

ВИПРОБУВАННЯ НА СТИСК ТА РОЗТЯГ ЗРАЗКІВ ПЛАСТИКУ (ABS ТА PLA) ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ 3D ДРУКУ

COMPRESSION AND TENSILE TESTS OF PLASTIC SAMPLES (ABS AND PLA) MADE BY 3D PRINTING

Демчина Б.Г., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-3498-1519, Вознюк Л.І., к.т.н., старший викладач, ORCID: 0000-0001-9512-8338, Сурмай М.І., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-5381-6500, Гавриляк С.А., аспірант, ORCID: 0000-0001-9902-2186, (Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів)

Demchyna B.G., Sc.D., professor, ORCID: 0000-0002-3498-1519, Vozniuk L.I., Ph.D., senior lecturer, ORCID: 0000-0001-9512-8338, Surmai M.I., Ph.D., associate professor, ORCID: 0000-0002-5381-6500, Gavryliak S.A., postgraduate student, ORCID: 0000-0001-9902-2186 (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

У статті описано дослідження фізико-механічних характеристик ABS та PLA пластиків на стиск і розтяг. У результаті досліджень на стиск експериментально отримано кубикову міцність дослідних зразків, а на основі дослідження пластиків на розтяг умовний модуль пружності та побудовано графіки "напруження-деформація". Виконано порівняння експериментальних характеристик ABS та PLA пластиків.

The article describes the use of 3D printing in modern construction and its advantages, a review of literary sources is performed. Today, in many countries, 3D printers are used in the construction of buildings. This requires additional research in this field and the need to determine the strength and deformability of structural elements and structures printed on a 3D printer in general, in particular the material itself, from which the manufacturing process is carried out.

The paper presents the characteristics of test samples made of ABS and PLA plastics, and also describes the methodology of their joint and tensile testing. Based on the tensile test of the samples, the results of the tests are presented in the form of a table, as well as the "Stress-strain" graphs are constructed

To solve the research problem using 3D printing technology, 20 pieces of test samples (10 pieces of PLA plastic and 10 pieces of ABS plastic), namely 10 pieces of cube samples measuring 20x20x20 mm, and 10 pieces of cross-sectional plate samples were made in the experimental zone 20x4 mm. The process of manufacturing test samples is shown in Figure 1, using the example

of making a sample from PLA plastic, which was intended for tensile testing. The study of cube and prism samples for compression was carried out on a PG-250 hydraulic press, with the help of which an external load was applied in N steps until failure.

Tensile plate samples were tested on a R-20 breaking machine, which applied external loads in N stages until the samples were completely destroyed.

A comparison of ABS and PLA plastics was made and it was established that the cubic strength of PLA plastic is 1.25 times higher than the cubic strength of ABS plastic, and the modulus of elasticity of PLA, when tested for tension, is 1.22 times higher than the values obtained when testing ABS plastic.

Ключові слова: пластик, 3D-друк, випробування, міцність, модуль пружності
plastic , 3D printing , testing , strength , modulus of elasticity.

Вступ. На сьогоднішній день в багатьох країнах при зведенні будинків використовують 3D-принтер. В свою чергу це потребує додаткових досліджень в даній галузі і необхідність визначення міцності та деформативності конструктивних елементів та конструкцій в цілому надрукованих на 3D-принтері.

Історія 3D-друку почалася аж у 1981 році в Японії. Саме тоді винахідник Хідео Кодама (Hideo Kodama) запатентував свій “пристрій для швидкого створення прототипу”. У ньому використовувався фотополімер, який, будучи від початку рідким, твердішав під впливом ультрафіолетового світла. Працював він подібно до сучасних принтерів: наносив полімер шар за шаром та давав йому затвердіти; кожен шар був поперечним перерізом майбутньої моделі. Саме цей винахід заклав підвалини стереолітографії. Проте патент Кодами так і не перетворився на широко вживану технологію. Через брак фінансування він не зміг завершити розробку у встановлений термін, і проект було згорнуто.

Технологія 3D-друку набула популярності в різних галузях виробництва. При цьому дана технологія має широкі перспективи в області будівництва. Технологію 3D-друку ще в 1986 році винайшов, а згодом запатентував американський інженер Чак Халл. Процес 3D-друку він назвав стереолітографія.

Процес друку полягає в пошаровому нанесенні матеріалу. При друці використовують різноманітні види матеріалів, від синтетичних смол і пластиків до сталі та бетону.

Протягом останнього часу велику увагу технології 3D друку приділяється саме в сфері будівництва та надруковані за допомогою неї будинки все частіше з’являються в останні роки у різних країнах світу.

На даний момент у світі вже будуються багатопверхові будинки, готелі, адміністративні та промислові корпуси з використанням 3D принтерів.

Також варто зазначити що з даною технологією стрімко почала розвиватись і галузь матеріалознавства. Почали набувати популярності геополімерні бетони, пластмаси та скло [15].

Існуючі на сьогоднішній день 3D принтери для будівництва відрізняються своєю конструкцією та методами зведення стін. Всі вони використовують FDM технологію друку так як вона найбільше підходить для зведення будинків за допомогою пошарового нанесення матеріалу.

Використання полімерних матеріалів в сфері будівництва набуває широкої популярності. По фізичних та механічних характеристиках полімери не поступаються стандартним дерев'яним конструкціям, та як показує практика, полімери поступово витісняють дерев'яні матеріали. Це пов'язано з їх легкістю при використанні під час виробництва, експлуатації та економічності.

При підборі полімеру для друку моделей куполів та зразків для випробувань були розглянуті наступні види полімерів: PLA, ABS, PET, Nylon. PLA пластик станом на сьогодні вважається найкращим в умовах домашнього друку, другий за популярністю ABS пластик.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями, що стосуються дослідженням пластиків займаються дослідники як в Україні [1-5] так і за кордоном [6-14].

На даному етапі розвитку технологій 3D друку обладнання дозволяє створювати різні архітектурні форми та елементи будівель для того щоб в подальшому виконати їх збірку вже на місці будівництва, або дозволяє друкувати цілу будівлю безпосередньо на будівельному майданчику [1-3].

Багато робіт присвячено вивченням матеріалів та виробів, які створені із використанням 3D друку та самій технології виготовлення [4-12].

Перспективним є використання такої методики будівництва у майбутньому при освоєнні космосу [13,14].

Мета дослідження. Виготовити дослідні зразки із використанням 3D-друку із PLA та ABS пластиків, провести випробування зразків кубів та зразків пластин на розтяг з урахуванням загальних принципів діючих нормативних документів.

Задачею дослідження є визначення міцності пластиків при стиску та визначення модулів пружності при розтягу, з отриманням графіків напруження-деформація.

Для вирішення задачі дослідження із використанням технології 3D-друку було виготовлено 20 шт дослідних зразків (10 шт із PLA-пластика та 10 шт із ABS-пластика), а саме 10 шт зразків кубів розміром 20x20x20 мм, та 10 шт зразків пластин перерізом у дослідній зоні 20x4 мм. Процес виготовлення дослідних зразків зображено на рисунку 1, на прикладі виготовлення зразка з PLA-пластика, який призначався для випробування на розтяг.

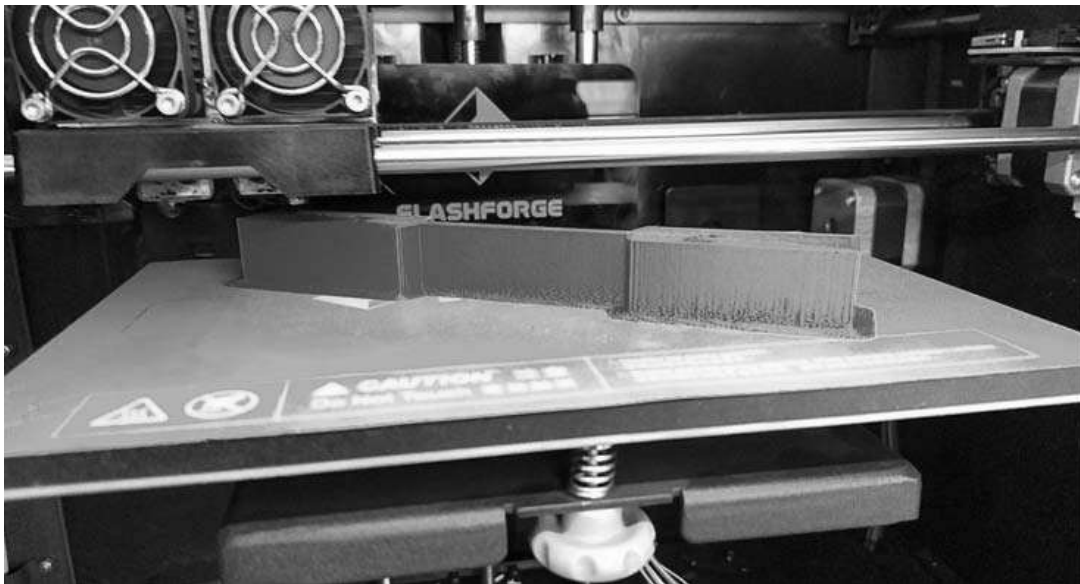


Рис. 1. Виготовлення зразка для випробування на розрив із використанням технології 3D-друку

Дослідження зразків кубів та призм на стиск проводилось на гідравлічному пресі ПГ-250, за допомогою якого прикладалось зовнішнє навантаження N ступенями аж до руйнування. Дослідні зразки кубів зображено на рисунку 2.



Рис. 2. Дослідні зразки кубів для випробування на стиск

Кубикову міцність приймали рівною тимчасовому опору зразка-кубика, випробуваного на силовому пресі та визначали за формулою.

$$R = \sigma_u = \frac{F_u}{A}, \quad (1)$$

Результати випробування зразків кубів, при заданих розмірах зразків, подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробування зразків кубів з PLA та ABS пластиків

№ зразка	Матеріал	F_u , кН	R , МПа	R_m , МПа
1	PLA	48.2	120.5	122.4
2		48.1	121.5	
3		48.3	122.4	
4		47.9	123.3	
5		47.8	124.2	
6	ABS	36.3	96.2	97.8
7		36.2	96.8	
8		36.2	97.7	
9		36.1	98.4	
10		36.4	100.1	

Як видно із таблиці 1 кубикова міцність зразків з PLA-пластика в 1,25 рази перевищує кубикову міцність зразків з ABS-пластика.

Дослідження зразків пластин на розтяг проводились на розривній машині Р-20 за допомогою якої прикладались зовнішні навантаження N етапами до повного руйнування зразків. Дослідні зразки зображено на рисунках 3 та 4.

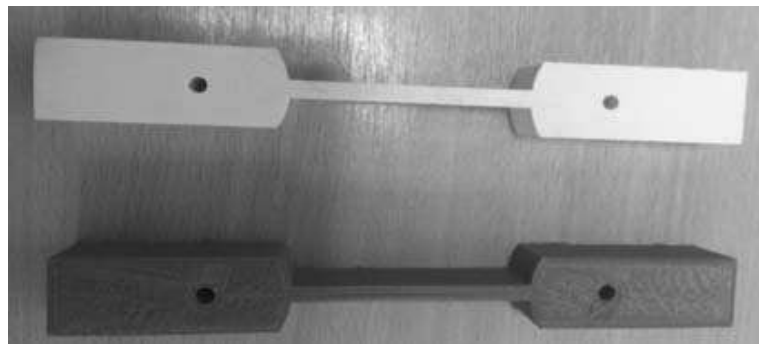


Рис. 3. Дослідні зразки пластин до випробування



Рис. 4. Дослідні зразки пластин після випробування

На основі випробувань було побудовано графіки залежності деформацій від напружень на прикладі випробування зразків із PLA та ABS пластиків на розтяг, які зображено на рисунках 5 та 6.

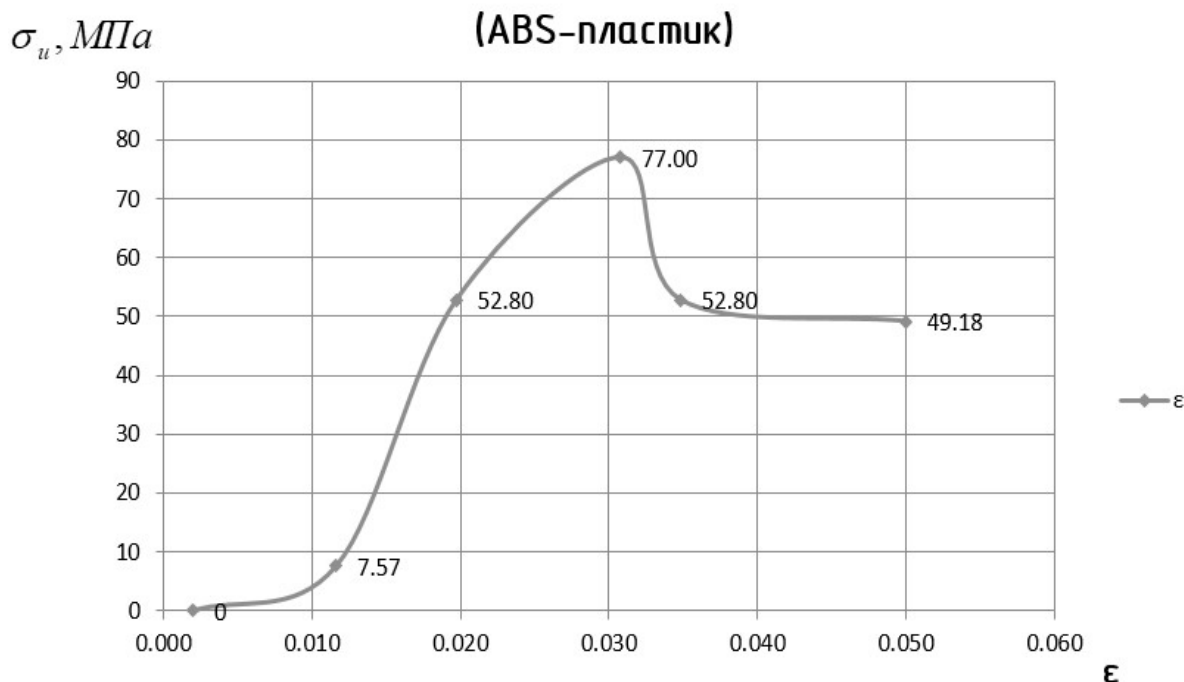


Рис. 5. Графік “Напруження-деформація” при розтягу для ABS-пластика

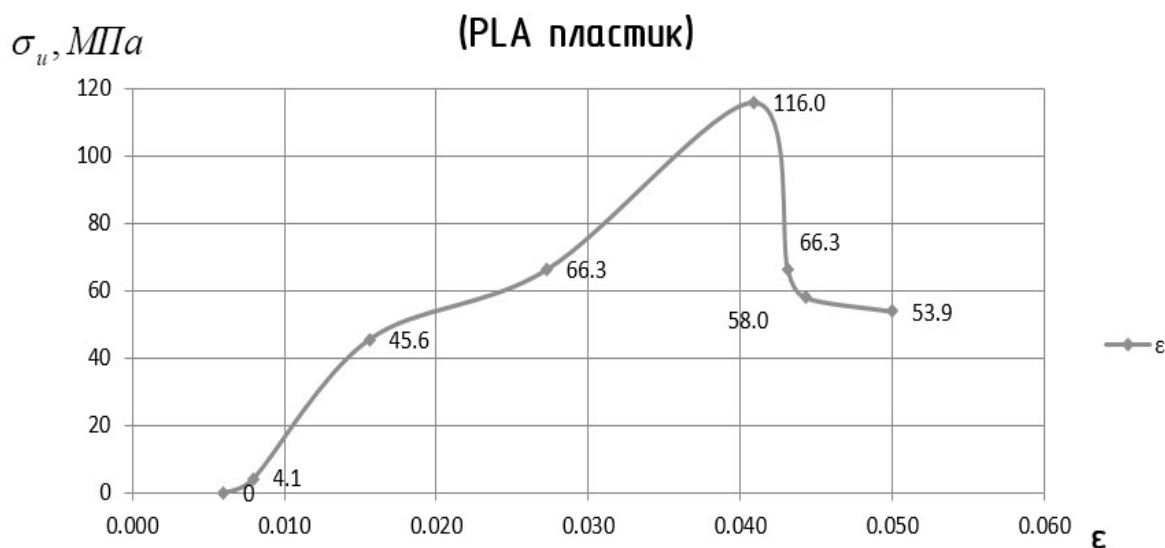


Рис. 6. Графік “Напруження-деформація” при розтягу для PLA-пластика

На основі випробувань було побудовано графіки залежності деформацій від напружень на дослідних даних були визначені модулі пружності матеріалів пластиків, які вказані у таблиці 2.

Результати випробування зразків пластин на розтяг з PLA та ABS пластиків

№ зразка	Матеріал	E , ГПа	E_m , ГПа
1	PLA	2.7	2.73
2		2.45	
3		2.95	
4		2.8	
5		2.75	
6	ABS	2.25	2.22
7		2.3	
8		2.05	
9		2.15	
10		2.35	

Як видно із таблиці 2 модуль пружності зразків з PLA-пластика в 1,22 рази перевищує модуль пружності зразків з ABS-пластика.

Висновки. Аналіз використаних джерел підтверджує, що станом на сьогоднішній день все більш актуальним постає вивчення роботи виробів та конструкцій, які виготовлені із використанням технології 3D-друку, зокрема із пластиків.

У роботі подано характеристики дослідних зразків із ABS та PLA пластиків, а також описано методика їхнього випробування на стиск і розтяг. На основі випробування зразків на розтяг, в табличній формі подані результати випробувань, а також побудовані графіки “Напруження-деформація”

Виконано порівняння ABS та PLA пластиків та встановлено, що кубикова міцність PLA-пластика у 1,25 рази перевищує кубикову міцність ABS пластика, а модуль пружності PLA, при випробування на розтяг у 1,22 рази перевищує значення отримані при випробуванні ABS-пластика.

1. Demchyna B.G., Surmai M.I., Vozniuk L.I., Gavrylyak S.A. , The use of 3D printing in the field of construction (Modern science: innovations and prospects : proceedings of II International scientific and practical conference, Stockholm, Sweden, 7-9 November 2021), pp. 259–266.

2. Gavrylyak S.A. , New technologies in the field of construction. Using 3d printers (Academic Journals and Conferences. JTBP.2021), pp.15-22.

3. Андрійчук О.В., Оласюк П.Я. Застосування 3D-технологій у будівництві. Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві. 2015. Вип. 3. С. 11–18.

Andriichuk O.V., Olasiuk P.Ia. Zastosuvannya 3D-tekhnologii u budivnytstvi. Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunku v budivnytstvi. 2015. Vyp. 3. S. 11–18.

4. Петришина А.А. Тенденції розвитку тривимірного друку, обладнання та матеріалів для нього. Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали IV

Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (25-26 листопада 2015 р.). Тернопіль, 2015. С. 26–27

Petryshyna A.A. Tendentsii rozvytku tryvymirnoho druku, obladnannia ta materialiv dlia noho. Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii : materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv (25-26 lystopada 2015 r.). Ternopil, 2015. S. 26–27

5. Струтинська О.В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 2 : Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. 2018. № 20. С. 88–94.

Strutynska O.V. Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku tekhnolohii tryvymirnoho modeliuвання ta drukuvannia. Naukovyi chasopys NPU imeni M.P. Drahomanova. Seriya 2 : Kompiuterno-oriientovani systemy navchannia. 2018. № 20. S. 88–94.

6. Mst Faujiya Afrose, S. H. Masood, Pio Iovenitti, Mostafa Nikzad, Igor Sbarski, Effects of part build orientations on fatigue behaviour of FDM-processed PLA material, Springer International Publishing Switzerland, 2015

7. Hamidreza Gh.S., Corker J., Fan M. Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an ecoinnovative solution. Automation in Construction. 2018. Vol. 93. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.005> (дата звернення: 27.03.2020)

8. 3D Print Lewis Grand Hotel Erects World's First 3D Printed Hotel, Plans to Print Thousands of Homes in the Philippines Next. 2019. URL: <https://3dprint.com/94558/3d-printed-hotel-lewis-grand> (дата звернення: 27.12.2019).

9. Investigation of the potential for applying freeform processes to construction / R.A. Buswell, R.C. Soar, M. Puddlebury, A.G. Gibb, F.T. Edum-Fowte, T. Thorpe. Proceedings of the 3rd International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC). Rotterdam. The Netherlands. 2005. P. 141–150. URL:<https://dspace.lboro.ac.uk/2134/10144> (дата звернення: 27.03.2020).

10. A. A. Umansky, Industrial, residential and public designer's guidebook built and constructed. Calculation and theoretical. In 2 books. Book 1, 1972. Klymenko Ye.V. Vyznachennia tekhnichnoho stanu budivel i sporud / budivelni konstruksii, vyp. 54, Kyiv: NDIBK, 2001. – S. 301-305.

11. V. I. Tour, Dome constructions: form formation, calculation, construction, efficiency improvement: Teaching manual, 2004.

12. Applications of additive manufacturing in the construction industry – A forward – looking review / D. Delgado, P. Clayton, W.J. O'Brien, C. Seepersad, M. Juenger, R. Ferron, S. Salamone. Automation in Construction. 2018. № 89. P. 110–119. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580517301620> (дата звернення: 27.03.202).

13. Tomaswick A. Mars and Moon Dust can be Turned Into Geopolymer Cement. Good Enough for Landing Pads and Other Structures [Electronic resource] / Andy Tomaswick // Universe Today Space and astronomy news. – 2022. – <http://surl.li/divzd>.

14. Lunar Contour Crafting: A Novel Technique for ISRU-Based Habitat Development / [B. Khoshnevis, M. P. Bodiford, K. H. Burks and oth.]. // American Institute of Aeronautics and Astronautics Conference. – 2005. – №1. – pp. 1–12.

15. Demchyna B., Surmai M., Tkach R. The experimental study of glass multilayer columns using digital image correlation // Archives of Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 96, iss.1. – P. 32–41.