

Олександр Дмитрович Петров¹, Євген Валентинович Корбут²

¹аспірант кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сікорського (Київ, Україна)

E-mail: petrovsasha69@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-9995-2246>

²кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сікорського (Київ, Україна)

E-mail: korbut1@i.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1221-4052>

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СВЕРДЕЛ ІЗ ДИСКРЕТНО МОДИФІКОВАНИМИ РОБОЧИМИ ПОВЕРХНЯМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОТВОРІВ У ДЕТАЛЯХ ІЗ ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Питання використання різального інструменту з модифікованими робочими поверхнями у вигляді дискретних ділянок для обробки деталей із волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ) на сьогодні недостатньо вивчене. Одним з основних параметрів, що впливає на якість обробленої поверхні деталі з ВПКМ являється температура, що виникає в зоні різання. За даними наукових досліджень одним зі шляхів підвищення якості обробки різанням є зменшення часу контакту різальної кромки з оброблюваним матеріалом ВПКМ. Запропонована в роботі концепція, що при використанні різального інструменту з модифікованими робочими поверхнями у вигляді дискретних ділянок з регулярно розташованими на них глобулами, що являють собою різальні елементи, за рахунок дискретизації робочої поверхні процес являється переривчастим різанням, тобто час контакту різальної кромки з поверхнею ВПКМ зменшується, що в свою чергу дозволяє підвищити якість обробленої поверхні виробу. Для підтвердження цієї гіпотези проведено відповідні експерименти, результати яких показали зменшення товщини дефектного шару в порівнянні з рекомендованим для використання інструментом.

Ключові слова: процес різання; волокнисті полімерні композитні матеріали (ВПКМ); покриття дискретної структури, якість поверхні, дефектний шар.

Рис.: 4. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Одним з основних споживачів деталей із ВПКМ є авіакосмічна галузь, автомобілебудування та машинобудування [1; 2]. Однак одним зі стримуючих фактором більш широкого впровадження виробів з ВПКМ є їхня висока вартість, не технологічні у виготовленні, оскільки при механічній обробці деталей із ВПКМ стикаються з такими проблемами:

1. Складність отримання високої якості оброблених поверхонь (необхідної шорсткості, точності, відсутність сколів, ворсистості тощо за рахунок анізотропії властивостей матеріалу, низьким адгезійним зв'язком між армуючим матеріалом та матрицею.
2. Низькою теплопровідністю ВПКМ, у результаті чого відбувається малий відвід тепла із зони різання.
3. Інтенсивне абразивне зношення різального інструменту за рахунок впливу твердого наповнювача ВПКМ.
4. Низька продуктивність процесу через низькі швидкості різання.
5. Пружне відновлення (усадка) формоутворених поверхонь полімерних композиційних матеріалів знижує точність обробки.
6. Виділення дрібнодисперсних летких токсичних частинок ПКМ під час обробки.

Підвищення якості та точності оброблених поверхонь виробів з ВПКМ є одним із пріоритетних завдань у машинобудівній, авіакосмічній та інших галузях промисловості.

Постановка проблеми. До обробки різанням ВПКМ, як до технологічного процесу ставляться вимоги щодо забезпечення якості отриманих поверхонь, продуктивність технологічного процесу, економічність. Одним із найбільш важливим для авіабудівної промисловості є показник якості отриманої поверхні у виробі з ВПКМ, оскільки дефекти поверхні негативно впливають на експлуатаційні показники й довговічність виробу. Проте важливим завданням є підвищення якості обробленої поверхні зі збереженням продуктивності процесу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні проводиться багато досліджень з вивчення умов забезпеченню якості процесу обробки ВПКМ різанням. Багато робіт присвячено вивченню механіки руйнування, мікро- та макроруйнуванню волокнистих полімерних композиційних матеріалів [2].

Дослідження проводяться з розробки нових видів обробки різанням, таким як, наприклад, гідрорізання та ультразвукового різання [3], застосування нових прогресивних схем різання – із застосуванням реверсивного руху [4], дослідженню та розробки нових конструкцій та геометрії різального інструменту [5], визначенню оптимальних режимів обробки [6], нових інструментальних матеріалів та покриттів на різальний інструмент для обробки ВПКМ [7]. Останнім часом велику увагу приділяють надшвидкісному різанню [8] та вібраційному різанню [9], що значною мірою підвищують якість отриманих виробів із ВПКМ без втрати продуктивності обробки.

Але у більшості випадків з підвищенням якості обробки виробів з ВПКМ знижується продуктивність, а застосування альтернативних методів обробки потребує використання більшого за вартістю обладнання, допоміжних пристосувань, що, зрештою, призведе до збільшення собівартості виробу.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На сьогодні багато досліджень проводяться з пошуку нових за складом покриттів, які дозволять підвищити зносостійкість інструменту для обробки деталей з ВПКМ і завдяки цьому підвищити працездатність різального інструменту – підвищити продуктивність обробки без зниження якості отриманих виробів. Проте роботи проводились з покриттями суцільного типу, дослідження з дискретизація поверхні покриттів та впливу топографії даних дискретних покриттів на якість обробленої поверхні деталей з ВПКМ не проводились і потребують подальших досліджень.

Якість поверхневого шару – важлива експлуатаційна характеристика, що впливає на якість спряжених поверхонь, їхню герметичність, довговічність та інше.

Так, дослідження [2] показали, що зміна товщини дефектного шару впливає на фізико-механічні властивості деталі, такі як міцність, твердість, стійкість до вологопоглинання, діелектричні властивості та інші.

Дослідження показали, що зі збільшенням глибини дефектного шару ВПКМ від 50 до 350 мкм знижується статична міцність на розтяг в 1,5 раза. А на стиск у 1,25 раза, тобто для збереження міцності композита після механічної обробки необхідно забезпечити такі умови різання, при яких глибина дефектного шару буде мінімальна.

Межа міцності на вигин та зсув також мають тенденцію на зменшення при збільшенні товщини дефектного шару, що проявляється наявністю концентраторів напружень на границі дефектного шару та матеріалу композита. Дослідження показали, що зменшення міцності на вигин проявляється при товщині дефектного шару від 50–350 мкм. Зі збільшенням товщини дефектного шару зменшується межа витривалості.

Таким чином, можна зробити висновок, що зі збільшенням товщини дефектного шару знижується статична, ударна та втомна міцність ВПКМ.

Постановка задачі. Для забезпечення експлуатаційних характеристик виробу з ВПКМ необхідно створити такі умови різання, при яких товщина дефектного шару була б мінімальна при його обробці.

Виклад основного матеріалу. Щоб підтвердити гіпотезу, що при використанні різального інструменту з модифікованими робочим поверхнями у вигляді дискретних ділянок із регулярно розташованими на них глобулами за рахунок дискретизації робочої поверхні процес є переривчастим різанням, тобто час контакту різальної кромки з поверхнею ВПКМ зменшується, що своєю чергою дозволяє підвищити якість обробленої поверхні виробу та визначити можливість використання даного інструменту проведено відповідні експериментальні дослідження.

Для визначення залежностей впливу фактору архітектури дискретного покриття глобулярної структури нанесеного на робочі поверхні інструменту на величину дефектного шару обробленого виробу з ВПКМ було проведено експериментальні дослідження, які склались із шести експериментів. У дослідженнях використовувались свердла зі ШР сталі Р6М5 DIN EN 17350 (ISO 4957) Ø8 мм з модифікованою робочими поверхнями покриттям $TiCrB_2+AlN$ у вигляді дискретних ділянок з регулярно розташованими на них глобулами товщиною $h = 3$ мкм, конструкція яких представлена на рис. 1 та рекомендовані, за даними літературних джерел свердла Guhring 732, робоче креслення якого представлено на рис. 2.

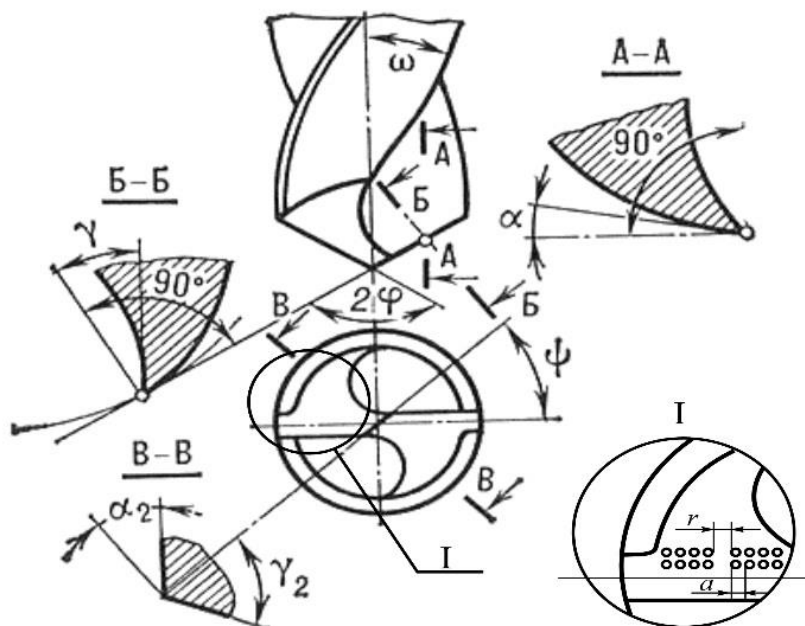
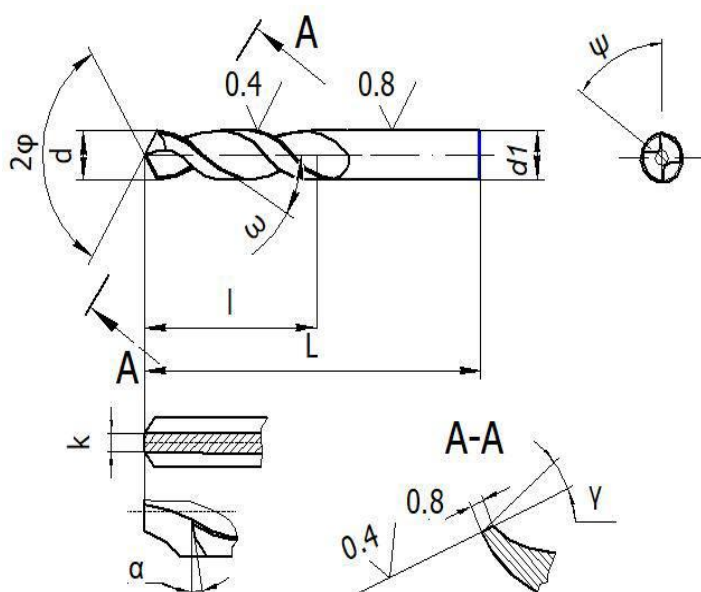


Рис. 1. Свердло гвинтове з нанесеним на його поверхні дискретним покриттям глобулярного типу; висота покриття $h = 3$ мкм, $r = 0,25$ мм, $a = 2,5$ мкм



d	8h7
2ϕ	118
$d1$	8h11
ω	27
L	117
l	66
k	2.06
γ	8
α	8..12
ψ	45..55

Рис. 2. Робоче креслення свердло Guhring 732

Режими різання представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Режими свердління склопластику марки СТЕФ-У

№ з/п	V, м/сек	S, мм/об	h, мкм
1.	0,3	0,4	3

Експеримент проводився на верстаті 1К62.

Результати експериментів представлені на рис. 3 та 4.

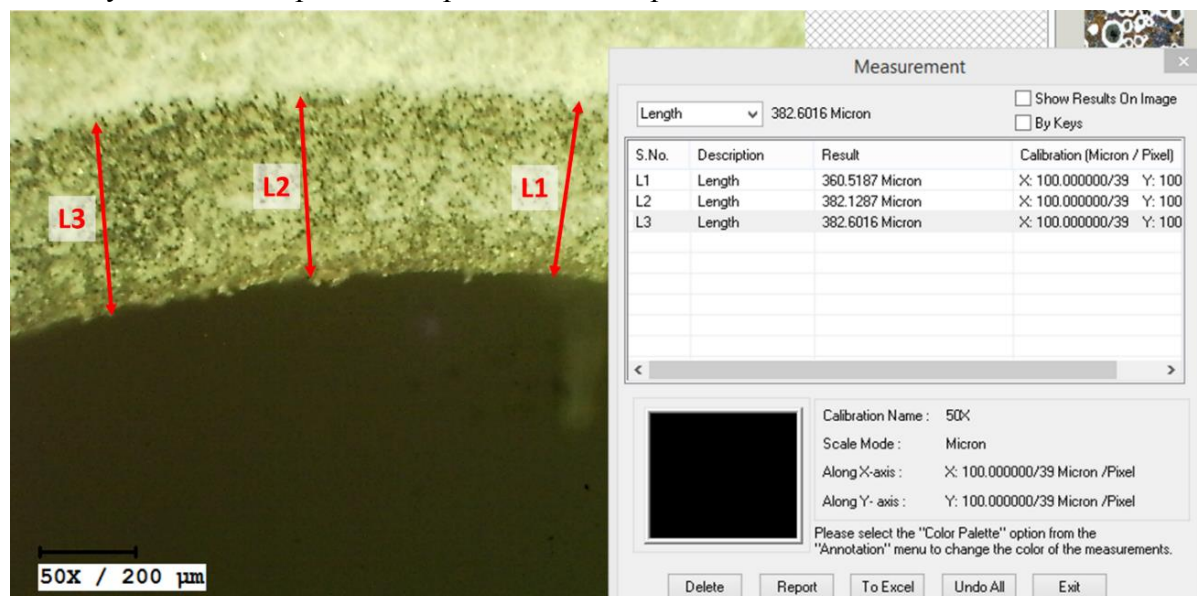


Рис. 3. Товщина дефектного шару при обробці ВПКМ свердлами Guhring 732

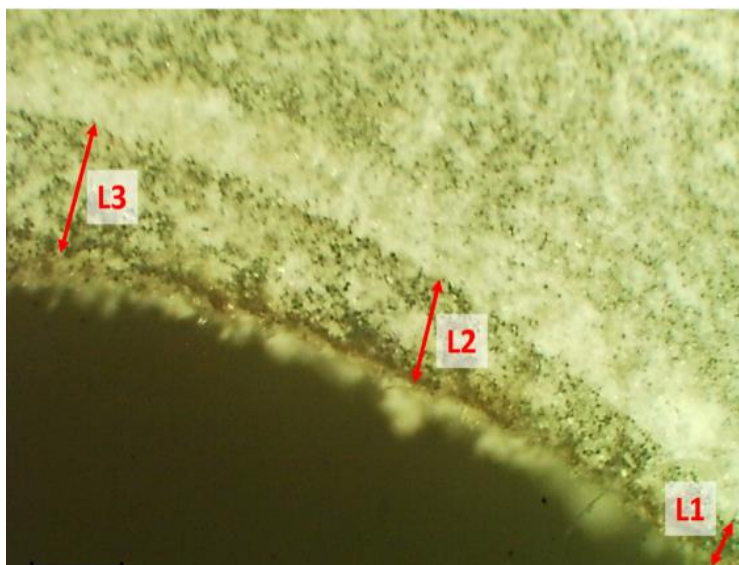


Рис. 4. Товщина дефектного шару при обробці ВПКМ свердлами з дискретним покриттям глобулярної структури при $h = 3$ мкм, $L1 = 108,2$ мкм, $L2 = 118,5$ мкм, $L3 = 130,0$ мкм

Згідно з рис. 3 та 4 можна зробити висновок, що при однакових режимах різання та геометричних параметрів свердел величина дефектного шару ≈ 3 рази менша у свердел із модифікованими робочими поверхнями дискретним покриттям глобулярної структури.

Величина значення дефектного шару як для свердел типу Guhring 732, так і для свердел із дискретним покриттям відрізняється по поверхні деталі, це можна пояснити різницею величини сили різання в центрі та на периферії різальних кромок свердла. Отримані значення корелюються з дослідженнями інших авторів [1].

Висновки. Дані експериментальних досліджень показують, що використання різального інструменту з модифікованою робочою поверхнею у вигляді дискретних ділянок з регулярно розташованими на них глобулами дозволяють зменшити товщину дефектного шару у 2,9-3,3 раза порівняно з використанням рекомендованим з літературних джерел інструментом.

Механізм впливу умов різання та архітектури інструмента з модифікованою робочою поверхнею у вигляді дискретних ділянок із регулярно розташованими на них глобулами потребує подальшого вивчення та дослідження.

Список використаних джерел

1. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор) : монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залога, В. А. Пасечник, В. А. Колесник, С. С. Емельяненко. – Сумы, 2013. – 272 с.
2. Тарасюк, А. П. Технологии механической обработки полимерных композитов: монография / А. П. Тарасюк, О. Л. Кондратюк, Н. В. Везуб. – Харьков : Точка, 2015. – 226 с.
3. Марков, А. И. Ультразвуковая обработка материалов / А. И. Марков. – Москва : Машиностроение, 1980. – 238 с.
4. Милокост, І. О. Підвищення якості отворів при свердлінні тонкостінних виробів з ортотропних вуглепластиків : дис. ... канд. техн. наук / І. О. Милокост. – Київ, 2016. – 158 с.
5. Лупкин, Б. В. Сверление ПКМ сверлами с подрезающими режущими кромками / Б. В. Лупкин, А. Л. Касс, О. М. Кошкина // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2011. – № 49. – С. 68-80.
6. Тарасюк, А. П. Выбор рациональных условий резания полимерных композитов, обеспечивающих максимальные показатели качества поверхности / А. П. Тарасюк, А. А. Назаркин // Машинобудування: збірник наукових праць. – 2012. – № 10. – С. 115-127.
7. Корбут, Є. В. Особливості обробки ВПКМ процесом різанням / Є. В. Корбут // Перспективні технології та прилади. – Луцьк, 2018. – С. 82-87.
8. Проблемы эффективного внедрения процессов высокоскоростного резания / Ю. Н. Внуков, И. Н. Павлюченко, К. О. Папашев, А. Г. Саржинская // Современные технологии в машиностроении: сб. научных статей. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2006. – Т. 1. – С. 43-57.
9. Wang, X. Investigation on trust in vibration drilling of fiber-reinforced plastics / X. Wang, I. Wang // Journal Mater.Process.Technol. – 2004. – Vol. 1486. – Pp. 239-244.

References

1. Kryvoruchko, D.V., Zaloha, V.A., Pasechnyk, V.A., Kolesnyk, V.A., Emelianenko, S.S. (2013). *Mekhanicheskaia obrabotka kompozytsyonnykh materiyalov pry sborke letatelnykh apparatov (analytycheskyi obzor)* [Mechanical processing of composite materials during aircraft assembly (analytical review)].
2. Tarasiuk, A.P., Kondratiuk, O.L., Verezub, N.V. (2015). *Tekhnolohyy mekhanycheskoi obrabotky polymernykh kompozytov* [Technology of Mechanical Treatment of Polymer Materials]. Tochka.
3. Markov, A.Y. (1980). *Ultrazvukovaia obrabotka materiyalov* [Ultrasonic processing of materials]. Mashynostroenye.
4. Mylokost, I.O. (2016). *Pidvyshchennia yakosti otvoriv pry sverdlinni tonkostinnykh vyrobiv z ortotropnykh vuhleplastykiv* [Improving the quality of holes when drilling thin-walled products from orthotropic carbon plastics]. [Master's thesis].
5. Lupkyn, B.V., Koshkyna, O.M., Kass, A.L. (2011). *Sverlenie PKM sverlami s podrezaiushchimi rezhushchimi kromkami* [Drilling PCM with drills with undercutting cutting edges]. *Otkrytye informatsionnye i kompiuternye integrirovannye tekhnologii – Open information and computer integrated technologies*, 49, 68-80.
6. Tarasiuk, A.P. (2012). *Vybor ratsionalnykh uslovii rezaniia polimernykh kompozitov, obespechivaiushchikh maksimalnye pokazateli kachestva poverkhnosti* [Selection of rational conditions for cutting polymer composites, ensuring maximum surface quality indicators]. *Mashinobuduvannia: zbirnyk naukovykh prats – Bulletin of SumDU, Series "Technical Sciences"*, 4, 155-161.

7. Korbut, Ye.V. (2018). Osoblyvosti obrobky VPKM protsesom rizanniam [Peculiarities of FPCM processing by the cutting process]. *Promising technologies and devices*. (pp. 82-87).

8. Vnukov, Yu.N., Pavliuchenko, I.N., Papashev, K.O., Sarzhynskaia, A.H. (2006). Osoblyvosti obrobky VPKM protsesom rizanniam [Problems of effective implementation of high-speed cutting processes]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Modern technologies in mechanical engineering, 1*, 43-57.

9. Wang, X., Wang, I. (2004). Problemy effektivnogo vnedreniia protsessov vysokoskorostnogo rezaniia [Investigation on trust in vibration drilling of fiber-reinforced plastics]. *Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii – Journal Mater.Process.Technol.*, 1486, 239-244.

Отримано 15.05.2024

UDC 621.891

Oleksandr Petrov¹, Ievgen Korbut²

¹PhD Student at the Department at the Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: petrovsasha69@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-9995-2246>

²PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department at the Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: korbut1@i.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1221-4052>

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF DRILLS WITH DISCRETELY MODIFIED WORKING SURFACES TO ENSURE THE QUALITY OF HOLES IN PARTS MADE OF FIBER POLYMER COMPOSITE MATERIALS

The issue of using a cutting tool with modified working surfaces in the form of discrete areas for processing parts made of fiber polymer composite materials (FPCM) has not been studied enough to date.

One of the main parameters that affects the quality of the machined surface of the FPCM part is the temperature that occurs in the cutting zone.

According to scientific research, one of the ways to improve the quality of cutting is to reduce the contact time of the cutting edge with the FPCM material being processed.

The concept proposed in the work is that when using a cutting tool with modified working surfaces in the form of discrete areas with regularly located globules on them, which are cutting elements, due to the discretization of the working surface, the process becomes intermittent cutting, i.e. the contact time of the cutting edge with the surface of FPCM is reduced, which, in turn, allows to improve the quality of the processed surface of the product.

To confirm this hypothesis, a number of experiments were conducted, the results of which showed a decrease in the thickness of the defective layer compared to the recommended tool.

Keywords: cutting process; fiber polymer composite materials (FPCM); discrete structure coverage, surface quality, defective layer.

Fig.: 4. References: 9.