

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
до виконання лабораторної роботи

«Дослідження можливостей фрезерування деталей  
на верстаті з ЧПК після FDM–друку»

для студентів спеціальності  
G9 «Прикладна механіка»  
освітньої програми «Технології машинобудування»  
усіх форм навчання

2025

Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Дослідження можливостей фрезерування деталей на верстаті з ЧПК після FDM–друку» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітньої програми Технології машинобудування усіх форм навчання / Укл. доц. Пухальська Г.В., асп. Комісаров О.О. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025 – 11 с.

Укладачі: Пухальська Г.В., к.т.н., доц. каф. ТМБ  
Комісаров О.О., асп. каф. ТМБ

Рецензент: Козлова О.Б., к.т.н., доцент кафедри ТМБ

Відповідальний за  
випуск Дядя С.І., к.т.н., доцент, зав. каф. ТМБ

Затверджено на засіданні кафедри  
«Технологія машинобудування»  
Протокол № 1  
від 06 серпня 2025 р.

Рекомендовано до видання  
НМК МФ  
Протокол № 1 від 26.08.2025 р.

## **1 Мета роботи**

Провести дослідження можливості фрезерування зразків з різних полімерних матеріалів після їх виготовлення 3D-друком методом FDM (Моделювання методом наплавлення), визначити оптимальні режими фрезерування, які поліпшують якість поверхні та точність розмірів.

## **2 Необхідне обладнання та матеріали**

- 2.1 3D-принтері RepSystem V2.1.
- 2.2 Програма для створення G-коду PrusaSlicer.
- 2.3 Фрезерний верстат з ЧПК Profi+Wood.
- 2.4 Профілометр 171621.
- 2.5 Механічний мікрометр МК 25 ГОСТ 6507-90 з точністю 0,01 мм.
- 2.6 Цифровий мікроскоп MikroView 500x.
- 2.7 Матеріали для 3D-друку: ABS, PLA, PC, CoPET, PBT, PA(Nylon).
- 2.8 Ттвердосплавні однозубі та трьохзубі спіральні кінцеві фрези діаметром 3мм та двозуба з прямими канавками.
- 2.9 Двозуба фреза зі сферичним торцем.
- 2.10 Методичні вказівки до лабораторних робіт.

## **3 Загальні положення та відомості**

Аддитивні технології - одна з форм технологій виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом послідовного накладання одного шару матеріалу на інший (друку, спікання). Основними напрямками вдосконалення методів і технологій тривимірного друку є підвищення точності і швидкості виготовлення деталей, розширення номенклатури застосовуваних і використовуваних одночасно

матеріалів, усунення дефектів друкованої продукції [1]. Технологія FDM (Fused Deposition Modelling) - моделювання методом пошарового наплавлення була запатентована в 1989 році Скоттом Крампом, одним із співзасновників компанії Stratasys [2]. FDM застосовується для створення тривимірних моделей, макетів, виробів до яких не пред'являються особливі вимоги до якості поверхні і точності виготовлення. В якості витратних матеріалів доступні всілякі термопластики, композити, полікарбонати, поліаміди, полістирол, лігнін та багато інших. Моделювання методом FDM застосовується для швидкого прототипування та слугує недорогою альтернативою стандартним методам при виготовленні у дрібносерійному виробництві [3-6].

На даний час технологія 3D-друку не завжди дозволяє отримати виріб, готовий до використання. За рахунок його пошарового створення при 3D-друці (зокрема FDM методом) досить часто стає проблема додаткової обробки для поліпшення форми та якості поверхні. Фрезерування деталей після 3D-друку є додатковим процесом обробки для покращення якості поверхні або досягнення певних характеристик деталей. Якість поверхні після фрезерування залежить від декількох факторів, включаючи вихідну якість FDM друку, матеріал, що використовується при цьому, параметри фрезерування та стан фрезерного верстата.

#### **4 Порядок виконання лабораторної роботи**

4.1. Визначити товщину шару пластику при друку, щоб забезпечити достатню для з'єднання адгезію.

4.2. Обробити зразки фрезою та дослідити; вибрати оптимальну висоту шару.

4.3. Провести дослідження з вибору щільності заповнення та коефіцієнту екструзії при друкуванні зразків з оптимальною висотою шару.

4.4. Профрезерувати верхні шари зразків та дослідити наявність пор в структурі за допомогою цифрового мікроскопа MikroView 500x.

4.5. Визначити параметри друку щодо товщини шару пластику, щільності заповнення та коефіцієнту екструзії. Надрукувати зразки з

різних матеріалів пластика (ABS, CoPET, PLA, Nylon, PBT та PC), використовуючі визначені параметри.

4.6. Навести результати фрезерування зразків з різних матеріалів. Результати занести в табл. А.1, дод. А.

4.7. Дослідити можливість фрезерування при забезпеченні потрібної точності на зразках з пластику при отриманні заданих розмірів (товщини стінки 1 мм з одного боку та 18 мм з іншого). Результати вимірювань занести в табл. Б.1, Б.2 дод. Б. Зробити висновки щодо точності розмірів та відповідності якості.

4.8. Для визначення впливу режимів різання на шорсткість профрезерованої поверхні виміряти шорсткість вихідної поверхні та на поверхнях оброблених зразків дослідити шорсткість після фрезерування за режимами:

- постійної частоти обертання шпинделя і змінної подачі;
- постійної подачі та змінної частоти обертання шпинделя.

Результати вимірювань занести в табл. С.1, дод. С.

Зробити висновки та надати рекомендації щодо оптимальних режимів фрезерування.

4.9. За результатами проведених досліджень надати висновки щодо можливості пост-обробки фрезеруванням зразків, отриманих 3D-друком FDM методом:

- для яких матеріалів найбільш доцільно виконувати пост-обробку фрезеруванням;
- які режими фрезерування доцільно використовувати для досягнення найменшої шорсткості;
- яку точність розмірів при пост-обробці пластиків після 3D-друку можливо досягти фрезеруванням на верстаті з ЧПК;
- надати технологічні рекомендації щодо пост-обробки фрезеруванням зразків, отриманих 3D-друком FDM методом.

## **5 Контрольні питання**

- 5.1 Що таке пост-обробка?
- 5.2 Які види пост-обробки ви знаєте?
- 5.3 Для чого потрібна пост-обробка?
- 5.4 Назвіть прибор, на якому вимірювали шорсткість поверхні?
- 5.5 Яким чином досліджували точність після фрезерування?
- 5.6 Назвіть основні елементи конструкції 3D-принтеру ?
- 5.7 Які види фрез застосовували при фрезеруванні?
- 5.8 Як визначали наявність пор на зразках?
- 5.9 Суть методу FDM-друку?

## **6 Вимоги з техніки безпеки**

- 6.1 У аудиторіях, слід строго виконувати правила внутрішнього розпорядку.
- 6.2 Помітивши порушення інструкції іншими особами або небезпеку для навколишнього середовища, повідомити викладача.
- 6.3 При виявленні запаху гару негайно вимкнути апаратуру, удруге не включати і звернутися до викладача.
- 6.4 Оглянути і переконатися в справності обладнання, електропроводки. У разі виявлення несправностей до роботи не приступати.
- 6.5 Перевірити наявність і надійність захисного заземлення обладнання.
- 6.6 Під час роботи на 3D-принтері не допускається розташування робочого місця в приміщеннях без наявності природної або штучної вентиляції.
- 6.7 Для захисту пластику на катушці від прямих сонячних променів повинні передбачатися сонцезахисні пристрої (штори, плівка з металізованим покриттям, регульовані жалюзі з вертикальними панелями та ін.).
- 6.8 Перевірити справність вимикачів та інших органів управління 3D-принтером.
- 6.9 При виявленні будь-яких несправностей, принтер не вмикати та негайно довести до відома керівника про це.

6.10 Ретельно провітрити приміщення з 3D-принтером, переконатися, що мікроклімат у приміщенні перебуває в допустимих межах: температура повітря в холодний період року - 22-24<sup>0</sup>С, у теплий період року - 23-25<sup>0</sup>С, відносна вологість повітря 40-60%.

6.11 Забороняється переміщати і переносити 3D-принтер під час друку.

6.12 Не відкривати дверцята і не знімати загородження на верстаті, що працює.

6.13 Не торкатися різального інструменту, патрона, заготівлі до повної зупинки.

### **Забороняється**

6.14 Залишати своє робоче місце без відома викладача.

6.15 Вмикати і вимикати (крім аварійних випадків) устаткування і механізми, робота на яких не доручена.

6.16 Торкатися до струмопровідних частин, електричних дротів (навіть ізольованих), кабелів, клем, наступати на переносні дроти на підлозі.

6.17 Відволікатися сторонніми справами і розмовами, ходити по приміщенню, відволікаючи інших.

### Перелік джерел посилання

1. Муравйов, О.В. Сучасний стан та перспективи розвитку адитивних технологій [Текст] / О.В. Муравйов, Ю.М. Нижник, В.Ф. Петрик, А.Г. Протасов, К.М. Сєрий // Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського; серія: Технічні науки. – 2021. – Том 32.– № 5. – С. 114 – 119.
2. Bryll, Katarzyna, et al. Polymer composite manufacturing by FDM 3D printing technology [Text] // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. – 2018. –Vol. 237.
3. 3D друк в умовах біомедичного використання [Електронний ресурс]: конспект лекцій з дисципліни «3D друк в умовах біомедичного використання» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Б. В. Єфре-менко. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 56 с. / Режим доступу: <https://events.pstu.edu/bioart/wp-content/uploads/sites/3/2020/04/3d-printing-for-biomedical-applications-lec.pdf>
4. Williams, L. Additive Manufacturing or 3D Scanning and Printing, Manufacturing Engineering Handbook, 2nd ed. [Text] / L. Williams. McGraw-Hill Education, 2016. – 459 p.
5. Turner, B. N. A review of melt extrusion additive manufacturing processes [Text] / B. N. Turner, R. Strong, A. Scott // Gold Rapid Prototyping Journal. – 2014. – Vol. 0(3). –P. 192–204.
6. Bourella D. A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead [Electronic resource] / Bourella D., J. Beaman, M.C. Leub, D. Rossen // RosencRapidTech US-Turkey Workshop on Rapid Technologies, Istanbul. – 2009. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/304497852\\_A\\_brief\\_history\\_of\\_additive\\_manufacturing\\_and\\_the\\_2009\\_roadmap\\_for\\_additive\\_manufacturing\\_Looking\\_back\\_and\\_looking\\_ahead](https://www.researchgate.net/publication/304497852_A_brief_history_of_additive_manufacturing_and_the_2009_roadmap_for_additive_manufacturing_Looking_back_and_looking_ahead)



## Додаток Б

Таблиця Б.1 – Результати вимірювання на моделі розміру 18 мм після фрезерування

Номер зразка	Номер точки заміру			Розкид значення, мм	Найбільше відхилення від номіналу, мм
	1	2	3		
1					
2					
3					
4					
5					

Таблиця Б.2 - Результати вимірювання на моделі товщини стінки 1мм після фрезерування

Номер зразка	Номер точки заміру		Розкид значення, мм	Найбільше відхилення від номіналу, мм
	1	2		
1				
2				
3				
4				
5				

## Додаток С

Таблиця С.1 - Результати вимірювання шорсткості оброблених поверхонь

Номер зразка	Номер ділянки на зразку	S, мм/хв	п, об/хв	Ra, мкм
Однозуба фреза				
1	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
2	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
Трьохзуба фреза				
3	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
4	1			
	2			
	3			
	4			
	5			