

Wpływ drgań ultradźwiękowych na siłę i chropowatość powierzchni w procesie szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V

Effect of ultrasonic oscillations on force and surface roughness in grinding process of Ti6Al4V titanium alloy

JANUSZ PORZYCKI
WITOLD HABRAT
MAREK KROK
MARCIN ŻÓŁKOŚ
MARCIN SAŁATA *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.112>

Artykuł przedstawia wyniki wstępnych badań doświadczalnych procesu szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V. Ich celem było określenie wpływu wspomagania tego procesu drganiami ultradźwiękowymi przedmiotu obrabianego na podstawie analizy składowych siły szlifowania oraz chropowatości powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie wspomagane ultradźwiękami, UAG, stop tytanu Ti6Al4V, pomiar sił w procesie szlifowania, chropowatość powierzchni

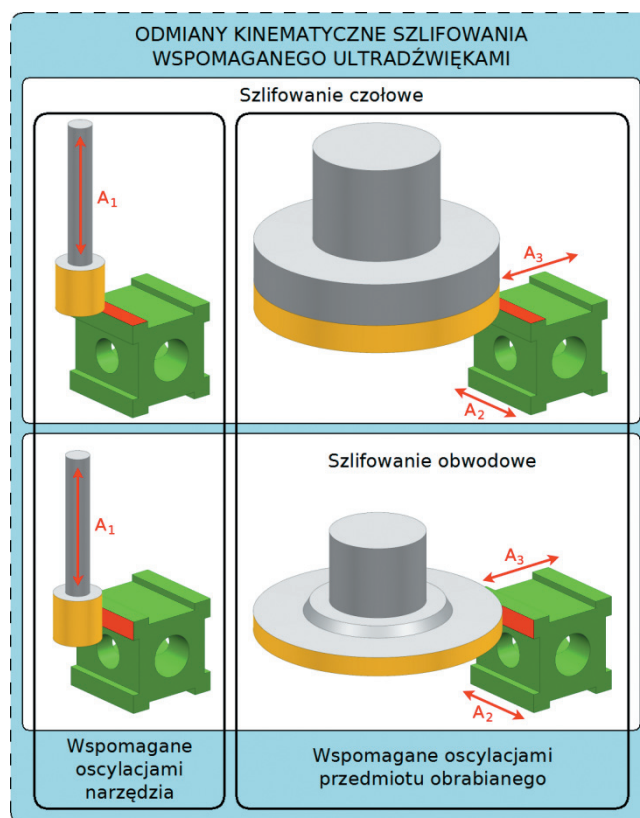
The paper presents the preliminary experimental study results in grinding process of Ti6Al4V titanium alloy. The aim of this study was to determine, through grinding force components and surface roughness analysis, what effect on this process has assisting it with workpiece ultrasonic oscillations.

KEYWORDS: ultrasonic assisted grinding, UAG, Ti6Al4V titanium alloy, measurement of forces in grinding process, surface roughness

Ze względu na dużą ciągliwość i skłonność do samotwardzenia w trakcie skrawania stopu tytanu są materiałami, w przypadku których uzyskanie wysokiej wydajności obróbki jest trudne, jeśli zastosuje się techniki konwencjonalne [1,2]. Poszukuje się zatem nowych rozwiązań obróbki wykończeniowej (szlifowania) elementów ze stopu tytanu Ti6Al4V. Obiecujące wydają się procesy hybrydowe, w których usuwanie materiału następuje w wyniku połączenia różnych źródeł energii, np. szlifowanie wspomagane ultradźwiękami (UAG) [3,4].

Proces ten wymaga wprowadzenia do układu OUPN (obrabiarka – uchwyt – przedmiot obrabiany – narzędzie) odpowiedniego układu wzbudzającego i przenoszącego drgania wysokoczęstotliwościowe na narzędzie lub przedmiot obrabiany. W niniejszym artykule rozpatrywano przypadek z oscylującym przedmiotem obrabianym (rys. 1). Pozwala to na stosowanie różnych odmian kinematycznych procesu szlifowania (w przeciwieństwie do układu drgającego narzędzia, gdzie oscylacje przenoszone są tylko w jego osi).

Ze względu na uwarunkowania konstrukcyjne układu wzbudzającego oscylacje (falowodu) wspomaganie procesu szlifowania drganiami ultradźwiękowymi przedmiotu obrabianego w każdym przypadku wymaga indywidualnego podejścia. Dotyczy to zwłaszcza elementu wykonaw-



Rys. 1. Odmiany kinematyczne procesu szlifowania ze wspomaganem ultradźwiękowym: A_1 – drgania wzdłuż osi narzędzia, A_2 – drgania wzdłużne do kierunku posuwu, A_3 – drgania poprzeczne do kierunku posuwu, $A_2 + A_3$ – połączenie drgań wzdłużnych i poprzecznych

czego zwanego sonotrodą. Sonotroda, mająca kontakt z materiałem obrabianym i będąca ostatnim elementem falowodu, musi zostać przekonstruowana dla każdej nowej części obrabianej [5].

Warunki badań

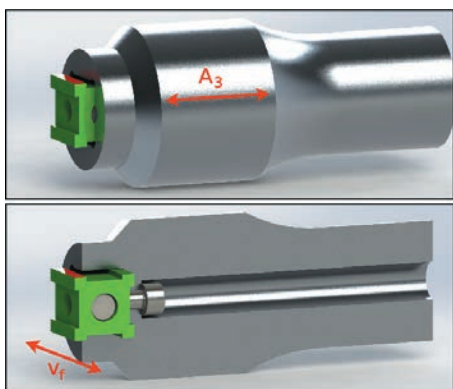
Eksperyment przeprowadzono na stanowisku badawczym CNC, stworzonym na potrzeby projektu PBS2/ /B6/17/2013 [6] i wyposażonym w centrum obróbkowe HAAS VF-2YT, w którym układ sterujący wymieniono na Sinumerik 840D sl, co było podyktowane koniecznością sterowania parametrami generatora ultradźwiękowego z poziomu programu technologicznego. Do pomiaru składowych siły w procesie szlifowania wspomaganego drganiami ultradźwiękowymi wykorzystano siłomierz zbudowany na bazie czterech czujników piezoelektrycznych

* Prof. nadzw. dr hab. inż. Janusz Porzycki (jpor@prz.edu.pl), dr inż. Witold Habrat (witekhab@prz.edu.pl), mgr inż. Marek Krok (mkrok@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Żółkoś (markos@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyki, Politechnika Rzeszowska

typu 9601A3110000 firmy Kistler, a do pomiarów chropowości powierzchni – profilometr MarSurf PS 10 firmy Mahr. W skład falowodu, czyli najistotniejszego w tym procesie układu powodującego wzbudzenie drgań ultradźwiękowych o częstotliwościach rzędu 20 kHz, wchodziły: generator wysokonapięciowego prądu przemiennego, wzbudnik drgań ultradźwiękowych (transducer) o nominalnej częstotliwości rezonansowej 20 kHz, wzmacniacz drgań (booster) o współczynniku wzmocnienia amplitudy drgań 1:1,5 oraz element wykonawczy (sonotroda) z zamocowanym przedmiotem obrabianym.

Materiałem obrabianym był stop tytanu Ti6Al4V o mikrostrukturze złożonej z dwóch faz: α i β . Jako narzędzie do obróbki zastosowano czołową tarczę szlifującą firmy Urdiamant 6A2 100-6/4 D151 K100 H20 B-IIIIBK o nasypie diamentowym i wielkości ziaren 151 oraz spoiwie żywicznym, a jako czynnik chłodząco-smarujący – 5-procentową emulsję syntetyczną podawaną zalewowo do strefy szlifowania.

Badania przeprowadzono w układzie szlifowania czołowego z oscylującym przedmiotem obrabianym (rys. 1) mocowanym na powierzchni czołowej sonotrody. Przejścia ściernicy wykonywano z posuwem prostym do osi fali mechanicznej wymuszającej drgania ultradźwiękowe (rys. 2). W trakcie projektu badawczego [6] wypracowano specjalną geometrię przedmiotu obrabianego wraz z przystosowaną do niego sonotrodą o częstotliwości rezonansowej 21,093 kHz i mocowaniem mechanicznym próbki od czoła elementu wykonawczego falowodu (rys. 2). Kształt przedmiotu obrabianego umożliwił szlifowanie płaskiej powierzchni o szerokości 3 mm i długości 20 mm – zapewniono tym samym stały przekrój usuwanej warstwy materiału.



Rys. 2. Widok i przekrój sonotrody z zamocowanym przedmiotem obrabianym: A_3 – kierunek drgań, v_f – kierunek posuwu

Aby zagwarantować niezmiennie warunki badań, przed każdym programem badawczym przeprowadzano kondycjonowanie ściernicy ze stałymi parametrami (o wartościach średnich z podanych dalej przedziałów zmienności badanych parametrów technologicznych) – dzięki temu początkowy proces jej docierania nie zaburzał wyników pomiarów. Przed każdym przejściem pomiarowym wykonywano jedno przejście wyrównujące próbkę bez ultradźwięków oraz pięć przejść wyiskrzających, a po każdym przejściu pomiarowym – osiem przejść wyiskrzających.

Jako czynniki wejściowe, mające wpływ na składowe styczną i normalną siły szlifowania oraz chropowość powierzchni, przyjęto następujące parametry technologiczne:

- prędkość obwodową $v_s = 10 \div 30$ m/s,
- posuw $v_f = 2000 \div 4000$ mm/min,
- głębokość szlifowania $a_e = 0,02 \div 0,05$ mm (maksymalna wartość jest zależna od średniego rozmiaru ziarna ściernego).

W celu zbadania wpływu poszczególnych parametrów na siłę szlifowania i chropowość powierzchni wykorzystano trzykrotnie program statyczny randomizowany kompletny, w którym wartościami wejściowymi były wymienione parametry technologiczne. Przyjmowały one wartości na trzech poziomach zmienności. Program wymagał wykonania w losowej kolejności pomiarów (powtarzanych pięciokrotnie) dla trzech układów, w których jeden parametr zmieniał swoją wartość, natomiast pozostałe przyjmowały wartości z połowy zakresu zmienności. Wartości wielkości wejściowych dla poszczególnych układów pomiarowych przedstawiono w tabelicy. Należy nadmienić, że do celów porównawczych wszystkie pomiary wykonano zarówno bez wspomaganie procesu ultradźwiękami, jak i ze wspomaganie, przy czym amplituda drgań wynosiła 5,8 μ m. Wielkościami mierzonymi w tym procesie były siła szlifowania (składowa normalna F_n i składowa styczna F_t) oraz parametr chropowości powierzchni R_a w kierunku prostopadłym i równoległym do posuwu.

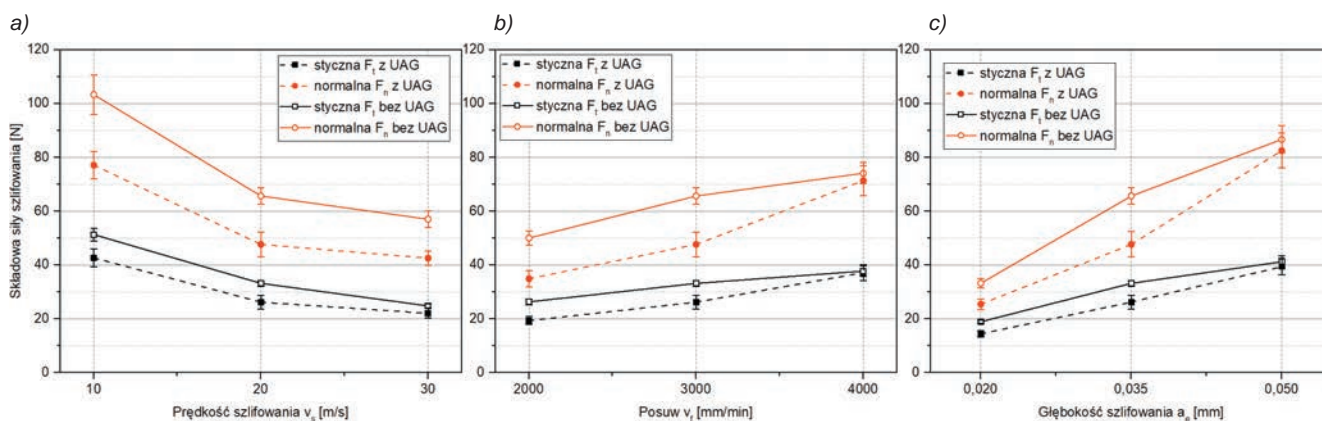
TABLICA. Warunki prowadzenia badań

| | | | |
|---|--|----------------------|-----------------------|
| Obrabiarka | Haas VF-2YT | | |
| Rodzaj obróbki | szlifowanie powierzchni płaskiej | | |
| Wspomaganie szlifowania ultradźwiękami | włączone/wyłączone | | |
| Amplituda drgań A , μ m | 5,8/0 | | |
| Mocowanie przedmiotu obrabianego | mechaniczne, czołowe | | |
| Materiał obrabiany | stop tytanu Ti6Al4V | | |
| Narzędzie obróbkowe | ściernica czołowa 6A2 100-6/4 D151 K100 H20 B-IIIIBK | | |
| Średni rozmiar ziarna ściernego D , μ m | 151 | | |
| Liczba przejść pomiarowych | 1 | | |
| Liczba przejść wyiskrzających | 8 | | |
| Liczba powtórzeń pomiarów | 5 | | |
| Długość szlifowania l_s , mm | 20 | | |
| Szerokość szlifowania a_p , mm | 3 | | |
| Chłodzenie procesu | zalewowe | | |
| Chłodziwo | 5% emulsja syntetyczna | | |
| Program badawczy | I | II | III |
| Prędkość obwodowa v_s , m/s | 10 20 30 | 20 | 20 |
| Posuw v_f , mm/min | 3000 | 2000 3000 4000 | 3000 |
| Głębokość szlifowania a_e , mm | 0,035 | 0,035 | 0,02 0,035 0,05 |

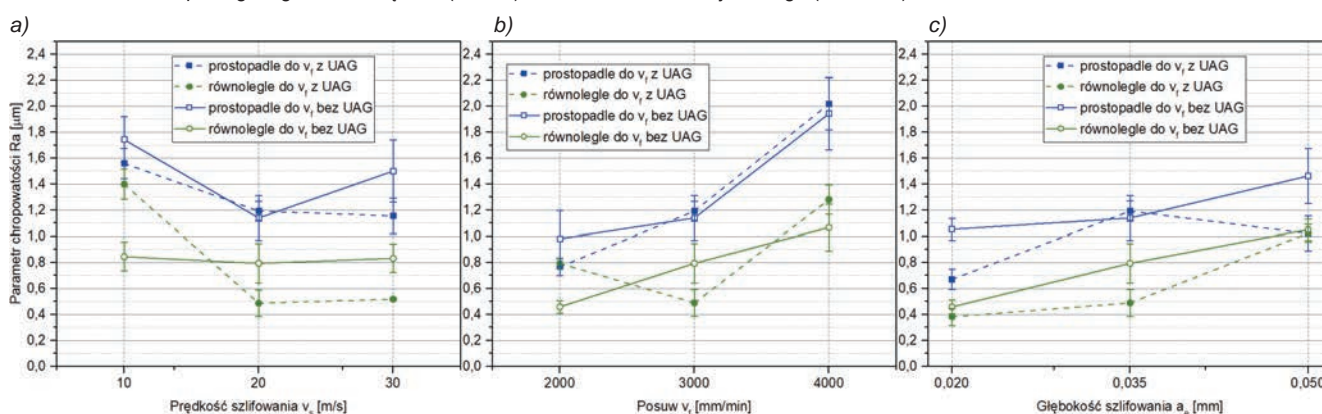
Wyniki badań

Wstępnie zbadano proces szlifowania ze wspomaganie drganiami ultradźwiękowymi przedmiotu obrabianego (z UAG) oraz – w celach porównawczych – proces szlifowania konwencjonalnego (bez UAG) w tych samych warunkach. Głównym celem badań było określenie wpływu drgań ultradźwiękowych przedmiotu obrabianego ze stopu Ti6Al4V na składowe siły szlifowania oraz chropowość powierzchni. Na rys. 3 przedstawiono porównanie wartości składowych siły szlifowania w rozpatrywanych procesach. Dla każdej wartości na wykresie zaznaczono przedział ufności obliczony dla pięciu pomiarów i poziomu istotności 0,05.

Przeprowadzone badania potwierdziły korzystny wpływ wspomaganie ultradźwiękami procesu szlifowania stopu Ti6Al4V na składową normalną i styczną siły szlifowania. Jak widać na rys. 3, wraz ze wzrostem prędkości



Rys. 3. Zależność składowej normalnej F_n i stycznej F_t od: a) prędkości szlifowania v_s , b) wartości posuwu v_f , c) głębokości szlifowania a_e – w procesach szlifowania wspomaganego ultradźwiękami (z UAG) i szlifowania konwencjonalnego (bez UAG)



Rys. 4. Zależność parametru chropowości powierzchni R_a od: a) prędkości szlifowania v_s , b) posuwu v_f , c) głębokości szlifowania a_e – w procesach szlifowania wspomaganego ultradźwiękami (z UAG) i szlifowania konwencjonalnego (bez UAG)

szlifowania v_s następuje spadek wartości składowych F_n i F_t siły szlifowania, a wzrost – wraz ze zwiększaniem wartości posuwu v_f i głębokości szlifowania a_e . Jednocześnie w każdym przypadku wartości składowych siły szlifowania w procesie wspomaganym ultradźwiękami były mniejsze niż w procesie konwencjonalnym.

Na rys. 4 przedstawiono porównanie wartości parametru chropowości R_a uzyskanych w poszczególnych procesach. Ocena tych wartości nie jest tak jednoznaczna jak w przypadku siły szlifowania, ponieważ otrzymano wyniki z bardzo szerokiego zakresu. Można jednak stwierdzić, że w przypadku szlifowania konwencjonalnego chropowość mierzona prostopadle do kierunku posuwu była zdecydowanie większa od chropowości mierzonej równoległe do kierunku posuwu. W procesie wspomaganym ultradźwiękami ta różnica była mniejsza.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania uprawniają do sformułowania następujących wniosków:

- zastosowanie ultradźwięków w badanym procesie pozwoliło na zmniejszenie siły normalnej F_n o 2÷27%, a siły stycznej F_t o 4÷30%;
- korzystny wpływ ultradźwięków na składowe siły szlifowania dla największych wartości posuwu v_f i głębokości szlifowania jest niewielki. Wartości składowych siły w procesie wspomaganym są mniejsze średnio o 4% od analogicznych wartości w procesie konwencjonalnym, co może być spowodowane charakterystyką pracy falowodu. Sterowanie przetwornikiem odbywa się w układzie automatycznej regulacji częstotliwości, zapewniającej stałą wartość amplitudy. Jednak w zależności od obciążenia przyłożonego do części roboczej sonotrody następuje

przesunięcie płaszczyzny (zmiana długości fali), w której występuje maksymalna wartość amplitudy. Zwiększenie wydajności objętościowej (zwiększenie wartości posuwu i głębokości szlifowania) może powodować zmniejszenie amplitudy drgań w strefie szlifowania, przy czym wyjaśnienie przyczyn tego zjawiska wymaga przeprowadzenia dokładniejszych badań;

- wprowadzenie oscylacji przedmiotu obrabianego do procesu spowodowało zmianę wartości parametru R_a mierzonych w kierunku prostopadłym do posuwu – od 5-procentowego zwiększenia do 36-procentowego zmniejszenia, mierzonych w kierunku równoległym do posuwu – od 73-procentowego zwiększenia do 39-procentowego zmniejszenia;
- z uwagi na szeroki zakres otrzymanych wartości parametru R_a wymagane są dalsze, rozszerzone badania dotyczące wpływu drgań ultradźwiękowych na chropowość powierzchni w procesie szlifowania stopu Ti6Al4V, wspomaganym drganiami ultradźwiękowymi obrabianego przedmiotu.

LITERATURA

1. Ezugwu E.O., Wang Z.M. "Titanium alloys and their machinability a review". *Journal of Material Processing Technology*. 68, 3 (1997): s. 262–274.
2. Ezugwu E.O., Bonney J., Yamane Y. "An overview of the machinability of aeroengine alloys". *Journal of Material Processing Technology*. 134, 2 (2003): s. 233–253.
3. Brehl D.E., Dow T.A. "Review of vibration-assisted machining". *Precision Engineering*. 32, 3 (2008): s. 153–172.
4. Davim, J. Paulo (ed.). "Machining of Titanium Alloys". Portugal: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
5. Krok M., Porzycki J., Żółkoś M. „Wybrane zagadnienia projektowania sonotrod na potrzeby obróbki ubytkowej wspomaganą drganiami ultradźwiękowymi obrabianego przedmiotu”. *Mechanik*. 89, 10 (2016): s. 1354–1355.
6. www.ktwia.prz.edu.pl/projekt-badawczy-pbs2b6172013/ (dostęp: 12.06.2017 r.).