

Klaudiusz Lenik\*, Mykhaylo Pashechko\*

## PRZECIWZUŻYCIOWE MATERIAŁY EUTEKTYCZNE NA BAZIE FE-MN-C-B I MOŻLIWOŚCI ICH BADAŃ NA ZMODERNIZOWANEJ MASZYNIE AMSLERA

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono założenia teoretyczne otrzymywania nowej rodziny stopów eutektycznych. W zakresie możliwości oceny odporności na zużycie otrzymanych materiałów przedstawiono możliwości prowadzenia takich badań na zmodernizowanej maszynie Amslera z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego do rejestracji i oceny uzyskiwanych wyników. Zastosowano zmianę głowicy pomiarowej oraz układów mechanicznych rejestrująco-pomiarowych. Pomiar dotyczy schematu badawczego trzpień – tarcza.

### WPROWADZENIE

Jednym z głównych kierunków badań związanych z doborem materiałów na elementy podlegające procesom zużycia są prace nad nowymi materiałami. Zagadnienia te mogą dotyczyć całego materiału lub też uszlachetniania warstw powierzchniowych [1–2]. W dotychczas stosowanych materiałach par trących pracujących w warunkach szczególnie podatnych na zużycie tribologiczne (głównie ściernie) w małym stopniu wykorzystywane są techniki otrzymywania specjalnych warstw powierzchniowych elementów węzłów tarcia. Dotyczy to między innymi uzyskiwania dużej trwałości powierzchni wyrobów w wyniku formowania jej z materiałów eutektycznych.

Różnorodność charakteru pracy par trących i wymagania określone charakterystykami kinematyki czy wielkościami obciążeń dają szerokie możliwości zastosowania racjonalnie dobieranych materiałów eutektycznych wielofazowych stopowanych odpowiednio wybranymi pierwiastkami dającymi określone ich własności.

Podstawowym zagadnieniem przedstawionych badań są prace nad otrzymaniem stopów eutektycznych na bazie układu poczwórnego Fe-Mn-C-B. Oznacza to poszukiwanie odpowiedzi dotyczącej możliwości uzyskiwania eutektycznych stopów, jako rodziny stopów kompozycyjnych wielofazowych dyspersyjnie wzmocnionych z gradientem strukturalnym.

Przedstawiona praca podaje w sposób syntetyczny podstawowe zagadnienia dotyczące otrzymywania i oceny własności odporności na zużycie nowej rodziny stopów eutektycznych na bazie układu Fe-Mn-C-B.

---

\* Klaudiusz LENIK, Mykhaylo PASHECHKO – Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

Określono zakresy istnienia eutektyki przyjętego bazowego układu oraz składy chemiczne pierwiastków. Podano możliwości otrzymywania nowej rodziny stopów eutektycznych bazowego układu poprzez stopowanie jego takimi pierwiastkami, jak: Si, Ni, Cr.

W badaniach strukturalnych wykorzystano spektroskopię Auger'a, rentgenowską analizę składu fazowego otrzymanych stopów, mikrorentgenowską i mikrostrukturalną analizę zawartości pierwiastków.

W zakresie możliwości oceny odporności na zużycie otrzymanych materiałów przedstawiono możliwości prowadzenia takich badań na zmodernizowanej maszynie Amslera z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego do rejestracji i oceny uzyskiwanych wyników. Stanowisko badawcze charakteryzuje się zmianą głowicy pomiarowej oraz układów mechanicznych rejestrująco-pomiarowych. Pomiar dotyczy schematu badawczego trzpień – tarcza.

## **OTRZYMYWANIE MATERIAŁÓW EUTEKTYCZNYCH NA BAZIE UKŁADU FE-MN-C-B**

Otrzymywanie roztworów stałych, związków chemicznych, mieszaniny określonych pierwiastków o odpowiedniej określonej budowie i zawartości stopu daje możliwość przewidywania własności otrzymanych stopów na podstawie własności składników wejściowych. Innymi słowami, istnieje określona zależność między układem równowagi i własnościami stopów.

W praktyce wiele materiałów stopowych ma więcej niż dwa składniki, chociaż w literaturze opisane i przebadane układy dotyczą głównie dwuskładnikowych, niewiele przebadano układów trójskładnikowych, a niemal zupełnie brak opracowań układów o większej liczbie składników.

Mając na uwadze pozytywny wpływ borków i węglików (a w szczególności żelaza i manganu) na własności fizyczno-mechaniczne, charakterystyki eksploatacyjne materiałów i warstw powierzchniowych oraz szczególne cechy otrzymywania warstw eutektycznych, przeanalizowano układy równowagi z przemianą eutektyczną z określonymi pierwiastkami (składnikami). Z analizy wynika, że układy o charakterze eutektycznym uzyskujemy w układach Fe-C, Fe-B, Fe-Mn-C, Fe-Cr-C, Fe-Ni-C [3, 4].

Dla otrzymania materiałów z określonymi własnościami odporności na zużycie tribologiczne dobrano węgliki  $Fe_3C$  oraz borki, FeB i  $Cr_2B$ . Wybór węglików i borków jako faz dyspersyjnych (wzmacniających) w strukturze stopu podyktowany jest ich wysoką twardością, odpornością na zużycie, korozję i termiczną stabilnością. Ponadto dodatek manganu pozwala zwiększyć plastyczność węgliku żelaza  $Fe_3C$  i uzyskiwanego stopu eutektycznego. Tworzy on (Mn) roztwór stały z żelazem, rozszerza temperaturo-koncentracyjny obszar istnienia węglików układu  $Fe_3C - Mn_3C$  i jednocześnie zwiększa dyspersyjność ich rozmieszczenia [2, 4, 5].

We wszystkich układach równowagi tworzenie obszarów eutektycznych spowodowane jest oddziaływaniem takich pierwiastków, jak: Fe, Mn, C, B, Si, Ni, Cr. Prowadzone badania ukierunkowane są na podwyższenie plastyczności warstw wierzchnich przy zapewnieniu ich wysokiej twardości. Można to osiągnąć dzięki wytworzeniu różnorodnych warstw eutektycznych poprzez wprowadzenie (stopowanie) pierwiastków zwiększających twardość i plastyczność. Uwzględniając powyższe i analizując właściwości składników fazowych, najbardziej efektywny okazuje się układ Fe-B-C, a następnie układ Fe-Mn-C. Dlatego celowym jest otrzymywanie i wytwarzanie materiałów proszkowych i warstw eutektycznych układu Fe-Mn-C-B.

Na podstawie rentgenostrukturalnych i mikrostrukturalnych badań oraz analizy termicznej stopów układu Fe-Mn-C-B ustalono zawartość pierwiastków w obszarach eutektycznych układów Fe-Mn-C, Fe-B-C [4, 6, 10].

**Tabela 1.** Zawartość (% masowych) pierwiastków w obszarach eutektycznych układów Fe-Mn-C, Fe-B-C

Pierwiastek	Fe-Mn-C	Fe-B-C
Fe	73,3–92,5	85,1–92,5
Mn	3,1–23,8	1,6–7,6
C	0,6–6,4	2,6–7,0
B	0,6–2,5	0,2–3,5

Uwzględniając specyfikę i szczegóły technologiczne otrzymywania stopów eutektycznych i warstw powierzchniowych, jak i otrzymywane własności, a w szczególności zmniejszenie skłonności do pęknięcia wskazane jest przyjąć zawartość węgla i boru, tak jak w eutektyce Fe-Mn-C. Pierwiastki układu Fe-Mn-C stwarzają możliwość stopowania takimi składnikami, jak Si, Ni, Cr, Ni-Cr i innymi. Umożliwia to otrzymywanie materiałów proszkowych ze zróżnicowanymi własnościami, czyli daje możliwość wpływu na własności wytwarzanych warstw powierzchniowych.

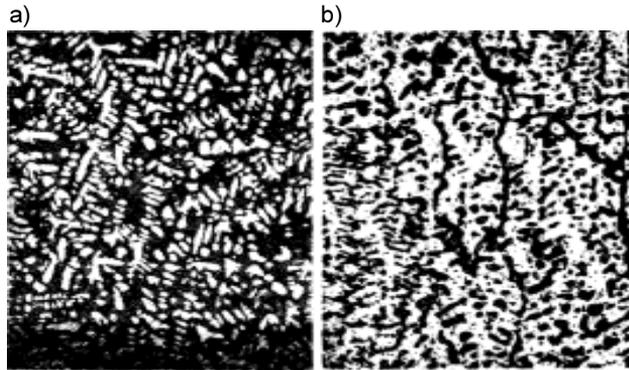
W związku z powyższym, uzasadnionym jest wybór jako podstawowych pierwiastków dla otrzymywania bazowego materiału eutektycznego proszkowego: żelaza, manganu, węgla i boru.

Próbki do badań układu równowagi fazowej Fe-Mn-C-B przygotowano z proszków żelaza karbonylnkowego (99,99 %), manganu (99,5 %), boru amorficznego (99,3 %), grafitu syntetycznego (99,94 %), metodą ich stopowania w piecu elektrycznym, w atmosferze oczyszczonego argonu. Wyżarzanie próbek przeprowadzono w próżniowych pojemnikach kwarcowych w temperaturze 1273 K w ciągu 350 godzin. W celu określenia próbek ze strukturą eutektyczną przeprowadzono badania termiczne i metalograficzne (Neophot-2, MIM-8, DAT, AŃ) oraz przeanalizowano stężenie pierwiastków („Kamebax”, Superprobe – 733) stopów w stanie wyżarzo-

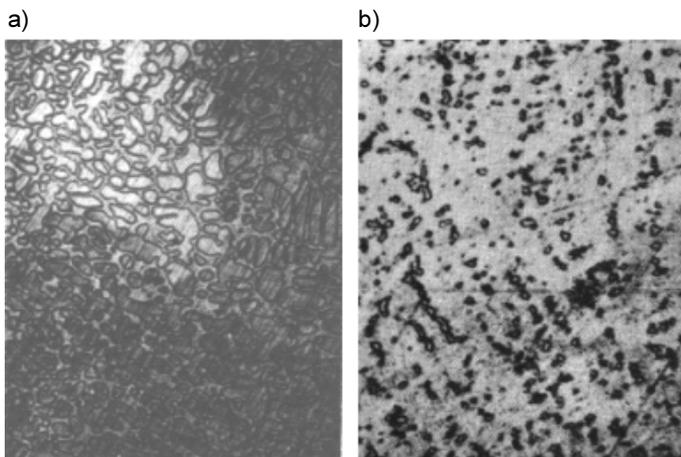
nym (1273K, 350 godzin) i w stanie znormalizowanym. W efekcie uzyskanych danych opracowano quasipotrójny układ Fe-Mn-C-B. Zawartość składników w poszczególnych przecięciach zmieniano co dziesięć molowych części. Obszar stężenia żelaza wynosi 0,67.....0,79 procentów atomowych [7, 8, 10].

Przeprowadzono analizę rentgenowską składu fazowego otrzymanych stopów i mikrorentgenostrukturalną analizę zawartości pierwiastków.

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano materiały eutektyczne, których mikrostruktury pokazano na rysunkach 1 i 2.



**Rys. 1.** Mikrostruktura (x200) stopu nadeutektycznego: a – po normalizacji, b – po wyżarzaniu



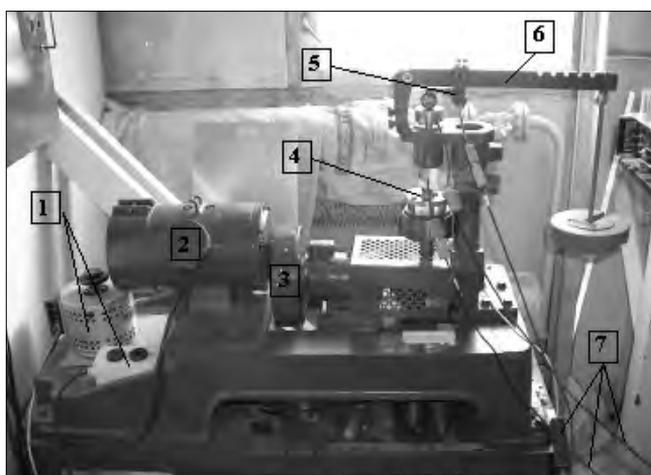
**Rys. 2.** Mikrostruktura (x200) stopu podeutektycznego: a – po normalizacji, b – po wyżarzaniu

Otrzymane wyniki badań były podstawą opracowania ogólnych wytycznych projektowania materiałów eutektycznych oraz oceny stanu warstwy powierzchniowej stopów eutektycznych w badaniach procesów zużycia na maszynie Amslera.

## PRZEBIEG PROCESU BADAŃ ZUŻYCIA I MOŻLIWOŚCI REJESTRACJI OTRZYMYWANYCH WYNIKÓW NA ZMODERNIZOWANEJ MASZYNIE AMSLERA

Ocenę odporności na zużycie ściernie materiałów eutektycznych przeprowadzono na zmodernizowanej maszynie Amslera. Wyposażono ją w opracowany układ pomiarowo-rejestrujący ze wspomaganiem komputerowym. Zaprojektowane stanowisko pomiarowe z mikroprocesorowym rejestratorem X-Y i Y-t zamontowano na maszynie Amslera (rys. 3).

Zaprojektowana i wykonana głowica badawcza z czujnikiem momentu tarcia umożliwia badanie procesu tarcia wg schematu trzpień – tarcza (pin of disk). Istnieje możliwość jednoczesnego badania jednej, trzech lub większej ilości próbek [9, 10].



**Rys. 3.** Widok ogólny zmodyfikowanej maszyny Amslera: 1 – zasilanie i sterowanie; 2 – silnik elektryczny; 3 – przekładnia planetarna; 4 – głowica badawcza z czujnikiem momentu tarcia; 5 – czujnik siły obciążenia; 6 – układ obciążający; 7 – przyłącza do układu rejestrująco-pomiarowego

Układ rejestrująco-pomiarowy (rys. 4) umożliwia monitoring takich wielkości jak:

- siły docisku;
- prędkości względnej układu pary tarczej;
- drogi tarcia;
- momentu tarcia;
- wielkości zużycia liniowego.

Realizacja pomiarów założonych parametrów w procesie tarcia, polega na wykorzystaniu tensometrii pomiarowej i zastąpienia układu mechanicznego – układem elektronicznym. Napęd realizowany jest od silnika prądu stałego z możliwością regulacji obrotów wału głównego.



**Rys. 4.** Układ rejestrująco-pomiarowy

Przedstawione na rys. 3 i 4 stanowisko badawcze wyposażone jest w układ pomiarowo-rejestrujący z programem komputerowym, pod nazwą Tribol 1. Program Tribol 1 służy do pomiarów prędkości obrotowej głowicy i siedmiu wielkości analogowych oraz zamiany ich na dane cyfrowe z komputerową rejestracją danych. Posiada on osiem kanałów pomiarowych. Wybór ich zależy od przyjętych do rejestracji monitorowanych parametrów badanego procesu zużycia.

W wersji standardowej do kolejnych kanałów przypisano pomiar wartości następujących wielkości:

- kanał 1 – pomiar wartości momentu siły tarcia;
- kanał 2 – pomiar wartości siły nacisku na próbki;
- kanał 3 – pomiar wartości liniowego zużycia próbek;
- kanały 4, 5 i 6 – pomiary temperatur;
- kanał 8 – nie wykorzystywany.

Możliwa jest zmiana wielkości mierzonych w tych kanałach po dokonaniu odpowiednich deklaracji w programie obsługi pomiarów.

Urządzenie Tribol 1 współpracuje z komputerem PC poprzez port drukarkowy Centronics. Pomiary, zapis danych i ich odtwarzanie, a także graficzną lub tabelaryczną prezentację wyników pomiarów nadzoruje specjalny program obsługi „Triprog 1”.

Program może realizować następujące procedury (rys. 5):

- POMIARY,
- ODCZYT Z DYSKU,
- PARAMETRY WYKRESÓW,
- SKALOWANIE,
- SYMULACJA,
- KONIEC PRACY.

Każda z procedur posiada własne funkcje. Do wyboru procedur i ich funkcji służą klawisze ze strzałkami oraz klawisz „Enter”. Wybór lub zadawanie wartości parametrów pracy programu ułatwiają pojawiające się na ekranie komunikaty.

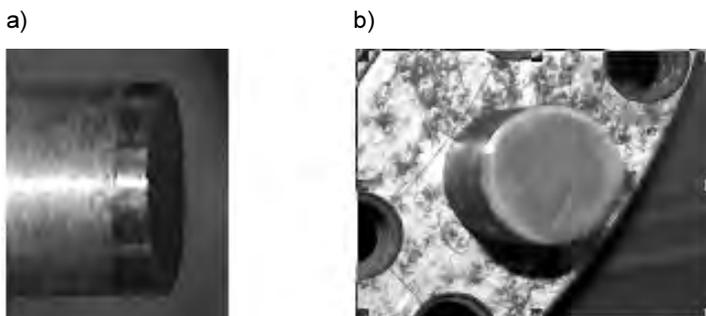


Rys. 5. Procedury realizowane przez program

## BADANIA PROCESU TARCIA MATERIAŁÓW EUTEKTYCZNYCH NA BAZIE UKŁADU FE-MN-C-B

Badania odporności na zużycie przeprowadzono na zmodernizowanej maszynie Amslera (rys. 3). Schemat tarcia: tarcza-trzpień (pin of disk). Próbki wykonane były ze stali 45 o średnicy zewnętrznej 10 mm i długości 20 mm z eutektyczną warstwą wierzchnią, na powierzchni czołowej próbki (rys. 6). Jako przeciwpróbki wykorzystano pierścienie ze stali 45 po hartowaniu i niskim odpuszczaniu HRC 54–56. Prędkość poślizgu stanowiła 0,8 m/s, ciśnienie jednostkowe 4 MPa, czas badań – 6 godzin. Jako smar wybrano olej MI-20A (GOST 20799-75) oraz M10, który był podawany w obszar tarcia kroplami, 15 – 20 na minutę.

Dla określenia wpływu struktury warstw eutektycznych i struktur wtórnych na odporność na zużycie warstwy powierzchniowe otrzymano z opracowanego stopu eutektycznego metodami napawania plazmowego [6, 10].



Rys. 6. Widok próbki z naniesioną warstwą eutektyczną (a) i jej zamocowanie (b)

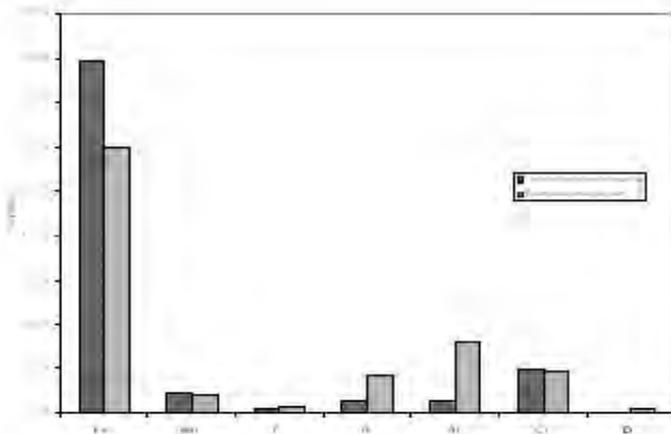
## ZAKOŃCZENIE

Badania struktury i mikrotwardości warstw eutektycznych po próbach na zużycie nie wykazują widocznych zmian charakterystyk w porównaniu ze stanem wejściowym (do badań). Analiza mikrozgładów powierzchni tarcia wskazuje na obecność mikroskrawania w kierunku przemieszczania cząsteczek ściernych. Wyniki elektrono-mikroskopowej analizy powierzchni tarcia warstwy eutektycznej wskazują na jej polerowanie w kierunku tarcia z określoną zmianą chropowatości powierzchni.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że stop eutektyczny układu Fe-Mn-C-B w porównaniu z takimi materiałami, jak PG-SR3 (Rosja) lub PG-10N-0101 (licencja firmy „Castolin” – Szwajcaria) charakteryzuje się większą odpornością na zużycie ściernie [11].

Przykładowo utrata masy eutektycznej warstwy otrzymanej metodą plazmowego napawania wynosi 4 mg z jednostki powierzchni próbki o średnicy 10 mm. Dla porównania danych firmowych, utrata masy stopu PG-SR3 stanowi – 20 mg, a PG-10N-01 – 8 mg, przy  $v = 0,8$  m/s,  $p = 0,15$  MPa,  $t = 8$  godz.

Jednym z ciekawszych zjawisk zaobserwowanych po badaniach zużycia to fakt zwiększenia na powierzchni tarcia pierwiastków C, B i Si określonych w wyniku analizy segregacji atomów za pomocą spektroskopii Auger’a. Na rysunku 7. pokazano rozkład pierwiastków na powierzchni tarcia i w stopie układu Fe-Mn-C-B stopowanego Cr.



Rys. 7. Rozkład pierwiastków na powierzchni tarcia i w stopie w postaci proszku układu Fe-Mn-C-B stopowanego Cr

Zaobserwowany efekt może oznaczać iż na fizycznych powierzchniach tarcia materiałów eutektycznych możliwe jest formowanie faz tlenków układu  $B_2O_3 - SiO_2$ . Zjawisko to może między innymi wyjaśniać efekt wysokich własności przeciwzużyciowych opracowanych materiałów eutektycznych.

## LITERATURA

1. Szczelek M, Wiśniewski M. (red.): Tribologia i tribotechnika. Instytut Technologii i Eksploatacji, Radom 2000.
2. Dobrzański L.A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2002.
3. Granat K.: Wytwarzanie powierzchniowych warstw stopowych typu Fe-Cr-Si-C metodą natryskiwania plazmowego. Archiwum TMiA. Komitet Budowy Maszyn PAN Oddz. Poznań, Vol. 18, 1998: 127–134.
4. Czerniec M., Paszeczko M., Niewczas A.: Metody prognozowania ta pidwyszczennia znosostijkości tribotechnicznych system kowzanna. T.3: Ewtektyczni znosostijki pokryttia systemy Fe-Mn-C-B . Drohobycz –Koło 2001, ss. 236.
5. Adamczyk J.: Inżynieria wyrobów stopowych. Wydawnictwo Śląskie, Gliwice 2000.
6. Lenik K., Paszeczko M.: Opracowanie nowej rodziny stopów eutektycznych odpornych na zużycie. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Nr 87. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. XXV Szkoła Tribologiczna, Nr 27, 2002: 196–201.
7. Paszeczko M., Lenik K., Czerniec M., Gorecki T.: Konstituowanie warstwy wierzchniej z wykorzystaniem kompozytów eutektycznych układu Fe-Mn-C-B-Si. Inżynieria Powierzchni Nr 2, 2001: 27–31.
8. Paszeczko M., Lenik K., Gorecki T.: The eutectic powder materials for endurance increasing of a sliding bearings. Maszynoznawstwo, Nr 7(49), 2001: 25–28.
9. Paszeczko M., Lenik K.: Segregation of C, B, Si in the surface layers of new eutectic Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr-Al-Sc at friction wear. Universita di Roma “La Sapienza”. TOFA 2002. Rome, Italy, September 2002. PO 42.
10. Lenik K.: Otrzymywanie odpornych na zużycie eutektycznych pokryć układu Fe-Mn-C-B. Akademia Nauk, Kijów 2004.
11. Paszeczko M., Lenik K., Paszeczko L.: Pidwyszczennia dowgowniczości detalej maszyn metodom plazmowego napławlennia z wykorzystaniem ewtektycznych spławiw systemy Fe-Mn-C-B. Wisnyk Dwigatelestrojenija N° 1, 2002:127–131.

### **The eutectic materials on base Fe-Mn-C-B and possibility of their investigations on modernized Amsler machine**

#### **Summary**

The theoretical foundations of receiving the new family of eutectic alloys were introduced in the paper. On range of possibility of opinion resistance on waste of received materials was introduced and chosen results of leadership of such investigations on modernized Amsler machine from it utilization the computer aid to registration and the opinion of got results. It change was applied as well as arrangements mechanical measuring head recording-measuring. Measurement concerns investigative patern pin of disk.