

Wpływ głębokości skrawania podczas toczenia stopu tytanu Ti-6Al-4V ELI (Grade 23) na siły skrawania oraz chropowatość powierzchni obrabianej

Influence of cutting parameters during turning process of aerospace industry alloy Ti-6Al-4V ELI (Grade 23) on cutting forces and surface roughness of the workpiece

WOJCIECH STACHURSKI
DARIUSZ OSTROWSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.233

Zaprezentowano badania dotyczące toczenia stopu tytanu Grade 23, wykorzystywanego powszechnie m.in. w przemyśle lotniczym. Celem badań było ustalenie wpływu zmian głębokości skrawania na składowe siły skrawania oraz chropowatość powierzchni obrabianej. Badania przeprowadzono na tokarce numerycznej z wykorzystaniem 3-składowego siłomierza piezoelektrycznego. Chropowatość mierzono profilometrem stacjonarnym, metodą stykową. Na podstawie analizy wyników opisano wpływ głębokości skrawania na mierzone parametry. **SŁOWA KLUCZOWE:** toczenie, stopy tytanu, siły skrawania, chropowatość

In the paper investigation concerning turning of titanium alloy Grade 23 is presented. This type of alloy is commonly used in aviation industry. The main aim of investigation was to determine influence of cutting parameters on component cutting forces and surface roughness of machined surface of the workpiece. Experimental tests have been conducted on CNC lathe with utilization of three component piezoelectric dynamometer. Measurements of surface roughness parameters have been done on stationary profilometer with utilization of contact method. On the base of experimental data analysis the influence of cutting parameters on measured parameters has been described.

KEYWORDS: turning, titanium alloys, cutting forces, surface roughness

Trudności związane z obróbką stopów tytanu są powszechnie znane, a ich przyczyny opisano w literaturze fachowej. Główne problemy mają związek z występowaniem wysokich temperatur skrawania i szybkim zużyciem narzędzi skrawających [3÷5, 7]. Poprawę skrawalności stopów tytanu można uzyskać poprzez obniżenie temperatury skrawania. Zalecenia dotyczące obróbki stopów tytanu wskazują na konieczność zastosowania małej prędkości, dużego posuwu i głębokości skrawania (w porównaniu z obróbką stali) oraz bardzo ostrych narzędzi [1, 2]. Innym sposobem na obniżenie niekorzystnie wysokiej temperatury skrawania jest obfite podawanie cieczy obróbkowej [4, 8].

W niniejszym artykule opisano badania mające na celu ustalenie wpływu zmian głębokości skrawania na chropowatość powierzchni obrabianej oraz na składowe całkowite siły skrawania podczas toczenia stopu tytanu Ti-6Al-4V ELI.

Warunki badań

W trakcie badań toczoneo wzdłużnie próbki wykonane ze stopu tytanu Ti-6Al-4V ELI (Grade 23) w stanie normalizowanym (25±2 HRC). Jest to stop o najwyższej czystości (ELI – *extra low interstitial*), a jego właściwości sprawiają, że jest powszechnie stosowany w lotnictwie i medycynie (np. na implanty) [6].

Narzędziem był składany nóż tokarski firmy Sandvik – DCLNR 2020K 12 (według ISO). W oprawce zamocowano płytki skrawające CNMG 12 04 08–SM o promieniu naroża $r_\xi = 0,8$ mm, kącie przystawienia $\kappa_r = 95^\circ$ i pomocniczym kącie przystawienia $\kappa'_r = 5^\circ$. Płytki wykonane są z węglików spiekanych H13A o wysokiej odporności na zużycie ściernie i udarność, zwłaszcza przy toczeniu średnim i zgrubnym stali żaroodpornych i stopów tytanu [8]. Płytki te nie mają pokryć przeciwzuzyciowych.

W skład stanowiska do pomiaru sił skrawania wchodzi: tokarka numeryczna SL-10 firmy Haas, trójskładowy siłomierz piezoelektryczny Kistler 9121, wzmacniacz Kistler 5070 oraz karta pomiarowa Kistler 2855A4 wraz z komputerem i oprogramowaniem [6].

W trakcie obróbki układ pomiarowy rejestrował wartości trzech składowych całkowitej siły skrawania F powstających podczas toczenia: siły skrawania F_c , siły odporowej F_p i siły posuwowej F_f .

Badania realizowano dla zestawów parametrów skrawania przedstawionych w tabl. 1. Parametry zostały dobrane na podstawie danych producenta płytek [8], przy czym wartości prędkości skrawania v_c i posuwu f są zalecane przez firmę Sandvik jako optymalne. Ciecz obróbkową w postaci emulsji Blasocut firmy Blaser Swisslube dostarczano w strefę skrawania z wydatkiem 5 l/min.

TABLICA 1. Parametry skrawania i ich zestawy wykorzystane w badaniach

Nr zestawu	Głębokość skrawania a_p , mm	Prędkość skrawania v_c , m/min	Posuw f , mm/obr
1	0,5	35	0,25
2	1		
3	1,5		
4	2		

Do pomiaru chropowatości powierzchni zastosowano profilografometr T8000 firmy Hommel Werke. Jako wartość chropowatości dla każdej próbki przyjęto uśrednioną wartość z trzech pomiarów. Do analizy chropowatości wybrano parametry R_a i R_z , powszechnie stosowane do opisu chropowatości w warunkach przemysłowych.

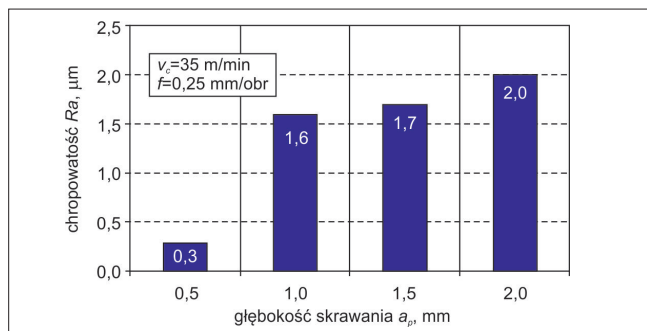
* Dr inż. Wojciech Stachurski (wojciech.stachurski@p.lodz.pl), dr inż. Dariusz Ostrowski (dariusz.ostrowski@p.lodz.pl) – Instytut Obrabiarek i TBM Politechniki Łódzkiej

Wyniki pomiarów chropowatości

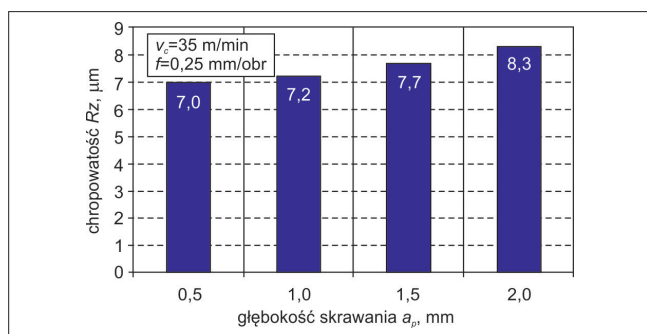
Wyniki pomiarów chropowatości według parametrów R_a i R_z zestawiono w tabl. II i zobrazowano na rys. 1 i 2.

TABLICA II. Wyniki pomiarów chropowatości

Nr zestawu	Głębokość skrawania a_p , mm	Chropowatość	
		R_a , μm	R_z , μm
1	0,5	0,3	7,0
2	1	1,6	7,2
3	1,5	1,7	7,7
4	2	2,0	8,3



Rys. 1. Zmiany chropowatości dla parametru R_a



Rys. 2. Zmiany chropowatości dla parametru R_z

Na podstawie zaprezentowanych wyników można stwierdzić, że dla badanego zakresu parametrów zwiększanie głębokości skrawania powoduje wzrost uzyskiwanej chropowatości powierzchni obrabianej wyrażonej zarówno parametrem R_a , jak i R_z . Na uwagę zasługuje fakt, że wartość parametru R_a dla najmniejszej głębokości skrawania $a_p = 0,5$ mm znacząco różni się od wartości uzyskanych dla zestawów 2, 3 i 4. W skrajnym przypadku (pomiędzy zestawami 1 i 4) różnica w wartościach R_a wynosi aż 560%.

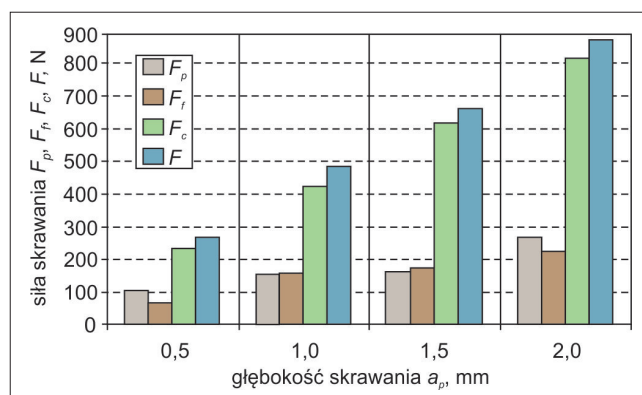
Zmiana głębokości skrawania nie spowodowała znaczących zmian wartości parametru R_z . Różnica pomiędzy skrajnymi wartościami R_z (dla zestawu 1 i 4) wynosi ok. 19%.

Wyniki pomiarów sił skrawania

Wyniki pomiarów składowych całkowitej siły skrawania F zestawiono w tabl. III i pokazano na rys. 3. Na ich podstawie można stwierdzić, że dla badanego zakresu parametrów zwiększanie głębokości skrawania a_p powoduje wzrost całkowitej siły skrawania F i jej składowych F_f , F_p i F_c . Kolejna zmiana głębokości skrawania powoduje wzrost siły skrawania F_c (która w największym stopniu decyduje o obciążeniu narzędzia [2]) o ok. 80% w stosunku do poprzedniej wartości, a wartości te zmieniają się w sposób niemal liniowy. Taka sama właściwość dotyczy całkowitej siły skrawania F .

TABLICA III. Wyniki pomiarów sił skrawania

Nr zestawu	Głębokość skrawania a_p , mm	Siła, N			
		F_p	F_f	F_c	F
1	0,5	107	69	236	268
2	1	156	157	424	479
3	1,5	159	173	618	661
4	2	268	233	814	889



Rys. 3. Zmiany całkowitej siły skrawania F oraz jej składowych

Podsumowanie

Na podstawie zaprezentowanych wyników można stwierdzić, że w zakresie parametrów skrawania zalecanych przez producenta płytki skrawającej:

- zwiększanie głębokości skrawania a_p powoduje wzrost chropowatości powierzchni obrabianej; dotyczy to zarówno parametru R_a , jak i R_z ,
- zastosowanie głębokości skrawania z dolnego zakresu zalecanego przez producenta płytki skrawającej ($a_p = 0,5$ mm) zapewnia uzyskanie chropowatości powierzchni R_a w granicach $0,30 \mu\text{m}$ – to pozwala na zastosowanie płytek do obróbki zgrubnej jako płytek do obróbki wykończeniowej,
- poprzedni wniosek należy jednak zweryfikować, przeprowadzając badania w całym okresie trwałości ostrza skrawającego,
- chociaż dla poszczególnych zestawów parametrów skrawania rozrzut uzyskiwanych wartości R_a i R_z był niewielki, konieczne jest przeprowadzenie analizy statystycznej uzyskanych wyników w kolejnych ich opracowaniach.

LITERATURA

1. Arrazola P.-J., Garay A., Iriarte L.-M., Armendia M. „Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3)”. *Journal of Materials Processing Technology*. 209 (2009): pp. 2223-2230.
2. Cichosz P. „Narzędzia skrawające”. Warszawa: WNT, 2013.
3. Ezugwu E.O., Bonney J., Yamane Y. „An overview of the machinability of aeroengine alloys”. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 134, Iss. 2 (2003): pp. 233-253.
4. Ezugwu E.O., Bonney J., Da Silva R.B., Cakir O. „Surface integrity of finished turned Ti-6Al-4V alloy with PCD tools using conventional and high pressure coolant supplies”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 47 (2007): pp. 884-891.
5. Ezugwu E.O., Wang Z.M.Y. „Titanium alloys and their machinability-a review”. *Journal of Materials Processing Technology*. 68 (1997): pp. 262-274.
6. Stachurski W., Midera S., Ostrowski D. „Wpływ parametrów skrawania podczas toczenia lotniczego stopu tytanu Ti-6Al-4V ELI (Grade 23) na siły skrawania oraz chropowatość powierzchni obrabianej”. *Mechanik*. R. 88, nr 8-9 (2015): s. 725/365-373 CD.
7. Narojczyk J., Morozow D., Siemiątkowski Z. „Obróbka stopu tytanu Ti-6Al-4V narzędziami implantowanymi”. *Mechanik*. R. 88, nr 3 (2015): s. 359-362.
8. www.sandvik.pl (dostęp: 21.05.2016).