

Tomasz ŚLEBODA*, **Janusz KRAWCZYK***, **Sylwia BEDNAREK***,
Marek WOJTASZEK*, **Marek PAĆKO***

WYBRANE WŁASNOŚCI TRIBOLOGICZNE STOPU Z GRUPY FeAl

CHOSEN TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF FeAl ALLOYS

Słowa kluczowe:

stopy FeAl, zużycie, współczynnik tarcia

Key words:

FeAl alloys, wear, friction coefficient

Streszczenie

W ramach przedstawionych badań analizie poddano własności tribologiczne stopów z grupy FeAl. Jako materiał wyjściowy do badań zastosowano stop FeAl w formie odlewu oraz otrzymany z proszku stopu. Dyskusji poddany został wpływ morfologii materiału wyjściowego do badań

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (12) 617-35-26, fax (12) 617-25-76, e-mail: sleboda@agh.edu.pl.

na jego własności tribologiczne. Badania tribologiczne wykonano w temperaturze pokojowej na testerze T-05 przy zmiennych obciążeniach. Jako przeciwpróbkę zastosowano stal narzędziową HS6-5-2. Układ tribologiczny składał się z pierścienia (przeciwpróbka) oraz płaskiej powierzchni (próbka). Zbadano wpływ stosowanego obciążenia na zużycie badanych materiałów oraz zmiany współczynnika tarcia. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że morfologia stopów FeAl ma duży wpływ na własności tribologiczne tego typu materiałów, a w szczególności na rodzaj mechanizmów zużycia tribologicznego.

WPROWADZENIE

Ze względu na duże możliwości zastosowań, stopy z grupy FeAl są jednymi z najbardziej intensywnie badanych związków międzymetalicznych [L. 1]. Duża odporność na korozję w środowiskach zawierających tlen czy siarkę, niższa gęstość oraz porównywalne własności wytrzymałościowe w relacji do odpornych na korozję stali stopowych, czynią stopy z grupy FeAl bardzo atrakcyjnymi dla zastosowań między innymi w przemyśle motoryzacyjnym, okrętowym, chemicznym czy energetycznym.

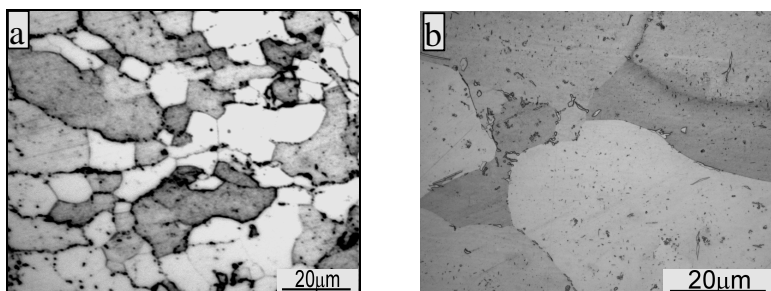
Potencjalne zastosowanie tych materiałów jako stopów konstrukcyjnych jest ograniczone przez ich relatywnie niską plastyczność w temperaturze pokojowej. Domieszki takich pierwiastków jak Ti, Mo czy Si zdecydowanie poprawia wytrzymałość, natomiast B, C czy Zr korzystnie wpływają na poprawę plastyczności tego materiału [L. 2]. Dodatkowo wykorzystanie technik związanych z metalurgią proszków poszerza możliwości sterowania rozwojem mikrostruktury oraz własnościami stopów FeAl [L. 3–5]. Stosując proszki stopów z grupy FeAl, eliminuje się problem niejednorodności składu chemicznego w objętości materiału, co jest dużym problemem w wypadku stopów z tej grupy uzyskiwanych poprzez odlewanie.

Ze względu na szereg zalet, takich jak odporność na korozję, dobre własności mechaniczne w podwyższonych czy wysokich temperaturach, stopy FeAl są również potencjalnie atrakcyjnymi materiałami do zastosowań na elementy konstrukcyjne cechujące się dużą odpornością na zużycie w środowiskach agresywnych. Jakkolwiek własności fizyczne, mechaniczne czy odporność na korozję stopów z grupy FeAl były wielokrotnie analizowane w wielu pracach badawczych, to niewiele opracowań

naukowych poświęconych jest badaniom własności tribologicznych tego typu stopów [L. 6, 7]. W niniejszej pracy dyskusji poddano wpływ morfologii stopów FeAl na ich wybrane własności tribologiczne.

MATERIAŁ DO BADAŃ

W celu zbadania wpływu morfologii stopu FeAl badaniom poddano zarówno prasowane na gorąco wypraski proszku stopu o wielkości cząstek w zakresie 44÷149 μm (Rys. 1a), jak i odlew stopu (Rys. 1b). Skład chemiczny proszku stopu FeAl oraz odlewu przedstawiono w Tabeli 1.



Rys. 1. Stop FeAl: a) wypraska stopu, b) odlew stopu

Fig. 1. FeAl alloy: a) alloy powder compact, b) ingot

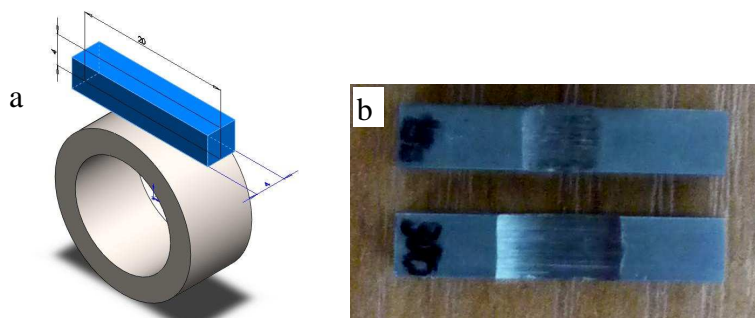
Tabela 1. Skład chemiczny (% masowe) proszku oraz odlewu stopu FeAl użytego do badań

Table 1. Chemical composition (weight %) of cast and powder FeAl alloy

Stop FeAl	Al	Zr	Mo	Si	B	Cr	C	O	Fe
Proszek	24,00	0,1	0,42	0,02	0,007	0,005	0,06	0,31	Reszta
Odlew	23,92	0,08	0,33	0,01	0,009	0,02	0,01	-	Reszta

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

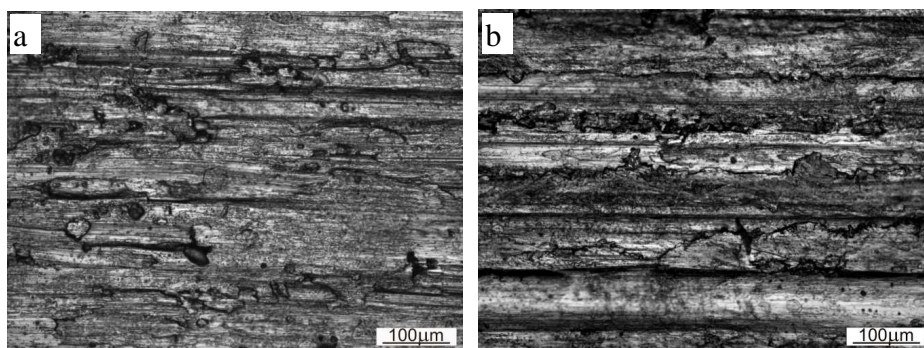
Badania tribologiczne wykonano na testerze T-05 przy obciążeniach 50, 150 i 300 N, w temperaturze pokojowej. Jako przeciwpróbkę zastosowano stal narzędziową HS6-5-2 o twardości 65 HRC. Czas trwania próby wynosił 2000 s. Zastosowano próbki o wymiarach 4x4x20 mm. Układ tribologiczny składał się z pierścienia (przeciwpróbką) oraz płaskiej powierzchni – próbki (Rys. 2).



Rys. 2. Badania tribologiczne: a) próbka i przeciwpróbka (model), b) próbki po w badaniach tribologicznych

Fig. 2. Tribological tests: a) sample and counter-sample (model) and b) samples after tribological investigations

Badaniami metalograficznymi objęto powierzchnie zużytych tribologicznie próbek. **Rysunek 3** przedstawia powierzchnie próbek stopu FeAl (wypraska oraz odlew) po kontakcie tribologicznym przy obciążeniu 50 N.



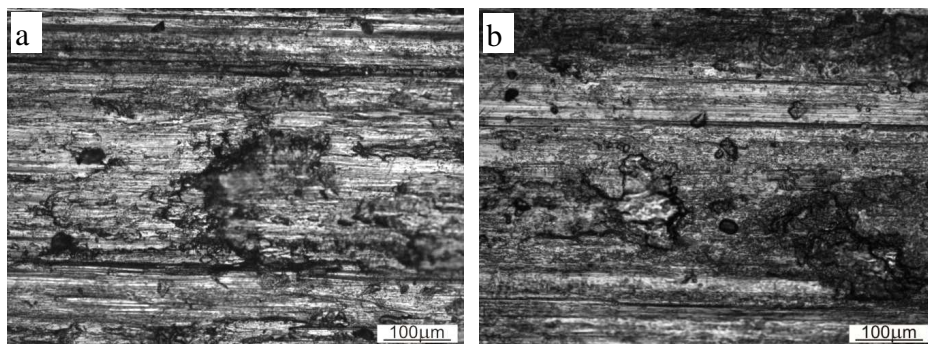
Rys. 3. Powierzchnia próbki stopu FeAl po kontakcie tribologicznym przy obciążeniu 50 N: a) próbka z wypraski stopu, b) próbka z odlewu stopu

Fig. 3. Surface of FeAl alloy sample after tribological contact under 50 N load: a) alloy powder compact, b) ingot

W przypadku wypraski stopu FeAl podczas próby tribologicznej przy obciążeniu 50 N występowała zauważalna tendencja do fragmentacji

(wykruszania się) materiału (**Rys. 3a**). Należy to najprawdopodobniej wiązać ze słabym połączeniem w obszarze granic ziaren (pomiędzy pierwotnymi cząstkami proszku). Obserwacje powierzchni próbek ze stopu odlewanego (**Rys. 3b**) wykazały, że zużycie zachodzi na drodze skrawania oraz wykruszania się fragmentów stopu powodowanego bruzdowaniem.

Zwiększenie obciążenia do 150 N w wypadku próbki z wypraski stopu FeAl powoduje intensywne wykruszania materiału wywołane skrawaniem. Dlatego krawędzie wykruszeń ustawiają się w większości przypadków prostopadle do kierunku tarcia. Powoduje to powstanie lokalnie dużych ubytków materiału, niewydłużonych w kierunku tarcia (**Rys. 4a**). W stopie odlewanym zwiększenie obciążenia wywołuje również wzrost tendencji materiału do wykruszania, natomiast nie zaobserwowano fragmentów powierzchni próbek świadczących o zużyciu adhezyjnym (**Rys. 4b**).

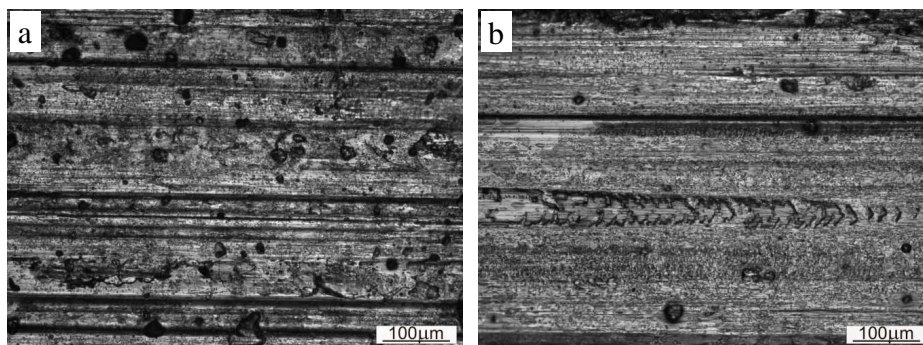


Rys. 4. Powierzchnia próbki stopu FeAl po kontakcie tribologicznym przy obciążeniu 150 N: a) próbka z wypraski stopu, b) próbka z odlewu stopu

Fig. 4. Surface of FeAl alloy sample after tribological contact under 150 N load: a) alloy powder compact, b) ingot

Mechanizm zużycia obserwowany przy zwiększeniu obciążenia do 300 N w próbie tribologicznej wykonanej dla wypraski stopu FeAl wskazuje na dominację procesu skrawania (**Rys. 5a**). Nie zaobserwowano fragmentów wskazujących na występowanie zużycia adhezyjnego. Obszary wykruszeń materiału są mniejsze w porównaniu z próbkami tribologicznymi wykonanymi przy mniejszych obciążeniach, natomiast miejsc takich wykruszeń jest więcej. W wypadku stopu odlewanego zwiększenie obciążenia do 300 N powoduje na powierzchni zużytej tribologicznie lokalne występowanie obszarów wskazujących na zużycie adhezyjne

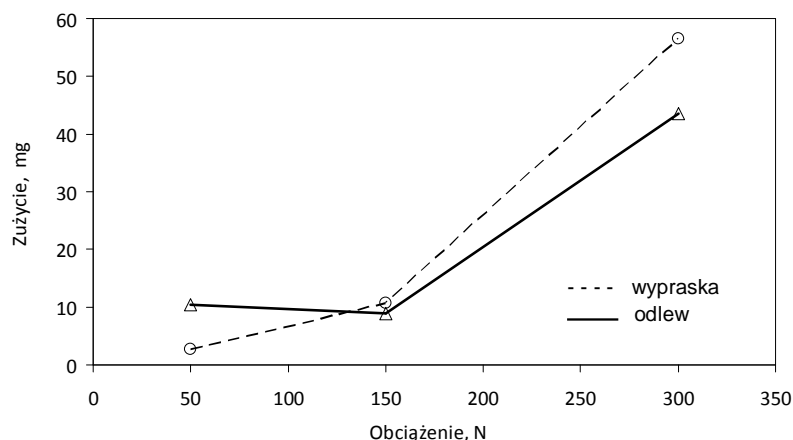
(Rys. 5b). Brak natomiast obserwowanego, w przypadku mniejszych obciążeń, wyraźnego wykruszania się materiału, który w wyniku bruzdowania uległ odkształceniu plastycznemu i przemieścił się w kierunku poprzecznym do kierunku tarcia. Dominującym mechanizmem zużycia tribologicznego odlewanej stopu FeAl przy obciążeniu 300 N jest skrawanie.



Rys. 5. Powierzchnia próbki stopu FeAl po kontakcie tribologicznym przy obciążeniu 300 N: a) próbka z wypraski stopu, b) próbka z odlewu stopu

Fig. 5. Surface of FeAl alloy sample after tribological contact under 300 N load: (a) alloy powder compact, b) ingot

Wyniki badań wpływu obciążenia na zużycie analizowanego stopu FeAl przedstawiono na Rys. 6.

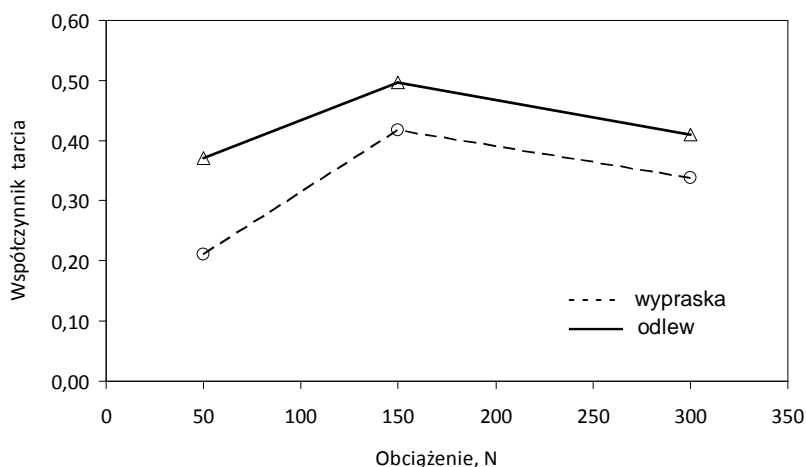


Rys. 6. Zmiany średniego zużycia próbek ze stopu FeAl z obciążeniem

Fig. 6. Changes of mean values of wear of FeAl alloy in relation to tribological test load

Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić, że ogólnie stop w stanie odlanym charakteryzuje się wzrostem zużycia ze wzrostem obciążenia w próbie tribologicznej, ale charakteryzuje się również dosyć intensywnym płynięciem materiału w wyniku bruzdowania, które odgrywa szczególnie istotną rolę w przypadku zużywania się materiału w warunkach niższych obciążeń jednostkowych. Intensyfikacja zużycia w przypadku zastosowania 300 N jest prawdopodobnie związana również z występowaniem częściowego zużycia adhezyjnego. Wzrost obciążenia sprzyja również zużyciu próbki z wypraski stopu FeAl. Mechanizm zużycia w przypadku próbki z wypraski stopu FeAl cechuje się jednak mniejszym udziałem zjawiska bruzdowania, a głównym mechanizmem zużycia jest skrawanie.

Wykres zmian średniego współczynnika tarcia próbek stopu FeAl w zależności od zastosowanego w czasie trwania testów tribologicznych obciążenia przedstawiono na **Rys. 7**.



Rys. 7. Zmiany średniego współczynnika tarcia próbek ze stopu Fe-Al z obciążeniem

Fig. 7. Changes of mean values of friction coefficient of FeAl alloy in relation to tribological test load

Można zaobserwować, że w wypadku obu rodzajów próbek zwiększenie obciążenia z 50 do 150 N powoduje wzrost współczynnika tarcia. Należy to najprawdopodobniej wiązać ze zmianami w mechanizmie zużywania się próbki, a dokładniej ze zwiększeniem się intensywności wykruszania się materiału. Omawiany wzrost współczynnika tarcia można

również wiązać z większymi naciskami jednostkowymi w przypadku testowej powierzchni styku tribologicznego. Zwiększenie obciążenia do 300 N powoduje natomiast spadek średniego współczynnika tarcia w próbie tribologicznej niezależnie od rodzaju badanego materiału.

WNIOSKI

- 1) Morfologia stopu FeAl ma istotny wpływ na mechanizmy jego zużycia w danych warunkach tribologicznych.
- 2) Stop FeAl wytworzony z proszku charakteryzuje się w próbach tribologicznych zużyciem na drodze skrawania. Zastosowanie metalurgii proszków w odniesieniu do tego typu stopów zapobiega natomiast zużyciu mechanizmu brzdowania.
- 3) Stopem FeAl w postaci odlewu cechuje w próbach tribologicznych występowanie zjawiska brzdowania (płynięcia materiału w kierunku poprzecznym do kierunku tarcia).
- 4) W przypadku małej powierzchni styku stop FeAl uzyskany metodą metalurgii proszków charakteryzuje się mniejszym współczynnikiem tarcia w porównaniu ze stopem otrzymanym poprzez odlewanie.

Podziękowania

Badania realizowane w ramach Projektu „Opracowanie nowych zaawansowanych technologii kucia materiałów wysokotepłowych” Nr WND-POIG.01.03.01-12-004/09 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

1. Stoloff N.S., Liu C.T., Deevi S.C.: Emerging applications of intermetallics, *Intermetallics* 8, p. 1313–1320 (2000).
2. Liu C.T., George E.P., Maziasz P.J., Schneibel J.H.: Recent advances in B2 iron aluminide alloys: deformation, fracture and alloy design, *Materials Science and Engineering A258*, p. 84–98 (1998).
3. Sleboda T., Kane J., Wright R.N., Stoloff N.S., Duquette D.J.: The effect of thermomechanical processing on the properties of Fe-40at.%Al alloy, *Materials Science and Engineering A368*, p. 332–336 (2004).

4. Sleboda T., Hale P., Wright R.N., Stoloff N.S., Duquette D.J.: Thermomechanical processing of P/M FeAl alloy, *Science and Technology of Powder Materials: Synthesis, Consolidation and Properties*; eds. Leon L. Shaw et.al, *Materials Science and Technology* 2005, p. 55–62.
5. Śleboda T.: Influence of processing history on the mechanical behavior of P/M FeAl alloys, *Proc. of the 12th International Conference Metal Forming 2008*, in: *Steel Research International* 79, p. 493–498 (2008).
6. Guan X., Zhu S., Shibata K., Iwasaki K.: Effect of Carbon on Tensile Properties and Wear Behavior of P/M FeAl Alloy, *Materials Transactions Vol. 43, No.6* (2002), p. 1325–1331.
7. Śleboda T., Krawczyk J., Madej M., Paćko M.: The microstructure and properties of FeAl alloy strengthened with Yttrium oxide, *Archives of Metallurgy and Materials/ Polish Academy of Sciences. Committee of Metallurgy, Institute of Metallurgy and Materials Science*, 2009, vol. 54 iss. 4, p. 1231–1237.

Recenzent:

Janusz JANECKI

Summary

This research was focused on tribological properties of FeAl alloys. Powder and cast FeAl alloy was used in this study. The influence of the alloy morphology on its tribological properties is discussed. Tribological tests were performed at room temperature, using a T-05 testing device, under various testing conditions. HS6-5-2 tool steel was used as counter-sample. The tribological set up consisted of a ring (counter-sample) and flat surface of the investigated sample. The effect of tribological testing load on the wear and friction coefficient of the investigated materials was analysed. The obtained results indicated that the morphology of FeAl alloys has significant influence on tribological properties of these alloys and on the mechanisms of wear in particular.

