

## ВПЛИВ ТОВЩИНИ ДИСКРЕТНОГО ГЛОБУЛЯРНОГО ПОКРИТТЯ, НАНЕСЕНОГО НА РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ТА РЕЖИМІВ СВЕРДЛІННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СКЛОПЛАСТИКА

### Євген Корбут

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, korbut113@gmail.com;

**ORCID: 0000-0002-1221-4052**

### Валерія Парненко

кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, v.parnenko@kpi.ua;

**ORCID: 0000-0002-1450-2744**

### Тетяна Ніколаснко

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки

Київський національний університет будівництва і архітектури, просп. Повітрофлотський 31, Київ Україна,  
03037, tatyana.rodina@gmail.com;

**ORCID: 0000-0003-0960-1251**

### Сергій Майданюк

кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри конструювання машин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, maysv3@gmail.com;

**ORCID: 0000-0003-2853-8606**

Стаття присвячена підвищенню працездатності інструменту для обробки волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ) на основі розробки нових методів і схем модифікації поверхневого шару різальної кромки. В статті розглянуто дослідження можливості використання інструменту зі інструментальних швидкорізальних сталей для обробки різанням деталей з волокнистих полімерних матеріалів, вплив товщини дискретного покриття та режимів обробки на шорсткість виробів з ВПКМ. Показано, що зменшення собівартості інструменту і як наслідок вартості кінцевого продукту можливо за рахунок використання дискретної конструктивної схеми, тобто заміну інструменту з полікристалічним алмазом на інструмент зі швидкорізальної сталі з покриттям дискретного глобулярного типу без втрати продуктивності обробки та якості обробленої поверхні деталей з ВПКМ.

**Ключові слова:** різальний інструмент, волокнистий полімерний композиційний матеріал, ультратонкі алмазні покриття, шорсткість поверхні електроіскрове легування, дискретне покриття глобулярного типу, склопластик.

На теперішній час прогрес в авіабудуванні, автобудуванні та в інших галузях промисловості в основному пов'язується з розробкою і широким застосуванням композиційних матеріалів (КМ), а саме волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ) [1–4]. ВПКМ мають комплекс властивостей і особливостей, що відрізняються від традиційних конструкційних матеріалів (металевих сплавів) і в сукупності

відкривають широкі можливості як для вдосконалення існуючих конструкцій найрізноманітнішого призначення, так і для розробки нових конструкцій і технологічних процесів, але поряд з цим, їх фізико-механічні властивості викликають труднощі обробкою різанням, що накладає певні вимоги до використання різального інструменту. Перш за все вони повинні забезпечувати необхідну точність та якість обробленої поверхні

деталей з ВПКМ, мати високий опір зношуванню. Спрощення їх конструкції, підвищення рівня технологічності виготовлення дозволить знизити собівартість інструменту і як наслідок, собівартість виробу з ВПКМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що на теперішній час по критеріям продуктивності та забезпечення якості виробів з ВПКМ в найбільшій мірі відповідає використання інструменту з полікристалічного алмазу та твродосплавний інструмент з ультратвердим алмазоподібним покриттям (DLC) [5; 6; 7]. Але, в той же час з забезпеченням продуктивності та якості обробки їх використання призводить до ускладнення конструкції інструменту, його високої вартості, і як наслідок, збільшення собівартості виробу з ВПКМ.

Одним із можливих шляхів зменшення собівартості обробки ВПКМ являється використання інструменту зі ШР сталі з нанесеним на його робочі поверхні дискретного глобулярного покриття [8; 9]. Але дослідження по використанню різального інструменту для обробки ВПКМ, з формованим на його робочій поверхні дискретним глобулярним покриттям не проводились. Тому питання забезпечення продуктивності та якості обробки ВПКМ інструментом зі швидкорізальних сталей з формованим на його робочій поверхні модифікованого дискретного покриття глобулярної структури є актуальною задачею.

В даній роботі було досліджено вплив висоти покриття та режимів обробки на шорсткість отриманого виробу, як один із показників якості отворів.

Для підвищення працездатності інструменту для обробки композиційних матеріалів на основі аналізу цієї проблеми було визначено, що найефективнішим способом її вирішення є створення покриттів для обробки ВПКМ альтернативних алмазному покриттю.

Основною проблемою при обробці ВПКМ є відвід тепла з зони різання. Так як теплопровідність ВПКМ дуже низька, то постає питання вибору складу покриття для різального інструменту з високим коефіцієнтом теплопровідності, близьким до алмазу і з високою твердістю. Так в табл. 1 представлені фізико-механічні характеристики найбільш вживаних по складу покриттів [13].

Аналіз покриттів (табл. 1) показує, що в найбільшій мірі за своїми фізико-механічними властивостями до алмазного наближається покриття  $\text{TiCrB}_2+\text{AlN}$ .

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості матеріалів покриття

Параметр	$\text{TiCrB}_2+\text{AlN}$	TiN	WC	C (алмаз)
Твердість (по Кнупу) $H_v$ , ГПа	38,9	20,5	24,5	80
Точка плавлення, °C	3360	2950	2870	4073
Коефіцієнт теплового розширення $\alpha$ , $10^{-6}/^\circ\text{K}$	6,3	9,35	23,8	2,0
Коефіцієнт теплопровідності $\lambda$ Вт/мК	32,5	67,7 (1500 K) 12,6 (300 K)	29,4	110
Границя міцності на стиск $\sigma_{cm}$ , $10^6$ Па	1380	1298	3600	1200
Модуль І роду $E$ , $10^{-9}$ , Па	860	256	710	1050

Архітектура покриттів дискретного типу глобулярної структури на робочих поверхнях різального інструменту була визначена за умовою когезійно-адгезійної міцності покриття [14]. Так в табл. 2 представлені розміри дискретних ділянок та щільність, нанесених на них глобул в залежності від товщини покриття.

Таблиця 2 – Залежність величини дискретної ділянки та щільність глобул в залежності від товщини покриття

Товщина покриття $h$ , мкм	Величина дискретної ділянки, мм	Щільність глобул, %
3	0,6	50–65
5	0,54	50–60
7	0,43	45–55

Для визначення величини шорсткості отриманої поверхні були використані поверхні заготовок з склопластику марки СТЕФ-У, отримані в результаті свердління свердлами діаметром 8 мм зі сталі Р6М5 з нанесеним на його робочі поверхні дискретним покриттям глобулярного типу  $\text{TiCrBr}+\text{AlN}$  товщиною  $h = 3$  мкм,  $h = 5$  мкм,  $h = 7$  мкм, з розмірами дискретних ділянок, визначеними з урахуванням умов когезійно-адгезійної міцності (табл. 2). Режими обробки призначалися відповідно до рекомендацій [6; 10] для алмазного свердла.

Вимірювання шорсткості  $R_a$  оброблюваної поверхні проводилось на портативному профілометрі моделі Time Group Inc.

TR200 (рис. 1). Даний прилад відповідає стандарту ISO 4287-1997, DIN 4768-1990, JIS B0601:2001.

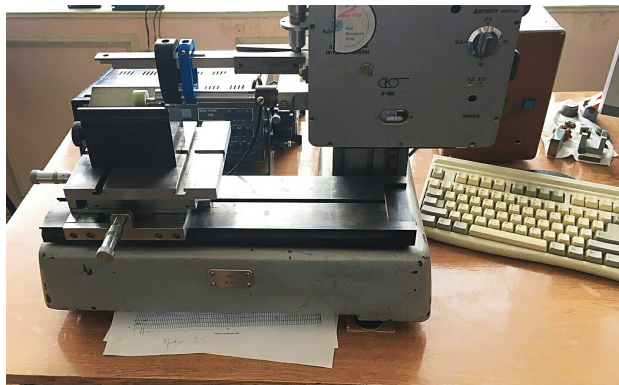


Рисунок 1 – Портативний профілометр моделі Time Group Inc. TR200

Залежність шорсткості поверхні моделі від умов свердління наведена на рисунку 2.

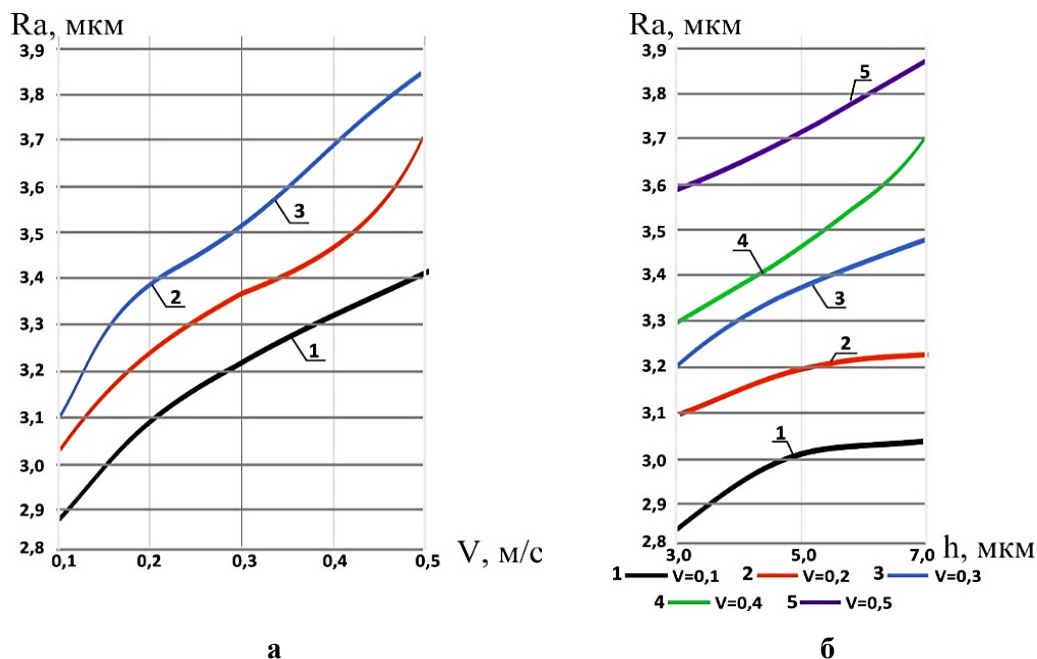
Аналіз залежності показує, що від зміни товщини дискретного покриття глобулярної структури та швидкості свердління шорсткість

обробленого отвору змінюється в межах від  $Ra = 2,8 \div 4$  (мкм), що відповідає вимогам [10–12].

Зі збільшенням товщини глобулярного покриття та швидкості свердління шорсткість поверхні обробленого отвору збільшується.

Це збільшення пояснюється зі збільшенням контакту глобул в процесі різання з оброблюваною поверхнею, площа якої визначається радіусом глобули. Збільшення шорсткості поверхні отвору теж залежить від кількості глобул розташованих вздовж різальної кромки. Зі збільшенням радіуса глобули, тобто товщини покриття ця кількість зменшується, що призводить до збільшення швидкості кожної з глобул в процесі різання, і як наслідок – до збільшення шорсткості.

Дані дослідження доводять доцільність використання інструментальних швидкорізальних сталей для обробки різанням деталей з ВПКМ за рахунок використання дискретних глобулярних покриттів певної архітектури та складу без втрати якості, що дає змогу значно зменшити собівартість кінцевого продукту.



а) 1 –  $h = 3$  мкм; 2 –  $h = 5$  мкм; 3 –  $h = 7$  мкм.

б) 1 –  $V = 0,1$  м/с; 2 –  $V = 0,2$  м/с; 3 –  $V = 0,3$  м/с; 4 –  $V = 0,4$  м/с; 5 –  $V = 0,5$  м/с.

Рисунок 2 (а, б) – Залежність шорсткості поверхні обробленого отвору від умов свердління

### ЛІТЕРАТУРА

1. Авиационно-космические материалы и технологии / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, Н. Е. Калинина и др. Запорожье, изд. ОАО «Мотор Сич», 2009. 383 с.

2. Composite materials. Fatigue and fracture / Erian A. Armanios, editor. Printed in Ann Arbor, MI, 1997. 573 с.

3. Matthews F.L., Rees D. Rawlings. Composite materials: engineering and science. Printed by The Alden Press, Oxford, England, 1999. 470 p.

4. Лабунець В. Ф., Корбут С. В., Адаменко Ю. І. Перспективи використання композиційних матеріалів в авіакосмічній галузі. *Проблеми тертя та зношування. Науково-технічний збірник*. Київ, 2011. Вип. 56, С. 89–96.

5. Корбут Є. В. Особливості обробки ВПКМ процесом різанням. Перспективні технології та прилади. Луцьк, 2018, С. 82–87.

6. Криворучко Д. В. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор) : монография / В. А. Залого, В. А. Пасечник, В. А. Колесник, С. С. Емельяненко. Сумы, 2013. 272 с.

7. Повышение точности определения механических свойств карбон-карбонитовых и карбон-полимерных материалов применением рациональных методов обработки исследуемых образцов / О. А. Ченчева, Е. Е. Лашко, В. Т. Щетинин, А. Ф. Саленко, Клименко С. А., О. А. Самусенко, О. М. Потапов. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 3/2017 (104). Частина 1. С. 62–71.

8. Технологические, конструктивные и эксплуатационные особенности упрочняющих покрытий дискретной структуры на деталях машин и инструменте / Б. А. Ляшенко, Е. К. Соловых, Е. Б. Сорока и др. 36.: *Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління*.

Тези доповідей третьої науково-практичної конференції Серія «Техніка, Технологія». Київ, 2005. С. 22–23.

9. Оптимизация дискретной структуры при поверхностной электроконтактной закалке / С. А. Клименко, Е. К. Соловых, Е. Б. Сорока и др. *Инженерия поверхности и реновация изделий* : Материалы 6-й междунар. н.-техн. конф. Киев-Ялта, 2006. С. 83–85.

10. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс. Москва. Машиностроение. 1987. 266 с.

11. ДСТУ ГОСТ 14802:2008 Заклепки (повышенной точности).

12. ДСТУ ГОСТ 11284:2008 Отвори наскрізні під крипильні деталі.

13. Антонюк В. С. Основи підвищення працездатності різального інструменту шляхом формування зносостійких покритті дискретного типу : дис. докт. тех. наук. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 375 с.

14. Ляшенко Б. А., Новиков Н. В., Клименко С. А. Дискретное модифицирование поверхностного слоя деталей машин и инструментов. Київ : ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2017. 264 с.

## INFLUENCE OF THICKNESS OF DISCRETE GLOBULAR COATING APPLIED ON CUTTING TOOLS AND DRILLING MODES ON ROUGHNESS OF SURFACE FIBER PLASTIC DETAIL

### Korbut Ievgen

PhD,

Assistant Professor at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, korbut113@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-1221-4052

### Valeriia Parnenko

PhD,

Senior Lecturer at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, v.parnenko@kpi.ua;

ORCID: 0000-0002-1450-2744

### Tetiana Nikolaienko

PhD,

Assistant Professor at the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, tatyana.rodina@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-0960-1251

### Serhii Maidaniuk

PhD,

Senior Lecturer at the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03056, maysv3@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-2853-8606



The article is devoted to improving the efficiency of the tool for processing fibrous polymeric composite materials based on the development of new methods and schemes for modifying the surface layer of the cutting edge. It is shown that progress in aircraft construction, automotive and other industries is mainly associated with the development and widespread use of composite materials (CM), namely fibrous polymer composite materials (FPCM), which is represented by fiberglass, whose properties are significantly different from the properties metallic materials and therefore their processing by cutting is insufficiently studied and requires further study. It is shown that diamond coatings are predominant for FPCM processing, but there is a problem of creating the necessary adhesion, and the high cost of the tool with this coating. A competing method of applying wear-resistant coatings is the method of electrospark alloying (EA), which in comparison with other methods has an order of magnitude lower energy consumption and several orders of magnitude lower equipment costs. The article examines the possibility of using a tool made of tool high-speed steels for cutting parts made of fibrous polymeric materials (FPCM), the influence of discrete coating thickness and processing modes on the roughness of FPCM products as one of the quality criteria. The results of the experiments confirm the possibility of using a tool made of high-speed steel with a discrete coating applied to its working surfaces. It is shown that the reduction of tool cost and as a consequence of the cost of the final product is possible due to the use of discrete structural scheme, ie replacement of polycrystalline diamond tool with high-speed steel tool with discrete globular type coating without loss of machining productivity adhesive strength.

**Key words:** cutting tool, fibrous polymer composite material, ultrathin diamond coating, surface roughness, electrospark alloying, discrete coating of globular type, fiberglass.

## REFERENCES

1. Boguslaev, V. A., Kachan, A. Ya., Kalinina, N. E. (2009). Aviacionno-kosmicheskie materialy i tekhnologii [Aerospace materials and technologies]. Zaporozh'e : OAO "Motor Sich". [in Russian]
2. Composite materials. Fatigue and fracture. (1997). Erian A. Armanios, editor. Printed in Ann Arbor, MI. [in English]
3. Matthews, F. L. Composite materials: engineering and science. (1999). Matthews F. L., Rawlings Rees D. Printed by The Alden Press, Oxford, England. [in English]
4. Labunets, V. F., Korbut, Ye. V., Adamenko, Yu. I. (2011). Perspektyvy vykorystannia kompozytsiinykh materialiv v aviakosmichnii haluzi [Prospects for the use of composite materials in the aerospace industry]. *Problemy tertia ta znoshuvannia. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – Problems of friction and wear. Scientific and technical collection*, 56, 89–96. [in Ukrainian]
5. Korbut, Ye. V. (2018). Osoblyvosti obrobky VPKM protsesom rizanniam. [Features of the processing of fibrous polymer composite materials by cutting process]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Advanced technologies and devices*, 82–87. [in Ukrainian]
6. Krivoruchko, D. V., Zaloga, V. A., Pasechnik, V. A., Kolesnik, V. A., Emel'yanenko, S. S. (2013). *Mekhanicheskaya obrabotka kompozicionnykh materialov pri sborke letatel'nykh apparatov (analiticheskij obzor) [Mechanical processing of composite materials in the assembly of aircraft (analytical review)]*. Monografiya. Sumy. [in Russian]
7. Chencheva, O. A., Lashko, E. E., Shchetinin, V. T., Salenko, A. F., Klimenko, S. A. (2017). Povyshenie tochnosti opredeleniya mekhanicheskikh svoystv karbon-karbonitovykh i karbon-polimernykh materialov primeneniem racional'nykh metodov obrabotki issleduemykh obrazcov [Improving the accuracy of determining the mechanical properties of carbon-carbonite and carbon-polymer materials using rational methods of processing the studied samples]. *Visnik KrNU imeni Mihajla Ostrograds'kogo – Bulletin of Mykhailo Ostrohradsky National University of Kryvyi Rih*, 3 (104), 62–71. [in Russian]
8. Lyashenko, B. A., Solovyh, E. K., Soroka, E. B. i dr. (2005). Tekhnologicheskie, konstruktivnye i ekspluatatsionnye osobennosti uprochnyayushchih pokrytij diskretnoj struktury na detalyah mashin i instrumente [Technological, design and operational features of hardening coatings of a discrete structure on machine parts and tools]. *Problemi ta perspektivi rozviku transportnih sistem: tekhnika, tekhnologiya, ekonomika i upravlinnya. Tezi dopovidej tret'oi naukovo-praktichnoi konferencii Seriya "Tekhnika, Tekhnologiya" – Problems and prospects of transport systems development: engineering, technology, economics and management. Abstracts of the third scientific-practical conference. Series "Technology, Technology"*, 22–23. [in Russian]
9. Klimenko, S. A., Solovih, E. K., Soroka, E. B. (2006). Optimizaciya diskretnoj struktury pri poverhnostnoj elektrokontaktnej zakalke [Optimization of discrete structure at surface electrocontact hardening]. *Inzheneriya poverhnosti i renovaciya izdelij. Materialy 6-j mezhdunar. n.-tekhn. konf. – Surface engineering and product renovation. – Materials of the 6th International Scientific and Technical Conference*, 83–85. [in Russian]
10. Shtuchnyj, B. P. (1987). *Mekhanicheskaya obrabotka plastmass [Machining of plastics]*. Moskva. Mashinostroenie. [in Russian]
11. Zaklepki (povyshennoj tochnosti): Diametry otverstij pod zaklepki, razmery zamykayushchih golovok i podbor dlin zaklepk [Rivets (increased accuracy): Diameters of holes for rivets, sizes of closing heads and selection of rivet lengths]. (2008). *DSTU GOST 14802:2008 from 1st July 2008*. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukraine. [in Ukrainian]
12. Otvorynaskriznypidkryplyni detali [Through openings under fasteners]. *DSTU GOST 11284:2008 from 1st July 2008*. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukraine. [in Ukrainian]

13. Antoniuk, V. S. (2006). *Osnovy pidvyshchennia pratsezdatsnosti rizalnoho instrumentu shliakhom formuvannia znosostiikykh pokrytti dyskretnoho typu* [Basics of improving the performance of cutting tools by forming wear-resistant coatings of a discrete type]. Candidate's thesis. Kyiv : NTUU "KPI". [in Ukrainian]

14. Lyashenko, B. A., Novikov, N. V., Klimenko, S. A. (2017). *Diskretnoe modificirovanie poverhnostnogo sloya detalej mashin i instrumentov* [Discrete modification of the surface layer of parts of machines and tools]. Kyiv : ISM im. V. N. Bakulya. [in Russian]

*Стаття надійшла 14.03.2022*