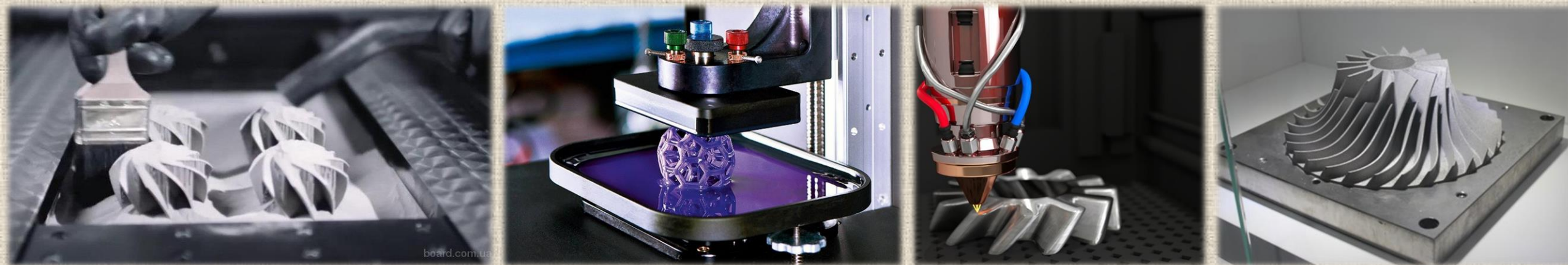


Огляд сучасних адитивних технологій. Технології швидкого прототипування



Короткий опис навчальної дисципліни

- В ході вивчення дисципліни розглядаються сучасні адитивні технології, технології швидкого прототипування, способи та принципи друку 3D- друку.
- Значна увага приділяється сучасним 3D-принтерам, а також матеріалам для друку - полімерам, металам, композитам, тканинам, харчовим та біоматеріалам.
- Вивчаються обливості систем створення комп'ютерних прототипів в передових системах автоматизованого проектування. Solidworks, Autodesk Inventor, Fusion 360 та ін., а також програми підготовки (слайсери) та менеджери 3D-друку та їх можливості щодо забезпечення необхідної якості друкованих деталей.
- Вивчаються можливості 3D-сканування, самовідтворення та перспективні напрямки розвитку адитивних технологій.

Результати навчання

- В результаті вивчення дисципліни студент отримає навички роботи з сучасними конструкціями систем для 3D-друку, які працюють за технологіями пошарового вирощування деталей (Fused Deposition Modeling) та зможе моделювати комп'ютерні прототипи в CAD-системах: Solidworks, Autodesk Inventor, Fusion 360.
- На основі побудованих прототипів студент зможе використовувати програми-слайсери і менеджери друку типу Slic3r, Cura, Pronterface, управляти режимами роботи та, відповідно, якістю отриманих деталей з полімерів ABS, PLA, нейлону, армованих металом пластиків, ознайомиться з технологіями 3D-сканування, перспективними напрямками розвитку адитивних технологій, RepRap самовідтворюваних систем.

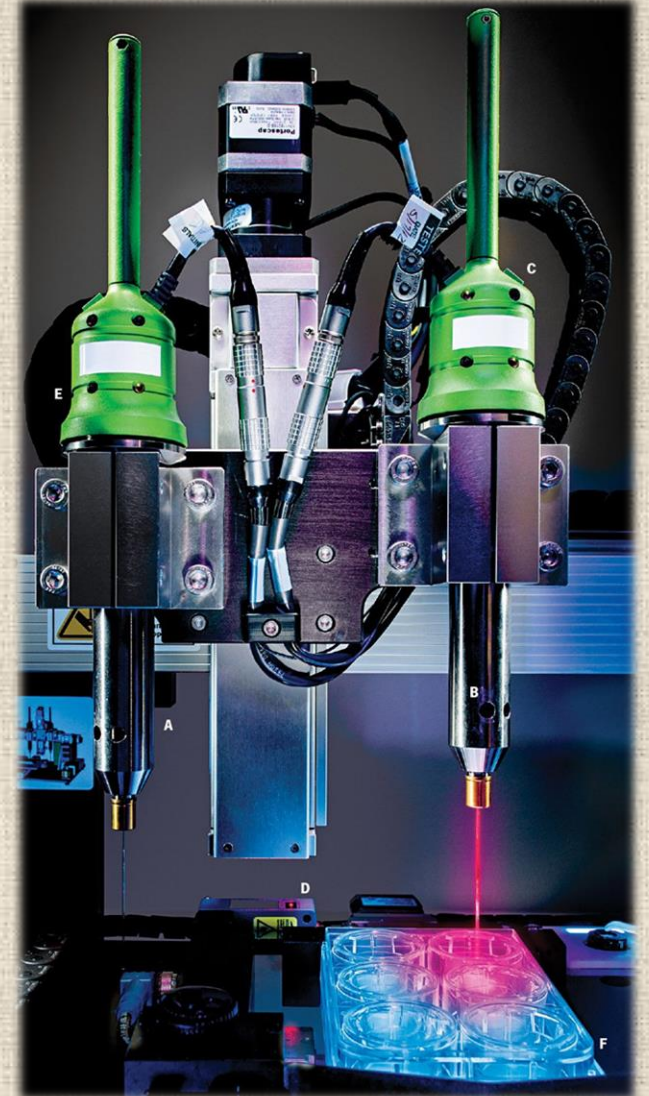
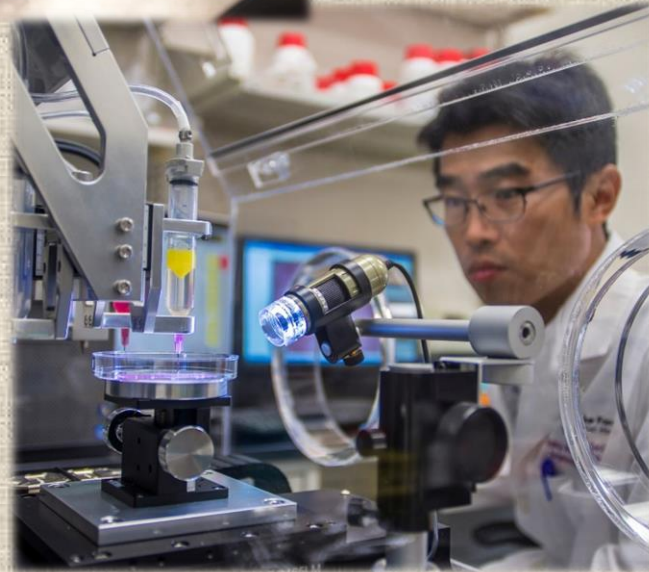
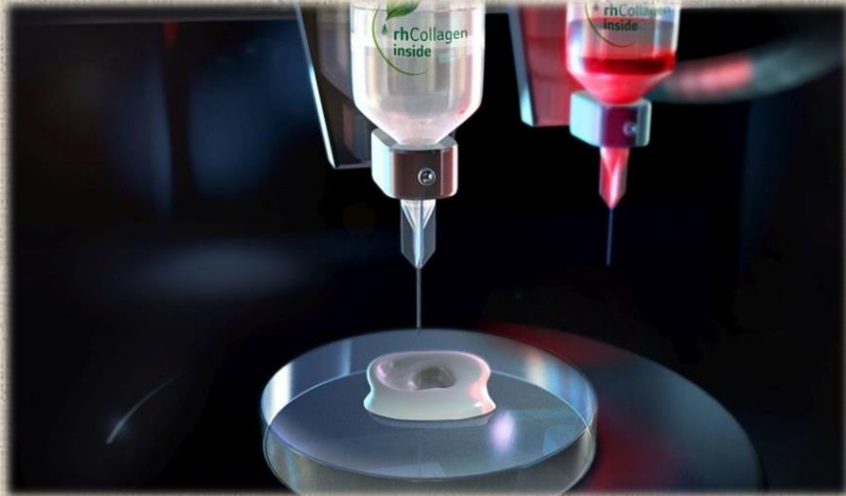
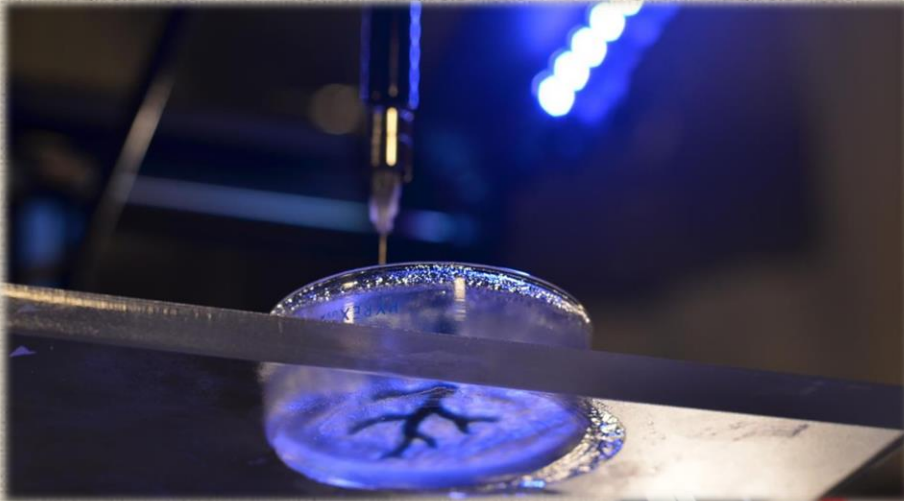
Перелік тем

1. Огляд сучасних адитивних технологій. Технології швидкого прототипування.
2. Способи та принципи друку. Стереолітографія. Селективне лазерне спікання. Моделювання плавленням. Струменева полімеризація.
3. Сучасні конструкції систем 3D-друку. Системи з пошаровим вирощуванням деталей Fused Deposition Modeling.
4. 3D-матеріали для друку. Полімери, метали, композити, тканини, біоматеріали.
5. Особливості систем створення комп'ютерних прототипів. Системи автоматизованого проектування. Solidworks, Autodesk Inventor, Fusion 360 та ін.
6. Програми підготовки (слайсери) та менеджери 3D-друку.
7. Забезпечення якості друкованих деталей. 3D-сканування.
8. Перспективні напрямки розвитку адитивних технологій. Самовідтворення. RepRap (Replicating Rapid Prototyper).

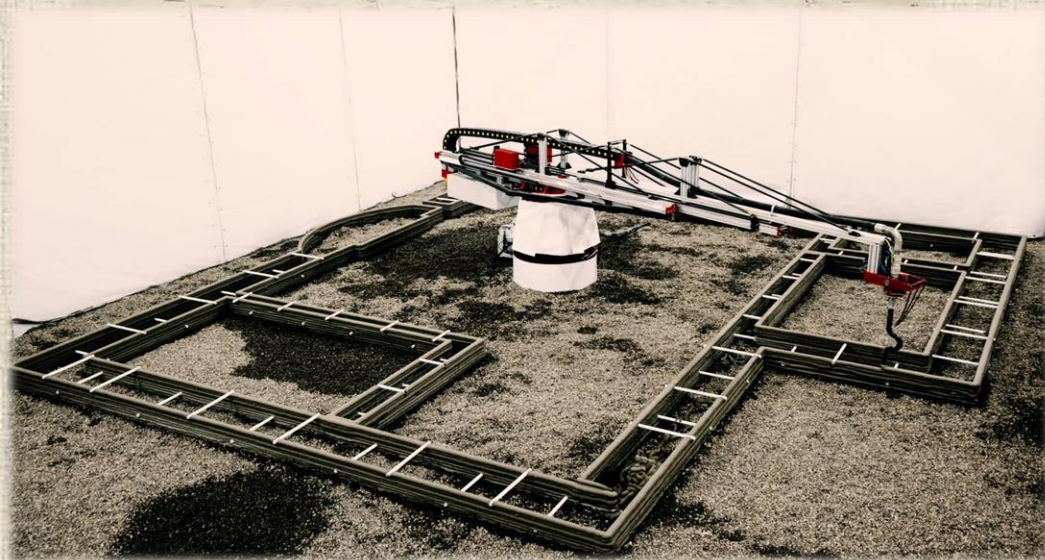
Застосування сучасних адитивних технологій

Що можна друкувати на 3D-принтері?

https://www.youtube.com/watch?v=gN3LMywLB_I



3D-друк в будівництві



3D-друк в будівництві

- 3D Printed Concrete House, Printed in 48 hours

<https://www.youtube.com/watch?v=5IxVPpkkWXI>



3D-друк в медицині

- 3-D друк. Технології для медицини

<https://www.youtube.com/watch?v=6x4zsdSMpww>



3D-друк в медицині

- 3-D друк. Технології для медицини

<https://www.youtube.com/watch?v=hh2QIPuENi0>



Розвиток технологій 3D-друку

<https://www.youtube.com/watch?v=UrIC6vCOy6E>



Prostir 3D: новітні адитивні технології для українських виробників

https://www.youtube.com/watch?v=l2-Z_6Erkt4&t=17s



Аддитивні технології. Харчова промисловість



Адитивні технології. Харчова промисловість

<https://www.youtube.com/watch?v=fLpeeUYtW94>



Області використання. Технології в конструюванні і прототипуванні

- Для швидкого прототипування, тобто швидкого виготовлення прототипів моделей і об'єктів для подальшого доведення. Вже на етапі проектування можна кардинальним чином змінити конструкцію вузла або об'єкта в цілому. У інженерії такий підхід здатний істотно знизити витрати у виробництві і освоєнні нової продукції.
- Для створення наочних 3D-моделей. Конструкція з прозорого матеріалу дозволяє побачити роботу механізму «зсередини», що зокрема було використано інженерами [Porsche](#) при вивченні руху мастила в трансмісії автомобіля ще при розробці.
- Для виготовлення деталей в технічних видах спорту, наприклад 3d друк у авіамоделльному спорті.
- Для аматорського виготовлення дрібних деталей та конструкцій у домашніх умовах.

3D-друк поршнів автомобільних двигунів Porsche

<https://www.youtube.com/watch?v=d3Q41tmOJ0g>



Області використання. Технології у промисловому виробництві

1. Для швидкого виробництва — виготовлення готових деталей з матеріалів, які підтримуються 3D-принтерами. Це відмінне рішення для малосерійного виробництва.
2. Для виробництва складних, масивних, міцних і головне недорогих систем. Прикладом є безпілотний літак **Polecat** компанії **Lockheed**, велика частина деталей якого була виготовлена методом швидкісного тривимірного друку.
3. При зубному протезуванні та вирощування повноцінних органів. Прикладом є розробки Університету Міссурі, які дозволяють наносити на спеціальний біо-гель згустки клітин заданого типу.
4. Для виготовлення ракетних двигунів та космічних ракет. Прикладом є розробки американської компанії **Rocket Lab**.
5. Для виготовлення моделей і форм для ливарного виробництва.

Large-Scale 3D Printing for Rocket Engines

<https://www.youtube.com/watch?v= JHqdVU9Ebo>



Області використання. Військова логістика

Під час військових навчань НАТО Trident Juncture 18 було проведено оперативний експеримент з використання аддитивних технологій для виготовлення запчастин у польових умовах та їх трансферу у підрозділи за допомогою БПЛА



Аддитивні технології. Термінологія

- **Add** – (англ.) додавати
- **Аддитивна технологія** – спосіб отримання виробів, шляхом пошарового нарощування матеріалу. З'явилася в 1986 році.
- **3D принтер** – обладнання для створення тривимірного виробу, шляхом пошарового нарощування матеріалу.
- **3D прототипіювання** – отримання прототипу виробу з застосуванням аддитивних технологій.
- **Аддитивне виробництво** – отримання готової продукції із застосуванням аддитивних технологій.

Аддитивні технології (3D-друк)

- Аддитивні технології (3D-друк) — одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі.
- Друк здійснюється спеціальним пристроєм — 3D-принтером, який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання пластичного матеріалу на основі віртуальної 3D-моделі. 3D-принтери, як правило, швидші, більш доступні і простіші у використанні, ніж інші технології адитивного виробництва.
- 3D-принтери пропонують розробникам продуктів можливість друку деталей і механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними і фізичними властивостями за один процес складання.

Історія створення 3D-принтерів. SLA друк

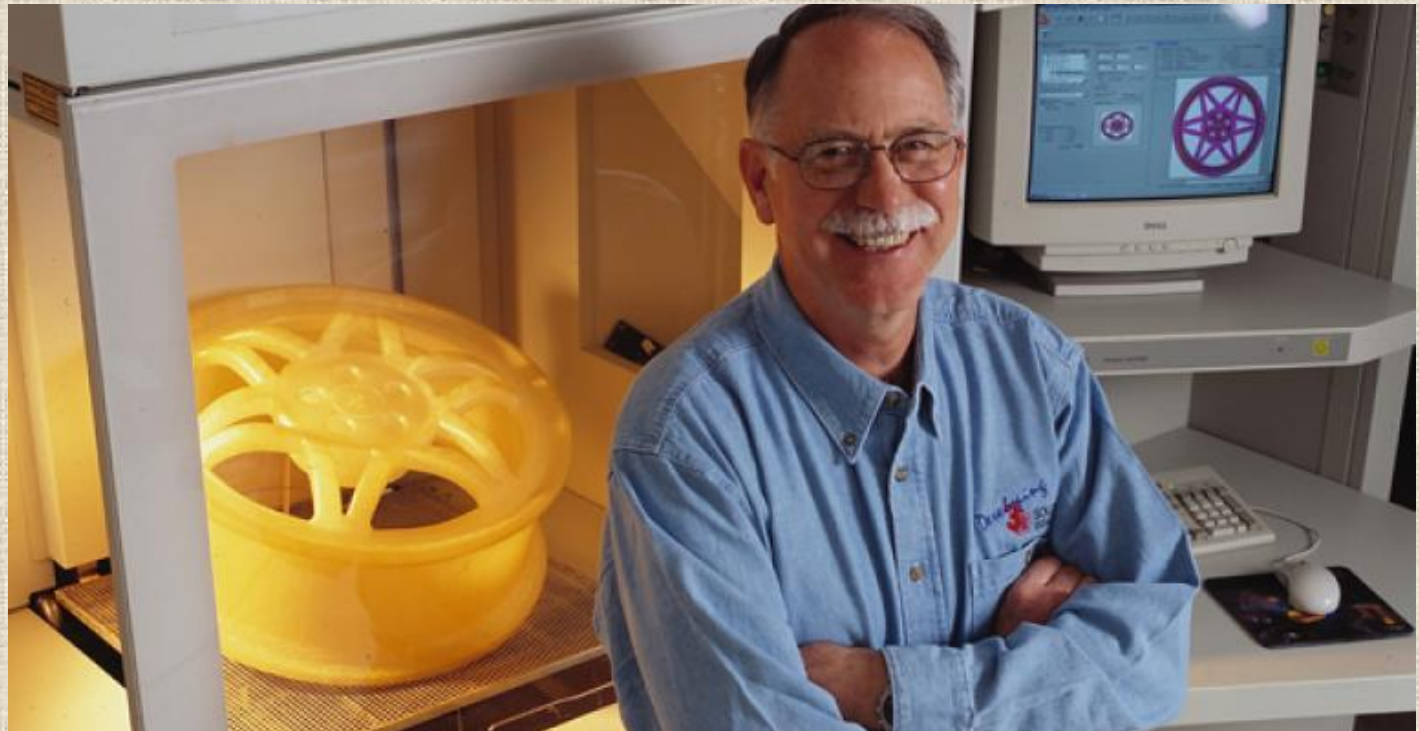
Перший 3d принтер був винайдений американцем **Чарльзом Халлом** (Charles Hull), він працював за технологією стереолітографії (**SLA**). Патент на технологію був оформлений у 1986 р.

Принтер існував у вигляді габаритної промислової установки. Установка "вирощувала" тривимірну модель за допомогою нанесення матеріалу, який фотополімеризується, на рухому платформу.

Модель - цифровий комп'ютерний макет.

Даний 3d принтер створював тривимірні об'єкти, з висотою шару 0,1-0,2 мм. Незважаючи на те, що перший апарат мав велику кількість недоліків, технологія отримала своє застосування.

Чарльз Халл так само є співзасновником компанії **3dsystems**, одного з лідерів світового виробництва промислових 3d принтерів.



Історія створення 3D-принтерів. SLS друк

В 1986 році **Карл Декарт** (Carl Deckard) винайшов метод селективного лазерного спікання (**SLS**).

Технологія методу: лазерний промінь спікає порошок (пластик, метал і т.п.), маса порошку при цьому підігрівається в робочій камері до температури, близької до температури плавлення.

Основою так само служить заздалегідь змодельований на комп'ютері цифровий макет (3д модель).

Після проходження лазером горизонтального шару, камера опускається на висоту шару (як правило 0.1-0.2 мм), маса порошку вирівнюється спеціальним пристроєм і наноситися новий шар.



Історія створення 3D-принтерів. FDM друк

В 2006 році заснований проект **RepRap** (від англ Replicating Rapid Prototyper – механізм, який самовідтворюється, і створений для швидкого виготовлення прототипів), працює за технологією **FDM** (пошарове наплавлення).

Рамою служать металеві вали, вони ж служать напрямними для друкуючої головки, якою управляють крокові двигуни. Програмне забезпечення має відкритий код. Майже всі з'єднувальні деталі друкуються з пластика на самому 3д принтері. Мета - поширення доступних адитивних технологій, можливість завантаження 3д моделей з інтернет, створення необхідних виробів і скорочення виробничого ланцюга.



Історія створення 3D-принтерів.

- З 2003 року спостерігається значне зростання у продажі 3D-принтерів. Крім того, вартість 3D-принтерів постійно зменшується. Технологія також знаходить застосування в сфері виробництва ювелірних виробів, взуття, промислового дизайну, архітектури, проектування та будівництва в атомній, автомобільній, аерокосмічній, стоматологічній та інших галузях.
- На середину 2010-х років стала доступною велика кількість конкуруючих технологій, що дозволяють зробити 3D-модель. Їхні основні відмінності стосуються етапу побудови шарів при створенні деталі. Деякі технології використовують плавлення або розм'якшення матеріалу для виробництва шарів ([SLS](#), [FDM](#)), інші — використовують рідкі матеріали, які твердіють за різними принципами.

Загальна характеристика

Адитивні технології (АМ-технології) можна розрізняти за:

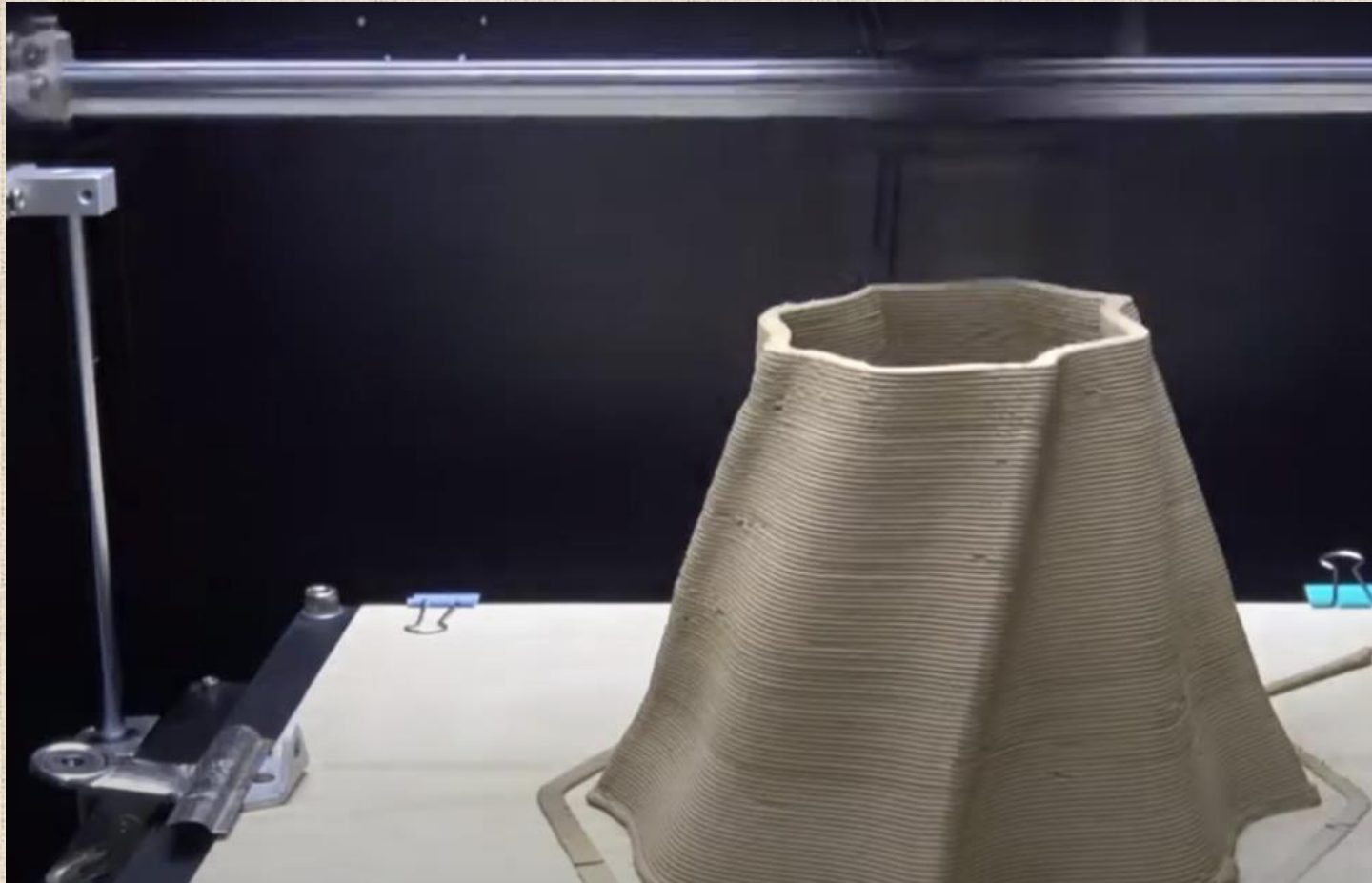
- методом фіксації шару: фотополімеризація, сплавлення, склеювання;
- типом конструктивних матеріалів: рідкі, сипучі, ниткоподібні чи пруткові, листові або плівкові;
- ключовою технологією: лазерні, нелазерні.

За класифікацією стандарту ASTMF2792/1549323-1 адитивні технології поділені на 7 категорій

1. MaterialExtrusion – видавлювання матеріалів або пошарове нанесення розплавленого конструкційного матеріалу через екструдер.
2. MaterialJetting – розбризкування або пошарове струменеве нанесення конструкційного матеріалу.
3. BinderJetting– розбризкування або пошарове струменеве нанесення зв'язуючого матеріалу.
4. SheetLamination – з'єднання листових матеріалів або пошарове формування виробу з листових конструкційних матеріалів.
5. VatPhotopolymerization – фотополімеризація у ванні або пошарове затверджування фотополімерних смол.
6. PowderBedFusion – розплавлення матеріалу в попередньо сформованому шарі або послідовне формування шарів порошкових конструкційних матеріалів і вибіркове (селективне) спікання частин конструкційного матеріалу.
7. Directedenergydeposition – прямий підвід енергії безпосередньо в місце конструювання або пошарове формування виробу методом внесення конструктивного матеріалу безпосередньо в місце підведення енергії.

Material Extrusion

<https://www.youtube.com/watch?v=DmN1na5UpQM>



MaterialJetting

<https://www.youtube.com/watch?v=oi0JEhGqTuU>



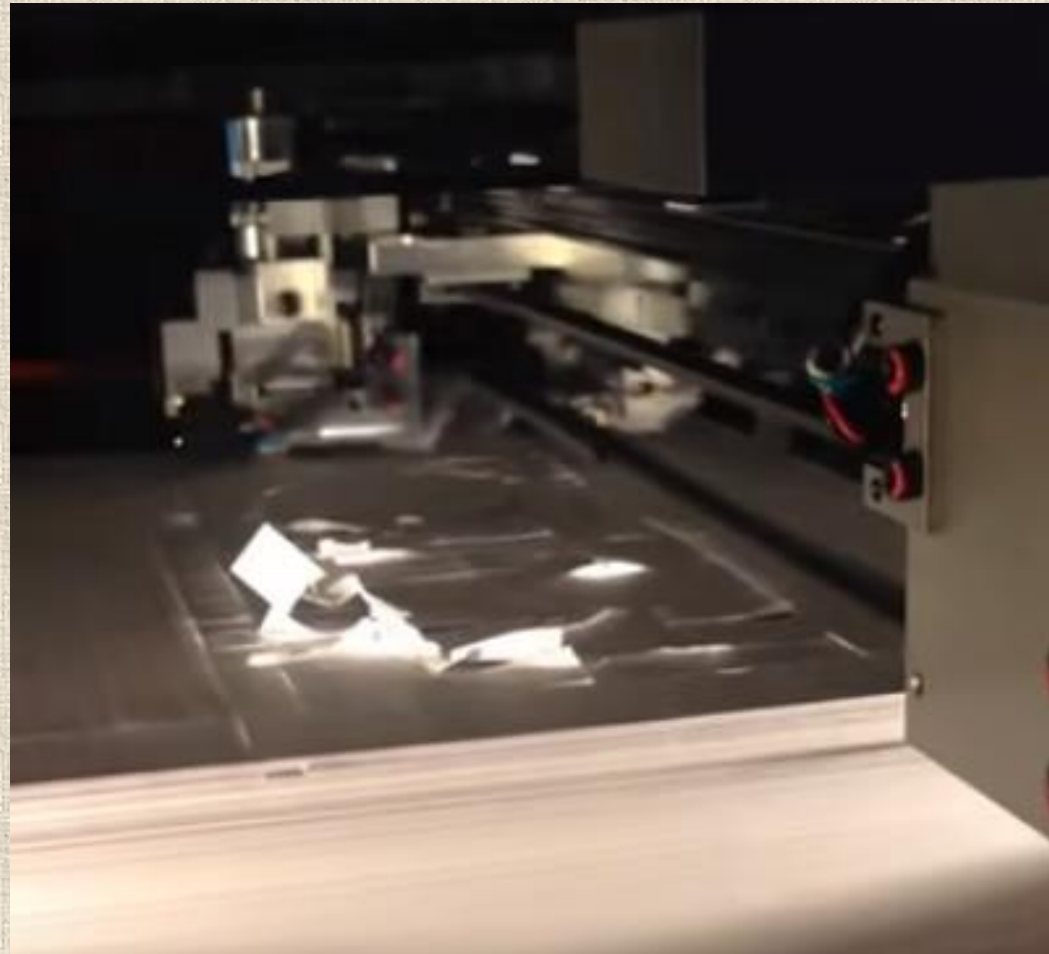
BinderJetting

<https://www.youtube.com/watch?v=97doBH9jSXY>



SheetLamination

<https://www.youtube.com/watch?v=OCYdpb3-dpg>



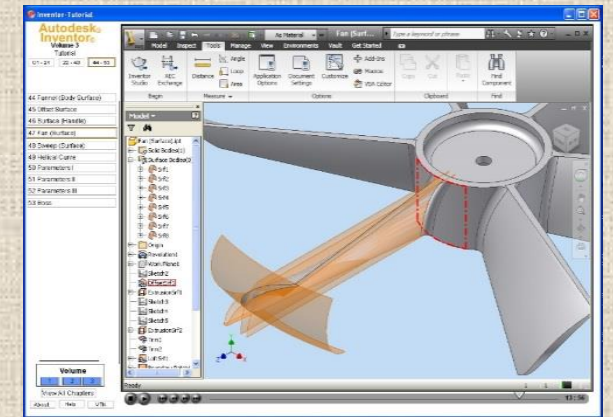
Основи адитивних технологій: 3D-моделювання, 3D-друк, сканування



3D-сканер Sense
Точність: 0,9-1 мм



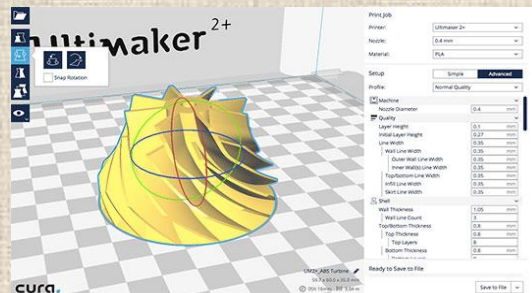
3D-сканер NextEngine 3D Scanner HD
3D-роздільна здатність - від 150 dpi до 400 dpi. Точність: 0,127 - 0,381 мм



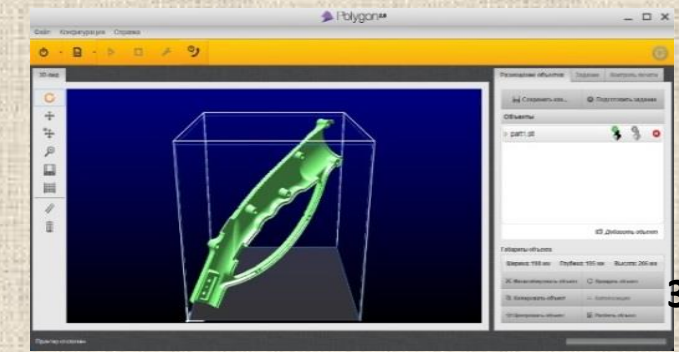
ПЗ для 3D моделювання:
Компас 3D, T-FLEX CAD, 123d Design, Fusion 360, Inventor 2016



3D принтер Ultimaker 2
(Нідерланди)
Робоча область, мм: 223×223×205
Товщина шару: 50–250 мкм
Швидкість друку: до 300mm/c



3D принтер Picaso 3D Designer
(Россия)
Робоча область, мм: 200×200×210
Товщина шару: 20–300 мкм
Швидкість друку: до 300mm/c



Переваги застосування адитивних технологій

Окрім суттєвого скорочення часу, перевагами методу є раціональне використання матеріалів. При виготовленні деталей складної форми традиційними методами відношення маси використаного матеріалу до готового виробу може сягати 15...20 разів.

Застосування адитивних технологій для виготовлення аналогічних деталей дозволяє звести цей показник до 1,5...2,0.

Машини, які за адитивними технологіями створюють деталі з металу – верх інженерного мистецтва, адже в них сконцентровано найпередовіші знання з металургії, лазерної техніки, оптики, електроніки, систем управління, вимірювальних пристроїв, механіки, вакуумної техніки та інших.

Використання адитивних технологій дозволяє втілити в життя найвибагливіші ідеї конструктора, створити якісно нові машини та досягнути суттєвого прогресу в машинобудуванні.

Способи та принципи друку

3D-друк може здійснюватися різними способами і з використанням різних матеріалів, але в основі будь-якого з них лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердого об'єкта.

Застосовуються дві принципові технології:

Лазерна технологія друку:

Лазерний друк — ультрафіолетовий лазер поступово, піксель за пікселем, засвічує рідкий фотополімер, або фотополімер засвічується ультрафіолетовою лампою через фотошаблон, мінливий з новим шаром. При цьому він твердне і перетворюється на досить міцний пластик.

Лазерне спікання — при цьому лазер випалює в порошок з легкоплавного пластику, шар за шаром, контур майбутньої деталі. Після цього зайвий порошок струшується з готової деталі.

Ламінування — деталь створюється з великої кількості шарів робочого матеріалу, які поступово накладаються один на одного і склеюються, при цьому лазер вирізає в кожному контур перерізу майбутньої деталі.

Способи та принципи друку

Струменева технологія друку:

Застигання матеріалу при охолодженні — роздавальна голівка видавлює на охолоджувану платформу - основу краплі розігрітого термопластика. Краплі швидко застигають і злипаються один з одним, формуючи шари майбутнього об'єкта.

Полімеризація фотополімерного пластику під дією ультрафіолетової лампи — спосіб схожий на попередній, але пластик твердне під дією ультрафіолету.

Склеювання або спікання порошкоподібного матеріалу — те ж саме що і лазерне спікання, лише порошок склеюється клеєм, що надходить із спеціальної струменевої голівки. При цьому можна відтворити забарвлення деталі, використовуючи сполучні речовини різних кольорів.

Технології швидкого прототипування. Multi Jet Fusion

Multi Jet Fusion — MJF. Пошаровий струменевий друк з вулканізацією порошку термопластика. Запатентована технологія від HP.

На момент 2021 року MJF дозволяє друкувати деталі з матеріалів: поліаміди PA11, PA12, склонаповнений поліамід PA 12 GB, гумоподібні Estane 3D TPU-M95A, TPU 88A – BASF ULTRASINT 3D.

Переваги технології: висока продуктивність (до 1 кг на годину), максимальна ізотропність виробів, відсутність підтримуючих структур.

Технології швидкого прототипування.

Стереолітографія

Stereolithography — SL. Під дією керованого комп'ютером ультрафіолетового випромінювання відбувається затвердіння шару завтовшки в декілька сотих міліметра, при цьому платформа з майбутньою деталлю опускається вниз і знову покривається рідиною. Далі все повторюється й в результаті ультрафіолетовий промінь «малює» об'ємну фігуру.

Переваги технології: відносно точний процес, хороша деталізація деталей, гладка поверхня вихідної деталі. Недоліки: обмежений набір матеріалів, які фізично можуть використатися в процесі та неможливість створення кольорових моделей. Вартість установок сягає 40-60 тисяч доларів США.

Технології швидкого прототипування.

Селективне лазерне спікання

Selective Laser Sintering — SLS. Використовується такими компаніями, як, наприклад, DTM корпорації і EOS. Суть технології полягає в пошаровому спіканні лазерним променем порошкового матеріалу. У робочій камері він попередньо підігрівається, трохи не доходячи до температури плавлення. Після розрівнювання порошку по поверхні зони обробки, лазером (як правило це вуглекислотний лазер) спікається потрібний контур, далі насипається новий шар, розрівнюється, і процес повторюється. Готова модель витягується з камери, а надлишки порошку видаляються.

Переваги технології: широкий спектру недорогих і нетоксичних матеріалів (порошкові полімери, ливарний віск, нейлон, кераміка, металеві порошки), низькі деформації та напруги, можливість одночасно робити відразу кілька моделей в одній камері. Недоліки: менш точний процес, груба вихідна поверхня, неможливо створювати кольорові моделі.

Цей вид друку підходить для роботи з такими матеріалами, як:

Метал, полімер, глауконітовий пісок

Вартість таких установок становить близько 400 тис. доларів США. Але вони наразі представлені і в Україні.

Технології швидкого прототипування. Моделювання плавленням

Fused Deposition Modeling — FDM. Основною частиною принтера, що з'явився на ринку в 1991 р., є екструдована голівка. У ній матеріал (ливарний віск або пластик, що надходять з катушок) нагрівається до температури плавлення і подається в зону друку. Головка переміщається по двох координатах, синтезуючи певний шар моделі. Потім платформа опускається, створюється новий шар і т. д.

Переваги технології: легкість перебудови з одного нетоксичного матеріалу на іншій, низькі витрати і досить висока продуктивність, малі температури переробки, а також мінімальне втручання оператора у функціонування обладнання, можливість створення кольорових моделей, відносно точний процес. Недоліки: між шарами утворюються шви; голівка екструдера повинна постійно рухатися, інакше матеріал застигне і засмітить її; можливе розшарування у разі температурних коливань протягом циклу обробки; груба вихідна поверхня. Орієнтовна вартість FDM-принтера 50-220 тис. доларів США.

Технології швидкого прототипування. Laminated Object Manufacturing — LOM

LOM-технологія була винайдена Михайлом Фейгеном у 1985 р., а сьогодні на її основі виробляють промислові установки такі фірми, як Helisys, Paradigm і Sparx AB.

Листовий матеріал (папір, пластик, кераміка, композити або поліестер) розкроюється за заданому контуру за допомогою лазера (можна одночасно розкроювати більше одного аркуша, проте точність при цьому зменшується), а потім нагрівається валик, який здійснює склеювання шарів. При помилці в процесі синтезу об'ємного виробу частину шарів можна видалити.

Переваги технології: LOM-установки, орієнтовна вартість яких коливається в межах 90-250 тис. доларів США, дозволяють застосовувати широкий діапазон недорогих листових матеріалів і синтезувати моделі з мінімальними деформаціями завдяки відсутності фізико-хімічних перетворень. Недоліки: через те, що лазер не завжди повністю прорізає лист, ускладнюється видалення відходів і навіть не виключено пошкодження деталей, а властивості матеріалу можуть змінюватися. Жорстку поверхню виробу важко обробляти через можливість розшарування, а в робочому приміщенні необхідна вентиляція.

Технології швидкого прототипування.

Струменева полімеризація

Polyjet and Ployjet Matrix. Процес друку полягає в наступному. На площину побудови згідно з програмним алгоритмом наноситься рідкий фотополімер блоком друкуючих головок. Блок складається з 8 головок — це 768 сопел малого діаметра, що здатні продукувати близько 16 млн. крапель на хвилину. На друкуючій голівці розміщені дві ультрафіолетові (УФ) лампи, які замінюють лазер в SLA-установках. Після нанесення фотополімер полімеризується під дію УФ світла. Цим завершується побудова одного шару. Далі площину побудови зміщують на дуже малий рівень і головки створюють наступний шар.

У наш час існують дві платформи обладнання: Іден (англ. Eden) та Коннекс (англ. Connex). Іден підтримує технологію побудови моделей PolyJet, Коннекс — технологію PolyJet Matrix.

Переваги технології: мала товщина шару в 16 мікрон задовольняє навіть ювелірів, які мають підвищені вимоги до деталізації моделей. Як наслідок малої товщини — криволінійність поверхонь. Гладкість висока, роздільна здатність друку 600 x 600 крапок на дюйм. Точність виготовлення моделей до 0,1 мм. Можливість виготовляти вертикальні перегородки з товщиною до 0,4 мм. Хоча виробником заявляються 0,6 мм. Дуже висока швидкість виготовлення моделей. Недоліки: менш міцний матеріал.

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ FDM-ДРУКУ

Технології швидкого прототипування. Моделювання плавленням

Друк FDM підходить для наступних видів пластику:

ABS-пластик (похідна нафти, термопластична смола);

PLA-пластик (полі-молочна кислота, виробляється із зерна);

HIPS-пластик (удароміцний полістирол);

PC-пластик (матеріал наповнений вуглецевим волокном, твердий полімер, здатний пропускати світло);

Laywoo-D3 (полімер);

Laybrick (імітує текстуру пісчанику);

PVA: PVAc и PVAI (добре поглинають вологу, можуть розчинятися у воді, використовуються для покращення друку основним пластиком);

нейлон (легкий та гнучкий пластик).

Топ компанії і їхні технології

Stratasys - Fused Deposition Modeling

Z Corporation - 3 Dimensional Printing

3D Systems - Stereolithography and Selective Laser Sintering

Objet Geometries - Polyjet & Ployjet matrix

Типи установок

Одним з найбільш яскравих методів застосування 3DP стало створення кондитерських принтерів ChefJet та ChefJet Pro, що будують тривимірні їстівні моделі з цукровмісних продуктів. 3D Systems ChefJet - новаторський кондитерський 3D-принтер, призначений для друку їстівних виробів на основі цукру. Пристрій працює за технологією струменевого 3D-друку, склеюючи тонкі шари порошкового матеріалу водою. В якості матеріалів використовується цукор, карамельна і шоколадна крихта та інші водорозчинні матеріали з харчовими добавками, що забезпечують різноманітність кольорів і смаків. Принтер призначений для монохромного друку. Максимальний розмір друкованого об'єкта 20x20x15 см. Версія ChefJet оцінюється в \$ 5000.

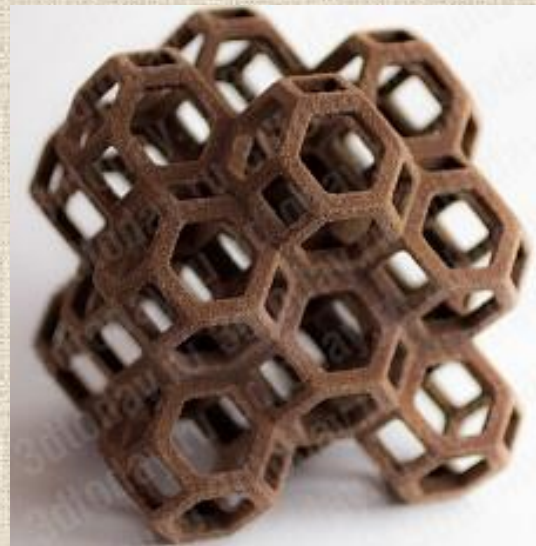


Типи установок

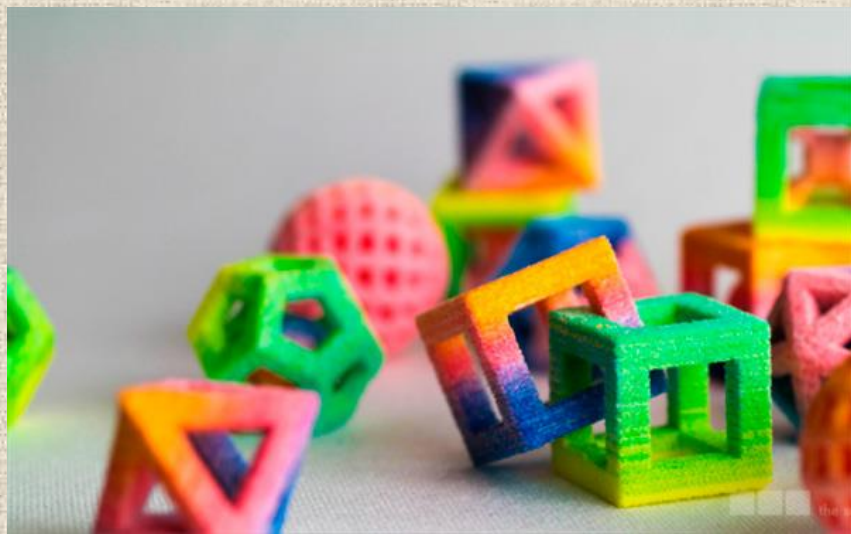
Професійна модель ChefJet Pro розвиває ідею далі, дозволяючи друкувати різнокольорові моделі, а також змішувати або нашаровувати смакові відтінки. Витратні матеріали включають цукор, карамель і шоколад. Максимальний розмір друкованого об'єкта 25х35х20 см. ChefJet Pro оцінюється в \$10 000.

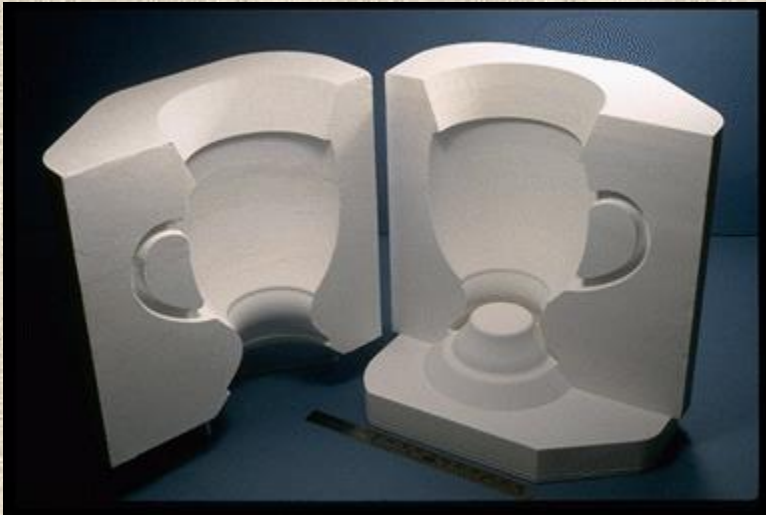


Приклади виробів, які може надрукувати принтер ChefJet

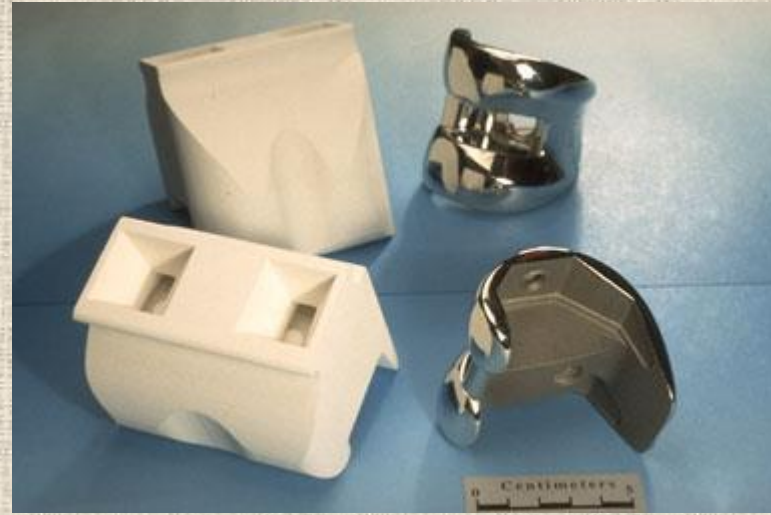


Приклади виробів, які може надрукувати принтер ChefJet Pro





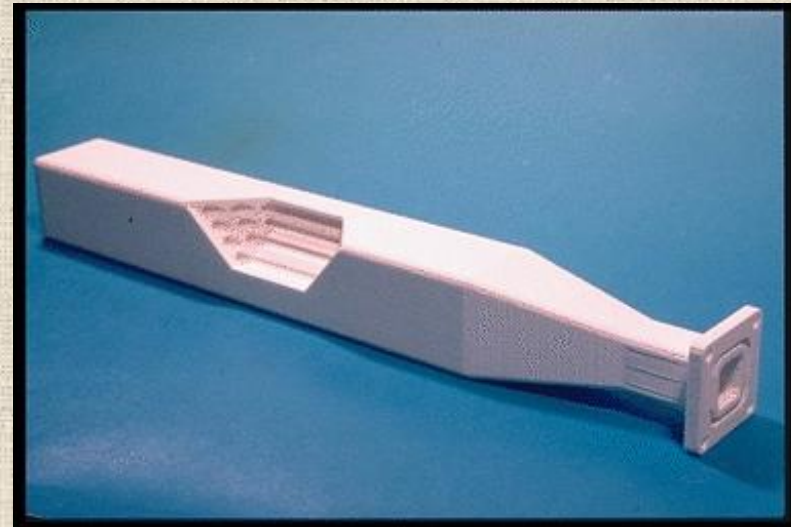
Сліпок для ливарної форми



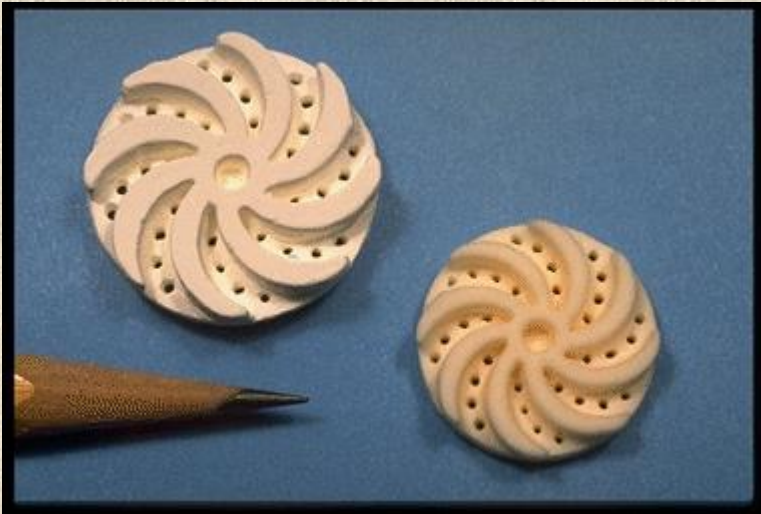
Оболонка для штучного колінного імплантату



Собор Святої Софії (Стамбул)



Керамічний фільтр



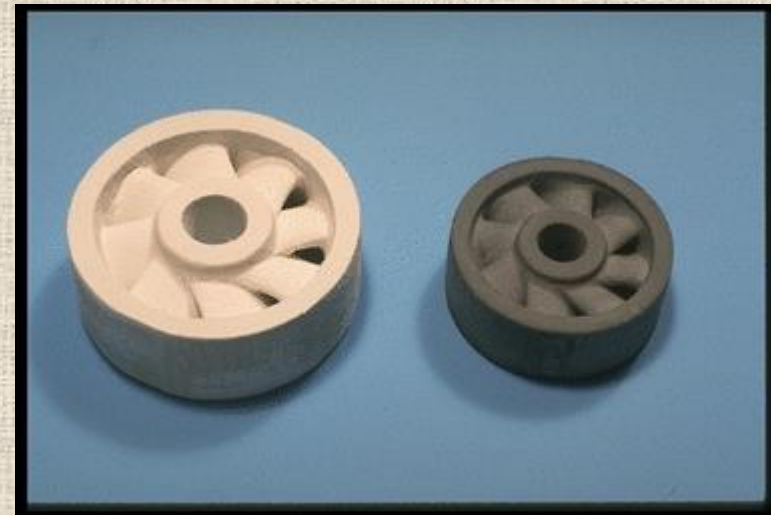
Структурна частина глинозему
до і після спікання



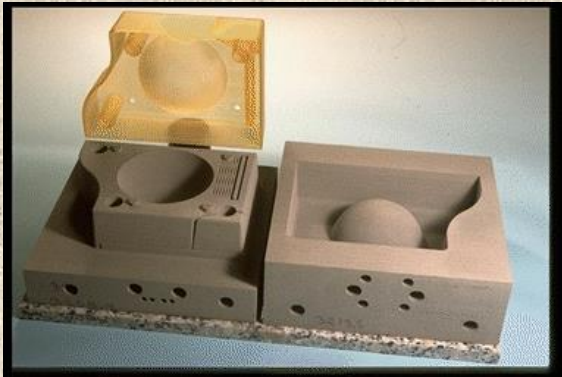
Спечена частина нітриду кремнію



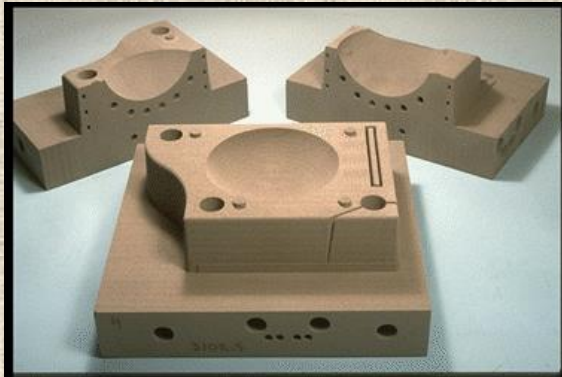
Компонент нітриду кремнію



Компонент нітриду кремнію



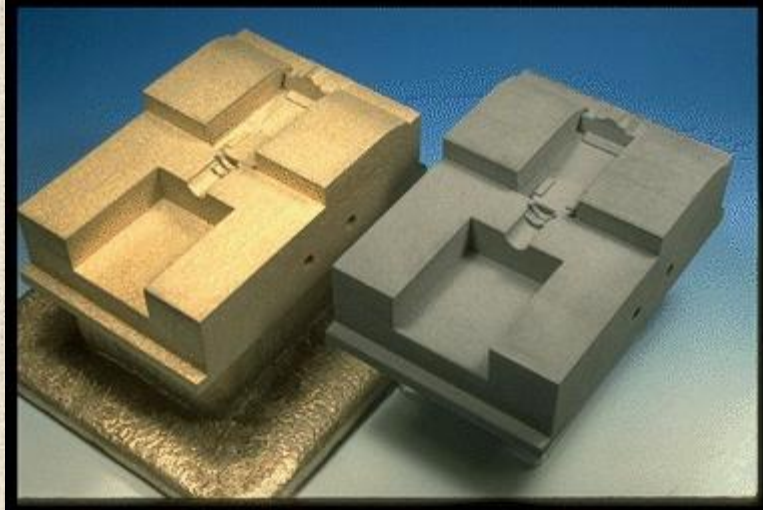
Лиття і
формувальна частина

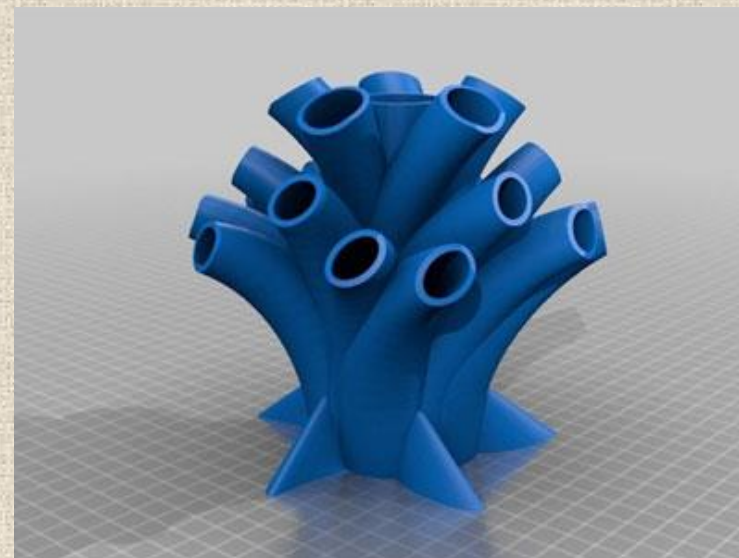


Лиття
у розрізі

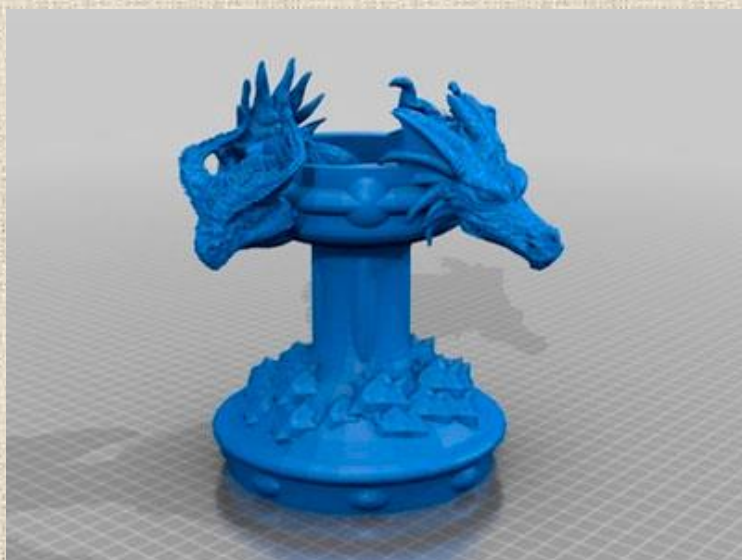


Готові металеві
інструменти по 3DP





Підставка під ручки та олівці



Підсвічник з драконами



Тримач для телефона

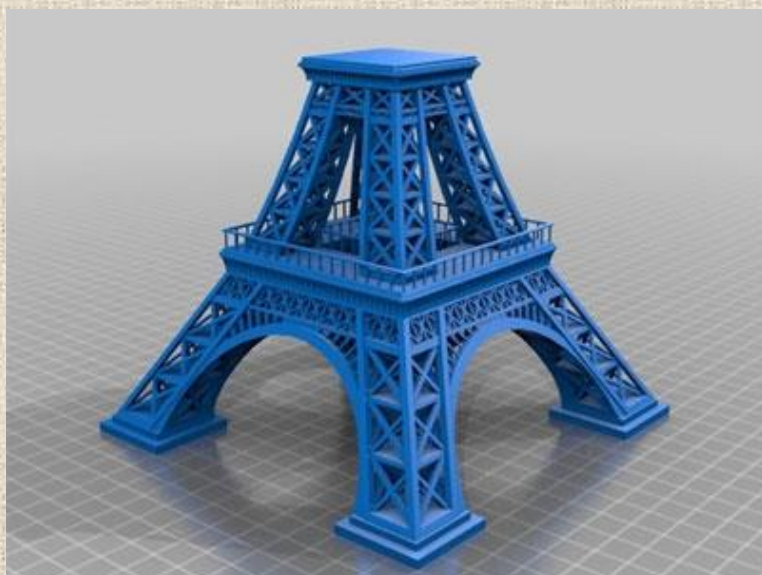


Іграшковий шолом



S-подібний карабін





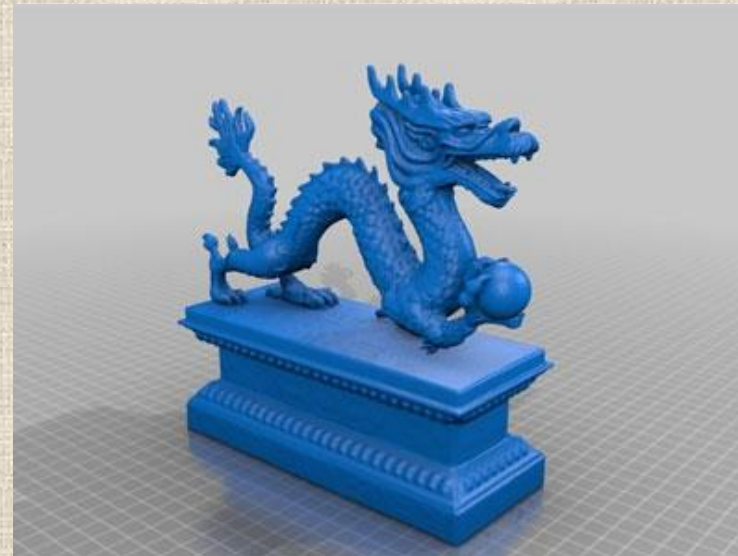
Ейфелева вежа



Лего-робот



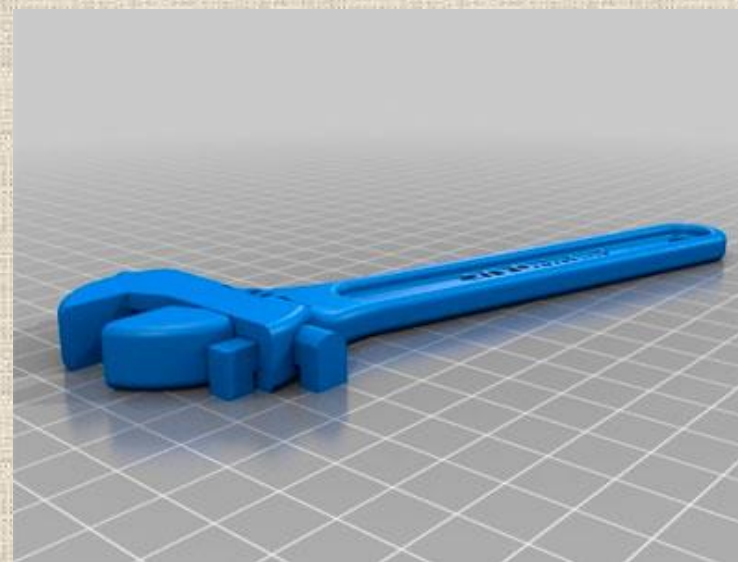
Фігурка робота



Дракон

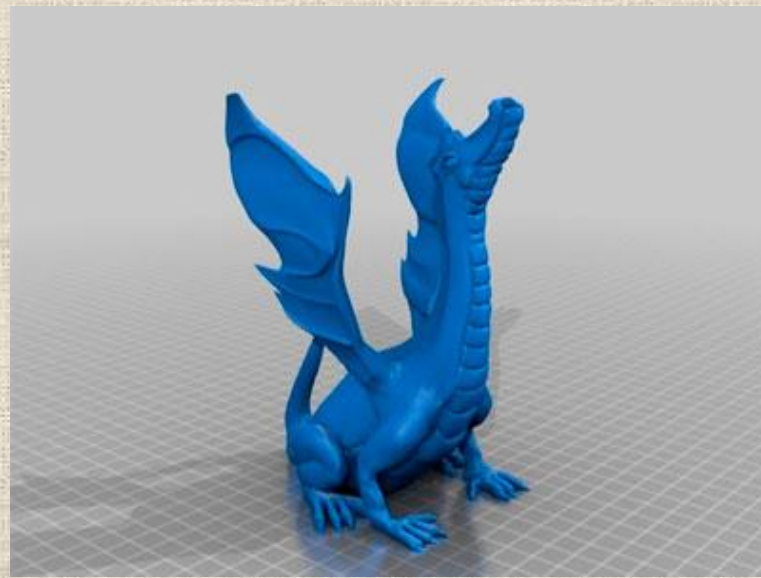


Розвідний ключ

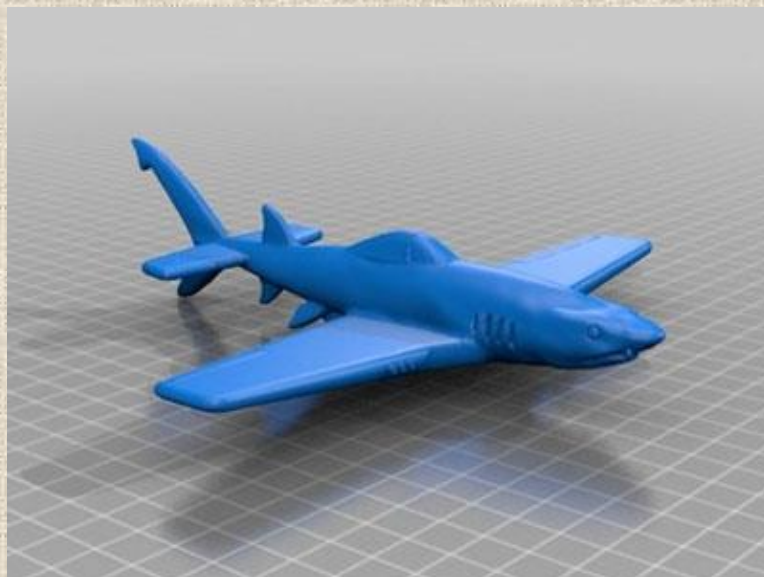




Коробка



Дракон



Літак

Перспектива розвитку технології

Технологія 3D-друку швидко розвивається, пристрої для 3D-друку все тісніше зливаються з нашим життєвим процесом, забезпечуючи людину всім необхідним.

Ціни на 3D-принтери знижуються (раніше вони коштували \$2000-3000, сьогодні на ринку представлено безліч моделей по ціні \$500 і навіть менше), самі вони стають все більш універсальними і функціональними, поступово розширюючи горизонти можливого застосування. Якщо раніше ці пристрої використовувалися в основному для створення прототипів і відливальних форм, то сьогодні будь-який домашній 3D-принтер здатний працювати як фабрика повиробництва дрібносерійних деталей.

Більш того, сучасні технології дозволяють друкувати такі, здавалося б, фантастичні речі, як індивідуальні імпланти і пластикову зброю. В майбутньому буде можливим виготовляти міцні елементи швидко і дешево. Така тенденція не може не радувати і дозволяє припустити, що в найближчому майбутньому 3D-принтер стане таким же незамінним предметом домашнього вжитку, як кавоварка або мікрохвильова піч.

Програми створення 3D-моделей

Після створення 3D-моделі використовуються САПР або CAD-системи, що підтримують управління 3D-друком.

