

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

Wpływ modyfikacji ściernicy z korundu monokrystalicznego na siły skrawania i chropowatość powierzchni podczas szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V

Effect of modification of mono-crystalline corundum grinding wheel on cutting forces and surface roughness in grinding processes of Ti6Al4V titanium alloy

WITOLD HABRAT
 JANUSZ PORZYCKI
 MAREK KROK
 ELŻBIETA SOCHA *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.355

Przeanalizowano wpływ modyfikacji monokrystalicznej ściernicy korundowej na przebieg procesu szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V. Opisano stanowisko badawcze i warunki badań doświadczalnych. Określono zależności składowych siły szlifowania od parametrów procesu dla ściernicy konwencjonalnej i modyfikowanej. Przeanalizowano kształtowanie chropowatości podczas szlifowania stopu Ti6Al4V.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowania płaszczyzn, stopy tytanu, siły w procesie szlifowania, chropowatość powierzchni

Effect of modification of mono-crystalline corundum grinding wheel on surface grinding process of Ti6Al4V titanium alloy was analyzed. The test stand and grinding conditions were described. The relationships between components of grinding force and grinding parameters for conventional and modified grinding wheels were determined. The formation of surface roughness during the grinding of the titanium alloy Ti6Al4V was analyzed.

KEYWORDS: surface grinding, titanium alloys, forces in grinding process, surface roughness

W obszarze obróbki ściernicy występuje dążenie do zapewnienia wysokiej jakości wytwarzanego wyrobu przy coraz wyższej wydajności produkcji. Rozwój tej techniki wytwarzania widoczny jest szczególnie w obszarze konstrukcji obrabiarek i narzędzi ściernych. Postęp

w zakresie inżynierii materiałowej powoduje, że procesy obróbki ściernicy, a zwłaszcza szlifowanie, będą stosowane jeszcze przez długi czas, co przekłada się na rozwój w zakresie narzędzi ściernych i implikuje konieczność wnikliwego rozpoznania ich możliwości [1].

Obróbka ścierna trudnoobrabialnych stopów na bazie tytanu stosowanych w technice lotniczej stanowi złożone zadanie technologiczne w obszarze inżynierii wytwórczej dla potrzeb tej gałęzi przemysłu. Związane jest to przede wszystkim z wysokimi wymaganiami co do utrzymania tolerancji wymiarowo-kształtowej, jakości powierzchni oraz stanu technologicznej warstwy wierzchniej wytwarzanych części samolotów, które determinują w istotny sposób proces produkcyjny. W tym zakresie można również wskazać podejście technologiczne MTG (machining to grinding), które może mieć zastosowanie w odniesieniu do tej grupy materiałów obrabianych [2]. Pomimo zwiększonego zastosowania oraz produkcji części z tytanu i jego stopów, koszt ich wytwarzania jest duży w porównaniu z innymi materiałami konstrukcyjnymi. Wynika to ze złożonych procesów ekstrakcji oraz metalurgicznych i technologicznych [3-6].

Stopy na bazie tytanu są materiałami trudnymi do obróbki ściernicy. Cechuje je duża aktywność chemiczna w wysokich temperaturach oraz mały współczynnik przewodności cieplnej powodujący duże gradienty temperatury oraz znaczne nagrzewanie się warstwy wierzchniej materiału. Ponadto stopy tytanu wykazują dużą wytrzymałość na ścinanie oraz duże utwardzenie wskutek zgniotu [7].

W ramach artykułu przeanalizowano wpływ modyfikacji ściernicy z korundu monokrystalicznego na przebieg proce-

* dr inż. Witold Habrat (witekhab@prz.edu.pl),
 prof. nadzw. dr hab. inż. Janusz Porzycki (jpor@prz.edu.pl),
 mgr inż. Marek Krok (krok@prz.edu.pl),
 dr inż. Elżbieta Socha (elzbieta.socha@andre.com.pl)

su szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V, który ma największy udział na rynku światowym spośród wszystkich stopów Ti. Pomiarom w tym wypadku podlegały składowe siły szlifowania ze względu na ich bezpośrednią zależność z głębokością strefy odkształconej w warstwie wierzchniej [8].

Warunki badań doświadczalnych

Badania doświadczalne procesu szlifowania zrealizowano na stanowisku badawczym zbudowanym na bazie szlifierki do płaszczyzn G+H FS 640 Z w Katedrze Technik Wytwarzania i Automatykacji Politechniki Rzeszowskiej (rys. 1).

Stanowisko wyposażone zostało w dwa tory pomiarowe: składowych siły szlifowania oraz chropowatości powierzchni. Siły mierzono z użyciem 3-składowego dynamometru Kistler 9121. Chropowatość powierzchni obrabianej mierzono za pomocą profilografometru MarSurf M300 firmy Mahr.

Do badań użyto ściernic z korundu monokrystalicznego typu 7 z dwustronnym wybraniem walcowym, ze spoiwem ceramicznym i strukturą otwartą (tzw. ściernice wielkoporowe). Ściernice tego typu, o otwartej strukturze, ze względu na charakteryzujące je parametry fizyczne mogą mieć zastosowanie do obróbki stopów lekkich. Ocenie podlegała ściernica z korundu monokrystalicznego, której specjalna technologia wykonania pozwoliła zmodyfikować przestrzenną strukturę ściernicy w kierunku równomiernego otwierania się ściernicy podczas procesu szlifowania. Jako referencyjną przyjętą ściernicę z korundu monokrystalicznego wykonaną techniką konwencjonalną o takiej samej specyfikacji oraz ziarnie ściernym.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego z układem pomiaru sił

■ Materiał obrabiany

Mikrostruktura stopu tytanu Ti6Al4V złożona jest z dwóch faz α i β . Wytwarza się z niego elementy turbin silnikowych lotniczych w szczególności, dyski kompresorów oraz łopatki wentylatorów [9].

■ Narzędzia i parametry skrawania

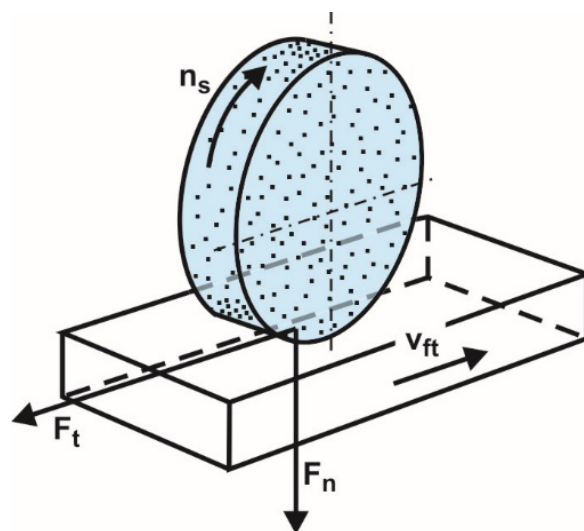
Do realizacji badań przyjęto następujące narzędzia, kinematykę i zakres badań:

- narzędzia:
 - ściernica M3Y60H12VE01PI-45 (modyfikowana) firmy Andre Abrasive Articles o zmodyfikowanej przestrzennej strukturze uzyskiwanej poprzez zastosowanie specjalnego układu ziaren
 - ściernica M60H12VE01PI-45 (konwencjonalna) firmy Andre Abrasive Articles,
- kinematyka: szlifowanie płaszczyzny powierzchnią obwodową ściernicy - długość szlifowanej próbki 100 mm;
- zakres badań i parametry nastawne:
 - prędkość szlifowania v_s [m/s]: 12-20;
 - dosuw szlifowania a_e [mm]: 0,01-0,03;
 - prędkość posuwu stycznego v_{ft} [mm/min]: 300-700;
 - szerokość szlifowania b [mm]: 20;
 - prędkość szlifowania v_d [m/s]: 20;
 - dosuw obciążania a_{ed} [mm]: 0,02;
 - prędkość posuwu obciążania f_d [mm/min]: 200.

Właściwości skrawne ściernic oceniano na podstawie pomiarów składowych siły szlifowania.

Wyniki badań doświadczalnych

Głównym celem badań była analiza porównawcza właściwości skrawnych ściernic z korundu monokrystalicznego o takiej samej specyfikacji lecz wykonanych różnymi technologiami poprzez ocenę składowych siły szlifowania (rys. 2).

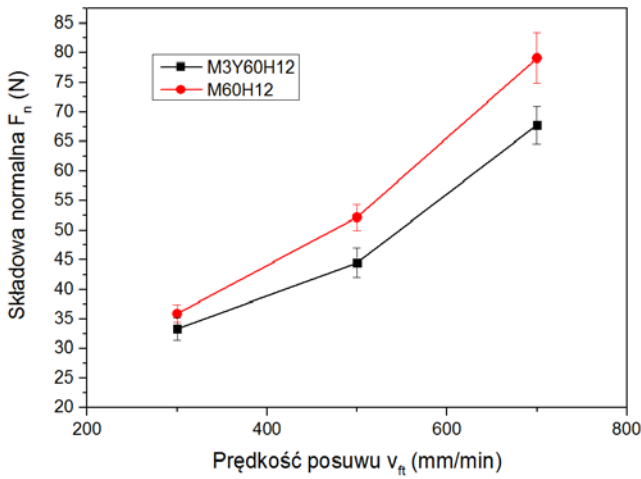


Rys. 2. Składowe siły w procesie obwodowego szlifowania płaszczyzn

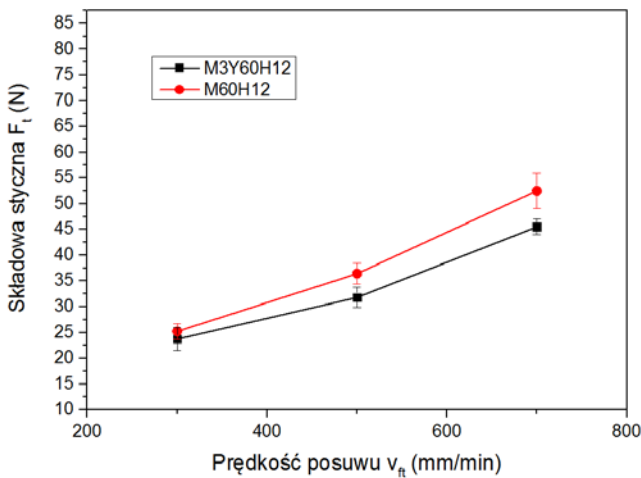
Przeanalizowano też w niewielkim zakresie mikrogeometrię powierzchni po obróbce, pod kątem właściwego jej kształtowania.

■ Składowe siły szlifowania

Na rys. 3-4 zestawiono wartości składowych siły szlifowania – normalnej F_n i stycznej F_t uzyskane dla przyjętej ściernicy modyfikowanej i konwencjonalnej (wykonano po 5 prób dla przyjętych parametrów). Uzyskane wyniki wykazały korzystny wpływ zastosowanej modyfikacji na kształtowanie sił w procesie szlifowania w całym przyjętym zakresie prędkości posuwu v_{ft} .



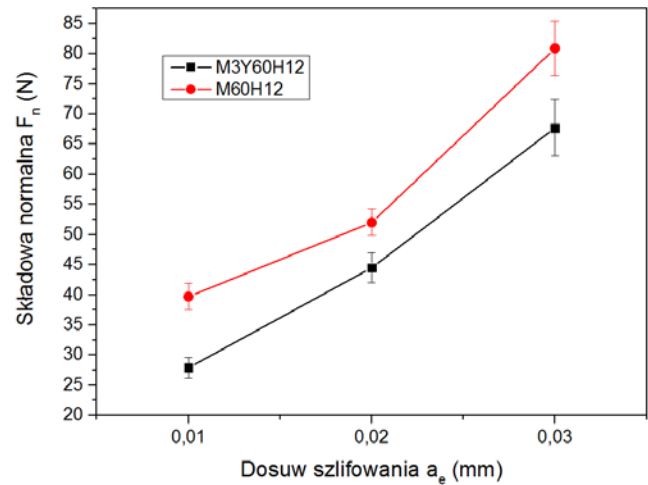
Rys. 3. Zależność składowej normalnej F_n siły szlifowania od prędkości posuwu v_{ft} podczas szlifowania z parametrami $v_s=16$ m/s; $a_e=0,02$ mm



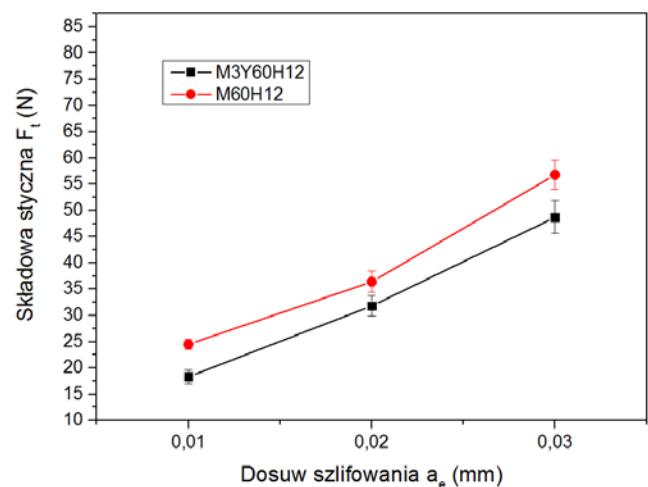
Rys. 4. Zależność składowej stycznej F_t siły szlifowania od prędkości posuwu v_{ft} podczas szlifowania z parametrami $v_s=16$ m/s; $a_e=0,02$ mm

Na rys. 5-6 zestawiono wartości składowych siły szlifowania uzyskane dla ściernicy modyfikowanej i konwencjonalnej w przyjętym zakresie dosuwu szlifowania a_e . Również tutaj uzyskane wyniki wykazały korzystny wpływ zastosowanej modyfikacji na kształtowanie sił w procesie szlifowania.

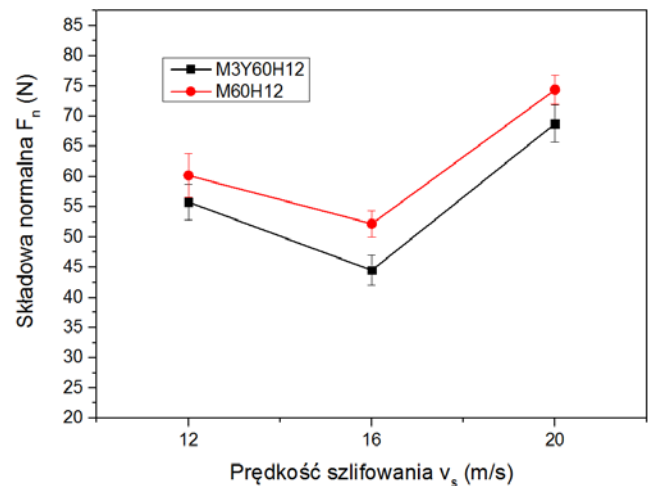
W przypadku analizy wpływu prędkości szlifowania v_s na składowe siły skrawania podczas szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V zaobserwowano, zarówno dla składowej normalnej F_n (rys. 7) jak i stycznej F_t (rys. 8) występowanie ekstremum dla prędkości $v_s=16$ m/s. Przyczyna tego zjawiska może wynikać z oddziaływania cieplnego na stan technologicznej warstwy wierzchniej lub być następstwem zmian właściwości materiałowych w wyniku testów poprzedzających pomiar. Wymaga to jednak szerszych badań z uwzględnieniem większego obszaru badawczego oraz planów badań z rozkładem losowym dla kolejnych prób. Zaznaczyć należy, że wszystkie testy wykonane zostały według takiego samego planu przy zachowaniu tej samej kolejności.



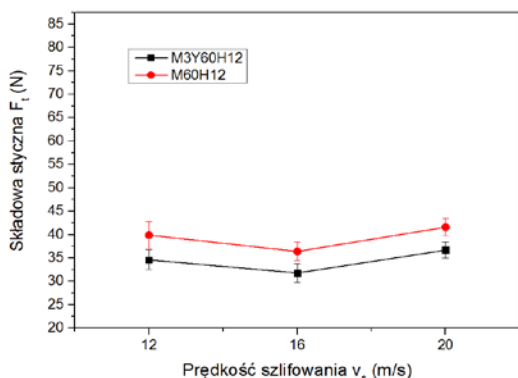
Rys. 5. Zależność składowej normalnej F_n siły szlifowania od dosuwu szlifowania a_e podczas szlifowania z parametrami $v_s=16$ m/s; $v_{ft}=500$ mm/min



Rys. 6. Zależność składowej stycznej F_t siły szlifowania od dosuwu szlifowania a_e podczas szlifowania z parametrami $v_s=16$ m/s; $v_{ft}=500$ mm/min



Rys. 7. Zależność składowej normalnej F_n siły szlifowania od prędkości szlifowania v_s podczas szlifowania z parametrami $v_{ft}=500$ mm/min; $a_e=0,02$ mm



Rys. 8. Zależność składowej stycznej F_t siły szlifowania od prędkości szlifowania v_s podczas szlifowania z parametrami $v_{it}=500$ mm/min; $a_e=0,02$ mm

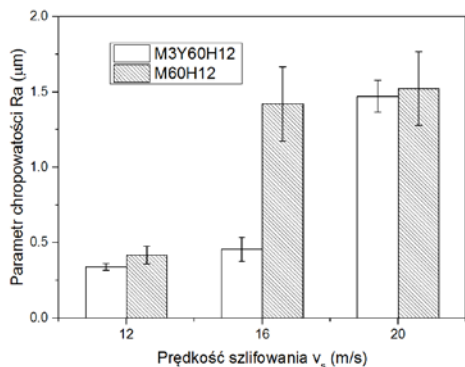
Wszystkie wartości składowych siły szlifowania uzyskane dla ściernicy modyfikowanej były mniejsze (do 29 %) niż dla ściernicy konwencjonalnej dla tych samych parametrów procesu. Świadczy to o pozytywnym wpływie modyfikacji ściernicy z korundu monokrystalicznego na proces szlifowania powierzchni płaskich ze stopu tytanu Ti6Al4V.

■ Kształtowanie chropowatości powierzchni

Głównym problemem przy ocenie mikrostruktury geometrycznej powierzchni za pomocą odpowiednich parametrów była trudność z uzyskaniem właściwej (ze względu na oczekiwania po szlifowaniu) jakości powierzchni (rys. 9). Problem ten był szczególnie widoczny dla ściernicy wykonanej w technologii konwencjonalnej (rys. 10).



Rys. 9. Przykładowy obraz różnic w mikrogeometrii powierzchni po szlifowaniu z parametrami $v_s=16$ m/s; $a_e=0,02$ mm; $v_{it}=500$ mm/min dla przyjętych ściernic



Rys. 10. Wartości parametru chropowatości Ra uzyskane po szlifowaniu z prędkością posuwu $v_{it}=500$ mm/min i dosuwem $a_e=0,02$ mm dla różnych prędkości szlifowania

W przypadku, gdy zmienił się mechanizm kształtowania mikrogeometrii następował gwałtowny wzrost wartości pa-

rametru chropowatości Ra a powierzchni przyjmowała nieakceptowalną strukturę. Rozwiązaniem w takim przypadku musiała być zmiana parametrów obciążania ściernicy.

Stąd widać, że zagadnienie kształtowania chropowatości powierzchni w procesie szlifowania stopu Ti6Al4V przyjętymi ściernicami wymaga znacznie szerszych badań w tym zakresie.

Podsumowanie

Zrealizowane badania stanowią wstępny etap szerszej analizy procesu szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V z użyciem ściernic firmy Andre. Uzyskane wyniki pokazują jednak właściwy kierunek działań wytwórcy ściernic dla opracowania efektywnych narzędzi do obróbki trudnoobrabialnych stopów na bazie tytanu.

Ściernica o zmodyfikowanej przestrzennej strukturze uzyskiwanej poprzez zastosowanie specjalnego układu ziaren pozwoliła na zwiększenie efektywności szlifowania płaszczyzn poprzez obniżenie składowych siły szlifowania w zakresie do 29% oraz polepszenie warunków kształtowania chropowatości powierzchni.

Zjawisko występowania ekstremum lokalnego w zakresie zależności składowych siły szlifowania od prędkości szlifowania wymaga dodatkowych badań z uwzględnieniem szerszego zakresu parametrów obróbkowych.

Rozszerzenie zakresu badań z uwzględnieniem modyfikacji parametrów obciążania ściernicy powinno stanowić kolejny etap badań w przedmiotowym obszarze.

Podziękowania

Autorzy wyrażają podziękowanie dla firmy Andre Abrasive Articles za dostarczenie ściernic do badań.

Ściernice wytworzono w ramach programu INNOTECH w ścieżce programowej IN-TECH „Innowacyjne hybrydowe narzędzia ściernic do obróbki stopów metali lekkich” wg umowy INNOTECH – K3/IN3/43/229135/NCBR/14

LITERATURA

- Oczó K.E., Habrat W., Doskonalenie procesów obróbki ściernic. Cz. I. Quo vadis szlifowanie?, *Mechanik* 7, 449-452, 2010
- Baliva P.: *Converting Machining Applications to Grinding*. Manufacturing Engineering, 2(2009)
- Ezugwu E.O. Wang, Z.M., Titanium alloys and their machinability a review. *Journal of Material Processing Technology*, 68, 262-274, 1997.
- Marinescu I. D., Hitchiner M., Uhlmann E., Rowe W. B., Inasaki I.: *Handbook of Machining with Grinding Wheels*, CRC Press, Boca Raton, 2007
- Oczó K.E., Kształtowanie ubytkowe tytanu I jego stopów w przemyśle lotniczym i technice medycznej. *Mechanik*, 8-9, 639-656, 2008.
- Zhang H.X., Chen Wu Yi, Chen Z.T., Experimental Studies on Grinding of Titanium Alloy with SG Wheels. *Key Engineering Materials*, 329, 75-80, 2007.
- Yuan Z., Zhu B., Lu Z., Zhang F. *Finish Surface Grinding of Titanium Alloys*. Initiatives of Precision Engineering at the Beginning of a Millennium, Springer, 481-485, 2002.
- Habrat W., Kształtowanie stanu technologicznej warstwy wierzchniej w procesie szlifowania stopu Ti6Al4V. *Mechanik*, 9, 147-150, 2014
- Sieniawski J., Kryteria I sposoby oceny materiałów na element lotniczych silników turbinowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 1995.