



УДК 621.91:678.5

Глоба О.В., Солодкий В.І., Булах І.О.

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

ОЦІНКА ЯКОСТІ ОТВОРІВ ПРИ ОБРОБЦІ ПКМ З ЗАСТОСУВАННЯМ РЕВЕРСИВНОГО РУХУ СВЕРДЛА

Досліджено та проаналізовано вплив геометрії інструменту (свердла), а також застосування реверсивного руху інструменту на якість отворів при свердлінні полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). Досліджена конструкція свердла для обробки з наданням інструменту реверсивного руху. Порівняні двохпере, ступінчасте та реверсивне свердла.

Проведена оцінка якості отворів за допомогою математичних методів, отримана багатофакторна математична модель процесу обробки з реверсивним рухом інструменту. За рахунок методики, побудованої на основі методу найменших квадратів отримана висока точність результату вимірювання відхилення від круглості отворів у вуглепластику.

Ключові слова: полімерний композиційний матеріал; свердління; реверсивний рух інструменту, відхилення отвору від круглості, метод найменших квадратів.

Вступ

ПКМ широко розповсюджені майже в усіх галузях сучасної промисловості та господарства, а найбільше – в авіабудуванні. Перед виробництвом ставляться вимоги забезпечити точність виконуваних отворів Н9-Н10. Відомі конструкції інструменту та режими різання не здатні забезпечити бажану точність та якість отворів в першу чергу через характерні особливості матеріалів, та необхідність підбору матеріалу, геометрії інструменту та режиму обробки для кожного з видів ПКМ.

Постановка проблеми

Актуальним для задоволення потреб виробництва є створення нової геометрії інструменту для підвищення якості оброблених отворів та збільшення стійкості інструменту.

В даній роботі проводиться оцінка якості оброблених отворів за допомогою комп'ютерних та математичних методів. Проводиться порівняння класичного двоперого свердла, ступінчатого свердла, а також інструменту з реверсивним рухом. Для останнього виду інструменту подається багатofакторна математична модель. Подана в роботі оцінка з великою точністю дозволить оптимізувати геометрію свердла, підвищити його стійкість та якість оброблюваних отворів. Отримання математичної моделі є необхідним для прогнозування результату обробки при зміні певного параметру процесу.

Рівень дослідженості проблеми

Результати досліджень інструменту та проведеного математичного моделювання викладені в

роботах Глоби О.В., Булах І.О. та Милокоста С.М. [1–4]. Подана в даній роботі методика оцінки якості оброблених отворів проводиться з метою підвищення точності отримання результату.

Основна частина

Найбільш серйозною проблемою при свердлінні отворів у ПКМ є розшарування, що значно знижує міцність та надійність кріплення. При обробці ПКМ застосовується стандартне свердління, яке викликає появу розшарування та розлохмачування волокон матеріалу. Для уникнення появи даних дефектів в роботі застосовувався реверсивний рух інструменту [2].

Загальний вигляд експериментальної установки зображений на рисунках 1 та 2.

Обробка проводилася зі зміною режиму різання, при різних частотах обертання шпинделя верстата, а також з застосуванням експериментального пристрою для реверсивного руху інструменту, що забезпечує двонаправлене свердління (рис. 1, 1).

Суттю експериментального пристрою є те, що в ньому наявний механізм відновлення руху для забезпечення реверсивного свердління (подана заявка на винахід для отримання патенту).

Для проведення експерименту була розроблена конструкція свердла, зображена на рис. 2 (7) та на рис. 5 (а). Дана конструкція раніше не застосовувалася для обробки отворів у ПКМ. Досліджувалися 3 зразки інструменту з різними подвійними головними кутами в плані – 110°, 120°, 130° (надалі зразки 1, 2 і 3 відповідно). Діаметр свердла 8 мм, матеріал – P18, твердість – HRC 60. Матеріал обрано через необхідність отримати видиме зношування інструменту при малій серії експерименту. Для

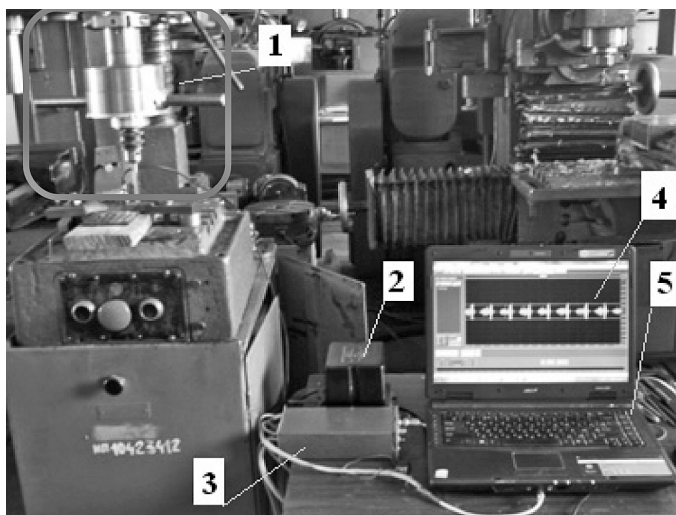


Рис. 1. Вигляд експериментальної установки:
1 – пристрій для отримання осцилюючих коливань; 2 – підсилювач;
3 – перетворювач; 4 – вигляд зафіксованого вібросигналу;
5 – комп'ютер

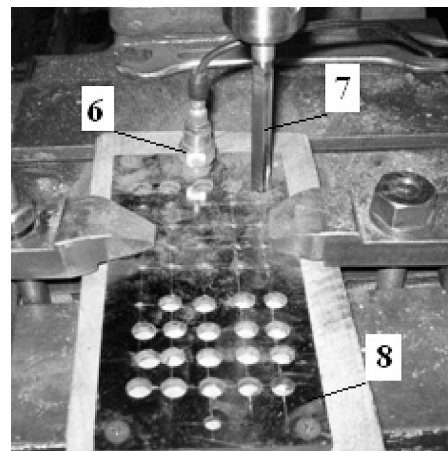


Рис. 2. Елемент установки:
6 – віброакустичний датчик; 7 – свердло;
8 – зразок вуглепластику



порівняння якості отворів був взятий зразок двохперого (рис. 5, б) та двохступінчатого (рис. 5, в) свердел. Ступінчатє свердло було взяте з подвійним головним кутом в плані $2 = 130^\circ$, виходячи з попередніх досліджень зношування інструмента та якості отворів, проведених на основі аналізу віброакустичного сигналу [3].

Для проведення дослідження був взятий зразок композиційного матеріалу, а саме вуглепластика товщиною 6 мм з перехресним армуванням (з викладкою $0-90^\circ$), армованого органічною сіткою.

Враховуючи дороговизну матеріалів та особливості обробки ПКМ, необхідно проводити математичне моделювання процесу різання для можливості прогнозування результату обробки. В роботі [1] подана однофакторна модель процесу різання для ступінчатого свердла. Для підвищення точності прогнозування необхідно збільшити кількість параметрів процесу.

На основі досліджень з реверсивним свердлом було побудовано багатофакторну математичну модель за допомогою методу групового урахування аргументів (МГУА). Можливість застосування методу МГУА для процесів обробки матеріалів була доведена в дослідженнях проф. Равської Н.С., проф. Остаф'єва В.А., Ковальової Л.І., Кикотя В.С., Глоби О.В., та ін. Експерименти по використанню методу МГУА для процесів фрезерування, свердління різноманітних матеріалів показали високу точність і працездатність отриманих математичних моделей і можливість прогнозування результатів експерименту.

Отримана математична модель по результатам експерименту [1]:

$$B = 0,4244 \cdot (3,410^{-3} + 1,00308 \cdot (L \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} - t \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}) + 1,306 \cdot (9,8 \cdot 10^{-3} - k \cdot 9,72 \cdot 10^3) + 0,7076 \cdot (21,04 \cdot 10^{-3} - n \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} - f \cdot 7,564 \cdot 10^{-5})) + 0,577 \cdot ((4,4210^{-3} - t \cdot 0,571 \cdot 10^3 + 1,015 \cdot (13,9 \cdot 10^{-3} - k \cdot 10,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,357 \cdot ((4,78 \cdot 10^{-3} - t \cdot 0,62 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3711) + 1,29 \cdot (L \cdot 9,95 \cdot 10^{-5} - 4,66 \cdot 10^{-3}) + 1,01 \cdot (17,7 \cdot 10^{-3} - n \cdot 0,76 \cdot 10^{-5} - k \cdot 9,7 \cdot 10^{-3})))$$

L – шлях, пройдений свердлом;

t – час обробки;

k – коефіцієнт, що вказує на наявність (1) або відсутність (0) осцилюючих коливань;

n – частота обертання шпинделя;

f – подвійний головний кут в плані свердла;

B – величина зношування.

Коефіцієнт працездатності моделі: $k = 0,086944$

Математична оцінка якості отворів

Оцінка точності отворів була проведена за допомогою методики, запропонованої к.т.н., доц. кафедри ІТМ, ММІ, НТУУ «КПІ» В. І. Солодким [5].

Методика основана на методі найменших квадратів [6], що в даному випадку використовується для визначення параметрів x_c , y_c та r замінюючого кола для всіх точок вихідної кривої.

Рівняння кола записується у вигляді:

$$(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 = r.$$

Тоді шукана функція способу найменших квадратів матиме вигляд:

$$f_3 \equiv \left(\left(\sum_{i=1}^n x_i - x_c \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i - y_c \right)^2 - nr^2 \right)^2.$$

Після диференціювання f_3 по параметру r і прирівнювання до 0 рівняння матиме вигляд:

$$\frac{\partial f_3}{\partial r} = nr^2 - r \sum_{i=1}^n x_i^2 + 2rx_c \sum_{i=1}^n x_i - nrx_c^2 - R \sum_{i=1}^n y_i^2 + 2ry_c \sum_{i=1}^n y_i - ny_c^2 = 0.$$

Розв'язок цього рівняння відносно параметра r дає вираз для визначення радіуса замінюючого кола:

$$r = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{nx_c^2 + ny_c^2 - 2x_c \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2y_c \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n y_i^2}.$$

Далі виконується диференціювання рівняння f_3 по параметру x_c та отримується вираз:

$$\frac{\partial f_3}{\partial x_c} = \frac{4}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - 2y_c \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - \frac{8}{n} x_c \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 + \left(2x_c \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^3 + 2y_c \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 \right) = 0.$$

Звідки визначається координата y_c центру замінюючого кола:

$$y_c = \frac{2x_c \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - \sum_{i=1}^n x_i \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)}{-2 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i + 2n \sum_{i=1}^n y_i x_i} + \frac{n \left(-2x_c \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n x_i^3 + \sum_{i=1}^n y_i^2 x_i \right)}{-2 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i + 2n \sum_{i=1}^n y_i x_i}.$$

Після диференціювання рівняння f_3 по параметру y_c отримується вираз:

$$\frac{\partial f_3}{\partial y_c} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n x_i y_i} = 0.$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^n x_i^3 \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 + n \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \sum_{i=1}^n x_i y_i - 2n x_c \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)^2 -$$

$$- 2x_c \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \sum_{i=1}^n y_i^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^3 \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n y_i^2,$$

$$C_2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \left(2x_c \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 + \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n y_i x_i - 2n x_c \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) +$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^2 \sum_{i=1}^n y_i^2 x_i - n \sum_{i=1}^n y_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2 x_i,$$

$$C_3 = \sum_{i=1}^n x_i \left(- \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n y_i^2 \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 + \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \right) +$$

$$+ \sum_{i=1}^n x_i \left(\sum_{i=1}^n y_i \left(4x_c \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n y_i^3 \right) \right) + n \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n y_i^3.$$

З отриманого рівняння визначається координата x_c центру замінюючого кола:

$$x_c = \frac{a_1 + a_2}{a_3},$$

$$a_1 = n \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n y_i x_i -$$

$$\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n y_i x_i \sum_{i=1}^n y_i^2 + \sum_{i=1}^n x_i^3 \left(\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) +$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \sum_{i=1}^n y_i x_i^2,$$

$$a_2 = \sum_{i=1}^n x_i \left(- \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^2 - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n y_i^3 \right) -$$

$$- n \sum_{i=1}^n y_i^2 \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + n \sum_{i=1}^n y_i x_i \sum_{i=1}^n y_i^3,$$

$$a_3 = -4 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i y_i + 2n \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)^2 +$$

$$2 \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)^2 \sum_{i=1}^n y_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n x_i^2 \left(\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n y_i^2 \right).$$

Отримані рівняння дозволяють безпосередньо визначити значення параметрів x_c , y_c та r замінюючого кола, яке оптимально проходить через масив точок x_i, y_i ($i=1...n$).

Таким чином, після введення масиву координат точок отриманого отвору, було отримане оптимальне замінююче коло (рис. 3).

Наступним етапом є формування масиву радіусів від знайденого центра замінюючого кола до експериментальних точок. Далі відшукуються 3 точки,

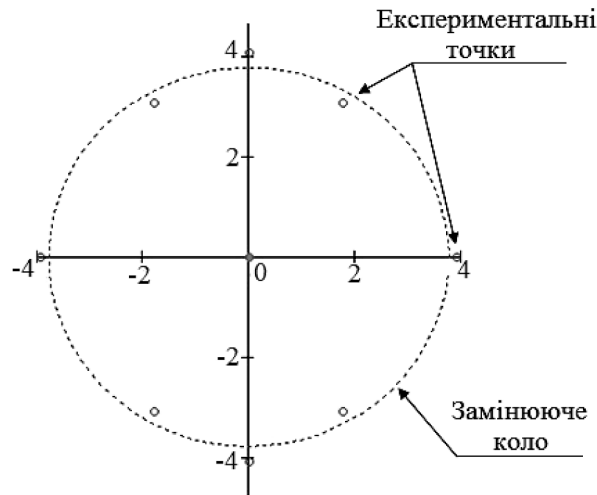


Рис. 3. Побудова замінюючого оптимального кола по експериментальним точкам

найменш віддалені від центра замінюючого кола, по яких будується вписане коло. Для трьох точок, найбільш віддалених від центра замінюючого кола будується описане коло. Останнім кроком є суміщення оптимального, вписаного та описаного кіл. В результаті проведених розрахунків були отримані наступні результати.

Показником точності отвору, виходячи з такої оцінки є ступінь співпадіння радіусів та центрів оптимального, а також вписаного та описаного кіл. За допомогою застосованої методики можливо отримати відхилення радіусів та центрів кіл, а саме:

$R_{c_v} - R_c$ – відхилення між радіусами вписаного та оптимального кіл;

$R_{c_o} - R_c$ – відхилення між радіусами описаного та оптимального кіл;

$\sqrt{(X_{c_v} - X_c)^2 + (Y_{c_v} - Y_c)^2}$ – відхилення між центрами вписаного та оптимального кіл;

$\sqrt{(X_{c_o} - X_c)^2 + (Y_{c_o} - Y_c)^2}$ – відхилення між центрами описаного та оптимального кіл;

$\sqrt{(X_{c_o} - X_{c_v})^2 + (Y_{c_o} - Y_{c_v})^2}$ – відхилення між центрами описаного та вписаного кіл;

Результати проведеної оцінки подані на рисунку 5:

З діаграми видно, що найбільше середнє відхилення у двохперого свердла, а також у зразків реверсивного свердла 1 та 2 при однонапрявленому свердлінні. При частоті обертання шпинделя верстата 880 об/хв. відбувається сильне нагрівання інструменту, а також прижоги матеріалу навколо отворів, що значно знижують якість. Тобто оптимальною геометрією реверсивного інструмента є головний подвійний кут в плані 110° при частоті

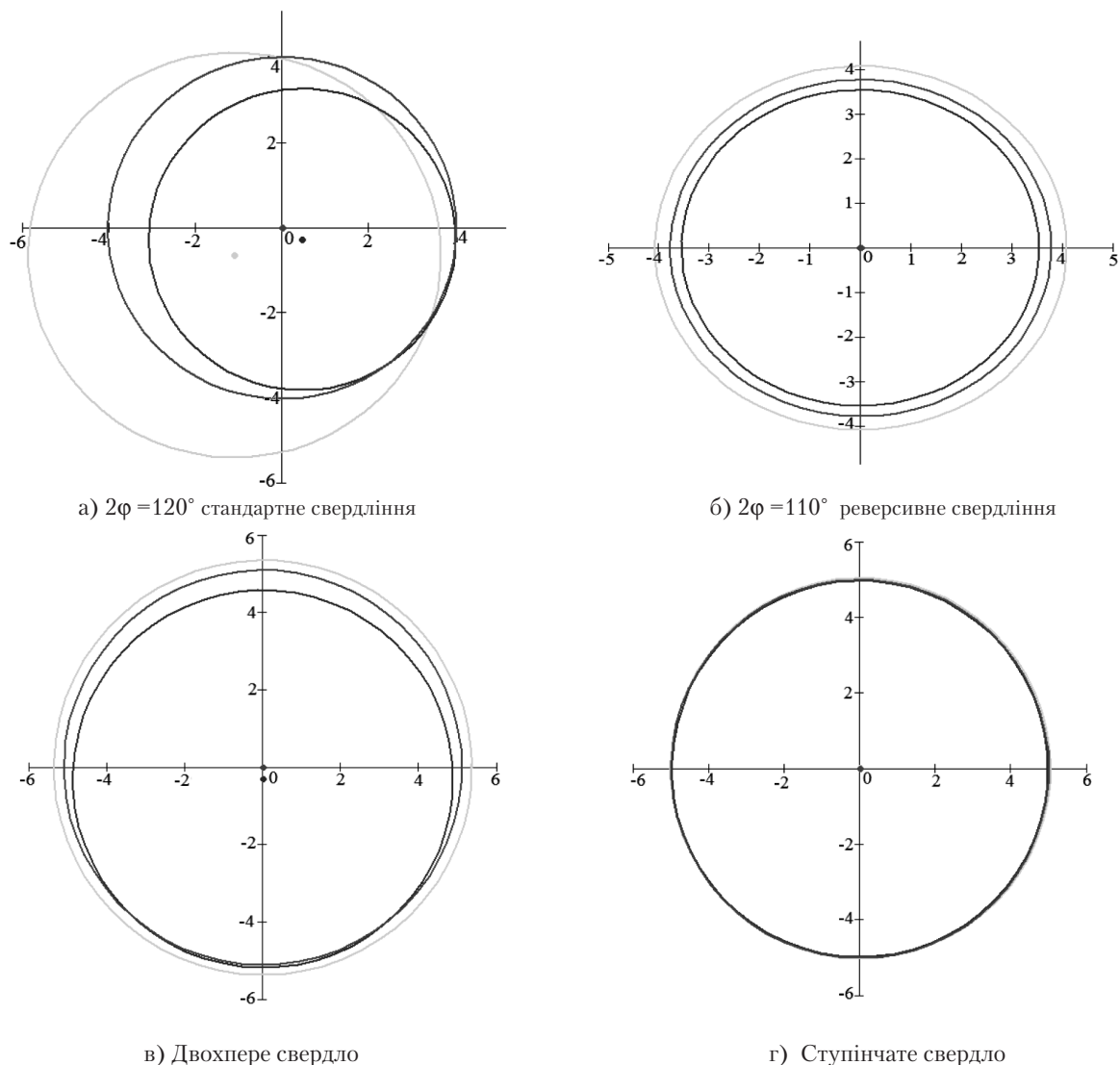


Рис. 4. Оптимальне, вписане та описане кола, отримані по експериментальним точкам

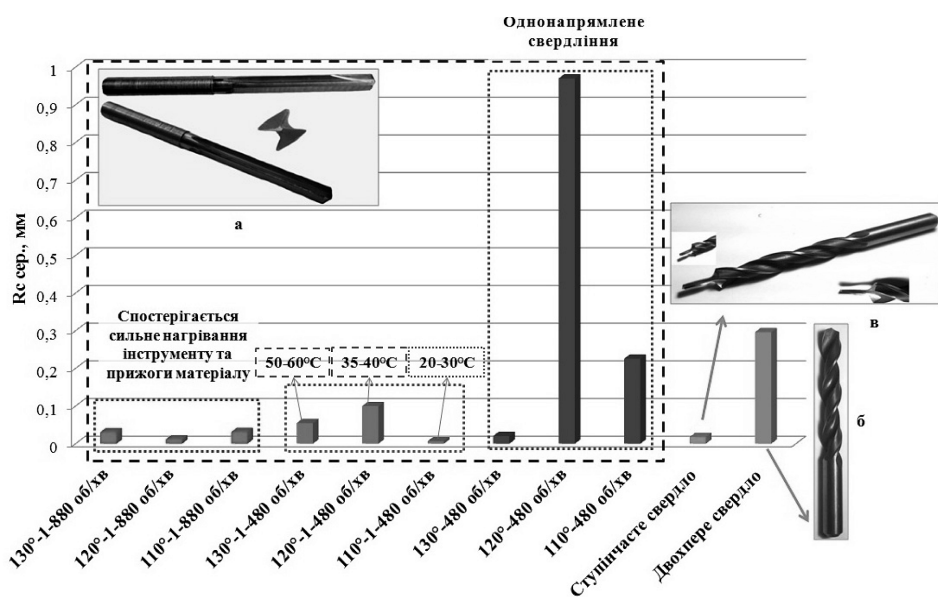


Рис. 5. Діаграма середнього відхилення між центрами отриманих кіл для досліджуваних зразків інструменту

480 об/хв. Для однонаправленого свердління мале відхилення отворів від круглості дає двохступінча- те свердло з $2\phi = 130^\circ$.

Висновки та перспективні напрями дослідження

1. В результаті дослідження була проведена оцінка точності отворів в композиційному матеріалі (вуглепластику) за допомогою комп'ютерних методів, заснованих на математичному методі найменших квадратів. Даний метод є актуальним при відсутності можливості виміряти точність отриманого отвору на кругло мірі та при наявності набору координат точок отриманого кола. Програма, запропонована В. І. Солодким для побудови замінюючого кола, що оптимально проходить через експериментальні точки дала змогу точно обчислити відстані між центрами кіл, що відповідають найбільш віддаленим та найбільш наближеним до центра оптимального кола експериментальним точкам. Найбільшу точність отвір має при співпадінні радіусів та центрів отриманих з програми кіл.

2. Після порівняння двохперого, ступінчатого та реверсивного свердел було показано, що для двохперого свердла, реверсивного свердла з $2\phi = 120^\circ$ та 110° при однонаправленому свердлінні відхилення найбільші, тобто точність отворів найгірша. При накладенні на зразки реверсивного інструменту осцилюючих коливань точність отворів зростає, але при підвищенні частоти обертання шпинделя верстата (від 480 об/хв до 880 об/хв) відбувається нагрівання інструменту, якість отворів знижується за рахунок термодеструкції шарів вуглепластика. При обробці ступінчатим свердлом було показано, що з чотирьох зразків інструменту, оптимальним є двохступінча- те 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). Тобто оптимальним є двохступінча- те свердло при однонаправленому свердлінні та реверсивне свердло з $2 = 110^\circ$ для двонаправленого свердління. Порівняно з дослідженнями триперого та двохступінчастих свердел, температура реверсивного свердла після обробки знизилася на 10%. При використанні реверсивного руху свердла було виявлено зниження величини зношування інструменту на 8%, та підвищення точності виконання отворів на 10%.

3. Перспективним напрямком дослідження отримання температурної залежності вздовж різальної кромки інструменту, більш точне дослідження геометрії інструменту в межах $2\phi = 110^\circ \pm 5^\circ$ та удосконалення конструкції свердла, дослідження інших режимів роботи присторю для реверсивної обробки.

Література

- [1] Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М. Дослідження якості процесу свердління ПКМ з застосуванням осцилюючого руху інструменту – Збірник наукових праць “Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем” №32, Краматорськ, ДГМА, 2013. – С. 56–62.
- [2] Глоба О.В., Булах І.О. Дослідження якості отворів при обробці вуглепластика різними конструкціями різального інструменту – Збірник наукових праць Вісник СевНТУ, №140 Севастополь, 2013. – С. 21– 26.
- [3] Глоба О.В., Булах І.О., Милокост С.М. Вплив геометрії свердла на його стійкість і точність виконання отворів при свердлінні композиційних матеріалів, – «Технологические системы», №2 (63). – 2013. – С. 48–56.
- [4.] Globa A., Bulakh I., The research of the polymer composit materials drilling – Machines, technologies, materials – International virtual journal for science, technics and innovations for the industry, – Year VII, Issue 9/2013 ISSN 1313-0226, Scientific Technical union of mechanical engineering, Sofia, Bulgaria, 2013. – P. 41–44.
- [5] Солодкий В.И. Модифицированный кинематический метод определения огибающей к винтовой поверхности. Вестник национального технического университета Украины “КПИ”, Машиностроение, вып. 33, 1998. – С. 169–174.
- [6] H. Dubbel. Tashenbuch fur den maschinenbau. Drezden. 1925. – 298 p.



Globa A.V., Solodkiy V.I., Bulakh I.A.

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

THE EVALUATION OF HOLES QUALITY DURING PCM PROCESSING WITH THE USE REVERSE MOVEMENT OF THE DRILL

The influence of tools (drill) geometry and using the reverse movement of the tool for drilling holes in polymer composite materials (PCM) quality was investigated and analyzed in the article. The drills construction for drilling with the reverse movement was researched. The two-cutting edges drill, step drill and reversive drill were compared.

The evaluation of the holes quality using mathematical methods was done, the multifactorial mathematical model of the process with reversing movement of the tool was obtained. Due to the methodics, based on the least squares method the high precision measurement of holes deviation from roundness in carbon fibre was derived.

Keywords: polymeric composite material; drilling; reversing movement of the tool; hole deviation from roundness; the method of least squares.

References

- [1] Globa A.V, Bulah I.A, Mylokost S.N. Investigation of the drilling PCM quality using the oscillating motion of the tool - Scientific Papers, Reliability and Optimization of technological tools and systems № 32, Kramators'k, DGMA, 2013. – P. 56–62. (In Ukrainian)
- [2] Globa A.V., Bulakh I.A. Research of the holes quality in the processing of carbon fiber by the different designs of cutting tools - Scientific Papers Journal SevNTU, № 140 Sevastopol, 2013. – P. 21–26. (In Ukrainian)
- [3] Globa A.V., Bulakh I.A., Mylokost S.N. Influence of drill geometry on its stability and accuracy of holes during the drilling of composite materials – Technological Systems, № 2 (63). – 2013. – P. 48–56. (In Ukrainian)
- [4] Globa A., Bulakh I., The research of the polymer composit materials drilling – Machines, technologies, materials – International virtual journal for science, technics and innovations for the industry, – Year VII, Issue 9/2013 ISSN 1313-0226, Scientific Technical union of mechanical engineering, Sofia, Bulgaria, 2013. – P. 41–44.
- [5] Solodkiy V.I. A modified method for determination of kinematic envelope of a helical surface – Vestnik of the National Technical university of Ukraine "KPI", Mechanical Engineering, Vol. 33, 1998. – P. 169–174. (In Russian)
- [6] H. Dubbel. Tashenbuch fur den maschinenbau. Drezden. 1925. – 298 p.