

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ АРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ FDM 3D-ДРУКУ

Максим Сіренко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0417-2661>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олена Карпович

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-5822>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Використання деталей, отриманих методами адитивного виробництва, а саме – FDM 3D-друком, набуває все більшого поширення. В авіаційній та космічній галузі переваги адитивного виробництва полягають у можливості як дешевої ітеративної розробки та прототипування, так і виробництва готових виробів без потреби створення спеціального устаткування, особливо для одиничних деталей. Так само, FDM 3D-друк може використовуватися для вироблення оснащення та устаткування. В авіа- та ракетобудуванні можливо виготовляти методами 3D-друку такі деталі, які не мають значного температурного навантаження та у випадках, коли деталі з традиційних металевих чи композиційних матеріалів використовувати недоцільно через їх недонавантаженість відповідно до розрахунків та технічних умов. Також перевага FDM 3D-друку як способу виробництва у можливості отримання складних форм, через що раціонально об'єднувати декілька деталей однієї складальної одиниці в одну деталь чи спрощувати і полегшувати деталь через оптимізацію топології.

Для підвищення експлуатаційних характеристик виробів можливо використовувати інженерні пластики з більш високими фізико-механічними властивостями чи застосовувати армування. Армування дозволяє, в залежності від способу, посилювати виріб у вибіркових місцях, відповідно до досліджень оптимізації топології, або покращувати експлуатаційні характеристики за рахунок гетерогенності кінцевого матеріалу виробу.

Популярним і ефективним типом армування є використання довгих або неперервних композиційних волокон. Порівнюючи популярні способи армування (рисунок 1), були розглянуті їх переваги і недоліки.

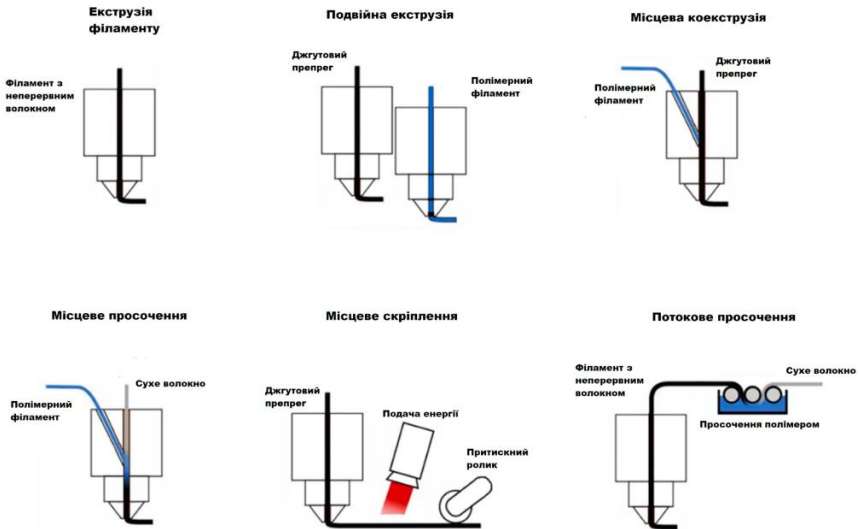


Рисунок 1- Способи армування деталей при FDM 3D-друку

Найбільш поширений спосіб – екструзія філаменту з вмістом полімерного армуючого волокна – має простоту керування процесом друку та потребує мінімальних змін до конструкції 3D-принтеру. Філаменти з домішками армуючих волокон чи гранул доволі широко представлені на ринку. Недоліками способу є неможливість вибіркового армування деталі, неможливість зміни частки волокна чи гранул в процесі друкування.

Спосіб подвійної екструзії полягає у використанні двох окремих друкувальних головок чи сопел для подавання полімерного філаменту і армуючого підготовленого волокна - препрегу. Це дозволяє проводити вибіркоче армування деталі. Проте, складність системи та алгоритму зміни сопла чи друкувальної головки та відсутність неперервності армуючого волокна є недоліками даного способу.

Способи місцевої коекструзії та місцевого просочення полягають у поєднанні полімерного філаменту і композиційного волокна, підготовленого чи у вихідному вигляді, безпосередньо у друкувальній головці. Перевагами цих способів є незалежність швидкості та об'єму подачі обох компонентів і великий вибір філаментів та волокон. Недоліки – складність системи подавання волокна та неможливість повного контролю процесу взаємодії полімеру і волокна, а також відсутність неперервності волокна.

Місцеве скріплення – спосіб, що полягає у друкуванні за

допомогою підготовлених препрегів з полімерної складової та волокна. з'єднання шарів та препрегів здійснюється за допомогою зовнішнього джерела енергії та притискового валику. Перевагами є можливість друку деталей великого об'єму та висока щільність кінцевих виробів. Недоліки – низька точність друку, у порівнянні з іншими способами, неможливість вибіркового армування чи зміни частки волокна відносно полімеру в процесі друку.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Мета роботи – вдосконалення та/або розробка нового способу армування для подолання основних недоліків проаналізованих способів армування деталей в процесі FDM 3D-друку. Відповідно до цієї цілі, задачі роботи – розробка схеми і методу армування, та технологічних рішень для пристосування такого способу армування до використання в наявних поширених типах FDM 3D-принтерів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Матеріали дослідження, а саме – полімери (у виді філаменту для FDM 3D-друку) та композиційні волокна, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості матеріалів

Матеріал	Міцність на розтяг, МПа	Відносне подовження, %	Модуль пружності, МПа	Ударна в'язкість по Шарпі, Дж/м ²	Температура експлуатації, °С
PLA пластик	50	15	2300	1020	-10 - +50
соPET пластик	50	24	1920	1100	-20 - +80
Базальтове волокно	3700	3	8500×10 ³	-	-260 - +500

РЕЗУЛЬТАТИ

В рамках дослідження було запропоновано армування деталей в процесі друкування за допомогою викладання ниток композиційного волокна між шарами під час друку. Після друкування кожного шару волокно накладається на надрукований шар, з заданим кроком та розташуванням ниток та з натягуванням, що забезпечується закріпленням кінців волокна перед початком друку першого шару деталі. Після накладання волокна відбувається друк наступного шару. Після

здруковування кожного шару волокна, набір композиційних ниток перегортається на 180° і фіксується, з збереженням положення ниток та натягу. Обрізання волокна не допускається. Процес перегортання волокна продовжується впродовж усього друку деталі, після кожного шару або з певним кроком шарів. Армування можливе як в одному напрямку, так і в двох, під кутами що задаються конструкцією технологічного обладнання. Загальна спрощена методика армування наведена на рисунку 2.

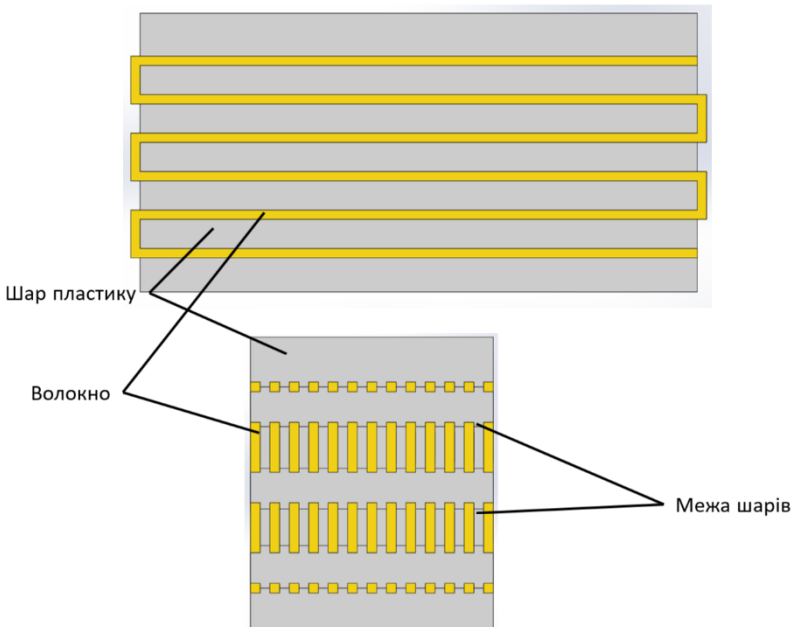


Рисунок 2 – Схема армування накладанням волокна

Також, для пристосування такого способу армування було розроблено обладнання для встановлення на FDM 3D-принтер з кінематикою типу Delta. Обладнання дозволяє утримувати кінці волокна на рамі, що закріплюється до друкувального столу принтера, а рухома частина може фіксуватися в одному з двох положень, що забезпечує перегортання набору ниток на 180° . Також, обладнання забезпечує утримання волокна в заданій позиції з заданим кроком. CAD-модель обладнання в позиції початкового шару зображена на рисунку 3.

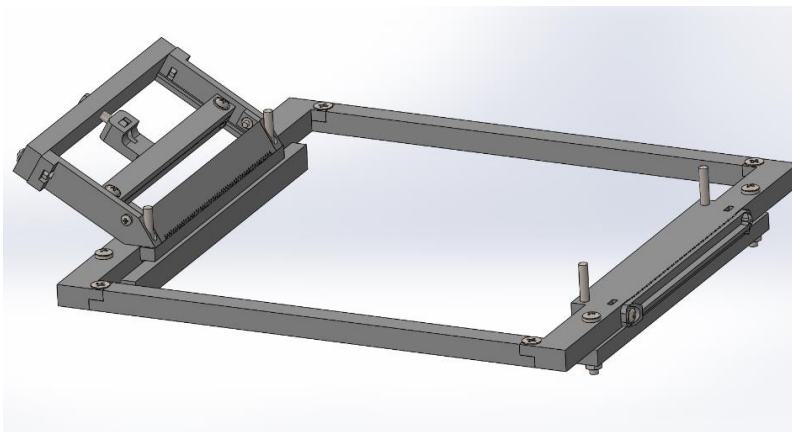


Рисунок 3 – Модель технологічного обладнання

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень:

- Було запропоновано спосіб армування деталей при друку для FDM 3D-принтера, який забезпечує неперервність волокна армування та забезпечує можливість абсолютної орієнтації та контролю положення армувальної нитки по кожному окремому треку,
- Для виконання способу було розроблено технологічне обладнання для встановлення на принтер.

ПОСИЛАННЯ

1. Nehls, G. (2023, January 27) Weber State applies composite-based 3D printing for aerospace support, research. *CompositesWorld*. <https://www.compositesworld.com/news/weber-state-applies-composite-based-3d-printing-for-aerospace-support-research>
2. Mason, H., & Gardiner, G. (2022, July 13) 3D printing with continuous fiber: A landscape. *CompositesWorld*. <https://www.compositesworld.com/articles/3d-printing-with-continuous-fiber-a-landscape>
3. Mashayekhi, F., Bardon, J., Berthé, V., Perrin, H., Westermann, S., & Addiego, F. (2021). Fused Filament Fabrication of Polymers and Continuous Fiber-Reinforced Polymer Composites: Advances in Structure Optimization and Health Monitoring. *Polymers*, 13(5), 789. <https://doi.org/10.3390/polym13050789>