

PIOTR TARKOWSKI

Politechnika Lubelska

#### BADANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY SIŁAMI STYCZNYMI I NORMALNYMI PO IMPLANTACJI POWIERZCHNI STALI JONAMI AZOTU

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów sił stycznych w zależności od sił normalnych - porównawczo; dla próbek implantowanych jonami azotu  $N^+$  i nieimplantowanych. Skojarzenie materiałów próbka - przeciwpróbka odpowiada skojarzeniu stosowanemu w parze precyzyjnej korpus - iglica rozpylacza paliwa. Na podstawie rezultatów badań określono parametry równań  $t = f/p/$  dla próbek obu rodzajów. Opisanie badania stanowią fragment prac nad zastosowaniem metody implantacji jonowej dla poprawy trwałości rozpylaczy paliwa.

#### Wprowadzenie

Perspektywy przemysłowego zastosowania implantacji jonowej jako metody prowadzącej do poprawy własności mechanicznych metali i ich stopów, obejmują przede wszystkim obróbkę elementów maszyn o małych wymiarach geometrycznych i równocześnie dużym znaczeniu dla prawidłowości pracy urządzenia w którym są one zamontowane. Wymaganiom tym odpowiadają między innymi rozpylacze paliwa stosowane w silnikach z zapłonem samoczynnym. Są to pary precyzyjne aparaty paliwowej o trwałości kilkakrotnie niższej w porównaniu z trwałościami pozostałych elementów tej aparaty oraz silnika.

W ramach realizacji badań nad poprawą trwałości rozpylaczy paliwa przez zastosowanie implantacji jonowej, podjęto między innymi próbę określenia zależności między siłami stycznymi i siłami normalnymi z uwzględnieniem zmiennego współczynnika szczytowania. Przyjęte w badaniach skojarzenie materiałów konstrukcyjnych na próbki i przeciwpróbki odpowiada skojarzeniu korpus rozpylacza - iglica.

#### Cel badań

Przy rozważaniu problemów związanych z tarciem zakłada się najczęściej, że w dowolnym miejscu obszaru styku dwóch brył, wartość sił stycznych opisać można zależnością:

/1/

$$t = \mu \cdot p$$

gdzie:  $t$  - wartość siły stycznej

$p$  - wartość siły normalnej

$\mu = \text{const.}$  - współczynnik szczypania

Ponieważ z badań trybologicznych wynika, że współczynnik szczypania  $\mu$  zależy między innymi od wartości nacisku  $p$  to wartość siły stycznej można przedstawić następującym wzorem:

/2/

$$t = \mu / p \cdot p$$

W przypadku tarcia ślizgowego brył wykonanych z rzeczywistych materiałów, do opisu związku między siłami stycznymi i siłami normalnymi stosuje się dwie zależności:

- Coulomba - Amontonsa

/3/

$$t = A + Bp$$

- Kragelskiego [1]

/4/

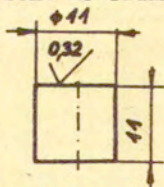
$$t = Ap + Bp^{\frac{2}{3}}$$

gdzie:  $A, B$  - parametry zależne od właściwości mechanicznych i molekularnych trących powierzchni.

Określenie wartości parametrów  $A$  i  $B$  w sposób analityczny jest bardzo trudne ze względu na fakt, że podczas współpracy elementów maszyn zmieniają się fizyczno - mechaniczne własności materiałów warstw wierzchnich współpracujących powierzchni, a tym samym ulegają zmianie czynniki wpływające na ich wielkość. Możliwe jest jednak ustalenie wartości  $A$  i  $B$  w oparciu o zależność  $t = f/p/$  uzyskaną na drodze doświadczalnej. Zasadniczym celem pracy jest przeprowadzenie badań zależności między siłami stycznymi i normalnymi porównawczo dla próbek implantowanych jonowo i nieimplantowanych, co umożliwi wyliczenie tych stałych.

Przygotowanie próbek

Próbki przeznaczone do badań wykonano zgodnie z rys.1.



Rys. 1. Próбка do badań zależności między siłami stycznymi i normalnymi



Materiałem konstrukcyjnym na próbki, była stal 15HGM stosowana w produkcji korpusów rozpylaczy, o składzie zamieszczonym w tabl. 1.

Tabl. 1. Skład chemiczny próbek stali 15HGM w %

Składnik	Zawartość	Wymagania według PN-72/H-84030
C	0,16 ÷ 0,19	0,12 ÷ 0,19
Cr	0,80 ÷ 0,95	0,80 ÷ 1,10
Mo	0,15	0,15 ÷ 0,25
Mn	0,87 ÷ 1,00	0,80 ÷ 1,10

Obróbkę cieplno - chemiczną próbek wykonano w WSK Mielec stosując cykl technologiczny taki, jak w przypadku obróbki korpusów rozpylaczy. W tabl. 2 zamieszczono parametry tego procesu.

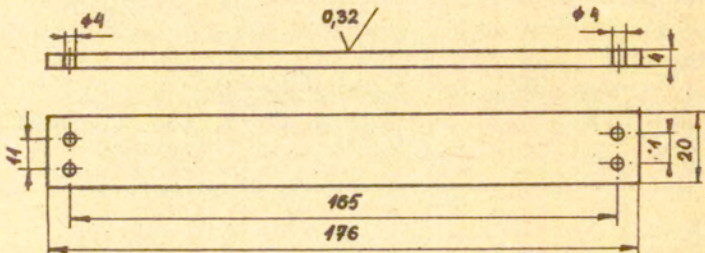
Tabl. 2. Parametry obróbki cieplno - chemicznej próbek

Rodzaj procesu	Temp. procesu	Czas	Chłodzenie
	K	min	
Węglonazotowanie	1133	300	-
Hartowanie	1103	30	olej 313 <sup>±10</sup> K
Wymrażanie	93 ÷ 123	120	ciekły azot
Odpuszczanie	463 <sup>±10</sup>	300	powietrze
Sztuczne sezonowanie	373 ÷ 423	3000 ÷ 1800	z piecem do 333 K dalej na powietrzu

Powierzchnie próbek współpracujące podczas badań z przeciwpróbkami implantowano jonami azotu N<sup>+</sup> przy energii przyspieszającej 120 keV, dawką  $2 \cdot 10^{17}$  j/cm<sup>2</sup> [3]. Zabieg implantacji wykonano w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Marii-Curie Skłodowskiej w Lublinie.

Przeciwpróbki wykonano ze stali SW18 /materiał na iglice rozpylaczy/ według rys. 2. Po obróbce mechanicznej przeciwpróbek,

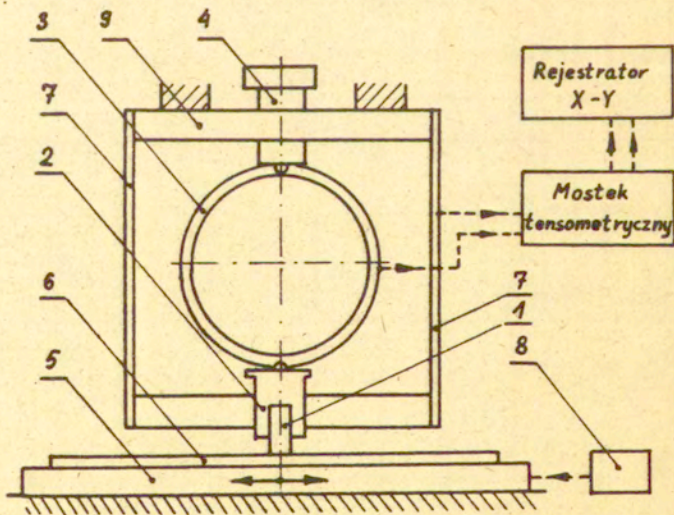
podlegały one hartowaniu.



Rys. 2. Przepióbka do badań zależności między siłami stycznymi i normalnymi

Stanowisko badawcze i przebieg badań

Pomiary przeprowadzono na stanowisku badawczym w Wydziale Mechanicznym i Organizacji Politechniki Lubelskiej. Schemat ideowy stanowiska pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego /opis w tekście/



Podczas pracy stanowiska nieruchoma próbka 1 zamocowana w uchwycie 2 styka się z przeciwpróbką 6 przymocowaną do suwadła 5, wykonującego ruch postępowo-zwrotny. Napęd suwadła odbywa się za pośrednictwem siłownika dwustronnego działania 8, pracującego w układzie hydraulicznym stanowiska. Regulacja siły nacisku próbki na przeciwpróbkę była realizowana przez zmianę strzałki ugięcia pierścienia sprężystego 3 co odbywało się za pomocą śruby dociskowej 4 wkręconej w sztywną belkę 9. Pomiar sił normalnych i stycznych przeprowadzono przy użyciu tensometrów oporowych naklejonych na powierzchnie pierścienia dociskowego i belek sprężystych 7.

Próbka przemieszczała się względem przeciwpróbki ze stałą prędkością około  $3,5 \cdot 10^{-2}$  m/s. Zadawane siły nacisku zmieniano w sposób skokowy w przedziale od 17 N do 184 N, a badania przeprowadzono w warunkach tarcia suchego.

Badaniom poddano 20 próbek implantowanych jonowo i taką samą liczbę próbek nieimplantowanych.

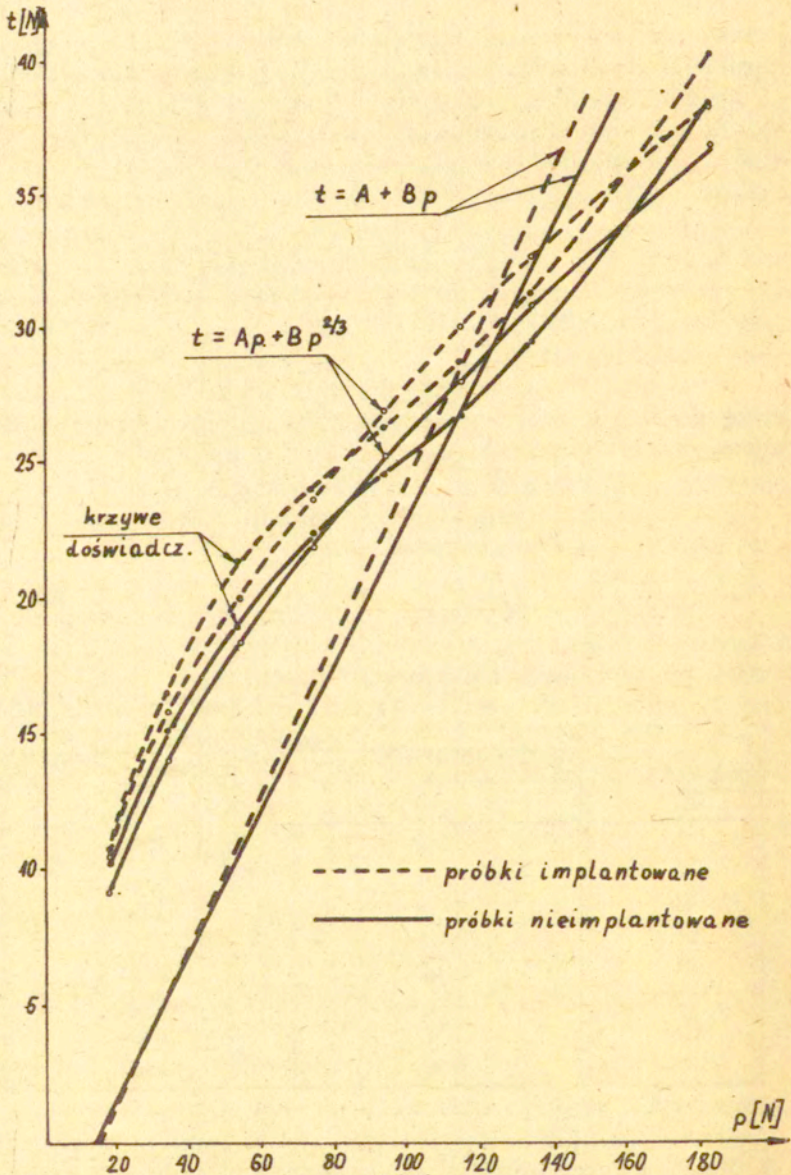
#### Wyniki badań

W tabl. 3 zamieszczono zestawienie średnich wartości sił stycznych w zależności od zadanych wartości sił normalnych dla próbek implantowanych i nieimplantowanych.

Tab. 3. Wartości sił stycznych w zależności od sił normalnych

Siła normalna	Siła styczna	
	Próbka implantowana	Próbka nieimplantowana
P	$\bar{T}_i$	$\bar{T}$
17	10,2	10,1
34	15,2	14,1
54	21,6	19,4
74	24,0	22,4
94	26,5	24,6
114	28,6	26,8
134	31,1	29,4
184	39,8	38,0

Jednocześnie uzyskane wyniki zilustrowano wykresem przedstawionym na rys. 4. Na wykresie zamieszczono również krzywe odpowiadające formułom /3/ i /4/ uzyskane dla próbek obu rodzajów. Wartości parametrów A i B występujące we wzorach określano



Rys. 4. Wykres zależności  $t = f/p$



aproxymacyjną metodą najmniejszych kwadratów.

#### Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań stwierdzono, że dla badanego skojarzenia materiałów próbka - przeciwpróbka /stale 15HGM - SW18/, po implantacji próbek jonami azotu  $N^+$  następuje wzrost sił stycznych.

Zależności między siłami stycznymi i normalnymi dla próbek obu rodzajów przyjmują postaci:

a/ według Coulomba - Amontonsa

- dla próbek implantowanych

$$t = - 0,4207 + 0,2854 p$$

- dla próbek nieimplantowanych

$$t = - 0,3796 + 0,2675 p$$

b/ według Kragelskiego

- dla próbek implantowanych<sub>2</sub>

$$t = - 0,1114 p + 0,8416 p^2$$

- dla próbek nieimplantowanych<sub>3</sub>

$$t = - 0,0828 p + 0,7415 p^3$$

#### Literatura

- [1] KRAGELSKI I.W.: Tрение и износ. Машиностроение. Москва /1968/.
- [2] PYTKO S., ZIEMBA S., WIERZCHOLSKI K., ŚRODA P.: Problemy wytrzymałości kontaktowej. PWN Warszawa /1982/.
- [3] TARKOWSKI P., FIJAŁKOWSKI S.: O pewnych aspektach zastosowania implantacji jonowej dla podwyższenia trwałości rozpylacza paliwa w silnikach z zapłonem samoczynnym. Materiały z Konferencji Autoprogres 83/84 Jadwisin /1984/.