

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Кушнірчука Андрія Сергійовича** на тему «Технологічне забезпечення якості деталей машин, отриманих з пластмас методом 3D-друку»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13
Механічна інженерія за спеціальністю 131 Прикладна механіка

Актуальність теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт.

Як найпоширеніший вид адитивного виробництва, FDM-друк застосовується в багатьох галузях, а низька вартість обладнання та витратних матеріалів робить цю технологію доступною і поширеною. Використання у 3D-принтерів широкого спектру накладання пластикових ниток з певним кроком дозволяє виготовляти вироби відповідно до їх експлуатаційних вимог. Сучасні пластмаси забезпечують такі властивості виробів, як маслостійкість, бензостійкість, високу діелектрична міцність, стійкість до ультрафіолету, відсутність реакції з кислотами, водостійкість та ін. Геометрична точність виробів, виготовлених за допомогою 3D-принтерів, залежить від типу механічної конструкції приводів принтера, правильної роботи елементів приводів, рівня зносу рухомих частин і того, що точність відпрацювання крокових двигунів повністю залежить від стабільної роботи електроніки принтера, яка повинна гарантувати, що жоден крок не буде пропущений. Готові деталі можна одразу використовувати за призначенням без додаткового оброблення, але деталі, що потребують відповідальних з'єднань, точної підгонки та взаємного розташування поверхонь, потребують додаткового оброблення.

Одним із рішень проблеми покращення функціональності деталей, виготовлених методом FDM-друку, є механічне оброблення. Його можна реалізувати за допомогою різноманітних інструментів та методів, серед яких: обточування, фрезерування та шліфування. В даній роботі розглядається науково-технічна задача машинобудування, а саме - забезпечення технічних параметрів якості деталей, надрукованих методом FDM-друку, шляхом комплексного підходу до якості продукції, що включає точність критичних поверхонь згідно з технічними вимогами, необхідну шорсткість, міцнісні властивості матеріалів, що мінімізують масу деталей.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до державних і науково-технічних програм за пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки України та відповідає положенням Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 08.09. 2011р. № 3715-VI та Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та інноваційної діяльності» від 13 січня 2024р. № 3534-IX, а також в рамках науково-дослідних робіт кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

До найбільш суттєвих і науково нових результатів дисертаційної роботи можна віднести:

1. Отримала подальший розвиток математична модель процесу різання обточуванням та фрезеруванням для деталей із пластмас, виготовлених 3D-друком, і показана її відмінність у порівнянні з процесом різання металів з урахуванням значних пружних деформацій оброблюваних поверхонь матеріалу. Отримані результати у вигляді номограм дають можливість прогнозувати неточність розмірів поверхонь при різних видах оброблення при чистових та чорнових режимах різання для матеріалів, отриманих 3D-друком.

2. Отримав подальший розвиток процес визначення механічних характеристик зразків, надрукованих із різних матеріалів за допомогою адитивних технологій FDM. Встановлено, що зниження щільності внутрішнього заповнення матеріалу пропорційно зменшує межу міцності виробу. ABS-пластик виявився менш міцним на розривання у порівнянні з CoPet пластиком. При дослідженні діаграм руйнувань зафіксовано пластичну деформацію у зразків з CoPet, тоді як зразки з ABS демонструють крихке руйнування. У дослідженнях на тертя найкращий результат було отримано в парі матеріалів ABS+ та CoPet, що робить таку пару тертя найбільш оптимальним вибором.

3. Експериментально визначені параметри режимів різання, їх вплив на температуру в зоні оброблення та конструктивні особливості різального інструменту, що забезпечують найбільшу точність та малу шорсткість відповідальних поверхонь деталей, отриманих 3-D друком при оптимальних температурах різання.

Вважаю, що наукові результати здобувача є вагомим внеском у теоретичне обґрунтування та експериментальні дослідження технологічного забезпечення якості деталей машин, отриманих 3D-друком.

Практичне значення отриманих результатів.

Практична значущість отриманих результатів полягає в доведенні теоретичних положень дисертації до реалізації, рекомендацій розробнику та безпосередньому використанні на підприємстві.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудування полягає в розробленні методології вибору режимів обточування та фрезерування поверхонь для технічного забезпечення якості деталей машин, отриманих методом 3D-друку. Результати теоретичних та експериментальних досліджень реалізовані в розробленні методології процесу вибору оптимальних стратегій оброблення поверхонь та алгоритмів розрахунку траєкторій руху інструменту з урахуванням процесів, що відбуваються при формуванні поверхні деталі, а також використання програмно-математичного забезпечення, здатного керувати процесом оброблення за заданими алгоритмами. Використання цих складових при розробленні керуючих програм дозволяє компенсувати похибки, викликані пружною деформацією поверхонь, і підвищити продуктивність оброблення. Експериментальні дослідження показали, що пари тертя, виготовлені методом FDM-друку з пластиків ABS і

СОРЕТ, відрізняються за своєю зношувальною здатністю. Найкращі результати були отримані з парою матеріалів ABS+ і CoPet, що робить цю пару третя найкращим вибором з досліджуваних пар.

Для оброблення пластмасових деталей на верстатах з ЧПК була здійснена модернізація поворотного столу верстата, що підвищує ефективність використання верстатів з ЧПК, особливо для невеликих підприємств, і не призводить до значного збільшення вартості обладнання. Заміна ручних приводів на крокові двигуни не тільки подовжує термін експлуатації поворотного столу, але й підвищує точність роботи.

Конструкторам та інженерам рекомендується використовувати метод оптимізації топології за допомогою адитивних технологій, який дозволяє отримати кінцевий продукт без необхідності додаткового механічного оброблення. Це дозволяє зменшити вагу деталі на 40-60% при збереженні всіх міцнісних властивостей, заощадити матеріал, скоротити час підготовки виробництва та обсяги механічного оброблення. Результати виконаних досліджень та окремі теоретичні положення прийнято до впровадження на підприємстві ПБКФ «Бджілка» (м. Хмельницький), ТОВ НВФ «Адвісмаш» та у навчальний процес ХНУ.

Теоретичні та практичні результати, отримані в дисертаційному дослідженні, впроваджені у навчальний процес кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету при викладанні дисципліни «Технологічні методи забезпечення якості виробів».

Структура дисертації, мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, огляду літератури, аналітичного розділу, матеріалів та методів досліджень, результатів експериментальних та теоретичних досліджень з їх обговоренням, висновків, списку літератури і додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 178 сторінок.

Структура дисертації повністю узгоджується з її назвою, предметом та об'єктом дослідження, метою і завданнями дослідження.

Дисертаційна робота написана діловою українською мовою з науковим стилем викладення її змісту. Вона характеризується цілісною, змістовною завершеністю, логічною послідовністю розглянутих питань, чіткістю, ясністю та достовірністю викладення матеріалів дослідження. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації»

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

За результатами досліджень опубліковано 11 наукових праць, у тому числі 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б, 1 стаття в інших виданнях України, 6 матеріалів конференцій та тез доповідей.

Основні результати роботи охоплюють усі положення, що виносяться на захист. Науковий рівень здобувача достатньо високий, особистий внесок має місце у кожній роботі. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Вважаю, що об'єм першого розділу є завищений. Бажано було би навести більш лаконічний аналіз, акцентуючи увагу на питаннях, що будуть вивчатися у дисертації.
2. При розрахунку сил різання (формула 2.11) автор використовує дані зі своєї роботи [102]. Але чомусь дослідження цієї статті в дисертацію не попали.
3. Досліджуючи шорсткість обробленої поверхні дисертант зупиняється на теоретичних (геометричних) нерівностях, не вказуючи, які ще фактори впливають на висоту дійсних нерівностей.
4. Вимірювання температури показали, що її величина значно нижча максимально допустимої. Чи не є це резервом підвищення режимів оброблення?
5. Автор у режимах різання часто використовує параметр число обертів інструмента чи заготовки, упускаючи, що більш важливим є швидкість різання.

Загальний висновок.

Рецензована дисертаційна робота є самостійною, завершеною науковою працею, що містить наукові результати, яким властива наукова новизна, теоретичне та практичне значення, а отже, свідчить про особистий істотний внесок здобувача у розвиток науки в галузі механічної інженерії.

Отже, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам пп. 6, 7, 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44. Здобувач Кушнірчук Андрій Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 131 Прикладна механіка.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри
технології машинобудування Хмельницького
національного університету

Микола МАЗУР

Підпис засвідчую
Проректор з наукової роботи
Хмельницького національного університету



Олег СИНЮК