

ВСТУП

Нині досить жвавий інтерес викликають процеси адитивного виробництва (технологій 3D друку). Очікується, що застосування подібних процесів принципово змінить промислове виробництво. Основою цього слугують: реалізація автоматичного проектування деталей, гнучкість і швидкість виготовлення, перерозподіл виробництва від великих підприємств до дрібних, виготовлення деталей безпосередньо у споживача.

Технології 3D друку дозволяють «вирощувати» вироби фактично будь-якої складності з мінімальними витратами. При цьому майже відсутні відходи виробництва, а також обладнання, на якому реалізуються адитивні технології, потребує значно меншої кількості обслуговуючого персоналу порівняно із класичними технологіями.

Крім переваг за швидкістю і вартістю виготовлення виробів, ці технології мають переваги і з погляду охорони навколишнього середовища. Вони, зокрема, знижують виділення парникових газів і «теплове» забруднення. Адитивні технології мають величезний потенціал у напрямку зниження енергетичних і матеріальних витрат на створення найрізноманітніших видів продукції. І нарешті, ступінь використання 3D технологій в промисловому виробництві є індикатором реальної індустріальної могутності держави, індикатором її інноваційного розвитку.

Різні процеси тривимірного друку об'єднує те, що прототип виготовляється шляхом пошарового (адитивного) накладення матеріалу. Основна перевага швидкого прототипування полягає в тому, що прототип створюється за один прийом, а вихідними даними для нього слугує безпосередньо геометрична модель деталі. Отже, при цьому відпадає необхідність в плануванні послідовності етапів технологічних процесів, спеціальне обладнання для обробки матеріалів на кожному етапі виготовлення, транспортування від верстата до верстата і т. д.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ 3D ДРУКУ

Історія створення 3D друку

Перш ніж розглядати види 3D принтерів і тривимірного друку варто зрозуміти, про що буде йти мова.

Насамперед визначимо, що 3D принтер – це пристрій, який пошарово створює фізичний об'єкт за віртуальною тривимірною моделлю. За допомогою такого пристрою можна виготовляти практично будь-які об'єкти.

Моделі розробляються за допомогою спеціального програмного забезпечення для тривимірного моделювання.

Перший 3D принтер був представлений світу (рис. 1.1) ще в далекому 1984 році. Автором цієї техніки був Чак Халл, який є засновником однієї з найбільших в світі компаній «3D Systems», лідером в галузі створення 3D принтерів.

Чарльз (Чак) Халл винайшов перший процес 3D-друку під назвою «стереолітографія» в 1983 році. У патенті він визначив стереолітографію як «спосіб і пристрій для створення твердих об'єктів шляхом послідовного «друку» тонких шарів матеріалу один поверх іншого, які тверднуть під дією ультрафіолетового опромінення». В цьому патенті основна увага приділяється «друку» рідиною, яка твердне під дією світла, але після того, як Халл заснував компанію «3D Systems», він незабаром зрозумів, що його техніка не обмежується тільки рідинами, розширюючи визначення до «будь-якого матеріалу, здатного тверднути або здатного змінювати свій фізичний стан». Завдяки цьому він заклав основу того, що ми сьогодні називаємо як виробництво присадок (AM) або 3D друк.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд першого 3D принтера, розробленого Чаком Халлом

Після отримання патенту, Чарльз Халл заснував компанію 3D Systems і розробив перший промисловий верстат для 3D друку. Оскільки термін «3D принтер» в той час ще не використовувався, верстат називався просто «апарат для стереолітографії». Технологія 3D друку була досить новою на той час, і компанія 3D Systems виготовила і поставила першу модель верстата кільком обраним замовникам. У 1988 р., ґрунтуючись на відгуках клієнтів про верстат, компанія розробила вдосконалену модель 3D принтера SLA-250 і було розпочато його серійне виробництво.

У той час як до кінця 1988 р. технології 3D копіювання отримали широку популярність, з'явилися нові технології: моделювання методом наплавлення (Fused Deposition Modeling (FDM)) і метод селективного лазерного спікання (Selective Laser Sintering (SLS)). Технологія моделювання методом наплавлення була винайдена Скотом Краппом в 1988 р. У наступному році ним була заснована компанія Stratasys і налагоджено промислове виробництво верстатів.

У 1992 р. компанія продала свій перший верстат «3D Modeler». У тому ж році компанія DTM випустила на ринок верстат, що працює за технологією селективного лазерного спікання (SLS). У 1993 р. в Массачусетському технологічному інституті (MIT) була винайдена і запатентована ще одна технологія 3D друку. Вона отримала назву «Технології тривимірного друку» і була подібна технології струминного друку, що використовується в 2D принтерах. У 1995 р. компанія ZCorporation отримала від Массачусетського технологічного інституту патент на використання технології та розпочала виробництво 3D принтерів на базі 3DP технологій.

У 1996 р. були зроблені верстати «Genisys» від компанії Stratasys, «Actua 2100» – від 3D Systems, і «Z402» – від ZCorporation. Протягом цього часу вперше з'явився термін «тривимірний друк» для позначення верстатів швидкого моделювання. Тільки в кінці 1990-х – початку 2000 рр., у продажі з'явилися кілька моделей верстатів за відносно низькими цінами. У 2005 р. компанія ZCorporation випустила на ринок революційно нову модель Spectrum Z510 – верстат 3D друку з високою роздільною здатністю кольорів.

Ще один прорив в галузі тривимірного друку стався в 2006 р. зі створенням загальнодоступного проекту RepRap (Replicating Rapid Prototyper – самовідтворювальний механізм для швидкого виготовлення прототипів), націленого на виробництво 3D принтера, здатного відтворювати деталі власної конструкції. Перша модель RepRap, виготовлена в 2008 р., могла надрукувати приблизно 50% своїх власних частин. Друга модель проекту RepRap знаходиться нині в стадії розробки.

До 2009 році 3D друк переважно обмежувався промисловим використанням. Але потім закінчився термін дії патенту на моделювання технологією плавленого напилення (FDM) – однієї з найпоширеніших технологій 3D-друку.

Завдяки місії проекту RepRap зі створення самореplikованих машин народився перший настільний 3D принтер. Оскільки на ринку почали з'являтися все більше нових виробників 3D машин, їх вартість різко впала з \$200,000 до \$2000. Саме тому 3D принтери стали доступними для більшості користувачів і споживчий ринок 3D друку «злетів» в 2009 р.

З того часу продажі 3D принтерів тільки зростають. У міру того, як патенти на адитивне виробництво продовжують спливати, в найближчі роки можна очікувати більше інновацій. Нині в світі налічується близько 300 000 споживчих 3D принтерів, і ця цифра щорічно подвоюється.

На основі вищесказаного можна узагальнити поняття «3D друк» – це технологія створення об'ємного фізичного об'єкта за допомогою цифрової 3D моделі, отриманої як результат сканування або роботи в 3D програмах.

Переваги 3D друку:

- відтворення точної копії бажаного об'єкта;
- швидка швидкість друку (1,2 см/с);
- економну витрату матеріалів;
- можливість створювати необхідну кількість однакових об'єктів;
- тривале та зручне зберігання використовуваних матеріалів;
- великий асортимент використовуваних матеріалів;
- автономний процес створення об'ємного об'єкта.

Види 3D принтерів

В сучасних 3D принтерах застосовується дві основні технології друку:

- струменева;
- лазерна.

Ці технології також підрозділяються на окремі підвиди, які можуть відрізнятися за витратними матеріалами, які використовуються для друку. Як витратні матеріали може використовуватися фотополімерна смола, порошок, силікон, різні метали, віск, фотополімери, а також різні види пластику.

Принцип роботи 3D принтера залежить від його типу і від застосовуваних витратних матеріалів – це може бути:

- лазерний друк;
- спікання матеріалу;
- пошарове плавлення і накладання пластику;
- ламінування;
- плавлення порошку;
- полімеризація фотополімерного пластику шляхом впливу на нього лазером;
- пошарове склеювання витратного матеріалу;
- вакуумне електронно-променево плавлення порошку.

Крім цього існують такі 3D принтери, які здатні друкувати одночасно двома і більше різними матеріалами або виконувати багатоколірний друк.

Через це крім технології друку принтери поділяються і такі типи:

- монохромні – друкують одним кольором;
 - кольорові – дозволяють створювати різнокольорові фізичні об'єкти.
- Давайте докладніше технології 3D друку.

Технології 3D друку

Найбільшого поширення в застосуванні отримали технології, які будуть розглянуті більш докладно нижче.

SLA технологія (Stereolithography) – стереолітографія (рис. 1.2).

Принцип роботи цієї технології полягає у впливі лазера, ультрафіолетового або інфрачервоного опромінення на фотополімер (фоточутливу рідину). В результаті цього рідина перетворюється на досить твердий пластик.

Зверху в полімер занурюється платформа, далі промінь проходить по шару рідини під платформою, що призводить до затвердіння і прилипання його до платформи, таким чином відбувається створення одного шару. В результаті повторення такої процедури безліч разів утворюється необхідний макет.

До основних переваг такого друку відноситься:

- точність;
- швидкість друку;
- мінімальний відсоток виникнення технічних неполадок, таких як перегрів, відшаровування, збій роботи головки, відлипання, відшаровування кутів.

До недоліків відносяться:

- висока вартість;
- невелика кольорова палітра;
- невисока фізична міцність готового виробу.

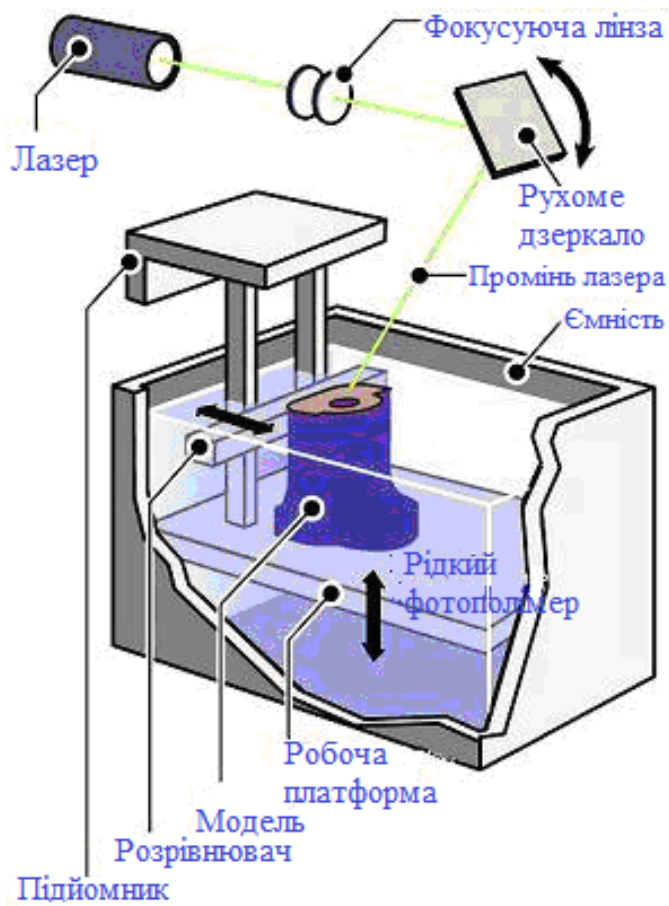
Подібний принтер недоцільно застосовувати в домашніх умовах:

- через токсичність фотополімеру;
- через значну вартість обслуговування.

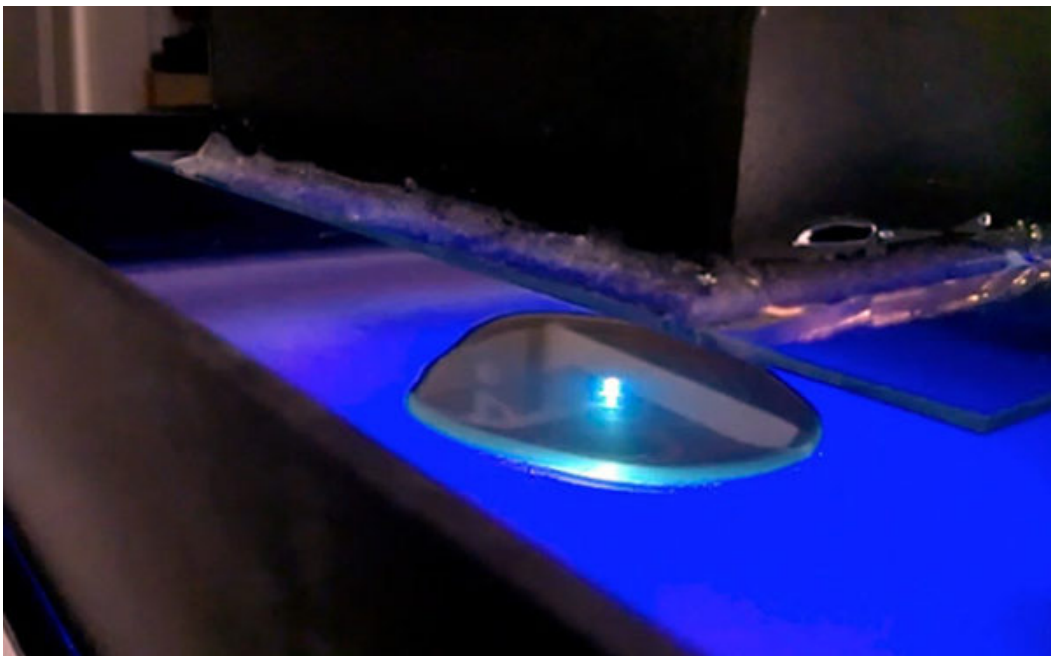
SLS (Selective laser sintering) – селективне лазерне спікання (рис. 1.3).

Технологічний процес створення моделі дуже близький за принципом роботи до попереднього. Основною відмінністю є відсутність можливого самостійного розподілу порошку. Тому це завдання виконує спеціальний валик, який рівномірно розподіляє порошок по поверхні об'єкта.

Основний принцип роботи полягає в розпиленні різнобарвного затверджувача на тонкий шар дрібнодисперсного порошку в задані ділянки. Така процедура повторюється безліч разів, і в результаті утворюється необхідний елемент. Потрібно зауважити, шари настільки тонкі, що під ними видно попередні. В результаті збільшення кількості шарів дно ємності поступово опускається вниз. Час отримання готового виробу прямо залежить від складності виконання самого об'єкта.

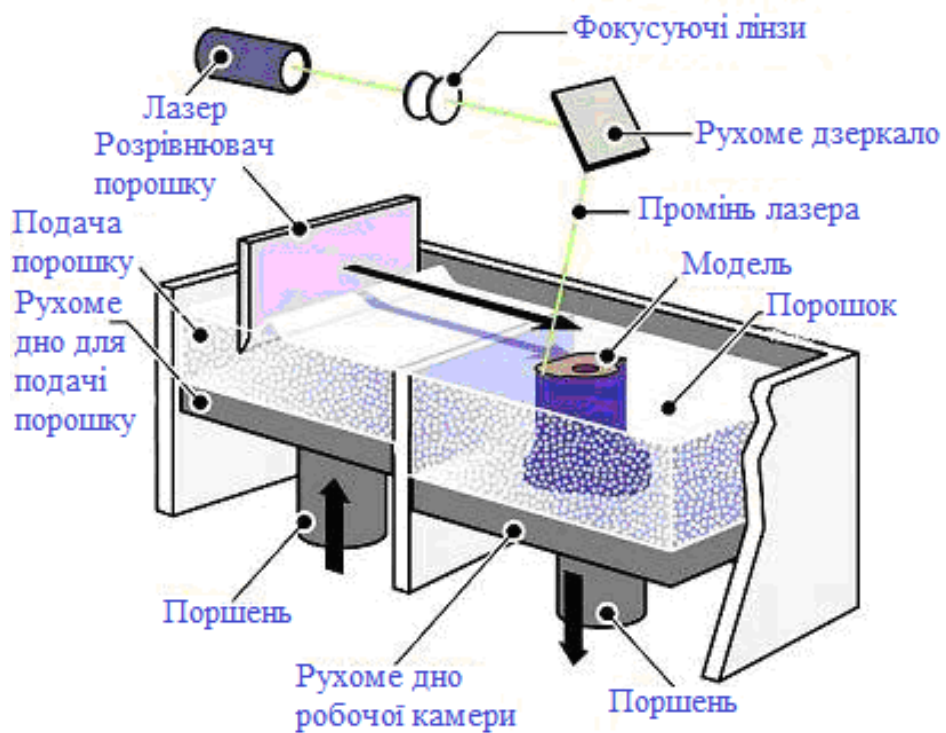


а)

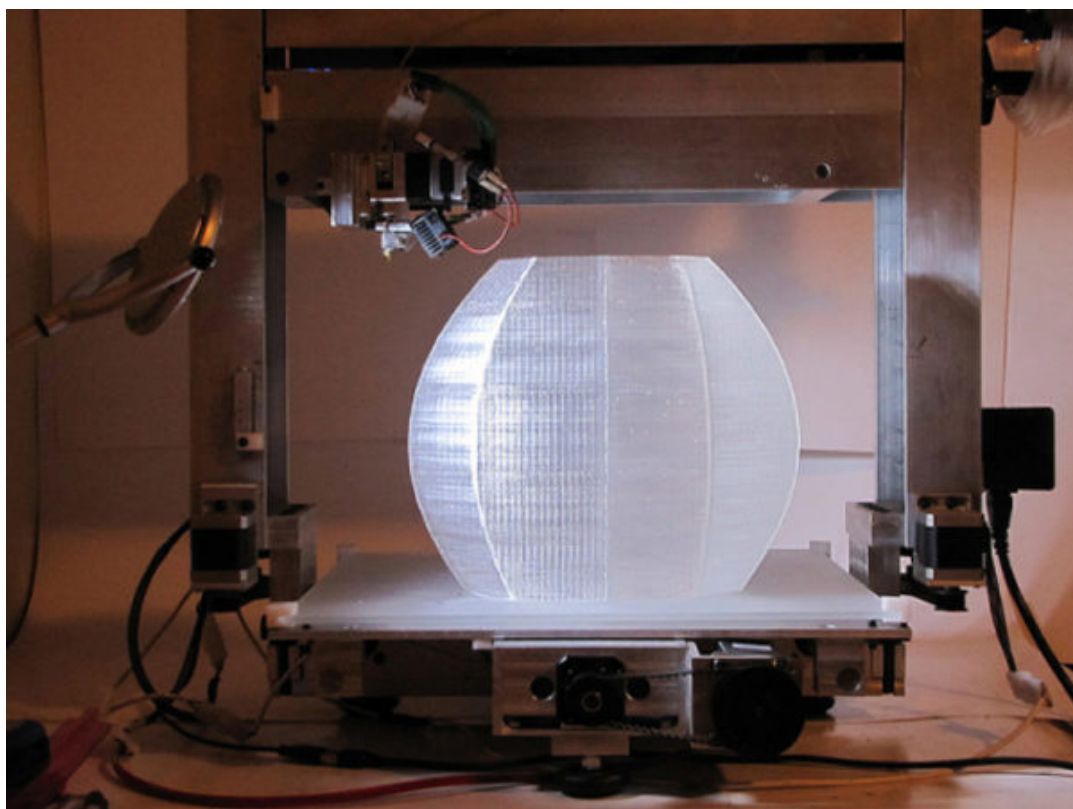


б)

Рисунок 1.2 – Схема 3D принтера, що працює на основі технології SLA (а) та процес стереолітографії (б)



а)



б)

Рисунок 1.3 – Схема 3D принтера, що працює на основі технології SLS (а) та процес селективного лазерного спікання (б)

Після закінчення робочого процесу, готову модель акуратно витягують з композиту і переміщують в кабінку для очищення від порошку за допомогою щіток та повітряного потоку від компресора. Після закінчення очищення необхідно провести просочення предмета спеціальним суперклеєм. Потрібно зауважити, що залишковий порошок буде повторно використаний для створення наступної моделі. В результаті чого можна зробити висновки про безвідходність виробництва згідно з технологією SLS.

Така технологія відмінно підходить, наприклад, для створення прототипів будь-якої деталізації – наприклад, для ювелірних виробів. Незапечений порошок буде слугувати підтримкою для нависаючих елементів, а це значить, що немає потреби формувати якісь спеціальні підтримувальні конструкції.

MJM (Multi Jet Modeling), Polyjet – метод наплавлення, (рис.1.4).

У цьому методі затвердіння полімеру здійснюється під дією ультрафіолетового спалаху. Розплавлений акриловий фотополімер (пластик) наноситься на платформу, на якій здійснюється друк за допомогою головки. На цій платформі пластик короткочасно освітлюється галогеновою лампою, в результаті чого відбувається затвердіння матеріалу. Процедура повторюється безліч разів для досягнення необхідного результату. Важливою деталлю є підтримка виступаючих або нависаючих частин, що здійснюється за допомогою побутового воску. Цей матеріал наноситься одночасно з полімером і видаляється в результаті нагрівання в печі, при цьому не залишаючи слідів.

Реальним є отримання багатобарвних варіантів, а також об'єктів з різними властивостями, наприклад, еластичність в поєднанні з твердістю.

Є й недоліки використання такої технології – дуже дорогий вихідний матеріал та крихкий результат. Застосування зазвичай знаходить в медицині і промисловому прототипуванні.

DLP (Digital Light Processing) – технологія наплавлення, (рис. 1.5).

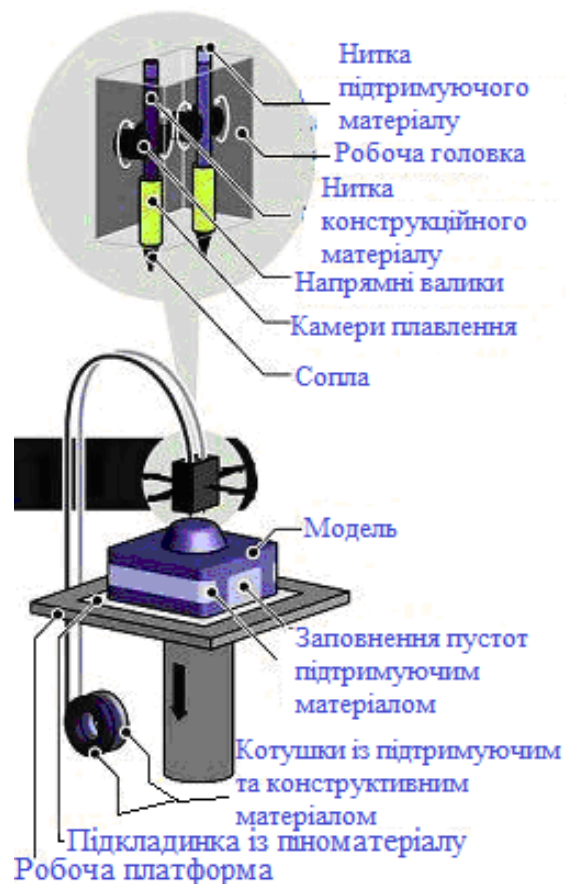
DLP є досить схожою за своїм технологічним процесом на MJM. Явною відмінністю є вплив звичайним світловим потоком на модель для отримання затвердіння полімеру. Фотополімер доливається в кювету в міру його витрачання. Під час процесу друку апарат закривається, щоб уникнути засвічення моделі.

Виступаючі частини також підтримуються за допомогою використання воску. Технологія видалення воску – така сама, як при Polyjet-друці.

FDM (fused deposition modeling) – пошарове укладання полімеру, (рис. 1.6).

FDM – це процес 3D друку, що відноситься до струменевих технологій. Це найпопулярніша технологія в розглянутих пристроях.

При використанні цієї технології робота принтера відбувається з використанням катушок із пластиком (філаментом), що заправляються в екструдер 3D принтера.

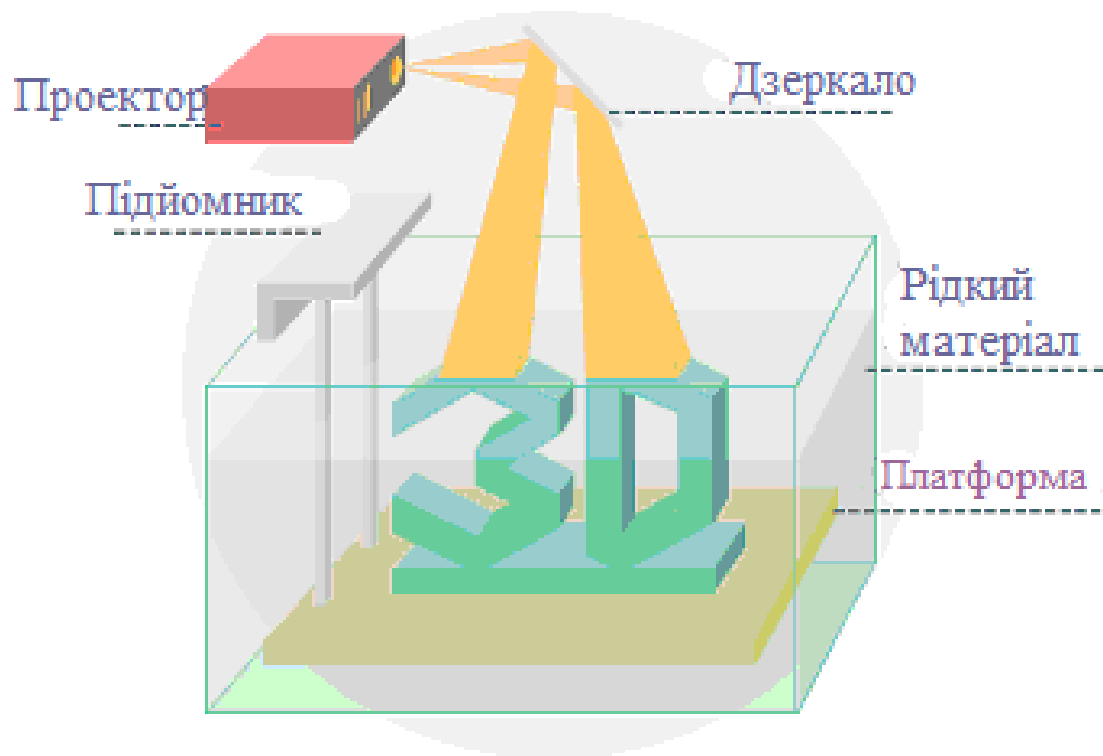


а)



б)

Рисунок 1.4 – Схема 3D принтера, що працює на основі технології MJM (а) та результати процесу PolyJet-друку (б)

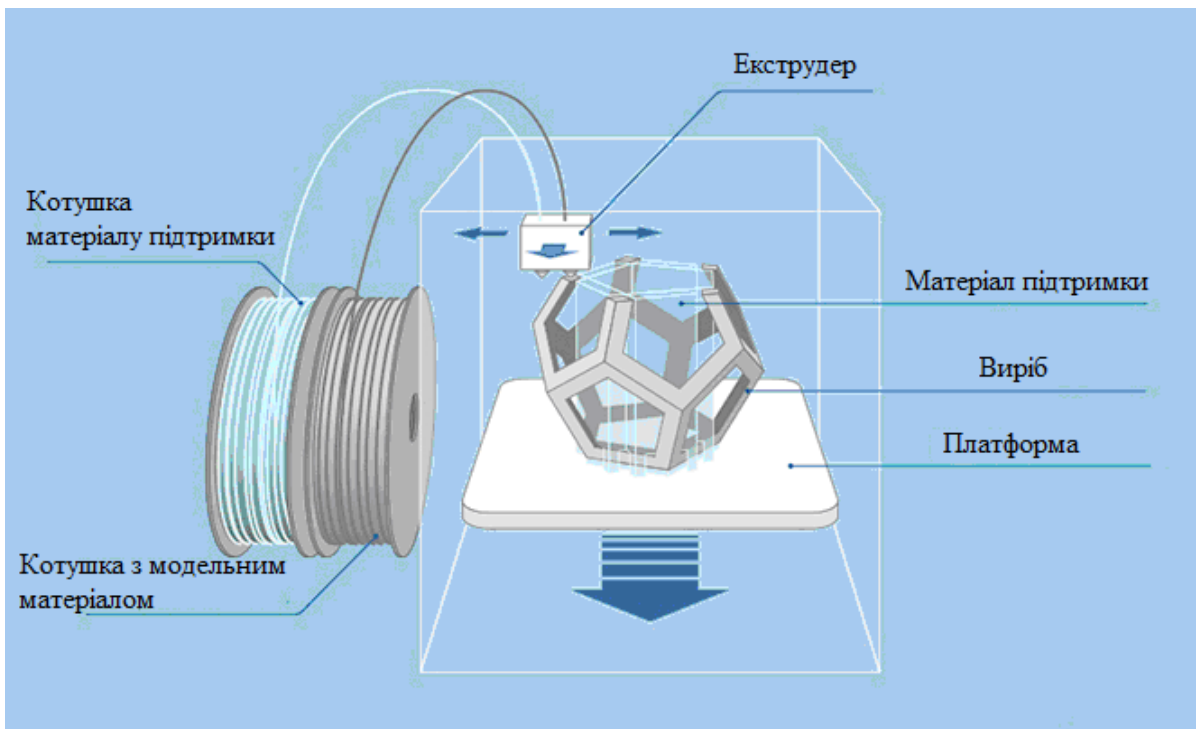


а)

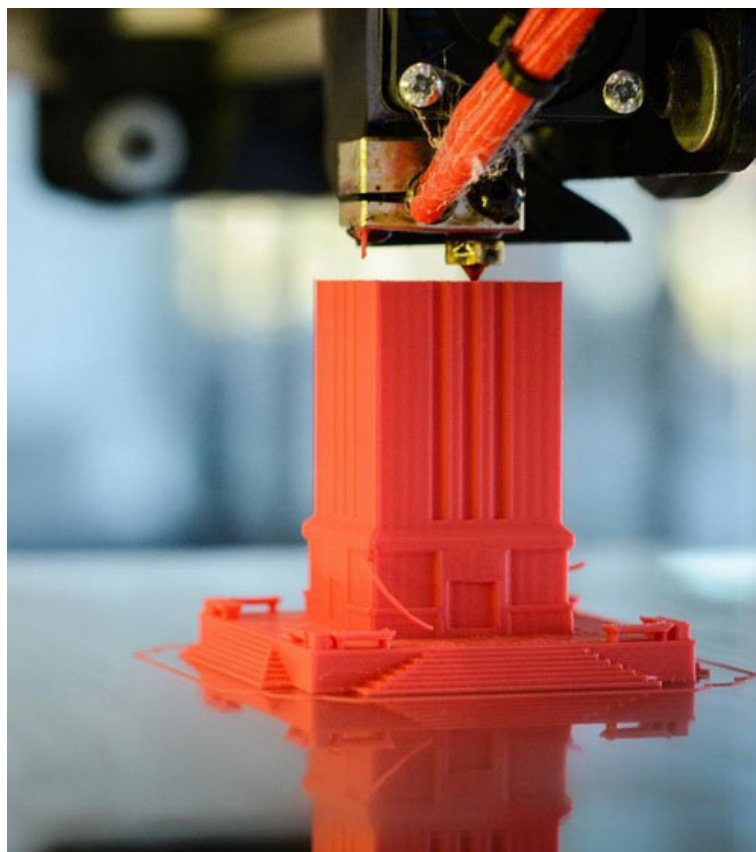


б)

Рисунок 1.5 – Схема 3D принтера, що працює на основі технології DLP (а) та процес DLP-друку (б)



а)



б)

Рисунок 1.6 – Схема 3D принтера, що працює на основі технології DLP (а) та процес FDM-друку (б)

Основним принципом роботи є розплавлення пластикового прута, формування з нього тонесенької нитки і нанесення її в розплавленому вигляді на рухому платформу за заданою траєкторією, яка автоматично формується із тривимірної моделі деталі за допомогою програми-слайсера. Найбільш поширеним програмним продуктом є Cura 3D, роботі із нею будуть присвячені наступні розділи.

Подібні принтери були давно відомі і в результаті цього зазнали деяких змін щодо розширення кольорової палітри. На сьогодні існує 3 основних види принтерів: CubeX, CubeXDuo, CubeXTrio.

Зразки моделей за цією технологією є досить міцними, що не піддаються значній деформації.

Коротко про FDM технологію:

- доступність витратних матеріалів (пластик, скотч);
- гідний асортимент кольорової палітри;
- зрозумілі технологічні процеси.

LENS (laser engineered net shaping) – технологія лазерного спікання порошкового матеріалу, який розпиляється, (рис.1.7).

При LENS видутий із сопла витратний матеріал відразу потрапляє під фокус лазерного променя, що приводить до миттєвого спікання. Використання металевих порошків допомогло у виготовленні об'єктів зі сталі та титану, що дало можливість експлуатації 3D принтерів в промисловості. Багато сплавів реально перемішувати і отримувати безпосередньо в процесі. Так, наприклад, отримують турбінні титанові лопаті для турбін.

LOM (Laminated Object manufacturing) – моделювання (виготовлення) об'єктів методом ламінування, (рис. 1.8).

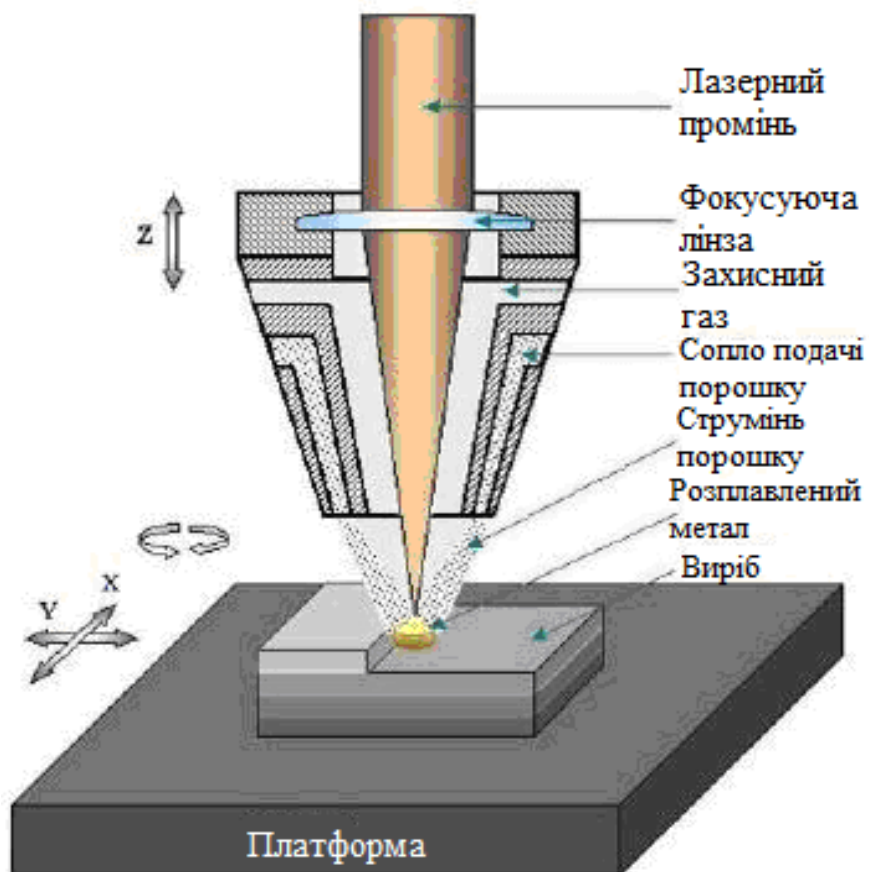
З використанням технології LOM тонкі і вже проламіновані листи вирізаються лазером, склеюються, спікаються або спресовуються у тривимірний об'єкт. Так можна надрукувати пластикові, алюмінієві та паперові 3D об'єкти.

До речі, витратним матеріалом для алюмінієвих об'єктів є відповідна фольга – її «спікають» за допомогою ультразвукової вібрації.

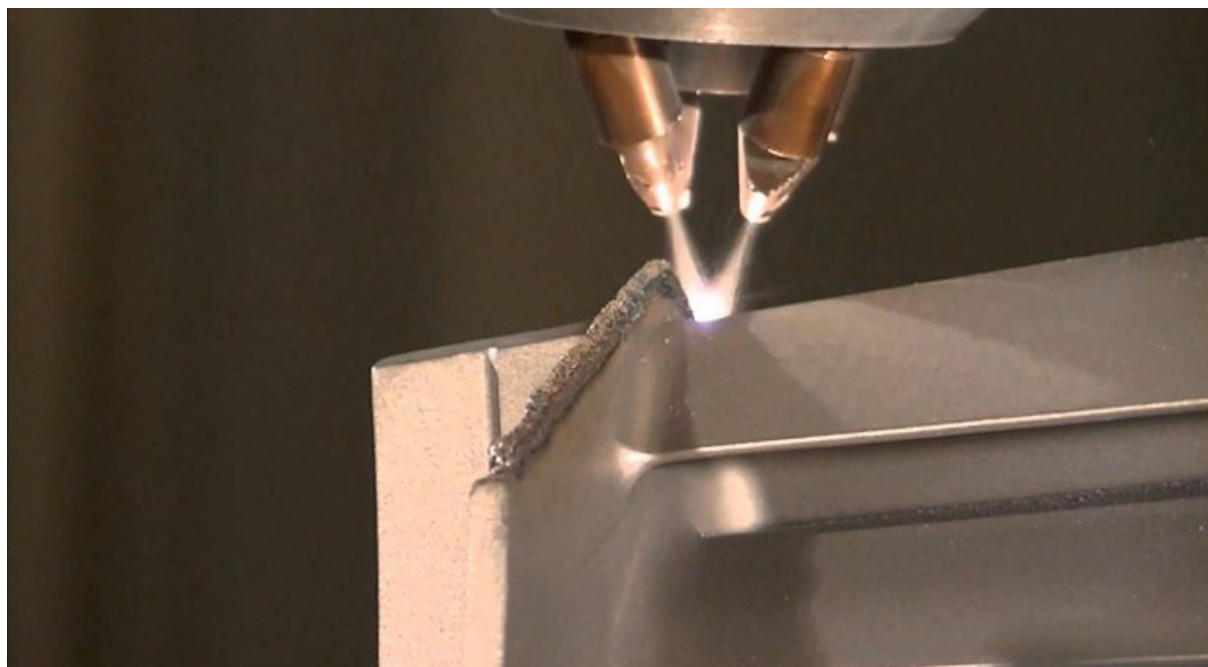
Незважаючи на легкість вихідного матеріалу, паперові моделі виходять дуже міцними, а їх собівартість – практично копійчаною. Але відразу потрібно приготуватися до того, що такий виріб буде супроводжуватися великою кількістю відходів. Хоча і останнього можна уникнути, якщо розташувати на одному аркуші відразу кілька невеликих об'єктів.

CPWC (Continuous Production with Wavefront Converting) – технологія швидкісного фотодруку полімерами, (рис. 1.9)

Нова технологія швидкісного фотодруку полімерами, розроблена в Україні, носить досить складну назву «Continuous Production with Wavefront Converting» з не менш складним розшифруванням «Безперервне виробництво з перетворенням хвильового фронту».

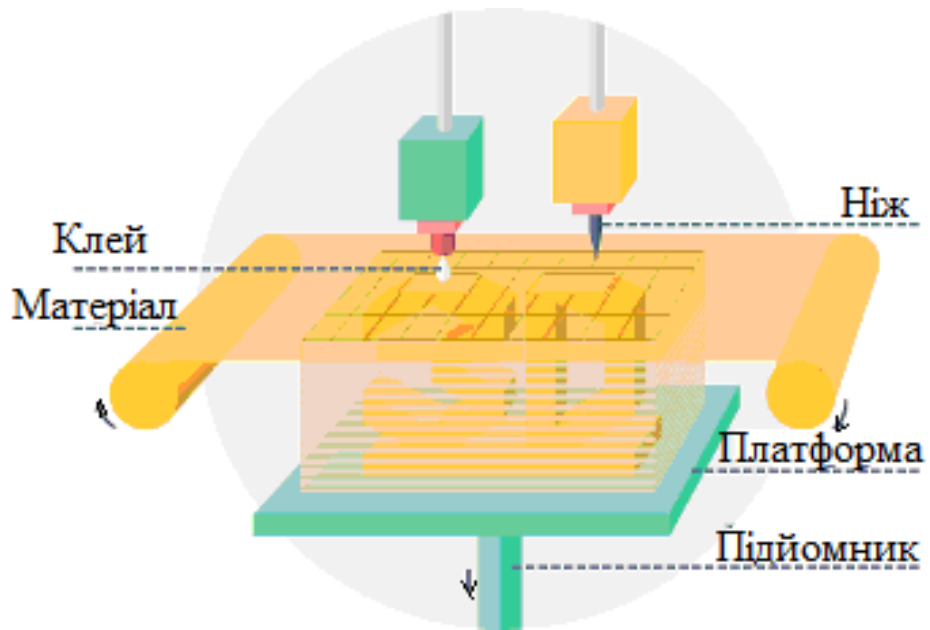


а)

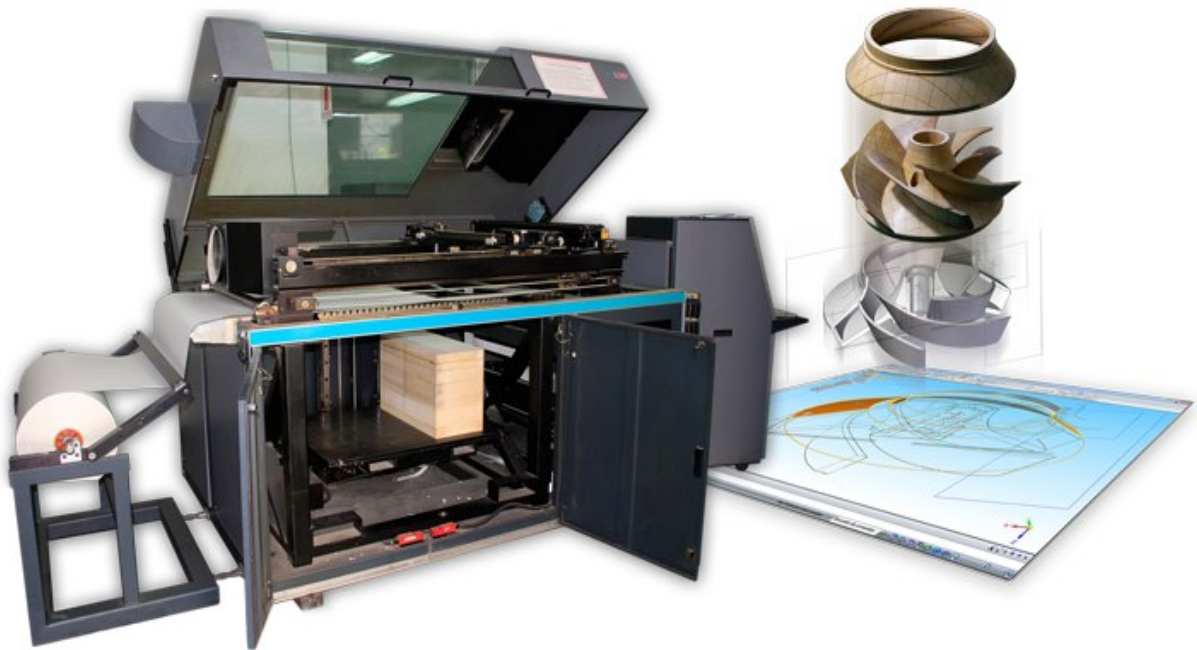


б)

Рисунок 1.7 – Схема 3D принтера, що працює на основі технології LENS (а) та процес LENS-друку (б)



а)



б)

Рисунок 1.8 – Схема 3D принтера, що працює на основі технології LOM (а) та процес LOM-друку (б)

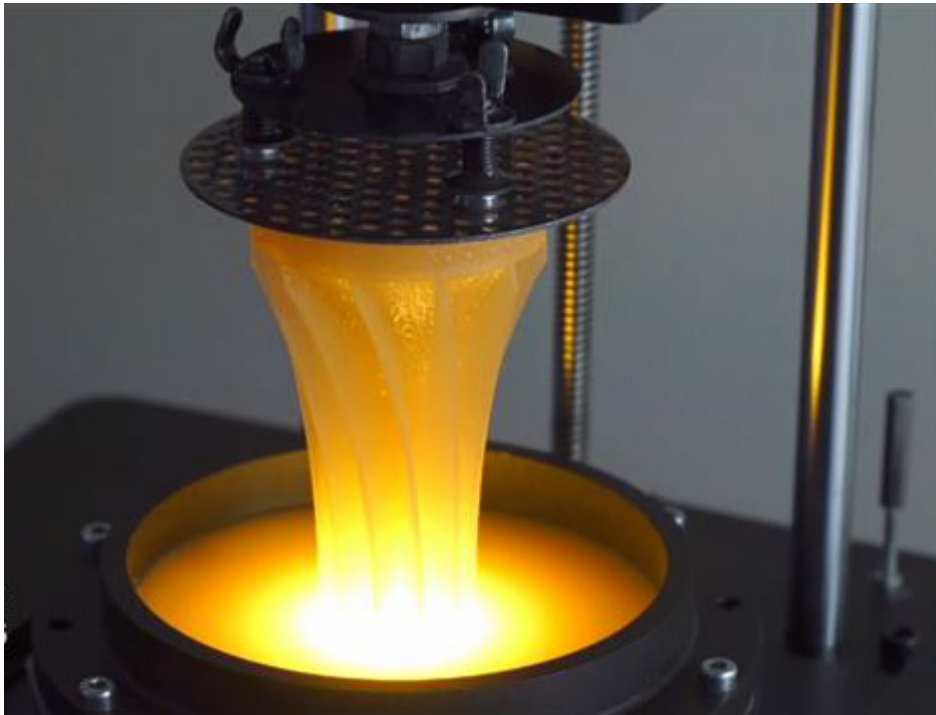


Рисунок 1.9 – Процес друку на 3D принтері з використанням технології CPWC

За словами розробників, ця технологія може лягти в основу створення найшвидших DLP 3D принтерів в світі. Це свого роду проекційна стереолітографія, яка працює шляхом перерозподілу енергії випромінювання в мікроскопічному шарі і може друкувати зі швидкістю до 10 мм на хвилину (в висоту). І це не єдина перевага розробки. За твердженням авторів система може «працювати» з практично будь-якими фотополімерами, враховуючи й найрізноманітніші добавки і наповнювачі: нано- і мікрочастинки, барвники, мікрволокна, феромагнетики, парамагнетики, метали і люмінофори. При цьому в кінцевих об'єктах спостерігається зменшення залишкових напружень, а також збільшується загальний об'єм деталі порівняно зі стандартними процесами.