

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ МОНУ
від 05 червня 2013 року № 683
Форма № Н-3.04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
Факультет інформаційних технологій
Кафедра Біомедичної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету
інформаційних технологій
Верескун М.В.
«___» _____ 2020 р.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

3D ДРУК В УМОВАХ БІОМЕДИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ **(3D Printing for Biomedical Applications)**

напряму підготовки 163 «Біомедична інженерія»
(шифр і назва напряму підготовки)



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»

Developed in the frame of project «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees» (586114-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-CBHE- JP)

2019– 2020 навчальний рік

3D друк в умовах біомедичного використання [Електронний ресурс] : конспект лекцій з дисципліни «3D друк в умовах біомедичного використання» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Б. В. Єфременко. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 56 с.

Містить лекційні матеріали, згідно програмі курсу, контрольні питання до кожної лекції, перелік основної та додаткової літератури, інформаційні ресурси.

Укладач Б. В. Єфременко, к.т.н., ст. викладач,

Рецензент А.Ю. Азархов, д-р. мед. наук, професор

Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»

Developed in the frame of project «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees» (586114-EPP- 1-2017- 1-ES-EPPKA2-CBHE- JP)

Рекомендовано
на засіданні кафедри «Біомедична інженерія»,
протокол № 21 від 24 червня 2019 р.

Схвалено методичною комісією
факультету інформаційних технологій,
протокол № 10 від 24 червня 2019 р.

© ДВНЗ «ПДТУ», 2019
© Б. В. Єфременко, 2019

ЗМІСТ

	стр.
Вступ	4
Лекція 1 – Вступ до 3D друку.....	5
1.1. Історія виникнення та розвитку.....	5
1.2. Класифікація технологій 3D друку.....	10
1.3 Сфери застосування 3D друку.....	11
Лекція 2 – Адитивні технології та відповідне обладнання.	
Матеріали для друку.....	15
2.1. Основні технології 3D друку.....	15
2.1.1. FDM	15
2.1.2. SLA	18
2.1.3. SLM	20
2.1.4. DMLS	22
2.2. Матеріали для 3D друку	24
2.2.1. Полімерні матеріали	24
2.2.2. Металовмісні матеріали	28
Лекція 3 – Робота з 3D моделями	29
3.1. Програмне забезпечення для тривимірного моделювання.....	29
3.2. 3D сканування	33
Лекція 4 – Підготовка 3D моделей до друку. Налаштування друку ..	38
4.1. Керуюча програма або G-code.....	38
4.2. Основні параметри друку.....	39
4.3. Типові помилки під час друку.....	42
Лекція 5 – Використання 3D друку в сучасній медицині.....	52
Рекомендована література	55

ВСТУП

Аддитивні технології є сучасним та інноваційним методом виробництва. Завдяки цим технологіям є можливість виробляти складні та досить високотехнологічні вироби. Досить широке застосування адитивні технології знайшли в медицині. Завдяки 3D друку є можливість виробляти індивідуальні протези та імпланти, можливо проводити передопераційні підготовки на моделях, які надруковані зі знімків МРТ хворого, проводити більш якісне навчання спеціалістів завдяки точним копіям органів людини, які можливо надрукувати на 3D принтері.

Аддитивні технології широко використовуються для прототіпування і розподіленого виробництва в архітектурі, будівництві, промисловому дизайні, автомобільної, аерокосмічної, військово-промислової, інженерної та медичній галузях, біоінженерії (для створення штучних тканин), виробництві модного одягу і взуття, ювелірних виробів, в освіті, географічних інформаційних системах, харчової промисловості та багатьох інших сферах людської діяльності.

Лекція 1 – Вступ до 3D друку.

План

- 1.1. Історія виникнення та розвитку
- 1.2. Класифікація технологій 3D друку
- 1.3. Сфери застосування 3D друку

1.1. Історія виникнення та розвитку

3D-друк радикально відрізняється від традиційного метода виробництва, коли матеріал видавлюється з заготовки. Метод на основі 3D- друку дозволяє пошарово створювати деталь без заготовки, маючи тільки в наявності 3D модель одержуваної деталі. Це принципова відмінність від будь-якої іншої існуючої традиційної технології виробництва.

Ці технології ґрунтуються на видаленні матеріалу з заготовки, для отримання готової деталі, а також витрачаються ресурси на інструмент, прес- форму. Варто так само відзначити, що для багатьох деталей існує обмеження в дизайні, виробничі обмеження, дороге обладнання для обробки та складання деталі.

Крім того, традиційний процес отримання деталі механічним шляхом, витрачає до 90% матеріалу даремно. 3D-друк створює об'єкт відразу, шляхом додавання матеріалу шар за шаром використовуючи різноманітні види друку. В залежності від використовуваної технології цей процес, можна порівняти з конструктором Лего. 3D-друк — це свобода дизайнерської думки. Поки був інструмент були обмеження по конфігурації деталі, витрати на покупку, наладку і настройку цього інструменту, без нього зменшується вартість і час, для створення готової деталі.

3D-друк також енергоефективна технологія, яка може забезпечити екологічність виробничого процесу, використовуючи до 90% матеріалу. В останні роки 3D-друк вийшов за рамки промислового прототипування і процес виробництва. Як технологія стала більш доступною для невеликих компаній і навіть окремих фізичних осіб.

Ця технологія доступна для широкої аудиторії, у світі її кількість експоненційно збільшується з кожним роком. Все більше з'являється різних матеріалів, сфер застосування.

Перші технології 3D-друку з'явилися в кінці 1980-х років. Їх називали швидке прототипування (Rapid Prototyping). Це тому, що дані процеси спочатку були задумані, як швидкий і більш ефективний метод для створення прототипів. Найперший патент заявка на технологію RP була подана Д-р Кодама, Японія. У травні 1980 року. (рис. 1.1)

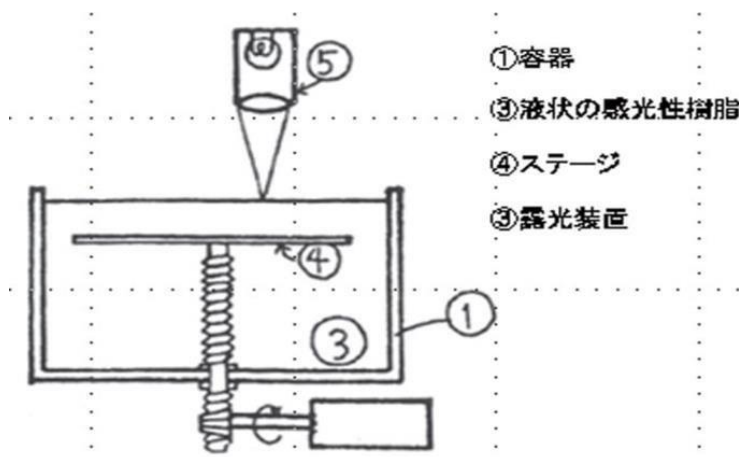


Рисунок 1.1 – Ідея тривимірного друку Хидео Кодама, де 1 – корпус, 3 – робоча зона, 4 – стіл для друку, 5 – лазерна установка для спікання матеріалу.

У 1986 році, був виданий перший патент на апарат стереолітографії (SLA). Цей патент належав Чарльзу Халл, який вперше винайшов свою машину SLA в 1983. Халл став співзасновником компанії «3D систем». Ця корпорація – одна з найбільших і найбільш плодovitих організацій, що працюють в 3D поліграфічному секторі до сьогоднішнього дня.



Рисунок 1.2 – Апарат SLA-250

У 1987 році, Карл Декард, який працював в Техаському університеті, подав патент в США на процес селективного лазерного спікання (SLS) швидкого прототипування. Цей патент був випущений в 1989 і SLS пізніше був ліцензований DTM Inc, яка пізніше була придбана «3D Системс».



Рисунок 1.3 – Апарат Formiga P100

У тому ж 1989 року Скотт Крамп, співзасновник компанії Stratasys Inc. подав патент на «модельовання методом наплавлення» (FDM). Дана технологія яка використовує процес заснований на відкритому вихідному коді моделі герпар, що відома і сьогодні. Патент на технологію FDM був виданий компанії Stratasys в 1992 році.

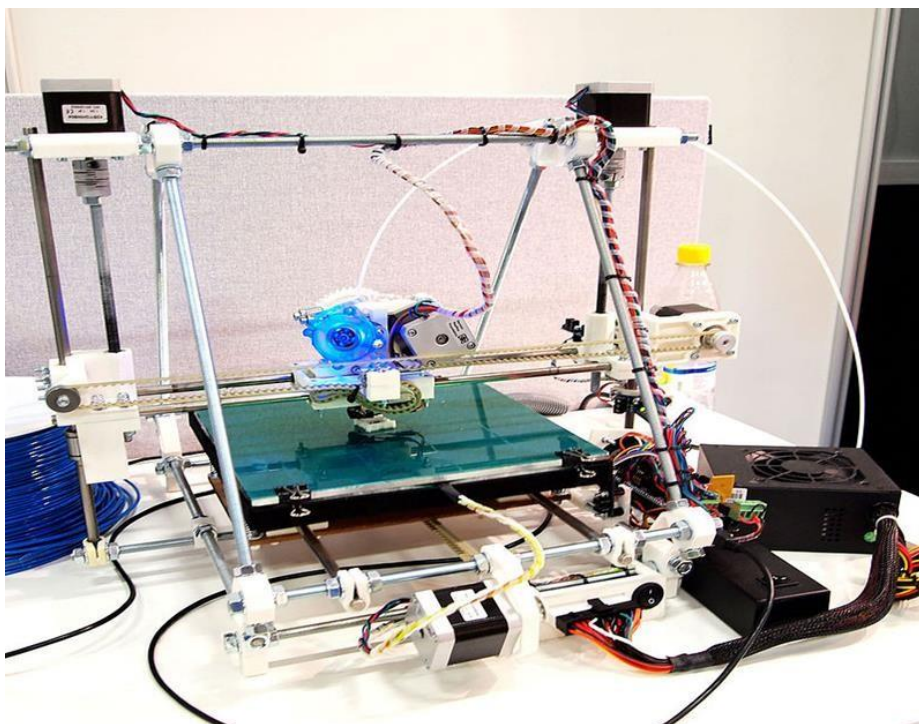


Рисунок 1.4 – Принтер типу RepRap заснований на технології FDM

У 2000 році була впроваджена технологія «Селективного лазерного спікання» (SLM) Хон Корпорація та Sciaky Inc були першопрохідцями в цій технології.

Відправною точкою для будь-якого 3D друкування є 3D цифрова модель, яку можна створити, використовуючи різноманітне програмне забезпечення, наприклад 3D CAD системи. Етап STL, готова модель нарізається на шари в окремій програмі, тим самим перетворений файл читається на 3D принтері. Матеріал обробляється на 3D принтері, після цього нашаровується, згідно з конструкцією деталі та процесу печаті. Існує ряд різних типів технологій 3D-друку, кожен процес відрізняється матеріалами, способом створення кінцевого об'єкта. Функціональні пластмаси, метали, кераміка і пісок, тепер все це зазвичай використову-

ється для промислового прототипування. Дослідження також проводиться для 3D друкування біоматеріалів та різних видів їжі. Пластмаса в даний час широко використовуваний матеріал – зазвичай ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) або PLA (lactic acid або polylactic acid), але зростає і кількість альтернативних, включаючи нейлон. Існує також зростаюче число машин початкового рівня, які були адаптовані для харчової продукції, такі як цукор і шоколад.

1.2 Класифікація технологій 3D друку.

Організація ASTM, що займається розробкою галузевих стандартів, розділяє 3D-адитивні технології на 7 категорій:

1) Витискання матеріалу. В точку побудови по підігрітому екструдеру подається пастоподібний матеріал, що представляє собою суміш сполучного і металевго порошку. Побудована сира модель поміщається в піч для того, щоб видалити сполуку і спекти порошок – так само, як це відбувається в традиційних технологіях. Ця адитивна технологія реалізована під марками MJS (Multiphase Jet Solidification, багатозатвердіння струменя), FDM (Fused Deposition Modeling, моделювання методом пошарового напрямку), FFF (Fused Filament Fabrication, виробництво способом наплавлення ниток).

2) Розбризування матеріалу. Наприклад, в технології Polyjet віск або фотополімер по багатоструменевій голівці подається в точку побудови. Ця адитивна технологія також називається Multi jetting Material.

3) Розбризування сполучного. До них відносяться струменеві Ink-Jet- технології вприскування в зону побудови не модельного матеріалу, а сполучного реагента (технологія адитивного виробництва ExOne).

4) З'єднання листових матеріалів. Будівельний матеріал являє собою полімерну плівку, металеву фольгу, аркуші паперу та ін. Використовується, наприклад, в технології ультразвукового адитивного виробництва Fabrisonic. Тонкі пластини з металу зварюються ультразвуком, після чого надлишки металу видаляються фрезеруванням. Адитивна технологія тут застосовується в поєднанні з субстрактивною.

5) Фотополімеризація у ванні. Технологія використовує рідкі модельні матеріали - фотополімерні смоли. Прикладом можуть служи-

ти SLA-технологія компанії 3D Systems і DLP-технологія компаній Envisiontec, Digital Light Procession.

6) Плавка матеріалу в заздалегідь сформованому шарі. Використовується в SLS-технологіях, що використовують як джерело енергії лазер або термоголовку (SHS компанії Blueprinter).

7) Пряме підведення енергії в місце побудови. Матеріал і енергія для його плавлення надходять в точку побудови одночасно. В якості робочого органу використовується головка, обладнана системою підведення енергії і матеріалу. Енергія надходить у вигляді сконцентрованого пучка електронів (Sciaky) або променя лазера (POM, Optomes,). Іноді головка встановлюється на робот-маніпулятор.

1.3. Сфери застосування 3D друку

Основні сфери застосування:

Архітектура

3D друк знаходить широке застосування у виготовленні архітектурних макетів будинків, споруд, цілих мікрорайонів, котеджних селищ з усією інфраструктурою: дорогами, деревами, вуличним освітленням. На малюнку показані макети будівель, створені з використанням тривимірної друку.

Для друку тривимірних архітектурних макетів використовують дешевий гіпсовий композит, який забезпечує низьку себестоїмість готових моделей. На сьогоднішній день для 3D друку є 390 тисяч відтінків палітри СМЮК, що дозволяє по-плоті в життя будь-яку колірну фантазію архітектора. Для тривимірної друку архітектурних моделей і прототипів найчастіше використовуються кольорові 3D ZPrinter моделі 250, 450, 650, 850 і чорно-білі 3D ZPrinter моделі 150 і 350.

Будівництво

Інженери з університету Південної Каліфорнії створили систему 3D друку для роботи з великогабаритними об'єктами. Система працює за принципом будівельного крана, який зводить стіни з шарів бетону. Такий 3D принтер може звести двоповерховий будинок всього лише за 20 годин. Робочим залишиться тільки установити вікна, двері і провести внутрішню обробку приміщення.

Голландські архітектори запропонували надрукувати при допомозі будівельного 3D принтера унікальний будинок у формі стрічки Мебіуса. «Друк» вдома запланована на 2014 рік. Будинок планується надрукувати з суміші піску і сполучних матеріалів. Цілком мож-

ливо, що через кілька десятків років виростуть цілі селища з чудовими комфортними будинками, побудованими за технологією 3D друку.

Дрібносерійне виробництво

Професійні 3D принтери поступово відвойовують свої позиції в сфері дрібносерійного виробництва. Найчастіше дану технологію друку використовують для виготовлення ексклюзивних виробів, наприклад предметів мистецтва, фігурок персонажів для учасників ролевих інтернет-ігор, прототипів і концептуальних моделей майбутніх споживчих товарів або їх конструктивних деталей. Такі моделі використовуються як в експериментальних цілях, так і для презентацій нових товарів.

Для дрібносерійної 3D друку найчастіше використовують системи Dimension, моделі Elite і SST 1200ES, а також системи Fortus, моделі 400mc і 900 mc.

Функціональне тестування

Використання 3D принтерів для функціонального тестування - це один із сучасних методів інноваційних розробити конструкцію струм. У більшості випадків потрібно протестувати новий механізм в зборі, але виготовити окремі компоненти в одному екземплярі заанадто довго, дорого і дуже проблематично. На допомогу приходять 3D принтери з різним ступенем деталізації моделей.

Для функціонального 3D тестування рекомендується використовувати принтери Objet 24 і 30, пристрої Eden 250, 260V, 350, 500V, а також Objet 260 Connex, Connex 350 і 500. Для виготовлення функціональних 3D моделей з пластика розроблені машини Dimension uPrint, uPrint + , Elite, SST 1200ES, а також Fortus 400mc і 900mc.

Медицина

Використання 3D принтерів в медицині дозволяє врятувати людські життя. Такі принтери можуть відтворити точну копію людського скелета для відпрацювання прийомів, які гарантують проведення успішної операції. Все частіше 3D принтери використовують в протезуванні та стоматології, так як тривимірний друк дозволяє отримати протези і коронки значно швидше класичною технологією виробництва.

Медичні тривимірні моделі можуть бути виготовлені з цілого ряду матеріалів, включаючи живі органічні клітини. Вибір того чи іншого матеріалу для медичного прототипування залежить від цілей і завдань, що стоять перед медиками, і проблем, пов'язаних зі здоров'ям пацієнта.

Зовсім недавно сила і міць 3D друку була продемонстрована на прикладі звичайного орла, який з вини бра-Кон'єр позбувся дзьоба. 3D друк дозволила виготовити точну копію орлиного дзьоба.

Не зупиняючись на досягнутому, медики навчилися друк-тати «заплатки» для пошкодженої людської шкіри. Як матеріали для друку використовується спеціальний гель з клітин донора. За словами вчених, для друку шкіри може бути вико-ван навіть самий звичайний офісний принтер, трохи модернізують-ний під поставлену задачу.

У 2011 році вчені зуміли відтворити живу чоловіча-ську нирку. Для цього 3D принтера треба було всього лише 3 години. Для друку пластикових медичних прототипів, совмести-мих з біологічними організмами, використовуються 3D принтери Eden 250, 260V, 350, 350V, 500; Fortus 400mc, 900mc; Objet 260 Connex, Connex 350 і 500.

Навчання

Використання технології 3D друку в освіті позво-ляєт отрима-ти наочні посібники, які відмінно підходять для класних кімнат будь-яких освітніх установ, починаючи від дитячих садків і закінчуючи ву-зами.

Сучасні 3D принтери відмінно підходять для класних кімнат, оскільки мають підвищену надійність, не виділяють під час друку шкідливих для здоров'я продуктів, не пред'являють особливих вимог до утилізації, не містять ріжучих і бритви-них матеріалів, не мають лазерів.

Передбачається, що оснащення освітніх учрежде-ний констру-кторських або дизайнерських спеціальностей 3D принте-рами поспри-яє підвищенню ефективності освітнього процесу і швидкому засвоєн-ню знань учнями і студентами.

Виробництво одягу

Принтери з технологією 3D друку поступово освоюють сферу виробництва одягу, і в першу чергу - виробництво моделей для високої моди. Не так давно голландський модельєр Айріс Ван Херпен представила колекцію «Напруга», все мо-ділі якої були створені за допомогою 3D друку. Колекція була представлена на Тижні високої моди в Парижі.

Технологія 3D друку дозволяє використовувати для виготов-лення одного предмета одягу кілька різних матеріалів. Такий підхід дозволяє вирішити проблеми, пов'язані з прочнос-ма і еластичністю виготовляються речей. Одяг, надрукований 3D принтером, поки мож-на побачити тільки на показах мод. Але не залишається сумнівів, що

впровадження подібних виробів в масове виробництво є лише питанням часу. Можливо, в майбутньому ми зможемо не виходячи з дому надрукувати собі нову сорочку, вечірнє плаття або навіть шубу необхідного кольору і розміру.

Ювелірні вироби

Як відомо, при виготовленні ювелірних виробів самої трудомісткою процедурою є створення воскових прототипів, яке вимагає колосальних витрат часу. З появою 3D принтерів у ювелірів з'явилася можливість швидко вирощувати воскові моделі прикрас, попередньо розроблені в спеціальної програми.

Для створення прототипів ювелірних прикрас з використанням 3D принтера використовується спеціальний матеріал, по своєму складу схожий на ювелірний віск. Для друку прототипів ювелірних прикрас можна використовувати такі 3D принтери: Soldscape T76, Eden 260V і 500V, Objet260 Connex і ін.

Питання до лекції:

- 1) Що таке «адитивні технології»?
- 2) Аки види тривимірного друку існують?
- 3) На основі чого базувався перший 3D принтер?
- 4) Які сфери використання 3D друку?

Лекція 2 – Адитивні технології та відповідне обладнання. Матеріали для друку

План

Основні технології 3D друку

FDM

2.1.2. SLA

SLM

2.1.4. DMLS

2.2. Матеріали для 3D друку

2.2.1. Полімерні матеріали

2.2.2. Металовмісні матеріали

2.1. Основні технології 3D друку

В даний час в світі налічується більше 100 офіційно зареєстрованих методів тривимірного друку, як полімерами, так і металами. Така велика кількість методів пов'язана із захистом інтелектуальної власності, де кожна компанія, що займається виробництвом 3D-принтерів, намагається зареєструвати свій власний метод друку. Найчастіше, методи відрізняються лише назвою, а не технологією. Тому, методів, що відрізняються технологією всього не більше 15. Далі розглянемо чотири найбільш поширених, перспективних і доступних на сьогоднішній день методів: FDM, SLA, SLM, DMLS.

2.1.1 FDM

FDM (Fused deposition modeling) - моделювання методом шарового наплавлення, популярна технологія адитивного виробництва. Застосовується для створення тривимірних моделей, макетів, виробів до яких не пред'являються особливі вимоги до якості поверхні і точності виготовлення.

Технологія FDM має на увазі створення тривимірних об'єктів за рахунок нанесення послідовних шарів матеріалу, які повторюють контури цифрової моделі. Матеріалом для друку виступають термопластики, що поставляються у вигляді котушки ниток різних кольорів.

Виробничий цикл починається з обробки тривимірної цифрової моделі.

Модель у форматі STL ділиться на шари і орієнтується відповідним чином для друку. При необхідності створюються підтримуючі

структури, необхідні для друку нависаючих елементів. Деякі пристрої дозволяють використовувати різні матеріали під час одного виробничого циклу. Можливим є друк моделі з одного матеріалу з печаткою опор з іншого, легкорозчинного матеріалу, що дозволяє з легкістю видаляти підтримуючі структури після завершення процесу друку. Альтернативно можливим є друк різними кольорами одного і того ж виду пластику при створенні єдиної моделі.

Деталь формується пошарово. Розплавлений пластик укладається по контурах, які утворено цифровою моделлю. Після укладання пластик миттєво охолоджується і твердне. По завершенню одного шару, екструдер переміщається вертикально вгору на величину товщини нитки розплавленого пластику. Формується другий шар. На рисунку 2.1 схематично показано формування шарів при 3D-друку методом FDM.

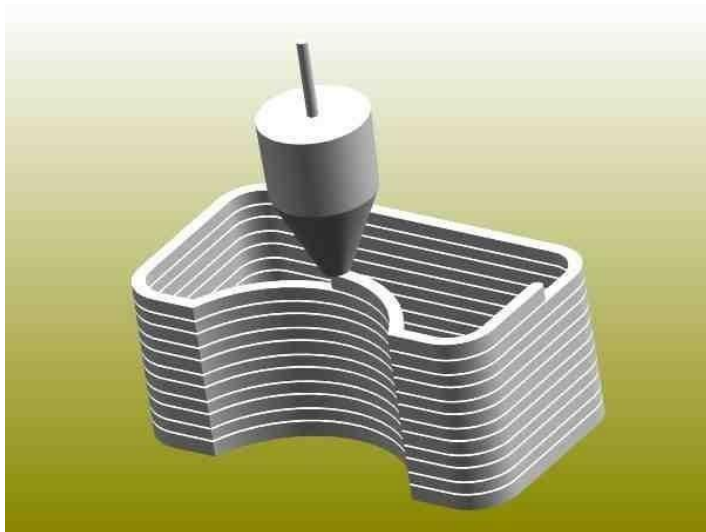


Рисунок 1.1 - Схема формування шарів деталі

Пластикову нитку подається з котушки в екструдер. Екструдер (друкована головка) – це пристрій, обладнаний механічним приводом для подачі нитки, нагрівальним елементом для плавки матеріалу і соплом, через яке здійснюється безпосередньо екструзія. Нагрівальний елемент передає тепло на сопло, яке, в свою чергу, плавить пластикову нитку і подає розплавлений матеріал на той шар, що формується. Температура сопла може регулюватися від 150°C до 310°C для використання різних матеріалів. Як правило, верхня частина сопла навпаки

охладжується за допомогою конвективного кожуха і вентилятора для запобігання передчасного розплавлення пластикової нитки з наступним засміченням друкуючої головки, що в свою чергу призведе до втрати плавності подачі матеріалу, а також до втрати якості друку.

Екструдер переміщується в горизонтальній і вертикальній площинах під контролем алгоритмів, аналогічних використуваним в верстатах з ЧПУ. Сопло переміщується по траєкторії, заданої системою автоматизованого проектування. Модель будується шар за шаром, від низу до верху. Як правило, екструдер приводиться в рух покроковими моторами або сервоприводами. Найбільш популярною системою координат, яка застосовується в FDM, є декартова система, побудована на прямокутному тривимірному просторі з осями X, Y і Z.

Технологія FDM відрізняється високою гнучкістю, але має певні обмеження. Хоча створення нависаючих структур можливо при невеликих кутах нахилу, у випадку з великими кутами необхідне використання штучних опор, які, створюючись в процесі друку, і відокремлюються від моделі по завершенню процесу.

В якості витратних матеріалів доступні всілякі термопластики і композити, включаючи ABS, PLA, полікарбонати, поліаміди, полістирол, лігнін та багато інших. Як правило, різні матеріали надають вибір балансу між певними характеристиками міцності і температурними характеристиками.

Моделювання методом FDM застосовується для швидкого прототипування і швидкого виробництва. Швидке прототипування полегшує повторне випробування з послідовною, покроковою модернізацією предмета. Швидке виробництво слугує недорогою альтернативою стандартним способам при створенні дрібносерійних партій.

FDM є одним з найменш дорогих способів друку, що забезпечує зростаючу популярність побутових принтерів, заснованих на цій технології. У побуті 3D-принтери, що працюють за технологією FDM, можуть застосовуватися для створення самих різних об'єктів цільового призначення, а також іграшок, прикрас і сувенірів.

2.1.2 SLA

SLA (Stereolithography) – технологія тривимірного друку, при якій рідкий фотополімер під дією світлового випромінювання лазера змінює свої фізичні властивості і твердне, утворюючи тверду поверхню в точці проєкції лазера.

У ємність з рідким фотополімером поміщається сітчаста платформа, на ній буде відбуватися вирощування прототипу. Спочатку платформа знаходиться на такій глибині, щоб її покривав найтонший шар полімеру товщиною від 0,05 до 0,15 мм – це і є приблизна товщина шару в стереолітографії. Далі включається лазер, який впливає на ті ділянки полімеру, які відповідають стінкам цільового об'єкта, викликаючи їх затвердіння. Після цього вся платформа занурюється глибше, на глибину, рівну товщині шару. Також в цей момент спеціальна щітка зрошує ділянки, які могли залишитися сухими внаслідок деякого поверхневого натягу рідини. Схема установки представлена на рисунку 2.2

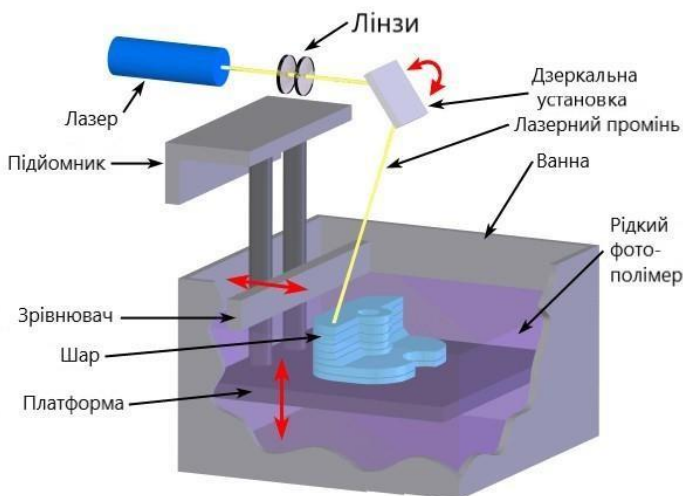


Рисунок 2.2 - Схема установки для стереолітографії

По завершенню побудови об'єкт занурюють у ванну зі спеціальними складами для видалення надлишків і очищення. І, нарешті, фінальне опромінення світлом для остаточного затвердіння. Як і багато інших методів 3D-прототипування, SLA вимагає зведення підтримуючих структур, які вручну видаляються після закінчення будівництва.

Не обходиться і без істотних складнощів.

По-перше, вимоги до самого фотополімера досить суперечливі: якщо він буде густим, то його легше полімеризувати, але складніше забезпечити рівну поверхню після кожного кроку занурення; доводиться використовувати спеціальну лінійку, яка на кожному кроці проходить по поверхні рідини і вирівнює її. Велика кількість затверджувача при фіксованій потужності лазера дозволить зменшити необхідний час впливу, проте неминуче фонове засвічення «псує» навколишній обсяг полімеру і скорочує можливий термін його використання.

По-друге, повна полімеризація кожного шару зайняла б чимало часу, тому засвічення проводиться до рівня, при якому шар набуває лише мінімально необхідну міцність, а згодом готову модель, попередньо промивши від залишків рідкого полімеру, доводиться опромінювати потужним джерелом ультрафіолетового світла в спеціальній камері, щоб полімеризація досягла 100%.

Плюси технології:

- Отримання дуже високої роздільної здатності і високої точності друку;
- Отримання дуже великих моделей, розміром до $150 \times 75 \times 55$ см і вагою до 150 кг;
- Механічна міцність одержуваних зразків досить висока, вони можуть витримувати температуру до 100°C ;
- Відсутність обмежень на складність моделі і наявність у неї дрібних елементів;
- Мала кількість відходів після друку;
- Легкість фінішної обробки, якщо така буде потрібною. Мінуси:
- Обмежений вибір матеріалів для виготовлення моделей;
- Неможливість кольорового друку і поєднання різних матеріалів в одному циклі;
- Мала швидкість друку, максимум 10-20 мм. на годину по вертикалі;
- Дуже великі масогабаритні характеристики 3D-принтерів.

Незважаючи на обмеженість спектра видаткових матеріалів, вибір є, і можна отримувати моделі з різними властивостями: з підвищеною термостійкістю, гнучкі, з високою стійкістю до абразива. Для стереолітографії доступні три кольори: білий, сірий, напівпрозорий.

2.1.3 SLM

SLM (Selective Laser Melting) - Вибіркове лазерне плавлення. Цей метод має багато спільного з методом SLA, тільки замість рідини використовується порошок з діаметром частинок 10-100 мкм, тонкими рівномірними шарами розподіляється в горизонтальній площині, а потім лазерний промінь плавить (рисунок 2.3) ділянки, що підлягають затвердінню на даному шарі моделі.



Рисунок 2.3 - Плавлення лазером порошкоподібного металу

Вихідні матеріали можуть бути самі різні: метал, пластик, кераміка, скло, ливарний віск. Порошок наноситься і розрівнюється по поверхні робочого столу спеціальним валиком, який при зворотному проході видаляє надлишки порошку (рисунок 2.4). Потім працює потужний лазер, спікаються частки одна з одною і з попереднім шаром, після чого стіл опускається на величину, рівну висоті одного шару для зниження потужності лазера, необхідної для спікання. Порошок в робочій камері попередньо нагрівається майже до температури плавлення, а сам лазер працює в імпульсному режимі, оскільки для спікання важливіша пікова потужність, а не тривалість впливу.

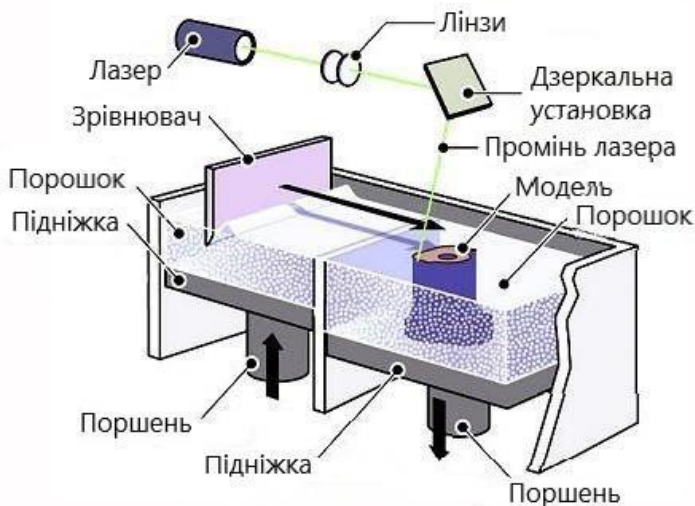


Рисунок 1.4 - Схема установки для SLM

Частки розплавляються повністю. Невикористаний порошок, який залишається навколо отверділих шарів, служить підтримкою при створенні нависаючих елементів моделі, тому немає необхідності у формуванні спеціальних підтримуючих структур. Але цей порошок по закінченні процесу необхідно видалити як з камери, особливо якщо наступна модель буде створюватися з іншого матеріалу, так і з порожнин вже виготовленої моделі, що можна зробити, лише після її повного остигання.

Часто потрібна фінішна обробка — наприклад, поліровка, оскільки поверхня може виходити шорсткою або з видимою шорсткістю. Крім того, матеріал може використовуватися не тільки чистий, але і в суміші з полімером або у вигляді часток, покритих полімером, залишки яких потрібно видалити шляхом випалювання в спеціальній печі. Для металів одночасно відбувається заповнення виникаючих пустот бронзою.

Оскільки мова йде про високі температури, необхідні для спікання, процес відбувається в азотному середовищі з малим вмістом кисню. При роботі з металами це ще і запобігає окисленню.

Установки SLM, які випускаються серійно, дозволяють працювати з досить великими об'єктами, до 55×55×75 см.

Технологія вибіркової лазерної плавки застосовується для побудови об'єктів складної геометричної форми, часто з тонкими стінками і порожнинами. Можливість комбінування гомогенних і пористих структур в одному об'єкті корисна при створенні імплантів – наприклад, ацетабулярних чашок або інших ортопедичних імплантатів з пористою поверхнею, що сприяє остеоінтеграції (зрощуванню з кістковою тканиною). Крім того, SLM успішно застосовується в аерокосмічній галузі, дозволяючи створювати високоміцні елементи конструкцій, недосяжні за геометричною складністю для традиційних механічних методів виготовлення і обробки (фрезерування, різання тощо). Якість готових виробів настільки висока, що механічна обробка готових моделей майже не потрібна. Позитивним побічним ефектом служить економія матеріалів, бо SLM в силу своєї специфіки є практично безвідходним виробництвом.

В ході випробувань NASA було встановлено, що деталі для ракетних двигунів J-2X і RS-25, виготовлені з нікелевих сплавів методом SLM, дещо поступаються по щільності матеріалу аналогам, що виготовлено литтям з наступним зварюванням компонентів. З іншого боку, відсутність зварювальних швів сприятливо впливає на міцність виробів.

2.1.4 DMLS

DMLS (Direct Method of Laser Sintering) – метод прямого лазерного спікання – технологія адитивного виробництва металевих виробів, розроблена компанією EOS з Мюнхена. DMLS часто плутають зі схожою технологією вибіркової лазерної плавки.

Процес включає використання тривимірних моделей у форматі STL в якості креслень для побудови фізичних моделей. Тривимірна модель підлягає цифровій обробці для віртуального поділу на тонкі шари з товщиною, що відповідає товщині шарів, які наносяться друкарським пристроєм. Готовий файл використовується як набір креслень під час друку. В якості нагрівального елемента для спікання металевого порошку використовуються оптико-волоконні лазери щодо високої потужності – близько 200Вт. Деякі пристрої використовують більш потужні лазери з підвищеною швидкістю сканування (тобто пересування лазерного променя) для більш високої продуктивності. Як варіант, можливе підвищення продуктивності за рахунок використання

декількох лазерів. DMLS дозволяє створювати цілісні металеві деталі складної геометричної форми.

Порошковий матеріал подається в робочу камеру в кількостях, необхідних для нанесення одного шару. Спеціальний валик вирівнює поданий матеріал в рівний шар і видаляє зайвий матеріал з камери, після чого лазерна головка спікає частинки свіжого порошку між собою і з попереднім шаром згідно контурам, визначеним цифровою моделлю. Після завершення малювання шару, процес повторюється: валик подає свіжий матеріал і лазер починає спікати наступний шар. Привабливою особливістю цієї технології є дуже високий дозвіл друку – в середньому близько 20 мікрон. Для порівняння, типова товщина шару в аматорських і побутових принтерах, що використовують технологію FDM, становить близько 100 мікрон.

Іншою цікавою особливістю процесу є відсутність необхідності побудови опор для нависаючих елементів конструкції. Не спечений порошок не видаляється під час друку, а залишається в робочій камері. Таким чином, кожен наступний шар має опорну поверхню. Крім того, невитрачений матеріал може бути зібраний з робочої камери після завершення друку і використаний заново. DMLS виробництво можна вважати фактично безвідходним, що важливо при використанні дорогих матеріалів; наприклад, дорогоцінних металів.

Технологія практично не має обмежень по геометричній складності побудови, а висока точність виконання мінімізує необхідність механічної обробки надрукованих виробів.

Технологія DMLS володіє декількома перевагами в порівнянні з традиційними виробничими методами. Найбільш очевидним є можливість швидкого виробництва геометрично складних деталей без необхідності механічної обробки. Виробництво є практично безвідходним, що вигідно відрізняє DMLS від традиційних технологій. Технологія дозволяє створювати кілька моделей одночасно з обмеженням лише за розміром робочої камери. Побудова моделей займає близько кілька годин, що незрівнянно вигідніше, ніж ливарний процес, який може займати до декількох місяців з урахуванням повного виробничого циклу. З іншого боку, деталі, вироблені лазерним спіканням, не володіють монолітністю, а тому не досягають тих же показників міцності, що і відлиті зразки, або деталі, вироблені традиційними методами.

DMLS активно використовується в промисловості зважаючи на можливість побудови внутрішніх структур цілих деталей, недоступних за складністю традиційним методам виробництва. Деталі з ком-

плексною геометрією можуть бути виконані цілком, а не зі складових частин, що сприятливо впливає на якість і вартість виробів. Так як DMLS не вимагає спеціальних інструментів (наприклад, ливарних форм) і не виробляє великої кількості відходів, на відміну від традиційних методів, виробництво дрібносерійних партій за допомогою цієї технології набагато вигідніше, ніж за рахунок традиційних методів.

Технологія DMLS застосовується для виробництва готових виробів малого і середнього розміру в різних галузях, включаючи аерокосмічну, стоматологічну, медичну та ін. Типовий розмір області побудови існуючих установок становить 250x250x250мм, хоча технологічних обмежень на розмір не існує – це лише питання вартості пристрою. DMLS використовується для швидкого прототипування, знижуючи час розробки нових продуктів, а також у виробництві, дозволяючи скорочувати собівартість дрібних партій і спрощувати складання виробів складної геометричної форми.

2.2. Матеріали для 3D друку

Всі матеріали для тривимірного друку можна розділити на полімерні матеріали та метали. Поділ за технологіями тривимірного друку є не зовсім правильним, адже один і той самий матеріал може застосовуватися в декількох методах [6].

2.2.1 Полімерні матеріали

ABS-пластик

ABS-пластик, Акрилонітрілбутадієнстірол. Це найпопулярніший і один з кращих витратних матеріалів для 3D-друку. ABS не має запаху, не токсичний, ударостійкий і еластичний. Температура плавлення становить від 240°C до 248°C. У продажу зустрічається у вигляді порошку або тонких пластикових ниток, намотаних на катушки, як показано на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - ABS-пластик для 3D-принтера

3D-моделі, зроблені з ABS-пластика, довговічні і міцні. Асортимент кольорів ниток дуже великий, дозволяє втілити будь-яке кольорове рішення, але за допомогою цього матеріалу неможливо отримати прозорі моделі, адже прозорого ABS-пластика не існує.

Акрил

Застосування акрилу в 3D-друку досить вузьке, він використовується для створення прозорих моделей. У використанні акрил складний, необхідно враховувати, що для даного матеріалу потрібна вища температура плавлення ніж для ABS-пластика, він так само швидко остигає і твердне, у зв'язку з цим в моделі з'являється багато дрібних повітряних бульбашок, які можуть викликати візуальні спотворення у вигляді каламутності виробу.

Нейлон

Друк нейлоном (рисунок 2.6) схожий з печаткою ABS-пластиком. Але для друку нейлоном потрібна вища температура друку, що знаходиться в діапазоні від 310°C до 325°C. У нейлону висока здатність вбирати воду, а також більш тривалий період застигання. Великі незручності викликає необхідність відкачки повітря з екструдера через токсичність компонентів нейлону, або друк під потужною вентиляційною системою. Через низький коефіцієнт тертя нейлону в екструдері необхідно замінити механізм на спеціальний, з великим коефіцієнтом зацепу. Незважаючи на перераховані недоліки, нейлон з успіхом використовують в 3D друку, адже деталі з даного матеріалу виходять не такими жорсткими, як з ABS-пластика, і його можна використовувати в шарнірах ковзання.



Рисунок 1.6 - Нейлон для 3D-друку

Полікапролактон

Полікапролактон за властивостями збігається з біорозкладаним поліефіром. Це один з найпопулярніших витратних матеріалів для 3D друку. Він має низьку температуру плавлення, швидко твердне, забезпечує прекрасні механічні властивості готових виробів, легко розкладається в людському організмі і нешкідливий для людини. Крім того, він може застосовуватися відразу в декількох технологіях 3D-друку: SLS, ZCorp і FDM.

Полікарбонат

Полікарбонат – це твердий пластик, який здатний зберігати свої фізичні властивості в умовах екстремально високих та екстремально низьких температур. Володіє високою світлонепроникністю, має високу температуру плавлення, зручний для друку методом FDM. При цьому його отримання пов'язане з рядом труднощів і він є екологічно безпечним. Використовується для друку надміцних моделей.

PLA-пластик

PLA-пластик – це самий екологічно чистий матеріал для 3D принтерів. Він виготовляється із залишків біомаси, силосу цукрових буряків або кукурудзи. Маючи масу позитивних властивостей, PLA має два істотних недоліки. По-перше, виготовлені з нього моделі недовговічні і поступово розкладаються під дією тепла і світла. По - дру-

ге, вартість виробництва PLA дуже висока, а значить і вартість моделей буде значно більшою за вартість аналогічних моделей, виготовлених з інших матеріалів. За зовнішнім виглядом PLA нитка не відрізняється від ABS нитки.

Поліпропілен

Поліпропілен (рисунок 2.7) – це найбільш легкий пластик з усіх існуючих. Порівняно з поліетиленом низького тиску гірше плавиться і краще протистоїть стиранню. При цьому вразливий до активного кисню, і деформується при негативних температурах.



Рисунок 1.7 - Поліпропілен для 3D-принтера

Поліфенілсульфон

Даний матеріал прийшов у 3D друк з авіапромисловості. Він практично негорить, характеризується теплостійкістю, високою твердістю. Нагадує звичайне скло, але перевершує його по міцності. Використовується в технології 3D-друку: SLS і FDM.

Поліетилен низького тиску

Це найпоширеніший вид пластмаси в світі, з якого виготовляють ПЕТ- пляшки, каністри, труби, плівки, пакети і т.д. У 3D-друку поліетилен низького тиску є неперевершеним лідером. Даний матеріал може бути використаний в будь-якій технології 3D-друку.

2.2.2 Металовмісні матеріали

Металеві порошки – найміцніший матеріал для 3D-друку. Вироби, створені на металевих 3D-принтерах, за багатьма параметрами перевершують аналоги, вироблені за допомогою традиційних технологій.

Титан. Високоміцний біосумісний матеріал, застосовується в медицині, авіабудуванні, машинобудуванні, промисловості.

Інструментальна і нержавіюча сталь. Різні сплави сталі – найпоширеніші матеріали для 3D-друку. Вони служать для вирішення широкого кола завдань в різних сферах, стійкі до корозії, мають підвищену міцність і зносостійкість.

Алюміній і його сплави. Легкий сплав, що володіє більш низькою щільністю, ніж інші метали для 3D-друку. Володіє хорошими легуючими властивостями і електропровідністю. Використовується в автомобілебудуванні, аерокосмічній галузі, промисловості.

Кобальт-хром. Стійкий до корозії біосумісний матеріал. Володіє високою міцністю, використовується в медицині та стоматології, а також у галузях з високими температурами.

Нікелеві сплави. Матеріал з прекрасною механічною міцністю і здатністю до зварювання. Стійкий до 3000°C. Використовується в авіації, енергетиці, виробництві інструментів та інших галузях.

3D-принтери можуть використовувати для друку широкий набір матеріалів. Згідно з технічним завданням, адитивна машина може бути налаштована для роботи практично з будь-якими іншими типами металів: вольфрамом, нікель-кадмієвими сплавами, залізом, міддю. Однак процес налаштування 3D-принтера на новий матеріал супроводжується багатьма труднощами і поки можливий тільки експериментально, що не завжди дозволяє використовувати повноту можливостей принтера.

Питання до лекції:

- 1) Основні технології тривимірного друку.
- 2) Особливості FDM друку.
- 3) Особливості SLA друку.
- 4) Особливості SLM друку.
- 5) Основні види полімерних матеріалів, що використовують для друку.
- 6) Основні металеві матеріали для друку.

Лекція 3 – Робота з 3D моделями

План лекції

3.1. Програмне забезпечення для тривимірного моделювання

3.2. 3D сканування

3.1. Програмне забезпечення для тривимірного моделювання

Обов'язковою умовою для початку тривимірного друку є наявність цифрової моделі планованого до друку виробу. Існує кілька способів отримання такої моделі:

- пошук в каталогах готових 3D-моделей, що містяться у великій кількості в мережі Інтернет;
- створення тривимірної моделі об'єкта за допомогою будь-якого 3D-редактора;
- сканування існуючого об'єкта.

Звичайно ж, найпростіше відсканувати вже існуючий об'єкт. Є два варіанти сканування об'єктів:

- сканування з використанням 3D-сканера та програмного забезпечення, що поставляється в комплекті з ним;
- використання фотоапарата і спеціальних програм захоплення трьохмерних моделей об'єктів за їхніми фотографіями (наприклад, Autodesk 123D Catch).

Якщо у вас є 3D-принтер, але немає 3D-сканера або програми для захоплення цифрових моделей реально існуючих об'єктів не забезпечує належної точності, або об'єкт, який потрібно надрукувати, поки що існує тільки в вашій уяві, варто скористатися спеціалізованою програмою для побудови тривимірних моделей - 3D-редактором. Навіть якщо ви скануєте реальний об'єкт за допомогою сканера, швидше за все вам захочеться його доопрацювати. Тому сьогодні 3D-редактор - необхідний інструмент для всіх, хто хоче друкувати унікальні і незвичайні моделі.

Найчастіше в якості 3D-редакторів застосовуються системи автоматизованого проектування або системи автоматизованого дизайну (скорочено САПР і CAD). Варто відзначити, що вітчизняний термін САПР є більш широким порівняно з англо-язичним терміном CAD. Так, до переліку САПР крім CAD-систем включаються CAE (computer aided engineering) - системи розрахунків і інженерного аналізу, CAM

(computer aided manufacturing) - системи проектування технологічних процесів виробництва, PDM (product data management) - системи координації та управління проектним даними, SCM (supply chain management) - системи управління ланцюжками поставок матеріалів і комплектуючих.

Існує безліч форматів файлів для моделей, але більшість 3D-принтерів використовує STL-формат. На жаль, не всі STL-файли можуть бути роздруковані. Модель, що підходить для друку, повинна мати «герметичну» форму із закритою монолітною поверхнею, без будь-яких розривів, яка чітко розділяє внутрішню і зовнішні частини моделі. Програми комп'ютерної графіки (такі, як Blender) зазвичай моделюють поверхню, не заботячись про «герметичності» моделі. Тому новачкам рекомендується на перших порах використовувати програмне забезпечення, спеціалізоване на створенні монолітних моделей, наприклад, 123 Design.

Розглянемо найбільш популярні сучасні програмні засоби тривимірного моделювання.

1. Autodesk 3Ds Max. Вкрай функціональна програма. З нею можна реалізувати будь-яку задумку, тому вона так популярна серед інженерів і дизайнерів. Зручно, що в мережі є безліч без-них уроків, з якими ви швидко навчитеся роботі з софтом. Правда, це програма поверхневого моделювання, т. Е. З її допомогою створюються об'єкти, не придатні для об'ємної друку.

2. SolidWorks. Своєрідна твердотільна альтернатива передущему софту. З її допомогою створюються вироби з самого початку запов-ненням внутрішнім простором. Програма також допоможе оцифрувати двомірні креслення.

3. Autodesk 123D Design. Ця безкоштовна програма з хорошим функціоналом і вкрай зручним інтерфейсом. Один з кращих тривимірних редакторів для початківців, так як програма дуже проста в освоєнні. Мінус - відсутність безкоштовних уроків.

4. Google SketchUp (рис. 3.1; табл. 32). Для створення 3D-моделей принтера необхідно отримати опис того, що оператор повинен отримати в результаті. Такі описи, як правило, створюються з використанням CAD-програм, що в даний час є до-вільно дорогим задоволенням. Але найчастіше для вирішення завдання цілком достатньо буде і безкоштовного програмного забезпечення Google SketchUp. У еє роботі спочатку використовується свій власний формат SKP. По-

тім за допомогою спеціального плагіна цей формат конвертується в STL.

Одним з незаперечних переваг програми SketchUp є- цілий набір запатентованих розробниками інструментів, які роблять роботу з програмою лёгкою і результативною.

5. Materialise Magics. Сутністю швидкого прототипування є якісні і швидко виготовлені деталі. Дана програма відстежує всі можливі проблеми і допомагає отримати результат. Її робота починається з етапу імпортування даних і закінчується на підготовці платформи. Materialise Magics - програма, яка орієнтована на роботу з сітковими оболочками і дозволяє в автоматичному режимі виправити різні помилки і дефекти в тілі STL-файлу. Такі помилки можуть з'явитися після збереження моделі в форматі STL. "Відвалився" частини поверхонь або звироднілі в лінії дрібні поверхні можуть стати справжньою проблемою. Але за допомогою даного ПЗ це легко "лікується".

Всі функції, які може виконувати Materialise Magics, можна згрупувати наступним чином:

- редагування STL-файлів (додавання або зменшення об'єма, створення отворів, з окремих об'єктів можна створити єдину модель, створення циліндрів, сфер, конусів, виявлення здвоєних поверхонь);
- відновлення STL-файлів (пропущені трикутники або дефектні файли, відновлення окремих раз'єдинених оболонок, створення нових трикутників, неподогнані частини моделі легко відновлюються).

6. On-line сервіс Tinkercad призначений для забезпечення віз можливості створення 3D-моделей безпосередньо в додатку, колись працює в браузері. Потім можна передавати його на друк. Ця розробка заснована на базі WebGL, що дає користувачеві можливість працювати з даним сервісом без необхідності установки додатків. Цілком достатньо браузера, який підтримує WebGL (Opera 12 Alpha, Firefox або Chrome). Моделі, створені за допомогою Tinkercad, можна завантажити на локальний диск або зберегти на сервері. Сервіс працює з i.Materialise, Shapeways і Ponoko (сервісами 3D друку), а також принтерами MakerBot. Tinkercad є безкоштовним при його некомерційному використанні.

7. Solidworks Standard. Дана програма має два основних напрямки роботи: гібридне параметричне моделювання та проектування виробів при специфічних умовах виготовлення.

Також дане програмне забезпечення надає можливість користуватися такими функціями, як:

- бібліотека проектування;
- експрес-аналіз;
- експертні системи;
- оформлення креслень в ЕСКД;
- анімація;
- трансляція даних.

8. OpenSCAD - програмне забезпечення, яке призначене для створення твердотільних 3D САПР-об'єктів. Ця програма - те, що потрібно, якщо необхідно створити 3D модель деталі машини. OpenSCAD працює шляхом читання файлу сценарію, в якому описаний об'єкт, а потім вона будує 3D модель. В результаті у користувача є повний контроль над процесом, можливість змінювати крок або в процесі моделювання, або при виробництві параметричних конструкцій.

OpenSCAD працює за двома основними методами:

- CSG - конструктивна суцільна геометрія,
- екструзія (видавлювання двовимірних контурів).

9. T-flex CAD 3D - ідеальне рішення для того, щоб автоматизувати конструкторсько-технологічну підготовку виробництва. Дана програма дає користувачеві надійні і потужні інструменти, а також забезпечує можливу інтеграцію з найкращими програмами в цій галузі.

Можливості для просторового моделювання:

- мас-інерційні характеристики тривимірних складальних конструкцій і для твердих тіл;
- візуалізація тривимірних об'єктів (шейдинг, рендеринг, реберні моделі і видалення невидимих ліній);
- можливість отримання точних креслень за розрізами і видам 3D-моделі;
- отримання фотореалістичних зображень;
- аналіз кривизни поверхонь;
- завдання матеріалів, установка джерел світла, накладення текстур, установка «камер».

Різноманіття різних функцій і можливостей для отримання потрібного результату дозволяє вибрати для роботи саме те програмне забезпечення, яке допоможе зробити проектування і друк на 3D-принтері швидкими, зручними і ефективними.

12. FreeCAD - параметричний тривимірний редактор, що дозволяє створювати об'ємні моделі і креслення їх проекцій. Буде до вподоби всім, хто хоче ознайомитися з тривимірним моделюванням і анімацією, перш ніж перейти до більш складним програмам. Це відносно проста система для тривимірного проектування, оснащена засобами моделювання руху. Крім завдань проектування, програма стане в нагоді для освоєння геометрії, кінематики, динаміки, принципів побудови механізмів і моделювання фізичних процесів.

Поширюється FreeCAD безкоштовно. Існують версії програми для різних операційних систем.

Крім класичних програм, багато дизайнерів користуються он-лайн-редакторами. Якщо у вас є 3D-принтер, програма для моделювання може бути використана і в інтерактивному режимі:

- 3DTin - зручний і стильний тривимірний редактор, який підтримує російську мову;
- 123D Design - функціональний тривимірний редактор;
- Thinkcard - редактор, який орієнтується в основному на дитячу аудиторію, поєднаний з галереєю тривимірних об'єктів

3.2 3D сканування

3D сканер - це пристрій, який аналізує фізичний об'єкт і, відштовхуючись від отриманої інформації, створює його 3D образ. Відскановані моделі далі можуть оброблятися засобами САПР, після чого використовуються для технологічних та інженерних розробок. Для створення 3D-моделі використовуються 3D-принтер і 3D-монітор. (рис. 3.1).

У створенні 3D-сканера брали участь відразу декілька технологій, різних між собою. Об'єкти, що піддаються оцифрування, також мають деякі обмеження. Труднощі можуть виникнути з дзеркальними, блискучими або прозорими поверхнями. Варто нагадати, що тривимірні дані важливі і в інших сферах діяльності. Наприклад, його використовують в розважальній індустрії: при створенні відеоігор, фільмів, малюнків. 3D-технології знаходять своє застосування в ортопедичній області та протезуванні, при розробці промислового дизайну, реверс-інжинірингу, створенні прототипів, а також в огляді та документальній звітності історичних об'єктів чи інших культурних артефактів.



Рисунок 3.1. – Приклад 3D сканеру.

Область функціональних можливостей 3D-сканера

Під час роботи 3D-сканер створює безліч точок згідно геометричним пропорціям сканування. Надалі ці точки відтворюють форму предмета, тобто реконструюють його на монітор. Якщо є відомості про кольорах, то вони визначають і колір майбутньої цифрової поверхні.

3D-сканер можна порівняти зі звичайною камерою: поле зору у них конусообразного типу, а інформація може бути отримана тільки з тих поверхонь, які були не затемнені. Відмінності між цими приладами все ж суттєві. Камера передає тільки зображення і колір предмета, а сканер, більш ретельно досліджуючи об'єкт, видає «картинку» з точною відстанню кожної точки до поверхні. Це дозволяє бачити зображення відразу в трьох площинах.

Для повноцінного моделювання предмета одного сканування, як правило, недостатньо. Потрібно відразу кілька таких операцій. Сканування об'єкта з різних напрямків необхідно для отримання більш повної інформації про його сторонах. Всі відскановані дані накладаються на загальну систему координат, де відбувається «прив'язка» і вирівнювання зображення. Вся процедура моделювання називається 3D конвеєром.

Для чіткого сканування об'єкта і сканування його форм існує кілька технологій. За класифікацією 3D-сканери діляться на два типи: контактні сканери і безконтактні. Останні, в свою чергу, діляться ще на два види - пасивні і активні.

Контактні 3D-сканери

Сканери цього виду вивчають об'єкт безпосередньо - через фізичне взаємодія. У момент дослідження предмет знаходиться на спеці-

альній повірочної плиті, відполірованою і відшліфованою до потрібної шорсткості поверхні. Якщо річ несиметрична або не може лежати рівно на одному місці, її утримують спеціальні затискачі (лещата).

Розрізняють три форми механізму 3D-сканера:

1. Каретка, оснащена вимірювальною рукою, яка чітко зафіксована в перпендикулярному напрямку. Дослідження по всіх осях відбувається в той момент, коли рука рухається уздовж каретки. Цей варіант ідеально підходить для вивчення плоских або звичайних опуклих поверхонь.

2. Прилад, оснащений високоточною кутовим датчиком і зафіксованими складовими. Кінець вимірювальної руки розташований так, що здатний відтворювати складні математичні обчислення. Даний механізм оптимальний для сканування внутрішнього простору об'єкта чи інших його заглиблень, що мають невелику вхідний отвір.

3. Одноразова використання двох вищевказаних механізму. Наприклад, маніпулятор поєднують з кареткою, що дозволяє збирати інформацію з великих об'єктів, що мають кілька внутрішніх відсіків або, що перекривають один одного, площині.

Координатно-вимірювальна машина (рис. 3.2.) - яскравий приклад 3D-сканера контактного типу. Вони є надточними і широко застосовуються на різних виробництвах. До істотного мінуса машини можна віднести необхідність обов'язкового зіткнення з досліджуваним об'єктом. Велика ймовірність пошкодження предмета або його деформації. Цей пункт дуже важливий, тим більше, якщо відбувається сканування крихкого або історичного об'єкта.



Рисунок 3.2 Координатно-вимірювальна машина.

Ще один недолік КІМ - це її повільність. Переміщення руки по встановленій меті може відбуватися дуже довго. У той час, як сучасні оптичні моделі, можуть працювати набагато швидше.

До цієї групи можна також віднести ручні вимірювальні прилади, які часто використовуються для 3D-моделювання анімаційних фільмів.

Безконтактні активні 3D-сканери

Для роботи активного сканера використовуються або звичайне світло, або певний вид випромінювання. Саме через яке проходить випромінювання або віддзеркалення світла, об'єкт піддається цифровому дослідженню. Трапляється застосування рентгенівських променів або ультразвуку.

Тріангуляційні сканери

Ці прилади використовують для зондування об'єкта лазерний промінь. (рис. 3.3). Сканер посилає промінь на предмет, а окремо зафіксована камера заносить дані про розташування зазначеної точки. У міру руху лазера по поверхні, поле зору камери фіксує точку в різних місцях. Тріангуляційними їх назвали тому, що лазерний випромінювач, кінцева точка і сама камера, спільно утворюють трикутник.

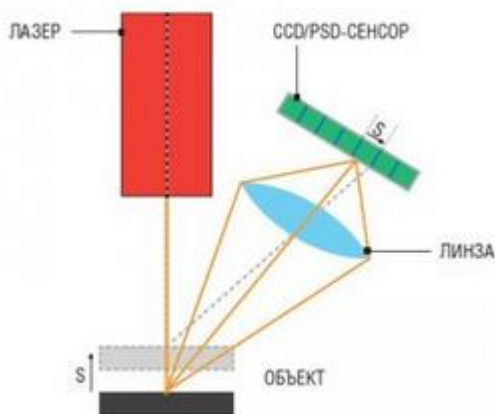


Рисунок 3.3 Схема роботи тріангуляційних сканерів.

Часопролітні 3D-сканери

Це активний вид сканера, який для дослідження об'єкта використовує лазерний промінь. В його основі лежить часопролітний далекомір. Саме він визначає відстань до поверхні, розраховуючи час, за

яке лазер пролетів туди і назад. В цьому випадку лазерний промінь використовується, як світловий імпульс, час відображення якого і вимірюється за допомогою детектора. Швидкість світла, як відомо, величина постійна, тому, знаючи, за який час промінь здійснює проліт туди-назад, можна без праці обчислити відстань від сканера до поверхні досліджуваного предмета.

Часопролітні 3D-пристрої сканування за одну секунду здатні виміряти до 100 000 точок.

Застосування 3D-сканерів

Технологію 3D-сканування простою не назвеш. Але, незважаючи на це, цей з кожним роком вона все активніше розвивається. Причин для цього маса, але можна виділити найвагоміші.

В першу чергу, таке обладнання необхідно всім промисловим підприємствам для більш дешевих і швидких розробок продукції.

Мережеві маркетингові технології і величезні можливості інтернету такі, що товар потребує грамотної реклами. 3D-сканер необхідний саме для моделювання рекламованої продукції і створення каталогів.

Реалістичними копіями реально існуючих предметів користуються зараз у багатьох сферах діяльності: медицині, кіно, фейшн-індустрії.

Виробництво 3D-сканерів давно перестало бути чимось з ряду фантастики. Зараз їх виробляють тисячі компаній: як акули індустрії, так і дебютанти даного ринку. Покоління 3D-сканерів здатне позитивно вплинути на індустрію в цілому. тим більше, що свою нішу тут знайдуть, як великі виробництва, так і інженери одинаки.

Питання до лекції:

- 1) Якими способами можливо створювати тривимірні моделі?
- 2) Які існують програми для 3D моделювання?
- 3) З чого складаються всі об'єкти?
- 4) Які існують онлайн програми для моделювання?
- 5) Що таке 3D сканер?
- 6) Принцип роботи 3D сканеру.
- 7) Види 3D сканерів.

Лекція 4 – Підготовка 3D моделей до друку. Налаштування друку.

План лекції

4.1. Керуюча програма або G-code

4.2. Основні параметри друку

4.3. Типові помилки під час друку

4.1. Керуюча програма або G-code

G-код – це мова програмування для верстатів з числовим програмним керуванням, яким є наш 3D принтер. Файл з G-кодом знаходиться в форматі TXT, де кожен рядок коду називається кадром. Існує базова частина мови, на основі якої різні компанії з виробництва верстатів створюють свої підмови і команди. Наприклад G-код Ultimaker і RepRap трохи відрізняються, і обидва вони дуже примітивні в порівнянні з G-кодами для промислових верстатів.

Формування G-коду відбувається автоматично програмою «слайсер» після завантаження в неї 3D моделі деталі. У слайсері задається технологія виготовлення деталі, на основі якої і формується G-код. Але в ході нашої магістерської роботи нам вдалося прописати G-код без використання будь-яких програм. Сам код вийшов досить примітивним, але був повністю відтворений на симуляторі 3D принтера. Ця маніпуляція дозволила нам самим задавати деякі базові значення процесу друку, які неможливо задати в програмі «слайсер». Наприклад змінювати показник «E» – кількість видавлюємого пластика в окремо взятій координаті. А також міняти швидкість друкуючої голівки, так само в окремо взятій координаті.

Зазвичай структура керуючого файлу виглядає так:

- а) коментарі з різною інформацією;
- б) підготовчі операції;
- в) робоча частина-виготовлення деталі;
- г) заключні операції.

Коментарі

Коментарі можна вставляти окремим кадром або після основних команд. Починаються зі знака «;» і необхідні для чіткого розуміння, які параметри 3D друку були задані в програмі «слайсер». Наприклад, скільки часу займе процес друку, дані про заповнення моделі пластиком, товщина стінок, діаметр пластика, що видавлюється.

Підготовчі операції.

У цьому проміжку G-коду, є можливість доповнити вихідний код своїми командами і напрацюваннями. Наприклад, перед початком операції прогнати пластик через сопло, після закінчення друку екструдер повернути в домашню позицію, опустити стіл, щоб побачити результат друку, витирання сопла перед друком, зміна пластика, при друці одним соплом.

Робоча частина – виготовлення деталі.

Робоча частина складається в основному з переміщень екструдера (голівки), за координатами і видавлювання пластика, а також саморегулювання температури столу, якщо він має нагрівальний елемент.

Заключні операції.

Цей етап полягає в тому, що в ньому вимикаються всі базові настройки принтера, задані на початку роботи.

4.2 Основні параметри друку

Програма слайсер - програмне забезпечення, що перетворює вашу 3D модель в програмний код, який буде зчитуватися 3D-принтером.

Слайсінг - процес перетворення моделі об'єкта в код.

Основні настройки процесу друку:

«Auto-Configure for Material»

Містить встановлені параметри для деяких популярних типів пластика таких як: ABS, PLA, Nylon. Сюди ж можна додати свої встановлені параметри для інших типів пластика.

«Auto-Configure for Print Quality»

В цьому розділі встановлені параметри для настройки якості друку. Програма передбачає 3 варіанти для вибору друку: Fast (забезпечує швидкий друк, але шкодить якості), Medium (компроміс між швидкістю друку і якістю), High (Висока якість друку при низькій швидкості). Як і у випадку з попередньою опцією сюди можна додати свої встановлені параметри.

«General Settings»

Змінює значення заливки моделі в процентах, за допомогою повзунка.

«Extruder»

Вкладка, де відбувається настройка екструдера. Діаметр сопла, який безпосередньо встановлений на принтері. «Nozzle Diameter», контроль подачі пластика «Extrusion Multiplier». Параметр «Extrusion Width» задає товщину доріжок пластика, який видавлює екструдер під час друку.

«Retraction» (ретракт)

Пункт, який вмикає або вимикає функції втягування філаменту під час холостих переміщень друкуючої головки або зміні шару, необхідний для зниження кількості дефектів (ниток, сміття) на зовнішній поверхні деталі. «Retraction Distance» – відстань, на яке втягується філамент під час холостого переміщення екструдера. Це індивідуальний параметр для кожного типу екструдера і типу використовуваного пластику, підбирається експериментальним шляхом. «Retraction Speed» – швидкість ретрата.

«Layer»

Параметр, який відповідає за настройку параметрів шару друку. Найважливіший параметр «Primary Layer Height», він визначає висоту кожного друкованого шару. «Top Solid Layers» і «Bottom Solid Layers» відповідають за кількість шарів кришки і основи моделі відповідно. «Outline / Perimeter Shells» – кількість периметрів. «Outline direction» відповідає за напрямок (за годинниковою стрілкою і проти). «Vase mode» – пустотіла деталь незалежно від налаштувань. Дану опцію корисно включати при друку пустотілих моделей, товщиною в один периметр, наприклад вази. «First Layer Settings» – це параметри першого шару, тут можна вибрати висоту, швидкість і ширину першого шару.

«Additions» (спідниці)

Потрібна для того, щоб екструдер роздрукувався, зменшує заготинання пластика. Після завершення друку, видаляють від готової деталі механічним способом.

«Skirt Layers»

Задає кількість друкованих шарів «спідниці». Якщо в якості параметра вказати більш ніж один шар, то під час друку можна створювати стіну навколо друкованого об'єкта, яка буде захищати модель від «протягів» запобігаючи деламінації при друку пластиками з великим коефіцієнтом усадки. «Skirt Offset from part» – дистанція на якій друкується «спідниця» від моделі. «Skirt Outlines» – кількість друкованих периметрів «спідниці».

«Use Raft»

Вмикає друк прямолінійної сітки філаменту, що розташовується під моделлю та призначена для підвищення рівня адгезії і використовуються в основному з пластиками, схильними до відліпання. Крім того рафти застосовуються в якості міцної основи для перших шарів моделі. Так само рафт буде корисний у тому випадку, якщо площа торкання моделі до столу занадто мала (незалежно від пластику).

«Infill» (заповнення)

Необхідна для настройки заповнення деталі, вибирається тип заповнення всередині деталі, а також кришки і підстави.

«General»

Включає в себе вибір типу заповнення «Internal fill Pattern». Програма на вибір надає 6 стандартних типів заповнення: лінійне, сіткове, трикутне, зигзаг, медова сота спрощена і медова сота. «External fill Pattern» – заповнення кришки і підстави, зазвичай лінійне або концентричне. Так само можна ввести такий параметр, як повне заповнення шару, через певну кількість надрукованих шарів. Це необхідно для того щоб надати деталі жорсткості і міцності, за це відповідає параметр «Include solid diaphragm every».

«Support» (підтримка)

Потрібна для всіляких нависаючих елементів конструкції деталі. Залежно від габаритів деталі вибирається відсоток заповнення підтримки, і кількість шарів підтримки, ширина підтримки.

«Temperature»

Параметр де відбувається настройка температури екструдера і нагрівального елементу столу.

«Cooling» (охолодження)

Ключовий пункт для якісного друку так, як якщо пластик не буде встигати охолоджуватися, то печатка ніколи не буде відповідати потрібним параметрам. Як і в закладці «Temperature», тут можна задавати охолодження пошарово. Параметр «Blip fan to full power ...» включає / вимикає обдув деталі на повну потужність при переміщенні при холостому ході.

«Speeds» (швидкість)

Цей параметр безпосередньо впливає на час виготовлення деталі, оптимальні поєднання заповнення і швидкості дасть можливість створювати швидко і якісно. «Default Printing Speed», параметр відповідає за швидкість друку внутрішніх периметрів, внутрішнього заповнення та інших ділянок моделі. «Outline Underspeed» – швидкість друку зовнішнього периметра у відсотках від швидкості друку, яка стандартно

задана. Більш низька швидкість друку зовнішнього периметра дозволяє поліпшити якість і зовнішній вигляд моделі. «Solid Infill Underspeed» – швидкість друку суцільного заповнення кришки і підстави. «Support Structure Underspeed» – швидкість друку підтримок. «X / Y Axis Movement Speed» – швидкість холостого переміщення каретки принтера з соплом по осях X і Y.

«G-Code»

Параметр, який містить команди для зміни параметрів генерації слайсера G-коду, установка зсувів, змін типу 3D-принтера, розміру області друку, зміни інформації для слайсера про тип прошивки принтера.

Після налагодження всіх перерахованих вище закладок, програма генерує G-Code, який сприймає принтер і починає роботу з відтворення 3D моделі.

4.3 Типові помилки під час друку

Проблеми та дефекти виникають в результаті двох чинників, неправильне налаштування друку і невіправні дефекти самого принтера, найчастіше дефект екструдера. Все це впливає на якість друкувати моделі, її цілісності і механічні властивості.

Немає екструдювання при початку друку.

Ця проблема досить часто виникає у користувачів нових 3D принтерів (рис. 4.1). Екструдер не починає з початком виконання завдання продавлювати пластик. Є три причини чому це відбувається:

а) Екструдер не був підготовлений (заповнений) перед початком друку.

У більшості екструдерів є погана звичка протікати пластиком, коли вони не працюють, але при цьому перебувають у високій температурі. Гарячий пластик усередині сопла просочується через хот-енд, в результаті чого всередині сопла виникають порожнечі, звідки пластик витік. Протікання в стані спокою може виникнути перед початком друку, коли йде попередній прогрів екструдера, а також в кінці друку, коли екструдер починає поступово остигати. Якщо частина пластика з екструдера витекла, при наступному екструдюванні, швидше за все, знадобиться кілька секунд, перш ніж пластик знову почне виходити з сопла. Стандартний прийом усунення проблеми полягає в тому, щоб надрукувати так звану «спідницю» (skirt).

б) Сопло починає працювати дуже близько до платформи.

Якщо сопло знаходиться дуже близько до платформи друку, простору для виходу з екструдера пластика може виявитися недостатньо. Отвір на кінці сопла по суті виявляється заблокованим, так що пластику нікуди дітися. На такого роду проблему вказує ситуація, коли пластик не екструдується на перший, а то і на другий шар, а десь з третього або четвертого, у міру того як платформа опускається по вертикальній осі, все нормалізується. Проблема вирішується налаштуванням G-Code, який знаходиться під однойменною вкладкою програми 3D-друку.

в) Екструдер засмічений.

Це може статися тоді, коли в сопло потрапляє всякого роду сміття, коли гарячий пластик занадто довго перебував всередині екструдера, або якщо екструдер недостатньо охолоджується і філамент починає розм'якшуватися не там, де слід. Прочистити сопло можна механічно.

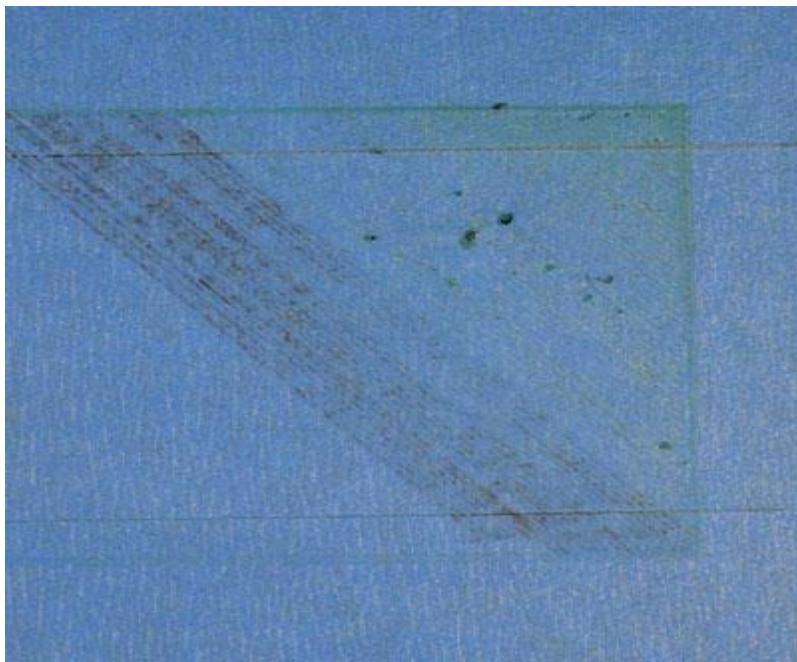


Рисунок 4.1 – Приклад проблеми відсутності екструдуювання на початку друку.

Термопластик не прилипає до платформи 3D- принтера.

Дуже важливо, щоб перший шар роздруківки надійно прикріпився до платформи принтера так, щоб всі інші шари використовували його як фундамент (рис. 4.2). Якщо перший шар до платформи не прилип, в подальшому виникнуть проблеми.

а) Платформа друку не правильно відрегульована.

Багато принтерів дозволяють підлаштовувати положення платформи друку за допомогою декількох гвинтів або ручок. Якщо є проблеми з прилипанням першого шару, найперше, що треба зробити, переконатися, що платформа друку рівна і не перекошена. Якщо спостерігається перекіс, одна зі сторін платформи може виявитися занадто близько до сопла, тоді як інша буде занадто далеко.

б) Сопло починає працювати занадто далеко від платформи.

Для того щоб друкований об'єкт краще тримався на платформі, необхідно філамент злегка в неї вмінався. Це можна налаштувати безпосередньо на принтері, але, як правило, набагато простіше і точніше виходить через програму G-Code.

в) Перший шар роздруковується занадто швидко.

Якщо друкувати перший шар занадто швидко, пластик може не встигнути приклеїтися до платформи. З цієї причини, виявляється дуже корисним друкувати перший шар на більш низькій швидкості.

г) Налаштування температури або охолодження.

Буває так що, спочатку шар наче й прилипає до платформи, але потім, остигаючи, починає відставати, причина саме в налаштуваннях температури і охолодження. Функція підігріву платформи, може допомогти боротися з цією проблемою.



Рисунок 4.2. – Приклад проблеми, коли перші шари не прилипають до платформи 3D-принтера.

Пластика видавлюється недостатньо.

У програмі є настройка в якій вказується, скільки пластика 3D-принтер повинен видавити (рис. 4.3). Однак, оскільки сам 3D-принтер не дає ніяких сигналів щодо того, скільки пластика він видавив насправді, може статися, що філамента було видавлено менше, ніж це передбачує програма (це називається недоекструдкуванням). Якщо виникла така проблема, можуть з'явитися щілини між сусідніми шарами. Існує кілька причин цієї проблеми:

а) Невірний діаметр нитки філамента.

Найбільш поширені значення діаметра нитки філамента - 1,75 мм і 2,85 мм. На багатьох котушках пластика вказується точний діаметр ниток. Потрібно переконатися чи правильно вказано діаметр в програмі друку.

б) Маленький коефіцієнт екструдкування.

Якщо діаметр філамента правильний, а пресування і раніше недостатнє, потрібно підлаштувати коефіцієнт екструдкування. Цей параметр (показник витрат), дозволяє легко змінювати кількість екструдіруемого пластика. Для PLA коефіцієнт екструдкування зазвичай становляють 0.9, для ABS – ближче до 1.

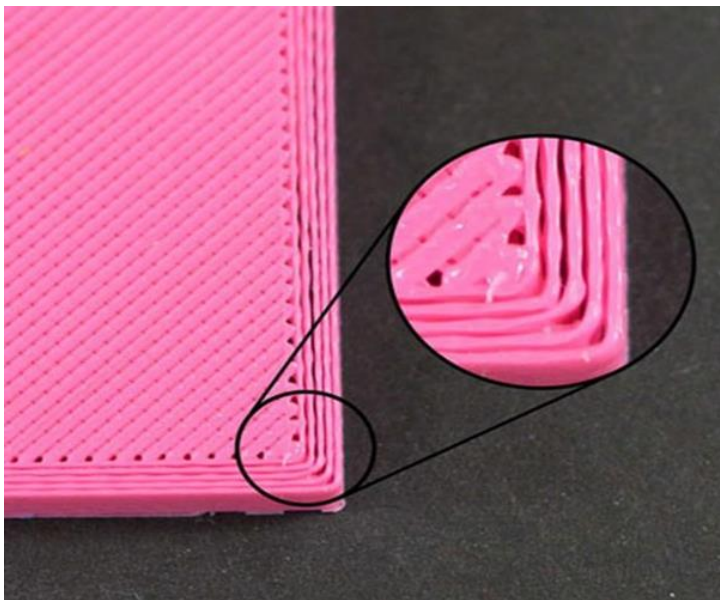


Рисунок 4.3 – Приклад проблеми коли пластика видавлюється недостатньо

Пластика екструдується занадто багато.

Для вирішення цієї проблеми треба звернути увагу на декілька параметрів в установках програми друку (рис. 4.4). Вище написано про те, що робити при недостатній екструзії. Хоча це інструкції на випадок недоекструджування, необхідно налаштовувати ті ж самі параметри, тільки в інший бік.

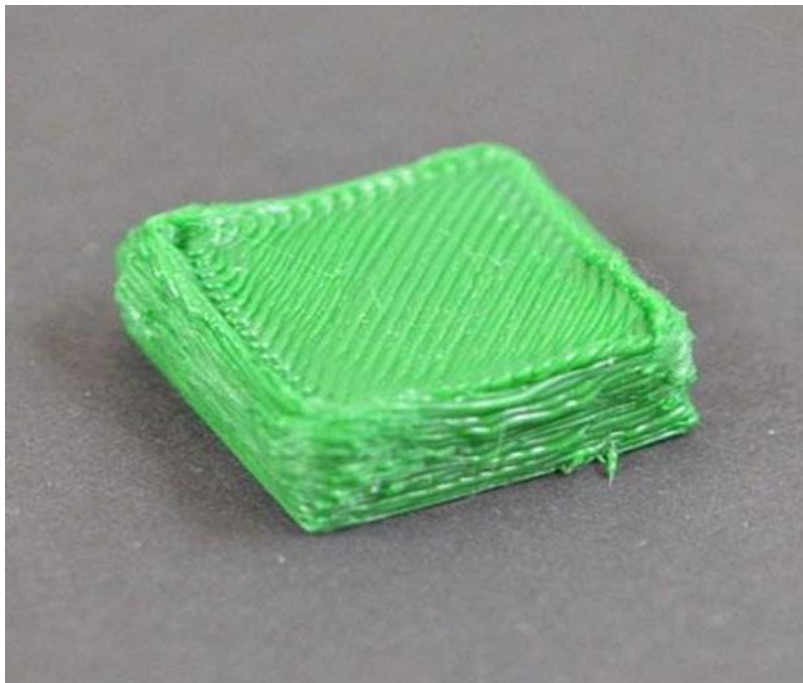


Рисунок 4.4.– Приклад проблеми, коли пластика видавлюється занадто багато

Павутина

Павутина (рис. 4.5), з'являються тоді, коли при друку 3D-моделі утворюються тонкі, небажані нитки пластика. Як правило, це пов'язано з тим, що такі нитки витягуються з сопла, коли екструдер переміщається на нову позицію. Наладка, яка бореться з описуваною проблемою, називається «Retraction» (втягування). Найважливіша настройка у втягування – це дистанція, вона визначає, скільки пластика втягується назад в сопло. Зазвичай, чим більше пластику втягується, тим менш імовірно, що сопло буде протікати під час переміщення. Наступний

параметр втягування, який потрібно перевірити – швидкість, на якій филамент втягується в сопло. Якщо вона занадто мала, пластик буде повільно стікати вниз і може почати капати ще до того, як екструдер завершив переміщення на нову позицію. Якщо вона занадто висока, филамент може відірватися від гарячого пластику в соплі. Золота середина зазвичай знаходиться десь між 1200 і 6000 мм / хв (20-100 мм / с), тоді втягування проходить найкращим чином. Якщо з настройками параметрів втягування все добре, другою причиною виникнення павутини є надлишкова температура екструдера. PLA особливо чутливий до температури. Якщо вона занадто висока, пластик всередині сопла стає надмірно рідким і йому набагато легше витікати через сопло. Якщо ж температура занадто низька, пластик буде занадто твердим і його буде важко продавити через хот-енд.

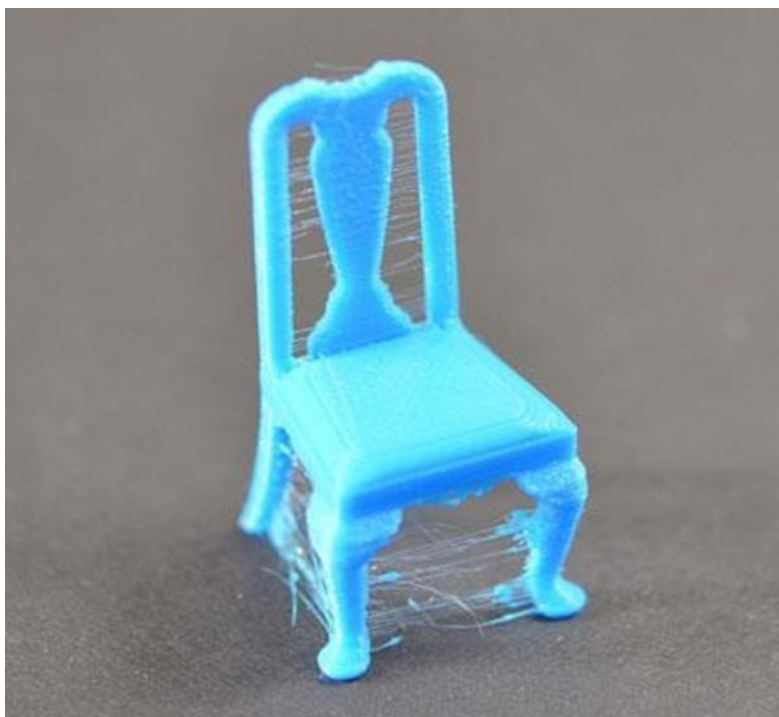


Рисунок 4.5 – Приклад проблеми виникнення павутини

Розщеплення шарів

Проблема друку, коли шари розділяються або розщеплюються (рис. 4.6). Щоб надрукований об'єкт був досить міцним і надійним, потрібно зробити так, щоб кожен шар був належним чином пов'язаний з попереднім. Для цього потрібно ретельно контролювати такі параметри:

а) Висоту шару:

б) Температуру друку.

У першому випадку, для уникнення розщеплення, висота шару повинна бути на 20% меншим, ніж діаметр сопла. Наприклад, якщо сопло 0,4 мм, висота шару повинна бути 0,32 мм – в іншому випадку шари пластика не будуть належним чином прилипати один до одного.

Гарячий пластик завжди краще з'єднується, ніж холодний. Якщо зчеплення шарів недостатня, а висота шару задана правильно, можливо филаментам для з'єднання шарів потрібна більша температура. Наприклад, якщо друкувати пластиком ABS при 190 ° C, швидше за все шари друкованого об'єкта будуть занадто легко розщеплюються. Це відбувається тому, що для друку ABS потрібна температура 220 – 235 °C, тоді шари склеюються надійно.



Рисунок 4.6 – Приклад проблеми, коли шари розділяються і розщеплюються

Погане заповнення.

Заповнення 3D-моделі грає дуже важливу роль в плані її міцності (рис. 4.7). Воно відповідає за те, щоб скріплювати зовнішню оболонку 3D-об'єкта і підтримувати ті його площини, які друкуються поверх нього. Цю проблему можна усунути без особливих зусиль, просто змінивши тип заповнення деталі в налаштуванні програми «слайсер» або збільште ширину екструзування наповнювача, цей параметр так само є в програмі налаштувань друку.

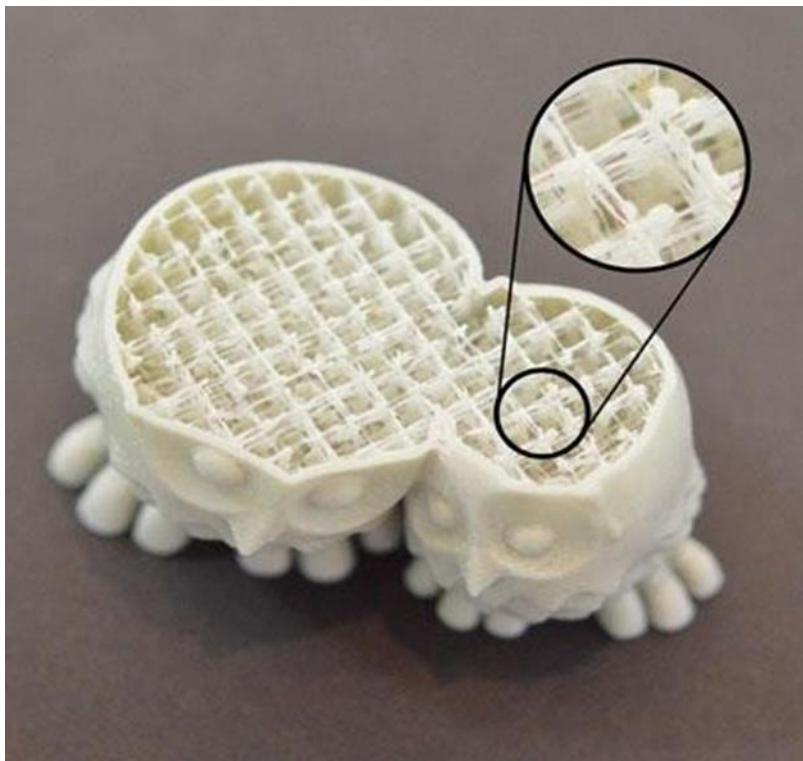


Рисунок 4.7 – Приклад поганого заповнення моделі

Щілини між заповненням і контуром.

Кожен шар друкованого 3D-об'єкта створюється в результаті комбінації зовнішнього периметра і заповнення (рис. 4.8). Периметри шарів слідують контуру моделі, створюючи міцну поверхню. Заповнення, яке друкується всередині цих периметрів, становить іншу частину шару. Воно зазвичай виповнюється у вигляді шаблонів, які вихо-

дять в результаті зворотно-поступального руху голівки. Через цю особливість побудови можливі щілини між контуром і заповненням деталі.

Існує дві причини виникнення цієї проблеми друку.

Занадто велика швидкість. Заповнення моделі зазвичай друкується значно швидше, ніж контури. І може виявитися що, часу на те, щоб воно зчепилося з периметром недостатнім. Знизивши швидкість заповнення, можливо, вирішить цю проблему.

Недостатнє перекриття контуру. У деяких програмах управління 3D-печаткою є параметр, який дозволяє регулювати міцність зчеплення зовнішнього контуру і наповнення. Наприклад, якщо вказано 20% перекриття контуру, це означає, що програма передасть на принтер інструкції, за якими заповнення буде на 20% перекривати внутрішню частину периметра. Якщо збільшити його до 30%, можливо проблема зникне.

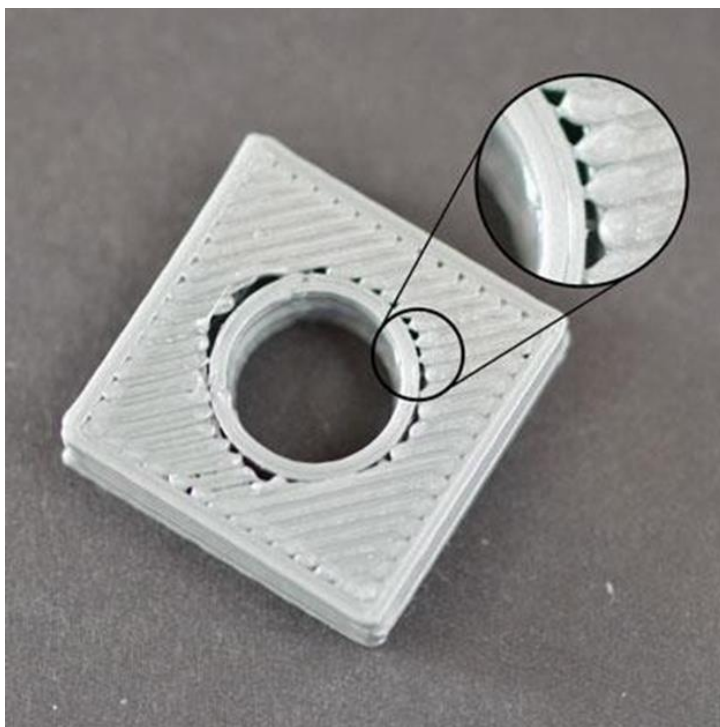


Рисунок 4.8 – Приклад щілини між заповненням і контуром.

Загинання або нерівні кути і краї.

Через якийсь час буває, що деякі частини роздруківки починають загинатися, проблема зазвичай в перегріві (рис. 4.9). Пластик екструдується при дуже високій температурі і якщо він швидко не охолоджується, з часом він може змінити форму. Цю проблему можна уникнути, якщо швидко холодітиме кожен шар у пластика не залишалось часу на деформацію до повного застигання

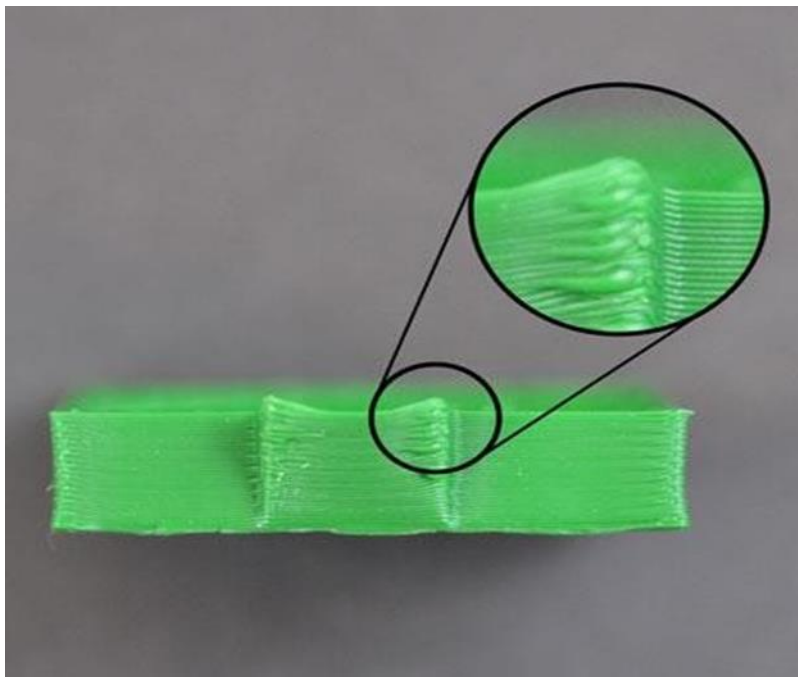


Рисунок 4.9 – Приклад загинання або нерівних кутів і країв.

Питання до лекції

- 1) Що таке G-code?
- 2) Призначення слайсерів.
- 3) Основні налаштування друку.
- 4) Види типових дефектів та способи їх виправлення.

Лекція 5 Використання 3D друку в сучасній медицині.

Сучасні способи візуалізації, такі як комп'ютерна томографія (КТ), дозволяють обробляти специфічну анатомію пацієнта та керувати нею, щоб генерувати файл, який можна прочитати та надіслати для друку на 3D-принтер. Після надсилання на 3D-принтер об'єкт може бути надрукований з різних матеріалів, наприклад пластмаси, металів та кераміки.

Наразі в медицині для моделювання найбільш ефективно використовувати 3D-сканування, для отримання файлів тесселяції. Адже, проектування специфічної анатомії пацієнта є дуже складним і робить ручне створення моделі занадто довгим і має високу вірогідність помилок та неточностей. Тому для отримання файлу сканування анатомії пацієнта частіше за все використовують автоматичні системи сканування, такі як КТ.

Якщо ж провести таке сканування неможливо (або отриманий результат сканування потребує певного редагування), то можливе створення віртуальної моделі за допомогою спеціальної програми 3D-моделювання. Цей етап може зайняти від декількох хвилин до декількох днів в залежності від складності створюваного об'єкта.

Далі готова модель конвертується в STL-формат. Вказується ступінь деталізації, щільність нарощуваних шарів під час друку, адже від цього залежить якість готового продукту.

Процес друку живих тканин називається **біодруком**, який є аналогічним до відомої технології пошарового формування об'єктів з металу або полімерів на основі комп'ютерної моделі, але в якості друкуючого матеріалу використовуються живі клітини, вирощені в біореакторі.

Ще на ранніх стадіях технології біодруку мали потенційне використання в регенеративній медицині для створення різних трансплантаційних тканин, включаючи шкіру, хрящі та кістки. Однак сучасні методи біодруку все ще мають технічні труднощі в осадженні клітин високої роздільної здатності, контрольованого розподілу, васкуляризації та іннервації в складних 3D тканинах. Хоча до біодруку ще не сформувався єдиний підхід, він залишається універсальним методом виготовлення живих тканин, який може вирішити дефіцит органів. Також, він забезпечує високопропускний метод для розташування клітин на шкалі мікрометра для широких застосування в галузі біомедичної інженерії.

Наукових відомостей та досліджень з використанням 3D-друкованих моделей чи пристроїв для медичних цілей наразі мало. Досі застосування 3D-друку в медицині були зосереджені переважно на анатомічному моделюванні та хірургічному плануванні в протезно-реконструктивній хірургії. Випадки 3D- надрукованих черепних та нижньощелепних реконструкцій є унікальними, але вони ще не отримали широкого застосування, скільки триває процес удосконалення технології, а саме виготовлення та імплантації в людський організм. Судинні програми 3D-друку відстають від ортопедичних та кардіохірургічних аналогів як з анатомічного моделювання, так і з точки зору імплантації. Теоретично судинні пристрої, такі як стенти, можуть бути надруковані 3D, але імплантація повністю 3D-друкованого судинного пристрою ще не реалізована.

Якщо розглянути детальніше полімерні стенти для малоінвазивного застосування серцевого клапана, то вони повинні відповідати набору критеріїв, таких як достатня радіальна сила, щоб зберегти їх положення після розгортання та обмежена пластична деформація для забезпечення початкового функціонування клапана до інтеграції з тілом пацієнта. Наразі дослідники концептуально мають на меті створити на основі обчислювального методу саморозширюваний полімерний стент з потенціалом біодеструкції. Їх мета - досягти таких самих механічних показників та імплантаційної здатності, як нитиновий стент, який використовується в даний час для доклінічних досліджень імплантації транскатетерних серцевих клапанів в овець. Для конвертації обчислювальних моделювань у прототипи фізичного полімеру технологію моделювання плавленого осадження поєднували з наявним у продажу гнучким термопластичним кополіестерним еластомером. Кополіестери є цікавою категорією біоабсорбуючих полімерів, оскільки складні ефіри сприйнятливі до гідролізу. Еластомери механічно характеризуються випробуванням на розтяг і використовуються як вхідні дані для обчислювальної моделі. На основі цього обчислювано розробленого дизайну, 3D-друковані стенти піддаються випробуванням подрібненням та обтиском для механічної перевірки. У кінцевому підсумку проводиться прискорене випробування на деградацію полімерних стентів, щоб оцінити біорозкладаність еластомерів шляхом гідролізу. Деградація в часі визначалася за допомогою механічних випробувань на розтяг, диференціальної скануючої калориметрії та скануючої електронної мікроскопії.

Щодо надрукованих протезів кісток, то вони мають ряд переваг над протезами, які створені іншим шляхом. Головною перевагою є швидкість їх виготовлення. Коли лікування пацієнта вимагає швидкого створення протезу, цей фактор може бути вирішальним для його здоров'я чи навіть життя. Також, однією з важливих переваг є маса протезів, яка при друкуванні може піддаватись змінам в ту чи іншу сторону за рахунок регулювання пористості поверхні та матеріалу виготовлення наприклад, створюються протези з титановою серцевиною, що дозволяє отримати дуже високу міцність при невисокій масі самого протезу. В свою чергу, пористість поверхні протезу сприяє більш швидкому обростанню живими тканинами, що скорочує період одужання пацієнта.

Наряду з очевидними перевагами методики 3D-друку, фахівці відмічають і недоліки, такі як високі затрати часу на створення тривимірних моделей(для передопераційного планування), що обмежує широке використання методики в лікарнях. Але оскільки технологія має широкі перспективи і стрімко розвивається, даний недолік з часом може бути повністю вичерпано. Також, варто відмітити високу вартість обладнання, велику кількість споживаної ним електроенергії та цінність добавок, які використовуються в процесі друку, що також сповільнює широке поширення методики у більшості країн світу.

Питання до лекції

- 1) В яких медичних сферах можливо використовувати 3D друк?
- 2) Що таке біодрук?
- 3) Які матеріали можливо використовувати для медичних цілей.?
- 4) Які перспективи розвитку 3D друку в медицині?

Рекомендована література

1. 3D Printing: Understanding Additive Manufacturing, Andreas Gebhardt, Julia Kessler, Laura Thurn, Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2018. – 204 p.
2. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection, Rafiq Noorani, CRC Press, 2017. – 271 p.
3. Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies, David Ian Wimpenny, Pulak M. Pandey, L. Jyothish Kumar, Springer, 2016. – 186 p.
4. Mandrycky c. Et al. 3D bioprinting for engineering complex tissues //biotechnology advances. – 2016. – т. 34. – №. 4. – с. 422-434.

Допоміжні

5. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».– 2015.– 220 с.
6. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.
7. Каменев, С.В. Технологии аддитивного производства / С.В. Каменев, К.С. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – 145 с.
8. Мастенко И. В., Стельмах Н. В. Влияние плотности заполнения 3D- печатных моделей на их прочностные характеристики. – 2019
9. Мастенко И. В., Стельмах Н. В. Поліпшення механічних властивостей друкованих деталей. – 2018.
10. Griffey, Jason. 3-D The types of 3-D printing / Library Technology Reports, 2017.

Інформаційні ресурси

Довідкові матеріали та новини індустрії на сайтах:

- <https://mplast.by/tag/3dp/>
- <https://3dprinter.ua/blog/>
- <https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/>
- <https://mplast.by/literatura/3d-pechat/>

Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»

Developed in the frame of project «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees» (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP)