

Dymitry CAPANIDIS*

**TRIBOLOGICZNE BADANIA
WIELOSŁADNIKOWEGO KOMPOZYTU
NA OSNOWIE POLIOKSYMETYLENU
PODCZAS TARCIA ZE STALĄ**

**TRIBOLOGICAL RESEARCH OF MULTICOMPONENT
COMPOSITE ON A POLYOXYMETHYLENE BASE DURING
FRICTION WITH STEEL**

Słowa kluczowe:

POM, kompozyt ślizgowy, proszek PTFE, proszek brązu, włókno szklane, tarcie, zużycie

Key-words:

POM, sliding composite, powder PTFE, powder bronze, glass fibre, friction, wear

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu nacisku jednostkowego p , prędkości ślizgania v i parametru chropowatości Ra stalowego przeciwelementu na tribologiczne właściwości wieloskładniko-

* Politechnika Wrocławska, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, ul. I. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław, tel. (071) 320 27 72.

wego kompozytu na osnowie polioksymetylenu (POM). Badany kompozyt zawierał: 60% obj. POM + 12% obj. proszku PTFE + 20% obj. proszku brązu + 8% obj. wypełniacza szklanego (50% włókien szklanych i 50% mikrokulek szklanych). Badania tribologiczne realizowano na tribometrze typu „pin on disk” w zmiennych warunkach wymuszeń procesu tarcia technicznie suchego po stali. Jako wielkości wyjściowe w badaniach przyjęto: intensywność zużycia liniowego I_h , współczynnik tarcia μ oraz końcową temperaturę badanych par trących T_t . W realizacji tych badań wykorzystano plan rotalny eksperymentu na 5 poziomach dla 3 zmiennych. Na podstawie wyników badań wyznaczono wielowymiarowe funkcje regresji (o postaci wielomianu drugiego stopnia), które umożliwiły opracowanie charakterystyk tribologicznych w postaci wykresów przestrzennych i warstwicznych. Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ wartości przyjętych wielkości wejściowych na właściwości tribologiczne badanego skojarzenia ślizgowego. Opracowane charakterystyki tribologiczne mogą być pomocne w optymalnym kształtowaniu cech geometrycznych węzłów ślizgowych wykorzystujących badane skojarzenie i w określaniu ich granicznych warunków eksploatacji.

WPROWADZENIE

Właściwości tribologiczne polimerowych kompozytów ślizgowych współpracujących ze stalą w warunkach tarcia bez smarowania zależą nie tylko od ich składu chemicznego [L. 1, 2, 3], ale również od wartości wymuszeń procesu tarcia, między innymi takich jak średni nacisk jednostkowy p i względna prędkość ślizgania v [L. 4, 5, 6] oraz od stanu powierzchni stalowego przeciwelementu, określanego w zastosowaniach technicznych najczęściej parametrem chropowatości Ra [L. 7, 8, 9]. Wynika to z tego, że podczas tarcia kompozytów POM ze stalą następują zmiany struktury warstwy wierzchniej (WW) tych kompozytów, co ma zasadniczy wpływ na przebieg samego procesu tarcia, jak i w konsekwencji także na właściwości tribologiczne skojarzenia ślizgowego [L. 10, 11]. W zasadzie jedynym pewnym źródłem informacji dotyczących właściwości tribologicznych par polimerowo-stalowych są ich charakterystyki tribologiczne uzyskiwane na podstawie badań doświadczalnych, które wykorzystuje się zarówno w procesie projektowania, jak i w eksploatacji węzłów ślizgowych [L. 12, 13]. Badania opisane w pracach [L. 6, 10, 11] dotyczyły przede wszystkim wpływu składu kompozytów POM w określonych

warunkach tarcia, o ustalonych wartościach p oraz v (prowadzone na trzech etapach; I etap: $p = 1$ MPa, $v = 1$ m/s; II etap: $p = 5$ MPa, $v = 1$ m/s; III etap: $p = 1$ MPa, $v = v_{\max}$, gdzie v_{\max} była maksymalną prędkością ślizgania danego kompozytu niepowodującą jeszcze jego zużycia (cieplnego)). W tym artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych czteroskładnikowego kompozytu ślizgowego POM, w których do określenia charakterystyk tribologicznych wykorzystano czynny eksperyment planowany.

CEL BADAŃ

Celem badań tribologicznych było wyznaczenie charakterystyk tribologicznych najlepszego spośród badanych kompozytów na osnowie POM, o składzie zbliżonym do optymalnego, tj.: 60% obj. POM + 12% obj. proszku PTFE + 20% obj. proszku brązu + 8% obj. wypełniacza szklanego (włókno szklane i mikrokulki szklane w równych udziałach wagowych) [L. 11].

Charakterystyki te będą obejmowały funkcyjne zależności: intensywności zużycia liniowego I_h , wartości współczynnika tarcia μ oraz temperatury podczas tarcia T_t od nacisku jednostkowego p , względnej prędkości ślizgania v i od wartości parametru chropowatości Ra powierzchni stalowego przeciwelementu ślizgowego.

METODYKA BADAŃ

Tribologiczne badania kompozytu prowadzono na urządzeniu T-01 typu „pin on disc” [L. 14] w warunkach tarcia technicznie suchego po stali C45 o twardości 45 ± 1 HRC. Przyjęcie takiej twardości stalowego przeciwelementu wynikało z jego odpowiedniej odporności na zużywanie, ponieważ elementem wymiennym podczas eksploatacji węzłów ślizgowych jest zwykle element wykonany z materiału ślizgowego. Jako parametry zmienne w badaniach przyjęto następujące wielkości wejściowe i zakresy zmienności ich wartości:

- średni nacisk jednostkowy: $p = 0,5 \div 2,5$ MPa,
- względna prędkość ślizgania: $v = 0,5 \div 2,5$ m/s,
- chropowatość powierzchni przeciwpróbek: $Ra = 0,20 \div 1,0$ μm .

Zakresy wartości tych parametrów określono uwzględniając własności cieplne i tribologiczne POM oraz na podstawie wstępnych badań rozpoznawczych. Wielkościami wyjściowymi były: intensywność zużycia

liniowego próbek I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$], wartość współczynnika tarcia μ oraz końcowa temperatura podczas tarcia T_t [$^{\circ}\text{C}$] (mierzona w przeciwpróbce w odległości 1 mm pod ścieżką tarcia), przy czym początkowa temperatura podczas tarcia była równa temperaturze otoczenia $22\pm 2^{\circ}\text{C}$. Przyjęta droga tarcia (5000 m) nie uwzględniała okresu docierania par ślizgowych. Drogę tarcia zwiększano w tych układach eksperymentu, w których wartości zużycia były bardzo małe, a więc byłyby określane z dużym błędem względnym.

Do określenia wpływu przyjętych parametrów ruchowych na właściwości tribologiczne badanego skojarzenia ślizgowego wykorzystano plan rotalny eksperymentu na 5 poziomach dla 3 zmiennych niezależnych [L. 14, 15], według którego utworzono 20 układów wartości zmiennych wejściowych planu eksperymentu (przy czym 6 ostatnich układów stanowi punkt centralny eksperymentu), które jako „wejścia” przedstawiono w Tab. 1. Podany plan eksperymentu wykorzystano do czynnikowych badań tribologicznych, tzn. dla tych układów dokonywano pomiarów wielkości wyjściowych, zgodnie z przyjętymi założeniami.

Tabela 1. Wyniki tribologicznych badań oraz współczynniki funkcji regresji mierzonych wielkości

Table 1. Results of tribologic tests and rates of the function of the regression of measured values

Nr mate- riahu	WYNIKI BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH						WSPÓLCZYNNIKI FUNKCJI REGRESJI							
	WEJŚCIA			WYJŚCIA			WIELKOŚCI WYJŚCIOWYCH							
	p [MPa]	v [m/s]	R_a [μm]	I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$]	μ [-]	T_t [$^{\circ}\text{C}$]	Symbol współ.	I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$]		μ [-]		T_t [$^{\circ}\text{C}$]		
							b_k	t_k	b_k	t_k	b_k	t_k		
1	0,905	0,905	0,362	0,5	0,199	54	b_0	0,0	---	-0,309670	4,842	-86,434914	15,035	
2	2,095	0,905	0,362	3,6	0,314	106	b_1	-2,066844	3,679	0,369044	7,239	95,475044	17,324	
3	0,905	2,095	0,362	0,8	0,318	98	b_2	-1,739256	3,468	0,436999	7,920	92,019144	17,001	
4	2,095	2,095	0,362	7,6	0,236	148	b_3	4,429681	3,533	0,0	---	0,0	---	
5	0,905	0,905	0,838	0,6	0,162	50	b_4	1,315971	4,697	-0,057208	4,115	-15,902812	8,997	
6	2,095	0,905	0,838	2,4	0,227	96	b_5	2,302517	7,001	-0,120754	6,457	0,0	---	
7	0,905	2,095	0,838	1,3	0,305	95	b_6	-3,070767	3,735	0,0	---	-9,306596	5,379	
8	2,095	2,095	0,838	6,3	0,225	140	b_7	0,0	---	-0,090708	6,525	-17,902812	10,128	
9	0,5	1,5	0,6	0,15	0,215	50	b_8	0,0	---	0,092382	2,364	0,0	---	
10	2,5	1,5	0,6	7,0	0,283	139	b_9	0,0	---	-0,190994	3,818	0,0	---	
11	1,5	0,5	0,6	0,9	0,175	52								
12	1,5	2,5	0,6	3,8	0,256	133								
13	1,5	1,5	0,5	1,9	0,317	116								
14	1,5	1,5	2,5	2,6	0,321	104								
15	1,5	1,5	0,6	2,8	0,325	109								
16	1,5	1,5	0,6	1,9	0,281	107								
17	1,5	1,5	0,6	3,0	0,332	108								
18	1,5	1,5	0,6	2,0	0,328	113								
19	1,5	1,5	0,6	1,8	0,296	114								
20	1,5	1,5	0,6	2,0	0,298	112								
							$t_{kr} = 2,145$		$t_{kr} = 2,179$		$t_{kr} = 2,145$			
							dla: $v = N - N_b = 14$		dla: $v = N - N_b = 12$		dla: $v = N - N_b = 14$			
Test t - Studenta														
istotności współczynników funkcji regresji														

WYNIKI BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH

Wartości mierzonych wielkości wyjściowych w badaniach tribologicznych (I_h , μ , T_t) przedstawiono jako „wyjścia” w **Tab. 1**. W tej samej tabeli zestawiono także wartości współczynników b_0, b_1, \dots, b_9 funkcji regresji poszczególnych wielkości wyjściowych o postaci wielomianu drugiego stopnia, który dla 3 zmiennych wielkości wejściowych ma postać:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2 + b_7x_1x_2 + b_8x_1x_3 + b_9x_2x_3 \quad (1)$$

gdzie: y – wielkość wyjściowa w badaniach (I_h, μ, T_t),
 b_0, b_1, \dots, b_9 – współczynniki funkcji regresji,
 x_1, x_2, x_3 – zmienne wielkości wejściowe (oznaczające odpowiednio zmienne: p, v, Ra).

Wartości współczynników b_0, b_1, \dots, b_9 tych funkcji wyznaczano na podstawie wyników badań metodą najmniejszych kwadratów. Współczynniki funkcji oraz funkcje poddano testom statystycznym i określono ich podstawowe parametry statystyczne [**L. 15**].

Statystyczną analizę wyników badań oraz ocenę statystyczną wyznaczonych funkcji regresji podano w **Tab. 2**. W planowaniu rotalnym eksperymentu funkcje regresji z założenia są jednostajnie dokładne tylko w otoczeniu punktu centralnego planu o promieniu $\rho = 1$ unormowanych wartości wielkości wejściowych, co oznacza, że w tym obszarze wartości zmiennych wejściowych funkcje regresji mają stałą wariancję. Jeżeli zatem wszystkie zmienne przyjmują jednocześnie minimalne lub maksymalne wartości, to funkcje regresji mogą niewłaściwie odzwierciedlać rzeczywiste wartości „wyjść”. Analizując wyniki badań należy więc pamiętać o tych ograniczeniach dotyczących wyznaczonych funkcji aproksymujących wyniki badań. Wyniki badań przedstawione za pomocą funkcji regresji są przydatne przede wszystkim w komputerowych programach obliczeniowych, w których dla określonych warunków tarcia (lub założonych właściwości tribologicznych, np. dopuszczalnych wartości I_h , czy μ) wyznaczane są wartości odpowiednich wielkości [**L. 13**]. Funkcje te są mniej wygodne do tradycyjnego wykorzystania przez użytkowników. Bardziej praktyczne są charakterystyki tribologiczne w postaci różnych wykresów pozwalających wprost odczytać z nich potrzebne

informacje. Wykresy przestrzenne w czytelny sposób przedstawiają wpływ parametrów ruchowych procesu tarcia na przebieg wartości zmiennych wyjściowych (analiza jakościowa). Wykresy warstwiczne są natomiast bardziej przydatne do analizy ilościowej.

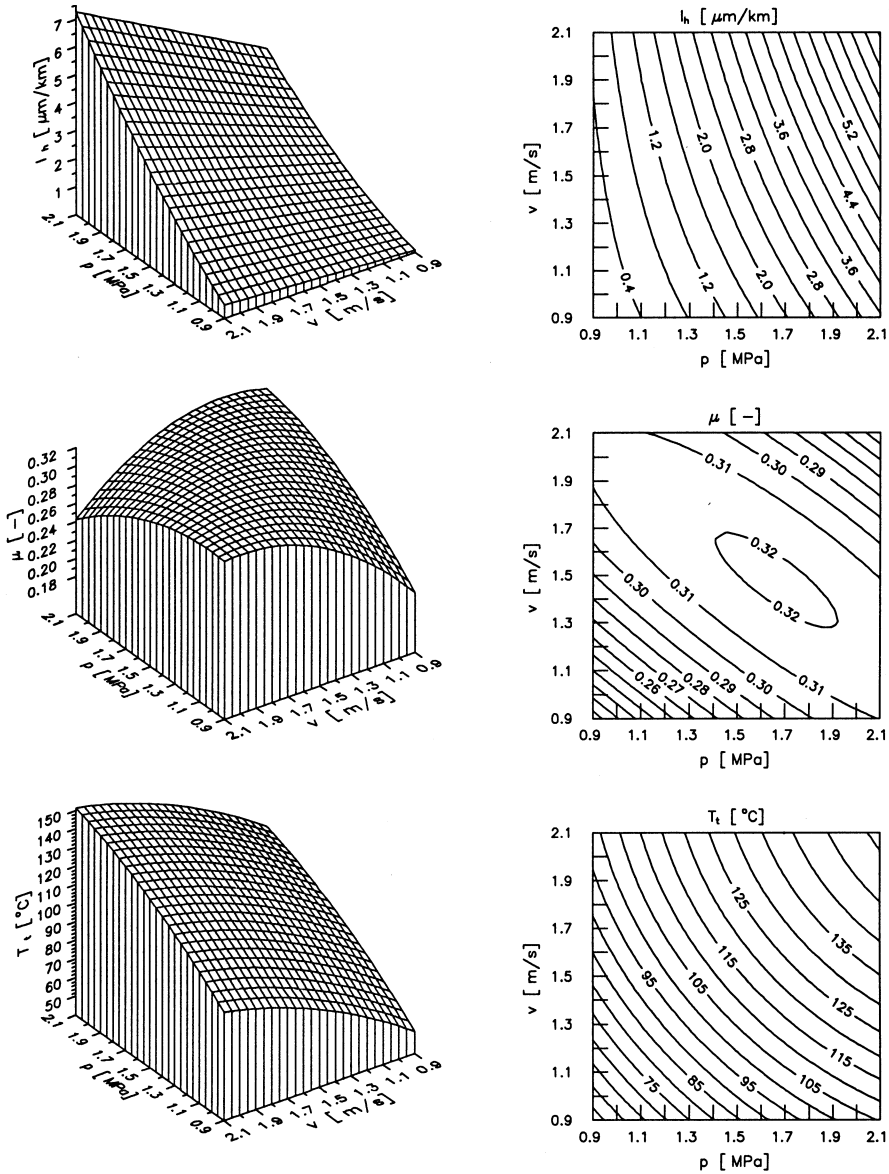
Tabela 2. Testy statystyczne i ocena statystyczna wyników oraz wyznaczonych funkcji regresji

Table 2. Statistical tests and the statistical estimation of results and determined functions of the regression

TESTY STATYSTYCZNE I OCENA STATYSTYCZNA WYNIKÓW BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH		WIELOWYMIAROWE FUNKCJE		
		I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$]	μ [-]	T_t [$^{\circ}\text{C}$]
Test istotności: $F > F_{kr}$	stopień swobody licznika : $v_1 = N_b - 1$	5	7	5
	stopień swobody mianownika : $v_2 = N - N_b$	14	12	14
	wartość krytyczna funkcji F, dla $\alpha=0,05$: F_{kr}	4,64	3,75	4,64
	wartość obliczona funkcji testowej : F	97	21	591
Test adekwatności: $F < F_{kr}$	stopień swobody licznika : $v_1 = N - N_b$	13	11	13
	stopień swobody mianownika : $v_2 = N \cdot (r-1)$	5	5	5
	wartość krytyczna funkcji F, dla $\alpha=0,05$: F_{kr}	4,66	4,77	4,66
	wartość obliczona funkcji testowej : F	4,127	4,502	4,593
Odchylenie standardowe:	wyników pomiarów : S(y)	0,513	0,0210	2,881
	funkcji regresji : S(y- \hat{y})	0,400	0,0145	2,304
Przedział ufności:	wyników pomiarów, dla $v = N \cdot (r-1)$: $t_{kr} \cdot S(y)$	1,318	0,0541	7,407
	funkcji regresji, dla $v = N_w - N_b$: $t_{kr} \cdot S(y-\hat{y})$	0,858	0,0316	4,942
Współczynnik korelacji wielowymiarowej:	wartość krytyczna, dla $\alpha=0,05$: R_{kr}	0,590	0,627	0,590
	wartość obliczona : R	0,9858	0,9608	0,9976

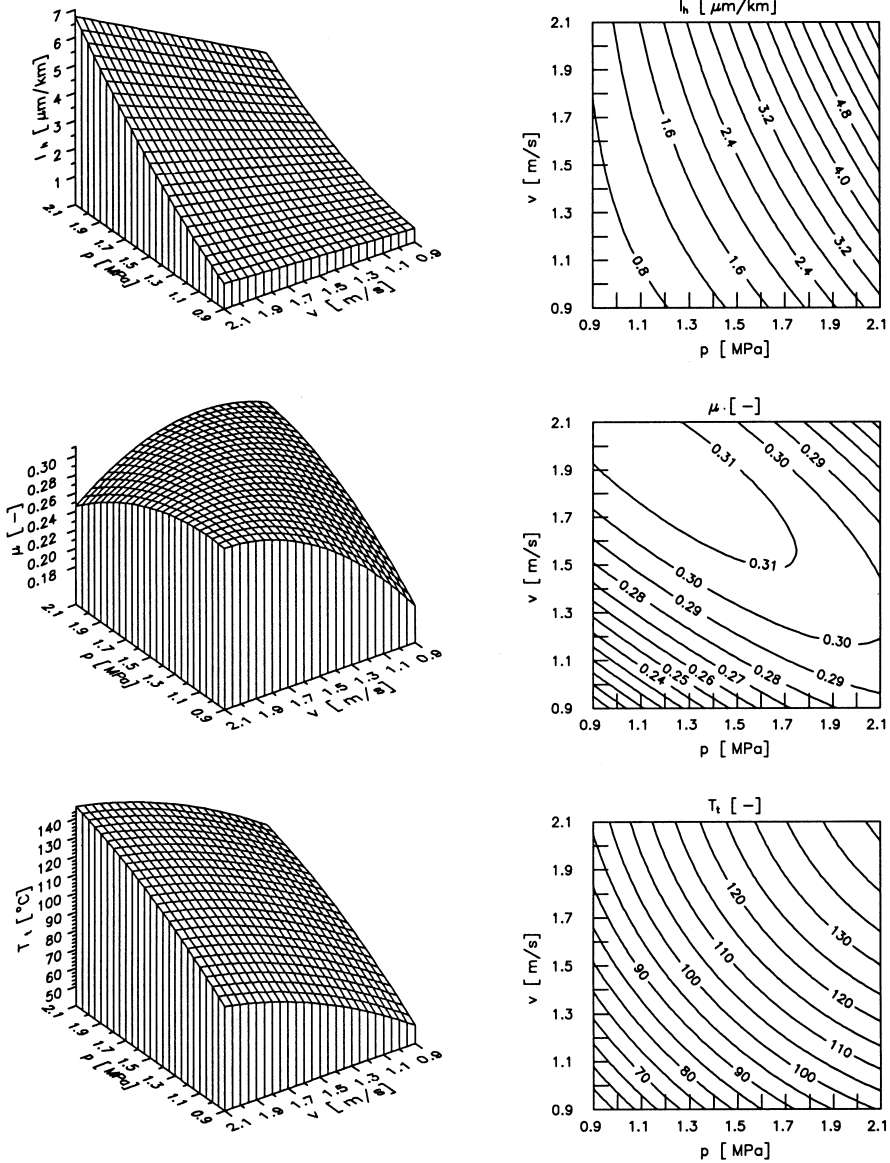
DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Na **Rys. 1, 2 i 3** przedstawiono wykresy przestrzenne i warstwiczne, ilustrujące zależności mierzonych w badaniach tribologicznych wielkości wyjściowych: I_h , μ , T_t , od nacisku jednostkowego p i prędkości ślizgania v , przy różnych – ustalonych wartościach parametru chropowatości stalowego przeciwelementu Ra . Wartości te wynoszą: $Ra = 0,35 \mu\text{m}$ – na **Rys. 1**, $Ra = 0,60 \mu\text{m}$ – na **Rys. 2** oraz $Ra = 0,85 \mu\text{m}$ – na **Rys. 3**. Z prezentowanych wykresów wynika, że ze wzrostem chropowatości stalowego współpartnera ślizgowego (od $Ra = 0,35 \mu\text{m}$ do $Ra = 0,85 \mu\text{m}$) następuje nieznaczne zmniejszenie wartości współczynnika tarcia μ , ale jednocześnie zwiększa się intensywność zużycia kompozytu I_h .



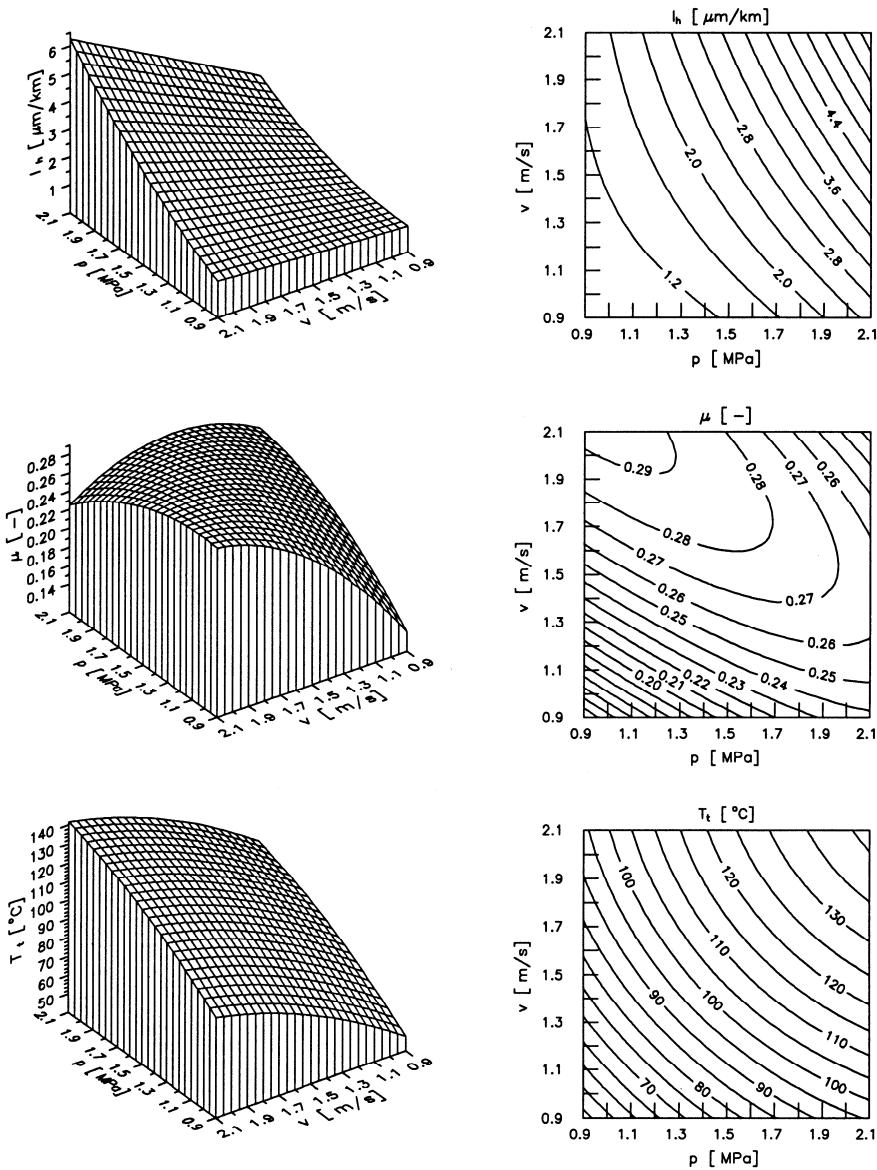
Rys. 1. Intensywność zużycia I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$], wartość współczynnika tarcia μ oraz temperatura T_t [$^{\circ}\text{C}$], w zależności od nacisku jednostkowego p [MPa] oraz prędkości ślizgania v [m/s] podczas tarcia technicznie suchego po powierzchni stali o parametrze chropowatości $Ra = 0,35 \mu\text{m}$

Fig. 1. Intensity of the wear I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$], the value of the rate of the friction μ and the temperature T_t of the friction [$^{\circ}\text{C}$], depending on the unitary p stress [MPa] and sliding velocity v [m/sec.] during friction technically dry on the steel about the parameter of the roughness $Ra = 0,35 \mu\text{m}$



Rys. 2. Intensywność zużycia I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$], wartość współczynnika tarcia μ oraz temperatura T_f [$^{\circ}\text{C}$], w zależności od nacisku jednostkowego p [MPa] oraz prędkości ślizgania v [m/s] podczas tarcia technicznie suchego po powierzchni stali o parametrze chropowatości $Ra = 0,60 \mu\text{m}$

Fig. 2. Intensity of the wear I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$], the value of the rate of the friction μ and the temperature T_f of the friction [$^{\circ}\text{C}$], depending on the unitary p stress [MPa] and sliding velocity v [m/sec.] during friction technically dry on the steel about the parameter of the roughness $Ra = 0,60 \mu\text{m}$



Rys. 3. Intensywność zużycia I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$], wartość współczynnika tarcia μ oraz temperatura T_t [$^{\circ}\text{C}$], w zależności od nacisku jednostkowego p [MPa] oraz prędkości ślizgania v [m/s] podczas tarcia technicznie suchego po powierzchni stali o parametrze chropowatości $Ra = 0,85 \mu\text{m}$

Fig. 3. Intensity of the wear I_h [$\mu\text{m}/\text{km}$], the value of the rate of the friction μ and the temperature T_t of the friction [$^{\circ}\text{C}$], depending on the unitary p stress [MPa] and sliding velocity v [m/sec.] during friction technically dry on the steel about the parameter of the roughness $Ra = 0,85 \mu\text{m}$

Przy gładkich powierzchniach stalowego przeciwelementu intensywność zużycia kompozytu I_h przebiega bardziej stromo (tzn. wartości I_h szybciej rosną ze wzrostem parametrów ruchowych), zwłaszcza ze wzrostem nacisku jednostkowego p . Także większy jest wzrost temperatury w strefie tarcia T_t w przypadku bardziej gładkich powierzchni stalowego przeciwelementu, szczególnie przy dużych wartościach p oraz v . Takie zmiany właściwości tribologicznych skojarzenia ślizgowego wraz ze wzrostem gładkości powierzchni stalowego współpartnera wynikają z rosnącego udziału oddziaływań adhezyjnych podczas tarcia. Oddziaływania te intensyfikują się wraz ze wzrostem wartości nacisku jednostkowego, co jest przyczyną większych wartości μ oraz T_t .

Stosunkowo małe wartości I_h przy gładkich powierzchniach stalowego przeciwelementu wynikają z mniejszej wrażliwości kompozytu na zużycie adhezyjne na skutek oddziaływania wypełniaczy (zwłaszcza proszku PTFE zmniejszającego adhezję i wypełniacza szklanego wzmacniającego POM).

W zakresie jednocześnie dużych wartości p i v ($p > 1,5$ MPa, $v > 1,5$ m/s) wartość współczynnika tarcia zmniejsza się. Przyczyną tego jest wysoka temperatura w strefie tarcia, wynikająca z dużych wartości wymuszeń zewnętrznych, wskutek czego zmniejsza się wytrzymałość matrycy kompozytu na ścinanie i tym samym zmniejsza się adhezyjna składowa siły tarcia. Stosunkowo duże zużycie w omawianym zakresie warunków tarcia dodatkowo jest spowodowane zużyciem cieplnym matrycy kompozytu. Wskazywać na to może wysoka temperatura podczas tarcia $T_t > 135^\circ\text{C}$, w której mniejsze sferolity ulegają topnieniu. Opisane efekty przejawiają się jeszcze wyraźniej przy gładkich powierzchniach stalowego przeciwelementu, co może tylko potwierdzać podaną interpretację. Naturalnie, skojarzenie ślizgowe w podanym zakresie wymuszeń zewnętrznych procesu tarcia, ze względu na dużą wartość intensywności zużycia kompozytu, nie powinno być stosowane w praktyce eksploatacyjnej.

LITERATURA

1. Lancaster J. K., Dry bearings: a survey of materials and factors affecting their performance. *TRIBOLOGY*, December 1973, s. 219–251.
2. Friedrich K., Zhang Z., Schlarb A. K., Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites. *Composites Science and Technology* 65 (2005), s. 2329–2343.

3. Capanidis D., Badania tribologiczne kompozytów ślizgowych na bazie polioksymetylenu (POM) – Tarnoformu. TRIBOLOGIA nr 3/2004 (195), s. 25–43.
4. Franklin S.E., Wear experiments with selected engineering polymers and polymer composites under dry reciprocating sliding conditions. Wear 251 (2001), s. 1591–1598.
5. Unal H., Mimaroglu A., Friction and wear behaviour of unfilled engineering thermoplastics. Material and Design 24 (2003), s. 183–187.
6. Capanidis D., Ziemiański K., Wpływ wymuszeń zewnętrznych procesu tarcia na kształtowanie warstwy wierzchniej kompozytów polioksymetylenu (POM). TRIBOLOGIA nr 5/95 (143), s. 545–552.
7. Franklin S.E., Kraker A., Investigation of counterface surface topography effects on the wear and transfer behaviour of a POM-20% PTFE composite. Wear 255 (2003), s. 766–773.
8. Wieleba W., The statistical correlation of the coefficient of friction and wear rate of PTFE composites with steel counterface roughness and hardness. Wear 252 (2002), s. 719–729.
9. Capanidis D., Tribologiczne właściwości kompozytów polioksymetylenu zawierających napełniacz proszkowy PTFE lub PE-UHMW. TRIBOLOGIA nr 2/2007 (212), s. 105–115.
10. Capanidis D. Wpływ wypełniaczy na zmiany struktury polimerowej matrycy kompozytów ślizgowych na bazie polioksymetylenu (POM). XX Jesien na Szkoła Tribologiczna „Tribologia a inżynieria powierzchni”. Spała, 12–15 września 1995.
11. Capanidis D., Zmiany struktury warstwy wierzchniej wieloskładnikowych kompozytów POM podczas tarcia ze stałą. TRIBOLOGIA nr 2/2008 (218), s. 81–89.
12. Wieleba W., Capanidis D., Ziemiański K., Polimerowe łożyska ślizgowe z tworzyw termoplastycznych. Cz. I – Materiały ślizgowe. Poradnik tribologii i tribotechniki (23) – wkładka do TRIBOLOGII nr 6/95, s. 125–131.
13. Wieleba W., Capanidis D., Ziemiański K., Polimerowe łożyska ślizgowe z tworzyw termoplastycznych. Cz. II – Obliczenia i konstrukcja. Poradnik tribologii i tribotechniki (24) – wkładka do TRIBOLOGII nr 1/96, s. 133–139.
14. Capanidis D., Selected aspects of the methodology of tribological investigations of polymer materials. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2007, vol. 7, nr 4, s. 39–55.
15. Mańczak K., Technika planowania eksperymentu. WNT, Warszawa 1976.

Recenzent:
Wojciech WIELEBA

Summary

In the article, the results of the research concerning the influence of the unitary p stress, sliding speeds v , and the parameter of the roughness R_a , steel encounters on elements of tribologic properties of multicomponent composite on a polyoxymethylene base (POM) were described. The tested composite contained 60% vol. POM + 12% vol. of PTFE powder + 20% vol. of powder of bronze + 8% vol. of glass filler (50% glass fibres and 50% glass microballs). Tribological examinations were carrying out on tribometer of the "pin on disk" type in changeable conditions of a forced process of friction, technically dry on steel. The initial values in testing were assumed: intensity of the linear wear I_h , the rate of the friction μ and the final temperature T_t of tested friction pairs. In the completion of these tests, a rotatable plan of the experiment was used on 5 levels for 3 of the variables.

On the basis of test results, the multidimensional functions of the regression (about the second-degree figure of the polynomial) were determined, which enabled drawing the tribologic characteristics up in the form of spatial and contour graphs. Conducted examinations showed the significant influence of the value of assumed initial values on tribologic properties of the studied sliding pair. Elaborated tribologic characteristics can be helpful in optimal geometrical features used in the shaping of sliding joints using the studied association and in determining their border level of exploitation