

Сучасний стан застосування адитивних технологій у літако- та ракетобудуванні

Ю.В. Ключников, В.Л. Дубнюк, О.Т. Сердітов, О.П. Полешко
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: Під час підготовки навчального матеріалу для дистанційного курсу підготовки здобувачів вищої освіти зі спеціальності 134 **Авіаційна та ракетно-космічна техніка** було проведено дослідження специфіки застосування різноманітних технологічних процесів у виготовленні деталей. Зокрема було визначено наскільки широко застосовуються адитивні технології на підприємствах провідних компаній світу, наскільки ефективно оправдано із застосування у такому особливому напрямі машинобудування. Аналіз продемонстрував надзвичайну ефективність процесу 3D-друку для виготовлення великого асортименту деталей різноманітного призначення – від таких, що піддаються впливу високих температур, до тих, що мають витримувати значні знакозмінні навантаження. Також розглянуто діяльність співробітників кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій для впровадження технологій 3D-моделювання та 3D-друку у навчальний процес для демонстрації можливостей передових технологічних процесів.

Ключові слова: адитивна технологія; 3D-друк; літальний апарат; лазер; спікання; наплавлення

З метою визначення застосування сучасних технологій обробки матеріалів у галузі літако- та ракетобудування у межах дистанційного курсу підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю **134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка** було проведено дослідження застосування адитивних технологій на підприємствах провідних компаній світу, проаналізувати чи доцільно застосовувати цю технологію для виготовлення деталей, які піддаються впливу високих температур та мають витримувати значні знакозмінні навантаження під час експлуатації.

Адитивна технологія визначається як “процес об’єднання матеріалів з метою створення об’єктів з даних 3D-моделі, як правило, шар за шаром, на відміну від субтрактивних (віднімальних) виробничих технологій” [1].

Адитивне виробництво включає процеси, що дозволяють отримувати об’ємні моделі, готові деталі і вироби, зразки для випробування, скоротивши витрати часу і засобів на їх розробку, використовуючи можливості сучасних комплексів комп’ютерного проектування та установок швидкого прототипування. За своєю суттю, математичну модель з монітора комп’ютера можна легко та швидко “матеріалізувати” безпосередньо без виготовлення робочих креслеників, технологічних карт та спеціального оснащення, суттєво скоротити час виробництва об’єкта. Надрукувати деталь швидше та простіше, ніж зробити її за допомогою литва, штампування або фрезерування. До того ж, промислові 3D-принтери здатні створювати різні види об’єктів, тому всі виробничі потужності можна зосередити у одній локації. Так, використовуючи принтер для об’ємного друку, французька компанія Latécoère виготовила частину дверей літака за два дні, що на 95 % менше від звичайного часу [2].

За допомогою адитивної технології можуть бути виготовлені деталі пристроїв та сопла авіаційних та ракетних двигунів; лопаткових вінців вентиляторів, компресорів та турбін; інші деталі авіаційної та ракетної техніки.

Пристрої для 3D-друку дозволяють виготовити цілісну деталь, яку за традиційних технологій можна було отримати лише шляхом складання з багатьох. Наприклад, компанія GE Aviation (авіабудівний підрозділ General Electric) удосконалила конструкцію форсунок двигунів для компаній Airbus та Boeing, які раніше склалися з 20 елементів. Завдяки адитивним технологіям форсунки тепер роблять цільнодрукованими [3]. Також інші деталі двигуна LEAP виготовлено компанією GE Aviation із застосуванням адитивної технології (рис. 1, а).

В авіабудівній галузі важлива вага об’єктів та їх елементів. За допомогою 3D-друку деталі виходять легшими, що суттєво зменшує витрати пального. Також знижуються на

70...95 % відходи виробництва. Так, Boeing завдяки 3D-друку деталей з титану заощаджує від 2 до 3 млн. доларів на кожному літаку 787 Dreamliner [4].

Деталі, що застосовуються у літакобудуванні, зазвичай працюють в екстремальних умовах та виготовлено з матеріалів з низькою оброблюваністю різанням. Деталі газотурбінних агрегатів Aneto французької компанії Safran Helicopter Engine, також надруковано на 3D-принтері [5]. При цьому двигуни більш компактні, економічні та на 30 % потужніші, порівняно до подібних до них без застосування 3D-друку. Використання 3D-технологій в авіабудуванні сприяє ефективному розвитку галузі, оскільки замінює недешеві штампування та литво. Адитивні технології також допомагають заощадити не лише на матеріалах, а й на обслуговуванні та експлуатації літального апарата.

Британська космічна компанія Orbex [6] надрукувала ракетний двигун на промисловому 3D-принтері виробництва SLM Solutions (рис. 1, б) [7]. Двигуном оснащено двоступеневу ракету Prime. Її виготовили зі спеціально розробленої суміші вуглецевого волокна та алюмінію. Двигун не має стиків та зварних швів. Ступінь ракети надрукували як єдине ціле.

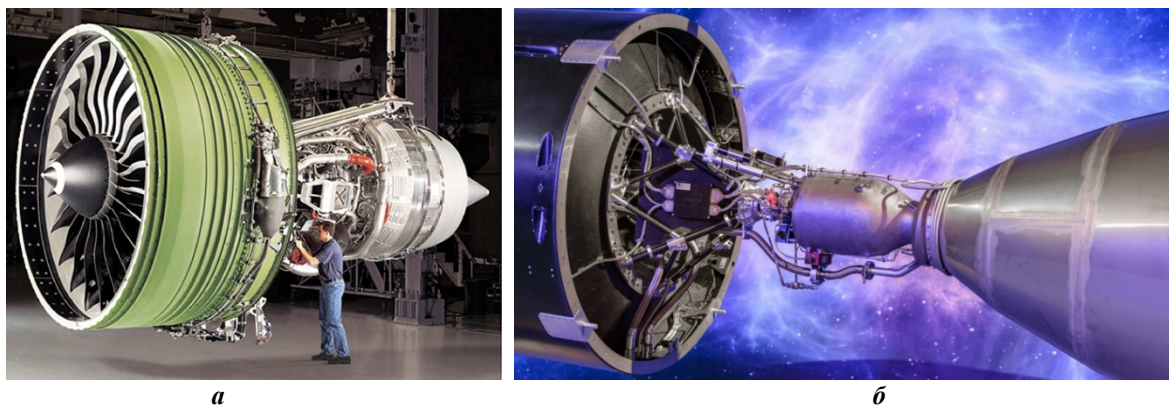


Рис. 1. Застосування адитивних технологій у авіа- та ракетобудуванні: а) двигун LEAP компанії GE Aviation [2]; б) найбільший у світі ракетний двигун з монолітною конструкцією

Найбільш популярними адитивними технологіями для виготовлення складних за конфігурацією деталей (рис. 2, а) на сьогоднішній день є [8]:

– лазерна стереолітографія (рис. 2, б) – об’єкти нарощуються шляхом пошарового нанесення фотополімерної смоли, що полімерізується під дією випромінювання ультрафіолетового лазера – Stereolithography (SLA);

– селективне лазерне спікання (рис. 2, в) – Selective Laser Sintering (SLS);

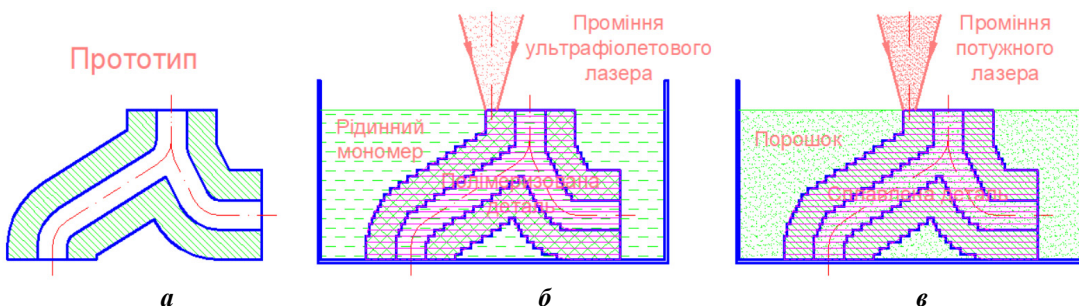


Рис. 2. Методи лазерної адитивної технології: а) деталь, що потребує виготовлення; б) лазерна стереолітографія; в) лазерне спікання з металевих та керамічних порошків

– пошарове наплавлення термопластичних матеріалів – Fused Deposition Modeling (FDM);

– пряме лазерне спікання порошків металів і сплавів (рис. 3, а) – Direct Metal Laser Sintering (DMLS);

–електронно-променево плавлення, в якому застосовуються електронні гармати замість лазерів (рис. 3, б) – Electron-Beam Melting (EBM) [9].

Ці технології дозволяють виготовляти деталі і конструкції літальних апаратів з різноманітних полімерних та металевих матеріалів методом пошарової побудови з використанням специфічних процесів. Ці матеріали мають високі механічні властивості та дозволяють отримувати вироби складної геометричної форми, створення яких неможливе традиційними методами обробки (рис. 4).

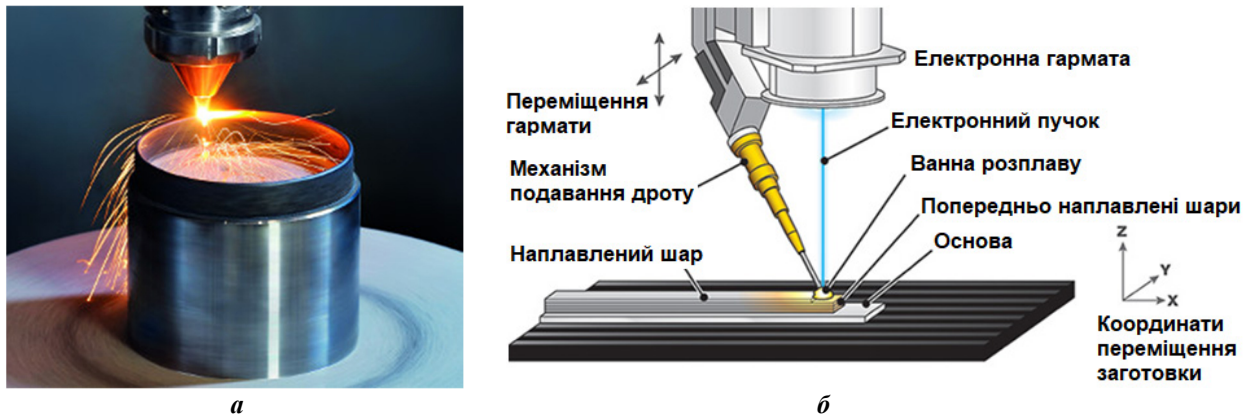


Рис. 3. Технологія застосування потужних потоків енергії для вирощування деталей: а) прямого лазерного спікання порошкових матеріалів; б) електронно-променевого наплавлення дроту [9]

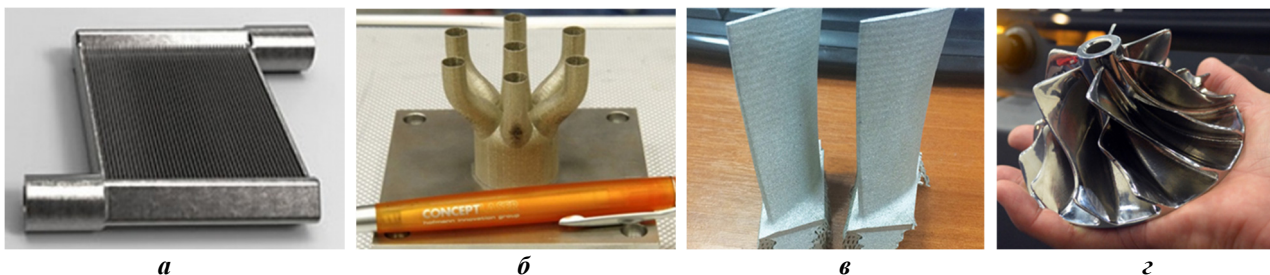


Рис. 4. Приклади деталей, отриманих прямим друком металу: а) тонкостінний енергоефективний теплообмінник, б) деталь ракетного двигуна J2-X, надрукована NASA, в) лопатки турбіни, г) імпелер

Таким чином, на даному етапі розвитку машинобудівної галузі та, зокрема, авіа- та ракетобудуванні вже зараз широко використовуються адитивні технології у виготовленні складних за конфігурацією деталей та таких, що працюють у складних умовах експлуатації (екстремальний тепловий режим, навантаження тощо). З метою підсилення фахової підготовки здобувачів вищої освіти необхідно надавати інформацію щодо застосування цих технологій та здійснювати практичну підготовку майбутніх фахівців у цій галузі. Зрозуміла складність застосування промислових 3D-принтерів, що здатні друкувати деталі з металевих або керамічних матеріалів, але цілком реально демонструвати ті самі процеси моделювання та друку на доступних 3D-принтерах з пошаровим наплавленням термопластичних матеріалів методом FDM. І такий досвід напрацьований на кафедрі лазерної техніки та фізико-технічних технологій КПІ ім. Ігоря Сікорського. Під час проведення практичних та лабораторних занять, а також у поза навчальний час, студенти, проектуючи механічні вузли та окремі деталі, мають можливість оглянути своє творіння, визначити його характеристики, доопрацювати його, оцінивши усі переваги адитивної технології (рис. 5) [10].

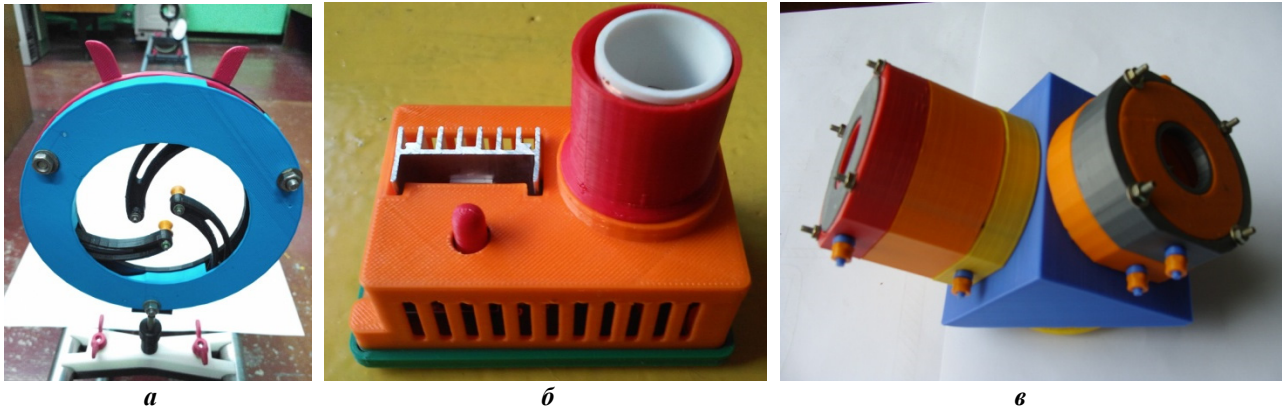


Рис. 5. Розробки, що здійснено здобувачами вищої освіти, вузлів які демонструють можливості застосування адитивних технологій: а) самоцентрований затискач; б) корпус електричного пристрою; в) оптична система перетворення лазерного проміння

Список літератури

1. Стандарт ASTM F2792.1549323-1.
2. www.latecoere.com.
3. www.geaviationturboprop.com
4. www.boeing.com
5. www.safran-group.com
6. orbex.space
7. www.slm-solutions.com
8. Оцінка і оптимізація економічної ефективності методик лазерного прототипування. Везденецький П. Ю., Дубнюк В. Л. Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування". – Київ, 2013, стор. 72 – 74.
9. www.sciaky.com.
10. Дубнюк В. Л. Залучення студентів до науково-технічних гуртків – шлях до покращення конструкторської підготовки [Текст] / В. Л. Дубнюк, В. П. Котляров, В. В. Романенко, О. С. Козирев // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. Науковий журнал - фахове видання України (категорії «Б») у галузі технічних наук – 2021. – випуск 3 (45). – С. 3-9. DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.3.1>

Additive technologies in aircraft manufacturing

Y. Kliuchnikov, V. Dubniuk, O. Serditov, O. Poleshko

Abstract: During the preparation of educational material for the distance training course for higher education applicants in the specialty 134 Aviation and rocket-space engineering, a study of the specifics of the application of various technological processes in the manufacture of parts was conducted. In particular, it was determined how widely additive technologies are used at the enterprises of the world's leading companies, how effectively justified their use in such a special direction of mechanical engineering. The analysis demonstrated the extraordinary efficiency of the 3D printing process for the manufacture of a wide range of parts for various purposes – from exposed to high temperatures to that must withstand significant sign-changing loads. The activities of the employees of the department of laser technology and physical and technical technologies for the implementation of 3D modeling and 3D printing technologies in the educational process to demonstrate the capabilities of advanced technological processes were also considered.

Keywords: additive technology; 3D printing; aircraft; laser; sintering; deposition