

МЕХАНІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ FDM ВИРОБІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ

¹Державний університет «Житомирська політехніка»

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Розглянуто питання підвищення якості поверхні виробів, виготовлених методом FDM-друку, з метою подальшого формування гальванічних покриттів. Обґрунтовано необхідність механічної обробки поверхні для досягнення достатньої шорсткості та точності, необхідних для нанесення функціонально орієнтованих покриттів. Запропоновано врахування гетерогенної та порожнистої структури FDM-матеріалів при виборі методів лезової обробки. Визначено, що оброблення адитивних виробів має свої особливості, пов'язані з розподілом навантажень між шарами та волокнами, а також із структурною неоднорідністю. Окреслено перспективи подальших досліджень впливу мікрodefектів поверхні на механічні характеристики виробів після нанесення покриття.

Ключові слова: FDM, адитивне виробництво, поверхнева обробка, шорсткість

Адитивне виробництво стало одним із поширених рішень у різних галузях промисловості завдяки можливості відтворення виробів складної геометрії [1]. У той же час є ряд обмежень, що стримують використання деталей: значно менша в порівнянні із компактними матеріалами механічна міцності, обмежена теплова стійкість, особливості структурного та мікрогеометричного стану поверхні, який, зазвичай, далекий від необхідного рівня точності та шорсткості.

Одним з прийомів розширення сфер застосування виробів, отриманих адитивними процесами, зокрема, FDM, є формування функціонально орієнтованих покриттів на поверхні виробу [2]. Проте в цьому випадку досить гостро постає питання якості поверхні адитивного виробу, що є основним критерієм при прогнозуванні результатів процесу формування покриття.

Відомо, що на якість поверхні впливають: режими друку, властивості філаменту, топологія виробу (підтримки), спосіб його відтворення (орієнтація при виготовленні).

Метою роботи є визначення необхідних параметрів поверхні адитивного виробу після механічного оброблення для подальшого формування функціонально орієнтованого покриття з розробкою відповідних рекомендацій.

Якість поверхні є одним з факторів що впливає на корозостійкість, механічні властивості та зносостійкість [3]. Для відтворення деталей із полімерних мас ці питання не є актуальними, однак проблема інженерного використання деталей, отриманих, наприклад, FDM, полягає в необхідності забезпечення максимальної межі міцності, тривалої міцності, щільності виробу, тобто його спроможності сприймати тривале термобаричне навантаження. Оптимізація режимів друку, таких як швидкість, температура і товщина шару, сприяє підвищенню якості поверхні, але має природні обмеження викликані принципом пошарового друку. Для покращення якості поверхні та функціональних властивостей 3D-друкованих виробів необхідним є фінішне механічне оброблення поверхонь (постоброблення).

Аналіз мікроструктур адитивного виробу (Рис.1) показує гетерогенну природу матеріалу, наявність значної кількості порожнин, неоднорідність площинок адгезивного зчеплення, і, як результат складність досягнення однорідної шорсткості поверхні та стабільності вихідних властивостей виробу [4].

Процес лезвійної обробки має складу природу, обумовлену не тільки матеріалами, використовуваними при друці, а й структурою виробу, його схильністю до непередбачуваної поведінки від дії різального клина.

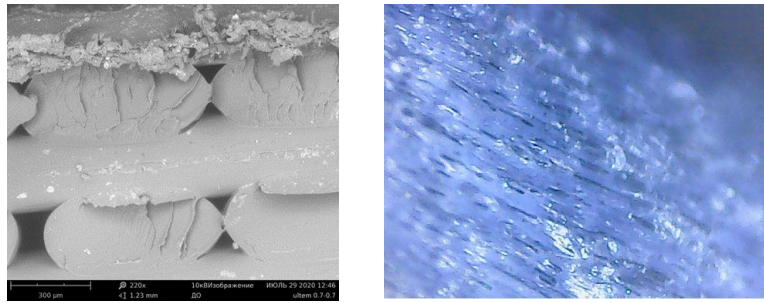


Рисунок 1 – Структура виробу із неармованого (а) та армованого матеріалу, створеного FDM

Для встановлення НДС при механічному обробленні та з метою визначення місць утворення можливих дефектів виконали моделювання поведінки матеріалу в квазістатичних умовах, обравши модель Джонсона-Кука [5] для опису поведінки тіл – аморфних полімерів:

$$\bar{\sigma} = (\bar{\varepsilon}^p, \dot{\bar{\varepsilon}}^p, T) = A + B (\bar{\varepsilon}^p)^n \left[1 + C \ln \frac{\dot{\bar{\varepsilon}}^p}{\dot{\bar{\varepsilon}}_0^p} \right]^{1 - \Theta^m}, \quad \Theta = \frac{T - T_0}{T - T_m}$$

де $\bar{\varepsilon}^p$ – деформаційне зміцнення, $\dot{\bar{\varepsilon}}^p$ – чутливість до швидкості деформації, A і B – константи матеріалу, n – показник деформаційного зміцнення, C – параметр чутливості до швидкості деформації, m – температурна чутливість, T_0 – початкова температура, T_m – температура плавлення.

Неоднорідна порожниста структура адитивного матеріалу обумовлює перерозподіл навантажень між компонентами викладання (рис.2), що свідчить про появу дефектів поза межами безпосереднього силового впливу.

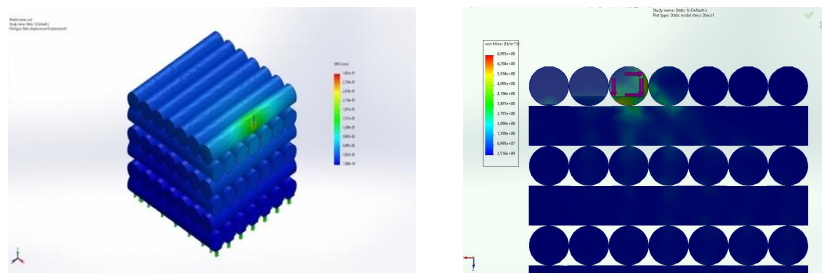


Рисунок 2 – Розподіл навантажень між елементами структури адитивного виробу

На основі виконаних розрахунків було встановлено місця виникнення розривів і відшарувань ниток у вертикальній та горизонтальній площинах, та визначено товщину осадження покриття, яке гарантовано має перекрити такі дефекти.

Осаджене покриття перевіряли на щільність встановленням зразків у вакуумну камеру з контролем рівня натікання повітря крізь виріб за певний час.

На основі результатів досліджень зроблено висновки щодо призначення режимів постоброблення: обробку слід виконувати різальним інструментом із загостреним клином кути $\alpha = 5 \dots 12^\circ$, $\gamma = 10 \dots 15^\circ$, $\varphi = 30 \dots 45^\circ$. Використання гострозаточених інструментів дозволяє отримувати досить високу якість поверхневого шару на матеріалі PLA: $R_a = 3,0 \dots 3,6$ мкм, $R_z = 20 \dots 40$ мкм. При цьому забезпечення функціональних властивостей виробу можливе при мінімальній товщині осадженого шару металу на рівні $0,2 \dots 0,25$ мм

Подальші дослідження необхідні, щоб визначити, як методи обробки поверхні впливають на мікро- і нанотріщини, впливаючи на механічні властивості, такі як міцність на розрив і втомлюваність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. J. M and V. B. K. M, "An Overview of Extensive Analysis of 3D Printing Applications in the Manufacturing Sector," Journal of Engineering, 2023/12// 2023.
2. G. Thompson and M. J. Mahtabi, "Advancing Manufacturing Efficiency: Electroplating Nickel onto 3D-Printed Polymer," in Solid Freeform Fabrication 2024, 2024, pp. 648–657.
3. J. L. Davila, M. S. de Freitas, P. Inforçatti Neto, Z. d. C. Silveira, J. V. L. da Silva, M. A. d'Avila, ' J. Appl. Polym. Sci. 2016, 133, e43031.
4. Yan, Y.; Mao, Y.; Li, B.; Zhou, P. Machinability of the Thermoplastic Polymers: PEEK, PI, and PMMA. Polymers 2020, 13, 69.

5. Garcia-Gonzalez, D.; Rusinek, A.; Jankowiak, T.; Arias, A. Mechanical impact behavior of polyether–ether–ketone (PEEK). *Compos. Struct.* 2015, 124, 88–99.

Орел Вадим Миколайович, к.т.н., докторан Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, deoxis24@gmail.com

Саленко Олександр Федорович д.т.н., проф., професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, salenko2006@gmail.com

Мельничук Петро Петрович, д.т.н., проф., професор Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, melnichukpp1952@ztu.edu.ua

MACHINING OF FDM PRODUCTS FOR FURTHER GALVANIC COATING

Abstracts.

The article deals with the issue of improving the surface quality of products manufactured by FDM printing for the purpose of further formation of galvanic coatings. The necessity of surface machining to achieve sufficient roughness and accuracy required for the application of functionally oriented coatings is substantiated. It is proposed to take into account the heterogeneous and hollow structure of FDM materials when choosing methods of blade processing. It is determined that the processing of additive products has its own characteristics associated with the distribution of loads between layers and fibers, as well as with structural heterogeneity. Prospects for further research on the influence of surface microdefects on the mechanical characteristics of products after coating are outlined.

Keywords: FDM, additive manufacturing, surface treatment, roughness.

Orel Vadym, PhD, Doctoral Candidate, State University “Zhytomyr Polytechnic”, Zhytomyr, deoxis24@gmail.com

Salenko Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, salenko2006@gmail.com

Melnichuk Petro, Doctor of Technical Sciences, Professor, State University “Zhytomyr Polytechnic”, Zhytomyr, melnichukpp1952@ztu.edu.ua