

Mirosław WITASZEK, Kazimierz WITASZEK

WPLYW ATMOSFERY I TEMPERATURY OTOCZENIA WĘZŁA TARCIA NA ZUŻYCIE STALI 45

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia próbek wykonanych ze stali 45 nieobrobionej i obrobionej cieplnie. Badania przeprowadzono w układzie typu trzpień – tarcza, na stanowisku T-11. Umożliwia ono regulowanie temperatury otoczenia węzła tarcia i składu atmosfery tego otoczenia. Trzpień wykonany ze stali 45 współpracowały z tarczami ze stali ŁH15. Nacisk i prędkość były stałe podczas badań. Zużycie trzpieni określano metodą wagową. Na podstawie wyników badań wyznaczono zależność intensywności zużycia próbek od temperatury otoczenia węzła tarcia przy tarcu w atmosferze powietrza i argonu.

THE INFLUENCE OF ATMOSPHERE AND AMBIENT TEMPERATURE ON WEAR OF STEEL GRADE 45

Summary. In this paper wear tests results of steel grade 45 have been presented. Some of the specimens were heat treated whereas other ones weren't. Tests were carried out on pin – on – disk wear testing machine type T – 11, which enabled ambient temperature and atmosphere controlling. Pins, machined from steel grade 45 were run against disks from steel ŁH15. Load and velocity during tests were constant. Mass loss of pins was measured after each run. On the basis of test results, the influence of ambient temperature and atmosphere on wear rate of specimens has been determined.

1. WPROWADZENIE

Na zużywanie się elementów par ciernych mogą składać się różne procesy, zwane mechanizmami zużywania [1, 2]. Jednym z nich jest powstawanie i wykruszanie się warstw tlenków [3 - 5]. W przypadku elementów wykonanych ze stopów żelaza, współpracujących w warunkach tarcia technicznie suchego, zjawisko to występuje powszechnie [5]. W zależności od warunków współpracy i własności materiałów trących się elementów, utlenianie może być główną przyczyną oddzielania się materiału z powierzchni roboczych lub mieć niewielki udział w mechanizmach zużywania [5, 6]. Utlenianie wywiera znaczący wpływ na intensywność procesu zużywania się współpracujących elementów i może decydować o ich trwałości [7 – 9].

Badania zużywania się i trwałości elementów maszyn, a szczególnie pojazdów, były przedmiotem wielu prac prowadzonych w Katedrze Eksploatacji Pojazdów. Elementem tych

eksperymentów były modelowe badania laboratoryjne zużycia materiałów [10 – 12]. Na ich podstawie określono zależność zużycia, jego intensywności oraz mechanizmów, od parametrów materiału i warunków pracy, takich jak nacisk czy prędkość ślizgania. Innymi czynnikami decydującymi o intensywności zużywania jest temperatura otoczenia pary ciernej i skład chemiczny atmosfery, w której przebiega proces tarcia suchego [5, 13]. Określenie wpływu tych czynników na intensywność zużycia stali 45 było celem badań, których wyniki zaprezentowano w niniejszej pracy.

2. BADANIA ZUŻYCIA

Badania zużywania się stali 45 przeprowadzono na stanowisku typu T-11, produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. Stanowisko to pracuje w układzie trzpień – tarcza. Schemat układu badawczego stanowiska przedstawiono w pracach [8, 12]. Układ ten umieszczony jest w komorze z grzałką (rys. 1), co pozwala na prowadzenie badań w podwyższonej temperaturze. Stanowisko przystosowane jest również do regulowania składu chemicznego atmosfery we wspomnianej komorze.

Z badanego materiału wykonano trzpienie o średnicy 3 mm, które współpracowały z tarczami ze stali ŁH15. Przeprowadzono dwie serie badań. W jednej użyto stali 45 w stanie nieobrobionym cieplnie, a w drugiej - poddanej ulepszeniu cieplnemu. Próbkę hartowano w wodzie z temperatury 800°C. Odpuszczanie wykonano w temperaturze 400°C, w czasie 60 min.

Skład chemiczny badanej stali, ustalony na podstawie analizy wytopowej, podano w tabeli 1. Twardość materiału użytego do wykonania trzpieni i tarcz przedstawiono w tabeli 2. Twardość jest średnią z trzech pomiarów.

Tabela 1

Skład chemiczny badanej stali 45, % mas.

Stal	C	Mn	Si	P	S
45	0,477	0,780	0,288	0,022	0,011

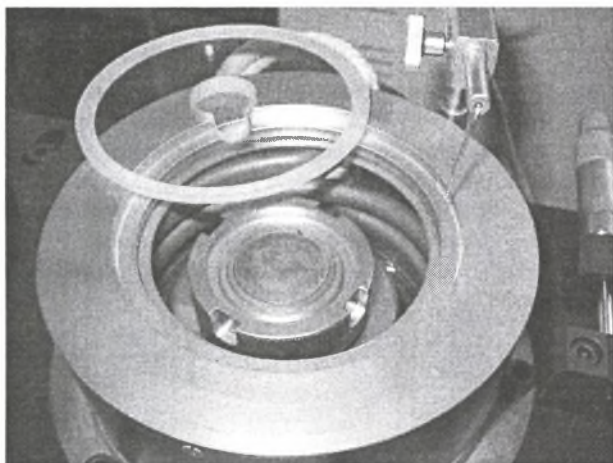
Tabela 2

Twardość materiału trzpienia i tarczy

Element	Gatunek stali	Stan	Twardość, HV1
Trzpień	45	bez obróbki cieplnej	260
		po obróbce cieplnej	407
Tarcza	ŁH15	po obróbce cieplnej	769

Część badań wykonano w atmosferze powietrza, a pozostałe stosując ciągielny nadmuch argonu do komory. Parametrami określającymi warunki pracy pary ciernej były: obciążenie, prędkość liniowa, droga tarcia oraz temperatura gazu stanowiącego otoczenie badanych elementów. W badaniach przyjęto następujące wartości tych parametrów:

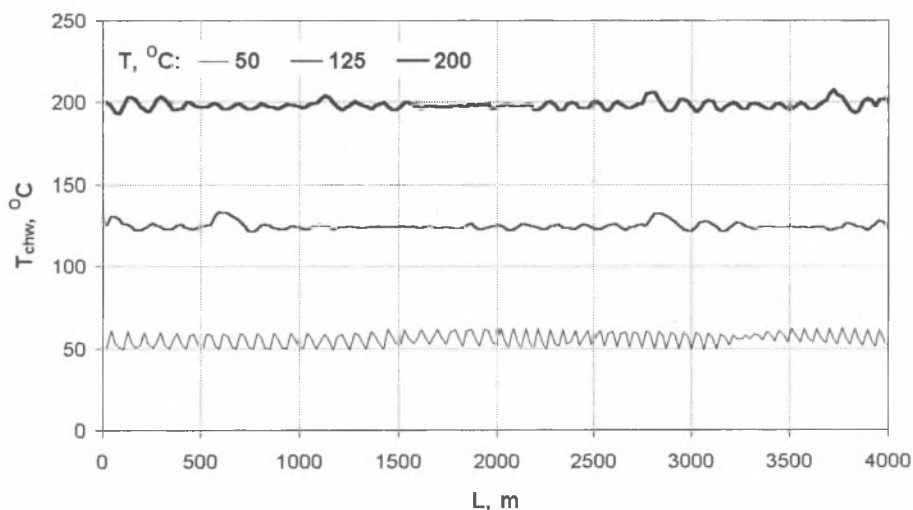
- obciążenie 19,62 N, zapewniające nacisk 2,78 MPa,
- prędkość liniowa $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- droga tarcia jednego biegu badawczego od 500 do 4000 m,
- temperatura otoczenia węzła tarcia 50, 125 i 200°C.



Rys. 1. Widok komory z grzałką do prowadzenia badań tarcia w podwyższonej temperaturze na stanowisku T-11

Fig. 1. A view of the chamber with heater for friction tests in raised, ambient temperatures (tester T-11)

Podczas badań rejestrowano ilość obrotów tarczy oraz chwilowe wartości siły tarcia i temperatury otoczenia węzła tarcia. Przykładowe wyniki pomiarów temperatury przedstawiono na rys. 2. Po każdym biegu badawczym określano ubytek masy próbek, za pomocą wagi analitycznej, o dokładności 0,0001 g. Wykonywano również zdjęcia cyfrowe powierzchni roboczych trzpienia i tarczy. Przykładowe wyniki badań ubytku masy trzpieni ze stali 45 przedstawiono na rys. 3.



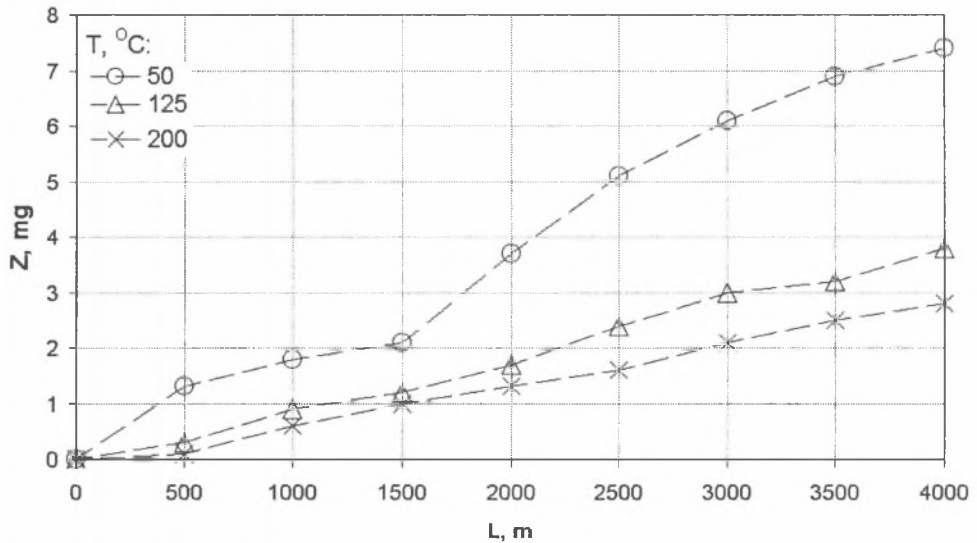
Rys. 2. Przykładowe wyniki pomiarów temperatury otoczenia węzła tarcia (T_{chw}) dla nominalnych jej wartości równych 50, 125 i 200°C podczas biegów badawczych w powietrzu

Fig. 2. An example of results of ambient temperature measurements (T_{chw}) for it's nominal values of 50, 125 i 200°C and friction in air

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Z rys. 2 wynika, że występują niewielkie wahania temperatury gazu stanowiącego otoczenie wężła tarcia. Powstają one wskutek działania układu regulacji temperatury, dzięki okresowemu załączaniu i wyłączaniu się grzałki w komorze otaczającej węzeł tarcia.

Dane zaprezentowane na rys. 3 wskazują na to, że podwyższenie temperatury otoczenia wężła tarcia obniża zużycie masowe trzpienia. Na rysunku tym widoczne są również zmiany nachylenia linii opisującej zależność zużycia masowego trzpienia w funkcji drogi tarcia. Największe zmiany, wynikające z docierania się elementów wężła tarcia, zaobserwowano na początku biegów badawczych.



Rys. 3. Ubytek masy (Z) w funkcji drogi tarcia (L) trzpienia wykonanego ze stali 45, obrobinie cieplnie, dla tarcia w powietrzu przy prędkości $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, nacisku $2,78 \text{ MPa}$ i trzech wartościach temperatury otoczenia wężła tarcia (T)

Fig. 3. Mass loss (Z) vs. sliding distance (L) of the heat-treated pins, for friction in air, sliding velocity $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, pressure $2,78 \text{ MPa}$ and three values of ambient temperature (T)

W celu przeprowadzenia analizy wpływu temperatury otoczenia wężła tarcia i rodzaju atmosfery wyznaczono intensywność zużycia liniowego trzpienia, którą określono za pomocą regresji liniowej wyników badań zużycia, opisanych zależnością:

$$Z_l = Z_0 + I \cdot L, \quad (1)$$

gdzie: L – droga tarcia, mm,

Z_0 i I – współczynniki liniowej regresji, z których I stanowi obliczaną intensywność zużycia liniowego trzpienia, mm/mm,

Z_l – zużycie liniowe wyrażone w mm, określane z zależności (2):

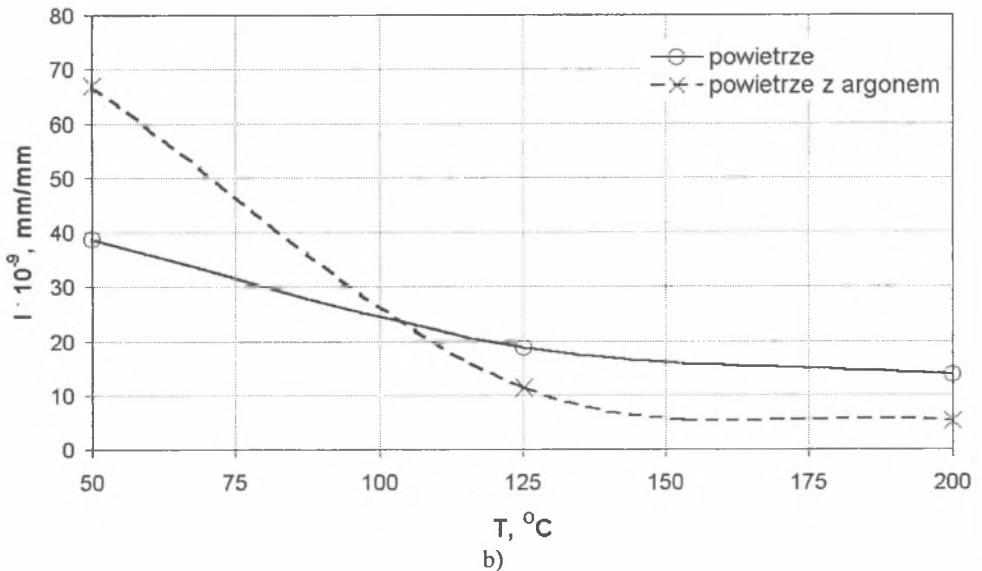
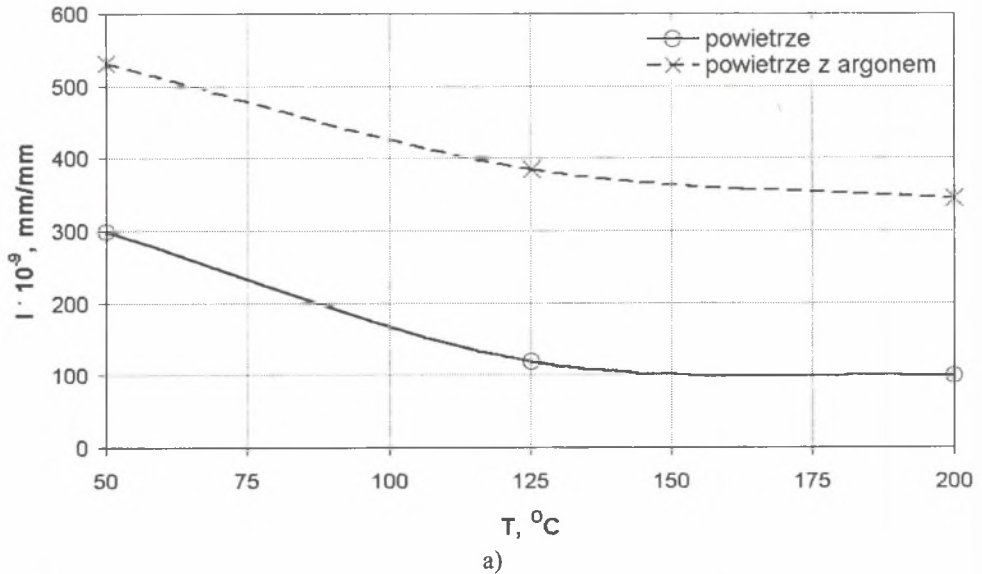
$$Z_l = \frac{Z_W}{\rho \cdot S}, \quad (2)$$

Z_w – ubytek masy, g,

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

S – powierzchnia tarcia elementu, mm^2 .

Omawianą intensywność zużycia określono opierając się na wynikach badań zużycia ustalonego. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Intensywność zużycia (I) trzpienia w funkcji temperatury otoczenia węzła tarcia (T): a) stal 45 nieobrobiona cieplnie, b) stal 45 obrobiona cieplnie

Fig. 4. Wear rate (I) of pin vs. ambient temperature (T): a) steel grade 45 not treated, b) heat-treated steel grade 45

Z rys. 4 wynika, że intensywność zużycia stali 45 nieobrobionej cieplnie jest o rząd wielkości większa, niż stali poddanej ulepszeniu cieplnemu. Przyczyną tego może być większy udział intensywniej odmiany zużywania ściernego w mechanizmach zużywania, dla stali o mniejszej twardości. Odmiana ta, zwana mikroskrawaniem, polega na wgniataniu znacznie twardszych wierzchołków nierówności powierzchni współpracującej w powierzchnię badanego materiału i jego oddzielaniu w formie wiórków podczas ruchu trących się elementów. W pracy [1] podano, że duża różnica twardości współpracujących elementów sprzyja dominacji takiej odmiany zużywania ściernego w mechanizmach zużycia. Towarzyszy temu wysoka intensywność ubytku masy współpracujących elementów.

Tworzenie się twardej warstwy tlenków na powierzchni badanej stali może ograniczać to zużycie oraz przeciwdziałać adhezji poprzez zmniejszenie ilości kontaktów metalicznych nierówności. Może o tym świadczyć wyraźne zwiększenie się intensywności zużycia stali nieobrobionej cieplnie przy zastosowaniu nadmuchu argonu do komory, w której znajdowała się para cierna (rys. 4a). Obecność argonu zmniejszyła zawartość tlenu w atmosferze otaczającej parę cierną, ograniczając możliwości tworzenia się tlenków.

Wyniki zaprezentowane na rys. 4 świadczą o zmniejszaniu się intensywności zużycia trzpienia z podwyższaniem się temperatury otoczenia wężła tarcia. Podobny skutek wywiera zwiększenie prędkości liniowej tarczy względem trzpienia, co stwierdzono w pracach [12, 13]. Według pracy [5], może on wynikać z intensyfikowania się procesu utleniania powierzchni roboczych. W takim przypadku warstwa tlenków ma znacznie większą grubość. Zmniejszenie się intensywności zużywania stali z podwyższaniem temperatury, przy współpracy w obecności argonu, może świadczyć o występowaniu tlenu w otoczeniu wężła tarcia.

Obecność twardych, wykruszonych fragmentów warstwy tlenków może w pewnych warunkach zwiększać intensywność zużycia ściernego trących się powierzchni. Wpływ ten występuje w przypadku stali 45 obrobionej cieplnie dla temperatury otoczenia równej 125°C i 200°C. Jak wynika z rys. 4b, intensywność zużycia stali przy tarcu w powietrzu jest wówczas wyższa niż w argonie.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Analiza wyników badań zaprezentowanych w pracy pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Podwyższenie temperatury otoczenia wężła tarcia powoduje zmniejszenie intensywności zużywania badanej stali 45, przy współpracy ze stalą ŁH15. Przyczyną tego może być intensyfikowanie się procesu utleniania zachodzącego na współpracujących powierzchniach.
2. Zmniejszenie udziału tlenu w atmosferze, w której pracuje węzeł tarcia, osiągnięte poprzez wprowadzenie do niej argonu, powoduje zwiększenie intensywności zużycia stali o niewielkiej twardości (260 HV). Może być to spowodowane ograniczeniem udziału utleniania w mechanizmach zużycia. Podobne zjawisko występuje w przypadku stali 45 hartowanej i odpuszczanej, o twardości 407 HV, przy temperaturze otoczenia wężła tarcia mniejszej niż 100°C.
3. W temperaturze przekraczającej 100°C zużycie stali 45, obrobionej cieplnie, w powietrzu jest większe niż w atmosferze zawierającej tlen i argon. Przyczyną tego może być wykruszanie się warstw tlenków, wskutek czego między trącymi się powierzchniami występują cząstki ścierniwa. Większa ilość takich cząstek może powstawać przy tarcu w atmosferze powietrza.

4. Zmniejszenie intensywności zużywania z podwyższeniem temperatury otoczenia (które sprzyja utlenianiu), może też wynikać z obniżenia twardości tlenków [5].
5. Twardość stali 45 wywiera decydujący wpływ na jej zużycie. Zwiększenie twardości z 260 HV do 407 HV obniża intensywność zużywania o rząd wielkości.
6. Konieczne są dalsze badania tarcia i zużycia stali 45. Pozwolą one na dokładniejsze ustalenie zależności zużycia od parametrów materiału i warunków współpracy.

Literatura

1. Czichos H.: Tribology a system aproach to the science and technology of friction, lubrication and wear. Elsevier Amsterdam – Oxford – New York 1978.
2. DIN 50 320. Verschleiß. Begriffe, Systemanalyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes.
3. Papaphilippou C., Vardavoulias M., Jeandin M.: The influence of humidity and the role of debris in the unlubricated wear of ductile cast iron against alumina. *Wear*, 177 (1994), s. 151-157.
4. Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach tarcia. Praca zbiorowa pod redakcją W. Zwierzyckiego. PWN, Warszawa - Poznań 1990.
5. Łuczak A., Mazur T.: Fizyczne starzenie elementów maszyn. WNT, Warszawa, 1981.
6. Lim S.C.: The relevance of wear - mechanism maps to mild – oxidational wear. *Tribology International* 35 (2002), s. 717-723.
7. M. Witaszek, K. Witaszek: Zużycie w układzie koło – szyna bez i z obecnością efektów utleniania. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport*, z. 56, Gliwice 2004, s. 53-60.
8. M. Witaszek, K. Witaszek, S. Witaszek: Badania wpływu warunków współpracy na zużycie stali 55 przy suchym tarciu ślizgowym. W: XII Międzynarodowa Konferencja „Trwałość Elementów i Węzłów Konstrukcyjnych Maszyn Górniczych TEMAG 2004, Ustroń 26 – 28.10.2004, s. 227-236.
9. Eyre T.S., Wilson E.: Effect of matrix structure and hardness on wear characteristics of S.G. cast iron. *Wear*, 14 (1969), s. 107 - 117.
10. Witaszek M., Witaszek K., Stanik Z.: Prognozowanie zużycia elementów z żeliwa sferoidalnego. W: IX Seminarium Naukowe „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej. Katowice 11.05.2001, s. 165-168.
11. Adamiec P., Dziubiński J., Bąkowski H.: Odporność żeliw chromowych na zużycie w układzie metal – metal. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport*, z.44, Gliwice 2002, s.5-14.
12. M. Witaszek, K. Witaszek, S. Witaszek: Zużycie elementów ze stali 45 w warunkach tarcia suchego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport*, z. 50, Gliwice 2003, s. 35-42.
13. Krause H., Poll G.: Wear of wheel – rail surfaces. *Wear*, 113 (1986), s. 103 – 122.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Franciszek Binczyk