



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE  
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE  
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS  
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference  
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

## ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Struktura i własności materiałów ceramicznych na bazie tlenkowej ceramiki mieszanej  $Al_2O_3+TiC$  z cienkimi powłokami naniesionymi w procesie PVD\*

L.A. Dobrzański<sup>a</sup>, J. Mikuła<sup>a</sup>, D. Pakuła<sup>a</sup>, A. Kříž<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Division of Materials Processing Technology and Computer Techniques in Materials Science, Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland

<sup>b</sup>Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia  
Univerzitni 22, 306 14 Pilzen, Czech Republic

W pracy porównano strukturę i własności powłok typu TiN, TiAlN, TiN+TiAlSiN+TiN, oraz TiN+TiAlSiN+AlSiTiN uzyskanych w procesie katodowego odparowania łukowego na płytkach skrawających z ceramiki tlenkowej  $Al_2O_3+TiC$ . Przedstawiono wyniki badań na skaningowym mikroskopie elektronowym oraz składu chemicznego, jak i wyniki badań własności mechanicznych i skrawnych.

### 1. WPROWADZENIE

Od własności materiałów narzędziowych zależy zarówno jakość wykonania obrabianego przedmiotu, jak również wydajność procesu obróbki. Wymagania stawiane materiałom stosowanym na narzędzia skrawające stają się wraz z rozwojem przemysłu coraz wyższe i coraz częściej inżynierowie projektujący nowe narzędzia skrawające sięgają po materiały ceramiczne, charakteryzujące się dużą twardością, dużą wytrzymałością mechaniczną w temperaturze otoczenia, jak również w wysokiej temperaturze oraz małą ścieralnością. Wśród ceramicznych materiałów narzędziowych szybkie tempo rozwoju osiągają w ostatnich latach materiały na bazie  $Al_2O_3$  a szczególnie tlenkowa ceramika mieszana  $Al_2O_3+TiC$  [1-4]. W przypadku tej odmiany ceramiki właściwości wytrzymałościowe zależą głównie od metod wytwarzania takich jak: spiekanie swobodne w atmosferach nieutleniających, spiekanie pod ciśnieniem, izostatyczne prasowanie na gorąco (HIP). W zależności od wyboru metody otrzymywania ceramiki czarnej zmieniają się przede wszystkim ziarnistość i dogęszczenie spieku. Udział TiC w ceramice tlenkowej ma negatywny wpływ na strukturę materiału, gdyż powoduje rozrost ziarna. Aby temu zapobiec stosuje się kosztowne spiekanie pod ciśnieniem lub HIP. Węgiel tytanu wprowadza się w udziale 30-40% objętości spieku. Powoduje on zwiększenie twardości, ciągliwości i odporności na ścieranie oraz zużycie [1-4].

Narzędzia ceramiczne wytworzone z udziałem węgla tytanu, podobnie jak ceramika szara, charakteryzują się dużą przewodnością cieplną i małą rozszerzalnością, dzięki czemu można zwiększyć wydajność obróbki skrawaniem poprzez użycie cieczy chłodzących.

---

\* Autorzy uczestniczą w realizacji projektu CEEPUS No PL-013/02-03 kierowanego przez Prof. L.A. Dobrzańskiego

Narzędzia wykonane ze spieków ceramiki czarnej znajdują głównie w obróbce skrawaniem i frezowaniem materiałów wysokostopowych, lanych i utwardzonych. Tlenkowa ceramika mieszana charakteryzuje się jednak dużą kruchością a węgiel tytanu w temperaturach powyżej 1070K ma skłonność do utleniania, a więc ogranicza w ten sposób stosowanie ceramiki mieszanej w przypadku wysokich prędkości skrawania. Prowadzone są obecnie badania nad możliwością wyeliminowania tych wad głównie poprzez pokrywanie ostrzy twardymi i odpornymi na zużycie warstwami w procesach PVD [2-4].

## 2. PRZEBIEG BADAŃ

Badania wykonano na płytkach wielostrzowych wykonanych z tlenkowej ceramiki mieszanej  $Al_2O_3+TiC$  pokrytych jedno i wielowarstwowymi, wieloskładnikowymi powłokami, typu TiN, TiAlN, TiN+TiAlSiN+TiN oraz TiN+TiAlSiN+AlSiTiN, uzyskanymi w procesie katodowego odparowania łukowego. Charakterystykę badanych płytek przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1

Charakterystyka badanej ceramiki tlenkowej  $Al_2O_3+TiC$  pokrytej w procesie PVD

Rodzaj podłoża	Powłoka	Grubość powłoki [ $\mu m$ ]
ceramika tlenkowa $Al_2O_3+TiC$	TiN	2,55
	TiAlN	2,8
	TiN+TiAlSiN+TiN	2,7
	TiN+TiAlSiN+AlSiTiN	2,0

Badań morfologii powierzchni, struktury oraz składu chemicznego wytworzonych powłok dokonano w elektronowym mikroskopie skaningowym DSM 940 firmy OPTON o napięciu przyspieszającym 15 kV, wyposażonym w spektrometr energii rozproszonego promieniowania rentgenowskiego EDS.

Badania przyczepności powłok na badanych płytkach wielostrzowych dokonano metodą zarysowania (scratch test) na urządzeniu REVETEST firmy CSEM. Badania wykonano przy zakresie siły nacisku 0-100 N, szybkości wzrastającej siły nacisku 100 N/min., prędkości przesuwu penetratora 10 mm/min.

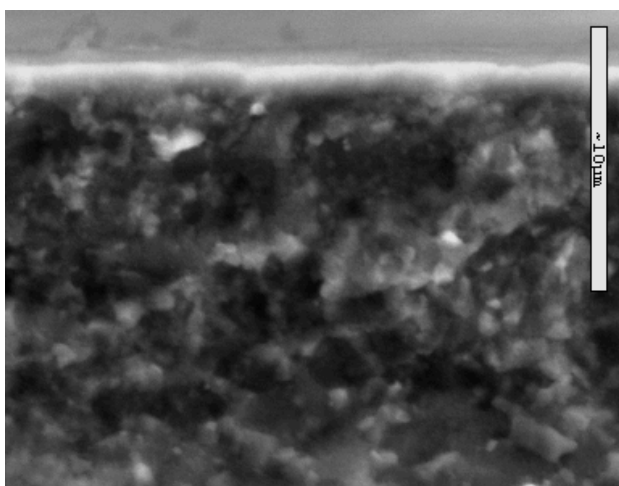
Grubość powłok określono na podstawie pomiarów zagłębienia utworzonego w trakcie „kalotestu” a parametr chropowatości  $R_a$  powierzchni bez powłok oraz pokrytych powłokami określono na profilometrze Surftec 3+ firmy RankTaylor Hobson przy długości pomiarowej  $l = 0,25$  mm i dokładności pomiaru 0,01  $\mu m$ .

Własności skrawne badanych materiałów oceniono na podstawie testu ciągłego skrawania żeliwa szarego o twardości 550 HV przy prędkości skrawania  $v_c=50$  m/min, głębokości skrawania  $a=2$  mm i posuwie  $f=0,2$  mm/obrót. Badania topografii zużytej powierzchni narzędzia przeprowadzono na mikroskopie konfokalnym LSM 5 Pascal firmy ZEISS z komputerową stacją roboczą wyposażoną w oprogramowanie LSM Image VisArt.

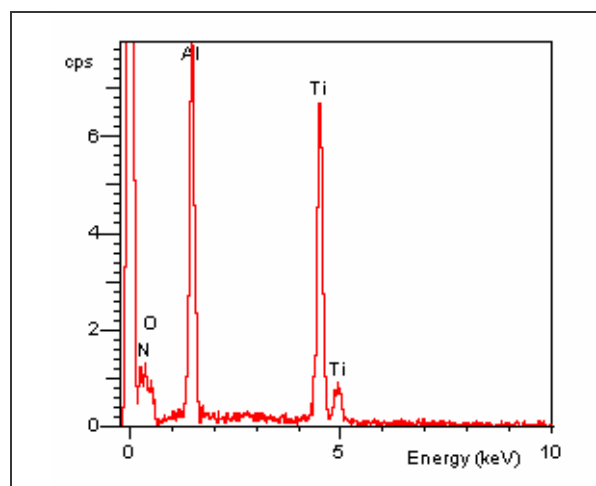
## 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W wyniku obserwacji przelomów wykonanej w elektronowym mikroskopie skaningowym stwierdzono, że powłoki TiN, TiAlN, TiN+TiAlSiN+TiN oraz TiN+TiAlSiN+AlSiTiN

naniesiono równomiernie na podłoże z tlenkowej ceramiki mieszanej  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ . Powłoki te charakteryzują się zwartą budową bez widocznych pęknięć oraz szczelnym przyleganiem do podłoża. (rys. 1). Badania składu chemicznego powłoki przy pomocy spektrometru EDS potwierdzają obecność tytanu oraz azotu w powłoce TiN, tytanu, azotu i aluminium w powłoce TiAlN oraz tytanu, azotu, aluminium i krzemu w badanych powłokach TiN+TiAlSiN+TiN i TiN+TiAlSiN+AlSiTiN (rys.2).



Rys. 1. Powierzchnia przełomu powłoki TiAlN naniesionej na podłoże z tlenkowej ceramiki mieszanej  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ .



Rys. 2. Energodispersyjne widmo rentgenowskie z mikroobszaru powierzchni powłoki TiAlN

Na podstawie badań przyczepności powłok do podłoża wykonanych metodą zarysowania „scratch test”, stwierdzono, że obciążenie krytyczne  $L_c$  dla badanych powłok naniesionych na podłoże z ceramiki tlenkowej  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$  metodą PVD wynosi od 25N w przypadku powłoki TiN+TiAlSiN+TiN do ponad 100N w przypadku powłoki TiAlN, gdzie w zakresie siły nacisku 0-100 N nie stwierdzono zniszczenia powłoki (tablica 2).

Chropowatość badanych powłok wzrasta w porównaniu do materiału podłoża i zawiera się w przedziale od 0,21 do 0,37  $\mu\text{m}$ . Wyjątkiem jest powłoka TiAlN, której naniesienie na ceramikę tlenkową  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$  nie powoduje wzrostu chropowatości powierzchni (tablica 2).

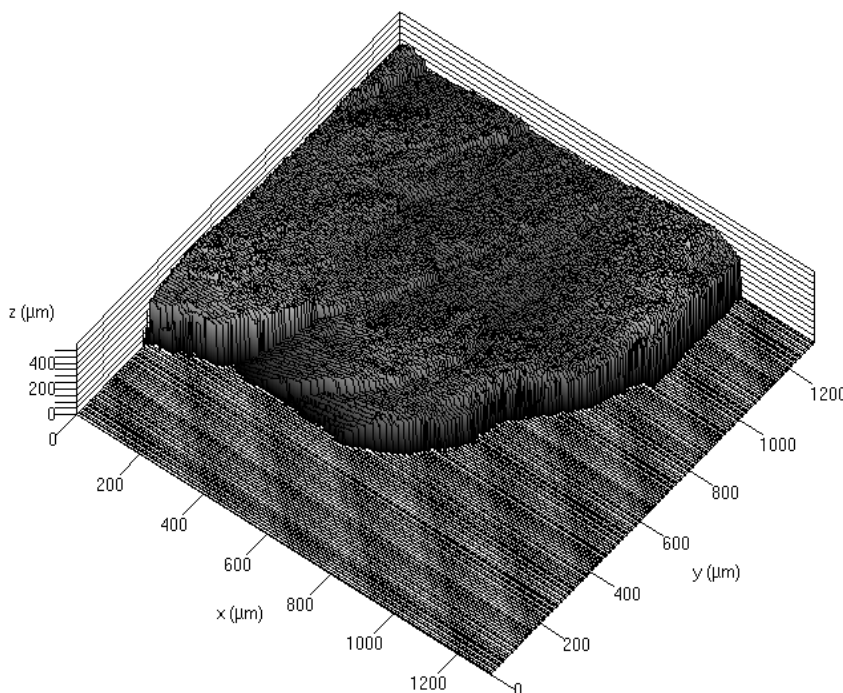
Tablica 2

Własności mechaniczne powłok naniesionych na podłoże z ceramiki tlenkowej  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$

Rodzaj podłoża	Powłoka	Chropowatość $R_a$ , $\mu\text{m}$	Obciążenie krytyczne $L_c$ , N
ceramika tlenkowa $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	-	0,07	-
	TiN	0,21	76
	TiAlN	0,07	>100
	TiN+TiAlSiN+TiN	0,37	25
	TiN+TiAlSiN+AlSiTiN	0,24	77

W wyniku wykonanych badań własności skrawnych stwierdzono znaczny wzrost trwałości ostrza w przypadku zastosowania powłok PVD. Narzędzie niepokryte poddane testom ciągłego skrawania ulega każdorazowo zniszczeniu między 10-tą a 13-tą minutą pracy poprzez płátowe wykruszenie ostrza (rys. 3), natomiast zastosowanie powłok PVD pozwala

uzyskać wzrost trwałości ostrza do ponad 25 min ciągłego skrawania żeliwa szarego o twardości 550 HV przy prędkości skrawania  $v_c=50$  m/min, głębokości skrawania  $a=2$  mm i posuwie  $f=0,2$  mm/obrót.



#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań metalograficznych, stwierdzono, że powłoki równomiernie nałożono i że ściśle przylegają do podłoża. Wyniki analizy składu chemicznego – EDS potwierdzają obecność zarówno tytanu, aluminium, krzemu jak i azotu w odpowiednich badanych powłokach. Naniesione powłoki charakteryzują się dobrą przyczepnością do podłoża a wartość obciążenia

krytycznego  $L_c$  w przypadku powłoki TiAlN przekracza 100 N. Stwierdzono, że naniesienie powłoki TiAlN na podłożę z ceramiki tlenkowej  $Al_2O_3+TiC$  nie powoduje wzrostu chropowatości powierzchni płytki. Na podstawie przeprowadzonych prób ciągłego skrawania stwierdzono znaczne wydłużenie trwałości narzędzi z naniesionymi powłokami w procesie PVD w porównaniu z ulegającymi kruchemu pękaniu próbkami z ceramiki niepokrytej.

#### PODZIĘKOWANIE

Część badań wykonano w ramach projektu COAT-CUT realizowanego w ramach bilateralnej, polsko-słoweńskiej umowy o współpracę współkierowanego przez prof. L.A. Dobrzańskiego i prof. J. Kopača.

#### BIBLIOGRAFIA

1. L.A. Dobrzański: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Warszawa, 2002.
2. M. Wysiecki, Nowoczesne materiały narzędziowe, WNT, Warszawa, 1997.
3. Noyes/William A. Publishing Ceramic Cutting Tools, Edited by Whitney, E.D., 1994.
4. Mikuła J., Dobrzański L.A.: „Własności materiałów ceramicznych na bazie  $Al_2O_3$  z naniesionymi cienkimi powłokami w procesach PVD”, XXXI Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków-Krynica 2003, s.515-518.