

3D швидке прототипування моделей

Конспект лекцій. Хричиков В.Є., Меньяло О.В.

1 Історія виникнення, переваги і недоліки 3D технологій

Швидке прототипування (Rapid prototyping) – спосіб отримання виробів, технологічною особливістю якого є послідовне «додавання» (additive) матеріалу, на противагу «видалення» (subtractive) матеріалу при звичайних технологіях (фрезерування, електроерозійна обробка і т. п.) або зміни форми заготовки (кування, штампування, пресування).

Швидке прототипування (3D) найбільш широко використовують для швидкого створення дослідних зразків, моделі системи що працює, перевірки можливості її реалізації для демонстрації замовнику або готових до експлуатації деталей.



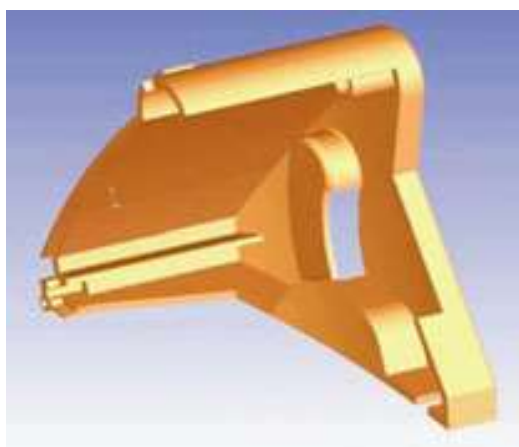
Рис. 1.1 Пластикові стереолітографічні моделі робочих коліс для водометних двигунів, виготовлені за ним воскові моделі і готова металева виливка [1]

Технологія швидкого прототипування почала розвиватися з початку 80-х років ХХ століття і являє собою пошаровий синтез, пошарове "вирощування" моделі або готового виробу безпосередньо за даними комп'ютерної тривимірної моделі (рис. 1.2), яку експортують в стандартному для швидкого прототипування форматі STL. Технологію використовують в машинобудуванні, електронної та електротехнічної промисловості, поліграфії, медицині, ювелірному і художньому виробництві, архітектурному моделюванні і т.п.

Процес Rapid Prototyping починається зі створення геометричних даних у вигляді 3D-масиву в системі автоматичного проектування, або в 2D-зрізах з

3D ПРОТИПУВАННЯ

використанням скануючого пристрою [2]. Геометрична модель дійсна, якщо для кожної точки в тривимірному просторі комп'ютер може однозначно визначити, чи лежить ця точка всередині, на або поза граничної поверхні моделі. Щоб отримати необхідні траєкторії управління рухом механізмом установки швидкого прототипування, підготовлену геометричну модель зазвичай нарізають на шари, створюючи «2D-креслення», імітуючи зворотний процес фізичної послідовної побудови шару в шар. Від товщини шару залежить шорсткість поверхні виробу і тривалість роботи установки швидкого прототипування. Тому важливо встановити область використання виробу: якщо при виробництві металевих стоматологічних протезів та ювелірних виливків необхідна висока точність, то для оцінки естетичних і ергономічних аспектів нової дизайнерської продукції допустима менша точність і тривалість отримання кінцевого результату.



а



б

Рис. 1.2

CAD комп'ютерної тривимірної моделі (а) і функціональна модель, отримана технологією швидкого прототипування (б)

Переваги процесу:

- Скорочення тривалості підготовки виробництва нової продукції в 2-4 рази і зменшення помилок при серійному виробництві оснащення.
- Зниження собівартості продукції, особливо в дрібносерійному або одиничному виробництві в 2-3 рази.
- Значне підвищення гнучкості та конкурентоспроможності виробництва, мінімізація ручної праці.
- Наскрізне використання комп'ютерних технологій, інтеграція з системами САПР і можливість оперативного корегування технології виробництва виробів.

Недоліки процесу:

- Відносно висока ціна установок швидкого прототипування і витратних матеріалів (проте ціни поступово знижуються).
- Відносно низька міцність і зносостійкість моделей.
- Час виготовлення виробів збільшується при підвищенні чистоти поверхні і складної конфігурації з виступаючими частинами.

Для вирішення завдань прототипування використовують різне обладнання та технологічні процеси формоутворення.

2 Основні види прототипування на RP-машинах

2.1 SLA і STL - Stereo Lithography Apparatus, стереолітографія

Технологія вперше була запатентована Чаком Халлом в 1984р. і заснована на фотоініціації рідкої світлочутливої смоли. Основою в даному процесі є ультрафіолетовий лазер (або ртутні лампи), який послідовно переводить поперечним перерізом моделі на поверхню ємності з фотополімеризуючою композицією (ФПК). Рідка смола твердне тільки в тому місці, де пройшов лазерний промінь (рис. 2.1). Потім новий рідкий шар наноситься на затверділий шар, і новий контур намічається лазером. Процес повторюється до завершення побудови моделі.

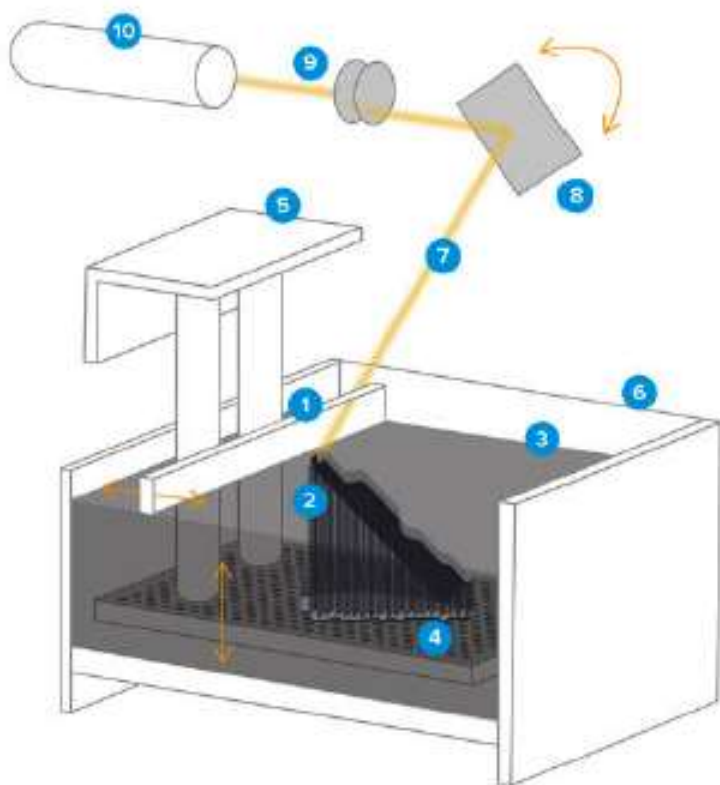


Рис. 2.1 *Схема SLA установки, розроблена фірмою 3D Systems:*

- 1 - лопатка;*
- 2 – деталь, що друкується;*
- 3 – композиція, що фотополімеризується;*
- 4 - робоча платформа;*
- 5 - підйомник;*
- 6 - резервуар з полімером;*
- 7 - лазерний промінь;*
- 8 - дзеркала сканування;*
- 9 - лінзи;*
- 10 - УФ лазер*

Схема процесу наступна:

- 3D проектування деталі або її прототипу в будь-який CAD-системі.
- Комп'ютерна оптимізація технологічних параметрів.
- Пошаровий розподіл 3D моделі на сукупність 2D моделей. Набір плоских «картинок» -сеченій моделі «складають» в стопку, а точність виробу визначається, в основному, товщиною шару.
 - Розробка керуючих програм для лазера і матеріалізація твердий про котельної моделі.

Стереолітографія - найбільш поширена RP-технологія. Вона охоплює практично всі галузі матеріального виробництва від медицини до важкого

3D ПРОТИПУВАННЯ

машинобудування. SLA-технологія дозволяє швидко і точно побудувати модель виробу практично будь-яких розмірів (рис. 2.2). Якість поверхонь виробу залежить від ефективного діаметру променя лазера (0,1-0,3 мм) і товщини шару, який вирощують (0,025 - 0,2 мм). Однак для побудови перетинів і наборів ліній заповнення моделі необхідний спеціалізований пакет програм для максимально автоматизованого виконання цих операцій. Ці операції реалізує пакет MAGIC фірми 3D Systems побудови моделі поверхні в універсальному STL-форматі.



Рис. 2.2 Загальний вигляд SLA машини Viper Pro (3D Systems) і отриманий виріб

Основною проблемою тут є якість підготовки математичної моделі об'єкта. Швидке прототипування об'єкта найбільшою мірою потрібно на початкових стадіях проектування, коли якості математичної моделі вистачає для виведення на екран тонової картинки виробу. Часто така модель містить зайві шматки, «зморшки» в поверхнях або «дірки» в оболонках. При перекладі в STL-формат помилки моделі не зникають, але розроблені алгоритми виправлення помилок [3].

У SLA-технології вступаючи частини можуть згинатися під власною вагою через те, що міцність смоли відразу після полімеризації недостатня, так що при проектуванні процесу необхідне зведення підтримуючих опор, які видаляють після завершення формоутворення.

У машинобудуванні стереолітографія також отримала широке поширення для виготовлення литих деталей. Так звана технологія «Quick Cast» дозволяє отримувати моделі з стільниковою внутрішньою структурою. В цьому випадку маса моделі буде значно менше, ніж при монолітному виконанні, тому при випалюванні моделі утворюється менше золи, форма виходить чистіше, а виливок якісніше.

SLA-технологія дає найкращий результат при виготовленні майстер-моделі для подальшого виготовлення силіконових форм і лиття в них полімерних смол, а також ювелірних майстер-моделей. Майстер-модель - металева подмодель для лиття металевих моделей (рис. 2.3). Так, дерев'яна модель для виготовлення майстер-моделі повинна мати потрібний припуск на усадку сплаву, прийнятого для майстер-моделі, враховуючи усадку сплаву металевої моделі і усадку сплаву виливки. Провідними з виробництва SLA-машин є компанії США, Китаю, Німеччини.



Рис. 2.3 Приклади функціональних виробів і мастер-моделі

2.2 NextFactory

NextFactory - фірма-виробник прототіпуючих SLA-машин офісного класу. З 3D-принтерами їх об'єднує принцип приводу лазерної головки - переміщення по осях X-Y, як у друкарській головці принтера, а також розміри, ціна і призначення, як офісної прототіпуючої машини. У цих машинах використовується твердотільний лазер.

Модель вирощують «догори ногами», на відміну від класичних машин 3D Systems, тому ванна з рідким фотополімером займає невеликий об'єм і обладнання більш компактно (рис. 2.4). Оптимальний варіант для споживачів, яким регулярно потрібні моделі середніх розмірів у відносно невеликих обсягах.

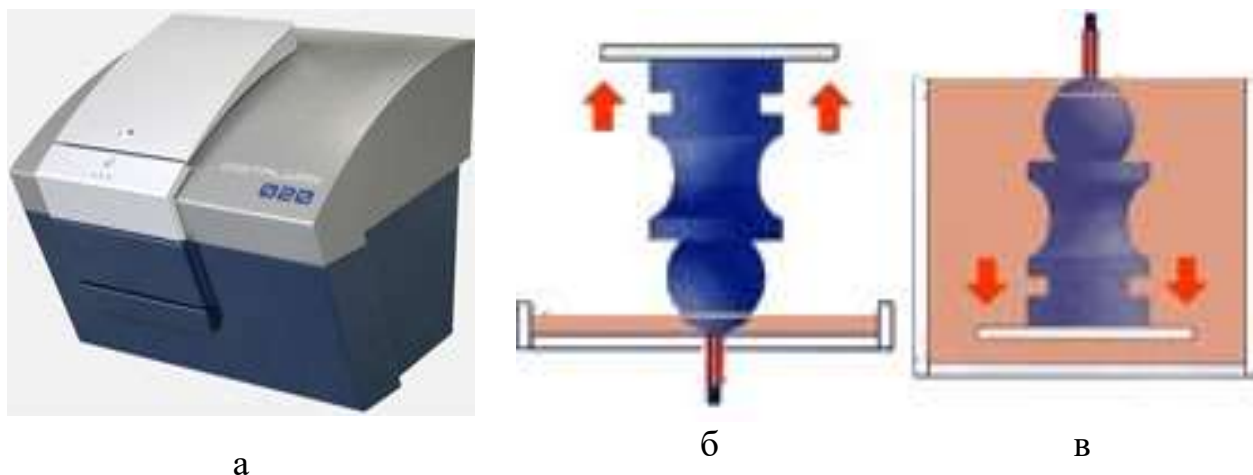


Рис. 2.4 RP-машина Digitalwax 020 фірми NextFactory (а), схема (б) вирощування моделі «догори ногами» і за класичною технологією фірми 3D Systems

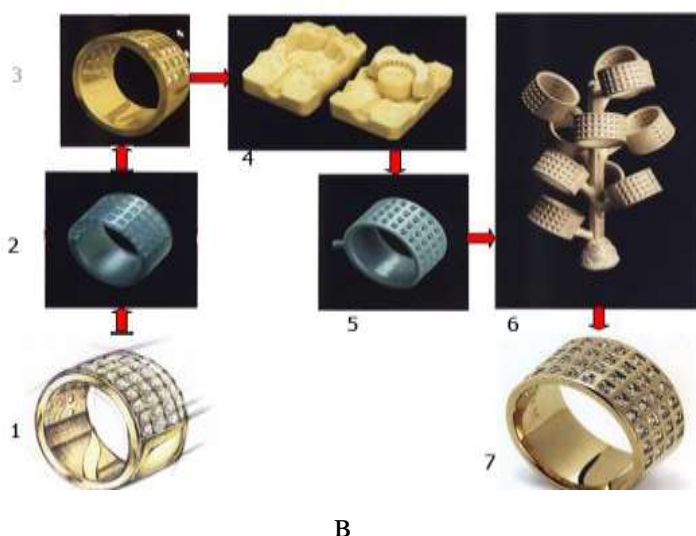
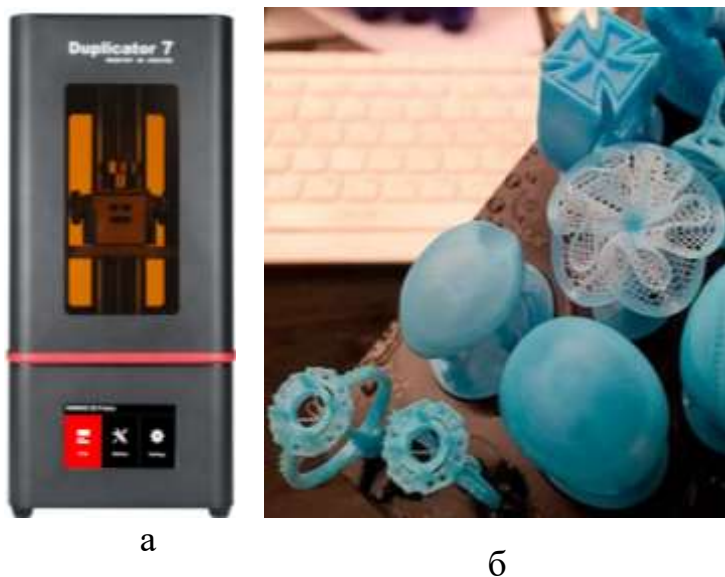


Рис. 2.5 RP SLA WANHAO DUPLICATOR 7 (а) кафедри ливарного виробництва (ауд. А507), приклади моделей, що виконані (б) і основні етапи виробництва ювелірного лиття у лабораторії кафедри (ауд. А511)

Якість моделей RP фірми NextFactory висока для стереолітографія - чеських машин, а модифікація Digitalwax 010 забезпечує виробництво ювелірних виробів. Кафедра ливарного виробництва НМетАУ використовує в навчальному процесі аналогічний 3D принтер з КНР SLA WANHAO DUPLICATOR 7 (рис. 2.5) і друкує моделі невеликих ювелірних прикрас.

2.3 SLS - Selective Laser Sintering – селективне лазерне спікання

Згідно з цим процесом моделі створюють з порошкових матеріалів за рахунок ефекту спікання за допомогою енергії лазерного променя. На відміну від SLA-процесу, лазерний промінь є не джерелом світла, а джерелом тепла. Потрапляючи на тонкий шар порошку, лазерний промінь спікає його частки і формує тверду масу, у відповідність з геометрією деталі. Як матеріали використовуються поліамід, полістирол, пісок і порошки деяких металів (рис. 2.6).

Істотною перевагою SLS-процесу є відсутність так званих підтримок при побудові моделі, оскільки побудова ведеться в однорідній масі. Після побудови модель витягують з масиву порошку і очищують. Моделі з полістиролу призначені для отримання виливків методом лиття по вижігаемим моделям.

Найбільш популярним модельним матеріалом є порошковий поліамід. Цей матеріал застосовують для створення макетів, масштабних копій, функціональних моделей, та моделей здатних виконати свою функцію, як деталь машини або пристрою. Наприклад, деталі облицювання салону автомобіля або декоративні елементи кузова.

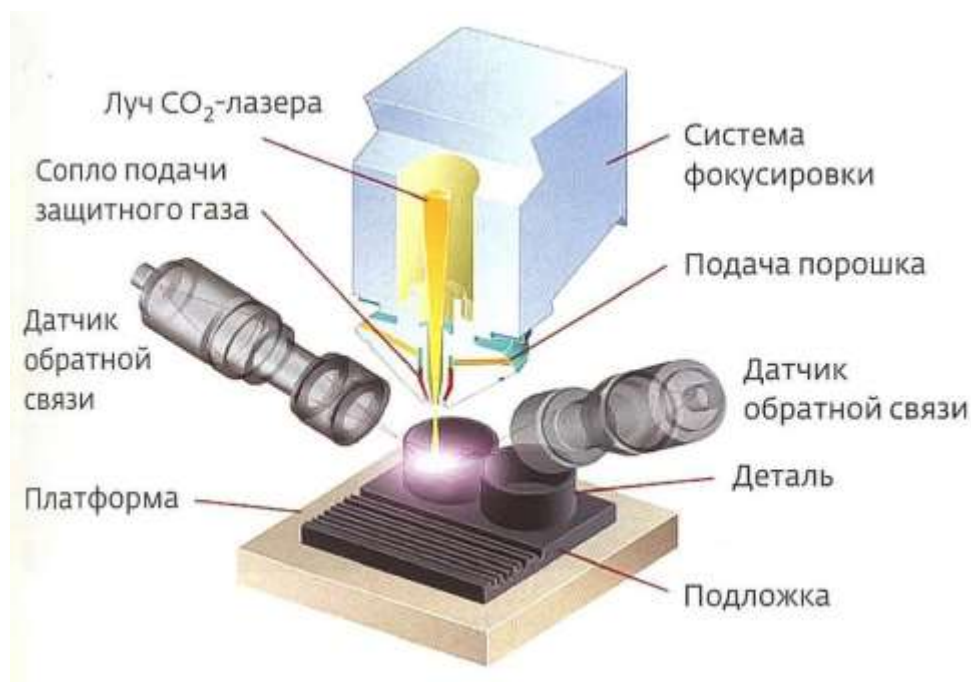


Рис. 2.6 Схема роботи SLS-установки

У деяких випадках поліамід придатний для дослідницьких робіт з визначення конфігурації будь якої ненагруженої деталі, наприклад, впускного трубопроводу автомобільного двигуна (рис. 2.7). Цей матеріал також зручний для виготовлення моделей з метою перевірки збирання складного вузла або для проведення безмоторних випробувань. Наприклад, модель деталі літака або головка блоку циліндрів ДВС, виготовлені з поліаміду, можуть бути використані і при проведенні газодинамічних досліджень методами продувки.



Рис. 2.7 Моделі, отримані селективним лазерним спіканням

Використання порошків деяких сплавів в якості матеріалу при селективному лазерному спіканні дозволяє отримувати відразу готові вироби з високою чистотою поверхні і необхідними фізико-механічними властивостями. Однак технологія виробництва дисперсних порошків сплавів є поки дорогим і трудомістким процесом. Крім того, в процесі спікання і вирощування виробу часто утворюється пористість і отримати високі фізико-механічні властивості не завжди можливо.

2.4 MJM – Multi Jet Modelling

Побудова моделі здійснюється за типом струменевих принтерів методом нанесення розплавленого матеріалу за допомогою багатоструменевих головок - сопел, кількість яких від 96 до 448. Модельний матеріал, як правило, ливарний віск або фотополімер. Блок, що друкує рухається уздовж робочої поверхні і завдає шар рідкого полімеру. За ним рухається ультрафіолетова лампа, яка засвічує шар матеріалу і прискорює затвердіння. Крім основного матеріалу використовують допоміжний віск для підтримування навісних елементів виробу. Після закінчення друку воскові підтримки виплавляють.

Технологія MJM використовується компанією 3D Sitems (серія ProJet) для безпосереднього вирощування воскової моделі і подальшого отримання металеві виливки способом лиття по виплавлених моделях, в оболонкові або гіпсокерамічні форми.

Процес забезпечує високу точність і можливість швидкого отримання виливки з металу без виготовлення спеціальної ливарної оснастки.

На рис. 2.8 приведено MJM машину і заготовлю, отриману литтям, а на рис. 2.9 CAD модель і воскову модель за технологією MJM



Рис. 2.8 MJM машина і заготовля, отримана литтям



а



б

Рис. 2.9 CAD модель (а) і воскова модель (б), отримана за технологією MJM

2.5 FDM - Fused Deposition Modeling

Побудову моделі виконують за допомогою пошарового наплавлення (fused deposition modeling) нитевидного полімеру на тривимірний об'єкт, по контурах цифрової моделі [6]. Як правило, в якості матеріалів для друку використовують термопластики, що поставляються у вигляді катушок ниток або прутків. FDM технологію використовують у 3D-прінерах фірми Stratasys (США).

Найбільш популярною є RP-машина офісного типу Dimension (рис. 2.10), її основні характеристики: розмір зони побудови - 203 × 203 × 305 мм; товщина шару побудови - 0,25-0,33 мм; модельний матеріал - ABS-нить; габаритні розміри установки - 686x914x1041 мм; вага - 136кг. Однак точність побудови моделей не досить висока для виробництва художнього та ювелірного литва.

У лінійці продукції компанії Stratasys є також машини з розширеною номенклатурою модельних матеріалів і великими розмірами зони побудови.

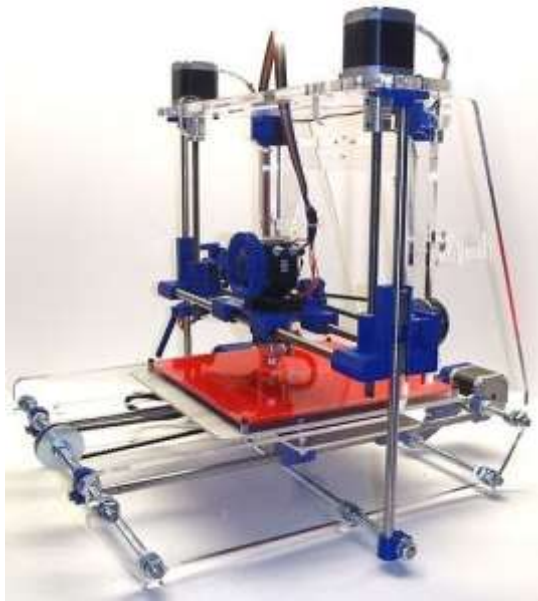
Технологія FDM була розроблена С. Скоттом Крамп в кінці 1980-х років і вийшла на комерційний ринок в 1990 році. Ентузіасти 3D-друку, учасники проекту RepRap, придумали аналогічний термін «*fused filament fabrication*» («виробництво способом наплавлення ниток»), або FFF, для використання в обхід юридичних обмежень. Терміни FDM і FFF рівнозначні за змістом і призначенням.

На рис. 2.11 наведено FDM-принтер виробництва «Airwolf», заснований на RepRap-дизайні з відкритим вихідним кодом Prusa Mendel і принтер з кінематикою типу Prusa, виготовлений студентами-ливарниками і встановлений в ауд. А506.

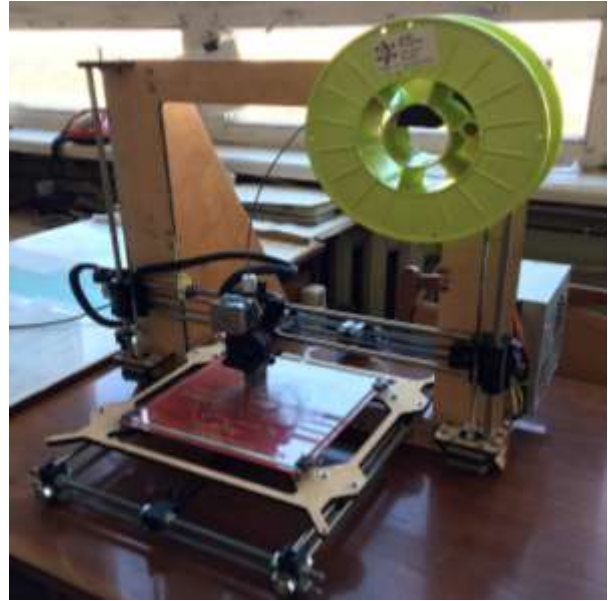
Процес виробництва виробу починають з обробки на ПК тривимірної цифрової моделі, яку в форматі STL поділяють на шари і орієнтують найбільш зручним способом для друку. Процес підготовки моделі для друку називається «*slicing*». В результаті генерується G-code, в якому закладають всі параметри друку, переміщення екструдера, при необхідності виконують підтримуючі структури, необхідні для друку нависають елементів. Деякі пристрої дозволяють використовувати різні матеріали під час одного виробничого циклу. Наприклад, можливий друк моделі з одного матеріалу, а друк опор з іншого, легкорозчинного матеріалу, що дозволяє з легко видаляти підтримують елементи після завершення процесу друку. Можливий друк різними кольорами одного і того ж виду пластику при створенні єдиної моделі [6].



Рис. 2.10
RP-машина
Dimension і отримана
модель



а



б

Рис. 2.11 FDM-принтер виробництва «Airwolf», заснований на RepRap-дизайні з відкритим вихідним кодом Prusa Mendel і принтер з кінематикою типу Prusa, встановлений на кафедрі ливарного виробництва (ауд. А506)

Вироби роблять методом видавлювання (екструзією) з нанесенням мікрокрапель розплавленого термопластика, який твердне і формує послідовні шари. Пластикова нитка розмотується з котушки і подається в екструдер з механічним приводом для подачі нитки, нагрівальним елементом для плавки матеріалу і соплом, через яке здійснюється безпосередньо екструзія. Нагрівальний елемент служить для нагрівання сопла, розплавлення пластикової нитки і подачі крапель розпаву на модель. Як правило, верхня частина сопла навпаки охолоджується за допомогою вентилятора для створення різкого градієнта температур, необхідного для забезпечення плавної подачі матеріалу.

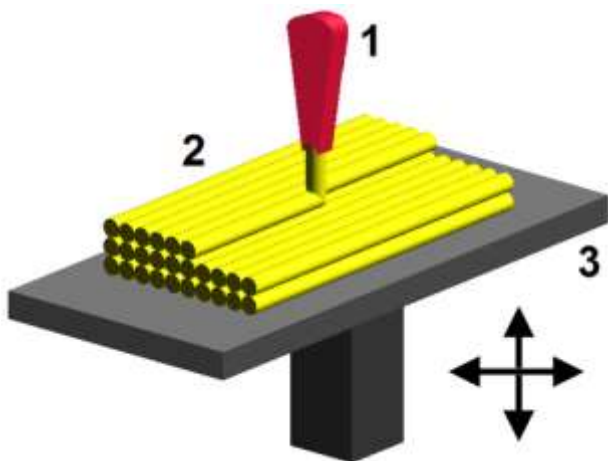


Рис. 2.12 Схема переміщення екструдера (1) в горизонтальній і вертикальній площинах і послідовне вирощування шарів (2) на платформі (3)

Екструдер переміщається в горизонтальній і вертикальній площинах під контролем алгоритмів, аналогічних використуванню в верстатах з числовим програмним управлінням. Сопло переміщається по заданій траєкторії і будує модель шар за шаром, від низу до верху (рис. 2.12). Як правило, екструдер (друкуюча головка) приводиться в рух кроковими двигунами або сервоприводами в прямокутній системі координат X , Y і Z . Альтернативою є циліндрична система координат, яка використовується так званими «дельта-роботами».

Технологія FDM відрізняється високою гнучкістю, але має певні обмеження: створення нависають структур можливо при невеликих кутах нахилу, у випадку з великими кутами необхідне використання штучних опор, що створюються в процесі друку і відокремлюваних від моделі по завершенні процесу.

FDM є одним з найменш дорогих способів друку, що забезпечує зростаючу популярність побутових принтерів, заснованих на цій технології. У якості витратних матеріалів використовують різні термопластики і композити ABS, PLA [7], полікарбонати, поліаміди, полістирол, лігнін та ін. Різні матеріали надають вибір балансу між певними характеристиками міцності і температурними характеристиками, дозволяючи створення найрізноманітніших виробів спеціального призначення, а також іграшок, прикрас і сувенірів.



Рис. 2.13 FDM принтер з кінематикою типу Delta виготовлений студентами кафедри ливарного виробництва (ауд. А506)

Популярним матеріалом є полілактид (PLA-пластик), який виробляють з кукурудзи або цукрового очерету. Це обумовлює його нетоксичність і екологічність, але робить моделі щодо недовговічним і АБС-пластик, навпаки, дуже довговічний і зносостійкий, хоча і сприйнятливий до прямого сонячного світла і може виділяти невеликі обсяги шкідливих випарів при нагріванні. З цього матеріалу виготовляють багато предметів з пластику, якими ми повсякденно користуємося: корпусу побутових пристроїв, сантехніка, пластикові карти, іграшки і т. п.

Для домашніх 3D принтерів придумано проект RepRap - ініціатива, спрямована на створення самокопії пристрою. RepRap був заснований в 2005 році доктором Адріаном Боуер, викладачем машинобудування в університеті Бата у Великобританії. Одна з конструкцій FDM принтер з кінематикою типу Delta виготовлена студентами кафедри ливарного виробництва (рис. 2.13).

Крім PLA і ABS можливий друк нейлоном, полікарбонатом, поліетиленом і багатьма іншими термопластиками широко поширеними у сучасній промисловості. Можливе застосування і більш екзотичних матеріалів - таких, як полівініловий спирт, відомий як «PVA-пластик». Цей матеріал

3D ПРОТИПУВАННЯ

растворюються у воді, що зручно при друку моделей складної геометричної форми та отриманні виливків методом лиття по виплавлених моделях.

Зовсім необов'язково друкувати однорідними пластиками. Можливе застосування композитних матеріалів, що імітують деревину, метали, камінь. Такі матеріали використовують все ті ж термопластики, але з домішками непластичних матеріалів. Так, Laywoo-D3 складається частково з натуральної деревної пилу, що дозволяє друкувати «дерев'яні» вироби, включаючи меблі.

Матеріал під назвою BronzeFill має наповнювач зі справжньої бронзи, а виготовлені з нього моделі піддаються шліфуванню та поліруванню, досягаючи високої схожості з виробами з чистою бронзою.

Однак необхідно пам'ятати, що сполучною елементом в композитних матеріалах служать термопластики, які визначають інтервали міцності, термостійкості, фізичні і хімічні властивості готових моделей

2.6 MIT (Z Corporation)

Принцип дії машин ZCorp. - пошарове «склеювання» частинок порошкоподібних матеріалів за допомогою сполучного складу, що подається через струменевий голівку. Ця технологія розроблена в Массачусетському технологічному університеті і іноді називається «MIT» - Massachusetts Institute of Technology. У 1995 р. компанія Z Corporation отримала ексклюзивну ліцензію від MIT використовувати технологію 3DP. Перевагою машин ZCorp є можливість кольорового «друку» (рис. 2.14, 2.15) .

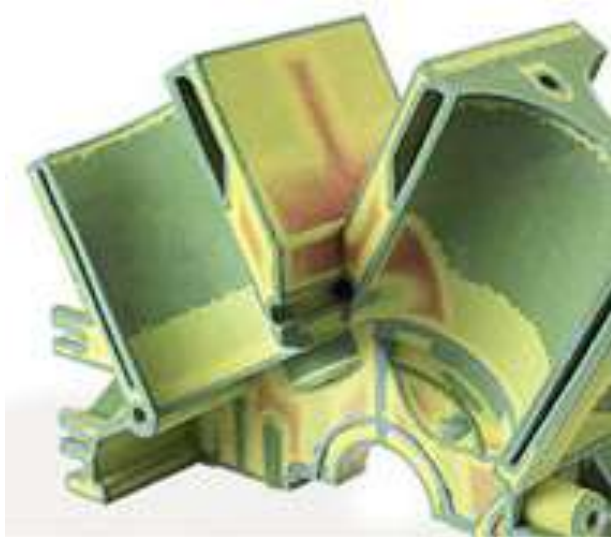


Рис. 2.14 Модель блоку циліндрів, "роздрукована" в процесі розрахунку на міцність методом кінцевих елементів



Рис. 2.15 Моделі, отримані за MIT технологією

3D ПРОТИПУВАННЯ

Такі кольорові моделі потрібні не тільки для дизайнерських і художніх цілей, а також в роботах, пов'язаних з кінцево-елементними розрахунками. Принтер працює з різними модельними матеріалами. Це спеціальні композити на основі гіпсу, целюлози, резиноподібні матеріали, спеціальний гіпсо-керамічний порошок для виготовлення ливарних форм і стрижнів для лиття кольорових сплавів.

Завантаження матеріалу і обслуговування принтерів досить просте. Найбільш популярним є виробництво литих деталей - швидке отримання металевого прототипу по вироценом ливарним формам. Наприклад, у принтері Z402 (ZCorporation) машина розподіляє шар порошку по поверхні робочої ємності. В якості будівельного матеріалу використовують спеціальний крохмале-целюлозний порошок. Рідкий клей на водній основі, вступаючи з 128-струменевою голівкою, пов'язує частки порошку, формуючи контур одного перетину моделі. Потім робоча ємність опускається на товщину одного шару; по всьому об'єму ємності, в тому числі і по попередньому шару, розподіляється новий шар порошку, інжекційна голівка окреслює контур наступного перетину, і т.п. Після закінчення побудови надлишки порошку видаляються. Для збільшення міцності моделі наявні порожнечі можуть бути заповнені рідким воском.

Основною відмінністю цього пристрою є висока швидкість виробництва моделі, яка в кілька разів перевищує інші конкуруючі системи. Деталь може бути виготовлена від декількох хвилин до декількох годин. Робочий об'єм принтера Z402: 203x254x203 мм; вага: 136 кг.

Так як принтер має невеликі габарити і вагу, не використовує в роботі шкідливих матеріалів, то він може бути встановлений безпосередньо на робочому місці конструктора, як і звичайний принтер, і при необхідності швидко доставлений в будь-яке місце.

Основні характеристики RP-машин ZCorp наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні характеристики RP-машин ZCorp

Основні характеристики машин	ZPrinter 310 Plus	Spectrum Z510	Z810
Розміри зони побудови, мм	203 × 254 × 203	254 × 356 × 203	500 × 600 × 400
Товщина шару побудови, мм	0,089-0,203	0,089-0,203	
Габаритні розміри, мм	740 × 860 × 1090	1070 × 790 × 1270	241 × 114 × 193
Вага, кг	115	204	565

2.7 Технологія LOM

LOM-процес (Laminated Object Manufacturing) - це виготовлення об'єктів з використанням ламінування. CAD-дані надходять в систему управління установки, де створюються поперечним перерізом деталі. Промінь

3D ПРОТИПУВАННЯ

лазера вирізає контур перетину в верхньому шарі, а потім розрізає області зайвого матеріалу для подальшого видалення. Новий шар з'єднується з попереднім за рахунок прокатки термоваліком, потім створюється новий поперечний переріз, який також вирізується лазером і приклеюється. Після того, як всі шари будуть виготовлені, надлишковий матеріал видаляється вручну. Після цього поверхню деталі шліфується, полірується або забарвлюється.

Завдяки застосуванню дешевого рулонного паперу або твердих листових матеріалів, одна сторона яких покрита складом, що клеїться, можна швидко отримати складну модель. Однак точність її поверхні залежить від товщини шару паперу, а використання паперової моделі обмежує використання в ливарному виробництві.

Власником технології LOM і виробником обладнання є CubicTechnologies, Inc. (Helisys, Inc.). Штаб-квартира Helisys Inc. знаходиться в Carson, California, USA. CubicTechnologies виробляє серії установок LOM - Paper, LOM Plastic, LOM Composite, для різних типів витратного матеріалу.

2.8 Принтер Objet Quadra (Objet Geometries)

Струйний 3D-принтер фірми Objet Geometries Ltd (Ізраїль) при порівняльній простоті і дешевизні забезпечує виготовлення прототипів, які можна порівняти за якістю з стереолітографічних моделей, менш вимоглива до робочого приміщення і кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Як і в стерелітографії, модель вирощують пошарово спеціальною струменевою голівкою, що містить +1536 сопел, зі спеціального світлотверднучий пластика, але засвічення проводиться ультрафіолетовими лампами, а "підтримки" формуються з матеріалу, відмінного від основного, що забезпечує їх неважке видалення. Обидва матеріали тверднуть ультрафіолетовими лампами. Після друку кожного шару робочий стіл, на якому вирощується модель, опускається на товщину шару. *На завершення процесу допоміжні елементи вимиваються струменем води.* Установки упідключають в локальну мережу, через яку в неї передають дані з CAD-програми.

2.9 Практичне використання прототипів

1) Візуалізація. Технології швидкого отримання прототипів виробів надає інженерам і дизайнерам свободу творчості при створенні дешевих тривимірних моделей. При бажанні можна провести чистову обробку поверхні прототипу, щоб замовники і персонал мали змогу оцінити естетичні властивості продукту.

2) Форма, збірка і функціональність виробів. Прототипи, побудовані за технологіями, що забезпечує достатню міцність моделей (LOM, FDM, SLA), зручні в прикладних задачах, що потребують оцінки форми деталей і перевірки складання виробів, так як всі зміни можна внести в CAD креслення до початку виробництва.

3) Лиття по випалюваних моделях. Прототипи можуть виступати в якості разових моделей для точного лиття, якщо вони виготовлені з матеріалів, що вигоряють під дією високих температур (LOM, Z Corporation). Оскільки такі об'єкти не розширюються і не тріскаються при випалюванні, можливе використання традиційних методів лиття, при яких моделі вигоряють при заповненні форми розплавленим металом.

4) Вакуумне лиття пластмас. Міцність і жорсткість прототипів робить їх зручними для вакуумного лиття тонких пластмасових компаундов при малих і середніх обсягах виробництва. Міцність моделей, отриманих за технологіями LOM, SLA, FDM, SLS дозволяє їм витримувати високі напруги.

5) Виготовлення прес-форм. Прототипи, що мають достатню міцність, використовується для швидкого виготовлення прес-форм для лиття по виплавлюваних моделях з парафіново-стеаринових складів при малих і середніх обсягах виробництва. Для поліпшення якості виливків і збільшення ресурсу прес-форм, на робочі поверхні можна нанести металеве покриття.

6) Відливання гіпсових форм. Геометрична стабільність LOM, SLA і інших моделей, і властива їм точність, роблять можливим їх використання для лиття гіпсових форм.

7) Прес-форми з силіконової гуми. Прототипи часто використовують при литті із силіконового каучуку для отримання поліуретанових або епоксидних виливків.

2.10 Критерії оцінки RP-систем

Порівняння RP-процесів можна провести за такими критеріями:

1) Розмір деталі. Габарити деталі, яку може побудувати система протипування, обмеження розмірами камери установки. Розміри моделей розподіляють, як правило, від 8x8x8 дюймів до 32x22x20 дюймів. Однак великі деталі можуть бути виготовлені по частинах і потім зібрані в одну деталь.

2) Швидкість. Швидкість побудови моделі залежить від таких факторів, як: розмір деталі; геометрична складність; використовувані матеріали, час завершення їх полімеризації; програмне забезпечення та ін.

3) Матеріали. На ринку пропонується цілий спектр матеріалів для прототипів, що розрізняються за ступенем міцності і якості утвореною поверхні: полістирол, термопластик, папір, акрил, полікарбонат, нейлон, ABS, синтетичні смоли, парафін та ін.

4) Точність. Точність прототипу (ступінь відповідності CAD-моделі) визначається факторами:

- правильність CAD-файлів;
- дозвіл (товщина шарів);
- властивості матеріалу.

Смоли, наприклад, мають властивість жолобитися або сідати при висиханні. Інші матеріали не забезпечують достатню якість поверхні моделі для

3D ПРОТИПУВАННЯ

подальшого її використання (при виготовленні ливарних форм); або малу міцність.

5) Вартість. Розробники RP-систем останнім часом орієнтуються на випуск недорогих і швидкодіючих машин, знижуючи вартість і збільшуючи обсяг робочої камери.

Таким чином, нові технології виготовлення прототипів дозволяють значно скоротити терміни виготовлення моделей для візуалізації, підгонки, виготовлення оснастки та інших застосувань

3 Особливості використання технології швидкого протипування

3.1 3D-сканування

Для створення «комп'ютерного» образу виробу, виконаного руками людини, відновлення деталі, на яку втрачено технічна документація масштабною копією художнього або ювелірного виробу і в багатьох інших застосовують лазерний сканер (рис. 3.1).

Процес сканування завершується отриманням «хмари точок», яке потім перетворюється в різні формати (*iges, stl* і ін.) В залежності від поставленого завдання. За отриманими CAD-даними методами швидкого протипування може бути виготовлена копія виробу.

Лазерний сканер - зручний і точний контрольно-вимірвальний прилад, з допомогою якого може бути швидко проведено вимірювання деталей складної конфігурації (рис. 3.2), вироблено зіставлення реального об'єкта з вихідними CAD-даними і оцінена точність його виготовлення.



Рис. 3.1 Лазерний сканер для високоточного сканування (точність 0,001 0,003 мм)

3.2. Лиття у силіконові форми

У тих випадках, коли стоїть завдання тиражування деталі (невелика серія), широко вико ють метод отримання моделей «восківок» за допомогою силіконових форм.



Рис. 3.2 Сканування лазерним сканером на «руці» FARO (точність 0,03мм)

RP технологію або пошаровий синтез використовують для виробництва силіконових форм. Метод полягає в тому, що стереолітографічну модель використовують як майстер-модель для виготовлення ливарного оснащення - форми з силікону, за допомогою якої в подальшому йде виготовлення «восківок» або пластмасових прототипів.

Майстер-модель - копію деталі, заливають рідким силіконом. Суміш з рідких компонентів готують безпосередньо перед отриманням форми в спеціальному змішувачі та потім подають в опоку (зазвичай прямокутної форми), в якій знаходиться майстер модель.

Після полімеризації силікону форму розбороняють, витягають майстер-модель і отриману форму використовують для тиражування «восківок» або для отримання виливків пластикових прототипів зі спеціальних двухкомпонентних смол.

У камері, де перебуває опока, створюється розрядження, що забезпечує видалення бульбашок повітря з суміші. За допомогою спеціальних технологічних прийомів при заливці силікону формують роз'єм форми. Потім форма полімерізується, витягується з вакуумної камери і після очищення готова до використання (рис. 3.3). Стійкість форми залежить від складності моделі, але в середньому складає 30-100 циклів заливки.

Така технологія використовується для виготовлення невеликих серій пластмасових виробів, а також воскових моделей для лиття по моделям, що витоплюються (рис. 3.4). Висока точність поверхні виливків забезпечується мінімальною шорсткістю воскової моделі.

3D ПРОТИПУВАННЯ

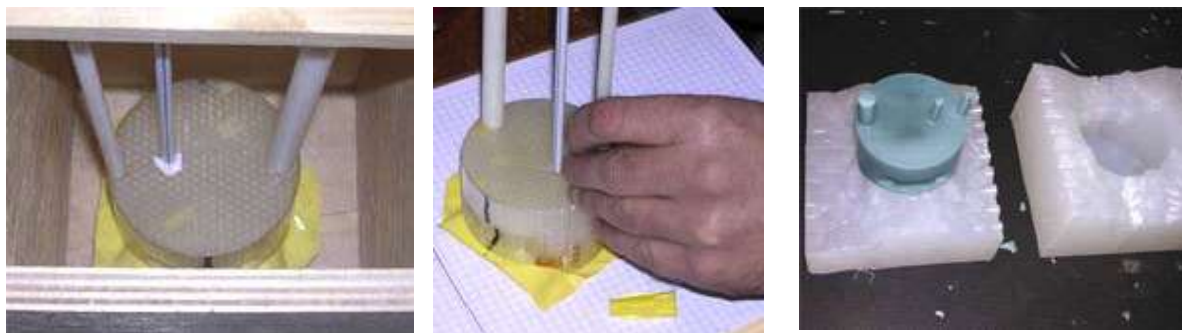


Рис. 3.3 Технологічна схема отримання «восківок» за допомогою силіконових форм

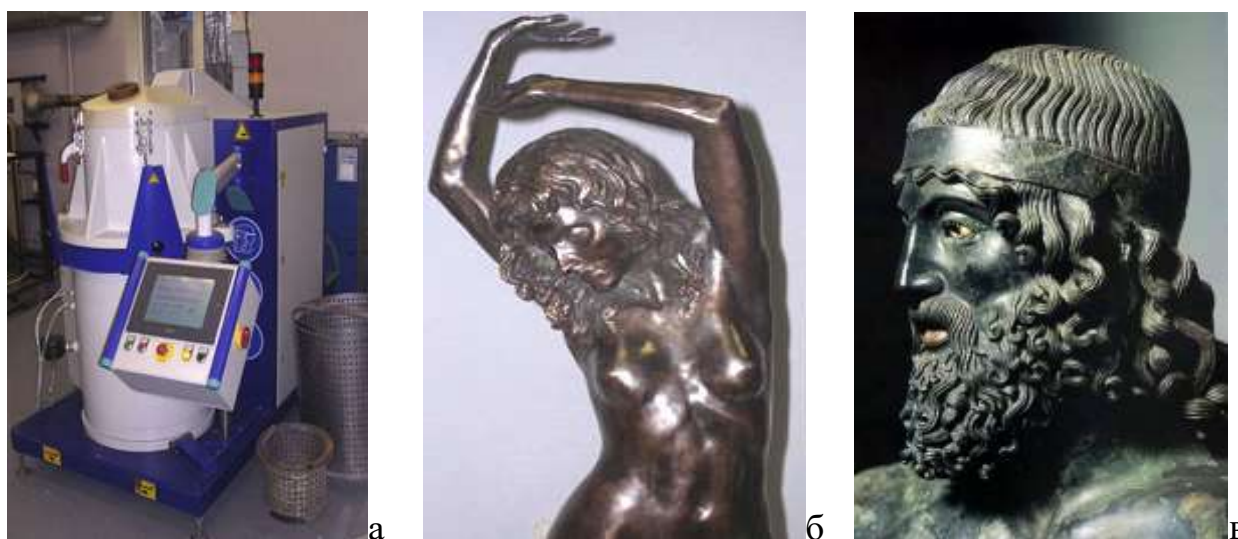


Рис. 3.4 Ливарна вакуумна машина MPA1000 з об'ємом тигля 10 л (а) і приклади художнього лиття

3.3 Особливості протипування моделей на верстатах типу обробний центр

Для виробництва моделей і прес-форм широко використовують верстати типу обробний центр ЧПК. Верстати дозволяють працювати з усіма модельними матеріалами, графітом, кольоровими металами і сталями з твердістю до HRC60, можуть бути обладнані 4-ої і 5-ої віссю, як опції. До комплекту поставки входить також необхідне програмне забезпечення. Час підготовки ливарних моделей, прес-форм і модельно-опочного оснащення

скорочується в кілька разів. Тому, незважаючи на високу вартість верстатів і необхідність залучення персоналу високої кваліфікації для роботи і обслуговування, їх використання окупається завдяки швидкому освоєнню нового виду продукції.

На рис. 3.5 приведено загальний вигляд верстатів типу обробний центр тайванської компанії ARIX3-х і на рис. 3.6 - осьовий міні фрез - гравер з числовим програмним управлінням, який знаходиться на кафедрі ливарного виробництва, ауд. А510.



Рис. 3.5 Загальний вигляд верстатів типу обробний центр тайванської компанії ARIX

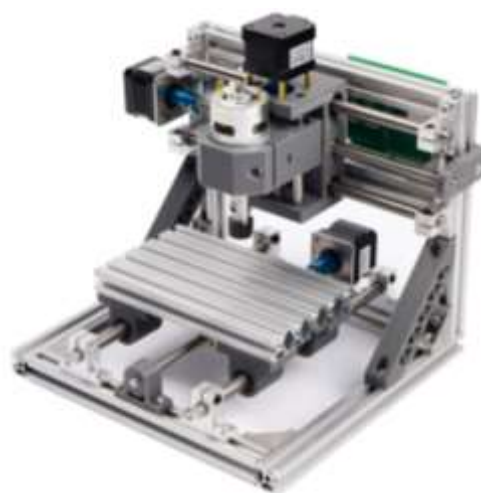


Рис. 3.6 3-х осьовий міні фрез - гравер з числовим програмним управлінням, кафедра ливарного виробництва, ауд. А510

Таким чином, технологія швидкого прототипування (Rapid prototyping) і використання верстатів типу обробний центр дозволяють мінімізувати ручну працю, з високою швидкістю і точністю зробити масштабну копію наявного художнього або ювелірного виробу. Однак творчий процес створення нового виробу, його реалізація в металі або іншому матеріалі залишається затребуваними і в майбутньому. Ручне доведення і оптимізація художнього або ювелірного твору людиною, який вклав душу в його створення і виготовлення, завжди буде цінуватися вище, ніж копія, в яких би кількостях вона потім не виконувалася.

3.4 Використання 3D принтерів у стоматології

Перші спроби застосування 3D-друку в стоматології зробили фахівці компанії Align Technology в 1990-х роках. За допомогою 3D-принтера виготовляли капи для зубів, що послужило стартом для розвитку цієї технології в стоматологічній галузі. Понадобилось майже 20 років, щоб домогтися задовільної якості друку. Перший імплантат був надрукований фірмою Layer

3D ПРОТИПУВАННЯ

Wise в 2012 році. В цьому ж році вперше вдалося вживити пацієнту титанову нижню щелепу, яка була зроблена за допомогою 3D-принтера [10].

Сьогодні 3D-принтер для стоматологів дозволяє випускати довговічні і якісні моделі коронок, мостів, вінірів та ін. Це істотно полегшує і прискорює роботу зуботехнічної лабораторії: широкий асортимент матеріалів дозволяє в короткі терміни вирішити практично будь-яке завдання. За допомогою стоматологічного 3D-принтера можна моделювати значна кількість необхідних примірників за один цикл вирощування (рис. 3.7). Всі проекти зберігаються в файлах, тому в майбутньому можна повторно виготовити таку ж модель при необхідності.



Рис. 3.7 Загальний вигляд стоматологічних моделей, отриманих за один цикл вирощування [10]

Більше не потрібно відправляти пацієнта на 2-3 дня, щоб дочекатися виготовлення гіпсових моделей. Тепер все відбувається значно швидше: лікар за кілька хвилин будує 3D-модель за допомогою інтраорального сканера (рис. 3.8) і моментально передає дані в лабораторію, де друк також не займе багато часу. Швидкість і максимальна точність підвищують рівень лікування та дійсно економлять ресурси і час. В сучасних сканерах технологія штучного інтелекту автоматично видаляє зайві м'які тканини (мова, щоки та ін.). Роблячи процес



Рис. 3.8 Загальний вигляд стоматологічного інтраорального сканера

сканування простим і зручним. У високоякісні цифрові скани в натуральному кольорі дозволяють вести продуктивний діалог з клієнтом, економити час і створювати високоякісні реставрації.

За допомогою принтера можна створювати:

- демонстраційні та розбірні моделі щелепи, секторальне відтворення верхньої і нижньої щелепи в прикусі (рис. 3.9);
- конструкції, що вигорають беззольно, ковпачки, основи під коронки та мости, бюгельні протези;
- хірургічні шаблони для імплантації, індивідуальні капи, направляючі для щелепно-лицевої хірургії.

Для виробництва моделей в стоматології використовують SLA - Form 2 і Form 3 від Formlabs, SLASH PLUS виробництва Uniz Technology, Basic Dental від Omaker, Asiga PICO2. Активно розвивається такий перспективний

3D ПРОТИПУВАННЯ

напрямок, як друк постійних і тимчасових ортопедичних конструкцій, базисів знімних протезів (рис. 3.10).



Рис. 3.9 Приклади використання 3D протипування у стоматології [10]



Рис. 3.10 Результати друку коронок з біосумісного титанового сплаву [10]

Процеси SLS і EBM забезпечують друкувати титаном вже готові елементи для заміни частин щелепи. Ці технології працюють за принципом лазерного спікання металогліни - спеціального металевого порошку для стоматології; дозволяють працювати з біосумісним титановим сплавом. Так як чистий металевий порошок не вимагає сполучного наповнювача, готові моделі мають мінімальну пористість. Для досягнення необхідної механічної міцності виробам не потрібно додатковий випал.

На рис. 3.11 приєдено різні види робіт на кафедрі ливарного виробництва НМетАУ за напрямком стоматологічне лиття, яке є перспективним напрямком.

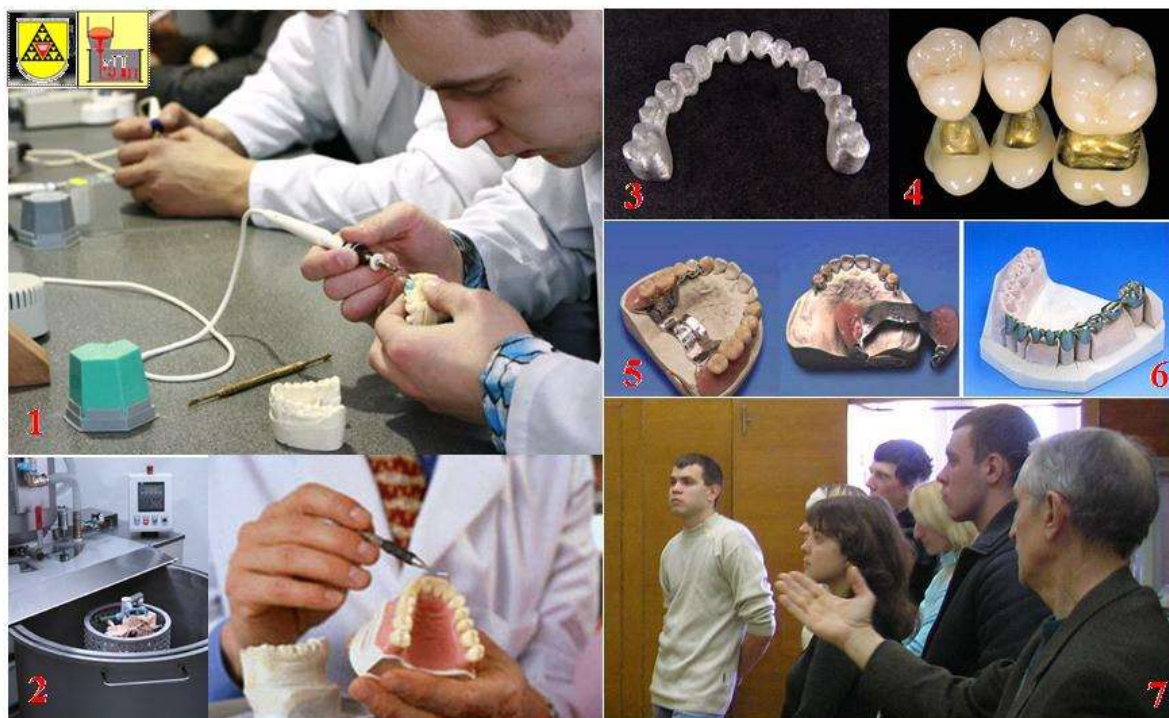


Рис. 3.11 Стоматологічне лиття на кафедрі ливарного виробництва НМетАУ

Питання для самоконтролю:

1. Наведіть основні особливості технологічного процесу Rapid prototyping ?
2. Який матеріал використовують в якості модельного складу технологія SLA - Stereo Lithography Apparatus , стереолітографія?
3. Від чого залежить якість поверхні моделі при використанні технології SLA при інших рівних умовах?
4. Яка технологія дозволяє отримувати моделі з стільниковою внутрішньою структурою, забезпечуючи зменшення маси моделі?
5. Наведіть основні особливості технологічного процесу SLS - Selective Laser Sintering.
6. У чому полягають переваги SLS-процесу при побудові деталей з виступаючими частинами в порівнянні з технологіями SLA і MJM?
7. Наведіть основні особливості технологічного процесу MJM - Multi Jet Modelling?
8. Назвіть основний модельний матеріал при використанні технології MJM - Multi Jet Modelling.
9. Наведіть основні особливості технологічного процесу дії машин ZCorp, що є виробником 3 D -прінтерів.
10. Наведіть основні особливості технологічного процесу FDM - Fused Deposition Modeling.
11. Наведіть основні особливості технологічного процесу 3 D -сканування для отримання художніх і ювелірних виробів.
12. Наведіть переваги і недоліки виробництва моделей і прес-форм за допомогою верстатів типу обробний центр.
13. Наведіть основні особливості технологічного процесу стереолітографії в RP-машинах фірми NextFactory.
14. Наведіть основні особливості застосування 3D-друку в стоматології.
15. Наведіть основні особливості прототипування моделей на верстатах типу обробний центр.
- 16.16. Якою технологією можливий 3D друк коронок із біосумісного титанового сплаву у стоматології?
- 17.17. Для яких цілей застосовують лазерні сканери у процесах Rapid prototyping?
- 18.18. Які критерії застосовують для оцінки технологічного процесу Rapid prototyping?
- 19.19. Переваги та недоліки процесу виготовлення 3D виробів ламінуванням.
- 20.20. Переваги та недоліки процесу виготовлення 3D виробів FDM принтером.
- 21.21. Наведіть найвідоміші приклади практичного застосування технологічного процесу Rapid prototyping.

Перелік посилань

1. Савєга В.С., Хричиков В.Е., Матвєєва М.О. Художнє і ювелірнє литво / Учбовий посібник. – Дніпропетровськ, НМетАУ. – Літограф. – 2015.- С. 261. (Розділ 5).
2. Ливарні властивості металів і сплавів для прецизійного лиття : підручник для вищих учбових закладів / В.О. Богуслаєв та ін.; за ред. С.І. Рєп'яха та В.Г. Могилатєнка; 2-є вид., доп. та доопр. Запоріжжя : АТ «МОТОР СІЧ», 2016. – 474 с.
3. <https://www.foliplast.ru/services/bystroie-prototipirovanie/>
4. <https://3dtool.ru/stati/sla-tekhnologiya-kak-rabotaet-3d-pechat-sla/>
5. <http://prn3d.ru/stati/stati-o-3d-printerah/sla-technology.html>
6. Халилов И.Х., Халилов М.И. Ювелирное литье.– Махачкала. 2000.– 103 с.
7. Brian Evans, Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing, Apress 2012, ISBN 9781430243939, page 20 (англ.).
8. https://club.cnews.ru/blogs/entry/import_istoriya_3d_pechati_9917
9. https://3d_print.jofo.me/746394.html
10. <https://stomshop.pro/blog/vse-o-3d-printere-v-stomatologii/>

Зміст

1. Історія виникнення, переваги і недоліки 3D технологій	1
2. Основні види прототипування на RP-машинах	3
2.1 SLA і STL - Stereo Lithography Apparatus, стереолітографія	3
2.2 NextFactory	5
2.3 SLS - Selective Laser Sintering – селективне лазерне спікання	6
2.4 MJM – Multi Jet Modelling	8
2.5 FDM - Fused Deposition Modeling	9
2.6 MIT (Z Corporation)	12
2.7. Технологія LOM	13
2.8. Принтер Objet Quadra (Objet Geometries)	14
2.9. Практичне використання прототипів	14
2.10. Критерії оцінки RP-систем	15
3. Особливості використання технології швидкого прототипування	16
3.1. 3D-сканування	16
3.2. Лиття у силіконові форми	16
3.3 Особливості прототипування моделей на верстатах типу обробний центр	17 18
3.4. Використання 3D принтерів у стоматології	19
Питання для самоконтролю	22
Перелік посилань	23