

Badania wpływu warunków obróbki na chropowatość powierzchni obrobionej podczas szlifowania w głębnego stopu tytanu Ti-6Al-4V na szlifierce kłowej do wałków

Influence of grinding conditions on parts surface finish during machining titanium alloy Ti-6Al-4V on cylindrical grinding machine

WOJCIECH STACHURSKI
DARIUSZ OSTROWSKI
PAWEŁ LAJMERT*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.265

Zaprezentowano badania dotyczące szlifowania stopu tytanu Ti-6Al-4V (Grade 5) w różnych warunkach obróbki. Próby wykonano na szlifierce kłowej do wałków z zastosowaniem ściernicy 39C54MVS. Przeprowadzono analizę wpływu warunków obróbki na zmiany wybranych parametrów chropowatości 2D i 3D szlifowanych przedmiotów.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie wałków, stopy tytanu, chropowatość powierzchni

In the paper grinding process of titanium alloy Ti-6Al-4V (Grade 5) has been studied for different grinding conditions. Grinding tests have been done on cylindrical grinding machine with the use of 39C54MVS grinding wheel. An analysis was carried out to investigate the influence of grinding conditions on the 2D and 3D parameters of part surface roughness.

KEYWORDS: plunge grinding, titanium alloys, surface roughness

Tytan i jego stopy odgrywają znaczącą rolę jako materiały, z których wykonuje się odpowiedzialne elementy – zwłaszcza w przemyśle lotniczym, kosmicznym, motoryzacyjnym i medycznym [5]. Duże znaczenie przemysłowe materiały te zyskały m.in. dzięki swym właściwościom mechanicznym, a także fizycznym i chemicznym [4, 5], jednak właśnie z powodu tych specyficznych właściwości są one nadal uznawane za bardzo kłopotliwe w procesach obróbki ubytkowej, w tym obróbki ścierniej.

Szlifowanie, które jest obróbką wykończeniową, decyduje o ostatecznym stanie warstwy wierzchniej, w tym o chropowatości powierzchni obrobionej. Jakość tej powierzchni zależy od warunków obróbki, a zwłaszcza od parametrów skrawania, które determinują np. wielkość siły skrawania. Jej duże wartości mogą powodować pogorszenie właściwości eksploatacyjnych wytworzonych elementów.

Ponadto zbyt wysoka temperatura szlifowania wpływa na wynikowe naprężenia w warstwie wierzchniej obrabianego przedmiotu, co może prowadzić do wzrostu błędów geometrycznych oraz chropowatości szlifowanej powierzchni i w konsekwencji – do obniżenia właściwości użytkowych wyrobu [8].

W niniejszym artykule przedstawiono wpływ wybranych parametrów skrawania na chropowatość powierzchni szlifowanych przedmiotów.

Warunki badań

Badania polegały na szlifowaniu w głębnym próbek w postaci pierścieni o średnicy $\varnothing 70$ mm i szerokości 10 mm,

wykonanych ze stopu tytanu Ti-6Al-4V (Grade 5) w stanie normalizowanym (25 ± 2 HRC). Próbki szlifowano na stanowisku badawczym wyposażonym w zmodernizowaną szlifierkę kłową do wałków Tacchella [3]. Stosowano ściernicę ceramiczną 39C54MVS firmy Norton z ziarnami z zielonego węgla krzemowego, a jako chłodziwo – 3-procentowy wodny roztwór emulsji syntetycznej Mobilcut 321. Parametry przyjęte w procesie kondycjonowania ściernicy przedstawiono w tabl. I.

TABLICA I. Parametry kondycjonowania ściernicy

Prędkość obwodowa ściernicy v_n , mm/s	25
Dosuw kondycjonowania a_d , μm	20
Posuw wzdłużny kondycjonowania v_{fd} , mm/min	100

Badania podzielono na dwa etapy. Pierwszy, wstępny etap polegał na obróbce próbek z parametrami szlifowania zestawionymi w tabl. II. Zakres zmian tych parametrów ustalono na podstawie przeglądu literatury [2, 6–8] i dotychczasowych prac badawczych autorów [4]. Szlifowanie prowadzono w cyklach składających się z dosuwu roboczego bez wyiskrzania, po którym następował szybki odskok. Każdorazowo zbierano stały właściwy ubytek materiału V'_w .

TABLICA II. Parametry szlifowania zastosowane w badaniach

Właściwa wydajność objętościowa szlifowania Q'_w , $\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$	0,2; 0,5
Prędkość obwodowa przedmiotu v_w , mm/s	100, 200, 400, 800
Prędkość skrawania v_s , m/s	10, 15, 20, 30
Prędkość odskoku ściernicy v_{ods} , $\mu\text{m/s}$	200
Właściwy ubytek materiałowy ściernicy V'_w , mm^3/mm	20

Na drugim etapie badań szlifowano próbki z parametrami skrawania wytypowanymi na podstawie etapu wstępnego. Kryterium wyboru była odpowiednio mała wartość zmierzonej chropowatości powierzchni wyrażonej parametrem R_a , nieprzekraczająca $0,63 \mu\text{m}$. Parametr R_a wybrano z uwagi na jego powszechne stosowanie do opisu chropowatości w warunkach przemysłowych [1]. Próbki szlifowane na końcowym etapie badań mierzone przez rejestrowanie topografii powierzchni obrobionej. Do wyznaczenia parametrów 2D i 3D chropowatości powierzchni szlifowanych próbek zastosowano profilografo-metr T8000 firmy Hommel Werke.

Wyniki badań

Wyniki pomiarów profilu chropowatości R_a , uzyskane na pierwszym etapie badań, przedstawiono w tabl. III.

* Dr inż. Wojciech Stachurski (wojciech.stachurski@p.lodz.pl), dr inż. Dariusz Ostrowski (dariusz.ostrowski@p.lodz.pl), dr inż. Paweł Lajmert (pawel.lajmert@p.lodz.pl) – Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i TBM

Jak widać, wartość średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości Ra powierzchni rośnie wraz ze wzrostem prędkości skrawania v_s , co w przypadku szlifowania tytanu wskazuje na zasadność stosowania mniejszych prędkości skrawania. Uzyskane wyniki potwierdzają także wniosek zaprezentowany w pracy [4], że istnieje optymalna prędkość obwodowa przedmiotu, mieszcząca się w zakresie 100÷200 mm/s. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że przy zbyt małych prędkościach obwodowych przedmiotu zachodzi szlifowanie w strefie uszkodzeń cieplnych przedmiotu obrabianego, natomiast wzrost chropowatości przy dużych prędkościach obwodowych przedmiotu może wynikać z pracy w strefie drgań samowzbudnych przedmiotu.

TABLICA III. Wyniki pomiarów chropowatości Ra

Lp.	v_s , m/s	v_w , mm/s	Q'_w , mm ³ /mm ² *s	V'_w , mm ³ /mm	Ra , μ m
1	10	50	0,5	20	0,77
2	10	50	0,2	20	0,65
3	10	100	0,5	20	0,85
4	10	100	0,2	20	0,42
5	10	200	0,5	20	0,81
6	10	200	0,2	20	0,45
7	10	400	0,5	20	0,72
8	10	400	0,2	20	0,68
9	10	800	0,5	20	0,73
10	15	100	0,5	20	1,01
11	15	100	0,2	20	0,59
12	15	100	0,2	20	0,58
13	20	100	0,5	20	1,24
14	20	100	0,2	20	0,79
15	20	200	0,2	20	0,74
16	30	100	0,2	20	0,85

W tabl. IV przedstawiono wyniki pomiarów topografii powierzchni (wybrane parametry) uzyskane na drugim etapie badań. Można zauważyć, że zwiększenie prędkości skrawania v_s przy stałej prędkości obwodowej przedmiotu obrabianego v_w powoduje wzrost wartości parametrów chropowatości 3D. Porównanie maksymalnych wysokości wzniesień Sp oraz maksymalnych głębokości dolin Sv prowadzi do wniosku, że najmniejszymi wartościami wyróżniają się próbki 4 i 6.

Zbliżone wartości współczynników skośności Ssk wskazują, że badane powierzchnie pozbawione były przypadkowych ekstremalnych odchylen z rodzaju nietypowych, miejscowych wgłębień lub wzniesień. Współczynnik skupienia Sku , będący miarą smukłości krzywej rozkładu rzędnych profilu, wykazuje dużą wrażliwość na duże pojedyncze wzniesienia i wgłębienia. W analizowanym przypadku wartości parametru Sku są dla wszystkich próbek zbliżone, a wartość maksymalna jest większa od minimalnej o ok. 11%.

Wyniki otrzymane z krzywych nośności (Abbotta-Firestone'a) z rzędnymi profilu stanowią informacje na temat nośności powierzchni. Na ich podstawie można formułować wnioski odnoszące się do cech tribologicznych badanego materiału.

Parametr Sk mówi o wysokości chropowatości rdzenia, czyli powierzchni, która została pozbawiona wyróżniających się wzniesień i dolin. Parametr ten może zatem stanowić miarę efektywnej głębokości chropowatości po okresie docierania. Wartości Sk badanych próbek mieszczą się w zakresach 0,5÷1,3 μ m, a w przypadku próbek 4 i 6 otrzymano najmniejsze wartości wysokości rdzenia.

Zredukowana wysokość wzniesień Spk , która wystaje ponad powierzchnię rdzenia, istotnie wpływa na zachowanie się struktury geometrycznej powierzchni (SGP) w trakcie tarcia elementów. Im mniejsza wartość tego parametru, tym lepsza odporność SGP na ścieranie. Najmniejsze wartości Spk zarejestrowano dla próbek 4 i 6, co świadczy o dużej odporności ich powierzchni na ścieranie.

Kolejnym istotnym parametrem jest Svk . Zredukowana głębokość wgłębień wpływa na zdolność do utrzymywania warstwy oleju smarującego przez powierzchnię elementu. Jeżeli powierzchnie elementów trących wymagają smarowania, należy wybierać te, które odznaczają się dużymi wartościami Svk . Pod tym względem należy wyróżnić próbkę 15, która oprócz największej wartości Svk ma stosunkowo małą wartość parametru Spk .

TABLICA IV. Wyniki pomiarów topografii powierzchni

Nr próbki	4	6	11	12	14	15
v_s , m/s	10	10	15	15	20	20
v_w , mm/s	100	200	100	200	100	200
Q'_w , mm ³ /mm ² *s	0,2					
V'_w , mm ³ /mm	20					
Sa , μ m	0,47	0,52	0,64	0,82	0,71	0,87
Sq , μ m	0,82	0,94	0,99	1,36	1,17	1,40
Sp , μ m	7,20	8,80	7,40	9,50	11,80	12,10
Sv , μ m	2,10	3,90	2,80	6,40	4,90	6,60
Ssk , μ m	3,53	3,49	3,69	3,83	3,89	3,94
Sku , μ m	26,10	24,30	26,30	25,10	26,73	26,92
Sk , μ m	0,51	0,70	0,80	0,99	1,30	1,21
Spk , μ m	0,68	0,66	0,87	0,75	1,06	0,85
Svk , μ m	0,31	0,30	0,44	0,63	0,50	0,64

Podsumowanie

- Chropowatość powierzchni rośnie wraz ze wzrostem prędkości skrawania. W przypadku szlifowania tytanu zasadne jest stosowanie mniejszych prędkości skrawania v_s .
- W celu zmniejszenia wynikowej chropowatości szlifowanej powierzchni należy stosować odpowiednio małe prędkości obwodowe przedmiotu v_w . Optymalna prędkość obwodowa przedmiotu mieści się w zakresie 100÷200 mm/s.
- Najlepszą jakościowo powierzchnię otrzymano po obróbce z następującymi parametrami: $Q'_w = 0,2$ mm³/mm²*s, $v_s = 10$ m/s, $v_w = 100$ mm/s.

LITERATURA

- Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość”. Warszawa: WNT, 2008.
- Beranoaguirre A., Lopez de Lacalle L. „Grinding of gamma TiAl intermetallic alloys”. *Procedia Engineering*. Vol. 63 (2013): pp. 489÷498.
- Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B. „Stanowisko do badania procesu szlifowania wgłębnego wałków”. *Mechanik*. R. 87, nr 8–9 (2014): s. 195÷202/596.
- Lajmert P., Stachurski W., Kruszyński B. „Badania wpływu warunków obróbki na przebieg procesu szlifowania wgłębnego stopów tytanu na szlifierce kłowej do wałków”. *Mechanik*. R. 88, nr 12 (2015): s. 34÷37/596.
- Oczko K.E. „Kształtowanie ubytkowe tytanu i jego stopów w przemyśle lotniczym i technice medycznej. Cz. I”. *Mechanik*. R. 81, nr 8–9 (2008): s. 639÷656.
- Oczko K.E. „Kształtowanie ubytkowe tytanu i jego stopów w przemyśle lotniczym i technice medycznej – część 2”. *Mechanik*. R. 81, nr 10 (2008): s. 753÷767.
- Razavi H., Kurfess T., Danyluk S. „Force control grinding of gamma titanium aluminide”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 43 (2003): pp. 185÷191.
- Xu X., Yu Y., Huang H. „Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel (K417) alloys”. *Wear*. Vol. 255 (2003): pp. 1421÷1426.