

**Jerzy Myalski\*, Jakub Wiczorek**

*Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland  
\* Corresponding author. E-mail: Jerzy.myalski@polsl.pl*

Otrzymano (Received) 15.02.2009

## WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH ZAWIERAJĄCYCH CZĄSTKI SREBRA

Przedstawiono wyniki badań przewodzących kompozytów z osnową polimerową. Jako materiał osnowy wybrano dwa rodzaje tworzyw sztucznych, najczęściej stosowanych w materiałach ślizgowych poliamid i politetrafluoroetylen. Komponentem zapewniającym przewodnictwo elektryczne były cząstki srebra. Kompozyty otrzymane metodą prasowania zawierały od 30 do 80% części objętościowych srebra. Przeprowadzone badania właściwości elektrycznych wykazały, że dobrą przewodność elektryczną można uzyskać po wprowadzeniu do osnowy około 50% cząstek srebra. Taki udział komponentu umacniającego zapewni również dobre właściwości mechaniczne. Z uwagi na możliwości wykorzystania badanych kompozytów jako materiałów stycznych elektrycznych przeprowadzone zostały również badania tribologiczne pozwalające określić wpływ udziału cząstek srebra na współczynnik tarcia i zużycie. Badania tribologiczne przeprowadzono w układzie tarcza-trzpień. Jako przeciwpróbkę w skojarzeniu ciernym wykorzystano tarcze wykonane ze srebra i kompozytu srebro-cząstki węgla szklatego. Trzpień wykonano metodą prasowania z kompozytów polimerowo-srebrnych. Wyniki badań tribologicznych wykazały, że o wartości współczynnika tarcia decyduje przede wszystkim rodzaj materiału polimerowego osnowy. W przypadku osnowy z politetrafluoroetylenem uzyskano prawie dwukrotnie mniejszą wartość współczynnika tarcia niż w przypadku osnowy poliamidowej. Zróżnicowana zawartość cząstek srebra w niewielkim stopniu wpływa na zmianę współczynnika tarcia. Rodzaj zastosowanej w kompozytach osnowy decyduje również o procesach zużycia i zmianach zachodzących w warstwie wierzchniej w wyniku tarcia. Znaczące obniżenie zużycia zaobserwowano w przypadku kompozytów z osnową z poliamidu. Wykorzystane w skojarzeniu ciernym materiały kompozytowe zawierające cząstki węgla szklatego zwiększają dodatkowo zużycie oraz wpływają na mechanizmy zużycia warstwy wierzchniej. Badania profilometryczne śladów współpracy wykazały, że w przypadku przeciwpróbek srebro-cząstki węgla szklatego zużycie ma charakter typowego zużycia abrazyjnego. Natomiast w przypadku współpracy z trzpieniem wykonanym ze srebra pojawiają się obszary świadczące o zużyciu adhezyjnym.

**Słowa kluczowe:** kompozyty przewodzące, właściwości tribologiczne, kompozyty polimerowe

## PROPERTIES OF POLYMER-SILVER PARTICLES COMPOSITES

The paper presents the results of investigations of conductive polymer-matrix composites. As the matrix of the composites two most popular sliding polymer materials – polyamide and polytetrafluoroethylene, were applied. Component providing electric conductivity were silver particles. Composites were manufactured by press moulding method and contained 30÷80% of silver by weight. Conducted investigations of electric properties have shown that good electric conductivity may be obtained after introducing about 50% of silver particles to the polymer matrix. It is caused by homogeneous spacing of silver particles, closing of the particles in polymer envelopes of low thickness and increase in average number of contact points between individual silver particles. Such mass fraction of reinforcing component (silver particles) ensures also good mechanical properties of the composite. Taking into account a possibility of application of the composites as the elements periodically short-contacted (electric contactors) the tribological tests were also made. The tests let to determine an effect of the silver particles on friction coefficient and wear factor. The tribological tests were conducted on pin-on-disc system. As co-specimen in the friction-junction the pure silver pins and cast silver-glassy carbon particles composite pins were used. The results of the tests showed that value of friction coefficient is affected mainly by polymer matrix. The composites with polytetrafluoroethylene show almost 2-times lower friction coefficient in comparison with the polyamide matrix composites. Such material may be used in friction-junctions as a sliding material. Change of content of silver particles in the composites only weakly affects a friction coefficient. Type of matrix decides also about wear processes and changes occurring in a surface area due to friction. Considerable decrease in wear was observed in the composites with polyamide matrix. The friction-junction containing glassy carbon composites show especially intensive wear and affect mechanisms of wear in surface area. Profilometric tests showed that in case of the silver-glassy carbon composite co-specimen, wear is of evidently abrasive character. Whereas in case of the pure silver pin occurred areas where adhesive wear was evident. Physico-mechanical and tribological properties determined within the investigations let to assume that composites containing silver may be used in the elements conducting electric current, short circuit and squib systems.

**Keywords:** conductive composites, tribological properties, polymer matrix composites

## WPROWADZENIE

Polimerowe kompozyty przewodzące prąd elektryczny zbudowane są z polimerowej osnowy (stanowią ją zarówno polimery przewodzące, jak i nieprzewodzące) oraz napełniacza zdolnego do przewodzenia ładunku elektrycznego, wypełniającego przestrzenie pomiędzy cząstkami fazy polimerowej. Na zastosowanie polimerów w kompozytach ma wpływ ich mała gęstość, duża wytrzymałość mechaniczna w stosunku do masy, trwałość, odporność na czynniki atmosferyczne i środowiska aktywne, termostabilność, własności elektryczne, cieplne oraz duża zdolność kształtowania gotowych produktów w stosunkowo prostych procesach technologicznych. Unikalne własności kompozytów polimerowych przewodzących, to jest niewielki ciężar, własności optyczne, przetwórstwo, odporność korozyjna i zróżnicowane własności mechaniczne, czynią je efektywną technologicznie alternatywą do tradycyjnie stosowanych materiałów, takich jak metale. Badania nad właściwościami takich materiałów są przeprowadzane od ponad 50 lat [1-5] i w tym czasie polimerowe kompozyty przewodzące znalazły różnorakie zastosowania. Ich przydatność wynika z bardzo niskiej elektrycznej oporności właściwej (rzędu  $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ) i wysokiego przewodnictwa cieplnego ( $\approx 1 \text{ W/mK}$ ).

W bezpośrednich zastosowaniach elektronicznych i elektrycznych przewodzące kompozyty polimerowe są przydatne jako kleje i elementy obwodów. Na rynku dostępne są komercyjne urządzenia dla elektronicznej ochrony obwodów, których działanie oparte jest na tej zasadzie [6]. Przykładem może być ochrona przeciw zwarciom elektrycznym obwodów przez urządzenia zewnętrzne w komputerze [7] lub zabezpieczenia baterii na wypadek krótkich wyładowań na obwodach [8, 9]. Dla układów niskiego napięcia ograniczniki prądowe są dostępne aż do poziomu 63 A [10].

Napełniaczem może być nieorganiczny proszek, taki jak metal albo ceramika, materiał organiczny, jak węgiel (sadza albo fullereny) lub samodzielnie przewodzący polimer. Przewodnictwo takiego kompozytu zależy krytycznie od objętości napełniacza. Dla bardzo niewielkich ilości napełniacza odległości między środkami ich cząstek są duże, w związku z tym przewodność całego kompozytu ograniczona jest praktycznie do przewodnictwa samej osnowy polimerowej, wykazującej typowe przewodnictwo rzędu  $10^{-15} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  [11].

Kiedy wprowadzona jest dostateczna ilość napełniacza, odległości między ich środkami są mniejsze, w wyniku czego tworzą się połączenia. Wskutek tego powstaje ścieżka przewodząca, biegnąca przez cały materiał. Przejście od izolatora (izolowane cząstki napełniacza) do przewodnika (cząstki połączone w całej objętości kompozytu) ma naturę perkolacyjną. Odpowiednią zawartość napełniacza, przy której zachodzi przewodnictwo, określa tak zwany *próg perko-*

*lacji*. Dla odpowiadającego mu zakresowi stężenia cząstek przewodnictwo może zmieniać się drastycznie o kilka rzędów wielkości dla małych różnic zawartości napełniacza. W końcu, przy wysokiej zawartości cząstek napełniacza wzrasta liczba tworzących się ścieżek przewodzących, kształtujących się w trójwymiarową sieć [11-13]. W tym zakresie przewodnictwo jest wysokie i mniej wrażliwe na niewielkie zmiany objętości napełniacza. Aby utworzyć dobrze przewodzący kompozyt polimerowy, przewodnictwo samego napełniacza musi być znacznie wyższe od przewodnictwa osnowy. Zakres przewodnictwa napełniaczy może wahać się od  $10^5 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  dla takich metali, jak Ni, Ag, albo stopu  $\text{TiB}_2$  do około  $0,1 \div 10 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  dla średnio przewodzących materiałów, jak sadza, i około  $10^{-10} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  dla słabo przewodzących napełniaczy, takich jak tlenek cynku(II) ZnO lub węgiel krzemu SiC.

## MATERIAŁY DO BADAŃ

Celem badań było opracowanie technologii wytwarzania kompozytów polimerowych zawierających cząstki srebra tak, by wykazywały duże przewodnictwo elektryczne. Podstawowym kryterium doboru osnowy polimerowej było otrzymanie kompozytów charakteryzujących się dużą wytrzymałością o dobrej odkształcalności, pozwalających zastosować otrzymane kompozyty w układach ślizgowych, przewodzących prąd elektryczny, na przykład zestyki. Jako osnowy wytypowano polimery o dobrych właściwościach ślizgowych - poliamid (PA6) oraz politetrafluoroetylen (PTFE). Wymagało to przeprowadzenia badań określających podstawowe właściwości mechaniczne, elektryczne oraz tribologiczne.

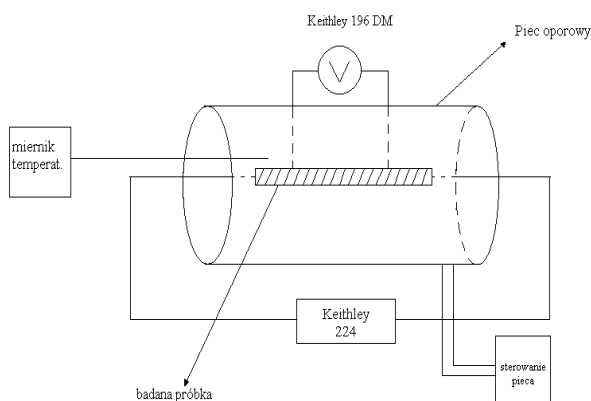
Przyjęto, że wszystkie bazowe kompozyty będą zawierały co najmniej 30% wag. srebra o wielkości poniżej  $20 \mu\text{m}$  (wielkość cząstek dostępna komercyjnie). 30% objętościowych Ag jest to minimalna zawartość napełniacza umożliwiającego uzyskanie kompozytu przewodzącego [1, 2]. W przypadku polimerów termoplastycznych kryterium doboru udziału srebra było wytworzenie kompozytu przewodzącego o określonych właściwościach ślizgowych, przydatnego do pracy w temperaturze podwyższonej. W badaniach jako materiał osnowy wykorzystano poliamid PA6 oraz politetrafluoroetylen PTFE - materiały polimerowe stosowane najczęściej w węzłach tarcia. Kompozyty miały zróżnicowaną zawartość proszku Ag - 80, 70,65 i 60% objętościowych. Kompozyty uzyskano poprzez wymieszanie proszku polimerowego o wielkości  $40 \div 80 \mu\text{m}$  z cząstkami srebra o wielkości  $20 \mu\text{m}$  w młynie wysokoobrotowym, a następnie spiekanie na gorąco w formie grafitowej w temperaturze  $400^\circ\text{C}$  dla PTFE i  $200^\circ\text{C}$  dla PA6. Uzyskano w ten sposób próbki w postaci walców o średnicy 10 mm i wysokości około 50 mm.

## WYNIKI BADAŃ REZYSTANCJI

Pomiar rezystancji został dokonany tak zwaną metodą dwupunktowego pomiaru wg normy PN-88/E-04405: Materiały elektroizolacyjne stałe, Pomiar rezystancji, polegającą na pomiarze natężenia przepływającego prądu pomiędzy przyłożonymi na przeciwległych końcach próbki elektrod, pomiędzy którymi występuje określone napięcie.

Pomiar oporności elektrycznej właściwej materiałów kompozytowych wykonano klasyczną metodą czteropunktową. W eksperymencie zastosowano źródło prądowe Keithley 224, które służyło do sterowania natężeniem prądu płynącego przez badaną próbkę materiału kompozytowego oraz miliwoltomierza Keithley 196DM do pomiaru spadku napięcia pomiędzy elektrodami napięciowymi (rys. 1). Kontakty napięciowe i prądowe na badanych próbkach materiałów kompozytowych zostały wykonane za pomocą pasty srebrnej.

Wyniki pomiarów rezystancji i obliczonej wartości oporu właściwego otrzymanych kompozytów metodą dwupunktową przedstawia tabela 1. W przypadku próbek z minimalną i maksymalną wartością rezystancji do obliczeń oporności właściwej użyto wartości uśrednionej.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego przewodności elektrycznej  
Fig. 1. Schema of the system for electric conductivity measurement

Przeprowadzone badania rezystancji wykonanych próbek kompozytowych wykazały, że zastosowanie jako napełniacza przewodzącego proszku srebra znacznie wpływa na poprawę przewodzenia prądu elektrycznego przez cały kompozyt. Podczas gdy oporność właściwa polimerowej osnowy jest zwykle bardzo duża i mieści się w granicach  $10^{11} \div 10^{17} \Omega\text{cm}$ , to rezystywność otrzymanych kompozytów mieści się w przedziale od 0,2 do 35  $\Omega\text{cm}$ . Dla porównania, rezystywność skrośna polietylenu dużej gęstości bez żadnych dodatków wynosi powyżej  $10^{16} \Omega\text{cm}$ , podczas gdy kompozytu PTFE30 oscyluje w granicach  $0,2 \div 0,3 \Omega\text{cm}$ . Podobnie jest w przypadku czystego poliamidu 6, którego oporność właściwa skrośna jest

równa około  $10^{14} \Omega\text{cm}$ , a kompozytu PA30 jest równa około 0,22  $\Omega\text{cm}$ .

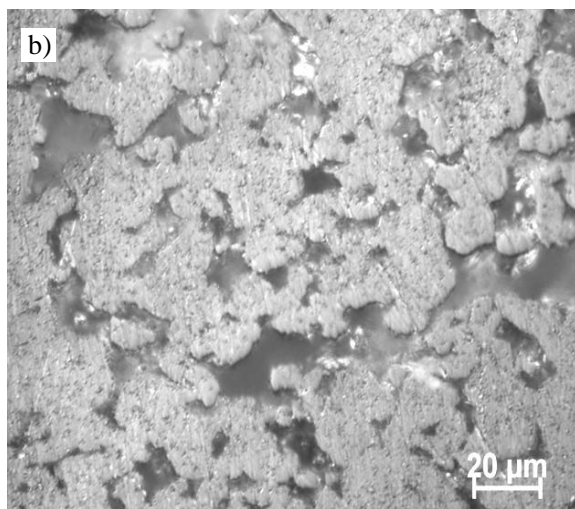
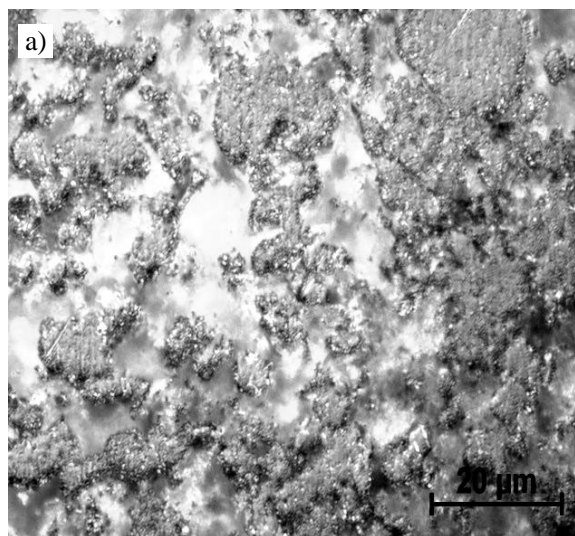
TABELA 1. Wyniki pomiarów rezystancji i wytrzymałości na ściskanie dla kompozytów PA6/Ag i PTFE/Ag  
TABLE 1. Resistance and compressive strength of PA6/Ag and PTFE/Ag composites

Osnowa	Zawartość Ag % obj.	Oporność właściwa, $\rho \times 10^{-6} \Omega\text{-m}$	Wytrzymałość na ściskanie $R_c$ , MPa
PTFE80	80	35,02	130
PTFE70	70	27,71	165
PTFE65	65	31,47	130
PTFE50	50	21,94	156
PTFE30	30	0,30	145
PA80	80	20,12	18
PA70	70	22,17	20
PA65	65	34,13	36
PA50	50	32,70	50
PA30	30	0,22	56

Badania rezystancji przeprowadzono na urządzeniu w układzie czteropunktowym. Wyniki badań oporności właściwej przedstawiono w tabeli 1. Oceny właściwości mechanicznych dokonano na podstawie próby ściskania. Wyniki badań oporności wskazują, że kompozyty z osnową PTFE i PA6, zawierające srebro, posiadają bardzo dobre właściwości przewodzące, porównywalne z właściwościami przewodników. Jedynie przy 30-procentowej zawartości Ag (niezależnie od rodzaju osnowy) wartość oporności była bardzo mała. Dopiero zwiększenie udziału napełniacza powyżej 50% zapewniło bardzo dobrą przewodność kompozytów. Prawdopodobnie może to być spowodowane homogenicznym rozmieszczeniem ziaren napełniacza, ich ścisłą enkapsulacją (zamknięciem w otoczce polimeru) przez osnowę polimerową o właściwościach dielektrycznych, a tym samym zminimalizowaniem kontaktu pomiędzy poszczególnymi ziarnami srebra (rys. 2). Na rysunku 2a, przedstawiającym kompozyt PA/Ag, widać, że poszczególne cząstki srebra są rozdzielone między sobą materiałem osnowy poliamidowej. Dopiero po wprowadzeniu 50% Ag do kompozytu można zauważyć połączenie się poszczególnych ziaren srebra ze sobą, utworzenie konglomeratów proszku, połączonych materiałem polimerowym. W efekcie prowadzi to do znaczącego zwiększenia przewodnictwa.

W przypadku kompozytów z osnową poliamidową można zauważyć, że ze zwiększeniem zawartości srebra oporność maleje, natomiast w przypadku osnowy PTFE najniższą oporność (bez uwzględniania oporności przy 30% udziale Ag) zarejestrowano przy udziale cząstek wynoszącym 50 i 70%. Jest to prawdopodobnie wynikiem nierównomiernego rozmieszczenia cząstek srebra w osnowie polimerowej. Potwierdzeniem mogą być wyniki badań wytrzymałości na ściskanie,

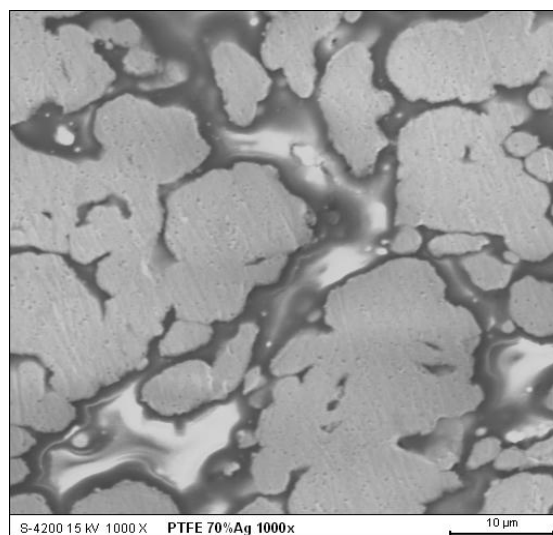
które wykazały, że przy udziale srebra wynoszącym 50 i 70% uzyskano bardzo wysoką wytrzymałość na ściskanie.



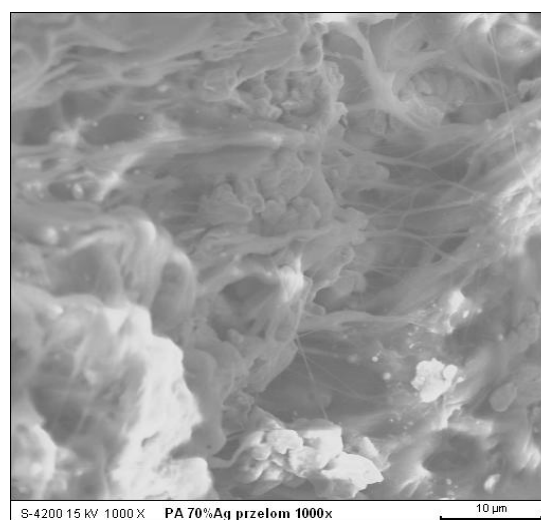
Rys. 2. Struktura kompozytu: a) PA30, b) PA-50% Ag  
Fig. 2. The structure of composite: a) PA30, b) PA-50% Ag

Wyniki badań wytrzymałościowych wykazały wyraźną różnicę pomiędzy wytrzymałością na ściskanie kompozytów zawierających poliamid i politetrafluoroetylen. Wynika to prawdopodobnie ze słabego połączenia osnowy polimerowej z cząstkami srebra. W przypadku osnowy PTFE stopiona osnowa polimerowa zwilża i otacza ziarna srebra, tworząc jakościowo poprawne połączenie osnowa-cząstka (rys. 3).

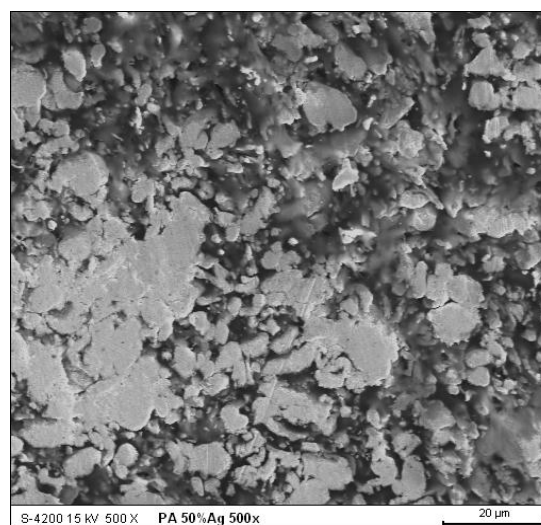
Również wygląd przelomu kompozytu z osnową PTFE (rys. 4) świadczy o poprawnym połączeniu cząstek z osnową; przelom ma charakter ciągły, ziarna proszku Ag dobrze połączone z osnową ulegają nawet odkształceniom plastycznym. Uzyskany poziom wytrzymałości dla tych kompozytów jest porównywalny z wytrzymałością na ściskanie czystego srebra. Natomiast w przypadku osnowy poliamidowej jakość połączeń pomiędzy cząstkami a osnową nie jest zadowalająca (rys. 5).



Rys. 3. Struktura kompozytu przewodzącego PTFE -70% proszku Ag  
Fig. 3. The structure of composite PTFE-70% Ag particles

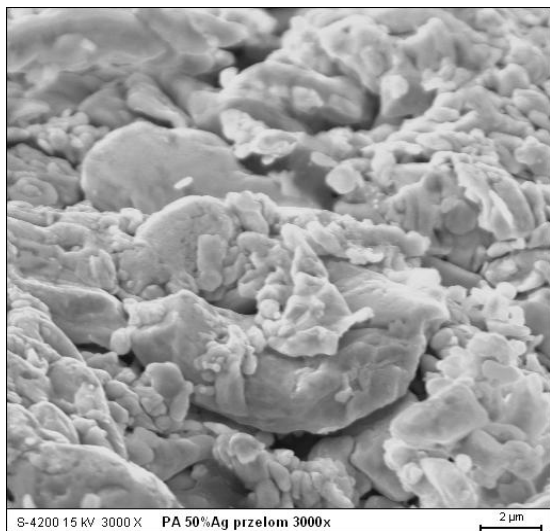


Rys. 4. Przelom kompozytu przewodzącego PTFE -70% proszku Ag  
Fig. 4. The fracture of conducting composite PTFE-70% Ag particles



Rys. 5. Struktura kompozytu przewodzącego PA/Ag zawierającego 50% Ag  
Fig. 5. The structure of conducting composite PA-50% Ag particles

Na przelomie kompozytu PA6/50%Ag (rys. 6) można zauważyć, że cząstki sproszkowanej osnowy nie połączyły się pomiędzy sobą, słabo zwilżyły ziarna srebra, co jest przyczyną bardzo niskiej wytrzymałości na ściskanie (tab. 1). Duża zawartość cząstek srebra w osnowie polimerowej (objętościowo od 80÷98%) spowodowała znaczne obniżenie oporności, a kompozyty z osnową polimerową mogą być uważane jako materiały przewodzące.



Rys. 6. Przelom kompozytu przewodzącego PA/Ag zawierającego 50% Ag

Fig. 6. The fracture of conducting composite PA-50%Ag

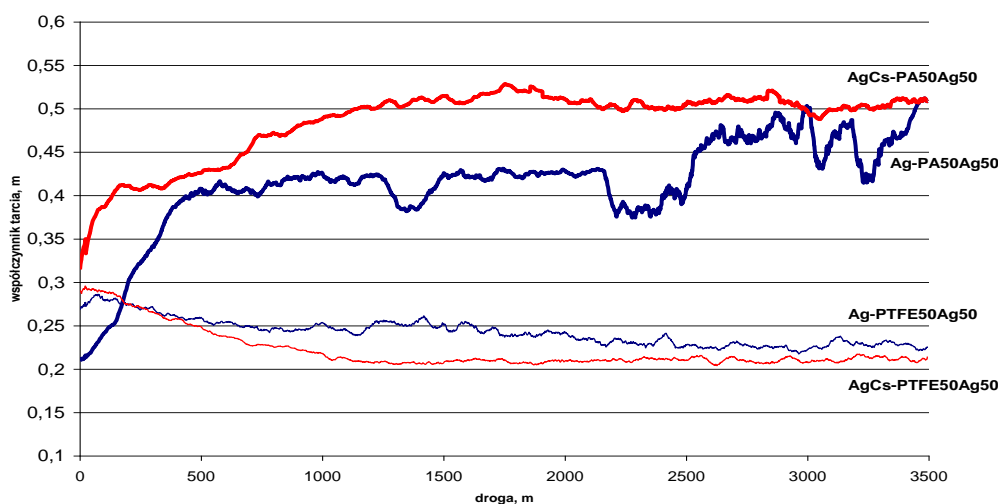
## WYNIKI BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH ZAWIERAJĄCYCH CZĄSTKI SREBRA

Badania właściwości tribologicznych (wartość współczynnika tarcia i zużycie ścierne) przeprowadzono metodą tarcza - trzpień na testerze T-01M. Badania przeprowadzono w warunkach tarcia technicznie

suchego przy nacisku 1,8 MPa, prędkości poślizgu  $v = 0,7$  m/s na drodze tarcia 3500 m.

W badaniach tribologicznych kompozytów z osnową polimerową PA6 i PTFE zawierających 30÷80% części wagowych srebra jako przeciwności w skojarzeniu ciernym wykorzystano tarcze wykonane ze srebra i kompozytu (AgCs) z osnową srebra zawierającą cząstki węgla szklatego w ilości 15% wag. o granulacji 80  $\mu\text{m}$  [14]. Taki dobór materiałów w skojarzeniu ciernym podyktowany został potencjalnym, aplikacyjnym wykorzystaniem badanych materiałów polimerowych w elementach materiałów styczników i przełączników elektrycznych. Przy wyborze przeciwności kierowano się również tym, że w przypadku skojarzeń jednoimiennych podczas tarcia mogą tworzyć się połączenia typu adhezyjnego, prowadzące do powstania trwałego połączenia i szepiania się współpracujących materiałów. Stąd też wykorzystanie w badaniach materiału kompozytowego srebro-cząstki węgla szklatego. W pracy zaprezentowano jedynie wyniki badań tribologicznych materiałów kompozytowych zawierających 50% cząstek węgla (rys. 7).

Porównując przedstawione na rysunku 7 charakterystyki zmian współczynnika tarcia w funkcji drogi badanych skojarzeń tribologicznych, można stwierdzić, że za wartość współczynnika tarcia odpowiada w tym przypadku materiał polimerowej osnowy kompozytowych trzpieni. W przypadku zastosowania PTFE jako osnowy, bez względu na materiał tarczy oraz zawartość proszku srebra, wartość współczynnika tarcia nie przekracza 0,3. W każdym z tych skojarzeń po okresie docierania obserwowany jest stabilny przebieg zmian współczynnika tarcia. Natomiast w skojarzeniach, w których materiałem osnowy trzpieni był PA, zarejestrowane wartości współczynnika tarcia osiągają wartość od  $\mu = 0,35$  do  $\mu = 0,55$  dla skojarzenia Ag/Cs-PA50, co stanowi dwukrotnie wyższą wartość niż w skojarzeniu, gdzie zastosowano PTFE jako osnowę.

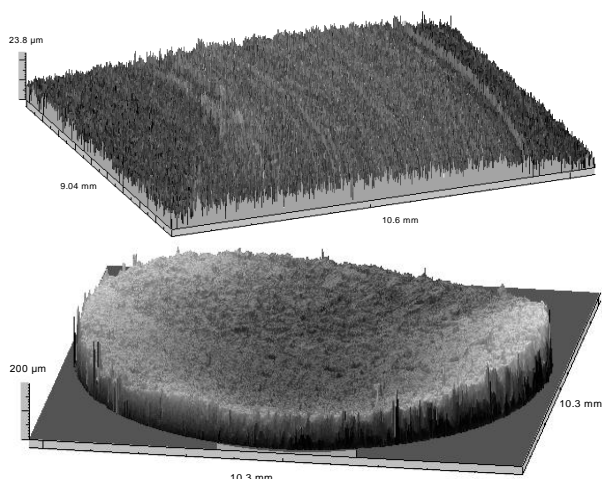


Rys. 7. Wykres zmian wartości współczynnika tarcia w funkcji drogi tarcia dla badanych skojarzeń tribologicznych

Fig. 7. The diagram of friction coefficient shifts in function track for polymer composites reinforced by silver particles

Z punktu widzenia właściwości ślizgowych kompozytów najniższym współczynnikiem tarcia charakteryzuje się para cierna kompozyt zbrojony cząstkami węgla i kompozyt PTFE50.

Podobnie przebiega proces zużycia współpracujących materiałów. Obserwowane ubytki masy tarcz wykonanych ze srebra i kompozytu o osnowie srebra zbrojonego węglem szklistym wyraźnie zależne są od rodzaju polimerowej osnowy użytej do wykonania współpracującego z nimi trzpienia. W przypadku gdzie osnową materiału trzpienia był PA, ubytek masy tarczy jest niewielki, mimo dużej wartości współczynnika tarcia. Przeciwnie w przypadku trzpieni wykonanych z kompozytów o osnowie PTFE przy niskim współczynniku tarcia zużycie tarcz jest znacznie większe. Wyjaśnieniem tej zależności może być mechanizm zużycia występujący w każdym z przypadków i wywołany materiałem osnowy polimerowej. Dla PA jest to mechanizm adhezyjny, zaś dla PTFE, abrazyjny ograniczony charakterystyczną dla politetrafluoroetylenu niską wartością współczynnika tarcia. Taki mechanizm zużycia został zarejestrowany na podstawie badań profilometrycznych geometrii powstałego śladu wytarcia na powierzchniach roboczych elementów pary ciernej (rys. 8).



Rys. 8. Powierzchnia tarczy kompozytowej AgCs po współpracy z trzpieniem PA50-Ag50

Fig. 8. The view of the AgCs composite disk wear track and the PA50-Ag50 pin after wear test

## PODSUMOWANIE

Badania technologiczne i materiałowe zrealizowane w ramach pracy pozwoliły na określenie technolo-

gii wytwarzania kompozytów na osnowie polimerowej umacnianych cząstkami srebra i wykazały, że stosując odpowiednie zabiegi technologiczne, dotyczące w szczególności ustalenia udziału cząstek srebra w polimerze, rozdrobnienia materiałów polimerowych i parametrów prasowania, można wytworzyć kompozyty o określonych charakterystykach fizycznych i mechanicznych. Wybór materiału osnowy oraz udział cząstek srebra w kompozycie decyduje o określonych właściwościach elektrycznych i tribologicznych. Dobre właściwości przewodzące uzyskano, wprowadzając do osnowy polimerowej około 50% części wagowych srebra. Równocześnie taki udział cząstek srebra zapewnia małą wartość współczynnika tarcia i ogranicza zużywanie się współpracujących w skojarzeniu ciernym materiałów. Właściwości, przede wszystkim elektryczne, wskazują na potencjalne możliwości zastosowania ich w układach przewodzących prąd, układach iskrowych, zwarciovych układach ślizgowych.

## LITERATURA

- [1] Norman R.H., *Conductive Rubber*, Maclaren, London 1957.
- [2] Bhattacharya S.K., Chaklader A.C.D., *Polym. Plast. Technol. Eng.* 1982, 19, 21.
- [3] Gul V.E., *Structure and Properties of Conducting Polymer Composites*, VSP, Utrecht 1996.
- [4] Strümpfer R., Glatz-Reichenbach J., *J. Electroceram.* 1999, 3, 329.
- [5] Carmona F., *Physics A* 1989, 157, 461.
- [6] Doljack F.A., *IEEE Trans. on Comp., Hybrids and Manufact. Techn.* CHMT-4, 372 (1981).
- [7] Fang T., *St Morris, Elektron* 1997, January 97, 103-104.
- [8] Hansson T., *ABB Review* 1992, 4/92, 35.
- [9] Norman R.H., *Conductive Rubbers and Plastics*, Applied Science Publishers, London 1970.
- [10] *Carbon Black-Polymer Composites*, ed. E.K. Sichel, Dekker, New York 1982.
- [11] Hansne A., Hinrichsen E.L., *Physica Scripta* 1992, T44, 55-61.
- [12] McLachlan D.S., *J. Phys.* 1988, C21, 1521.
- [13] Newnham R.E., Skinner D.P., L.E. Cross, *Mat. Res. Bull.* 1978, 13, 525.
- [14] Wiczorek J., Ślężiona J., *Tribological properties of silver matrix composites*, *Archives of Foundry Engineering* 2007, 7/1, 181-184.