

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Wpływ siły szlifowania na odkształcenia sprężyste długich frezów pełnowęglkowych

The influence of grinding forces on elastic deformation of long carbide end mills

JAN BUREK
ROBERT BABIARZ
MARCIN SAŁATA
MARCIN PŁODZIEŃ *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.341

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu siły szlifowania podczas wykonywania rowków wiórowych długich frezów pełno-węglkowych na odkształcenia sprężyste i powstające na skutek tego błędy wymiarowe. Opisano również badania symulacyjne odkształcenia frezu w systemie NX 10.0.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie frezu, odkształcenia frezu, rowek wiórowy

This paper presents results of flute grinding of long carbide end mills. The influence of grinding force on elastic deformation is shown. The simulation of elastic deformation in NX 10.0 is presented.

KEYWORDS: end mill grinding, milling cutter, deformation, end mill flute

Zastosowanie frezów pełno-węglkowych w przemyśle lotniczym oraz motoryzacyjnym stale wzrasta. Wynika to z korzystnych właściwości skrawnych oraz wytrzymałościowych, przewyższającym właściwości stali szybko tnących. Węglik spiekane charakteryzują się dużą twardością i odpornością na zużycie, choć nie tak jak materiały supertwarde i ceramika. Stanowią więc materiał pośredni usytuowany między dwoma grupami materiałów o skrajnych właściwościach. Na uniwersalność zastosowań frezów pełno-węglkowych oprócz powyższych cech, wpływa także możliwość wykonania frezów długich o małych średnicach, co

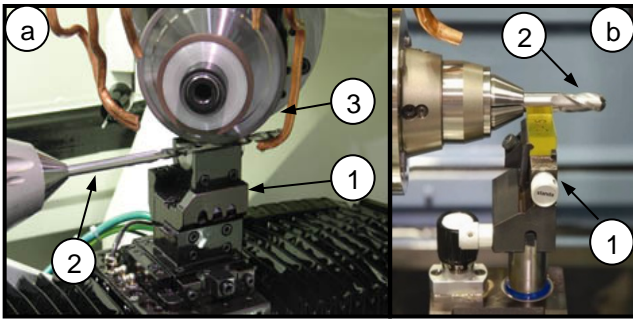
jest niemożliwe do osiągnięcia dla narzędzi składanych [5].

Występujące przy szlifowaniu siły skrawania wywołują odkształcenia przedmiotu obrabianego. W zakresie odkształceń sprężystych można wyróżnić odkształcenia lokalne – występujące w strefie tworzenia wióra, oraz odkształcenia ogólne – odniesione do układu OUPN. Te pierwsze wywierają wpływ przede wszystkim na powstawanie drgań, rzeczywistą długość styku ściernicy z przedmiotem obrabianym, a co najistotniejsze na proces tworzenia się wióra. Z kolei odkształcenia sprężyste układu OUPN wywierają wpływ na dokładność wymiarów i kształtu przedmiotu obrabianego [1,5].

Na powstające odkształcenia sprężyste długich frezów pełno-węglkowych podczas szlifowania rowków wiórowych, wywiera wpływ bardzo wiele czynników. Przede wszystkim czynniki związane ze ściernicą oraz warunkami obróbki. Intensywność ich oddziaływania na odchyłki kształtu przedmiotu obrabianego jest zróżnicowana. Zapobieganie istniejącym odchyłkom jest także różnorodne. Szczególnie złożone jest zapobieganie odchyłkom w przypadku szlifowania rowków wiórowych w długich frezach pełno-węglkowych [2,1]. W praktyce przemysłowej w celu wyeliminowania odkształceń sprężystych stosowane są specjalne podtrzymki pokazane na rys 1.

W procesie szlifowania rowków wiórowych frezów pełno-węglkowych występują duże siły skrawania, które mają bezpośredni wpływ na odkształcenia sprężyste freza. Stąd też jest istotne określenie ich wpływu na odkształcenia sprężyste, a w konsekwencji na dokładność wymiarowo-kształtową wykonanych rowków wiórowych. Wpływ ten jest szczególnie istotny dla frezów długich, dla których część robocza narzędzia wynosi minimum 4-krotność średnicy [4].

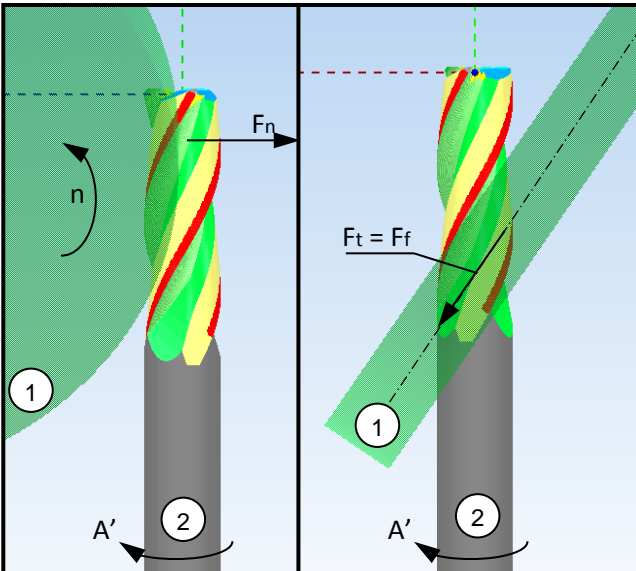
* dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl),
dr inż. Robert Babiarsz (robertb@prz.edu.pl),
mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl),
mgr inż. Marcin Płodzień (plodzien@prz.edu.pl),
Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyzacji, Wydział Budowy
Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska



Rys.1. Szlifowanie rowków wiórowych z podtrzymałą: a- podtrzymała przesuwana, b- podtrzymała stacjonarna, 1- podtrzymała, 2- frez, 3- ściernica.

Rozkład siły szlifowania i odkształcenia sprężystego

Szlifowanie rowków wiórowych frezów charakteryzuje się stałym przekrojem warstwy skrawanej. Siła szlifowania zależy zatem od wielkości nastawnych procesu szlifowania. Przede wszystkim od prędkości ruchów, geometrii strefy styku ściernica – przedmiot obrabiany, właściwości materiału półfabrykatu oraz charakterystyki ściernicy [3,4]. Rozkład składowej normalnej F_n oraz stycznej F_t siły szlifowania rowków wiórowych dla frezu przedstawiono na rys.2.



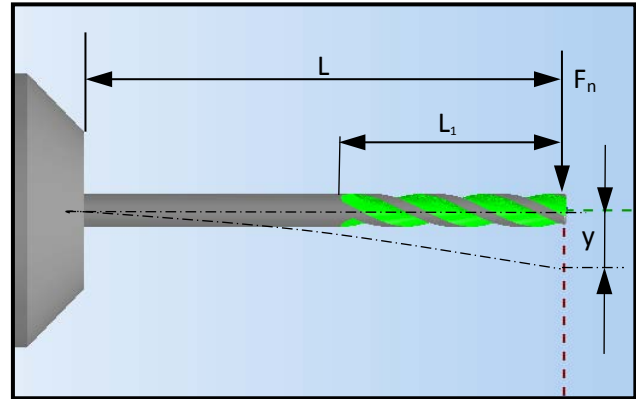
Rys.2. Uproszczony rozkład składowych siły szlifowania rowka wiórowego: 1 – ściernica, 2- przedmiot obrabiany, A' – oś obrotowa, n- obroty ściernicy, $F_t = F_f$ siła styczna, F_t siła posuwowa, F_n - siła normalna

Odształcenia sprężyste przedmiotu obrabianego w procesie szlifowania są przyczyną zmian długości styku ściernicy z przedmiotem obrabianym. Największe odkształcenia generowane są w kierunku działania statycznej siły normalnej F_n . Odształcenia te zależą również od sztywności układu napędu posuwu, sztywność w oprawce mocującej ściernicę oraz półfabrykat. Odształcenie sprężyste półfabrykatu wpływają na dokładność kształtowo wymiarową wykonanego frezu. Wynika to z faktu, iż wartość dosuw rzeczywistego różni się od wartości dosuwu zadanego.

Na rys. 3. przedstawiono wpływ działania siły szlifowania na strzałkę ugięcia frezu, podczas szlifowania rowków wiórowych. Przemieszczenie „y” wynika z położenia przemieszczającej się siły F_n , oraz ze sztywności przedmiotu, co można wyrazić analitycznie za pomocą wzoru:

$$y = \frac{F_n \cdot L^3}{3 \cdot EI} \quad (1)$$

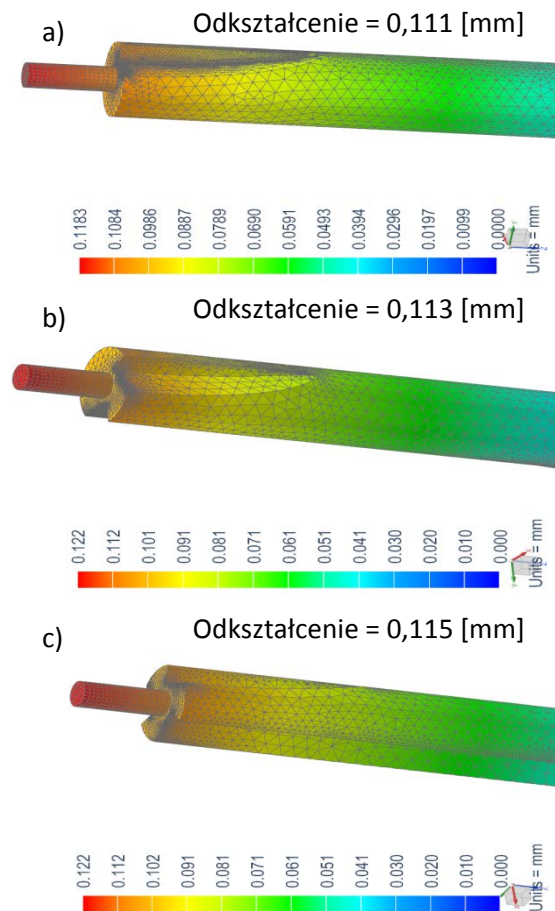
gdzie: F_n - siła normalna szlifowania [N], L- długość narzędzia [mm], E- moduł Younga [MPa], I – moment bezwładności pola przekroju poprzecznego [mm⁴]



Rys.3. Odształcenie frezu: L- długość narzędzia, L1- minimalna odległość od uchwytu, y- strzałka ugięcia, F- siła szlifowania.

Badania symulacyjne MES

Na rys. 5 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych odkształcenia frezu pod wpływem działania siły szlifowania, w chwili gdy ściernica zaczyna szlifować rowek na pełnej głębokości skrawania, dla 3 rowków wiórowych.



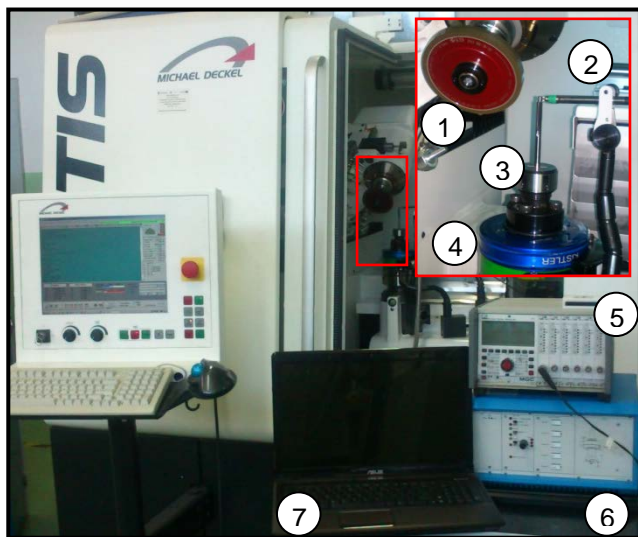
Rys.5. Wynik badań symulacyjnych odkształcenia frezu dla trzech rowków: a) jeden rowek wiórowy, b) dwa rowki wiórowe, c) trzy rowki wiórowe

Do badań symulacyjnych użyto systemu NX w wersji 10.0 wykorzystując model obliczeń inżynierskich MES Advanced Simulation oparty na solverze NASTRAN. Przeprowadzono analizę wytrzymałościową przyjmując jako typ rozwiązania SOL 101, Linear. W pierwszym etapie wygenerowano siatkę czworosiennych elementów skończonych o wielkości 1 mm. Do symulacji przyjęto następujące warunki brzegowe. Dolna część modelu została utwierdzona wiązaniem FIX, odbierającym wszystkie stopnie swobody. Obciążenie wywierane przez siłę szlifowania na frez zostało przyłożone do linii prostej na powierzchni rowka, co zmniejsza koncentracje naprężeń spowodowane przyłożeniem siły skupionej. Do symulacji przyjęto pręt z węgla spiekanego (K20F) o średnicy 6 mm i długości $L = 70$ mm. Dla uproszczenia nacinano proste rowki wiórowe na długości $L_1 = 36$ mm.

Na podstawie uzyskanych rezultatów symulacji odkształcenia zauważono nieznaczną różnicę wartości odkształcenia w zależności od ilości naciętych rowków wiórowych. Największe odkształcenie zanotowano dla trzech naciętych rowków wiórowych wynoszące 0,115 [mm]. Różnica wartości odkształceń wynosi niespełna 0,004 [mm]. Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wynika, iż dla uproszczenia symulacji odkształcenia freza pod wpływem działania siły szlifowania, jako model do analizy MES można przyjmować geometrię w postaci walca.

Warunki badań

Badania doświadczalne przeprowadzono na 5-osiowej szlifierce narzędziowej Fortis firmy Michael Deckel (rys.6). Obrabiarkę wyposażono w układ pomiarowy który składał się z siłomierza 9121 firmy Kistler, oraz czujnika indukcyjnego GT21. W trakcie badań rejestrowano składowe F_n i F_t siły szlifowania oraz odkształcenie sprężyste pręta węglowego.



Rys.6. Stanowisko badawcze: 1- wrzeciono szlifierskie, 2- czujnik indukcyjny GT21, 3- szlifowany frez, 4- siłomierz 9121 firmy Kistler, 5- wzmacniacz sygnału 6- wzmacniacz ładunku, 7- komputer [6].

Badania doświadczalne przeprowadzono szlifując trzy rowki wiórowe, przy stałej głębokości skrawania-wynoszącej pełną głębokość rowka wiórowego, podczas jednego przejścia ściernicy. Proces szlifowania zrealizowano dla warunków podanych w tabeli 1.

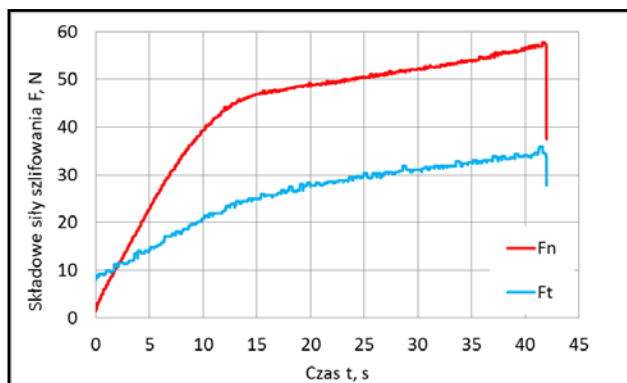
Tab.1. Warunki szlifowania

Ściernica	K1A1-100-10-5 20°D64 K + 1421R C100 H
Chłodziwo	Olej szlifierski
Materiał obrabiany	Węgiel spiekany K20F
Średnica półfabrykatu	$D = 6$ mm
Liczba rowków wiórowych	$z = 3$
Prędkość obwodowa ściernicy	$v_s = 20$ m/s
Prędkość posuwu	$v_t = 50$ mm/min
Dosuw szlifowania	$a_p = 1,5$ mm
Długość szlifowania	$L_1 = 36$ mm
Długość frezu	$L = 70$ mm

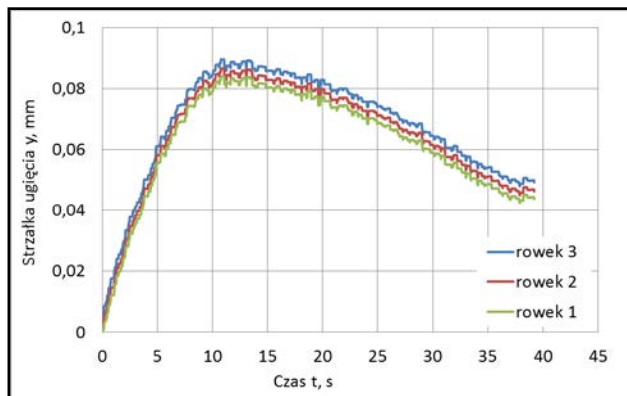
Wyniki badań

Przebiegi składowych F_n oraz F_t siły szlifowania przedstawiono na rys. 7. W przedstawionych przebiegach można wyróżnić dwa etapy. W pierwszym występuje zagłębianie ściernicy w materiał – składowe siły znacząco rosną. Etap drugi - szlifowanie rowka wiórowego – składowe siły stabilizują swoje wartości. Stabilizacja siły występuje przy 45N dla siły F_n mającej największy wpływ na odkształcenie freza.

Przebieg odkształcenia frezu przy szlifowaniu rowków wiórowych przedstawiono na rys.8. Zaobserwowano nieznaczne zmiany strzałki ugięcia freza w zależności od ilości rowków wiórowych. Odnotowano największą wartość strzałki ugięcia w chwili gdy wartości składowych siły szlifowania zaczynają się stabilizować. Największe odkształcenie wynosi 0.9 [mm] i występuje gdy głębokość skrawania wynosi pełną wartość głębokości rowka przy największym wysięgu. Wraz ze zmniejszaniem wysięgu odkształcenie maleje.

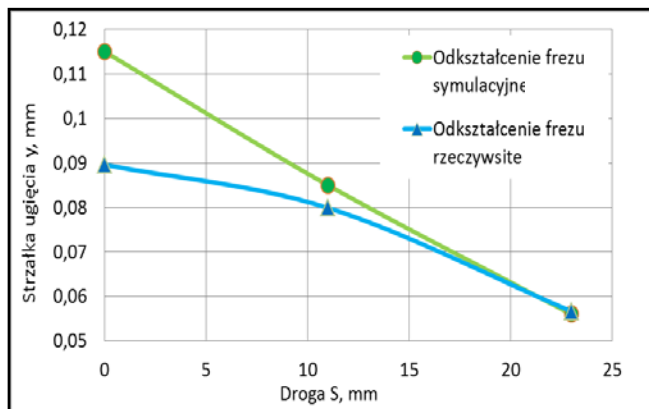


Rys.7. Przebieg składowych F_n i F_t siły szlifowania w szlifowaniu rowków wiórowych



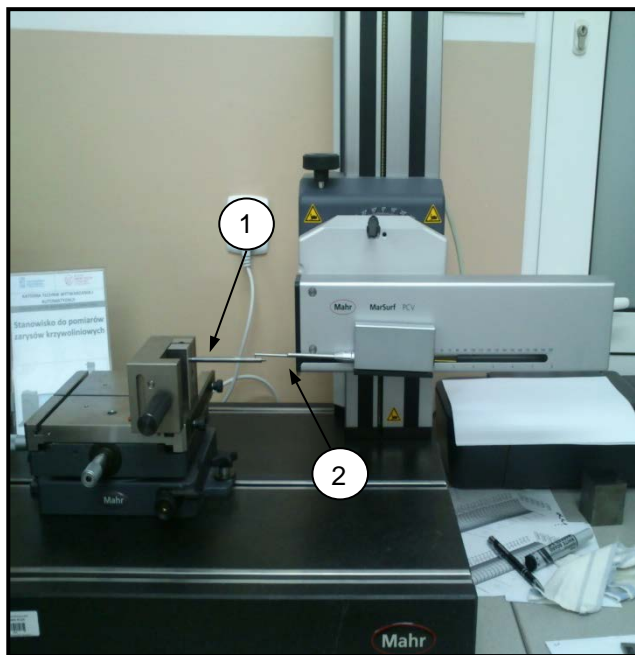
Rys.8. Przebieg odkształcenia sprężystego frezu dla poszczególnych rowków wiórowych

Otrzymane wyniki badań doświadczalnych oraz badań symulacyjnych przedstawiono na rys.9. Z przedstawionych danych wynika, że otrzymane wyniki z obliczeń MES różnią się nieznacznie od rzeczywistych badań weryfikacyjnych. Największą rozbieżność wyników wynosząca 0,03 [mm], otrzymano przy największej wartości strzałki ugięcia. Dla analizowanego przypadku można zauważyć istotny współczynnik korelacji wyników badań doświadczalnych oraz symulacyjnych. W obu metodach, liczba rowków wiórowych nieznacznie wpływa na odkształcenia frezu.



Rys.9. Porównanie wyników badań symulacyjnych oraz doświadczalnych

W celu weryfikacji zmian geometrii narzędzia pod wpływem odkształceń sprężystych, przeprowadzono pomiar profilu rowków wiórowych z wykorzystaniem profilometru firmy Mahr (rys.10). Rowek wiórowy mierzono wzdłuż osi narzędzia na całej długości L_1 . Dla każdego rowka dokonano trzech pomiarów i obliczono wartość średnią. Uzyskano wartość odchylenia rowka wiórowego od profilu, dla poszczególnych rowków wiórowych. W tab. 2 pokazano zestawienie maksymalnego ugięcia freza pod wpływem działania siły szlifowania.



Rys.10. Stanowisko pomiarowe firmy Mahr: 1-mierzony frez, 2-końcówka pomiarowa

Tab.1. Zestawienie pomiarów

	Odształcenie z wyników symulacji [mm]	Odształcenie w czasie obróbki [mm]	Odształcenie pomiarowe na frezie [mm]
1 rowek	0,1110	0,0840	0,0779
2 rowek	0,113	0,0865	0,0798
3 rowek	0,115	0,0895	0,0841

Z przedstawionych wartości wynika iż odkształcenia mierzone w czasie obróbki frezu różnią się nieznacznie od odkształceń powstałych na frezie. Uśredniona różnica tych wartości wynosi 0,006 [mm] i prawdopodobnie wynika ze zmiany strefy styku ściernicy z materiałem obrabianym. Dla analizowanych wartości można zauważyć korelację wyników. W analizowanym przypadku odkształcenia powstałe na frezie są mniejsze od odkształceń powstałych w procesie symulacji strzałki ugięcia frezu podczas szlifowania rowków wiórowych.

Wnioski

Z przeprowadzonych badań doświadczalnych oraz symulacyjnych wynika, iż ilość rowków wiórowych nieznacznie wpływa na wartość odkształcenia freza. Największą wartość odkształcenia wynoszącą 0,09 [mm] uzyskano przy największym wysięgu L. Z przeprowadzonych badań doświadczalnych wynika, iż siła szlifowania znacząco wpływa na odkształcenia sprężyste frezu podczas szlifowania rowków wiórowych. Te z kolei wpływają na błędy kształtowo wymiarowe wykonanych narzędzi i są do nich wprost proporcjonalne.

LITERATURA

- Oczół K., Porzycki J., Szlifowanie. WNT Warszawa 1986.
- Klocke F., König W.: Fertungsverfahren 2. Schleifen, Honen, Läppen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2005.
- Hubert. Ch., Schleifen von Hartmetall-und Vollkeramik-Schaftfräsern. Berlin, TU, Diss., 2011.
- Malkin S., Guo C., Grinding Technology. Industrial Press New York 2008.
- Cichosz P., Narzędzia skrawające. WNT Warszawa 2006.
- Oryginalna instrukcja eksploatacji, firmy Feinmechanik Michael Deckel GmbH & Co.KG.