

Aleksy Patejuk¹, Bazyli Krupicz²

Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, ul. Wiejska 45C, 15-950 Białystok

WPLYW WARUNKÓW BADANIA NA ZUŻYCIE MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH TYPU FeAl-Al₂O₃

Przedstawiono wyniki badań materiałów kompozytowych typu FeAl-Al₂O₃, wykonanych metodą metalurgii proszków. Proces technologiczny przygotowania próbki był dwuetapowy, tj. prasowanie i spiekanie. Materiałami wyjściowymi do przygotowania próbek kompozytowych były proszki żelaza, aluminium i tlenku aluminium Al₂O₃, który stanowił zbrojenie. Uzyskane próbki materiału kompozytowego posiadały kształt walca o średnicy 10 mm i długości 10±12 mm. Liniowa mikroanaliza składu chemicznego potwierdziła, że głównymi składnikami osnowy jest Fe i Al - stanowiące fazę FeAl. W próbkach materiału kompozytowego, zbrojonych cząstkami z powłoką niklową, odnotowano zwiększone stężenie niklu w obszarze osnowy bezpośrednio przylegającym do granicy rozdziału faz (rys. 2). Badania wykazały, że ilość fazy zbrojącej w postaci cząstek Al₂O₃ wpływa na poziom zużycia tego materiału (rys. 3). Wraz ze wzrostem udziału fazy zbrojącej (w zakresie udziału do 25%) wzrasta odporność materiału kompozytowego na zużycie ściernie. Po przekroczeniu 15% ilości fazy zbrojącej przyrosty odporności na zużycie ściernie są niewielkie, szczególnie w przypadku zastosowania zbrojenia z powłoką niklową (rys. 3b). Przeprowadzone badania odporności erozyjnej potwierdziły, że zastosowanie zbrojenia w postaci cząstek Al₂O₃ obniża zużycie jednostkowe badanego materiału. Stwierdzono, że wielkość cząstek fazy zbrojącej (f₀ i f₁) nie wpływa w sposób zauważalny na wartość zużycia jednostkowego próbek materiału kompozytowego (przy porównywalnej zawartości tej fazy). Wpływ na poziom tego zużycia wywiera stan powierzchni tych cząstek, tzn. czy na cząstkach fazy zbrojącej była wcześniej ukonstruowana powłoka niklowa (rys. 4). Wyniki uzyskane z badań eksperymentalnych (rys. 5) wykazują dużą analogię do wyników otrzymanych podczas badań erozyjnych. Jednak w tym przypadku nie odnotowano wyraźnej utraty odporności na zużycie wraz ze wzrostem udziału fazy zbrojącej.

Słowa kluczowe: materiał kompozytowy, faza międzymetaliczna-FeAl, zbrojenie-cząstki Al₂O₃, zużycie ściernie, zużycie hydrościernie i erozyjne

INFLUENCE OF TESTING CONDITIONS ON WEAR OF FeAl-Al₂O₃ COMPOSITE MATERIALS

In the paper, the authors presented results of testing on composite material that was prepared using powder metallurgy method. Testing samples were prepared in two-stage technological process, i.e. during pressing and sintering. Output materials for composite materials included following powders: iron, aluminium and reinforcement phase (Al₂O₃ particles). Produced samples had forms of cylinders of 10 mm diameters and 10±12 mm high. Linear microanalysis of chemical constitution confirmed that Fe and Al were main components of the matrix. FeAl phase constituted this matrix. Increased concentration of nickel in the matrix area adherent directly to phase separation border was noted in the composite material samples reinforced with Al₂O₃ particles with nickel layer (Fig. 2). Conducted tests showed that the amount of Al₂O₃ reinforcement phase influences the level of the material wear (Fig. 3). It was recorded that increase in share of reinforcement phase (up till 25%) improves its resistance to abrasive wear. When reinforcement phase exceeds the level of 15% share in the material the increase in resistance to abrasive wear is relatively small - especially in the case of applying reinforcement with nickel layer (Fig. 3b). Conducted tests of erosion resistance confirmed that applying reinforcement of Al₂O₃ particles results in decreasing unit wear of the tested material. The size of the reinforcement phase particles (f₀ and f₁) does not significantly influence unit wear of the composite material samples (when comparable content of the phase was provided). Yet, the particles surface conditions (i.e. whether the reinforcement phase particles had the nickel layer or not) substantially influence the level of the wear (Fig. 4). Results obtained from the experiment (Fig. 5) are highly similar to the results obtained during erosion tests. No significant decrease in resistance to wear was recorded as a result of increase in reinforcement phase share. Yet, substantial improvement in resistance to wear was recorded when nickel layer on Al₂O₃ particles was applied.

Key words: composite material, intermetallic phase-FeAl, reinforcement-Al₂O₃ particles, abrasive wear, hydroabrasive wear and erosion wear

WSTĘP

Projektowanie materiałów kompozytowych jest procesem trudnym. Bardzo duża gama czynników technologicznych wpływających na ich ostateczne cechy użytkowe sprawia, że uzyskanie zamierzonych właściwości eksploatacyjnych nie zawsze można zrealizować. Pozy-

tywne wyniki badań w ostatnich latach nad tą grupą materiałów spowodowały, iż materiały te są coraz szerzej wykorzystywane w przemyśle [1, 2]. Należy jednak podkreślić, że proces wytwarzania ich wymaga dużej staranności, zachowania ustalonych parametrów techno-

^{1,2} dr inż.

logicznych i ciągłej kontroli uzyskiwanych właściwości [1, 4, 5]. Przedstawiony powyżej problem dotyczy w szczególności materiałów kompozytowych z osnową metaliczną. Co prawda w drugiej połowie XX wieku zostały opracowane podstawy technologii wytwarzania tej grupy materiałów, nazywanych niekiedy kompozytami zaawansowanymi, to jednak nie odnotowano powszechnego ich wykorzystywania w praktyce przemysłowej [6, 7]. Uważa się, że największym problemem w tych przypadkach są nadal trudności związane z uzyskaniem wysokiej i powtarzalnej wytrzymałości połączeń składników tych materiałów kompozytowych [8].

Wszechstronne badania [9, 10] potwierdziły, że na jakość trwałego i gąszczelnego procesu spajania składników fazowych materiału kompozytowego składa się wiele czynników. Do najważniejszych zalicza się między innymi:

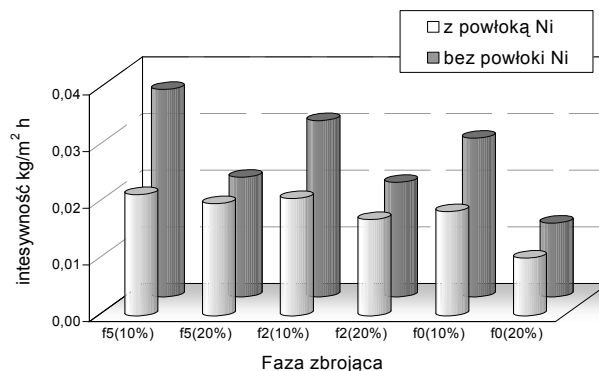
- zwilżalność powierzchni fazy zbrojącej przez osnowę,
- stan fizyczny i skład chemiczny warstwy powierzchniowej na granicy rozdziału faz,
- podobieństwo współczynników rozszerzalności liniowej spajanych materiałów.

W wielu przypadkach jednym z najważniejszych kryterium, decydującym o aplikacji przemysłowej danego materiału kompozytowego, jest możliwość uzyskania wysokich właściwości wytrzymałościowych oraz odporności na zużycie przy jednoczesnym zachowaniu dobrej stabilności tych właściwości [11-13]. Powyższe stało się główną przesłanką przeprowadzenia badań i przedstawienia ich wyników w niniejszym artykule.

METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Wcześniejsze badania własne dotyczące pomiarów zużycia ściernego i erozyjnego [11, 13] wykazały, że odporność na zużycie badanego materiału kompozytowego wzrasta wraz ze spadkiem wielkości cząstek fazy zbrojącej przy takim samym udziale objętościowym tej fazy w kompozycie. Kolejną prawidłowością zaobserwowaną podczas wcześniejszych badań jest to, że w przypadku zastosowania powłoki niklowej na cząstkach fazy zbrojącej odporność na ścieranie znacząco poprawi się - szczególnie, gdy materiał kompozytowy posiadał mniejszą ilość zbrojenia (10%) - rys. 1 (frakcja cząstek zbrojenia: f0 - do 10 μm, f2 - 20÷30 μm, f5 - 50÷60 μm). W związku z powyższą prawidłowością, opisaną w pracach [13, 14], postanowiono wykonać próbki materiału kompozytowego w wariantach technologicznych prognozujących uzyskanie najlepszych wyników. Dodatkowo wykonano próbki materiałów kompozytowych różniące się udziałem fazy zbrojącej - 15 i 25%. Uzyskane wyniki z badań porównano z wynikami otrzymanymi wcześniej [2]. Dotychczasowe wyniki badań nad materiałami kompozytowymi o osnowie FeAl zbrojonymi cząstkami Al₂O₃ uzupełniono o bada-

nia odporności hydrościernej. Oznaczenia wariantów próbek materiału kompozytowego przeznaczonych do badań zestawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Odporność badanego materiału kompozytowego na zużycie ściernie [13]

Fig. 1. Resistance of tested composite material to abrasive wear [13]

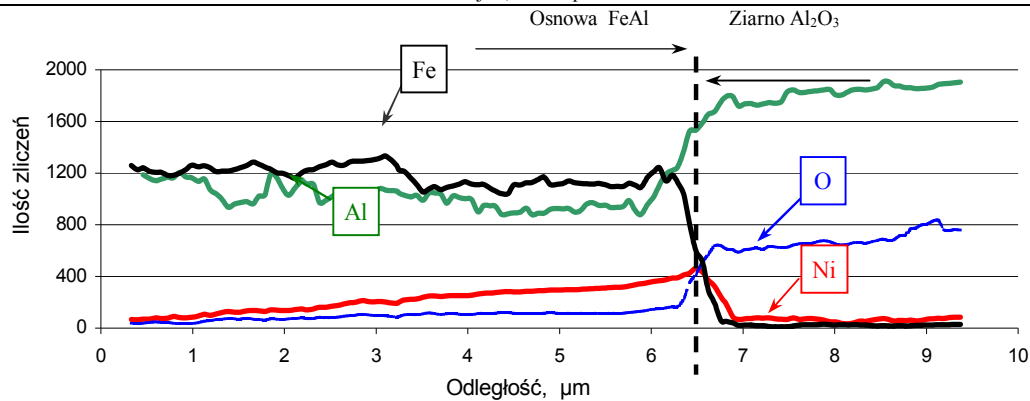
TABELA 1. Oznaczenie próbek materiału kompozytowego przeznaczonych do badań

TABLE 1. Setting composite material samples applied in testing

Udział objętościowy fazy zbrojącej %	Powierzchnia cząstek	Wielkość cząstek fazy zbrojącej	Oznaczenie próbek
15	bez powłoki	poniżej 10 μm	f0
		10÷20 μm	f1
	z powłoką Ni	poniżej 10 μm	f0+powłoka
		10÷20 μm	f1+powłoka
25	bez powłoki	poniżej 10 μm	f0
		10÷20 μm	f1
	z powłoką Ni	poniżej 10 μm	f0+powłoka
		10÷20 μm	f1+powłoka

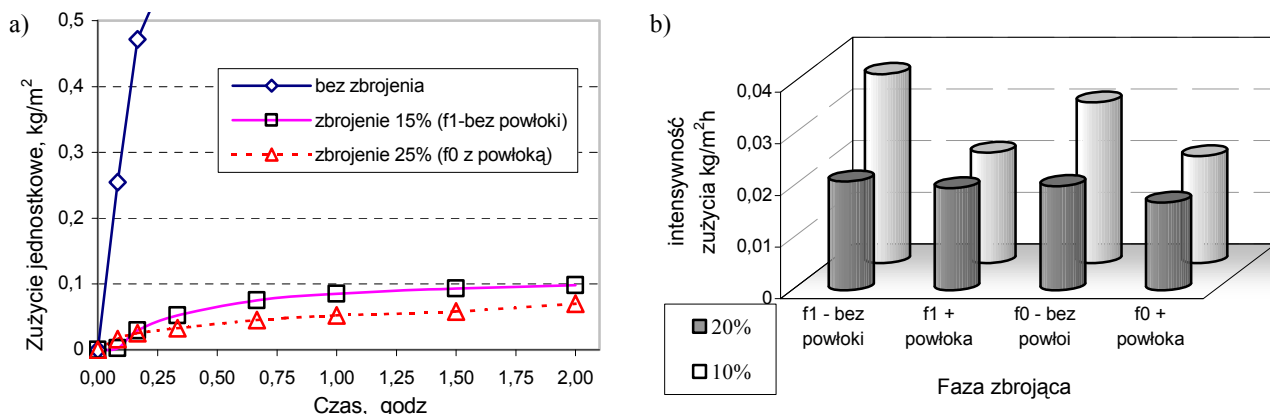
Próbki materiału kompozytowego przeznaczone do badań były wykonane w dwuetapowym procesie technologicznym składającym się z prasowania i spiekania. Materiał wyjściowy służący do wykonania tych materiałów kompozytowych stanowiły proszki: żelaza, aluminium i cząstki Al₂O₃ jako faza zbrojąca. Wykonane próbki miały kształt walca o średnicy 10 mm i wysokości około 10÷12 mm. Szczegóły dotyczące doboru poszczególnych parametrów procesu i sposobu jego przeprowadzenia można znaleźć między innymi w pracach [14, 15].

Wykonane próbki materiału kompozytowego ocenione wizualnie charakteryzowały się zadowalającą jakością powierzchni zewnętrznej. Na tej powierzchni nie zaobserwowano pęknięć i rozwarstwień. Liniowa mikroanaliza składu chemicznego potwierdziła, że głównymi składnikami osnowy jest Fe i Al - stanowiące fazę FeAl. Dodatkowo w próbkach materiału kompozytowego zbrojonych cząstkami z powłoką niklową odnoto-



Rys. 2. Mikroanaliza liniowa składu chemicznego w strefie granicy rozdziału faz

Fig. 2. Linear microanalysis of chemical composition in the area of phase separation border



Rys. 3. Odporność badanych materiałów kompozytowych na zużycie ściernie: a) jednostkowy ubytek masy, b) intensywność zużycia

Fig. 3. Resistance of tested composite materials to abrasive wear: a) unit mass loss, b) wear intensity

wano zwiększone stężenie niklu w obszarze osnowy bezpośrednio przylegającym do granicy rozdziału faz (rys. 2).

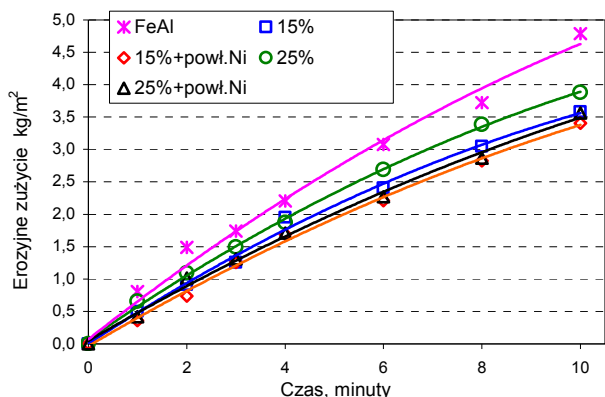
Wykonane próbki materiału kompozytowego poddały testom odporności na zużycie metodą „pin on disc”. Badania przeprowadzono przy nacisku jednostkowym 3 MPa oraz prędkości liniowej (obwodowej) 0,5 m/s. Przeciwną stanowiła tarcza z stali 45 o twardości około 45 HRC. Czas trwania próby był jednakowy dla wszystkich testów i wynosił 2 godziny. Temperatura w bezpośrednim sąsiedztwie węzła tribologicznego (bez- pośredniej strefie pomiaru wartość zużycia liniowego) rejestrowana była w sposób ciągły i wynosiła $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Zmianę masy próbki (ubytek masy) określano okresowo poprzez jej ważenie z dokładnością 0,001 g.

Przeprowadzone badania wykazały, że ilość fazy zbrojącej w postaci cząstek Al_2O_3 wpływa na zużycie tego materiału (rys. 3). Stwierdzono, że wraz ze wzrostem udziału fazy zbrojącej, w zakresie do 25%, wzrasta odporność materiału kompozytowego na zużycie ściernie. Należy jednak zaznaczyć, że dla kompozytów zawierających powyżej 15% fazy zbrojącej zwiększenie odporności na zużycie ściernie jest niewielkie - szczególnie w przypadku zastosowania zbrojenia z powłoką niklową (rys. 3b).

Odporność na zużycie erozyjne określano na tych samych próbkach, na których były przeprowadzone testy zużycia ściernego. Badania erozyjne przeprowadzono na laboratoryjnym stanowisku pomiarowym, umożliwiającym płynną regulację podstawowych parametrów technologicznych (prędkości i kąta padania cząstek). W celu zachowania pełnej kompatybilności z wynikami badań wcześniejszych, prezentowanych między innymi w pracach [11, 13, 16], przyjęto w badaniach takie same parametry technologiczne próby, tj. prędkość strumienia około 150 m/s i kąt padania strumienia na powierzchnię badanej próbki 90° . Elementem wymuszającym erozję były cząstki piasku kwarcowego o wielkości cząstek $0,2 \div 0,3$ mm. Podczas realizacji eksperymentu dokonywano cyklicznie pomiaru ubytku masy próbki - co 1 minutę (w zakresie łącznego czasu ekspozycji do 4 minut), następnie co 2 minuty do czasu zakończenia próby.

Przeprowadzone badania odporności erozyjnej potwierdziły, że zbrojenie w postaci cząstek Al_2O_3 obniża zużycie jednostkowe badanego materiału. Stwierdzono, że wielkość cząstek fazy zbrojącej (f0 i f1) nie wpływa w sposób zauważalny na wartość zużycia jednostkowego próbek materiału kompozytowego (przy porównywalnej zawartości tej fazy). Natomiast istotny wpływ na

poziom tego zużycia wywiera stan powierzchni tych cząstek, tzn. czy na cząstkach fazy zbrojącej była wcześniej ukonstytuowana powłoka niklowa (rys. 4).



Rys. 4. Zużycie erozyjne próbek fazy międzymetalicznej z układu FeAl oraz materiału kompozytowego na jej osnowie przy udziale 15 i 25% fazy zbrojącej (materiał kompozytowy - próbki f2)

Fig. 4. Erosion wear of intermetallic phase FeAl and composite material on its layer with participation of 15 and 25% reinforcement phase (composite material - samples f2)

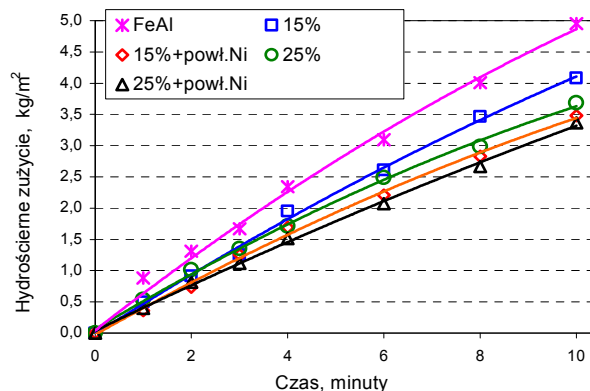
Przeprowadzone badania potwierdziły, że w przypadku gdy cząstki fazy zbrojącej posiadają na powierzchni powłokę niklową, wówczas obniża się poziom zużycia jednostkowego. Natomiast nie odnotowano poprawy odporności na zużycie badanych próbek materiału

kompozytowego wraz ze zwiększeniem ilości fazy zbrojącej (cząstek Al₂O₃ w zakresie do 25%). W tym przypadku zaobserwowano wręcz tendencję odwrotną - zwiększenie ilości fazy zbrojącej zwiększało poziom zużycia erozyjnego. Takie zachowanie się tych materiałów kompozytowych jest najprawdopodobniej związane ze zwiększonym prawdopodobieństwem (w stosunku do materiału zawierającego mniej zbrojenia) wykruszania się twardej

i kruchej fazy zbrojącej, której w tym przypadku jest więcej. Przeprowadzone obserwacje mikroskopowe powierzchni próbek po badaniach erozyjnych potwierdzają powyższą tezę. W wielu miejscach na powierzchni po badaniach erozyjnych można stwierdzić obecność niecałkowicie usuniętych fragmentów cząstek Al₂O₃.

W kolejnym etapie badań wytworzonych materiałów kompozytowych przeprowadzono testy zużycia hydrościernego. Jako medium nośne zastosowano wodę sieciową. Natomiast ścierniwem, podobnie jak w przypadku zużycia erozyjnego, były cząstki piasku kwarcowego o wielkości 0,2÷0,3 mm. Badania przeprowadzono przy stałej prędkości wypływu strugi wynoszącej około 50 m/s. Pomiary ubytku masy dokonywano w taki sam sposób jak w przypadku pomiarów po badaniach erozyjnych z tą tylko różnicą, że przed pomiarem próbki były suszone w temperaturze 120°C przez około 15 minut.

Wyniki badań eksperymentalnych (rys. 5) wykazują dużą analogię do wyników uzyskanych podczas badań erozyjnych. Jednak w tym przypadku nie odnotowano tak wyraźnego obniżenia odporności na zużycie wraz ze wzrostem udziału fazy zbrojącej. Natomiast podobnie jak w poprzednim przypadku odnotowano poprawę odporności na zużycie, gdy zastosowano powłokę niklową na cząstkach fazy zbrojącej (Al₂O₃).



Rys. 5. Zużycie hydrościernie próbek fazy międzymetalicznej z układu FeAl oraz materiału kompozytowego na jej osnowie przy udziale 15 i 25% fazy zbrojącej (materiał kompozytowy - próbki f2)

Fig. 5. Hydro-abrasive wear of intermetallic phase FeAl and composite material on its layer with participation of 15 and 25% reinforcement phase (composite material - samples f2)

WNIOSKI

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wraz ze wzrostem ilości fazy zbrojącej w materiale kompozytowym rośnie jego odporność na zużycie ściernie.
2. Odporność na zużycie ściernie materiałów kompozytowych na osnowie fazy międzymetalicznej z układu Fe-Al, zbrojonych cząstkami Al₂O₃, jest zdecydowanie wyższa (praktycznie o rząd wielkości) w porównaniu z odpornością materiału osnowy.
3. Odporność na zużycie erozyjne materiału kompozytowego na osnowie fazy międzymetalicznej z układu Fe-Al, zbrojonych cząstkami Al₂O₃, jest tylko nieznacznie większa w porównaniu z odpornością materiału osnowy.
4. Wraz ze wzrostem ilości fazy zbrojącej w materiale kompozytowym rośnie odporność na zużycie hydrościernie tego materiału.
5. Odporność na zużycie erozyjne i hydrościernie materiałów kompozytowych na osnowie fazy międzymetalicznej z układu Fe-Al, zbrojonych cząstkami Al₂O₃, jest tylko nieznacznie większa w porównaniu z odpornością materiału osnowy.
6. Zastosowanie powłoki niklowej na cząstkach Al₂O₃, stanowiących fazę zbrojącą badanych materiałów kompozytowych, powoduje poprawę cech użytko-

wych, takich jak: odporność erozyjna, ścier na i hydro- ścierna.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu statutowego Nr S/WM/2/05, finansowanego ze środków Komitetu Badań Naukowych.

LITERATURA

- [1] Bystrzycki J., Garbacz H., Przetakiewicz W., Kurzydłowski K., Tematyka polskich prac badawczych w obszarze faz międzymetalicznych na tle badań światowych, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe nt. Stopy na osnowie faz międzymetalicznych, Warszawa 2000, 123-128.
- [2] Braszczyński J., Problemy technologii odlewanych kompozytów metalowych, Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej, Częstochowa 2001, 11-19.
- [3] Garbarski J., Materiały i kompozyty niemetalowe, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
- [4] Rudnik D., Sobczak J., Tłoki kompozytowe do silników spalinowych, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2001.
- [5] Wojciechowski A., Sobczak J., Kompozytowe tarcze hamulcowe pojazdów drogowych, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2001.
- [6] Varin R.A., Structural and Functional Intermetallics - An Overview, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe nt. Stopy na osnowie faz międzymetalicznych, Warszawa 2000, 1-14.
- [7] Patejuk A., Durejko T., Badanie materiałów kompozytowych na osnowie aluminium zbrojonych cząstkami SiO₂, Archiwum Odlewnictwa 2001, 1, 538-543.
- [8] Boczkowska A., Kapuściński J., Puciłowski K., Wojciechowski S., Kompozyty, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [9] Śleziona J., Podstawy technologii kompozytów, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
- [10] Suchy J., Kompozyty odlewane, CIATF, Wrocław 1995.
- [11] Patejuk A., Krupicz B., Zużycie ściernie i erozyjne wybranych materiałów kompozytowych typu FeAl-Al₂O₃, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie 2004, Nr 73, 443-452.
- [12] Patejuk A., Durejko T., Wpływ fazy zbrojącej na odporność na zużycie ściernie kompozytu typu FeAl-Al₂O₃, Mat. II Sym- pozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji, Augustów 2003, 303-306.
- [13] Patejuk A., Krupicz B., Piwnik J., Wpływ wielkości cząstek fazy zbrojącej na zużycie materiału kompozytowego FeAl-Al₂O₃, Kompozyty (Composites) 2004, 4, 11, 260-264.
- [14] Durejko T., Bojar Z., Materiały na bazie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al otrzymywane zmodyfikowaną metodą prasowania w podwyższonej temperaturze, Kompozyty (Composites) 2002, 2, 5, 323-327.
- [15] Patejuk A., The influence of nickel covering of Al₂O₃ on properties of composite material with aluminium matrix, Progres transportnych sredstw, Wołgograd 2002, 246-250.
- [16] Крупиц Б., Проблемы обеспечения износостойкости деталей систем пневмотранспорта, Трение и износ 2002, 23, 5, 477-482.

Recenzent
Stefan Szczepanik