

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ІНТЕГРАЦІЇ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕХАНІЧНОГО ПОСТ ОБРОБЛЕННЯ

Виготовлення складних за формою та високоточних деталей із заданими характеристиками поверхні за допомогою одного технологічного процесу залишається складним і багатоаспектним завданням сучасного машинобудування. У більшості випадків вироби потребують проведення післяоброблення (post-processing) та переміщення між різними верстатами, що супроводжується додатковими витратами часу, підвищенням трудомісткості та зниженням точності виготовлення. Особливо суттєвими такі обмеження є під час виробництва мікро- та нанорозмірних компонентів, де допуски й якість поверхні мають критичне значення.

У цьому контексті гібридне виробництво (Hybrid Manufacturing, HM) розглядається як один із найперспективніших напрямів розвитку технологій оброблення матеріалів. Гібридне виробництво являє собою інтегрований технологічний підхід, який поєднує два або більше процесів – найчастіше адитивне виробництво (Additive Manufacturing, AM) та субтрактивне виробництво (Subtractive Manufacturing, SM) – у межах єдиного технологічного комплексу. Така інтеграція забезпечує синергійний ефект, що дозволяє реалізувати переваги обох методів: геометричну свободу адитивних процесів і точність субтрактивних. Це, у свою чергу, забезпечує виготовлення складних, композиційних та індивідуалізованих виробів із високою точністю, покращеними властивостями поверхні та зменшеною тривалістю виробничого циклу. Додатковою перевагою є усунення необхідності транспортування деталей між різними обладнаннями, що знижує похибки базування та ризик пошкодження заготовок.

Водночас, попри суттєві технологічні переваги, реалізація гібридного виробництва залишається складним інженерним завданням. Ключовими проблемами є інтеграція сенсорних систем і модулів контролю, здатних у реальному часі виявляти дефекти, оцінювати параметри процесу та здійснювати автоматичне коригування або відновлення виробів відповідно до заданих критеріїв якості. Незважаючи на те, що сучасні гібридні системи демонструють значний потенціал і швидкий темп розвитку, більшість із них ще не забезпечують повноцінного адаптивного керування на основі інтелектуальних алгоритмів (AI/ML) та зворотного зв'язку від вбудованих сенсорів.

Гібридне виробництво стрімко еволюціонує у трансформаційний напрям сучасного інженерного виробництва, поєднуючи високу точність методів механічного оброблення із гнучкістю та інноваційністю адитивних технологій. Попри значний прогрес, більшість наявних гібридних систем усе ще не володіють повною функціональністю адаптивного керування в реальному часі.

Для забезпечення реальної адаптивності виробничого процесу такі системи мають використовувати широкий спектр сенсорних даних – зокрема, стереокамери, лазерні вимірювальні системи, датчики переміщення та температури. Їх необхідно обробляти автоматично з метою самокорекції параметрів оброблення та досягнення оптимальних технологічних результатів у режимі онлайн.

Водночас значна частина сучасних гібридних комплексів залишається лише частково інтегрованою у концепції Індустрії 4.0 та 5.0, не використовуючи повною мірою потенціал Інтернету речей (IoT), автоматизації даних, хмарних обчислень та інтелектуального прийняття рішень. Інтеграція цих цифрових технологій створює значний резерв для подальшого розвитку гібридного виробництва.

У перспективі гібридні виробничі системи все більше орієнтуватимуться на використання розумних матеріалів, концепції 4D-друку та тісної взаємодії між людиною і машиною. Завдяки впровадженню штучного інтелекту та доповненої реальності роль оператора поступово трансформуватиметься – від безпосереднього виконання технологічних операцій до контролю, інноваційного проєктування та креативної взаємодії з виробничою системою. Така співпраця дозволить звільнити людину від рутинних завдань та розкрити нові рівні індивідуалізації, функціональності та ефективності у проєктуванні та виготовленні деталей.

Список літератури:

- Hybrid Manufacturing Processes Used in the Production of Complex Parts: A Comprehensive Review Authors: by Naiara P. V. Sebbe, Filipe Fernandes, Vitor F. C. Sousa and Francisco J. G. Silva Link: <https://www.mdpi.com/2075-4701/12/11/1874>
Габовда, О. В. Аналіз сучасного стану гібридного адитивного виробництва та перспектив його впровадження в Україні / О. В. Габовда // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки : науковий журнал / гол.ред.Кисельов В. - Київ : ВД"Гельветика", 2023. - № 1, Т. 34(73). - С.1-7