



## ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

### Modelowanie wpływu parametrów technologicznych na własności mechaniczne powłok PVD\*

L.A. Dobrzański, A. Polok, M. Sroka, W. Kwaśny

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 symulacji komputerowej wpływu temperatury pieca próżniowego i odległości próbek od tarczy magnetronowej na twardość powłok PVD. Do badań symulacyjnych zastosowano model matematyczny opracowany przy wykorzystaniu metody regresji wielokrotnej.

#### 1. WPROWADZENIE

Szybki rozwój współczesnej nauki i techniki stawia stale rosnące wymagania wykorzystywanym materiałom. Zastosowanie nowych materiałów wiąże się bezpośrednio z ich własnościami, a bardzo często z własnościami ich warstw powierzchniowych. Jedną z ważniejszych i najczęściej stosowanych metod kształtowania własności warstwy powierzchniowej jest nakładanie powłok w procesie PVD. Zmiany stężenia pierwiastków międzywęzłowych w powłokach PVD, zależnie od temperatury procesu, rozpylania magnetronowego oraz umiejscowienia próbek względem tarczy magnetronu, umożliwiają regulowanie struktury powłok, ich twardości i przyczepności do podłoża, a w wyniku tego własności eksploatacyjne [1].

Celem pracy jest opracowanie zależności opisującej wpływ składu atmosfery roboczej, temperatury procesu oraz odległości próbek od tarczy magnetronu na twardość powłok  $Ti+Ti(C_xN_{1-x})$ . W pracy przedstawiono wybrane przykłady uzyskanych wyników.

#### 2. PRZEBIEG BADAŃ

Badania wykonano na próbkach ze spiekanej stali szybko tnącej typu ASP 30 zawierającej 1,28% C, 4,2% Cr, 5,0% Mo, 6,4% W, 3,1% V i 8,5% Co. Próbki obrobiono cieplnie zgodnie z pracą [2]. Następnie próbki wprowadzono do jednokomorowego pieca próżniowego z wbudowanym magnetronem do rozpylania jonowego. Próbki wprowadzone do pieca próżniowego rozmieszczano w trzech odległościach od tarczy magnetronu, wynoszących

---

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

odpowiednio: 70, 95 i 125 mm. Proces nanoszenia warstwy powierzchniowej realizowany był w trzech temperaturach, wynoszących odpowiednio: 440, 500 i 560 °C i przy różnych stężeniach N<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> w komorze pieca.

Dla celów analizy komputerowej wykorzystano wyniki badań własności mechanicznych dwuwarstwowych powłokach Ti+Ti(C<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>), które zestawiono w tablicach 1-3. Na podstawie otrzymanych wyników, wyznaczono model matematyczny, do powstania którego wykorzystano metodę regresji wielokrotnej.

$$HV = a_0 + a_1 \cdot \%N_2 + a_2 \cdot \%CH_4 + a_3 \cdot T + a_4 \cdot S + a_5 \cdot T \cdot S + a_6 \cdot \%N_2 \cdot \%CH_4 \cdot T + a_7 \cdot T^2 + a_8 \cdot S^2 + a_9 \cdot ((\%N_2 \cdot S)^2) \cdot T + a_{10} \cdot \%N_2 \cdot T \cdot S + a_{11} \cdot \%N_2 \cdot \%CH_4 \cdot T \cdot S + a_{12} \cdot \%N_2 \cdot T + a_{13} \cdot \%CH_4 \cdot T + a_{14} \cdot \%N_2 \cdot T + a_{15} \cdot \%CH_4 \cdot S + a_{16} \cdot \%N_2 \cdot S + a_{17} \cdot (\%CH_4 \cdot S)^2 \quad (1)$$

gdzie:

- H – twardość powłoki,
- %X – stężenie masowe odpowiedniego pierwiastka,
- T – temperatura procesu,
- S – odległość próbek od tarczy magnetronu,
- a<sub>i</sub> – stałe współczynniki wyznaczone doświadczalnie.

Tablica 1.

Zestawienie wyników pomiaru twardości w zależności od składu atmosfery roboczej, temperatury procesu i odległości próbek od tarczy magnetronu.

Skład atmosfery [%]		Temperatura procesu [°C]	Odległość próbki od tarczy [mm]	Twardość [HV <sub>0,05</sub> ]
N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>			
25	75	440	125	2900
			95	2950
			70	2840
		500	125	3240
			95	2950
			70	2850
		560	125	3180
			95	3210
			70	3040

Tablica 2.

Zestawienie wyników pomiaru twardości w zależności od składu atmosfery roboczej, temperatury procesu i odległości próbek od tarczy magnetronu.

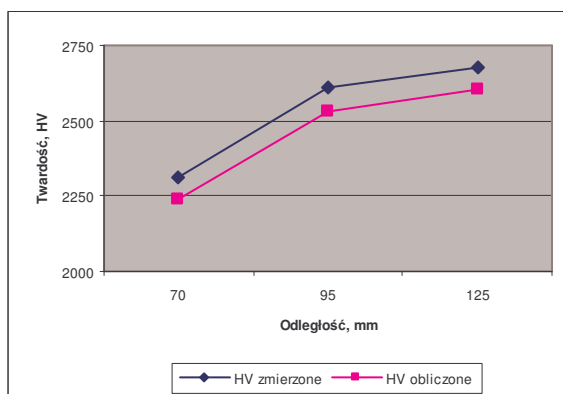
Skład atmosfery [%]		Temperatura procesu [°C]	Odległość próbki od tarczy [mm]	Twardość [HV <sub>0,05</sub> ]
N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>			
50	50	440	125	3801
			95	3290
			70	3200
		500	125	2900
			95	2490
			70	2220
		560	125	2680
			95	2610
			70	2310

Tablica 3.

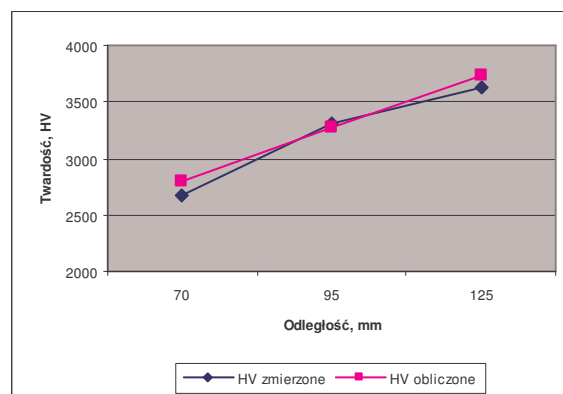
Zestawienie wyników pomiaru twardości w zależności od składu atmosfery roboczej, temperatury procesu i odległości próbek od tarczy magnetronu.

Skład atmosfery [%]		Temperatura procesu [°C]	Odległość próbki od tarczy [mm]	Twardość [HV <sub>0,05</sub> ]
N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>			
75	25	440	125	3620
			95	3310
			70	2680
		500	125	3490
			95	3020
			70	2530
		560	125	3110
			95	2840
			70	2910

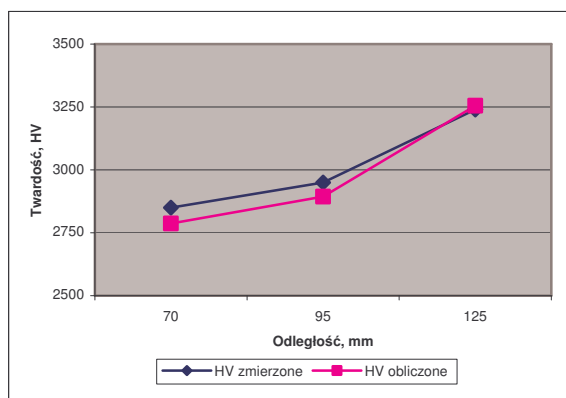
Dla sprawdzenia poprawności uzyskanych wyników i wyznaczonego równania (1), model matematyczny, został poddany weryfikacji. Proces weryfikacji polegał na wprowadzeniu kolejnych parametrów technologicznych, na podstawie których wyliczono mikrotwardość analizowanych powłok. Wyliczona twardość została porównana (rys.1-3) z wynikami badań eksperymentalnych opisanych w pracy[2]. Weryfikacja modelu matematycznego wykazała, że możliwe jest uzyskanie dokładności pomiarowej do 100HV.



Rys.1 Porównanie wyników symulacji komputerowej z wynikami badań eksperymentalnych powłok Ti+Ti(C<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>), uzyskanych w 560 °C przy atmosferze zawierającej 50% N<sub>2</sub> i 50% CH<sub>4</sub>



Rys.2 Porównanie wyników symulacji komputerowej z wynikami badań eksperymentalnych powłok Ti+Ti(C<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>), uzyskanych w 440 °C przy atmosferze zawierającej 75% N<sub>2</sub> i 25% CH<sub>4</sub>



Rys.3 Porównanie wyników symulacji komputerowej z wynikami badań eksperymentalnych powłok  $Ti+Ti(C_xN_{1-x})$ , uzyskanych w  $500\text{ }^\circ\text{C}$  przy atmosferze zawierającej 25%  $N_2$  i 75%  $CH_4$

### 3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono opracowany przy wykorzystaniu regresji wielokrotnej model matematyczny, umożliwiający obliczenia twardości powłok  $Ti+Ti(C_xN_{1-x})$ , uzyskanych w procesie PVD. Wyniki symulacji komputerowej spełniają założone kryteria, co pozwala przypuszczać o przydatności modelu do oceny wpływu parametrów technologicznych i składu atmosfery roboczej na twardość powłok PVD. Prowadzone są prace zmierzające do opracowania metodyki modelowania uwzględniającej pełen zakres parametrów technologicznych.

### LITERATURA

1. L.A. Dobrzański: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Warszawa, 2002
2. L.A. Dobrzański, W. Kwaśny, R.Shishkov, J. Madejski: Jurnal of Materiale Processing Technology, (2001) v.113, s.493-501
3. L.A. Dobrzański, W. Kwaśny, Z. Brytan: 11<sup>th</sup> International Scientific Conference AMME 2002, s103-108
4. L.A. Dobrzański, W. Kwaśny, A. Křiž, R.Shishkov: Proceedings of the Scientific Conference on the occasion of the 55<sup>th</sup> Anniversary of the Faculty of Mechanical Engineering of the Silesian University of Technology in Gliwice, (200),s. 135.