

Grzegorz Gawlik,  
Jacek Jagielski  
Instytut Technologii  
Materiałów Elektronicznych

Lech Starczewski  
Tomasz Pasteruk  
Wojskowy Instytut Techniki  
Pancernej i Samochodowej

## WPLYW IMPLANTACJI JONÓW NA WŁASNOŚCI TRIBOLOGICZNE TWW STALI SW7M

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań własności tribologicznych stali SW7M implantowanej azotem. Porównano wyniki testów tribologicznych z własnościami eksploatacyjnymi narzędzi wykonanych z omawianej stali. Uzyskano około trzykrotne zmniejszenie zużycia stali implantowanej jonami  $N_2^+$  o energii 100 keV dawką  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ . Stwierdzono zgodność wyników testów tribologicznych i badań eksploatacyjnych. Określono początkowy rozkład azotu w stali przed procesem ścierania. Stwierdzono zachowanie podwyższonej odporności próbek na zużycie pomimo starcia warstw o grubości kilkakrotnie przewyższającej grubość warstwy zaazotowanej implantacyjnie.

### 1. Wstęp

Stal SW7M stosowana jest powszechnie do produkcji precyzyjnych narzędzi.

Trwałość narzędzi stanowi dla przemysłu istotny problem, odgrywa bowiem znaczną rolę w kształtowaniu kosztów i pracochłonności procesów technologicznych.

Prezentowana praca poświęcona jest rozpoznaniu możliwości podwyższenia trwałości narzędzi wykonanych ze stali SW7M drogą implantacji jonów azotu.

W celu określenia skuteczności proponowanej metody przeprowadzono badania tribologiczne próbek oraz próby eksploatacyjne wybranych narzędzi, wykonanych z omawianego gatunku stali.

Określono także rozkład azotu w stali bezpośrednio po implan-

tacji.

Narzędzia przeznaczone do implantacji pochodziły z Fabryki Wyrobów z Proszków Spiekanych POLMO w Łomiankach. Tam również przeprowadzono próby eksploatacyjne, a także wykonano próbki do badań tribologicznych.

Wszystkie detale użyte do prób i badań były utwardzane cieplnie przez hartowanie i odpuszczanie do wartości 64 HRC.

Procesy implantacji prowadzono przy użyciu implantatora firmy Balzers typu MPB 202 RP. Stosowano wiązki jonów  $N_2^+$  o energii 100 keV wprowadzając dawkę  $1 \times 10^{17}$  jonów/cm<sup>2</sup>. Procesy prowadzono w sposób gwarantujący utrzymanie temperatury próbek w czasie implantacji znacznie poniżej 100°C.

## 2. Badania tribologiczne

Badania tribologiczne prowadzono na maszynie PSB 1.

Używano próbek o średnicy powierzchni roboczej 2 mm i przeciwpróbki w kształcie krążka o średnicy 40 mm. Układ pary trącej przedstawiono na rysunku 1.

Jako smar zastosowano olej parafinowy.

Przed implantacją próbki docierano przy prędkości obrotowej przeciwpróbki 400 obr./min.

Badania ścieralnościowe obejmowały: określenie odporności na zużycie, określenie momentu tarcia oraz odporności na zatarcie. Zależność zużycia próbek implantowanych i nieimplantowanych od czasu trwania testu zaprezentowano na rysunku 2.

Wyniki wskazują, że przy zadanych warunkach próbki implantowane zużywają się 3-4-krotnie wolniej niż próbki nieimplantowane. Wartości momentu tarcia próbek implantowanych i nieimplantowanych w funkcji nacisków przy stałej prędkości obrotowej przeciwpróbki przedstawiono na rysunku 3.

Moment tarcia dla próbek implantowanych był przy małych naciskach większy, a przy dużych - mniejszy, niż dla próbek nieimplantowanych.

Określono także naciski, przy których występowało zacieranie próbek. Stwierdzono, iż próbki implantowane zacierają się przy naciskach znacznie niższych niż nieimplantowane (odpowiednio 220 MPa i 300 MPa).

### 3. Próby eksploatacyjne wybranych narzędzi

Do badań eksploatacyjnych wytypowano narzędzia służące dokalibracji otworów w wyrobach z proszków spiekanych.

Narzędzia te poddano implantacji, a następnie zużyto w normalnych warunkach produkcyjnych. Za zużyte uważano narzędzie, w którym średnica części kalibrującej zmniejszyła się o 9  $\mu\text{m}$ . Żywotność narzędzia określano liczbą detali prawidłowo obróbianych przy jego pomocy. Wynosiła ona średnio 10 000 sztuk wyrobu dla narzędzi nieimplantowanych i zwiększała się do około 30 500 sztuk w przypadku narzędzi poddanych obróbce implantacyjnej. Obróbka ta powodowała zatem około trzykrotny wzrost trwałości narzędzi.

### 4. Pomiary rozkładu azotu w implantowanej stali

Pomiary rozkładu azotu w implantowanej stali dokonywane były metodą mikroanalizy jądrowej z wykorzystaniem reakcji  $^{14}\text{N}(d,\alpha)^{12}\text{C}$ :

Zmierzony rozkład azotu w badanym gatunku stali zaimplantowanej jonami  $\text{N}_2^+$  przedstawiono na rysunku 4.

Uzyskane wyniki wskazują na obecność bardzo cienkiej (około 3000Å) warstwy nasyconej azotem o koncentracji około 12% at.

### 5. Dyskusja i wnioski

Wyniki omówionych testów tribologicznych pozwalają stwierdzić wysoką skuteczność implantacji stali SW7M jonami azotu w celu umocnienia warstwy wierzchniej tego materiału.

Zaobserwowane zmiany momentu tarcia w funkcji nacisków można wytłumaczyć powstawaniem cienkiej utwardzonej warstwy w badanym materiale. Przy małych naciskach utwardzenie mikroszorstkości powierzchni stali prowadzi do zwiększenia tarcia. Większe naciski mogą powodować ścinanie mikroszorstkości, a w efekcie - wygładzanie utwardzonej powierzchni. Przy bardzo dużych naciskach możliwe jest lokalne załamywanie cienkiej, utwardzonej warstwy powierzchniowej. Prawdopodobnie jest to przyczyną przyspieszonego zacierania próbek.

Wnioski te są zgodne z modelem zużycia powierzchni implantowanej, zaproponowanym przez Hartley'a [1] .

Pomiary profilu rozkładu koncentracji azotu w implantowanej stali ujawniły powstawanie bardzo cienkiej warstwy domieszko- wanej azotem. Grubość tej warstwy jest wielokrotnie mniejsza, niż grubość materiału usuniętego w procesie ścierania. Pomiary zużycia w czasie testów tribologicznych wykazały, że w mierzo- nym zakresie grubości ( $1\mu\text{m}$ ) warstwa wierzchnia nie traci swych korzystnych własności.

Dobre wyniki prób eksploatacyjnych, w których usunięto warstwę o grubości około  $4,5\mu\text{m}$  wskazują, że materiał także w tym przy- padku zachował swe korzystne własności tribologiczne.

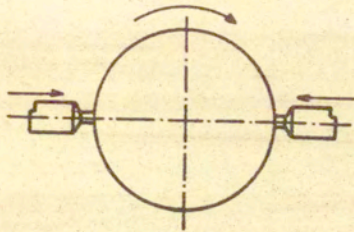
Zaobserwowany efekt można wytłumaczyć przy pomocy modelu ście- rania warstwy wierzchniej implantowanej azotem, zaproponowane- go przez Dearnaley'a i opisanego np. w pracy [2]. Zgodnie z tym modelem implantowany azot dekoruje dyslokacje zapobiegając ich propagacji. Proces ścierania uwalnia azot z dyslokacji i powoduje szybką jego migrację w głąb materiału oraz dekorowa- nie występujących tam dyslokacji. Mechanizm ten nie został jed- nak jednoznacznie potwierdzony eksperymentalnie.

Próby eksploatacyjne potwierdziły w praktyce skuteczność za- stosowania implantacji jonów do poprawy trwałości narzędzi. Wykazały także możliwość natychmiastowej aplikacji technologii implantacyjnej bez konieczności zmieniania jakichkolwiek ele- mentów procesu wykonania narzędzi, a także warunków ich eks- ploatacji. W omawianym przypadku stwierdzono także ekonomiczną opłacalność proponowanej metody podnoszenia trwałości narzę- dzi.

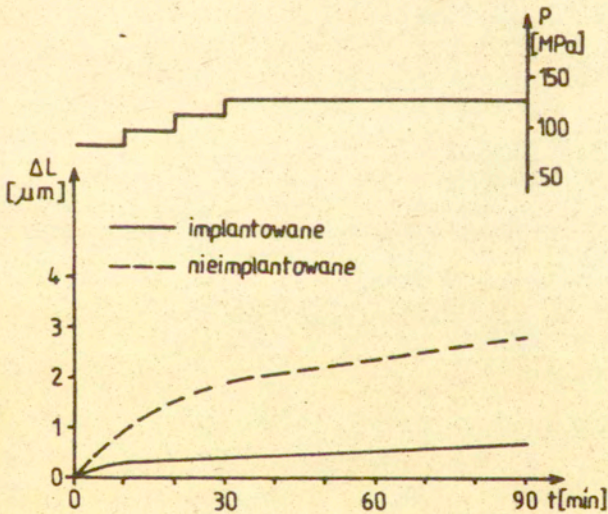
Ponadto, porównanie wyników badań tribologicznych i prób eks- ploatacyjnych wskazuje na możliwość zastosowania omówionych testów do oceny skuteczności implantacji jako metody zwiększania odporności stali na zużycie.

#### Literatura

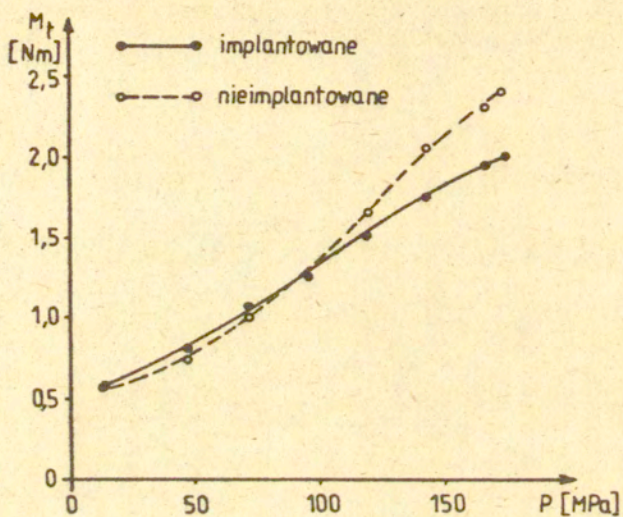
1. N.E.W.HARTLEY, "Ion Implantation and Surface Modification in Tribology". Wear 34 (1975), 427.
2. A.W.WITTKOWER, J.K.HIRVONEN, "Some Practical Aspects of Ion Implantation for Wear Reduction". Nucl.Instr. and Meth. in Phys. Res., B6 (1985), 78.



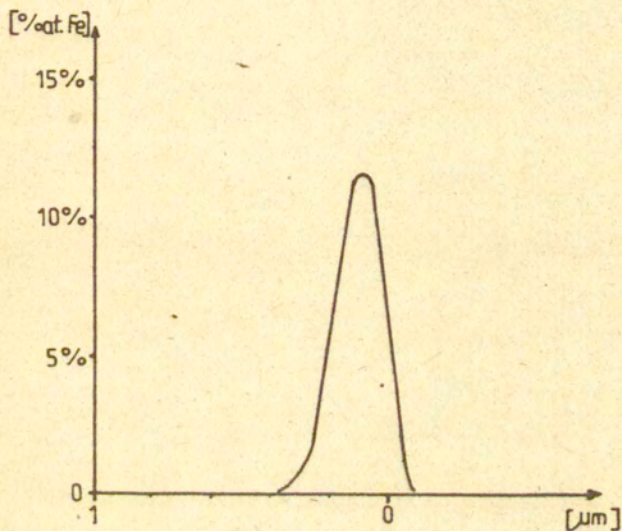
Rys. 1. Układ elementów trących do badań tribologicznych



Rys. 2. Zależność zużycia próbek od czasu trwania testu. Prędkość obrotowa przeciwpróbki 100 obr/min.



Rys.3. Zależność momentu tarcia próbek od nacisku  
Prędkość obrotowa przeciwróbki 100 obr/min.



Rys. 4. Rozkład koncentracji azotu w implantowanej stali.  
Energia jonów 100 keV, dawka  $1 \times 10^{17} \text{N}_2^+ / \text{cm}^2$