному діаметрі у порівнянні з іншими системами, дана система дозволяє друкувати діаметром до 1,4 міліметрів.



Рисунок 1.8. Сопла Supervolcano

Компанія 3DSolex створила інноваційну технологію « Core Heating Technology » рисунок 1.9. Дана технологія запроваджує поділ внутрішньої частини на три камери, що збільшує площу контакту нитки з соплом, і таким чином досягається швидке та однорідне плавлення без необхідності збільшувати гарячу частину. Завдяки даній технології компанія пропонує сопла діаметром 2 міліметри.



Рисунок 1.9. Сопла Core Heating Technology

В останні роки з'являється багато нових матеріалів, це в свою чергу провокує створення сопел з нових матеріалів. На даний момент найпоширенішими матеріалами для виготовлення сопла є:

Латунь-найпоширеніший матеріал. Його перевагами є низька вартість, простота виготовлення та висока теплопровідність. Серед недоліків низька зносостійкість та стійкість до високих температур, не рекомендується застосовувати при температурі вище 300 °C. Такі сопла ідеально використовувати для друку такими матеріалами як PLA, ABS, ASA.

Нікельована латунь-стає стандартом у хотендах високої якості. Це латунє сопло покрите тонким шаром нікелю. Таке покриття забезпечує кращу зносостійкість, нищий коефіцієнт тертя та високу стійкість до корозії. Даний матеріал перевершує звичайну латунь по всіх показниках.

Нікельована мідь-спеціалізований матеріал для друку на високих температурах, дозволяє досягати температур близько 500°C. Використовується разом з нагрівальним блоком з такого ж матеріалу.

Загартована сталь-особливість являється висока стійкість до стирання, створені для роботи з композитними матеріалами по типу композит скловолокнам або вуглецевоволоконий композит. Їхнім недоліком являється нижча якість друку. Хоч доступні по розміру від 0,4 міліметрів рекомендують застосовувати сопла діаметром від 0,5 міліметрів. Дані сопла можуть витримувати температури до 500°C, їх не рекомендують використовувати з композитними матеріалами при температурі вище 350°C.

Нержавіюча сталь-Їх часто плутають зі сталевими, але це помилка так як на відміну від сталевих дані сопла не можна застосовувати з композитними матеріалами, так як її стійкість до стирання значно менша від попередніх. Даний вид застосовують у медичній та харчовій промисловості через їхню стійкість до корозії та низьких токсичних виділень. Як із нікелево мідними даний вид сопел підходить для застосування при високих температурах, витримуючи до 500°C.

Латуні або мідні з рубіновим наконечником-багато хто вважає, що даний вид незношується, це не так хоч і рубін має велику зносостійкість, латуна або мідна основа зношується. Довговічність даного виду наконечника, при використанні звичайного пластику, надзвичайно висока. Проте при використанні композитних матеріалів сопла будуть сильніше зношуватись;

Нагрівальний блок

Це елемент основна завдання якого полягає в передачі тепла до сопла та гарячої зони. Існує два основні типи стандартні та високотемпературні. Стандартні зазвичай виготовляють з алюмінію, вони є найекономічнішими але

витримують температуру до 300°C. Високотемпературні виготовляють з нікільованої міді і витримують температуру до 500°C.

Температурний датчик

Це елемент завдання якого полягає у вимірюванні температури нагрівального блока. Існує декілька видів із різними параметрами та форм-факторами. Це один з найскладніших для заміни елементів, оскільки крім особливого форм-фактора можлива потреба модифікації прошивки принтера або додавання додаткові електронні елементи. найпоширенішими типами є три термістор, термопара і Зонд PT100.

Нагрівальний елемент

В основному представляє собою резистор, через який проводять струм, передає тепло нагрівальному блоці. Найрозповсюджені мають потужність 30 ват або 40 ват. Як правило їхні розміри універсальні. Вони доступні у версіях на 12 вольт та 24 вольт, важливо обирати під напругу яку підтримує плата.

Термобар'єр

Його функція полягає в розділенні холодної та гарячої зони хотенда, і якість цього елементу є вирішальним для уникнення пробки. Він виготовляється з матеріалів які мають низький коефіцієнт теплопередачі, таких як нержавіюча сталь, найякісніші виготовляють з титану або біметалевих компонентів.

Радіатор

Його завдання полягає у охолодженні холодної частини екструдера. Дуже важливо щоб продуктивність цього елементу була високою, особливо при роботі з високими температурами або з матеріалами з низьким порогом розмякшення. У випадку використання прямого екструдера ще одним важливим завданням є запобігання передачі тепла до екструдера.

Робочий стіл

Робочий стіл являє собою поверхню на яку в процесі друку наносять розплавлений філамент з друкуючої головки, таким чином формуючи пошарово готову деталь. Зазвичай поверхня стола виготовлена із алюмінію або скла.

Алюмінієві столи характеризуються високою теплопровідністю, що забезпечує рівномірний нагрів стола, стіл зі скла характеризується гладкою поверхнею. Також застосовують різні покриття поверх основного стола, це може бути як клей для кращої адгезії так і інші види покриттів, їх використовують для кращої фіксації деталі.

Рама принтера

Всі компоненти принтера кріпляться до рами яка забезпечує міцність та жорсткість конструкції рисунок 1.10. Вона відповідає за збереження геометрії та захист від вібрацій, які впливають на якість друку. Рама принтера може бути відкритого типу, складається з алюмінієвих направляючих, та закритого, в якого закрита конструкція утворює термокамеру.

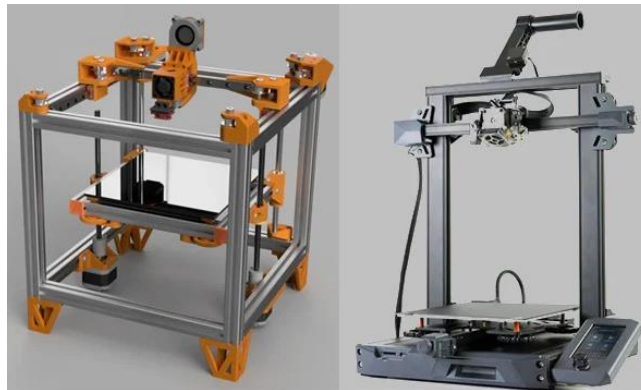


Рисунок 1.10. Рама 3Д принтераМеханізм переміщення

За переміщення друкуючої головки та робочого стола відповідає механізм переміщення рисунок 1.11. Він складається з крокового двигуна та направляючих об'єднаними в систему. Зазвичай для ефективного переміщення застосовують три крокові двигуни, які забезпечують переміщення по трьох осях X, Y та Z.

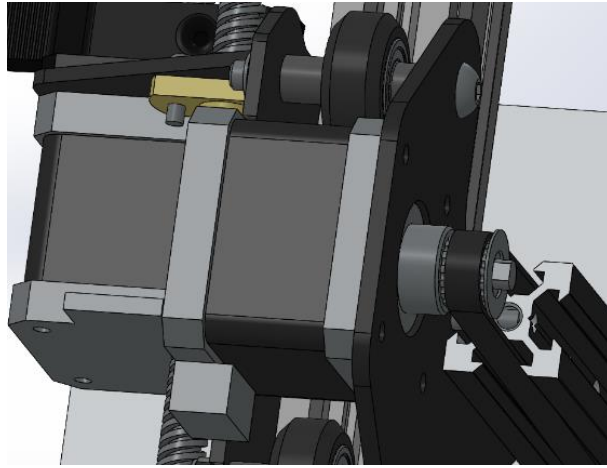


Рисунок 1.11. Механізм переміщення

Для перетворення обертального руху крокового двигуна використовують шківів із зубчастим пасом або валами з різьєю.

Найчастіше використовують шківів із зубчастим пасом, через низьку інерцію швидкість друку значно вища. У більш дешевих принтерах використовують напрямні циліндричної форми, в більш дорогих використовують лінійні напрямні виготовлені зі сталі. Якість напрямних напряму впливає на якість друку, дуже часто проблема з дифектом деталі від зношення напрямних. Крайні позиції робочого столу та друкуючої головки контролюється завдяки датчиків, найбільш точними з них є світлодіодні датчики, фотодіодні та датчики принцип яких ґрунтується на магнітному полі.

Електроніка

Всі компоненти 3Д-принтера керуються контролером, який розпізнає G-код, написаний спеціальною програмою та може бути скоригованим вручну. Програма для контролера створюється в спеціальній програмі використовуючи файл формату STL який описує 3Д модель рисунок 1.12.

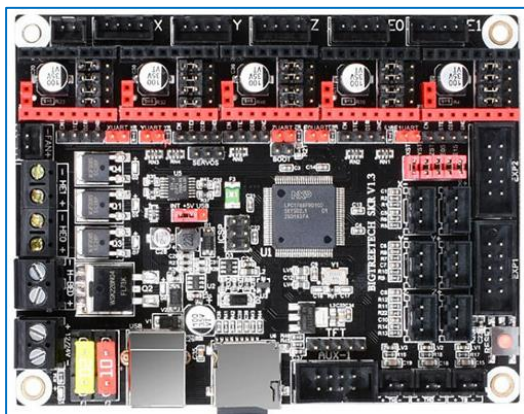


Рисунок 1.12. Електрона частина 3Д принтера

В тексті коду програмується різні параметри такі як: температура сопла, швидкість друку, переміщення друкуючої головки та багато іншого. Принтери в яких електрона частина основана на платі Arduino використовують проміжні плати типу RAMPS, які мають розєми для швидкого підключення.

Всі перераховані компоненти зібрані в єдиний компактний блок, який розпізнає G-код і готовий працювати в FDM-принтері. Більшість принтерів можуть підключатись до персонального компютера через кабель або безпроводне підключення. Також більшість оснащені панеллю керування, вони оснащені розємом до карти пам'яті або іншими розємами, вони дозволяють друкувати модель без підключення до персонального компютера.

1.4 Типи FDM принтерів:

Декартові 3Д принтери найбільш розповсюджений тип FDM принтерів рисунок 1.13, ці принтери базуються на декартовій системі координат з трьох осей: X, Y та Z. У даного типу принтера рух відбувається вздовж цих осей. [10-12].



Рисунок 1.13. Декартовий принтер

Конфігурація може відрізнятися в моделі або компанії виробника. Декартові принтери популярні за свою простоту використання та обслуговування, вони зарекомендували себе як серед ентузіастів так і професіоналів. За весь час існування було створено безліч інтернет-спільнот з великою кількістю інформації по використанню, обслуговуванню та модернізації цього типу принтерів.

Переваги: низька ціна, простота конструкції, висока розповсюдженість та доступність.

Недолік: великі габарити, порівняно з габаритами друкуючої деталі, повільна швидкість друку, порівняно з іншими типами, обмежена висота друку, порівняно з іншими типами.

Delta FDM принтер

Даний тип принтера все більше набуває популярність на ринку 3D принтерів.

Їхня конструкція передбачає круглу форму рисунок 1.14, де друкуюча головка фіксується до трьох трикутних точок. Ці три точки забезпечують рух друкуючої головки як по горизонталі так і по вертикалі визначаючи її положення. Цей тип принтера був розроблений з метою підвищення швидкості друку, крім того він може збільшувати масштабованості без шкоди для якості друку. Порівняно з декартовими принтерами дельта принтери мають вищу швидкість

друку, проте нижчу точність друку. Причина полягає в тому, що у типу дельта в процес друку вимагає одночасної роботи трьох двигунів, що призводить до помилок в позиціонуванні.



Рисунок 1.14. Delta FDM принтер

Переваги: невеликий розмір. Цей принтер високий, але в іншому не потребує простір, відсутність виступаючих частин, можливість друку високих моделей.

Недоліки: висока ціна, складна конструкція, малопоширене програмне забезпечення.

Полярний FDM принтер

Цей цікавий тип принтера був представлений компанією під назвою Polar. Він використовує полярну систему координат рисунок 1.15, це означає що позиціонування визначається за допомогою радіуса і кута повороту замість звичайних осей X Y Z.

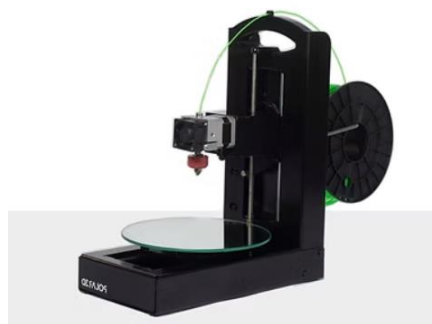


Рисунок 1.15. Полярний 3Д принтер

Круглий стіл обертається навколо своєї осі та рухається вздовж, а друкуюча головка піднімається та опускається. 3Д принтери з полярною системою координат мають змогу друкувати великі моделі,

використовуючи менше місця. Дані принтери підходять для друку деталей типу вал, проте прямокутні деталі він те може друкувати з тією ж точністю.

Переваги: відносно невелика вартість, низький рівень шуму в процесі друку.

Недоліки: низька якість друку, відносно повільна швидкість друку, низька популярність.

Scara FDM принтер

Цей тип принтера з унікальною кінематикою руху вперше був представлений разом із RepRap Morgan рисунок 1.16. [13] Його дизайн було створено через потребу дешевого друку дорогих компонентів FDM принтерів на той час. Принтер Morgan SCARA згодом отримав премію HumanityPlus Uplift Personal Manufacturing Prize у 2013 році.

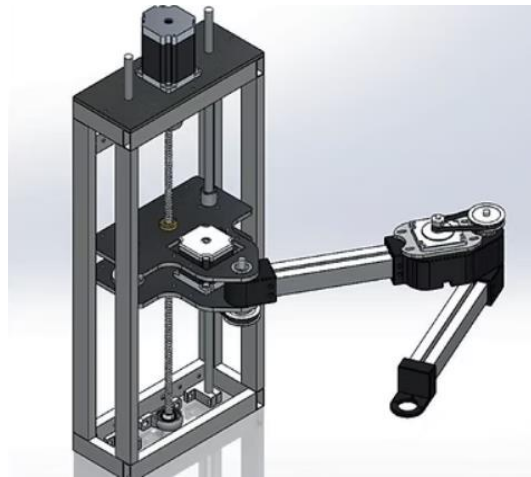


Рисунок 1.16. Scara 3Д принтер

Принтер Scara передбачає використання кількох керованих важелів для переміщення друкуючої головки по осях X та Y. Програмне забезпечення принтера розраховує взаємодію руху двигунів принтера для того щоб головка екструдера друкувала задану деталь. Цей механізм переміщується по вісі Z за допомогою різьбового з'єднання.

Переваги: висока швидкість друку, доволі висока точність, малі габарити принтера

Недоліки: висока складність конструкції, вимога роботи з не поширеним програмним забезпеченням, низька комерційна розповсюдженість.

COREXY FDM принтер

Це відносно новий тип 3Д-принтера розроблений у 2013 році. COREXY класифікують як декартовий 3Д-принтер стосовно системи координат, проте використовують складну систему руху рисунок 1.17.

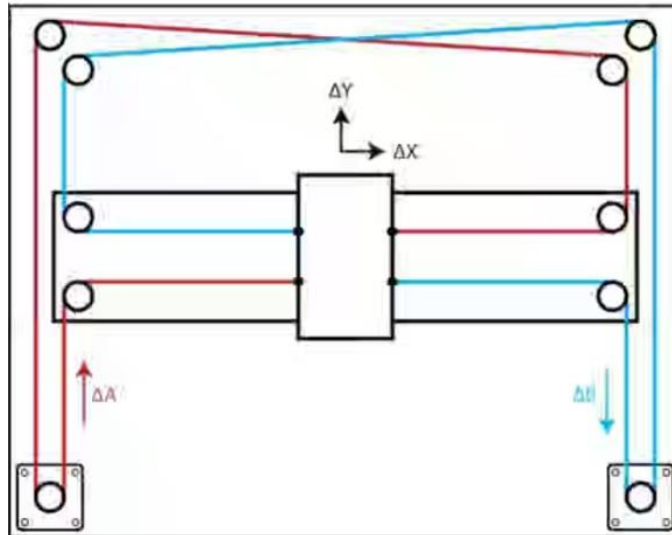


Рисунок 1.17. COREXY FDM принтер

Система переміщення друкуючої головки включає в себе систему ременів та шківів, що забезпечують рух по осям XY, та два крокових двигуна, які рухають по одному ременю для позиціювання друкуючої головки. Тим часом робочий стіл переміщається по вісі Z за допомогою різьбового з'єднання. Зазвичай такий тип принтера має раму у вигляді куба для кращої стабільності.

Принтер COREXY часто плутають зі схожим H-bot. Незважаючи на їхню схожість системи ременів у них відрізняються, система COREXY забезпечує менший крутний момент та менші вібрації. Незважаючи на їх відмінності вони використовують ремінь для переміщення друкуючої головки по двох осях одночасно.

Переваги: велика область друку, низький рівень вібрацій під час друку, відносно висока точність.

Недоліки: відносно велика вартість, потребує потужної плати контролера, енергоефективний.

Н-BOT FDM принтер

Даний тип принтерів представляє інший підхід до створення принтерів із кубічною рамою. Даний тип також використовує декартову систему координат, тому їх відносять до декартових принтерів рисунок 1.18.

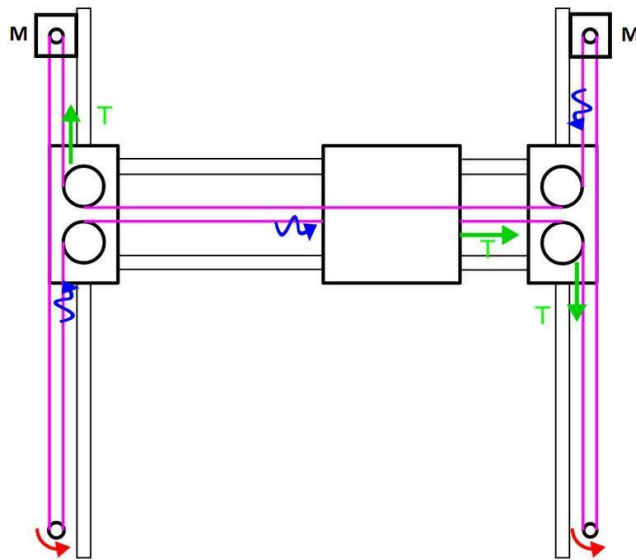


Рисунок 1.18. H-BOT FDM принтер

Принтер H-BOT, також як і COREXY, використовує ремінь для переміщенню друкуючої головки по осях X та Y, і має два крокові двигуни для її позиціонування. Друкуюча головка зазвичай рухається по напрямним по вісі X. Робочий стіл під час друку опускається поки друкується деталь. На відміну від COREXY даний вид можна назвати простішим по конструкції.

І хоча цей тип принтера плутають з COREXY, H-BOT використовує один ремінь для переміщення друкуючої головки на відміну від COREXY. Ці два принтери відрізняються від інших вертикальним переміщенням робочого стола.

Переваги: Велика область друку, Відносно низький рівень, вібрацій Висока стабільність друку.

Недоліки: відносно велика вартість, великі габарити принтера, низька популярність серед користувачів.

Стрічковий FDM принтер

Даний тип принтерів відрізняється від звичайних декартових принтерів заміною робочого столу на великий рухомий ремінь рисунок 1.19.



Рисунок 1.19. Стрічковий FDM принтер

Щодо механізму руху друкуючої головки, вона не відрізняється від звичайної декартової XY, окрім того що напрямна по вісі Y нахилена під кутом 45° . Таким чином деталь друкується в перерізі під кутом.

Така особливість дозволяє друкувати нескінченно довгу деталь або безперервно друкувати безліч невеликих деталей. Система координат стрічкових принтерів вважається нахиленою разом з напрямними, тому стрічка забезпечує рух по осях Y та Z.

Даний тип принтера має проблеми з підгрівом робочої поверхні через постійний рух. Тому він потребує більш точних налаштувань щоб уникнути дефекту деталі та покращити її фіксацію при друці. Тому такі принтери не використовують матеріал який потребує високих температур робочого столу.

Переваги: безперервний друк деталей, легке відєднання деталі від робочої поверхні.

Недоліки: висока вартість принтера, низька швидкість друку, при друку великих деталей потрібна підтримка, низька популярність та розповсюдженість.

FDM 3Д-ротопринтер

Це відносно новий тип FDM принтера, який використовує унікальний підхід до друку, використовуючи обертову вісь рисунок 1.20.[14] Даний тип принтера винайшов Jonas Duteloff студент університету мистецтва та дизайну Burg Giebichenstein у 2018 році. Хоч концепція набула популярності серед інтузіастів, сам винахідник створив лише одну модель ротопринтера. На даний момент купити ротопринтер як комерційний продукт неможливо, тому даний тип не набув популярності серед користувачів 3Д-принтерів.

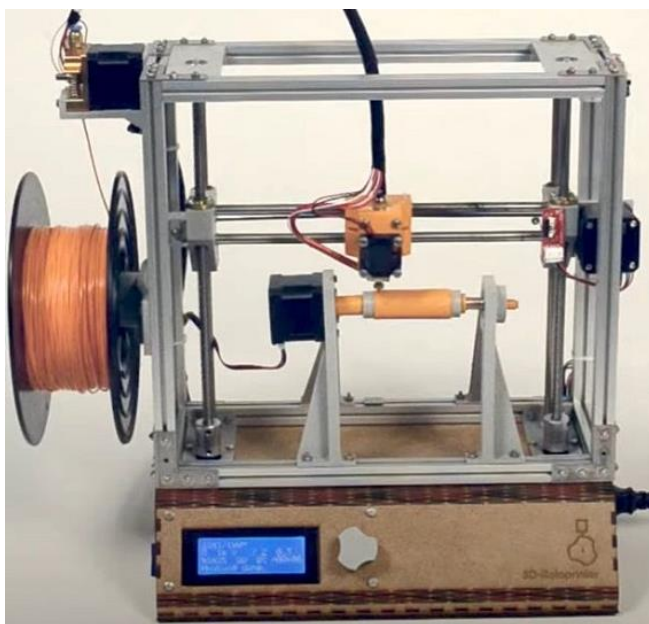


Рисунок 1.20. FDM 3Д-ротопринтер

Хоч ротопринтер працює унікально відносно інших типів, він також як і більшість інших використовує декартову систему координат. А стиль руху дуже схожий на токарний верстат, який обертає базовий об'єкт відносно інструмента для створення деталі. Ротопринтер також використовує обертовий рух, проте виконує адитивне а не субтрактивне виробництво. крім того ротопринтер використовує стандартний для FDM спосіб екструзії матеріалу.

Незважаючи на нетиповий рух принтера його загальна конструкція не відрізняється від стандартної рами FDM принтерів. Окрім робочої платформи, цей принтер подібний до інших декартових принтерів.

Друкуюча головка рухається по напрямним вздовж вісі X, а також по вісі Z, рух по вісі Y визначає обертовий елемент. Дана особливість дозволяє друкувати деталі типу тіл обертання, такі як різьбовий гвинт, з кращою якістю порівняно з традиційними типами принтерів з плоским робочим столом рисунок 1.21. Як видно по зображенню даний вид друку дозволяє уникнути підтримок та покращити якість форми деталі в порівнянні зі звичайним принтером.



Рисунок 1.21. Надруковані деталі

Електроніка ротопринтера мало чим відрізняється від звичайного принтера, так як використовує ті ж самі крокові двигуни, кінцеві обмежувачі, нагрівачі та термістори. Розробник принтера зазначає, що принтер використовує Arduino Mega з платою RAMPS 1.4 Shield, поширену плату для 3D-друку. Також розробник заявляє, що для друку ротопринтер використовує модифіковану версію програмного забезпечення Marlin.

Переваги: краща якість друку деталей типу тіла обетання, відносно висока швидкість друку, висока міцність рами за рахунок використання використання таких як у звичайних FDM принтерів.

Недоліки: неможливість друкувати прямокутні деталі, сильна залежність від адгезії першого шару, недоступність програмного забезпечення ротопринтера

РОЗДІЛ 2 КОНСТРУЮВАННЯ 3Д ПРИНТЕРА

2.1 Вибір 3Д принтера для виконання завдання

Використовуючи вище зазначену інформацію, найбільш раціональним 3Д принтер, для друку деталей типу тіл обертання, являється FDM принтер типу 3Д ротопринтер. І хоч даний тип принтера має доволі багато недоліків, його кінематика підходить для рішення даного завдання. І так як базова частина цього типу принтера ідентична до звичайного декартового 3Д принтера, В даній роботі представлена модернізація декартового 3Д принтера до типу ротопринтера на базі 3Д принтера Creality Ender 3 рисунок 2.1. Ця модернізація включає в себе заміну робочого столу на вал, що забезпечить кінематику ротопринтера. Для вирішення деяких недоліків оригінальної конструкції, запропоновано змінити передачу крутного моменту з прямого на ремінний, що дозволяє збільшити габарити деталі та змінювати передаточне число, що дозволяє друкувати деталі більшого діаметру з відносно високою точністю. Також запропоновано змінити кріплення валу, що дозволяє відкріплювати надруковану деталь без додаткового інструменту та без демонтажу деталей 3Д принтера.

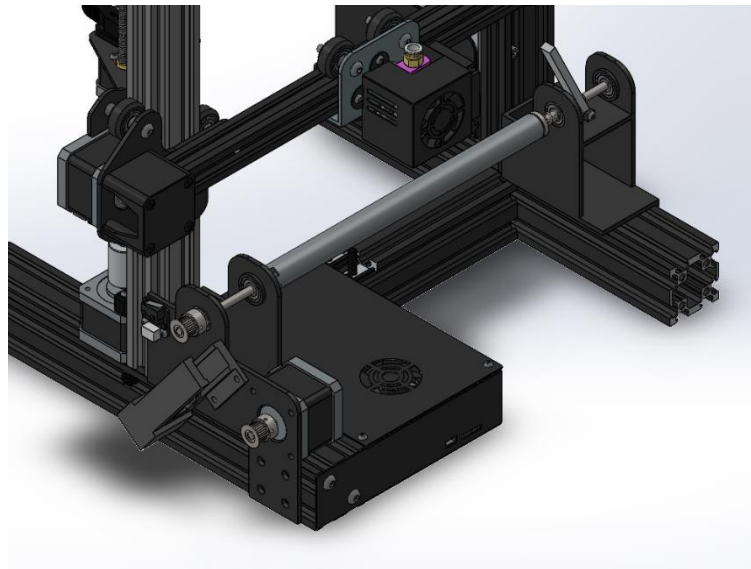


Рисунок 2.1. Модернізація декартового 3Д принтера

На відміну від полярного типу 3Д принтера ця модернізація основана на декартовому 3Д принтері, що дозволяє змінювати за потреби конфігурацію 3Д принтера. Це дозволяє друкувати як прямокутні деталі так і деталі типу тіл обертання, хоча такі можливості потребують переробки самого 3Д принтера, на відміну від полярного типу у даній модифікації така можливість присутня.

За рахунок пасової передачі з'являється можливість зміни передатне числа шляхом заміни одного маховика рисунок 2.2, збільшена точність дозволить друкувати деталі великого діаметру з прийнятною точністю, хоч із меншою швидкістю друку. У вільному продажі зубчаті колеса GT2 з кількістю зубців:16,18,20,24,28,30,32,36,40,48,60,80. Найчастіше використовують зубчате колесо на 20 зубців, в деяких варіантах внутрішній отвір може відрізнятися наприклад 8 міліметрів чи 10 міліметрів.

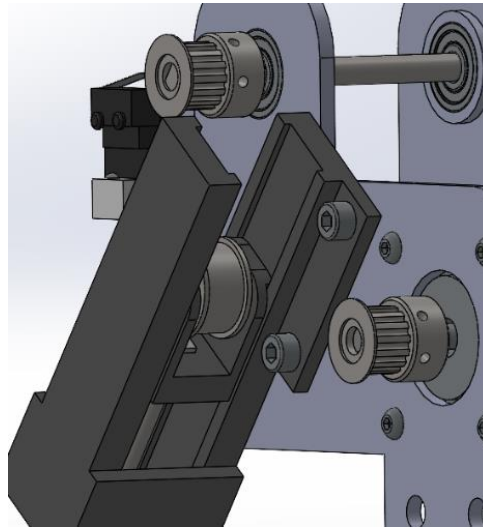


Рисунок 2.2. Пасова передача

2.2 Розрахунок довжини кроку валу 3Д ротопринтеру

Потрібно зауважити що мінімальний крок даного крокового двигуна 1.8°, це означає що на повний оберт валу потрібно 200 кроків привода при передаточному числі 1 : 1. Але при збільшенні діаметру валу лінійна довжина одного кроку збільшується, тому було проведено розрахунки по довжині кроку при різному діаметру та передаточному числу по формулі:

$$I = \frac{2\pi r z}{200Z} \quad (2.1)$$

Де I-лінійна довжина одного кроку привода

r-максимальний радіус деталі

z-кількість зубців у ведучого зубчатого колеса

Z-кількість зубців у веденого зубчатого колеса

Розрахунки при передаточному числі 1

$$\frac{2 \times 3,14 \times 10 \times 20}{200 \times 20} = 0,314 \text{ при діаметрі 20 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 15 \times 20}{200 \times 20} = 0,471 \text{ при діаметрі 30 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 20 \times 20}{200 \times 20} = 0,628 \text{ при діаметрі 40 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 25 \times 20}{200 \times 20} = 0,785 \text{ при діаметрі 50 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 30 \times 20}{200 \times 20} = 0,942 \text{ при діаметрі 60 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 35 \times 20}{200 \times 20} = 1,099 \text{ при діаметрі 70 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 40 \times 20}{200 \times 20} = 1,256 \text{ при діаметрі 80 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 45 \times 20}{200 \times 20} = 1,413 \text{ при діаметрі 90 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 50 \times 20}{200 \times 20} = 1,57 \text{ при діаметрі 100 міліметрів}$$

Розрахунки при передаточному числі 0.5

$$\frac{2 \times 3,14 \times 10 \times 20}{200 \times 40} = 0,157 \text{ при діаметрі 20 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 15 \times 20}{200 \times 40} = 0,2355 \text{ при діаметрі 30 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 20 \times 20}{200 \times 40} = 0,314 \text{ при діаметрі 40 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 25 \times 20}{200 \times 40} = 0,3925 \text{ при діаметрі 50 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 30 \times 20}{200 \times 40} = 0,417 \text{ при діаметрі 60 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 35 \times 20}{200 \times 40} = 0,5495 \text{ при діаметрі 70 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 40 \times 20}{200 \times 40} = 0,628 \text{ при діаметрі 80 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 45 \times 20}{200 \times 40} = 0,7065 \text{ при діаметрі 90 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 50 \times 20}{200 \times 40} = 0,785 \text{ при діаметрі 100 міліметрів}$$

Розрахунок при передаточному числу 0.25

$$\frac{2 \times 3,14 \times 10 \times 20}{200 \times 80} = 0,0785 \text{ при діаметрі 20 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 15 \times 20}{200 \times 80} = 0,11775 \text{ при діаметрі 30 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 20 \times 20}{200 \times 80} = 0,157 \text{ при діаметрі 40 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 25 \times 20}{200 \times 80} = 0,19625 \text{ при діаметрі 50 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 30 \times 20}{200 \times 80} = 0,2355 \text{ при діаметрі 60 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 35 \times 20}{200 \times 80} = 0,27475 \text{ при діаметрі 70 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 40 \times 20}{200 \times 80} = 0,314 \text{ при діаметрі 80 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 45 \times 20}{200 \times 80} = 0,35325 \text{ при діаметрі 90 міліметрів}$$

$$\frac{2 \times 3,14 \times 50 \times 20}{200 \times 80} = 0,3925 \text{ при діаметрі 100 міліметрів}$$

передатне число	Діаметр деталі макс.	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1		0,314	0,471	0,628	0,785	0,942	1,099	1,256	1,413	1,57
0,8		0,2512	0,3768	0,5024	0,628	0,7536	0,8792	1,0048	1,1304	1,256
0,66		0,21038	0,31557	0,42076	0,52595	0,63114	0,73633	0,84152	0,94671	1,0519
0,5		0,157	0,2355	0,314	0,3925	0,471	0,5495	0,628	0,7065	0,785
0,33		0,10362	0,15543	0,20724	0,25905	0,31086	0,36267	0,41448	0,46629	0,5181
0,25		0,0785	0,11775	0,157	0,19625	0,2355	0,27475	0,314	0,35325	0,3925

З наведеної таблиці можна побачити, що навіть на малих діаметрах при прямій передачі оберту лінійна довжина кроку доволі велика. З цього можна зробити висновок що більш раціональним вибором веденого зубчастого колеса на 40 зубців, а ведучого 20 зубців. Тому розробка непрямої передачі оберту обгрунтована зважаючи на точність.

2.3 Розрахунок мінімальної Довжини пасу

Також важливо розрахувати мінімальну довжину пасу, не враховуючи натяжний ролик, за формулою [15,с 26]

$$l = 2 \times a + \left[\frac{\pi \times (d_1 + d_2)}{2} \right] + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \times a} \quad (2.2)$$

Де l -довжина пасу

a -міжосьова відстань

d_1 -діаметр ведучого зубчастого колеса

d_2 -діаметр веденого зубчастого колеса

$$2 \times 73 + \left[\frac{\pi \times (25 + 15)}{2} \right] + \frac{(15 - 25)^2}{4 \times 73} = 146 + 62,8 + 0,34 \approx 209 \text{ мм} = 0,209 \text{ м}$$

З даного розрахунку можна зробити висновок що мінімальна довжина пасу дорівнює 209 міліметрів, тому раціонально вибрати пас довжиною 250 міліметрів.

2.4 Розрахунок моменту інерції

При виборі крокового двигуна потрібно враховувати його характеристики не тільки точності а й потужність. Момент інерції розраховується за формулою: [16,с 1]

$$J = \int r^2 dm = \frac{1}{2}mr^2 \quad (2.3)$$

Де J – Момент інерції

r – відстань від вісі до точки прикладення сил

m – маса

Так як m та r величини змінні, тобто друк відбувається з різним діаметром деталей та їх масою,потрібно розрахувати масу рухомих деталей та масу деталі яку друкують.

$$m = m_1 + m_2 \quad (2.4)$$

Де- m – загальна маса рухомих об'єктів

m1 – маса рухомих деталей ротопринтера

m2 – маса деталі яка друкується

За допомогою програми було визначено об'єм рухомих деталей 3Д ротопринтера з 3Д моделі. По результату виходить що:

$$m_1 = \rho \times v \quad (2.5)$$

Де- m1- маса рухомих деталей ротопринтера

ρ – густина матеріалу

v – об'єм

$$\frac{7,9 \times 20}{1000} = 0,158 \text{ кілограм}$$

Так як максимальна маса деталі яку друкують залежить від її діаметру проведено розрахунок по максимальній заповненості на всю довжину валу на діаметрах 40, 60, 80, 100 міліметрів,за формулою:

$$m_2 = \rho \times v = \frac{\rho \times [r_1^2 - r_2^2] \times \pi \times l}{1000000} \quad (2,6)$$

Де – r_1 – радіус деталі яка друкується

r_2 – радіус валу

l – довжина деталі яка друкується

розрахунок маси деталі при діаметрі 40 міліметрів

$$\frac{1,38 \times [20^2 - 8^2] \times 3,14 \times 200}{1000000} = 0,291 \text{ кілограм}$$

розрахунок маси деталі при діаметрі 60 міліметрів

$$\frac{1,38 \times [30^2 - 8^2] \times 3,14 \times 200}{1000000} = 0,724 \text{ кілограм}$$

розрахунок маси деталі при діаметрі 80 міліметрів

$$\frac{1,38 \times [40^2 - 8^2] \times 3,14 \times 200}{1000000} = 1,331 \text{ кілограм}$$

розрахунок маси деталі при діаметрі 100 міліметрів

$$\frac{1,38 \times [50^2 - 8^2] \times 3,14 \times 200}{1000000} = 2,111 \text{ кілограм}$$

Отримані дані показують масу деталі яку можливо надрукувати при вказаному діаметрі. Потрібно зауважити що це теоретично можлива деталь яка представляє собою циліндричну фтулку із заповненням 100%. В реальній ситуації подібну деталь не будуть друкувати, тому в розрахунках буде використано масу деталі при діаметрі 60 міліметрів.

$$0,158 + 0,724 = 0,882 \text{ кілограм}$$

$$\frac{1}{2} 0,882 \times 0,03^2 = 0,3969 \times 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

У сервопривода creality 42-34 в характеристиках вказано номінальний крутний момент у 0,4 ньютон метр. Що при переводі буде приблизно 0,04 кілограм на метр квадратний. З вище зазначених розрахунків можна зробити висновки, що використання рідних комплектуючих, в даному випадку це кроковий двигун creality 42-34, виправдане.

2.5 Розрахунок довговічності підшипників

Довговічність підшипників визначають за формулою:[17,с 20]

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (2.7)$$

Де – L – номінальна довговічність, млн. обертів;

C - динамічна вантажність, Н;

P - еквівалентне динамічне навантаження, Н;

p - показник ступеня;

$$P = (VXF_r + YF_a)K_B K_T \quad (2.8)$$

Де - V – коефіцієнт обертання;

X – коефіцієнт радіального навантаження;

F_r – радіальне навантаження підшипника, Н;

Y – коефіцієнт осевого навантаження;

F_a – осеве навантаження підшипника, Н;

K_B - коефіцієнт безпеки;

K_T - температурний коефіцієнт;

$$(1 \times 1 \times 4 + 0) \times 1,5 = 6 \text{ Н}$$

$$\left(\frac{1110}{6}\right)^3 = 6331625 \text{ млн. обертів}$$

З заданого розрахунку випливає, що довговічність підшипників на високому рівні.

2.6 Розрахунок лінійного теплового розширення валу

При нагріві валу він збільшується від теплового розширення. Тому потрібно обрати матеріал валу на якому буде друкуватись деталь.

$$\Delta R = b \times R_0 \times \Delta T \quad (2.9)$$

Де - ΔR – зміна радіальної довжини;

b – коефіцієнт теплового розширення;

R_0 – початковий радіус;

ΔT – різниця температури;

Розрахунок радіального розширення алюмінієвого валу:

$$2,3 \times 10^{-5} \times 8 \times 180 = 0,033$$

Розрахунок радіального розширення латунного валу:

$$1,9 \times 10^{-5} \times 8 \times 180 = 0,027$$

Розрахунок радіального розширення сталюого валу:

$$1,2 \times 10^{-5} \times 8 \times 180 = 0,017$$

З даного розрахунку можна зробити висновок, що тип матеріалу не грає великої ролі.

2.7 Конструювання 3Д ротопринера

При конструюванні було запропоновано використовувати наявні компоненти 3Д принтера щоб забезпечити кращу сумісність електронних компонентів з кроковим двигуном, а також зменшити затрати. Дане рішення направлене зменшити складність конструкції модернізації та запобігти зміни електронних компонентів.

Сама модернізація складається з двох частин. вузла передачі оберту та вузла підтримки валу, які вмонтовуються в раму принтера, між якими встановлюється вал.

Вузол передачі оберту відповідає за передачу обертового руху на вал за допомогою сервопривода через пас. Дане рішення впроваджене на основі вище зазначених розрахунків по яким обрано передаточне число 0,5. Також вузол включає в себе натяжний ролик, який в свою чергу знаходиться у своєму корпусі, він забезпечує натяг пасу, що забезпечує точність оберту валу.

Вузол підтримки валу відповідає за кріплення валу, за допомогою підпружиненого центра рисунок 2.3, це забезпечує швидке і просте відкріплення валу без додаткового інструменту. за допомогою важіля центр відштовхують від валу що дає швидкий і простий доступ до деталі як в кінці друку так і при дефектів друку виявлених в процесі друку. Дані рішення були запровадженні з метою покращення як процесу друку так і поліпшення обслуговування принтера.

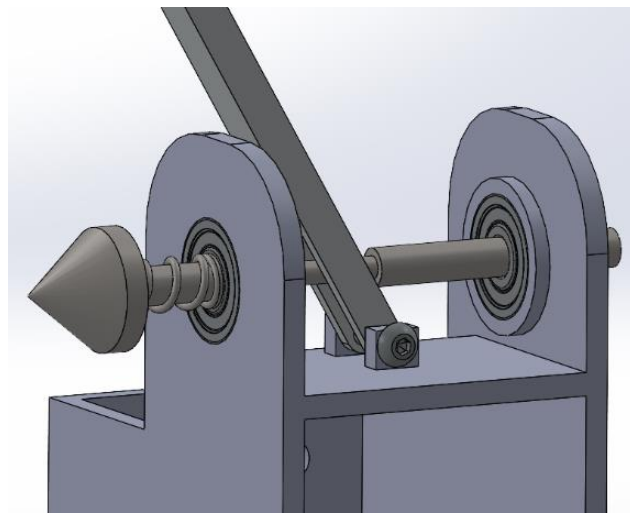


Рисунок 2.3. центр

Сам вал не потребує значних змін. Так як з однієї сторони вал притискає підпружинений центр, з іншої кріплення відбувається клиновим з'єднанням для передачі крутного моменту рисунок 2.4. Дане рішення дозволяє зменшити люфт при передачі оберту на вал. При таких рішеннях вал потребує у наявності двох пазів для з'єднання.

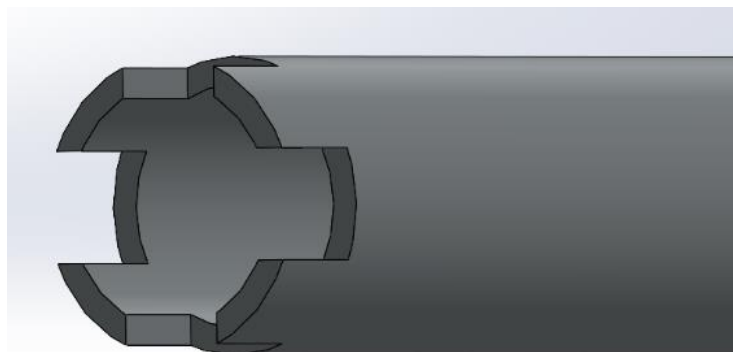


Рисунок 2.4. вал

Висновок

В даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти проведено розробку 3Д принтера для друку деталей тип тіл обертання. В процесі розробки було проведено:

Аналіз різних видів 3Д принтерів, що дало змогу взяти принцип роботи одного з них;

Розрахунки на доцільність використання пасової передачі для забезпечення оберту на вал;

Конструювання модернізації декартового 3Д принтера, що дає йому кінематику ротопринтера і змогу зміни передатного числа шляхом заміни веденого зубчастого колеса.

Модернізація складається з двох вузлів: вузла передачі оберту та вузла підтримки валу. Дані рішення дають змогу у швидкій заміні валу, а також застосування валів різного діаметру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 3D printing. : веб-сайт.: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
2. History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented? : від *Justin Haines*. : веб-сайт. : <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>
3. Stereolithography. : веб-сайт. : <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>
4. Selective laser sintering. : веб-сайт. : https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering
5. Fused filament fabrication. : веб-сайт. : https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication
6. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЛЯ 3D-ДРУКУ: ВІД ПЛАСТИКУ ДО МЕТАЛУ. : веб-сайт. : <https://easy3dprint.com.ua/uk/yakij-material-vikoristovuye-3d-printer/>
7. Види пластику для 3D принтера: який вибрати? : веб-сайт. : <https://lbl-corp.com/blog/vydy-plastyku-dlia-3d-pryntera/>
8. How to choose the correct hotend. : веб-сайт. : <https://filament2print.com/en/blog/how-to-choose-the-correct-hotend>
9. Типи екструдерів: переваги та недоліки. : веб-сайт. : <https://3dplast.biz/ua/a398993-tipy-ekstrudero-v-dostoinstva.html>
10. Different Types of FDM 3D Printers. : веб-сайт. : <https://www.locanam.com/types-of-fdm-3d-printers?srltid>
11. 3D Printers with Different Kinematics: Comparison, Advantages and Disadvantages. : веб-сайт. : <https://top3dshop.com/blog/3d-printer-kinematics-explained>
12. The Types of FDM 3D Printers: Cartesian, CoreXY & More. : від Jackson O'Connell. : веб-сайт. : <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>
13. SCARA 3D Printer: ALL You Need to Know. : від Jackson O'Connell.: веб-сайт. : <https://all3dp.com/2/scara-3d-printer-guide/>
14. 3D-Rotoprinter: What Is It? : від Jackson O'Connell. : веб-сайт. : <https://all3dp.com/2/rotoprinter-rotary-3d-printer-simply-explained/>
15. Розрвхунок пасової передачі : веб-сайт. : <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/055bf4f3-e431-4452-b8cd-1886df687c46/content>
16. ДИНАМІКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ. Момент інерції : веб-сайт. : https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/74515/mod_resource/content/1/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%20%D0%A4%D0%86%D0%9A%D0%A2.pdf

17. РОЗРАХУНОК ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ : веб-сайт. :

<https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/b6b181c3-1ace-4c6c-92bb-417fdbb4d6b4/content>