

Zbigniew PAWELEC*, Jarosław MOLENDĄ*, Marek WOLSZCZAK*

ODPORNOŚĆ NA ZUŻYCIE ŚCIERNE KOMPOZYTÓW METALOPOLIMEROWYCH

ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF METAL-POLYMER COMPOSITES

Słowa kluczowe:

kompozyty metalopolimerowe, środki sieciujące, zużycie ścierne, mikrosfery, regeneracja maszyn

Key words:

metal-polymer composite, cross-linking agents, abrasive wear, microspheres, machine regeneration

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań odporności na zużycie ścierne różnych skojarzeń materiałowych. Celem przeprowadzonych badań była ocena możliwości zastosowania materiałów kompozytowych do regeneracji węzłów tarcia urządzeń służących do transportu na składowiska pyłów dymnicowych powstających podczas spalania paliw stałych

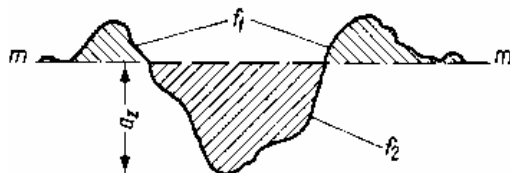
* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel.: (48) 364-42-41.

w elektrowniach. Jako materiał ścierny zastosowano mikrosfery o określonym składzie chemicznym i granulometrycznym stanowiące główny składnik pyłów dymnicowych. Testom tarciovo-zużyciowym poddano metalopolimerowe kompozyty chemoutwardzalne o zróżnicowanych właściwościach wytrzymałościowych. Kompozyty chemoutwardzalne nałożone na stalową rolkę i obrobione mechanicznie na żądany wymiar współpracowały z klasycznymi materiałami konstrukcyjnym stalą i brązem. Zbadano również możliwość zastąpienia metalowych materiałów konstrukcyjnych kompozytami metalopolimerowymi na osnowie żywicy termoutwardzalnej. Badania tarciovo-zużyciowe prowadzono na maszynie tribologicznej T-07 typu rolka klocki w styku rozłożonym w obecności wybranego materiału ściernego. Testy tribologiczne prowadzono przy prędkości 0,1 m/s i naciskach 1 MPa. Wykazano, że kompozyty metalopolimerowe charakteryzują się dużą odpornością na zużycie ściernie.

WPROWADZENIE

Zużycie ściernie powstaje wtedy, gdy ubytek materiału w warstwie wierzchniej jest spowodowany mikroskraniem, rysowaniem lub bruzdowaniem, wówczas gdy w obszarach tarcia współpracujących elementów znajdują się luźne lub utwardzone cząstki ścierniwa albo wystające nierówności twardszego materiału, które spełniają rolę umiejscowionych mikroostrzy, analogicznie mogą działać utlenione produkty zużycia w obszarze tarcia [L. 1–6].

Na **Rys. 1** przedstawiono model dynamiczny procesu zużywania ściernego. Jako kryterium wyróżniające rodzaje zużycia ściernego przyjmuje się iloraz powierzchni przekrojów poprzecznych zagłębienia rysy f_2 oraz spęcznienia materiału wokół rysy f_1 .



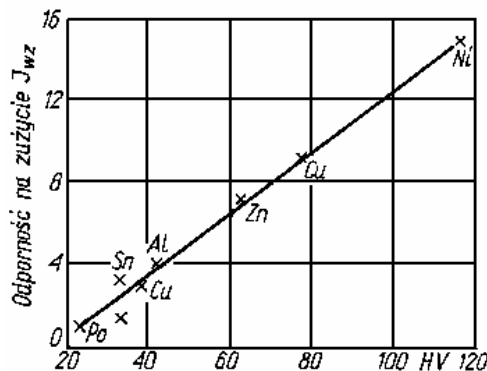
Rys. 1. Schemat przekroju powierzchni obrazujący zużycie ściernie; a_z – głębokość rysy, $m-m$ – poziom odniesienia, f_1 – przekrój powierzchni spęcznienia materiału, f_2 – przekrój powierzchni rysy [L. 1]

Fig. 1. Cross-sectional diagram illustrating the abrasive wear; a_z – flaw depth, $m-m$ – benchmark, f_1 – cross-section area of filtration material, f_2 – flaw area cross-section [L. 1]

Jeżeli $f_2/f_1 = 1$, wówczas powstaje wyłącznie odkształcenie plastyczne obszarów styku, czyli bruzdowanie. Materiał wgnieciony przez występ nierówności lub ziarno ścierniwa jest przeniesiony na zewnątrz powierzchni (spęczenie materiału z obu stron rysy).

Jeżeli $f_1/f_2 = 0$, czyli powierzchnia przekroju poprzecznego spęczonego materiału jest równa zero ($f_1 = 0$), wtedy występuje wyłącznie skrawanie. Jeśli $0 < f_1/f_2 < 1$, to następuje wówczas mikroskrawanie i odkształcenie plastyczne.

Odporność na zużycie ścierne typowych materiałów konstrukcyjnych zależy głównie od ich twardości. Uzyskano eksperymentalne zależności między względną odpornością na zużycie ścierne a twardością metali (Rys. 2).



Rys. 2. Zależność między względną odpornością na zużycie ścierne J_{wz} a twardością Vickersa HV metali [L. 1]

Fig. 2. The dependence of relative abrasive resistance J_{wz} and Vickers Pyramid Number HV of metals [L. 1]

Jak wynika z wykresu, występuje liniowa zależność między wzrostem względnej odporności na zużycie ścierne a twardością metali – w przypadku, gdy twardość ścierniwa znacznie przekracza twardość metali [L. 1, 7, 8].

W rzeczywistych warunkach pracy maszyn i urządzeń mających węzły tarcia, w których może dojść do znaczącego udziału zużywania ściernego, rzadko spotkać można zużycie ścierne będące wynikiem oddziaływania czystego ścierniwa – np. tlenków krzemu lub aluminium w większości przypadków ścierniwa zawierają wiele substancji organicznych co

powoduje, że w praktyce rzadko występuje czyste mikroskrawanie, bez zjawiska przepychania, spiętrzania czy bruzdowania wywołanego cząstkami ścierniwa. Materiał ścierny, biorący udział w procesie zużycia, sam może również ulegać zużyciu lub pokruszeniu. Zużywanie się ziaren w wyniku ścierania wywołuje zmianę ich formy przestrzennej. Kruszenie się ziaren (na skutek występowania w miejscach styku ziarna z powierzchnią dużych naprężeń) prowadzi do rozdrabniania ziaren i do całkowitej zmiany ich kształtu. Zarówno kruszenie ziaren, jak i ich zużywanie powoduje zmiany ilościowe i jakościowe uzyskiwanych charakterystyk tribologicznych [L. 3, 9, 10].

Zużycie ściernie jest jednym z najczęściej występujących rodzajów zużycia podczas eksploatacji w elektrowniach maszyn i urządzeń, służących do przesyłania na składowiska pozostałości po spalaniu węgla i pyłów węglowych, których głównym składnikiem są tzw. mikrosfery.

Zmusza to do poszukiwania materiałów konstrukcyjnych stosowanych w tych urządzeniach, jak również skutecznych i szybkich metod regeneracji zużytych w wyniku erozyjnego działania mikrosfer elementów węzłów tarcia. Wstępne badania przeprowadzone w ITeE – PIB sugerują, że zastosowanie na jeden z elementów materiału o znacznie mniejszej twardości (np. kompozytu chemoutwardzalnego metalopolimerowego zdolnego do inkludowania w warstwie wierzchniej cząstek ścierniwa) powoduje znacznie mniejsze zużycie ściernie niż zastosowanie na współpracujące elementy materiałów metalowych o znacznie większej twardości.

Celem pracy było zbadanie możliwości zastosowania chemo- i termoutwardzalnych kompozytów metalopolimerowych do regeneracji zużytych erozyjnie elementów maszyn i urządzeń stosowanych do transportu popiołów i pyłów dymnicowych generowanych w elektrowniach zasilanych konwencjonalnymi surowcami energetycznymi, a więc urządzeń pracujących w warunkach o podwyższonej agresywności ścierniej.

PRZEDMIOT I PROGRAM BADAŃ

Przedmiotem badań były regeneracyjne kompozyty metalopolimerowe na podstawie chemoutwardzalnej żywicy epoksydowej Epidian-5 napełnionej proszkiem żelaza, grafitem i organicznymi włóknami poliamidowymi, do sieciowania których zastosowano różne związki aminowe. Wybór środków sieciujących podyktowany był różnicami w ich budowie chemicznej wpływającej na reaktywność, a tym samym na właściwości mechaniczne utwardzonych kompozytów. Ponadto w pracach empirycznych

wykorzystano kompozyty termoutwardzalne, stosowane na elementy łożysk ślizgowych.

Sporządzono kompozyty chemoutwardzalne o jednakowej zawartości podstawowych napełniaczy (proszku żelaza, organicznych włókien poliaramidowych i dodatków smarnych w postaci grafitu), stosując do ich utwardzenia różne środki sieciujące. Kompozyty oznaczono symbolami:

- **KM-1** – kompozyt usieciowany aminą alifatyczną – trietylenotetraaminą,
- **KM-2** – kompozyt usieciowany produktem reakcji fenolu, formaldehydu i drugorzędowej poliaminy (TFF),
- **KM-3** – kompozyt usieciowany poliaminoamidem.

Kompozyty utwardzano w temperaturze pokojowej przez siedem dni.

W **Tabeli 1** przedstawiono właściwości wytrzymałościowe chemo-utwardzalnych materiałów kompozytowych będących przedmiotem badań.

Tabela 1. Właściwości wytrzymałościowe badanych kompozytów chemoutwardzalnych

Table 1. The strength properties of tested chemically setting composites

Symbol kompozytu	KM-1	KM-2	KM-3
Twardość Brinella [MPa]	260	304	121
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	97	92	79

Porównując twardość kompozytów chemoutwardzalnych, można stwierdzić, że dla kompozytu KM-3 sieciowanego poliaminoamidem jest ona około 2,5-krotnie mniejsza niż kompozytu o najwyższej twardości (KM-2). Mniejsza jest również wytrzymałość na ściskanie tego materiału kompozytowego. Takie wartości parametrów wytrzymałościowych tego kompozytu wynikają z budowy chemicznej poliaminoamidu. Jego duża masa cząsteczkowa, przeszkody sferyczne, duże odległości między grupami funkcyjnymi powodują zmniejszenie gęstości usieciowania i odporności na odkształcenia postaciowe, mierzone oprócz twardości wytrzymałością na ściskanie. Znacznie wyższe właściwości wytrzymałościowe mają kompozyty sieciowane poliaminą alifatyczną i TFF. W przypadku TFF podwyższona reaktywność i duża liczba aminowa powodują, że twardość tego materiału kompozytowego jest największa.

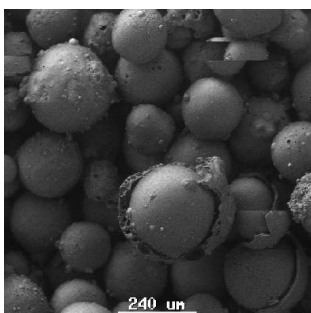
Przedmiotem badań były również kompozyty termoutwardzalne na osnowie żywicy fenolowo-formaldehydowej i oznaczone symbolami:

- **KT-16** – kompozyt na osnowie żywicy fenolowo-formaldehydowej z dodatkiem smaru stałego o budowie warstwowej – grafitu.
- **KTN-16** kompozyt na osnowie żywicy fenolowo-formaldehydowej z proszkiem żelaza i grafitem.

Charakterystyka materiału ściernego zastosowanego w badaniach

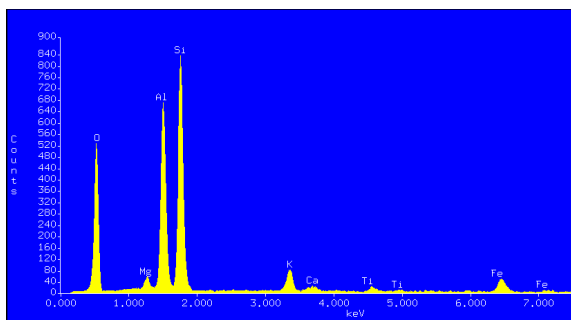
Do badań jako materiału ściernego użyto mikrosfer, które są głównym składnikiem pyłów powstających w wyniku spalania węgla kamiennego w elektrowniach.

Na **Rysunkach 3 i 4** przedstawiono obraz mikroskopowy mikrosfer oraz widmo EDS określające podstawowe pierwiastki wchodzące w ich skład.



Rys. 3. Obraz mikroskopowy mikrosfer (pow. 100×)

Fig. 3. The SEM image of cenospheres (100×)



Rys. 4. Widmo promieniowania rentgenowskiego – skład chemiczny mikrosfer

Fig. 4. X-ray spectrum – cenospheres chemical composition

Zastosowane jako materiał ścierny mikrosfery mają kształt kulek o różnej wielkości wypełnionych gazem, najczęściej jest to dwutlenek węgla. Na widmie EDS, pozwalającym określić pierwiastki wchodzące w skład badanego materiału ściernego można zaobserwować pasma charakterystyczne dla krzemu, aluminium i tlenu, co może sugerować, że głównym składnikiem mikrosfer jest krzemionka i tlenek aluminium, ewentualnie glinokrzemiany. Na widmie promieniowania rentgenowskiego widoczne są również pasma charakterystyczne dla magnezu, potasu, wapnia i żelaza, co wskazuje na śladowe zawartości tych pierwiastków.

Metodyka badań tribologicznych

Badania tarciovo-zużyciowe różnych skojarzeń materiałowych prowadzono na maszynie tribologicznej T-07 typu rolka-kłodek przedstawionej na **Rys. 5**. Natomiast na **Rys. 5a** przedstawiono widok modelowego węzła tarcia.



Rys. 5. Widok stanowiska badawczego testera tribologicznego T-07

Fig. 5. The view of T-07 test rig



Rys. 5a. Widok doświadczalnego węzła tarcia

Fig. 5a. The view of experimental tribosystem

Do badań jako próbek użyto stalowych rolek z nałożoną, utwardzoną i obrobioną mechanicznie na żądany wymiar warstwą kompozytów chemoutwardzalnych, przeciwpróbki w postaci klocka o zalecanych dla testera wymiarach wykonano ze stopu łożyskowego (brązu), stali oraz kompozytów termoutwardzalnych. Dla każdego skojarzenia przeprowadzono co najmniej trzy biegi badawcze w obecności mikrosfer.

Przyjęto następujące warunki prowadzenia testów tarciovo-zużyciowych:

- | | |
|---|--|
| – rodzaj styku: | rozłożony, |
| – prędkość poślizgu: | $v_{sr} = 0,1$ [m/s] |
| – nacisk jednostkowy: | $p = 1$ [MPa] |
| – droga tarcia | $S_{sr} = 1000$ [m] |
| – ilość pomiarów w czasie trwania testu | 1000 |
| – sposób podawania materiału ściernego | grawitacyjny ze zbiornika wyposażonego w urządzenie dozujące |

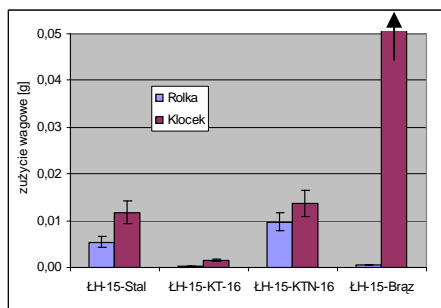
- objętość materiału ściernego ok. 300 ml (na jeden bieg badawczy)

W czasie biegu badawczego prowadzono ciągły pomiar i rejestrację siły tarcia, prędkości obrotowej i temperatury masowej klocka.

Próbki do badań (rolki) wykonano z następujących materiałów: stal łożyskowa ŁH 15 o twardości 56–60 HRC, stal węglowa 45 ulepszana cieplnie o twardości 38–42 HRC, trzy rodzaje kompozytu polimerowego chemo-utwardzalnego KM-1, KM-2, KM-3. Przeciwpółki (klocki) wykonano z brązu B 101 o twardości 88 HRB, stali węglowej 45 ulepszanej cieplnie o twardości 38–42 HRC oraz dwa rodzaje kompozytu termoutwardzalnego KT-16 i KTN-16. Zużycie badanych elementów określano na podstawie pomiarów wagowych przed i po eksperymencie tribologicznym.

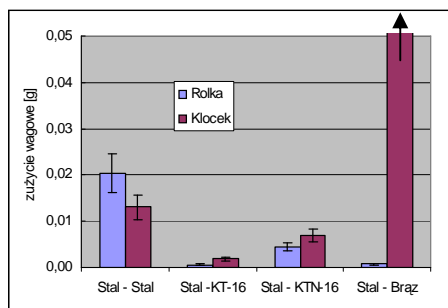
WYNIKI BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych badań tarciovo-zużyciowych różnych skojarzeń materiałowych przedstawiono na wykresach 6–10. Na **Rys. 6** przedstawiono zużycie wagowe rolki wykonanej ze stali ŁH-15, a na **Rys. 7** z ulepszanej cieplnie stali węglowej i współpracujących z nimi klocków wykonanych z brązu, stali i termoutwardzalnych kompozytów metalopolimerowych.



Rys. 6. Zużycie wagowe badanych skojarzeń tarciovo-zużyciowych (rolka ze stali ŁH-15)

Fig. 6. Mass wear of tested friction junctions (ŁH-15 steel roller)



Rys. 7. Zużycie wagowe badanych skojarzeń tarciovo-zużyciowych (rolka ze stali węglowej ulepszanej cieplnie)

Fig. 7. Mass wear of tested tribosystems (toughened carbon steel roller)

W **Tabeli 2** przedstawiono średnie wartości siły tarcia i temperatury węzła badanych skojarzeń materiałowych. Na podstawie uzyskanych wy-

ników badań tribologicznych w obecności mikrosfer dla rolek wykonanych ze stali łożyskowej ŁH-15 i ulepszonej cieplnie stali węglowej można stwierdzić, że siła tarcia, temperatura węzła i zużycie zależy w istotny sposób od rodzaju materiału, z którego wykonano przeciwpróbkę (klocek). W przyjętych warunkach badań najmniejszą siłą tarcia i najniższą temperaturę węzła zarejestrowano dla klasycznego skojarzenia stal ŁH-15 – brąz i stal węglowa – brąz, średnia siła tarcia w badanych skojarzeniach wynosi około 30 N, a temperatura węzła poniżej 40°C (**Tabela 2**).

Tabela 2. Średnie wartości siły tarcia i temperatury węzła badanych skojarzeń materiałowych

Table 2. Average values of friction force and temperature of tested material junctions

Rolka	Stal łożyskowa ŁH-15			
Klocek	Brąz	Stal	Kompozyt KT-16	Kompozyt KTN-16
Siła tarcia [N]	28	61	49	71
Temperatura węzła [°C]	38	48	48	53
Rolka	Stal węglowa ulepszana cieplnie			
Klocek	Brąz	Stal	Kompozyt KT-16	Kompozyt KTN-16
Siła tarcia [N]	26	44	34	55
Temperatura węzła [°C]	35	44	45	49

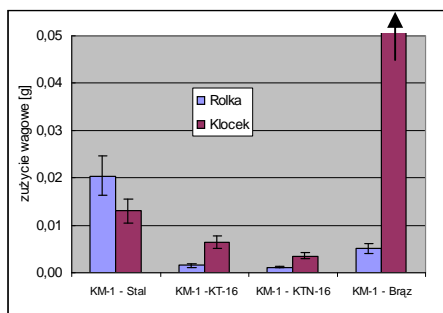
Jednak małe opory ruchu i niewielka temperatura węzła nie korespondują z wielkością zużycia. Aplikowany z zewnątrz do modelowego węzła tarcia materiał ścierny w postaci mikrosfer powoduje lawinowe zużycie współpracującego ze stalowymi rolkami klocka wykonanego ze stopu łożyskowego (**Rys. 6, 7**). Dla skojarzeń stal–stal zarejestrowano znacznie większe zarówno opory ruchu, jak również temperaturę węzła. Łączne zużycie współpracujących elementów jest jednak zdecydowanie mniejsze. Wzrasta natomiast kilkakrotnie zużycie stalowych rolek, szczególnie rolki z ulepszonej cieplnie stali węglowej o twardości znacznie mniejszej niż rolki ze stali łożyskowej

Najkorzystniejsze charakterystyki uzyskano dla skojarzenia, w którym partnerem tarcia dla stalowych próbek jest kompozyt termoutwardzalny oznaczony symbolem KT-16. Średnia siła tarcia dla rolki wyko-

nanej ze stali ŁH-15 wynosi poniżej 50 N, a temperatura węzła waha się w granicach 48°C, zbliżoną wartość temperatury, ale mniejszą siłę tarcia uzyskano dla skojarzenia, w którym jeden z elementów jest wykonany z ulepszonej cieplnie stali węglowej. Zużycie ściernie skojarzeń stal ŁH-15 kompozyt KT-16 i stal węglowa – kompozyt KT-16 jest kilkakrotnie mniejsze niż pozostałych badanych skojarzeń tribologicznych (Rys. 6, 7).

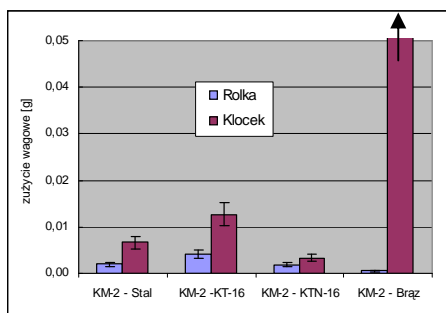
Na podstawie otrzymanych charakterystyk tarciovo-zużyciowych można stwierdzić, że na elementy współpracujące ze stalą łożyskowa lub węglową korzystne jest stosowanie kompozytu termoutwardzalnego z udziałem grafitu – KT-16, jako alternatywę dla klasycznego materiału konstrukcyjnego stosowanego na łożyska ślizgowe – brązu wykazującego zdecydowanie większe zużycie.

Kolejny etap badań dotyczył oceny możliwości zastosowania kompozytów chemoutwardzalnych do regeneracji stalowych elementów narażonych na erozyjne oddziaływanie mikrosfer. Na rolki stalowe nakładano i obrabiano warstwy kompozytów chemoutwardzalnych sieciowanych trietylenotetraaminą, produktem reakcji fenolu, formaldehydu i drugorzędowej poliaminy oraz poliaminoamidem.



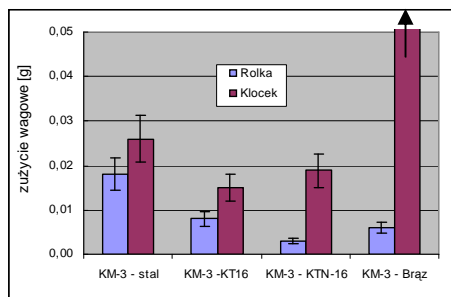
Rys. 8. Zużycie wagowe badanych skojarzeń tarciowych (rolka z kompozytem KM-1)

Fig. 8. Mass wear of tested friction junctions (roller with KM-1 composite)



Rys. 9. Zużycie wagowe badanych skojarzeń tarciowych (rolka z kompozytem KM-2)

Fig. 9. Mass wear of tested friction junctions (roller with KM-2 composite)



Rys. 10. Zużycie wagowe badanych skojarzeń tarcyjnych (rolka z kompozytem KM-3)
 Fig. 10. Mass wear of tested friction junctions (roller with KM-3 composite)

Porównując wielkość zużycia wagowego (**Rys. 8–10**) elementów modelowego węzła tarcia, można zaobserwować, że jest ono największe dla rolki z warstwą chemoutwardzalnego kompozytu sieciowanego poliainoamidem (**Rys. 10**). Widoczny jest w porównaniu z kompozytami KM-1 i KM-2 przyrost zużycia klocka. Przyczyną może być chwilowa nadmierna koncentracja ziaren ścierniwa w warstwie wierzchniej miękkiego kompozytu chemoutwardzalnego (KM-3) powodująca przyspieszone zużycie współpracującego partnera. W tym przypadku jest to możliwe ze względu na stosunkowo niewielką twardość kompozytu chemoutwardzalnego i jego małą odporność na odkształcenia postaciowe.

Tabela 3. Średnie wartości siły tarcia i temperatury węzła tarcia badanych skojarzeń materiałowych

Table 3. Average values of friction force and temperature of tested material junctions

Rolka	Kompozyt chemoutwardzalny KM-1			
	Brąz	Stal	KT-16	KTN-16
Klocek				
Siła tarcia [N]	53	64	40	39
Temperatura węzła [°C]	65	67	52	57
Rolka	Kompozyt chemoutwardzalny KM-2			
	Brąz	Stal	KT-16	KTN-16
Klocek				
Siła tarcia [N]	51	61	41	53
Temperatura węzła [°C]	61	74	60	66
Rolka	Kompozyt chemoutwardzalny KM-3			
	Brąz	Stal	KT-16	KTN-16
Klocek				
Siła tarcia [N]	45	48	35	46
Temperatura węzła [°C]	62	70	61	70

W przypadku warstwy regeneracyjnej z kompozytu sieciowanego za pomocą poliaminy alifatycznej KM-1 zużycie ściernie wszystkich badanych skojarzeń kompozyt – kompozyt jest mniejsze niż skojarzeń stal–brąz czy stal–stal. Najmniejsze zużycie (**Rys. 8**) zmierzono dla kompozytu chemoutwardzalnego KM-1 współpracującego z przeciwpróbką wykonaną z termoutwardzalnego kompozytu oznaczonego KTN-16. Stosunkowo niewielkie dla tego skojarzenia są również siła tarcia i temperatura węzła. Porównywalne wartości zużycia uzyskano dla tej samej przeciwpróbki (KTN-16) współpracującej z kompozytem KM-2, większe są jednak w tym przypadku zarówno opory ruchu, jak i temperatura węzła. Z przedstawionych w **Tabeli 3** wyników pomiarów średnich wartości siły tarcia i temperatury węzła oraz wielkości zużycia **Rys. 8–10** wynika, że do regeneracji stalowych elementów narażonych na erozyjne działanie mikrosfer wskazane jest zastosowanie kompozytu chemoutwardzalnego sieciowanego poliaminą alifatyczną lub produktem reakcji fenolu, formaldehydu i drugorzędowej poliamidy.

PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że zużycie ściernie modelowych skojarzeń tarciovych jest uzależnione od rodzaju i właściwości materiału kompozytowego. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że klasyczne materiały konstrukcyjne – stal i stop łożyskowy (brąz) wykazują znacznie większe zużycie w wyniku erozyjnego działania mikrosfer niż materiały kompozytowe. W zdecydowanej większości badanych skojarzeń tarciovych zużycie współpracujących z rolkami przeciwpróbek (klocków) wykonanych z różnych gatunków stali, stopu łożyskowego i kompozytów termoutwardzalnych było większe niż rolek stalowych lub rolek z regeneracyjną warstwą wierzchnią.

Otrzymane wyniki badań odporności na zużycie ściernie w obecności mikrosfer dla różnych wariantów składów kompozytów chemo- i termoutwardzalnych wykazały, że na warstwy regeneracyjne korzystnie jest stosować kompozyt chemoutwardzalny sieciowany związkami aminowymi o zwiększonej reaktywności, które zapewniają odpowiedni poziom parametrów wytrzymałościowych i zwiększoną odporność na zużycie ściernie, natomiast na elementy z nim współpracujące kompozyt na osnowie żywicy termoutwardzalnej napełnionej proszkiem żelaza.

LITERATURA

1. Hebda M., Wachal A.: Trybologia. WNT Warszawa 1980.
2. Chruscov M., Babice M.: Abrazivnoje iznasivaniye. Izd-vo „Nauka” Moskwa 1970.
3. Zwierzycki W. i zespół: Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów ślizgowych w węzłach maszyn. PWN Warszawa – Poznań 1990.
4. Uetz H.: Zużycie materiałów przy udziale ziarnistych materiałów mineralnych. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1(25) PWN, Warszawa 1976.
5. Axen N., Jacobson S., Hogmark S.: Influence of hardness of the counterbody In threebody abrasive wear – an overlooked hardness effect. Tribology International, vol. 27, nr 4/1994.
6. Kallas P.: Indentation energy and abrasive wear of metals. Wear, 198 (1996).
7. Jacobson P., Wallen S., Hogmark S.: Fundamental aspects of abrasive wear studied by a new simulation model. Wear 123 (1998), s. 25–32.
8. Safonow B.P.: Influence of hardness of steels on tribo-technological parameters in abrasive wear. Friction Wear 12 (1991).
9. Budinski K. G.: Resistance to particle abrasion of selected plastics. Wear, 2003–2004 (1997) s. 42–49.
10. Ma X., Liu R., Li D.Y.: Abrasive wear behavior of D2 tool steel with respect to load and sliding speed under dry sand/rubber wheel abrasion condition. Wear 241 (2000).

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

The paper presents the results of resistance to abrasive wear of various material junctions. The purpose of this study was to assess the potential application of composite materials for the regeneration of friction pairs of devices for transport to landfills using fly ashes formed during combustion of solid fuels in power plants. Cenospheres of defined chemical and granulometric composition, which is the main component of fly ashes, were adopted as abrasive material. The friction and wear tests were performed using a chemically setting metal-polymer composite with various strength properties. Chemically setting metal-polymer composites were imposed on a steel roller, and machined to the desired size to cooperate with traditional construction materials, steel and bronze. Thermosetting resin based metal-polymer composites were tested for

the possibility of replacing metal construction materials. The friction and wear tests were performed in conformed contact by a T-07 black-on-ring tester in the presence of selected abrasive material. Tribological tests were conducted at a speed of 0.1 m/s and 1 MPa pressure. A high resistance to abrasive wear of metal-polymer composites was demonstrated.