



Wojciech ŻUROWSKI

ODPORNOŚĆ NA ZUŻYCIĘ ŚCIERNE MODYFIKOWANYCH ŻYWIC FENOŁOWO-FORMALDEHYDOWYCH

Streszczenie

W artykule omówiona została charakterystyka badań doświadczalnych odporności na zużycie cierne termoutwardzalnych kompozytów proszkowych o właściwościach ablacyjnych. Określono wpływ ilości i rodzaju wybranych komponentów (napelniacze proszkowe Al_2O_3 , pył węglowy, żywice fenolowo-formaldehydowe rezolowe i nowalakowe jako materiał osnowy). Opisano zastosowane komponenty, technologię wykonania próbek materiałowych, metodykę oraz wyniki badań intensywności zużycia ściernego podczas tarcia o luźne ścierniwo oraz wnioski. Zwrócono uwagę na niedoskonałość zastosowanej metody badawczej i wskazano, że zastosowanie metody energetycznej oceny zużycia materiałów może przynieść korzystne efekty podczas opracowywania nowych kompozytów do zastosowań ciernych.

WSTĘP

Współcześnie z pośród materiałów konstrukcyjnych duże znaczenie uzyskały materiały polimerowe oraz kompozyty o osnowach polimerowych. Przyjęto, że kompozyt to makroskopowo monolityczny materiał utworzony sztucznie z co najmniej dwóch komponentów o różnych właściwościach, w taki sposób, że ma on właściwości lepsze i (lub) nowe w stosunku do komponentów wziętych osobno lub wynikających z prostego sumowania tych właściwości. Jest to więc połączenie przynajmniej dwóch różnych materiałów w celu uzyskania ściśle określonych właściwości eksploatacyjnych nowego materiału. Kompozyty pozwalają uzyskać zestaw zadanych różnorodnych właściwości. Wachlarz właściwości materiałów kompozytowych jest niemożliwy do osiągnięcia przy użyciu prostych, klasycznych materiałów. Ich zastosowanie daje możliwość tworzenia zasadniczo nowych konstrukcji niedostępnych przy wykorzystaniu klasycznych materiałów konstrukcyjnych.

Zużywanie ściernych tworzyw sztucznych wzmocnionych przebiega podobnie, jak czystych polimerów, jednak z pewnymi dodatkowymi zjawiskami. Mikrowystępy nierówności powierzchni metalowej co pewien czas zahaczają o nitkę włókna wypełniającego lub cząstkę napelniacza sypkiego, powodując ich zerwanie i wrywanie wraz z przylepionymi do nich silnie cząsteczkami żywicy polimeru - lepiszcza. Mechanizm zużycia powierzchni tworzywa wzmocnionego polega przede wszystkim na wykrawaniu, ale też na wyciskaniu bruzd zorientowanych w kierunku wektora prędkości. W tworzywach wzmocnionych bardzo słabo występuje także powierzchniowe odkształcenie plastyczne, a objawy jego są usuwane w wyniku ubytku ściernego materiału z warstwy wierzchniej. Zaznaczyć też należy, że w przypadku bardzo nikłej ilości napelniacza (nośnika) intensywność zużycia zmienia

się skokowo. W pierwszej fazie pracy zużywa się ściernie czysta żywica, aż do obnażenia cząstki lub włókna napelnacza. Zostają wówczas uwypuklone na powierzchni cząstki odporne na zużywanie nośnika. Jednak wzrasta wówczas znacznie wartość rzeczywistego nacisku w nielicznych punktach styku, co prowadzi do zintensyfikowania zużywania, aż do momentu usunięcia cząstki obcej; rozpoczyna się wtedy znów etap umiarkowanego zużywania ściernego polimeru. [1-4, 12]

W sumie, zawartość twardych cząstek i włókien w tworzywie sztucznym zwiększa intensywność zużywania ciernego całej pary. Dlatego unika się stosowania w tworzywach sztucznych, przeznaczonych na niskotarciowe elementy ślizgowe, dodatku napelnacza w postaci włókna szklanego lub elektrokorundu, a stosuje raczej napelnicze bardziej miękkie i o bardziej obłej, bezkrawędziowej budowie. W skojarzeniach ciernych natomiast, gdzie zasadnicze znaczenie ma wartość cierności pary, właśnie te wypełniacze są stosowane. Opis stanu powierzchni tworzywa sztucznego po zużywaniu ściernym przedstawiono w tabeli 1.

Zużywanie się tworzyw sztucznych różni się od zużywania się metali z powodu różnic w ich strukturze i własnościach fizyczno-chemicznych i mechanicznych, a głównie z powodu dużej wrażliwości struktury tworzyw sztucznych na ciepło. Materiały wykonane z tworzyw sztucznych są złymi przewodnikami ciepła, co powoduje, że ciepło tarcia powoduje zużywanie cieplne, bądź przyczynia się do rozwoju innej postaci zużycia. W procesie tarcia polimerów wytwarza się specyficzna warstwa wierzchnia, której stan decyduje o przebiegu procesów tribologicznych, a w tym także procesów zużywania.

Tab. 1. Mechanizm zużywania ściernego w wyniku tarcia [2, 3, 5]

Tworzywo		Stan powierzchni przy przeciwieście ścierającym powierzchni:		
cecha charakterystyczna	rodzaj	gładkiej	chropowatej	bardzo ścierniej
sprężyste	poliamid	fale poprzeczne, rysy podłużne	wyraźne fale poprzeczne i rysy podłużne	nieznaczne fale poprzeczne wyraźne bruzdy podłużne
	polietylen wysokociśnieniowy	lustrzana błyszcząca powierzchnia	wyraźne produkty zużycia	wyraźne produkty zużycia
sprężysto-plastyczne	polifluoroczworoetylen	wyraźne produkty zużycia	wyraźne produkty zużycia.	wyraźne produkty zużycia.
małoplastyczne	żywice epoksydowe	nieznaczne fale poprzeczne, słabe rysy podłużne	słabe fale poprzeczne, wyraźne bruzdy poprzeczne wskutek mikroskrawania	wyraźne bruzdy podłużne, duża ilość produktów zużycia

Zużywanie ściernie występuje podczas współpracy materiału polimerowego z powierzchnią metalową, zwłaszcza gdy ma ona dużą chropowatość. Wówczas wystające nierówności twardszego materiału spełniają rolę mikroostrzy. Ubytek materiału spowodowany jest mikroskrawaniem, rysowaniem lub bruzdowaniem. Proces ten zachodzi również, gdy w obszarze tarcia współpracujących elementów znajdują luźne lub utwierdzone cząstki ścierniwa. Zużywanie ściernie charakteryzuje się dużą intensywnością i często powoduje silne rozgrzewanie materiału polimerowego.

Badania zużycia ściernego materiałów polimerowych stosowanych do celów konstrukcyjnych są szeroko opisane [Heiser i in. 2000, Sui 1995]. Wpływ najczęściej stosowanych wypełniaczy (m.in. brązu, grafitu, włókna szklanego i węglowego) przedstawiono w pracach brak prac opisujących zużycie ściernie materiałów do zastosowań ablacyjnych.

1. BADANIA DOŚWIADCZALNE

1.1. Materiały

Praktyczna realizacja tematu niniejszej pracy objęła jakościowe i ilościowe określenie wpływu wskazanych komponentów na intensywność zużywania ściernego, w tym:

- materiału wzmocnienia i wypełnienia (trójtlenek aluminium, pył grafitowy, tkanina szklana),
- materiału osnowy termoutwardzalnej (żywice fenolowo-formaldehydowe rezolowe i nowolakowe).

Ponadto opracowanie składu strukturalnego kompozytu polimerowego termoutwardzalnego o żądanych właściwościach wytrzymałościowych i eksploatacyjnych.

Do wykonania laminatu fenolowo-formaldehydowego zastosowano:

- a) Materiał osnowy: żywice *Modofen 54S* oraz *Nowolak MR* w stosunku wagowym 1:1 produkcji ZC ORGANIKA-SARZYNA.

Tab. 2. Żywice stosowane na osnowę - właściwości i parametry [8]

Żywica	Postać	Parametry jakościowe		Zastosowanie
Modofen 54S (rezolowa)	ciemnożółta klarowna ciecz	Lepkość w temperaturze 25 °C [mPas]	450 ÷ 800	jako środek zwilżający na materiały cierne i ściernie: tarcze ściernie do polerowania, tarcze tnące do stali i innych materiałów
		Gęstość ρ [g/cm ³]	1,19 ÷ 1,21	
		Zawartość substancji suchej [%]	73 ÷ 80	
		pH [-]	7,5 ÷ 8,5	
Nowolak MR (z urotropiną)	proszek o barwie białej do jasnożółtej	Temperatura topnienia [°C]	min. 78	lepsze przy produkcji materiałów ogniotrwałych, do materiałów ściernych i ciernych, do wytwarzania tłoczyw, zalecany z ciekłymi żywicami rezolowymi
		Droga płynięcia, tabletki 1g, [mm]	40 ÷ 70	
		Czas żelowania w 150 °C, [s]	max. 1,30	
		Pozostałość na sicie o boku 0,056 mm, [%]	max. 5,0	

- b) Wzmocnienie włókniste: *tkaninę szklaną STR-022* o gramaturze 250 g/m² produkcji Krośnieńskich Hut Szkła „KROSNO” SA (tabl. 2).

Tab. 3. Parametry tkaniny szklanej [7]

Krośnieńskie Huty Szkła „KROSNO” SA					
Symbol /Splot/ /Surowiec/	Gramatura [g/m ²]	Gęstość liniowa [l/dm]		Masa liniowa [g/m]	Uwagi (właściwości tkaniny)
		osnowa	wątek		
STR-022 /płócienny/ /roving, szkło E/	250	49	49	275	ortotropowe
Roving wykonany jest ze włókien szklanych o średnicy 11, 16 lub 20 µm otrzymanych z bezkalicznego boro-glino-krzemowego szkła typu E. Wykończeniem jest chemicznie czynna preparacja winylosilanowa lub metakrylosilanowa.					

- c) Napełniacze sypkie: *korund Al₂O₃ (ALO G5-4)* o ziarnach wielkości 2÷5 µm i minimalnej zawartości tlenku glinu 99,5 % (95 % α Al₂O₃), produkcji węgierskiej

firmy AJKA ALUMINA [6]; drobnoziarnisty pył węglowy o ziarnistości do 5 μm i czystości nie mniejszej niż 98 %, produkcji polskiej.

1.2. Plan i metodyka badań doświadczalnych

Udziały poszczególnych składników próbek oraz liczba wykonywanych doświadczeń zostały ustalone na podstawie przyjętego planu doświadczenia (w oparciu o literaturę zagadnienia), tj.: ortogonalnej macierzy pełnoczynnikowej pierwszego rzędu 2^3 z powtórzeniami. [9]

Trzema zmiennymi niezależnymi x_i (parametrami wejściowymi), o wartościach dwu poziomów („+” górny oraz „-”, dolny) są udziały komponentów kompozytu:

- x_1 - udział wagowy materiału osnowy (żywic) w kompozycie [%]
30% - poziom górny 24% - poziom dolny
 $\Delta x_1 = 3\%$ $x_{1sr} = 27\%$;
- x_2 - liczba warstw wybranej tkaniny szklanej [szt.]
12 szt. - poziom górny 8 szt. - poziom dolny
 $\Delta x_2 = 2$ szt. $x_{2sr} = 10$ szt.;
- x_3 - relacja wagowa napełniacza Al_2O_3 do sumy wag obu napełniaczy [%]
(przy czym poziom „0” oznacza 50% Al_2O_3 i 50% C, poziom górny oznacza 80 %
 Al_2O_3 oraz 20% C zaś poziom dolny - 20 % Al_2O_3 oraz 80% C)
 $\Delta x_3 = 30\%$ $x_{3sr} = 50\%$;

Funkcją odpowiedzi (parametrem wyjściowym) jest średnia wagowa intensywność zużywania ściernego \bar{I}_z [mg/s].

Przeprowadzono analizę statystyczną osiągniętych wyników celem określenia progu istotności współczynników regresji b_i i oceny ich wpływu na wartość parametru wyjściowego \bar{y} [9].

Obliczone wartości współczynników regresji w połączeniu z wartościami funkcji \bar{y} posłużyły do ustalenia parametrów x_1 , x_2 , x_3 dla doświadczeń uzupełniających w celu osiągnięcia obszaru prawie stacjonarnego [9], czyli obszaru w którym występuje spadek intensywności zużywania (gdzie \bar{I}_z przyjmuje wartość minimalną).

1.3. Określenie intensywność zużywania ściernego laminatów hybrydowych

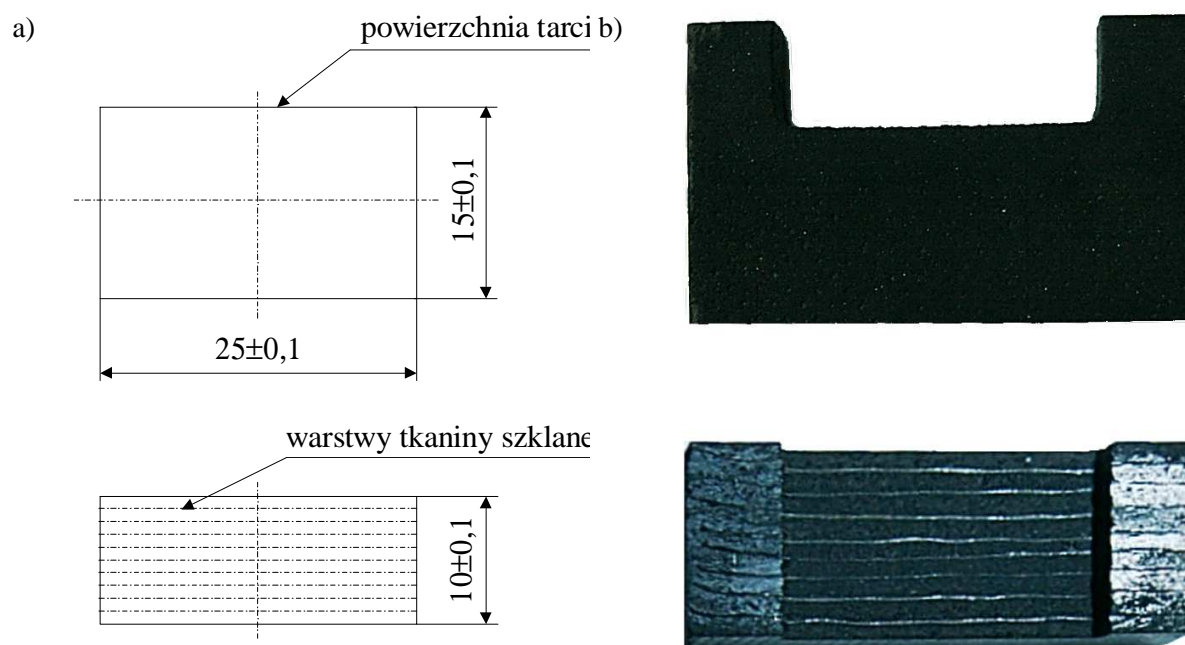
Do określenia stopnia odporności na zużywanie ściernie badanej grupy laminatów hybrydowych zastosowano zmodyfikowany tester T-07 produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji PIB w Radomiu przeznaczony do oceny odporności na zużycie materiałów podczas tarcia o luźne ścierniwo. Zachowano warunki i parametry badań zalecane przez producenta (tabl. 4). W jednakowych warunkach pracy dokonywano tarcia próbek o cząstki ściernie podawane grawitacyjnie do strefy styku tarcia. Wynikiem pomiaru było wagowe zużycie próbki (różnica masy przed i po badaniach), jakie wystąpiło po określonym czasie tarcia (określonej liczbie obrotów gumowanej rolki).

Tab. 4. Parametry i warunki badań ściernych [11]

Siła docisku próbki do przeciwpróbki: $P = 44 \text{ N}$	Ścierniwo: elektrokorund, nr 90 wg PN-76/M-59115
Prędkość obrotowa przeciwpróbki: $n = 60 \text{ obr/min}$	Czas testu: $N_b = 400 \text{ obr (400 s)}$; $1000 \text{ obr (1000 s)}$
Przeciwpróbka: wg wymogów producenta testera [11]	Wielkość badana: intensywność zużycia $I_z \text{ [mg/s]}$

Materiał na próbki uformowano bezciśnieniowo z wykorzystaniem stalowej formy, przy czym temperatura utwardzenia wynosiła 150°C , a czas utwardzania 1h. Po wyjęciu z formy materiał był rozcinany na próbki. Kształt i wymiary badanej próbki przedstawiono na rysunku 1a, a na rysunku 1b zdjęcie przykładowej próbki po przeprowadzeniu próby ścierania. Powierzchnia zużycia oraz kierunek działania siły tarcia były ustalone prostopadłe do warstw tkaniny szklanej laminatu (rys. 1a).

Próbki ważono przed i po próbie ścieralności z dokładnością do 1 mg. W oparciu o wykonane pomiary określono średnią wagową intensywność zużycia w każdym z 8 doświadczeń.

**Rys. 1.** Próbką materiałowa do badań: a) rysunek konstrukcyjny, b) próbka po próbie ścieralności

2. WYNIKI BADAŃ

W tabeli 5 zaprezentowano wartości wszystkich obliczonych masowych intensywności zużycia ściernego $I_z \text{ [mg/s]}$ podczas tarcia o luźne ścierniwo próbek materiałowych na tle ich gęstości właściwej $\rho_{jk} \text{ [g/cm}^3\text{]}$. Przedstawiono także średnią arytmetyczną wartość intensywności zużycia ściernego $\bar{I}_z \text{ [mg/s]}$ dla każdej pary pojedynczego doświadczenia w trzech seriach prób.

Realizując analizę statystyczną obliczono współczynniki regresji, wariancję, błąd wyznaczenia współczynników regresji oraz ich poziom istotności. Graficzną interpretację wyników obliczeń pokazano na rysunku 2.

W wyniku rozważań przeprowadzonych dla wszystkich serii prób otrzymano równania funkcji odpowiedzi w postaci:

Seria I (zużycie po 1000 s) [mg/s]:

$$\bar{I}_{z1} = 1,125 - 0,205x_1 - 0,067x_3 - 0,07x_1x_2 - 0,094x_1x_3 + 0,126 x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Seria II (zużycie po 400 s) [mg/s]:

$$\bar{I}_{z2} = 1,434 - 0,359x_1 - 0,028x_2 - 0,259x_3 - 0,041x_1x_3 + 0,016x_2x_3 + 0,059 x_1x_2x_3 \quad (2)$$

Seria III (zużycie po 400 s próbek z 255K) [mg/s]:

$$\bar{I}_{z3} = 1,248 - 0,342x_1 - 0,089x_2 - 0,361x_3 + 0,039x_1x_2 + 0,048 x_1x_2x_3 \quad (3)$$

Tab. 5. Gęstość właściwa i intensywność zużycia ściernego badanych kompozytów

Nr doświadczenia <i>j</i>		1	2	3	4	5	6	7	8
Gęstość próbki ρ_{jk} [g/cm ³]									
ρ_{jk}	1*	1,16	1,10	1,19	1,19	1,57	1,53	1,62	1,57
	2*	1,10	1,10	1,19	1,22	1,61	1,51	1,71	1,56
Masowa intensywność zużycia ściernego I_z [mg /s]									
I_{z1} (1000s)	1*	1,026	1,33	1,815	0,957	1,651	0,583	1,115	0,822
	2*	1,192	1,224	1,18	0,81	1,152	0,8	1,513	0,832
\bar{I}_{z1} (1000s)		1,109	1,277	1,498	0,884	1,402	0,692	1,314	0,827
I_{z2} (400s)	1*	2,02	1,5	2,04	1,295	1,69	0,737	1,516	0,837
	2*	1,98	1,45	2,01	1,255	1,61	0,713	1,484	0,813
\bar{I}_{z2} (400s)		2,000	1,475	2,025	1,275	1,650	0,725	1,500	0,825
I_{z3} (400s,255K)	1*	2,025	1,425	1,625	1,275	1,15	0,45	0,85	0,5
	2*	2,075	1,375	2,05	1,025	1,625	0,575	1,325	0,625
\bar{I}_{z3} (400s,255K)		2,050	1,400	1,838	1,150	1,388	0,513	1,088	0,563

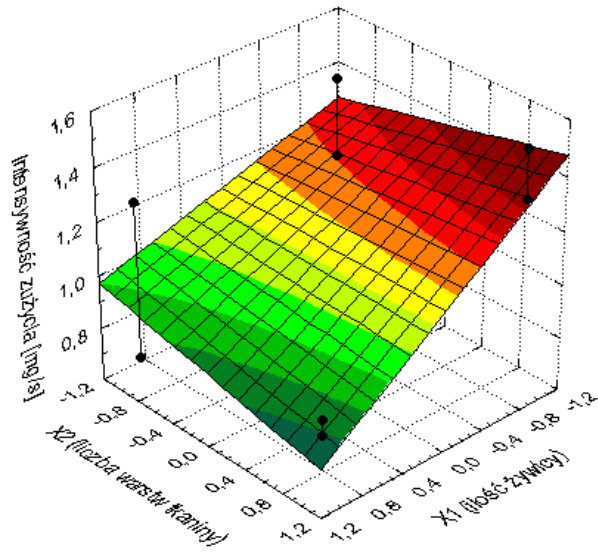
* numery 1 i 2 oznaczają kolejną próbę *j-tego* doświadczenia

Na rysunku 3 przedstawiono zestawienie średnich masowych intensywności zużycia ściernego dla wszystkich doświadczeń (każdego badanego składu fazowego kompozytu) z uwzględnieniem warunków prowadzenia prób ścierania.

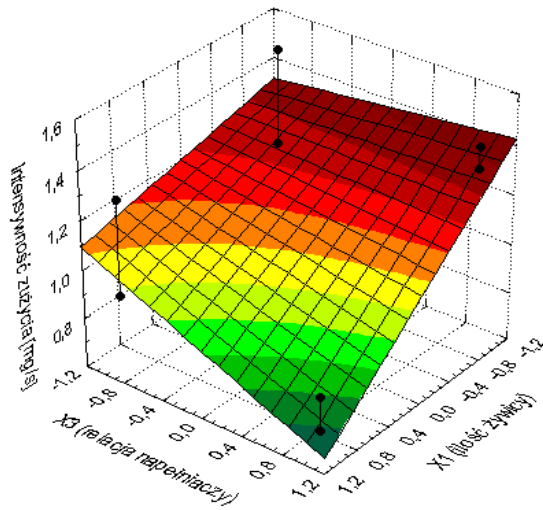
Można zauważyć, że dla wszystkich składów fazowych próbek wraz z upływem czasu trwania próby ścierania intensywność zużycia kompozytu maleje. Wynikać to może z uprzedniego zużywania się miękkiej żywicy, by dopiero w dalszej części procesu wystąpiło tarcie o twardsze cząstki napełniacza lub włókna szklanego stabilizującego intensywność zużywania (szczególnie w przypadku gdy napełniaczem w przewodzie jest korund). Może to być także efekt docierania powierzchni próbki, który uwidacznia się dopiero w trakcie 1000 s próby zużywania.

Próbki składowane w temperaturze 255K charakteryzują się mniejszą intensywnością zużywania niż przechowywane w standardowych warunkach laboratoryjnych – jest to szczególnie widoczne w przypadku większej zawartości wagowej korundu w stosunku do pyłu grafitowego. Zależność ta może być spowodowana zużywaniem ściernym w zakresie temperatury charakterystycznej – gdy występuje stabilizacja zużywania – przynajmniej w początkowym okresie trwania próby, aż do wystąpienia wzrostu temperatury powierzchni trącej.

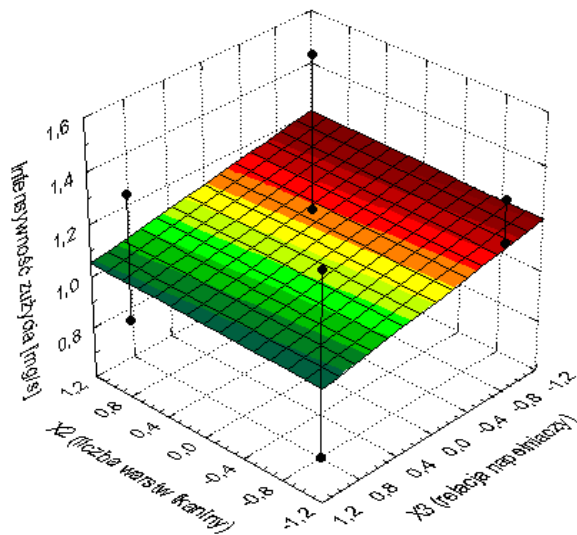
a)



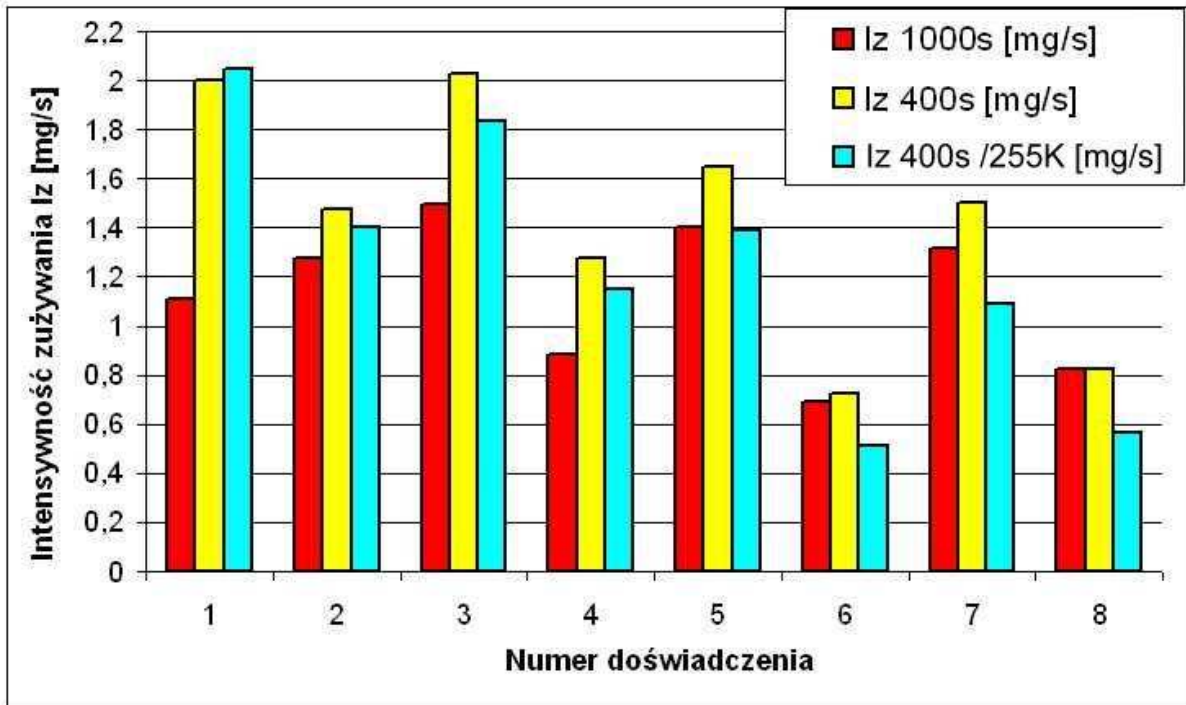
b)



c)

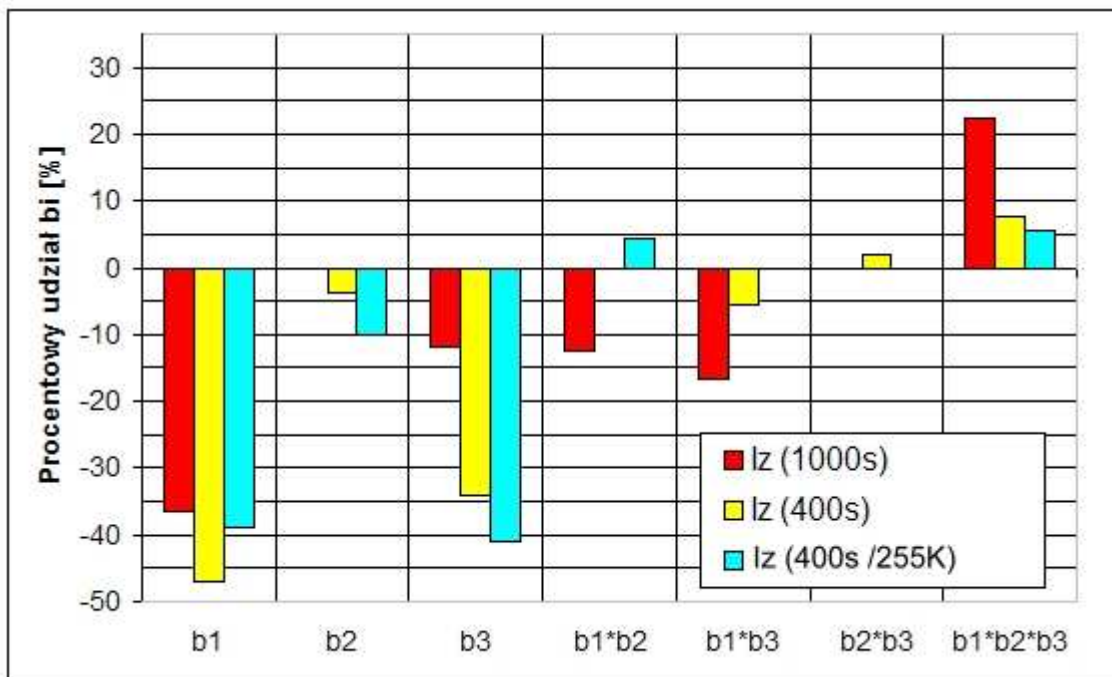


Rys. 2. Zależność intensywności zużycia ściernego I_z od wartości zmiennych kodowych: a) $x_3 = 0$ (50 % C i 50 % Al_2O_3), b) $x_2 = 0$ (10 warstw tkaniny), c) $x_1 = 0$ (27 % żywicy)



Rys. 3. Intensywności zużycia ściernego dla poszczególnych stanów doświadczenia oraz różnych parametrów badań.

Na rysunku 4 przedstawiono procentowe udziały współczynników regresji b_i w stosunku do ich sumy Σb_i dla każdej z trzech serii prób.



Rys. 4. Udziały współczynników b_i w stosunku do ich sumy $b_i/\Sigma b_i$

Dla przyjętego zakresu zmienności zmiennych niezależnych, analizując otrzymane wyniki doświadczeń oraz obliczenia – możemy zauważyć, że:

- im większa zawartość żywic w kompozycie, tym intensywność zużycia mniejsza;
- wraz ze wzrostem zawartości Al_2O_3 (spadkiem zawartości węgla) intensywność zużycia zmniejsza się;

- w przyjętym zakresie zmiennej x_2 nie ma znaczenia liczba warstw tkaniny szklanej, choć wraz z jednoczesnym zwiększeniem x_2 i x_1 obserwujemy poprawę odporności na ścieranie;
- wraz z równoczesnym zwiększeniem wszystkich trzech zmiennych w sposób istotny spada odporność na zużywanie ściernego kompozytu. Zależność tę wyjaśnić można mniejszym udziałem procentowym Al_2O_3 (wpływającym korzystnie na odporność ścierną) w próbkach z większą liczbą warstw tkaniny szklanej.

PODSUMOWANIE

1. Większy udział żywicy, w przyjętym zakresie zmienności, gwarantujący wysoki stopień przesylenia oraz duża zawartość twardego korundu są warunkami koniecznymi zwiększenia odporności na zużywanie ściernego badanej grupy laminatów fenolowo-formaldehydowych.
2. W przyjętym zakresie zmiennych niezależnych największą odporność na zużywanie ściernego kompozytu uzyskamy przy maksimum zawartości Al_2O_3 i jednoczesnym minimum zawartości węgla, stosując jak największe nasycenie żywicami z zachowaniem poziomu zerowego liczby warstw tkaniny szklanej.
3. Próby zwiększenia cech wytrzymałościowych poprzez stosowanie większej liczby warstw tkaniny szklanej, obniżając udział procentowy ceramiki w kompozycie spowodują spadek odporności na zużycie ściernego.
4. Jednoczesne zwiększenie liczby warstw tkaniny szklanej i zawartości korundu kosztem zawartości grafitu, przy zachowaniu zerowego poziomu żywicy – jest praktycznie nieistotne z punktu widzenia polepszenia właściwości tribologicznych.
5. Zastosowanie wszystkich zmiennych x_i na górnych poziomach powoduje znaczny spadek odporności na zużycie ściernego, szczególnie dla długiego czasu tarcia.
6. Niska temperatura w styku tarciovym ogranicza proces zużywania ściernego. Jest to szczególnie widoczne w przypadku dużej zawartości korundu.
7. W rozważaniach teoretycznych i w badaniach eksperymentalnych zużycie utożsamia się z usunięciem materiału pełnego (np. jak przy odcięciu ostrzem kawałka materiału rdzenia) o jego pierwotnych cechach fizycznych. Tymczasem materiał, który znalazł się bezpośrednio w strefie tarcia ma już inną, znacznie mniejszą gęstość i powiększoną energię wewnętrzną. Zmniejszenie się gęstości wynika z nieciągłego rozłożenia materiału na powierzchni nominalnej (tylko w obszarach mikrostryków nierówności powierzchni materiał ma gęstość zbliżoną do początkowej (poza mikrostrykami nie ma materiału, co warunkuje nową, znacznie mniejszą jego gęstość w odniesieniu do powierzchni nominalnej) i z powiększania się powierzchni materiału (wewnętrznej i zewnętrznej), towarzyszącego zużyciu tribologicznemu [10, 13]. Wydaje się, że w celu rzeczywistego scharakteryzowania odporności należy zastosować inną metodę badań, biorącą pod uwagę pracę konieczną do zużycia badanych próbek. Można tu zastosować zmodyfikowane stanowisko badawcze wyposażone dodatkowo w układ umożliwiający pomiar oporów tarcia co pozwoli na przejście do uogólnionej, energetycznej oceny zużycia badanych materiałów.

MODIFIED PHENOLIC-FORMALDEHYDE RESINS ABRASIVE WEAR RESISTANCE

Abstract

A mixt of resol and novolak resins (50:50) was filled with Al₂O₃ (20-80%) and C (20-80%) powders and cured under pressure at 150°C for 1h. The composite was sliced to test samples and studied for abrasive wear resistance in a friction test stand. The highest abrasion resistance showed the composite made of resol/novolak (50:50) matrix filled with 80% Al₂O₃ 20% C and 10 layers of glass fabric, resp.

BIBLIOGRAFIA

1. Blau P.J.: Friction science and technology. Taylor&Francis group, 2009.
2. Bushan B.: Introduction to tribology. John Wiley & Sons, 2002. ISBN 0-471-15893-3.
3. Capanidis D., Wieleba W.: Badania tarcia i zużycia kompozytów polimerowych, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
4. Kragelsky I.V., Alisin V.V.: Tribology – lubrication, friction and wear. Professional Engineering Publishing 2001.
5. Kucharczyk W., Żurowski W.: Odporność na zużycie ściernie hybrydowych laminatów termoutwardzalnych o właściwościach ablacyjnych. Tribologia 4/2003 (190), 279-288.
6. Materiały marketingowe firmy AJKA ALUMINA Co. Ltd. 2000.
7. Materiały marketingowe Krośnieńskich Hut Szkła „KROSNO” S.A. 2000.
8. Materiały marketingowe ZCh ORGANIKA-SARZYNA w Nowej Sarzynie 2000.
9. Polański Z., Planowanie doświadczeń w technice, PWN, Warszawa 1984.
10. Sadowski, Zagadnienia dyssypacji energii w procesie zużywania tribologicznego, Monografia nr 113, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2008.
11. Tester do badania ścieralności T-07. Instrukcja obsługi. ITE-PIB w Radomiu. Radom 1995.
12. Trezona R.I. Allsopp D.N., Hutchings I.M.: Transitions between two-body and three body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. Wear, 1999, 225-229, 205-14.
13. Żurowski W.: Tribological research of friction couples under conditions of increased wear resistance (in Proceedings of SAIT Tribology 2011, ed. P. de Vaal). SAIT. Pretoria, 2011. ISBN: 978-0-620-49682-7. s. 148÷157.

Autor:

dr inż. Wojciech ŻUROWSKI – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu