

Євген Корбут¹, Валерія Парненко², Тетяна Ніколаєнко³, Олександр Плівак⁴

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: korbuto113@gmail.com, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1221-4052>, **Scopus Author ID:** [56736964700](https://orcid.org/0000-0002-1221-4052)

²кандидат технічних наук, старший викладач кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: v.parmenko@kpi.ua, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1450-2744>, **Scopus Author ID:** [57217101654](https://orcid.org/0000-0002-1450-2744)

³кандидат технічних наук, доцент кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки
Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: tatyana.rodina@gmail.com, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0960-1251>,

ResearcherID: https://www.researchgate.net/profile/Tatyana_Nikolayenko

⁴завідувач лабораторії вимірювальної техніки НН ММІ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: aplivak@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОТВОРІВ У ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ ПРИ ОБРОБЦІ СВЕРДЛАМИ З ДИСКРЕТНИМИ ПОКРИТТЯМИ ГЛОБУЛЯРНОГО ТИПУ НА РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ

У статті розглянуто основні марки інструментальних матеріалів та нанесених зносостійких покриттів, які використовуються для інструментів при різанні волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ). Показано, що алмазні покриття є переважними для обробки ВПКМ, але є проблема створення необхідної адгезії та високої собівартості інструменту з даним покриттям. Конкуруючим способом нанесення зносостійких покриттів є метод електроіскрового легування (ЕІЛ), яке в порівнянні з іншими методами має на порядок нижчі енергозатрати та на декілька порядків нижчу вартість обладнання. Проведено дослідження з визначення величини точності отворів в деталі з ВПКМ при обробці свердлами зі швидкорізальної сталі з нанесеним на його робочі поверхні дискретним покриттям глобулярного типу в порівнянні зі свердлами з алмазним покриттям. Запропоновано та доведена доцільність використання інструментальних швидкорізальних сталей для обробки різанням деталей з ВПКМ за рахунок використання дискретних глобулярних покриттів певної архітектури та складу без втрати точності отриманих виробів, що дозволить зменшити вартість інструменту і, як наслідок, собівартість готового виробу.

Ключові слова: різальний інструмент; зносостійкі покриття; волокнистий полімерний композиційний матеріал; електроіскрове легування; покриття дискретного типу

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Проблема підвищення якості обробки різанням полімерних волокнистих композиційних матеріалів (ВПКМ) значною мірою пов'язана з пошуком шляхів забезпечення працездатності та надійності інструменту для їх обробки. Пошук і розробка альтернативних рішень існуючим матеріалам та покриттям дозволять вирішити проблеми з якістю та собівартістю обробки виробів з ВПКМ. Тому питання використання інструменту зі швидкорізальних сталей для обробки волокнистих полімерних композиційних матеріалів за рахунок формування на його робочій поверхні модифікованого дискретного покриття є актуальною проблемою та має високе практичне значення.

Постановка проблеми. ВПКМ мають комплекс властивостей та особливостей, які позитивно відрізняють їх від металів та їхніх сплавів, що відкриває широкі можливості для розробки нових конструкцій та технологій різного призначення й удосконалення існуючих. Водночас їхні фізико-механічні властивості викликають труднощі обробкою різанням, що накладає певні вимоги до використання різального інструменту. Насамперед вони повинні забезпечувати необхідну точність 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. Питанням властивостей, застосування та обробки ВПКМ різанням присвячено достатню кількість наукових праць [1-3]. У роботах [4-6] проведено детальний аналіз використання полімерних композиційних матеріалів в авіаційній техніці, визначені їхні властивості. Авторами [7-10] розглянуті способи обробки ВПКМ, інструментальні матеріали та схеми різання. На теперішній час для обробки ВПКМ використовують різні види інструментальних матеріалів та зносостійких покриттів на них для виготовлення різального інструменту. У роботах [11; 12] розглянуто методи підвищення працездатності інструменту для обробки ВПКМ за рахунок прогресивних схем різання та геометрії різального інструмента. Так, було запропоновано для підвищення якості обробки застосовувати реверсивний рух [11], а в роботі [12] використовувати свердла з підрізаючими різальними кромками. Однак повною мірою задача забезпечення продуктивності обробки та якості обробленої деталі не вирішена та потребує подальшого дослідження.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що найбільшою мірою вимогам до інструментальних матеріалів для інструменту для обробки ВПКМ відповідає полікристалічний алмаз та твердосплавний інструмент з ультратвердим алмазоподібним покриттям (DLC). Проте їх використання призводить до ускладнення конструкції інструменту та високої його вартості, а твердосплавний інструмент використовується тільки з суцільним зносостійким покриттям. Дослідження по використанню різального інструменту зі швидкорізальної сталі (ШР), з формованим на його робочій поверхні дискретним покриттям для обробки ВПКМ не проводились.

Метою статті є дослідження точності отворів у деталях з ВПКМ при використанні різального інструменту зі ШР сталі зі сформованим на його робочій поверхні дискретним покриттям глобулярного типу.

Виклад основного матеріалу. Підвищення експлуатаційних параметрів інструментів для обробки ВПКМ призводить до зростання вимог до інструментальних матеріалів, створення нових видів інструментальних матеріалів, задовольняючих ці вимоги. Але в багатьох випадках це економічно недоцільно. Тому стратегічним напрямком удосконалення різального інструменту для обробки ВПКМ є розробка нових методів та матеріалів для модифікації поверхневого шару інструменту, тобто заміна об'ємної зміни властивостей інструментальних матеріалів на модифікацію поверхневого шару робочої поверхні.

Встановлено, що інструментальні матеріали для обробки ВПКМ повинні забезпечувати високий опір абразивному зношуванню контактуючих поверхонь леза інструменту, мати низький коефіцієнт тертя в парі з оброблюваним матеріалом, мати високу теплостійкість та теплопровідність.

За даними аналізу [3; 8] в авіаційній промисловості при свердлінні отворів у ВПКМ застосовуються швидкорізальні сталі (ШР), тверді сплави (ТС), полікристалічний алмаз, кубічний нітрид бора (КНБ), кераміка.

Інструмент із швидкорізальної сталі для обробки отворів, особливо в ремонтних роботах на підприємствах авіаційної промисловості знаходить доволі широке застосування. Низький опір абразивному зносу, а відповідно і низька стійкість швидкорізальної сталі для певних умов виробництва компенсується великою кількістю розробок прогресивних конструкцій інструменту і способів свердління. Для підвищення різальної здатності ШР інструментів часто наносять зносостійкі покриття методом PVD, товщиною плівки 1-7 мкм твердих з'єднань (TiN, TiCN та ін.). Проте швидкорізальні інструменти з покриттям практично не забезпечує певної якості обробки через швидке видалення покриття в процесі свердління з робочих поверхонь інструмента з причин низької адгезії покриття та поверхні інструмента та з затупленням різальної кромки.

Для обробки ВПКМ найчастіше використовують однокарбідні тверді сплави, так як вони об'єднують в собі найкраще відношення зносостійкості і міцності. Це пояснюється тим, що двох і трьох карбідні сплави мають підвищений вміст γ -фази (карбідів TiC, TaC, NbC) в порівнянні з однокарбідними. Вони були розроблені для забезпечення найбільш сприятливого балансу зносостійкості та міцності в умовах високих температур різання. Але при відносно низьких температурах різання ВПКМ ці сплави не проявляють своїх переваг і показують меншу стійкість ніж однокарбідні. Так, при прямокутному різанні склопластика середня величина сили різання інструментами з трьох карбідного сплаву типу TT5K10 на 100 Н більше. Ніж при різанні інструментом із однокарбідного твердого сплаву ВК6. Використання твердосплавного інструменту з різними за конструкцією та складом покриттям також стримується високою вартістю твердого сплаву.

Полікристалічний алмаз (ПКА) має найбільший опір абразивному зношуванню, механізм котрого аналогічний зношуванню твердого сплаву. Багаточисленні дослідження [3; 8] показують, що за стійкістю та продуктивністю при останніх рівних умовах він багаторазово перевищує інструменти з однокарбідним твердим сплавом. Саме його твердість, висока теплопровідність та хімічна стабільність, мала взаємодія з полімерами забезпечують суттєві переваги при різанні ВПКМ в порівнянні з іншими інструментальними матеріалами. Проте ПКА надзвичайно крихкий матеріал, тому з метою зменшення вірогідності крихкого руйнування різальної кромки використовують підложку із ШР або ТС. Таким чином, таке рішення для спіральних свердел не технологічне і не повною мірою задовольняє роботу спірального свердла.

Кубічний нітрид бору (КНБ) при різанні ВПКМ поступається полікристалічному алмазу в зносостійкості і в силу його відносно високої вартості досить рідко використовується для обробки ВПКМ [3].

Кераміка характеризується високим опором абразивному зношуванню. Водночас для обробки ВПКМ із-за низького опору ударному навантаженню цей матеріал майже не використовується.

Для підвищення зносостійкості інструмента зі швидкорізальних сталей та твердосплавного в основному використовуються суцільні покриття на основі TiC, TiN, TiCN, TiAlON, AlCrN та інші. При обробці металів та сплавів такі покриття суттєво підвищують працездатність інструментів [3; 8; 13]. Однак, як зазначалось раніше, використання таких покриттів не дає суттєвого збільшення стійкості через неможливість забезпечення в процесі різання малого радіуса округлення різальної кромки.

Дослідження дискретних покриттів на точність отворів при однакових товщинах покриттів, діаметрах свердел, їх конструкції та геометрії, швидкості різання та подачі при свердлінні однакових марок ВПКМ та розмірах заготовок не досліджувались.

Тому виникла необхідність дослідження точності отворів інструментом із швидкорізальної сталі з дискретним покриттям глобулярної структури в порівнянні з отворами просвердленими твердосплавними свердлами з алмазним покриттям.

В експерименті було використано свердла діаметром 8мм зі сталі Р6М5 з нанесеним на його робочі поверхні, з урахуванням умов когезійно-адгезійної міцності, дискретним покриттям глобулярного типу TiCrBr+AlN. Даний склад покриття найбільш відповідає алмазному за теплопровідністю, твердістю та іншими параметрами.

Якість отворів при свердлінні характеризується його точністю, узагальненим показником якої є відхилення від круглості [14; 15].

Відхилення від круглості при свердлінні інструментом із швидкорізальної сталі з глобулярним покриттям TiCrBr+AlN було розглянуто в порівнянні з інструментом із твердого сплаву ВК6 з суцільним алмазним покриттям товщиною $h = 5$ мкм при свердлінні заготовки зі склопластику СТЕФ-У (рис. 1).

У дослідженнях брали участь по 3 свердла кожного з варіантів із товщиною покриття $h = 5$ мкм. Кожним із свердел здійснювалась обробка 3 отворів.



Рис. 1. Свердління отвору в заготовці зі склопластику СТЕФ-У

Вимірювання круглості проводилось у трьох перерізах по довжині отвору: на вході свердла, посередині і на виході. Ескіз експериментальних зразків із ВПКМ наведено на рис. 2.

Вимірювання відхилення від круглості здійснювалось на вимірювальному комплексі, який складається із кругломіра встановленого на столі та електронного блока і блока запису круглограм, встановлених на тумбі рис. 3.

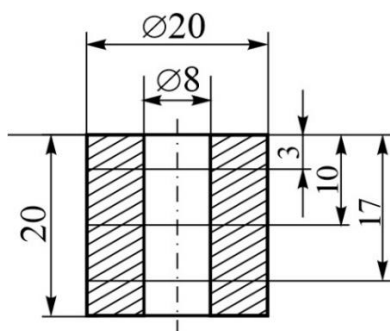


Рис. 2. Ескіз експериментального зразка з ВПКМ з позначенням контрольних перерізів



Рис. 3. Вимірювальний комплекс

Після підготовки до роботи проводилось центрування та вимірювання круглості. Для кожного отвору результати вимірювання графічно зі значенням відхилень від круглості записувались в блок запису.

Умови та середні значення результатів вимірювань точності отворів просвердлених твердосплавними свердлами з суцільним алмазним покриттям та із швидкорізальної сталі з дискретним глобулярним покриттям наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови та результати вимірювань точності отворів

№	Матеріал		Умови випробувань			Відхилення від круглості, мкм		
	Підложки	Покриття	h, мкм	V, м/хвс	S, мм/об	Вхідний	Середина	Вихід
1	ВК6	алмазне	5	0,3	0,4	24,73	32,08	26,92
2	Р6М5	TiCrBr+AlN	5	0,3	0,4	34,88	40,84	37,37

Дослідження впливу на відхилення від круглості залежно від виду покриття при свердлінні ВПКМ показує, що ступінь відхилення згідно ГОСТ 24643-81 при обробці свердлами з алмазним покриттям відповідає 11 ступені (≤ 40 мкм).

При глобулярному покритті одержаному методом ЕІІ на вході та на виході свердла відхилення від круглості відповідає 11 ступені точності, а посередині – 12 ($\leq 60\mu\text{м}$). (табл. 1, рис. 4).

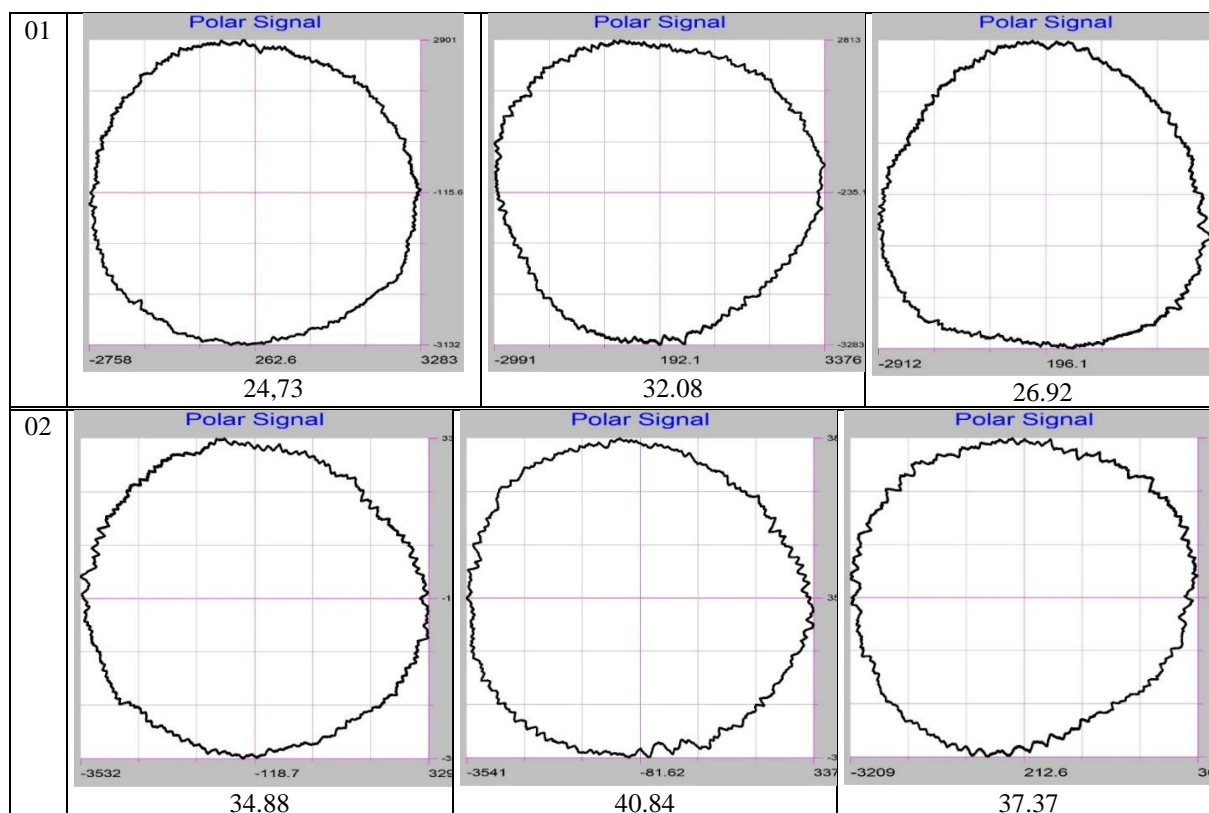


Рис. 4. Відхилення від круглості:

01 – суцільне алмазне покриття, 02 – глобулярне покриття

Джерело: розроблено авторами.

Таким чином, можна вважати (за найбільшим відхиленням від круглості), що обидва випадки відповідають ДСТУ11284:2008 Отвори наскрізні під кріпильні деталі та ДСТУ 14802:2008.

Проте глобулярні покриття мають значну перевагу в порівнянні з алмазними по загальній вартості на їх виготовлення, тому в повній мірі можуть бути використані при обробці ВПКМ.

Висновки. У роботі досліджено точність обробки отворів у ВПКМ інструментом зі швидкорізальної сталі з нанесеним на його робочі поверхні дискретним покриттям глобулярного типу. Значення відхилення від круглості оброблених отворів свідчать про можливість рівноцінної заміни свердел з полікристалічним алмазним покриттям на свердла з швидкорізальної сталі з нанесеним на його робочі поверхні дискретним покриттям TiCrVg+AlN глобулярного типу. Таким чином можна зменшити вартість інструменту без втрати точності обробки деталей з ВПКМ.

Список використаних джерел

1. Deborah D. L. Chang *Composite materials: science and applications. Functional materials for modern technologies / D. L. Deborah.* – Printed in Great Britain, 2004. – 293 p.
2. Thomas H. Hahn. *Composite Materials: Fatigue and Fracture / H. Thomas Hahn, Paul A. Lagace, T. Kevin O'Brien.* – Printed in Ann Arbor, MI, 1991. – 830 p.
3. 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.

4. Sheikh-Ahmad JY7 Machining of Polymer Composite/ Sheikh-Ahmad J.Y. – Technology and Engineering, 2008. – 230 p.
5. Кива Д. С. Этапы становления и начало развернутого применения полимерных композиционных материалов в конструкциях пассажирских и транспортных самолетов / Д. С. Кива // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 6(113). – С. 5-16.
6. Лабунец В. Ф. Авиационные конструкционные материалы с высокой удельной прочностью : учебное пособие / В. Ф. Лабунец. – К. : КМУГА, 1993. – 116 с.
7. Gay, D. Composite Materials. Design and Application D. Gay, S. V. Hoa. – CRC Press, 2007. – 328 p.
8. Лобанов Д. В. Технология инструментального обеспечения производства изделий из композиционных неметаллических материалов: монография / Д. В. Лобанов, А. С. Янюшкин. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 296 с.
9. Тарасюк А. П. Расширение функциональных возможностей волокнистых полимерных композитов за счет разработки эффективных процессов механической обработки : дис. ... д-ра техн. наук / А. П. Тарасюк. – Харьков, 2011. – 567 с.
10. Баранчиков В. И. Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога / В. И. Баранчиков, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов. – М. : Машиностроение, 2002. – 264 с.
11. Милокост І. О. Підвищення якості отворів при свердлінні тонкостінних виробів з ортотропних вуглепластиків : дис. ... канд. техн. наук / І. О. Милокост. – К., 2016. – 158 с.
12. Лупкин Б. В. Касс Сверление ПКМ сверлами с подрезающими режущими кромками / Б. В. Лупкин, О. М. Кошкина, А. Л. Касс // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2011. – № 49. – С. 68-80.
13. Hochgen H. On Drilling Characteristics of Some Fiber-Renforced Thermoset and Thermoplastics in Drilling / H. Hochgen, H.Y. Puw, // Int. J. of Machine tools and Manufacture. – 1992. Vol. 32, no. 4. – Pp. 583-592.
14. ДСТУ 14802:2008 Заклепки (повышенной точности).
15. ДСТУ 11284:2008 Отвори наскрізні під крипильні деталі.

References

1. Deborah, D.L. (2004). Chang Composite materials: science and applications. Functional materials for modern technologies. *Printed in Great Britain*.
2. Thomas, H. Hahn, Paul A. Lagace, T. Kevin O'Brien (1991). Composite Materials: Fatigue and Fracture. Printed in Ann Arbor, MI. – 830.
3. Kryvoruchko, D.V., Zaloha, V.A., Pasechnyk, V.A., Kolesnyk, V.A., & Emelianenko, S.S. (2013). *Mekhanicheskaiia obrabotka kompozytsionnykh materialov pri sborke letatelnykh apparatov (analiticheskii obzor) [Machining of composite materials in the assembly of aircraft (analytical review)]*.
4. Sheikh-Ahmad JY7 Machining of Polymer Composite/ Sheikh-Ahmad J.Y. (2008). Technology and Engineering.
5. Kyva, D.S. (2014). *Etapy stanovleniia i nachalo razvernutoho primeneniia polimernykh kompozitsionnykh materyalov v konstrukttsiakh passazhirskikh i transportnykh samoletov [Stages of formation and the beginning of the expanded application of polymer composite materials in the construction of passenger and transport aircraft]. Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohyia – Aviation and space engineering and technology, (6(113)), 5-16.*
6. Labunets, V.F. (1993). *Aviatsyonnye konstruksionnye materialy s vysokoi udelnoi prochnosti [Aviation construction materials with high specific strength]*. KNAU.
7. Gay, D., & Hoa S. V. (2007). *Composite Materials. Design and Application*. CRC Press.
8. Lobanov, D.V., & Yaniushkyn, A.S. (2012). *Tekhnologiia instrumentalnogo obespecheniia proizvodstva izdelii iz kompozitsionnykh nemetallicheskih materialov [Technology of instrumental support for the production of products from composite non-metallic materials]*. Stary Oskol: TNT.
9. Tarasiuk, A.P. (2011). *Rasshirenie funktsionalnykh vozmozhnostei voloknistykh polimernykh kompozitov za schet razrabotki effektivnykh protsessov mekhanicheskoi obrabotki [Expansion of functional possibilities of fibrous polymer composites due to development of effective processes of mechanical processing]* [Doctor dissertation].
10. Baranchikov, V.I., Tarapanov, A.S., & Kharlamov, H.A. (2002). *Obrabotka spetsyalnykh materyalov v mashynostroenuy: Spravochnyk. Byblyoteka tekhnoloha [Processing of special materials in mechanical engineering]*. Mechanical engineering.

11. 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]* [PhD dissertation].
12. Lupkyn, B.V., Koshkyna, O.M., & Kass, A.L. (2011). Kass Sverlenye PKM sverlamy s podre-zaiushchymy rezhushchymy kromkami [Drilling of PKM drills with cutting edges]. *Otkrytye informatsionnye i kompiuternye integrirovannye tekhnologii – Open information and computer integrated technologies*, 49, 68-80.
13. Hochgen, H., & Puw, H.Y. (1992). *On Drilling Characteristics of Some Fiber-Reinforced Thermoset and Thermoplastics in Drilling*. Int. J. of Machine tools and Manufacture, 32(4), 583-592.
14. DSTU 14802:2008 Zaklepki (povyshennoi tochnosti) [DSTU GOST 14802:2008 Rivets (high precision)].
15. DSTU 11284:2008 Otvory naskrizni pid kryplyni detali [DSTU GOST 11284:2008 Through openings under fasteners].

Отримано 06.02.2022

UDC 621.9.02.004.6

Ievgen Korbut¹, Valeriya Parnenko², Tatyana Nikolayenko³, Oleksandr Plivak⁴¹PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Department of Machine Design

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

E-mail: korbut113@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1221-4052>. **Scopus Author ID:** [56736964700](https://orcid.org/0000-0002-1221-4052)²PhD in Technical Sciences, Assistant, Department of Machine Design

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

E-mail: v.parnenko@kpi.ua. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1450-2744>. **Scopus Author ID:** [57217101654](https://orcid.org/0000-0002-1450-2744)³PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics
Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)**E-mail:** tatyana.rodina@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0960-1251>.**ResearcherID:** https://www.researchgate.net/profile/Tatyana_Nikolayenko⁴Head of the Laboratory of Measuring Technology NN MMI

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

E-mail: aplivak@gmail.com

INVESTIGATION OF ACCURACY OF HOLES IN FIBER POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS DURING TREATMENT WITH DRILLS, WITH THE SURFACE SURFACED ON THEIR

The article considers the main brands of tool materials used for cutting tools used for processing fibrous polymer composite materials (FIC) and sets requirements for them.

The analysis of advantages and disadvantages of their application is carried out. It is noted that to increase the wear resistance of cutting tools made of high-speed steels and carbide alloys for processing fibrous polymeric composite materials are currently used continuous coatings based on TiC, TiN, TiCN, TiALON, AlCrN and others, however, the use of such coatings does not significantly increase resistance due to the impossibility of providing in the process of cutting a small radius of rounding of the cutting edge. It is shown that diamond coatings are predominant for the processing of fibrous polymeric composite materials, but there is a problem of creating the necessary adhesion and high cost of the tool with this coating. Competitive and promising method of applying wear-resistant coatings is the method of electrospark alloying (ESA), which in comparison with other methods has both a significantly lower magnitude of energy consumption and a cost of equipment. The article presents the results of research to determine the accuracy of holes in parts made of fibrous polymeric composite materials, namely fiberglass STEF-U when processing drills from high-speed steel with the discrete covering of globular type put on its working surfaces in comparison with drills with a diamond covering. The obtained research results showed that the obtained values of deviation from the roundness of machined holes meet the requirements for holes for fasteners, and this indicates the possibility of equivalent replacement of drills with polycrystalline diamond coating on drills made of high-speed steel type, which will reduce the cost of the tool and therefore the cost of the finished product without losing the accuracy of processing.

Keywords: cutting tool; tool material; precision machining; wear-resistant coatings; fibrous polymer composite material; electrospark alloying; discrete type coatings; abrasive wear; ceramics; cubic boron nitride; cohesive-adhesive strength of the coating.

Fig.: 4. Table: 1. References: 15.