

Janusz DASIEWICZ*, Zbigniew PAWELEC*

**ŚLIZGOWY TERMOUTWARDZALNY KOMPOZYT
METALOŻYWICZNY NA ELEMENTY ŁOŻYSK
POPRZECZNYCH**

**THE SLIDING THERMOSETTING METAL-RESINOUS COM-
POSITE FOR ELEMENTS OF RADIAL BEARINGS**

Słowa kluczowe:

Kompozyt polimerowy, żywice fenolowo-formaldehydowe, rozszerzalność cieplna, współczynnik tarcia

Keywords:

Polymer composite, phenol and formaldehyde resin, thermal expansion, friction coefficient

Streszczenie

W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań nad opracowaniem ślizgowego kompozytu termoutwardzalnego, który będzie można stosować na elementy konstrukcyjne maszyn i urządzeń. Celem przedstawionych

* Instytut Technologii Eksploatacji w radomiu, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel. (048) 36-442-41.

w artykule badań było sprawdzenie możliwości i zakresu optymalizacji właściwości materiałów kompozytowych przez dobór osnowy kompozytu, napełniaczy metalicznych i dodatków funkcyjnych wpływających na właściwości kompozytu polimerowego. Dokonano oceny wpływu osnowy kompozytu i napełniaczy na wybrane właściwości fizyko mechaniczne, cieplne i tribologiczne. Charakterystyki tribologiczne kompozytów określono na maszynie tarciowej typu rolka klocek, w której testowy węzeł tarcia imituje łożysko ślizgowe.

WPROWADZENIE

Kompozyty konstrukcyjne stanowią bardzo dużą i zróżnicowaną grupę materiałów. Różnią się rodzajem użytych składników, kształtem i wymiarami komponentu umacniającego, technologią wytwarzania itp., ale mają wspólną cechę – wysokie wskaźniki wytrzymałościowe. Najprostszą koncepcją kompozytu konstrukcyjnego sprowadza się do rozmieszczenia w osnowie drugiej fazy, zwykle sztywniejszej niż osnowa.

Cennymi zaletami polimerów jest możliwość łatwego formowania elementów o złożonych kształtach, duża trwałość podczas pracy w warunkach korozyjnych, dobre właściwości tribologiczne oraz niski koszt materiału. Oprócz wielu korzystnych cech należy uwzględnić i to, że mogą pracować w warunkach tarcia technicznie suchego. Wadami tworzyw są przede wszystkim słabe właściwości mechaniczne, możliwość zmiany właściwości i wymiarów wskutek zmian warunków otoczenia np. temperatury. W celu poprawy właściwości mechanicznych stosuje się metody łączenia tworzyw z różnymi napełniaczami, dotyczy to głównie właściwości mechanicznych i cieplnych. Cechy użytkowe żywic nie napełnionych są niskie jednak wzmocnienie ich odpowiednimi napełniaczami np. proszkami metali lub włóknami daje dobre efekty w postaci poprawy ich właściwości [L. 1, 2, 3, 5].

Kompozyty polimerowe stosowane na konstrukcyjne elementy maszyn charakteryzują się na ogół dużą odpornością chemiczną, co oznacza wyeliminowanie podczas pracy skojarzeń trących destrukcyjnego działania tlenu oraz korodującego działania wody, oleju i smarów. Tak korzystny zespół właściwości materiałów polimerowych umożliwia stosowanie ich jako materiały konstrukcyjne przeznaczone między innymi na elementy łożysk ślizgowych. Analiza literatury i wstępne wyniki badań w dziedzinie kształtowania tworzyw, w których osnową w przeważającej ilości przy-

padków jest polimer termoutwardzalny, żywica fenolowo-formaldehydowa, sugeruje możliwość uzyskania kompozytu niskotarciowego, metalożywicz-nego o dobrych właściwościach mechanicznych i termicznych [L. 4, 6, 7].

WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOMECHANICZNYCH I CIEPLNYCH

Przedmiotem badań były różne rodzaje nawolakowych tłoczyw termoutwardzalnych. Stanowiły one także matryce opracowywanych kompozytów konstrukcyjnych. Termoutwardzalne osnowy kompozytów charakteryzują się między innymi wysoką odpornością cieplną i dobrą odpornością na ścieranie. Jako wypełniacze zastosowano między innymi sproszkowane metale (Fe) zwiększające przewodność cieplną a w celu zwiększenia własności mechanicznych wprowadzono wypełniacze włókniste (włókno aramidowe). Dodatkami funkcyjnymi były smary stałe obniżające współczynnik tarcia i jednocześnie poprawiające przewodność i odporność cieplną.

Tabela 1. Składy kompozytów poddane badaniom

Table 1. Composition of the investigated composites

Składniki kompozytu	Nazwa kompozytu				
	KT1	KT2	KT3	KT4	KT5
Polofen 1	X	-	-	X	-
Polofen 2	-	X	-	-	X
Polofen 3	-	-	X	-	-
Napełniacze proszkowe	-	-	-	X	X
Napełniacze włókniste	-	-	-	X	X
Dodatki funkcyjne	-	-	-	X	X

Dla zastosowanych termoutwardzalnych żywic polimerowych jak również materiałów kompozytowych na ich osnowie dokonano pomiarów podstawowych parametrów fizykomechanicznych. Z prób statycznych dokonano pomiarów twardości i wytrzymałości na ściskanie a z prób dynamicznych wyznaczono udarność metodą Charpy. Otrzymane wyniki badań przedstawiono w tabeli.

Tabela 2. Właściwości fizykomechaniczne badanych materiałów

Table 2. The physical and chemical properties of the investigated materials

Symbol próbki	KT 1	KT 2	KT 3	KT 4	KT 5
Twardość [MPa]	550	575	464	553	754
Udarność [kJ/m ²]	1,1	1,5	0,7	1,6	2,4
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	164	151	153	173	167

Analizując otrzymane wyniki badań właściwości wytrzymałościowych tłoczyw fenolowo-formaldehydowych wykorzystanych jako osnowy kompozytów polimerowych możemy stwierdzić, że najniższe wartości mierzonych parametrów fizykomechanicznych uzyskano dla Polofenu 3. Próbki wykonane z tego tworzywa miały małą twardość i szczególnie niską udarność. Niskie parametry użytkowe tej osnowy polimerowej spowodowały, że materiały kompozytowe sporządzono tylko na osnowie Polofenu 1 i Polofenu 2. Wyniki pomiarów podstawowych parametrów fizykomechanicznych tych materiałów kompozytowych pozwalają wnioskować, że zastosowane napełniacze wpływają na poprawę mierzonych parametrów. W przypadku kompozytu oznaczonego symbolem KT 5 uzyskano ok. 40% wzrost twardości i udarności a także znaczną poprawę wytrzymałości na ściskanie.

Niezależnie od parametrów wytrzymałościowych jedną z istotniejszych właściwości mających wpływ na jakość współpracy tribologicznej jest szczególnie w przypadku polimerowych materiałów kompozytowych rozszerzalność cieplna. Na podstawie pomiarów wydłużenia próbki w funkcji temperatury na dylatometrze firmy Cosfeld wyznaczono współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej uzyskując następujące rezultaty p. **Tab. 3.**

Tabela 3. Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej badanych materiałów.

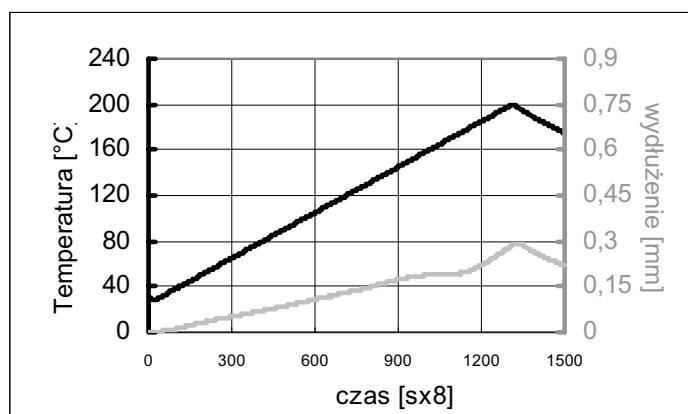
Table 3. Coefficient of linear thermal expansion of the investigated materials

Symbol próbki /	KT 1	KT 2	KT 3	KT 4	KT 5
Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej [x10 ⁻⁶ C ⁻¹]	31	28	53	28	24

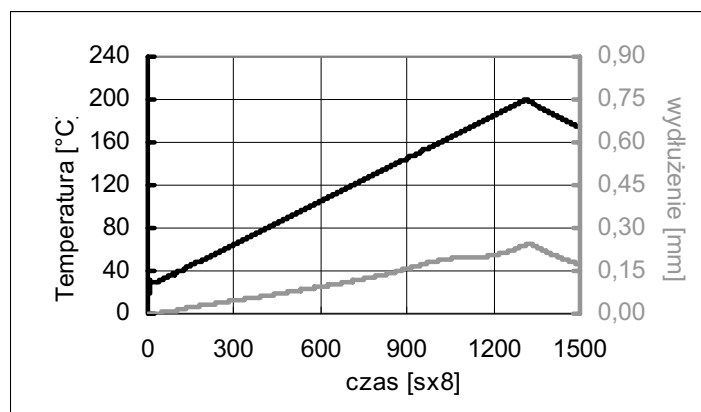
Uzyskane wyniki pomiarów współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej wskazują, że oprócz Polofenu 3 dla pozostałych materiałów jest

on stosunkowo niewielki i znacznie mniejszy niż np. dla tworzyw termoplastycznych i kompozytów polimerowych na osnowie żywic chemoutwardzalnych. Mniejsze wydłużenie próbki kompozytu KT 4 (**Rys. 2**) w porównaniu do jego osnowy (**Rys. 1**) wskazuje, że zastosowane napełniacze wpływają korzystnie na wielkość tego parametru. Obserwując przebieg zmian wydłużenia próbki możemy stwierdzić, że jest ono wprost proporcjonalne do temperatury.

Przykładowe przebiegi zmian wydłużenia próbki kompozytu w funkcji temperatury przedstawiono na rysunkach (**Rys.1 i 2**).



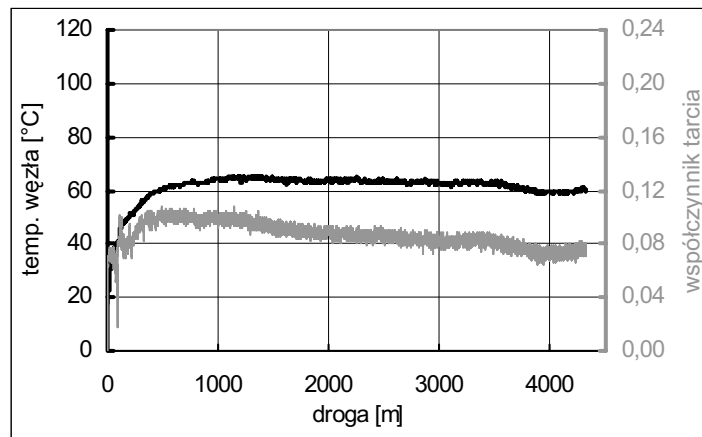
Rys. 1. Przebieg zmian wydłużenia próbki kompozytu KT 1 w funkcji temperatury
Fig. 1. The expansion curve versus temperature for KT 1 specimen



Rys. 2. Przebieg zmian wydłużenia próbki kompozytu KT 4 w funkcji temperatury
Fig. 2. The expansion curve versus temperature for KT 4 specimen

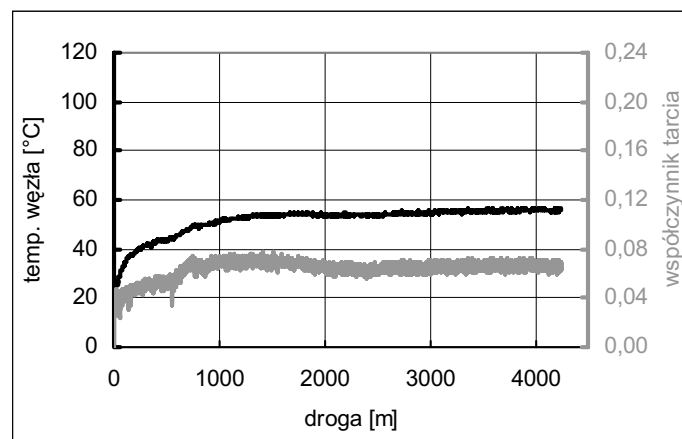
CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE KOMPOZYTÓW

Ponieważ opracowane materiały mają stanowić elementy łożysk ślizgowych ich charakterystyki tribologiczne wyznaczono na testerze T-05 typu rolka – klocek w następujących warunkach $P = 9$ i 12 MPa $v = 0,3$ m/s. Przykładowe charakterystyki tarciovo zużyciowe przedstawiono na wykresach (Rys. 3, 6).



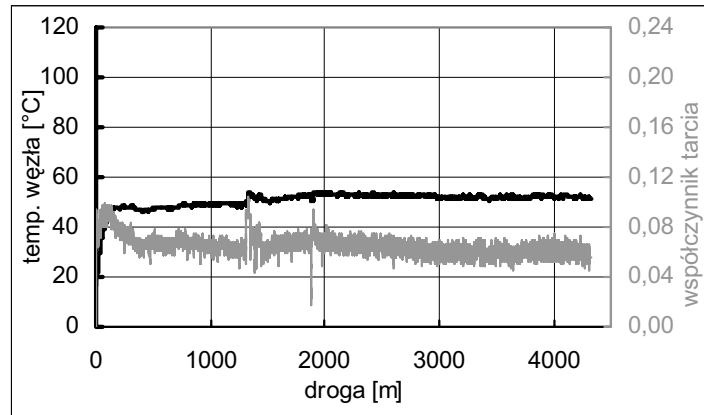
Rys. 3. Przebieg zmian współczynnika tarcia i temperatury węzła dla kompozytu KT 2 ($p=9$ MPa $v=0,3$ m/s)

Fig. 3. The friction couple temperature and friction force curves for KT1 composite ($p = 9$ MPa. $v = 0,3$ m/s)



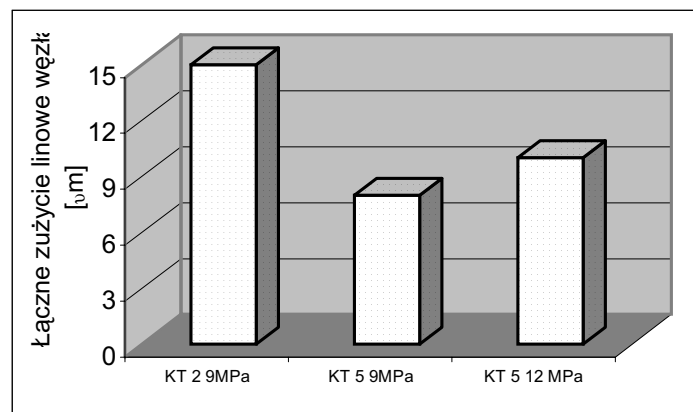
Rys. 4. Przebieg zmian współczynnika tarcia i temperatury węzła dla kompozytu KT 5 ($p=9$ MPa, $v = 0,3$ m/s)

Fig. 4. The friction couple temperature and friction force curves for KT5 composite ($p = 9$ MPa. $v = 0,3$ m/s)



Rys. 5. Przebieg zmian współczynnika tarcia i temperatury węzła dla kompozytu KT 5 ($p=12\text{ MPa}$, $v=0,3\text{ m/s}$)

Fig. 5. The friction couple temperature and friction force curves for KT 5 composite ($p=12\text{ MPa}$, $v=0,3\text{ m/s}$)



Rys.6. Zużycie liniowe węzła tarcia

Fig. 6. The linear wear of friction pair

Uzyskane charakterystyki tribologiczne opracowanego kompozytu polimerowego pozwalają stwierdzić, że rejestrowane parametry odznaczają się niską i ustabilizowaną wartością. Początkowo wyższa wartość współczynnika tarcia a następnie jego spadek może świadczyć o pewnym procesie docierania między współpracującymi powierzchniami. Porównując charakterystyki tribologiczne przedstawione na **Rys. 3 i 4** możemy wnioskować o korzystnym wpływie napelnaczy na opory ruchu a tym samym na temperaturę węzła tarcia. Średnia temperatura węzła obniżyła się o ok.

10°C a współczynnik tarcia o 0,02. Otrzymane charakterystyki tribologiczne dla zwiększonych nacisków jednostkowych wskazują na spadek oporów ruchu ze wzrostem obciążenia. We wszystkich przedstawionych charakterystykach tarciovych na uwagę zasługuje wysoka stabilność rejestrowanych parametrów, ponieważ o jakości współpracy tribologicznej świadczy nie tylko wartość współczynnika tarcia i temperatury węzła, ale również ich niezmiennosc w czasie.

Wielkość zużycia liniowego węzła tarcia zależy od składu jakościowego kompozytu. Pozytywnie na wielkość tego parametru wpływa udział napełniaczy i dodatków funkcyjnych.

PODSUMOWANIE

Uzyskane wstępne wyniki badań nad opracowaniem termoutwardzalnego kompozytu konstrukcyjnego na ślizgowe elementy maszyn sugerują, że możliwe jest opracowanie materiału o zadowalających parametrach użytkowych.

Właściwości badanych materiałów kompozytowych uzależnione są od rodzaju matrycy polimerowej. Zastosowane napełniacze i dodatki funkcyjne wpływają na poprawę parametrów fizykomechanicznych oraz obniżają współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej. Uzyskane wyniki badań tribologicznych wskazują, że współczynnik tarcia i temperatura węzła zależą od składu jakościowego materiałów. Współczynnik tarcia kompozytu KT-5 współpracującego ze stopem łożyskowym obniża się ze wzrostem nacisków. Ważną cechą charakterystyk tribologicznych napełnionych polimerów termoutwardzalnych jest wysoka stabilność rejestrowanych parametrów.

LITERATURA

1. Jurkowski B., Jurkowska B.: Sporządzanie kompozycji polimerowych. Elementy teorii i praktyki. WNT Warszawa 1995.
2. Kapuściński J., Puciłowski K., Wojciechowski S.: Projektowanie i technologia materiałów kompozytowych. Wydawnictwo PW Warszawa 1983.
3. Blicharski M.: Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT Warszawa 1998.
4. Marczak R., Starczewski L., Szumniak J.: Termoutwardzalny kompozyt dla skojarzeń ślizgowych o niskich oporach tarcia i wysokiej odporności na zużycie. Tribologia 3/2001.

5. Wieleba W.: Tarcie i zużywanie kompozytów PTFE wypełnionych koksem i grafitem podczas współpracy ze stalą w warunkach tarcia suchego. Tribologia 4/2002.
6. Floriańczyk Z., Penczek S.: Chemia polimerów. Oficyna wydawnicza PW Warszawa 2001.
7. Wilczyński A.: Polimerowe kompozyty włókniste. WNT Warszawa 1996.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

The paper presents the results of preliminary investigations aiming at elaboration of thermosetting composite intended for sliding elements of machine parts. The presented works aimed at checking the possibility of the optimisation of the composite material properties through the selection of the composite components i.e. matrix, metal fillers and functional additives. The assessment of composite matrix and fillers on physical, mechanical, tribological and thermal properties of the composite were performed. Tribological tests were performed using block-on-ring testing machine with friction pair imitating the slide bearing.