

ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ КОНКУРС СТУДЕНТСЬКИХ НАУКОВИХ РОБІТ

Галузь: Радіотехніка

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

На тему:
«Розробка апаратно програмної платформи 3D-принтер»

Шифр: «ОВJ084»

АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – розробка апаратно програмної платформи 3D-принтер, процес оптимізації якісних показників 3D-друку.

Метою роботи є розробка та оптимізація механічних частин 3D-принтера, оптимізація 3D-друку шляхом визначення найкращих значень вихідних параметрів якості друку при цілеспрямованій зміні внутрішніх параметрів 3D-принтера.

Проаналізовано існуючі проблеми і дефекти 3D-друку, а також методи поліпшення якості поверхні роздрукованих деталей. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких формалізована залежність шорсткості поверхні деталі від параметрів 3D-друку в вигляді математичної моделі.

Отримана математична модель може застосовуватися для вирішення подальших оптимізаційних задач щодо поліпшення якості контролю дефектів діелектричних матеріалів.

ВСТУП

З початку 21 століття поняття «3D» міцно увійшло в наше повсякденне життя. В першу чергу, ми пов'язуємо його з кіно, фотографією чи мультиплікацією. Навряд чи знайдеться людина, яка хоча б раз в житті не чула про 3D-друку.

Хоч і ведеться багато розмов про 3D друку останні кілька років, технологія існує вже більше 30 років. У 1984 році компанія Charles Hull розробила технологію тривимірної печатки для відтворення об'єктів з використанням цифрових даних, а двома роками пізніше дала назву і запатентувала техніку стереолітографії.

Тоді ж ця компанія розробила і створила перший промисловий 3D принтер. Згодом естафету прийняла компанія 3D Systems, розробила в 1988 році модель принтера для 3D друку в домашніх умовах SLA - 250.

У тому ж році компанією Scott Grump було винайдено моделювання осадженням плавного матеріалу. Після декількох років відносного затишшя, в 1991 році компанія Helisys розробляє і випускає на ринок технологію для виробництва багат шарових об'єктів, а через рік, в 1992, в компанії DTM виходить в світ перша система селективного лазерного спаювання.

У 1993 році засновується компанія Solidscape, яка і приступає вже до серійного виробництва принтерів на струйній основі, які здатні виробляти невеликі деталі з ідеальною поверхнею, причому при відносно невеликих витратах.

У 2005 році з'явився перший 3D принтер, здатний друкувати в кольорі, це дітище компанії Z Corp під назвою Spectrum Z510, а буквально через два роки з'явився перший принтер, здатний відтворювати 50 % власних комплектуючих.

3D друк – це побудова реального об'єкта по створеному на комп'ютері зразку 3D моделі. Потім цифрова тривимірна модель зберігається в форматі

STL-файлу, після чого 3D принтер, на який виводиться файл для друку, формують реальний виріб.

Сам процес друку – це ряд повторюваних циклів, пов'язаних з створенням тривимірних моделей, нанесенням на робочий стіл принтера шару витратних матеріалів, переміщенням робочого столу вниз на рівень готового шару і видаленням з поверхні столу відходів.

Цикли безперервно слідують один за іншим: на перший шар матеріалу наноситься наступний, стіл знову опускається і так до тих пір, поки на робочому столі не виявиться готовий виріб.

Застосування тривимірного друку – це серйозна альтернатива традиційним методам прототипування і малосерійного виробництва. Тривимірний, або 3d-принтер, на відміну від звичайного, який виводить двомірні малюнки, фотографії на папір, дає можливість виводити об'ємну інформацію, тобто створювати тривимірні фізичні об'єкти.

На даний момент обладнання даного класу може працювати з фотополімерними смолами, різними видами пластикової нитки, керамічним порошком і металоглиною. В основі роботи 3d принтера лежить принцип поетапного створення твердої моделі. Перевагами 3D друку в порівнянні з ручними способами побудови моделей є більша швидкість, легкість і нижче вартість.

3D технології дають можливість повністю замінити ручну працю і тим самим спростивши процес розробки і створення моделі – програмне забезпечення показує модель у всіх ракурсах на екрані, і дозволяє усунути виявлені недоліки не в процесі створення, а при розробці, що прискорює створення моделі. Маленька ймовірність здійснення помилок на відміну від ручної роботи. Оформлення записки згідно дсту 3008.

1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ 3D ДРУКУ

1.1 Поняття 3D-друку

3D-друк – це процес виготовлення тривимірних твердих об'єктів з цифрового файлу.

Створення 3D-друкованого об'єкта досягається за допомогою адитивних процесів. В адитивному процесі об'єкт створюється шляхом укладання послідовних шарів матеріалу, доки об'єкт не буде створений. Кожен із цих шарів можна розглядати як тонко нарізаний поперечний переріз об'єкта.

3D друк – це протилежність субтрактивному виробництву, яке вирізає / видовбує шматок металу або пластмаси, наприклад, фрезерним верстатом.

3D-друк дозволяє виготовляти складні фігури з використанням менше матеріалів, ніж традиційні методи виготовлення.

1.2 Програмне забезпечення 3D

Доступно багато різних програмних засобів. Від промислового класу до відкритого коду. Часто рекомендується початківцям починати з Tinkercad. Tinkercad безкоштовний і працює у браузері, користувачу не потрібно встановлювати його на комп'ютері. Tinkercad пропонує уроки для початківців та має вбудовану функцію для експорту моделі у вигляді файлу для друку, наприклад .STL або .OBJ.

Коли файл для друку обрано, наступним кроком є підготовка його до 3D-принтера. Це називається нарізанням.

1.3 Нарізка з файлу для друку на 3D-принтер

Нарізка в основному означає розрізання 3D-моделі на сотні або тисячі шарів і виконується за допомогою програмного забезпечення для нарізки наприклад CURA-слайсер.

Коли файл нарізаний, він готовий до друку. Подача файлу на принтер може здійснюватися через USB, SD або Wi-Fi.

1.4 Розвиток індустрії 3D друку

Впровадження 3D-друку досягло критичної маси, оскільки ті, хто ще не інтегрував технологію в своє виробництво, зараз є частиною постійно зменшуваної меншості. Там, де 3D-друк був придатний лише для створення прототипів та одноразового виготовлення на ранніх стадіях, зараз швидко трансформується у основну виробничу технологію.

Більша частина поточного попиту на 3D-друк має промисловий характер. Acumen Research and Consulting прогнозує, що світовий ринок 3D-друку досягне 41 млрд доларів до 2026 року.

Розвиваючись, технології 3D-друку судилося перетворити майже кожен велику галузь та змінити спосіб життя, роботи та ігор у майбутньому.

1.5 Приклади використання 3D-друку

3D-друк охоплює багато видів технологій та матеріалів, оскільки 3D-друк використовується майже у всіх галузях, про які можна подумати. Важливо розглядати це як скупчення різноманітних галузей з незліченною кількістю різних застосувань.

Кілька прикладів:

- споживчі товари (окуляри, взуття, дизайн, меблі);
- промислові вироби (виробничі інструменти, дослідні зразки, функціональні деталі кінцевого використання);
- стоматологічна продукція;
- протезування;
- архітектурні макети та макети виробів;
- реконструкція скам'янілостей;
- тиражування давніх артефактів;
- реконструкція доказів при судово-медичній експертизі;
- кінореквізит.

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ 3D ДРУКУ, ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ 3D ПРИНТЕРА

2.1 Типи технологій та процесів 3D-друку

Американське товариство випробувань та матеріалів (ASTM) розробило набір стандартів, які класифікують процеси виробництва добавок на 7 категорій:

а) фотополімеризація ПДВ;

1) стереолітографія (SLA);

2) цифрова обробка світла (DLP);

3) безперервне виробництво рідкого інтерфейсу (CLIP);

б) струміння матеріалу;

в) в'язучий струмінь;

г) екструзія матеріалу;

1) моделювання плавленого осадження (FDM) ;

2) виготовлення плавлених ниток (FFF) ;

г) порошкове ліжко Fusion;

1) multi Jet Fusion (MJF) ;

2) вибіркоче лазерне спікання (SLS) ;

3) пряме лазерне спікання металів (DMLS);

д) ламінування листів;

е) спрямоване осадження енергії.

FDM працює з використанням пластикової нитки, яка розмотується з катушки і подається до екструзійної насадки, яка може включати та вимикати потік. Насадка нагрівається для розплавлення матеріалу і може переміщатися як в горизонтальному, так і у вертикальному напрямках за допомогою механізму з цифровим управлінням. Об'єкт виготовляється екструзією розплавленого

матеріалу з утворенням шарів, оскільки матеріал твердне відразу після видавлювання з сопла.

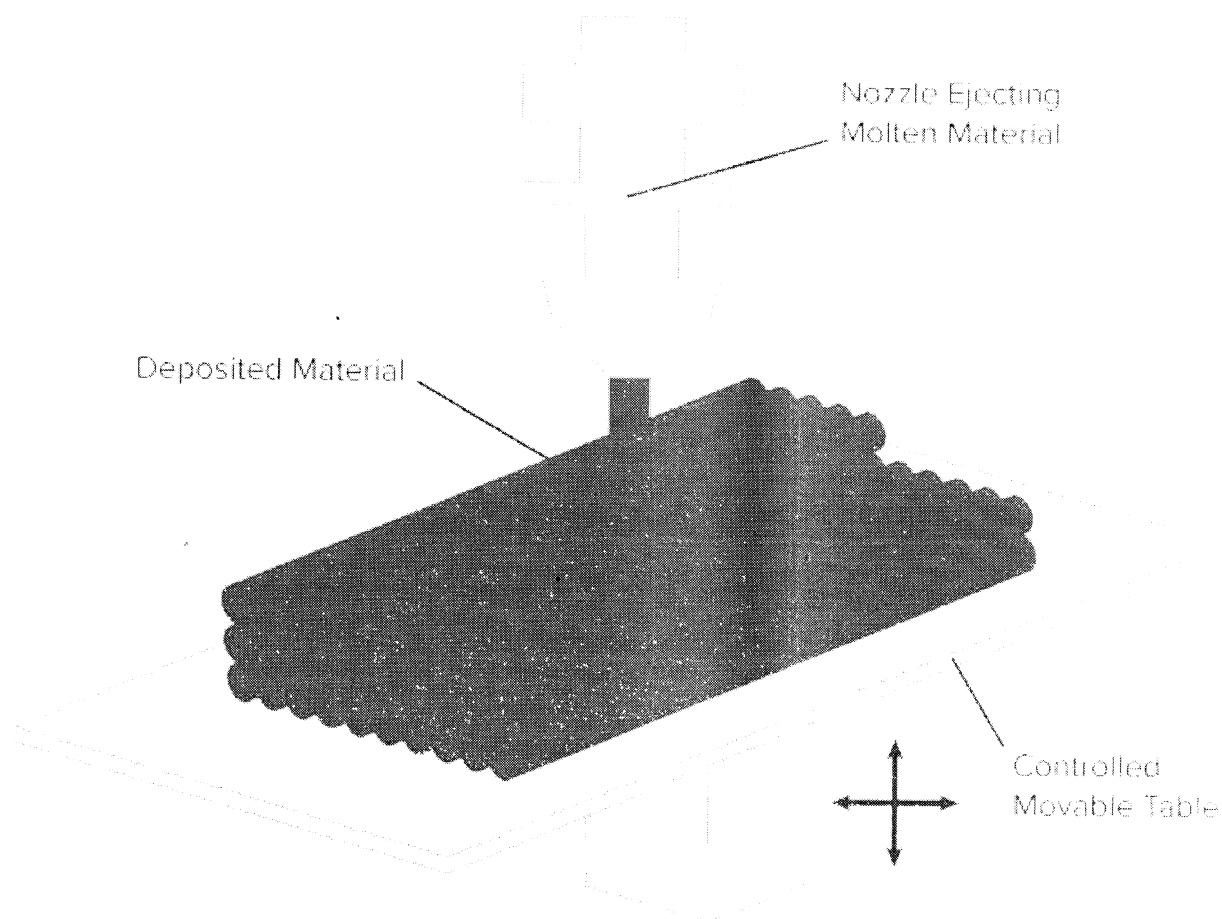


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення процесу «Моделювання плавленого осадження (FDM)»

FDM був винайдений Скоттом Крапом наприкінці 80-х. Після патентування цієї технології він заснував компанію Stratasys в 1988 році. Термін «Моделювання плавленого осадження» та його скорочення до FDM є торговою маркою Stratasys Inc.

Виготовлення плавлених ниток (FFF). Точно еквівалентний термін «Виготовлення павленої нитки» (FFF) було придумано членами проекту RepRap, щоб дати фразу, яка була б юридично необмеженою у використанні.

2.2 Кінематика 3D-принтерів

Існують різні технології 3D-друку: цифрова обробка світла (DLP), стереолітографія (SLA), селективне лазерне спікання (SLS), селективне теплове спікання (SHS) та інші. У цьому розділі буде розглянуто технологію FDM, FFF, її переваги та недоліки, а також 3D-принтери, які її використовують.

Принтери FFF (виготовлення плавлених ниток) також відомі як принтери FDM (моделювання павленого осадження). Ці пристрої здатні створювати відбігки, накладаючи розплавлений пластик на основу пошарово. Принтери FFF використовуються як у комерційних цілях, так і вдома.

Кожен 3D-принтер використовує власну кінематику, яка контролює рух механічних деталей: друкарських верстатів та екструдерів.

Декартові принтери - найпоширеніші принтери FFF / FDM на ринку. Технологія використовує три осі - X, Y, Z (декартову систему координат) для визначення рухів механічних деталей: друкуюча головка і ложе (стіл) рухаються відповідно до координат.

Існує обмежена кількість можливих способів переміщення платформ та друкувальних голів:

- платформа рухається горизонтально вздовж однієї з осей - X або Y, екструдер рухається вертикально вздовж іншої осі;

- платформа рухається горизонтально (Z), екструдер рухається двовимірно вздовж осей XY;

- платформа рухається вертикально, а вздовж однієї з горизонтальних осей екструдер рухається горизонтально;

- платформа не рухається, екструдер рухається тривимірно;
- платформа рухається вздовж осей XY , екструдер рухається вертикально.

Другий - найпоширеніший - платформа рухається вертикально, а екструдер рухається в площині XY.

Переваги декартової кінематики. Декартові принтери дають одні з найбільш стабільних результатів серед пристроїв FDM. Витратні матеріали для FDM дешеві та доступні в різних кольорах та матеріалах. Декартові 3D-принтери часто комерційно використовуються для друку сувенірів, прикрас та інших речей на замовлення.

Декартові 3D-принтери популярні та добре зарекомендували себе серед любителів та професіоналів. Існує багато Інтернет-спільнот з великою кількістю інформації про їх дизайн, як вони працюють і як їх побудувати.

Моделі, надруковані з використанням декартової системи координат, можуть бути розібрані та використані для побудови більших, і це дозволяє робити об'єкти будь-якого заданого розміру, не обмежуючись об'ємом збірки принтера.

Декартова кінематика CoreXY (рис. 2.1) та H-Bot (2.3). Ця кінематика часто використовується в комерційних цілях. У них нестандартний рух екструдера - він рухається вертикально.

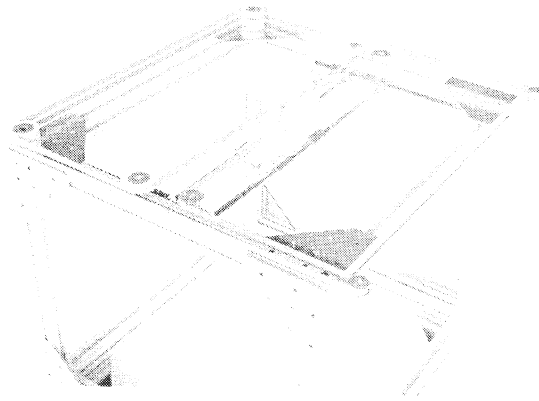


Рисунок 1.1 – 3D-принтер з кінематикою CoreXY

CoreXY має два двигуни, які керують двома ременями, що рухають екструдер у площині XY (рис. 2.2).

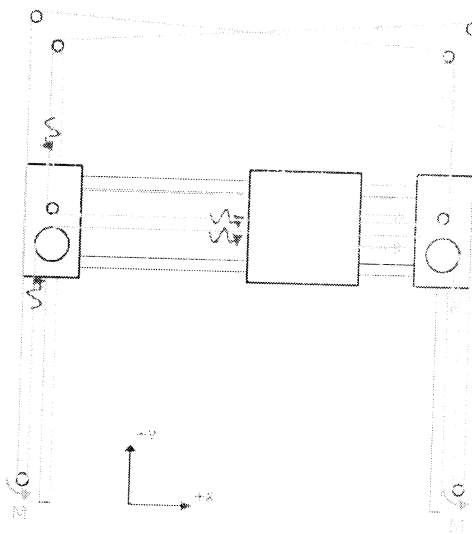


Рисунок 1.2 – Розміщення ременів на 3D-принтері з кінематикою CoreXY

Кінематика H-Vot схожа, але використовує іншу систему ремінного приводу (рис. 2.3). Існує лише один ремінь, прикріплений до рами, що має H-подібну форму, звідси і назва кінематики.

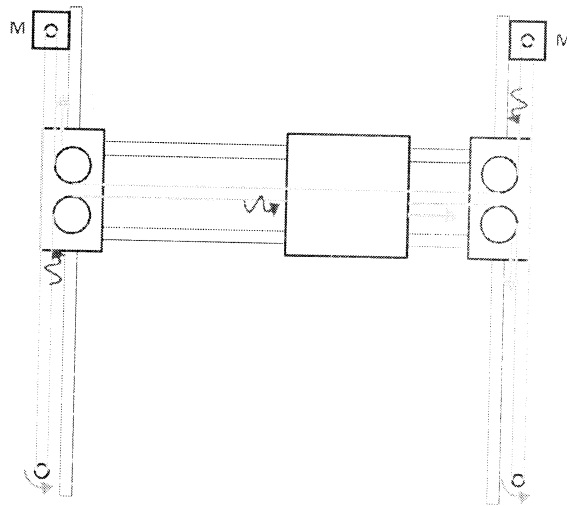


Рисунок 1.3 – Розміщення ременів на 3D-принтері з кінематикою H-Bot

Коли обидва двигуни обертаються в одному напрямку, екструдер рухається вздовж осі X, коли вони обертаються в різні боки, екструдер рухається вздовж осі Y. Коли один з двигунів не рухається, екструдер рухається по діагоналі.

2.3 Огляд плат для 3D принтерів

Плата контролера відповідає за всі електронні функції 3D-принтера. Плати контролерів обробляють всю логіку 3D-друку, наприклад, аналіз файлів G-коду, регулювання температури та, що найголовніше, контроль руху. Останнє особливо важливо, якщо ми говоримо про FDM та крокові двигуни.

Незалежно від того, чи планується модернізація або просто заміна зламаної деталі, вибір правильної плати контролера для принтера - не найпростіша задача.

За останні роки плати контролерів не тільки стали потужнішими, але й більш різноманітними за своїм функціоналом, пропонуючи нові функції, які рухають індустрію 3D-друку вперед.

Вибір плати ґрунтується насамперед на двох міркуваннях – продуктивність та надійність.

SKR 1.4 Turbo (рис. 2.4) - старший брат Mini E3. Як і у більшості плат у цьому списку, він пропонує 32-розрядний мікропроцесор 120 МГц, у цьому випадку LPC1769. Нетурбова версія цієї плати практично однакова з точки зору апаратного забезпечення, але замість неї використовується чіп LPC1768, який працює на частоті 100 МГц, що майже не сказується на роботі.

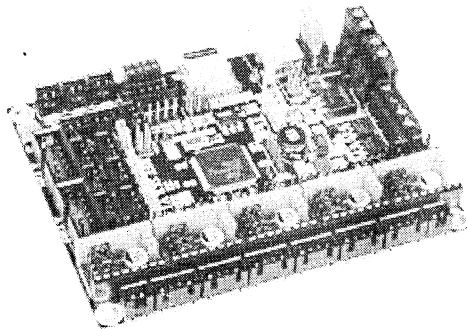


Рисунок 1.4 – Плата керування SKR 1.4 Turbo

Ця плата пропонує повну підтримку UART для драйверів Trinamic (не входить в комплект) і подвійну екструзію відразу. Wi-Fi також підтримується, але вимагає модуля розширення, який можна придбати окремо. Нарешті, SKR 1.4 працює на Marlin 2.0, забезпечуючи всі нові вдосконалені функції, пропоновані прошивкою з відкритим кодом. Як і у Mini, він має одну з найпривабливіших цін на ринку високоякісних 32-розрядних плат.

Основні характеристики SKR 1.4:

- мікроконтролер: LPC1769 (LPC1768);
- підключення: USB, карта micro SD;
- вхідна потужність: від 12 до 24 В;
- вбудовані драйвери: Ні;
- ціна: ~ 36 доларів.

3. РОЗРОБКА МЕХАНІЧНИХ ВУЗЛІВ

3.1 Розробка механічних вузлів 3D принтеру

Виходячі з аналізу, проведеного в розділі 2.2 було прийнято рішення збирати 3D-принтер з кінематикою H-bot.

Основний каркас 3D принтеру (рис. 3.1) було вирішено виконати з алюмінієвого конструкційного профелю 30x30, його конструкція дозволяє витримувати різнонаправлені навантаження без значної геометричної деформації, а також для нього є готові уніфіковані кріплення, які дозволяють виконати надійну жорстку конструкцію заданої форми.

З причини створення своєї унікальної збірки стала задача створення унікальних з'єднювальних вузлів, таких, як:

- каретка екструдера;
- кріплення направляючої екструдера;
- натягувач ременя;
- зворотній ролик;
- тримач столу (вал);
- тримач столу (гвинт);
- кріплення шагового двигуна 90° ;
- кріплення шагового двигуна 180° ;
- обдув зони друку.

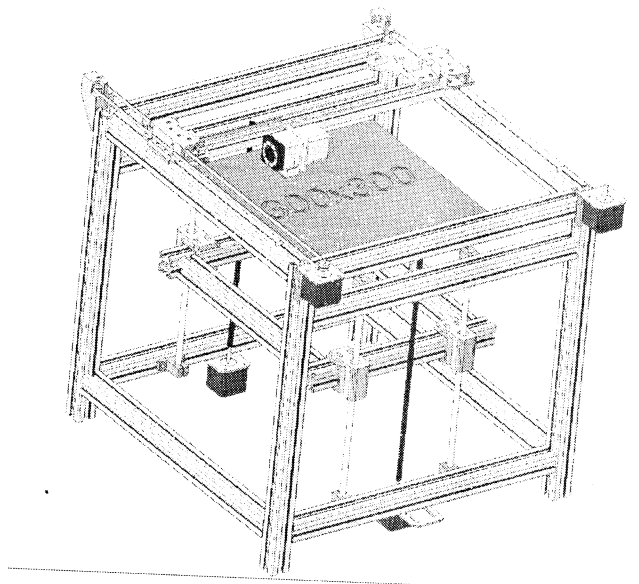


Рисунок 3.1 – 3D-принтер, що розроблюється. Рання версія збірки принтера, виконана в програмі Компас 3D

Кріплення шагового двигуна 90° (рис. 3.2) та кріплення шагового двигуна 180° виготовляються в заводських умовах з металу і стандартні моделі підходять для використання, інші елементи було вирішено виконати за допомогою технології 3D друку, завдяки точності і універсальності цієї технології, яка дозволяє швидко і дешево виготовити задану деталь у одиничному виробництві.

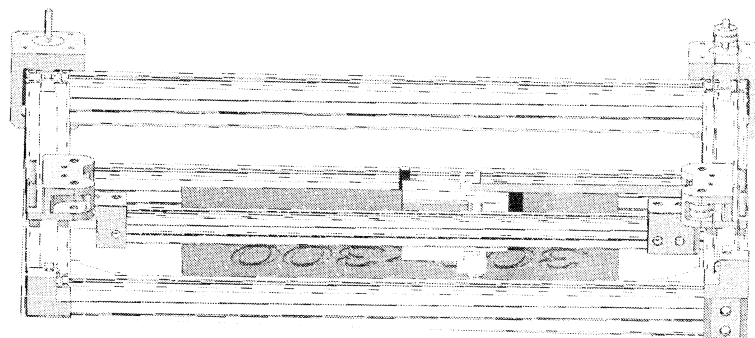


Рисунок 3.2 – Встановлення шагових двигунів на кріплення 90°

На рисунку 3.3 наведено першу версію кріплення направляючої екструдера, яка була виготовлена. З недоліків було помічено складність під час друку із за наявності нависаючих елементів великої площі, ергономічна і експлуатаційна недосконалість моделі.

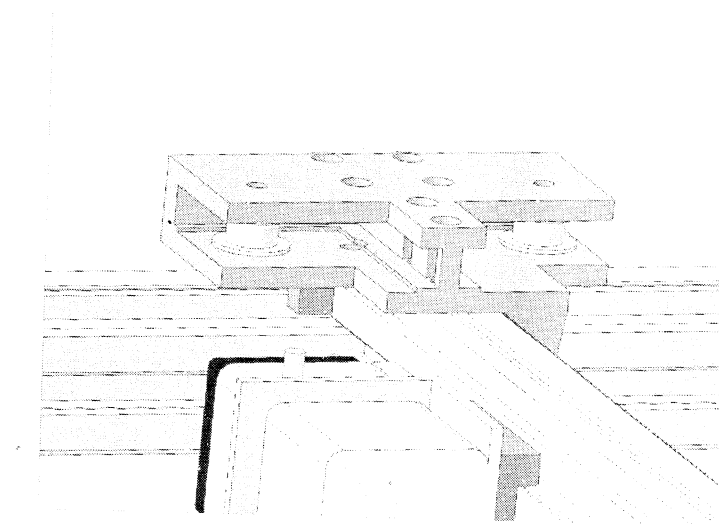


Рисунок 3.3 – Перша версія кріплення направляючої екструдера

На рисунку 3.4 зображено фінальну версію кріплення направляючої екструдера. Був максимально збільшений супротив на згибання направляючої екструдера, збільшена міцність елементів гасіння вібрації ремня.

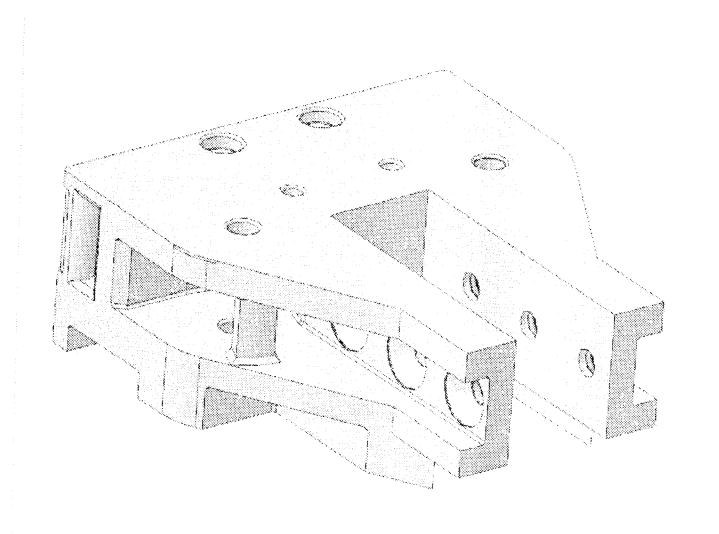


Рисунок 3.4 – Фінальна версія кріплення направляючої екструдера

На рисунках (3.5) зображено модель 3D принтеру з новими конструкційними елементами.

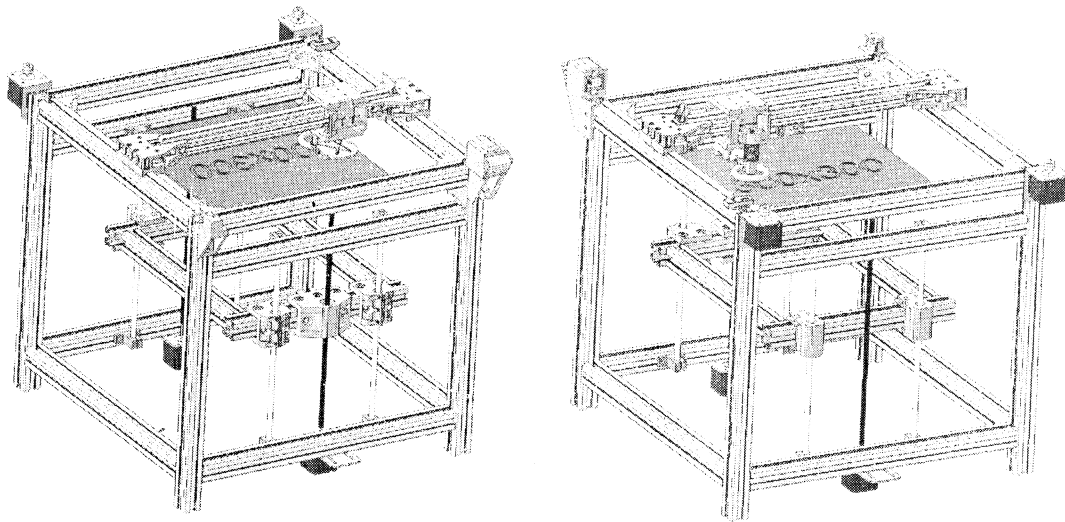


Рисунок 3.5 – Модель 3D принтеру з вдосконаленими елементами

4. ПЕРЕВІРКА ЯКОСТІ ДРУКУ ПРИНТЕРУ

4.1 Область застосування

Аналіз точності 3D принтера на основі ДСТУ ISO 230-2 2016 Визначення точності і повторюваності позиціонування осей верстатів з числовим програмним управлінням.

Даний пункт встановлює норми і правила випробувань і оцінки точності і повторюваності позиціонування осей 3d принтера за допомогою безпосереднього роздільного вимірювання окремих осей. Методи випробувань однаково застосовують до лінійним осях і осях обертання. Для одночасної перевірки декількох осей дані методи не можуть застосовуватися. Дані перевірки можуть бути використані для типових, приймальних, порівняльних випробувань, періодичних підтверджень точності, корекції точності 3d принтера і т.д. Методика випробувань включає в себе повторні вимірювання в кожній позиції. Визначають і розраховують відповідні параметри випробування. Оцінка їх похибок проводиться відповідно до ISO / TR 230-9.

Виготовлення деталей, з подальшим контролем геометричних розмірів, для визначення діапазону точності виробів, що виготовляються, було проведено на 3d принтері, що розробляється і гтової моделі Tevo tarantula.

4.2 Створення 3D моделі

Модель з пункту (4.1) змодельована на рисунку 4.1 створювалася в програмі КОМПАС-3D, за ескізом і розмірами (4.2 Точність зразка-виробу).

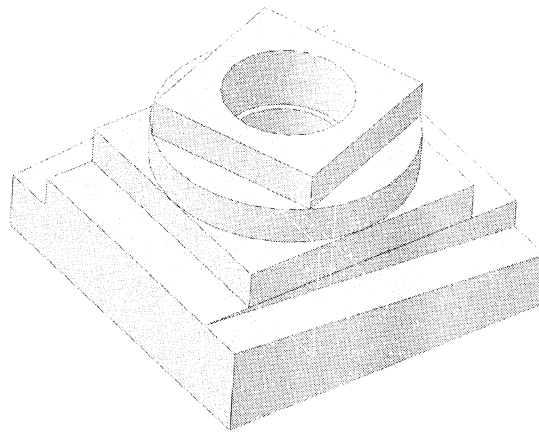


Рисунок 4.1 – Модель зразка-виробу в програмі компас-3d

Змодельована модель з пункту (4.1), що наведена на рисунку 4.1, створювалася в програмі КОМПАС-3D, за кресленням і розмірам, зазначеним у пункті (4.1 Точність міжосьових відстаней отворів зразка-виробу, відхилення від площинності.). Аналогічний процес і для іншої моделі з пункту (рис. 4.2).

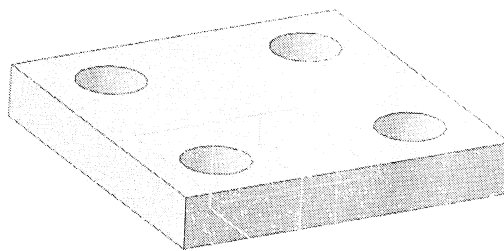


Рисунок 4.2 – Модель контрольного зразка-виробу в програмі компас-3D

4.3 Відхилення розмірів основи виробу

Схема вимірювання представлені на рисунку 4.3. Таблиця 4.2 містить результати вимірювань.

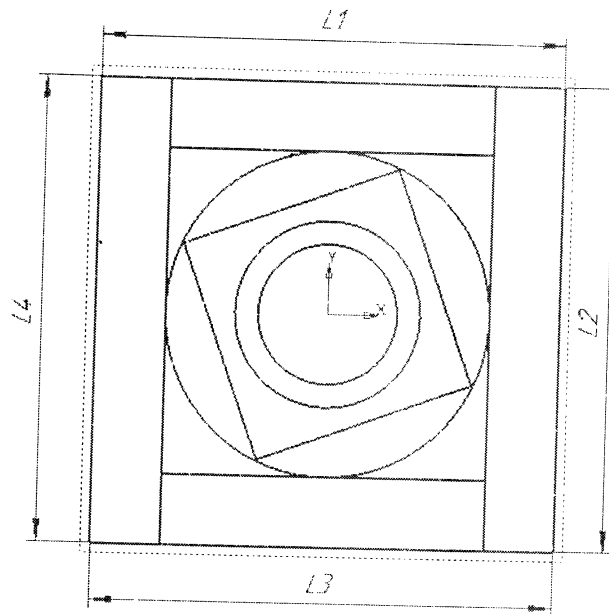


Рисунок 4.3 – Відхилення розмірів підстави зразка виробу

Таблиця 4.2 Результати вимірювання

Номінальна довжина, мм	Вимірювання			
	L1, мм	L2, мм	L3, мм	L4, мм
100	99,8	101,5	99.95	101,3

4.4 Круглість зовнішньої циліндричної поверхні

Для вимірювання відхилення від круглості, необхідно виміряти вал, що перевіряється (в даному випадку рис. 4.4) в декількох перетинах і вибрати найбільший і найменший розмір, далі різниця цих значень буде відхиленням від круглості. Відхиленням 3d друку буде найбільший модуль різниці номінального

діаметра друку і реального профілю. Результати вимірювання циліндричної поверхні занесені в таблицю 4.3.

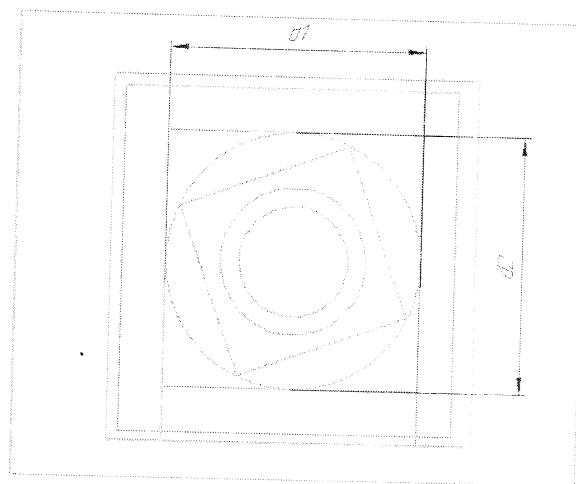


Рисунок 4.4 – Схема вимірювання зовнішньої циліндричної поверхні

Таблиця 4.3 – Результати вимірювання циліндричної поверхні

Номінальний діаметр	Вимірювання циліндричної поверхні		Овальність деталі	Найбільше відхилення від номінального розміру
	dn мм	d1, мм		
70	70,8	69,85	0,95	0,8

ВИСНОВКИ

Результати оцінки точності 3d принтера, що розробляється і Tevo tarantula
Для оцінки точності 3d принтера, що розроблюється і Tevo tarantula, було використано метод друку зразка-виробу. Готові вироби були оцінені на точність виготовлення і був визначений квалітет точності 3d принтерів.

В обох принтерів при перевірці форми отвори була виявлена овальність, яка могла бути викликана зносом кінематики приводу однієї з осей принтера більше ніж інший. У всіх спостережуваних отворах були виявлені «провали» поверхні, де відхилення від форми найбільше, вони пояснюються впливом прискорення переміщення по осях. Дані відхилення можна зменшити, якщо друкувати на більш низьких швидкостях.

Найбільше відхилення торцевих граней від перпендикулярності, розташованих по осях X, Y при друку, у моделі, надрукованій на принтері, що розроблюється становить 0,1мм.

Найбільше відхилення торцевих граней від перпендикулярності, розташованих по осях X, Y при друку, у моделі, надрукованій на Tevo 0,15 мм.

Відхилення моделі від перпендикулярності пояснюється неперпендикулярність розташування напрямних осей.

Відхилення від круглості зовнішньої циліндричної поверхні осьових в напрямках, моделі надрукованій на принтері tevo говорить про проблеми з переміщенням друкуючої головки по осях. Можливий знос приводів одній осі більше ніж інший, або неправильне налаштування кроків мікрошагу. Відхилення габаритів підставки деталі, надрукованій на tevo tarantula підтверджує припущення про неправильної налаштування кроку друкуючої головки по осях. Грані зразка-виробу, друковані уздовж осі X (відхилення +1,25 мм.) Порівняно однаково подовжені в порівнянні з гранями, надрукованими по осі Y (відхилення +0,05 мм.), Які більш наближені до номінальних розмірів.

Відхилення від переміщення друкуючої головки в даному випадку може бути викликано ремонтом 3d принтера з заміною елементів кінематики, або ж неправильної налаштування кроків двигуна. Для усунення відхилення досить внести коефіцієнт корекції переміщення по осі X в програмі, що готують g-код для 3d принтера.

Найбільші відхилення площинності торцевої поверхні (верхньої при друку) повернутого паралелепіпеда, надрукованого на tevo до його основи (нижній поверхні), становить $-0,1$ мм.

Відхилення від паралельності площин повернутого паралелепіпеда I і III ($0,12$ мм), більше ніж II і IV ($0,07$ мм). Це викликано поділом шарів моделі через недостатню їх адгезії, що призвело до вигинання площин. Місце знаходження та характер розшарувань пояснює їх вплив в різному ступені на поверхні, що перевіряються.

Найбільше відхилення від площинності торцевої поверхні моделі становить $-0,31$ мм, а відхилення від паралельності підставки деталі до поверхні, що перевіряється становить $-0,43$ мм. Якщо проаналізувати заміри, очевидно, що відхилення від площинності збільшуються ближче до кута деталі. Для таких відхилень характерно неправильне налаштування робочого столу або нахил напрямних валів каретки екструдера.

Чистота поверхні моделі має середні за якістю параметри шорсткості, в порівнянні з іншими поверхнями та іншими надрукованими моделями в проведеному експерименті знаходиться між 3 і 4 класом, наближаючись до 4му.

На підставі отриманих дійсних розмірів, відхилень форм і розташування зразків-виробів можна визначити квалітети точності принтерів.

3D принтер Tevo друкує вироби в діапазоні точності 10-16 квалітетів і середній коефіцієнт точності становить 13,2. 3d принтер, що розроблюється друкує вироби в діапазоні точності 11-14 квалітетів і середній коефіцієнт точності становить 12,6.

В результаті виконаної роботи було зроблено наступне заключення – для контролю точності 3d принтера рекомендується використовувати комплексні перевірки на підставі:

– ГОСТ 26016-83, ГОСТ ISO 230-2 2016, ДСТУ ISO 230-4-2015;

– ГОСТ ISO 230-2 2016 дозволяє визначити точність і повторюваність позиціонування по всьому робочому об'єму 3d принтера, за допомогою лазерного інтерферометра;

– ГОСТ ISO 230-4-2015 дозволять оцінити точність переміщення осей 3d принтера в динаміці, і виявити такі відхилення, які неможливо виявити за допомогою вимірювання точності позиціонування, наприклад, похибки реверсування, похибки переміщення при прискореннях і т.д. Дані відхилення важливі і повинні враховуватися, так як під час руху екструдера відбувається формування поверхні деталі. Наприклад, похибка реверсування збільшить шорсткість деталі в місці реверсу, похибка переміщення при прискореннях утворює відхилення розмірів в місці прискорення і інше.

Було створено повністю робочий макет, що демонструє роботу пристрою. Для оцінки точності 3D принтера, що розроблюється, було використано метод друку зразка-виробу. Готові вироби були оцінені на точність виготовлення і був визначений квалітет точності 3D принтеру.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галкін П.В., Головкіна Л.В., Карлівський Д.В. Шляхи вирішення проблеми прийому сигналу малого рівня при дуже високому рівні завад // [Збірник наукових праць] за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції, 2008. С. 37
2. Головкіна Л.В., Хавкун А.В., Галкін П.В. Педагогічні аспекти використання інформаційних технологій [Навчальний посібник] с. 236
3. Бушминский И.П., Даутов О.Ш., Достанко А.П. и др. Технология и автоматизация производства Р СА: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989. – 624 с.
4. DHT11 Humidity & Temperature Sensor [Electronic resource] – Access mode: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>– Last access: 14.02.2017. – Title from the screen.
5. My Life at X10. AV and Automation Industry eMagazine. Rye, Dave – October 1999 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.hometoys.com/content.php?url=/htinews/oct99/articles/rye/rye.htm>. – Last access: 01.04.2017. – Title from the screen.
6. Применение учебного макета ремонтно-механического цеха на базе технологий «умный дом», для проведения лабораторных работ по теории автоматического управления [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://moluch.ru/archive/102/23299/>
7. Fibaro Z-Wave Home Center 2 Мега-обзор [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://z-wave.com.ua/a101942-fibaro-wave-home.html>