

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію Сіренка Максима Костянтиновича
«Розробка та вдосконалення технології пошарового синтезу
виробів з полімерних композиційних матеріалів
для авіаційної та ракетно-космічної техніки», подану до захисту на здобуття
ступеня доктора філософії
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Актуальність теми дисертації

Оскільки конструкції РКТ характеризуються особливо високими вимогами до питомої міцності та жорсткості матеріалів, застосування технології 3Д друку є перспективним і економічно ефективним в цієї сфері виробництва. Пошаровий синтез дозволяє виготовляти вироби більш складної геометрії та форм, отриманих в результаті оптимізації топології, і суттєво зменшити потребу у обробці, бо виріб виготовляється методами синтезу вже в готовому вигляді з набагато меншим об'ємом операцій подальшої обробки. Вони дозволяють виготовляти деталі складної топології, оптимізованої з урахуванням механічних навантажень, що сприяє зменшенню маси конструкції без втрати жорсткості та міцності.

Дисертаційна робота Сіренка М. К. спрямована на вдосконалення технологій 3D-друку виробів з полімерних композиційних матеріалів із метою підвищення їхніх питомих експлуатаційних характеристик, зокрема міцності, жорсткості, надійності та технологічної ефективності. Автор досліджує нові конструктивні та технологічні підходи, які дозволяють підвищити ефективність використання матеріалів та забезпечити відповідність сучасним вимогам авіаційної та ракетно-космічної техніки. Таким чином, тема дослідження є актуальною не лише в контексті розвитку адитивного виробництва, але й у зв'язку з реальними потребами галузі у зниженні маси конструкцій за збереження високих експлуатаційних характеристик. Це робить обрану тематику дисертаційної роботи науково обґрунтованою, практично значущою та своєчасною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара відповідно до одного з напрямів досліджень держбюджетної науково-дослідної роботи Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара: «Створення і удосконалення технологій і матеріалів для ракетних

засобів ураження на основі інноваційних конструкторсько-технологічних рішень», № державної реєстрації 0123U101855.

Метою дисертаційної роботи підвищення механічних та експлуатаційних властивостей виробів з полімерних композиційних матеріалів на основі нових конструктивних і технологічних рішень з використанням методів 3D-друку.

Наукова новизна отриманих автором результатів

Наукова новизна результатів дослідження, отриманих особисто здобувачем, полягає у наступному:

1. Вперше розроблено нові схему та метод армування деталей волокном в процесі пошарового синтезу для отримання полімерного композиційного матеріалу, які полягають у тому, що армування виконується прокладанням волокна між друкованими шарами основного полімеру з збереженням суцільності волокна.

2. Вперше встановлено, що армування деталей базальтовим волокном дозволяє підвищити, у випадку найкращих характеристик в залежності від параметрів армування, межу міцності армованого матеріалу на 80% та модуль пружності на 101% по відношенню до неармованого матеріалу.

3. Вперше доведено, що основним фактором впливу на характеристики виробу є відстань між армованими шарами, і встановлена залежність властивостей полімерного композиційного матеріалу від щільності заповнення деталі і відстані між шарами армування. Це дозволяє прогнозувати властивості кінцевого полімерного композиційного матеріалу та активно впливати на них шляхом зміни параметрів армування та 3D-друку.

4 Вперше з використанням розробленої моделі армованого полімеру отримано значення властивостей виробів, виготовлених з використанням методів 3D-друку.

Проаналізувавши та оцінивши наукові результати, їх новизну і достовірність, слід зазначити, що сформульована в дисертаційній роботі мета дослідження досягнута повністю, наукові результати обґрунтовані і мають наукову цінність, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Практичне значення одержаних результатів

1. Розроблена схема і метод армування виробів волокном при використанні FDM/FFF 3D-друку, з описом впливу технологічних параметрів друку та рекомендацій щодо їх вибору, розроблено технологічне оснащення для армування, що встановлюється на 3D-принтер з кінематикою типу Delta і прийоми виконання армування;

2. Запропоновано та обґрунтовано методику механічних випробувань полімерних композиційних матеріалів з шарованою структурою, що отримані методом 3D-друку;

3. Результати дослідження впроваджені в освітній процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та Національного центру аерокосмічної освіти молоді імені О.М. Макарова

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірність

Достовірність отриманих результатів забезпечується:

- результатами виконаних за безпосередньої участі автора низки експериментальних досліджень, зокрема випробувань на міцність зразків полімерного композиційного матеріалу отриманого методами, що викладені роботі;
- використанні необхідних та сучасних теоретичних та експериментальних методів, методів аналізу даних;
- публікацією статей у фахових виданнях України;
- апробацією отриманих наукових результатів на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конгресах, конференціях і круглих столах;
- впровадженням отриманих результатів у освітній процес фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та Національного центру аерокосмічної освіти молоді імені О.М. Макарова.

Аналіз змісту дисертації

Дисертаційна робота містить вступ, 4 розділи, що складаються з 16 підрозділів, основні висновки та список використаних джерел.

У вступі відзначено актуальність теми дисертації та сформульовано її мету та основні завдання досліджень. Розглянуто об'єкт, предмет та методи досліджень і описано наукову новизну та практичне значення здобутих результатів. Надано інформацію щодо апробації результатів роботи та кількості публікацій по зазначеній темі із посиланням на внесок автора. Представлено структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій пошарового синтезу деталей з полімерних матеріалів та з полімерних композиційних матеріалів, розглянуті та проаналізовані основні матеріали, які використовуються. Окрема увага була приділена аспектам застосування цих технологій та методів в авіаційній та ракетно-космічній техніці. В ході аналізу були встановлені основні недоліки, над усуненням яких необхідно працювати.

За основні недоліки було прийнято недотримання суцільності волокна армування, неможливість точного та вибіркового контролю положення волокна у межах шару, а також недостатня прогнозованість кінцевих характеристик.

У другому розділі розглянуто матеріали, що використовувались для дослідження, обґрунтовано вибір основного полімерного матеріалу та матеріалу армування. У якості основного полімеру був прийнятий сополімер поліетилентерефталату (соРЕТ), у якості армуючого волокна – базальтове волокно. Обґрунтовано критерії, по яким розроблюється нова структура армування та розроблено структуру нового типу армування деталей в процесі FDM/FFF 3D-друку з метою отримання деталей з полімерного композиційного матеріалу. Розроблена структура являє собою пошарово прокладене волокно між шарів друкованого основного полімеру, причому розрізів чи інших порушень суцільності в межі шару немає. Також, завдяки відсутності розрізів при переході волокна між шарами, зберігається і суцільність волокна між шарами. Суцільність одиничного волокна не порушується в всьому об'ємі деталі. Крім цього, були розглянуті методи дослідження та контролю. В контексті можливості та особливостей використання до виробів, виготовлених 3D-друком, була проаналізована низка видів неруйнівного та руйнівного контролю та випробувань. Також був розглянутий аспект їх використання при наявності неперервного волокна армування в основному полімері. Для дослідження міцності надрукованих зразків вибрано випробування на розтяг.

Третій розділ присвячено проектуванню технологічного обладнання для встановлення на FDM/FFF 3D-принтер з кінематикою Delta. Ця кінематика також була обрана відповідно до проведеного аналізу. Спроектвані вузли являють собою деталі, що встановлюються на платформу побудови 3D-принтеру та виконують функції утримання, направлення та контролю положення і натягу волокна. Обладнання дозволяє виконувати однонаправлене армування полімеру в процесі друку. Як завдання для випробувань, було заплановано проведення аналізу впливу частоти прокладання шару армуючого волокна на характеристики міцності матеріалу та аналіз впливу щільності заповнення на них. Відповідно, за допомогою обладнання було виготовлено партії зразків з полімерного композиційного матеріалу та були проведені випробування зразків. По результатам, межа міцності зросла, в варіанті армування з найкращими результатами, на 80%, модуль пружності – на 101%.

Також була встановлена залежність міцності зразків від частоти прокладання волокна та структурної щільності композиту. Ці параметри є найбільш впливовими на механічні характеристики створеного армованого композиту.

Четвертий розділ присвячено підтвердженню результатів випробувань на реальній деталі відповідно до її умов експлуатації. Модель деталі складної форми було розроблено засобами CAD програмного забезпечення Solidworks. За допомогою CAE модулю цієї програми до деталі було накладено матеріал з характеристиками, що були отримані в результаті експерименту. Далі проводилось аналітичне дослідження деталі для визначення сили, при якій здійснюється її руйнування. Після цього була виготовлена партія деталей для випробувань. По результатам випробувань, середнє відхилення фактичного навантаження руйнування від розрахункового склало не більше 12%. Це прийнятний результат для інженерних розрахунків деталей з полімерних композиційних матеріалів.

Висновки по роботі узагальнюють основні отримані в дисертаційному дослідженні результати.

Дисертація в цілому є структурно та змістовно гарно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень є логічною і такою, що побудована у відповідності з науковим методом.

Дисертаційна робота за структурою та змістом відповідає вимогам, є завершеною науковою працею, її результати свідчать про наявність особистого внеску здобувача у галузі знань Механічна інженерія.

Публікація та апробація основних результатів дисертації

Основні матеріали дисертаційної роботи відображено у 4 статтях у вітчизняних фахових виданнях категорії Б, 5 матеріалів міжнародних та вітчизняних конференцій.

Публікації Сіренка М.К. відповідають вимогам пунктів 8, 9 «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 (із змінами).

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота Сіренка Максима Костянтиновича написана українською мовою, має змістовну цілісність та послідовність.

Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи

фабрикації тексту в роботі відсутні, про що свідчить висновок перевірки на плагіат за допомогою спеціалізованої програми StrikePlagiarism.

Очевидних ознак порушення автором академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

Зауваження до дисертації

1. В роботі геометричні параметри для зменшених зразків в експериментальному дослідженні механічних властивостей виконані згідно з ISO 6892-1:2019. Цей ISO використовують для металевих зразків, а не для полімерних композиційних матеріалів. Геометрію зразків треба було брати за нормативним документом ISO 527-2. Але слід зауважити, що за цим документом прийняти розміри дослідних зразків знаходяться між варіантами типів зразків 1BA та 1BB ISO 527-2, та не задовольняють вимогам стосовно розміру по товщині зразка, та радіусу закруглення.

2. В роботі не приведена статистична обробка експериментальних результатів. Не має як основних статистичних показників: таких як середнє значення (μ) кожного параметра (σ_b , $\sigma_{0,2}$, E , δ_5), стандартне відхилення (σ), коефіцієнт варіації (%CV) — для оцінки повторюваності, 95% довірчий інтервал для кожної величини, та і не виконана оцінка достовірності отриманих результатів.

3. В роботі не наведено місце розташування екстензометра на дослідних зразках. Приведені фотографії зруйнованих зразків показують, що руйнування при розтяганні виникає не в робочій зоні зразка, а за межею робочої зони. Випробування на розтяг є коректним лише за умови, що місце розриву — в межах бази екстензометра. Якщо це не так — результати по δ_5 є некоректними або заниженими. Варто було б розглянути використання зменшених зразків (типу ISO 527-2 1BA) для зменшення імовірності розриву поза базою.

4. Експериментальні зразки є ортотропними, а отже, механічні властивості суттєво відрізняються в різних напрямках. Проведено дослідження властивостей композитного зразка тільки в одному напрямі, що є недостатнім та не визначає всі характеристики та особливості композита, який створений за розробленою технологією 3-D друку.

Загальні висновки

Уважний аналіз тексту дисертаційного дослідження та опублікованих наукових матеріалів дає підстави вважати дисертацію Сіренка Максима

Костянтиновича «Розробка та вдосконалення технології пошарового синтезу виробів з полімерних композиційних матеріалів для авіаційної та ракетно-космічної техніки», самостійною, завершеною й актуальною працею, зміст дисертації не суперечить принципам академічної доброчесності, її актуальність, наукова новизна та практична цінність відповідають вимогам, визначеним пунктами 6–9 «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 року № 44.

Здобувач Сіренко Максим Костянтинович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Рецензент:

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри ракетно-космічних
і інноваційних технологій
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара



Володимир ЛПОВСЬКИЙ

Підпис доцента Володимира ЛПОВСЬКОГО засвідчую:

Проректор з наукової роботи

Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидат біологічних наук,
доцент



Олег МАРЕНКОВ