



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

Conference
Proceedings

11th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Struktura i własności przeciwzużyciowych powłok przeznaczonych do pracy w podwyższonej temperaturze, naniesionych na podłoże ze stali narzędziowej do pracy na gorąco*

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 struktury i własności przeciwzużyciowych powłok PVD TiN, TiN/(Ti,Al)N oraz CrN, naniesionych w procesie platerowania jonowego na podłoże ze stali narzędziowej do pracy na gorąco typu X37CrMoV5-1.

1. WPROWADZENIE

Nowoczesne technologie kształtowania materiałów stosowane w obszarach obróbki skrawaniem, obróbki plastycznej, odlewnictwa jak również kształtowania materiałów polimerowych, wymagają stosowania coraz to bardziej wydajnych materiałów narzędziowych. Wymagania te głównie dotyczą poprawy trwałości oraz niezawodności narzędzi stosowanych w procesach obróbczych. Pomimo obserwowanego w ciągu ostatnich dziesięcioleci intensywnego rozwoju i upowszechniania materiałów ceramicznych, ceramiczno węglkowych oraz supertwardych materiałów narzędziowych w grupie materiałów do pracy na gorąco, przeznaczonych do zastosowania w procesach obróbki plastycznej oraz wybranych procesach odlewniczych, stale narzędziowe stopowe przeznaczone do pracy na gorąco są ciągle materiałem powszechnie stosowanym, a poprzednio wymienione materiały nie stanowią dla nich konkurencji. Oddziaływanie obciążeń mechanicznych, zużycie ściernie oraz utlenianie powierzchni narzędzia w warunkach wysokiej temperatury pracy może być ograniczone poprzez zastosowanie powłok nanoszonych w procesach PVD [1, 2, 3].

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

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

2. PRZEBIEG BADAŃ

Badania zrealizowano na próbkach ze stali narzędziowej stopowej przeznaczonej do pracy na gorąco typu X37CrMoV5-1. Skład chemiczny stali przedstawiono w tabelicy 1. Okrągłe próbki o średnicy 55 mm i wysokości 5 mm, obrobiono cieplnie (hartowanie 1020°C, odpuszczanie 550°C), uzyskując twardość około 55 HRC. Przed nałożeniem powłok próbki poddano procesowi szlifowania i polerowania w celu odpowiedniego przygotowania powierzchni. Na tak przygotowane próbki naniesiono powłoki PVD: TiN - monowarstwową, TiN/(Ti,Al)N - multiwarstwową oraz CrN - monowarstwową, wytworzone w procesie platerowania jonowego odpowiednio w urządzeniu BALZERS BAI 640 oraz BALZERS BAI 730 M w temperaturze nie przekraczającej 200°C.

Tablica 1
Skład chemiczny stali do pracy na gorąco

Typ stali	Stężenie masowe pierwiastka, [%]					
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
X37CrMoV5-1	0,38	0,35	1,0	5,0	1,35	0,4

Chropowatość powierzchni podłoża oraz wytworzonych powłok określono na profilometrze Talysurf 2 firmy Taylor-Hobson. Za wielkość opisującą chropowatość powierzchni przyjęto parametr Ra.

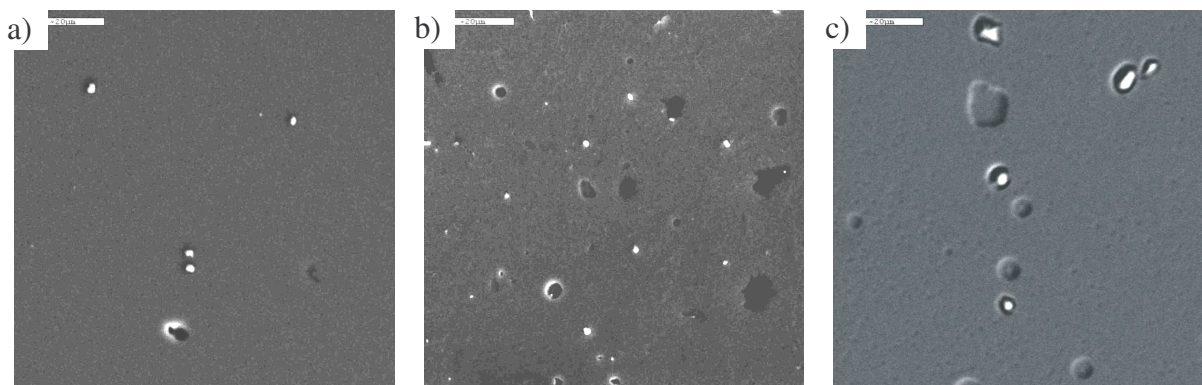
Mikrotwardość badanych powłok określono na ultramikrotwardościomierzu DUH 202 firmy SCHIMADZU, pomiarów dokonano przy obciążeniu 100 mN.

Obserwacje powierzchni wytworzonych powłok oraz uszkodzeń powstałych w wyniku realizacji scratch testu wykonano w mikroskopie skaningowym elektronowym (SEM) DSM 940 firmy Opton.

W celu określenia przyczepności powłok do materiału podłoża wykorzystano standardowo stosowany test na zarysowanie (scratch test). Oceny dokonano na urządzeniu REVETEST firmy CSEM. Obciążenie krytyczne L_c , przy którym następuje utrata przyczepności powłok do podłoża określono na podstawie poziomu emisji akustycznej AE i obserwacji mikroskopowych, przyjmując następujące wartości obciążeń krytycznych: L_{c3} - początkowe łuszczenie powłoki, L_{c4} - częściowa delaminacja powłoki, L_{c5} - całkowita delaminacja powłoki, $L_c(F_t)$ - nagły wzrost siły tarcia.

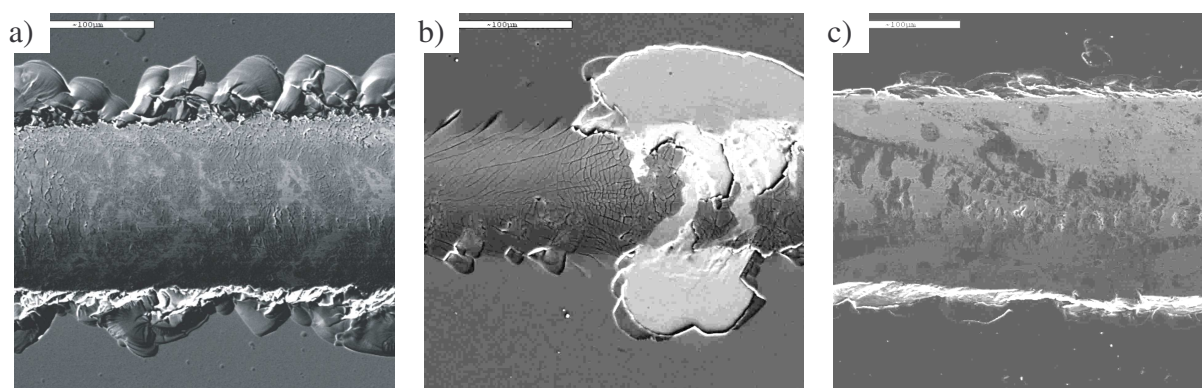
3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Obserwacje topografii powierzchni badanych powłok przy użyciu mikroskopu elektronowego skaningowego, wykazują ich niejednorodność, która wiąże się z występowaniem licznych mikrocząstek w kształcie kropel oraz dziur po ich wypadnięciu. Występowanie tych defektów w największym stopniu zaobserwowano na powierzchni powłok TiN i CrN, a w najmniejszym w przypadku powłoki multiwarstwowej TiN/(Ti,Al)N. Ograniczony udział defektów w przypadku powłoki multiwarstwowej TiN/(Ti,Al)N wynika najprawdopodobniej z przebiegu procesu jej nakładania. Okresowo zmienne rozpylanie źródeł par Ti i Al, ich przełączanie w trakcie procesu nanoszenia każdej podwarstwy tej powłoki nie stwarza warunków do rozbudowy mikrocząstek naniesionych w początkowej części procesu, a także maskuje dziury powstałe po wypadających cząstkach (rys.1).



Rys. 1. Topografia powierzchni badanych powłok a) TiN/(Ti,Al)N, b) TiN, c) CrN

W trakcie badania powłok metodą zarysowań przy wzrastającym obciążeniu wyznaczono wartości obciążeń krytycznych L_c charakteryzujących przyczepność badanych powłok do podłoża ze stali narzędziowej do pracy na gorąco. Wartości krytycznych obciążeń dla poszczególnych powłok przedstawiono w tablicy 2. Bardzo dobrą przyczepnością do podłoża charakteryzują się powłoki CrN następnie TiN, a najmniej korzystnie wypadły powłoki wielowarstwowe TiN/(Ti,Al)N (rys.2).



Rys. 2. Ślady wgłębnika przy obciążeniu krytycznym: a) L_{c3} - początkowe łuszczenie na krawędzi, powłoka CrN, b) L_{c4} - częściowa delaminacja, powłoka TiN/(Ti,Al)N, c) L_{c5} - całkowita delaminacja, powłoka TiN

Mechanizm uszkodzeń powłok we wszystkich przypadkach rozpoczyna się od licznie sytuowanych obustronnych wykruszeń powłoki na krawędzi tworzonej rysy. Różnica polega na umiejscowieniu tych wykruszeń, w przypadku powłoki TiN/(Ti,Al)N rozpoczyna się to już przy wartości obciążenia około 13 N. Następnie na dnie rysy tworzą się pęknięcia i rozciągnięcia powłoki, a proces wykruszania na krawędzi pogłębia się, w końcu następuje całkowita delaminacja powłoki na dnie rysy. Analiza wyników pozwala stwierdzić, że jakkolwiek istnieją duże różnice co do wartości sił krytycznych w zależności od przyjętego kryterium oceny, to jednak ogólna tendencja zostaje zachowana. Najgorszą przyczepnością charakteryzują się powłoki TiN/(Ti,Al)N, a najlepszą CrN. Zastosowanie analizatora EDS w mikroskopie skaningowym pozwoliło dodatkowo stwierdzić, że w przypadku powłok TiN/(Ti,Al)N doszło do rozwarstwienia powłok od wstępnie nałożonej podwarstwy tytanowej.

Tablica 2
Wartości krytycznych obciążeń dla badanych powłok

Typ powłoki	Rodzaj uszkodzenia/siła [N]				
	L_c (AE)	L_{c3}	L_{c4}	L_{c5}	L_c (F_t)
CrN	37	32	77	87	91
TiN	25,5	19,4	39	82	80,1
TiN/(Ti,Al)N	10,75	12,8	32,5	69	68,6

Pomiary chropowatości badanych powłok pozwalają stwierdzić, że chropowatość wyznaczona przez parametr R_a zawiera się w przedziale 0,009-0,026 μm . Wyniki tych pomiarów korespondują z obserwacjami w SEM skaningowym mikroskopie elektronowym. Mikrotwardość badanych powłok wyznaczono przy obciążeniu 100 mN co zapewnia ograniczoną głębokość wnikania penetratora w celu wyeliminowania oddziaływań podłoża. Zmierzona twardość mieści się w zakresie 2200 – 2900 $\text{HV}_{0,01}$. Wyniki badań mikrotwardości i chropowatości powłok zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3
Zestawienie wyników badań mikrotwardości i chropowatości badanych powłok

Typ powłoki	Chropowatość, R_a [μm]	Twardość $\text{HV}_{0,01}$
CrN	0,026	2450
TiN	0,018	2900
TiN/(Ti,Al)N	0,009	2200

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wytworzone w procesie platerowania jonowego powłoki monowarstwowe CrN i TiN oraz wielowarstwowa TiN/(Ti,Al)N charakteryzują się dużą niejednorodnością topografii powierzchni, a wyniki tych obserwacji korespondują z wynikami pomiarów chropowatości. Najmniej defektów ujawniono w przypadku powłoki multiwarstwowej TiN/(Ti,Al)N. Przyczepność powłok do podłoża ze stali narzędziowej do pracy na gorąco, w zależności od przyjętego kryterium oceny zmienia się istotnie, jakkolwiek ogólna tendencja zostaje zachowana. Najlepszą przyczepnością charakteryzuje się powłoka CrN, a najgorszą TiN/(Ti,Al)N. Mikrotwardość powłok zmienia się w zakresie od 2200 $\text{HV}_{0,01}$ w przypadku powłok TiN/(Ti,Al)N do 2900 $\text{HV}_{0,01}$ w przypadku powłok TiN.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański and M. Adamiak: Journal of Materials Processing Technology, in print.
2. B. Navinšek, P. Panjan and F. Gorenjak: Surface and Coatings Technology 137 (2001) 255-264.
3. B. Navinšek, P. Panjan, I. Urankar, P. Cvahte, F. Gorenjak: Surface and Coatings Technology 142-147 (2001) 1148-1154.