

Рудь Максим Петрович, канд. техн. наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, [hochspannung77@gmail.com](mailto:hochspannung77@gmail.com)

Пилипенко Олександр Михайлович, докт. техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет

Солтус Анатолій Петрович, докт. техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет

## **ОЦІНКА ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ АВТОДЕТАЛЕЙ З ПОЛІБУТІЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ 3D-ДРУКУ**

Технології 3D-друку (або адитивного виробництва) представляють собою групу технологій в яких виготовлення виробу здійснюється за рахунок нарощування матеріалу шар за шаром. Перевагою цих технологій є дуже висока гнучкість порівняно з традиційними методами [1]. Вони дозволяють відтворити в матеріалі практично будь-яку тривимірну форму спроектовану з допомогою САД програм.

Технологія моделювання методом наплавлення Fused Deposition Modeling (FDM) – ця назва найбільш відома, однак вона є зареєстрованою торговою маркою Stratsys Inc., тому більшо доцільно використовувати назву Fused filament fabrication (FFF). На сьогодні FFF-технологія є найбільш поширеною та доступною з технологій 3D-друку. Дана технологія інтенсивно розвивається постійно розширюючи сферу застосування та перелік доступних матеріалів з широким вибором властивостей. Одним з матеріалів, який значно розширить можливості використання FFF-принтерів є полібутилентерефталат.

Полібутилентерефталат (ПБТ, РВТ,  $(C_{12}H_{12}O_4)_n$ ) – належить до родини термопластичних поліестерів. ПБТ є напівкристалічним полімером, що використовується здебільшого для лиття під тиском для технічних застосувань [2, 3]. Області його застосування включають машинобудування, автомобільну промисловість, електротехніку та електроніку, радіотехніку, точну механіку, побутову техніку, товари широкого вжитку. Виробництво цього матеріалу постійно зростає. За прогнозами за 10 років виробництво ПБТ зросте у двічі. 32% світового виробництва ПБТ використовуються в автомобільній промисловості [4]. Використання полібутилентерефталату як конструкційного термопластичного матеріалу пов'язано з його базовими властивостями і можливістю різноманітної модифікації матеріалу. ПБТ має високі трибологічні характеристики внаслідок відмінних ковзних властивостей і дуже високої стійкості до зношування, стійкий до тривалих статичних навантажень, до теплового старіння, до багатьох розчинників, таких як спирти, ефіри, вуглеводні, а також до жирів і масел, таких як паливо, гальмівна рідина, добре піддається механічній обробці, має широкий діапазон експлуатаційних температур готової продукції (від  $-30^{\circ}C$  до  $+120^{\circ}C$ ) [5]. Завдяки вказаним перевагам ПБТ використовується в автомобілях для виготовлення елементів автоелектроніки (корпуси високовольтних електроприладів, електричні

роз'єми, ізолятори), деталей механіки (зубчасті колеса допоміжних механізмів). Водночас можливості використання полібутіленерефталату в якості матеріалу для 3D-друку вивчені недостатньо. Значний інтерес представляє оцінка втомної міцності таких виробів з врахуванням їх шаруватої структури [6].

Метою цієї роботи є дослідження втомного руйнування виробів з полібутіленерефталату виготовлених методом методом наплавлення з врахуванням орієнтації шаруватої структури деталі відносно напрямку прикладеного циклічного навантаження.

На рисунку 1а представлено розміри дослідного зразка надрукованого на 3D-принтері. На рисунку 1б показана схема проведення експерименту. Зразок здійснює обертання з постійною швидкістю  $\omega$ , яку можна регулювати. Широка частина зразка кріпиться до валу двигуна. Вузька частина представляє собою консольну балку до якої прикладено навантаження направлене вниз (вантаж на вальниці). Таким чином при обертанні зразка матеріал консольної балки піддається симетричному знакозмінному навантаженню.

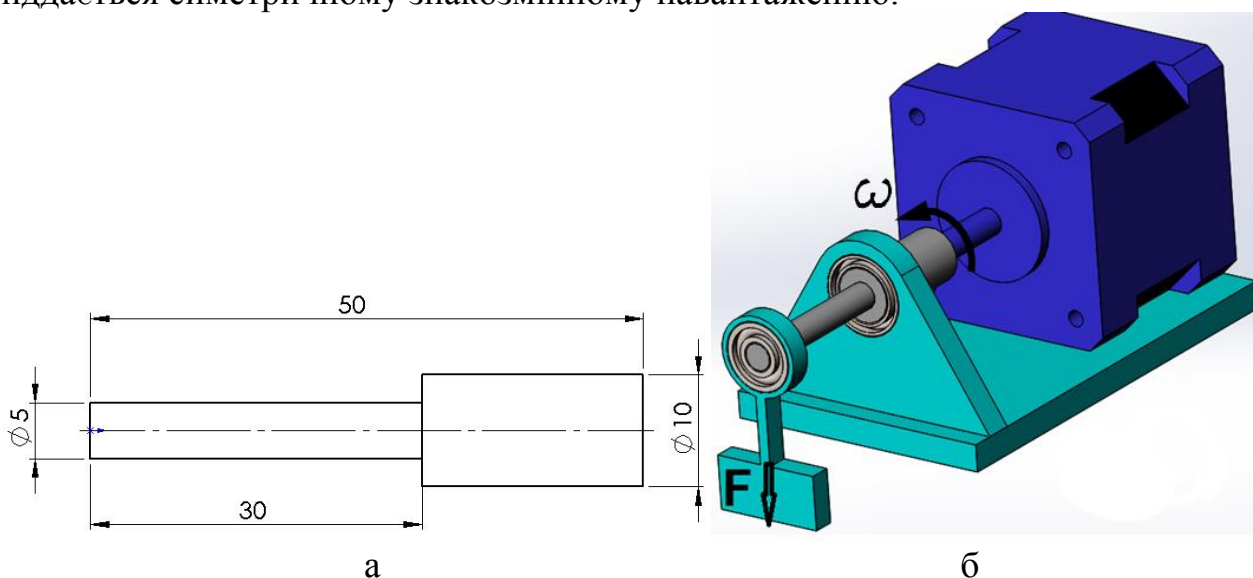
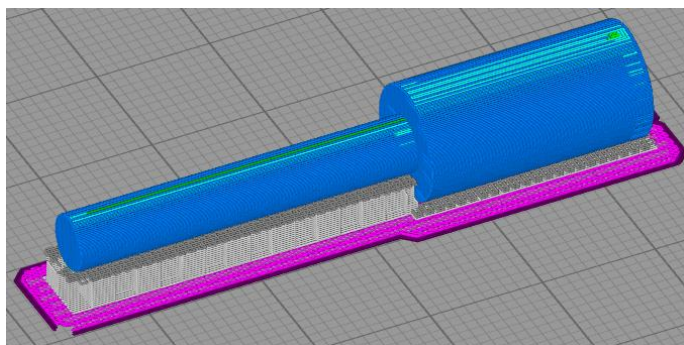


Рисунок 1 – Схема дослідження втомної міцності виробів

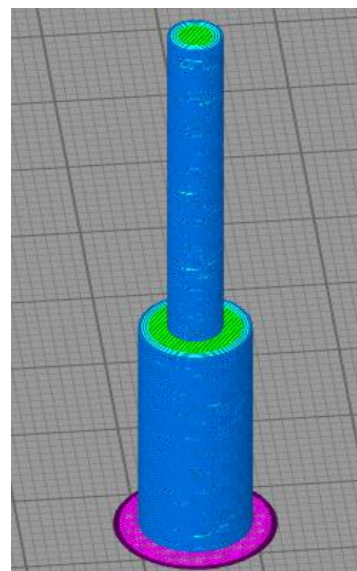
Для проведення досліджень було виготовлено дві групи зразків з повздовжнім (рис. 2а) та поперечним (рис. 2б) розташуванням шарів під час друку. Механічні властивості 3D-друкованих виробів суттєво залежать від параметрів друку. Однак головною метою дослідження є в першу чергу визначення дослідження умов та характеру втомного руйнування таких виробів. Тому всі зразки були виготовлені з однаковими режимами.

Таблиця 1 – Основні параметри друку

Діаметр сопла:	0,2 мм
Товщина шару:	0,1 мм
Температура друку:	260°C,
Температура стола:	110°C,
Температура камери:	60°C,
Заповнення:	100%
Швидкість друку:	40 мм/с



а



б

Рисунок 2 – Способи виготовлення дослідного зразка

Оскільки вироби з ПБТ під час 3D-друку схильні до термодформацій, які викликані частковою його кристалізацією при охолодженні, друк здійснювався в закритому принтері з підігрівом камери.

Було проведено дослідження втомного руйнування деталей з полібутилентерефталату виготовлених методом 3д друку за технологією пошарового наплавлення. На цьому етапі досліджень було встановлено умови виникнення втомного руйнування залежно від амплітуди навантаження та кількості циклів.

Враховуючи вплив інших чинників вважаємо за необхідне проведення більш детальних досліджень.

## Література

1. Phil Reeves The Current Status and Impact of 3D Printing Within the Industrial Sector: An Analysis of Six Case Studies / Phil Reeves, Dinusha Mendis // Published by The Intellectual Property Office March 2015. 86 p.
2. ПБТ – Полібутилентерефталат [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.resinex.com.ua/vidi-polmerv/pbt.html>.
3. Polybutylene terephthalate [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.britannica.com/science/polybutylene-terephthalate>.
4. Plastics in Automotive Engineering [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.smithersrapra.com/SmithersRapra/media/Sample-Chapters/Engineering-Plastics.pdf>.
5. PBT Натуральный [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://monofilament.com.ua/products/inzhinernye-plastiki/pbt/pbt-naturalnyj>.
6. Fatigue lifespan study of PLA parts obtained by additive manufacturing / R. Jerez-Mesa, J.A. Travieso-Rodriguez, J. Llumà-Fuentes та ін.]. // Procedia Manufacturing. – 2017. – С. 872–879.