

УДК

Д.Р. Мейта, Ю.В. Лашина

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Порівняння адитивних та субтрактивних технологій виготовлення металевих деталей

Адитивне виробництво, стрімко розвиваючись і постійно вдосконалюючись протягом трьох десятиріч, на сьогоднішній день починає займати вагоме місце серед виробничих технологій [1]. Доцільність використання адитивних технологій для виготовлення певних класів деталей стає економічно обґрунтованою і тому відбувається їх широке впровадження в різних галузях промисловості – автомобільній, аерокосмічній, медичній тощо.

В даній роботі виконаний аналіз переваг і недоліків найсучасніших технологій адитивного виробництва та їх порівняння з технологіями субтрактивного виробництва, а саме з обробленням різанням на верстатах з ЧПК. Окрім того, на прикладі розглянуто можливості топологічної оптимізації і вплив вибору методу виготовлення деталі на її конструкцію.

373

В машинобудівній галузі особливу увагу приділяють технологіям адитивного виробництва саме металевих деталей. Розглянемо деякі з цих технологій.

Синтез порошкового шару (англ. **Powder Bed Fusion, PBF**) – це категорія процесів адитивного виробництва, в якій енергія від зовнішнього джерела використовується для вибіркового спікання/сплавлення попередньо нанесеного шару порошкового матеріалу [2]. Цей метод включає дві основні технології:

- пряме лазерне плавлення металів (DMLM);
- електронно-променеве плавлення (EBM).

Витискування матеріалу (англ. **Material Extrusion**) в адитивному виробництві металів є досить новим процесом. Подібно до надзвичайно популярного процесу *Fused Deposition Modeling (FDM)* для друку пластику, нитка нагрівається і витягується через сопло, а потім наноситься шар за шаром. Ця нитка є поєднанням термопластичного матеріалу та металевих частинок [2].

Спрямоване підведення енергії (англ. **Directed Energy Deposition, DED**) – це процес адитивного виробництва, при якому металевий дріт або порошок поєднуються з джерелом енергії для безпосереднього нанесення матеріалу на

платформу або на деталь, що існує. Як правило, застосовується для великих деталей без необхідності в жорстких допусках. Зазвичай використовується для ремонту та відновлення існуючих деталей [2].

Струменеве нанесення зв'язуючого (англ. **Binder Jetting**) – це процес «склеювання» порошкового шару за допомогою струменевої технології нанесення зв'язуючої речовини. Деталь підтримується незв'язаним порошком, який оточує її в робочій камері. Після завершення друку для металевих деталей застосовується процес видалення зв'язуючого та спікання порошку в готову деталь [2].

Струменеве нанесення матеріалу (англ. **Material Jetting**) – відносно новий процес, суть якого полягає в розпиленні металевого матеріалу через друкуючу головку за технологією безперервної струменевої подачі або технології *Drop on Demand* (DOD). Отримана деталь потребує спікання в печі для досягнення остаточної щільності [2].

Розглянуті технології адитивного виробництва мають свої переваги та недоліки, основні з них зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 Порівняння технологій адитивного виробництва металевих деталей

| Технологія | Переваги | Недоліки |
|-----------------------------------|---|---|
| <i>Powder Bed Fusion</i> | <ul style="list-style-type: none"> Висока точність Широка номенклатура матеріалів Можливість виготовляти відносно великі деталі Гарні властивості матеріалу | <ul style="list-style-type: none"> Деталі доволі дорогі Дороге обладнання Процес доволі повільний Потребує додаткового налагодження при виготовленні партії деталей для повторюваності розмірів |
| <i>Directed Energy Deposition</i> | <ul style="list-style-type: none"> Швидкість процесу Щільність структури матеріалу Немає необхідності в підтримках Гарно підходить для ремонту деталей | <ul style="list-style-type: none"> Погана якість обробленої поверхні Невелика точність Необхідність подальшого оброблення Обмежена номенклатура матеріалів |
| <i>Metal Extrusion</i> | <ul style="list-style-type: none"> Відносно низька вартість Відмінно підходить для прототипування Висока точність | <ul style="list-style-type: none"> Обмежений виробничий потенціал Значна усадка в печі Можуть знадобитись підтримки Низька щільність структури матеріалу, наявність пористості та пористість |
| <i>Binder Jetting</i> | <ul style="list-style-type: none"> Вартість нижча ніж у PBF Швидкий процес Налагоджений процес | <ul style="list-style-type: none"> Характеристики матеріалу не завжди підходять для конструкційних деталей |

| Технологія | Переваги | Недоліки |
|-------------------------|---|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Значна усадка деталей, якщо не використовується інфільтрація • Необхідність подальшого оброблення • Низька щільність структури матеріалу |
| <i>Material Jetting</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Висока роздільна здатність • Більш безпечна, оскільки не використовується вільний металевий порошок • Гарна якість поверхні | <ul style="list-style-type: none"> • Низька швидкість процесу • Застосовується лише для виготовлення дрібних деталей • Деталі дуже дорогі |

Метою порівняльного аналізу процесів адитивного та субтрактивного виробництва (таблиця 2) є виявлення можливостей їх поєднання для досягнення високоефективного виробництва. Серед спільних рис можна назвати наступне: вихідною інформацією є тривимірна модель виробу, розробка керуючих програм в обох випадках виконується за допомогою спеціального програмного забезпечення, процеси можуть доповнювати один одного з метою виготовлення деталей складної форми та високої точності [3].

Отже, кожен з процесів має галузь, де можуть проявитись його сильні сторони. Так, процеси адитивного виробництва добре пристосовані для отримання перших прототипів виробу, а також для отримання деталей складної форми з порожнистою структурою. За допомогою адитивних технологій можна створювати внутрішні камери, нелінійні охолоджувальні канали, наприклад, при виготовленні прес-форм тощо.

Ще однією суттєвою відмінністю технологій є те, що при застосуванні субтрактивних технологій вартість виробу зростає при ускладненні його геометрії, а в при застосуванні адитивних технологій вартість виробу не залежить від складності його форми [1]. Це відкриває нові можливості щодо скорочення виробничих витрат, пов'язаних із складанням виробу, оскільки створення деталей дуже складної форми стає доступним і економічно доцільним. Тому декілька деталей виробу можуть бути об'єднані в одну із виключенням усіх пов'язаних процесів складання.

З іншого боку, при виборі методу необхідно зважати на те, що для конструкцій, розроблених для виготовлення обробленням різанням на верстатах з ЧПК, в більшості випадків недоцільно використовувати адитивне

виробництво, оскільки ці технології накладають свої обмеження, такі як: необхідність використовувати підтримки, необхідність враховувати анізотропію механічних властивостей деталі [4] тощо. Ще одним обмеженням на даному етапі розвитку адитивних технологій є те, що вони не забезпечують досягнення необхідної точності виробів машинобудування, яка потрібна для відповідальних з'єднань деталей. В масовому виробництві субтрактивні технології є більш продуктивними і доцільними.

Таблиця 2 Порівняльний аналіз адитивних і субтрактивних технологій

| | Адитивне виробництво | Оброблення різанням на верстатах з ЧПУ |
|---|--|--|
| Процес | Адитивний | Субтрактивний |
| Метод формоутворення | Додавання матеріалу | Віднімання матеріалу |
| Відсоток використання матеріалу | Майже безвідходне виробництво | Суттєвий відсоток матеріалу переходить в стружку |
| Вплив складності форми на вартість виробу | Вартість не залежить від складності форми | Чим складніша форма деталі, тим дорожче її виготовлення |
| Номенклатура доступних матеріалів | Номенклатура матеріалів обмежена (але постійно розширюється) | Широка номенклатура матеріалів, придатних для оброблення |
| Технологічні можливості формоутворення | Можна отримати деталі дуже складної конфігурації | Конфігурація деталей обмежена технологічними можливостями устаткування |
| Властивості матеріалу | Неоднорідність структури, анізотропія фізико-механічних властивостей | Однорідна та більш передбачувана структура |

Необхідно зазначити, що стрімкий розвиток технологій адитивного виробництва відкриває принципово нові можливості для проектування конструкцій деталей. Так, на сьогоднішній день спостерігається нова хвиля зацікавленості у математичних методах топологічної оптимізації, спрямованих на оптимізацію розподілу матеріалу в межах заданого простору проектування для заданого набору навантажень, граничних умов та обмежень з метою максимізації продуктивності системи [5]. Тривалий час використання методів топологічної оптимізації стримувалось можливостями наявних технологічних

процесів, оскільки оптимізована структура може виявитись занадто складною для виготовлення традиційними методами – отриману геометрію або взагалі було неможливо реалізувати, або недоцільно з економічної точки зору.

Як зазначалось вище, адитивні технології дозволяють виготовляти деталі складних геометричних форм, при цьому вартість їх виготовлення не зростає, тому, за умови досягнення необхідних фізико-механічних властивостей та вимог до точності виробу, вони можуть бути застосовані для отримання оптимізованих конструкцій.

Розглянемо вплив вибору методу виготовлення деталі на проектування її конструкції на прикладі деталі «Траверса». Для виконання топологічної оптимізації було використано програмне забезпечення Altair Inspire [6]. Результат завдання граничних умов представлений на рис. 1.

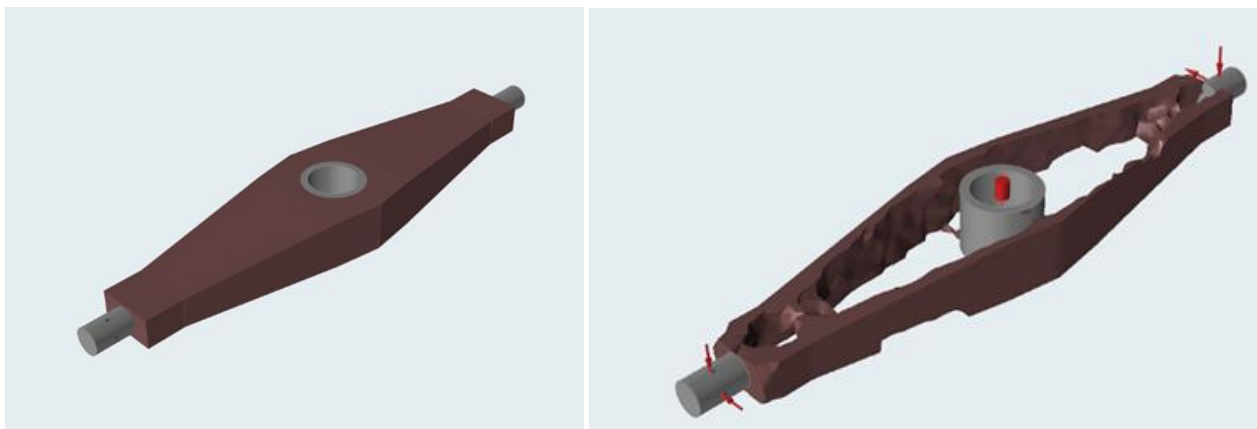


Рис. 1 Вихідна модель та результат топологічної оптимізації

Результати топологічної оптимізації оброблюються для отримання твердотільної моделі виробу. На рис. 2 представлені дві моделі виробу, орієнтовані на технології адитивного та субтрактивного виробництва

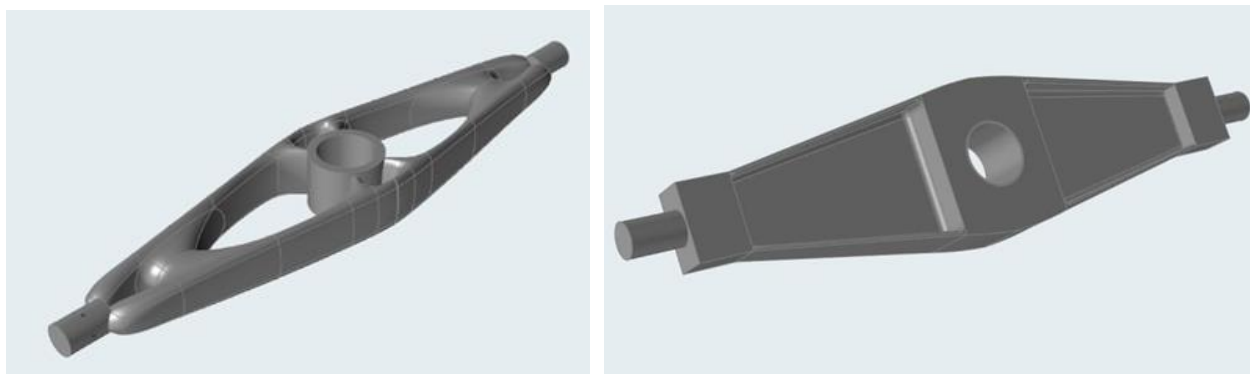


Рис. 2. Тривимірні моделі виробу:

- а) модель придатна для виготовлення за допомогою адитивних технологій;
- б) модель, орієнтована на виготовлення на верстаті з ЧПК

Висновки:

При виборі технології, доцільної для виготовлення виробів машинобудування, необхідно враховувати можливості і обмеження найсучасніших адитивних та субтрактивних технологічних процесів. Цей вибір має суттєвий вплив на конструктивну реалізацію виробу. Так, два вироби, призначені для виконання однакових функцій, в залежності від вибору технології виготовлення можуть мати суттєві відмінності форми.

Вибір технології залежить від вимог до точності виробу, його фізико-механічних властивостей, складності форми, обсягу випуску, тощо. Важливо зазначити, що адитивні технології виготовлення металевих конструкцій наразі розвиваються і в майбутньому їх можливості будуть розширюватись.

При цьому не очікується, що це призведе до усунення субтрактивних технологій, а скоріш в майбутньому обидва підходи будуть органічно доповнювати один одного.

Список використаних джерел

1. Пасічник В. А. Стан і перспективи адитивного виробництва / В. А. Пасічник // Резание и инструменты в технологических системах. - 2018. - Вып. 89. - С. 134-140. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rits_2018_89_18
2. Metal AM Processes [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу [10/05/2021]: <https://www.3deo.co/category/metal-am-processes/>
3. The Economics of CNC Milling Versus 3D Metal Printing [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу [10/05/2021]: <https://www.3deo.co/metal-3d-printing/the-economics-of-cnc-milling-versus-3d-metal-printing/>
4. Gibson I. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. 2nd ed. / Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Springer, 2015. 510 p. (DOI 10.1007/978-1-4939-2113-3).
5. Topology Optimisation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу [10/05/2021]: <https://fractory.com/topology-optimisation/>
6. Altair Inspire™ Applications [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу [10/05/2021]: <https://www.altair.com/inspire-applications/>