



Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M.

### WŁAŚCIWOŚCI POWŁOK ZE STOPÓW EUTEKTYCZNYCH Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr

*W artykule omówiono powłoki eutektyczne na bazie układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Powłoki nanoszono metodą napawania łukowego w osłonie gazowej GMA z użyciem drutu proszkowego. Po napawaniu i badaniach odporności na zużycie przeanalizowano rozkład pierwiastków oraz nanotwardość otrzymanych powłok eutektycznych. Na powierzchni powłok powstają tak zwane struktury wtórne zwiększające odporność na zużycie.*

*Słowa kluczowe: stop eutektyczny, struktury wtórne*

*Article present eutectic coatings based on Fe-Mn-CB-Si-Ni-Cr. The coating were obtained by gas metal arc welding GMA. After the welding and wear resistance tests a typical properties was observed: distribution of atoms on the surface and nanohardness. On coating surface formed secondary structures. Resistant to wear of Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr coatings increase.*

*Keywords: eutectic alloy, coating, secondary structures*

Układy o charakterze eutektycznym uzyskujemy między innymi w stopach; Fe-C, Fe-B, Fe-Mn-C, Fe-Cr-C, Fe-Ni-C, Fe-Mn-C-B, Fe-Mn-C-B-Si, Ni-Cr-B-C. Tworzenie obszarów eutektycznych spowodowane jest oddziaływaniem takich pierwiastków, jak: Fe, Mn, C, B. Przy ich otrzymywaniu powinno dążyć się do podwyższania plastyczności warstw wierzchnich przy zapewnieniu ich wysokiej twardości. Osiąga się to poprzez stopowanie pierwiastkami zwiększających twardość i plastyczność powłok. Właściwości tribologiczne poprawia otrzymanie w strukturze stopów węglików żelaza oraz borków żelaza i chromu takich jak Fe<sub>3</sub>C, Fe<sub>2</sub>B, FeB, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>B. Wykorzystanie ich jako faz dyspersyjnych (wzmacniających) w strukturze stopu podyktowany jest ich wysoką twardością, odpornością na zużycie, korozję i stabilnością termiczną. Dodatek manganu zwiększa plastyczność węgla żelaza Fe<sub>3</sub>C poprzez formowanie manganowego węgla żelaza Fe<sub>0,4</sub>Mn<sub>3,6</sub>C. Bardzo perspektywnym jest otrzymywanie tych materiałów w postaci proszków do produkcji elektrod lub drutów proszkowych stosowanych do napawania [1-3].

Napawanie GMA jest stosowane do nakładania warstw o specjalnych właściwościach użytkowych lub odtwarzania kształtu przedmiotów o małych lub średnich wymiarach ze stali niskowęglowych i niskostopowych, staliw, żeliwa, stopów miedzi i aluminium. Materiały stosowane do napawania są najczęściej dostarczane w postaci drutów litych lub proszkowych. Stosowane powszechnie w przemyśle druty proszkowe do napawania GMA są produkowane w zakresie średnic od 1,2 do 4,8 mm. W drutach proszkowych znajdują się sproszkowane składniki stopowe z niewielką ilością składników topnikowych [3-5].

*Metodyka badań oraz analiza otrzymanych wyników.* Zawartość Si, Ni, Cr w stopiwie eutektycznym Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr (% masowych) przedstawia tab. 1. Dokładna charakterystyka otrzymywania stopów eutektycznych Fe-Mn-C-B zawarta jest w literaturze [6]. Podano w niej zakresy składów chemicznych w jakich można otrzymywać stopy eutektyczne.

Tab. 1. Zawartość Si, Ni, Cr w stopiwie eutektycznym Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr (% masowych)

Pierwiastek	Fe,Mn,C,B	Si	Ni	Cr
Zawartość	reszta	1,9-2,7	8,36-17,68	10,53-16,24

W celu przeprowadzenia napawania metodą GMA (MAG osłona CO<sub>2</sub>) wykonano druty proszkowe o stopiwie eutektycznym. Średnica drutu 2,4 mm. Jako materiał próbek przyjęto stal S 235 JR. Twardość otrzymanych powłok wyniosła 49 HRC. Próbki do badań wycinano z napoiny metodą elektroerozyjną. Kształt próbki prostopadłościan o bokach 10 mm i wysokości 20 mm.

Powłoki eutektyczne poddano badaniom odporności na zużycie. Podstawowe parametry testu były następujące: skojarzenie trące trzpień-tarcza, prędkość 0,4 m/s, nacisk jednostkowy 7MPa, czas jednego testu 6 godzin. Materiał przeciwpróbki stal C 45 (tarcza o średnicy 90 mm). Średni ubytek masy próbek przy naciskach jednostkowych 7 MPa wyniósł 0,154 g.

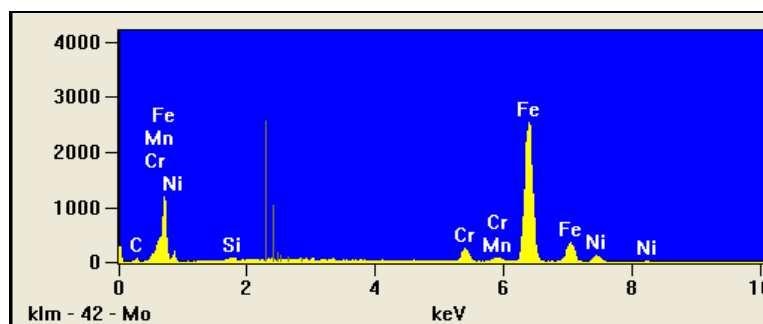
Nanotwardość zmierzono wykorzystując nanotwardościomierz Nano Hardness Tester firmy CSM z zamontowanym diamentowym wgłębnikiem Berkovicha. Próby przeprowadzono na zglądach metalograficznych. Podstawowe parametry badania nanotwardości przy dynamicznym obciążeniu: obciążenie liniowe, maksymalne obciążenie 50 mN, odciążenie do 20 mN), szybkość obciążenia: 800.00 mN/min, przerwa pomiędzy cyklami 5 s. Wyniki badań nanotwardości zawarto w tab. 2. Wyraźnie widać wzrost nanotwardości wraz z kolejnym cyklem obciążenia od 742,34 do 774,82 HV oraz modułu Younga od 242,19 do 262,41 GPa. W tym samym czasie maleje maksymalna głębokość penetracji od 584,41 do 566,82 nm. Siła maksymalna była stała i wynosiła 52,41 mN.

Tab.2.

Nanotwardość powłoki eutektycznej Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr

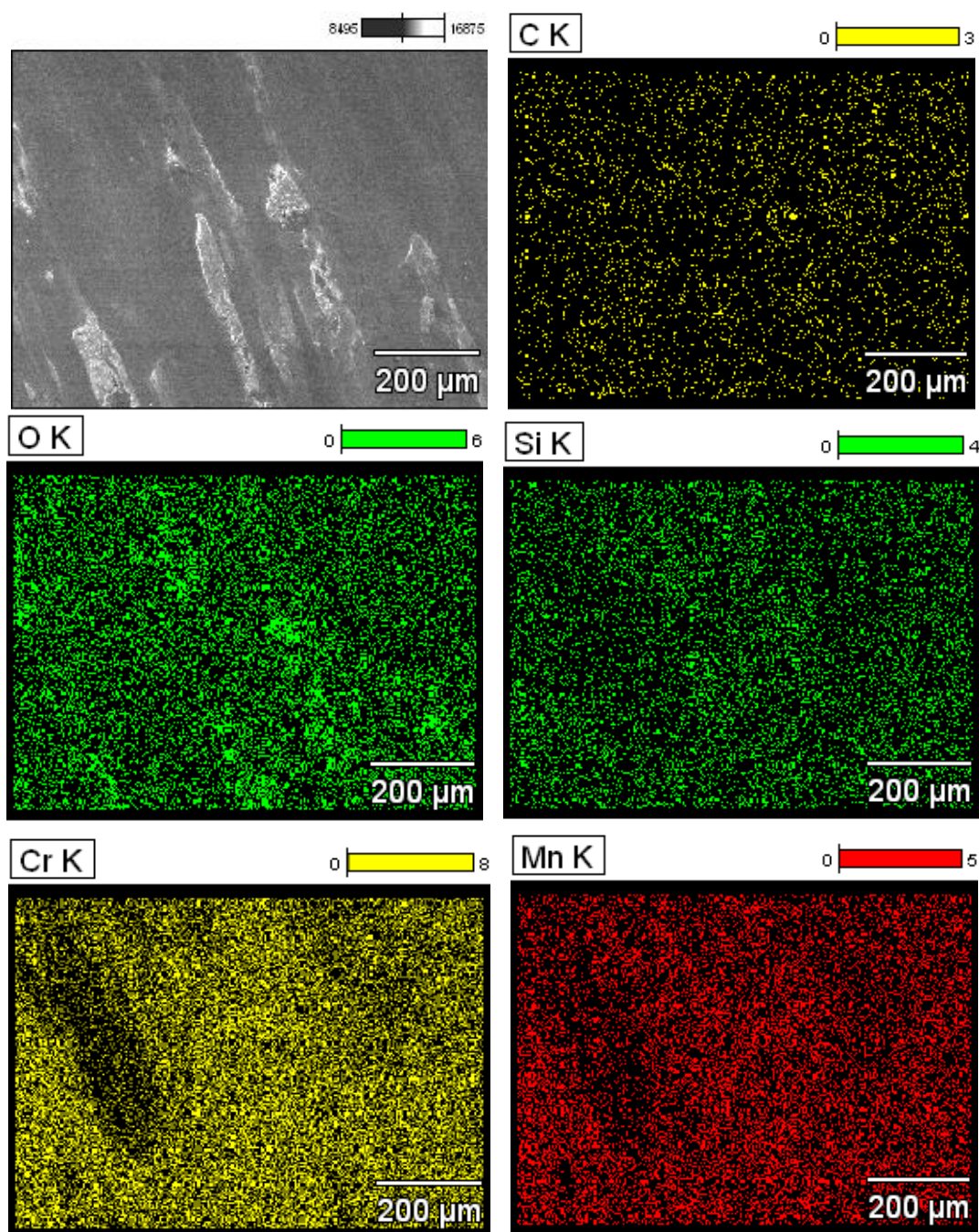
Numer cyklu	Moduł Younga E	Twardość HV	Siła maksymalna F <sub>max</sub>	Maksymalna głębokość penetracji h <sub>max</sub>
	GPa	HV	mN	nm
1	242,19	742,34	52,41	584,41
2	250,02	754,15	52,41	579,40
3	251,67	765,3	52,41	576,26
4	256,77	779,02	52,41	570,78
5	262,41	774,82	52,41	566,82

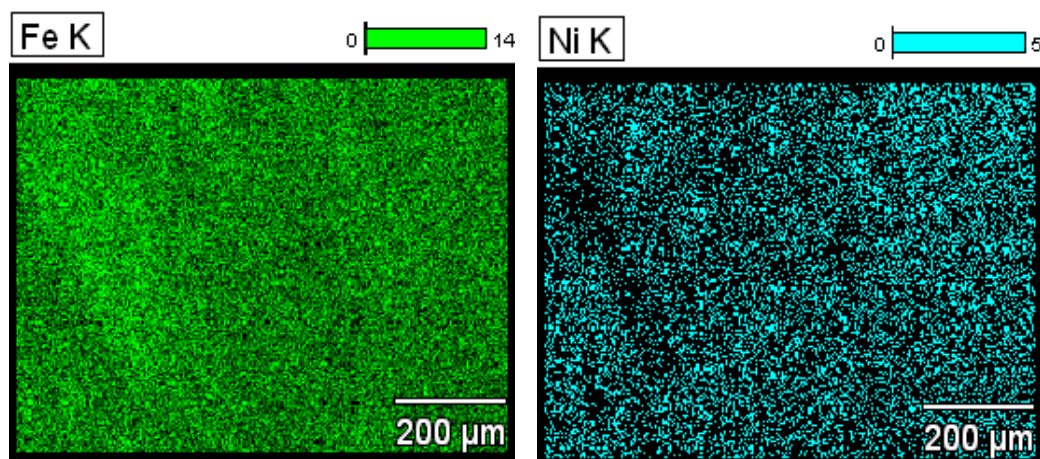
Do badań SEM/EDS powłok eutektycznych zastosowano skaningowy mikroskop elektronowy typu BS 340 firmy Tesla z mikroanalizatorem rentgenowskim NORAN Instruments. Widmo EDS zarejestrowane z powierzchni tarcia po teście tribologicznym przy naciskach jednostkowych 7 MPa przedstawia rys 1. Rozpoznano na nim pasma charakterystyczne dla pierwiastków wchodzących w skład stopu eutektycznego Fe-Mn-C-B stopowanego Si, Ni, Cr. Stwierdzono również obecność tlenu w porównaniu z próbką przed tarcieniem.



Rys 1. Widmo EDS zarejestrowane na powierzchni zglądu powłoki eutektycznej Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr

Powierzchnia tarcia posiada charakterystyczną płatkowo-warstwową strukturę (rys. 2 a). Warstwy takie mogą tworzyć się, pod warunkiem, że elementy węzła tarcia zawierają substancje, które sprzyjają kształtowaniu warstw w rezultacie reakcji tribochemicznych. Sama warstwa powstaje na skutek plastyfikacji warstw powierzchniowych materiałów wówczas gdy sprzyjają temu właściwości samego materiału (niska granica plastyczności w cienkich przypowierzchniowych warstwach, możliwe nadtopienie produktów zużycia i ich późniejsze nanoszenie na powierzchnię tarcia). Rozkład poszczególnych pierwiastków na powierzchni tarcia stopu eutektycznego przy przyłożonym obciążeniu 7 MPa przedstawia rys.2. Charakterystyczny jest nierównomierny ich rozkład co można tłumaczyć powstawaniem struktur wtórnych na powierzchni tarcia. Powstawanie struktur wtórnych na powierzchni tarcia jest znanym zjawiskiem opisywanym w literaturze [12-14]. W tym przypadku pod wpływem oddziaływań mechanicznych i ciepła na powierzchni tarcia zachodzi segregacja atomów boru, krzemu oraz węgla. Powstają niestechiometryczne tlenki na bazie układu  $B_2O_3 - SiO_2$  (struktury wtórne) i węgiel, które zmieniają właściwości tribologiczne[7-12].





**Rys.2. Obraz SEM powierzchni tarcia stopu eutektycznego oraz mapy rozkładu C, O, Si, Cr, Mn, Ni, Fe po teście tribologicznym przy naciskach jednostkowych 7 MPa**

*Podsumowanie.* Podsumowując można powiedzieć, że wieloskładnikowe stopy eutektyczne otrzymane na podstawie układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr, dają możliwości otrzymywania na powierzchni stali S235JR odpornej na zużycie powłoki eutektycznej metodą napawania GMA z wykorzystaniem drutów proszkowych. Średni ubytek masy próbek przy naciskach jednostkowych 7 MPa wyniósł 0,154 g. W trakcie badań nanotwardości zauważono jej wzrost wraz z kolejnym cyklem obciążenia od 742,34 do 774,82 HV oraz modułu Younga od 242,19 do 262,41 GPa. Powierzchnia tarcia posiada charakterystyczną płatkowo-warstwową strukturę o nierównomiernym rozłożeniu pierwiastków. Wysoka odporność na zużycie powłok spowodowana jest tworzeniem się struktur wtórnych na powierzchni tarcia na bazie układu B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> (struktury wtórne) i węgiel [10]. Stopy eutektyczne wykorzystywane są między innymi do otrzymywania powłok na nożach przemysłowych np. do recyklingu opon.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Paszczko M., Gorecki T. : Konstruowanie warstw wierzchnich odpornych na zużycie ściernie ze stopów eutektycznych na podstawie układu równowagi fazowej Fe-Mn-C-B, Technologiczne systemy informacyjne w inżynierii produkcji i kształceniu technicznym, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2001. – S. 379-387.
2. Pashechko M., Lenik K., Barszcz M., Dziedzic K. : Regeneracja części maszyn roboczych metodą napawania z wykorzystaniem stopów eutektycznych, Zeszyty Budowa Maszyn, Zakopane 2009, S. 125-127.
3. Klimpel A. : Napawanie i natryskiwanie cieplne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
4. Klimek, L. ; Krasieński, A. : Badania mikroskopowe regeneracyjnej warstwy napawanej, Inżynieria Materiałowa, 2005, nr 5, s. 564-566.
5. Lippold J. C., Kiser S. D., DuPont J. N. : Welding Metallurgy and Weldability of Nickel-Base Alloys, Jon Wiley & Sons, Ltd., Chichester 2009.
6. Pashechko M., Gorecki T.: Technologia otrzymywania proszków metali, Przegląd Mechaniczny. 2006, Nr 12. – S. 69-70.
7. Karapetyan G. Kh. : Mechanism of the formation of secondary structures in the process of friction and wear, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 27, Nr 7, July 1988, s. 588-591.
8. Fox-Rabinovich G.S., Totten G. E. : Self-organization during friction, Advance Surface Engineered Materials and Systems Design, CRC Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2006.
9. Yu. G. Gogotsi, A. M. Koval'chenko, and I. A. Kossko : Tribochemical interactions of boron carbides against steel, Wear 154, 1992. – S. 133-140.



10. Pashechko M., Lenik K.: Segregation of atoms of the eutectic alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear, *Wear* 267 (2009). – s. 1301–1304.
11. Lenik K., Paszeczko M., Dziedzic K. Barszcz M.: The surface self-organization in process friction and corrosion of composite materials, *Archives of Materials Science and Engineering*, Volume 30. Issue 1. March 2008. – s. 9–12.
12. Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M.: Mechanizm zużycia powłok eutektycznych Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr, *Problems of Tribology*, Nr 1, 2011. – S. 37–43.

Рецензент: проф. Ломакович А.М.