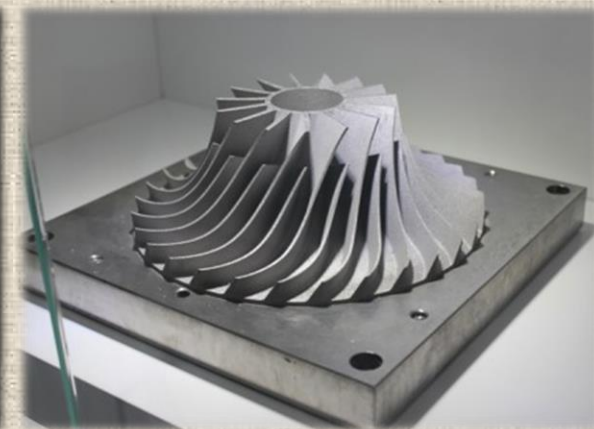
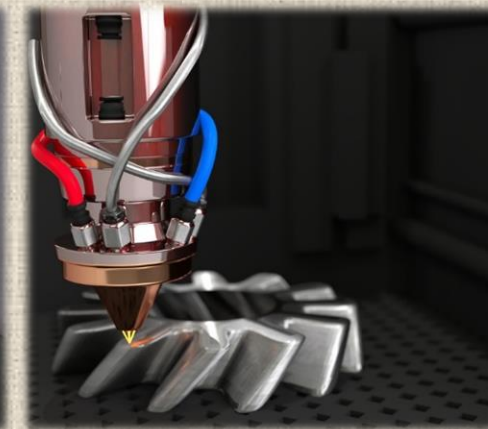
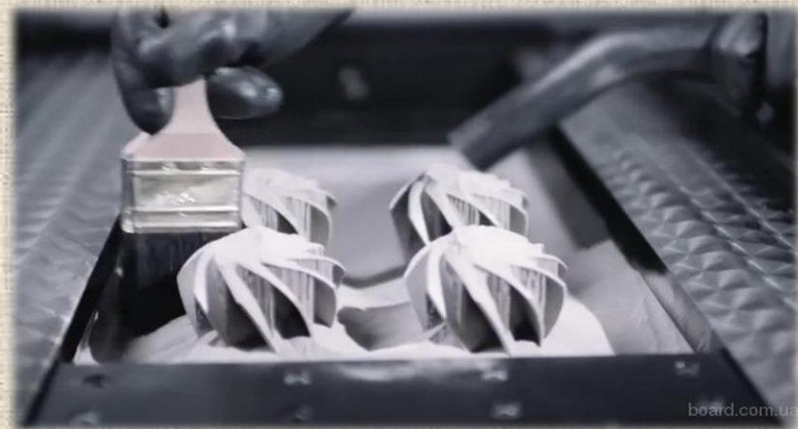
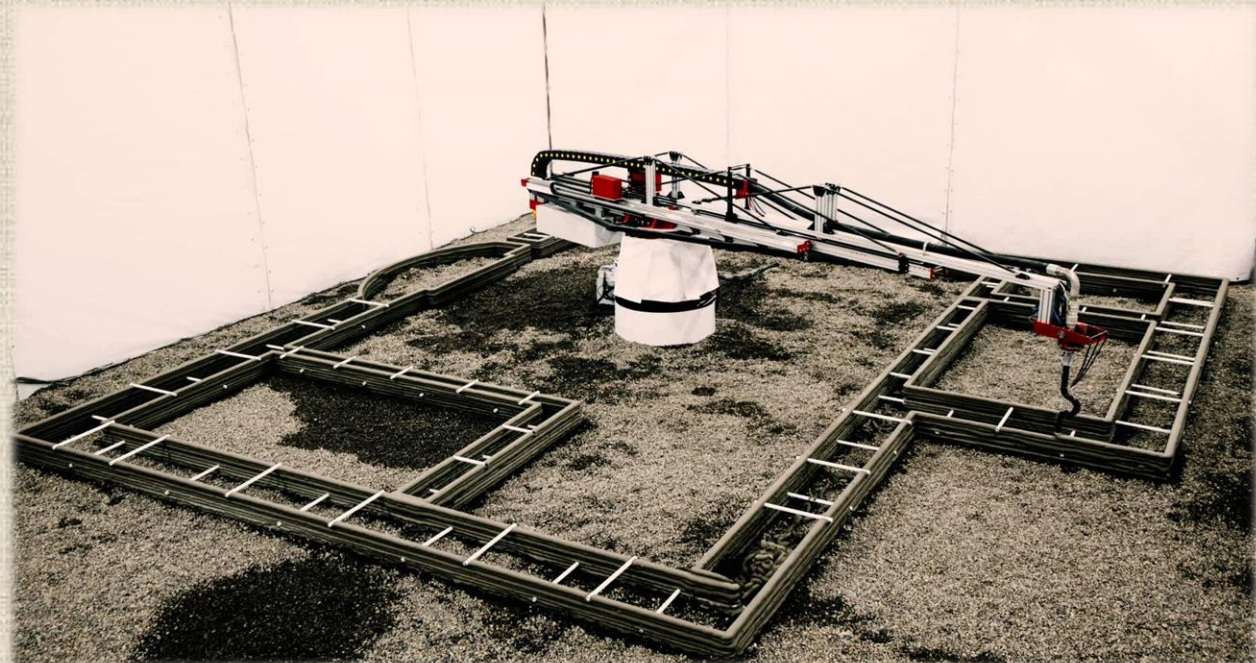
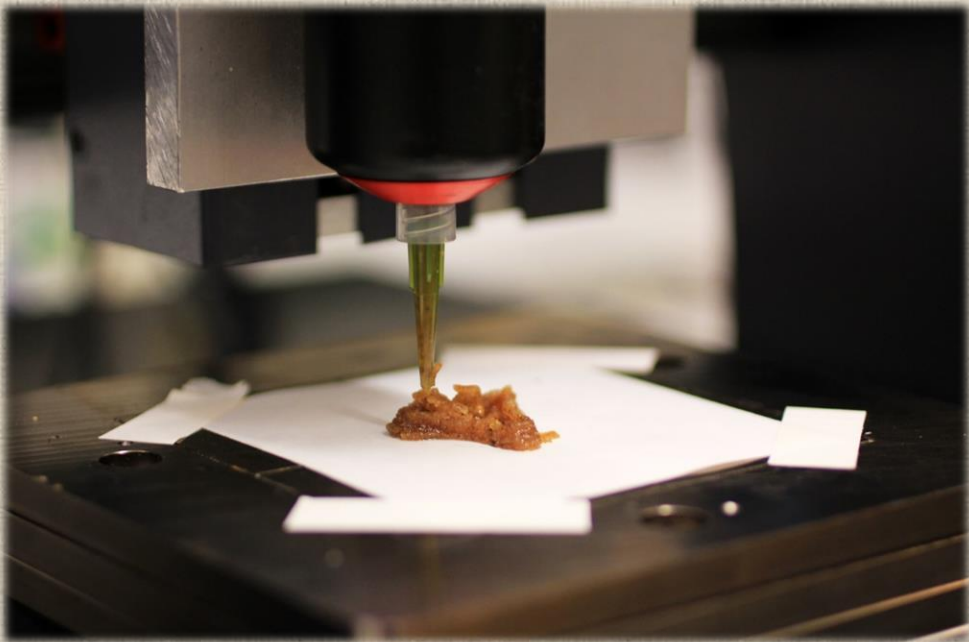
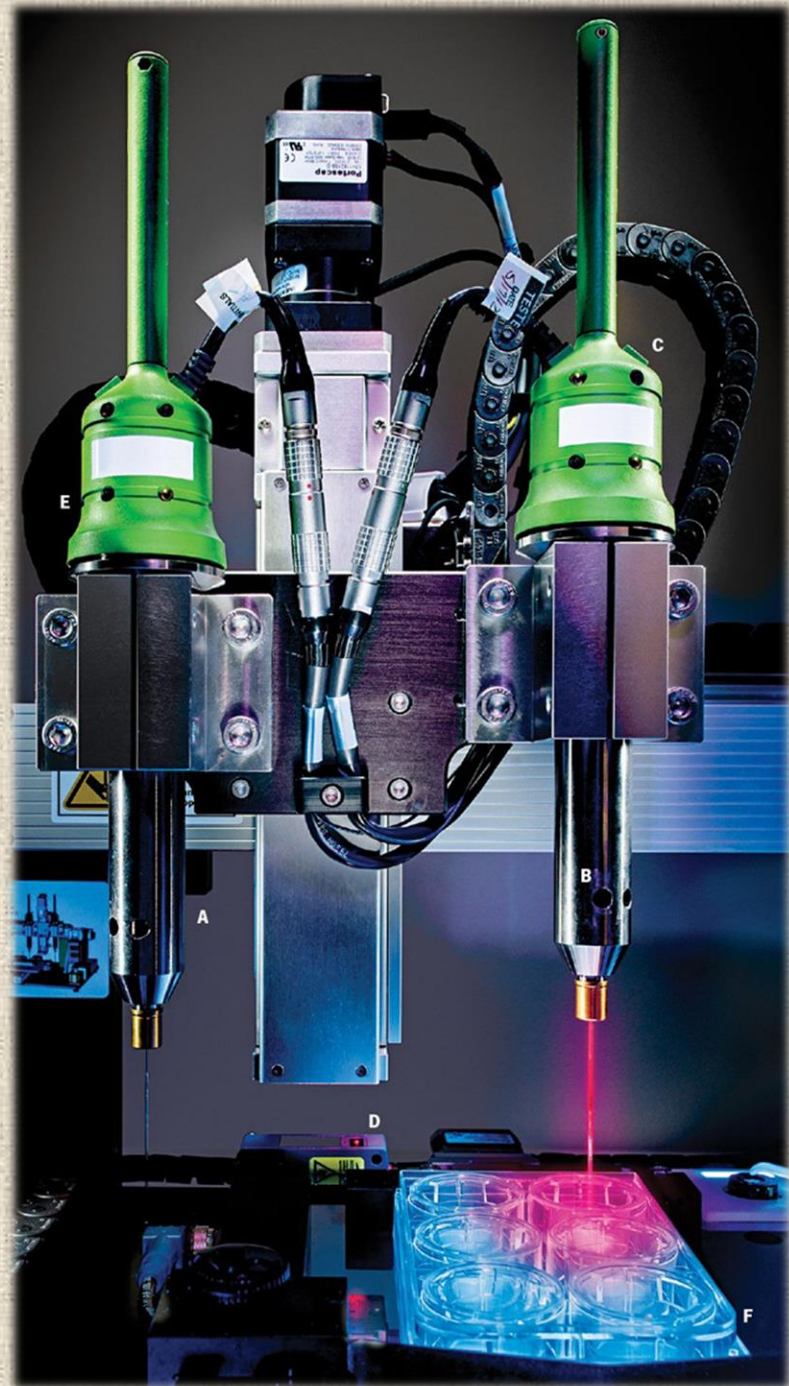
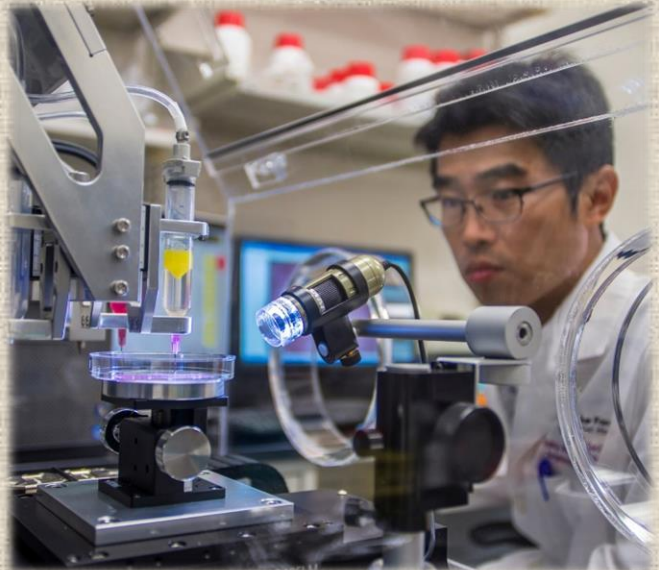
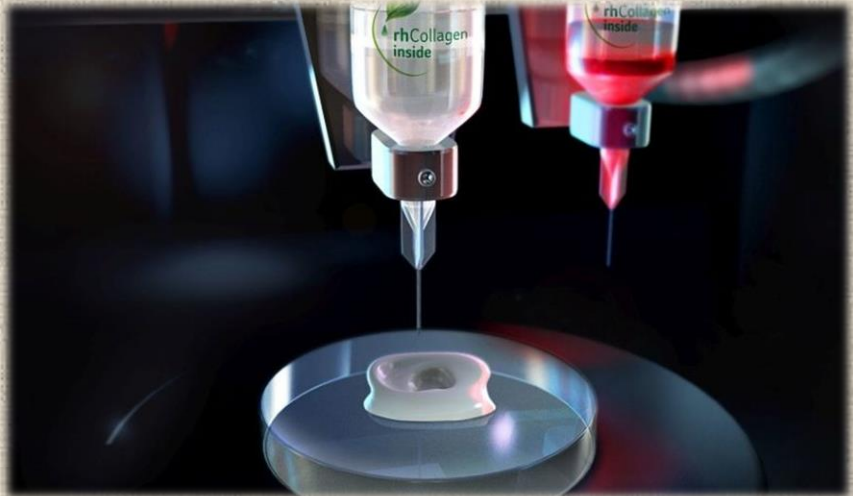
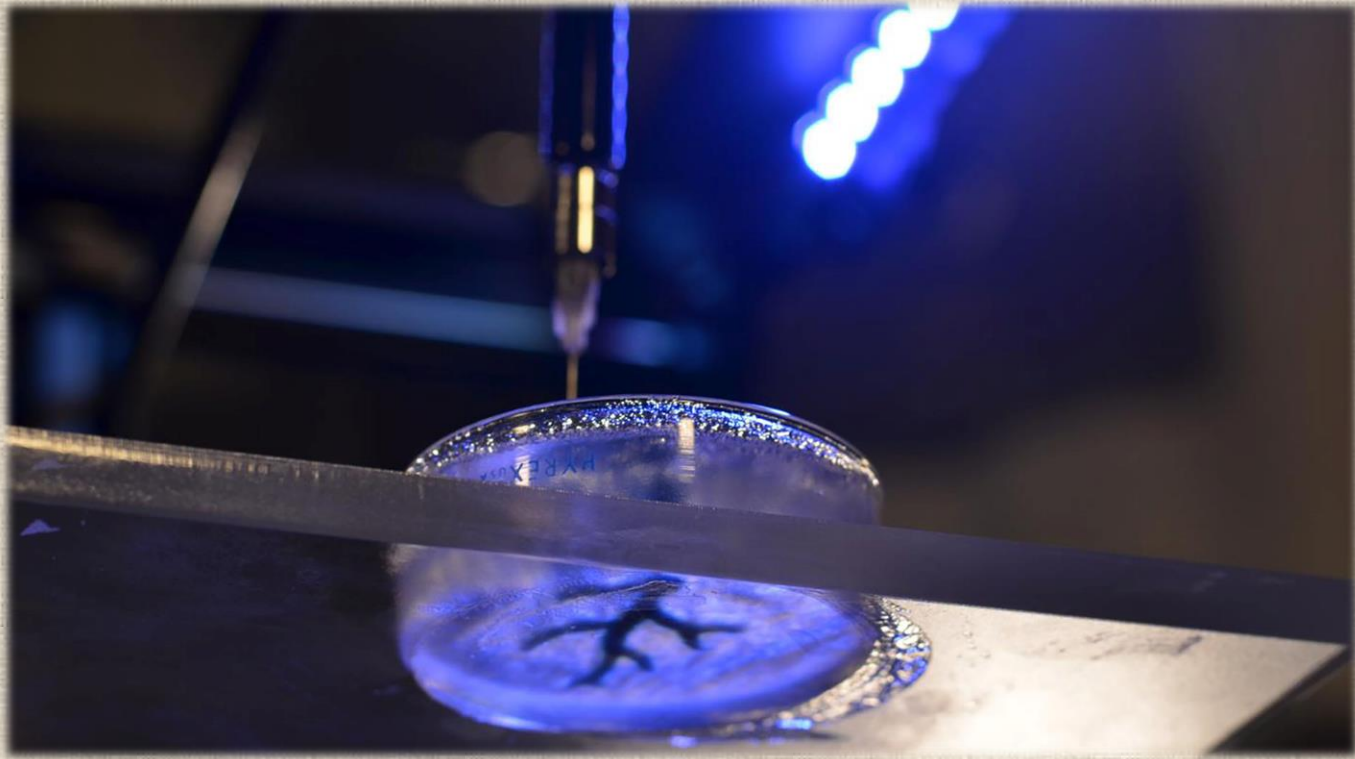


Адитивні технології виробництва (3D-друк) Лекція 1









Аддитивні технології (3D-друк)



Аддитивні технології (3D-друк)



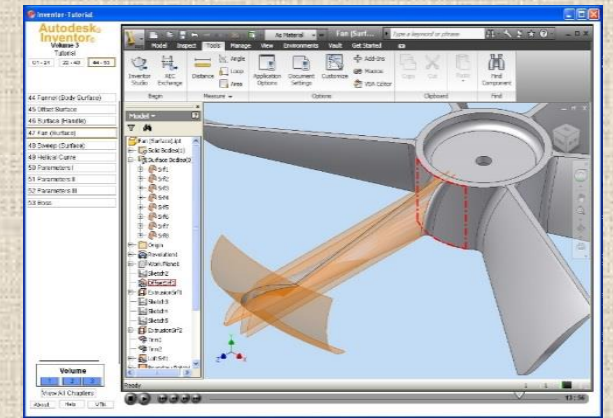
Основи адитивних технологій: 3D-моделювання, 3D-друк, сканування



3D-сканер Sense
Точність: 0,9-1 мм



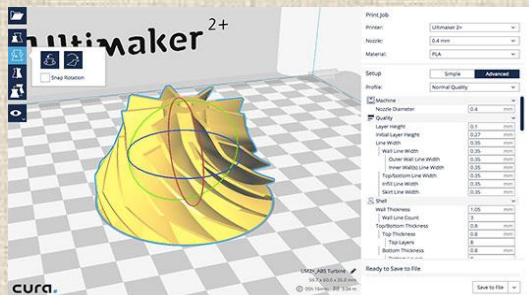
3D-сканер NextEngine 3D Scanner HD
3D-роздільна здатність - від 150 dpi до 400 dpi. Точність: 0,127 - 0,381 мм



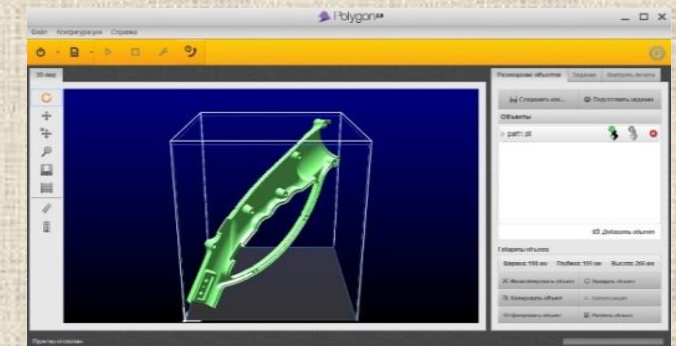
ПЗ для 3D моделювання:
Компас 3D, T-FLEX CAD, 123d Design, Fusion 360, Inventor 2016



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



Термінологія

- **Add** – (англ.) додавати
- **Адитивна 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 адитивних технологій.
- **Адитивне виробництво** – отримання готової продукції із застосуванням адитивних технологій.

Адитивні технології (3D-друк)

- Адитивні 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.

Адитивні технології (3D-друк)

- 3D друк часто називають «магічною» технологією, оскільки дозволяє перетворювати, отримані в САD-системах в готові вироби. У реальності процес 3D-друку вимагає також багато ручної праці, що включає попередню підготовку і подальшу обробку надрукованих деталей для досягнення їх бажаної якості.

Історія

- 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.

Класифікація

Адитивні технології (AM-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.

Аддитивні технології (AM-технології)

AM-технології сьогодні найбільш динамічно розвиваюча галузь матеріального виробництва, яка дає можливість отримувати нові властивості виробів, економити час та матеріали при їх виготовленні. Західні аналітики розглядають ступінь впровадження цих технологій як надійний індикатор реальної індустріальної потужності держави.

Характерною тенденцією останніх років є постійний ріст асортименту та кількості деталей, що виготовляються за аддитивними технологіями. І особливо важливим є прогрес у найбільш важкому та інноваційному секторі AM-технологій – «виращуванні» виробів із металу. Наприклад, компанія «Боїнг» десятками тисяч виготовляє сотні найменшуваних деталей для військових та комерційних літаків, а Дженерал Електрик планує протягом 5...10 років наростити обсяги виробництва AM-технологіями та досягнути виготовлення приблизно половини деталей енергетичних турбін та авіадвигунів цими методами.

Перехід на цифровий опис виробу – CAD і використання AM-технології здійснив кардинальні зміни в ливарному виробництві. Отримання ливарних синтез-форм та синтез-моделей шляхом пошарового нарощування радикально скоротило термін створення першого дослідного зразка деталі. Наприклад, термін створення блоку циліндрів автомобільного двигуна традиційними методами становить близько 6 місяців. Основний час витрачається на створення модельного оснащення. Використання AM-технології для «виращування» ливарної моделі скорочує термін отримання першої відливки блоку циліндрів до двох тижнів. Тобто в 10...15 разів.

Аддитивні технології (АМ-технології)

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

Машина, які за аддитивними 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 аддитивних технологій дозволяє втілити в життя найвибагливіші ідеї конструктора, створити якісно нові машини та досягнути суттєвого прогресу в машинобудуванні.

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.

Області використання. Технології у промисловому виробництві

Для швидкого виробництва — виготовлення готових деталей з матеріалів, які підтримуються 3D-принтерами. Це відмінне рішення для малосерійного виробництва.

Для виробництво складних, масивних, міцних і головне недорогих систем. Прикладом є безпілотний літак Polecat компанії Lockheed, велика частина деталей якого була виготовлена методом швидкісного тривимірного друку.

При зубному протезуванні та вирощування повноцінних органів. Прикладом є розробки Університету Міссурі, які дозволяють наносити на спеціальний біо-гель згустки клітин заданого типу.

Для виготовлення ракетних двигунів та космічних ракет. Прикладом є розробки американської компанії Rocket Lab.

Для виготовлення моделей і форм для ливарного виробництва.

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



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:

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:

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 фотополіменого 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. 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 котушок) 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. 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);

Luwooo-D3 (полімер);

Luubrick (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).

Технології швидкого прототипування. Моделювання плавленням

Етапи друку із застосуванням технології FDM:

Моделювання виробу, додавання необхідних текстур.

Друк плавленим пластиком шляхом екструзії (видавлювання).

Постобробка: за допомогою ацетону поверхня виробу робиться гладкою.

Пошарове формування об'ємних моделей з листового матеріалу

Laminated Object Manufacturing — LOM. LOM-технологія була винайдена Михайлом Фейгенмом 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) розкрююється за заданому контуру за допомогою лазера (можна одночасно розкрюювати 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.[5][6][7]

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. Шорстку поверхню виробу важко обробляти через можливість розшарування, а в робочому приміщенні необхідна вентиляція.

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.

Топ компанії і їхні технології

Stratasys - Fused Deposition Modeling

Z Corporation - 3 Dimensional Printing

3D Systems - Stereolithography and Selective Laser Sintering

Objet Geometries - Polyjet & Polyjet matrix

Самовідтворення

До недавнього часу були науковою фантастикою 3D-принтери, які можуть відтворювати деталі власної конструкції, тобто реплікувати самі себе. Сьогодні це цілком здійснено, і розробка такої машини ведеться проектом RepRap, причому інформація про її конструкції поширюється за умовами ліцензії GNU General Public License.

Проект першого в історії недорогого тривимірного принтера-RepRap, що реплікується (тобто здатний відтворити принаймні частину самого себе), активно реалізується в наші дні англійськими конструкторами університету Бата. «Найголовніша особливість RepRap полягає в тому, що з самого початку він був задуманий як система, що реплікується: принтер, який сам себе роздруковує» (Адріан Бовер, один із співробітників проекту RepRap).

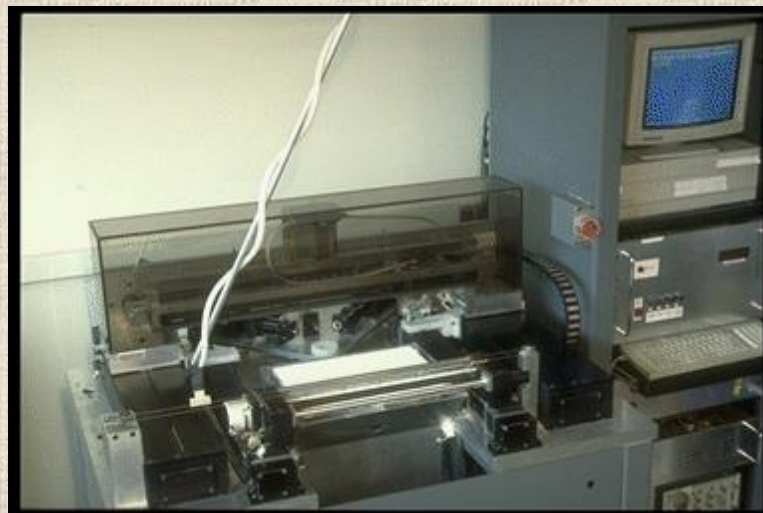
Застосовувані матеріали:

У ролі основи зазвичай виступає гіпсовий порошок. Крім гіпсу використовуються найрізноманітніші матеріали, включаючи **пластики, мінерали, крохмаль, кераміку, целюлозу, полістирол, піщані суміші** і навіть **метали**, також 3DP-принтери можуть друкувати **порошком скла, кістковим порошком, переробленою гумою, бронзою, тирсою, і навіть харчовими продуктами (наприклад, цукром або шоколадним порошком)**. Технологія здатна створювати тривимірні моделі з будь-якого порошкового матеріалу, а додавання барвників в зв'язувальний матеріал дозволяє здійснювати кольоровий друк.



Типи установок

Є досить багато варіантів установок, що реалізують цей спосіб. Установки відрізняються застосовуваними матеріалами (вихідними і зв'язувальними), розходженням допоміжних елементів – підтримок, механізмом отвердіння, кількістю використовуваних сопел, точністю виготовлення, робочим об'ємом. Робоча камера принтера складається з двох частин: у першій відбувається подача порошку, у другій - побудова моделі. Хоча 3D принтери не забезпечують високу точність та міцність готового прототипу, але їх механічних властивостей достатньо для задач візуалізації, відпрацювання дизайну. Установки компактні - можливо їх розміщення у робочому місці конструктора. Деталь, залежно від складності і габаритів, може бути виготовлена протягом декількох хвилин або годин.





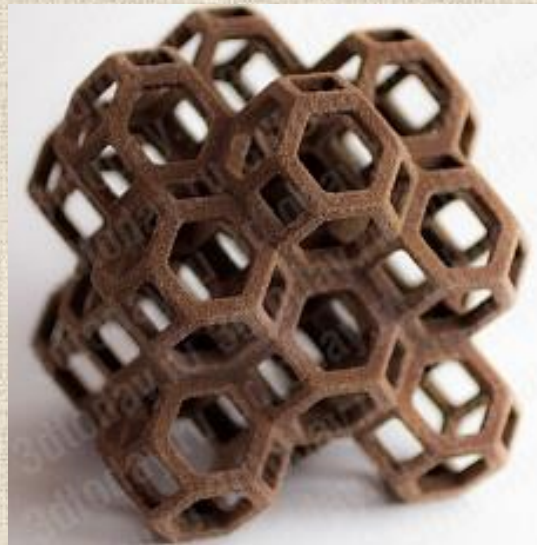
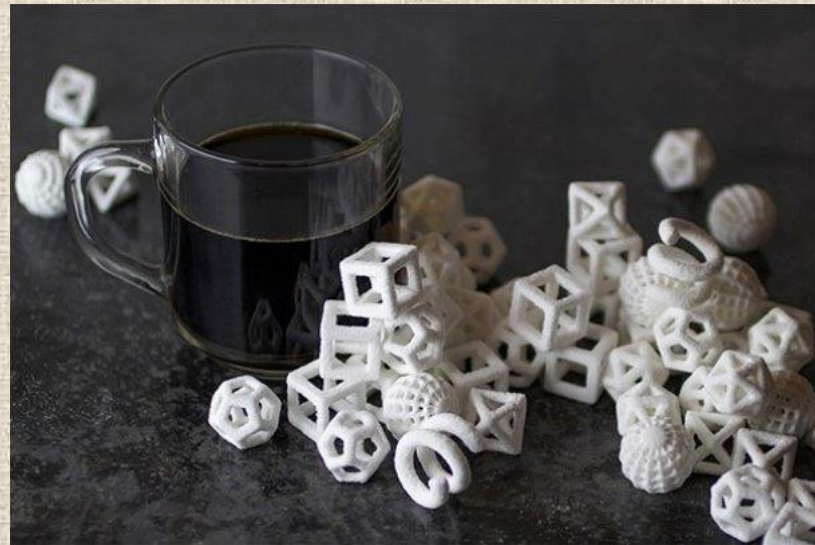
3DP принтер ExOne M-Flex, що друкує пластиками, піщаними сумішами і металевими порошками

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.



Приклади виробів, які може надрукувати принтер ChefJet

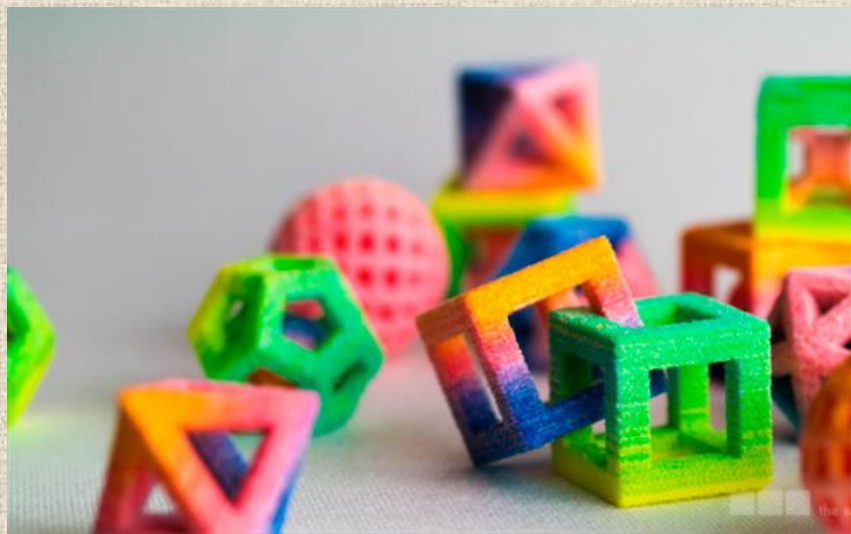


Типи установок

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.



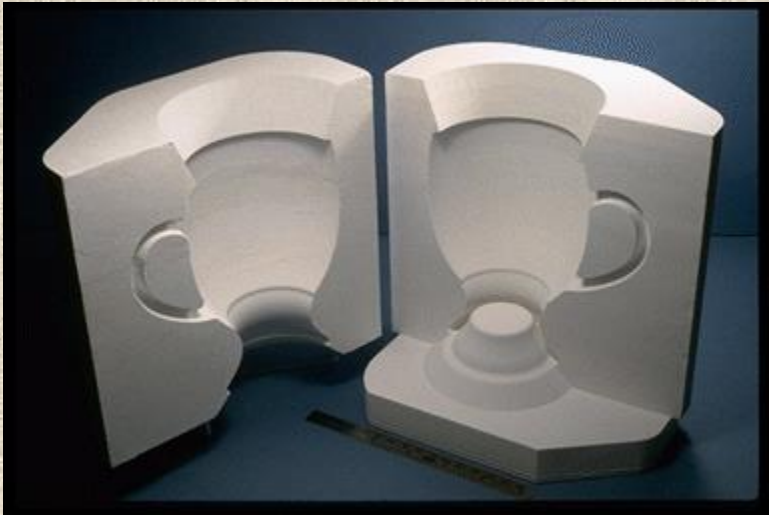
Приклади виробів, які може надрукувати принтер ChefJet Pro



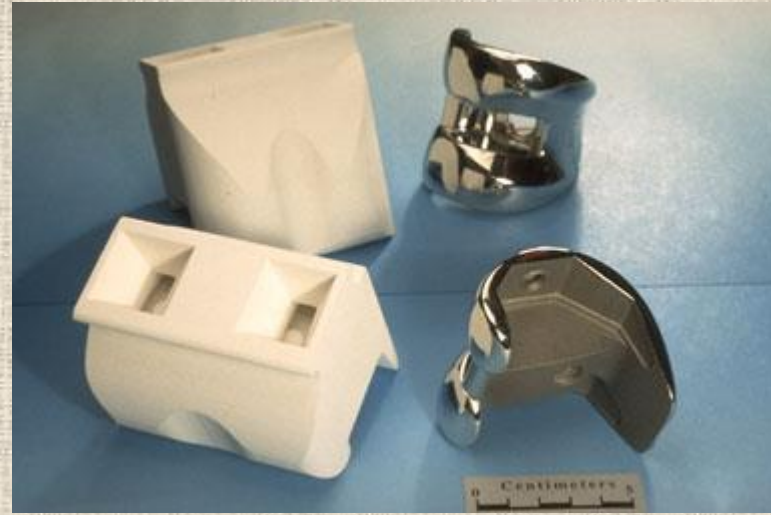
Галузі застосування

Технологія TDP дозволяє ефективно вирішувати задачі концептуального проектування, візуалізації, швидкого та недорогого одержання прототипів, оригіналів, майстер-моделей, натурних моделей, форм для вакуум-формування та ін. Технологія також успішно застосовується для пошарового виготовлення таблеток, медичних препаратів, кондитерських виробів а також для виготовлення структури кісток, сухожиллів, хрящів, імплантатів з використанням живих кліток і біоматеріалів.





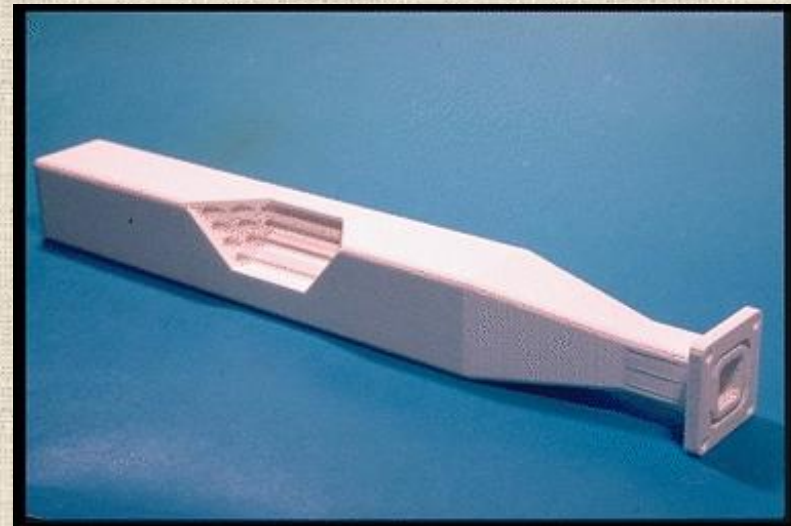
Сліпок для ливарної форми



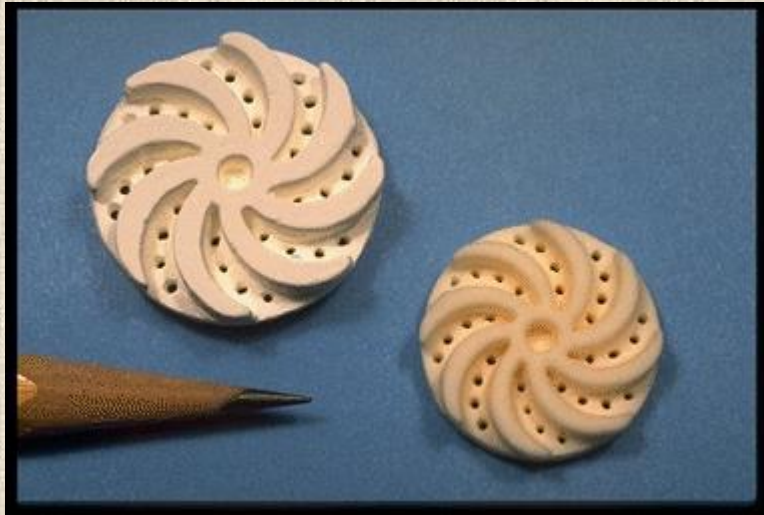
Оболонка для штучного колінного імплантату



Собор Святої Софії (Стамбул)



Керамічний фільтр



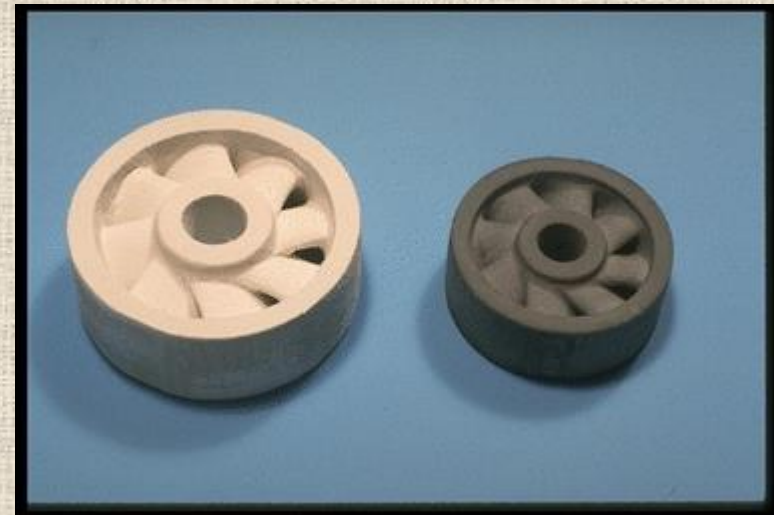
Структурна частина глинозему
до і після спікання



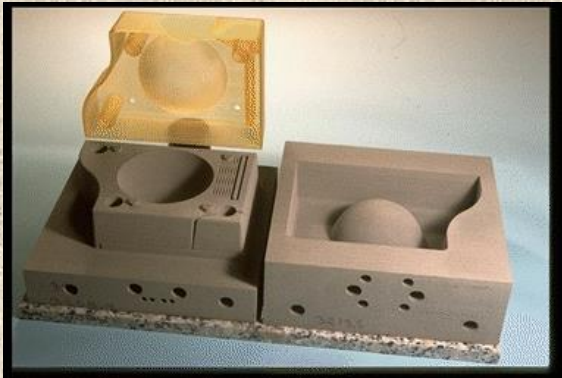
Спечена частина нітриду кремнію



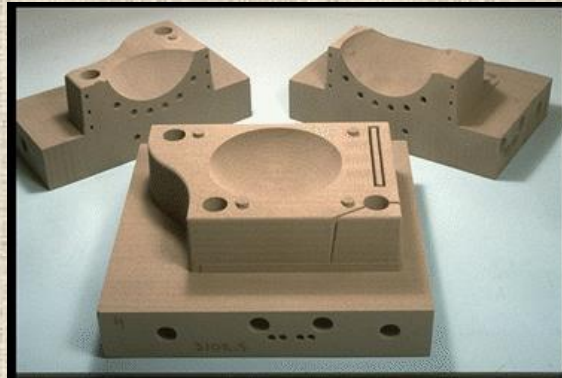
Компонент нітриду кремнію



Компонент нітриду кремнію



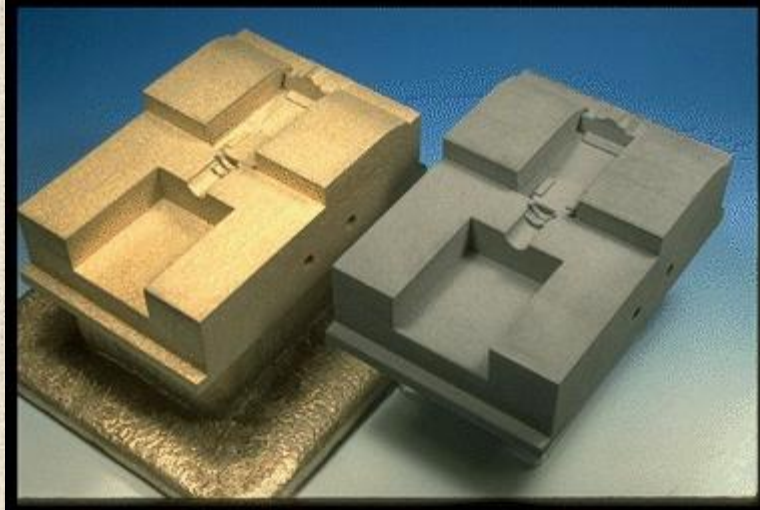
Лиття і
формувальна частина

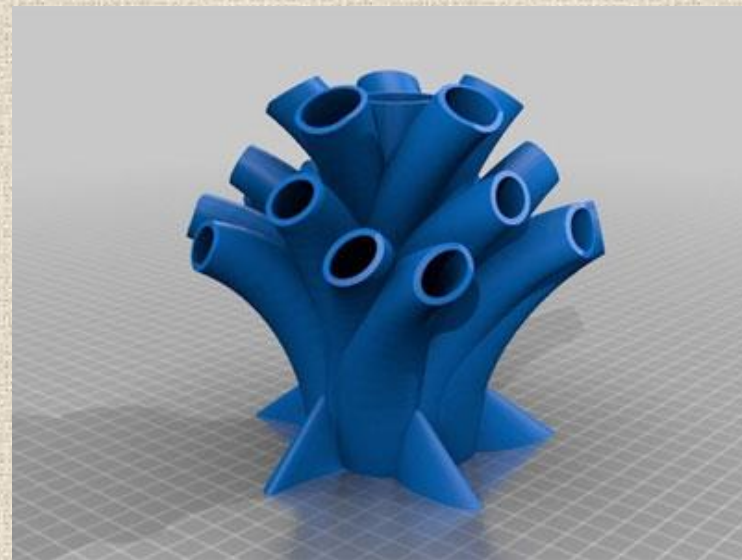


Лиття
у розрізі

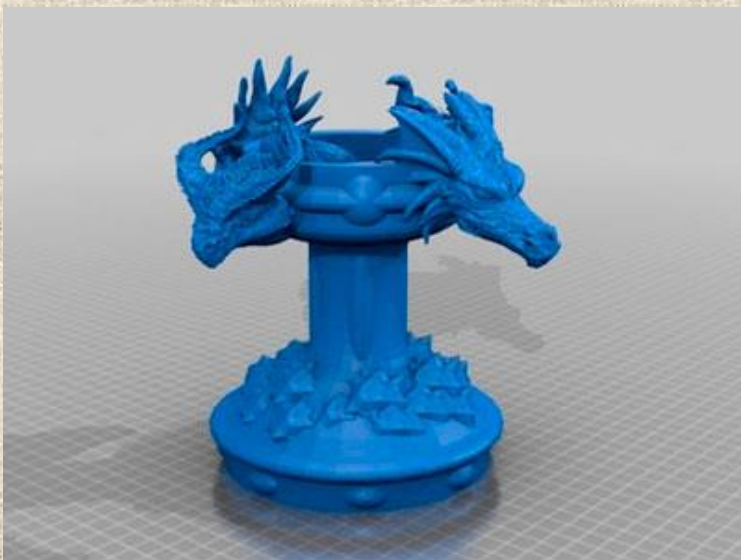


Готові металеві
інструменти по 3DP





Підставка під ручки та олівці



Підсвічник з драконами



Тримач для телефона

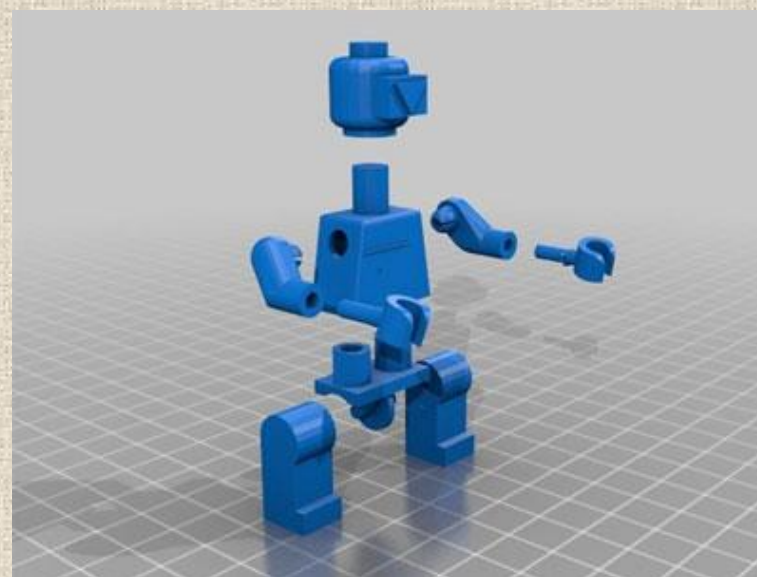
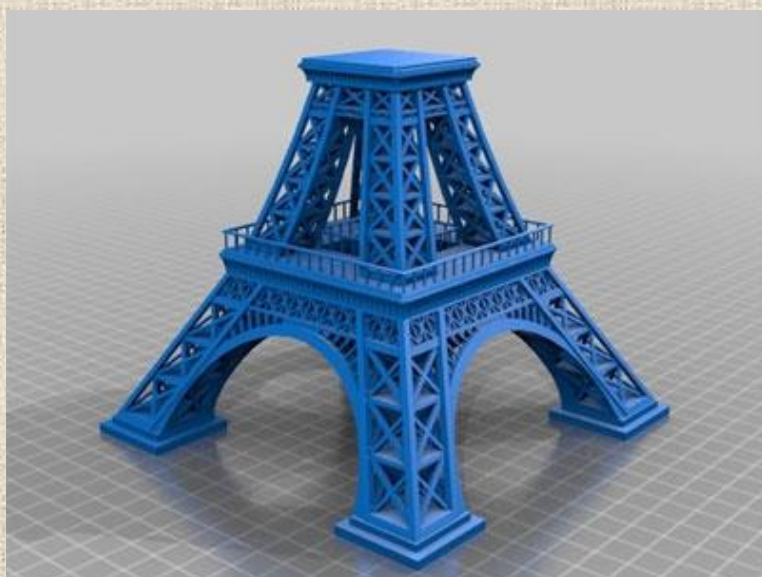


Іграшковий шолом



S-подібний карабін



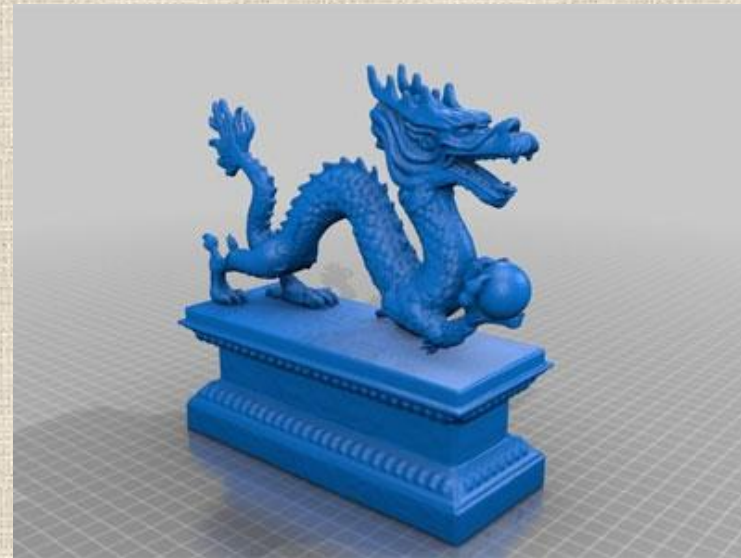


Ейфелева вежа

Лего-робот



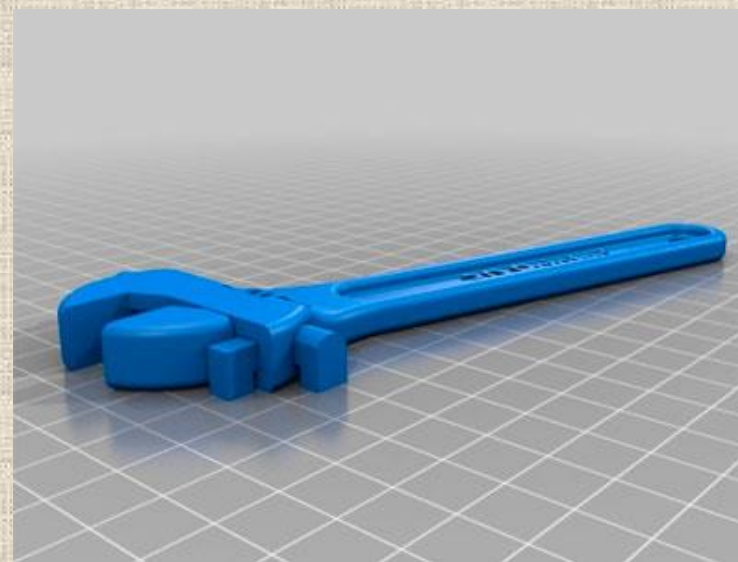
Фігурка робота



Дракон

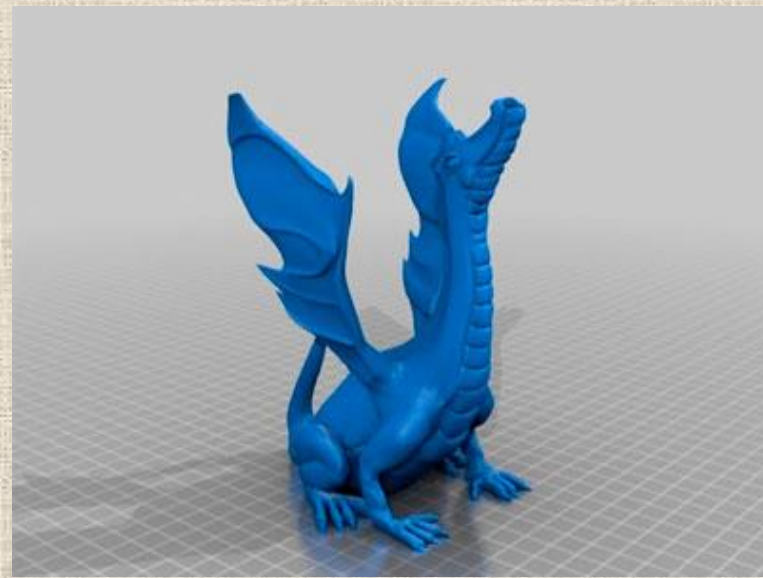


Розвідний ключ

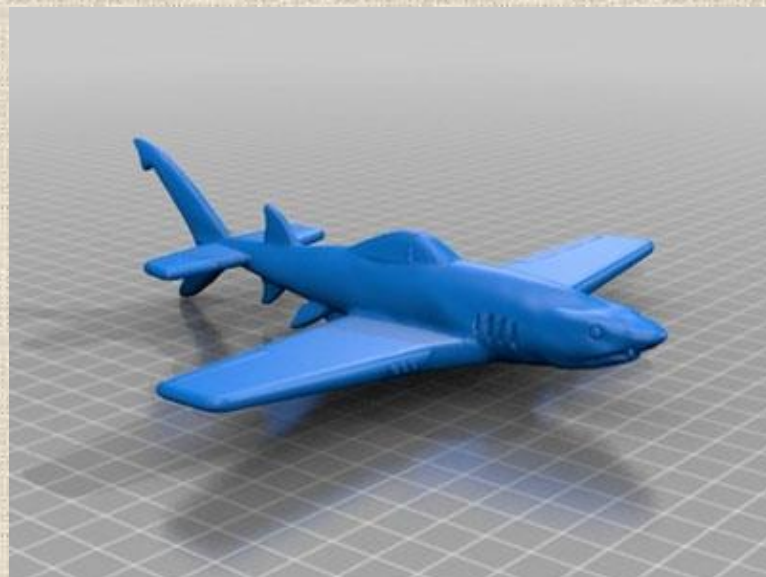




Коробка



Дракон



Літак

Критичний аналіз технології TDP

Переваги:

- 1) метод 3DP відзначається **невисокою собівартістю** моделей і в той же час **високою швидкістю друку**;
- 2) технологія є **безвідходною**, так як в якості підтримки використовується вихідний матеріал, а його залишки можуть бути профільтовані і використані повторно;
- 3) є можливість передавати **повнокольорові моделі** (близько 390 000 кольорів). Моделі надають колір на етапі побудови, шляхом додавання барвника в зв'язувальну речовину;
- 4) дозволяє створювати моделі з надзвичайно тонкими стінками (мінімально допустима товщина складає 0,5 мм, а товщина кожного надрукованого слою варіюється в межах 0,089 – 0,102), що дає **високу точність виготовлення**.
- 5) необхідність створення опорних структур (так званих опор чи підтримок) відпадає, так як кожен шар порошку служить опорою для наступного шару.

Недоліки:

- 1) невисока міцність виробу;
- 2) невисока здатність друку (0,1 – 0,4 мм);
- 2) груба поверхня виробу, яка потребує шліфовку.

Перспектива розвитку технології

Технологія TDP 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 повиробництву 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.

