

INVESTIGATIONS OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF REGENERATING GLUING CEMENTS COMPOSITES DESTINATIONED TO REPAIR ELEMENTS OF SLIDING CONTACTS

Edward Cypko, Stanisław Kowalczyk, Czesław Pakowski

Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 6837503, +48 22 6839048, fax: +48 22 6839449
e-mail: edward.cypko@wat.edu.pl, mailto:s.kowalczyk@wme.wat.edu.pl

Abstract

The polymer-matrix composites have been applied to regeneration of sliding contacts elements since many years. Their proprieties as well as range of using are known generally. The lack is however the exact comparative data concerned of behaviours of utility attribute of exposed on environmental effect materials, particularly the influence of elevated temperature on tribological properties of materials. The authors having on regard the wide possibilities of using this type of polymer-matrix composites in repair of machine engines and devices, problem of assessment of tribological possibilities they have taken in this papers.

In the paper comparative was presented results of investigations of Chester and Belzona firms of materials. It to the investigations was exposed Chester Metal Slide and Belzona 1331 materials. On the basis of received results, maybe to affirm that investigations materials they are characterized by compared of tribological properties in 20°C environmental temperature. The elevated temperature of work causes reduce of tribological properties researched of regenerating gluing cements and it can to have the influence on the limit of range their using to regeneration of elements of sliding contacts elements.

Keywords: machine engines, sliding contacts elements, regeneration, regenerating gluing cements, tribological properties

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH KOMPOZYTÓW KLEJOWYCH PRZEZNACZONYCH DO REGENERACJI ELEMENTÓW WĘZŁÓW ŚLIZGOWYCH

Streszczenie

Materiały kompozytowe na osnowie polimerowej stosowane są do regeneracji węzłów ślizgowych od wielu lat. Znane są ogólnie ich właściwości oraz zakres stosowania. Brak jest jednak ścisłych danych porównawczych dotyczących zachowania cech użytkowych materiałów poddanych działaniu czynników środowiskowych, zwłaszcza wpływu podwyższonej temperatury na właściwości trybologiczne materiałów. Autorzy mając na względzie szerokie możliwości stosowania tego typu kompozytów w naprawie maszyn i urządzeń, zagadnienie oceny właściwości trybologicznych materiałów podjęli w niniejszej pracy.

W pracy przedstawiono porównawczo wyniki badań materiałów firm Chester Metal i Belzona. Badaniom poddano materiały Chester Metal Slide i Belzona 1331. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badane materiały charakteryzują się porównywalnymi właściwościami trybologicznymi w temperaturze otoczenia 20°C. Podwyższona temperatura pracy powoduje zmianę charakteru przebiegu i obniżenie właściwości trybologicznych badanych materiałów klejowych i może mieć wpływ na ograniczenie zakresu ich stosowania w regeneracji elementów węzłów ślizgowych.

Słowa kluczowe: maszyny, węzły ślizgowe, regeneracja, klejowe kompozyty regeneracyjne, właściwości trybologiczne

1. Wstęp

Początkowo tworzywa sztuczne traktowano jako substytuty materiałów tradycyjnych. Dopiero dokładniejsze poznanie ich własności spowodowało, że przestano uważać tworzywa za materiały zastępcze. Korzyści z zastosowania tworzyw sztucznych wynikają przede wszystkim z mniejszej energii potrzebnej do wyprodukowania tych samych elementów z alternatywnych materiałów oraz możliwości połączenia różnych cech funkcjonalnych.

Rozpowszechnienie materiałów samosmarownych w budowie części maszyn umotywowane jest ich wieloma korzystnymi właściwościami mechanicznymi i tribologicznymi, które są zbliżone do cech białych metali łożyskowych [6]. Możliwości zastosowania i ocena stosowanych kompozytów na podstawie polimerowej świadczą o ciągłości poszukiwań coraz to nowszych materiałów. Można to tłumaczyć tylko różnymi możliwościami techniczno-technologicznymi zakładów produkcyjnych i pomijaniem trudnych, skomplikowanych i nie do końca wyjaśnionych zjawisk towarzyszących współpracy części tworzących skojarzenie cierne.

Dobór polimerowego materiału na węzły ślizgowe jest podporządkowany głównie uzyskaniu jak największej odporności na zużycie ściernie oraz szybkości regeneracji węzła ślizgowego. Podstawowym wskaźnikiem do oceny przydatności rozpatrywanej grupy materiałów jest jej temperatura pracy w określonym skojarzeniu i wynikająca z tego intensywność zużywania.

Wobec powyższego celowe wydaje się ustalenie, czy badane materiały takich wiodących producentów jak Belzona i Chester Molecular mogą być wykorzystane jako zamienniki przy wytwarzaniu łożysk samosmarownych i ślizgowych warstw regeneracyjnych otrzymywanych metodą klejenia.

Znane są ogólnie właściwości materiałów oraz zakres ich zastosowania [1,7,8]. Brak jest jednak ścisłych danych porównawczych dotyczących zachowania cech użytkowych materiałów poddanych działaniu czynników środowiskowych, zwłaszcza wpływu podwyższonej temperatury na właściwości trybologiczne materiałów. W tym obszarze zainteresowanie badaczy jest nieadekwatne do potrzeb aplikacyjnych stosowania tej grupy materiałów. Dotychczas prowadzone badania koncentrują się na ocenie właściwości regeneracyjnych materiałów na podstawie polimerowej z pominięciem grupy materiałów ślizgowych [2,3,4,5].

Podstawowym celem pracy była ocena porównawcza właściwości tribologicznych wybranych materiałów klejowych, stosowanych na węzły ślizgowe lekko obciążone, o oznaczeniu Belzona 1131 i Chester Metal Slide wykorzystywanych jako materiały regeneracyjne. Zastosowane metody badawcze wytypowano w oparciu o analizę literaturową i wstępne eksperymenty weryfikujące dostępność, celowość i możliwość ich zastosowania.

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym TESTER T-11 typu trzpień – tarcza, o następującej charakterystyce technicznej: rodzaj styku - rozłożony, płaski, utworzony przez obracającą się tarczę i dociskany do niej trzpień; rodzaj ruchu - ślizgowy ze stałą prędkością w czasie próby badawczej, nastawiany bezstopniowo w zakresie 0,1 – 1,0 m/s; obciążenie styku: stałe, pozwalające na uzyskanie nacisków powierzchniowych pomiędzy próbką a tarczą w zakresie 0 – 1,5 MPa; temp. otoczenia węzła tarcia regulowana w zakresie od temp. otoczenia do 300°C; maksymalna wartość siły tarcia – 50 N.

Stanowisko wyposażono w układy umożliwiające rejestrację wskaźników przebiegu procesu trybologicznego o charakterze ciągłym: do pomiaru sił tarcia pomiędzy próbką a przeciwpróbką (czujnik tensometryczny typu U1A); do pomiaru zużycia liniowego elementów pary trącej (indukcyjny czujnik przemieszczeń typu W1T3); do pomiaru temperatury próbki (termoelektryczny czujnik typu TP-11); do pomiaru prędkości obrotowej i zliczania obrotów.

Wartość zużycia próbek oznaczono metodą wagową przez porównanie masy próbek przed i po współpracy. Pomiar przeprowadzono przy użyciu wagi analitycznej z dokładnością $1 \cdot 10^{-4}$ g.

Rejestrację wizualną powierzchni tarcia i widoku zewnętrznego zarysu badanych próbek dokonano kamerą cyfrową, przy użyciu mikroskopu NEOPHOT 2.

Do badań wykorzystano próbki w kształcie walca o średnicy $\varnothing = 4,8$ mm i długości $l = 5$ mm, odpowiednio przygotowane do uchwytu i wstępnie dotarte na testerze. Badania przeprowadzono przyjmując następujące warunki: średnie naciski jednostkowe $p=2,5$ MPa; długość drogi tarcia podczas jednego obrotu $S=0,063$ m; czas pomiaru około 2 h; temperatura otoczenia wężła ślizgowego 20°C i 100°C ; jednorazowe smarowanie styku smarem stałym ŁT 4S3.

2. Wyniki badań tribologicznych

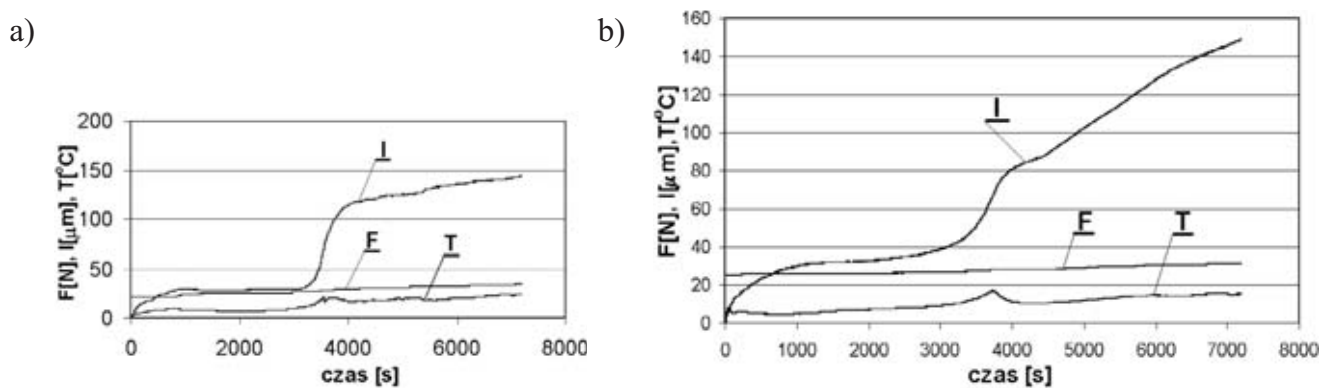
Wpływ warunków otoczenia, a także warunków współpracy elementów trących na zużycie materiału polimerowego w parach metal - polimer jest duży. Z badań wynika, że zużycie obu badanych materiałów chemoutwardzalnych w funkcji czasu tarcia szybko wzrasta przy jednoczesnym wzroście temperatury w strefie tarcia. Wzrost temperatury przyspiesza zużycie zarówno materiału polimerowego jak i przeciwpróbki stalowej, z którą on współpracuje. W tym przypadku pomiar temperatury w samym styku był niemożliwy (pomiaru dokonywano z drugiej strony próbki), dlatego też temperatura nie może być uwzględniana jako podstawowy parametr pomiaru w wykonywanym badaniu, zważywszy na fakt, iż tworzywo jest bardzo dobrym izolatorem termicznym.

Analizując otrzymane wykresy na Rys. 1 (siła F , przesunięcie I i temperatura T w funkcji czasu trwania rejestracji pojedynczego pomiaru), w różnych warunkach otoczenia pracy wężła, należy zauważyć identyczny charakter przebiegu mierzonych wskaźników (krzywa zużycia liniowego – przesunięcia na wykresie ma charakter zbliżony do zużycia materiałów metalowych wg krzywej Lorentza).

W temperaturze otoczenia 20°C zarówno dla materiału Belzona, jak i Chester przebieg przemieszczenia liniowego jest wyraźnie zauważalny (Rys 1a i b) i przebiega podobnie jak dla metali.

W początkowym okresie pracy do około 1000 s nastąpił okres docierania tworzywa (choć uprzednio próbki zostały wstępnie dotarte) i wzrost przesunięcia liniowego do $25\ \mu\text{m}$. Następnie do około 3500 s tworzywa pracowały bez obserwowalnego zużywania się (prawdopodobnie materiał przeniesiony na przeciwpróbkę stalową wypełnił nierówności w polerowanym metalu tworząc samosmarowną warstwę ślizgową). Dopiero po przekroczeniu tego progu czasowego pracy ciągłej tworzyw zaobserwowano momentalny przyrost przesunięcia liniowego.

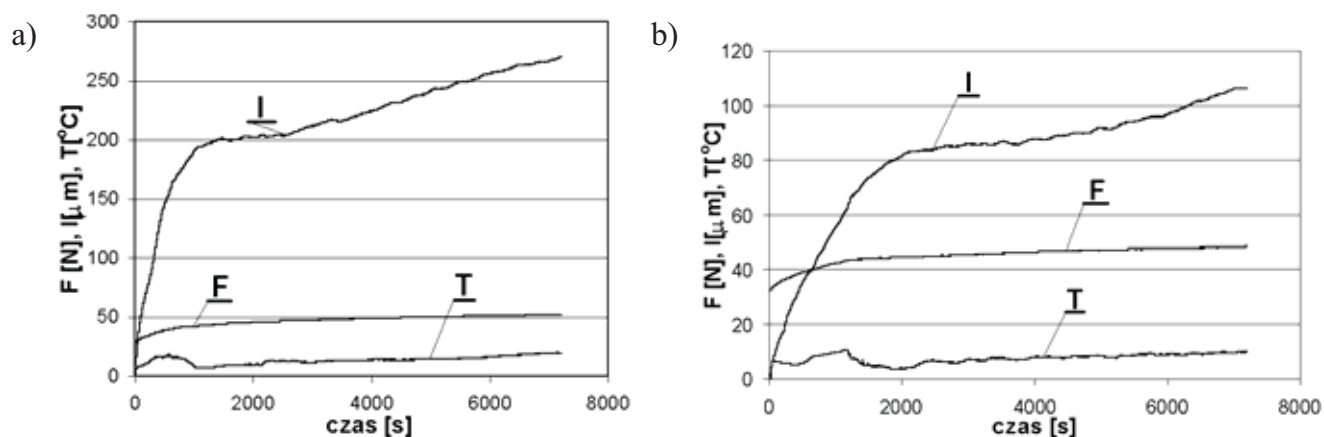
Z pomiaru wagowego badanych próbek nie wynikało jednoznacznie, że kompozyty uległy nagłemu zużyciu ściernemu, gdyż ubytek masy próbek był bardzo niewielki. Prawdopodobnie po osiągnięciu w styku temperatury granicznej pracy podanej przez producentów obu kompozytów, nastąpiła deformacja geometryczna próbek i tzw. płynięcie tworzywa.



Rys. 1. Przebieg rejestrowanych parametrów badania F , I i T w funkcji czasu trwania badania w temperaturze otoczenia 20°C : a) Belzona 1131, b) Chester Metal Slide

Fig. 1. Change of registered parameters F , I and T in function of time research in environment temperature 20°C : a) Belzona 1131, b) Chester Metal Slide

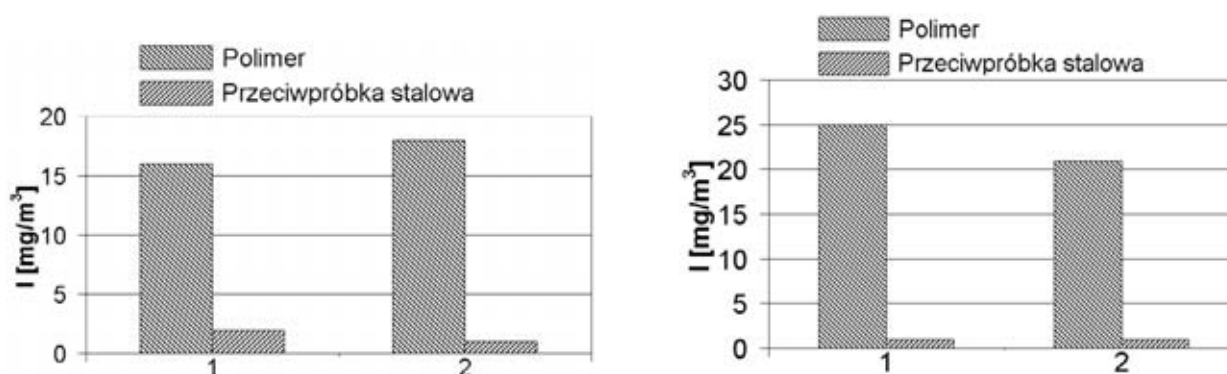
Minimalny wzrost temperatury, rejestrowany za pomocą termopary umieszczonej w uchwycie na próbki, świadczy o bardzo dobrych właściwościach izolacyjnych obu badanych kompozytów (temperatura przyrasta średnio $2\div 3^{\circ}\text{C}$ na 1000 s trwania pomiaru), podczas gdy wpływa ona w bardzo istotnym stopniu na zużycie materiału polimerowego jak i zachowania wymiarów geometrycznych w samym styku z przeciwpróbką.



Rys. 2. Przebieg rejestrowanych parametrów badania F , I i T w funkcji czasu trwania badania w temperaturze otoczenia 100°C : a) Belzona 1131, b) Chester Metal Slide

Fig. 2. Change of registered parameters F , I and T in function of time research in environment temperature 100°C : a) Belzona 1131, b) Chester Metal Slide

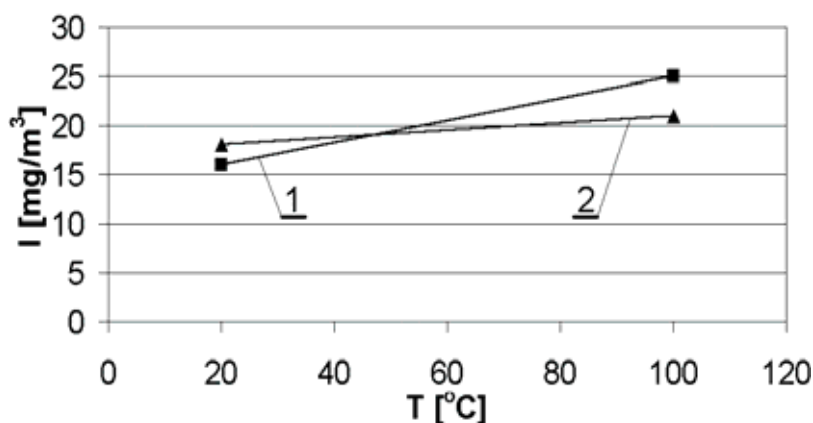
W temperaturze otoczenia 100°C (Rys 2a i b) oba materiały polimerowe zachowują się już odmiennie w stosunku do siebie. Faktem jest, że wzrosło zużycie obu kompozytów (zarejestrowane krzywe przesunięcia liniowego przechodzą odmiennie). Ważną rolę odegrała tu temperatura odporności termicznej danego tworzywa (z danych producenta dla Belzona 1131 jest to do 100°C , dla Chester Metal Slide od 100 do 180°C). Z przebiegu krzywej przesunięcia liniowego (Rys. 1c i d) widać, że próbka wykonana z materiału Belzona już w samym zetknięciu z nagrzaną przeciwpróbką zaczyna płynąć. Gwałtowny wzrost przesunięcia, a także wzrost siły tarcia (przez okres pracy około 1000 s) świadczy o natychmiastowej deformacji badanych próbek. W przypadku kompozytu Chester Metal Slide deformacja ta przebiega stosunkowo wolniej, ale i trwała odporność na podwyższoną temperaturę jest większa.



Rys. 2. Intensywność zużycia I próbek polimerowych i przeciwpróbek w temperaturze otoczenia: a) 20°C (1 – Belzona 1131, 2 – Chester Metal Slide), b) 100°C (1 – Belzona 1131, 2 – Chester Metal Slide)

Fig. 2. Intensity of wear I polymer-matrix sample and anti-sample in environment temperature: a) 20°C (1 – Belzona 1131, 2 – Chester Metal Slide), b) 100°C (1 – Belzona 1131, 2 – Chester Metal Slide)

W temperaturze otoczenia 100°C , w odróżnieniu do pracy węzła w temperaturze otoczenia 20°C , początkowy okres pracy można nazwać fazą docierania polimeru, ale w większym stopniu jest to deformacja próbek. Jak stwierdzono deformacja ta w przypadku materiałów Belzona jest większa, niż w przypadku materiałów oferowanych przez Chester Molecular.



Rys. 3. Intensywność zużycia I próbek polimerowych w funkcji temperatury otoczenia T podczas badania:
1 – Belzona 1131, 2 – Chester Metal Slide

Fig. 3. Intensity of wear I polymer-matrix sample in function of environment temperature T during investigation:
1 – Belzona 1131, 2 – Chester Metal Slide

Intensywność zużycia obu kompozytów jest stosunkowo niewielka, co świadczy o ich dobrych własnościach ślizgowych (Rys. 2a i b). W przypadku materiału Belzona 1131 intensywność ta jest mniejsza w temperaturze otoczenia 20°C, natomiast w temperaturze otoczenia 100°C większa w stosunku do materiału Chester Metal Slide (Rys. 3).

Przybliżone wartości obliczeniowe współczynnika tarcia μ badanych materiałów polimerowych w zależności od obciążenia styku (przy $v=0,8$ m/s) przedstawiono w Tab. 1.

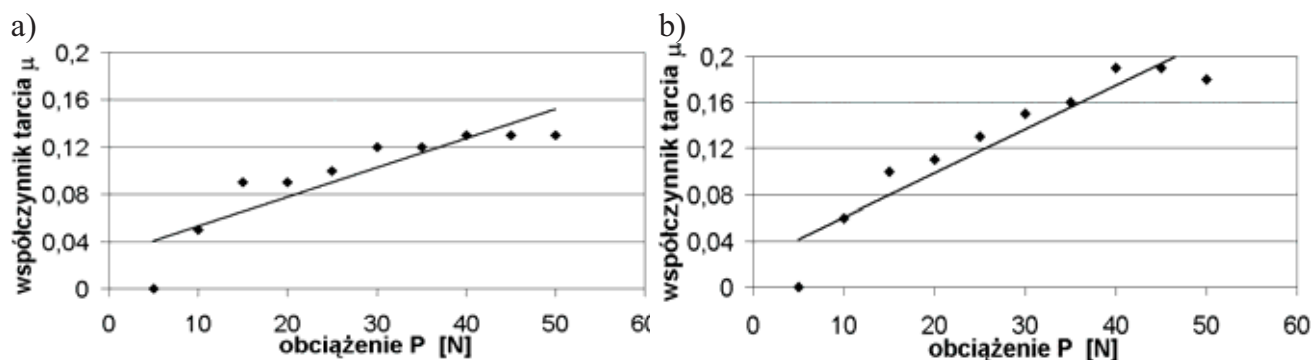
Tab. 1. Przybliżone wartości współczynnika tarcia μ badanych materiałów polimerowych w zależności od obciążenia styku (przy $v=0,8$ m/s)

Tab. 1. Approximate value of coefficient of friction μ of tested polymer-matrix composites in dependent of contact load (in $v=0,8$ m/s)

Lp.	Obciążenie [N]	Wyliczony współczynnik tarcia μ	
		Belzona 1131	Chester Metal Slide
1.	0	0	0
2.	5	0	0
3.	10	0,05	0,06
4.	15	0,09	0,10
5.	20	0,09	0,11
6.	25	0,10	0,13
7.	30	0,12	0,15
8.	35	0,12	0,16
9.	40	0,13	0,19
10.	45	0,13	0,19
11.	50	0,13	0,18

Na podstawie wykresów przedstawiających zależność współczynnika tarcia od przyłożonego obciążenia (Rys. 4a i b) widać, że intensywność zużycia w dużym stopniu zależy od współczynnika tarcia. Mniejszy współczynnik tarcia kompozytu Belzona w pełni uwidacznia mniejsze zużycie tego polimeru w stosunku do kompozytu Chester Molecular. Nie ma tu wpływu rodzaj smarowania styku, gdyż w jednym jak i drugim przypadku smarowanie odbyło się smarem stałym. Wartość współczynnika tarcia w obu przypadkach wzrasta liniowo (Tab. 1), lecz w przypadku polimeru Chester Metal Slide jest on gwałtowniejszy (prosta przebiega z większym kątem nachylenia) w pełni charakteryzując gorsze własności ślizgowe do polimeru Belzona.

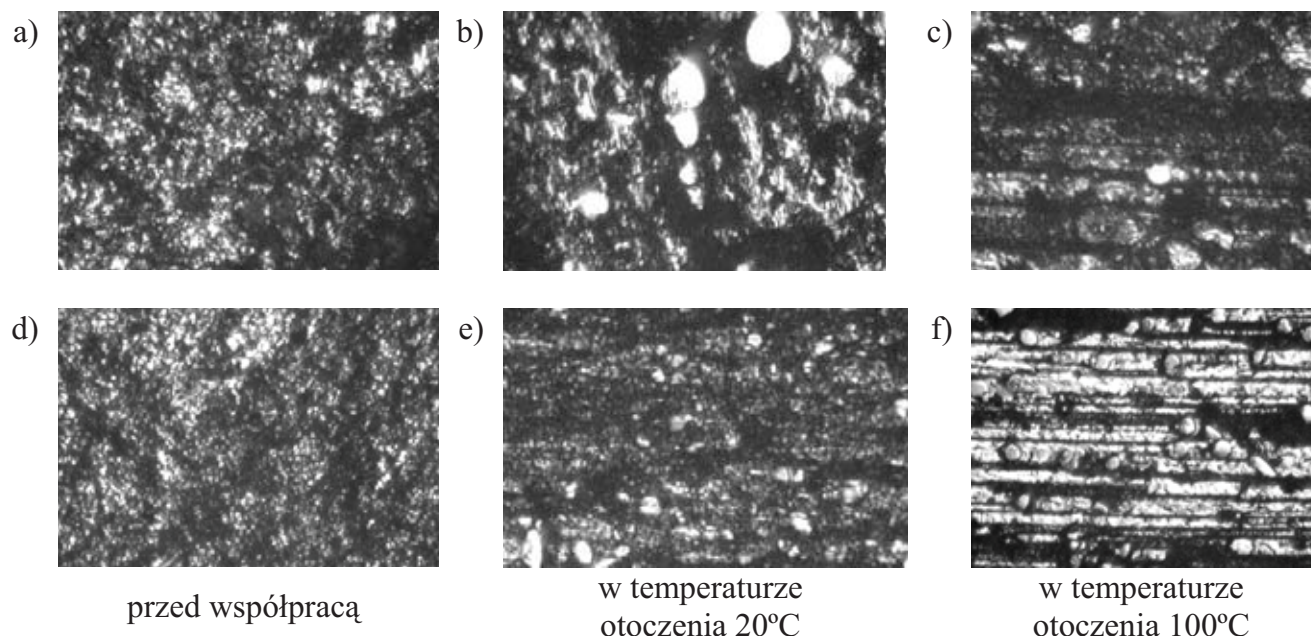
Współczynnik tarcia przy pełnym obciążeniu styku i maksymalnej prędkości obrotowej przeciwpróbki (jaką można było uzyskać na badanym urządzeniu) zmienia się jedynie przy zmianach przemieszczeń liniowych próbek. Wraz ze zmianą geometrii użytych próbek klejowych (przy 1000 s i ok. 3500 s pracy w temperaturze otoczenia 20°C, a także w granicach 500-1000 s pracy w temperaturze otoczenia 100°C) widać wyraźny wzrost siły tarcia, a i tym samym współczynnika tarcia. Wzrost ten jest chwilowy, gdyż zmienia się powierzchnia przylegania próbki do przeciwpróbki, po czym siła się stabilizuje, a nawet jej wartość spada (Rys. 1).



Rys. 4. Zmiana współczynnika tarcia μ w funkcji obciążenia kompozytu P przy ustalonej prędkości przeciwpróbki $v=0,8$ m/s): a) Belzona 1131, b) Chester Metal Slide

Fig. 4. Change of coefficient of friction μ in function load polymer-matrix composites P at steady rubbing speed of anti-sample $v=0,8$ m/s): a) Belzona 1131, b) Chester Metal Slide

Widok powierzchni tarcia obu badanych kompozytów przed współpracą oraz po współpracy ze stalową przeciwpróbką w temperaturze otoczenia 20°C i 100°C przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 5. Widok powierzchni tarcia kompozytu przed współpracą oraz po współpracy w temperaturze otoczenia 20°C i 100°C: a, b, c) Belzona 1131; d, e, f) Chester Metal Slide

Fig. 5. View of composites slide surface before and after interaction in environment temperature 20°C and 100°C: a, b, c) Belzona 1131; d, e, f) Chester Metal Slide

Na Rys. 5a i d przedstawiono widok powierzchni styku obu kompozytów przed współpracą z przeciwpróbką (powierzchnia próbki polerowane, ale bez dotarcia wstępnego). W obu polimerach widać drobne ziarenka wytrażeń metalicznych jakimi napełnione są kompozyty. Na

Rys. 5b i e widać powierzchnię pracy polimerów badanych w temperaturze otoczenia 20°C. Można wyraźnie zaobserwować ślad kierunku ruchu przeciwpróbki po próbie oraz ilość i wielkość metalowych ziaren. W kompozycie Belzona 1131 jest ich stosunkowo mniej jednak widoczna ich powierzchnia jest o wiele większa niż w Chester Metal Slide. Podobnie jest na Rys. 5c i f, chociaż temperatura otoczenia, w jakiej prowadzone zostały badania wynosiła 100°C. W temperaturze tej widać jednak dokładniej ślad pracy próbki, więcej wytrąceń metalicznych i ich ułożenie w kierunku równoległym do ruchu przeciwpróbki.

Przeprowadzone obserwacje zarysu geometrycznego próbek użytych do badania: przed współpracą oraz po przepracowaniu w dwóch różnych temperaturach otoczenia wykazały wyraźnie widoczną deformację próbek w kierunku przeciwnym do ruchu stalowej przeciwpróbki. Świadczy to o zaburzeniu struktury kompozytów klejowych po przekroczeniu ustalonej przez producenta granicznej ich odporności na podwyższoną temperaturę. Koreluje to z gwałtownym skokiem wartości przesunięcia liniowego przy jednocześnie niewielkiej intensywności zużycia wagowego (Rys. 1).

3. Ocena możliwości i celowość stosowania badanych materiałów

Tarcie i zużycie badanych kompozytów klejowych w znacznej mierze zależy od struktury systemu tribologicznego, a także od obciążenia (wielkości wejściowych systemu). Cechy geometryczne elementów trących warunkujące rozkład obciążeń w strefie styku mają istotny wpływ na procesy tribologiczne, przede wszystkim na proces zużywania. W wyniku przeprowadzonych badań modelowych i otrzymanych wyników należy stwierdzić, że materiały oferowane przez obu producentów Belzona i Chester Molecular mają, w temperaturze otoczenia 20°C, porównywalne własności trybologiczne. Oba badane materiały, ze względu na małą intensywność zużycia i bardzo mały współczynnik tarcia nadają się jako materiały regeneracyjne do odtwarzania lekko obciążonych węzłów ślizgowych. Najdłuższy okres eksploatacji i najmniejsze zużycie materiały wykazują w 20°C temperatury otoczenia pracy węzła;

W podwyższonej temperaturze otoczenia tzn. 100°C badane materiały ulegają deformacji (po osiągnięciu temperatury granicznej płyną). W tym przypadku, aby wydłużyć okres użytkowania odtworzonego węzła należy stosować je w niższych temperaturach otoczenia (wpływ ujemnych temperatur nie był badany), przy niedużych obciążeniach jednostkowych i najlepiej przy cyklicznej pracy węzła ślizgowego.

4. Wnioski końcowe

Z uogólnienia przedstawionych wyników badań, dwóch kompozytów na podstawie polimerowej wybranych firm, można wyciągnąć następujące wnioski końcowe:

- badane właściwości użytkowe obu kompozytów są względem siebie porównywalne jako materiałów stosowanych do regeneracji węzłów ślizgowych,
- ze względu na małą intensywność zużycia i bardzo mały współczynnik tarcia oba kompozyty nadają się do odtwarzania lekko obciążonych węzłów ślizgowych,
- w podwyższonej temperaturze otoczenia próbki wykonane z badanych materiałów uległy deformacji, co świadczy o ograniczonym zakresie temperaturowym stosowania danych kompozytów,
- temperatura otoczenia odgrywa dość istotną rolę w trwałości i intensywności zużycia materiału polimerowego (im wyższa temperatura otoczenia tym szybciej narasta temperatura w samym styku układu trybologicznego materiał klejowy – środek smarny – podłoże stalowe),
- w przyszłości należy przeprowadzić dokładniejsze badania własności mechanicznych, w tym określenie modułu sprężystości wzdłużnej przy ściskaniu E oraz umownej granicy

- plastyczności R_e , ze względu na stosowanie tych materiałów do regeneracji elementów, gdzie wymagana jest określona twardość i sztywność,
- istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań, mających na celu ustalenie innych własności warstwy regeneracyjnej, wpływającej na trwałość skojarzenia trybologicznego a niepodanych przez producenta w warunkach technicznych stosowania.

Literatura

- [1] Cypko, E., Kowalczyk, S., Raczkowski, D., *Naprawa sprzętu wojskowego z zastosowaniem materiałów szybkowiążących*, SG WP, Sł. Techn. 158/97, Warszawa, 1998.
- [2] Godzimirski, J., Komorek, A., Smal, T., *Badania właściwości wytrzymałościowych tworzyw adhezyjnych*. Problemy eksploatacji 1, pp. 157-165, 2007.
- [3] Godzimirski, J., Smal, T., *Badania możliwości wykorzystania w naprawach klejowych mas regeneracyjnych*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 4, pp. 199-212, 2000.
- [4] Kowalczyk, S., *Badanie właściwości kompozytowych materiałów regeneracyjnych w aspekcie ich zastosowań w obiektach pływających i portowych*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Morskiej 66 pp. 235-247, 2002.
- [5] Kowalczyk, S., Smal, T., *Metodyka i wyniki badań klejowych kompozytów regeneracyjnych*, Biuletyn WAT ,10, pp. 31-43, 2000.
- [6] Rymuza, Z., *Trybologia polimerów ślizgowych*, WNT, Warszawa, 1986.
- [7] Materiały firmowe Chester Molecular.
- [8] Materiały firmowe Belzona.