

# Fizyczne charakterystyki toczenia trudno skrawalnego stopu tytanu na podstawie fazy ortorombowej O ( $Ti_2AlNb$ )

## Physical characteristics turning hard-to-cut of orthorhombic phase titanium alloy O ( $Ti_2AlNb$ )

ROMAN CHUDY  
PIOTR NIESŁONY  
JOANNA MAŁECKA \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.412

W artykule przedstawiono charakterystyki fizyczne stopu tytanu na podstawie fazy ortorombowej O- $Ti_2AlNb$  oraz dokonano oceny trwałości ostrza skrawającego po toczeniu ze zmiennymi parametrami technologicznymi.

**SŁOWA KLUCZOWE:** stop tytanu na podstawie fazy ortorombowej, toczenie wykończeniowe, składowe siły skrawania

*The article presents the physical characteristics of orthorhombic phase titanium alloy O- $Ti_2AlNb$  and includes the assessment of the cutting edge durability upon turning with variable technological parameters.*

**KEYWORDS:** orthorhombic phase titanium alloy, finish turning, cutting forces components

W ostatnich latach opracowano nową grupę zaawansowanych materiałów inżynierskich na podstawie faz międzymetalicznych tytanu, a badania te implikowane były potrzebą opracowania lekkich i wytrzymałych materiałów dla lotnictwa i kosmonautyki. Materiały te miały zastąpić stopy tytanu oraz stopy na bazie niklu używane w konstrukcji silników odrzutowych [1÷3]. Jako materiały konstrukcyjne zastosowanie znalazły stopy tytanu na podstawie fazy międzymetalicznej  $TiAl(\gamma)$  – ze względu na dobrą odporność na utlenianie i pełzanie oraz wysoką temperaturę topnienia. Stosowane są na elementy nowoczesnych silników lotniczych, cechujących się większą sprawnością, energooszczędnością oraz mniejszą emisją gazów spalinowych [4]. Podkreślić należy, iż wciąż tworzone są nowe koncepcje rozwoju stopów tytanu na podstawie faz międzymetalicznych. Pod koniec lat osiemdziesiątych XX w. wprowadzono do składu fazowego stopów tytanu fazę  $Ti_2AlNb(O)$  [5], co spowodowało wzrost ich gęstości, lecz jednocześnie poprawiło inne właściwości, m.in. plastyczność.

Pomimo licznych zalet istnieją także poważne ograniczenia dotyczące wykorzystania tych materiałów. Problematyczne staje się wytwarzanie podzespołów w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym z zastosowaniem obróbki skrawaniem. Jest to istotnie trudne ze względu na niską skrawalność, która wynika ze specyficznych właściwości materiałów dużej twardości i kruchości, aktywności chemicznej oraz małej przewodności cieplnej [6÷7]. Właściwości te powodują intensywne zużywanie się ostrza narzędzia skrawającego oraz duże odkształcenia materiału w warstwie wierzchniej. Z tego powodu pojawia się konieczność opracowania efektywnych strategii wytwarzania pozwalających na uzyskanie produktu o dobrej jakości.

### Materiał i metodyka badań

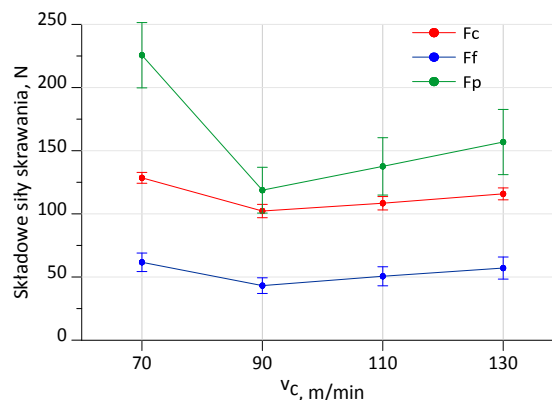
Jako materiał do badań zastosowano stop tytanu na podstawie fazy O- $Ti_2AlNb$ : Ti-25Al-12,5Nb-6,01Mo-0,48V. Badania doświadczalne prowadzono na wielozdaniowej obrabiarkę CNC Okuma Genos L200-EM. W próbach skrawania zastosowano płytki z węgla spiekanego KC5010 z powłoką  $TiAlN$  o oznaczeniu CNMG 120412-UP, nie stosowano cieczy obróbkowych. Toczenie wykończeniowe wykonano ze zmienną prędkością skrawania  $v_c = 70 \div 130$  m/min, stałą głębokością skrawania  $a_p = 0,2$  mm oraz stałą wartością posuwu wynoszącą  $f = 0,1$  mm/obr. Pomiar składowych siły skrawania dokonano przy pomocy siłomierza piezoelektrycznego Kistler 9129AA oraz wzmacniacza sygnału Kistler 5070A10100.

Rzeczywistą energię skrawania wyliczono, wykorzystując przetworniki prądowe i napięciowe umieszczone na przewodach zasilających obrabiarkę. Tak zbudowany układ pozwala monitorować i rejestrować aktualne wartości mocy pobieranej przez obrabiarkę w trakcie procesu [8].

Badania obszarów zużycia narzędzi skrawających przeprowadzono przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego JEOL JSM-35. W badaniach wykorzystano detektory elektronów wtórnych (SE).

### Wyniki badań

Celem badań było wyznaczenie wpływu zmiennej prędkości skrawania na składowe siły skrawania, energię właściwą skrawania oraz moc skrawania trudno skrawalnego stopu tytanu. Podjęto także próbę oceny zużycia ostrzy skrawających użytych podczas eksperymentu.

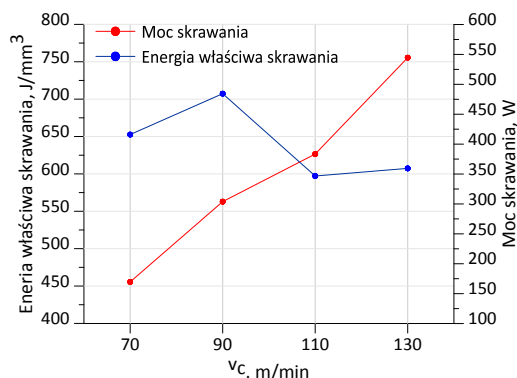


Rys. 1. Wpływ prędkości skrawania na składowe siły skrawania

Na podstawie prób można zauważyć, że najwyższe wartości składowych siły skrawania uzyskano dla najniższej analizowanej prędkości skrawania ( $v_c = 70$  m/min). Naj-

\* Mgr inż. Roman Chudy (r.chudy@po.opole.pl), dr hab. inż. Piotr Niesłony prof. PO (p.nieslony@po.opole.pl), dr inż. Joanna Małecka (j.malecka@po.opole.pl) – Katedra Technologii Maszyn i Automatyki Produkcji Politechniki Opolskiej

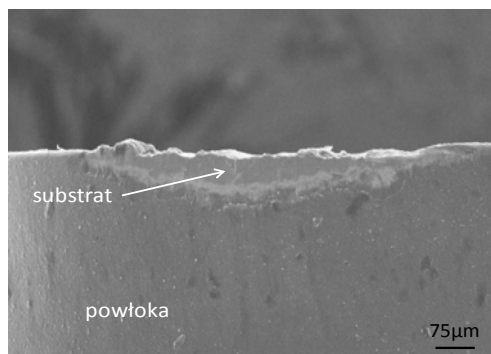
mniejsze wartości sił skrawania uzyskano dla  $v_c = 90$  m/min, natomiast wraz ze wzrostem prędkości skrawania (do 130 m/min) zarejestrowane wartości sił rosną (rys. 1). Najwyższe wartości sił w całym badanym zakresie zarejestrowano dla siły odporowej, które oscylowały w przedziale ok. 160÷230 N. Fakt ten można tłumaczyć stosowaniem niewielkiej głębokości skrawania ( $a_p = 0,2$  mm) oraz zastosowaniem płytki z promieniem zaokrąglenia krawędzi skrawającej  $r_n = 60$   $\mu$ m. Niższe o ok. 20÷70% wartości odnotowano dla głównej siły skrawania (100÷130 N). Podobny przebieg wykazała siła posuwowa. Dla tej składowej zakres zmian siły wahał się w przedziale 40÷60 N (rys. 1).



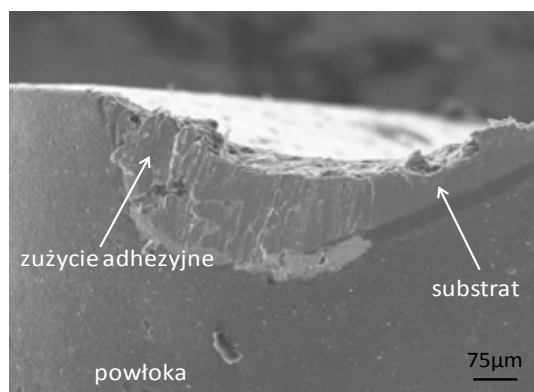
Rys. 2. Wpływ prędkości skrawania na moc skrawania oraz energię właściwą skrawania

Wyniki badań mocy i energii skrawania wskazują (rys. 2), że wraz ze zwiększeniem prędkości skrawania znacząco wzrasta moc skrawania (o ponad 260%). Ma na to wpływ zwiększenie prędkości obrotowej przedmiotu obrabianego, a co za tym idzie zwiększenie zapotrzebowania na moc silnika napędu wrzeciona. Należy wspomnieć, że analizowane wartości elektryczne są wynikiem rzeczywistego pomiaru wartości prądowych obrabiarki. Wyznaczona energia właściwa skrawania wykazuje wyższą wartość dla toczenia z prędkościami 70÷90 m/min natomiast zmniejsza się przy wzroście prędkości skrawania (110÷130 m/min). Wskazuje to na wyższą wydajność energetyczną procesu przy stosowaniu zwiększonych prędkości skrawania.

W pracy dokonano analizy obrazów SEM przedstawiających stan geometryczny i tribologiczny naroży płytek, które w czasie obróbki podlegają intensywnemu zużyciu. Na rys. 3÷4 przedstawiono powierzchnię przyłożenia ostrza przy prędkości skrawania odpowiednio  $v_c = 70$  m/min oraz  $v_c = 130$  m/min. Dominującym mechanizmem obserwowanym dla ostrzy było ścieranie się powłoki ochronnej na powierzchni. W wielu miejscach, gdzie następował kontakt materiału obrabianego z narzędziem, nastąpiło jej całkowite lub częściowe usunięcie.



Rys. 3. Obraz SEM ostrza przy prędkości skrawania  $v_c = 70$  m/min, obwodowa droga skrawania ~9,4 m



Rys. 4. Obraz SEM ostrza przy prędkości skrawania  $v_c = 130$  m/min, obwodowa droga skrawania ~9,4 m

Na podstawie obserwacji śladów zużycia można stwierdzić, że podczas tarcia następowało także wzajemne przemieszczanie się materiałów i lokalne nanoszenie materiału obrabianego na powierzchnię ostrza w obszarze kontaktu z wiórem. Jednoznacznie intensywniejsze zjawiska ścierania powłoki i usuwania materiału ostrza, prowadzące do zużycia katastroficznego narzędzia, zaobserwowano dla  $v_c = 130$  m/min. W tym też przypadku trwałość ostrza była najkrótsza.

## Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

- najwyższe wartości sił odnotowano dla siły odporowej w całym badanym przedziale prędkości skrawania,
- maksymalne wartości siły skrawania uzyskano dla  $v_c = 70$  m/min, natomiast najniższe wartości wszystkich składowych sił skrawania odnotowano dla  $v_c = 90$  m/min,
- wzrost prędkości skrawania skutkuje znacznym wzrostem mocy skrawania, natomiast energia właściwa skrawania wykazuje niższe wartości dla prędkości skrawania powyżej 110 m/min,
- przy maksymalnej prędkości skrawania wynoszącej  $v_c = 130$  m/min zachodzi zużycie katastroficznego ostrza,
- głównymi mechanizmami zużycia jest zużycie ściernie oraz adhezyjne. Po usunięciu powłoki tworzą się narosty materiału obrabianego, co może świadczyć o dużym udziale adhezji w złożonym mechanizmie zużycia.

## LITERATURA

1. Loria A. „Gamma titanium aluminides as prospective structural materials”. *Intermetallics*. Vol. 8 (2000): pp. 1339÷1345.
2. Sieniawski J. „Stopy aluminium stosowane w technice lotniczej”. *Mechanik*. Nr 7 (2009): s. 649÷654,
3. Kumpfert J., Leyens C. „Titanium and Titanium Alloys, Fundamentals and Applications”. Edited by Christoph Leyens, Manfred Peters, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim (2003).
4. Krupa K., Laskowski P., Sieniawski J. „Zastosowanie w technice lotniczej stopów tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(gama) oraz wpływ warunków frezowania na właściwości warstwy wierzchniej”. *Mechanik*. Nr 85, 1CD (2012).
5. Banerjee D., Gogi A.K., Nandy T.K., Joshi V.A. „A new ordered orthorhombic phase in a Ti<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Nb alloy”. *Acta Metallurgica A36* (1988): pp. 871÷882.
6. Baur H., Wortberg D.B. „Titanium Aluminides for passenger vehicles”. *Materials Science and Engineering* (2002), A329-331, pp. 582÷588.
7. Dimiduk D.M. „Gamma titanium aluminide alloys—an assessment within the competition of aerospace structural materials”. *Materials Science and Engineering A263* (1999): 281÷288.
8. Chudy R., Grzesik W. „Comparison of power and energy consumption for hard turning and burnishing operations of 41Cr4 steel”. *Journal of Machine Engineering*. Vol. 15, No. 4 (2015): pp.113÷120. ■