

Jerzy NAROJCZYK¹
Dmitrij MOROZOW²
Zbigniew SIEMIĄTKOWSKI³

OBRÓBKA STOPU TYTANU Ti-6Al-4V NARZĘDZIAMI IMPLANTOWANYMI

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu implantacji powierzchni natarcia płytek węglkowych jonami krzemu lub krzemu i azotu na zmiany właściwości powłoki NTP 25 (twardość) oraz opory skrawania podczas toczenia stopu tytanu Ti-6Al-4V. Stwierdzono wzrost twardości powłok implantowanych oraz zmniejszenie sił skrawania podczas obróbki stopu tytanu płytkami węglkowymi modyfikowanymi jonami krzemu.

MACHINING TITANIUM ALLOY Ti-6Al-4V IMPLANTED CARBIDE TOOLS

The paper presents the results of the influence of implantation the rake face carbide inserts of silicon or silicon and nitrogen ions to change the properties of the coating NTP 25 (hardness) and the cutting forces during turning of titanium alloy Ti-6Al-4V. An increase coating hardness and to reduce the cutting forces of implanted cutting during machining of titanium alloy carbide inserts modified silicon ions.

1. WSTĘP

Stopy tytanu zaliczane są do grupy materiałów trudnoobrabialnych. Spowodowane jest to ich znaczną wytrzymałością i wydłużeniem względnym (6 – 15 %) oraz małą przewodnością cieplną. Dwie pierwsze cechy powodują wydzielanie się dużej ilości ciepła w strefie skrawania. Konsekwencją małej przewodności cieplnej stopów tytanu jest duża ilość ciepła wnikająca do ostrza narzędzia. Podejmowane wysiłki koncentrują się na poprawie trwałości narzędzi. Z jednej strony są to nowe chłodziwa syntetyczne, chłodzenie pod wysokim ciśnieniem, chłodzenie kriogeniczne, chłodzenie sprężonym gazem itp. [1] Technologie te są w stanie odprowadzić więcej ciepła ze strefy skrawania i zapewniają wyższą trwałość narzędzia niż w przypadku chłodzenia natryskowego. Inny sposób to obróbka wspomagana termicznie TAM (ang. Thermally Assisted Machining), która pozwala zmniejszyć opory skrawania, poprawiając skrawalność materiału [2]. Firmy narzędziowe dla obróbki materiałów z grupy trudnoskrawalnych oferują płytki wielostrzowe z określonymi rodzajami powłok. Najczęściej są to kompozycje kilku warstwowe, z których zewnętrzne zapewniają niski współczynnik tarcia a wewnętrzne są barierą dla wnikającego ciepła ze strefy skrawania.

Możliwe są również modyfikacje powłok metodami inżynierii powierzchni (np. implantacja jonów, wspomaganie procesu nakładania warstwy wiązką jonów IBAD (ang. Ion Beam Assisted Deposition), które umożliwiają uzyskanie zmian właściwości powłok takich jak: twardość, naprężenia w warstwie wierzchniej bądź częściową amorfizację warstwy wierzchniej [3, 4].

Przytoczone pozycje literatury [5 – 9] pokazują możliwości modyfikacji na drodze implantacji jonów twardej warstwy oraz jej wpływu na właściwości tribologiczne, mikrotwardość i odporność na zużycie chemiczne. Stosunkowo mniej liczne są prace, w których oceniany jest wpływ implantacji jonów na odporność wysokotemperaturową powłok stosowanych na narzędziach skrawających. Wskazówką co do wyboru jonów domieszkujących może być praca Stansky'ego i współpracowników [5], którzy wykazali że warstwy powierzchniowe TiN utleniają się stosunkowo szybko do TiO₂ w temperaturze 550 °C. Ponadto w w/w pracy wykazano, że dodatek Si, względnie Al znacznie podwyższał odporność na korozję wysokotemperaturową. Można wnosić, że wzrost tej odporności spowodowany był obecnością krzemu w pierwszym przypadku i glinu w drugim, z uwagi na znane własności pasywujące tlenków tych pierwiastków.

Celem pracy była próba oceny czy i na ile implantacja jonów krzemu do powłoki NTP25 na płytkach węglkowych SPUN 120304 wpływa na ich właściwości użytkowe.

¹ Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Krasickiego 54, tel: + 48 48 361-76-22, e-mail: jerzy.narajczyk@uthrad.pl

² Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Krasickiego 54, tel: + 48 48 361-76-21, e-mail: d.morozow@uthrad.pl

³ Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Krasickiego 54, tel: + 48 48 361-76-17, e-mail: z.siemiatkowski@uthrad.pl

2. METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań była obróbka stopu tytanu Ti-6Al-4V płytkami węglowymi SPUN 120304 z powłoką NTP 25 (wielowarstwowa powłoka CVD: TiN+Al₂O₃+TiCN+TiC). Powierzchnie natarcia płytek poddano implantacji jonami krzemu (Si) lub jonami krzemu i azotu (Si+N) stosując dawki: $2 \cdot 10^{17}$ Si⁺/cm², $(1 + 1) \cdot 10^{17}$ (Si⁺ + N⁺)/cm². Energia wiązki wynosiła 80 keV – implantację przeprowadzono w Narodowym Centrum Badań Jądrowych Otwock/Świerk.

Dokonano pomiaru twardości na powierzchni natarcia płytek implantowanych i referencyjnych przy pomocy twardościomierza Vickersa model 401MVD firmy Wilson Wolpert. Pomiar oporów skrawania wykonano przy pomocy tensometrycznego siłomierza CL-16, umożliwiającego pomiar trzech składowych siły skrawania podczas toczenia – okres próbkowania 0,2 s. Próby obróbki realizowano na centrum tokarskim DMG NEF400. Technologiczne parametry obróbki były następujące: $v_c = 50$ m/min., $a_p = 0,5$ mm, $f_1 = 0,1$ mm/obr. $f_2 = 0,2$ mm/obr. (próbki były obrabiane na pewnej długości z posuwem f_1 a na pozostałej z posuwem f_2). Parametry geometryczne ostrza: $\alpha_o = 5^\circ$, $\gamma = -6^\circ$, $\kappa_r = 75^\circ$, $r_e = 0,4$ mm.

3. REZULTATY BADAŃ I ICH DYSKUSJA

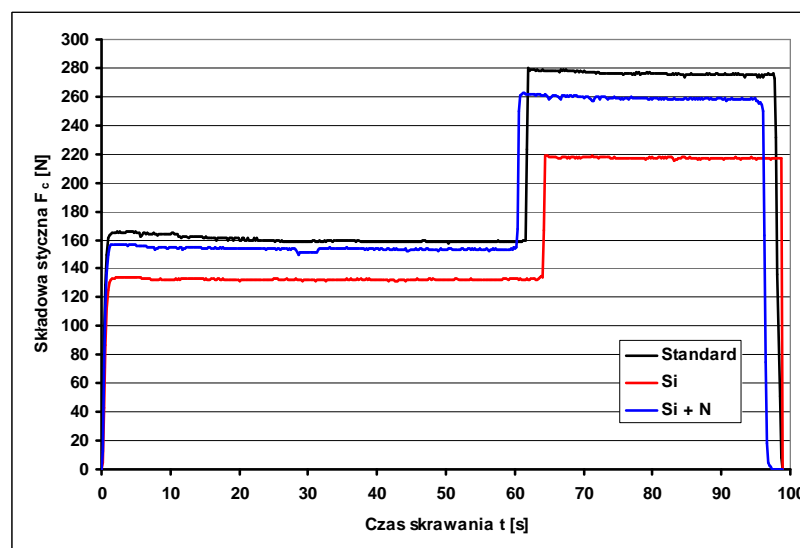
Wyniki pomiarów twardości pokryć płytek przed i po implantacji (tab.1) wskazują, że zwiększyła się ona dla płytek implantowanych jonami krzemu oraz krzemu i azotu odpowiednio o 326 mHV0.2 (17,5 %) i o 232 mHV0.2 (12,5 %).

Tab. 1. Pomiar twardości pokryć TiN

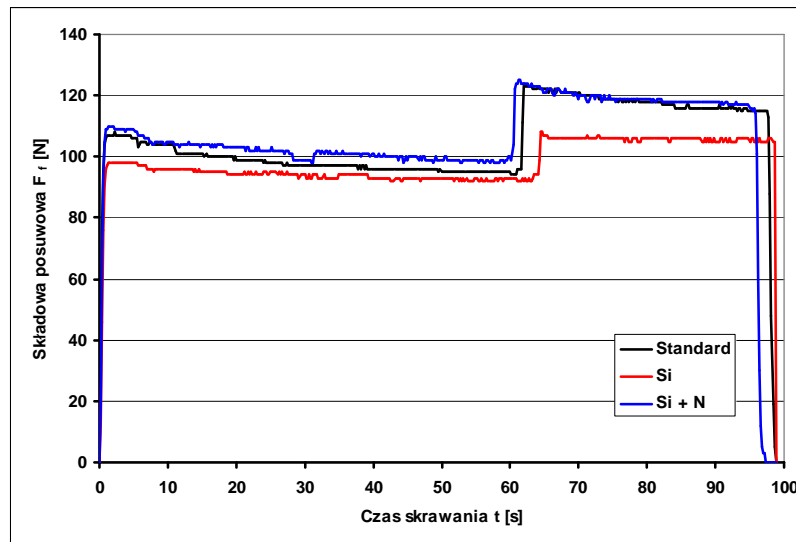
Lp.	Płytki SPUN 120304	Twardość [mHV 0.2]
1	Nieimplantowane	1863 ± 95
2	Implantowane krzemem (Si ⁺)	2189 ± 136
3	Implantowane krzemem i azotem (Si ⁺ + N ⁺)	2095 ± 155

Jest to niewątpliwie fizyczny efekt zabiegu implantacji jonów krzemu oraz krzemu i azotu do warstwy TiN. Wprowadzone jony do sieci krystalicznej podłoża powodują zwiększenie naprężeń ściskających oraz przeniesienie tych oddziaływań w głębsze obszary warstwy TiN – co potwierdzają wyniki otrzymane przez innych badaczy [10].

Poniżej przedstawiono przykładowe wykresy zarejestrowanego przebiegu zmian składowych: stycznej (F_c) (rys.1) oraz posuwowej (F_f) (rys.2) siły skrawania podczas obróbki płytkami: standardową, implantowaną jonami krzemu (Si) oraz implantowaną jonami krzemu i azotu (Si+N). Analiza każdego z wykresów pozwala na stwierdzenie, że w całym obszarze występuje wyraźne obniżenie składowych sił dla płytek implantowanych. Szczególnie ta różnica (F_c – ok. 60N, F_f – ok. 15N) jest widoczna dla płytek implantowanych krzemem.

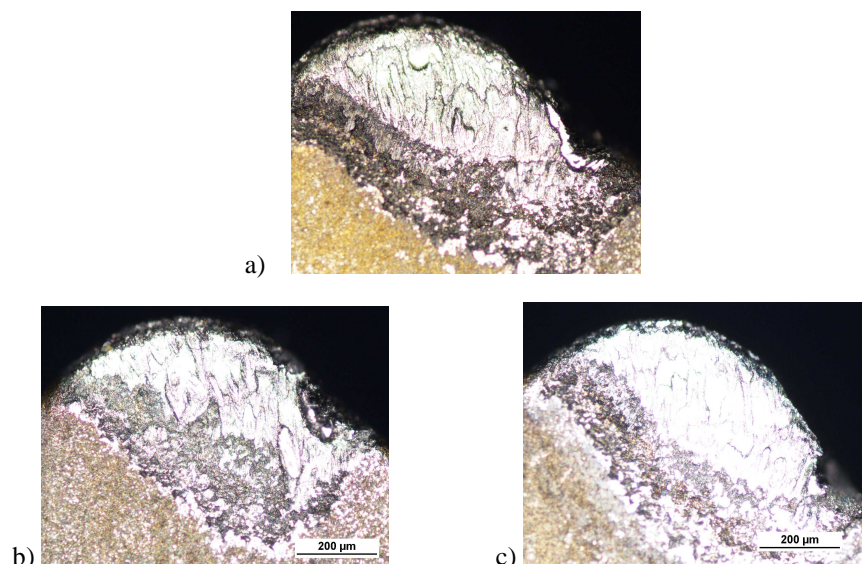


Rys. 1. Przebieg zmian składowej stycznej (F_c) siły skrawania



Rys. 2. Przebieg zmian składowej posuwowej (F_f) siły skrawania

Zdjęcia części roboczej ostrza wskazują (rys.3) na łagodniejszy przebieg procesów zużycia w przypadku płytek implantowanych.



Rys. 3. Ostrza płytek: a) nieimplantowanej, b) implantowanej jonami Si^+ , c) implantowanej jonami $Si^+ + N^+$

Jest to niewątpliwie skutek zwiększenia twardości warstwy TiN oraz zmian w strukturze pokrycia spowodowany implantacją jonów krzemu oraz krzemu i azotu.

4. WNIOSKI

Wykonane próby obróbki i pomiary płytek wieloostrowych SPUN 120304 z powłoką NTP25 firmy Sandvik poddanych zabiegom implantacji jonami krzemu oraz krzemu i azotu pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- implantacja jonów do twardych powłok narzędziowych jest dobrym sposobem do modyfikowania ich właściwości eksploatacyjnych,
- implantacja jonów krzemu do powierzchni natarcia płytek SPUN 120304 podczas obróbki stopu Ti-6Al-4V wyraźnie zmniejszyła opory skrawania w stosunku do płytek nieimplantowanych,
- implantacja jonów krzemu oraz krzemu i azotu zwiększyła twardość powłok na powierzchni natarcia płytek węglkowych.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] V.S. Sharma, M. Dogra, N.M. Suri, *Cooling techniques for improved productivity in turning*, International Journal of Machine Tools and Manufacture 49 (2009) 435-453.
- [2] M.J. Bermingham, S. Palanisamy, M.S. Dargusch, *Understanding the tool wear mechanism during thermally assisted machining Ti-6Al-4V* International Journal of Machine Tools and Manufacture 62 (2012) 76-87.
- [3] X.C. Zhang, B.S. Xu, H.D. Wang, Y.X. Wu, Y. Jiang: *Underlying mechanisms of the stress generation in surface coatings*, Surface & Coatings Technology 201 (2007) 6715-6718.
- [4] P. Zhang, Z. Cai, W. Xiong: *Influence of Si content and growth condition on the microstructure and mechanical properties of Ti – Si – N nanocomposite films*, Surface & Coatings Technology 201 (2007) 6819-6823.
- [5] Shtansky D.V., Levashov E.A., Sheveiko A.N., Moore J.J.; J. Mat. Synth. & Proc.,6(1998) 61.
- [6] Stroosnijder M.F.: *Ion implantation for high temperature corrosion protection*. Surface & Coatings Technology 100-101 (1998) s. 196-201
- [7] Mitsuo A., Uchida S., Nihira N., Iwaki M.: *Improvement of high-temperature oxidation resistance of titanium nitride and titanium carbide films by aluminium ion implantation*, Surface & Coatings Technology, v 103-104, n 1, May, 1998, s. 98-103.
- [8] Choj V. Kh., Kim V., Atamanov M.V., Guseva M.I., Popkov N.G.: *Studying temperatures of WC-Co and high-speed steel ion implantation and their effect on microhardness*; (1995) Mashinovedenie, nr1, Jan-Feb, s.69-73
- [9] Narojczyk J., Piekoszewski J., Richter E., Werner Z.: *Wear properties of TiN coated cutting tools implanted with nitrogen ions*, Nukleonika v. 44 nr 21 s.225-230, 1999.
- [10] Perry A.J., Treglio J.R., Bhat D.G., Boppana S.P., Kattamis T.Z., Schlichting K., Dearnaley G., Geist D.E.: *Effect of ion implantation on the residual stress, tribological and machining behavior of CVD and PVD TiN coated cemented carbide cutting tool inserts*. Surface & Coatings Technology, 68/69 (1994) s. 294 – 300