

Забезпечення контролю якості для традиційного і адитивного виробництва

В.О. Цибуленко, Б.С. Воронцов

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація** У цій роботі йдеться про різницю між забезпеченням якості та контролем якості для адитивного виробництва (AM) та традиційного виробництва (SM). Зазначено, що складна геометрія та внутрішня гратчаста структура деталей AM створюють проблеми з механічною придатністю. Багатогранні вимоги та стандарти якості ускладнюють розробку стратегій забезпечення якості. Дефекти деталей AM (пористість, тріщини, включення, порожнечі, комковатість та шорсткість поверхні) можуть негативно вплинути на механічні властивості, а деякі проблеми, такі як невідповідність об'єму, видалення шару та небажане внутрішнє оздоблення поверхні, не можуть бути виявлені типовими механічними випробуваннями. Також зазначено, що SM продовжує домінувати над AM за якістю, точністю та надійністю. Обробна промисловість та інвестори завжди прагнуть покращити технології, щоб знизити витрати, енергію та розширити свої можливості. Адитивне виробництво, розпочате у 1960-х роках, відтоді швидко та безперервно розвивається, виявляючи нові методи для розширення виробничих можливостей.*

Ключові слова: адитивне виробництво проти традиційного виробництва; виробничі дефекти; прогрес у забезпеченні якості; характеристики деталей.

Вступ. Швидке поширення адитивного виробництва (AM) за останні 60 років призвело до того, що виробничий сектор, що розвивається, був інтегрований в проектування і моделювання як метод швидкого прототипування [1]. AM, більш відомий під модним словом 3D-друк, використовує революційну технологію для створення складних форм, вибудовуючи деталь шар за шаром. На відміну від традиційних (субтрактивне виробництво (SM) і формотворче виробництво), при яких матеріал або видаляється за допомогою механічної обробки, свердління або шліфування, або відливається у форми, AM має більш високий рівень свободи дизайну [2]. Здатність виготовляти складні деталі на одній машині і в одному завданні змушує підприємства твердо стояти на шляху до того, щоб зробити адитивне виробництво сертифікованим методом виробництва для кінцевого користувача.

AM інтегрувала численні технології виробництва (плавлення в порошковому шарі, спрямоване енергетичне осадження, екструзія матеріалів, струминна обробка сполучниками, затвердіння, ламінування тощо) для розробки широкого спектра технологій, що становлять потенційний інтерес для промисловості [1]. Рушійна сила швидкого розвитку технологій адитивного виробництва обумовлена дослідницькою спрямованістю на розробку недорогих машин, підвищеною мінливістю матеріалів та перевагою складності для задоволення широкого спектру застосувань.

Свобода дизайну, пропонована AM, має свої переваги та недоліки з погляду галузі. Скептицизм проявляється у відсутності фундаментальних рекомендацій щодо проектування для більшості технологій адитивного виробництва, де в теперішній час оптимізація дизайну, що рекомендується, пропонується виробниками адитивного виробництва або програмним забезпеченням. У першому випадку мало професійно підготовлених фахівців, а на використання других потрібні великі витрати. Здатність виробляти складну геометрію, яку важко досягти за допомогою методів видалення матеріалу, робить непотрібним для AM дотримуватися традиційних принципів проектування для виробництва та збирання (DFM/DFA) [3]. Натомість AM підпадає під власні правила проектування виробництва, проектування для адитивного виробництва (DFAM), хоча були висунуті аргументи на користь того, що натомість його слід розглядати як виробництво для проектування [4]. Тим не менш, стандартизація та встановлення принципів DFAM все ще просувається вперед і потребує додаткової роботи.

Крім того, відсутність стандартизації передового досвіду уповільнила розробку стратегій забезпечення якості (QA) та контролю якості (QC) для просування промислової сертифікації виробництва адитивного виробництва. У деяких випадках проблема полягає в непередбачуваності роботи машини, внесення дефектів в деталь, що друкується, і різниці в шорсткості поверхні на відбитках при одному і тому ж цифровому вході [1]. Там, де SM виробляє

оброблені деталі з високою точністю та низькою складністю, АМ обмінює геометричну складність на погані допуски та відносну якість [5].

Забезпечення якості та контроль якості для АМ vs SM. Прецизійне виробництво та стандартизація продукції залежать від стандартів та процедур забезпечення якості (QA) та контролю якості (QC) [6]. Складна геометрія, внутрішня гратчаста структура, чистота поверхні, орієнтація шару та оптимізація топології - все це сприяє механічній придатності деталі адитивного виробництва. У випадках, коли порошкоподібний матеріал вставляється в деталі, потрібна ретельна оптимізація конструкції, щоб визначити, як його можна витягти. Широкі можливості адитивного виробництва, що стосуються різноманітності матеріалів та диференціації виробничих процесів, призвели до багатогранних вимог та стандартів якості. З цієї причини SM продовжує домінувати над АМ за якістю, точністю та надійністю [7]. У свою чергу, неузгодженість та складність кожної системи адитивного виробництва ускладнили розробку стандартного набору правил, що призвело до повільної розробки стратегій забезпечення якості (QA). Якість кількісно визначається та кваліфікується по-різному залежно від виробленої деталі. Крім того, кожен АМ-принтер потребує калібрування та налаштування параметрів принтера, іноді специфічних для певних типів збірок.

Розмір, орієнтація, гострота та розташування (у стиках, зовнішніх поверхнях або критичних ділянках конструкції) дефектів деталі АМ можуть негативно вплинути на механічні властивості. Це не відрізняється від виробництва SM, насправді тип дефектів майже аналогічний; пористість, тріщини, вклучення, порожнечі, комковатість, шорсткість поверхні [8]. Однак в адитивному виробництві, крім геометричних дефектів, невідповідність об'єму, видалення шару та небажане внутрішнє оздоблення поверхні є проблемами, які не можуть бути виявлені за допомогою типових механічних випробувань. У SM випробування партії є переважно найчастіше використовуваним методом забезпечення / контролю за якістю, коли один зразок у партії може бути механічно випробуваний (тобто. випробуваний на розтяг і стиснення) як відображення механічних властивостей інших деталей у цій партії. У той час як деякі виробники адитивного виробництва намагаються використати аналогічний метод для кожного відбитка (можуть мати кілька деталей в одному відбитку з досить великим розміром шару), були побоювання, пов'язані з впливом орієнтації шару, зон термічного впливу та непослідовного введення дефектів, які вказують на те, що серійне тестування не може бути застосовано до адитивного аналізу. Сертифікація зазвичай досягається за рахунок повторюваності та надійності технології виробництва. Однак, незважаючи на відсутність стандартів адитивного виробництва, традиційні стандарти, які зазвичай використовуються в інших виробничих процесах або матеріалах, застосовувалися для вибору принтерів/продуктів адитивного виробництва відповідно до встановлених параметрів для окремих машин (наприклад, потужність лазера, швидкість сканування, розподіл порошку тощо). Важливо забезпечити використання перевіреної якості порошкової/дротяної сировини, невідповідності у розмірі частинок, діаметрі дроту/нитки, товщині листа можуть вплинути на структурну цілісність з неправильними параметрами машини. Lloyds Register і TWI Ltd розробили документ, який докладно описує процес сертифікації АМ [9]. Керівні принципи були розроблені відповідно до традиційних стандартів процесу сертифікації з урахуванням незалежного тестування, що проводиться галуззю/компанією з урахуванням конкретних тестових випадків. Такий підхід не завжди підходить та ефективний для технологій адитивного виробництва [10]. Причиною цього є складна система, з якої складається машина АМ, на відміну від традиційного обладнання, що калібрується, АМ не завжди забезпечує повторюваність або надійність, необхідні для точного виробництва. Чотирьома основними факторами, що впливають на якість адитивного виробництва, є характеристики сировини, середовище будівництва, моніторинг басейну розплаву та характеристики друку [7]. Gausemeier, J. та інших [9] стверджують, що сертифікації, адаптовані до адитивного виробництва, є ключовим чинником успіху майбутнього індустрії адитивного виробництва. У 2009 році було сформовано Комітет ASTM F42 з технологій адитивного виробництва, що складається приблизно зі 100 членів (експертів переважно із США та Європи). Після цього у

2011 році було створено Комітет ISO TC 261 з адитивного виробництва. Рада з адитивного виробництва розробила стратегії для перевірки якості окремих аспектів процесу адитивного виробництва з використанням наступних методів випробувань; Хімічний аналіз, механічні випробування, оцінка продуктивності, металургійний аналіз, оцінка порошків та неруйнівний контроль (НК) [11]. Тестування неруйнівного контролю в даний час є основним напрямом досліджень та розробок, і такі компанії, як EOS та ARCAM, розробляють систему моніторингу на місці для забезпечення якості контролю, що не руйнує [4]. Проте, що стосується неруйнівного контролю, ще потрібно зробити велику роботу для досягнення системи моніторингу стану конструкцій (SHM) [12] протягом усього терміну служби для машин АМ. Sharratt, В.М., та ін [7] докладно описують всебічний огляд методів неруйнівного контролю для кваліфікації деталей та процесів адитивного виробництва, необхідних для розробки системи SHM. А саме, що чотири фактори, що впливають на якість адитивного виробництва, згадані раніше, вимагають подальших досліджень для повної сертифікації кожного процесу адитивного виробництва. Це особливо важливо для продуктів з більш високим ризиком, що залежать від втомного навантаження або опору руйнуванню. [8] Детально описують всебічний огляд методів неруйнівного контролю для кваліфікації деталей та процесів адитивного виробництва, необхідних для розробки системи SHM, та важливості/необхідності в ній. А саме, що чотири фактори, що впливають на якість адитивного виробництва, згадані раніше, вимагають подальших досліджень для повної сертифікації кожного процесу адитивного виробництва.

Висновки. Адитивне виробництво забезпечує гнучкість, що дозволяє виробникам створювати оптимальну конструкцію для ощадливого виробництва. Машини адитивного виробництва забезпечують гнучкість виробництва, але, як і раніше, є значно дорогими інвестиціями порівняно з традиційними виробничими машинами. Явною перевагою АМ порівняно з SM з погляду на довкілля є зниження втрат ефективності використання матеріалів і ресурсів. Ключовими вимогами для проникнення адитивного виробництва в майбутньому на ширший комерційний ринок є висока стабільність процесу, база даних, що містить властивості АМ-матеріалів, процеси контролю якості в режимі online, безперервна сертифікація та надання правил проектування. Щоб виробники не недооцінювали і не вкладали надмірні кошти у технології контролю якості, важливо оцінити рівень контролю якості, необхідний кожній деталі, надрукованої з використанням технологій адитивного виробництва.

Список літератури

1. GAO, Wei, et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 2015, 69: 65-89. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>
2. CONNER, Brett P., et al. Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive manufacturing*, 2014, 1: 64-76. URL: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.005>
3. HUANG, Samuel H., et al. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International journal of advanced manufacturing technology*, 2013, 67: 1191-1203. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>
4. ADAM, Guido AO; ZIMMER, Detmar. Design for Additive Manufacturing—Element transitions and aggregated structures. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2014, 7.1: 20-28. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2013.10.001>
5. NEWMAN, Stephen T., et al. Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies. *CIRP annals*, 2015, 64.1: 467-470. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109>
6. DIEGEL, Olaf, et al. Tools for sustainable product design: additive manufacturing. 2010. URL: <http://hdl.handle.net/10292/1713>
7. SHARRATT, Bree M. Non-destructive techniques and technologies for qualification of additive manufactured parts and processes. *no. March*, 2015. URL: https://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc200/p801800_A1b.pdf
8. GAUSEMEIER, J., et al. Thinking ahead the future of additive manufacturing. *Future Applications*, 2011. URL: <http://www.dmr.de>
9. Pereira, T., Kennedy, J. V., & Potgieter, J. (2019). A comparison of traditional manufacturing vs additive manufacturing, the best method for the job. *Procedia Manufacturing*, 30, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.003>

10. PEREIRA, Tanisha; POTGIETER, Johan; KENNEDY, John V. A fundamental study of 3D printing testing methods for the development of new quality management strategies. In: *2017 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*. IEEE, 2017. p. 1-6. URL: <https://doi.org/10.1109/M2VIP.2017.8211513>
11. Technologies, A.C.F.o.A.M. and A.C.F.o.A.M.T.S.F.o. Terminology, Standard terminology for additive manufacturing technologies. 2012: ASTM International.
12. Lucideon. Additive Manufacturing Testing. Testing & Characterization Testing methods for quality assurance of additive manufactured parts]. URL:<https://www.lucideon.com/testing-characterization/additive-manufacturing-testing>.

Quality assurance and quality control for traditional manufacturing and additive manufacturing

V.O. Tsybulenko, B.S. Vorontsov

Abstract: *This paper discusses the difference between quality assurance and quality control for additive manufacturing (AM) and traditional manufacturing (SM). It has been noted that the complex geometry and internal lattice structure of AM parts create problems with mechanical suitability. Multifaceted quality requirements and standards complicate the development of quality assurance strategies. Defects in AM parts (porosity, cracks, inclusions, voids, lumpiness and surface roughness) can adversely affect mechanical properties, and some problems such as volume mismatch, layer removal and unwanted internal surface finish cannot be detected by typical mechanical tests. It is also stated that SM continues to dominate AM in terms of quality, accuracy and reliability. The manufacturing industry and investors are always looking to improve technology to reduce costs, energy and expand their capabilities. Beginning in the 1960s, additive manufacturing has since then developed rapidly and continuously, discovering new methods to expand manufacturing capabilities.*

Keywords: *Manufacturing; AM vs Traditional Manufacturing; Defects in Manufacturing; Quality Assurance Progression, Part Characterization*