

Wpływ parametrów technologicznych na jakość powierzchni w procesie jednoprzęciowego szlifowania rowków wiórowych frezów pełnowęglkowych

Influence of grinding parameters, on the surface quality in the process of single-pass grinding of flute in solid carbide end mill

JAN BUREK
MARCIN SAŁATA
ANNA BAZAN*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.10.135>

Przedstawiono wpływ prędkości szlifowania v_s oraz prędkości posuwu v_f na strukturę geometryczną powierzchni oraz składową normalną siły szlifowania F_n w procesie jednoprzęciowego szlifowania rowków wiórowych frezów pełnowęglkowych ściernicą diamentową ze spoiwem metalowym.

SŁOWA KLUCZOWE: ściernice diamentowe, spoiwo metalowe, rowek wiórowy, frezy pełnowęglkowe

The paper presents analysis of influence cutting speed v_s and feed rate v_f of single-pass grinding process of flute in solid carbide end mill using diamond grinding wheel with metal bond on the geometrical structure and cutting force F_n .

KEYWORDS: wheel diamond, metal bond, flute, carbide end mill

W produkcji narzędzi monolitycznych podstawową operacją jest szlifowanie rowków wiórowych – proces ten zajmuje ok. 70% czasu produkcyjnego [2–4]. Klasyczny proces szlifowania polega na wieloprzęciowym kształtowaniu rowka wiórowego. Przeprowadzenie obróbki zgrubnej oraz wykończeniowej wiąże się z wykonaniem od kilku do nawet kilkunastu przejść ściernicy, co znacznie wydłuża czas szlifowania.

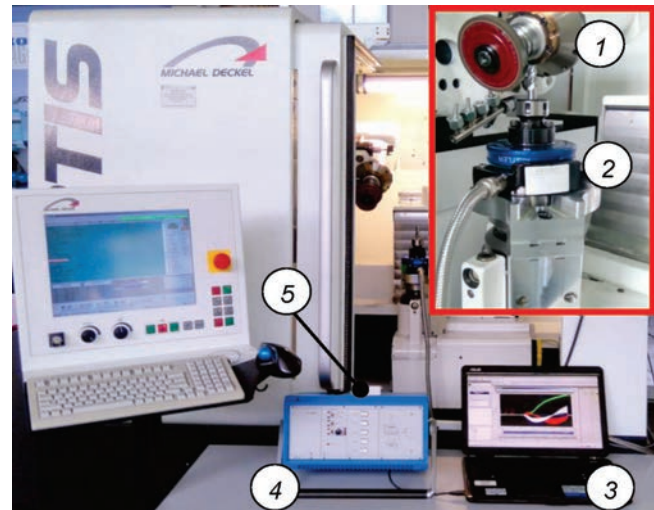
Nową metodą, będącą obecnie przedmiotem prac badawczych, jest szlifowanie jednoprzęciowe. Jego główną zaletą jest wyraźna redukcja czasu szlifowania [1, 7, 8]. W tym procesie mimo istotnego zwiększenia wydajności ubytkowej szlifowania żądaną jakość powierzchni uzyskuje się przez odpowiedni dobór parametrów technologicznych [5, 6].

W tym kontekście podjęto badania mające na celu określenie wpływu prędkości szlifowania v_s oraz prędkości posuwu v_f na strukturę geometryczną powierzchni i składową normalną siły szlifowania. Analizowano proces szlifowania jednoprzęciowego rowków wiórowych frezu palcowego.

Badania doświadczalne

Bazą stanowiska badawczego do szlifowania jednoprzęciowego rowków wiórowych frezów pełnowęglkowych było pięcioosiowe centrum szlifierskie FORTIS firmy ISOG (rys. 1). Pomiary topografii powierzchni rowka wiórowego rejestrowano za pomocą mikroskopu Infinite Focus firmy Alicona. Próbkę skanowano z rozdzielczością pionową 500 nm i rozdzielczością poziomą 2,50 μm , z wykorzystaniem obiektywu o powiększeniu 10 \times .

* Dr hab. inż. Jan Burek, prof. PRz (jburek@prz.edu.pl); mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl); mgr inż. Anna Bazan (abazan@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej



Rys. 1. Stanowisko do badań procesu szlifowania rowków wiórowych: 1 – wrzeciono ściernicy, 2 – siłomierz firmy Kistler, 3 – komputer, 4 – przetwornik sygnału 5223B1, 5 – przetwornik A/C 6009

Profil falistości odfiltrowywano filtrem $\lambda_c = 0,27$ mm. Na otrzymanym obszarze o wymiarach 1,4 mm \times 1,1 mm rejestrowano parametr chropowatości powierzchni S_a .

Do procesu szlifowania użyto ściernicy o oznaczeniu 1A1 D100 U10 X10 H20 Y0,2 MDX-587 ES D64 C115. Jest to diamentowa ściernica typu 1A1 o przekroju prostokątnym ze spoiwem metalowym, o średnicy 100 mm i szerokości 10 mm, o średniej wielkości ziarna diamentowego 64 μm oraz jego koncentracji C 115, co stanowi 31,25% objętości diamentu w całej warstwie ściernej.

Szlifowano węgiel spiekany typu K20F, którego właściwości materiałowe przedstawiono w tabl. I.

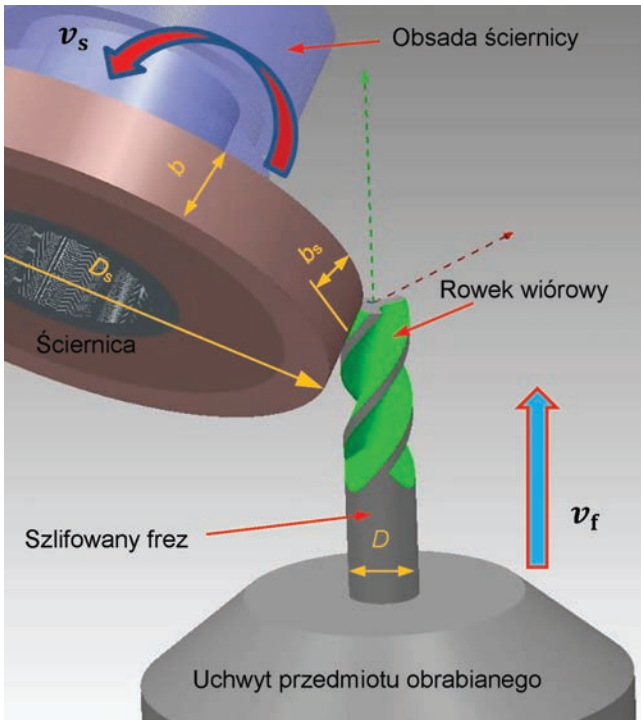
TABLICA I. Właściwości węgla spiekane

Co, %	WC, %	Twardość HV30	Gęstość, g/cm ³	Wielkość ziarna, μm	Wytrzymałość na zginanie, MPa
8	92	1700	14,6	0,7	3200

Parametrami zmiennymi były prędkość szlifowania v_s oraz prędkość posuwu v_f (rys. 2).

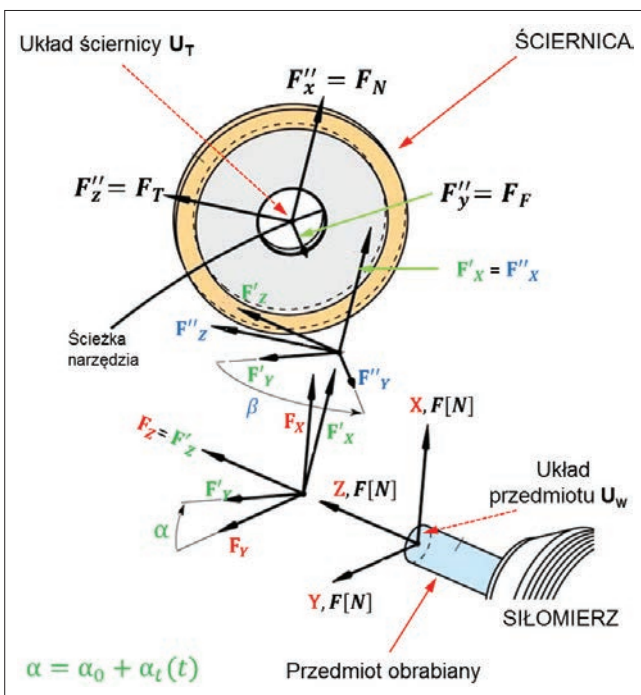
Parametry stałe procesu szlifowania współbieżnego wynosiły odpowiednio:

- szerokość $a_e = 3,5$ mm,
 - głębokość $a_p = 4,7$ mm,
 - średnica półfabrykatu $D = 10$ mm,
 - liczba ostrzy $z = 4$,
 - długość szlifowania $L = 25$ mm,
 - pole przekroju warstwy skrawanej $A = 12,24$ mm².
- Pomiar składowych siły skrawania przeprowadzono z wykorzystaniem obrotowego siłomierza frezarskiego



Rys. 2. Kinematyka pięcioosiowego, jednoprzęciowego szlifowania rowków wiórowych: v_s – prędkość szlifowania, v_f – prędkość posuwu, D_s – średnica ściernicy, D – średnica przedmiotu obrabianego, b – szerokość ściernicy, $b_s = a_p$ – czynna szerokość ściernicy

typu 9123 firmy Kistler. Aby zmierzyć składowe siły szlifowania, należy określić stały punkt odniesienia w przestrzeni roboczej maszyny – może nim być układ ściernicy U_T . Wynika to z faktu, że składowe siły szlifowania są rejestrowane przez siłomierz zamocowany bezpośrednio w układzie przedmiotu obrabianego U_W . W celu poprawnej analizy składowych siły szlifowania spiralnych rowków wiórowych dokonano translacji układu składowych siły (rys. 3).



Rys. 3. Transformacja układu składowych siły szlifowania: X, Y, Z – układ siłomierza; X', Y', Z' – układ siłomierza uwzględniający jego obrót o kąt α ; X'', Y'', Z'' – układ siłomierza uwzględniający jego obrót o kąt β ; F_x, F_y, F_z – składowe siły szlifowania w kierunku osi X, Y, Z ; α – kąt obrotu siłomierza; β – kąt skręcenia wrzeciennika ściernicy

Elementy każdego wektora u odniesionego do układu współrzędnych przedmiotu obrabianego U_W mogą być przekształcane do układu współrzędnych ściernicy U_T przez mnożenie macierzy. Macierz transformacji T zależy od aktualnej pozycji ściernicy, która jest określana przez ścieżkę narzędzia i opisywana przez trzy parametry translacyjne X, Y, Z oraz dwa parametry kątowe α, β [1–3]:

$$U_T = U_W \cdot T_{T \rightarrow W}^{\Delta} \quad (1)$$

Pierwszy etap translacji uwzględnia obrót siłomierza o kąt α , który jest zmienny w czasie t , gdyż proces szlifowania rowka wiórowego wymusza ciągły obrót siłomierza. Obrót ten jest realizowany w przedziale od 0 do 360°, co skutkuje zmianami ćwiartek układu, w których dochodzi do translacji układu. Drugi etap translacji układu uwzględnia zmianę wartości kąta pochylenia ściernicy β w układzie przestrzennym maszyny. Wartość kąta β jest uzależniona od wartości kąta spirali rowka wiórowego oraz typu ściernicy użytej w procesie.

Wyniki badań

Zgodnie z założonymi parametrami badań obliczono wskaźniki wydajnościowe:

- wydajność ubytkową szlifowania: $Q_w = A \cdot v_f$ [mm^3/min], gdzie A jest polem powierzchni rowka wiórowego [mm^2];
- właściwą wydajność ubytkową szlifowania: $Q'_w = Q_w/b_s$ [$\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{min}$], gdzie: $b_s = a_p$ jest czynną szerokością ściernicy [mm].

Przyjęto plan kompozycyjny rotatabilny na planie gwiazdy dla dwóch zmiennych zależnych, przyjmując po pięć poziomów wartości. Parametry zmieniano w zakresach:

- prędkość szlifowania v_s – od 15 do 40 m/s,
- prędkość posuwu v_f – od 40 do 100 mm/min.

Wyniki badań zestawiono w tabl. II.

TABLICA II. Wyniki szlifowania oraz zestawienie planu badawczego

Lp.	v_f , mm/min	v_s , m/s	Q_w , mm^3/min	Q'_w , $\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{min}$	Sa , μm	F_n , N
1	50	35	612	129	1,162	119
2	40	28	490	103	1,203	105
3	90	20	1102	231	1,142	202
4	70	40	857	180	1,205	170
5	50	20	612	129	1,273	192
6	90	35	1102	231	1,002	215
7	70	28	857	180	1,037	175
8	70	28	857	180	1,038	170
9	70	15	857	180	1,221	200
10	100	28	1224	257	1,299	156
11	40	40	490	103	1,122	70
12	100	40	1224	257	0,981	159

Na podstawie otrzymanych wyników opracowano równania modeli matematycznych, opisujące zmianę parametru chropowatości Sa oraz składowej normalnej F_n siły szlifowania.

Funkcję obiektu badań przyjęto w postaci wielomianu drugiego stopnia z interakcjami dwuczynnikowymi, którą opisano następującymi zależnościami:

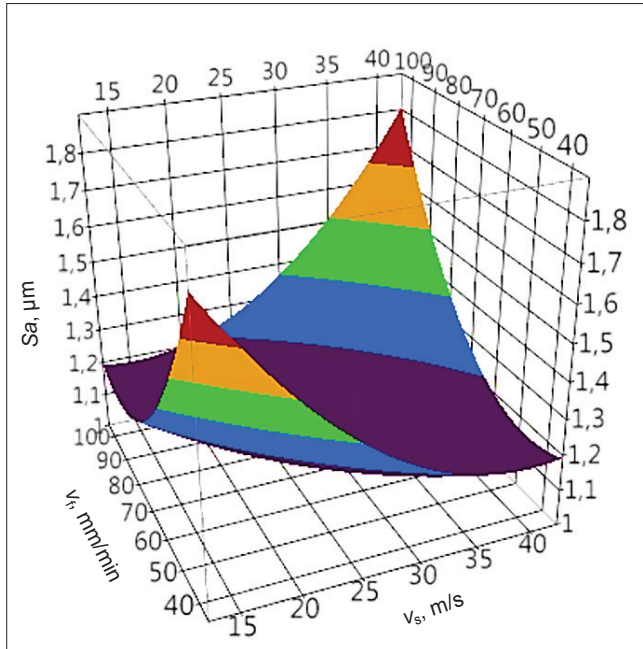
$$Sa = 1,074 - 0,087 \cdot v_s \cdot v_f + 0,047 \cdot v_s^2 + 0,076 \cdot v_f^2 \quad (2)$$

$$F_n = 185,662 - 12,895 \cdot v_s + 24,429 \cdot v_f - 20,055 \cdot v_f \cdot v_s \quad (3)$$

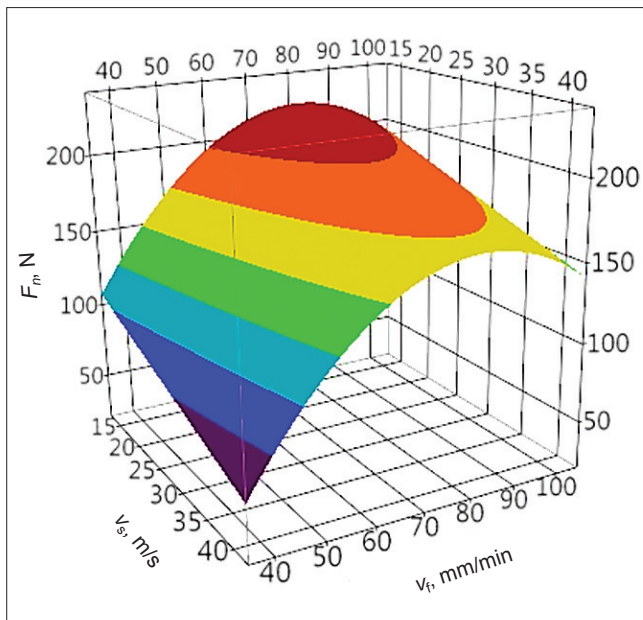
Współczynniki dla modelu (2) wynoszą odpowiednio:

- współczynnik determinacji $R^2 = 0,8$;
 - skorygowany współczynnik determinacji $\bar{R}^2 = 0,731$.
- Współczynniki dla modelu (3) wynoszą odpowiednio:
- współczynnik determinacji $R^2 = 0,788$;
 - skorygowany współczynnik determinacji $\bar{R}^2 = 0,709$.

Zależność parametru chropowatości S_a oraz składowej normalnej F_n siły szlifowania od parametrów technologicznych przedstawiono na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Wpływ prędkości szlifowania v_s oraz prędkości posuwu v_f na parametr chropowatości powierzchni S_a rowka wiórowego



Rys. 5. Wpływ prędkości szlifowania v_s oraz prędkości posuwu v_f na składową normalną F_n siły szlifowania

Wydajność szlifowania Q'_w w przeprowadzonych badaniach zmieniała się od 103 do 257 $\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{min}$. Dla prób nr 6 i 12 (tabl. II), w których wydajność szlifowania była największa – 231 i 257 $\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{min}$, przy prędkości szlifowania v_s równej 35 i 40 m/s zaobserwowano tzw. przypalenie szlifierskie.

Analizując składową normalną F_n siły szlifowania rowka wiórowego, zauważono, że w zależności od próby przeprowadzonego eksperymentu zmienia się ona w zakresie do 70 do 215 N, a rozstęp wartości składowej normalnej dla wszystkich prób wynosi aż 146 N. Skutkiem tego jest odkształcenie sprężyste narzędzia i w konsekwencji – błędy wymiarowe szlifowanego narzędzia. Dla prędkości posuwu $v_f = 90 \text{ mm/min}$ i prędkości szlifowania $v_s = 35 \text{ m/s}$ składowa normalna osiąga największą wartość $F_n = 215 \text{ N}$ (próba nr 6). Dla prędkości posuwu $v_f = 40 \text{ mm/min}$ i prędkości szlifowania $v_s = 40 \text{ m/s}$ składowa normalna osiąga najmniejszą wartość $F_n = 70 \text{ N}$ (próba nr 11).

Z otrzymanego modelu matematycznego wynika, że prędkość posuwu w największym stopniu wpływa na wzrost wartości składowej normalnej siły szlifowania.

Podsumowanie

Na podstawie analizy parametru chropowatości powierzchni S_a stwierdzono, że w zależności od parametrów technologicznych zmienia się on w zakresie od 1,03 do 1,3 μm (pominięto próby, w których wystąpiło przypalenie szlifierskie), a rozstęp wartości parametru S_a dla wszystkich prób wynosił 0,27 μm .

Należy wspomnieć, że rowek wiórowy we frezach pełnowęglkowych jest odpowiedzialny za proces ewakuacji wióra ze strefy obróbki, zatem chropowatość powierzchni rowka wiórowego odgrywa decydującą rolę. Oprócz parametrów chropowatości ważnym czynnikiem oceny jakości powierzchni rowka wiórowego jest występowanie defektów w postaci rys czy wtrąceń.

W żadnej próbie szlifowania nie zauważono niejednorodności powierzchni i nieregularnych wtrąceń.

Dla prędkości posuwu $v_f = 100 \text{ mm/min}$ i prędkości szlifowania $v_s = 28 \text{ m/s}$ parametr S_a osiąga największą wartość, tj. 1,3 μm (próba nr 10).

Najmniejszą wartość S_a , tj. 1,03 μm (próba nr 7), zanotowano przy prędkości posuwu $v_f = 70 \text{ mm/min}$ i prędkości skrawania $v_s = 28 \text{ m/s}$.

Stwierdzono, że parametry technologiczne w sposób statystycznie istotny wpływają na parametr chropowatości S_a , jednak biorąc pod uwagę rozstęp wyników, ten wpływ jest niewielki.

LITERATURA

1. Hubert Ch. "Schleifen von Hartmetall- und Vollkeramik – Schafffasern". Berlin: TU, Diss., 2011.
2. Fujara M. "Methode zur rechnerunterstützten Auslegung und Optimierung der Geometrie des Vollhartmetall-Spiralbohrers". Darmstadt: Techn. Univ., Diss., 2011.
3. Christoph H. "Schleifen von Hartmetall- und Vollkeramik-Schafffasern". Berlin: TU, Diss., 2011.
4. Burek J., Sałata M., Żółkoś M., Żurawski K., Żurek P. „Wpływ kąta pochylenia spirali rowka wiórowego oraz typu ściernicy na jego kształt oraz siłę szlifowania”. *Mechanik*. 8–9 (2017): s. 772–774.
5. PN-EN ISO 25178-2 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: przestrzenna – Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
6. Staniewicz-Brudnik N., Bączek E., Skrabalak G., Wilk W. „Wpływ prędkości szlifowania ściernicami diamentowymi ze spoiwem ceramicznym na jakość powierzchni narzędziowego materiału kompozytowego do obróbki żeliwa”. *Mechanik*. 8–9 (2014): s. 302–306.
7. Guachao L., Lie S., Jiafeng L. "Modeling and analysis of helical groove grinding in end mill machining". *Journal of Materials Processing Technology*. 214, 12 (2014): s. 3067–3076.
8. Malkin S., Guo C. "Grinding Technology". Industrial Press New York 2008.