

СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РИНКУ 3D-ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЕЛЕМЕНТУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ З ПОЛІМЕРІВ І МЕТАЛІВ



Володимир Дорошенко

доктор техн. наук,
ст. наук. співроб.,
Фізико-технологічний інститут
металів і сплавів НАН України,
м. Київ

Процес цифровізації повсюдно прискорюється в міру того, як компанії світу інвестують у технології, що сприяють їх адаптації до нової реальності [1]. 3D-технології, зокрема, адитивні технології (АТ), як один із напрямів цифрового виробництва, є потужним інструментом для прискорення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) і виведення нової продукції на ринок. Цінність адитивного виробництва полягає в здатності створювати заготовки, які часто неможливо отримати іншими виробничими методами. АТ забезпечує виготовлення об'єкта (заготовки) за даними 3D-моделі за допомогою 3D-принтера. Ці технології дозволяють швидко конструювати і відтворювати заготовки, які мають значну трудомісткість виготовлення в умовах традиційного виробництва (від найдрібніших деталей, наприклад, в аерокосмічній галузі чи медицині, до великих промислових конструкцій) [2]. Компанії, які усвідомлюють, що їм потрібно діяти по-новому, впроваджують адитивне виробництво, яке дозволяє їм реалізувати зміни. Тому сильна сторона АТ - не тільки і не стільки у створювані за їх допомогою продукції, а нове мислення і нові можливості [1].

Адитивне виробництво, як галузь цифровізації, створює продукцію за заздалегідь підготовленою цифровою моделлю. В ливарному виробництві відоме різноманітне застосування 3D-технології при: фрезеруванні ливарних моделей [3] і (рідше) піщаних форм, скануванні виливків і ливарної оснастки [4], друкуванні ливарних моделей, піщаних форм і металевих виливків [4, 5]. В останньому випадку 3D-друк являє собою пошарове наплавлення вилівка по програмі, що відтворює металовиріб, з виконанням ливарної невеликої ванни з розплавом, яку «рухають» вздовж пошарового наплавлення. Крім того, є спосіб «холодного» 3D-друку заготовки з наступним спіканням її металевих часток для отримання металовиробу.

По суті, 3D-друк - це антипод типовим методам виробництва і обробки, таким як фрезерування і точіння, за якими обробка здійснюється шляхом видалення зайвої частини заготовки (рис. 1) [2]. Але 3D-друк металозаготовок має багато аналогій з ливарним виробництвом, бо відтворює більшість металургійних процесів дозованого шихтування, плавлення, твердіння і охолодження виливків. АТ звільняє проектувальників від обмежень, властивих традиційним виробничим технологіям, що дозволяє технологам зосередитися на нових рішеннях, а не на продуктах. В результаті завдяки АТ поліпшується продуктивність, деталі стають легше, а кількість витраченого часу і коштів скорочується [2, 4].

Традиційне виробництво



Адитивне виробництво



Рис. 1. Порівняння традиційного і адитивного виробництва [2]

Найбільш поширені технології 3D-друку

FDM (Fused deposition modeling) – пошарова побудова виробу з розплавленої пластикової нитки, що є найпоширенішим способом 3D-друку в світі, на основі якого працюють сотні тисяч 3D-принтерів - від найдешевших до промислових систем тривимірного друку. FDM-принтери працюють з різними типами пластиків, такі вироби мають високу міцність, гнучкість, прекрасно підходять для тестування продукції, прототипування, а також для виготовлення готових до експлуатації деталей.

SLM (Selective laser melting) – селективне лазерне сплавлення металевих порошків є найпоширенішим методом 3D-друку металом, дозволяє швидко виготовляти складні по геометрії металовироби, які за своїми якостями можуть перевершувати ливарне і прокатне виробництво.

SLS (Selective laser sintering) – селективне лазерне спікання полімерних порошків, за яким можна отримувати великі вироби з різними фізичними властивостями (підвищеної міцності, гнучкості, термостійкості тощо).

SLA (скорочено від Stereolithograph) – стереолітографія, затвердіння рідкого фотополімерного матеріалу під дією лазера. Ця технологія адитивного цифрового виробництва орієнтована на виготовлення високоточних виробів з різними властивостями.

DMD (скорочено від Direct Metal Deposition) – пряме або безпосереднє осадження (матеріалу), тобто безпосередньо в точку, куди підводиться енергія і де відбувається в даний момент побудова фрагмента деталі. Дозволяє створення великих виробів відразу з декількох видів сплавів, а також ремонт таких дорогих компонентів, як лопатки турбін авіадвигунів.

Основними перевагами впровадження АТ у виробництво є: гнучкість в проектуванні, за необхідності внесення змін до конструкції; оперативність виготовлення прототипів по 3D-моделі (максимальний термін виготовлення дослідного прототипу 14 днів); зниження витрат на «разові» інструменти і оснащення; низький рівень відходів (зниження ймовірності появи неліквідного товару); скорочення часу виробничого циклу; більш гнучкий ланцюжок поставок; скорочення кількості комплектуючих (збірки); зниження вартості життєвого циклу виробу; створення ексклюзивного продукту (деталі зі складною конфігурацією і внутрішньою структурою, виробництво яких неможливе фрезеруванням чи методом лиття) (рис. 2) [2].



Рис. 2. Індустріальні ефекти від впровадження АТ [2]

Основні переваги використання АТ

включають три чинники

Перший фактор – економічний, що виявляється вирішальним у випадках, наприклад, при виготовленні пресформ для лиття і штампування. Вартість цієї операції вимірюється десятками-сотнями тисяч гривень і більше. При цьому досить нечасто розроблена конструкція відразу відповідає всім вимогам та потребує тривалого доопрацювання. Тут якраз і вигідна АТ: деталь часто набагато простіше і дешевше спочатку видрукувати, випробувати, при необхідності доопрацювати і ще раз видрукувати [2].

Створення складно-профільних деталей – друга вигідність АТ. Медицина цю перевагу реалізує у вигляді кастомізованих протезів, які підходять тільки одній людині (в кожному окремому випадку вони абсолютно унікальні за формою). Щоб протез відповідав потребам у динаміці, він повинен бути адаптований під конкретну людину з урахуванням її фізіології.

Третя перевага – застосування АТ дозволяє використовувати матеріали, які недоступні для традиційних формотворних технологій – лиття і механообробки. Так, до появи 3D-друку матеріал з кобальт-хрому практично не використовувався для виготовлення складно-профільних деталей, так як він погано лється. Через погану рідкотекучість металу складно пролити тонкі стінки вилівка зі сплавів кобальту. АТ сприяє вирішенню цієї проблеми, дозволяючи виробляти деталі гарячого тракту газотурбінних двигунів з кобальт-хромових сплавів. Можливість використання матеріалів з унікальними властивостями – один з критеріїв вибору АТ для виготовлення деталей. АТ дозволяє також використовувати унікальні алюмінієві сплави з особливими властивостями, що не можуть бути отримані і оброблені традиційними методами.

Світовий ринок 3D-друку

Світовий ринок АТ в 2014–2020 рр. ріс із середньорічними темпами в 19,3%, сягнувши до 2020 р. обсягу майже в 12 млрд дол. Згідно зі звітом GlobalData, нині на частку ринку 3D-друку припадає менше 0,1% від загального світового виробничого ринку, який оцінюється в 12,7 трлн дол. (рис. 3).

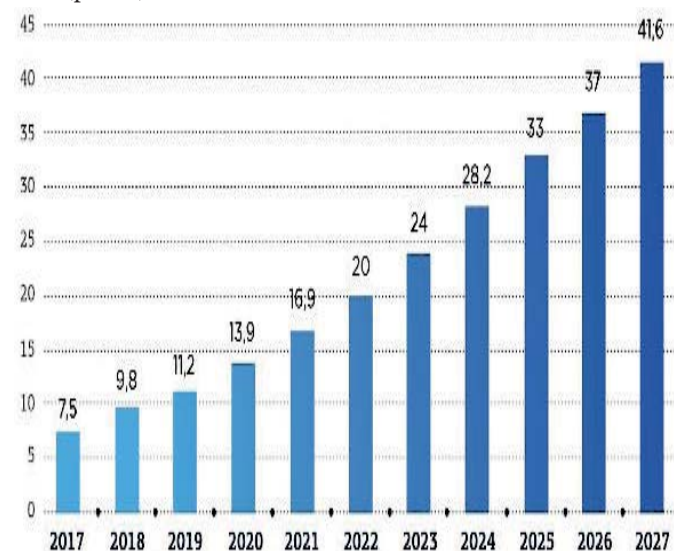


Рис. 3. Стан і прогноз (2020-27 рр.) обсягу світового ринку АТ, млрд дол. (джерело: Exponential technologies in manufacturing).

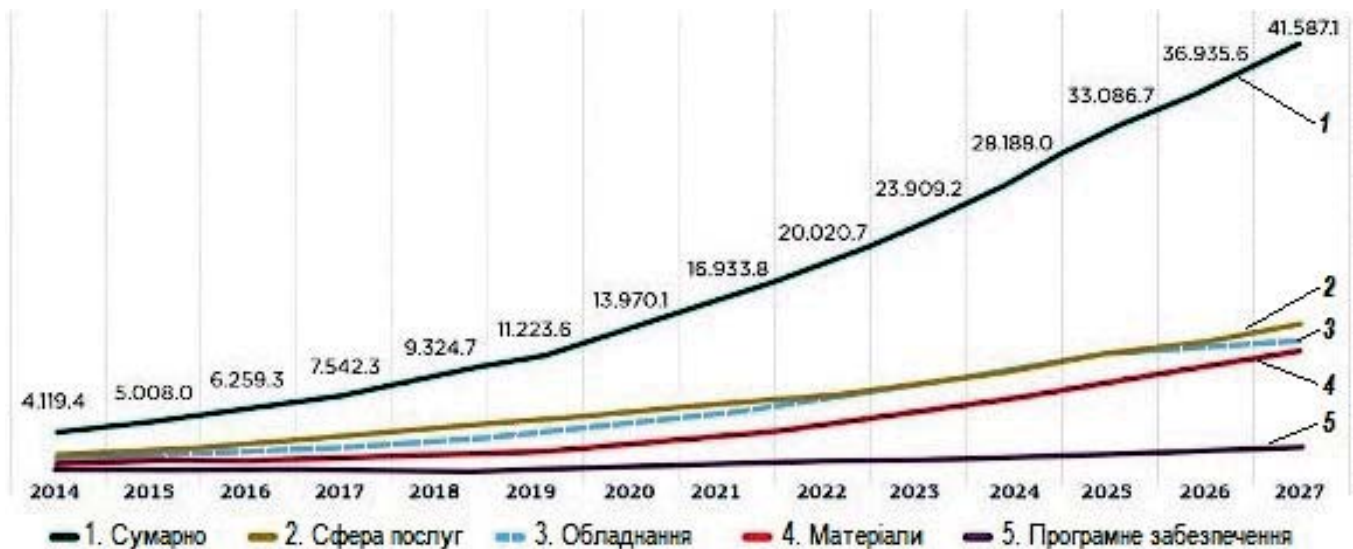


Рис. 4. Динаміка і прогноз загального обсягу ринку АТ (за областями застосування), млрд. дол. (джерело: SmarTech Publishing)

Ринок АТ складається із таких сегментів: обладнання, матеріалів, послуг і ПО. Устаткування для 3D-друку – серійне виготовлення верстатів і комплектуючих. Матеріали для 3D-друку – універсальні порошки, в т. ч. для відповідальних виробів. ПО для 3D-друку – єдина цифрова платформа для розробки і виробництва. Послуги 3D-друку – комплексні пропозиції з аутсорсингу виготовлення заготовок.

Основний оборот галузі дають послуги, швидко ростуть сегменти продажу матеріалів і устаткування. За прогнозами світових експертів, світовий ринок АТ до 2027 р. сягне показника в 41,6 млрд дол. Високий попит матимуть саме послуги 3D-друку (рис. 4).

Перспективи розвитку ринку 3D-друку.

Передусім, як і в даний час, прогнозується активне зростання світових розробок і впровадження АТ в авіакосмічній та оборонній галузях, електроніці та автомобільній промисловості (рис. 5 а). Поряд з цими галузями активно розвиватиметься адитивне виробництво в сфері стоматології та виробництві медичних імплантів. Разом зазначені галузі будуть займати більше 50% ринку (рис. 5 б).

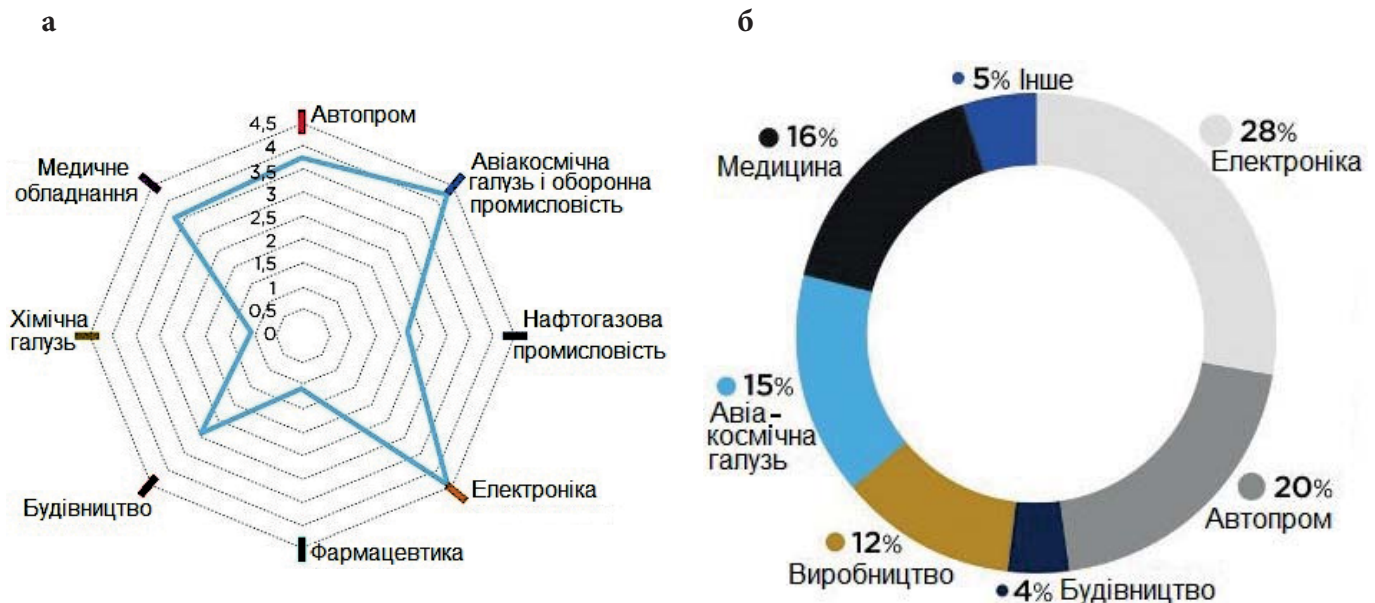


Рис. 5. Рівень впровадження 3D-друку по галузях до 2025 р. (джерело: Global Additive Manufacturing Market, Forecast to 2025: <http://namic.sg/wp-content>) (а) та прогноз галузевої сегментації ринку АТ (частка сегмента до 2025р.,% виручки від продажів на світовому ринку адитивних послуг, джерело: Global Additive Manufacturing Market, Forecast to 2025: <http://namic.sg/wp-content>) (б).

Найбільші учасники ринку 3D-друку

Найбільші компанії-гравці ринку, а значить, і основні потужності, зосереджені в Північній Америці і Європі, однак найвищі темпи щорічного приросту в останні роки показував Азіатсько-Тихоокеанський регіон. Європа лідирує в області аддитивного виробництва металевих об'єктів, а Америка випереджає решту світу в адитивному виробництві полімерних об'єктів. Конкуренція в галузі 3D-друку росте кожного року, особливо з приходом на нього китайських компаній. Проте, старі гравці ринку утримують свої позиції. Основними світовими виробниками АТ є дев'ять зарубіжних компаній: 3D Systems (США), EOS GmbH (Німеччина), SLM Solutions (Німеччина), Stratasys (США), Objet Geometries (США-Ізраїль), Envisiontec (США-Німеччина (DLP), ExOne (США), Voxeljet (Німеччина), Arcam AB (Швеція). Лідерами на ринку 3D-принтерів з доходом більше \$ 1 млрд за станом на 2019 р. були три компанії: Carbon (\$ 1,7 млрд), Desktop Metal (\$ 1,5 млрд) і Formlabs (\$ 1,06 млрд). Ці три компанії розробили і комерціалізували свої власні технології 3D-друку.

Географічний розподіл компаній-лідерів ринку 3D-друку [2]. Штаб-квартири 29% всіх компаній ринку розташовуються на території США, друге місце займає Німеччина, де розташовані 24% компаній. Європейський регіон займає лідируючу позицію – 55% компаній, Північна Америка – 32%, Азія – 13%.

Ініціативи з розвитку технологій 3D-друку в регіонах-лідерах

Істотно сприяють розвитку АТ в США прийняті урядові ініціативи. Хоча недостатня стандартизація лишається одним з ключових бар'єрів для прискорення впровадження АТ у виробництво, в 2018 р. національним інститутом America Makes (225 компаній-членів організації) спільно з Американським національним інститутом стандартів (ANSI) розроблено дорожню карту для розвитку адитивного виробництва. У документі описано 93 напрямки, за якими відсутні стандарти чи специфікації, що відповідають конкретним потребам галузей, та вказано додаткові напрями в дослідженнях і розробках, необхідні для стандартизації.

У розвитку АТ не відстають і країни Азії. Лідируючі позиції займає Китай, чий ринок 3D-друку оцінюється в \$ 1,8 млрд в 2018 р. (3-й ринок після США і Європи). Уряд Китаю в 2017 р. випустив план «Additive Manufacturing Industry Development Action Plan», що передбачає досягнення до 2020 р. адитивного виробництва в об'ємі \$3 млрд; перспективні компанії в області 3D-друку підтримують у розробці стандартів і підготовці фахівців в цій області.

Обсяг світового ринку 3D-друку

За дослідженням компанії Sculpteo, в якому взяло участь 1300 осіб з різних країн світу, 51% опитаних використовує АТ у виробництві, а не лише для прототипування. Найбільш використовуваними технологіями 3D-друку є: моделювання методом осадження з плавленням (FDM), селективне лазерне спікання (SLS), стереолітографія (SLA) [2]. За прогнозами, до 2025 р. глобальний ринок 3D-друку

ку досягне 32 млрд дол., а до 2030 року – 60 млрд дол. MarketsAndMarkets прогнозує обсяг ринку 3D-друку в 34,8 млрд дол. до 2024 року. При цьому метал в 3D-друці отримує найбільше поширення, а також збільшиться частка виробництва функціональних компонентів.

Російський ринок 3D-друку

Частка Росії становить 2%, країна знаходиться на 11 місці в світі по виробництву і впровадженню АТ [2]. Однак ринок 3D-друку в Росії за останні 8 років виріс в 10 разів, сукупні продажі обладнання, матеріалів і послуг в цій області (включаючи НДДКР) зросли до 4,5 млрд руб. в рік (\$ 69 млн на 2018 р.). На закупівлю основного та допоміжного обладнання і матеріалів припадає близько 80% обсягів ринку. В цілому, в даний час на російському ринку АТ власне обладнання займає близько 42%, іноземне обладнання – близько 60%. Станом на 2019 р. для АТ Росстандарт затвердив 12 ГОСТів, увів у дію 10 ГОСТів з 39 запланованих. Найширше АТ впроваджують авіакосмічна і автомобільна галузі, зокрема, 3D-друк металевими порошками. На авіакосмічну галузь припадає близько 30% всього виробництва на основі АТ, а найбільшими споживачами 3D-заготовок є держкомпанії: Роскосмос, Ростех (двигунобудування, вертольотобудування, автомобілебудування), Росатом [2].

Основні тренди ринку 3D-друку у світі

Найявне зміщення акценту з розробки нових АТ на визначення і розширення переліку сфер їх застосування та на 3D-друк окремих функціональних елементів кінцевої продукції в самих різних галузях. З виробництва виробів-продуктів увага переноситься на вдосконалення технологій і обладнання. Розробники технологій беруть участь у створенні практичних рішень в рамках спільних проєктів з промисловими компаніями.

Виробники матеріалів розробляють і сертифікують нові високоефективні матеріали, передусім, пластики, що сприятиме розвитку ринку полімерного 3D-друку, який в даний момент дещо відстає від друку металами. Найбільший попит на такі розробки є в аерокосмічній і автомобільній промисловості, де необхідні матеріали з особливими властивостями і якістю для функціональних прототипів чи серійного виробництва.

Програмне забезпечення удосконалюється як для проєктування і виготовлення (з моделюванням процесу 3D-друку) виробів, так і для управління робочим процесом з метою скорочення часу і вартості друку. Моделювання робочого процесу 3D-друку виявляє потенційні помилки побудови виробу ще до його виробництва. Запобігання друку невдалих виробів скорочує виробничі витрати, знижує рівень браку і підвищує загальну рентабельність.

Розробка і поширення рішень автоматизації скорочує час, що необхідний для виконання ключових завдань. Наприклад, постобробка, відома своєю трудомісткістю, і ручні процеси – одні з областей, де автоматизація значно підвищує ефективність виробництва.

Співпраця компаній і в ряді випадках придбання бізнесу супутніх чи дотичних за темою компаній більш крупними компаніями можуть стати істотними факторами, що прискорюють поширення АТ в промисловості.



Рис. 6. Основні проблеми впровадження АТ в серійне виробництво [2] (джерело: Dimensional Research, 2019 р.)

Перспективи і перешкоди до впровадження АТ у виробництво.

Таким чином, адитивне виробництво - це промисловий процес, відомий також як 3D-друк. Керований комп'ютером пристрій створює тривимірні вироби шляхом пошарового нанесення матеріалу і конструктивних елементів на основу. Використання технології 3D-сканування дозволяє друкувати об'єкти зі складною геометрією, при цьому кількість відходів виробництва скорочується практично до нуля. АТ ідеально підходить для швидкого прототипування, оскільки зміни в конструкцію можна внести у будь-який момент, а відсутність втрат матеріалу забезпечує зниження витрат на сировину. Крім того, деталі, що раніше вимагали збірки з декількох частин, завдяки АТ можуть бути виготовлені як єдина конструкція, що часто підвищує міцність і довговічність кінцевого продукту.

Чому ж ефективні і передові АТ досі не потіснили традиційні? Як не банально, все пояснюється вартістю продукції. Порошок алюмінію коштує дорожче алюмінієвої чушки або злитка, тому що для отримання порошку потрібні додаткові технологічні переділи. Тобто, якщо злиток виливають з розплаву металу і він практично відразу готовий до переробки, то для виробництва порошку потрібно алюміній розпорозити, відокремити потрібні фракції і упакувати за певними вимогами. Загалом, друк з металу - дорога технологія.

АТ рентабельна там, де вартість виготовлення кілограма виробу висока, перш за все, в високотехнологічних галузях. Якщо це автопром, то 3D-друк виправданий при дрібносерійному чи штучному виробництві автомобілів преміум-сегмента і спорткарів. АТ застосовують в авіабудуванні для деталей складної конструкції з циклом виготовлення і перевірок, що займають багато часу. Поширюється АТ і в космічній галузі - там вартість кілограма виведеного на орбіту вантажу знаходиться на космічній висоті. Коли 3D-друк почав застосування, про алюміній в контексті АТ ніхто не згадував. Кілограм алюмінієвого порошку тоді коштував 250 євро. Сьогодні стандартний сплав продається вже по 20 доларів за кілограм [2].

Зменшення вартості сировини і обладнання сприяє тому, що АТ для виробів алюмінію, за прогнозами, невдовзі отримає широке застосування.

Незважаючи на незаперечні переваги впровадження АТ в промисловій галузі, існують і обмеження, які цей процес сповільнюють. Згідно з даними опитування експертів у сфері 3D-друку, проведеного в 2019 р. Dimensional Research в інтересах Essentium, серед головних проблем галузі виділялася все ще висока вартість технологій і матеріалів, труднощі з масштабуванням результатів і низький рівень довіри (рис. 6).

Варто зазначити, що сфери застосування 3D-принтерів і сканерів сьогодні досить значні: від машно- і приладобудування, медицини, будівництва, військової галузі та електроніки до індустрії моди та образотворчого мистецтва. Якщо розглядати АТ з точки зору застосовуваних матеріалів, то до друку іде майже все, від металів до полімерів: твердих і гнучких, жорстких і м'яких, горючих та негорючих. Використання виробів, виготовлених за АТ, доступне на будь-якому етапі виробництва, як в створенні прототипу, так і в якості готової продукції (наприклад, друк металевих деталей автомобіля).

Великі успіхи реалізації 3D-друку в медицині. Зростає і споживчий інтерес до АТ, зокрема, з появою в продажу доступного за ціною обладнання, що дає можливість до економічно обґрунтованого переходу від масового до дрібносерійного виробництва, безперервного друку, економії праці, скорочення виробничого циклу, економії електроенергії, можливості задоволення індивідуальних потреб замовника (кастомізації).

Це сприяє переходу до економічної моделі промисловості, створеної за екосистемним принципом [6], в якій досягається розширення можливостей вибору шляхів сталого розвитку і найвища виробнича ефективність в порівнянні з моделлю традиційної економіки і цифровою моделлю, влаштованою за платформеним принципом. ■

Література

1. Kristof Sehmke, Bram Smits. 3D Printing Trends for 2021: A Year of Radical Renewal. 10.12.2020. URL: <https://www.materialise.com/en/blog/3d-printing-trends-2021>.
2. Группа "Деловой профиль". Рынок технологий 3D-печати в России и мире: перспективы внедрения аддитивных технологий в производство. 22.01.2021. URL: <https://www.3dpulse.ru/news/analitika/>
3. Шинский И. О., Дорошенко В. С. 3D-технологии при литье по газифицируемым моделям. Металл и литье Украины. 2009. № 4–5. С. 30–33.
4. Дорошенко В. С. Примеры 3D-технологии в литейном производстве. Снижение металлоемкости отливок. Литье и металлургия. 2016. № 1. С. 34 - 39.
5. Дорошенко В. С. Топологична оптимізація конструкцій виливків при адитивному виробництві з застосуванням цифрового двійника. Процессы литья. 2020. № 4. С. 53 - 62.
6. Методология устойчивого развития промышленных экосистем / Е. В. Шкарупета, О. В. Дударева, М. В. Филатова, А. Ю. Беккиев. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. № 4. С. 377-382.