

УДК 62.03

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Коломієць С. М., доцент

(Таврійський державний агротехнологічний університет)

*У статті наведені дослідження перспектив застосування технологій тривимірного друку при використанні відповідних матеріалів з урахуванням впливу технологічних обмежень устаткування, за умов забезпечення достатньої міцності або меншої вартості, при аналогічних функціональних якостях деталей у порівнянні з міцністю деталей, отриманих традиційними способами.*

**Постановка проблеми.** Технологія тривимірного друку з'явилася наприкінці минулого століття. Піонером у цій області є компанія 3D Systems, яка розробила першу комерційну стереолітографічну машину – SLA (Stereolithography Apparatus). Вона використовувалася головним чином у науково-дослідницькій і дослідно-конструкторській діяльності, пов'язаній з оборонною промисловістю. Перші лазерні машини, стереолітографічні (SLA-машини), потім порошкові (Sls-машини) були надмірно кошторисні, вибір модельних матеріалів досить скромний. Широке поширення цифрових технологій в області проектування (CAD), моделювання і розрахунків (CAE) та механообробки (CAM) стимулювало проривний характер розвитку технологій 3D-друку; сьогодні 3D-принтери використовуються в тому або іншому ступені практично у більшості областей матеріального виробництва [1,2].

**Аналіз останніх досліджень.** Останнім часом технологіям тривимірного друку присвячено багато досліджень. Але залишилося багато питань: «Як забезпечити виготовлення деталі саме з того матеріалу, який потрібний замовнику? Де придбати матеріал, закладений конструктором? Яким чином забезпечити виробництво достатньої кількості матеріалу? Як вплинуть певні технологічні обмеження устаткування для виробництва порошків на хімічний склад матеріалу? А чи буде достатньою міцність деталі у порівнянні з міцністю деталі, одержуваної традиційними способами і т. і?» «Вирощена» деталь повинна бути не тільки не гіршою, а кращою за традиційно виготовлену або при аналогічних функціональних якостях дешевшою, чим традиційно виготовлена. На даний час на ці питання немає однозначної відповіді [3, 4].

**Ціль роботи.** Дослідити перспективи застосування технологій тривимірного друку за умов забезпечення достатньої міцності або меншої вартості при аналогічних функціональних якостях деталей у порівнянні з міцністю деталей, отриманих традиційними способами.

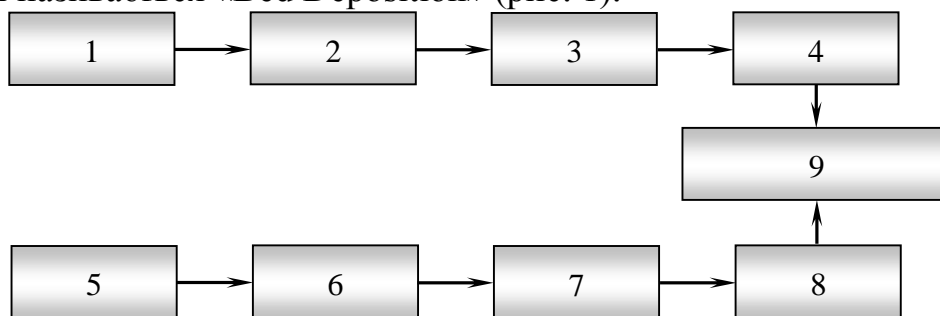
**Результати досліджень.** Перші аддитивні машини з'явилися на ринку всього два десятиліття тому. Але вже виконується синтезоване металеве технологічне оснащення, виготовляються інструменти, деталі авіалайнерів,

супутників, ракет, підводних човнів, уже є десятки тисяч протезів і імплантів, ювелірних виробів і багато чого іншого. Є всі підстави вважати, що аддитивні технології вже в самий найближчий час набудуть статус стратегічно важливих, пріоритетних технологій машинобудування.

Аддитивні технології – це процес об'єднання матеріалу з метою створення об'єкта з даних 3D-моделі, як правило, шар за шаром, на відміну від виробничих технологій механообробки, що віднімають шари матеріалу з масиву заготовки. Але не всякі технології з'єднання матеріалу, а тільки ті, які створюють об'єкт по даним 3D-моделі або з Cad-даних, тобто на основі тривимірної комп'ютерної моделі.

За способом формування шару матеріалу розрізняють два види аддитивних технологій.

Перший вид: спочатку формують шар, наприклад, насипають на робочу платформу дозу порошкового матеріалу і розрівнюють порошок за допомогою ролика або «ножа», створюючи в такий спосіб рівний шар матеріалу певної товщини; потім вибірково обробляють порошок у сформованому шарі лазером або іншим способом, скріплюючи часточки порошку (сплавляючи або склеюючи) у відповідності з поточним перетином вихідної Cad-моделі. Ця технологія називається «Bed Deposition» (рис. 1).



1 – лазер; 2 - лінзи; 3 - система дзеркал; 4 - лазерний промінь; 5 - платформа подачі матеріалу; 6 - ролик; 7 - подача матеріалу; 8 - платформа побудови; 9 - площа побудови

Рисунок 1 – Блок-схема Bed Deposition:

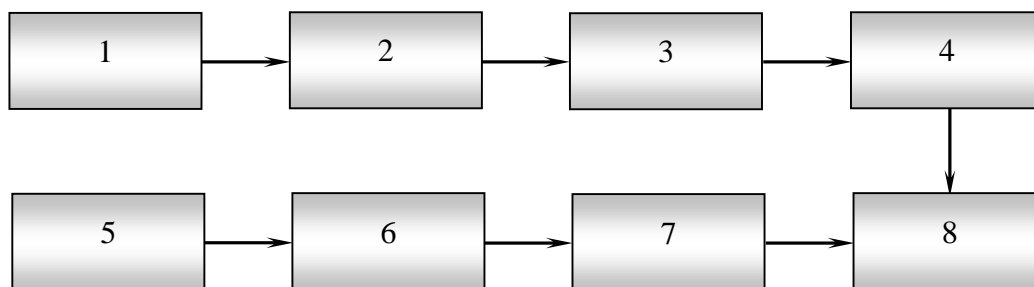
До першого виду також можна віднести такі технології як:

- SLM – Selective Laser Melting (компанія SLM Solutions, Німеччина);
- DMLS - Direct metal laser sintering (EOS, Німеччина);
- EBM – Electron Beam Melting (Arcam, Швеція);
- Lasercusing (Concept Laser, Німеччина);
- SPLS - Solid Phase Laser Sintering (Phenix Systems, Франція);
- Ink-Jet або Binder jetting (Exone, 3D Systems, США) і ряд інших.

Другий вид аддитивних технологій – «Direct Deposition» (рисунок 2) – пряме або безпосереднє осадження матеріалу, тобто безпосередньо в точку, куди підводиться енергія і де відбувається в цей момент побудова фрагмента деталі.

На відміну від першого виду, тут не формується шар будівельного матеріалу, а матеріал подається в конкретне місце, куди в даний момент часу

підводиться енергія і де йде процес формування деталі. Подібно тому, як зварник уводить матеріал електрода у те місце, де за рахунок електричної дуги формується зона розплаву.



1 - лазер; 2 - система дзеркал; 3 - лінза; 4 - лазерний промінь; 5 - транспортний газ; 6 - металевий порошок; 7 - платформа побудови; 8 - зона побудови

Рисунок 2 – Блок-схема Direct Deposition:

До другого виду можна віднести наступні технології:

- DMD - Direct Metal Deposition (компанія POM, США);
- LENS - Laser Engineered Net Shape (Optomec, США);
- MJS - Multiphase Jet Solidification (Fraunhofer IFAM, Німеччина; FDM, США);
- DM - Direct Manufacturing (Sciaky, США) і ін.

За способом отримання деталей машин розрізняють сім категорій:

- 1 Material extrusion – видавлювання матеріалу.
- 2 Material Jetting – розбризкування матеріалу (струминні технології).
- 3 Binder jetting – розбризкування сполучного матеріалу.
- 4 Sheet lamination – з'єднання листових матеріалів.
- 5 Vat photopolymerization – фотополімеризація у ванні.
- 6 Powder bed fusion – розплавлювання матеріалу в заздалегідь сформованому шарі.
- 7 Directed energy deposition – пряме підведення енергії безпосередньо в місце побудови.

До першої категорії відноситься технологія MJS, у відповідності до якої в місце побудови моделі через екструдер, що підігрівається, видавлюється пастоподібний будівельний матеріал – суміш металевого порошку і пластифікатору. Побудовану в такий спосіб модель поміщають у піч для подальшого спікання.

Прикладом наступної технології може бути технологія Polyjet, згідно з якою модельний матеріал, звичайно фотополімер або віск, подається в зону побудови через багатоструминну головку.

До третьої категорії відносяться так само струминні технології або Ink-Jet-технології, де, на відміну від технології Material jetting, у зону побудови вприскується не модельний матеріал, а сполучний реагент.

До четвертої категорії відносять технології, що припускають використання в якості будівельного матеріалу листовий матеріал у вигляді полімерної плівки,

металевої фольги, аркушів паперу і т.і. Прикладом тут може бути технологія UAM (Ultrasonic additive manufacturing, Fabrisonic), відповідно до якої тонкі металеві пластини зварюють за допомогою ультразвуку і потім «зайвий» метал видаляють фрезеруванням.

До п'ятої категорії відносять технології, що припускають використання рідких модельних матеріалів – фотополімерних смол, зокрема Sla-технологія (3D Systems) і Dlp-технологія (Digital Light Procession, Envisiontec).

У шосту категорію входить численна група Sls-технологій, у яких застосовується лазер як джерело тепла, а також ряд інших, не лазерних технологій, наприклад, Arcam, де використовується електронний промінь, або SHS (Selective Heat Sintering (Blueprinter), у якій джерелом тепла є тени.

В останню, сьому категорію входять технології, згідно з якими будівельний матеріал і енергію для його сплавки підводять одночасно в місце побудови виробу. Ці технології припускають застосування машин, робочий орган яких – головка, оснащена системами підведення будівельного матеріалу і енергії, звичайно у вигляді сфальцьованого лазерного випромінювання (Optomes, POM) або електронного променя (Sciaky).

Звичайно, коли говорять про серійне виробництво, мають на увазі кількість, вимірювану тисячами або сотнями тисяч одиниць. Однак існує і інше серійне виробництво, вимірюване десятками або сотнями виробів. Таких виробів, найчастіше складної геометрії, зі спеціальних матеріалів досить багато в авіаційній промисловості, космічній індустрії, енергетичному машинобудуванні і ряді інших галузей. І саме там виник інтерес до Am-технологій, «безпосереднього вирощування» виробів, у якості альтернативи традиційним технологічним методам, для виробництва не прототипів або дослідних зразків, а цілком товарної продукції. Причому мотивацією тут є не можливість створити щось унікальне, з незвичайними властивостями, а економічна доцільність. У ряді випадків при об'єктивних розрахунках реальних витрат аддитивні технології виявляються менш дорогими, ніж традиційні.

Одним з перспективних напрямків застосування Am-технологій є виготовлення технологічного оснащення – пристосувань і інструментів для серійного виробництва. Зокрема, виготовлення вставок для термопластавтоматів (рисунок 3). Сучасне постіндустріальне виробництво характеризується відносно швидкою зміною продуктів, причому часто міняються не основні компоненти, що визначають функціональні якості продукту, а дизайн – корпусні деталі, елементи декору, що звичайно виготовляються литтям, зокрема і на термопластавтоматах [5].

По цій причині в ряді випадків відпадає необхідність у дорогій інструментальній оснастці, що витримує десятки і сотні тисяч циклів. За допомогою Am-технологій можна зробити матрицю або прес-форму з легкого сплаву з меншим ресурсом.

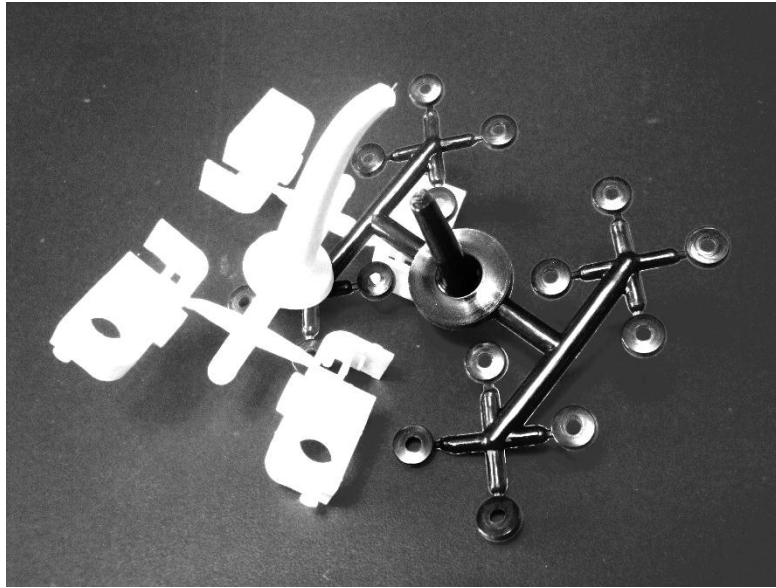


Рисунок 3 - Виливка з Abs-пластику і вставка для ТПА

Але і для традиційного ливарного виробництва Ам-технології дають нові можливості. Наприклад, прес-форма може бути вирошена разом з каналами охолодження довільної конфігурації, що неможливо зробити при звичайних методах механообробки. Ам-машини успішно використовують для виготовлення прес-форм із мідними охолодними сердечниками, а також з так названою конформною системою охолодження, конфігурація якої відповідає геометрії формуємої деталі. Іншими словами, канали охолодження прокладаються в масиві форми так, як необхідно, а не так, як дозволяють традиційні технології. Застосування ливарних форм із рівномірним або регульованим охолодженням дозволяє скоротити час перебування виливка у формі до 30%. У цьому випадку Ам-технології це не протиставлення традиційній обробці, а пропозиція нових можливостей для оптимізації витрат і підвищення ефективності виробництва. Обслуговування серійного виробництва також пов'язане з необхідністю виготовлення спеціальних пристосувань, шаблонів, кондукторів і т.і. і тут застосування Ам-технологій може бути економічно ефективним. І все частіше виникає питання, яку стратегію прийняти: виростити партію деталей на Ам-машині або робити звичайне оснащення, але з ризиком, що через короткий час буде потрібне внесення змін і оснащення треба буде переробляти.

**Висновки.** Пошаровий метод побудови деталі сам по собі дав нові можливості, відкрив для конструктора нові обрії творчості, зняв багато технологічних обмежень. Стало можливим те, що було неможливим раніше. Можна виростити «деталь в деталі», деталь зі змінними по товщині властивостями матеріалу, сітчасті конструкції, які неможливо одержати ні литтям, ні механообробкою і т.і. Аддитивні технології мають величезні переваги перед традиційними за рахунок скорочення часу і вартості при проведенні

науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт. Проведення варіантних досліджень, швидке виготовлення дослідних зразків дозволяє на порядок скоротити час виходу нової продукції на ринок. Ця фундаментальна перевага аддитивних технологій і визначає їхню роль в сучасному матеріальному виробництві.

### Список літератури:

1 *Horn T.*, Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications / *T. Horn, O. Harrysson.*- Science Progress 09/22/2012. Science Reviews 2000 Ltd. ISSN: 0036-8504 [Електронний ресурс] <http://www.freepatentsonline.com/article/Science-Progress/306753585.html>

2 *Khoshnevis B.* Metallic part fabrication using Selective Inhibition Sintering / *B. Khoshnevis.*- Department of Industrial and Systems Engineering University of South California, Los Angeles, CA 90089, USA. [Електронний ресурс], <https://docs.google.com/viewer=a=v&q=cache:Echcrgnayjej:www-bcf.usc.edu>.

3 Інтернет-сайт компанії Raymor: [www.raymor.com/apc/processes/plasma](http://www.raymor.com/apc/processes/plasma).

4 Веб-сайт компанії НЕТРАМ [Електронний ресурс], <http://www.netramm.com/index.htm>

5 *Москвичев Ю. Л.* Гранульные композиты и эффективность их использования / *Ю. Л. Москвичев.*- Журнал «АС» (Actual Conference), 2011.- № 1(70).- С. 44-48.

### Аннотация

#### Современные технологии производства деталей машин

Коломиец С.М.

*В статье приведены исследования перспектив использования технологий объемной печати при использовании соответствующих материалов с учетом влияния технологических ограничений оборудования, при условии обеспечения достаточной прочности или меньшей стоимости, при аналогичных функциональных качествах деталей в сравнении с прочностью деталей, полученных традиционными способами.*

### Abstract

#### Modern technologists of production of details of machines

S. Kolomiyets

*In the article researches of prospects of the use of technologies of by volume seal are resulted at the use of the proper materials taking into account influence of technological limitations, of equipment on condition of providing of sufficient durability or less cost, at analogical functional qualities of details by comparison to durability of details, got traditional methods.*