

Badanie właściwości tribologicznych intermetali

R. Jasionowski, K. Bryll*, J. Grabian

Instytut Podstawowych Nauk Technicznych, Akademia Morska w Szczecinie,
ul. Podgórna 51/53, 70-250 Szczecin, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: k.bryll@am.szczecin.pl

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 02.07.2012

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych wybranych intermetali w warunkach tarcia suchego. Określono wartość zużycia masowego badanych materiałów i żeliwnej przeciwpółki. Przeprowadzono analizę mikroskopową zmian stanu powierzchni w celu identyfikacji mechanizmów zniszczenia intermetali.

Słowa kluczowe: intermetale, stopy na osnowie fazy międzymetalicznej Fe-Al, zużycie cierne, tribologia.

1. Wprowadzenie

Warunki pracy elementów wyposażenia obiektów energetycznych stawiają bardzo wysokie wymagania materiałom, z których są wytwarzane. Do tych tworzyw należą intermetale.

Intermetale, czyli stopy na osnowie faz międzymetalicznych stanowią grupę materiałów o właściwościach pośrednich pomiędzy metalami a ceramiką. W przypadku tych materiałów charakterystyczną cechą jest występujące w nich uporządkowanie struktury wewnętrznej. Wynika ono z energii wiązania atomów, która jest większa w przypadku atomów różnych pierwiastków niż w przypadku atomów tego samego pierwiastka. Po wyżarzaniu lub w niektórych przypadkach powolnego chłodzenia, roztworu stałego różnowęzłowego, następuje uporządkowanie struktury. W rezultacie tego uporządkowania zmieniają się właściwości mechaniczne, fizyczne i chemiczne roztworów z tego też powodu stabilność ich właściwości w podwyższonej temperaturze niejednokrotnie przewyższa inne materiały. Taka kombinacja cech czyni fazy międzymetaliczne i stopy na osnowie tych faz atrakcyjnym nowoczesnym tworzywem konstrukcyjnym, stosowanym właśnie w przemyśle energetycznym [1-5]. Podnoszenie sprawności mechanizmów energetycznych wymuszone ochroną środowiska wymaga od intermetali szczególnie twardości w coraz wyższych temperaturach pracy w kontakcie z czynnikami powodującymi ich erozję, a także w kontakcie z czynnikami powodującymi ich ścieranie.

Rozwój nowoczesnych technologii oraz dążenie konstruktorów do uzyskiwania coraz sprawniejszych maszyn i urządzeń powoduje zaostrzenie warunków pracy elementów konstrukcyjnych. W związku z tym obecny rozwój strategiczny

dziejzin przemysłu ukierunkowany jest na poszukiwanie nowoczesnych materiałów będących w stanie sprostać coraz wyższym wymaganiom. W przypadku rozwoju takich dziedzin, jak: energetyka, motoryzacja i in. obiecujące wyniki dają min. stopy na osnowie faz międzymetalicznych. Głównie stopy z układów Ti-Al, Ni-Al, Fe-Al, które do lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia uważano za przydatne materiały funkcyjne rozpuszczalne w konwencjonalnych stopach [3-4, 6].

Z układu równowagi Fe-Al jedynie fazy międzymetaliczne Fe_3Al i Fe-Al mogą stanowić osnowę potencjalnych tworzyw konstrukcyjnych. W stopach zawierających od 23÷36 % at. Al stabilna jest faza Fe_3Al , a w stopach o zawartości 36÷51 % at. faza Fe-Al [1,3-4].

Stopy na bazie fazy międzymetalicznej Fe-Al, o strukturze B2 charakteryzują się niską gęstością, wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi, dużą odpornością na działanie wysokiej temperatury oraz na korozję i zużycie ścierne. W związku z tym są materiałami trudno obrabialnymi [1, 3-5].

Intermetale, podobnie jak inne materiały trudno obrabialne, powinny być przetwarzane głównie technikami mechanicznymi, czyli przez obróbkę skrawaniem np. przez obróbkę ścierną [5]. W czasie eksploatacji maszyn i urządzeń mechanicznych, w których występuje ciągły ruch obrotowy lub posuwisty, następuje systematyczne zużycie mechanizmów roboczych. Odporność materiału na zużycie nie jest wyłącznie cechą materiału, zależy ona istotnie od warunków współpracy oraz od rodzaju pary tribologicznej. Zużycie cierne zachodzące w parach kinematycznych maszyn cechuje się ubytkiem masowym. Powolne ścieranie części pracujących jest nieuniknione mimo ich zabezpieczenia przed zużyciem smarowaniem. Dlatego jedną z ważniejszych oraz często pożądaných

cech użytkowych różnych materiałów stosowanych w budowie maszyn, jest ich odporność na zużycie cierne [2].

Celem prezentowanych badań było określenie wpływu struktury stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Fe-Al na ich odporność na zużycie cierne, w warunkach tarcia suchego współpracujących z żelazem szarym.

2. Materiały i metodyka badań

W badaniach użyto trzech stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Fe-Al o różnej zawartości aluminium z przedziału od 42 do 48% at. o jednofazowej strukturze roztworu stałego aluminium w żelazie- α (struktura B2), zawierające następujące mikrodotądki stopowe: molibden, cyrkon, bor oraz węgiel. Stopy były wytwarzane poprzez kilku etapowe topienie w indukcyjnym piecu próżniowym Leybold Heraeus, typ IS-5/III, w temperaturze 1500-1550°C i w próżni ok. 0,001 Tor.

Jednofazowość budowy oraz typ sieci krystalicznej badanych intermetali zostały potwierdzone metodą rentgenowską [1].

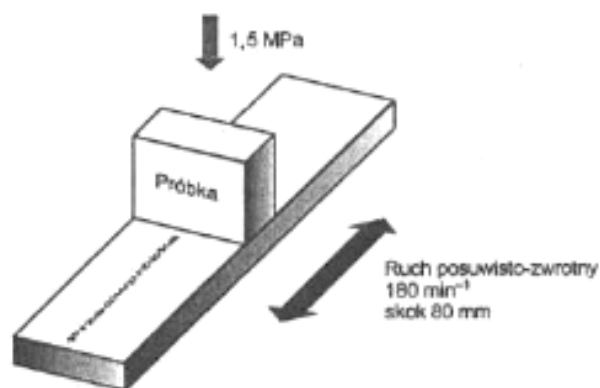
Skład chemiczny oraz wybrane właściwości fizyczne, badanych materiałów zostały przedstawione w Tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane właściwości i skład chemiczny dla badanych intermetali[1].

Pierwiastek	Stopy na bazie Fe-Al fazy międzymetalicznej		
	Fe-Al42	Fe-Al45	Fe-Al48
Al	42,00	45,00	48,00
Mo	0,22	0,22	0,22
Zr	0,10	0,10	0,10
B	0,01	0,01	0,01
C	0,13	0,13	0,13
Fe	57,54	54,54	51,54
Gęstość [kg/m ³]	5982	5797	5687
Twardość HV10	360	390	445

Badanie mające na celu określenie odporności na zużycie cierne próbek wybranych intermetali wykonano na stanowisku znajdującym się na terenie Akademii Morskiej w Szczecinie, w Zakładzie Inżynierii Materiałów Okrętowych, pozwalającym realizować ruch posuwisto-zwrotny badanej próbki względem przeciwpróbki.

Na stanowisku tym istniała możliwość zmiany parametrów próby takich jak częstotliwość, skoku i nacisku próbki. Budowę wężła tarcia przedstawiono na rys. 1. W badaniach użyto próbek o wymiarach 17x7x15 mm. Badano po 3 próbki z każdej grupy materiałowej. Przeciwpróbki wykonano z żeliwa szarego sferoidalnego ferrytyczno-perlitycznego o twardości 200 HV. Wymiary przeciwpróbki wynosiły 17x120x7 mm. Powierzchnie próbek i przeciwpróbek przeznaczone do współpracy poddano szlifowaniu, w wyniku czego uzyskały one chropowatość $Ra=0,21-0,45\mu m$. Próby zużycia ściernego wykonano z naciskiem jednostkowym wynoszącym 1,5MPa. Badanie wykonano w warunkach tarcia suchego, ruch posuwisto-zwrotny miał następujące parametry: częstotliwość 180 min⁻¹, skok 80 mm.



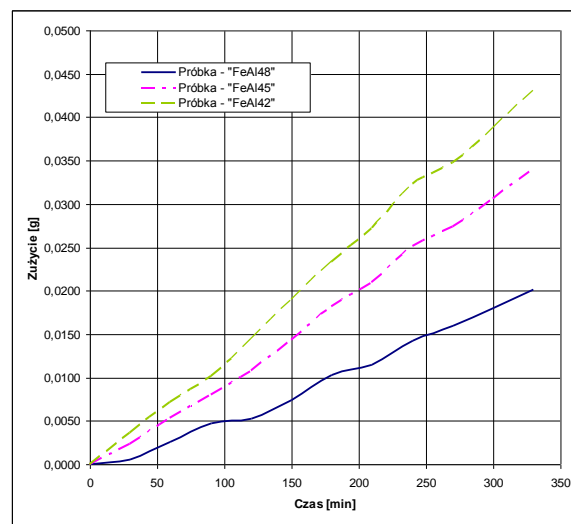
Rys. 1. Budowa wężła tarcia [2].

Zużycie cierne badanych intermetali określano metodą wagową. Rejestrowano ubytki wagowe z dokładnością do 0,0001 g w określonych odstępach czasu.

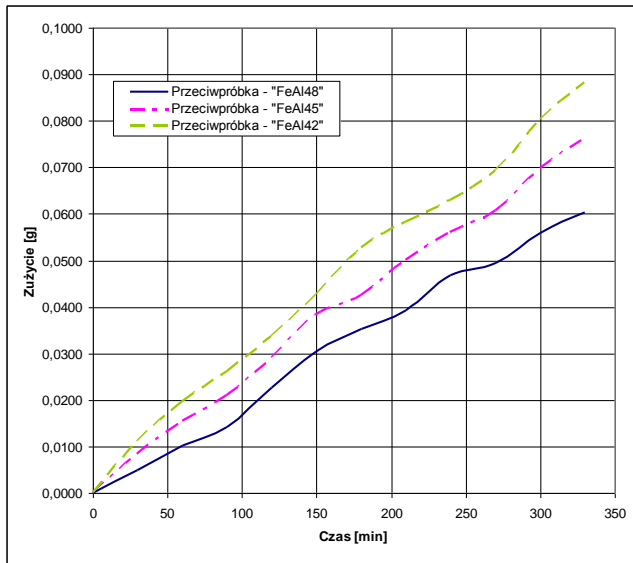
Po próbach na zużycie cierne analizowano stan powierzchni próbek z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego JEOL typu JSM 6100.

3. Wyniki badań

Zużycie ściernego badanych stopów intermetalicznych na osnowie fazy międzymetalicznej Fe-Al z przeciwpróbką wykonaną z żeliwa szarego sferoidalnego ferrytyczno-perlitycznego w warunkach tarcia suchego, powodowało w warstwie wierzchniej ubytek materiału charakteryzujący się zużyciem ściernym i adhezyjnym. Przebieg zużycia badanych stopów Fe-Al i ich przeciwpróbek przedstawiono na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Krzywe zużycie ściernego próbek stopu Fe-Al

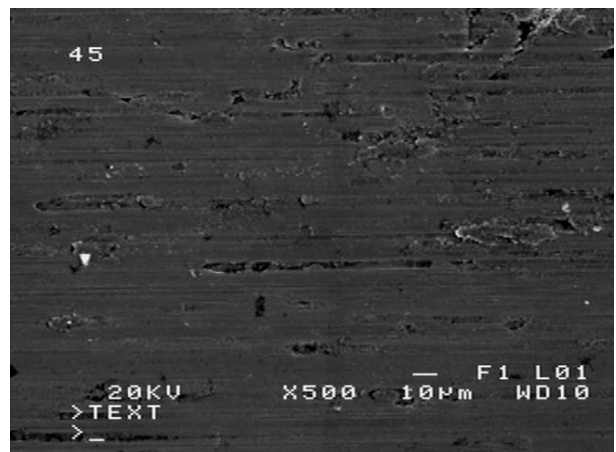


Rys. 3. Krzywe zużycie ściernego w układzie próbka-przeciwpróbka z żeliwa

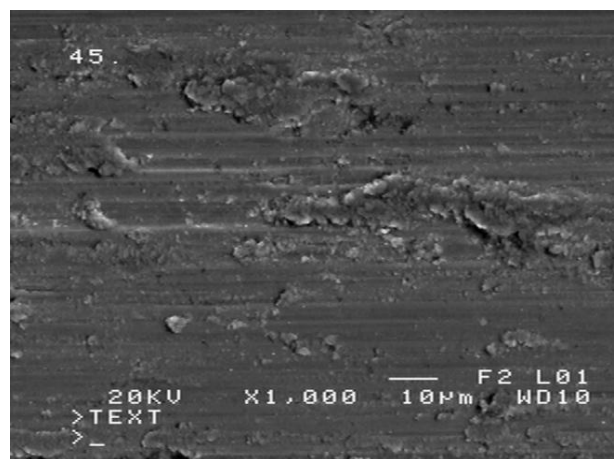
Na podstawie przeprowadzonych badań tribologicznych wynika, najmniejsze zużycie ściernego w warunkach tarcia suchego wykazała para trąca składająca się ze stopu o największej twardości Fe-Al48. W celu wyjaśnienia mechanizmu niszczenia przeprowadzono dodatkowe badania stanu powierzchni badanych próbek i przeciwpróbek z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego JEOL - JSM 6100. Analiza warstwy wierzchniej par tribologicznych wykazała mieszany charakter zużycia składający się z:

- zużywania ściernego, gdzie nierówności powierzchni powodują ubytek materiału spowodowany mikroskrąwaniem, rysowaniem lub bruzdowaniem na powierzchniach pary trącej (rys. 4);
- zużywaniem adhezyjnym związanym z odrywaniem cząstek metalu z powierzchni przeciwpróbki i jego rozmazywaniem na powierzchni stopów intermetalicznych (rys. 4-5).

b)

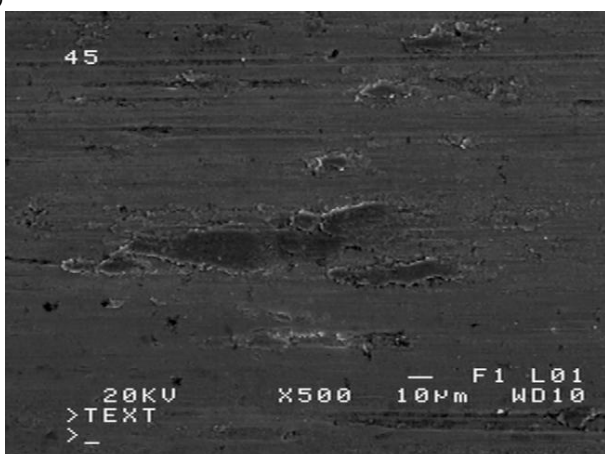


c)

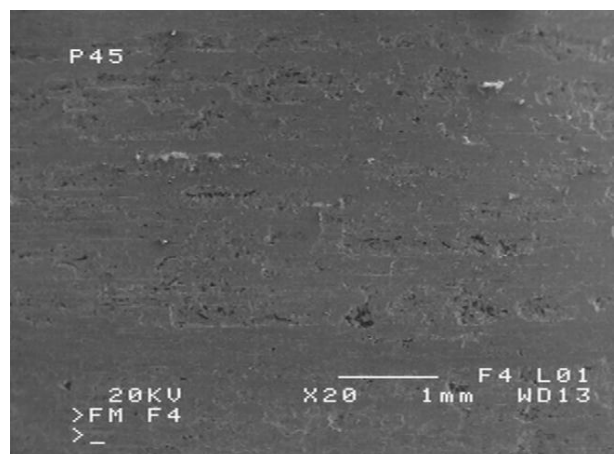


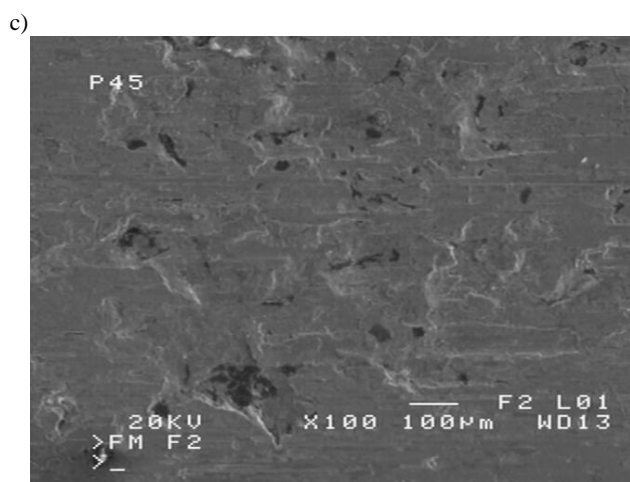
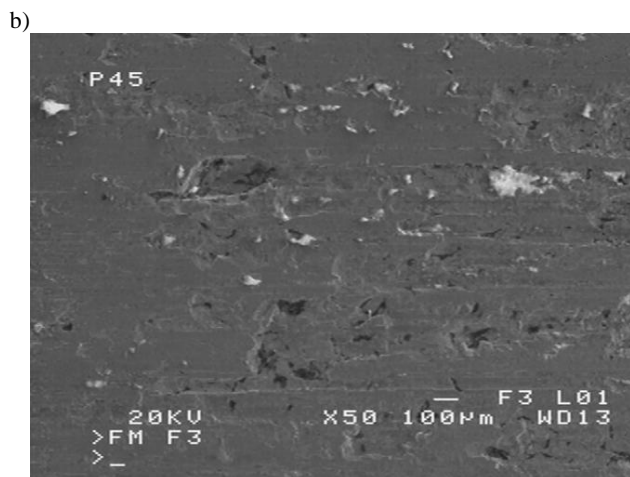
Rys. 4. Efekty zużycia ściernego i adhezyjnego na powierzchni próbki Fe-Al45; obraz SEM, powiększenie a i b) 500 x, c) 1000 x.

a)



a)





Rys. 5. Efekty zużycia ściernego i adhezyjnego na powierzchni przeciwpróbki współpracującej ze stopem Fe-Al45; obraz SEM, powiększenie a) 10 x, b) 50 x c) 100 x.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań porównawczych można sformułować następujące wnioski:

1. Przebieg zużycia tribologicznego badanych par tarcz jest do siebie bardzo zbliżony.
2. Największą odporność wykazał stop Fe-Al48 o najwyższej twardości.
3. Intermetale jednofazowe na bazie żelaza i aluminium wykazują dla zwiększającej się zawartości Al wzrost twardości od 360 do 445 HV.
4. Mechanizm niszczenia składa się z zużycia ściernego typowego dla warunków tarcia suchego oraz zużycia adhezyjnego spowodowanego najczęściej dużym powinowactwem chemicznym.

Literatura

- [1] Jasionowski, R., Przetakiewicz, W. & D. Zasada (2011). The effect of structure on the cavitation wear of Fe-Al intermetallic phase-based alloys with cubic lattice. *Archives of Foundry Engineering* 11(2), 97-102.
- [2] Grabian, J., Gawdzińska, K. & Głowacki, B. (2004). Właściwości tribologiczne odlewanych kompozytów metalowych o zróżnicowanej budowie zbrojenia. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* 24(1).
- [3] *Materiały metalowe z udziałem faz międzymetalicznych* (2006), red. Z. Bojar, W. Przetakiewicz, Warszawa, BEL Studio.
- [4] Niewielki, G. & Jabłońska, M. (2007). Charakterystyka i zastosowanie intermetali z układu Fe-Al. *Inżynieria Materiałowa* 2, 43-47.
- [5] Łosik, I., Zarański, Z., Sulej, S. & Senderowski, C. (2004). Siły skrawania podczas toczenia wzdłużnego stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al. *Inżynieria Materiałowa* 6, 855-858.
- [6] Durejko, T. & Bojar, Z. (2002). Materiały na bazie faz międzymetalicznych z układu Fe-Al otrzymane zmodyfikowaną metodą prasowania w podwyższonej temperaturze. *Kompozyty* 2, 323-327.

Investigation of tribological properties of the intermetallics alloys

Abstract

The paper presents tribological tests results of the selected intermetallics alloys in the conditions of dry friction. Tribological properties of the intermetallics alloys was investigated by mass wear. The microscopic examinations of the samples of intermetallics alloys in order to identify mechanisms of destruction have been determined.

Key words: intermetallics, abrasive wear, tribology.