

УДК 631.3

**ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ РУХОМИХ
З'ЄДНАНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**
**ON THE QUESTION OF CHOOSING COMPOSITE MATERIAL FOR ELEMENTS OF MOVING
CONNECTIONS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT**

Дмитро Макаренко, Олексій Деркач, Дмитро Пелипась
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Дніпро, Україна

Сучасне машинобудування вимагає впровадження інноваційних підходів, спрямованих на підвищення якості продукції за одночасного зниження загальних виробничих витрат. Важливою складовою виробничого процесу є тривалість повного циклу, який включає стадії проектування, виготовлення дослідного зразка, виробництва деталі або вузла та їх подальшого застосування в конструкції сільськогосподарської техніки. Однією з технологій, що дає змогу істотно зменшити сумарні витрати часу і ресурсів, є адитивне виробництво – тривимірний друк (3D-друк), який базується на принципі поетапного формування виробу шляхом шарового нанесення матеріалу.

Сільське господарство є однією з галузей, де адитивні технології мають значний потенціал застосування. Кожна із існуючих технологій виготовлення деталей з композитних матеріалів (КМ) має свої переваги та недоліки. Необхідно обирати технологію в залежності від умов експлуатації деталей, необхідної довговічності та комплексної вартості готового рішення. На сучасному етапі розвитку технології 3D-друку поступово еволюціонують від використання переважно для прототипування до впровадження у серійне виробництво деталей машин, відкриваючи широкі можливості для створення високотехнологічної продукції машинобудівної галузі [1]. Проте в даній технології є і суттєві недоліки – залежність міцнісних характеристик від орієнтації напрямку друку та розподілення наповнювачів у вихідному матеріалі [2]. При цьому, технологія лиття деталей під тиском має суттєву перевагу, у порівнянні з 3D-друком, це обсяги виробництва за одиницю часу.

Вибір конкретної технології виготовлення деталей з КМ, залежить від вимог до продуктивності, точності, механічних властивостей і економічної ефективності виробництва. У роботі [3] розглянуто сучасні матеріали та технології адитивного виробництва та встановлено, що найбільш ефективним рішенням є використання композиційних матеріалів на основі поліаміду (нейлону) з мінеральними або волокнистими наповнювачами. Це дозволяє поєднати високі експлуатаційні властивості деталей, зменшення їх маси та підвищення надійності роботи машин при одночасному забезпеченні економічної ефективності виробництва [4]. Такий підхід є особливо актуальним для виготовлення та відновлення деталей сільськогосподарської техніки, для яких важливими є довговічність, ремонтпридатність і стабільність характеристик матеріалу в умовах інтенсивної експлуатації.

Матеріали та методи досліджень. Матеріали на основі поліамідної групи мають широке розповсюдження, як в технології лиття під тиском, так і технологіях 3D-друку. Саме тому, в дослідженні використано, два матеріали власного виробництва, на основі поліаміду-6 та вуглецевого волокна із концентрацією останнього 10 % мас. та 15 % мас. та відповідними шифрами ВПА-6-10 та ВПА-6-15. Крім цього, в роботі використано композитний матеріал для технології 3D-друку вітчизняного виробника – Nylon-CCF(3D) (вміст вуглецевого волокна – 10 % мас.). Для перших двох матеріалів використовували технологію лиття під тиском на машині ВЛМ-32, для останнього – шарового наплавлення на 3D-принтері Bambu Lab P1S.

Дослідження міцнісних характеристик матеріалів виконували на випробувальній машині FP-100/1 при стисканні відповідно до ДСТУ EN ISO 604:2019 та при розтягу відповідно до рекомендацій [5]. Дослідження зразків на абразивну стійкість виконували на базі машини тертя СМЦ-2 із використанням спеціального устаткування для реалізації технології примусового абразивного зношування. За еталонний зразок обрано КМ Nylon-CCF(3D). Густина досліджуваних зразків з КМ

визначали методом гідростатичного зважування. Ударну в'язкість досліджуваних КМ визначали на маятниковому копрі КМ-0,4 за методом Шарпі відповідно до вимог ISO 179:1993.

Результати досліджень. Одержані результати свідчать, що збільшення вмісту вуглецевого волокна з 10 до 15 % мас. у матриці поліаміду-6 (матеріали ВПА-6-10 та ВПА-6-15), призводить до суттєвого зростання міцнісних характеристик матеріалу на 23,6 % для напруження текучості, та дещо менш суттєвого зростання напруження міцності – всього на 12 %. Найнижчі характеристики, серед обраних матеріалів, зафіксовані для матеріалу Nylon-CCF(3Д) 58,92 МПа та 60,85 МПа, відповідно напруження текучості та міцності при стиску. Слід зазначити, одержані значення незначно відрізняються від вказаних характеристик виробником матеріалу.

Результати визначення величини напруження текучості, свідчать про незначне збільшення (на 6,7 %) напруження текучості при збільшенні концентрації вуглецевого волокна з 10 до 15 % для КМ власного виробництва. Матеріал Nylon-CCF(3Д) хоч і має ступінь наповнення вуглецевим волокном – 10 % мас., але має значно нижчі значення напруження текучості – 51,22 МПа, що менше 36,5 % у порівнянні з матеріалом ВПА-6-10. Тому, при виборі матеріалу необхідно особливу увагу звертати на навантаження, що діють на елементи конструкції.

Встановлено, що найбільшу ударну в'язкість, серед досліджуваних матеріалів, має Nylon-CCF(3Д) – 48,7 кДж/м². КМ власного виробництва мають дещо менші значення досліджуваної характеристики та очікувану різницю, в залежності від кількості наповнювача.

Дослідженнями відносної абразивної стійкості матеріалів встановлено, що матеріал Nylon-CCF(3Д) має найбільшу абразивну зносостійкість. Найближчий, за досліджуваним показником до еталонного, є матеріал ВПА-6-15, його відносна абразивна стійкість становить – 0,78.

Висновки. Отримані результати дослідження КМ свідчать, що збільшення вмісту вуглецевого волокна з 10 до 15 % мас. у матриці поліаміду-6 призводить до суттєвого зростання міцнісних характеристик, зокрема напруження текучості підвищується на 23,6 %, а напруження міцності – на 12 %. КМ власного виробництва демонструють незначне підвищення напруження текучості при збільшенні концентрації волокна з 10 до 15 % на 6,7 %. Встановлено, що найбільшу ударну в'язкість та відносну абразивну стійкість, серед досліджуваних матеріалів, має матеріал Nylon-CCF(3Д), що свідчить про можливість його використання за присутності абразивного середовища в зоні тертя та в умовах знакозмінних (ударних) навантажень. Вибір певного КМ, для деталей конструкції, повинен спиратися не тільки на міцнісні характеристики, а й економічні показники виготовлення готових виробів, з врахуванням сукупних затрат на їх одержання.

Список використаних джерел

1. Бурбурська С. В., Пасічник В. А. Можливості адитивних технологій у виготовленні високотехнологічної продукції машинобудування. Технічна інженерія. 2022. 1 (89). С. 21-26. [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-21-26](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-21-26).
2. Куцик, С. Л, Мікуліч, О. А. Експериментальне дослідження зміни ефективних характеристик для елементів 3D-друку. Наукові нотатки. 2024. С. 181-187. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2024.77.28>.
3. Injection Molding vs. 3D Printing. [Електронний ресурс] https://www.kvota.com.ua/en/statti/lyttia-pid-tyskom-vs-3d-druk/?utm_source.
4. Деркач О. Д., Артемчук В. В., Муранов Є. С. До питання технологічності отримання деталей з полімерних композитів для посівної техніки. Х: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. 2017. № 181. С. 157-166.
5. Шидловський М. С., Бабенко А. Є., Боронко О. О., Заховайко О. П., Трубачев С. І. Нові матеріали: частина 2 – Експериментальні методи досліджень механічних властивостей конструкційних полімерів та пластмас: Навчальний посібник. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2017. 265 с.