

УДК 629.735.33.015.4

Лупкін Б.В., докт. техн. наук, професор  
Антонюк В.С., докт. техн. наук, професор  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[victor.antoniuk@gmail.com](mailto:victor.antoniuk@gmail.com)

Андреев О.В., докт. техн. наук  
Толстой С.А., викладач  
Державне підприємство «АНТОНОВ», м. Київ  
Майорова К.В., докт. техн. наук, професор  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРУ НА МІЦНІСТЬ ПІД ЧАС СВЕРДЛІННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасні композиційні матеріали на основі полімерних волокон та зв'язуючої матриці значно перевищують за масою, питомою міцністю, жорсткістю та іншим фізико-механічними характеристикам метали [1].

Волокнисті композиційні матеріали за своєю природою та методами їх виготовлення є в'язкопружними та відносяться до самонапружених систем у яких утворюються залишкові напруження та деформації, які при подальшому механічному їх обробленні впливають на показники міцності виробів.

Під дією сил різання, у матеріалі композиту виникають деформаційні напруження, що накладаються на технологічні залишкові напруження і з урахуванням сил тертя оброблюваного та інструментального матеріалів в процесі різання виникають високі температури – понад 300°C [2].

Теплостійкість композитів безпосередньо пов'язана з температурою скловання матричного полімеру. Епоксидні зв'язуючі мають хорошу адгезію до різних волокон, відносно інших зв'язуючих, але мають невисоку теплостійкість до 130...150°C, яка сприяє різкій втраті міцнісних властивостей.

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 [3].

З урахуванням значної різниці теплофізичних властивостей наповнювача та матричного зв'язуючого, під впливом високих температур у зоні оброблення, процес різання на відміну від металів, сприяє зниженню існуючих адгезійних сил зчеплення, утворенню дефектів: мікротріщин, усадки, міжшарового розшарування, ворсистості (незрізаних витягнутих волокон), термодеструкції матричного матеріалу, що значною мірою впливають на характеристики міцності (рис.1).

До цього часу немає регламентованих стандартизованих оцінок дефектів композиційних матеріалів, що утворюються при механічному обробленні, які мають істотний вплив на міцність і ресурсні показники виробів. Традиційно використовувані параметри шорсткості обробленої поверхні не забезпечують повну інформацію про мікрорельєф якості поверхні.

**Метою роботи** є дослідження впливу температурного фактору в зоні різання при свердлінні на характеристики міцності полімерних композиційних матеріалів.

Враховуючи значний вплив температурного фактору на показники міцності оброблюваного матеріалу, в роботі проведені дослідження процесу свердління вуглепластиків ЕЛУР-П-01 і склопластиків Т-10-14, відповідно до стандарту ASTM-D5766 (США).



Рис. 1 – Електронно-мікроскопічні дослідження поверхні композиційного полімерного матеріалу на мікроскопі Zeiss EVD 40 XVP (x100  $\mu\text{m}$ ).

Температуру різання при свердлінні вимірювали безконтактним інфрачервоним пірометром DT-8865.

Для досліджень впливу температури на міцність композиту виготовлені зразки зі склопластика Т-10-14 товщиною  $2 \dots 1,8 \pm 0,1$  мм, а для вуглепластика ЕЛУР-П-01 товщиною  $1 \pm 0,1$  мм розмірами  $220 \times 15$  мм відповідно до стандарту ASTM-D5766 (США).

Свердлили на верстаті 1К62 спіральними свердлами та з підрізаючими кромками діаметром 5 мм зі швидкістю різання  $V = 50$  м/хв. та подачею  $S = 0,1$  мм/об,

Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність граничної міцності волокнистих композиційних матеріалів від температури при свердленні свердлами ВК8

Досліджуваний матеріал	Фізико-механічні характеристики								
	Модуль пружності Е, ППа	Коефіцієнт Пуассона	Температуро-провідність, $\lambda$ , Вт/м·К	КЛТР		Коефіцієнт тертя	Матеріал. свердла	Температура свердління зразка, $T^\circ$ , С	Гранична міцність при розтягу $\sigma$ , МПа
				Вздовж $\alpha$ · $1^\circ\text{C}$	Поперек $\alpha$ · $1^\circ\text{C}$				
Склопластик	75	6,2	56...100/ 0,34...0,93	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	0,8...1,0	Р18	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	Р18	105	300
							ВК-8	86	320
							ВК8 (ПРК)	68	460

Аналіз результатів експериментів досліджень показав, що найменша величина мікротріщин утворюється при свердлінні свердлами з підрізаючими кромками з ВК8, і міцність матеріалу волокнистих композиційних матеріалів при цьому вища. Пояснюється це більш високою (в 2 рази) тепловіддачею ВК8, що сприяють більш інтенсивному тепловідведенню із зони різання і зниженням силового навантаження за рахунок підрізаючих різальних крайок свердла.

**Висновки.** При свердлінні вуглепластиків та склопластиків зі збільшенням температури у зоні різання збільшується глибина мікротріщин. Причому у склопластиків більшою мірою ніж у вуглепластиків, а їх гранична міцність знижується, для склопластиків вище, ніж у вуглепластиків, що пояснюється відмінністю коефіцієнтів теплоємності та теплопередачі.

Найбільш ефективними інструментальними матеріалами при обробленні композиційних матеріалів є тверді сплави, а при для операцій свердління – твердосплавні свердла ВК8 з підрізаючими різальними кромками, які забезпечують більш високі показники міцності оброблених волокнистих композиційних матеріалів.

**Список посилань**

1. 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.
2. Сверление отверстий в деталях из композиционных материалов с использованием инструментов из сверхтвердых поликристаллов / Л.Н. Девин, А.И. Гречук, Б.В. Лупкин // Сверхтвердые материалы. – 2018. – № 1. – С. 77-85.
3. Теплові явища при обробці матеріалів різанням / В.С. Антонюк, С.Ан. Клименко, С.А. Клименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156 с.

УДК 621.73.16

**Лавріненко А.Д., канд. техн. наук, доцент**

**Мироненко В.А., аспірант**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

a.lavrinenko@kpi.ua

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСАДЖУВАННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРІАЛУ ШТАМПУВАННЯМ ОБКОЧУВАННЯМ**

Особливість штампування обкочуванням полягає в локальному деформуванні. Локальна деформація утворюється при штампуванні обкочуванням внаслідок силового впливу на заготовку активним інструментом, що має форму конуса. Зона пластичної деформації при штампуванні обкочуванням можна визначити завдяки таких параметрів процесу: осьовою швидкістю деформування  $V$ , частотою обкатування  $n$  і кутом нахилу осі обкатування  $\gamma$  і оцінюється за коефіцієнтом  $\lambda$ , що є співвідношенням площі контакту між активним інструментом і заготовкою  $F_k$  до площі повної торцевої поверхні заготовки  $F$  [1]:

$$\lambda = \frac{F_k}{F} = \sqrt{\frac{S}{\pi^2 \cdot R \cdot tq\gamma}}$$

де  $S=v/n$  – подача за одиничне обкочування;

$R$  – поточний радіус заготовки.

На рис. 1 представлено ескізи вихідних заготовок для осаджування. Осаджування заготовок буде відбуватись до 50% по висоті.

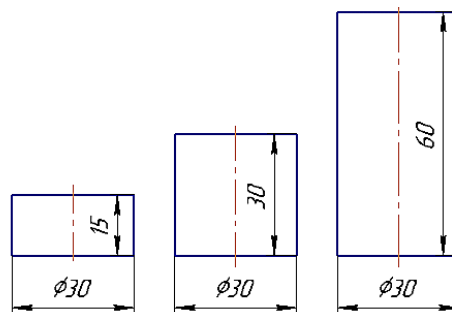


Рис. 1 – Ескізи вихідних зразків для осаджування

Штампування обкочуванням на даний час знайшло своє застосування в обробці сплавів. Однак найбільш зацікавленість є у вивченні можливості використання штампування обкочуванням для обробки порошкових спечених заготовок. Завдяки такому процесу відбувається ущільнення матеріалу.

Для перевірки можливості осадження заготовок, було здійснено чисельне моделювання в програмному комплексі «DEFORM-3D».