

## Вплив процесу свердління на параметри якості оброблення полімерних композиційних матеріалів

**Б.В. Лупкін<sup>1</sup>, О.В. Андрєєв<sup>2</sup>, К.В. Майорова<sup>1</sup>, В.С. Антонюк<sup>3</sup>**

1 – Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Харків, Україна

2 – Державне підприємство «АНТОНОВ», Київ, Україна

3 – КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація.** В роботі розглянуто вплив процесу свердління на характеристики міцності волокнистих полімерних композиційних матеріалів. Проведено експериментальні дослідження оброблення полімерних композиційних матеріалів спіральними свердлами та з підрізаючими кромками з P18 та BK8 діаметром 5 мм на режимах різання відповідно до виробничих вимог авіаційного підприємства. Для аналізу впливу температурного фактору на показники міцності вуглепластиків і склопластиків на основі склотканини в процесі свердління, проведено експерименти відповідно стандарту ASTM-D5766 (США). Вимірювання температури при свердлінні проводили безконтактним інфрачервоним пірометром DT-8865. Дослідження на граничну міцність зразків з отворами виконували на установці INSTRON-5582. Встановлено, що міцність полімерних композиційних матеріалів болтових з'єднань працюючих на стиск вища при обробленні твердосплавними свердлами з підрізаючими кромками з BK8. Це можна пояснити тим, що інструмент з твердосплавного матеріалу сприяє більш інтенсивному тепловідведенню із зони різання і зниженням силового навантаження за рахунок підрізаючих різальних кромок свердла.*

***Ключові слова:** полімерні композиційні матеріали, свердління, температура різання, гранична міцність*

Сучасні волокнисті і полімерні композиційні матеріали відомі за своїми унікальними властивостями, які значно переважають за масою, питомою міцністю, жорсткістю та іншими фізико-механічними характеристиками в порівнянні з конструкційними металами. Зокрема в різних галузях машинобудування і особливо в авіабудуванні широко використовуються вуглепластики та склопластики. З таких матеріалів можна створювати будь-які елементи конструкцій із заздалегідь прогнозованими властивостями, що найбільш повно відповідають характеру та умовам роботи виробів найбільш прийнятих в авіаційно-космічній техніці [1].

Однак, явні переваги та перспективи застосування композиційних матеріалів стримуються як специфікою їх виготовлення, так і подальшою технологією їх механічного оброблення внаслідок анізотропії їх властивостей, низької теплопровідності, абразивним впливом наповнювача, неможливістю застосування змащувально-охолоджувальних рідин та незворотною зміною їх фізико-механічних властивостей тощо.

Теплостійкість композитів безпосередньо пов'язана з температурою скловання матричного полімеру. Епоксидні сполучні мають задовільну адгезію до різних волокон, а відносно інших сполучників, мають невисоку теплостійкість до 130...150°C, яка сприяє різкій втраті властивостей міцності композиту [2].

Волокнисті композиційні матеріали за своєю природою та методами їх виготовлення є в'язкопружними та відносяться до власнонапружених систем. Після виготовлення в системі композитів утворюються залишкові напруження та деформації, які при подальшій механічній обробці впливають на показники міцності виробів. Зазначимо, що одним із завдань механічного оброблення композиційних матеріалів при утворенні отворів є забезпечення міцності вузлів з'єднання [3].

На сьогодні немає стандартного регламенту оцінювання дефектів, що утворюються при механічному обробленні композитів. Слід зауважити, що коректність їх оцінок має істотний вплив на міцність і ресурсні показники виробів в цілому. Традиційно використовувані параметри шорсткості обробленої поверхні не дають повної інформації про мікрорельєф якості поверхні [4–5].

Метою роботи є дослідження параметрів якості отворів полімерних композиційних матеріалів, а саме залежність показників міцності від впливу температури, що виникає під час механічної обробки.

Відповідно до кінематики, процес свердління являє собою косокутне різання, що здійснюється в закритому просторі. Тепло, яке накопичується в зоні різання, передається в інструмент (до 60...70%), в поверхню оброблюваного матеріалу (до 35%), а незначна частина (близько 5%) видаляється нещільною пилоподібною стружкою [6].

В роботі представлені експериментальні дослідження впливу температури на граничну міцність при свердлінні вуглепластиків і склопластиків відповідно до стандарту ASTM-D5766 (США) [7].

Свердління проводили на верстаті 1К62 твердосплавними спіральними та свердлами з підрізними різальними кромки (ПРК) діаметром 5 мм на режимах різання відповідно до виробничих вимог авіаційного підприємства.

Вимірювання температури при свердлінні фіксували безконтактним інфрачервоним пірометром DT-8865. Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати досліджень граничної міцності в залежності від температури при свердлінні волокнистих композиційних матеріалів

Оброблюваний матеріал	Фізико-механічні характеристики								
	Модуль пружності Е, ППа	Коефіцієнт Пуасона	Температура провідність, $\lambda$ , Вт/м·К	КЛТР		Коефіцієнт тертя	Матеріал свердла	Температура свердління зразка, $T^\circ$ , С	Гранична міцність при розтягуванні $\sigma$ , МПа
				Вздовж $\alpha \cdot 1^\circ\text{C}$	Поперек $\alpha \cdot 1^\circ\text{C}$				
Склопластик	75	6,2	56...100/ 0,34...0,93	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	0,8...1,0	P18	125	235
							ВК-8	98	270
							ВК8 (ПРК)	85	305
Вуглепластик	200	0,25	0,5...0,7	$-0,7 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	0,13...0,18	P18	105	300
							ВК-8	86	320
							ВК8 (ПРК)	68	460

Аналізуючи отримані результати за таблицею 1, можна сказати наступне. З метою підвищення стійкості інструменту та ефективності оброблення волокнистих полімерних композиційних матеріалів використання твердосплавних свердл ВК 8 з ПРК є більш доцільнішим. На рисунку 1 показано зображення просвердленого отвору в зразках вуглепластику свердлом з ВК 8 з ПРК, отриманого за допомогою світло-оптичного мікроскопу.

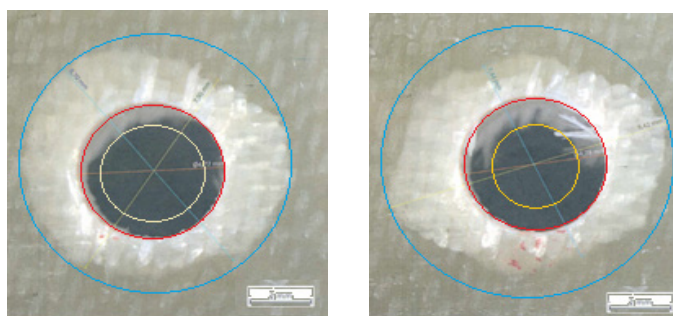


Рис. 1. Зображення просвердленого отвору з визначеним діаметром (—), контуром розшарування (—) та незраних волокон (—)

Для серії експериментів з міцності на стиск зразки виготовлені на сполучному 5-211-БН, товщиною  $2,0^{+0,2}$  мм, шириною  $25^{\pm 0,1}$  мм зі схемою укладки  $[90^\circ; -45^\circ; +45^\circ; 0^\circ; 0^\circ; +45^\circ; -45^\circ;$

90°]. Дві пластини з'єднувались болтами М5 ОСТ-13528-80, з двох сторін притискалися шайбами з зусиллям (затягуванням) крутного моменту 5...7 кПа. Граничну міцність зразків на стиск визначали на установці INSTRON-5582. Результати випробувань дослідних зразків представлено в таблиці 2.

Таблиця 2.

### Результати випробувань зразків з вуглепластику на стиск

Тип свердла	Розмір зразка		Швидкість різання V, м/хв	Температура T, °C	Руйнівне зусилля P, Н	Границя міцності на стиск $\sigma$ , МПа
	ширина, мм	товщина, мм				
ПРК ВК8	25,0 $\pm$ 0,1	20,0 $\pm$ 0,2	15	72	8860	312
			30	89	8860	287
			60	102	8000	268
Стандартне свердло Р18	25,0 $\pm$ 0,1	20,0 $\pm$ 0,2	15	75	7850	260
			30	89	7540	236
			60	141	7450	288

Аналіз результатів експериментальних досліджень за таблицею 2, можна сказати наступне. Міцність матеріалу волокнистих композиційних матеріалів вища при обробленні твердосплавним свердлом ВК8 з ПРК. Це пояснюється більш високою (в 2 рази) тепловіддачею сплаву ВК8 і зниженням силового навантаження за рахунок роботи підрізаючих різальних кромки свердла.

#### Висновки

1. При свердлінні вуглепластиків та склопластиків зі збільшенням температури різання зменшуються показники міцності, при чому у склопластиків більшою мірою ніж у вуглепластиків. Пояснюється це відмінністю коефіцієнтів теплоємності та теплопередачі.
2. Гранична міцність композитного матеріалу знижується зі збільшенням температури у зоні різання. Для склопластиків це зниження вище, ніж у вуглепластиків.
3. Найбільш оптимальними марками інструментальних матеріалів для свердління волокнистих композиційних матеріалів є тверді сплави, які забезпечують більш високі показники міцності оброблених волокнистих композиційних матеріалів.
4. Конструктивно свердла з ПРК забезпечують більш високі показники міцності оброблених волокнистих композиційних матеріалів, що в подальшому впливає на показники ресурсу виробу.

#### Список літератури

1. Андреев А.В. Концепция технологического обеспечения создания эффективных конструкций отечественных гражданских самолетов из полимерных композиционных материалов в современных условиях / А.В. Андреев, В.Е. Гайдачук, А.В. Кондратьев, О.В. Орлов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2017. – № 3(138). – С. 64–76.
2. What are the Terminology, Types, and Formats of Reinforcement Fiber? Режим доступа: <https://www.addcomposites.com/post/reinforcement-fibers-terminology-types-and-formats>. Название с экрана.
3. A Review on Drilling of Multilayer Fiber-Reinforced Polymer Composites and Aluminum Stacks: Optimization of Strategies for Improving the Drilling Performance of Aerospace Assemblies Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2079-6439/10/9/78>. Название с экрана.
4. Devin, L.N., Grechuk, A.I. & Lupkin, B.V. Drilling of Composites Using Tools of Polycrystalline Superhard Materials. *J. Superhard Mater.* 40, 58–64 (2018). <https://doi.org/10.3103/S1063457618010094>
5. Maiorova K., Vorobiov I., Andreev O., Lupkin B., Sikulskiy V. Forming the geometric accuracy and roughness of holes when drilling aircraft structures made from polymeric composite materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022. No. 2(116). P. 71-80. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254555>
6. Антонюк В.С. Теплові явища при обробці матеріалів різанням / В.С. Антонюк, С.Ан. Клименко, С.А. Клименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156 с. <https://kafvp.kpi.ua/book/teplovi-javisha-pri-obrobci-materialiv/>
7. ASTM D5766 Open-Hole Tensile Strength of Polymer Matrix Composite Laminates. <https://www.instron.com/en-in/testing-solutions/astm-standards/astm-d5766-open-hole-tensile-strength-of-polymer-matrix-composite-laminates>

## The drilling process impact on the parameters of the polymer composite materials processing quality

B.V. Lupkin<sup>1</sup>, O.V. Andrieiev<sup>2</sup>, K.V. Maiorova<sup>1</sup>, V.S. Antonyuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Enterprise “ANTONOV”, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** *The paper examines the influence of the drilling process on the strength characteristics of fibrous polymer composite materials. Experimental studies of the polymer composite materials processing with spiral drills and cutting edges of P18 and VK8 with a diameter of 5 mm were conducted in cutting modes in accordance with the technological recommendations of aviation manufacturing. To analyze the temperature factor influence on the strength indicators of carbon fiber and fiberglass in the drilling process, experiments were conducted in accordance with the ASTM-D5766 standard (USA). Temperature measurements during drilling were carried out with a non-contact infrared pyrometer DT-8865. Research on the ultimate strength of samples with holes was performed on the INSTRON-5582 installation. It was established that the polymer composite materials strength of bolted joints working under compression is higher when processed with carbide drills with cutting edges with VK8, which can be explained by the fact that the tool made of carbide material promotes more intensive heat removal from the cutting zone and reduces the force load due to cutting edges of the drill.*

**Keywords:** *polymeric composite materials, drilling, cutting temperature, boundary materiality.*