

MARIA RYSKALOK-KUBISIAK  
ROBERT SZYNDLER  
INSTYTUT METALURGII AGH

ODPORNOŚĆ NA ŚCIERANIE STALI NC6  
IMPLANTOWANEJ JONAMI AZOTU I BORU

Streszczenie. Badano zmodyfikowane powierzchniowo, poprzez proces implantacji jonów azotu i boru, mechaniczne własności stali narzędziowej NC6. Próbki implantowano jonami o energiach i dozach odpowiednio:  $N_2^+$  - 100 keV,  $1 \times 10^{17}$  jon/cm<sup>2</sup>;  $B^+$  - 100 keV,  $1 + 2 \times 10^{17}$  j/cm<sup>2</sup>, na urządzeniu IPB 202 RP firmy Balzers w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych /ITME/ w Warszawie. Element miał kształt pierścienia, a implantacji poddano polerowane płaskie czoło tego pierścienia. Test zużycia przeprowadzono na wirującym pierścieniu w układzie z przeciwpróbką dla nacisków jednostkowych  $p = 0,2 \text{ MN/m}^2$  i 600 obrotach/min, przy czym całkowity czas ścierania wynosił 126 godzin. Próbka i przeciwpróbka chłodzone były wodą o temperaturze pokojowej. Uzyskano znaczną poprawę trwałości  $T_{ww}^*$  elementu dla przypadku implantowania czoła pierścienia jonami azotu i boru o podanych wyżej energiach i dozach wiązek z tym, że korzystniejsze okazało się stosowanie większych dawek boru.

1. Wprowadzenie

Rozwój technik próżniowych szczególnie burzliwy w ostatnich kilkunastu latach oraz potrzeby stosowania powłok ochronnych mających często własności mechaniczne dość odmienne od dotychczas stosowanych w sensie takich parametrów jak twardość, mikrotwardość, zadane współczynniki tarcia, duża odporność na ścieranie i zmęczenie, odporność na korozję w różnych warunkach oraz inne,

---

\*  $T_{ww}$  - technologiczna warstwa wierzchnia

spowodowały włączenie się sporej grupy badaczy w nurt realizacji programów aplikacji metody implantacji jonów. Modyfikacja własności poprzez proces implantacji wybranych jonów do warstwy wierzchniej metalu ma cały szereg zalet a wyniki współcześnie prowadzonych prac dają metodzie znaczną przewagę nad innymi tradycyjnymi technologiami. Wprawdzie koszt urządzenia tj. implantatora jest dość wysoki, może on jednak być skompensowany dość szybko wyjątkowo dużą trwałością implantowanych jonowo elementów maszyn. Produkcja detali dla maszyn pracujących w próżni np. w warunkach przestrzeni kosmicznej jest w dużej mierze oparta na omawianej technologii.

Będąc w posiadaniu testera dla prób ścieralności - Zakład Przeróbki Plastycznej Metali IM AGH oraz mając pewne możliwości analizowania zmian strukturalnych wywołanych procesem implantacji na aparaturze badawczej będącej w naszym posiadaniu - Zakład Analiz Strukturalnych IM AGH oraz w dyspozycji zakładów z którymi współpracujemy, postanowiliśmy wykonać pewien cykl badań dla ustalenia wpływu implantowania jonowego na zużycie ścierne cząłca stalowego pierścienia ze stali NC6 .

## 2. Eksperymenty

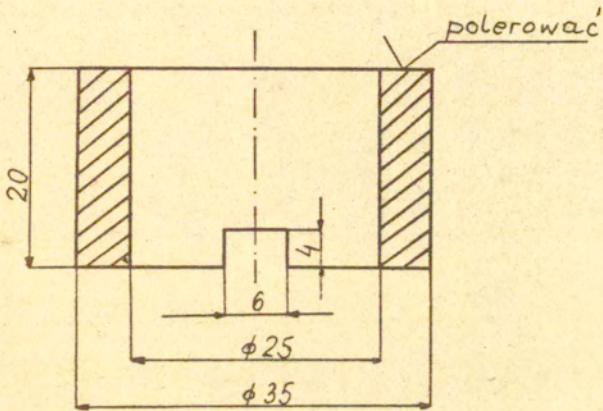
### a/ Przygotowanie próbek

Próbki cięto na urządzeniu elektroiskrowym "Stella 80" produkcji krajowej. Nacisk na element przy tym cięciu jest niemierzalnie mały. Po cięciu przeprowadzono pełny cykl obróbki cieplnej tj. hartowanie, schłodzenie, odpuszczanie i in. wg norm cytowanych w tablicach dla NC6 :  $1113 \pm 5 / K$  wygrzewanie w ciągu 30 minut, następnie schłodzenie w oleju ; odpuszczanie w temp.  $423 \pm 5 / K$ .

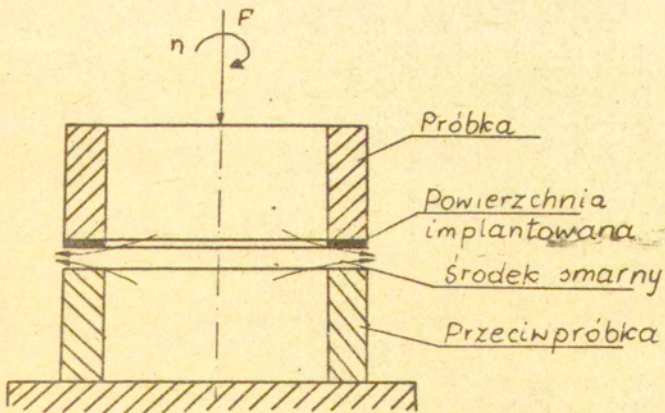
Powierzchnie przeznaczone do testowania były polerowane w roztworach wodnych proszków  $Al_2O_3$ . Stan powierzchni po polerowaniu sprawdzono na mikroskopie metalograficznym odbiciowym przy powiększeniach od 100 do 900 razy. Równocześnie mierzono mikrotwardość a obserwowane mikroobszary powierzchni fotografowano.

Rys.1. przedstawia geometrię elementu przygotowanego do badań. Wymiary pierścienia wynoszą odpowiednio:  $\phi = 35mm/25mm \times 20mm$ .





Rys. 1. Kształt i wymiary elementu przygotowanego do badań



Rys. 2. Układ próbki z przeciwpróbką

b/ warunki implantowania jonowego

Implantowanie jonowe stalowych próbek przeprowadzono na urządzeniu MPB 202 RP f-my Balzers, w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych w Warszawie.

Próbki ze stali NC6 implantowano azotem lub borem oraz azotem i borem równocześnie; zastosowano także implantację tymi dwoma pierwiastkami, ze zwiększoną dawką boru. Wiązki jonów  $N_2^+$  i  $B^+$  generowano przy zastosowaniu źródeł jonów odpowiednio IQM 020 i IQC 020 tej samej firmy. Rodzaj jonów, stosowane energie i dozy uwidoczniiono w tablicy I.

Tablica I

Lp	Rodzaj jonów	energia jonów keV	Dawka jonów jon/cm <sup>2</sup> NC6	Ilość próbek	Sposób przygotowania próbek
1.	$N_2^+$	100	$1 \times 10^{17}$	3	bez obróbki cieplnej
2.	$B^+$	100	$2 \times 10^{17}$	1	"
3.	$N_2^+ + B^+$	100	$1 \times 10^{17} / 1 \times 10^{17}$	2	z pełną obr. cieplną
4.	$N_2^+ + B^+$	100	$1 \times 10^{17} / 2 \times 10^{17}$	2	"
5.	$N_2^+$	100	$1 \times 10^{17}$	1	"
6.	$B^+$	100	$2 \times 10^{17}$	1	"
7.	$N_2^+$	100	$1 \times 10^{17}$	Fe Armco /folia; 0.1%/ 1 szt	
8.	$B^+$	100	$2 \times 10^{17}$	Fe Armco /folia; 0.1%/ 1 szt	
9.	$N_2^+ + B^+$	100	$1 \times 10^{17} / 1 \times 10^{17}$	Fe Armco /folia; 0.1%/ 1 szt	
10.	$N_2^+ + B^+$	100	$1 \times 10^{17} / 2 \times 10^{17}$	Fe Armco /folia; 0.1%/ 1 szt	

Gęstość prądu wiązki wynosiła  $3 \mu A/cm^2$ . Elektromagnetyczny separator mas o kącie odchylenia wiązki  $30^\circ$  pozwalał na formowanie wiązek jonów jednorodnych pod względem masy i stopnia zjonizowania. Istnieje możliwość zmiany energii jonów w kontro-



lowanym zakresie 20 - 200 keV.

c/ Test na zużycie ściernie

Próby eksploatacyjne dla zużycia ściernego przeprowadzono na pierścieniach ze stali NC6 /Fe oraz: C 1,3 - 1,4; Mn 0,5 - 0,7; Si 0,15 - 0,35; Cr 1,3 - 1,6; V 0,10 - 0,25/.

Przeciwpróbka była ze stali NC10 /Fe oraz: C 1,5 - 1,8; Mn 0,2 - 0,5; Si 0,2 - 0,5; Cr 11 - 13/.

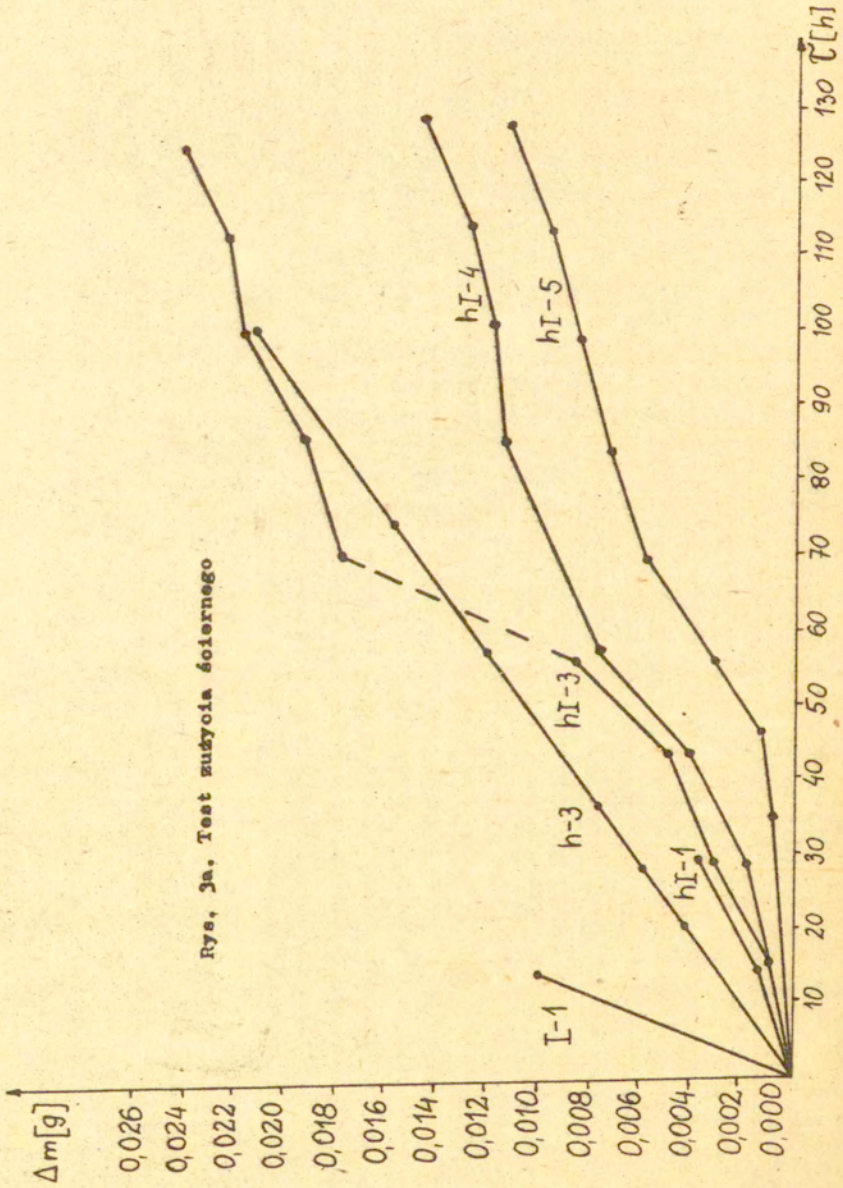
Na rys.2. podano układ próbki z przeciwpróbką. Ścieranie przeprowadzono w warunkach tarcia mieszane przy ruchu obrotowym i smarowaniu emulsją wodno-mydlaną.

Stosowano naciski jednostkowe  $p = 0,2 \text{ MN/m}^2$ . Prędkość obrotowa elementu wynosiła  $n = 600 \text{ obr/min}$ , a całkowity czas tarcia  $T = 126 \text{ h}$ . Próbka i przeciwpróbka chłodzone były wodą o temperaturze pokojowej. Wyniki przeprowadzonych badań testu zużycia ilustruje rys.3 a,b.

Na rys.3a widać przypadek tzw. "zatarcia" próbki z przeciwpróbką. Po usunięciu fragmentu zaznaczonego linią przerywaną uzyskuje się wykresy jak na rys. 3 b. Oznaczenia próbek widoczne są w tablicy II :

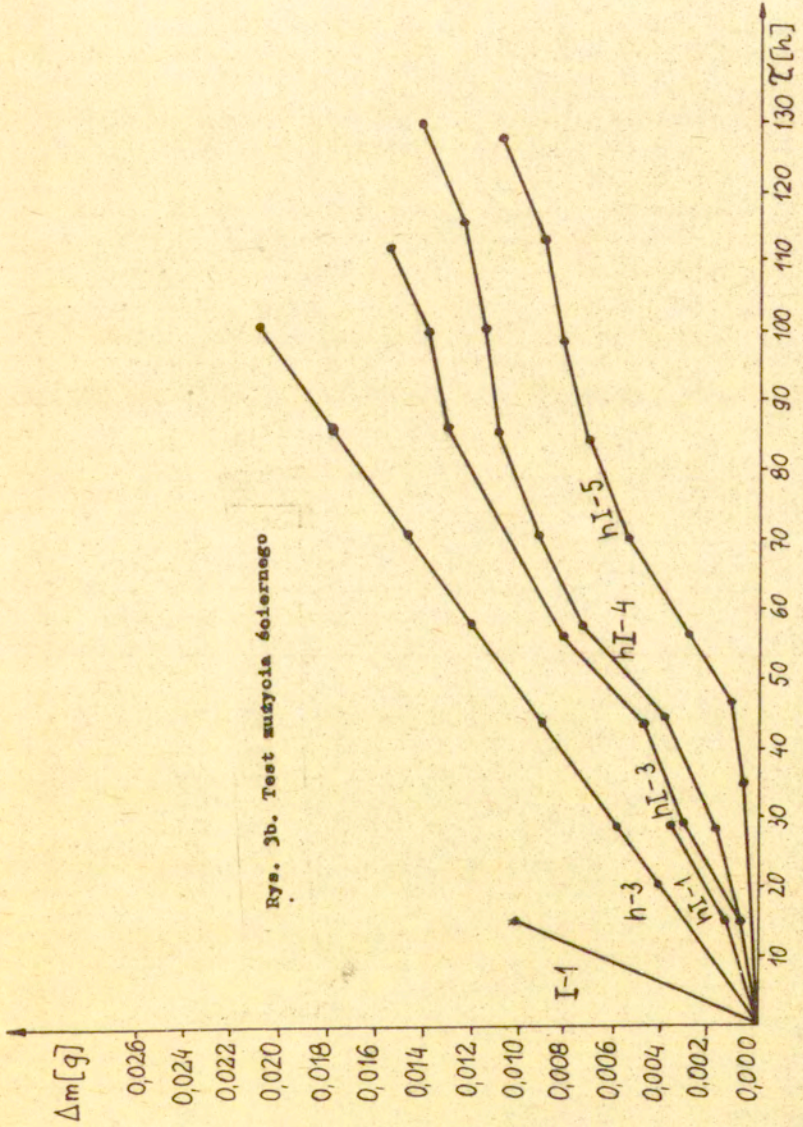
- I-1 nie hartowana  
implantowana  $N_2^+$ , 100 keV,  $1 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2$
- h-3 hartowana /pełny cykl obróbki cieplnej/  
nie implantowana
- hI-1 hartowana  
implantowana  $B^+$ , 100 keV,  $2 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2$
- hI-3 hartowana  
implantowana  $N_2^+ + B^+$ , 100 keV, dozy  $N_2^+$  :  $1 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2$
- hI-4 hartowana  
implantowana  $N_2^+ + B^+$ , " " dozy  $B^+$  :  $1 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2$
- hI-5 hartowana  
implantowana en 100 keV dozy :  $N_2^+$   $1 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2$   
 $B^+$   $2 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2$

Wykresy przedstawiają zależność ubytku masy  $m [g]$  od czasu ścierania  $T [h]$ .





Rys. 3b. Test wstycia 6ciernego



### 3. Dyskusja wyników

Analizy porównawcze wskazują na pozytywny wpływ implantowania jonami azotu i boru warstwy pary trącej.

Próbki implantowane wykazują przeciętnie 3-krotnie większą odporność na zużycie ściernie. Zauważyć można wpływ implantacji 2-ma rodzajami jonów : na krzywych widać dwukrotnie zmiany tangensa kąta nachylenia ; zmiana prostoliniowości związana jest wyraźnie z przechodzeniem czoła przeciwpróbki przez I-sze maksimum zagrzebanej warstwy azotu i II maksimum zagrzebanej warstwy boru. Obszary głębsze wykazują także zwiększoną odporność na zużycie ściernie ze względu na przenoszone w głąb materiału zmiany strukturalne wywołane procesem implantacji oraz zjawiska heterodyfuzji. Szacuje się, że dla warunków przez nas podawanych zmiany te sięgają głębokości  $3 \cdot 10^4 \text{ \AA}$ .

### 4. Wnioski

Próby potwierdzają potrzebę budowy implantatora przemysłowego, pozwalającego implantować jonowo elementy maszyn znacznych rozmiarów oraz poszerzenia programu badań dla udokumentowania zmian fizyko-chemicznych i strukturalnych materiału implantowanego ; rozwinięcie teorii w tej dziedzinie pozwoli w oparciu o dane doświadczalne poprowadzić proces modyfikacji własności w pożądanym i ściśle zaprogramowanym kierunku.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzić można że :

- 1/ Implantacja jonów  $N_2^+$  i  $B^+$  zmienia korzystnie parametry mechaniczne warstw wierzchnich próbek ze stali narzędziowej 18Cr, głównie w sensie jej odporności na zużycie, a zatem trwałości elementu.
- 2/ Największą odporność na zużycie ściernie dla płaskiej powierzchni współpracującej z płaską przeciwpróbką przy nacisku  $20 \text{ N/cm}^2$  uzyskano dla kombinacji  $N_2^+ / 1 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2, 100 \text{ keV/}$  +  $B^+ / 2 \times 10^{17} \text{ j/cm}^2, 100 \text{ keV/}$ .
3. Należy przeprowadzić testy na zużycie ściernie dla próbek implantowanych większymi dozami  $N_2^+$  oraz  $B^+$  przy tych samych energiach lub nieco wyższych. Powiększyć trzeba przedział



stosowanych przy testowaniu ciśnień wywieranych na pierścien  
oraz przedział temperatur na styku próbka-przeciwpróbka.

## 5. Zakończenie

Szczególne własności implantowanych jonowo TiW metali skłoniły nas do przeprowadzenia prac doświadczalnych mogących przynajmniej częściowo potwierdzić słuszność obranego kierunku działania związanego z poprawą trwałości elementów maszyn. Próby te poparte są badaniami składu warstw oraz ich mikrostruktury przy wykorzystaniu takich metod jak : ESCA , LMA oraz SEM i dyfrakcja Rtg.

## Literatura

1. G.DEARNALEY, J.H.FREEMAN, R.S.NELSON, J.STEPHEN,  
Ion Implantation, North Holland, Amsterdam 1973.
2. I.W. KRAGIELSKIJ - Trenije i iznos, Maszgiz, Moskwa 1962
3. W.ROSINSKI - Zastosowanie implantacji jonów w nauce i technice, Ossolineum 1978
4. a/H.NERMAN, Modification of the Surface Mechanical Properties of Ferrous Alloys by Nitrogen Ion Implantation  
b/Effects of Nitrogen Ion Implantation on the Wear Properties of Steel ; E.B.HALE, T.H.KAISER, C.P.MERG and R.A.KOHSER  
c/XIE ZHONG-YIN, TU YOU-MO, QIAO-YONG, LIN CHENG-RU,  
Ion Implantation for Improving Wear Resistance of Metals;  
In: Proceedings of the 3rd International Conference on Modification of Surface Properties of Metals by Ion Implantation, held at UMIST, Manchester, UK, 23-26 JUNE 1981

Podziękowanie : Autorzy tej pracy serdecznie dziękują Prof. dr habil.inż. Wacławowi Leskiewiczowi za udostępnienie testera dla prób ścieralności, prof.dr habil.Witoldowi Rośniewskiemu za konsultacje związane z procesami implantacji oraz Kolegom Andrzejowi Podgórnemu, Grzegorzowi Gawlikowi i Jackowi Jagielskiemu za prace technologiczne.

Praca była finansowana m. in. z problemu PW.05.1.1