

Дорошенко М.Г., Гурія І. М.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)
АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ
E-mail: doroshienko.97@gmail.com

Під поняттям (additive) «додавання», що є протилежним до поняття (subtractive) видалення «віднімання» матеріалу з масиву заготовки, зазвичай розуміють технологію пошарової побудови виробу. Цю технологію також мають на увазі, коли використовують терміни пошаровий синтез, «вирощування», 3D-друк, прототипування.

В кінці 80-х років минулого століття було створено технологію тривимірного друку, цього вдалося досягти завдяки розробці компанією 3D Systems першої стереолітографічної машини SLA – Stereolithography Apparatus (1986 р). Через високу вартість технології та вузький вибір модельних матеріалів перші лазерні стереографічні SLA-машини та порошкові SLS-машини використовували головним чином в науково-дослідній діяльності. Широке поширення цифрових технологій за останні десятиліття в області проектування (CAD), моделювання і розрахунків (CAE) та механічної обробки (CAM) зумовили надзвичайно швидкий розвиток адитивних технологій.

Чіткої класифікації адитивних технологій на даний час не існує, але їх можна розділити за такими групами:

- за модельними матеріалами, що використовуються (рідкі, сипучі, полімерні, металопорошкові та ін.);
- за наявністю чи відсутністю використання лазера;
- за методами підводу енергії для фіксації побудованого шару (за допомогою теплової дії, опромінення ультрафіолетовим чи видимим світлом, завдяки зв'язуючим і ін.);
- за методами формування шару, тощо.

ASTM International-American Society for Testing and Materials, організація в США, яка займається розробкою технічних стандартів для широкого спектру матеріалів, систем та послуг, в тому числі адитивних технологій розділяє їх на 7 категорій.

В першій технології Material extrusion (технологія видавлювання) матеріал пропускають через сопло, де він нагрівається, а потім наноситься шар по шару на будівельну платформу. Сопло може рухатися горизонтально, а платформа – по вертикалі після того, як накладається кожний новий шар. Шари матеріалу з'єднуються під дією температури або за допомогою хімічних речовин. Матеріал часто подається до машини у вигляді котушки (рис.1).

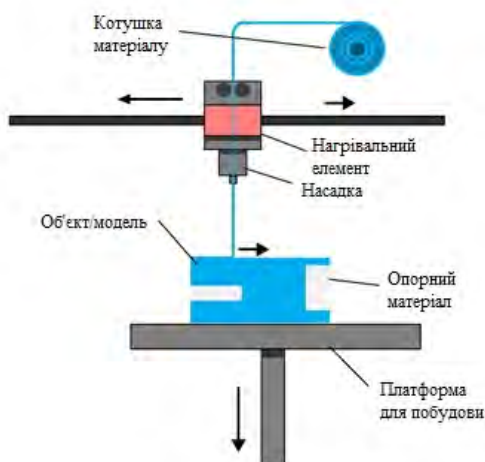


Рис. 1. Технологія Material extrusion

Наступна технологія Material Jetting (струменева технологія) є однією з стандартних технологій 3D-друку, що придатна як для настільної версії 3D-принтерів так і промислових. 3D-модель будується на будівельній поверхні, до якої крапельподібно або безперервно подають розчин будівельного матеріалу, кожний шар якого потім твердіє під дією ультрафіолетового випромінювання.

Типовий пристрій для такого 3D-друку має голівку принтера, що складається з двох форсунок та джерела ультрафіолетового випромінювання (УВ). Одна форсунка використовується для нагрівання будівельного матеріалу, а інша форсунка ви-

користовується для струменю матеріалу підтримки (рис.2).

Матеріал підтримки не є частиною моделі, але, як правило, розміщується вздовж будівельного матеріалу для фіксації моделі. Тому головка принтера забезпечує послідовне нанесення будівельного матеріалу та матеріалу підтримок, в той час як джерело УВ спрямовує випромінювання на щойно нанесений матеріал. Після закінчення побудови та твердіння моделі вилучають підтримки.

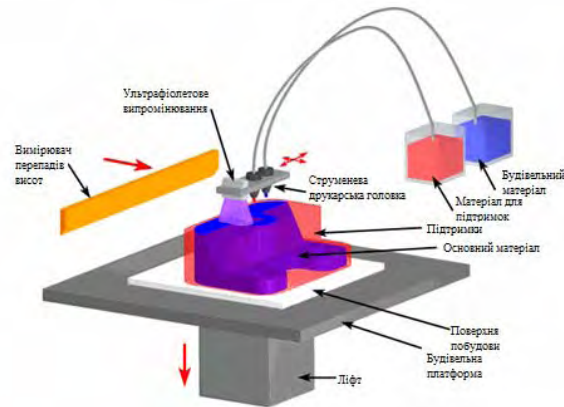


Рис. 2. Технологія Material Jetting

В наступній технології Binder Jetting використовують два матеріали: порошковий та зв'язувальний. Зв'язувальний матеріал діє як клей між шарами порошку. Друкована голівка рухається по горизонталі вздовж осі x і y машини і наносить по чергово шари основного та зв'язувального матеріалу. Після кожного шару, надрукований об'єкт опускають на платформі (рис. 3). Надрукований об'єкт самостійно тримається в порошковому шарі і видаляється з нього після завершення друку.

Технологія Sheet Lamination включає в себе ультразвукове адитивне виробництво (UAM) та виробництво листових об'єктів (LOM). В ультразвуковому адитивному виробництві листи або стрічки з металу з'єднують разом за допомогою ультразвукового зварювання (рис.4). Процес вимагає додаткової механічної обробки і видалення не звареного металу.

Технологія Sheet Lamination включає в себе ультразвукове адитивне виробництво (UAM) та виробництво листових об'єктів (LOM). В ультразвуковому адитивному виробництві листи або стрічки з металу з'єднують разом за допомогою ультразвукового зварювання (рис.4). Процес вимагає додаткової механічної обробки і видалення не звареного металу.

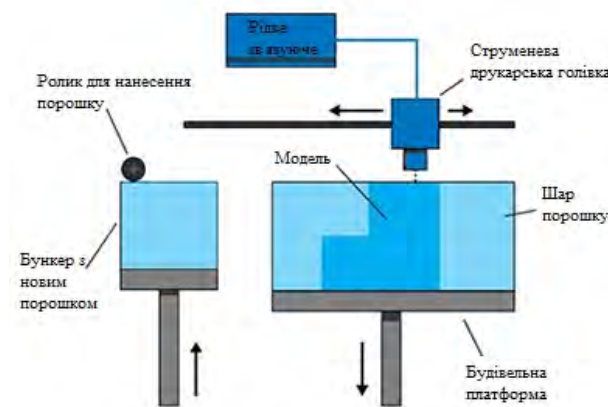


Рис. 3. Binder Jetting

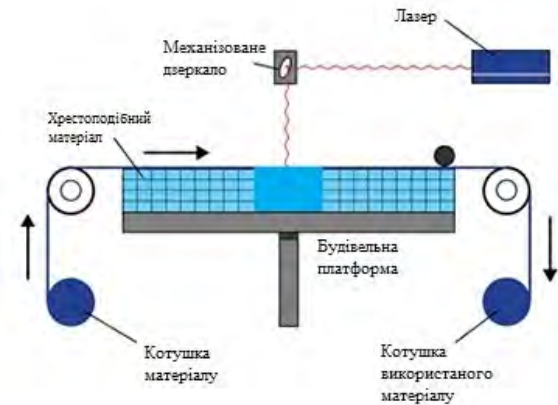


Рис. 4. Sheet Lamination

У технології виробництва листових об'єктів (LOM) також йде пошарове будівництво, але як матеріал використовується папір та клей замість зварювання. Такий друк часто використовують для естетичних і візуальних моделей, але він не підходить для структурного використання. В технології UAM використовуються метали включаючи алюміній, мідь, нержавіючу сталь та титан. Процес низькотемпературний і дозволяє створювати складну внутрішню геометрію.

П'ятою адитивною технологією є Vat Photopolymerization. Вона заснована на зміцненні фотополімерів під впливом ультрафіолетового випромінювання. Є два загальні методи цієї технології: стереолітографія (SLA) та безперервна рідка побудова моделі (CLIP).

В стереолітографії 3D-модель будується на платформі, яка занурюється в смола на глибину одного шару. При направленні випромінювання у конкретні координати відбувається твердіння рідкої смоли в цьому шарі. Після створення шару платформа піднімається і модель вилучають з смоли (рис. 5). Потім її знову поміщають в смола, на таку глибину

щоб всі побудовані шари були занурені в смолу, для створення наступного шару. Для фіксації моделі в смолі використовуються підтримки.

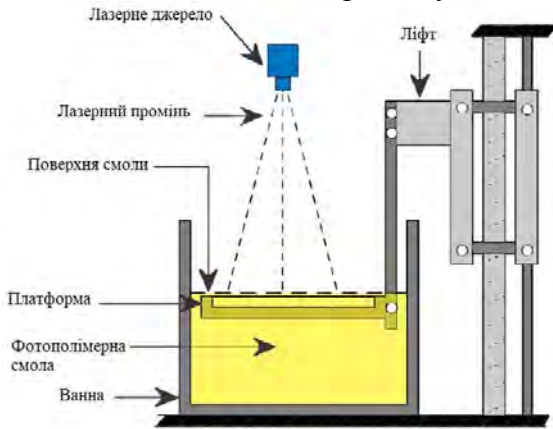


Рис. 5. Стереолітографія

що пришвидшує процес. Шоста категорія Powder Bed Fusion включає в себе наступні широко використовувані методи друку: пряме лазерне спікання металу (DMLS), електронно-променево плавлення (EBM), вибіркоче термічне спікання (SHS), селективне лазерне розплавлення (SLM) та вибіркоче лазерне спікання (SLS).

Методи Powder Fusion (PF) використовують лазер або електронний промінь для розплавлення та сплавлення порошку матеріалу між собою. Електронно-променево спікання (EBM) вимагає вакууму, але може використовуватися з металами та сплавами при створенні функціональних частин.

Всі методи цієї технології включають розповсюдження порошкового матеріалу над попередніми шарами. Для цього використовують різні механізми, включаючи ролик або лезо. Бункер або резервуар забезпечує свіжий запас матеріалу (рис. 7). Пряме лазерне спікання металом (DMLS) таке ж, як і SLS, але з використовує метал, а не пластмаси. Вибіркоче термічне спікання відрізняється від інших процесів використанням нагрітої термічної друкарської голівки, щоб з'єднати порошковий матеріал між собою. Як і в попередніх технологіях, шари додають роликоче між сплавленнями.

В останню сьому категорію Directed energy deposition входять технології, в яких матеріал та енергію підводять одночасно в місце побудови. Це більш складний процес друку, який зазвичай використовується для відновлення або додавання додаткового матеріалу до існуючих об'єктів.

Типова машина DED складається з сопла, встановленого на багатоосьовій «руці», яка вкладає розплавлений матеріал на вказану поверхню, де вона твердіє. Процес принципово схожий на Material Extrusion, але сопло може рухатися в декількох напрямках і не закріплене на певній осі.

Матеріал, який може бути нанесений з будь-якого кута, розплавляється під дією лазера або електронного променя. Процес можна використати для полімерів, кераміки, але зазвичай його використовують для металевого порошку або дроту. Типовим застосуванням технології є ремонт і поновлення конструкційних деталей.

У технології CLIP лазерний проектор розташований у нижній частині, а порошкова смола в контейнері, має проникне киснево вікно між лазерним проектором та смолою, що дозволяє виконувати швидке безперервне будівництво 3D-моделі і здатне змінювати імпульси ультрафіолетового випромінювання. Проникне киснево вікно створює мертву зону між залишками рідких смол, відмінними від смоли, що піддається впливу випромінювання (рис. 6). Це дозволяє проводити випромінювання через побудований шар без зупинки побудови,

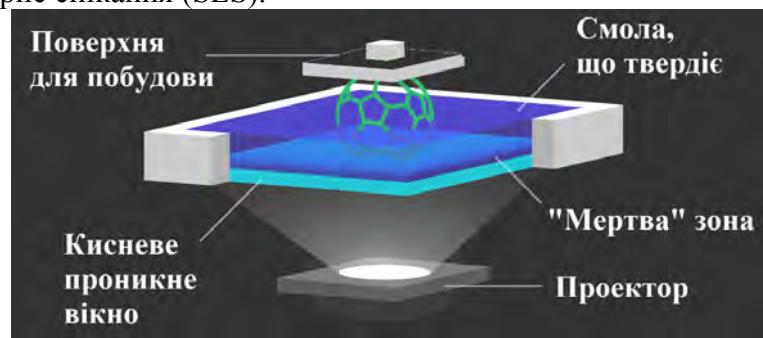


Рис. 6. Технологія CLIP

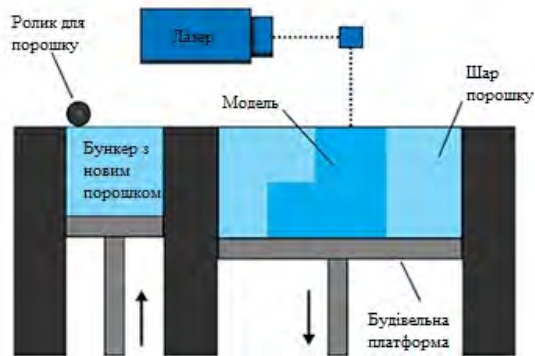


Рис. 7. Powder Bed Fusion

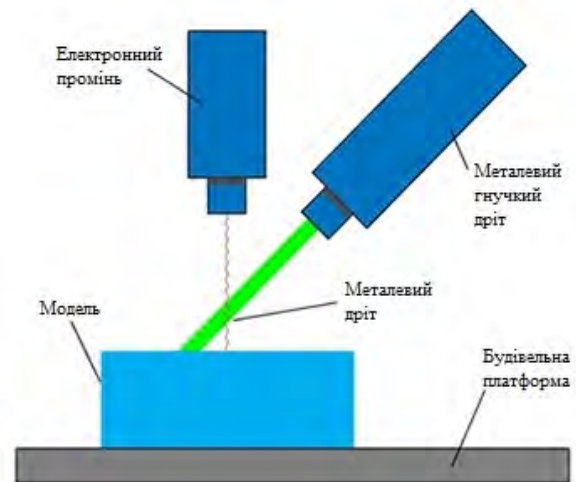


Рис. 8. Directed energy deposition

В ливарному виробництві знайшли своє застосування такі технології: Material extrusion, Material Jetting, Binderjetting, Vat photopolymerization, Powderbed fusion та Directed energy deposition.

Література:

1. Аддитивные технологии и изделия из металла Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А.
2. Андрощук Г.О. 3D-друк в епоху інноваційних технологій: проблеми регулювання / Г.О. Андрощук, Я.В. Копил // Інтелектуальна власність в Україні. – 2016. – № 5. – С. 17–26.

Фесенко М.А.¹, Фесенко А.Н.², Погребняк И.А.¹

¹КПИ имени Игоря Сикорского, г.Киев, ²ДГМА, г. Краматорск

НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

fesmak@ukr.net

Обрабатывается новый технологический процесс производства отливок из одного базового расплава со структурой и свойствами износостойкого белого чугуна в одной и вязкого ударостойкого высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в другой локальной ее части методом литья по газифицируемым моделям.



а



б

Рис. 1. Общий вид пенополистироловых моделей отливок с разветвленной (а) и ярусной (б) литниково-модифицирующей системой

Сущность процесса заключается в заливке исходного чугуна, склонного к кристаллизации с отбелом выплавленного в одном плавильном агрегате, в литейную форму через общий стояк и каналы разветвленной (рис.1, а)

или ярусной (рис.1, б) литниковой системы, разделяющей расплав на два потока, один из которых направляется непосредственно в полость формы, где кристаллизуется износостойкий белый чугун. Другой поток проходит через литниковые каналы с проточной реакционной камерой, в которой расплав обрабатывается сфероидизирующим модификатором.