

Badanie właściwości tribologicznych kompozytów epoksydowych i rezolowych w warunkach tarcia technicznie suchego

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.473
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówione zostały wyniki badań tribologicznych kompozytów epoksydowych i rezolowych. Zbadano stan powierzchni próbek kompozytów, pracujących w węzłach ślizgowych. Stwierdzono, że istnieje możliwość zastosowania tańszych żywic rezolowych do kompozytów ślizgowych (w miejsce stosowanego Epidianu 5). Wykonano testy, które wykazały, że zwiększenie zawartości PTFE w kompozycie powodowało obniżenie zarówno współczynnika tarcia, jak i zużycie. Wyniki analizy rentgenograficznej potwierdziły występowanie zjawiska selektywnego przenoszenia.

Słowa kluczowe: Żywice fenolowo-formaldehadowe, PTFE, grafit, kompozyt, technologia, samosmarujące się styki ślizgowe, właściwości tribologiczne.

Wstęp

W urządzeniach realizujących ruch, jednym ze słabszych elementów są węzły tarcia, dlatego wciąż trwają badania nad nowymi materiałami, stosowanymi do ich konstrukcji.

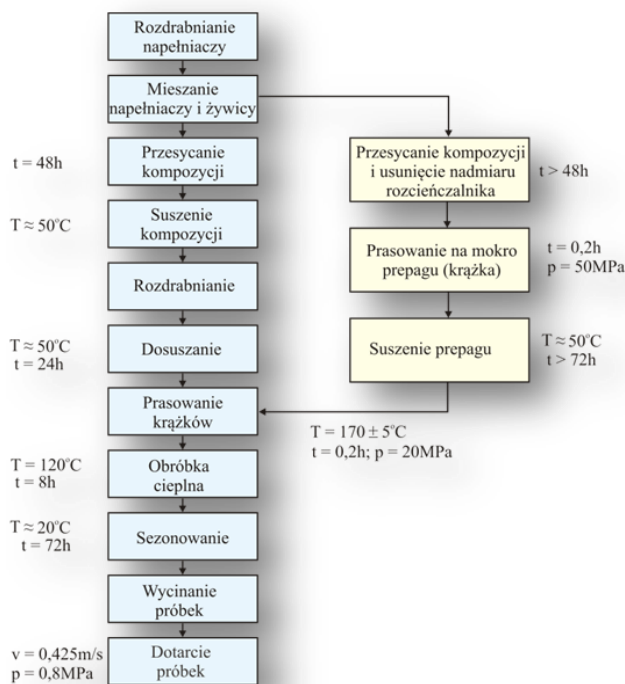
Aktualnie pierwszym zastosowaniem materiałów kompozytowych jest przemysł transportowy [1, 2]. W zależności od przeznaczenia posiadają one kompleks właściwości: podwyższoną wytrzymałość, odporność na zużycie, odpowiednie charakterystyki ślizgowe, odporność na szoki cieplne i procesy zmęczeniowe z uwzględnieniem tendencji do zmniejszania masy właściwej gotowego wyrobu kompozytowego. W materiałach kompozytowych poddanych długotrwałym obciążeniom statycznym lub zmęczeniowym występuje zjawisko stopniowych zmian wartości współczynników sprężystości, wskaźników wytrzymałości, charakterystyk tłumienia drgań i innych właściwości materiału. Przyczyną takich zmian jest proces stopniowego rozwoju mikropęknięć i innych uszkodzeń materiału [3, 7].

Modyfikacja polegała na dodaniu do polimeru bazowego napelniaczy i modyfikatorów. Jednoczesna modyfikacja wieloma napelniaczami jest skuteczniejsza, ale nie zawsze można w pełni przewidzieć jej efektywność ze względu na synergizm napelniaczy, zawartych w polimerowej matrycy kompozytu [4, 5, 6].

Przedmiotem badań przedstawionych w artykule było ustalenie wpływu poszczególnych składników oraz ich zawartości, na właściwości wytrzymałościowe i charakterystyki tarciovo-zużyciowe wybranych kompozytów polimerowych, a w szczególności na możliwość zastosowania ich w ślizgowych węzłach tarcia.

1. Metodyka badań

Kompozyty oparte na żywicach rezolowych (AW1 i FDP) i kompozyt z politetrafluoroetylenem (PTFE) otrzymano według receptur własnych, zawartych w pracy [5,8]. W przypadku kompozycji epoksydowych kompozyt podstawowy otrzymano z Epidianu 5 i trietylenotetraaminy (utwardzacz Z1). Przeprowadzono modyfikację polimerów różnymi napelniaczami (włóknami bawełny, mieszaniną PTFE i proszku brązu w różnych proporcjach).



Rys. 1. Etapy procesu otrzymywania próbek do badań

Badania przeprowadzone zostały za pomocą tribometru (Tester T-05 typu rolka-kłosek) produkcji Instytutu Technologii i Eksploatacji w Radomiu. Tester T-05 ma zastosowanie do oceny właściwości tribologicznych smarów plastycznych, olejów i smarów stałych oraz odporności na zużycie podczas tarcia metali i tworzyw sztucznych. Służy także do badania odporności na zacieranie powłok niskotarciowych, наносzonych na wysokoobciążone elementy maszyn.

Zostały przeprowadzone badania kompozytów z różnymi lepiszczami: epoksydowym (Epidian 5), rezolowym (z żywicy fenolowo-formaldehadowej AW1 lub z żywicy fenolowo-formaldehadowo-fenolowej FDP), a także kompozytu opartego na politetrafluoroetylenie (PTFE), z napelniaczem metalowym (proszkiem brązu).

Badane kompozyty przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Skład jakościowy kompozytów

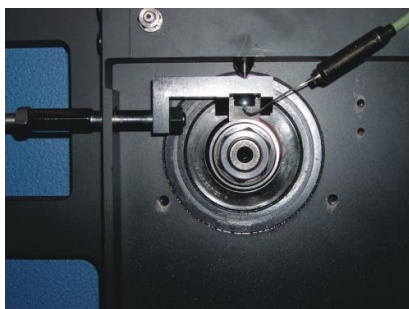
Nr kompozytu	Rodzaj lepiszcza	Rodzaj napelniacza
1	Politetrafluoroetylen PTFE	Proszek brązu (CuSn)
2	Żywica epoksydowa Epidian 5 Utwardzacz: trietylenotetraamina	35% PTFE + 65% proszku brązu (CuSn); Włókna bawełny Linters
3	Żywica epoksydowa Epidian 5 Utwardzacz: trietylenotetraamina	65% PTFE + 35% proszku brązu (CuSn); Włókna bawełny Linters

4	Rezolowa żywica fenolowo - formaldehydowa AW1	35% PTFE +65% proszku brązu (CuSn); Włókna bawełny Linters
5	Rezolowa żywica fenolowo - formaldehydowo - fenolowa FDP	35% PTFE +65% proszku brązu (CuSn); Włókna bawełny Linters

Oceniono wpływ rodzaju lepiszcza na współczynnik tarcia μ ($\mu=f(p, V)$) - dla wybranych obciążeń, przy założeniu, że podczas badań temperatura tarcia (mierzona w próbce w odległości około 2 mm od powierzchni tarcia) nie będzie przekraczać 120°C.

Ocenę własności tribologicznych: współczynnika i temperatury tarcia oraz zużycia - dokonano za pomocą testera T-05 w skojarzeniu ze stalą 45 (49HRC) (rys. 2), przy parametrach tarcia:

- nacisku od 1,25÷10 [MPa];
- prędkości od 0,5 [m/s];
- chłodzenie: bez chłodzenia i z wentylowaniem obszaru skojarzenia;
- wilgotność powietrza: 70÷80% wilgotności względnej;
- temperatura otoczenia 14÷22°C;
- powierzchnia przykrycia próbki 16%;
- tarcie technicznie suche.



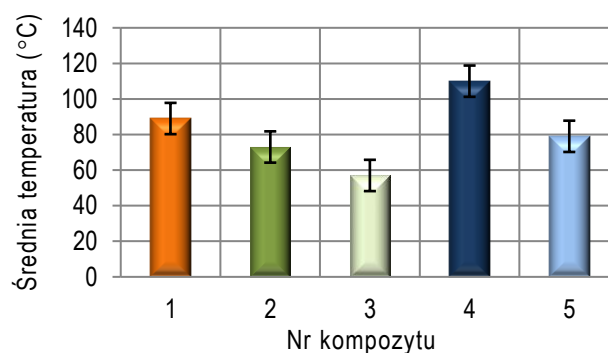
Rys. 2. Tester T-05 – widok skojarzenia próbka-przeciwpróbka (krążek)

W badaniach wyznaczono przebieg współczynnika i temperatury tarcia w zależności od obciążenia przy różnych wartościach prędkości. Po cyklu badań zmierzono wartość intensywności zużycia za pomocą wagi analitycznej WA-32 (produkcji Zakładów Mechaniki Precyzyjnej w Gdańsku).

Temperaturę i współczynnik tarcia, rejestrowano co 250 m (przy obciążeniu zmienianym co 600 sek.). Ponadto rejestrowano również zależność współczynnika tarcia od drogi tarcia. Próbki były ważone przed i po każdym teście, co pozwoliło na wyznaczenie ich zużycia [8].

2. Rezultaty badań

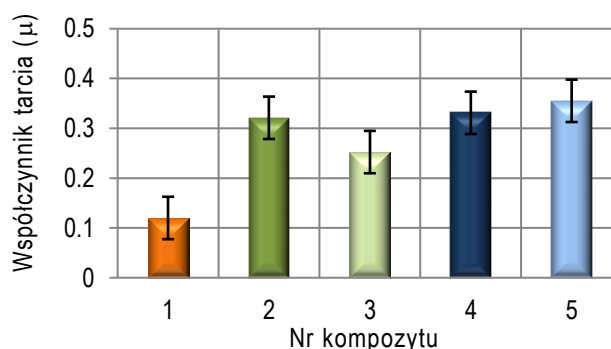
Średnią temperaturę węzła tarcia (we wszystkich przypadkach) można uznać jako zadowalającą. Najlepsze wyniki osiągnęły próbki kompozytów z lepiszczem epoksydowym (73°C dla kompozytu 2, 57°C dla 3). Kompozyt 5, z lepiszczem z żywicy fenolowo-formaldehydowo-fenolowej, wykazał podczas tarcia temperaturę 79°C. Najwyższą wartość (110°C) uzyskano dla kompozytu 4, z lepiszczem z żywicy fenolowo-formaldehydowej. (rys. 3).



Rys. 3. Średnia temperatura węzła tarcia dla kompozytów [°C]

Charakterystyki tarciovo-zużyciowe kompozytów z lepiszczem z żywicy epoksydowej (kompozyt 2 i 3) i z żywic rezolowych: (kompozyt 4 i 5) osiągają podobne wartości.

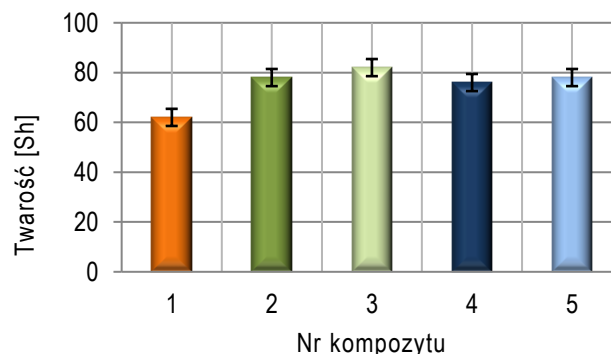
W przypadku kompozytów z lepiszczem epoksydowym współczynnik tarcia uzyskany dla kompozytu 2 wynosił $\mu=0,321$, natomiast dla kompozytu 3 $\mu=0,252$. Współczynniki tarcia uzyskane podczas badań dla próbek opartych na żywicach rezolowych są wyższe (dla 4 $\mu=0,331$, dla 5 $\mu=0,355$) (rys. 4)



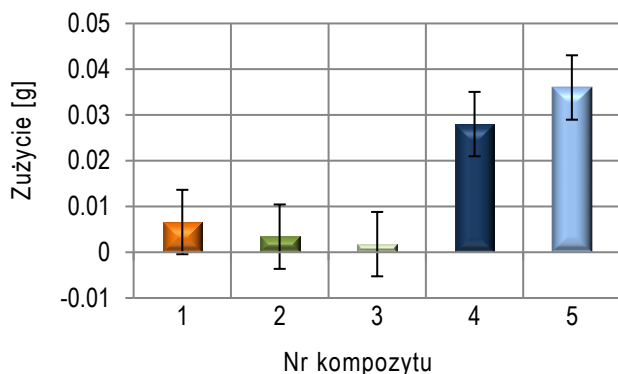
Rys. 4. Współczynnik tarcia dla kompozytów

Najwyższą twardość uzyskały próbki oparte na żywicy epoksydowej (2 i 3). W przypadku żywic rezolowych zastosowanie żywicy fenolowo-formaldehydowo-fenolowej (FDP) powoduje zwiększenie twardości (rys. 5).

Porównując te wyniki z wynikami badań tribologicznych można stwierdzić, że wśród badanych kompozytów próbki kompozytów epoksydowych - o najwyższej twardości, charakteryzowały się również najniższym zużyciem (rys 6).



Rys. 5. Twardość badanych kompozytów [Sh]

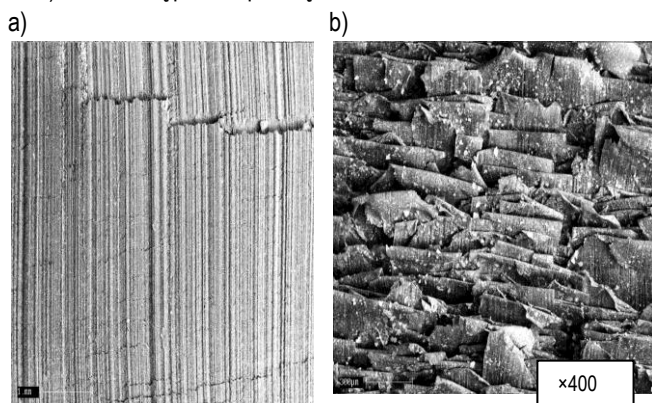


Rys. 6. Zużycie badanych kompozytów [g]

Kompozyty z lepiszczem epoksydowym wykazały zdecydowanie niższe zużycie. Dla kompozytu 1, gdzie jako napelniacz zastosowano proszek brązu, uzyskano wyniki zbliżone do wyników dla próbek kompozytów epoksydowych (2, 3). Przy niskim średnim współczynniku tarcia ($\mu = 0,120$) obserwowano stosunkowo wysoką temperaturę tarcia (89°C), ale niskie zużycie.

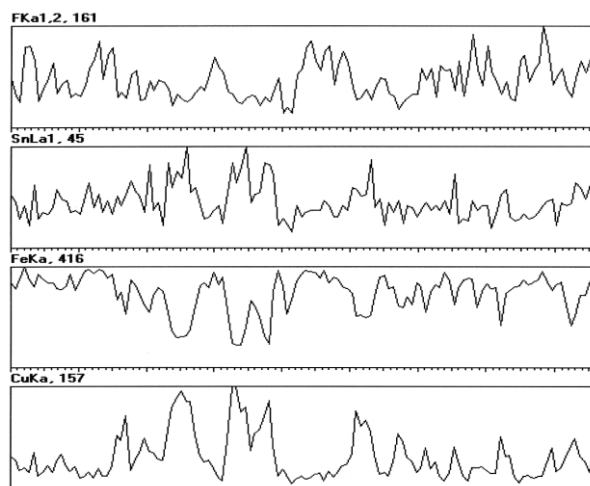
W przypadku kompozytów epoksydowych (2 i 3) - przy wzroście udziału dyspersji PTFE - nastąpiło obniżenie zużycia i współczynnika tarcia oraz temperatury wyzwalającej się podczas tarcia.

W przypadku kompozytu z lepiszczem z PTFE (kompozyt 1) nastąpiło płynięcie plastyczne próbki. Zaobserwowano tworzenie się na powierzchni tarcia warstwy poślizgowej, jej pękanie, (rys.7a) oraz jej ścinanie (rys.7b). Produkty zużycia wypływają z obszaru tarcia w postaci bardzo cienkiej, łamiącej się taśmy. Zaobserwowane zjawiska są zgodne z opisanym w pracy [8] mechanizmem zużycia. Nastąpiło widoczne przenoszenie składników kompozytu (Cu, Sn, PTFE) na stalową przeciwpróbkę.



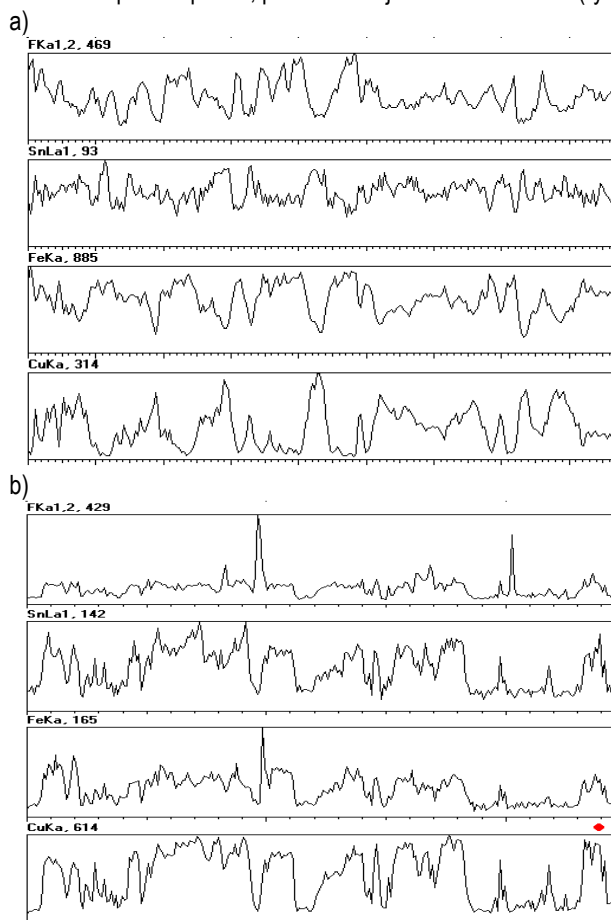
Rys. 7. a) powierzchnia tarcia kompozytu 1, widoczne są poprzeczne do kierunku tarcia mikropęknięcia; b) Widok taśmy w płaszczyźnie ścinania widoczny teflon w postaci płatkowej (powiększenie x400).

Analiza rentgenograficzna wykazała wzbogacenie warstwy wierzchniej w: miedź, cynę i fluor (rys.7).



Rys. 8. Charakterystyki rentgenograficzne powierzchni przeciwpróbki metalowej (stal 45 o twardości HRC 48) współpracującej w procesie tarcia z próbką kompozytu 1 z lepiszczem z PTFE.

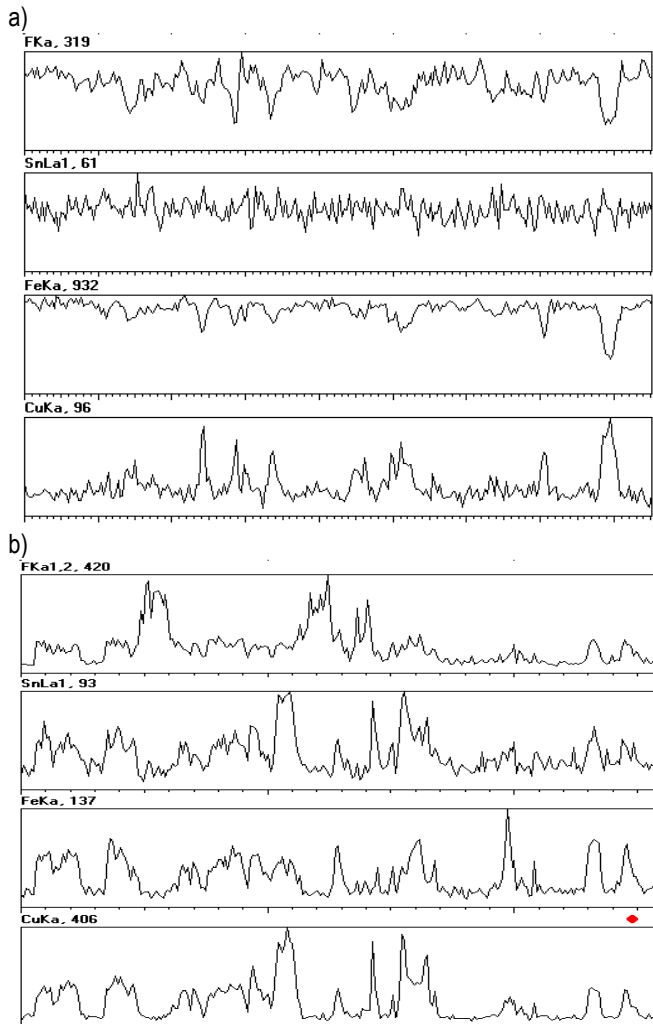
Analizując wyniki badań rentgenowskich dla kompozytu epoksydowego, zawierającego większą zawartość PTFE (kompozyt 3) można zauważyć, że zdecydowanie wzrasta zawartość miedzi na powierzchni przeciwpróbki, przeniesionej z materiału klocka (rys.8).



Rys. 8. Charakterystyki rentgenograficzne: a) powierzchni przeciwpróbki metalowej (stal 45 o twardości HRC 48), b) współpracującej w procesie tarcia z próbką kompozytu z lepiszczem epoksydowym (kompozyt 3)

W przypadku próbki z lepiszczem z żywicy fenolowo-formaldehydowej AW1 (kompozyt 4) analiza rentgenograficzna powierzchni rolki kompozytu wskazuje na umiarkowane wydzielanie miedzi na powierzchni, poddanej procesowi tarcia, pochodzącej z przeciwpółki wykonanej ze stopu łożyskowego. Zauważalne są także charakterystyczne pasma promieniowania dla pierwiastków wchodzących w skład stopu łożyskowego, czyli: żelaza, cyny, fluoru (rys.9).

Tak odmienne zachowania można tłumaczyć różnymi mechanizmami zużywania żywicy fenolowo-formaldehydowej i żywicy epoksydowej.



Rys. 9. Charakterystyki rentgenograficzne: a) powierzchni przeciwpółki metalowej (stal 45 o twardości HRC 48), b) współpracującej w procesie tarcia z próbką kompozytu z lepiszczem fenolowo-formaldehydowym (kompozyt 4)

Podsumowanie

Podsumowując należy stwierdzić, że:

1. Zwiększenie udziału politetrafluoroetylenu w kompozytach epoksydowych powoduje poprawę właściwości tribologicznych, a także obniżenie zużycia i poprawę odporności termicznej;
2. Wyniki analizy rentgenograficznej badanych próbek i przeciwpółek wskazują, że podczas procesu tarcia zachodzi zjawisko selektywnego przenoszenia, które prowadzi do wytworzenia na współpracujących powierzchniach obu partnerów cienkich warstewek powierzchniowych, przejmujących funkcję warstwy przeciwzużyciowej.
3. Kompozyty oparte na żywicach rezolowych uzyskały charakterystyki tribologiczne zbliżone do kompozytów, opartych

na żywicach epoksydowych, zawierających ten sam rodzaj napełniacza, dyspersję politetrafluoroetylenu (PTFE). Możliwość ta jednak może być determinowana przez określone warunki (żywice rezolowe uzyskały nieco wyższy współczynnik tarcia oraz temperaturę, wyzwalamą się w węźle tarcia) w zakładanym węźle tarciovym;

4. Istnieje możliwość zastosowania tańszych żywic rezolowych do wytwarzania kompozytów ślizgowych

Bibliografia:

1. Challen B., Barnescu R., Diesel Engine Reference Book. Butterworth-Heinemann, Oxford 1999.
2. Mazurkiewicz A.: Ocena właściwości i kształtowania ubytkowego kompozytu PTFE-brąz, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, R. 17, nr 6, 2017.
3. Trębicki K., Królicka A.: Próby wytrzymałościowe kompozytów polimerowych, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, R. 18, nr 9, 2017.
4. Huang S.X., Paxton K., A Macrocomposite Al Brake Rotor for Reduced Weight and Improved Performance. Journal of Metals, Vol. 50, No. 8, 1998.
5. Siepracka B., Szumniak J., Stawarz S.: „Wpływ rodzaju osnowy na właściwości tribologiczne kompozytów ślizgowych z dyspersją teflonową”, Tribologia 4/2003.
6. Lawrowski Z.: Bezobsługowe łożyska ślizgowe, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
7. Trębicki K., Królicka A.: Wpływ struktury materiałów kompozytowych na właściwości mechaniczne, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, R. 18, nr 9, 2017.
8. Siepracka, B., Szumniak, J., Stawarz, S., Gajewska, J.: Wpływ rodzaju lepiszczu na własności kompozytów ślizgowych, Inżynieria Powierzchni, 2005, Nr 4, s. 39-46

Study of tribological properties of epoxy and resins composites under technically dry friction conditions

The article discusses the results of tribological tests of epoxy and resole composites. There was examined the surface condition of samples of composites operating in sliding nodes. It has been found that it is possible to use cheaper resole resins for sliding composites (instead of Epidian 5). Tests that have been carried out showed that increasing the PTFE content in the composite resulted in lowering both the coefficient of friction and wear. X-ray analysis results confirmed the occurrence of the selective transfer phenomenon.

Keywords: Phenol-formaldehyde resins, PTFE, graphite, composite, technology, selflubricating sliding contacts, tribological properties

Autorzy:

dr inż. **Sylwester Stawarz** – Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, IBM, ZPKM, stawarz@uthrad.pl

dr inż. **Magdalena Stawarz** – Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, stawarz@uthrad.pl

mgr inż. **Robert Gumiński** – Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, IBM, ZIM, robert.guminski@uthrad.pl

dr inż. **Wojciech Kucharczyk** – Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, IBM, ZIM, wojciech.kucharczyk@uthrad.pl