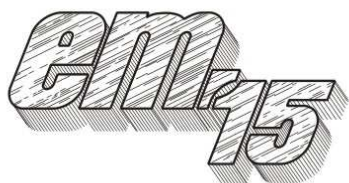


XII Międzynarodowa Konferencja - Electromachining 2015



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Produkcji
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
MECHANIKÓW POLSKICH – Koło Uczelniane UTP

85-789 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7
tel. (0 52) 340-87-47, fax. (0 52) 340-82-45,
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl

Wpływ technologii nanoszenia warstw Fe-C-Cr-B na właściwości zużyciowe w glebowej masie ścierniej

Influence of Applying Technology of Fe-C-Cr-B Layers on Wear Properties in Soil Abrasive Mass

JERZY NAPIÓRKOWSKI
KRZYSZTOF LIGIER
MAGDALENA LEMECHA

W pracy przedstawiono badania intensywności zużycia warstw napawanych w zróżnicowanych warunkach glebowych. Badaniu poddano stal 38GSA, na powierzchnię której nałożono napoiny z wykorzystaniem różnych technologii naniesienia warstw. Uzyskano warstwy charakteryzujące się zbliżoną twardością, zawartością mikrostruktury osnowy i węglików. Różnice dotyczyły stopnia rozdrobnienia węglików borków. Istotne różnice w intensywności zużycia badanych materiałów zanotowano tylko dla gleby lekkiej.

SŁOWA KLUCZOWE: metoda wirującej miski, intensywność zużycia ściernego napoiny, technologie napawania, zużycie w masie ścierniej.

The paper presents the research of wear intensity of welded layers in diverse soil conditions. The samples made of 38GSA steel with the surface layers welded using different welding technologies were subject of the research. When the content of a clay fraction in the soil was increasing then the impact of the welding technology of the surface layer turned up irrelevant. Significant differences in wear of the investigated materials was observed for the light soil.

KEYWORDS: Spinning bowl method, the wear intensity of weld, welding technology, abrasive wear in the soil mass.

Wprowadzenie

Proces zużywania elementów skrawających glebę jest procesem złożonym. Z jednej strony zjawisko to jest następstwem uderzeń cząstek ściernych o warstwę wierzchnią, co prowadzi do zużycia zmęczeniowego i dekohezji. Z drugiej zaś, interakcję masy ścierniej i warstwy wierzchniej traktować można, jako oddziaływanie umocowanych ziaren, przyczyniające się do ubytku materiału wskutek procesów towarzyszących zużyciu ściernemu (mikroskrawanie, bruzdowanie i rysowanie). Dotychczas opracowano wiele zależności pomiędzy właściwościami fizycznymi i chemicznymi glebowej masy ścierniej scharakteryzowanymi składem granulometrycznym, zwięzłością, wilgotnością oraz kwasowością a przebiegiem procesu zużywania tworzyw konstrukcyjnych [1]. W literaturze zwrócono również uwagę na aspekty materiałowe, takie jak np. skład chemiczny i struktura, wpływające na intensywność zużywania warstw wierzchnich [2, 3]. Powszechnie stosowanym sposobem kształtowania składu chemicznego i struktury warstwy wierzchniej elementów obrabiających glebę jest wytwarzanie odpornych na ścieranie warstw za pomocą technik spawalniczych [4, 5]. Poprzez napawanie uzyskuje się warstwy powierzchniowe, których grubości wynoszą od dziesiątych części milimetra nawet do kilku milimetrów. Stosując metody spawalnicze można modyfikować skład chemiczny materiału rodzimego wprowadzając do niego składniki dodatkowe wpływające na podwyższenie odporności na zużycie ścierne.

Procesu napawania dokonuje się materiałami dodatkowymi, których skład chemiczny różni się od składu chemicznego podłoża. Napawanie można wykonywać materiałami w postaci elektrod otulonych, samoosłonowych drutów proszkowych o rdzeniu topikowym lub metalicznym, drutów

litych, a także proszków metalicznych, których ziarnistość w zależności od technologii nakładania wynosi 100- 400µm.

Do powszechnie stosowanych technologii napawania elementów roboczych obrabiających głębę zaliczyć można [6, 7, 9]:

- napawanie gazowe polegające na nakładaniu na powierzchnię nadtopioną warstwę ciekłego metalu, który uległ stopieniu w płonieniu gazowym. W technologii tej spoiwo może występować w postaci proszku metalicznego, drutu proszkowego lub litowego. Jako podstawowy gaz palny wykorzystywany jest acetylen, którego temperatura płomienia wynosi ok. 3100°C,

- napawanie ręczne łukowe elektrodą otuloną polega na stopieniu ciepłem łuku elektrycznego pokrywano metalu i materiału elektrody. W jednym przejściu można uzyskać warstwę o grubości 1 – 5 mm. Ze względu na niski koszt i uniwersalność jest to powszechnie stosowana metoda do nakładania napoin ze stali niskostopowych, niskowęglowych, specjalnych, wysokostopowych, stopów Cu, Co, Ni, Al, oraz żeliwa. Jako materiał dodatkowy do nanoszenia powłok stosuje się elektrody otulone z pełnym lub proszkowym rdzeniem,

- napawanie łukowe drutem z rdzeniem proszkowym polega na stopieniu materiału spawanego wykorzystując energię cieplną generowaną przez łuk elektryczny prądu stałego. Drut elektrodowy wykonany jest w postaci cienkościennej rurki (ze szwem lub rzadko bezszwowej) wypełnionej proszkiem metalicznym o specjalnych właściwościach. Rdzeń proszkowy metaliczny służy głównie do regulacji składu chemicznego stopiwa i podnoszeniu prędkości stapania drutu (wydajności spawania). Jedną z cech drutów proszkowych, mających istotne znaczenie praktyczne, jest duża wydajność ich stapania w porównaniu ze spawaniem elektrodami otulonymi,

- napawanie plazmowe polega na stapianiu materiału dodatkowego w postaci proszku metalicznego, z minimalnie nadtopionym podłożem w łuku plazmowym o temperaturze wynoszącej 18000 - 24000°C. Do palnika plazmowego wprowadzany jest proszek za pomocą gazu transportującego – argonu, który zapewnia ochronę przed dostaniem się powietrza. Cechą charakterystyczną napawania plazmowego jest niewielka głębokość wtapienia spoiwa. Podczas jednego przejścia uzyskuje się napoinę o grubości 0,25 – 6 mm. Jako materiał dodatkowy wykorzystywany jest proszek na osnowie niklu, chromu, kobaltu, cyny, żelaza i miedzi.

Wybór technologii napawania zależy od rodzaju materiałów dodatkowych, rodzaju materiału podłoża, grubości powłoki, rodzaju napawanych elementów oraz wymaganej wydajności procesu [10]. W wyniku napawania następuje stopienie i wymieszanie materiału dodatkowego i podłoża. Udział materiału podłoża w strukturze napoiny, może osiągać od kilku do kilkudziesięciu procent zależnie od zastosowanej technologii. Dla napawania elektrodą otuloną udział materiału podłoża w powłoce wynosi 10 – 40%, przy napawaniu plazmowym 5 – 15%, najmniejszy natomiast przy napawaniu gazowym, bo 2 – 10% [6, 8]. Różny udział materiału podłoża w warstwie wierzchniej wpływa na jej właściwości.

Celem pracy jest ocena wpływu technologii naniesieni na intensywność zużycia napoin w zróżnicowanych glebowych masach ściernych.

Materiały do badań

Badaniom poddano napoiny uzyskane poprzez nałożenie na stal 38 GSA. Skład chemiczny stali przedstawiał się następująco: C – 0,38%, Mn – 1,07%, Si – 1,17%, P –

0,028%, Cr – 0,18%, Cu – 0,16%, Al – 0,022%. Napoiny nakładano na lemiesze wykonane ze stali 38GSA hartowanej na wskroś. Materiał podkładki ma strukturę martenzytu z bainitem i troostytem (rys. 1). Zmierzona twardość materiału podłoża wynosiła 414HV10.

Na powierzchnię stali nałożono materiały dodatkowe zawierające C+Cr+B (tab. 1) z wykorzystaniem:

- elektrody EI-Hard 70,
- drutu proszkowego F-64,
- proszku metalicznego PMFe61P.

Tab. 1. Skład chemiczny badanych napoin

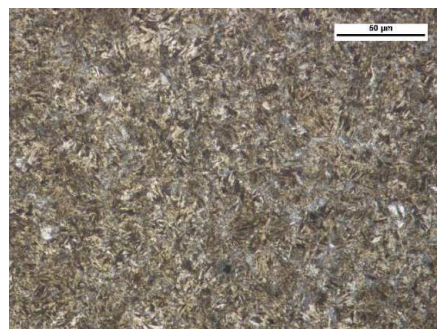
Rodzaj materiału	Zawartość pierwiastków w %					
	C	Mn	Si	Cr	B	Fe
Elektroda otulona EI-Hard 70	5,0	-	-	38,0	3,50	reszta
Drut proszkowy F-64	4,5	1,6	1,0	24,0	1,0	reszta
Proszek PM-Fe61P	3,6	1,19	2,30	32,9	2,1	reszta

Napawanie elektrodą EI-Hard 70 prowadzono ręcznie stosując elektrody o średnicy 4mm, przy natężeniu prądu 140A. Drut proszkowy F-64 o średnicy 3,2mm nakładano poprzez napawanie łukiem krytym w osłonie argonu, przy natężeniu prądu 380A. Proszek metaliczny PMFe610-P o ziarnistości od 200 do 400µm, nakładano na wstępnie oczyszczoną poprzez obróbkę strumieniowo – ścierną próbkę stali 38GSA, stosując napawanie plazmowe w osłonie argonu za pomocą urządzenia NP1-250, przy natężeniu prądu 95A i prędkości napawania 0,00127m/s przy zużyciu proszku 2,7 kg/h.

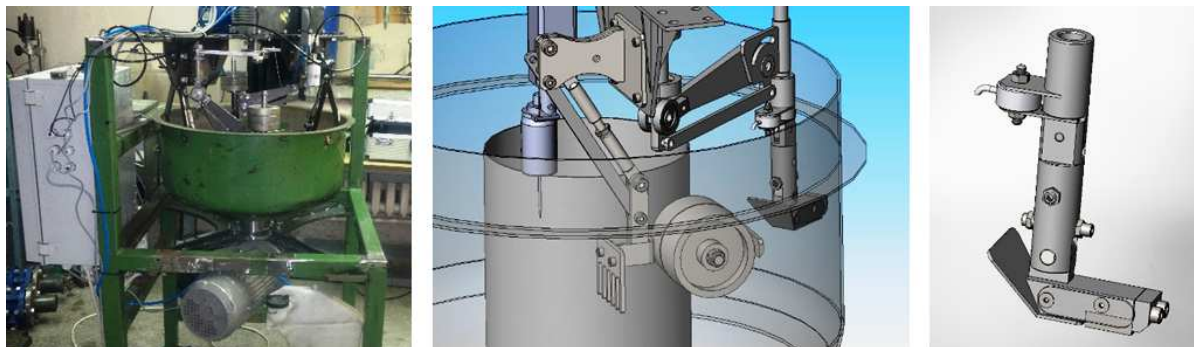
Metodyka badań

Badania wykonano w warunkach laboratoryjnych metodą „wirującej misy” (rys. 2). Badaniu odporności na zużywanie poddano wcześniej oczyszczone próbki prostopadłościenne o wymiarach 30 x 25 x 10mm. Misę maszyny wypełniono naturalną glebową masą ścierną odpowiadającą glebie suchej, zgodnie z klasyfikacją Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego z 2008 roku, o następującym składzie granulometrycznym:

- gleba lekka: il: 1,69%; pył: 20,83%; piasek: 77,48%,
- gleba średnia: il: 7,02%; pył: 40,32%; piasek: 52,66%,
- gleba ciężka: il: 16,5%; pył: 49,92%; piasek: 33,62%.



Rys. 1. Stal 38GSA Mikrostruktura martenzytu odpuszczania (brązowe obszary) z bainitem (jasne obszary iglaste) oraz niewielkim udziałem troostytu (ciemne)



Rys. 2. Widok ogólny stanowiska oraz widok jednej sekcji badawczej i uchwytu próbki

Podczas badań przyjęto następujące parametry tarcia: prędkość 1,40 m/s, droga tarcia 10000 m, nacisk jednostkowy 67 kPa. Pomiaru zużycia dokonywano co 2000 m. Zużycie jednostkowe wyznaczono na podstawie wzoru:

$$Z_j = \frac{Z_w}{s \cdot P} \text{ [g/km} \cdot \text{cm}^2] \quad (1)$$

gdzie: Z_w – zużycie masowe [g], s – droga tarcia [km], P – pole powierzchni badanej próbki [cm^2];

Pomiaru twardości oraz ocenę metalograficzną struktury badanych materiałów prowadzono przy użyciu następującej aparatury badawczej:

- twardość materiałów zmierzono za pomocą twardościomierza Vickersa typu HM010u zgodnie z PN-EN ISO 6507-1:1999; Zastosowano obciążenie węgelnika 98 N, w ciągu 10 s,
- badania mikroskopowe metodami mikroskopii świetlnej prowadzono za pomocą mikroskopu Neophot 52 sprzężonego z kamerą cyfrową Visitron Systems,
- badania metodami elektronowej mikroskopii skaningowej oraz mikroanalizy składu chemicznego prowadzono za pomocą mikroskopu skaningowego JEOL JSM – 5800 LV sprzężonego z mikroanalizatorem promieniowania rentgenowskiego Oxford LINK ISIS – 300.

Wyniki badań

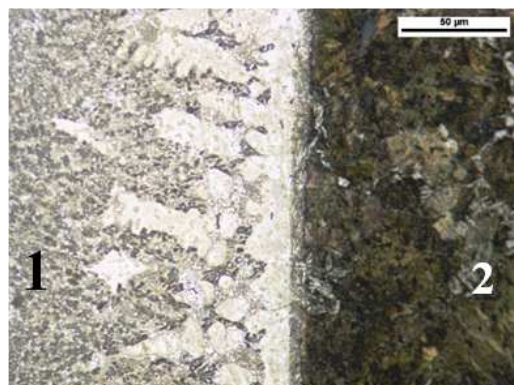
Na podstawie przeprowadzonych badań zidentyfikowano następujące charakterystyki warstwy wierzchniej napoin:

1. EI-Hard 70 (rys. 3, 4, 5) – duże (niekiedy pofragmentowane) wydzielania pierwotnych węglików chromu z drobnymi węglnikami boru w warstwie napawanej. Osnowę stanowi mieszanina o budowie ledeburytycznej składająca się z ferrytu stopowego i drobnych węglików. Twardość – 776HV10.
2. F-64 – mikrostruktura warstwy napawanej, duże wydzielania węglików chromu w osnowie mieszaniny ferryt stopowy + węgliki. Twardość - 786HV10 (rys. 6, 7).
3. PMFe61P – strefę wytopu stanowi ferryt stopowy; napoina: węgliki pierwotne o budowie listwowej w osnowie eutektyki oraz borki i węglikoborki. Twardość - 720HV10 (rys. 8, 9).



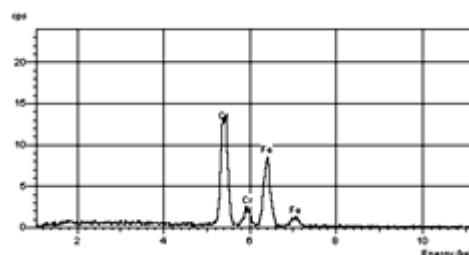
Rys. 3. Makroskopowy obraz budowy warstwy powierzchniowej napoiny EI-Hard 70

Makroskopowy obraz budowy warstwy napawanej i podkładki. W napoinie widoczne są duże rozległe pęknięcia oraz liczne drobne i rozproszone (niekiedy rozłożone łańcuszkowo) nieciągłości.



Rys. 4. Mikrostruktura strefy wtopienia w napoinie EI-Hard 70

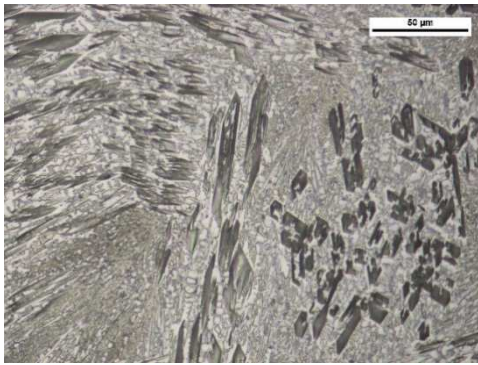
W napoinie (1) „pasek” ferrytu stopowego z wydzieleniami drobnych węglików boru. Materiał podkładki (2) o budowie martenzytu (obszary brązowe) z troostytem (obszary ciemne) oraz nielicznymi wydzieleniami (jasne) nierównowagowego ferrytu. Pow. 500x, trawiono 3% HNO_3 (Mi1Fe) a następnie elektrolitycznie kwasem chromowym, mikroskopia świetlna.



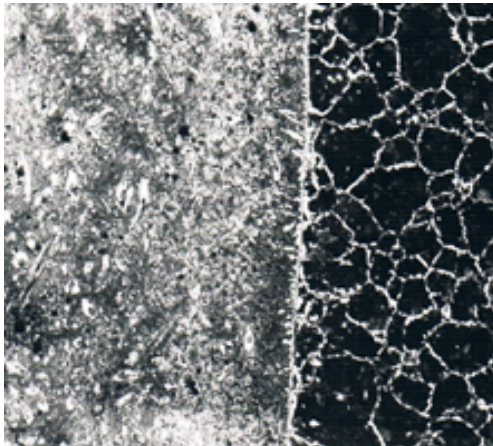
Rys. 5. Widmo energetyczne EI-Hard 70 promieniowania rentgenowskiego z obszaru węglika



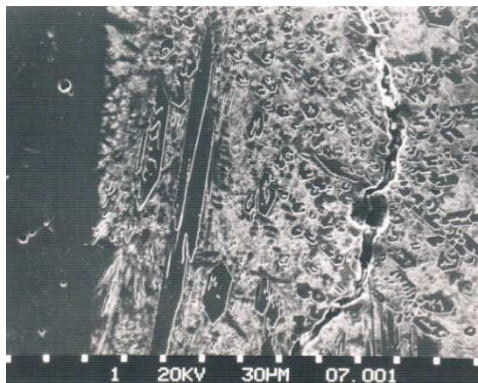
Rys. 6. Makroskopowy obraz budowy warstwy powierzchniowej F-64 i podkładki



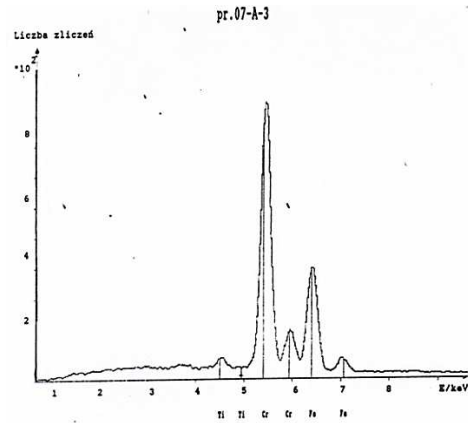
Rys. 7. Mikrostruktura warstwy napawanej duże wydzielienia pierwotnych węglików chromu (typu M7C3) w osnowie mieszaniny ferryt stopowy + węgliki



Rys. 8. Strefa wytopu oraz fragmenty napoiny PMFe61P i podkładki. Fotografia świetlna

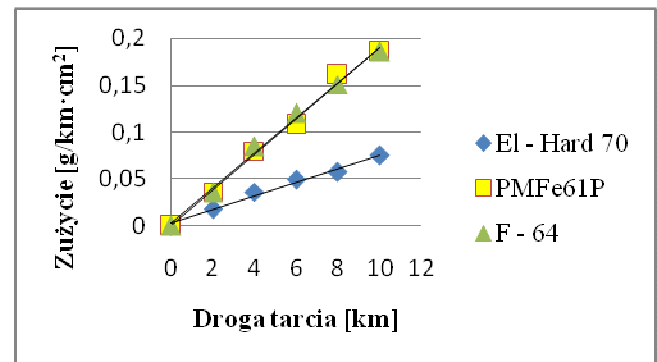


Rys. 9. Odbiciowy obraz warstwy powierzchniowej napoiny PMFe61P. Węgliki pierwotne w osnowie eutektyki

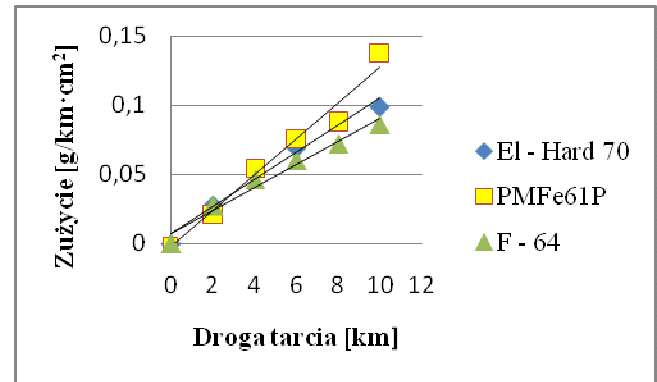


Rys. 10. Widmo charakterystyczne promieniowania rentgenowskiego z obszaru węgla pierwotnego napoiny PMFe61P

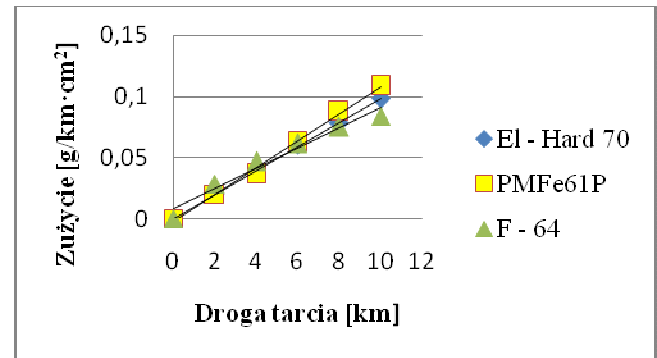
Wyniki badania wartości zużycia wagowego badanych materiałów w funkcji drogi tarcia dla poszczególnych typów masy glebowej przedstawiono na rys. 11 - 13.



Rys. 11. Przebieg zużycia w glebie lekkiej



Rys. 12. Przebieg zużycia w glebie średniej



Rys. 13. Przebieg zużycia w glebie ciężkiej

W celu określenia istotności wpływu technologii naniesienia materiału dodatkowego na wartość zużycia zastosowano analizę wariancji. Dla każdego rodzaju gleby przyjęto hipotezę zerową o braku różnic pomiędzy wartościami zużycia po drodze tarcia 10km i hipotezę alternatywną o wy-

stępowaniu istotnych różnic w zużyciu w zależności od technologii nakładania warstwy napawanej. W przypadku, gdy hipotezę zerową należy odrzucić na korzyść alternatywnej, zastosowano test Duncana dla wyróżnienia grup jednorodnych.

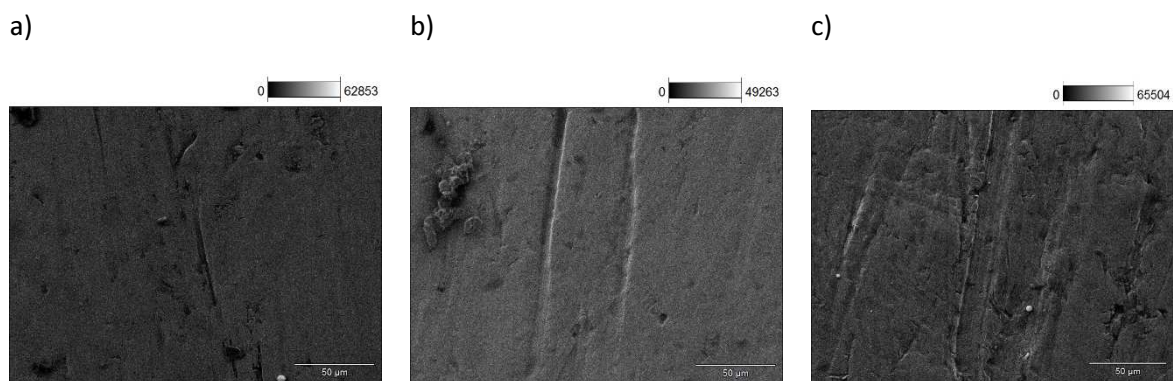
Wyniki analizy statystycznej zamieszczono w tabeli 2.

Na podstawie uzyskanych z badań wyników można stwierdzić, że tylko w przypadku gleby lekkiej uzyskano istotne różnicowanie wartości zużycia warstw napawanych. Warstwa wierzchnia uzyskana poprzez napawanie elektrodą EI-Hard 70 wykazała ponad dwukrotnie mniejszą intensywność zużycia w stosunku do pozostałych warstw. Analizując przebieg zużycia materiałów w glebie średniej i ciężkiej nie odnotowano istotnych różnic w intensywności ich zużywania.

Tab. 2. Wyniki analizy wariancji

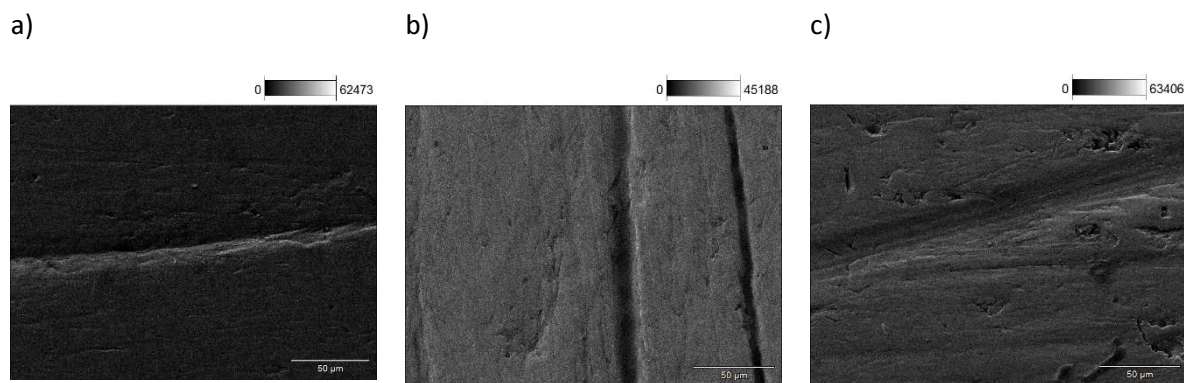
Gleba	Wyniki analizy wariancji	Grupy jednorodne	Wartości średnie zużycia po 10km [g/km cm ²]
Lekka	Hipotezę H0 należy odrzucić na korzyść hipotezy H1	1. EI-Hard 70	1. 0,080
		2. PMFe61P F-64	2. 0,019
Średnia	Nie ma podstaw do odrzucenia H0	1. EI-Hard 70, PMFe61P, F-64	0,107
Ciężka	Nie ma podstaw do odrzucenia H0	1. EI-Hard70, PMFe61P, F-64	0,110

Na rys. 14 i 15 przedstawiono widok powierzchni napoiwy EI-Hard70 oraz F-64. Zaobserwować można, że dla gleby ciężkiej i średniej większy udział w zużyciu mają procesy mikroskrawania i bruzdowania, a dla gleby lekkiej obok pojedynczych śladów bruzdowania liczne zużycie zmęczeniowe w wyniku uderzeń luźno ze sobą powiązanych ziaren piasku.



Rys. 14. Widok powierzchni napoiwy EI-Hard70 używanej w różnych warunkach glebowych

a – gleba ciężka, b- gleba lekka, c – gleba średnia



Rys. 15. Widok powierzchni napoiny F-64 zużywanej w różnych warunkach glebowych

a – gleba ciężka, b- gleba lekka, c – gleba średnia

W napoinie uzyskanej poprzez naniesienie elektrody EL-Hard70 uzyskano liczne wydzielania pierwotnych węglików chromu z drobnymi węglikami boru. Drobne węgliki są mniej podatne na wykruszanie poprzez dynamiczne oddziaływanie ziaren piasku, stąd mniejsze zużycie tej warstwy w glebie lekkiej.

Wnioski

- O intensywności zużywania napawanych warstw wierzchnich w glebowej masie ścierniej decyduje przede wszystkim skład chemiczny materiału dodatkowego, nie zaś technologia nałożenia.
- Dla masy glebowej z dużą zawartością luźnych ziaren ściernych o przebiegu zużywania decyduje wielkość wydzieleni węglikowych. Wraz ze zmniejszaniem wielkości węglików następuje zmniejszenie intensywności zużywania.
- Przebieg zużywania badanych napoin w glebach ze zwiększoną zawartością iltu i pyłu charakteryzuje się zbliżonymi wartościami intensywności zużycia.

LITERATURA

1. Napiórkowski J., Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych. Komitet Techniki Rolniczej PAN Nr 12 (27) Kraków 2005 s.171.
2. Bhakat A.K., Mishra A.K. and Mishra N.S., Characterization of wear and metallurgical properties for development of agricultural grade steel suitable in specific soil conditions. *Wear*, Volume 263, Issues 1-6, 10 September 2007, Pages 228-233.
3. Napiórkowski J., Analiza właściwości glebowej masy ścierniej w aspekcie oddziaływania zużyciowego. *Tribologia* v41, nr 5, 2010, (233) s. 53-62.
4. Pękalski G., Dudziński W., Sachadel U., Alenowicz J., Some macro- and microstructural aspects of pad welded layer durability. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 5, nr 2, Wrocław, 2005, s. 85-104.
5. Napiórkowski J., Konat Ł., Pękalski G., Kołakowski K., Structure of the EL – Hard Padding Welds as a Function of the Abrasive Wear Resistance. *Foundry Engineering* Volume 13, 1/2013, s. 73-82.
6. Dobrzański L.A., Dobrzańska – Dankiewicz A.D. Technologie kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich z wykorzystaniem promieniowania laserowego i innych technologii spawalniczych. *Open Access Library*, 2011, vol. 5, s. 181- 225.
7. Dobrzański L.A., Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Wydanie II zmienione i uzupełnione, WNT, Warszawa, 2006.
8. Klimpel A., Napawanie i natryskiwanie cieplne, WNT, Warszawa, 2000.
9. Talikowski M., Ulbin – Pokorska I., Wierchoń T., Microstructure of the composite oxynitrided chromium layers produced on steel by a duplex

method. *Surface and Coatings Technology* 201/6 (2006), s. 2776-2781.

10. Blicharski M., *Inżynieria powierzchni*. WNT, Warszawa, 2009.