

Jerzy NAPIÓRKOWSKI*, **Krzysztof LIGIER***,
Grzegorz PEKALSKI**

WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE WĘGLIKÓW SPIEKANYCH W GLEBOWEJ MASIE ŚCIERNEJ

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENTED CARBIDES IN ABRASIVE SOIL MASS

Słowa kluczowe:

węgliki spiekane, zużycie ściernie, metoda wirującej miski, intensywność zużycia ściernego

Key words:

cemented carbide, abrasive wear, spinning bowl method, abrasive wear intensity

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania intensywności zużycia węglików spiekanych B26 i G10 w zróżnicowanych warunkach glebowych metodą wirującej miski. Intensywność zużycia porównywano ze stalą Hardox 500. Określono właściwości tribologiczne badanych materiałów takie, jak twardość, strukturę i skład chemiczny. Badania wykonano z wykorzystaniem trzech rodzajów glebowej

* Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, ul. M. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn, Polska, e-mail: jerzy.napiorkowski@uwm.edu.pl, krzysztof.ligier@uwm.edu.pl.

** Politechnika Wrocławska, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, ul. M. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, Polska, e-mail: Grzegorz.Pekalski@pwr.wroc.pl.

masy ścierniej. Intensywność zużywania węglików okazała się, zależnie od rodzaju masy ścierniej, od 4 do 12 razy mniejsza niż stali Hardox. Na podstawie analizy powierzchni po zużyciu stwierdzono, że w procesie zużywania węglików spiekanych można wyróżnić dwa etapy a intensywność ich przebiegu jest związana ze składem granulometrycznym masy ścierniej.

WPROWADZENIE

Problematyka zużywania się elementów użytkowanych w głębokiej masie ścierniej jest bardzo złożona. Zużywanie zachodzi pod wpływem uderzeń cząstek ścierających o powierzchnię materiału ścieranego (zużycie poprzez dekohezję, zmęczenie), jednak cząstki te w przypadku mas ściernych zwięzłych mogą być traktowane jako ziarna umocowane powodujące ubytki materiału na skutek procesów charakterystycznych dla zużycia ściernego (rysowanie, mikroskrawanie i brzdowanie). W pracy [L. 1] wykazano związek pomiędzy właściwościami fizycznymi i chemicznymi gleby scharakteryzowanymi składem granulometrycznym, zwięzłością, wilgotnością oraz kwasowością a przebiegiem procesu zużywania tworzyw konstrukcyjnych. W rzeczywistych warunkach eksploatacji o trwałości stosowanych elementów decydują przede wszystkim właściwości materiałowe elementów roboczych [L. 2, 3, 4]. W produkcji elementów roboczych coraz częściej tworzywem zastępczym dla tworzyw stalowych stają się materiały ceramiczne i kompozytowe [L. 5]. Prowadzone prace badawcze nad zużywaniem węglików spiekanych stosowanych do obróbki skał wykazują, że proces zużywania związany jest z dwoma procesami: erozją osnowy oraz pękaniem węglików. Zaobserwowano, że stopień zużycia jest większy dla kompozytów charakteryzujących się wysoką odpornością na pęknięcie i niższą odpornością na ścieranie [L. 6]. Stwierdzono, że znaczny udział w zużywaniu węglików spiekanych ma usuwanie fazy spoiwa z warstw powierzchniowych materiału i akumulacji deformacji plastycznej ziaren WC poprzez pęknięcie i rozdrobnienie [L. 7, 8]. Metody badań węglików na pęknięcie i zużycie ściernie są przedstawione między innymi w pracach Ścieszki i zespołu [L. 9, 10]. Ponowne osadzenie fragmentów ziaren węgla wolframu do spoiwa występowało zwłaszcza w przypadku węglików spiekanych o wysokiej zawartości fazy spoiwa. Uważa się, że to ponowne osadzenie wzmacnia powierzchnię i zmniejsza intensywność zużycia powierzchni. Innymi słowy, dobra odporność na ścieranie tych materiałów może być w części związana z samolepszeniem się powierzchni, dając podwyższone właściwości powierzchni [L. 8]. O trwałości i przebiegu zużywania narzędzi z węglików spiekanych decyduje wielkość ziaren i zawartość kobaltu.

Celem pracy jest analiza zużywania warstw wierzchnich wytworzonych z węglików spiekanych w porównaniu ze stalą odporną na zużycie ściernie HARDOX 500 w głębokiej masie ścierniej.

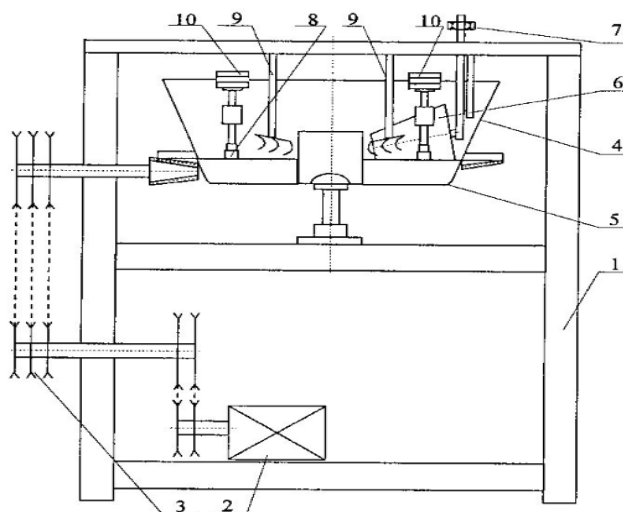
MATERIAŁY DO BADAŃ

Do badań wykorzystano węgliki spiekane o oznaczeniu fabrycznym G10 i B26. Tworzywa te wytworzono poprzez spiekanie w wysokiej temperaturze, bez udziału fazy ciekłej, pierwiastków w stanie stałym mającym postać krystaliczną bez udziału fazy szklistej. Węgiel B26 należy do grupy gatunkowej węglików stosowanych do zbrojenia narzędzi górniczych, natomiast węgiel G10 zaliczany jest do węglików z przeznaczeniem na elementy maszyn odpornych na ścieranie. Zawartość węgla wolframu zgodnie z informacjami producenta w węgliku G10 wynosiła 94%, i w węgliku B26 – 85%. Zawartość kobaltu wynosiła odpowiednio 6 i 15%. Węgliki spiekane w postaci płytek o grubości 2 mm naniesiono poprzez lutowanie na stal Hardox 500.

W celach porównawczych zbadano w tych samych warunkach zużycie powszechnie stosowanej stali odpornej na zużywanie ściernie Hardox 500.

METODYKA BADAŃ

Badania realizowano na stanowisku laboratoryjnym typu „wirującej miski” (**Rys. 1**). Misa maszyny zużyciowej napełniona była naturalną glebową masą ścierną (**Tab. 1**). Badane próbki miały kształt prostopadłościanu o wymiarach 30×25×10 mm.



Rys. 1. Stanowisko do badania zużycia w glebie: 1 – rama, 2 – silnik, 3 – przekładnia pasowa, 4 – miska, 5 – gleba, 6 – rolki ugniatające, 7 – docisk rolki, 8 – uchwyt z próbką, 9 – widelki spulchniające, 10 – obciążniki próbki

Fig. 1. Wear test stand in the soil: 1 – frame, 2 – engine, 3 – belt transmission, 4 – bowl, 5 – soil, 6 – kneading rolls, 7 – roll pressure, 8 – sample holder, 9 – opening forks, 10 – sample weights

Tabela 1. Charakterystyka glebowej masy ścierniej

Table 1. Characteristics of abrasive soil mass

Opis gleby	Piasek 1÷0,1 mm	Pył 0,1÷0,02 mm	Części spławialne < 0,02 mm	Wilgotność wagowa
	[%]	[%]	[%]	[%]
Gleba ciężka	33,62	49,92	16,56	15
Gleba lekka	77,48	20,83	1,69	9
Gleba średnia	52,66	40,32	7,02	12

Przyjęto następujące parametry tarcia: droga 20000 m, prędkość 1,39 m/s oraz nacisk jednostkowy 67 kPa. Wilgotność masy glebowej odpowiadała glebie suchej. Ocenie poddano strukturę i mikrostrukturę warstw węglkowych oraz mechanizmy zużywania w poszczególnych masach glebowych. Badania makroskopowe przeprowadzono mikroskopem stereoskopowym SMT 800 współpracującym z aparatem cyfrowym Nikon Coolpix i kamerą cyfrową Visitron Systems. Do badań mikroskopowych wykorzystano mikroskop świetlny – Neophot 52 sprzężony z kamerą cyfrową Visitron Systems. Do mikroanaliz składu chemicznego wykorzystano skaningowy mikroskop elektronowy JEOL JSM – 5800 LV sprzężony z mikroanalizatorem promieniowania rentgenowskiego Oxford LINK ISIS – 300. Oceny powierzchni po zużyciu dokonano po przebiegu całkowitej drogi tarcia za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego JEOL typu JSM 5310LV w układzie cyfrowym. Mikroskop wyposażony w detektor elektronów odbitych, detektor elektronów wtórnych i spektrometr rentgenowski typu EDS Ultra DR7 Thermo-Scientific. Oceny twardości dokonano metodą Vickersa zgodnie z PN-EN ISO 6507-1:1999, używając twardościomierza HM10. Zastosowano obciążenie węgelnika 98 N w ciągu 10 s.

Do oceny ilościowej zużycia przyjęto ubytki wagowe odniesione do jednego cm² ścierniej powierzchni i drogi tarcia. Każdy pomiar masy poprzedzało czyszczenie próbki w myjce ultradźwiękowej.

WYNIKI BADAŃ

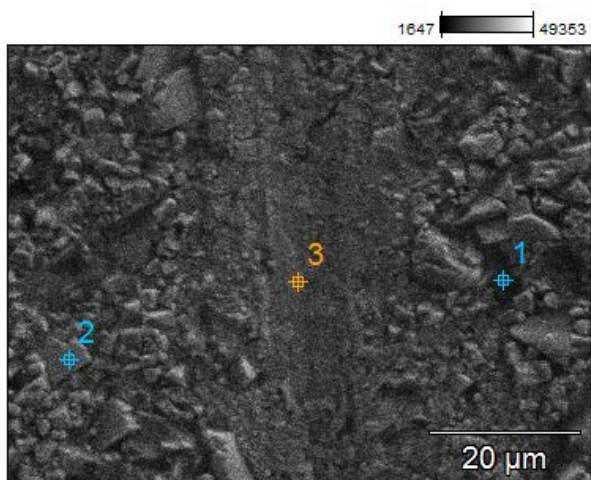
Mikrostrukturę oraz twardość badanych materiałów przedstawiono w **Tabeli 2**.

Skład chemiczny węglków wyznaczono metodą mikroanalizy promieniowania rentgenowskiego (**Rys. 2**) i przedstawiono w **Tabeli 3**.

Zmiany składu chemicznego węgelnika B26 w zużytej próbce w zależności od miejsca pomiaru oznaczonych na **Rys. 2** przedstawiono w **Tabeli 3**.

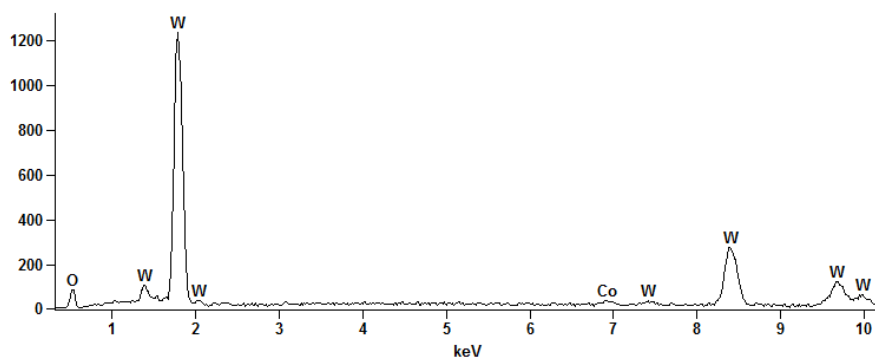
Tabela 2. Charakterystyka warstw wierzchnich badanych węglików
 Table 2. Characteristics of surface layers of investigated cemented carbides

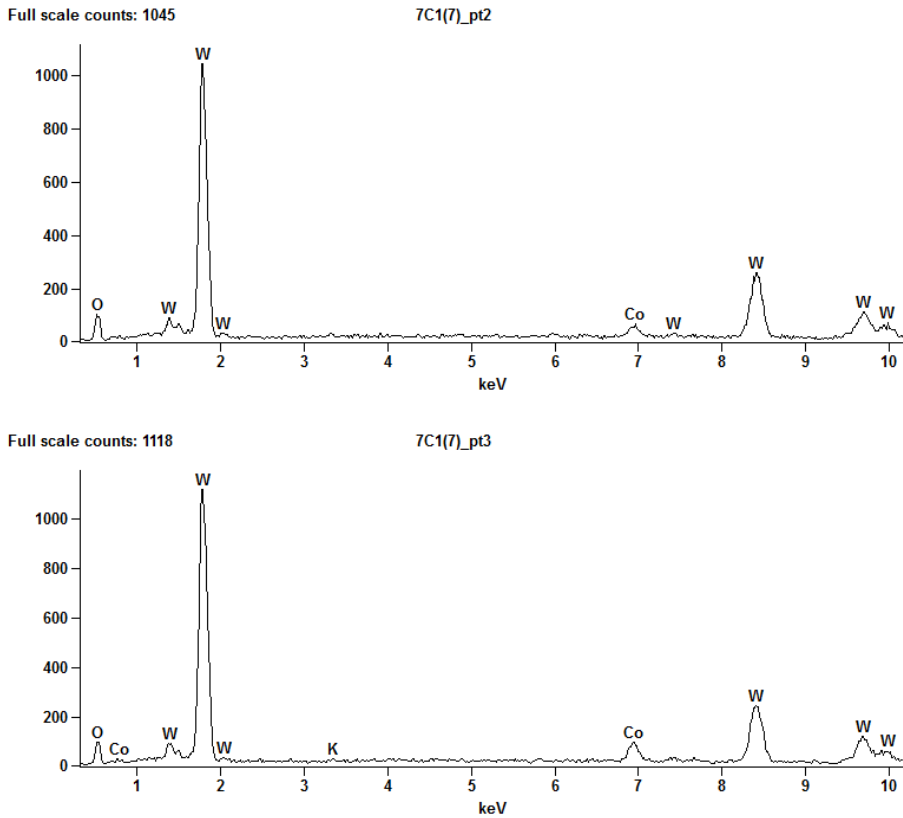
Material	Struktura	Twardość HV10
G10	<ul style="list-style-type: none"> - α – węgiel wolframu WC pierwotny, o wielkości ziarna 0,001 – 0,002 mm - $\alpha 1$ – roztwór stały kobaltu w węglu wolframu WC pierwotnym, który nie uległ rekrytalizacji podczas spiekania, - $\alpha 2$ – węgiel wolframu WC wtórny, o wielkości ziarna 0,004 – 0,006 mm, który uległ rekrytalizacji podczas spiekania, 	1430
B26	<ul style="list-style-type: none"> - γ – roztwór stały wolframu, tantalu i węgla w kobalcie, 	1618
Hardox 500	Martenzyt odpuszczony	485



Full scale counts: 1232

7C1(7)_pt1





Rys. 2. Miejsca badania składu chemicznego i widma energetyczne promieniowania rentgenowskiego w punktach pomiarowych próbki węgla B26

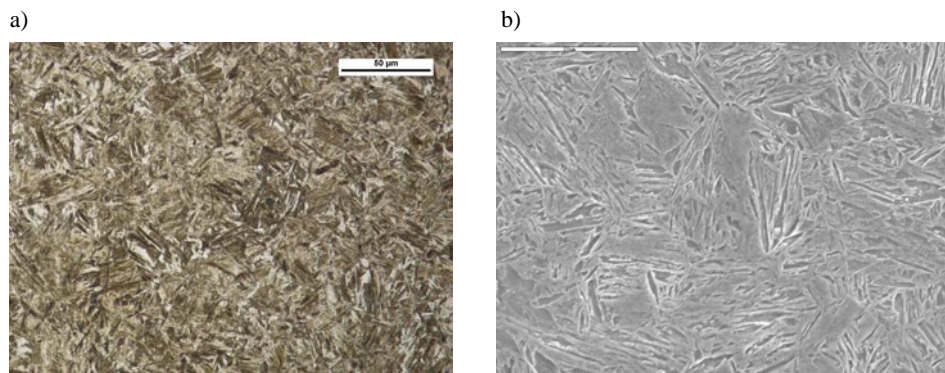
Fig. 2. Measuring points of B26 cemented carbide sample in X-rays energy spectra of the chemical composition

Tabela 3. Skład chemiczny węgla B26

Table 3. Chemical composition of B26 cemented carbide

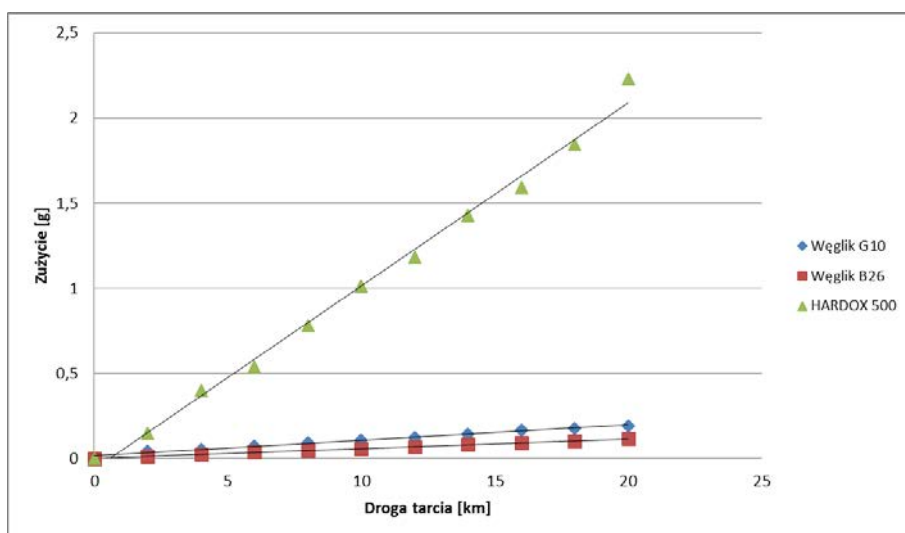
Punkt badania	C [% wagowo]	O [% wagowo]	Co [% wagowo]	W [% wagowo]
1	9,91	15,19	1,24	73,66
2	14,19	17,75	2,74	65,32
3	6,78	16,35	5,11	71,33

Skład chemiczny stali Hardox 500 przedstawiał się następująco %C-0,29, %Si-0,70, %Mn-1.60, %Cr-1.00,%Ni-0,50, %Mo-0,60,%B-0,004, zaś jej mikrostrukturę przedstawiono na **Rys. 3**.



Rys. 3. Mikrostruktura martenzytu odpuszczonego: a) pow. 500×, trawiono 3% HNO_3 (Mi1Fe), mikroskopia świetlna, b) pow. 2000×, trawiono 3% HNO_3 (Mi1Fe), mikroskopia SEM

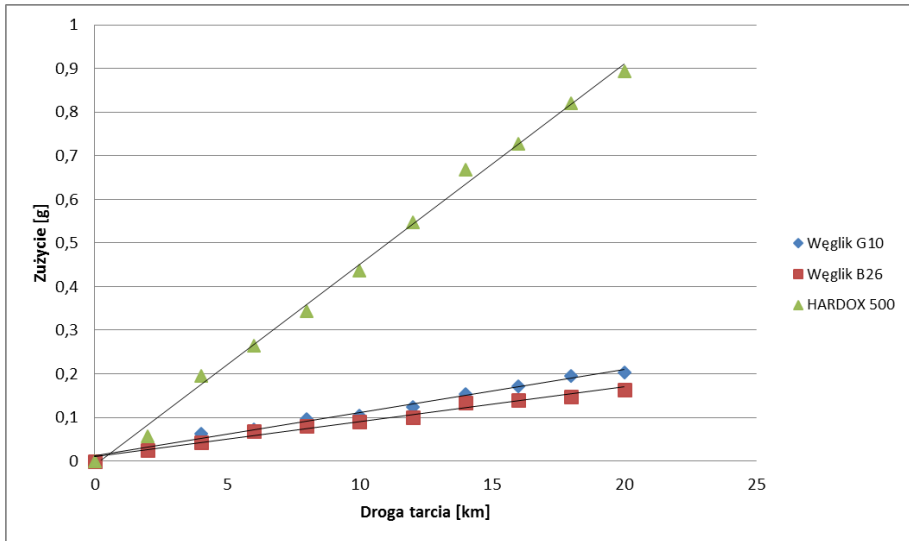
Fig. 3. Microstructure of tempered martensite: a) 500× mag., etching with 3% HNO_3 (Mi1Fe), light microscopy, b) 2000× mag., etching with 3% HNO_3 (Mi1Fe), SEM microscopy



Rys. 4. Przebieg zużycia w glebie ciężkiej

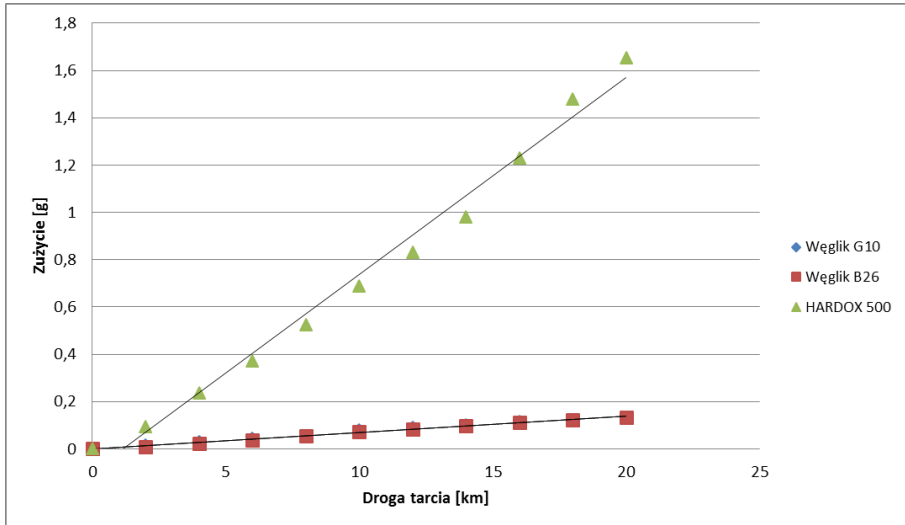
Fig. 4. Wear course in heavy soil

Uzyskane z badań wyniki poddano obliczeniom statystycznym celem uszeregowania warstw o największej odporności na zużycie w poszczególnych glebowych masach ściernych procedurą ANV_P_KL wykorzystującą klasyfikację pojedynczą analizy wariancji z programu WINSTAT 2 (11). W wyniku uszeregowania warstw w grupy o jednakowej odporności na zużycie, przeprowadzonego metodą Tukeya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, stwierdzono brak



Rys. 5. Przebieg zużycia w glebie lekkiej

Fig. 5. Wear course in light soil

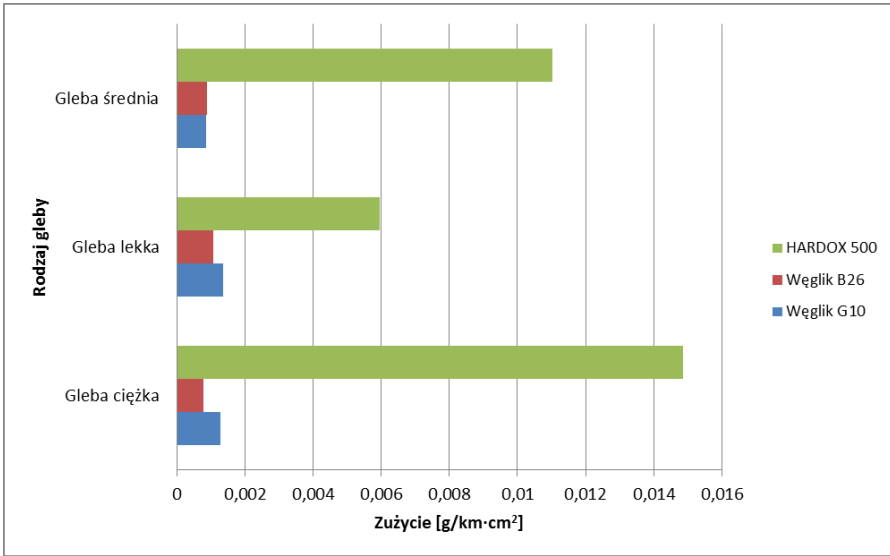


Rys. 6. Przebieg zużycia w glebie średniej

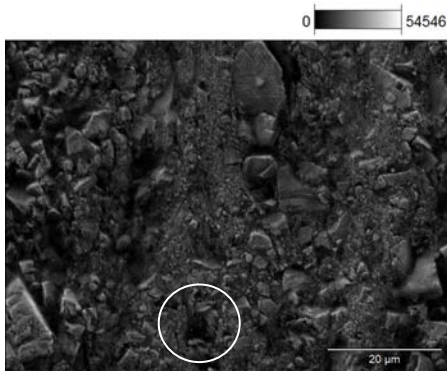
Fig. 6. Wear course in medium soil

istotnych statystycznie różnic w wartościach zużycia jednostkowego dla węglików w poszczególnych masach ściernych. Intensywność zużywania węglików (Rys. 4–7) jest od 4 do 12 razy mniejsza od stali Hardox 500 w zależności od

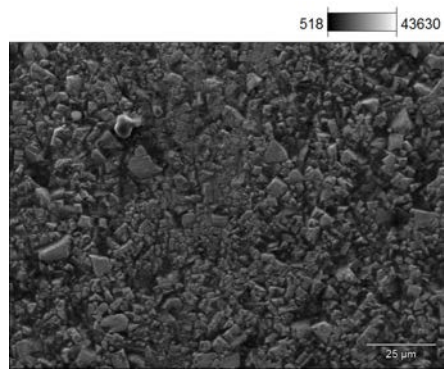
rodzaju masy ścierniej. Przy czym najmniejsza różnica występuje dla gleby lekkiej. Ma to związek z najmniejszym udziałem frakcji pyłastej i części spławialnych w tego rodzaju masie ścierniej. Te najdrobniejsze frakcje masy ścierniej w połączeniu z wilgocią są odpowiedzialne za usuwanie osnowy z powierzchni próbek z węglików spiekanych. Większy udział tych drobnych frakcji w masie ścierniej powoduje wzrost intensywności zużycia węglików spiekanych.



Rys. 7. Zestawienie wartości zużycia jednostkowego
 Fig. 7. Wear values comparison of investigated materials



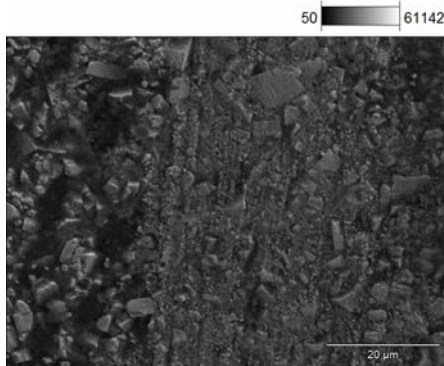
Rys. 8. Powierzchnia węglika B26 zużywanego w glebie ciężkiej
 Fig. 8. B26 cemented carbide surface worn in heavy soil



Rys. 9. Powierzchnia węglika G10 zużywanego w glebie ciężkiej
 Fig. 9. G10 cemented carbide surface worn in heavy soil

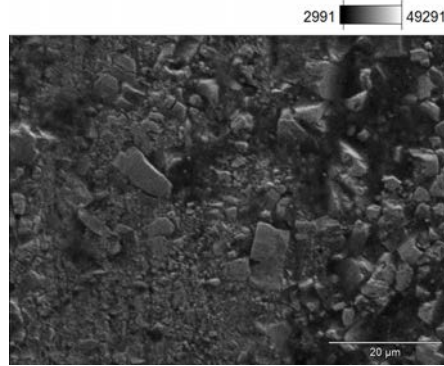
Proces zużywania węglików w glebowej masie ścierniej przebiega dwuetapowo. Na etapie pierwszym występuje usuwanie osnowy pod wpływem oddziaływania najdrobniejszych frakcji masy ścierniej – frakcji pylistej i części spławianych. W wyniku tego powstają pęknięcia i ubytki osnowy wokół węglików powodujące osłabienie osadzenia węglików w strukturze (**Rys. 8, 9**). Drugi etap niszczenia polega na oddziaływaniu frakcji piaszczystych na osłabione węgliki, które pod wpływem tych oddziaływań pękają lub wypadają z osnowy, powodując powstawanie charakterystycznych kraterów o kształcie odpowiadającym usuniętemu węglikowi. Mechanizm taki można zaobserwować na powierzchni zużywanyc w glebie ciężkiej (**Rys. 8**) i średniej (**Rys. 12**).

Dla gleby lekkiej etap pierwszy przebiega mniej intensywnie, a dominującym staje się etap drugi, w wyniku którego następuje pęknięcie i kruszenie węglików mocno osadzonych w osnowie (**Rys. 10, 11**).



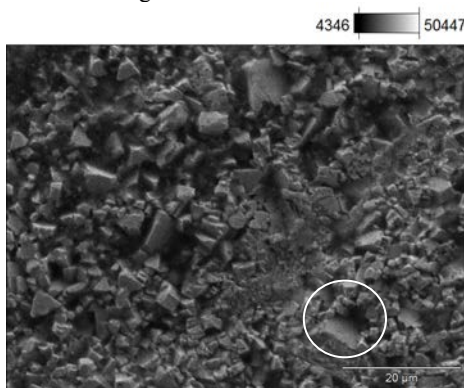
Rys. 10. Powierzchnia węglika B26 zużywanego w glebie lekkiej

Fig. 10. B26 cemented carbide surface worn in light soil



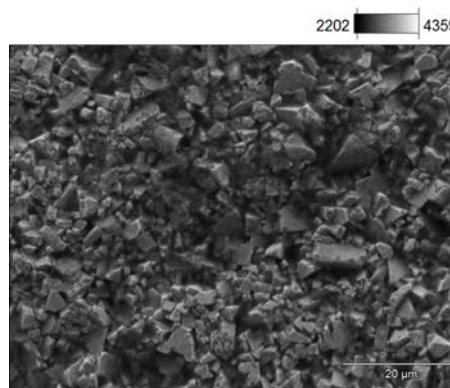
Rys. 11. Powierzchnia węglika G10 zużywanego w glebie lekkiej

Fig. 11. G10 cemented carbide surface worn in light soil



Rys. 12. Powierzchnia węglika B26 zużywanego w glebie średniej

Fig. 12. B26 cemented carbide surface worn in medium soil



Rys. 13. Powierzchnia węglika G10 zużywanego w glebie średniej

Fig. 13. G10 cemented carbide surface worn in medium soil

WNIOSKI

1. Warstwy wierzchnie z węglików spiekanych charakteryzują się kilkakrotnie mniejszą intensywnością zużycia w porównaniu ze stalą HARDOX 500 niezależnie od rodzaju glebowej masy ścierniej.
2. Odporność na zużycie warstw z węglików spiekanych w glebowej masie ścierniej nie różni się statystycznie istotnie w poszczególnych jej rodzajach, nie stwierdzono także istotnych różnic w zużyciu badanych rodzajów węglików.
3. Węgliki spiekane charakteryzują się nierównomiernością składu chemicznego na głębokości. W warstwie przypowierzchniowej odkrytej podczas zużycia stwierdzono zmniejszoną zawartość kobaltu w stosunku do danych wyjściowych.

REFERENCES

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, pp. 228–233.
3. Gant A.J., Gee M.G., Roebuck B.: Rotating wheel abrasion of WC/Co hardmetals, *Wear* 258, 2005, pp. 178–188.
4. Napiórkowski J.: Abrasive soil pulp properties analysis in wear impact aspect. *Tribologia* v 41, nr 5, 2010, (233), pp. 53–62.
5. Foley A.G., Lawton P.J., Barker A.W. and McLees V.A.: The use of alumina ceramic to reduce wear of soil-engaging components. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Volume 30, 1984, pp. 37–46.
6. Larsen-Basse J.: Abrasive wear of tungsten carbide–cobalt composites. I. Rotary drilling tests. *Materials Science and Engineering*, Volume 13, Issue 2, 1974, pp. 83–91.
7. Blombery R.I., Perrot C.M., Robinson P.M.: Abrasive wear of tungsten carbide–cobalt composites. I. Wear mechanisms. *Materials Science and Engineering*, Volume 13, Issue 2, February 1974, pp. 93–100.
8. Gee M.G., Gant A., Roebuck B.: Wear mechanisms in abrasion and erosion of WC/Co and related hardmetals. *Wear* 263, 2007, pp. 137–148.
9. Ścieszka S.F.: Simultaneous abrasion and edge fracture resistance estimation by the tribotest method. *Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance*, Vol. 46, nr 2, pp. 55–104.
10. Ścieszka S.F., Grzegorzek W., Żołnierz M.: A technique to investigate pulverising and abrasive properties of bulk materials. *Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance*, Vol. 46, nr 4, pp. 91–100.
11. Mikołajczak J.: Statystyka matematyczna z pakietem WINSTAT na CD. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn 2001.

Summary

The paper presents the results of wear intensity tests of B26 and G10 cemented carbides conducted under different soil conditions by the spinning bowl method. Wear intensity results were compared with the data for Hardox 500 steel. The following tribological properties of the analysed materials were determined: hardness, structure, and chemical composition. Three types of abrasive soil mass were used in the tests. Depending on the type of the analysed abrasive mass, the wear intensity of the tested carbides was 4-fold to 12-fold lower than that of Hardox steel. An analysis of the surface of spent carbides revealed that the wear process comprises two distinct phases and that wear intensity is correlated with the granulometric composition of soil abrasive mass.