

Дорошенко В.С., Калюжний П.Б., Нейма О.В.

(ФТІМС НАН України, м. Київ)

ЛЕГКОВАГІ КОНСТРУКЦІЇ З ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ, ЩО ПЕРСПЕКТИВНІ ДЛЯ ЛИТТЯ ЗА УЧАСТЮ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

E-mail: doro55v@gmail.com

Розробка концепції побудови типових литих легковагих конструкцій для різновидів автотракторної і військової техніки та загального машинобудування, а також розробка адитивних технологічних процесів виготовлення литих легковагих конструкцій із залізовуглецевих сплавів з використанням 3D-технологій для одержання різновидів піщаних і керамічних форм, стрижнів, полімерних моделей з використанням традиційних сполучних та вакууму – ця актуальна і непроста проблематика наявна в плані досліджень відділу ФХЛП проф. О. Й. Шинського.

З промисловою революцією 4.0 технологія 3D-друку стала пріоритетною та «гарячою» темою для різних дослідницьких сфер. Експоненціальне зростання кількості статей у новітній літературі демонструє потенціал 3D-друку, який, бурхливо розвиваючись, дозволяє швидко та легко виготовляти об'єкти з розширеною свободою дизайну, зменшує утворення відходів і може використовуватися в будь-якій точці світу. Крім того, він має значний потенціал для великомасштабного виготовлення в механізованому чи автоматизованому процесі. Індустрія адитивного виробництва (АВ) знову зростає. З 2019 по 2020 рік в ній (від впливу пандемії) майже не було зростання, лише на 0,5% у металах. А з 2020 по 2021 рік ринок відновив ріст, показуючи зростання на 23% у секторі АВ металу та близько 16% у полімерах [1].

Цифрові 3D-технології мають вирішальну перевагу над традиційними ливарними в тому, що дозволяють з цифрового файлу (зображення) на комп'ютері корегувати конструкцію виробу, програмними методами оптимізувати її (нерідко до біонічної конструкції чи структури), нанести (доповнити в цифровому файлі) найбільш вигідну ту чи іншу ливарну чи друкувальну технологію та покрокову програму її реалізації на автоматичному верстаті чи маніпуляторі (як правило, без

будь-якої металевої чи дерев'яної ливарної оснастки) в короткі терміни та потім провести кінцеву обробку виробу. Частіше всього 3D-друку підлягають разові моделі, рідше – піщані форми чи металеві вироби. Це дозволяє практично на порядок скоротити (від звичного цехового ливарництва) тривалість отримання перших металовиробів від появи концепції чи креслення до готової машинобудівної деталі.

В яких випадках вже сьогодні має сенс перейти з традиційного виробництва на 3D-друк, коли АВ може дати вигоду? АВ здатне підтримувати звичайні виробничі процеси, які для серійного виробництва потребують оснастки (пресформи, кокілі, кондуктори, оснастка штампів тощо), швидко забезпечуючи початок і розвертання нового чи більшого обсягу виробництва. АВ дозволяє виробникам досягти кращого дизайну та швидко отримати продукт чи прототип для замовників, тоді як традиційне виробництво проходить наладку і наростає. Збільшуючи варіативність між прототипом і повномасштабним виробництвом, 3D-друк може забезпечити значну вигоду, навіть якщо згодом почнеться серійне виробництво іншого продукту. Крім дизайну і передачі нової деталі від 3D-друку в серію, є сценарії, в яких АВ може вигідно реалізувати виробничі процеси. Наведемо п'ять прикладів [1].

1. Деталі складної геометрії. У випадках, коли 3D-друк може забезпечити складні функції виробу, такі, як охолодження його по внутрішнім каналам, властиві деталям гідравліки, або об'єднати кілька частин в одну; перехід до більш традиційного процесу, ймовірно, ускладнить виробництво. Така деталь, як паливна форсунка авіадвигуна, яка об'єднує 20 деталей, краще підходить для 3D-друку, ніж нелегкий виробничий процес, що включає збірку менших компонентів. АВ також виграє, коли може видати нові функціональні вироби, які були б неможливі інакше, приміром, 3D-друковані піни різної жорсткості та гнучкості.

2. Персоналізація (кастомізація) та налаштування виробів. У випадках, коли продукти повинні бути виготовлені відповідно до анатомії або смаків окремих споживачів, 3D-друк може доставити унікальні компоненти в короткі терміни в порівнянні зі звичайними процесами. Відсутність залежності АВ від ін-

струментів означає, що немає фінансових причин для того, щоб кожен виріб був ідентичним, виготовлення може включити унікальні відбитки.

3. Сценарії, коли інвестиції в звичайне обладнання були б перешкодою для входу нової продукції у виробництво. Наприклад, витрати вартістю понад 10000 доларів можуть бути недоступними для багатьох винахідників (не кажучи вже про витрати на розробку та експлуатацію інструменту), але на ту ж суму можна було б придбати принаймні пару настільних 3D-принтерів. Можливо, економніше було б перейти до виробництва пластикових деталей чи моделей 3D-друком, якщо для цього необхідні витрати залишаться в керованому діапазоні.

4. Нішеві продукти, що не вимагають високої кількості. Подібно до вищезазначеного, деякі продукти ніколи не досягнуть стадії, коли попит диктує процес збільшення обсягу. Аксесуари, такі як чохла для телефонів або кронштейни для побутової електроніки, можуть застаріти, в той час як інші предмети можуть сподобатися лише певній ринковій ніші. У цих випадках АВ може підтримувати виробництво на вимогу, щоб обмежити запаси та відповідати тому, що потребує ринок.

5. Місцеве (локальне) виробництво. Уразливі місця в ланцюжках поставок роблять виробництво без інструментів за допомогою 3D-друку привабливим варіантом. Замість того, щоб виробляти великі обсяги на одному централізованому підприємстві, з'являється сенс розподілити 3D-друк менших партій між різними виробниками. Такий розподіл дозволить виробникам розширити обсяги відповідно потужності 3D-друку і необхідності в конкретному місці. Теоретично, 3D-друк є непоганим методом для розподіленого виробництва. Цифрові файли можуть легко переміщатися, не вимагаючи перевезення вантажів через кордон або по всьому світу. 3D-принтер, оснащений відповідним матеріалом і можливостями, може надрукувати практично будь-який дизайн без традиційної оснастки, ріжучого інструменту чи кріплення. Принтери можна розташовувати де завгодно, варіюючи переміщення виробництва між ними за потребою.

У машинобудівній галузі АВ стало додатковим виробничим процесом, який дозволяє розвивати та впроваджувати інновації та відкриває нові застосування, а

також більше не використовується лише для виробництва прототипів. Наш досвід показує, що найпростіше заводити 3D-технологію в ливарні цехи саме через АВ разових моделей, оскільки принтери для друку полімерами найбільш розповсюджені і дешеві за вартістю. Розуміючи, що під АВ мають на увазі поетапне створення виробів шляхом додавання або нарощування матеріалу пошарово на основу, нашим відділом проведено дослідження за такими напрямками (рис. 1) та запатентовано в Україні наступні технічні рішення з перспективою АВ моделей для ЛГМ.

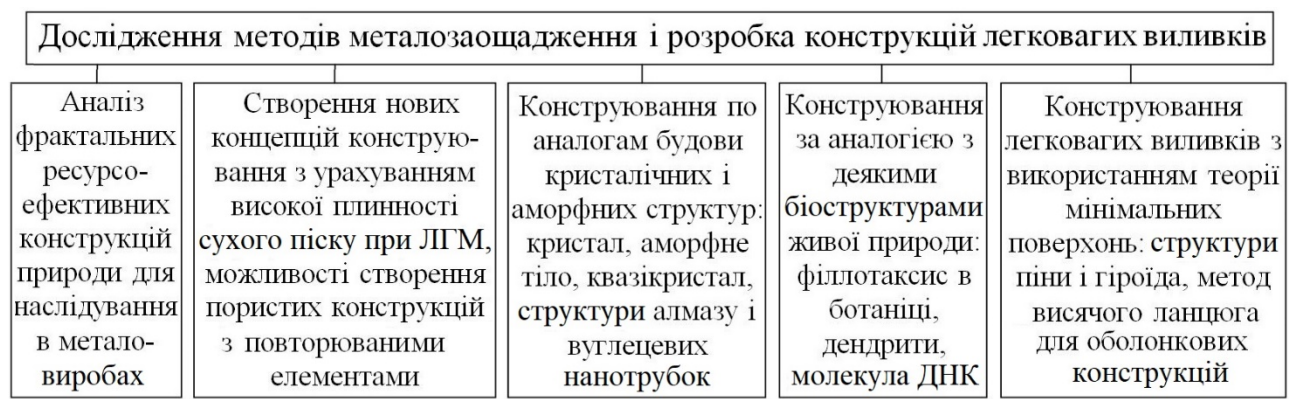


Рис. 1. Напрямки досліджень з перспективою АВ моделей для ЛГМ

Так, за пат. 80656 для полімерної моделі при ЛГМ створюється система вентиляційних каналів з вентами (також варіант за пат. 81013) і випорами, що дозволяє всмоктувати у пісок форми, чи (та) виводити з неї надлишкові гази, які можуть надмірним тиском знизити якість вилівка. Це налагоджує ЛГМ-процес за моделями не лише з пінополістиролу (ППС), але і друкованих, що нерідко мають вагу на одиницю об'єму вищу ніж у моделей з ППС (відповідно, і більше дають газів при термодеструкції). За пат. 85515 виконуються такі випори по багаторазовій пружній оснастці, а канали – по спіральній оснастці (пат.91224), а гази, що виходять з форми, рекомендовано знешкоджувати спалюванням (пат. 147217, 150121).

За пат. 86634 модель розчиняють скипидаром в вакуумованому піску, цей варіант також дозволить видалити з форми друковані моделі, або зменшити їх масу. За пат. 70286 виготовляють адитивним способом нарощування з деталей ґратчасту

модель (подібну до моделювань решітки кристалу або ромбоїдів квазікристалу), а за пат. 96915 виливають по ній легковагу конструкцію. Пат. 90494 видано на просторовий виливок, подібний до гілок дерева з урахуванням закономірностей його фрактальної будови у чотирьох варіантах конструкції. Ливарні моделі з повторюваних модулів комірчастих структур описано в пат. 92163, конструкції у вигляді многогранників, в тому числі, полієдрів Вороного, за пат. 87782 – з многогранників за структурою піни (11 варіантів), згідно пат. 92226 – за структурою вуглецевої нанотрубки. А за пат. 81011 комірчаста біонічна конструкція моделі зібрана з повторюваних елементів з обрисами моделі молекули ДНК. За пат. 82025 разову модель збирають з однакових комірок (за будовою комірки алмазу), обрамлених однаковими перегородками, а за пат. 82028 моделюють структури гіроїда і виливають з металу за цими моделями модульні броньовані перешкоди (пат. 139560).

Щодо оптимізації литих конструкцій з залізовуглецевих сплавів і їх структур, як найбільш поширених сплавів у ливарництві, то опрацьовано оптимізацію (за підвищенням міцності) товщини стінок виливків з чавуну з кулястим графітом за пат. 126031, а також розроблено ряд способів утворення бейнітної структури високої міцності виливків з чавуну, що видалені з форми в гарячому аустенітному стані і охолоджені ступінчастою зміною температури, за пат. України 123731, 131581, 131907, 131968, 133701, 137850, 139559, 140588.

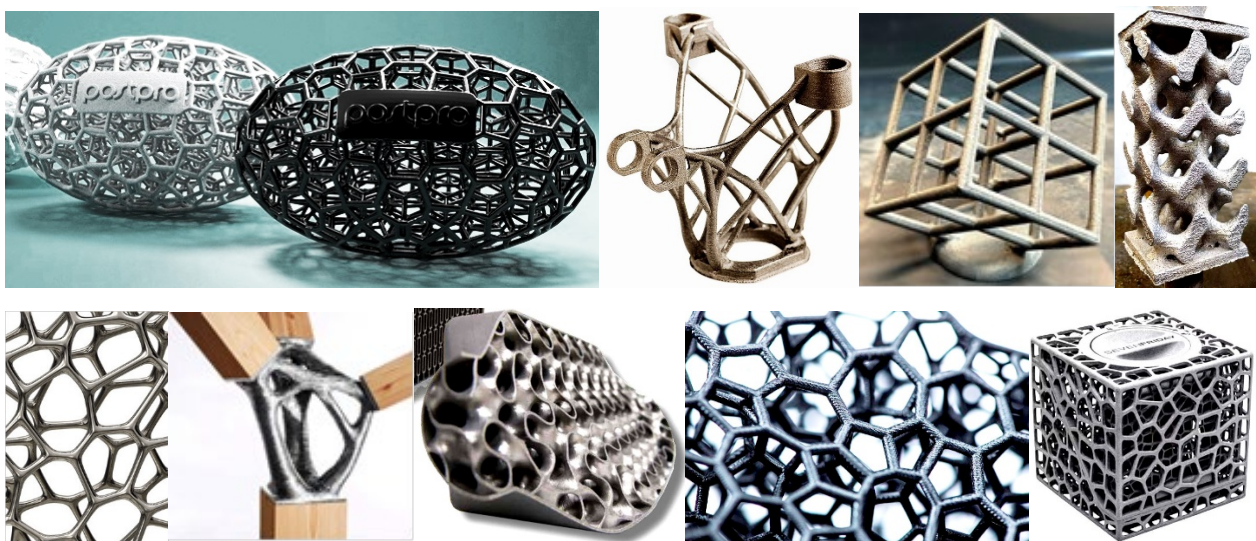


Рис. 2. Приклади 3D-друку полімерних моделей і легковагих виливків

З відкритих джерел Інтернету останнього часу наведемо матеріальні приклади 3D-друку ряду легковагих конструкцій (рис. 2), аналогічних вище вказаним. На рис. 3 показано наші перші відпрацювання 3D-друку моделей під науковим керівництвом проф. О.Й. Шинського і застосований для цього принтер. Друкована модель лопаті всередині має комірчасту будову.

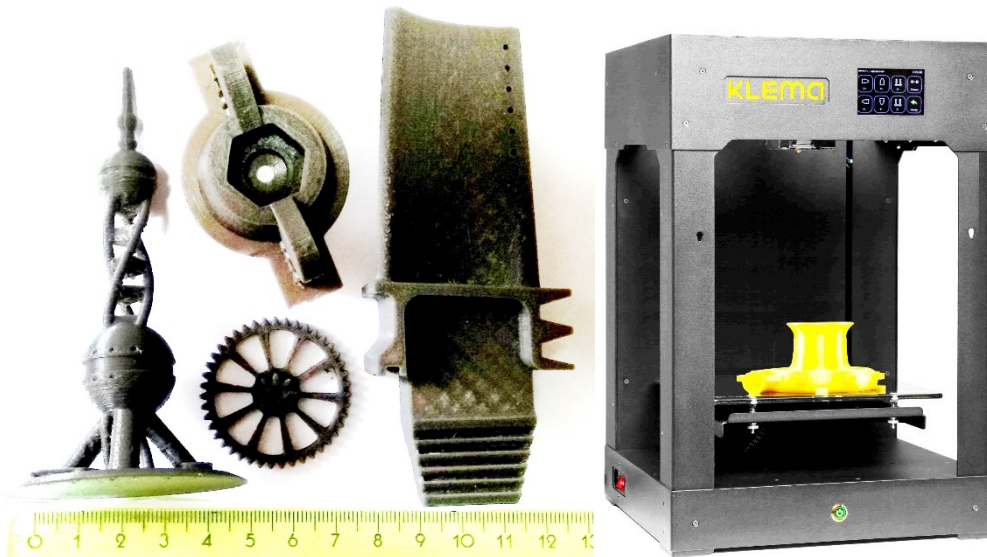


Рис. 3. Друковані моделі і принтер у відділі ФХЛП проф. О. Й. Шинського

Література:

1. Carolyn Schwaar. 2022 Additive Manufacturing Market Report Uncovers Top Trends. 15.03.2022. URL: <https://all3dp.com/4/2022-additive-manufacturing-market-report-uncovers-top-trends/>
2. S. Hendrixson. When Should Additive Manufacturing "Win" the Production Work? 25.03.2022. URL: <https://www.additivemanufacturing.media/articles/when-should-additive-manufacturing-win-the-production-work->