

# 3D-процеси в ливарному виробництві: прообрази технологій майбутнього



**Володимир Дорошенко**

канд. техн. наук,  
ст. наук. співроб.  
Фізико-технологічного  
інституту металів і сплавів  
НАН України,  
м. Київ

Традиційне виробництво деталей, по суті, схоже на вирізблювання скульптури з каменю. “У твердий гірський камінь уява художника вміщує живу фігуру, яку він виймає звідти, видаляючи залишки каменю”, — пояснював *Мікеланджело*. Навпаки, адитивні технології (АТ) нарощують — друкують — виріб шар за шаром. За цим процесом слідкує комп’ютер, керуючись точною 3D-моделлю. У методу є декілька сильних сторін. По-перше, скорочуються витрати матеріалу (залежно від деталі економія може сягати 75%). По-друге, з’являється можливість створювати більш складні вироби (наприклад, з різними порожнинами). По-третє, можна створювати деталі, які не потребують додаткової обробки.

Як зазначив генеральний директор ВІАМ, академік РАН *Є.М. Каблов* на конференції “Адитивні технології у промисловості” (10.02.2015), на сьогодні в усіх розвинутих країнах відбувається бум АТ. Світовий ринок таких технологій в 2010—2014 рр. зростав у середньому на 27,4 %, у підсумку досягнувши 3 млрд доларів [1]. За його словами, світовими лідерами в галузі АТ є США, Німеччина і Китай. Крім того, в 22 країнах уже створено національні асоціації з АТ, об’єднані в альянс GARPA. Наприклад, корпорація “Боїнг” завдяки 3D-друку виготовляє понад 22 тисячі деталей 300 найменувань для 10 марок комерційних і воєнних літаків.

Сьогодні можна цілком певно сказати, що 3D-друк і 3D-сканування дуже активно входять в наше життя і невдовзі стануть справді незамінними інструментами в багатьох сферах діяльності. І якщо тепер масштаби розвитку цього сегмента в галузі високих технологій поки що можуть оцінити тільки спеціалісти, то вже в найближчому майбутньому ситуація буде змінюватися. Техніка 3D-друку використовуватиметься набагато ширше й увійде в наше повсякденне життя. Найбільшою проблемою для АТ стає нагальна потреба змінити мислення дизайнерів, які проектують конструкції у різних сферах діяльності людини.

У вітчизняному ливарному виробництві 3D-технології, перш за все, використовуються для лиття за газифікованими моделями (ЛГМ, Lost Foam Casting) при виготовленні пінопластових моделей на 3D-фрезерах за комп’ютерними програмами [2] (рис. 1). Також для лиття запропоновано моделювання побудови найпростіших кристалічних ґраток із використанням об’ємних збірних структур з повторюваними уніфікованими елементами, пінопластові моделі яких можна виготовити на пластавтоматах чи на 3D-фрезерах [3].



Рис. 1. Приклади виготовлення моделей для ЛГМ на 3D-фрезерах

Приклад великогабаритних моделей для художнього лиття показано на рис. 2а [4], на задньому плані видно деталі 3D-фрезера. За такими моделями відлито з алюмінію колаж “графіті” (рис. 2б) — архітектурну прикрасу багатоквартирного будинку завдовжки у десятки метрів в елітному кварталі Нью-Йорка (проект Herzog & de Meuron, 2006). Збірний колаж уздовж лицевого боку будинку складається з десятків виливків (включаючи декілька воріт), спроектованих за допомогою комп’ютерних 3D-технологій, включно з оптимізацією товщин стінок для процесу лиття.

Приклади модельно-макетних виробів, виконаних адитивним методом і показаних на проведених ливарних і машинобудівельних виставках Formnext і Euromold (за інформацією з відкритих джерел в Інтернеті) у 2015, наведено на рис. 3.

Виробництво компанії FIT West Corp. адитивним методом деталі *cylinder head* (для спортивної машини) масою 1,9 кг і корисною площею 10223 см<sup>3</sup> дозволило замінити таку ж литу деталь масою 5,1 кг і корисною площею 823 см<sup>3</sup> (рис. 4) [5].

Сайти з ливарного виробництва докладно описують й ілюструють адитивні технології. У статті *Роберта Брукса* [6] описано сталий прогрес адитивних методів, які кидають виклик традиційним способам конструювання і виготовлення деталей ливарним процесом. Одна з причин цього: широка доступність

методу АТ дала змогу десяткам науково-технічних центрів цілеспрямовано займатися дослідженнями, вирішуючи конкретні проблеми і поступово поліпшуючи загальні перспективи. 3D-друк доступний для різних способів виробництва (лазерного спікання, стереолітографії і т.п.), які передають інформацію від САД у структурній формі, обмеження визначаються тільки фізичною природою конструкції, яка виготовляється, чи можливістю застосування вибраної системи виробництва.

Наприклад, науково-дослідний центр VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. разом з Nurmi Cylinders Oy розробили 3D-друкований гідравлічний клапан, який, за їхнім твердженням, є економічно ефективним у виробництві, надійний у виконанні і на 66 % легший, ніж оригінальна деталь. Для виготовлення таких деталей звичайно застосовують свердління. Клапан використовується для контролю рідини в гідравлічних циліндрах систем управління рухом важкої техніки, наприклад, кранів (рис. 5а) [6].

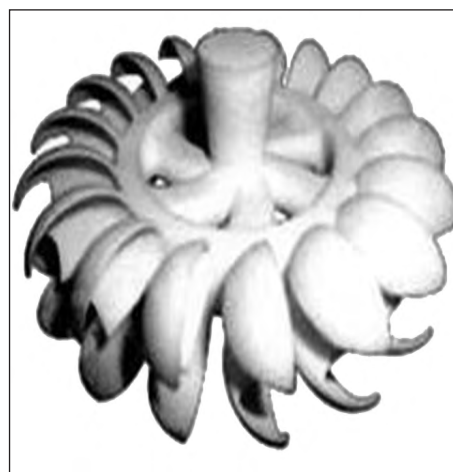
3D-друк дозволив оптимізувати внутрішні канали для досягнення найкращого потоку гідравлічної рідини, зберігаючи її потрібний об’єм. І тоді це замінило виконання свердлінням необхідного об’єму каналів, забезпечивши високий потенціал проти втрат робочої рідини під високим тиском. Блок гідравлічного клапана — важлива частина, хоча і невелика.



**Рис. 2.** Художнє литво — архітектурна прикраса житлового будинку: а — модель воріт; б — секції алюмінієвих виливків колажу, зібраного вздовж великої будівлі Нью-Йорка [4]

За результатами дослідження VTT ініціював дворічне державно-приватне фінансування у \$3,5 млн для створення у Фінляндії нових підприємств, які застосовують АТ.

Компанія Sciaky Inc. (Чикаго, США) швидко розширює можливості свого процесу “електронно-променевої” АТ стосовно розмірів (скорочено — ЕВАМ), який вона називає “найширшемасштабним” 3D-методом друку металом з можливістю виробництва деталей з габаритами від 0,2 м до 5,8 м. На рис. 5 (б, в) показано порівняння такої деталі “шнек” із ростом людини та демонстрацію її на виставці. Також повідомлялось, що ЕВАМ є найшвидшим процесом осадження металу з доступних, зі швидкістю осадження від 3,18 до 9,07 кг/год.



**Рис. 3.** Приклади модельно-макетних виробів адитивного виробництва

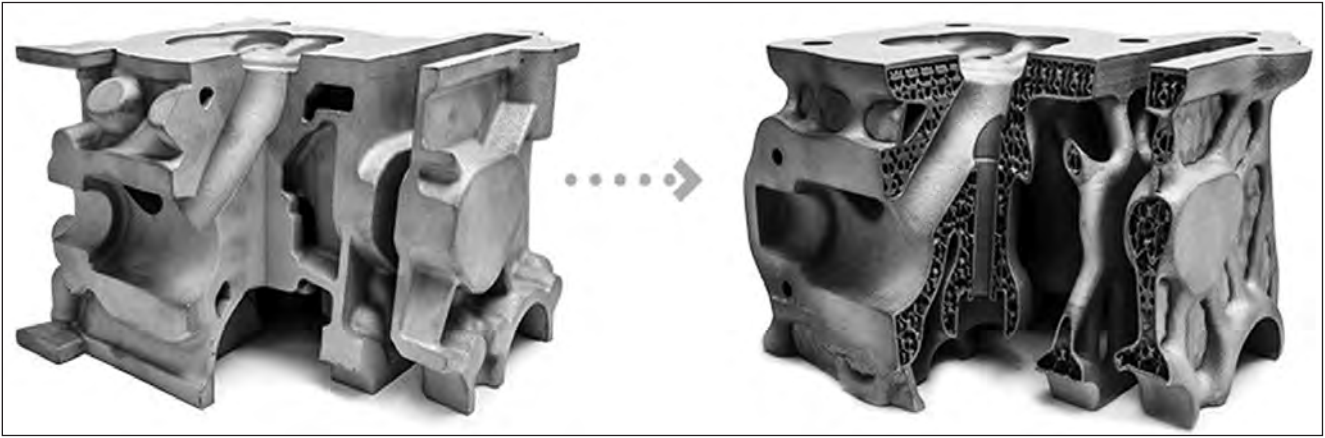


Рис. 4. Переведення литої деталі для автоспорту на адитивне виробництво [5]

Окрім того, установка для друку має систему подвійної подачі дроту для об'єднання двох металевих сплавів. Титан, тантал, ніобій, вольфрам, молібден, алюміній, нержавізна сталь, нікелеві сплави та ін. можна помістити в одну ванну розплаву, чи матеріали можуть згідно з завданням окремо вводитися до різних частин єдиної структури [6].

Ученим металістам для 3D-друку не обов'язково застосовувати лазери. NanoSteel Co. Inc., яка зосереджується на АТ з виробництвом своїх присадок на “нано-структурованих” матеріалах, що містять сталь, представила два порошкових сплави для струминного зв'язування. Це процес АТ, в якому матеріал осаджують у послідовних шарах, зв'язаних один із одним епоксидним сполучником до моменту, коли ці шари можна нагріти до сплавлення в єдину структуру. Розробник вважає, що такий процес АТ більш швидкісний, ніж оснований на лазерних методах спікання. Нові матеріали NanoSteel (BLDRmetal™ J-10 і J-11) запропоновані як компоненти для друкування стійких до абразивного зношування виробів, які мають переваги у випадку створення необхідних складних конструкцій без оснастки (рис. 6а). Розробником рекомендовано компоненти з використанням J-10, які мають перевищення за функцією здовження вдвічі і за зношуваністю — втричі, як порівняти з нержавіною сталлю марки 420 [6].

NanoSteel продемонструвала матеріали в проєктах з 3DX Industries — постачальником послуг АТ методом друкування безпечних інструментів для авіаційної компанії. Інструменти, виготовлені з J-10, служили в п'ять разів довше, ніж у попередніх версіях, що значно зменшило ризик затримок в обслуговуванні літаків. За словами *Роджера Янсена*, президента 3DX, “Рішення NanoSteel дозволило нам створити довговічні й надійні інструменти, які надаються замовнику для виконання робіт за терміновою вимогою” [6].

Обидва матеріали базуються на поєднанні складних металічних фаз, які забезпечують зношуваність і, за наявності сталльної матриці, — пластичність й ударну в'язкість.

Матеріал марки J-11 призначений для застосування в умовах екстремального зношування. Компоненти, які утворюються в J-11, підвищують зношуваність у 10 разів у порівнянні з виробами з нержавісної сталі марки 420, як зазначено розробником.

Порошки BLDRmetal мають привабливі переваги порівняно з наявним матеріалом для процесу струминного друку. Вони підвищують можливості друку за допомогою змішаних матеріалів з в'язучим матеріалом, забезпечуючи друк із присадками високої складності і дешевшими компонентами з високою зношуваністю [6].

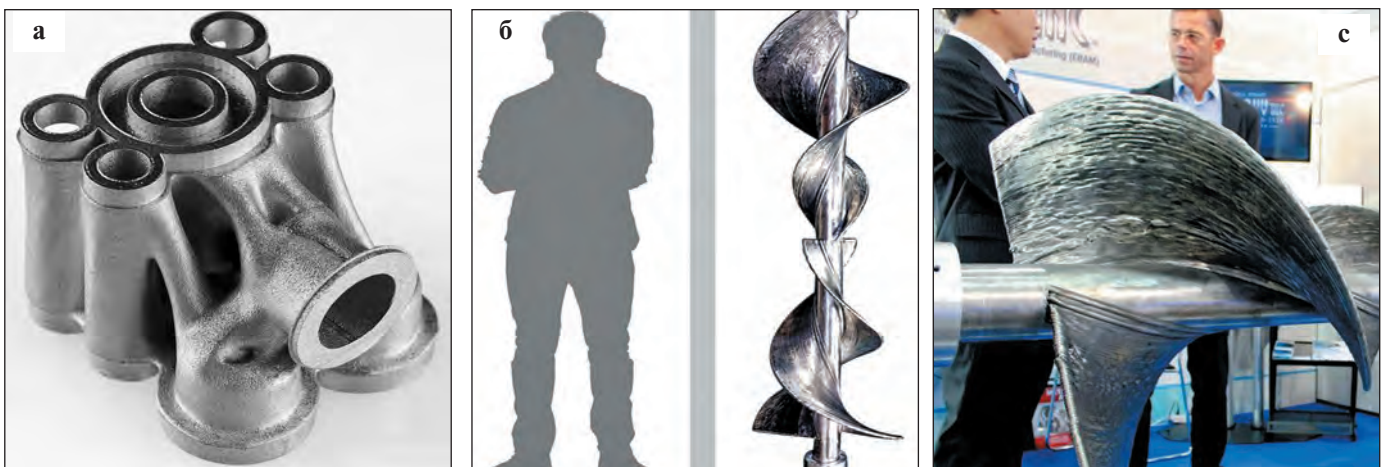


Рис. 5. Приклади АТ із застосуванням металу (опис фото в тексті)



**Рис. 6. Приклади 3D-технологій для виробництва металевих виробів:**  
**а** — деталь бурового насоса для нафти і газу, що виготовлена з матеріалу BLDRmetal™ J-10 [6];  
**б** — лопатки турбіни; **в** — педалі; **г** — процес 3D-сканування поверхні виливки турбіни  
 (зображення (а–в) взяті з репортажів про виставки Euroform-2015 і Formnext-2015)

Отже, у цій статті, як продовження серії робіт [2, 7, 8, 9, 10] стосовно розвитку 3D-технологій ливарного виробництва і зниження металомісткості виливків, виконано короткий огляд металевих виливків, отриманих за допомогою 3D-технологій. Відзначено низку найновіших досягнень 3D-обробки матеріалів, які відносять до адитивного методу виробництва, і які вважають проявом третьої промислової революції, мета якої — ресурсозберігальне екологічне виробництво.

#### Література

1. Новости ВИАМ. — URL: <http://viam.ru/news/2050> (дата звернення: 1.12.2015).
2. Шинский И.О., Дорошенко В.С. 3D технологии при литье по газифицируемым моделям // Металл и литье Украины. — 2009.— № 4-5. — С. 30–33.
3. Дорошенко В.С. Способы получения каркасных и ячеистых литых материалов и деталей по газифицируемым моделям // Литейное производство. — 2008. — №9. — С. 28–32.
4. Горбунов А.В. Эволюция литья: прошлое и будущее // Оборудование, разработки, технологии. — 2014. — № 10 — 12. — С. 46 — 49.
5. Сайт компании FIT West Corp. — URL: <http://www.net-fabb.com/additivdesignandmanufacturing.php> (дата звернення: 1.12.2015).

Наведено приклади моделей і виливків складної конструкції з оптимальним поєднанням матеріаломісткості, міцності і привабливого зовнішнього вигляду, у деяких випадках подібного до природних структур.

Описані високотехнологічні 3D-процеси розширюють наявний спектр металовиробів і можливість їх виготовлення, як правило, в умовах, що суттєво кращі за екологічною чистотою і швидкістю виробництва, ніж традиційні умови ливарного цеху. ■

6. Brooks R. Breaking Barriers in Shape, Space, Material to Achieve Finished Parts // Foundry Management & Technology. 13.10.2015. — URL: <http://foundrymag.com/materials/> (дата звернення: 1.12.2015).

7. Дорошенко В.С. 3D технологии изготовления отливок как примеры аддитивного производства // Металл и литье Украины — 2014.— №12. — С. 4–9.

8. Дорошенко В.С., Шинский В.О. Моделирование отливок как оболочковых конструкций с целью металло-сбережения // Металл и литье Украины — 2015.— №6. — С. 30–34.

9. Дорошенко В.С. Анализ и идентификация литых легковесных металлоконструкций с использованием теории минимальных поверхностей // Металл и литье Украины — 2015.— №11. — С. 24–28.

10. Дорошенко В.С. 3D-лиття металовиробів — адитивні процеси майбутнього // Світогляд. — 2015. — № 6(56). — С. 58–67.