

**Wojciech Żurowski\*, Marcin Rejczak**

Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Poland

\* Corresponding author. E-mail: wojciech.zurowski@pr.radom.pl

Otrzymano (Received) 04.02.2009

## ZUŻYCIE TRIBOLOGICZNE POWŁOK EPOKSYDOWYCH

Przedstawiono charakterystykę oraz założenia planu badań odporności na zużycie cierne powłokowych kompozytów epoksydowych. Określono wpływ ilości i rodzaju wybranych komponentów (napelniacze proszkowe SiC i Cu, żywice Epidian 601 i 112 jako materiał osnowy oraz utwardzacze IDA i Saduramid 10/50). Opisano zastosowane komponenty, technologię wykonania próbek materiałowych, metodykę oraz wyniki badań intensywności zużycia ściernego podczas tarcia o luźne ścierniwo oraz podano wnioski. Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej, która posłużyła do określenia równania funkcji obiektu badań i - po przeprowadzonych doświadczeniach uzupełniających - do określenia wpływu komponentów na właściwości tribologiczne powłok kompozytowych. Stwierdzono, że głównym składnikiem, wpływającym na obniżenie wartości intensywności zużycia ściernego  $I_z$ , jest rodzaj osnowy epoksydowej. Zastosowanie żywicy Epidian 601 z utwardzaczem IDA obniża intensywność zużycia, w przeciwieństwie do osnowy na bazie typowej powłokowej żywicy Epidian 112 z utwardzaczem Saduramid 10/50. Ponadto użycie większej zawartości twardego i odpornego na ścieranie węgla krzemowego SiC oraz małej ilości plastycznego proszku miedzi Cu również powoduje zmniejszenie intensywności zużycia ściernego  $I_z$ .

**Słowa kluczowe:** powłoki epoksydowe, kompozyty epoksydowe, tarcie, zużycie ścierne, napelniacze proszkowe

## THE TRIBOLOGICAL WEAR OF EPOXY COATS

In this paper one introduced the characteristics and assumptions of the schedule of research of experimental wear resistances abrasive of coat's epoxy composites. One defined the influence of the quantity and the kind of chosen components (pulveraceous fillers SiC and Cu, resins Epidian 601 and 112 as material of the warp and curing agents IDA and Saduramid 10/50). One described applied components, the technology of the execution of samples of materials, the methodology and findings onto intensity of the abrasive waste during the friction for the loose abrasant and conclusions. Obtained findings were subjected to the statistical analysis which was of service to the definition of the equation of the function of the object of research and after carried out experiences supplementary - to the definition of the influence of components on tribology properties of composite coats. One ascertained that a main component, influencing on the depreciation of the intensity of the abrasive waste  $I_z$  was the kind of the epoxy warp. The use of the resin Epidian 601 with the curing agent IDA lowers the intensity of the waste, as opposed to the warp on the basis of the typical coat resin Epidian 112 with the curing agent Saduramid 10/50. Besides the use of the greater content of the hard and wear resistant carborundum SiC and the small quantity of plastic powder of copper Cu also causes the diminution of the intensity of the abrasive waste  $I_z$ . The use of the warp on the basis of Epidian 601 causes the increased averagely about 30% the relative resistance on the waste abrasive  $K_b$  in every from pair of composites (1 of 2, 3 of 4, 5 of 6, 7 of 8) with relation to the warp on the basis of Epidian 112. Among investigated composites samples appear about compositions for which the relative resistance on the waste  $K_b$  is comparable (samples about numbers 1 and 8), and even 1.5÷2.5 times greater (samples about numbers 5, 7) than the resistance on the waste steel C45. These values testify about the high resistance on the waste conditioned the abrasive waste of epoxy composites with pulveraceous fillers SiC and Cu. Carried out experiences proved that it is proper to apply epoxy coats with pulveraceous fillers: with the carborundum SiC and with powder of copper Cu, because assure high values of the relative abrasion resistance  $K_b$  and low values of the intensities of the waste  $I_z$ .

**Keywords:** epoxy coats, epoxy laminates, friction, abrasive wear, pulverous fillers

## WPROWADZENIE

Tworzywami powłokowymi nazywamy materiały wykazujące właściwości przechodzenia ze stanu stałego w stan plastyczny lub płynny i które po naniesieniu na podłoże zespalają się z nim, tworząc warstwę o określonej grubości, ściśle przylegającą do niego i wykazującą określone właściwości mechaniczne i chemiczne. Trwa-

łość powłok uzależniona jest od odporności tworzyw sztucznych na działanie środowisk agresywnych. Wysoką odpornością odznaczają się tworzywa o dużej energii wiązań pomiędzy atomami, a więc zbudowane z łańcuchów węglowych niezawierających wiązań wielokrotnych.

Właściwości ochronne powłok uzależnione są również od technologii ich nanoszenia. Powłoki z tworzyw sztucznych nie tylko zmniejszają straty bezpośrednie, powodowane korozją metali, lecz także podnoszą niezawodność maszyn i urządzeń.

W środowiskach wysoce agresywnych opłacalne jest stosowanie stali węglowych powleczonej tworzywami sztucznymi zamiast stali nierdzewnych i kwasoodpornych.

## POLIMEROWE POWŁOKI O ZWIĘKSZONEJ ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE CIERNE

Niewielkie ilości tworzyw sztucznych stosuje się w węzłach tarcia samochodów (koła zębate, tuleje i panwie ślizgowe, wkładki oporowe ślizgowe, uszczelnienia, dobiciowe elementy cierne). Względy ekonomiczne, niezawodnościowe i technologiczne konstrukcji powodują szerokie stosowanie tworzyw sztucznych na elementy tarciove i konieczność poszukiwania nowych gatunków tworzyw sztucznych lub optymalizacji właściwości znanych polimerów, drogą ich uszlachetnienia przez napełnianie i specyficzną obróbkę cieplną.

Z reguły każdy dany gatunek tworzywa, przewidziany do zastosowania w węźle tarciowym, należy zbadać na stanowisku tarciowo-zużyciowym, gwarantującym duże przybliżenie do warunków pracy rzeczywistego węzła tarcia, a następnie uzyskane wyniki zweryfikować w trakcie prób eksploatacyjnych. Należy stwierdzić, że zastąpienie w istniejącym pojeździe jakiegoś elementu wykonanego z tworzywa sztucznego innym gatunkiem tworzywa może być dokonane dopiero po odpowiednich badaniach. Jedynie w razie zastępowania tworzywa zdecydowanie lepszym (charakterystyka  $k_n \cdot v$ ) można zaryzykować taką zmianę bez prowadzenia specjalnych badań tribologicznych.

## PRÓBKİ BADAWCZE

Do wytworzenia powłokowych kompozytów epoksydowych zostały użyte jako osnowa żywice epoksydowe wyprodukowane przez Zakłady Chemiczne „Organika-Sarzyna” w Nowej Sarzynie.

*Epidian 601* - niskolepka, klarowna kompozycja żywicy epoksydowej i rozcieńczalnika aktywnego o barwie żółtosłomkowej. Epidian 601 ma zastosowanie do wytwarzania laminatów, sporządzania kompozycji z wypełniaczami, impregnacji, wzmacniania i zabezpieczenia przed pyleniem betonu.

*Epidian 112* - roztwór żywicy epoksydowej o średniej masie cząsteczkowej 700÷1100 w rozpuszczalnikach organicznych, przeznaczony głównie do wytwarzania powłok antykorozyjnych i ochronno-dekoracyjnych na powierzchniach betonowych i stalowych. Powłoki uzyskane z tego lakieru wykazują odporność na działanie wody, alkaliów, węglowodorów (np. benzyna, oleje na-

pędowe), wielu rozpuszczalników organicznych, roztworów kwasów (nieutleniających) i soli nieorganicznych.

Właściwości fizykochemiczne żywic użytych na osnowę kompozytów przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Właściwości fizykochemiczne Epidianu 601 i Epidianu 112 [1]

TABLE 1. Physicochemical properties of Epidian 601 and Epidian 112 [1]

Parametr	Epidian 601	Epidian 112
Liczba epoksydowa, mol/100 g	0,50±0,55	0,1±0,13
Lepkość w temperaturze 25°C, mPa·s	700÷1100	450÷1000
Gęstość w temperaturze 20°C, g/cm <sup>3</sup>	około 1,14	około 1,02
Wartość pH	około 7	około 7
Palność	palny	łatwopalny
Temperatura zapłonu, °C	180	27

Wymienione żywice zostały utwardzono z użyciem zalecanych utwardzaczy: IDA i Saduramid 10/50.

*Utwardzacz IDA* - standardowy utwardzacz na bazie modyfikowanej cykloalifatycznej poliaminy, o kolorze od jasnożółtego do jasnobrazowego. Jest on niewrażliwy na wilgoć, stosowany głównie do mas posadzkowych, laminatów epoksydowo-szklanych na nośniku betonowym, drewnianym, stalowym. Dzięki niemu uzyskuje się powierzchnię o doskonałej gładkości i wysokim połysku. Utwardzacz IDA może być również stosowany do utwardzania niskocząsteczkowych żywic epoksydowych Epidian 5 i 6. Charakterystykę podstawowych właściwości utwardzacza IDA przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2. Charakterystyka podstawowych właściwości utwardzacza IDA [1]

TABLE 2. The characterization of basic properties of the curing agent IDA [1]

Lepkość w temperaturze 25°C, mPa·s	150÷300
Gęstość w temperaturze 20°C, g/cm <sup>3</sup>	1,01±1,03
Gramorównoważnik aktywnych atomów wodorowych, g/eq	96
Czas przechowywania	12 miesięcy
Utwardzanie	temperatura pokojowa
Czas życia (100 g, 20°C), min	około 50 z Epidianem 601

*Saduramid 10/50* - roztwór poliaminoamidu w rozpuszczalnikach organicznych. Produkt szkodliwy i łatwo palny, stosowany do utwardzania lakierów epoksydowych przeznaczonych do konserwacji metali oraz powierzchni betonowych.

Jako napełniaczy użyto napełniaczy proszkowych: węgla krzemu (SiC) oraz proszku miedzi (Cu).

*Węgiel krzemu* (karborund) jest związkami krzemu z węglem otrzymywanym w temperaturze około 2400°C odpowiadającym wzorowi SiC. To związek o wysokiej twardości i dużej wytrzymałości mechanicznej, o wyjątkowo wysokim przewodnictwie cieplnym i elektrycznym, a także równie wysokiej wytrzymałości na nagłe zmiany

temperatury i utleniające działanie powietrza. Typowy skład to SiC > 97%, wolny C < 0,4%, wolny Si < 1%.

**Proszek miedzi (Cu)** - cennymi właściwościami miedzi są wysoka przewodność elektryczna i cieplna oraz odporność chemiczna. Jest masowo wykorzystywana jako surowiec do produkcji przewodów elektrycznych i powszechnie w elektronice, a także w budownictwie oraz jako barwnik szkła i katalizator.

W tabeli 3 podano właściwości fizyczne zastosowanych napełniaczy proszkowych.

TABELA 3. Właściwości fizyczne użytych napełniaczy proszkowych [2]

TABLE 3. Physical qualities of used pulveraceous fillers [2]

Parametr	SiC	Cu
Gęstość $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	2,5	8,96
Temperatura topnienia $t_{top}$ , °C	2250	1084
Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda$ , W/mK	72,0	401
Twardość w skali Mohsa	powyżej 9	3,0

## PLAN BADAŃ I WYKONANIE PRÓBEK

Skład fazowy oraz liczba wykonywanych próbek zostały ustalone na podstawie przyjętego planu doświadczenia, czyli ortogonalnej macierzy pełnoczynnikowej I rzędu 2<sup>3</sup> z powtórzeniami [3].

Badanie odporności na ścieranie materiałów polimerowych zostało przeprowadzone z wykorzystaniem testera T-07 produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu. Badanie polega na tym, że w jednakowych warunkach pracy (prędkość  $n$  i obciążenie  $P$ ) dokonuje się tarcia próbek o cząstki ściernie podawane grawitacyjnie do strefy styku tarcia.

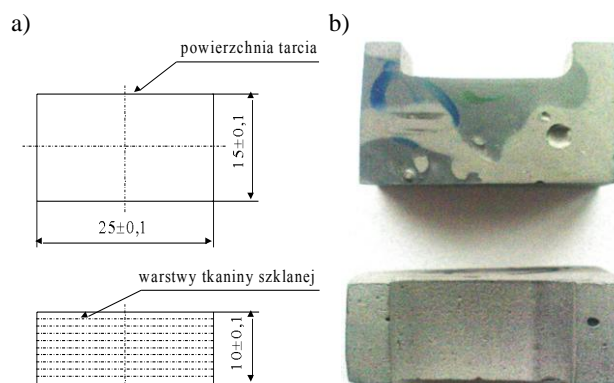
TABELA 4. Parametry i warunki badań tarcowych [4]

TABLE 4. Parameters and conditions of abrasive research [4]

Siła docisku próbki do przeciwróbki: $P = 44$ N	Ścierniwo: elektrokorund, nr 90 wg PN-76/M-59115
Prędkość obrotowa przeciwróbki: $n = 60$ obr/min	Czas testu: $N_b = 1000$ s (1000 obr)
Przeciwróbka: twardość gumy 78÷85 ShA wg PN-80/C-04238	Wielkość badana: intensywność zużywania $I_z$ , mg/s
Próbka wzorcowa - stal 45, twardość 190÷200 HV	Wskaźnik odporności na ścieranie $K_b$ , -

Próbki kompozytowe wykonano w laboratorium z zastosowaniem dzielonej formy metalowej. Materiał na próbki uformowano bezciśnieniowo, przy czym utwardzenie przebiegało w temperaturze 20°C, a czas utwardzania wynosi 48 h. 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 tarcia. Powierzchnia zużywania oraz kierunek działania siły tar-

cia były ustalone prostopadłe do warstw tkaniny szklanej laminatu (rys. 1a).



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

Fig. 1. Test material specimen: a) the constructional drawing, b) sample after test abrasion

TABELA 5. Składy fazowe próbek 1, 3, 5 i 7

TABLE 5. Phasic compositions of samples 1, 3, 5 and 7

Nr próbki	Parametry (w odniesieniu do całej próbki)	Komponenty				Suma komponentów
		Napełniacz proszkowy		Osnowa		
		SiC	Cu	Epidian 601	IDA	
1	Masa komponentu g	5,7	22,9	8,1	4,3	41
	Zawartość komponentu %	14	56	19,6	10,4	100
3	Masa komponentu g	4,1	16,4	13,4	7,1	41
	Zawartość komponentu %	10	40	32,7	17,3	100
5	Masa komponentu g	22,9	5,7	8,1	4,3	41
	Zawartość komponentu %	56	14	19,6	10,4	100
7	Masa komponentu g	16,4	4,1	13,4	7,1	41
	Zawartość komponentu %	40	10	32,7	17,3	100

Trzema parametrami wejściowymi  $x_i$ , o wartościach dwu poziomów  $\pm 1$  („+” górny oraz „-” dolny), są udziały komponentów kompozytu:

- $x_1$  - rodzaj osnowy (Epidian 601 + IDA / Epidian 112 + Saduramid 10/50)
- $x_1(0)$  - 50% Epidian 601 + 50% Epidian 112
- $x_1(-1)$  - Epidian 601 + IDA
- $x_1(+1)$  - Epidian 112 + Saduramid 10/50

- $x_2$  - udział masowy osnowy w kompozycie, %  
 $x_2(0)$  - 40%  
 $x_2(-1)$  - 30%  
 $x_2(+1)$  - 50%
- $x_3$  - relacja masowa SiC do sumy mas SiC + Cu  
 $x_3(0)$  - 50%  
 $x_3(-1)$  - 20%  
 $x_3(+1)$  - 80%

TABELA 6. Składy fazowe próbek 2, 4, 6 i 8  
 TABLE 6. Phasic compositions of samples 2, 4, 6 and 8

Nr próbki	Parametry (w odniesieniu do całej próbki)	Komponenty				Suma komponentów
		Napełniacz proszkowy		Osnowa		
		SiC	Cu	Epidian 112	Saduramid 10/50	
2	Masa komponentu g	5,7	22,9	6,5	5,9	41
	Zawartość komponentu %	14	56	15,8	14,2	100
4	Masa komponentu g	4,1	16,4	10,8	9,7	41
	Zawartość komponentu %	10	40	26,3	23,7	100
6	Masa komponentu g	22,9	5,7	6,5	5,9	41
	Zawartość komponentu %	56	14	15,8	14,2	100
8	Masa komponentu g	16,4	4,1	10,8	9,7	41
	Zawartość komponentu %	40	10	26,3	23,7	100

Parametrem wyjściowym, czyli funkcją odpowiedzi  $y$ , jest masowa intensywność zużycia ściernego  $\bar{I}_z$  (mg/s).

Obliczone wartości współczynników regresji w połączeniu z wartościami funkcji  $y$  oraz wynikami uzyskanymi w doświadczeniach posłużą do ustalenia parametrów  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  dla doświadczeń uzupełniających w celu osiągnięcia obszaru prawie stacjonarnego, czyli obszaru, w którym występuje spadek intensywności zużycia ( $\bar{I}_z$  przyjmuje wartość minimalną) [3].

Próbki ważono przed i po próbie tarcia z dokładnością do 10 mg. Na podstawie wykonanych pomiarów określono wskaźnik odporności na zużycie  $K_b$  (względna odporność na zużycie) dla poszczególnych próbek (tab. 7), obliczony jako stosunek objętościowego zużycia próbki wzorcowej do objętościowego zużycia próbki badanej.

TABELA 7. Wskaźnik odporności na zużycie  
 TABLE 7. The indicator of the abrasion resistance

Numer próbki $j$		1	2	3	4	5	6	7	8
Wartość wskaźnika odporności na ścieranie $K_b$ , -	a*	1,062	0,674	0,879	0,595	1,506	0,519	2,393	1,046
	b*	0,97	0,6365	0,821	0,602	1,602	0,979	2,405	1,247
Średnia wartość wskaźnika $K_b$ , -		1,016	0,655	0,850	0,599	1,554	0,749	2,399	1,147

\* litery a i b oznaczają kolejną próbę  $j$ -tego doświadczenia

W tabeli 8 zaprezentowano wartości wszystkich obliczonych masowych intensywności zużycia  $I_z$  (mg/s) podczas tarcia o luźne ścierniwo próbek materiałowych na tle ich gęstości właściwej  $\rho_{jk}$  (g/cm<sup>3</sup>). Przedstawiono także średnią arytmetyczną wartość intensywności zużycia  $\bar{I}_z$  (mg/s) dla każdej pary pojedynczego doświadczenia w trzech seriach prób.

TABELA 8. Gęstość właściwa i intensywność zużycia badanych kompozytów  
 TABLE 8. The proper thickness and the intensity of the waste of investigated composites

Nr doświadczenia $j$		1	2	3	4	5	6	7	8
Gęstość próbki $\rho_{jk}$ , g/cm <sup>3</sup>									
$\rho_{jk}$	a*	2,51	2,54	2,01	1,98	2,00	2,09	1,58	1,69
	b*	2,54	2,53	2,00	2,11	1,99	2,05	1,61	1,65
Masowa intensywność zużycia ściernego $I_z$ , mg/s									
$I_z$ (1000s)	a*	0,61	0,95	0,92	1,38	0,54	1,50	0,43	0,92
	b*	0,66	1,01	0,99	1,28	0,51	0,81	0,42	0,79
$\bar{I}_z$ (1000s)		0,635	0,98	0,955	1,33	0,525	1,155	0,425	0,855

\* litery a i b oznaczają kolejną próbę  $j$ -tego doświadczenia

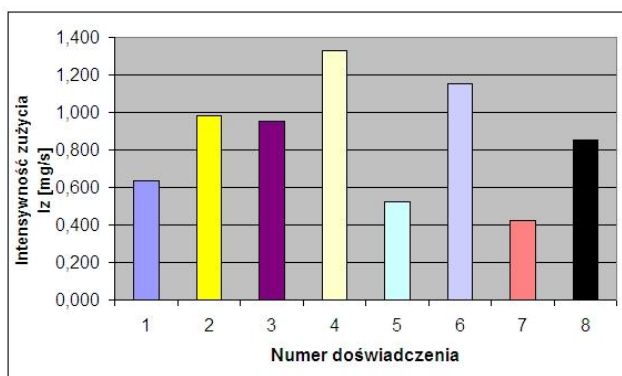
Na podstawie wartości zawartych w tabeli 7 obliczono współczynnik regresji, wariancję, błąd wyznaczenia współczynników regresji oraz ich poziom istotności [3]. W wyniku przeprowadzonych rozważań otrzymano równanie funkcji odpowiedzi w postaci

$$\bar{I}_z (1000s) = [0,858 + 0,223x_1 - 0,118x_3 + 0,043x_{13} - 0,134x_{23}] \pm 0,09 \text{ mg/s}$$

Na rysunku 2 przedstawiono zestawienie średnich masowych intensywności zużycia  $\bar{I}_z$  każdego badanego składu fazowego kompozytu.

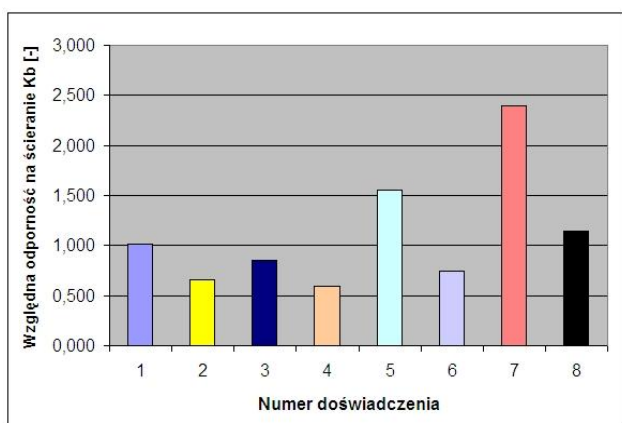
Można zauważyć, że najmniejszą intensywnością zużycia (rys. 2) i największą odpornością na zużycie (rys. 3) charakteryzują się próbki 5 i 7. Skład fazowy próbki 5 (56% SiC; 14% Cu; 19,6% Epidian 601; 10,4% IDA) oraz próbki 7 (40% SiC; 10% Cu; 32,7% Epidian 601; 17,3% IDA) różni się jedynie udziałem masowym osnowy w kompozycie. Rodzaj osnowy na poziomie (-) i relacja masowa SiC do sumy mas napełniaczy na po-

ziomie (+) wpływają na takie wartości intensywności zużycia  $I_z$  i względnej odporności na ścieranie  $K_b$ .



Rys. 2. Wykres średnich masowych intensywności zużycia  $\bar{I}_z$

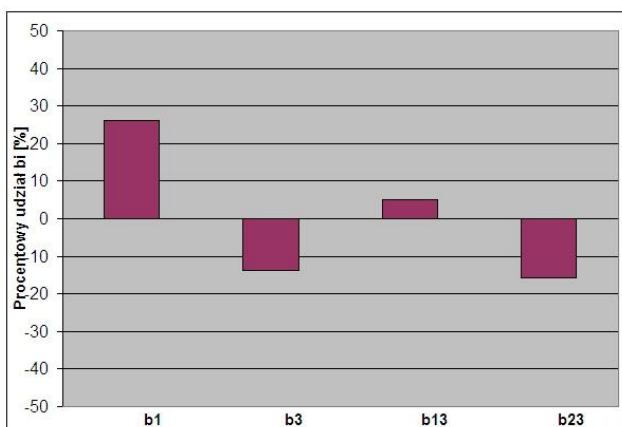
Fig. 2. The graph of average mass-intensities of the abrasive consumption  $\bar{I}_z$



Rys. 3. Wykres odporności na ścieranie  $K_b$

Fig. 3. The graph of the abrasion resistance  $K_b$

Analizując wartości i znaki współczynników regresji zmiennych niezależnych (rys. 4), zauważamy, że dla wszystkich warunków przeprowadzonych badań tarciovych wraz ze wzrostem zawartości SiC (i spadkiem zawartości Cu) intensywność zużycia  $I_z$  maleje (ujemne  $b_3$ ).



Rys. 4. Udział procentowy istotnych statystycznie współczynników  $b_i$  w stosunku do ich sumy  $\sum |(b_i)|$ , %

Fig. 4. The proportional participation of essential statistically coefficients  $b_i$  with relation to their sum  $\sum |(b_i)|$ , %

Wartość i znak współczynnika korelacji  $b_{23}$  informuje, że wraz z jednoczesnym zwiększeniem zawartości osnowy i udziału twardego węgla SiC obniża się intensywność zużycia  $I_z$ . Wykorzystanie żywicy Epidian 112 na osnowę kompozytu powoduje wzrost intensywności zużycia ściernego  $I_z$  (dodatnie  $b_1$ ) także wówczas, gdy zwiększa się w osnowie żywicy Epidian 112 udział twardego węgla SiC (dodatnia wartość współczynnika  $b_{13}$ ). Osnowa na bazie żywicy Epidian 601 z utwardzaczem IDA oraz przewaga węgla krzemu SiC jako napełniacza proszkowego przyczynia się do spadku intensywności zużycia  $I_z$ .

## WNIOSKI

1. Głównym składnikiem badanych kompozytów, wpływającym na obniżenie wartości intensywności zużycia ściernego  $I_z$  jest rodzaj osnowy epoksydowej. Zastosowanie żywicy Epidian 601 z utwardzaczem IDA obniża intensywność zużycia w przeciwieństwie do osnowy na bazie typowej powłokowej żywicy Epidian 112 z utwardzaczem Saduramid 10/50.
2. Użycie większej zawartości twardego i odpornego na ścieranie węgla krzemu SiC oraz małej ilości plastycznego proszku miedzi Cu powoduje zmniejszenie intensywności zużycia ściernego  $I_z$ .
3. Zastosowanie osnowy na bazie Epidianu 601 powoduje zwiększenie średnio o około 30% względnej odporności na zużycie ściernie  $K_b$  w każdej z par kompozytów (1 z 2, 3 z 4, 5 z 6, 7 z 8) w stosunku do osnowy na bazie Epidianu 112.
4. Wśród badanych kompozytów występują próbki o składach, dla których względna odporność na zużycie  $K_b$  jest porównywalna (próbki o numerach 1 i 8), a nawet 1,5÷2,5 razy większa (próbki o numerach 5, 7) niż odporność na zużycie stali 45. Wartości te świadczą o wysokiej odporności na zużycie w warunkach zużycia ściernego kompozytów epoksydowych z napełniaczami proszkowymi SiC i Cu.
5. Przeprowadzone doświadczenia dowiodły, że warto stosować epoksydowe powłoki z napełniaczami proszkowymi: karborundem SiC i proszkiem miedzi Cu, ponieważ zapewniają wysokie wartości względnej odporności na ścieranie  $K_b$  i niskie wartości intensywności zużycia  $I_z$ .

## LITERATURA

- [1] Materiały marketingowe Zakładów Chemicznych Organika-Sarzynia S.A. w Nowej Sarzynie 2000.
- [2] Poradnik Mechanika, w. 1.03.11. sofdis 2000÷2003.
- [3] Polański Z., Planowanie doświadczeń w technice, PWN, Warszawa 1984.
- [4] Tester do badań ściernych T-07, Instrukcja obsługi, ITE w Radomiu, Radom 1995.

- [5] Czub P., Bończa-Tomaszewski Z., Pęczek P., Pieluchowski J., Chemia i technologia żywic epoksydowych, WNT, Warszawa 2002.
- [6] Kucharczyk W., Mazurkiewicz A., Żurowski W., Nowoczesne materiały konstrukcyjne, Wybrane zagadnienia, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2008.
- [7] Rymuza Z., Trybologia polimerów ślizgowych, WNT, Warszawa 1986.
- [8] Żuchowska D., Polimery konstrukcyjne, WNT, Warszawa 2000.