

Barbara Kamieńska-Stefeniuk
Politechnika Lubelska
Tomasz Otmianowski
Akademia Rolnicza w Lublinie

BADANIA WYBRANYCH WŁASNOŚCI TRIBOLOGICZNYCH STALI IMPLANTOWANEJ JONAMI AZOTU

Streszczenie.

W komunikacie przedstawiono wyniki badań własności tribologicznych stali 35HGM nawęglanej i implantowanej jonami azotu N^+ /dawka 10^{17} j/cm², energia 250 keV/. Badano odporność zużyciową w warunkach smarowania olejem parafinowym oraz odporność na zacieranie i opory tarcia w czasie próby tarcia. Uzyskano większą odporność zużyciową dla próbek implantowanych o około 30% oraz stwierdzono zwiększenie odporności na zacieranie. Próbki implantowane wytrzymywały wyższe wartości obciążenia bez zatarcia.

1. Wstęp.

Poszukiwania nowych technologii modyfikacji warstwy wierzchniej mających korzystny wpływ na jej własności tribologiczne oraz trwałość, zwróciły uwagę na implantację jonową [1]. Wiele prac, które opublikowano w ostatnich latach wykazuje zalety tej metody dla podwyższenia odporności na zużycie [2], korozję oraz zużycie kawitacyjne [3] elementów maszyn i narzędzi. Stosowano z pozytywnym skutkiem warstwy implantowane różnymi jonami [4, 5, 6].

Ciągle jeszcze duże koszty tej technologii zmuszają do kompleksowego badania własności warstw implantowanych dla sprawdzenia ich przydatności i opłacalności stosowania w technice. Z tych względów podjęto badania, których celem jest określenie w jakim stopniu implantacja jonami azotu może zmienić niektóre własności tribologiczne warstwy wierzchniej stali.

Badania prowadzone są pod kierunkiem prof.dr hab. T. Otmianowskiego z Akademii Rolniczej w Lublinie w Politechnice Lubelskiej we współpracy z Instytutem Fizyki UMCS oraz Wojskowym Instytutem Techniki Panczernej i Samochodowej /WITPiS / w Sulejówku.

2. Metodyka i warunki badań.

Badania polegały na porównaniu wybranych własności tribologicznych próbek stalowych implantowanych azotem z nieimplantowanymi. Pomiary obejmowały określenie wpływu implantacji jonów na:

- zużycie badanej pary ślizgowej,
- opory tarcia,
- podatność na zacieranie.

Zużycie badanej pary ślizgowej oraz opory tarcia określano podczas próby zużyciowej w warunkach tarcia ślizgowego ze smarowaniem.

Podatność na zacieranie wyznaczono przez określenie maksymalnego obciążenia nie powodującego zatarcie.

Próby przeprowadzono na stanowisku badawczym PSB-1 wykonanym i znajdującym się w WITPiS w Sulejówku, typu KRWAT-1 maszyn do badania tarcia i zużycia.

Zespół trący stanowiła para prosta poddana tarcia ślizgowemu, w którym dwie próbki badanego materiału pozostawały w spoczynku i współpracowały ślizgowo z ruchomą przeciwpróbką wykonaną z innego materiału. Schemat połączenia tarcowego przedstawiono na rys.1. Próbki walcowe o wymiarach $\varnothing 4 \times 8$ mm mocowano w oprawkach umożliwiających jednoznaczne usytuowanie ich względem przeciwpróbki.

Przeciwpróbkę stanowił krążek ze stali LH15 hartowanej o twardości 66HRC i wymiarach $\varnothing 40 \times 10$ mm.

Badaniom poddano próbki ze stali 15HGM o składzie chemicznym: C-0,18, Mn - 0,81, Cr - 0,85, Si - 0,24, Mo - 0,17, Cu - 0,12, Ni - 0,20.

Badane powierzchnie próbek nawęglono na głębokość 0,7 mm w atmosferze CO₂ w temperaturze 1198 K /925°C/ przez 5 godzin,

następnie hartowano w oleju w temperaturze 1123 K /850°C/ i odpuszczono w powietrzu /413 K/.

Przed badaniami próbki zostały dotarte na tym samym stanowisku krążkami z papierem ściernym 700, tak aby powierzchnie styku próbek z przeciwpróbką były możliwie największe. Próbki docierano przy prędkości krążka 300 obr/min i obciążeniu do 50 N.

Po dotarciu badane powierzchnie próbek implantowano jonami azotu N^+ dawką 10^{17} j/cm² i energią 250 keV w Instytucie Fizyki UMCS w Lublinie.

W czasie badań zużyciowych rejestrowano w sposób ciągły ubytek liniowy pary i moment tarcia oraz notowano temperaturę czynnika smarującego. Próbki smarowano sposobem zanurzeniowym olejem parafinowym.

Dotatkowo określono parametry mające wpływ na proces tarcia takie jak: mikrotwardość badanej powierzchni, chropowatość próbek przed i po próbie, chropowatość powierzchni przeciwpróbki przed i po próbie.

Badając odporność próbek na zacieranie zwiększano proporcjonalnie obciążenie normalne próbek F_N i rejestrowano zależność momentu tarcia od obciążenia $M_T = f/F_N$. W chwili wystąpienia objawów typowych dla zatarcia / m.in. gwałtowny wzrost oporów, temperatury czynnika smarującego oraz drgania/ przerywano próbę.

Wszystkie badania wykonano przy trzech różnych wartościach prędkości ślizgania oraz powtórzono na 12 kompletach próbek każdego rodzaju /implantowane jonowo i nieimplantowane/ dla stałej we wszystkich przypadkach drogi tarcia $S = 5000$ m.

3. Rezultaty badań.

3.1. Zużycie badanej pary ślizgowej.

Przebieg zużycia liniowego rejestrowany w czasie próby jest sumą zużycia obu próbek oraz przeciwpróbki. Przykładowe przebiegi przedstawiono na rys.2. Obciążenie normalne w czasie próby było stałe i wynosiło 200 N /nacisk jednostkowy 16 MPa/. Na podstawie tych badań określono zużycie liniowe badanych par

ślizgowych na drodze $S = 5000\text{m}$ dla dwu badanych rodzajów powierzchni przy nacisku jednostkowym $N_j = 16\text{ MPa}$ i trzech różnych wartościach prędkości ślizgania $v = 0,4 ; 0,6 \text{ i } 0,8\text{ ms}^{-1}$. Wyniki w postaci graficznej przedstawiono na rys.3.

Z otrzymanych przebiegów zużycia określono intensywność zużycia $I_z = \frac{\Delta Z L}{\Delta S}$ w dwu okresach próby: I-szy obejmujący początek na drodze od 0 do 1000m oraz II-gi ustalonego zużycia. Analogicznie określono wskaźnik odporności na zużycie jako odwrotność intensywności $\frac{1}{I_z}$. Wyniki badań przedstawiono w tabelicy 1.

Tabl.1. Wartości intensywności i odporności na zużycie.

Rodzaj powierzchni	Prędkość ślizgania ms^{-1}	I-szy okres		II-gi okres	
		Intensyw. zużycia I_z	Odporność $1/I_z$	Intensyw. zużycia I_z	Odporność $1/I_z$
impl.N ⁺	0,8	0,0071	141	0,0021	476
	0,6	0,0042	238	0,0016	625
	0,4	0,0067	149	0,0008	1250
nieimpl.	0,8	0,0111	90	0,0027	370
	0,6	0,0090	111	0,0020	500
	0,4	0,0154	65	0,0021	476

3.2. Pomiary oporów tarcia.

Wyznaczono wartość średniego kinetycznego współczynnika tarcia dla próbek z powierzchnią implantowaną i nieimplantowaną z zależności momentu tarcia od obciążenia. Obciążenie zmieniano w zakresie od 0 do 200 N i odczytywano wartość momentu tarcia. Przyjęto zależność liniową w badanym zakresie obciążeń postaci: $F_T = \bar{\mu} F_N + k$, gdzie: F_T - siła tarcia, $\bar{\mu}$ - średni kinetyczny współczynnik tarcia, F_N - obciążenie normalne, k - współczynnik zależny od stanu powierzchni.

Wyznaczono współczynniki regresji $\bar{\mu}$ i k oraz współczynnik korelacji R. Wyniki tych pomiarów w formie graficznej przedstawiono na rys.4, gdzie porównano średnie wyznaczonego współczynnika $\bar{\mu}$ dla próbek implantowanych i nieimplantowanych. Wartości współczynnika tarcia $\bar{\mu}$ dla próbek implantowanych zmieniały się w przedziale $0,165 \pm 0,195$ a dla nieimplantowanych $0,160 \pm 0,190$. We wszystkich przypadkach korelacja była bardzo silna i wynosiła: $R = 0,997 \pm 1,000$, co świadczy o słuszności przyjętej zależności.

Wartości chwilowe kinetycznego współczynnika tarcia w czasie próby odporności zużyciowej wyznaczono na podstawie pomiarów momentu tarcia.

W czasie badań zauważono wahania wartości tego współczynnika dla obu powierzchni. Dla powierzchni implantowanej wartość współczynnika tarcia malała w czasie próby dla wszystkich badanych próbek, natomiast dla powierzchni nieimplantowanej przy prędkości ślizgania $v = 0,4 \text{ ms}^{-1}$ znacznie wzrósł a przy pozostałych dwu zmalał nieznacznie po próbie tarcia na drodze $S = 5000 \text{ m}$.

3.3. Badania odporności na zacieranie.

Jako miarę odporności na zacieranie przyjęto największe obciążenie normalne, przy którym nie występowały jeszcze objawy zacierania. Krytyczne wartości obciążenia zatarcia zestawiono dla obu rodzajów próbek i różnych prędkości na rys.5.

Badania wykonano przy dwu różnych czynnikach smarujących: oleju parafinowym i smarze Hipol 15.

Dla wszystkich przypadków obciążenie krytyczne zacierania było dla próbek implantowanych znacznie większe. Świadczy to o ich większej odporności na zacieranie.

Dla oceny istotności różnic badanie przeprowadzono wg programu statystycznego bloków zrandomizowanych przy liczbie replikacji $r = 5$ stosując przedział ufności Tukey dla średnich [7].

Stwierdzono istotność wpływu implantacji jonowej na odporność zacierania oraz rodzaj oleju smarującego na poziomie ufności $\alpha = 0,95$.

4. Podsumowanie i wnioski.

Porównując wyniki przedstawionych badań dla próbek implantowanych i nieimplantowanych należy stwierdzić, że:

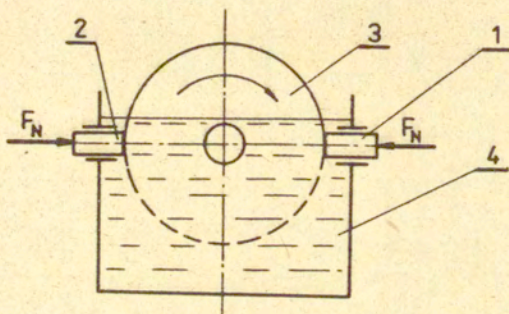
- 1/ Zużycie liniowe próbek implantowanych jest mniejsze od nieimplantowanych dla wszystkich badanych prędkości o około 30%.
- 2/ Intensywność zużycia jest mniejsza dla próbek implantowanych szczególnie w początkowym okresie procesu tarcia mimo, że chropowatość próbek i przeciwpróbek nie różniły się. Biorąc pod uwagę zużycie liniowe przeciwpróbki wyznaczone na podstawie profilogramów jej powierzchni można stwierdzić, że obszar mniejszej intensywności zużycia wynosi około 3 mm dla próbek implantowanych. Potwierdzałyby to wyniki badań [6], że warstwa ulepszona jest większa niż zasięg implantowanych jonów.
- 3/ Wartość średniego kinetycznego współczynnika tarcia jest nieco większa dla próbek implantowanych. Stwierdzono, że chwilowa wartość kinetycznego współczynnika tarcia dla próbek implantowanych zmniejszała się w czasie próby tarcia. Początkowa jego wartość średnia dla implantowanych wynosiła 0,18 a po próbie tarcia 0,15, gdy tymczasem dla nieimplantowanych na początku próby 0,175 a po niej 0,22.
- 4/ Próbki implantowane są bardziej odporne na zacieranie niż nieimplantowane. Średnie obciążenie krytyczne ze wszystkich próbek implantowanych wynosi w parafinie 325 N a nieimplantowanych 225 N natomiast odpowiednio w Hipol 15 implantowane - 400 N, nieimplantowane - 300N.
- 5/ Nie stwierdzono istotnej zależności między zużyciem a prędkością ślizgania. Wynika to pewnie z faktu, że badane wartości prędkości obejmowały mały zakres ich zmian.

Wyniki badań potwierdzają przypuszczenie, że implantacja jonowa poprawia własności tribologiczne warstwy wierzchniej stali 15HGM. Dotyczy to w szczególności odporności zużyciowej oraz odporności na zacieranie.

Można przypuszczać, że zastosowanie tej metody modyfikacji warstwy wierzchniej da dobre rezultaty w przypadku elementów silnie obciążonych tam gdzie występują duże naciski jednostkowe.

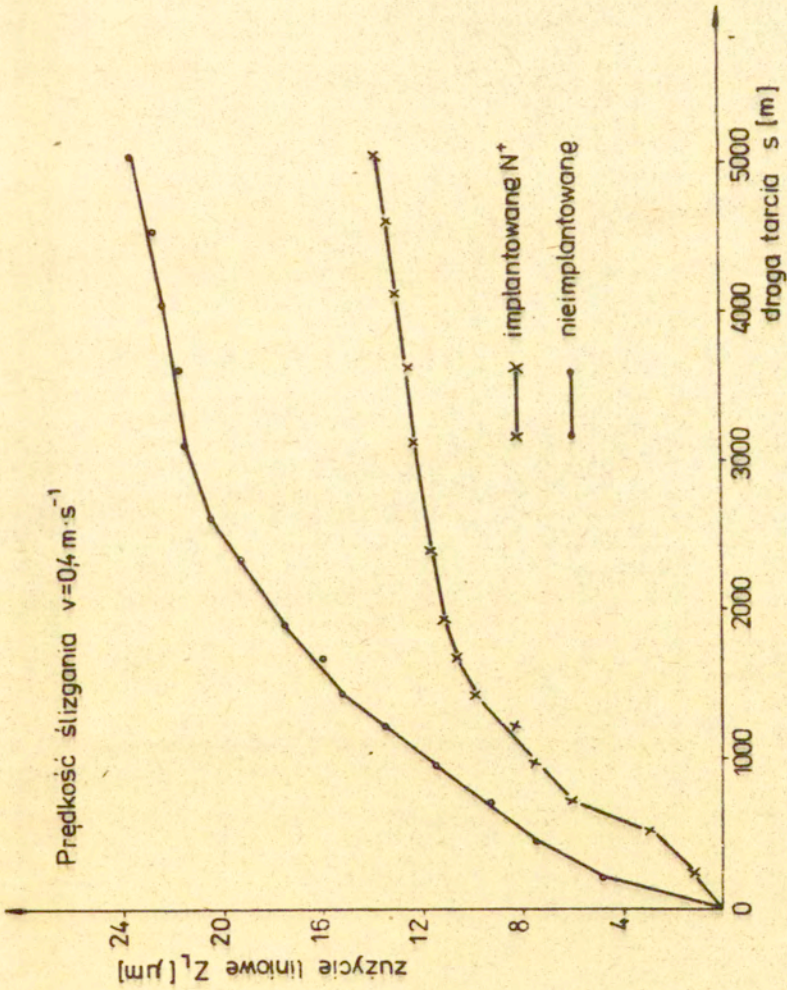
Literatura.

- [1]. W. ROSIŃSKI - Wybrane zastosowania implantacji jonów w nauce i technice. Wydaw.PAN Ossolineum,1978.
- [2]. ECER G.M.,SUSAN WOOD,D.BOES,J.SCHREURS - Friction and wear properties of nitrided and N⁺ implanted 17-4 PH stainless steel. Wear 89 /1983/ p.201-214.
- [3]. HERMAN H.,W.W. HU,C.R. CLAYTON, J.K.HIRVONEN,R.KANT and R.K.MACCRONE - Modification of mechanical properties through ion implantation. Proc. Conf. on Ion Planting and Allied Techniques, London, 1979,p.255.
- [4]. GUNIA Z.,PACZKA K. - Badania trybologiczne tworzyw z warstwami implantowanymi jonowo. ITWL wew.234/82, Materiały z XI Szkoły Trybologicznej,Rynia,1982.
- [5]. MONDALSKI K.,SIEJKOWSKI W.,SKRZYPIŃSKI A. - Próby zastosowania implantacji jonowej do konstytuowania technologicznej warstwy wierzchniej. Zeszyty Naukowe AGH Elektr. i Mechaniz. Górnictwa i Hutnictwa, Z.140,1981.
- [6]. J.K.HIRVONEN - Implantation into metals - mechanical property changes. Proc. International Conference on Ion Beam Modyfikation of Materials, Budapest,1978, vol.III.
- [7]. W.OKTABA - Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. PWN Warszawa,1977.

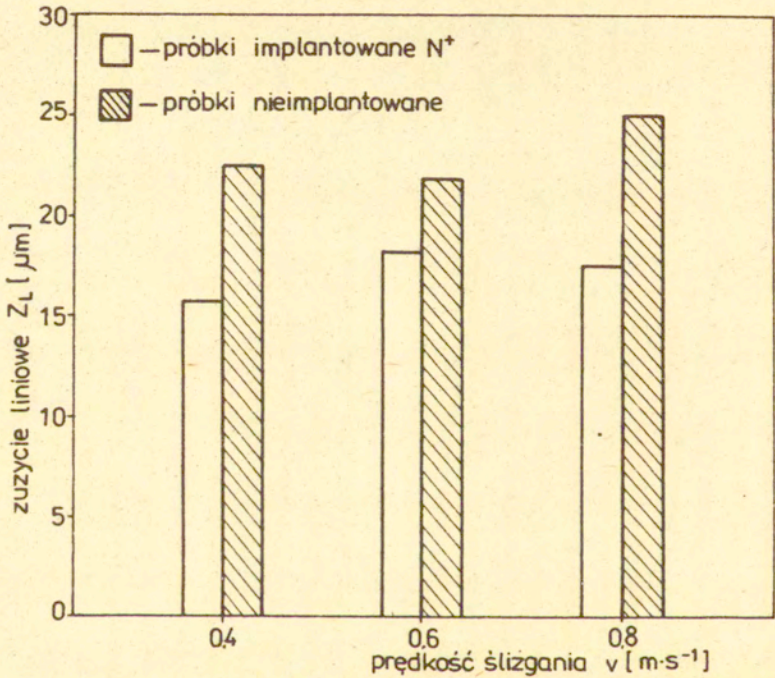


Rys. 1. Schemat zespołu tarcowego w próbie odporności zużyciowej.

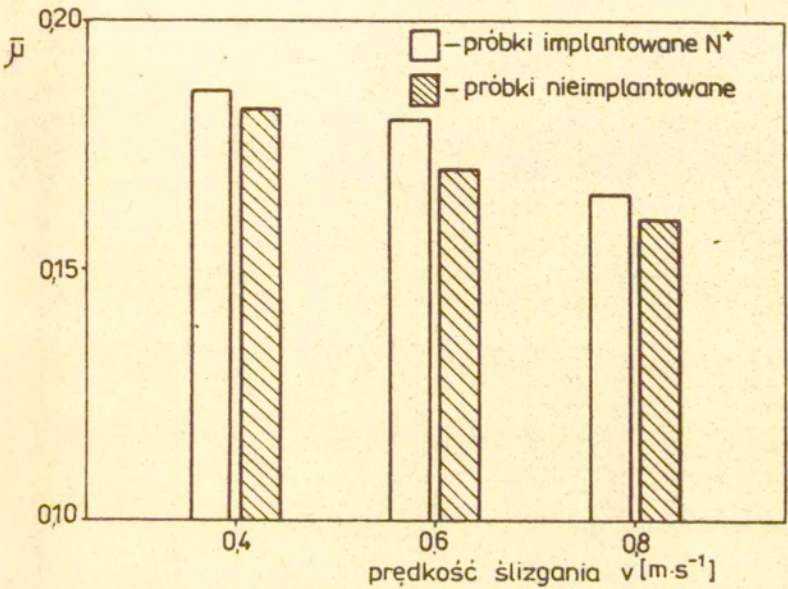
- 1 - próbka prawa
- 2 - próbka lewa
- 3 - przeciwpróbka
- 4 - ośrodek smarujący
- F_N - obciążenie normalne



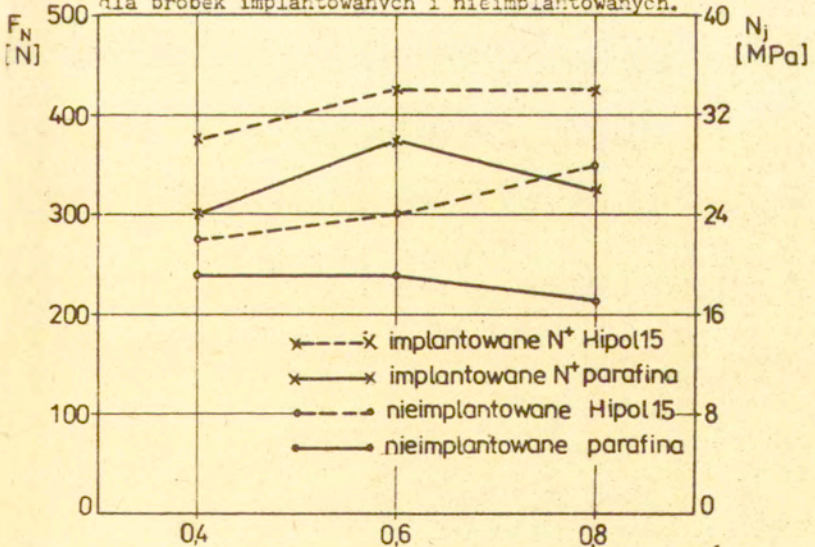
Rys.2. Przebieg zużycia liniowego w czasie próby tarcia dla pary próbek implantowanych /6L, 6P/ oraz nieimplantowanych /13L, 13P/.



Rys.3. Zużycie liniowe Z_L na drodze 5000m dla próbek implantowanych i nieimplantowanych.



Rys.4. Wartość średniego kinetycznego współczynnika tarcia dla próbek implantowanych i nieimplantowanych.



Rys.5. Obciążenie zatarcia F_N , /prędkość ślizgania v [$m \cdot s^{-1}$]