

## Вплив технологічних режимів на міцнісні характеристики FDM-друкованих виробів

*Кононенко Р. Г., Близнюк О. В., Лебедев В. В., Воронкін А. А.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
[roman.kononenko@iht.khpi.edu.ua](mailto:roman.kononenko@iht.khpi.edu.ua)

За останні кілька десятиліть велике поширення набули адитивні технології виготовлення виробів та конструкцій різного функціонального призначення. Найбільш широко даний спосіб застосовується в медицині, аерокосмічній, авіаційній та автомобільній промисловості, електротехніці, будівельній галузі.

Адитивний спосіб виготовлення, незалежно від використовуваного матеріалу, передбачає виникнення у кінцевого виробу емерджентних властивостей, не властивих елементам системи окремо. Так, експлуатаційні характеристики виробів, отриманих методом FDM-друку, складаються не тільки з властивостей вихідного матеріалу, але також і з параметрів друку — температури сопла та столу, товщини шару, швидкості друку, напрямку укладання шарів, їх взаємного розташування тощо. Таким чином, при проектуванні 3D-друкарських полімерних виробів із заданими характеристиками слід розглядати систему "матеріал - параметри друку" цілком.

Адитивні технології представлені декількома способами друку, які відрізняються вихідним матеріалом і принципом його нанесення. Серед основних методів друку виділяють такі: технологія пошарового наплавлення (FDM), стереолітографія (SLA), цифрова обробка світлом (DLP), вибіркоче спікання шарів (SLS), тривимірний друк (3DP), виробництво ламінованих об'єктів (LOM) та технологія PolyJet. Кожен спосіб друку має свої особливості застосування, переваги та недоліки, які необхідно враховувати під час виробництва виробів.

Найбільш популярним є FDM-метод, що полягає в тому, що термопластична полімерна нитка (філамент) подається в екструзійну головку 3D-принтера, в якій нагрівається до в'язкотекучого стану і видавлюється через сопло діаметром 0,1-0,3 мм заданої траєкторії на нерухому основу. Наступні шари укладаються на попередні і тверднуть у міру охолодження. При цьому пошарову орієнтацію укладання розплавленої полімерної нитки можна змінювати відповідно до обраного алгоритму, регулюючи анізотропію властивостей у зразку. Якість виробу, одержуваного таким чином, буде залежати від орієнтації нитки розплаву (поздовжньо і паралельно напрямку навантаження зразка, а також вздовж напрямку нарощування) і растру ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $0^\circ/90^\circ$ ,  $45^\circ/-45^\circ$ ). Однак при використанні адитивних технологій досить складно передбачити, як поведеться виріб при дії навантажень різного виду, що викликає ще більший інтерес з боку дослідників та академічних співтовариств.

Мета дослідження полягає в оцінці впливу технологічних режимів FDM-друку на фізико-механічні характеристики зразків з ПЕТГ матеріалу. Було виготовлено такі партії зразків: зразки товщиною 2 шари з сітчастим заповненням та зразки з 2 шарами з гексагональним заповненням.

Всі зразки мали відсоток заповнення від 20% до 80%. Всі зразки були випробувані на руйнівні напруження під час удару та згинання. Максимальні значення руйнівних напружень були досягнуті у зразках з двошаровими стінками та гексагональним заповненням зі ступенем заповнення 60-80% —  $9,9 \text{ кДж/м}^2$  для удару та 850 МПа для згинання. Серед випробуваних зразків оптимальні результати були отримані з периметром з двох шарів та ступенем заповнення 80% з використанням гексагональної моделі.