

Mykhaylo Pashechko<sup>1)</sup>, Krzysztof Dziedzic<sup>1)</sup>, Mirosław Malec<sup>1)</sup>

## MECHANIZM ZUŻYCIA POWŁOKI EUTEKTYCZNEJ OTRZYMANEJ METODĄ NAPAWANIA Z UŻYCIEM DRUTU PROSZKOWEGO

**Streszczenie.** W artykule omówiono mechanizm zużycia powłoki eutektycznej na bazie układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Powłoki otrzymano metodą napawania łukowego w osłonie gazowej GMA z użyciem drutu proszkowego. Badanie przeprowadzono dla próbek z powłoką eutektyczną w układzie trzpień-tarcza podczas ruchu ślizgowego na sucho dla prędkości 0,4 m/s przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa. Materiał przeciwpróbki stal C 45. Obserwowano typowe właściwości tribologiczne. Po tarciu strukturę i rozkład atomów na powierzchni powłoki eutektycznej badano z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego SEM. Wykazano, że mechanizm tarcia jest utleniający.

### WSTĘP

Dokonywanie zmian konstrukcyjnych poprzez stosowanie na warstwy wierzchnie powłok z materiałów odpornych na zużycie w istotny sposób wkomponowuje się w tematykę poprawy właściwości eksploatacyjnych elementów maszyn. Najczęściej wykorzystywane powłoki odporne na zużycie są na bazie Co, Ni, Fe, Ti. Poświęcone są temu liczne prace. Przykładowe powłoki odporne na zużycie to Ti-Cr-Si [1], Ni-Fe-C-MoS<sub>2</sub> [2], Fe-C-Cr-Si [3], TiC/FeCrBS [4], Ni-Cr-Mo-V [5], Fe-Ti-V-Mo-C [6]. Dla współpracujących tarciowo elementów niezwykle istotnym jest określenie intensywności ich zużycia uwzględniając jednocześnie zjawiska fizyko-chemiczne zachodzące na powierzchni tarcia [7–9].

Skład pierwiastków dla otrzymania wieloskładnikowego stopu eutektycznego układu Fe-Mn-C-B jest następujący (% masowych): Fe 85,1–92,5; Mn 1,6–7,6; C 2,6–7,0; B 0,2–3,5 [14].

Zawartość pierwiastków stopowych takich jak Si, Ni, Cr, Ti dobiera się uwzględniając możliwość otrzymania stopów ze strukturą eutektyczną oraz podwyższoną odpornością na zużycie biorąc pod uwagę jednocześnie aspekt ekonomiczny [11,12].

Szeroko wykorzystywanym procesem otrzymywania powłok na powierzchniach metali w szczególności do regeneracji elementów dla których postępujące zużycie uniemożliwia ich dalszą eksploatację jest napawanie. Własności napawanych warstw

---

<sup>1)</sup> Katedra Podstaw Techniki, Wydział Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

wierzchnich zależą nie tylko od składu stopiwa, lecz również od technologii napawania, która może w istotny sposób wpłynąć na zmianę struktury materiału napawanego, co z kolei będzie miało wpływ na jego własności użytkowe [13].

Kształtowanie eutektycznego pokrycia zachodzi wskutek dyfuzji atomów manganu, boru i krzemu, a także innych pierwiastków stopowych w ciekłej fazie. W zależności od zawartości żelaza, manganu, węgla i boru zachodzi reakcja eutektyczna w układzie Fe – Mn – C, albo Fe – B – C. Przy nagrzewaniu stopu w postaci proszku do 1473 K zachodzi nadtopienie powierzchni i dyfuzja węgla i boru w stal. Zwiększenie temperatury doprowadza do wzrostu dyfuzyjnej aktywności manganu. Podczas ochładzania w pierwszej kolejności zachodzi krystalizacja austenitu (ferrytu), który rośnie w postaci dendrytów, a następnie krystalizuje się w obszarach między dendrytami eutektyka układu Fe – Mn – C. Właściwości powłok określa ich struktura i skład fazowy. Poprzez ich zmianę można optymalizować niektóre właściwości, między innymi odporność na zużycie.

## METODYKA BADAWCZA

Do otrzymania powłoki wykorzystano metodę napawania GMA (MAG osłona CO<sub>2</sub>) z wykorzystaniem drutu proszkowego o stopiwie eutektycznym układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Jako materiał próbek przyjęto stal SJ 355.

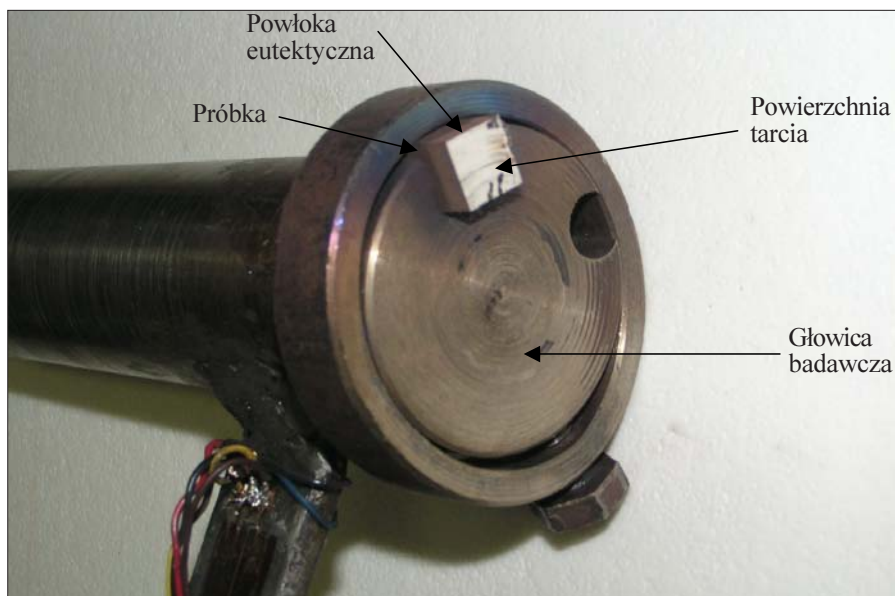
Do badań odporności na zużycie wykorzystano zmodernizowany tribotester typu Amslera, przy uwzględnieniu PN-79/H-04329. Przyjęte podstawowe parametry charakteryzujące węzeł tarcia były następujące:

- rodzaj styku: rozłożony, płaski (w układzie trzpień-tarcza),
- skojarzenie pary trącej trzpień – tarcza realizowane jest przez obracającą się tarczę i dociskaną do niej próbkę (kształt próbki: kwadrat o boku 10mm, średnica tarczy: 90 mm, materiał stal C 45, twardość 52–54 HRC, rys. 1),
- rodzaj ruchu: tarcie ślizgowe (prędkość 0,4 m/s),
- obciążenie styku modeluje współpracę pary trącej dla nacisku powierzchniowego 3 MPa,
- czas tarcia – 6 godzin.

Ubytek masy mierzono metodą wagową z dokładnością 1 mg.

Obiektem badań z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego była powłoka otrzymana z wieloskładnikowego stopu eutektycznego na podstawie układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Twardość powłok wyniosła 49 HRC.

Badania rozkładu pierwiastków (jakościowe oraz ilościowe) na powierzchni tarcia były prowadzone przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego SEM z przystawką EDS. Otrzymano obraz w elektronach wtórnych. Powiększenie 200.



Rys. 1. Widok głowicy badawczej z zamontowaną próbką

## WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

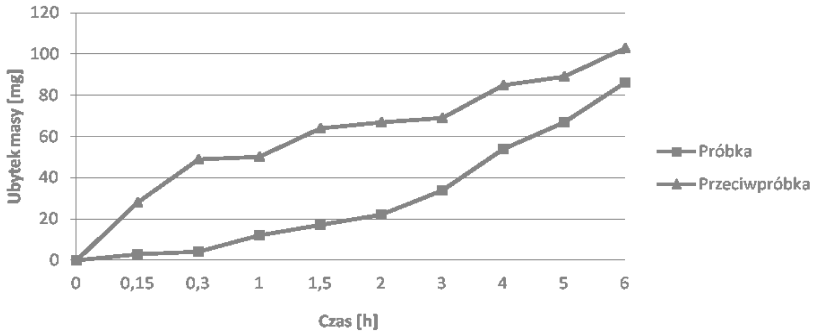
Niezwykle istotnym w eksploatacji maszyn jest określenie wielkości zużycia współpracujących tarciowo elementów z naniesionymi powłokami. Ubytek masy powłoki eutektycznej podczas testu przedstawia rysunek 2.

Jak widać na rysunku 2 ubytek masy próbki po tarceniu przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa wyniósł 86 mg dla próbki i 103 mg dla przeciwpróbki. Czas próby 6 godzin.

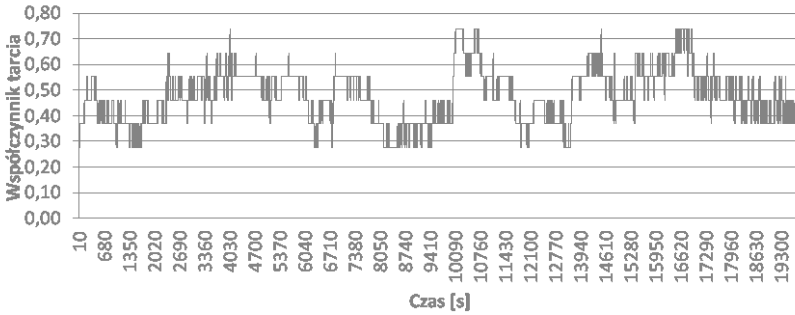
Średni współczynnik tarcia przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa wyniósł 0,48. Zmianę współczynnika tarcia przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa w czasie 6 godzin przedstawia rysunek 3.

Rozkład pierwiastków na powierzchni tarcia stopu eutektycznego przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa przedstawia rysunek 4. Otrzymano nierównomierny rozkład atomów węgla, oraz tlenu na powierzchni tarcia. Obecność tlenu może świadczyć o tworzeniu się tlenków. Występowanie tlenków świadczy o utleniającym mechanizmie zużycia.

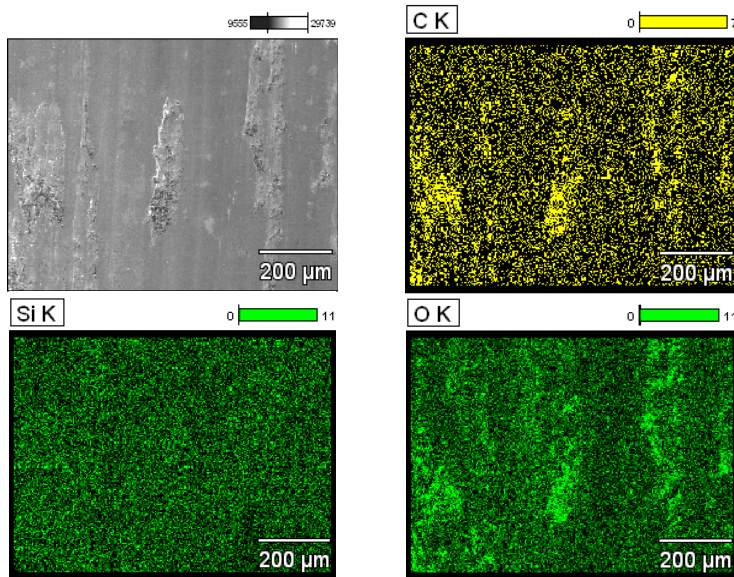
Przeprowadzona mikroanaliza powłoki pozwoliła zbadać skład chemiczny na powierzchni tarcia. Następnie porównano go ze składem chemicznym powłoki przed tarcieniem. Na powierzchni tarcia zaobserwowano wzrost atomów O oraz C w porównaniu do powierzchni powłoki przed tarcieniem. Zawartość węgla wzrasta z 14,11 do 22,31. Zawartość tlenu wzrasta do 7. Natomiast dla Si widoczny jest spadek zawartości tego pierwiastka na powierzchni w porównaniu z próbką przed tarcieniem.



Rys. 2. Ubytek masy powłoki eutektycznej Fe-Mn-B-C-Si-Ni-Cr przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa



Rys. 3. Zmiana współczynnika tarcia powłoki eutektycznej przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa



Rys. 4. Rozkład atomów C, Si, O na powierzchni tarcia stopu eutektycznego eutektycznej przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa

## PODSUMOWANIE

Wieloskładnikowe stopy eutektyczne na podstawie układu Fe-Mn-C-B-Si-Cr-Ni, dają możliwości otrzymywania na powierzchni stali SJ 355 odpornej na zużycie powłoki eutektycznej metodą napawania MAG z wykorzystaniem drutów proszkowych. Wykorzystywane są one między innymi do otrzymywania powłok na nożach pracujących w urządzeniach do rozdrabniania zużytych opon samochodowych.

Wykorzystując skaningowy mikroskop elektronowy SEM uwidoczono wzrost zawartości pierwiastków C, O, na powierzchni tarcia powłoki eutektycznej przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa w porównaniu z próbką przed tarciem. Wykazano, że mechanizm tarcia powłoki eutektycznej jest utleniający.

## PIŚMIENNICTWO

1. Hadad M., Bandyopadhyay P.P., Michler J., Lesage J. Tribological behaviour of thermally sprayed Ti-Cr-Si coatings. *Wear* 267, 2009: 1002–1008.
2. Li J., Xiong D. Tribological behavior of graphite-containing nickel-based composite as function of temperature, load and counterface. *Wear* 266, 2009: 360–367.
3. Granat K. Wieloskładnikowe stopy Fe-C-Cr-Si odporne na zużycie przeznaczone na odlewy i warstwy napawane. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
4. Xinhong W., Zengda Z., Sili S., Shiyao Q. Microstructure and wear properties of insitu TiC/FeCrBSi composite coating prepared by gas tungsten arc welding. *Wear* 260, 2006: 705–710.
5. Rai D., Singh B., Singh J. Characterisation of wear behavior of different microstructures in Ni-Cr-Mo-V steel. *Wear* 263, 2007: 821–829.
6. Wang X., Hanb F., Liu X., Qu S., Zou Z. Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy. *Wear* 265, 2008: 583–589.
7. Garza-Montes-de-Oca N.F., Rainforth W.M. Wear mechanisms experienced by a work roll grade high speed steel under different environmental conditions. *Wear* 267, 2009: 441–448.
8. Chengxin L., Guixin W., Yandong W., Jingang W., Jianjun Z. Analysis of wear resistance and its mechanism in an Fe-Mn-Si-Cr-Ni shape memory alloy. *Materials Science and Engineering*, 2006: 804–807.
9. Khonsari M.M., Booser E.R. *Applied Tribology*. Jon Wiley & Sons, Ltd., Chichester 2008.
10. Paszczko M., Gorecki T. Konstruowanie warstw wierzchnich odpornych na zużycie ścierne ze stopów eutektycznych na podstawie układu równowagi fazowej Fe-Mn-C-B. W: „Technologiczne systemy informacyjne w inżynierii produkcji i kształceniu technicznym”, Lubelskie Towzystwo Naukowe, Lublin 2001: 379–387.
11. Pashechko M., Lenik K. Segregation of atoms of the eutectic alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear. *Wear* 267, 2009: 1301–1304.
12. Lenik K., Paszczko M., Dziedzic K., Barszcz M. The surface self-organization in process friction and corrosion of composite materials, *Archives of Materials Science and Engineering*. Vol. 30, Issue 1, March 2008: 9–12.

13. Pashechko M., Lenik K., Barszcz M., Dziedzic K. Regeneracja części maszyn roboczych metodą napawania z wykorzystaniem stopów eutektycznych. XXII Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 2009: 125–127.

## **WEAR MECHANISM OF EUTECTIC COATING OBTAINED BY WELDING METHOD WITH USE WIRE POWDER**

### **Summary**

Tribological properties of eutectic coating based on Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr system was studied. The coating were obtained by gas metal arc welding GMA with use of wire powder. Pin-on-disk dry sliding wear tests at sliding speeds 0,4 m/s and under load 3 MPa were conducted for pin specimens with eutectic coatings. Material of counter-sample was steel C 45. During frictions a typical tribological properties was observed. After friction structure and distribution of atoms in the eutectic coatings due to wear was studied by scanning electron microscopy (SEM).