

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Stanowisko do badań zużycia ściernego intermetali typu FE-AL oraz kompozytów w osnowie metalicznej

KRZYSZTOF GARBALA, ALEKSY PATEJUK

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, ZAKŁAD INŻYNIERII PRODUKCJI

Słowa kluczowe: intermetale, Fe-Al, kompozyty metaliczne, zużycie

STRESZCZENIE

W niniejszym opracowaniu przedstawiono konstrukcję aparatu do badania zużycia ściernego intermetali i kompozytów w osnowie metalicznej. Podczas projektowania i wykonywania stanowiska, szczególną uwagę zwracano na możliwość zapewnienia jak największych możliwości badawczych w połączeniu z prostotą obsługi. W pracy przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne poszczególnych układów roboczych urządzenia. W celu przetestowania stanowiska przeprowadzono i przeanalizowano badania trybologiczne wybranych materiałów inżynierskich typu kompozyty, intermetale.

Test stand to tribological wear investigations of the intermetallics FE-AL type and composites on the metallic ground mass

Keywords: intermetallics, Fe-Al, metallic composites, wear

ABSTRACT

The design of apparatus for tribological wear investigations of intermetallics and composites on the metallic ground mass is presented in this study. When designing and constructing the test stand, a special attention was paid to assure the greatest research possibilities in conjunction with ease of handling. In paper, constructional solutions of the individual tribotester working layouts are described. In order to test the device, a tribological studies of selected engineering materials such as composites, zinc alloys and intermetallics has been carried out and analyzed.

1. WSTĘP

Zagadnienie maksymalizacji odporności na zużycie materiałów stanowi jedno z podstawowych zadań tribologii. Dokładne poznanie warunków ścierania umożliwia podejmowanie racjonalnych działań, mających na celu zapobieganie lub zmniejszanie niepożądanych skutków tarcia [1-4].

Współczesne prace badawcze bardzo często ukierunkowane są na opracowywanie nowej generacji materiałów, pozwalających na przykład na długookresową, bezawaryjną pracę maszyn i urządzeń. Uzyskanie postępu w tym zakresie uwarunkowane jest rozwojem wiedzy o cechach układów trących o siebie ciał. Wymaga to opracowania warsztatu badawczego, umożliwiającego wprowadzenie nowych metod do badań tribologicznych i technik pomiarowych. Oznacza to również konieczność konstruowania urządzeń badawczych zapewniających możliwość weryfikacji cech trybologicznych nowoczesnych materiałów [5, 6].

2. CHARAKTERYSTYKA URZĄDZEŃ DO BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH

Urządzenia tribologiczne (testery tribologiczne – tribotestery) są to narzędzia służące do badania tarcia, zużycia i smarowania. Używa się ich najczęściej do prac badawczych, wdrożeniowych i normatywnych, aby wyznaczyć lub zdefiniować charakterystyki zużyciowe i cienne skojarzeń badanych materiałów w warunkach tarcia suchego, smarowanych danym środkiem smarowym lub połączonych określonym środowiskiem gazowym [7, 8].

System badań tribologicznych obejmuje szeroki wachlarz sytuacji eksperymentalnych: styk skoncentrowany (liniowy i punktowy) oraz styk rozłożony (płaszczyzna z płaszczyzną i powierzchnia walcowa wypukła z wklęsłą), ruch względny współpracujących elementów, obecność lub brak środka smarowego w strefie styku.

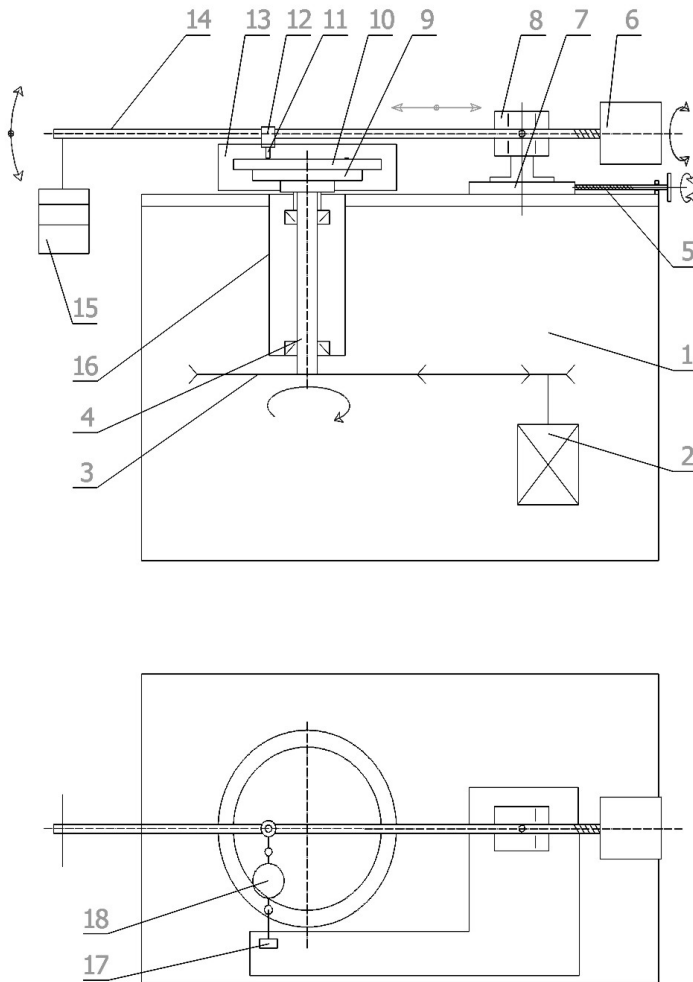
Tribologiczne zestawy badawcze składają się z aparatu realizującego proces tarcia badanych elementów (tribonometru) oraz oprogramowania komputerowego. Pozwalają one na kalibrowanie i testowanie torów pomiarowych, sterowanie przebiegiem testu, dokonywanie pomiarów oraz archiwizację wyników badań [8, 9].

Maszyny do badań tribologicznych możemy podzielić na standardowe – do pomiarów znormalizowanych, przydatnych w praktyce, oraz maszyny specjalne o rozszerzonych programach badań tribologicznych. W każdej maszynie wyróżnić można zespoły główne: głowicę badawczą, zespół napędowy, zespół obciążający, zespoły pomiarowy i kontrolny. Najistotniejszą częścią maszyny jest głowica badawcza, w której zamocowany jest zespół tribologiczny składający się zazwyczaj z próbki i przeciwpróbki. W głowicy przebiegają procesy tribologiczne będące przedmiotem pomiarów. Zazwyczaj próbka wykonana jest z materiału podlegającego badaniom, a materiał przeciwpróbki jest ustalony. Zasada ta dotyczy tribologicznych badań materiałowych w ogóle. W zależności od celu i programu badań modeluje się rozłożony lub skoncentrowany styk między próbka a przeciwpróbka.

Konstrukcja głowicy badawczej powinna umożliwić łatwą wymianę próbki i przeciwpróbki oraz wmontowanie czujników pomiarowych. Powinna również umożliwiać pomiar momentu sił tarcia. Ze względu na ruch próbki i przeciwpróbki względem siebie można rozróżnić następujące maszyny do badań tribologicznych [10-12]: maszyny o ruchu obrotowym ciągłym lub wahadłowym oraz maszyny o ruchu postępowym i postępowo-zwrotnym.

3. KONSTRUKCJA STANOWISKA DO BADAŃ ZUŻYCIA ŚCIERNEGO

Poniżej przedstawiono autorską konstrukcję aparatury służącej do badania zużycia ściernego intermetalii i kompozytów o osnowie metalicznej. Na Rysunku 1 przedstawiono schemat konstrukcji testera. Zaznaczono na nim najważniejsze zespoły i elementy: 1 – korpus; 2 – silnik; 3 – przekładnia pasowa na pas klinowy; 4 – wrzeciono; 5 – śruba regulacyjna; 6 – przeciwwaga; 7 – podstawa mechanizmu obrotowo-poziomującego; 8 – mechanizm obrotowo-poziomujący; 9 – tarcza napędowa; 10 – przeciwpróbka; 11 – próbka; 12 – uchwyt mocujący próbkę; 13 – osłona pary trącej; 14 – ramię; 15 – obciążnik; 16 – obudowa wrzeciona; 17 – podstawa mocowania siłomierza; 18 – siłomierz.



Rysunek 1 Schemat ogólny testera do badań zużycia ściernego.

Figure 1 General scheme of the tester to study wear

Opierając się na literaturze [10, 11] założono następujące parametry i dane techniczne testera (Tab. 1).

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne stanowiska do badania ściernego

Tabela 1. Technical data for testing the position of the abrasive

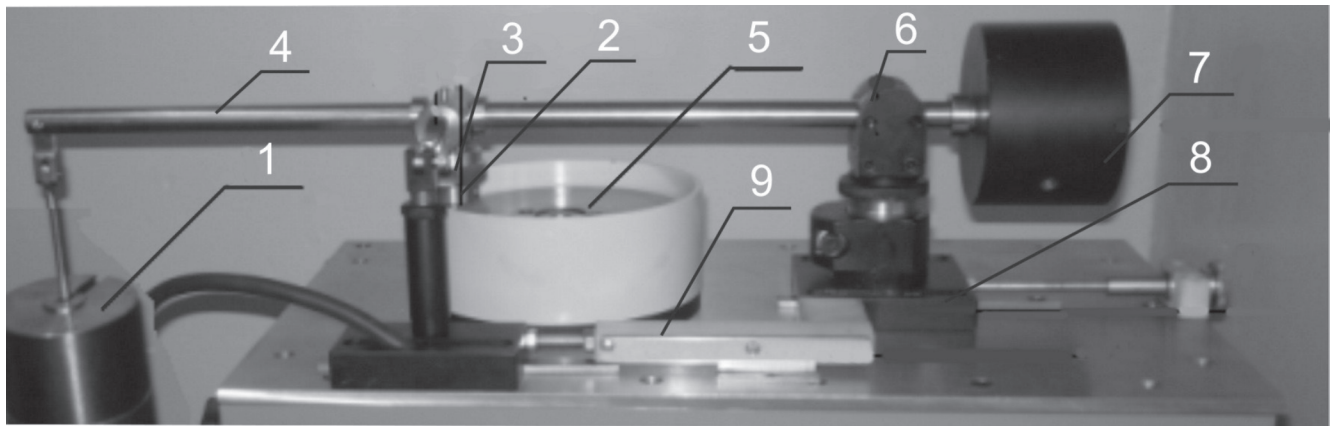
nominalna średnica trzpienia	5÷10 [mm]
nominalna średnica przeciwróbkki	165 [mm]
prędkość poślizgu	0,1÷3 [m/s]
nacisk na próbkę	1÷4 [MPa]
promień tarcia	25÷80 [mm]

3.1 Budowa układu napędowego testera

Układ napędowy składa się z wrzeciona, obudowy, tarczy roboczej, przekładni pasowej oraz silnika trójfazowego 0,4 kW sterowanego falownikiem. Do łożyskowania wrzeciona zastosowano dwa łożyska stożkowe z tuleją rozprężną pozwalającą na precyzyjne regulowanie luzu łożyskowego poprzez odpowiednie dokręcenie nakrętki wrzeciona. Obudowa łożysk zamknięta jest z obu stron uszczelniaczami, które zapobiegają wyciekaniu smaru i dostawaniu się zanieczyszczeń do łożyska. Przeciwróbkka przytworowana jest do tarczy wrzeciona śrubą M8 i ustalona za pomocą dwóch kołków, zabezpieczających ją przed obrotem. Zaletą tego rodzaju mocowania jest możliwość wykorzystania dwóch płaszczyzn roboczych tarczy. Tarczę wykonano ze stali 40H i poddano obróbce cieplnej. Twardość po zabiegu wyniosła 62HRC. Powierzchnię tarczy poddano szlifowaniu w celu uzyskania chropowatości $Ra=0,63$.

3.2 Konstrukcja układu roboczego

Układ roboczy testera wykonany został jako oddzielny mechanizm. Składa się on z ramienia wykonanego z pręta stalowego średnicy 18 mm i długości 650 mm. Materiał zastosowany na ramię to stal 55 wyższej jakości ulepszonej cieplnie. Powierzchnię ramienia oszlifowano. Ramię zamocowane jest w mechanizmie obrotowo-poziomującym, którego zadaniem jest utrzymanie dźwigni w żądanym położeniu. Umożliwia on również poziomowanie ramienia w przypadku zmiany długości próbki. Mechanizm ten zamocowany jest na przesuwnej płycie i przesuwany śrubą regulacyjną. Cały mechanizm osadzony jest trwale na ramieniu. Próbkę (materiał badań) mocowana jest w specjalnym uchwycie, umiejscowionym w tulei rozprężnej mechanizmu mocującego próbkę. Obciążenie ramienia stanowią walce stalowe z wyfrezowanym otworem, ułatwiającym ich zakładanie i zdejmowanie. W celu zrównoważenia ciężaru ramienia i wieszaka zastosowano przeciwwagę z możliwością korekcji wyważenia. Układ roboczy wyposażono w linię pomiarową umożliwiającą odczyt promienia tarcia. Na Rysunku 2 przedstawiono widok układu roboczego testera.



Rysunek 2 Widok dźwigni mocującej i obciążającej próbkę: 1 – obciążnik; 2 – uchwyt mocujący próbkę; 3 – próbka; 4 – ramię; 5 – przeciwróbka; 6 – mechanizm obrotowo-poziomujący; 7 – przeciwwaga; 8 – podstawa mechanizmu obrotowo-poziomującego; 9 – wskaźnik promienia tarcia

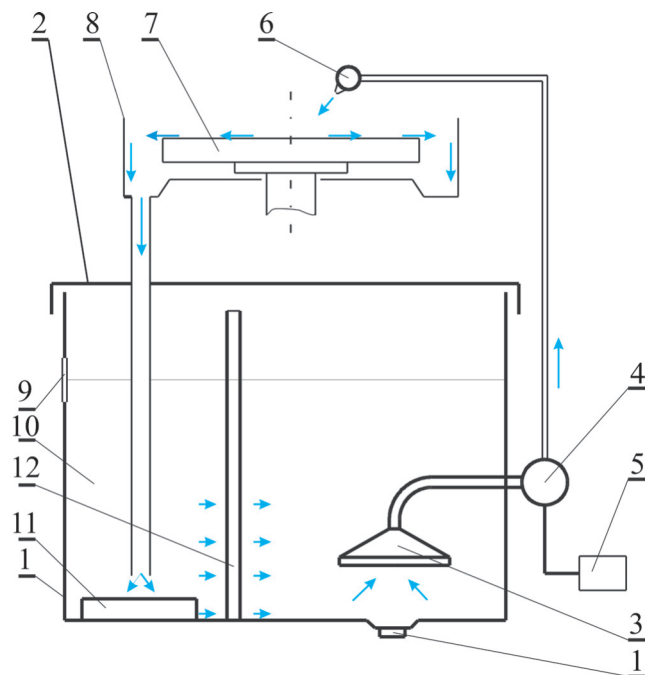
Figure 2 View clamping lever and loading the sample: 1 – weights, 2 – sample of the mounting bracket, 3 – sample, 4 – arm, 5 – a counter, 6 – rotary-leveling mechanism, 7 – counterweight, 8 – baselevelingrotary mechanism, 9 – radius ratio of friction

3.3 Układ zasilania czynnikiem roboczym

Stanowisko do badań zużycia zostało wyposażone w układ doprowadzenia czynnika roboczego, osłaniającego miejsce styku próbki z dyskiem przeciwróbki. Układ ten umożliwia prowadzenie doświadczeń w szerokim zakresie. Urządzenie zasilania czynnikiem roboczym składa się ze zbiornika głównego, pokrywy, rury wlewowej, filtra wstępnego, filtra magnetycznego, filtra dokładnego, pompy, przewodu doprowadzającego i zasilacza. Zbiornik na czynnik roboczy wykonany został ze stali kwasoodpornej. Bezstopniowa regulacja obrotów pompy zasilającej pozwala na dostarczanie cieczy w określonej ilości w granicach od 0,2 do 4 litrów w ciągu minuty. W celu dokładnego oczyszczania czynnika roboczego z zanieczyszczeń powstałych w wyniku tarcia zastosowano trzy filtry. Zanieczyszczenia wprowadzane między próbkę a tarczę prowadziłyby do błędnych wyników eksperymentu. Na Rysunku 3 przedstawiono schemat budowy układu zasilania styku pary tribologicznej czynnikiem roboczym.

3.4 Układ sterowania prędkością obrotową dysku przeciwróbki

W urządzeniu do sterowania pracą silnika indukcyjnego została zastosowana przetwornica częstotliwości PowerFlex-4 firmy Allen Bradley o numerze katalogowym producenta 22A-D4P0N104. Przetwornica ta jest zasilana trójfazowym napięciem sieci i na wyjściu, w układzie przetwornika: prostownik – falownik – obwód pośredniczący,



Rysunek 3 Schemat układu zasilania czynnikiem roboczym: 1 – zbiornik; 2 – pokrywa; 3 – filtr-smok; 4 – pompa; 5 – układ sterowania pompą; 6 – spryskiwacz; 7 – przeciwróbka; 8 – osłona; 9 – wizerunek poziomu czynnika roboczego; 10 – czynnik roboczy; 11 – filtr magnetyczny; 12 – filtr wstępny; 13 – korek spustowy; 14 – wlew

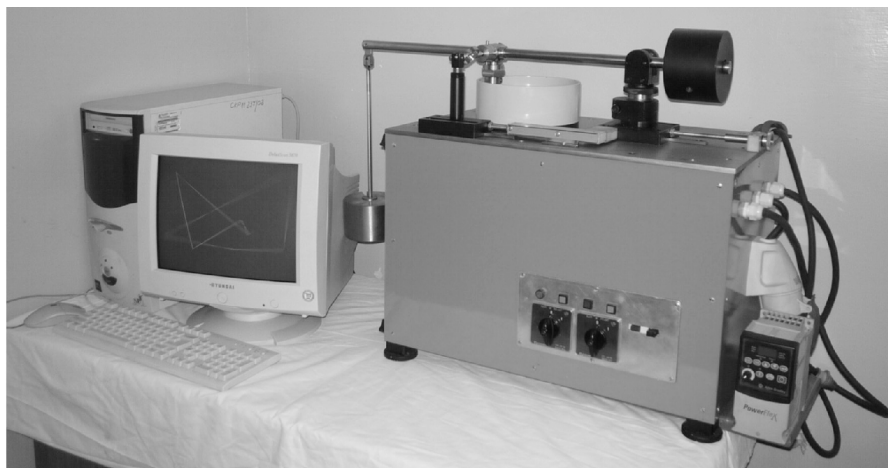
Figure 3 Diagram of the power factor of working: 1 – tank, 2 – cover, 3 – filter-dragon, 4 – pump, 5 – steering pump, 6 – Sprinkler, 7 – a counter, 8 – shield, 9 – sight glass level working medium, 10 – working medium, 11 – magnetic filter, 12 – pre-filter, 13 – the drain plug, 14 – infusion

wytwarza również napięcie trójfazowe o regulowanej częstotliwości. Posiada także możliwość hamowania dynamicznego dzięki wbudowanemu Inteligentnemu Modułowi Mocy wykonanemu w technologii IGBT (tranzystor bipolarny z izolowaną bramką).

Stanowisko badawcze jest wyposażone w płynną regulację obrotów dysku – przeciwpróbki, co daje możliwość badania zużycia przy stałej prędkości poślizgu, pomimo zmian wartości promienia tarcia.

3.5 Wykończenie stanowiska badawczego

Podczas projektowania i wykonywania elementów stanowiska dużą wagę przywiązywano do estetyki i ergonomiki konstrukcji. Płyta główna stanowiska, stanowiąca bazę układu roboczego i układu napędowego, została wyszlifowana, a następnie polerowana. Przed korozyjnym działaniem czynnika roboczego płytę zabezpieczono elektrolitycznie naniesioną powłoką cynkową. Elementy układu roboczego narażone na zadrapania i zarysowania wykonano ze stali szlachetnej. Elementy te wykończono włókniną nadając im teksturę satynową. Podstawę układu roboczego powleczono lakierem koloru czarnego, a obudowę stanowiska kolorem niebieskim. Ostonę dysku polakierowano zgodnie z wytycznymi BHP. Rysunek 4 przedstawia widok stanowiska badawczego.



Rysunek 4 Widok stanowiska badawczego

Figure 4 View of the test

4. BADANIA WŁASNE

Poniżej przedstawiono modelowe badania, polegające na sprawdzeniu funkcjonalności wykonanego stanowiska eksperymentalnego.

4.1 Metodyka i materiał badań

Czas trwania próby to 90 min, w trakcie której wykonano osiem pomiarów w następujących odstępach czasu: pomiar 1 przed próbą, pomiar 2 po 1 min, następny po 3 min, kolejny po 9 min, po 20 min, po 27 min, po 60 min i ostatni po 90 min. Próbkę badano przy następujących parametrach roboczych układu:

- Prędkość poślizgu $V=0,5$ m/s
- Nacisk na próbkę $p=1$ MPa i 2MPa
- Ośrodki próby to :
 - powietrze
 - woda
 - olej 15W40.

Przedmiotem badań było sześć próbek odlanych z ZnAl41 w postaci walców o wymiarach $\varnothing=10$ mm i długości 23 mm w ilości sześciu sztuk. Do próby wykorzystano również jedną próbkę wykonaną z kompozytu Fe_3Al/Al_2O_3 o średnicy $\varnothing=10$ mm i długości 8 mm.

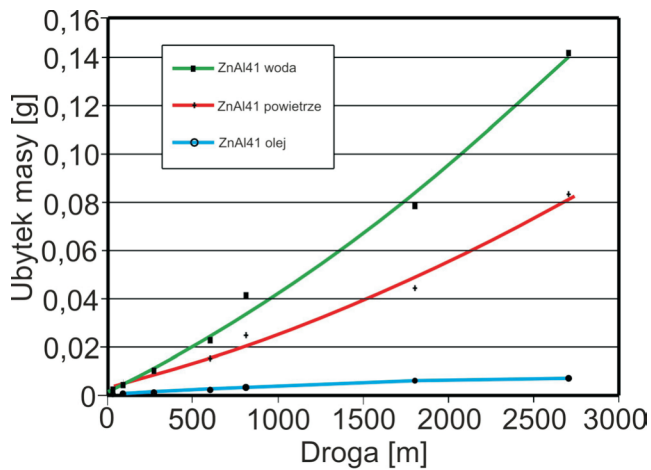
4.3 Analiza wyników badań

Po przeprowadzeniu testów trybologicznych wyżej wymienionych próbek, na podstawie uzyskanych wyników opracowano wykresy ubytku masy w funkcji przebytej drogi. Na Rysunkach 5 i 6 przedstawiono ubytki dla ZnAl4, natomiast Rysunek 7 odnosi się do próbki wykonanej z Fe_3Al/Al_2O_3 . Rysunek 8 zawiera analizę porównawczą ubytku masowego

badanych materiałów przy naciskach 1 i 2 Mpa w badanych ośrodkach. W oparciu o nie wysunięto następujące wnioski:

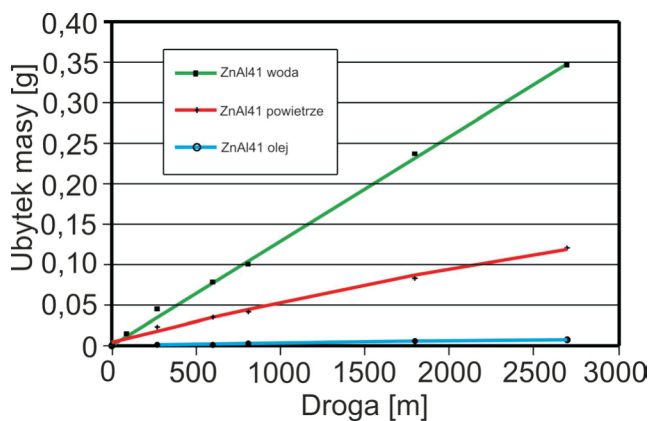
1. Stopy cynku wykazały największe zużycie w ośrodku wody, wystąpiło tam zużycie adhezyjne i mikroskrawanie (Rys. 5 i 6). Zwiększenie nacisku w tym ośrodku z 1 do 2MPa spowodowało wzrost zużycia masowego o 64% (Rys. 7)
2. W próbie tarcia stopów cynku w ośrodku oleju stwierdzono,

że nacisk o wartości 2MPa wywołuje mniejsze zużycie masowe niż nacisk 1MPa o około 50% (Rys. 7). Powodem tego jest powstawanie filmu olejowego na styku trącej pary.



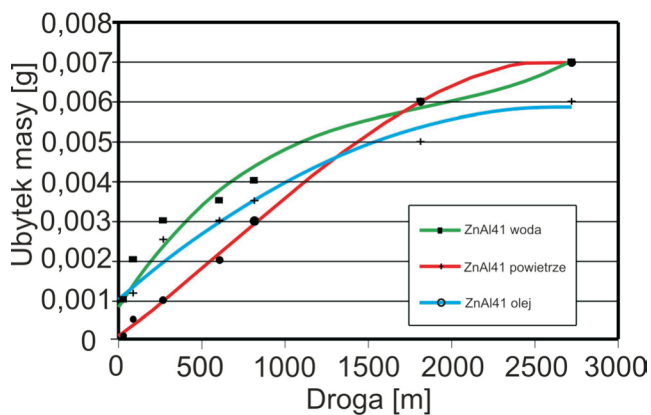
Rysunek 5 Wykres ubytku masowego w funkcji drogi dla próbek ZnAl41 przy nacisku 1MPa

Figure 5 Graph of mass loss as a function of the road for the samples at a pressure of 1 MPa ZnAl41



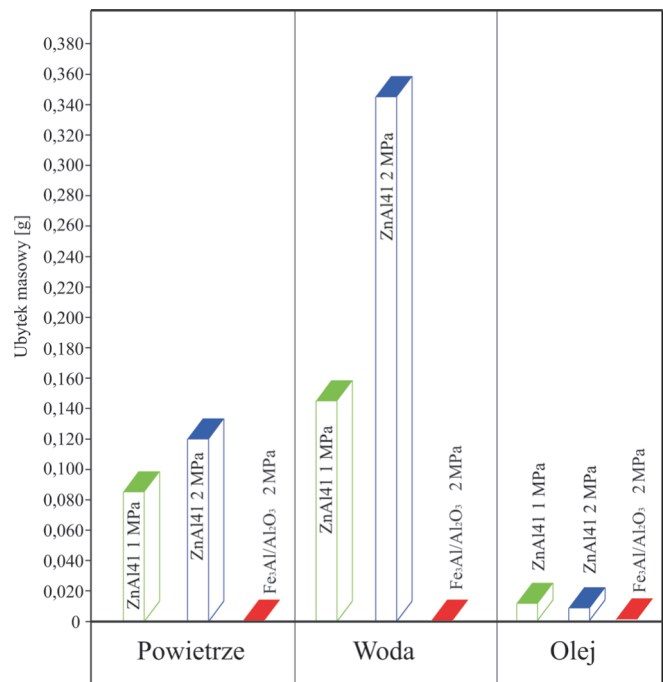
Rysunek 6 Wykres ubytku masowego w funkcji drogi dla próbek ZnAl41 przy nacisku 2MPa

Figure 6 Graph of mass loss as a function of the road for the samples at a pressure 2MPa ZnAl41



Rysunek 7 Wykres ubytku masowego w funkcji drogi dla próbek Fe3Al/Al2O3 przy nacisku 2MPa

Figure 7 Graph of mass loss as a function of the road for the samples at a pressure 2MPa Fe3Al/Al2O3



Rysunek 8 Wykres ubytku masowego w funkcji drogi dla próbek Fe3Al/Al2O3 przy nacisku 2MPa

Figure 8 Comparison chart in the centers of mass loss in air, oil and water

3. W próbie tarcia na sucho ZnAl41, na badanej powierzchni zauważono produkty wyrwania cząstek materiału – zużycie adhezyjne.
4. Analizując ubytek masowy kompozytu Fe₃Al/Al₂O₃ stwierdzono, że jest on około trzydziestokrotnie mniejszy w analogicznym zestawieniu ze stopem cynku.
5. Kompozyt charakteryzuje się większą odpornością na ścieranie w ośrodku wody.

5. PODSUMOWANIE

Dokonując analizy działania stanowiska stwierdzono poprawność i niezawodność jego działania. Wprowadzone rozwiązania konstrukcyjne ułatwiły realizację badań oraz zwiększyły potencjał badawczy urządzenia. Zastosowane udoskonalenia mają znaczący wpływ na dokładność i powtarzalność uzyskiwanych wyników doświadczeń. Na podstawie przeprowadzonych badań testowych tribotestera stwierdzono, że stopy cynku wykazują największe zużycie masowe w ośrodku wody, a najmniejsze w oleju. Stwierdzono przewagę odporności na ścieranie materiałów kompozytowych na osnowie intermetali nad stopami cynku we wszystkich badanych ośrodkach.

LITERATURA

- [1] Baje J., Tribologia i trybotechnika, red. nauk. Szczerek M., Wiśniewski M., Warszawa 1999.
- [2] Bowden F., Tabor D.: Wprowadzenie do trybologii Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
- [3] Dobrzański L., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, Warszawa 2002.
- [4] Pytko S., Podstawy trybologii i techniki smarowniczej, Wydawnictwo AGH, Kraków 1989.
- [5] Hebda M., Janecki J., Tarcie, smarowanie i zużycie części maszyn Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
- [6] Hebda M., Warchol K., Trybologia Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
- [7] Mazurkiewicz A., Szczerek M., Efektywność badań naukowych w trybologii, Zagadnienia eksploatacji maszyn, zeszyt 2/1998.
- [8] Mazurkiewicz A., Szczerek M., System badań tribologicznych (SBT). Cz. 1. Urządzenia do badania cienkich powłok przeciwzużyciowych, Problemy eksploatacji, 3/2003, s. 95-110.
- [9] Patejuk A., Durejko T., Wpływ fazy zbrojącej na zużycie ścierny kompozytu typu Fe-Al-Al₂O₃, Przegląd mechaniczny nr 3/2005 s. 18-22.
- [10] <http://www.tribologia.eu/ptt/inst/rad/ITeE-PIB.htm> PTT ITeE PIB.
- [11] Lawrowski Z., Tarcie, zużycie, smarowanie Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.
- [12] Legutko S., Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń, WSiP, Warszawa 2007.