



УДК 621.91:678.5

*Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М.*

Національний технічний університет України «КПІ». Україна, м. Київ

### ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ СВЕРДЛА НА ЙОГО СТІЙКІСТЬ І ТОЧНІСТЬ ВИКОНАННЯ ОТВОРІВ ПРИ СВЕРДЛІННІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Досліджено та проаналізовано вплив геометрії інструменту (свердла) на величину зношування і якість отворів при свердлінні полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). Зношування визначено шляхом аналізу віброакустичного сигналу в процесі обробки.*

*Проведене порівняння результатів комп'ютерного моделювання зношування і безпосереднього його вимірювання.*

*Ключові слова:* композиційний матеріал; свердління; віброакустичний сигнал; зношування інструменту; якість отвору.

#### Постановка проблеми

В сучасних умовах та при сучасному розвитку технологій обробки ПКМ, різноманітності інструменту і матеріалу, одною з найбільш розповсюдже-

них технологічних операцій при обробці ПКМ різанням являється свердління отворів.

Характерним при обробці ПКМ є незначне зношування по передній поверхні, що пояснюється малими силами, що прикладені до неї. В той же час,

зношування по задній поверхні значне, що пояснюється контактними явищами через велике пружне відновлення оброблювальної поверхні. Щоб збільшити стійкість інструменту, необхідно зменшити інтенсивність його зношування, що залежить від виду інструментального матеріалу, геометрії інструменту і ретельності його заточування.

В даній роботі досліджується залежність інтенсивності зношування та якості отворів в композиційному матеріалі (вуглепластику) від геометрії інструменту, а саме від величини головного кута в плані для другого ступеня двохступінчатого свердла на основі запису та наступного аналізу віброакустичного сигналу в процесі свердління. Це дозволить оптимізувати геометрію свердла, підвищити його стійкість та якість оброблених отворів. Актуальним є дослідження рівня зношування інструменту для своєчасної його заміни.

### Рівень дослідженості проблеми

Щодо контролю рівня зношування інструменту були запропоновані такі методи: метод реєстрації віброакустичного сигналу в зоні різання [1, 5], застосування спектрального аналізу [6] тощо.

В роботі [7] викладений підхід до створення системи інтелектуального аналізу зображень зон зносу різальних інструментів. Запропоновано методи підвищення якості автоматичної обробки та розпізнавання зображень зон зношування інструментів. Показана доцільність застосування спектрального аналізу зон зображень інструментів, що містять дефекти структури.

Кокаровцев В.В. в роботі [1] досліджував контроль процесу металообробки на базі віброакустичного сигналу, зокрема була написана програма, що дозволяла розрахувати величину зношування інструменту.

### Основна частина

Полімерні композиційні матеріали широко розповсюджені в різних галузях промисловості, зокрема

в авіації, через виключне поєднання механічних, фізичних та хімічних властивостей. Через особливості ПКМ процеси механічної обробки, зокрема свердління, як один з найпоширеніших методів [8], на даний момент вивчені не в повній мірі. Особливістю свердління анізотропних матеріалів є періодичний характер зміни осьової сили і крутного моменту протягом часу одного обороту свердла, а також те, що міцність наповнювача (армуючих волокон) на порядок більше міцності зв'язуючого. Головним чином саме анізотропія властивостей ПКМ приводить до зміни силових характеристик. Це викликає появу власних коливань, що зумовлене будовою матеріалу. Тому необхідно підібрати такі умови свердління, при яких силові характеристики будуть стабільними в часі [8].

Проблема зношування інструмента є актуальною через те, що зі зменшенням величини зношування зменшуються затрати на станок і оброблювальну деталь, через можливість обробити більше деталей, а також зменшується час, що затрачується на переточування інструмента.

Дослідженню залежності між зношуванням інструменту і дією різних факторів присвячений ряд робіт [1–5, 9, 10]. Дане дослідження дозволяє дослідити залежність між рівнем зношування інструменту та якістю оброблювального отвору і геометрією інструменту на основі аналізу віброакустичного сигналу.

Для проведення дослідження був взятий зразок композиційного матеріалу, а саме вуглепластика товщиною 6 мм з перехресним армуванням (з викладкою 0–90°), армованого органічною сіткою. Для обробки отворів використовувалось двохступінчаті свердло (рис. 1). Дана конструкція свердла була змодельована за методикою Tsao [9] в НТУУ «КПІ» [10], де було проведено математичне моделювання та експериментальні випробування для визначення оптимальної геометрії даного інструменту.

Для дослідження залежності були обрані чотири зразки свердел з різними головними кутами в плані



Рис. 1. Зображення двохступінчатого свердла для композиційних матеріалів, розроблене в НТУУ «КПІ»

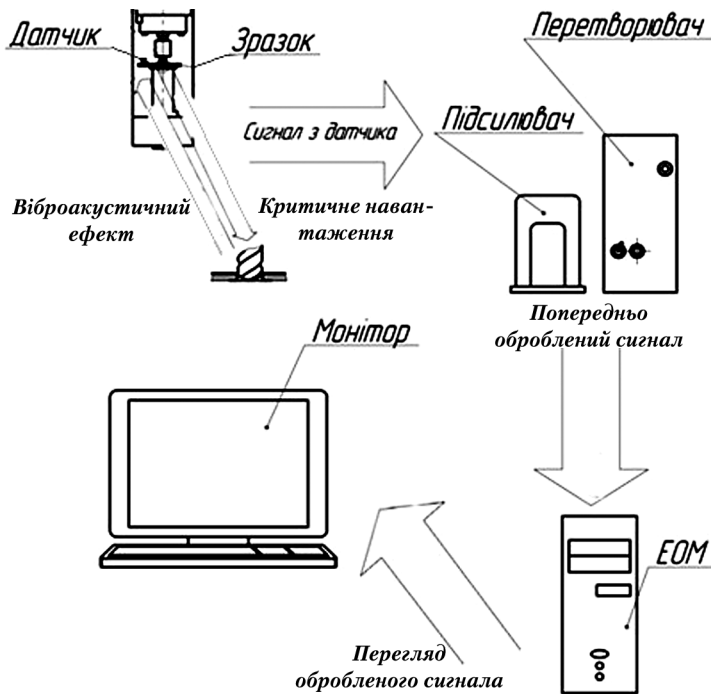


Рис. 2. Схема отримання вібракустичного сигналу

для другого (широкого) ступеня свердла, а саме  $2\varphi_{21}=110^\circ$ ,  $2\varphi_{22}=120^\circ$ ,  $2\varphi_{23}=130^\circ$ ,  $2\varphi_{24}=140^\circ$ . Кут в плані першої ступені свердла у всіх чотирьох зразків був зроблений однаковим, а саме  $2\varphi_1=120^\circ$ . Діаметр свердел 10 мм. Частота обертання шпинделя  $n=880$  об/хв. Матеріал свердел був вибраний R6M5 через те, що для невеликої серії експериментів необхідно було дістати видиму величину зношування. Більш твердий матеріал дасть меншу величину зношування.

Вібракустичний сигнал фіксувався за такою схемою (рис. 2): при досягненні значення критичної

сили (критичного навантаження) відбувається відрив залишкових шарів матеріалу від основного матеріалу. Це явище супроводжується вібракустичним ефектом. Вібракустичний ефект у вигляді сигналу фіксується датчиком який встановлений на зразку. З датчика сигнал поступає до підсилювача, після чого він надходить до аналогово-цифрового перетворювача, де дані оцифровуються.

Для обробки даних була використана програма Cool Edit Pro 2 [2]. Це новітня версія однієї з найбільш популярних програм для роботи зі звуком. Cool Edit Pro 2 дозволяє записувати багатопляхові аудіоданні з мікрофона або будь якого джерела звукового сигналу (в нашому випадку цим джерелом є датчик); редагувати й обробляти як окремі файли, так і групу файлів; виконувати мастерінг та вести запис.

Отриманий сигнал записується у вигляді треку. Мультиактивний режим цієї програми дозволяє вести запис звуку у режимі реального часу. Записаний трек дана програма зберігає у вигляді текстового файлу (рис. 3)

При записі з датчика був отриманий трек такого виду (рис. 4). Прямокутником показаний момент входу свердла в матеріал. Потім на отриманий трек були накладені динамічний та науковий фільтри (рис. 5), після чого він набув вигляду, показаного на рис. 6.

Для розрахунку швидкості та величини зношування інструменту була використана програма, що описана в дисертаційній роботі Кокаровцева В.В. [1]. Автор застосував цю програму для дослідження про-

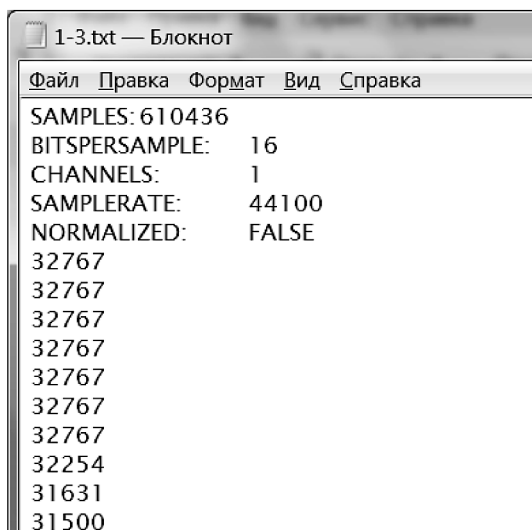


Рис. 3. Текстовий файл отриманий після запису вібракустичного сигналу

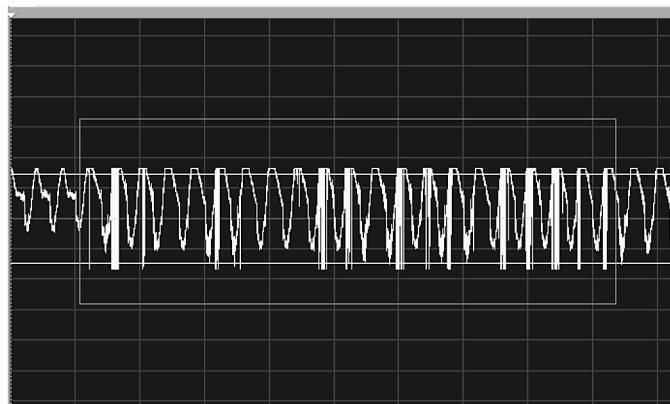


Рис. 4. Трек, отриманий шляхом запису вібракустичного сигналу з датчика

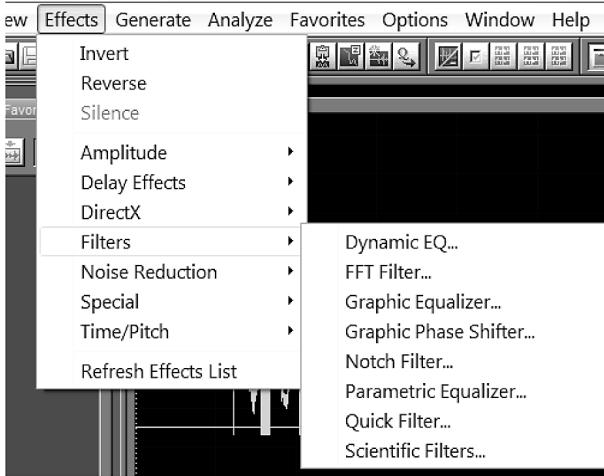


Рис. 5. Панель фільтрування треку

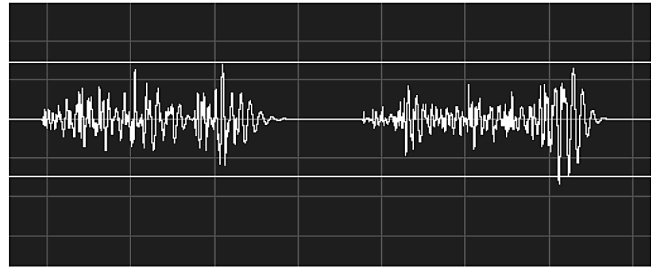


Рис. 6. Вигляд треку після накладення фільтрів

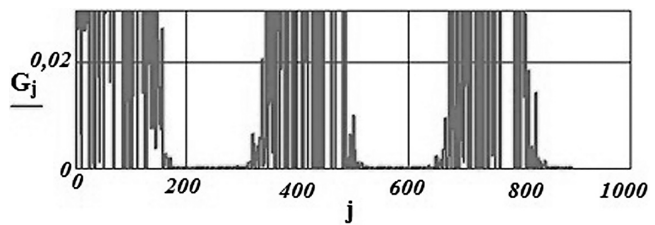
цесу металообробки на основі віброакустичного сигналу. В даному дослідженні програма використовується для контролю процесу механічної обробки ПКМ (рис. 7).

Програма також дозволяє відфільтрувати сигнал від збуджуючих параметрів, а потім розрахувати величину та швидкість зношування інструменту.

### Результати розрахунків

У таблицях 1 та 2 наведені результати проведених розрахунків для можливої кількості отворів для даного режиму, матеріалу зразка і геометрії інструменту, а також для часу обробки зразка кожним свердлом. Діаграма залежності часу обробки від геометрії інструменту подана на рис. 8.

По розрахункам, виконаним за допомогою даної програми були побудовані графіки залежності величини та швидкості зношування від шляху, пройденого свердлом (рис. 10 та рис. 11 відповідно). Вказане



$$q_j := U_j - G_j$$

$$V_0 := 0,014 \quad V_k := V_0 + q \cdot \text{round}\left(\frac{n}{m}; 0\right) - 2$$

$$V_k = 0,01399 \quad \text{зношування (мм)}$$

**Швидкість зношування при даних режимах**

$$V_k := \frac{|B_k|}{T_p} \quad V_k = 1,37485 \times 10^{-3} \text{ мм/сек}$$

Рис. 7. Частина програми для розрахунку швидкості та величини зношування інструменту

Максимально-допустима кількість отворів для свердел в залежності від геометрії

Таблиця 1.

Матеріал заготовки	Кут 2φ <sub>2</sub> свердла	110°	120°	130°	140°
Вуглепластик	Зношування, мм	0,0152	0,0138	0,0131	0,0136
	Швидкість зношування, мм/с	0,0042	0,0034	0,0032	0,0033
	Кількість отворів	65	72	76	73

Час обробки зразка в залежності від геометрії інструменту

Таблиця 2.

	110°	120°	130°	140°
Час обробки, с	3,61	4,05	4,09	4,12

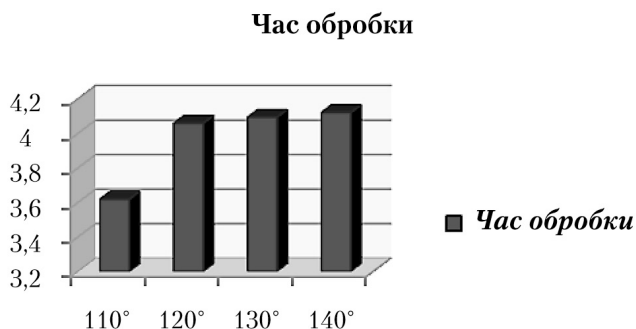


Рис. 8. Діаграма залежності часу обробки зразка від геометрії інструменту

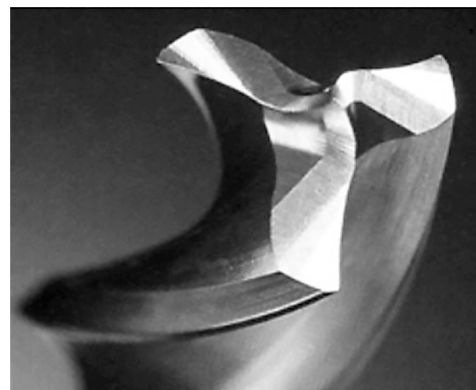


Рис. 9. Зображення трьохперого свердла



Рис. 10. Графік залежності величини зношування від шляху, пройденого свердлом: 1 – для трьохперого свердла; 2,3,4,5 – для двохступінчатих свердел з різним кутом в плані другого ступеня свердла

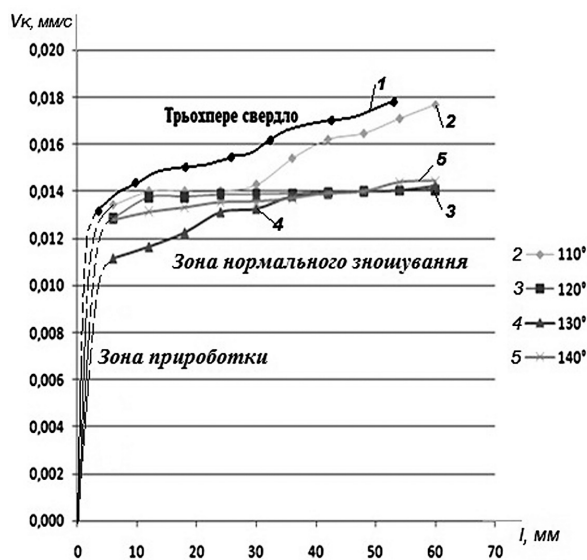


Рис. 11. Графік залежності швидкості зношування від шляху, пройденого свердлом: 1 – для трьохперого свердла; 2,3,4,5 – для двохступінчатих свердел з різним кутом в плані другого ступеня свердла

порівняння двохступінчастого та триперого свердел. На обох графіках показаний випадок для трьохперого свердла (рис. 9). Видно, що двохступінчасте свердло зношується повільніше, а також доведена відсутність області критичного зношування інструменту, що наявна у випадку металів. Для ПКМ наявні дві області, а саме – зона прироботки та зона нормального зношування [3].

#### Вимірювання величини зношування

Наступним етапом експерименту було з'ясування можливості застосування комп'ютерних технологій до процесу різання. Тобто були проведені безпосередні вимірювання величини зношування свердел. Для вимірювання використовувався мікроском УИМ-23. Отримані результати наведені в таблиці 3 та на графіках (рис.12). Тут  $h$  – відстань від осі свер-

дла до точки вимірювання вздовж різальної кромки,  $l$  – величина зношування різальної кромки.

Програма, запропонована Кокаровцевим була відкоригована для обробки ПКМ і проведено порівняння результатів розрахунків та вимірювань. Результати порівняння показують, що дану програму можливо використовувати для інших матеріалів та інструменту і отримувати результати величини та швидкості зношування з великою точністю.

#### Якість отриманих отворів

Свердління ПКМ відбувалося з однаковим зусиллям різання, тобто  $P_0 = \text{const}$ . В результаті проведення експерименту були виявлені відмінності в якості утворених отворів, а також в самому процесі свердління. На рисунках 13 та 14 представлений вигляд отриманих отворів на вході та виході відпо-

Таблиця 3.  
Результати безпосереднього  
вимірювання величини  
зношування різальної кромки  
свердла

110°		120°	
<i>l</i>	<i>h</i>	<i>l</i>	<i>h</i>
0	0	0,1	0
0,002	0,5	0,105	0,5
0,017	1	0,108	1
0,023	1,5	0,109	1,5
0,032	2	0,11	2
0,049	2,5	0,111	2,5
0,068	3	0,112	3
0,089	3,5	0,116	3,5
0,152	4	0,12	4
130°		140°	
<i>l</i>	<i>h</i>	<i>l</i>	<i>h</i>
0,093	0	0,092	0
0,119	0,5	0,112	0,5
0,146	1	0,124	1
0,163	1,5	0,157	1,5
0,181	2	0,175	2
0,19	2,5	0,181	2,5
0,192	3	0,186	3
0,195	3,5	0,194	3,5
0,197	4	0,198	4

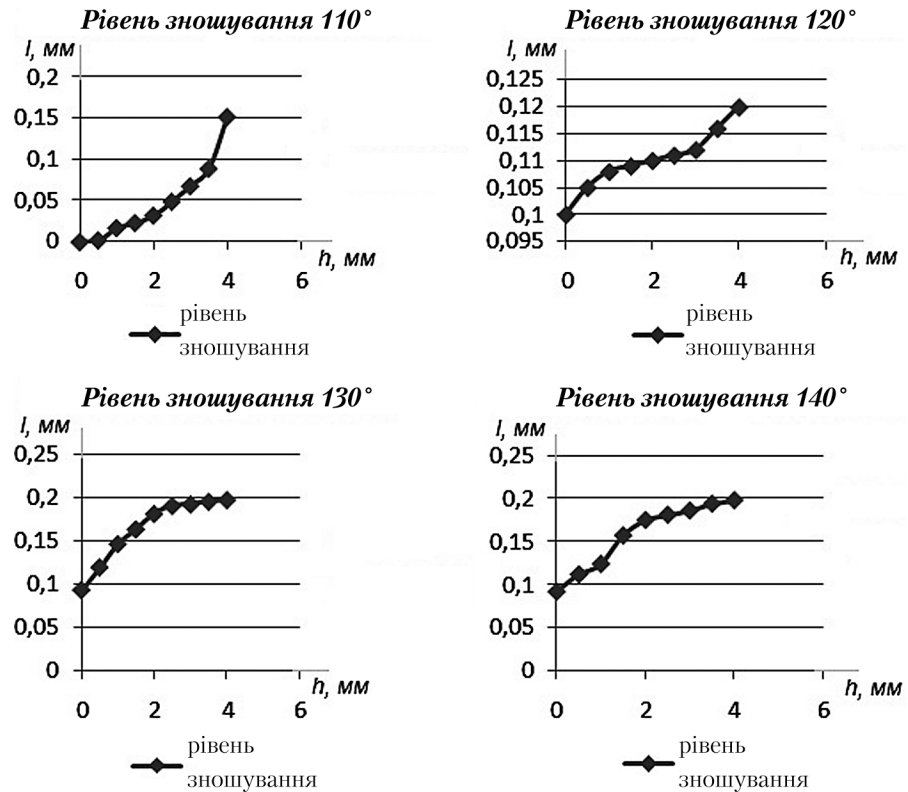


Рис. 12. Графіки залежності величини зношування свердла від відстані точки вимірювання від осі свердла

відно (рисунки г, д, е, є) порівняно з отворами, що були отримані при обробці спіральним двошперим та спіральним трьохшперим свердлами (б, в) а також ступінчастим свердлом матеріалу Twintex (а).

Об'єктивна оцінка експерименту показала, що зокрема при свердлінні інструментом з  $2\phi_2=110^\circ$  особливого зусилля при подачі свердла не виникало. Нагрівання свердла і матеріалу було незначне, якість

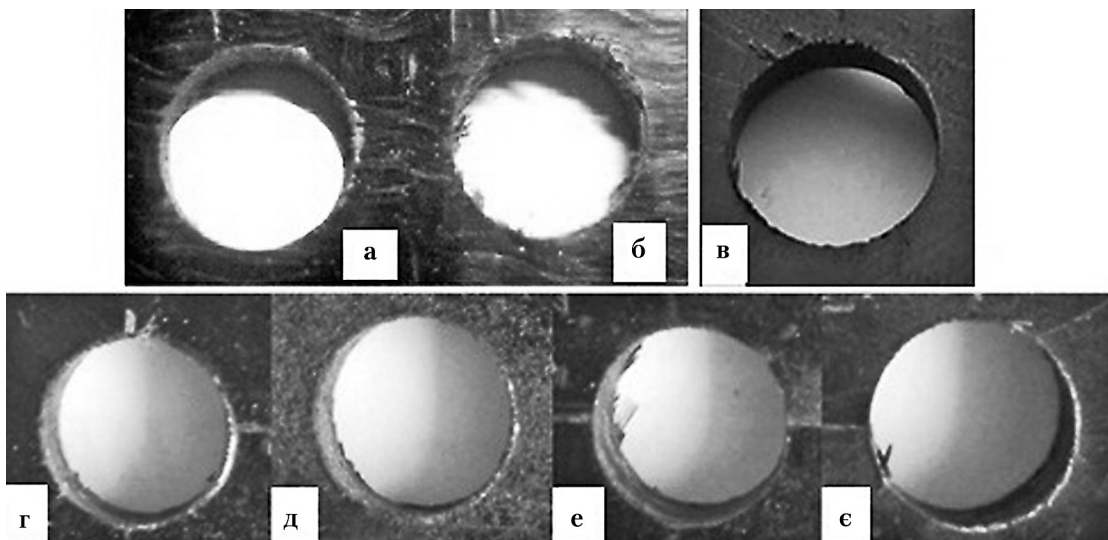
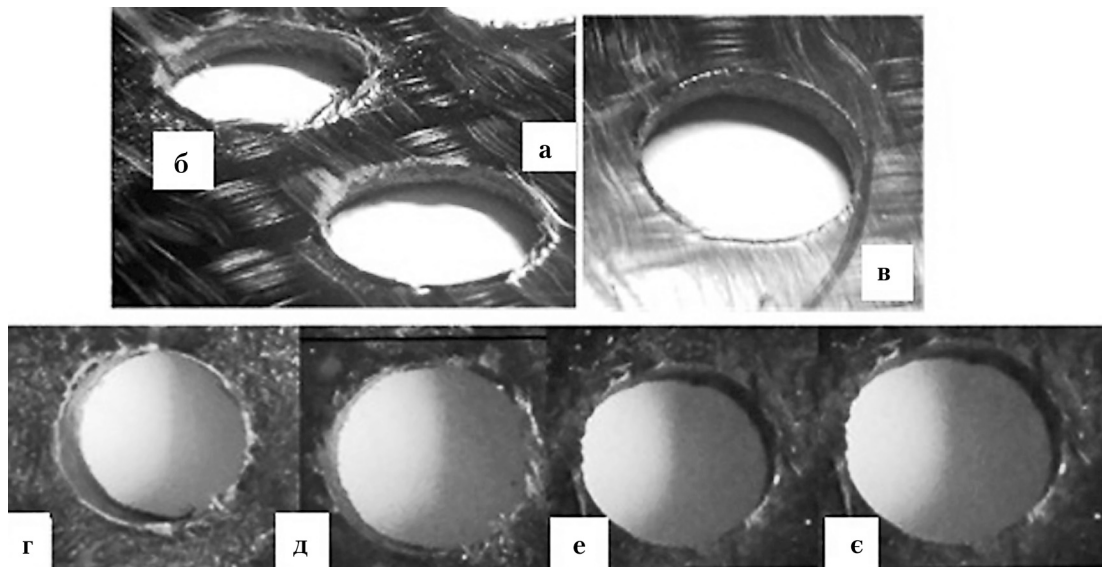


Рис. 13. Зображення отвору на вході після обробки:  
а – ступінчастим спіральним свердлом; б – спіральним двошперим свердлом; в – спіральним трьохшперим свердлом;  
г – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=110^\circ$  (вуглепластик); д – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=120^\circ$  (вуглепластик);  
е – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=130^\circ$  (вуглепластик); є – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=140^\circ$  (вуглепластик)



**Рис. 14.** Зображення отвору на виході після обробки:  
 а – ступінчастим спіральним свердлом; б – спіральним двохперим свердлом; в – спіральним трьохперим свердлом;  
 г – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=110^\circ$  (вуглепластик); д – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=120^\circ$  (вуглепластик);  
 е – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=130^\circ$  (вуглепластик); є – ступінчастим свердлом з  $2\phi_2=140^\circ$  (вуглепластик)

отворів відносно добра. На виході спостерігалось незначне вспучування матеріалу, поява ворсистості та розшарування. Помітного нагрівання інструменту не відбувалося.

При свердлінні 2 зразком ( $2\phi_2=120^\circ$ ) спостерігається легша подача свердла, але якість отвору погана як на вході так і на виході. Виникають сколи, розшарування, розлохмачування волокон. Стружка розлітається (при свердлінні першим зразком такого не відбувалося).

При свердлінні 3 зразком ( $2\phi_2=130^\circ$ ) збільшується час свердління. Також спостерігається значне нагрівання свердла та матеріалу, виникають прижоги. Проте якість отворів краща, ніж у другому випадку. Вихід стружки охайний, вся стружка збирається навколо отвору. Відсутнє таке значне, як у другому випадку розшарування на виході ствердла.

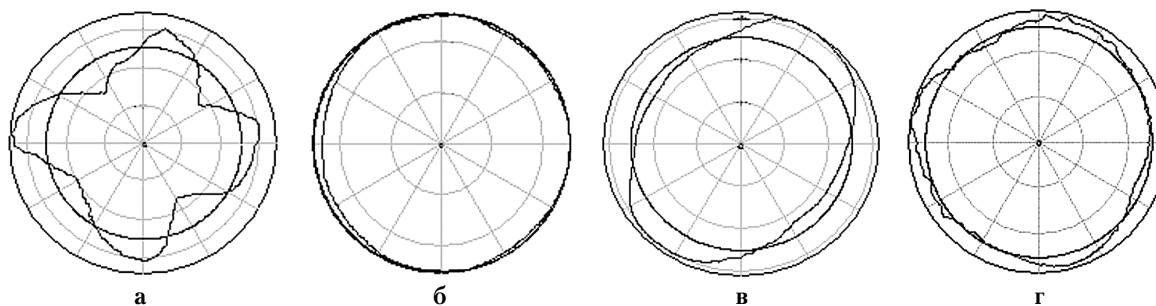
При свердлінні 4 зразком ( $2\phi_2=140^\circ$ ) спостерігається відносно легке зусилля при подачі, добра якість отвору на вході. На виході – 3 з 10 отворів якість задовільна. Свердло та матеріал нагріваються.

В процесі обробки температура інструменту не вимірювалась. Вона фіксувалась після виходу свердла за допомогою термопари. Найвища зафіксована температура була у третього зразка інструменту (порядку  $60^\circ\text{C}$ ), четвертий зразок свердла нагрівався менше ( $30\text{--}40^\circ\text{C}$ ), у першого та другого зразків нагрівання спостерігалось незначне ( $20^\circ\text{C}$ ).

#### Відхилення отворів від круглої форми

Дослідження, проведені для спіральних двохперого та триперого свердел показали, що трипере свердло дає набагато менше відхилення отвору в композиційному матеріалі ніж двопере. Круглограми для обробки склопластика та вуглепластика двома видами свердел представлені на рисунку 15.

Після проведення вимірювання відхилення отворів від круглої форми в експериментальному зразку за допомогою круглометра були отримані результати, зображені на рисунках 16.



**Рис. 15.** Відхилення отворів від круглої форми:  
 а – двопере свердло для склопластика; б – трьохпере свердло для склопластика; в – двопере свердло для вуглепластика; г – трьохпере свердло для вуглепластика

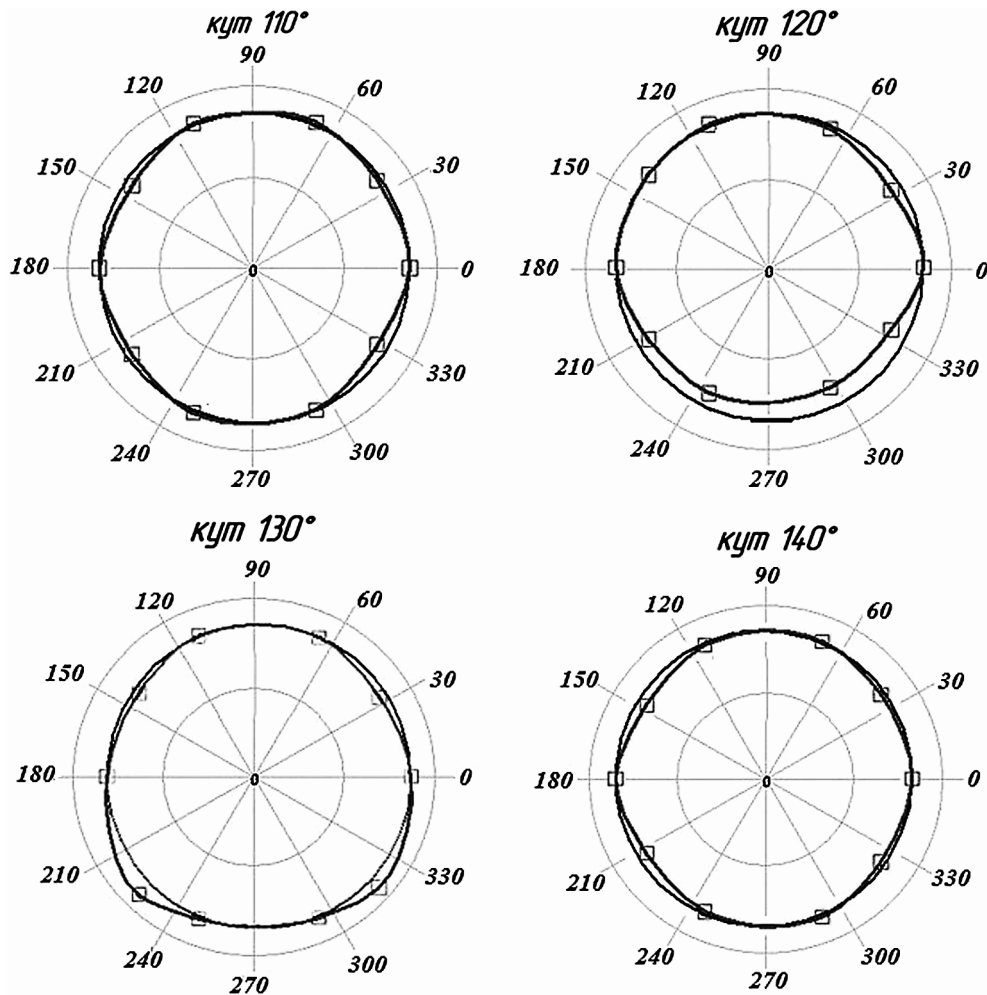


Рис. 16. Схема відхилення отворів від круглої форми для 4 зразків інструменту

В таблиці 4 та на діаграмі (рис. 17) показана залежність середнього відхилення отворів у композиційному матеріалі від круглості від геометричних параметрів інструменту.

Можна зробити висновок, що зразок свердла з кутом в плані 120° дає найбільше відхилення отворів і найгіршу якість як на вході, так і на виході інструменту. І сам процес свердління цим зразком важчий, ніж трьома іншими. Найменше відхилення отворів

згідно вимірювань та розрахунків дає свердло з подвійним кутом в плані 130°.

Зношування цього свердла, по результатам розрахунків також є найменшим. У зразків 1 та 4 (відповідно з кутами 110° та 140°) показники рівня зношу-

Таблиця 4.  
Середнє відхилення отворів від  
круглої форми

110°	1,20125
120°	1,48625
130°	0,8925
140°	1,19375



Рис. 17. Діаграма залежності середнього відхилення отворів в композиційному матеріалі від круглої форми від геометрії інструменту





вання та якості отворів близькі за значеннями. Тобто якщо проаналізувати швидкість нагрівання з зразка (кут  $130^\circ$ ), то можна отримати добру якість отворів та мале зношування інструменту, що збільшить час і зменшить витрати на обробку.

#### Висновки та перспективні напрями дослідження

В результаті проведеного дослідження була показана залежність величини зношування інструменту (ступінчатого свердла) від його геометрії при свердлінні отворів в композиційному матеріалі (вуглепластику), що була отримана в результаті запису та обробки віброакустичного сигналу. Програма, запропонована Кокаровцевим для контролю процесу механічної обробки металів, працює і при обробці ПКМ, але необхідно ввести поправочні коефіцієнти.

Було показано, що з чотирьох зразків інструменту, оптимальним є двохступінчасте свердло з подвійним кутом в плані  $2\phi_2=130^\circ$ . Це свердло дає найкращу якість отворів в ПКМ, а також величина зношування для даної геометрії менша (0,131 мм, при швидкості зношування 0,032 мм/с).

Перспективним напрямком дослідження є поєднання використаної в даній роботі програми з програмою, що працює по принципу МГУА (метод групового урахування аргументів). Це дозволить побудувати математичну маделю та вивести поправочні коефіцієнти, що в свою чергу дозволить спрогнозувати рівень зношування інструменту, знаючи його фізико-механічні характеристики, і застосовуючи функцію, отриману з моделювання.

#### Література

[1] Kokarovtsev V.V. The monitoring methods of quality and process of metal machining based on vibro-acoustic

signal – dissertation for the degree of candidate of technical sciences, – Kiev, 1994.

- [2] Anserov M. A. Devices for metal cutting machines. Calculations and design. – 3rd edition, stereotype – M: Mechanical Engineering. 1966. – 650 p.
- [3] A. A. Stepanov Machining of high-strength composite materials. – L.: Mechanical Engineering, 1987. – 178 p.
- [4] AS RU 2095199 C1. Drill for the application of polymer composite materials such as carbon-fiber and glass fiber / Balla O., MLO.11.1997.
- [5] Y. A. Markar'yan, Measurement of tool wear in the automated drilling process //JournalDstu V.7. Number 2 (33), Section "Mechanical Engineering" 2007, P. 204-208.
- [6] A. G. Derevyanchenko, O. Y. Babilunga, D. A. Krinitsyn, Intelligent image analysis of cutting tools wear zones // International scientific and technical collection V. 78, Kharkov National Technical University. HPI. – 2010, P. 34-41.
- [7] Dudarev A. S., Improving the efficiency and quality of hole on the basis of the stabilization process of drilling the products from polymeric composite materials // the synopsis of dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, Perm, 2009, 20 p.
- [8] Bulakh I. A., Globa A. V. Machining of composite materials – Journal ChSTU – Chernigov: ChSTU, 2012. – № 2 (57), P. 18-24.
- [9] C.C. Tsao Influence of Geometry in Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics, – Advanced in machining and Manufacturing Technology IX, – Swizerland, 2008, P. 236-240.
- [10] Globa O.V., Kuhanovskyy O. V. – Analytical calculation of critical efforts separation in the processing of composite materials with stepped drills and determination the optimal value of degree – Collected Works "Reliability optimization of technological tools and systems", vol. 28, 2011.

*Globa A. V., Bulakh I. A., Mylokost S. N.*

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute". Ukraine, Kiev

### THE INFLUENCE OF DRILL GEOMETRY ON ITS STABILITY AND ACCURACY OF DRILLING HOLES IN COMPOSITE MATERIALS

*The influence of the geometry of the cutting tool (drill) on the degree of wear and hole quality during drilling the polymeric composite materials was studied and analyzed. Depreciation is determined by the analyzing of the vibro-acoustic signal during processing. A comparison the results of computer modeling the depreciation and direct measurement was done.*

Keywords: composite material, drilling, vibro-acoustic signal, tool wear, the quality of the hole.

## References

- [1] Kokarovtsev V.V. The monitoring methods of quality and process of metal machining based on vibro-acoustic signal – dissertation for the degree of candidate of technical sciences, – Kiev, 1994.
- [2] Anserov M. A. Devices for metal cutting machines. Calculations and design. – 3rd edition, stereotype – M: Mechanical Engineering. 1966. – 650 p.
- [3] A. A. Stepanov Machining of high-strength composite materials. – L.: Mechanical Engineering, 1987. – 178 p.
- [4] AS RU 2095199 C1. Drill for the application of polymer composite materials such as carbon-fiber and glass fiber / Balla O., MLO.11.1997.
- [5] Y. A. Markar'yan, Measurement of tool wear in the automated drilling process //JournalDstu V.7. Number 2 (33), Section "Mechanical Engineering" 2007, P. 204-208.
- [6] A. G. Derevyanchenko, O. Y. Babilunga, D. A. Krinitsyn, Intelligent image analysis of cutting tools wear zones // International scientific and technical collection V. 78, Kharkov National Technical University. HPI. – 2010, P. 34-41.
- [7] Dudarev A. S., Improving the efficiency and quality of hole on the basis of the stabilization process of drilling the products from polymeric composite materials // the synopsis of dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, Perm, 2009, 20 p.
- [8] Bulakh I. A., Globa A. V. Machining of composite materials – Journal ChSTU – Chernigov: ChSTU, 2012. – № 2 (57), P. 18-24.
- [9] C.C. Tsao Influence of Geometry in Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics, – Advanced in machining and Manufacturing Technology IX, – Swizerland, 2008, P. 236-240.
- [10] Globa O.V., Kuhanovskyy O. V. – Analytical calculation of critical efforts separation in the processing of composite materials with stepped drills and determination the optimal value of degree – Collected Works "Reliability optimization of technological tools and systems", vol. 28, 2011.