

Aleksy Patejuk¹, Bazyli Krupicz², Jan Piwnik³

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

WPŁYW WIELKOŚCI CZĄSTEK FAZY ZBROJĄCEJ NA ZUŻYCIE MATERIAŁU KOMPOZYTOWEGO FeAl-Al₂O₃

Przedstawiono wyniki badań wpływu warunków wytwarzania na właściwości materiału kompozytowego na osnowie fazy międzymetalicznej Fe-Al zbrojonego cząstkami Al₂O₃. Stwierdzono, że istotny wpływ na właściwości materiału kompozytowego wywiera ilość, wielkość i stan powierzchni użytego zbrojenia. Odnotowano poprawę właściwości tribologicznych i odporności na zużycie erozyjne badanego materiału kompozytowego wraz z obniżeniem wielkości cząstek zastosowanych jako zbrojenie tego materiału kompozytowego. Przy czym elementem wydatnie poprawiającym właściwości badanego materiału kompozytowego jest zastosowanie jako zbrojenie cząstek Al₂O₃ z ukonstruowaną na ich powierzchni powłoką niklową.

Słowa kluczowe: materiał kompozytowy, faza międzymetaliczna-FeAl, zbrojenie-cząstki Al₂O₃, zużycie ścierne, zużycie erozyjne

INFLUENCE OF SIZE OF REINFORCING PHASE ON WEAR OF COMPOSITE MATERIAL FeAl-Al₂O₃

Samples of composite material were made using the blend of technically pure iron and aluminium powders. The reinforcement consisted of previously selected three kinds of powder particles, which differed in size of the particles: below 10 μm (called f0), 20+30 μm (called f2) and 50+60 μm (called f5). Two-stage process of composite production was applied. First stage was conducted in static conditions under the load of 300 MPa and in the conditions of cyclically variable loading of 40 Hz frequency. Temperature of the process in both cases was this same and amounted to 660°C. The time of presenting was this same and amounted to 1 hour for all variants of sample production. The second stage of the sintering, called „principal”, was conducted in 1250°C temperature in argon protective atmosphere during 1 hour. Produced samples had forms of cylinders of 10 mm diameters and 10+12 mm high.

Erosion tests were conducted on the stand showed in Figure 2. Air pressure and angle of particle impact on the sample were the variable parameters of the experiment. Erosion tests lasted 10 minutes. The air pressure amounted to 0.3 MPa. Under this pressure the stream velocity amounted to 150 m/s. The stream impact angle equaled 90°. Quartz sand of 0.2+0.3 diameter constituted the abrasive material. Loss measurement was conducted in one-minute time intervals up till 4 minutes and later every 2 minutes.

In the consecutive stage of studies, prepared samples underwent tests of resistance to wear using following methods: „pin on disc” and stream-abrasive method. In abrasive tests, load of 3 MPa and linear velocity of 0.5 m.p.s. were used. Steel 45 thermally resistant to 45 HRC hardness was the counter-sample. The test lasted 2 hours. Temperature in direct proximity of cooperating steam amounted to 25 ±2°C. During the whole cycle of tests, value of linear wear was constantly recorded as well as mass of the sample was periodically weighted with 0.001 g precision.

Conducted tests also show that increase in share of reinforcing phase (up till 20%) in the mentioned composite, which was made in static conditions, substantially improves its resistance to erosion. Additionally, increased resistance to erosion was recorded during testing of composite materials, containing Al₂O₃ particles with nickel layer. It is important to mention that during conducted tests it was characteristic that the level of wear intensity of tested tribologic pairs (which roughness parameters before the sample and counter-sample testing ranged $R_a = 0.1+0.2 \mu\text{m}$) became stable after approximately 15 minutes of testing (Fig. 3a).

Resistance to erosion wear was assessed for the same samples, on which abrasive wear tests were made. Conducted tests of erosion resistance disclosed, that application of reinforcement of Al₂O₃ particles decreases unit wear of tested material. It was identified that the size of reinforcement particles used during the test (f0, f2 and f5) did not significantly influence the magnitude of unit wear of composite material tested particles. However, substantial influence of surface conditions of applied reinforcement phase particles on the level of composite wear was recorded (Fig. 4). When reinforcement phase particles has nickel layer on the surface, the level of unit wear decreased. Increase in quantity of reinforcement phase results in decrease in composite's resistance to erosion. Conducted microscope observations indicate that obtained results of tested material's erosion are probably related with increased probability of chipping of hard and brittle reinforcement phase (relating to the material containing 10% of the reinforcement). Effects of chipping watched under microscope had forms of deep holes, in which fragments of not totally removed Al₂O₃ particles were still present.

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

WSTĘP

Stopy na osnowie uporządkowanych faz międzymetalicznych zaliczane są do nowej generacji tworzyw konstrukcyjnych. Z uwagi na ich unikalne właściwości

fizykochemiczne i mechaniczne uważane są one za materiały przyszłości. Stąd też wiele światowych ośrodków naukowo-badawczych aktualnie prowadzi intensywne

^{1,2} dr inż., ³ prof. dr hab. inż.

badania nad tą grupą materiałów. Do najbardziej interesujących należą fazy międzymetaliczne układów równowagi: Ti-Al, Ni-Al, Fe-Al, Nb-Al raz Mo-Si z uwagi na poznanie granic możliwości ich uplastycznienia [1, 2]. Również w krajowych ośrodkach naukowo-badawczych stopy te stały się od kilku lat szczególnym przedmiotem zainteresowania. Dotyczy to w szczególności stopów, w skład których wchodzi takie fazy, jak: FeAl, Fe₃Al, NiAl, Ni₃Al i TiAl [3, 4].

Należy zaznaczyć, że w obrębie analizowanych grupy materiałów szczególnie interesującymi właściwościami charakteryzują się te materiały, w którym faza międzymetaliczna stanowi osnowę. Zbrojenie stanowią głównie cząstki Al₂O₃, SiC, TiC itp. Jest to więc kompozyt, który poza poszukiwanymi cechami charakterystycznymi dla materiału osnowy (fazy międzymetalicznej) wyróżnia się dodatkowo bardzo dużą odpornością na zużycie [5, 6].

Istotnym elementem prowadzonych prac jest oszacowanie możliwości perspektywicznych zastosowań tych kompozytów. Dane literaturowe [7] wskazują, że najbardziej perspektywiczny obszar ich zastosowań mogą stanowić elementy narażone na oddziaływania korozyjne, erozyjne, tribologiczne itp. Przy czym oddziaływania te dodatkowo mogą występować w podwyższonej temperaturze [8].

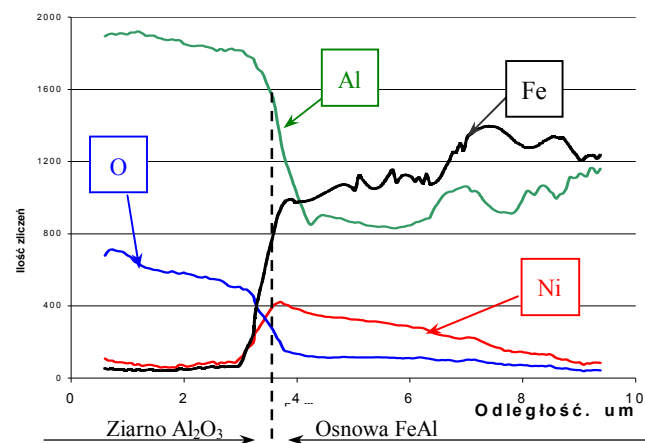
Badania przedstawione w niniejszej pracy są skupione na ustaleniu wpływu ilości i wielkości fazy zbrojącej w postaci cząstek Al₂O₃ oraz stanu powierzchni tych cząstek w czasie prasowania na odporność ścierną i erozyjną materiału kompozytowego wytworzonego metodą prasowania, którego osnowę stanowiła faza FeAl.

METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Próbki materiału kompozytowego wykonane zostały metodą mieszania technicznie czystych proszków żelaza i aluminium oraz cząstek fazy zbrojącej. Wcześniejsze badania [9] wykazały, że aby uzyskać osnowę materiału kompozytowego złożoną z fazy FeAl, należy zastosować mieszaninę proszków w proporcji udziału atomowego: 60% żelaza i 40% aluminium. Zbrojenie stanowiły wyselekcjonowane wcześniej cząstki Al₂O₃ o trzech zakresach wielkości: poniżej 10 μm (umownie nazwanych f0), 20÷30 μm (umownie nazwanych f2) i 50÷60 μm (umownie nazwanych f5).

Proces wytwarzania materiału kompozytowego składał się z dwóch etapów. Pierwszy etap (spiekanie wstępne) polegał na prasowaniu wcześniej przygotowanych mieszanin proszkowych przy dwuwariantowym sposobie prasowania - I wariant - prasowanie w warunkach statycznych pod obciążeniem 300 MPa, II wariant - prasowanie w warunkach obciążeń cyklicznie zmiennych o częstotliwości 40 Hz. Temperatura procesu w obydwu przypadkach (wariantach) była taka sama

i wynosiła 660°C. Czas spiekania (prasowania) wstępnego był jednakowy i wynosił godzinę dla wszystkich wariantów wykonywania próbek. Drugi etap prasowania (spiekania) nazwany umownie zasadniczym realizowano w temperaturze 1250°C w atmosferze ochronnej argonu w czasie 1 godziny. Wykonane próbki miały kształt walca o średnicy 10 mm i wysokości około 10÷12 mm.



Rys. 1. Mikroanaliza liniowa składu chemicznego w strefie granicy rozdziału faz

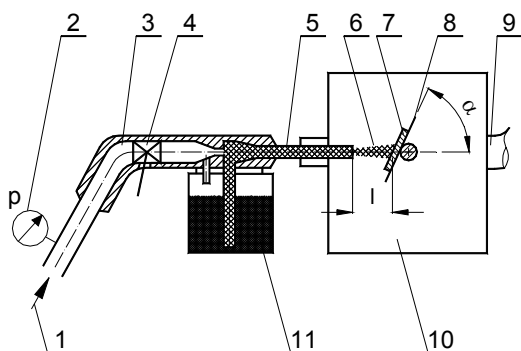
Fig. 1. Linear microanalysis of chemical composition in the area of phase separation border

Przeprowadzone badania mikroskopowe wykazały, że w każdym przypadku odnotowano występowanie dwóch faz materiału kompozytowego, przy czym osnowę stanowi faza intermetaliczna o składzie chemicznym charakterystycznym dla występowania fazy FeAl. Dodatkowo w próbkach materiału kompozytowego zbrojonych cząstkami z powłoką niklową, badanych bezpośrednio po spiekaniu zasadniczym, odnotowano zwiększone stężenie niklu w obszarze osnowy bezpośrednio przylegającym do granicy rozdziału (rys. 1).

Próby erozyjne przeprowadzono na laboratoryjnym eksperymentalnym stanowisku pomiarowym (rys. 2). Parametry eksperymentu zostały dobrane w oparciu o wcześniejsze badania własne [10, 11]. Podczas próby utrzymywano stałe ciśnienie powietrza na poziomie 0,3 MPa. Przy tym ciśnieniu uzyskiwano prędkość strumienia około 150 m/s. Kąt padania strumienia na powierzchnię badanej próbki wynosił 90°. Elementem erozyjnym były cząstki piasku kwarcowego frakcji 0,2÷0,3 mm. Podczas realizacji eksperymentu dokonywano cyklicznie pomiaru ubytku masy próbki - co 1 minutę (w zakresie łącznego czasu ekspozycji do 4 minut), a następnie co 2 minuty do czasu zakończenia próby.

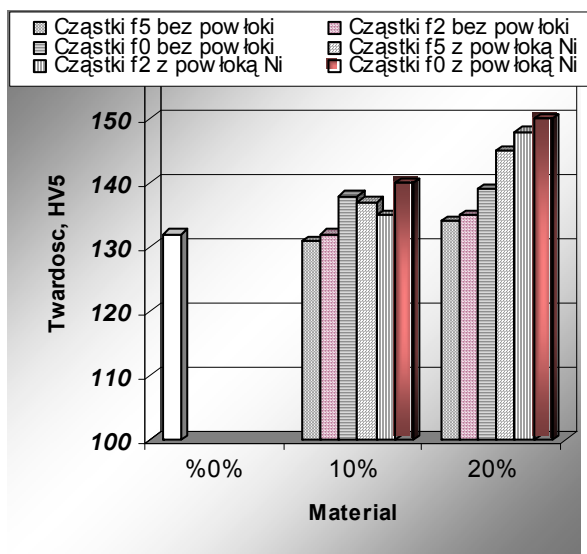
Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących właściwości użytkowe większości materiałów inżynierskich jest ich twardość. W związku z powyższym w kolejnym etapie badań eksperymentalnych przeprowadzone zostały pomiary twardości próbek materiału

kompozytowego metodą Vickersa przy obciążeniu 50 N. Wyniki przeprowadzonych testów wskazują, że udział fazy zbrojącej (niezależnie od wielkości zastosowanych cząstek) jest czynnikiem stosunkowo mało wpływającym na poziom twardości (rys. 3). Zauważono jedynie nieznaczną tendencję wzrostu twardości próbek wraz ze wzrostem ilości zbrojenia. Odnotowano również nieznaczny wzrost twardości materiału kompozytowego, w którym zostały zastosowane cząstki o mniejszych rozmiarach. Podobne oddziaływanie, jednak znacznie bardziej wyraźnie rejestrowalne, odnotowano w przypadku zastosowania na cząstkach zbrojenia powłoki niklowej. W tym przypadku poziom twardości zwiększył się nawet o 5÷10%.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: 1 - doprowadzenie sprężonego powietrza, 2 - manometr, 3 - przewód ciśnieniowy, 4 - zawór zamykający, 5 - kierownica o średnicy 6 mm i długości 120 mm, 6 - strumień piasku, 7 - próbka, 8 - uchwyt mocujący, 9 - przewód wentylacyjny, 10 - komora robocza, 11 - pojemnik z piaskiem, $l = 15$ mm - odległość próbki od wylotu strumienia piasku, $\alpha = 90^\circ$ - kąt padania strumienia

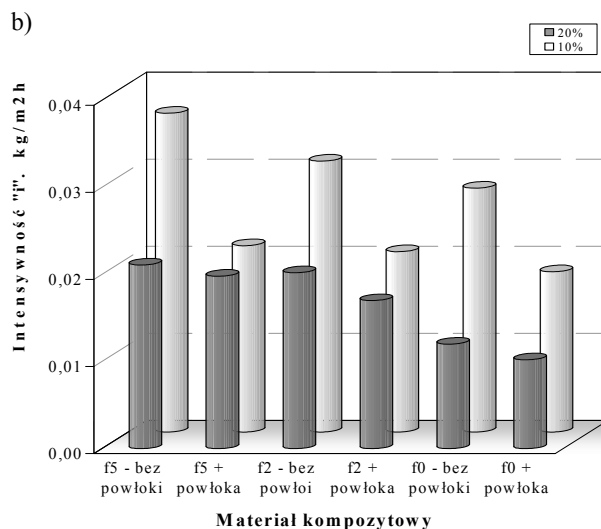
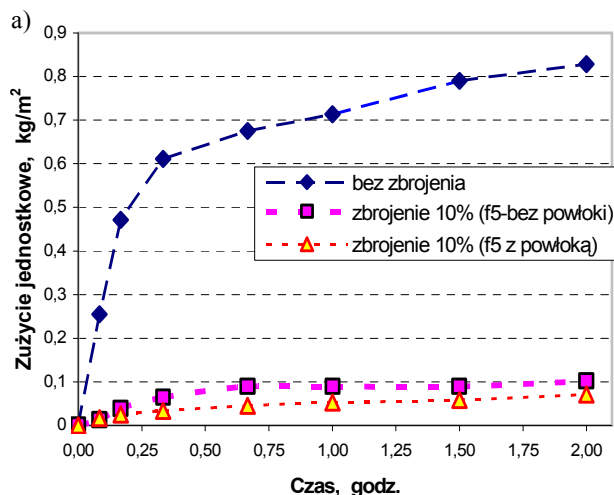
Fig. 2. The scheme of study stand: 1 - supply of compressed air, 2 - manometer, 3 - pressure pipe, 4 - stop valve, 5 - guide ring of 6 mm in diameter and 120 mm long, 6 - sand stream, 7 - sample, 8 - fastening grip, 9 - ventilation pipe, 10 - working chamber, 11 - sand container, $l = 15$ mm - sample distance to outlet of sand stream, $\alpha = 90^\circ$ - stream impact angle



Rys. 3. Wpływ ilości zbrojenia na twardość materiału kompozytowego
Fig. 3. Influence of reinforcement quantity on hardness of composite material

W kolejnym etapie badań przygotowane próbki poddano testom odporności na zużycie dwoma metodami: metodą „pin on disc” oraz strumieniowo ścierną. W testach ścieralności przeprowadzonych metodą „pin on disc” stosowano obciążenie 3 MPa oraz prędkość liniową (obwodową) 0,5 m/s. Przeciwną stanowiła stal 45 ulepszona cieplnie na twardość 45 HRC. Czas trwania próby był jednakowy dla wszystkich testów i wynosił 2 godziny. Natomiast rejestrowana (w sposób ciągły) w bezpośrednim sąsiedztwie węzła tribologicznego temperatura wynosiła $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Podczas całego cyklu badań rejestrowano w sposób ciągły wartość zużycia liniowego oraz okresowo zmianę masę próbki (ubytek masy) poprzez jej cykliczne ważenie z dokładnością 0,001 g.

Wyniki badań zużycia ściernego w funkcji czasu trwania próby (rys. 4) wskazują, że ilość fazy zbrojącej w postaci cząstek Al_2O_3 wydatnie wpływa na poziom zużycia tego materiału. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem udziału fazy zbrojącej (w zakresie udziału do 20%) wzrasta odporność kompozytu na erozję.



Rys. 4. Odporność badanego materiału kompozytowego na zużycie ściernie: a) jednostkowy ubytek masy, b) intensywność zużycia

Fig. 4. Resistance of tested composite material to abrasive wear: a) unit mass loss, b) wear intensity

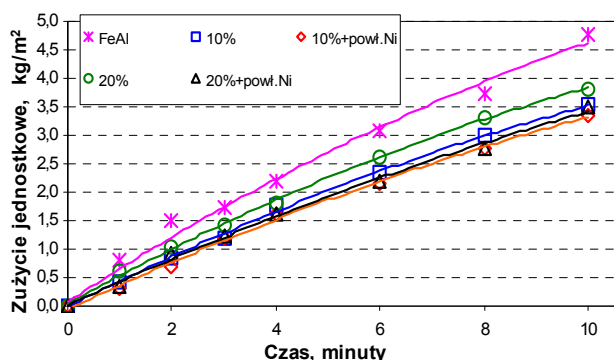
Przeprowadzone testy wskazują również, że zwiększenie udziału fazy zbrojącej (do 20% wag.) w materiale kompozytowym wytworzonym w warunkach statycznych istotnie podwyższa odporność na erozję. Również wyraźny wzrost odporności na erozję odnotowano w przypadku badania materiałów kompozytowych zawierających cząstki Al₂O₃ z powłoką niklową. Należy nadmienić, że charakterystyczną prawidłowością zaobserwowaną podczas prowadzenia testów było to, że intensywność zużywania się badanych par tribologicznych (o parametrach chropowatości zarejestrowanych przed badaniami próbki i przeciwp próbki w zakresie $Ra = 0,1 \div 0,2 \mu\text{m}$) stabilizowała się po około 15 minutach testu (rys. 4a). W związku z powyższym dla tego zakresu próby możliwe było wyznaczenie współczynnika intensywności zużycia i , opisanego zależnością

$$i = \frac{\Delta m / P}{t_u} \quad [\text{kg/m}^2\text{h}]$$

gdzie:

$\Delta m / P$ - ubytek masy materiału próbki przypadający na jednostkową powierzchnię trącą,

t_u - czas próby w stanie ustabilizowanym.



Rys. 5. Zużycie erozyjne próbek fazy międzymetalicznej FeAl oraz materiału kompozytowego na jej osnowie przy udziale 10 i 20% fazy zbrojącej (materiał kompozytowy - próbki f5)

Fig. 5. Erosion wear of intermetallic phase FeAl and composite material on its layer with participation of 10 and 20% reinforcement phase (composite material - samples f5)

Odporność na zużycie erozyjne określono na tych samych próbkach, na których były przeprowadzone testy zużycia ściernego. Wykonane badania odporności erozyjnej ujawniły, że zastosowanie zbrojenia w postaci cząstek Al₂O₃ obniża zużycie jednostkowe badanego materiału. Stwierdzono, że wielkość cząstek zbrojenia użytych w badaniach (f0, f2 i f5) nie wpływa w sposób zauważalny na wartość zużycia jednostkowego badanych próbek materiału kompozytowego. Natomiast odnotowano istotny wpływ stanu powierzchni zastosowanych cząstek fazy zbrojącej na poziom zużycia tych kompozytów (rys. 5). W przypadku gdy cząstki fazy zbrojącej posiadały na powierzchni powłokę niklową,

poziom zużycia jednostkowego obniżał się. Zwiększenie ilości fazy zbrojącej (cząstek Al₂O₃ do 20%) powoduje obniżenie odporności kompozytu na erozję. Przeprowadzone obserwacje mikroskopowe wskazują, że uzyskane wyniki erozji badanego materiału są związane prawdopodobnie ze zwiększonym prawdopodobieństwem (w stosunku do materiału zawierającego 10% zbrojenia) wykuszania się twardej i kruchej fazy zbrojącej. Przeprowadzone obserwacje mikroskopowe ujawniły, że w efekcie powstałych wykuszeń na obserwowanej powierzchni pojawiły się wgłębienia, w których stwierdzano niekiedy obecność niecałkowicie usuniętych jeszcze fragmentów cząstek Al₂O₃.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Ilość fazy zbrojącej nie wpływa istotnie na poziom twardości badanych materiałów.
2. Wraz ze wzrostem ilości fazy zbrojącej w materiale kompozytowym rośnie odporność na zużycie ściernego tego materiału.
3. Odporność na zużycie ściernego materiałów kompozytowych na osnowie fazy międzymetalicznej zbrojonych cząstkami Al₂O₃ jest zdecydowanie wyższa (praktycznie o rząd wielkości) w porównaniu z odpornością materiału osnowy.
4. Odporność na zużycie erozyjne materiałów kompozytowych na osnowie fazy międzymetalicznej zbrojonych cząstkami Al₂O₃ jest tylko nieznacznie większa w porównaniu z odpornością materiału osnowy.
5. Zastosowanie powłoki niklowej na cząstkach Al₂O₃ stanowiących fazę zbrojącą materiału kompozytowego powoduje poprawę cech użytkowych badanego materiału kompozytowego, analizowanych zarówno z uwagi na odporność ścierną, jak i erozyjną tego materiału.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu zamawianego nr 41/T08/2001 finansowanego ze środków Komitetu Badań Naukowych.

LITERATURA

- [1] Varin R.A., Structural and Funkcjonal Intermetallics-As Overview, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe nt. Stopy na osnowie faz międzymetalicznych, Warszawa 2000, 1-14.
- [2] Bystrzycki J., Garbacz H., Przetakiewicz W., Kurzydłowski K., Tematyka polskich prac badawczych w obszarze faz między-metalicznych na tle badań światowych, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe nt. Stopy na osnowie faz międzymetalicznych, Warszawa 2000, 123-128.
- [3] Durejko T., Bojar Z., Materiały na bazie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al, Otrzymywane zmodyfikowaną me-

- dą prasowania w podwyższonej temperaturze, Kompozyty (Composites) 2002, 2, 5, 323-327.
- [4] Bojar Z., Józwick P., Zasada D., Wpływ warunków homogenizacji stopu na baziwie fazy międzymetalicznej Ni_3Al na jego podatność na odkształcenie plastyczne, Krzepnięcie Metali i Stopów 2000.
- [5] Patejuk A., Durejko T., Badanie materiałów kompozytowych na osnowie aluminium zbrojonych cząstkami SiO_2 , Archiwum Odlewnictwa 2001, 1, 538-543.
- [6] Patejuk A., Durejko T., Wpływ cyklicznie zmiennego obciążenia na odporność na zużycie ściernie kompozytu typu $FeAl-Al_2O_3$, VI Sympozjum Naukowo-Techniczne, Jurata 2003, 369-374.
- [7] Trzaska M., Wyszynska A., Kowalewska M., Odporność korozyjna warstw kompozytowych z osnową niklową i dyspersyjną fazą ceramiczną, Kompozyty (Composites) 2002, 2, 5, 338-341.
- [8] Jarczyk G., Blum M., Pleier S., Scholz H., Busse P., Landenberg H.J., Segtrop K., Induction Melting and Casting of Titanium-Aluminide Automobile Valves into Centrifugal Permanent Mold, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe nt. Stopy na osnowie faz międzymetalicznych, Warszawa 2000, 15-20.
- [9] Patejuk A., Durejko T., Wpływ fazy zbrojącej na odporność na zużycie ściernie kompozytu typu $FeAl-Al_2O_3$, Mat. II Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji, Augustów 2003, 303-306.
- [10] Крупич Б., Проблемы обеспечения износостойкости деталей систем пневмотранспорта. Трение и износ 2002, 23, 5477-482.
- [11] Крупич Б., Мухаметвалиев Р.Ф., Борсуков В.Г., Испытания материалов на удар по методу падающего шарика с учетом аэродинамического сопротивления, Mat. II Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji, Augustów 2003, 175-178.

Recenzent
Jan Leżański