

Aleksy Patejuk¹

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

Tomasz Durejko²

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Automatykacji Systemów Dowodzenia i Logistyki, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

WPŁYW CYKLICZNIE ZMIENNEGO CIŚNIENIA PRASOWANIA NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE MATERIAŁU KOMPOZYTOWEGO FeAl-Al₂O₃

Przedstawiono wyniki badań wpływu warunków spiekania na właściwości tribologiczne materiału kompozytowego na osnowie fazy międzymetalicznej zbrojonego cząstkami Al₂O₃. Stwierdzono, że badany materiał kompozytowy spiekany z udziałem obciążenia cyklicznie zmiennego charakteryzuje się zarówno wzrostem twardości, jak i wzrostem odporności na zużycie ściernie. Dodatkowym elementem wydatnie poprawiającym właściwości analizowanego materiału kompozytowego jest zastosowanie jako zbrojenie cząstek Al₂O₃ z ukonstytuowaną na ich powierzchni powłoką niklową.

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

INFLUENCE OF CONDITIONS OF CYCLICALLY VARIABLE LOADING ON TRIBOLOGY PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL FeAl-Al₂O₃

Samples of composite material were made using the blend of technically pure iron and aluminium powders. 3-4 samples were made for each technological variant. In the process of sintering, a mix of Fe and Al powders in proportions of 60 and 40% atm. was used. The reinforcement of the composite material was made of (Al₂O₃) in the amounts suitably 10 and 20% of the total weight in two types: I - (Al₂O₃) grains had crude surface, II - grains (Al₂O₃) had an additional nickel coating 2÷3 μm thick.

The technological process of making such materials consisted of two phases: pre-sintering and principal sintering. The first phase was conducted in a hydraulic pulsar 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 pre-sintering was the same and amounted to 1 hour for all variants of sample production. The second stage of sintering, called „principal”, was conducted in 1250°C temperature in argon protective atmosphere.

Prepared samples (minimum 3 ones of each type) underwent tests of resistance to wear using following methods: „pin on disc”. 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. The result of the test presented on the graph shows that the amount of reinforcement phase consisted particles Al₂O₃ substantially adds to the material wear resistance.

Previous researches proved that the more reinforcement coating is used (up to 20% of total weight) in the composite sample, made in a static environment, the more durable material is created. However, this tendency is not applicable to the sample materials made in cyclically variable loading environment. In a such case, the tendency was exactly opposite to the previous one and it was verified on a double amount of samples made in this technological variant. A positive influence of nickel coating applied on reinforcement phase was also notified. The best parameters achieved the composite materials consisted 10% of Al₂O particles with a nickel coating (2÷3 μm thick) constituted on its surface.

Hardness is the primary parameter contributed to abrasive wear resistance so the next stage of the experiment included hardness measuring, using Vickers' method under the load of 50 N. Results of the tests showed that participation of reinforcing phase (regardless the size of applied particles) should not be regarded as a factor, which insignificantly influences the level of hardness. There is a certain upward relation between the particle hardness and increase in reinforcement quantity. A little influence of nickel layer on hardness of particle reinforcement was noted, as well.

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

WSTĘP

Obecnie coraz większego znaczenia nabierają materiały kompozytowe. Materiały te posiadają zdecydowanie lepsze właściwości w stosunku do tradycyjnych tworzyw konstrukcyjnych. Jednak znaczącym utrudnieniem

uniemożliwiającym szerokie rozpowszechnienie tych materiałów w przemyśle są problemy związane z ich wytwarzaniem. Wynika to z faktu, iż klasyczne metody wytwórcze są w tym przypadku niewystarczają-

¹ dr inż. ² mgr inż.

ce. Pomimo licznych laboratoryjnych „sukcesów technologicznych” w dalszym ciągu nie ma możliwości implementacji tych opracowań na grunt technologii przemysłowej. Jednak trwające wysiłki technologiczne coraz częściej dowodzą, że metody klasyczne wytwarzania materiałów kompozytowych mogą być w pewnych sytuacjach zastąpione metodami bazującymi między innymi na metalurgii proszków [1, 2].

Potencjalnym obszarem zastosowań materiałów kompozytowych o osnowie metalicznej zbrojonych cząstkami są głównie elementy maszyn pracujące w warunkach skojarzeń tribologicznych, w szczególności ciernych [3, 4]. Przy czym należy zaznaczyć, że na elementy konstrukcyjne szczególnie narażone na tego typu zużycie wykorzystuje się materiały kompozytowe o osnowie metalicznej. Natomiast jako zbrojenie stosuje się cząstki stałe - tlenki, borki, węgliki itp. [5, 6].

Wcześniejsze badania właściwości mechanicznych materiałów kompozytowych o osnowie aluminiowej zbrojonych cząstkami Al_2O_3 wykazały, że właściwości użytkowe tych materiałów zasadniczo wzrastają wraz ze wzrostem ciśnienia prasowania tylko do pewnego poziomu [7]. Dalsze zwiększanie ciśnienia przy ich spiekaniu powoduje spadek wytrzymałości materiału kompozytowego. Wynika to między innymi z inicjacji mikropęknięć w obrębie ziaren fazy zbrojącej oraz na granicy rozdziału faz - powstających najprawdopodobniej w wyniku relaksacji naprężeń podczas ostatniego etapu procesu prasowania (zdejmowania obciążenia). Przy czym należy zaznaczyć, że w przypadku pęknięć na granicy rozdziału faz wpływ ten można w pewnym stopniu ograniczyć, stosując wzmocnienie połączenia faz na granicy rozdziału np. poprzez zwiększenie przyczepności adhezyjnej, stosując warstwy przejściowe [8].

METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Przygotowanie materiału kompozytowego do badań polegało na wykonaniu próbek metodą mieszania technicznie czystych proszków żelaza i aluminium. Wykonano po 3-4 wypraski dla każdego wariantu technologicznego, stosując takie same warunki procesu technologicznego. W procesie spiekania użyto wsadu w formie mieszaniny proszków Fe i Al w proporcji 60/40% atm. Przed sporządzeniem mieszaniny proszkowej proszki Fe i Al poddano ujednorodnieniu w młynku kulowym. Do procesu spiekania wyselekcjonowano na podstawie danych literaturowych i badań własnych [6] frakcję cząstek proszków o granulacji 40-60 μm . Zbrojenie materiału kompozytowego stanowił tlenek aluminium (Al_2O_3) w ilości odpowiednio 10 i 20% wag. w dwóch odmianach: I - ziarna Al_2O_3 posiadały powierzchnię surową, II - ziarna Al_2O_3 posiadały wytworzoną dodatkowo powłokę niklową o grubości 2-3 μm .

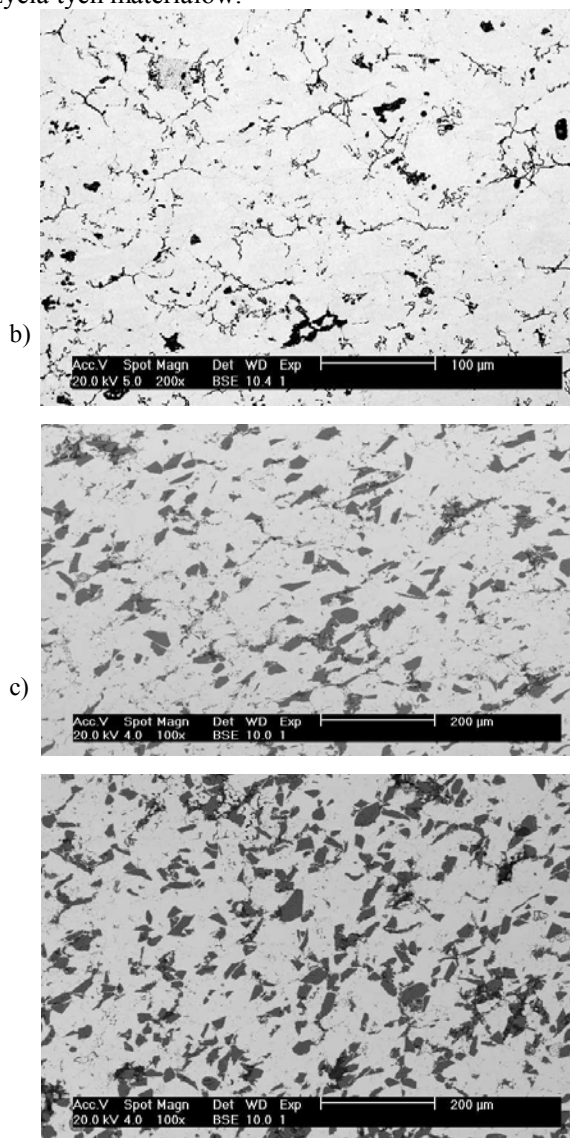
Proces technologiczny wytwarzania materiałów kompozytowych obejmował dwa etapy - spiekanie swobodne

i zasadnicze. Pierwszy etap przeprowadzono na pulsatorze hydraulicznym pod obciążeniem 300 MPa w warunkach obciążeń cyklicznie zmiennych o częstotliwości 40 Hz. Podczas całego cyklu spiekania utrzymywano stałą temperaturę procesu, wynoszącą 660°C. Czas spiekania wstępnego dla wszystkich próbek był jednakowy i wynosił 1 godzinę. Spiekanie zasadnicze realizowano w piecu komorowym w temperaturze 1250°C w atmosferze ochronnej argonu. W tym przypadku również czas spiekania wynosił 1 godzinę. Wykonane próbki materiału kompozytowego posiadały kształt walca o średnicy 10 mm i wysokości około 12 mm.

W pierwszym etapie badań zasadniczych zostały przeprowadzone obserwacje mikroskopowe. Badania mikroskopowe wykazały, że wykonane metodą spiekania próbki materiału kompozytowego charakteryzują się dwufazową budową. Cząstki fazy zbrojącej posiadają zróżnicowany kształt. Przy czym rozmieszczone są one stosunkowo równomiernie w osnowie, którą stanowi faza FeAl (rys. 1). Połączenie cząstek (bez powłoki niklowej) z osnową jest typu adhezyjnego - co potwierdzają między innymi wyniki mikroanalizy liniowej wykonane na granicy rozdziału faz badanych materiałów kompozytowych. W tym przypadku przeprowadzona analiza granicy rozdziału faz nie wykazała symptomów dyfuzji stężeniowej składników fazowych jednej fazy do fazy sąsiedniej. W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono w każdym przypadku występowanie fazy intermetalicznej FeAl, stanowiącej osnowę badanych materiałów. Natomiast w przypadku zastosowania fazy zbrojącej w postaci cząstek Al_2O_3 z powłoką niklową wyniki mikroanalizy liniowej składu chemicznego wykazały, że w tych przypadkach istotną rolę odgrywa powłoka, tworząc z osnową połączenie typu dyfuzyjnego. Przy czym lokalizacja pierwotnej granicy rozdziału jest możliwa jedynie po pierwszym etapie procesu technologicznego (zgrzewaniu wstępnym). Natomiast w warunkach wykonania spiekania zasadniczego gradientowe stężenie niklu na granicy rozdziału maleje, przesuując niejako granicę rozdziału fazowego w stronę powierzchni cząstki Al_2O_3 .

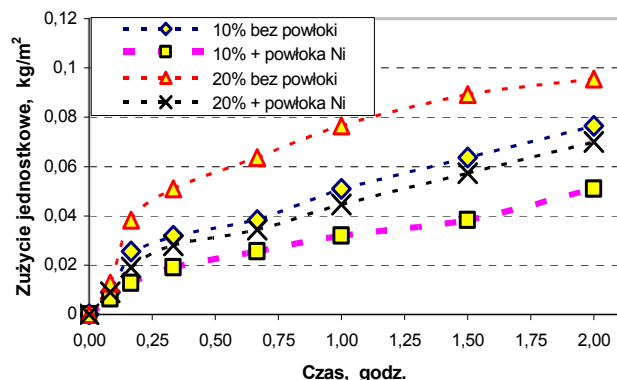
W następnym etapie badań przygotowano zgodnie z przedstawioną powyżej metodyką próbki (po minimum 3 próbki na każdy stan) poddano testom odporności na zużycie ścierne metodą „pin on disc”. Badania ścieralności realizowano, stosując obciążenie 3 MPa, przy prędkości obwodowej 0,5 m/s. Przeciwpróbki wykonano ze stali 45 ulepszonej cieplnie o twardości około 45 HRC. Czas trwania próby wynosił 2 godziny. Kontrolowana temperatura współpracującej pary wynosiła $25 \pm 2^\circ C$. Podczas testów odporności na zużycie rejestrowano w sposób ciągły wartość zużycia masowego (ubytek masy). Wyniki badań jednostkowego zużycia masowego przedstawione graficznie w funkcji czasu trwania testu (rys. 2) wskazują, że ilość fazy zbrojącej w

postaci cząstek Al₂O₃ znajdującej się w objętości materiału kompozytowego wydatnie wpływa na poziom zużycia tych materiałów.



Rys. 1. Mikrostruktura próbek materiału kompozytowego: a) bez zbrojenia, b) 10% zbrojenia, c) 20% zbrojenia

Fig. 1. Composition material samples microstructure: a) without coating, b) reinforcement 10%, c) reinforcement - 20%

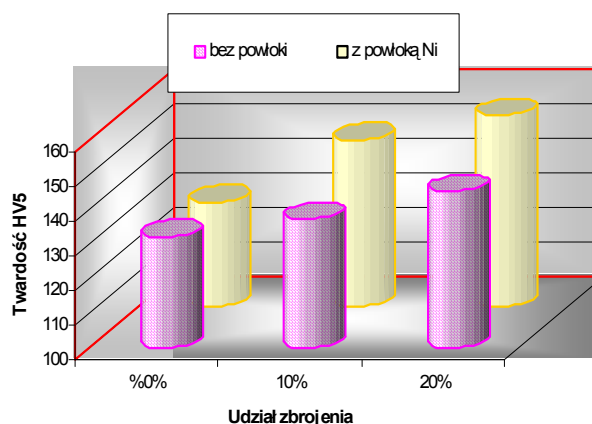


Rys. 2. Jednostkowy ubytek masowy badanych próbek

Fig. 2. Samples unit mass loss

Wcześniejsze badania [8] wykazały, że zwiększenie udziału fazy zbrojącej (do 20% wag.) w materiale kompozytowym, wytworzonym w warunkach statycznych, istotnie podwyższa odporność na zużycie badanych kompozytów. Jednak powyższa tendencja nie potwierdziła się w przypadku wytwarzania materiałów kompozytowych z udziałem obciążenia cyklicznie zmiennego. W tym przypadku odnotowano tendencję odwrotną, którą potwierdzono dodatkowo na podwójnej ilości badanych próbek wykonanych w tym wariantcie technologicznym. Natomiast stwierdzono wyraźnie pozytywny wpływ powłoki niklowej zastosowanej na cząstkach fazy zbrojącej. Najlepszymi właściwościami w badanych wariantach technologicznych charakteryzują się materiały kompozytowe zawierające 10% cząstek Al₂O₃, na powierzchni których została ukonstytuowana powłoka niklowa o grubości około 2÷3 μm.

Parametrem najbardziej powiązany z odpornością materiałów na zużycie ściernie jest twardość. Stąd też w kolejnym etapie badań eksperymentalnych przeprowadzono pomiary twardości wytworzonych próbek materiału kompozytowego metodą Vickersa przy obciążeniu 50 N. Wyniki uzyskane z pomiarów wykazują, że występuje wyraźna zależność poziomu twardości materiału kompozytowego od udziału fazy zbrojącej, stanu powierzchni cząstek użytych jako zbrojenie (bez powłoki czy z powłoką niklową) - rysunek 3. Odnotowano wzrost twardości kompozytu wraz ze wzrostem ilości fazy zbrojącej. Natomiast zastosowanie powłoki niklowej ukonstytuowanej na cząstkach fazy zbrojącej wpływa w niewielkim stopniu na podwyższenie twardości - zauważono jedynie niewielki jej wzrost w przypadku zastosowania powłoki niklowej.



Rys. 3. Zmiana twardości badanych materiałów kompozytowych zbrojonych cząstkami Al₂O₃: a) bez powłoki, b) z powłoką niklową

Fig. 3. The changes in hardness characteristics of composite materials reinforced with Al₂O₃ particles: a) without coating, b) with nickel coating

Analiza badań przeprowadzonych wcześniej [8], w kontekście uzyskanych wyników prezentowanych w niniejszym opracowaniu, wskazuje, że poziom twardości wytworzonych próbek materiału kompozytowego

jest uzależniony wyraźnie od rodzaju zastosowanego obciążenia podczas prasowania. Chodzi mianowicie o to, że dla tego samego składu fazowego materiałów kompozytowych obserwujemy istotny wzrost twardości wytworzonych próbek spowodowany zastosowaniem podczas procesu wytwarzania obciążeń cyklicznie zmiennych o częstotliwości 50 Hz.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zastosowane parametry procesu spiekania pozwalają na wykonanie materiałów kompozytowych na osnowie fazy międzymetalicznej zbrojonych cząstkami Al_2O_3 .
2. Zwiększenie udziału fazy zbrojącej w materiale kompozytowym powoduje wzrost odporności na zużycie ścierne.
3. Największy wpływ na odporność na zużycie badanych materiałów kompozytowych wywiera sposób prasowania oraz ilość fazy zbrojącej - w tym stan powierzchni ziaren fazy zbrojącej występujący podczas procesu prasowania.
4. Wraz ze wzrostem ilości fazy zbrojącej wzrasta poziom twardości materiałów kompozytowych na osnowie fazy międzymetalicznej FeAl zbrojonych cząstkami Al_2O_3 .

LITERATURA

- [1] Sobczyk J., Metalowe materiały kompozytowe, Instytut Odlewnictwa, Kraków 1996.
- [2] Patejuk A., Gabrylewski M., Materiały kompozytowe stosowane w technice samochodowej, II Krajowa Kursokonferencja 1998, 135-150.
- [3] Konopka K., Budziński M., Odporność na ścieranie kompozytów Al_2O_3 . Inżynieria Materiałowa 2003, 2, 64-66.
- [4] Patejuk A., Durejko T., Badanie materiałów kompozytowych na osnowie aluminium zbrojonych cząstkami SiO_2 , Archiwum Odlewnictwa 2001, 1, 538-543.
- [5] Hyla I., Wybrane zagadnienia z inżynierii materiałów kompozytowych, PWN, Warszawa 1972.
- [6] Bojar Z., Durejko T., Józwiak S., Czujko T., Varin R.A., Microstructure and wear resistance of sintered intermetallics in Fe-Al system, 25th Canadian Metal Chemistry 2001.
- [7] Durejko T., Patejuk A., Materiały na bazie faz międzymetalicznych otrzymywane metodą spiekania w podwyższonej temperaturze z udziałem fazy ciekłej, Archiwum Odlewnictwa 2001, 1, 455-459.
- [8] Patejuk A., Wpływ powłoki niklowej cząstek Al_2O_3 na właściwości materiału kompozytowego o osnowie aluminiowej, Kompozyty (Composites) 2002, 2, 5, 328-332.
- [9] Patejuk A., Durejko T., Wpływ fazy zbrojącej na odporność na zużycie ścierne kompozytu typu FeAl- Al_2O_3 , Mat. II Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji, Augustów 2003, 303-306.

Recenzent
Jan Leżański