ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 50 Nr kol. 1607

Mirosław WITASZEK, Kazimierz WITASZEK, Stanisław WITASZEK

# ZUŻYCIE ELEMENTÓW ZE STALI 45 W WARUNKACH TARCIA SUCHEGO

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań zużycia stali 45. Badania przeprowadzono na stanowisku typu trzpień – tarcza, przy suchym tarciu ślizgowym. Zużycie próbek określono dwiema metodami: za pomocą czujnika przemieszczenia i metodą wagową. W celu wyjaśnienia zagadnień związanych z mechanizmami zużycia przeprowadzono badania metalograficzne zużytych powierzchni ścieranych elementów.

# WEAR OF 45 GRADE STEEL ELEMENTS BY DRY FRICTION

**Summary.** This paper presents results of wear tests of 45 grade steel. These tests have been carried out on pin-on-disc machine in dry, sliding conditions. Two methods of wear determining have been used: with the aid of displacement transducer and analytical balance. To highlight problems connected with wear mechanisms metallographic researches of worn surfaces have been carried out.

## 1. WPROWADZENIE

Zużycie współpracujących elementów jest czynnikiem ograniczającym ich trwałość. Jak podano w pracy [1], we właściwie skonstruowanych obiektach mechanicznych zużycie wywołane tarciem może być nawet w 80 do 90% przyczyną utraty ich własności użytkowych. Skojarzeniem charakteryzującym się intensywnym zużyciem elementów jest para cierna koło kolejowe – szyna. Koła i szyny kolejowe wykonywane są ze stali węglowych spełniających wymagania normy PN-84/H-84027. W ramach niniejszej pracy przeprowadzono badania zużycia stali 45, którą wykorzystuje się do modelowania pary ciernej koło – szyna [3].

Celem badań było wyznaczenie podstawowych charakterystyk procesu zużycia próbek wykonanych ze stali 45, nieobrobionej cieplnie, przy suchym tarciu ślizgowym. Tarcie ślizgowe, suche może występować pomiędzy kołami i szynami przy rozruchu i hamowaniu pociągów [4, 5]. Dodatkowym celem badań było porównanie wagowej metody pomiaru zużycia z metodą opartą na pomiarze przemieszczenia współpracujących elementów.

## 2. BADANIA ZUŻYCIA

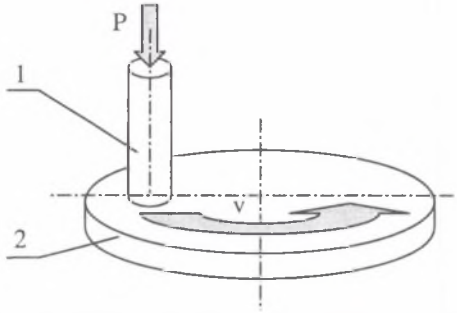
Skład chemiczny badanej stali 45 w zestawieniu z wymogami normy PN-93/H-840191 podano w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny badanej stali 45 oraz wymagania normy PN-93/H-840191

| | Skład chemiczny % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | Mn | Si | P | S |
| Badana stal | 0,477 | 0,780 | 0,288 | 0,022 | 0,011 |
| Wymagania normy | 0,42÷0,50 | 0,50÷0,80 | 0,10÷0,40 | max 0,040 | max 0,040 |

Próbki do badań zużycia miały kształt trzpienia o wymiarach $\phi 8 \times 40$ mm oraz tarczy o wymiarach $\phi 46 \times 4$ mm. Średnica trzpienia wynosiła 8 mm, a tarczy 46 mm. Schemat układu trybologicznego przedstawiono na rys. 1.



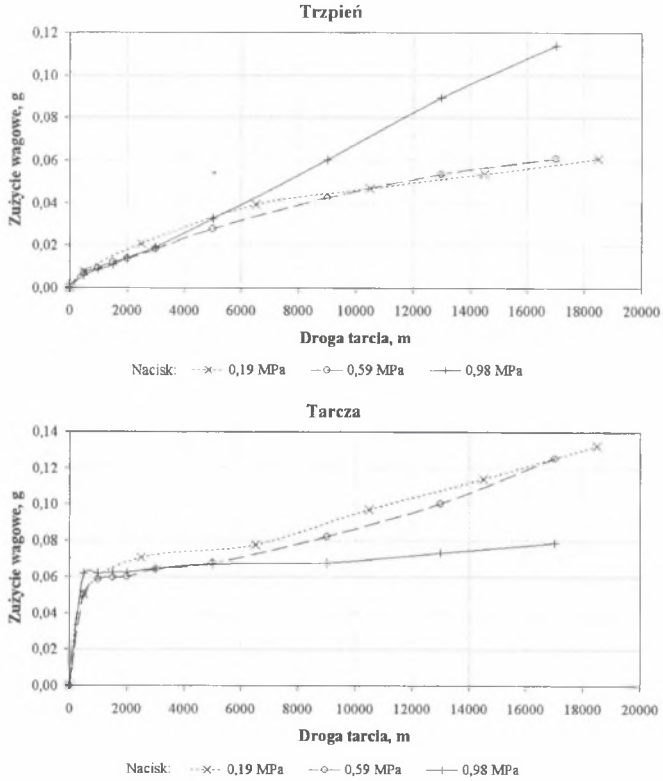

Rys. 1. Schemat układu trybologicznego trzpień - tarcza
1 - trzpień, 2 - tarcza, P - obciążenie, v - prędkość obwodowa
Fig. 1. Scheme of pin-on-disc, tribological system
1- pin, 2- disk, P - load, v - peripheral speed

Badania przeprowadzono na stanowisku typu T-01M skonstruowanym w Instytucie Technologii Eksploatacji w Radomiu. Parametrami zadawanymi w biegach badawczych były: obciążenie, prędkość obwodowa współpracujących elementów oraz droga tarcia. W badaniach przyjęto następujące wartości tych parametrów:

- obciążenie 10 do 50 N, zapewniające nacisk od 0,19 do 0,98 MPa,
- prędkość obwodowa od 0,5 do 2 $m \cdot s^{-1}$,
- droga tarcia od 500 do 4000 m.

Podczas badań rejestrowano ilość obrotów tarczy, siłę tarcia, temperaturę w pobliżu węzła tarcia oraz przemieszczenie trzpienia względem obudowy stanowiska. Po każdym biegu badawczym określano zużycie wagowe próbek za pomocą wagi analitycznej z dokładnością

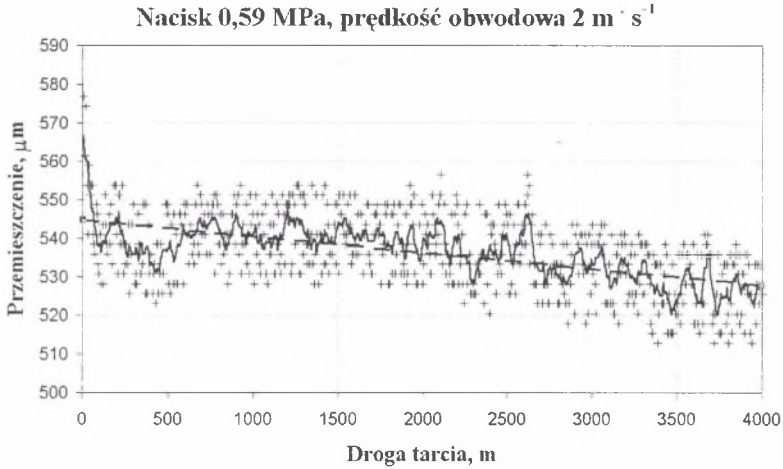
do 0,0001 g. Wykonywano również zdjęcia cyfrowe powierzchni roboczych trzpienia i tarczy. Przykładowe wyniki badań zużycia wagowego przedstawiono na rys. 2.




Rys. 2. Zużycie wagowe trzpienia i tarczy w funkcji drogi tarcia dla prędkości obwodowej $2\ m \cdot s^{-1}$

Fig. 2. Mass loss of pin and disk vs. sliding distance for peripheral speed $2\ m \cdot s^{-1}$

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe wyniki badań zużycia liniowego, wykonanych czujnikiem przemieszczenia trzpienia podczas jednego biegu badawczego, pomiędzy kolejnymi pomiarami zużycia wagowego. Jak wynika z rys. 3, ilość danych jest w przypadku tej metody znacznie większa niż dla pomiarów zużycia wagowego. Występuje jednak znacznie większy rozrzut wyników pomiarów spowodowany między innymi drganiami stanowiska. Zachodziła więc konieczność aproksymacji wyników, co dokonano metodą średniej ruchomej (linia ciągła) oraz funkcji liniowej (linia przerywana) (rys. 3).




Rys. 3. Zależność przemieszczenia trzpienia od drogi tarcia podczas jednego biegu badawczego
Fig. 3. Pin displacement vs. sliding distance during a test run

## 3. ANALIZA WYNIKÓW

Jak wynika z rys. 3, całkowite przemieszczenie trzpienia wywołane zużyciem wynosi kilkanaście µm, podczas gdy rozrzut wyników pomiarów jest około dwukrotnie większy. Wady tej nie ma metoda wagowa (rys. 2). Można więc powiedzieć, że metoda wagowa cechuje się większą dokładnością. Jej wadą natomiast jest konieczność demontażu próbek, co sprawia, że pomiar zużycia może być dokonywany po zatrzymaniu stanowiska, tzn. po wykonaniu biegu badawczego. Przemieszczenie trzpienia można mierzyć w trakcie badania, co jest zaletą tej pierwszej metody. Wszystko to sprawia, że ilość pomiarów zużycia dokonywanych metodą wagową jest z reguły znacznie mniejsza od ilości pomiarów wykonanych za pomocą czujnika przemieszczenia.

W celu porównania obu metod pomiaru zużycia dokonano przeliczenia zużycia wagowego trzpienia i tarczy na liniowe z zależności:

$$Z_l = \frac{Z_W}{\rho \cdot S}, \tag{1}$$

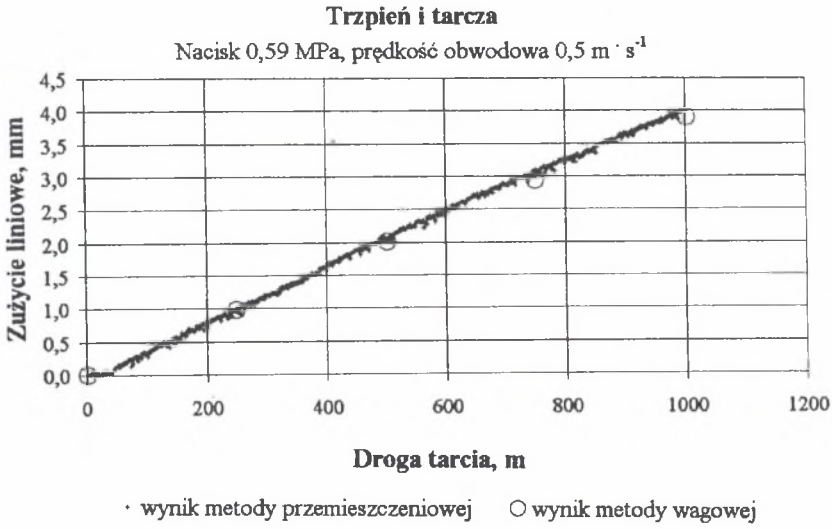
gdzie: $Z_l$ – zużycie liniowe, mm,

$Z_W$ – zużycie wagowe, g,

$\rho$ – gęstość badanego materiału, $g \cdot mm^{-3}$,

$S$ – powierzchnia robocza elementu, $mm^2$ .

Ponieważ czujnik przemieszczenia mierzy łączne zużycie trzpienia i tarczy sumowano wartości zużycia obliczone ze wzoru (1). Następnie dokonywano porównania zużycia określonego obiema metodami, co przedstawiono na rys. 4.




Rys. 4. Porównanie łącznego zużycia trzpienia i tarczy określonego obiema metodami
Fig. 4. Comparison of common pin and disk wear determined with the two methods

Porównanie to wykazało znaczną zgodność obu metod w przypadku pomiarów zużycia o dużej intensywności, jak na rys. 4. Natomiast przy mierzeniu małych zużyć, jak na rys. 2 i 3, niewielka dokładność pomiarów przemieszczenia prowadzi do znacznych rozbieżności wyników. Z tych względów do określenia liniowej intensywności zużycia wykorzystano wyniki pomiarów wagowych.

Liniową intensywność zużycia obliczono ze wzoru:

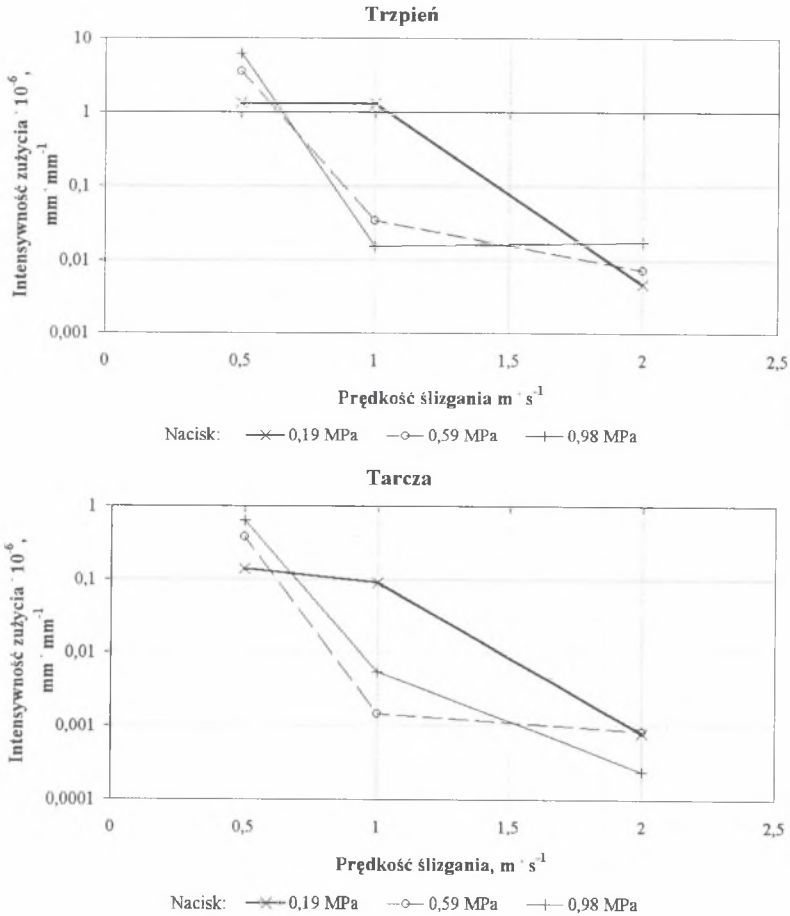
$$I = \frac{\Delta Z_l}{\Delta l}, \tag{2}$$

gdzie: $Z_l$ - zużycie liniowe (1), mm,

$l$ - droga tarcia, mm.

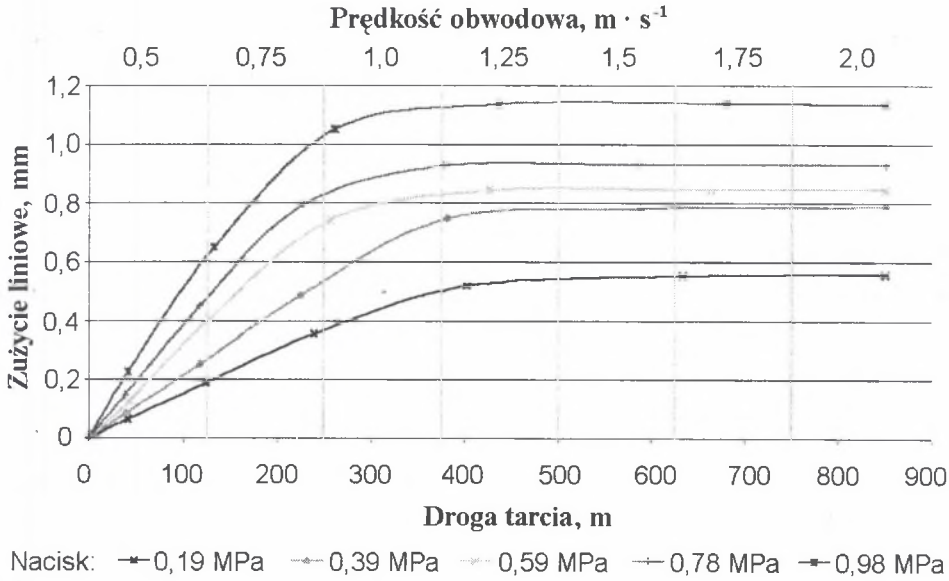
Wielkość ta opisuje nachylenie zależności zużycia liniowego w funkcji drogi tarcia.

Jak wynika z rys. 2 do 4, zużycie trzpienia i tarczy charakteryzuje się występowaniem fazy docierania, w której intensywność zużycia ulega widocznym zmianom, oraz fazy zużycia ustabilizowanego, o w przybliżeniu stałej intensywności zużycia. Na rys. 5 przedstawiono zależność liniowej intensywności zużycia trzpienia i tarczy od nacisku oraz prędkości obwodowej.




Rys. 5. Intensywność zużycia trzpienia i tarczy w funkcji prędkości i siły nacisku
Fig. 5. Wear rate of pin and disk vs. sliding velocity and load

Z rys. 5 wynika, że zwiększenie lub zmniejszenie obciążenia i prędkości wywołują zmiany intensywności zużycia badanych próbek. Zmiany te mogą dochodzić nawet do trzech rzędów wielkości. Przy prędkości 0,5 m · $s^{-1}$ zużycie charakteryzuje się dużą intensywnością. Zużycie takie określa się jako „intensywne" [1]. Dla prędkości równej 2 m · $s^{-1}$ obserwowano małą intensywność zużycia. Jest to tzw. zużycie „słabe" [1]. Natomiast przy prędkości 1 m · $s^{-1}$ w zależności od nacisku, obserwowano zużycia słabe lub intensywne. Aby określić warunki przejścia jednej odmiany zużycia w drugą, przeprowadzono badania, w których stopniowo zwiększano prędkość bez zatrzymywania stanowiska i demontowania próbek. W związku z tym zużycie określano za pomocą pomiaru przemieszczenia trzpienia. Wyniki tych badań przedstawiono na rys. 6.




Rys. 6. Wpływ nacisku i prędkości obwodowej na zużycie liniowe w funkcji drogi tarcia
Fig. 6. Influence of pressure and peripheral speed on linear wear vs. sliding distance

Jak wynika z rys. 6, przejście zużycia intensywnego w słabe występuje przy prędkości od 1 do 1,25 m $\cdot$ s$^{-1}$. Zwiększenie nacisku zmniejsza nieznacznie prędkość obwodową, przy której ono następuje. Przyczyną tego przejścia jest zmiana wiodącego mechanizmu decydującego o zużyciu. Potwierdzają to wyniki obserwacji zużytych powierzchni. Zużycie intensywne charakteryzowało się metalicznymi powierzchniami roboczymi. Zgodnie z wynikami przedstawionymi w pracy [6], wiodącym mechanizmem zużycia jest wówczas adhezja II rodzaju. Natomiast przy zużyciu słabym współpracujące powierzchnie były pokryte ciemnym nalotem, a zużycie następuje głównie przez utlenianie [6].

## 4. UWAGI KOŃCOWE

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają stwierdzić, że pomiary zużycia metodą wagową i metodą przemieszczeń cechują się określonymi zaletami i wadami. Pomiary wagowe wykazują niewielki rozrzut, dzięki czemu ich dokładność jest wysoka, jednakże mogą być wykonywane jedynie pomiędzy biegami badawczymi. Tą metodą można określać oddzielnie zużycie obu elementów pary ciernej. Natomiast za pomocą czujnika przemieszczenia można w sposób ciągły rejestrować łączne zużycie próbek podczas biegu badawczego. Na wyniki tych pomiarów duży wpływ wywierają drgania stanowiska oraz

zmiany wymiarów próbek przy wzroście lub spadku ich temperatury. Obniża to dokładność tych pomiarów, zwłaszcza gdy intensywność zużycia jest niewielka. O wyborze metody powinny więc decydować cel i warunki badań.

Stal 45, w badanym zakresie prędkości obwodowej i nacisku, wykazuje dwie odmiany zużycia, różniące się znacznie intensywnością. Wiodącym mechanizmem zużycia o wysokiej intensywności jest adhezja, podczas gdy przy niskiej intensywności dominuje utlenianie. Intensywne zużycie badanej stali obserwowano dla niskich prędkości poślizgu. Przy prędkości przekraczającej 1,25 $m \cdot s^{-1}$ obserwowano tzw. zużycie słabe.

**Literatura**

1. Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach tarcia. Praca zbiorowa pod redakcją W. Zwierzyckiego. PWN, Warszawa - Poznań 1990.
2. PN-84/H-84027. Stal dla kolejnictwa.
3. Kulikowski H., Sorochtej M.: Badania zużycia materiałów na koła jezdne pojazdów szynowych. W: XII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe", tom 2. Rydzyna 21-24.10.1996, s. 161-166.
4. Perchuć L., Sitarz M.: Badania laboratoryjne i eksploatacyjne poślizgu kół napędowych pojazdów szynowych. W: Międzynarodowa konferencja „Transport '97". Katowice – Ostrava 29.04 – 06.05.1997, s. 483-491.
5. Ivanov I., Sitarz M.: Stan aktualny trwałości i niezawodności kół kolejowych zestawów kołowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria: Transport, z. 27, Gliwice 1995, s. 119-131.
6. Łuczak A., Mazur T.: Fizyczne starzenie elementów maszyn. WNT, Warszawa 1981.

Recenzent: Dr hab. inż. Franciszek Binczyk
Profesor nzw. Politechniki Śląskiej

**Abstract**

Pin-on-disc wear tests of steel grade 45 have been carried out. Two regimes of wear have been determined. Mild, oxidative wear for low speeds and severe, adhesion one for high velocities. Two methods of wear measuring were used. Method of specimen weighing has been found to more accurate, especially for measuring mild wear. Measurements of wear with the aid of displacement transducer are sensitive to machine vibrations but enable continual monitoring of war during test run.