



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

### Poprawa odporności na zużycie ścierne stali narzędziowej typu X37CrMoV5-1 poprzez nałożenie powłok PVD\*

L.A. Dobrzański, M. Polok, M. Adamiak

Zakład Technologii Procesów Materiałowych i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie,  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland

W pracy przedstawiono wyniki badań trybologicznych przeciwzużyciowych powłok PVD: TiN i CrN wytworzonych w procesie platerowania jonowego oraz TiN/(Ti,Al)N wytworzonej w procesie reaktywnego rozpylania wiązką elektronów, naniesionych na podłoże ze stali narzędziowej do pracy na gorąco typu X37CrMoV5-1.

#### 1. WPROWADZENIE

Oddziaływanie obciążeń mechanicznych, zużycie ścierne oraz utlenianie powierzchni narzędzia w warunkach wysokiej temperatury pracy typowych dla narzędzi używanych w procesach obróbki plastycznej na gorąco, odlewania metali, wyciskania i kucia na gorąco może być ograniczone przez zastosowanie powłok nanoszonych w procesach PVD, a obserwowane zwiększenie trwałości narzędzi wynosi 50-100%. Powłoki nakładane metodą PVD znalazły zastosowanie przede wszystkim jako powłoki polepszające odporność na zużycie narzędzi i elementów maszyn. Funkcjonowanie powłok jest uzależnione od prawidłowego ukształtowania ich własności wynikającego z warunków pracy elementu [1-4].

Za zastosowaniem technologii uszlachetniania warstwy wierzchniej zapewniających wymagane własności użytkowe i niezawodność przy równoczesnym użyciu materiału na rdzeń elementu, od którego wymaga się z reguły mniejszych własności użytkowych przemawiają również względy ekonomiczne [5,6].

Celem niniejszej pracy jest zbadanie własności trybologicznych przeciwzużyciowych powłok PVD: monowarstwowych TiN, i CrN oraz multiwarstwowej TiN/(Ti,Al)N przeznaczonych do pracy w podwyższonej temperaturze, naniesionych na podłoże ze stali narzędziowej do pracy na gorąco.

#### 2. PRZEBIEG BADAŃ

Badania zrealizowano na próbkach ze stali narzędziowej stopowej przeznaczonej do pracy na gorąco typu X37CrMoV5-1. Okrągłe próbki o średnicy 55mm i wysokości 5mm, obrobiono

---

\* Autorzy uczestniczą w realizacji projektu CEEPUS No PL-013/03-04 kierowanego przez Prof. L.A. Dobrzańskiego.

cieplnie (hartowanie 1020°C, odpuszczanie 550°C), uzyskując twardość około 55 HRC. Przed nałożeniem powłok próbki poddano szlifowaniu i polerowaniu w celu odpowiedniego przygotowania powierzchni. Na tak przygotowane próbki naniesiono powłoki PVD: monowarstwowe TiN i CrN, wytworzone w procesie platerowania jonowego w urządzeniu BALZERS BAI 730 M, w temperaturze 450°C, oraz powłokę multiwarstwową TiN/(Ti,Al)N wytworzoną w procesie reaktywnego rozpylania wiązką elektronów w urządzeniu SPUTRON (BALZERS), w temperaturze nie przekraczającej 200°C. Grubość badanych powłok PVD przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1.

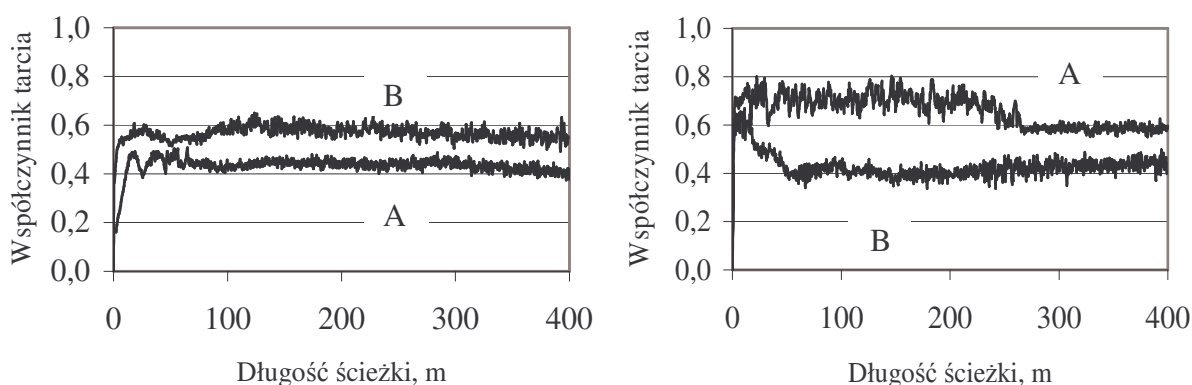
Grubość badanych powłok PVD

Rodzaj powłoki	Grubość [ $\mu\text{m}$ ]	Liczba warstw
CrN	7,7	1
TiN	3,16	1
TiN/(Ti,Al)N	3,24	6

Badanie odporności na zużycie ściernie metodą pin-on-disk zrealizowano na urządzeniu CSEM THT (High Temperature Tribometer) w temperaturze pokojowej oraz w temperaturze 500°C. Jako przeciwpróbkę użyto kulkę korundową  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o średnicy 6 mm. W trakcie testu pin-on-disk przeprowadzonego w temperaturze pokojowej dla badanych powłok TiN, CrN, TiN/(Ti,Al)N oraz dla materiału podłoża, nieruchoma kulka dociskana jest do obracającej się w płaszczyźnie poziomej tarczy z siłą 7,0 N. Prędkość obrotu tarczy z próbką wynosi 80 cm/s, promień tarcia wynosi 15 mm, a liczba obrotów wykonanych przez próbkę wynosi 7500. Przeprowadzając test w temperaturze 500°C, zmieniono promień tarcia z 15 mm na 18 mm, pozostałe parametry wykonania próby zachowano jak w przypadku testu w temperaturze pokojowej. W trakcie badania zmierzono współczynnik tarcia pomiędzy kulką a tarczą. Obserwacje śladów wytarcia powstałych w wyniku testu pin-on-disk w temperaturze pokojowej i podwyższonej wykonano w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) DSM 940 firmy Opton. Profile śladów zużycia próbek z naniesionymi powłokami monowarstwowymi: TiN, CrN oraz multiwarstwowymi: TiN/(Ti,Al)N, a także dla materiału podłoża ze stali narzędziowej stopowej do pracy na gorąco typu X37CrMoV5-1, wykonano na profilometrze laserowym Taylor – Hobson Form Talysurf 120L w czterech prostopadłych kierunkach, (co 90°).

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W celu określenia odporności na zużycie ściernie badane powłoki oraz materiał podłoża poddano testowi trybologicznemu pin-on-disc, który zrealizowano w temperaturze pokojowej jak i podwyższonej do 500°C. W trakcie badania zarejestrowano przebieg zmian współczynnika tarcia pomiędzy kulką korundową a badaną próbką, zarówno dla temperatury pokojowej jak i temperatury otoczenia (rys.1). Analiza zmian współczynnika tarcia badanych próbek pozwala stwierdzić, że w przyjętych warunkach eksperymentu współczynnik tarcia dla próbki ze stali narzędziowej obrobionej cieplnie badanej w temperaturze pokojowej wynosi około 0,4.



Rys.1. Przebieg zmian współczynnika tarcia w zależności od długości ścieżki dla powłok: a) TiN: A - 20°C, B - 500°C, b) CrN: A - 20°C, B - 500°C

W przypadku próbek pokrytych w procesie PVD współczynnik tarcia zmienia się w zakresie od około 0,45 (TiN) do około 0,7 dla powłoki TiN/(Ti,Al)N i CrN, w przypadku badań zrealizowanych w temperaturze pokojowej. Wyniki badań zrealizowanych w temperaturze 500°C wskazują, że współczynnik tarcia dla próbek pokrytych wynosi 0,55 dla TiN, 0,6 dla CrN i 0,7 dla powłoki TiN/(Ti,Al)N. Spośród badanych powłok jedynie powłoka TiN nie zmienia wartości współczynnika tarcia w czasie trwania całego testu. Powłoka TiN/(Ti,Al)N i CrN po okresie początkowym zmieniają wartość współczynnika tarcia, co należy wiązać z mechanizmem ich częściowego lub całkowitego uszkodzenia uzyskując wartości zbliżone dla stali nie pokrytej w przypadku powłoki CrN lub wyższe w przypadku częściowego uszkodzenia - powłoka TiN/(Ti,Al)N.

Ilościowej oceny procesu zużycia powierzchni badanych próbek w wyniku tarcia dokonano na podstawie pomiarów profili śladu wytarcia powłok TiN, CrN i TiN/(Ti,Al)N naniesionych na podłoże ze stali stopowej narzędziowej przeznaczonej do pracy na gorąco typu X37CrMoV5-1 oraz materiału podłoża w czterech prostopadłych kierunkach, co 90°. Zmierzone profile zestawiono i wyznaczono średni profil wytartej ścieżki dla każdej z badanych powłok oraz dla materiału podłoża. Dla tak ustalonego średniego profilu zmierzono pole powierzchni materiału usuniętego w wyniku tarcia (pole pomiędzy konturem profilu a linią zerową – powierzchnią próbki). Przy znanej długości ścieżki obliczono średnią objętość materiału usuniętego w wyniku tarcia korundowej kulki o powierzchnię próbki.

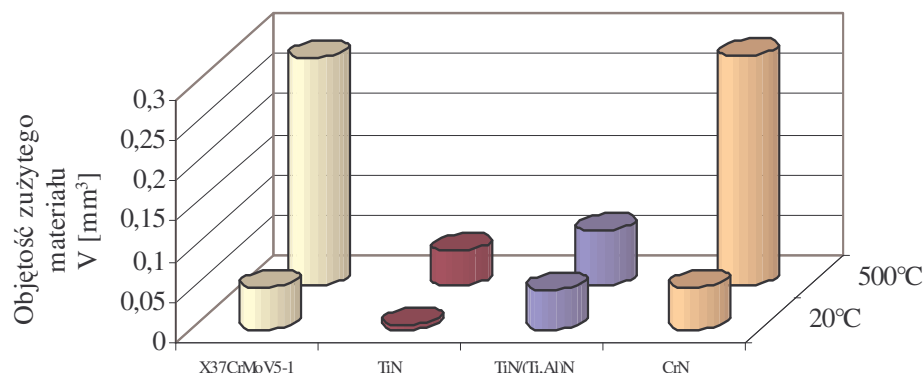
Średnią objętość materiału usuniętego w trakcie zużycia trybologicznego obliczono z wzoru:

$$V = P \times S \text{ [mm}^3\text{]} \quad (1)$$

gdzie: V – średnia objętość zużytego materiału w wyniku tarcia, P – średnie pole powierzchni materiału usuniętego [mm<sup>2</sup>], S – długość ścieżki 2Πr [mm]

Pomiary i wyznaczenie wartości średniej profili a następnie objętości materiału usuniętego zrealizowano zarówno dla próbek badanych w temperaturze pokojowej jak i podwyższonej, a wyniki tych pomiarów zestawiono na rysunku 2. Na podstawie zestawionych wyników pomiaru zużycia badanych próbek można stwierdzić, że w trakcie badania zrealizowanego w temperaturze pokojowej największą odpornością na zużycie ścierne charakteryzuje się powłoka TiN, podczas gdy zarówno powłoka CrN jak i TiN/(Ti,Al)N ulegają zużyciu porównywalnemu do zużycia stali narzędziowej X37CrMoV5-1. Zmiana temperatury badania

na 500°C w każdym przypadku powoduje około pięciokrotny wzrost intensywności zużycia. Jednak w dalszym ciągu powłoka monowarstwowa TiN wykazuje największą odporność na zużycie. Wzrasta odporność powłoki TiN/(Ti, Al)N, a powłoka CrN ulega zużyciu podobnemu do materiału bez powłoki.



Rys.2. Porównanie objętości materiału usuniętego w wyniku zużycia trybologicznego w temperaturze 20°C i 500°C

#### 4. WNIOSKI

Pomiar współczynnika tarcia w trakcie testu pin-on-disc pozwala zauważyć, że najniższym współczynnikiem tarcia zarówno w temperaturze pokojowej jak i podwyższonej charakteryzuje się powłoka TiN, pozostałe z badanych powłok mają współczynniki tarcia wyższe od materiału podłoża. Dodatkowo można stwierdzić, że wraz z przebiegiem procesu uszkodzenia powłok zmienia się wartość współczynnika tarcia, a po całkowitym ich usunięciu osiągnięto wartości typowe dla materiału podłoża.

W temperaturze pokojowej największą odpornością na zużycie ściernie charakteryzuje się powłoka TiN, podczas gdy zarówno powłoka CrN jak i TiN/(Ti,Al)N ulegają zużyciu porównywalnemu do zużycia stali narzędziowej X37CrMoV5-1. Zmiana temperatury badania na 500°C w każdym przypadku powoduje około pięciokrotny wzrost intensywności zużycia.

#### LITERATURA

1. Navinšek B., Panjan P., Uranian I., Cvahte P., Gorenjak F.: Surface and Coatings Technology 142-144 (2001) 1148-1154.
2. Batista J.C.A., Godoy C., Buono V.T.L., Matthews A.: Materials Science and Engineering A 336 (2002) 39-51.
3. Li T.S., Li H., Pan F.: Surface and Coatings Technology 137 (2001) 225-229.
4. Szudrowicz M., Betiuk M., Janowski S.: Inżynieria materiałowa 5 (1999) 467-469.
5. Čekada M., Panjan P., Maček M., Amid P.: Surface and Coatings Technology 151-152 (2002) 31-35.
6. Batista J.C.A., Joseph M.C., Godoy C., Matthews A.: Wear 249 (2002) 971-979.