

УДК 620.172.242

Вплив структури заповнення на міцність PLA-пластику при 3D-друці

О.В. Тимошенко, О.С. Мусієнко, Я.В. Демешко
КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація:** Адитивні технології є перспективним напрямком завдяки його економічності та можливості виготовлення складних деталей із мінімальними затратами. Використання пластмас в адитивних технологіях зумовлене низкою переваг порівняно з іншими матеріалами: невисокою вартістю при задовільних механічних характеристиках, унікальними властивостями, простотою обробки та оптимальним співвідношенням міцності до ваги.*

Актуальним завданням є визначення механічних характеристик і побудова кривих деформації на основі базових експериментів. Це дозволяє більш точно оцінювати ресурс конструктивних елементів як на етапі проєктування, так і в процесі експлуатації для визначення залишкового ресурсу.

У рамках дослідження було проведено експериментальні випробування для визначення механічних характеристик PLA-пластику, який широко використовується в 3D-друці. Для цього підготували 15 зразків з різним заповненням, виготовлених за технологією FDM. Випробування здійснювали відповідно до стандарту ДСТУ EN ISO 527-2:2018 на випробувальній машині TIRAtest 2300.

У результаті експериментів отримано усереднені значення ключових механічних характеристик, зокрема границю міцності та питому міцність матеріалу.

***Ключові слова:** 3D друк, полімери, PLA пластик, міцність, випробування на розтяг.*

В сучасному світі використання 3D-друку кардинально змінило розвиток машинобудування. Його використовують для виготовлення деталей машин, протезів та обладнання. Завдяки можливості створювати складні тривимірні об'єкти шляхом пошарового нанесення матеріалу, ця технологія суттєво скоротила час виготовлення деталей, зменшила витрату ресурсів та відкрила нові перспективи у машинобудуванні.

Сучасні технології 3D-друку охоплюють широкий спектр методів, серед яких є FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Sintering) та MJF (Multi Jet Fusion). Ці методи широко використовуються у різних галузях.

Серед перелічених найпоширенішою є технологія FDM [1], що здобула велику популярність завдяки простоті використання, економічності та можливості працювати з різними типами матеріалів. Її суть полягає у пошаровому нанесенні нагрітого пластикового філаменту, який швидко охолоджується і твердне, формуючи кожний шар майбутнього виробу. Цей метод дозволяє створювати вироби різної складності, починаючи від простих деталей до складних структур із заданими характеристиками міцності та форми.

Поліактид (PLA) – біорозкладний термопласт, який виготовляється на основі молочної кислоти, отриманої з природних ресурсів, шляхом ферментації з відновлюваних ресурсів, таких як цукор, кукурудзяний крохмаль. До переваг можна віднести адаптивність, термопластичність, біосумісність та низьку вартість, що пояснює його популярність для 3D-друку [2].

Міцність виробів, виготовлених за допомогою 3D-друку, залежить від механічних характеристик вихідного матеріалу та схеми його укладання [3], а також від параметрів друку (температура друкувальної голівки, швидкість подавання матеріалу, товщина шару, відстань між лініями укладання тощо). Метою роботи є визначення питомої міцності матеріалу, виготовленого методом 3D-друку, при різному відсотку заповнення.

Для проведення експериментів були підготовані стандартні зразки, згідно стандарту ДСТУ EN ISO 527-2:2018 [4] на Рис. 1. Зразки були надруковані на 3D-принтері Bambu Lab X1-Carbon, з наступними налаштуваннями: кількість стінок – 2 шт, суцільних шарів зверху і знизу – 1 шт, товщина верхньої і нижньої оболонки – 1мм, малюнок верхньої і нижньої оболонки – монотонний, малюнок заповнення – лінія, діаметр сопла – 0.2 мм. Зразки

друкувалися з різним відсотком заповнення: 20 %, 40 %, 60 %, 80 % та 100 %. Після друку їх було зважено та визначено густину для кожного зразку. Всі отримані дані занесено до таблиці 1

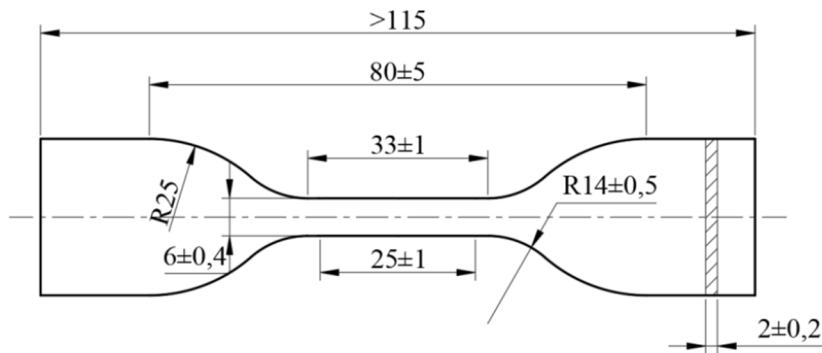


Рис. 1. Схема плоского зразка типу I відповідно до ДСТУ EN ISO 527-2:2018

Таблиця 1

Вплив відсотку заповнення на масу та густину

№ зразку	Заповнення, %	Маса, г	Густина, г/см ³
1	20	3,4	1,0308
2	40	3,7	1,1217
3	60	4,0	1,2126
4	80	4,3	1,3036
5	100	4,6	1,3945

Експериментальні випробування проводились на універсальній розривній машині TIRAtest-2300. Сила вимірювалась за допомогою динамометра з ціною поділки 0,01 Н. Деформації вимірювались з робочої частини зразка за допомогою тензOMETра з ціною поділки 0,001 мм.



Рис. 2. Зразок в затискачах установки

В ході експерименту було випробувано по 3 зразки кожного відсотку заповнення. Після обробки результатів отримано значення границі міцності та питомої міцності для кожного ступеня заповнення. Отримані механічні характеристики наведено в таблиці 2.

Механічні характеристики PLA

№ зразку	Границя міцності, МПа	Питома міцність, МПа·см ³ /г
1	34,65	33,62
2	32,56	29,02
3	34,59	28,53
4	39,72	30,47
5	43,47	31,17

Висновки

Виконано експериментальне визначення границі міцності та питомої міцності 5-ти груп зразків з полімерного матеріалу на основі PLA, виготовлених методом 3D-друку за FDM-технологією на принтері BambulabX1 Carbon.

Найбільшу границю міцності в 43,47 МПа має зразок №5, що має 100 % заповнення. В свою чергу найбільшу питому міцність в 33,62 МПа·см³/г має зразок №1, що має 20 % заповнення. Це означає що даний зразок має найкраще співвідношення міцності до густини, що в свою чергу є найінформативнішою характеристикою при виборі матеріалу для конструктивних елементів.

Отримані значення механічних характеристик матеріалу можна використовувати при проектуванні та розрахунках на міцність деталей, отриманих методом 3D-друку. Вони мають широке застосування в різних галузях, зокрема авіабудування, де питома міцність є ключовим параметром при виборі матеріалу.

Список літератури

1. Zalohin M. Yu., Skliarov V. V., Dovzhenko J. S., Brega D. A. Experimental Determination and Comparative Analysis of the PPH030GP, ABS and PLA Polymer Strength Characteristics at Different Strain Rates. Science & Technique, 2019, no. 18, pp. 233–239. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-233-239>.
2. A review on PLA-based biodegradable materials for biomedical applications - Muzamil Hussain, Shahzad Maqsood Khana, Muhammad Shafiq, Naseem Abbas
3. Effect of printing orientation on strength of 3d printed abs plastics - Linlin Cai, Philip Byrd, Hanyin Zhang, Kate Schlarman, Yi Zhang, Michael Golub, Jing Zhang
4. ДСТУ EN ISO 527-3:2017. Пластмаси. Визначення властивостей під час розтягування. Частина 3. Умови випробування для плівок і листів (EN ISO 527-3:1995; AC:2002, IDT; ISO 527-3:1995; Cor.1:2001, IDT).

Influence of filling structure on the strength of PLA-plastic in 3D printing

O.V. Tymoshenko, O.S. Musiienko, Y.V. Demeshko

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract: Additive technologies are a promising area due to their cost-effectiveness and the ability to manufacture complex parts at minimal cost. The use of plastics in additive technologies is due to a number of advantages over other materials: low cost with satisfactory mechanical characteristics, unique properties, ease of processing, and optimal strength-to-weight ratio.

An urgent task is to determine the mechanical characteristics and build deformation curves based on basic experiments. This allows us to more accurately assess the service life of structural elements both at the design stage and during operation to determine the residual life.

As part of the study, experimental tests were conducted to determine the mechanical characteristics of PLA plastic, which is widely used in 3D printing. To do this, 15 samples with different fillings were prepared using FDM technology. The tests were carried out in accordance with DSTU EN ISO 527-2:2018 on a TIRAtest 2300 testing machine.

As a result of the experiments, the average values of key mechanical characteristics, including tensile strength and specific strength of the material, were obtained.

Keywords: 3D-printing, polymers, PLA plastic, strength, tensile testing.