

OCENA ZUŻYCIA NOWOCZESNYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH STOSOWANYCH NA NARZĘDZIA OBRABIAJĄCE GLEBĘ*

Jerzy Napiórkowski, Karol Kołakowski, Adam Pergoł

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań intensywności zużycia nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych w naturalnych warunkach glebowych. Do badań przyjęto próbki wykonane ze stali borowej, stali trudnościeralnej, napoiny wieloskładnikowej oraz próbki z węglikiem wolframu. Warstwę wieloskładnikową oraz węglík nałożono na stal 38GSA. Doświadczenie przeprowadzono w piasku luźnym na specjalnie skonstruowanym stanowisku badawczym. Celem eksperymentu było określenie zużycia masowego poszczególnych materiałów w odniesieniu do drogi tarcia. Przeprowadzone badania wykazały istotną różnicę wartości zużycia pomiędzy materiałami.

Słowa kluczowe: intensywność zużycia, stal trudnościeralna, stal borowa, napoina wieloskładnikowa, węgliki wolframu, piasek luźny.

Wprowadzenie

Elementy maszyn i narzędzi rolniczych w czasie użytkowania w glebie podlegają stosunkowo dużym obciążeniom mechanicznym oraz procesowi intensywnego zużycia ściernego, dlatego też materiałom tym stawia się między innymi bardzo wysokie wymagania tribologiczne. Wśród nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych stosowanych na elementy maszyn i urządzeń obrabiających glebę można wyróżnić następujące grupy:

- stale trudnościeralne;
- stale borowe;
- napoiny wielowarstwowe na bazie metali przejściowych i pierwiastków amfoterycznych [Rutkowski, Stobierski 2009];
- węgliki spiekane.

Stale trudnościeralne (wysokojakościowe stale odporne na ścieranie) charakteryzuje wysoka odporność na zużywanie ściernie, możliwość obróbki skrawaniem specjalistycznymi narzędziami, spawalność, wysokie właściwości mechaniczne oraz odporność na obciążenia udarowe [Konat 2007]. Do stali trudnościeralnych należą stale: HARDOX (SSAB),

* Praca realizowana w ramach projektu badawczego nr N N 504087238

XAR (THYSSEN), RAEX (RUUKKI), stosowane są najczęściej jako baza elementu roboczego tj. do części elementów ulegających stosunkowo mniej intensywnemu zużyciu w glebie np. podstawa lemiesza dzielonego.

Stale z dodatkiem boru zostały opracowane w Szwecji pod koniec lat siedemdziesiątych. Głównym mikrodotądkiem stopowym stali borowej jest bor w ilości 0,002-0,004%. W tym zakresie bor rozpuszcza się w austenicie powodując, że już przy zwykłym hartowaniu można otrzymać strukturę bainitu o znacznie rozdrobnionych ziarnach. Bainit w stosunku do martenzytu posiada wyższe właściwości mechaniczne, wyższą o 20-30% odporność na ścieranie w glebie i znacznie lepsze własności plastyczne. Udarność bainitu, o twardości 40-48 HRC, jest zwykle 2-3 krotnie wyższa w stosunku do martenzytu odpuszczonego o tej samej twardości. Z drugiej strony przekroczenie zawartości boru powyżej 0,004% może jednak spowodować negatywne skutki tworząc z węglem węgliki boru. Powstałe w ten sposób borki lokują się na krawędzi ziaren stali powodując powstanie tzw. karbu strukturalnego i znaczny spadek udarności oraz plastyczności. Po hartowaniu tworzy się wtedy struktura martenzytu. Stale z dodatkiem boru o strukturze bainitu nie podlegają odpuszczaniu. Stosuje się tylko ewentualnie odprężanie w temperaturach 180-200°C [Łabęcki i in. 2007].

Napoina jest to materiał (metal) powstający w procesie napawania. Metal napawany jest stopem materiału spoiwa i materiału rodzimego. Dobór materiałów do napawania odbywa się na podstawie składu chemicznego, zapewniającego napoinie odpowiednie właściwości bez dodatkowej obróbki cieplnej. Materiały do napawania występują w postaci pałeczek, proszków, elektrod otulonych, drutów i taśm elektrodowych pełnych i proszkowych. [Klimpel 1999]. Są to materiały na bazie Fe i Cr z dodatkami metali przejściowych V, W, Mn, Nb oraz amfoterycznego B. Lokalizacja napoiny na elemencie roboczym uzależniona jest od składu granulometrycznego obrabianej gleby i jej stanu [Napiórkowski 2005]. Struktura wieloskładnikowa wynika z budowy wewnętrznej materiału, w której można wyróżnić fazy twarde w postaci węglików (Mo_2C , VC, TiC, $(Fe, Cr)_3C$, W_2C) wytrąconych w procesie krzepnięcia [Napiórkowski 2010].

Węglik spiekane ze względu na budowę zaliczane są w literaturze do spiekanych kompozytów z osnową metaliczną zbrojonych cząstkami. Węglik spiekane stanowią spieki twardych węglików metali wysokotopliwych: WC, TiC, TaC, NbC, VC oraz metalicznej osnowy, którą jest najczęściej kobalt, rzadziej nikiel lub żelazo.

Celem pracy jest ocena zużycia nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych proponowanych do stosowania na elementy robocze obrabiające glebę w warunkach piasku luźnego.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono w piasku luźnym, w naturalnych warunkach eksploatacji, na specjalnie skonstruowanym stanowisku badawczym, bazującym na konstrukcji kultywatora z zainstalowanymi pięcioma uchwytami na próbki. Próbkę stanowił prostopadłościan o wymiarach 38 x 30 x 10 mm wykonany ze stali 38 GSA, stali trudnościeralnej, stali borowej oraz stali 38GSA z nałożoną napoiną i stali 38GSA z węglikiem wolframu. Skład chemiczny badanych materiałów przedstawiono w tabeli 1. Węglik zostały nałożone

poprzez lutowanie, grubość warstwy kompozytowej wynosiła ok. 4 mm. Napoina wieloskładnikowa nałożona została w procesie napawania łukowego elektrodą grubo otuloną, grubość warstwy wynosiła ok. 5 mm. Doświadczenie przeprowadzono na ściernisku, z jednakową prędkością ok. $2,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na głębokości ok. 120 mm. Badaniom poddano 25 próbek materiałów, po 5 z każdego rodzaju, które mocowano obok siebie na stanowisku badawczym zbudowanym na bazie kultywatora. Pomiaru masy dokonywano na wadze laboratoryjnej, natomiast twardość badanych warstw wierzchnich mierzono twardościomierzem HMu 10 zgodnie z PN-EN ISO 6507. Dla zbadania istotności różnic między poszczególnymi materiałami zastosowano test Duncana. Umożliwia on tworzenie grup jednorodnych, czyli takich, pomiędzy którymi nie występują różnice istotne statystycznie na podstawie prób niezależnych.

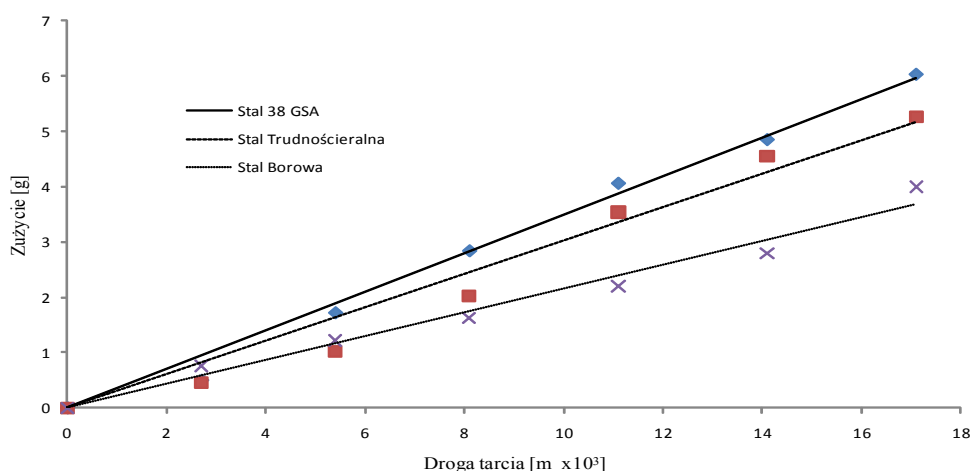
Tabela 1. Charakterystyka składu chemicznego badanych warstw wierzchnich
Table 1. Chemical composition of the examined outer layers

Wyszczególnienie	Skład chemiczny [%]				
	Napoina	Węglik wolframu	Stal borowa	Stal trudnościeralna	Stal 38GSA
C	7,0	-	0,35	0,28	0,35
Mn	1,73	-	1,30	1,50	0,80
Si	0,38	-	0,25	0,80	0,90
Cr	24,20	-	0,14	1,00	0,18
Mo	0,11	-	-	0,50	-
Ni	0,12	-	-	1,50	-
Al	0,04	-	-	-	0,04
Cu	0,08	-	-	-	-
P	0,03	-	0,04	0,025	0,035
S	0,01	-	0,03	0,010	0,04
B	-	-	0,003	0,005	-
W	-	-	-	-	-
V	0,06	-	-	-	-
Ti	-	-	0,03	-	0,08
Nb	7,00	-	-	-	-
WC	-	94	-	-	-
Co	-	6	-	-	-

Analiza wyników badań

Na podstawie uzyskanych wyników badań z pomiarów twardości (tab.2) stwierdzono, że najwyższą jej wartość stwierdzono dla spiekanych węglików wolframu i wyniosła ona ok. 1423 HV, a następnie dla napoiny na bazie C+Cr z metalami przejściowymi Mn + Nb (1279 HV). Dla pozostałych materiałów konstrukcyjnych była ona znacznie niższa i kształtowała się na poziomie jednakowych wartości dla stali 38GSA i stali trudnościeralnej ok. 490 HV. W wyniku przeprowadzanych badań w warunkach polowych uzyskano znaczne zróżnicowanie przebiegu zużycia (rys. 1 i 2). W wyniku przeprowadzonego testu

Duncana stwierdzono istotne różnice w zużyciu poszczególnych materiałów konstrukcyjnych (tab.3). Zdecydowanie największym zużyciem charakteryzowała się stal 38 GSA. Było ono o ok. 1,15 raza większe w stosunku do stali trudnościeralnej (tworzywa konstrukcyjne o zbliżonym poziomie twardości) i 1,5 raza większe w stosunku do stali borowej (rys. 3). Warstwa ukonstytuowana na bazie metali przejściowych charakteryzowała się 3,8 razy większą odpornością na zużycie, zaś węgla wolframu 11,6 razy większą w stosunku do zużycia tradycyjnego materiału.



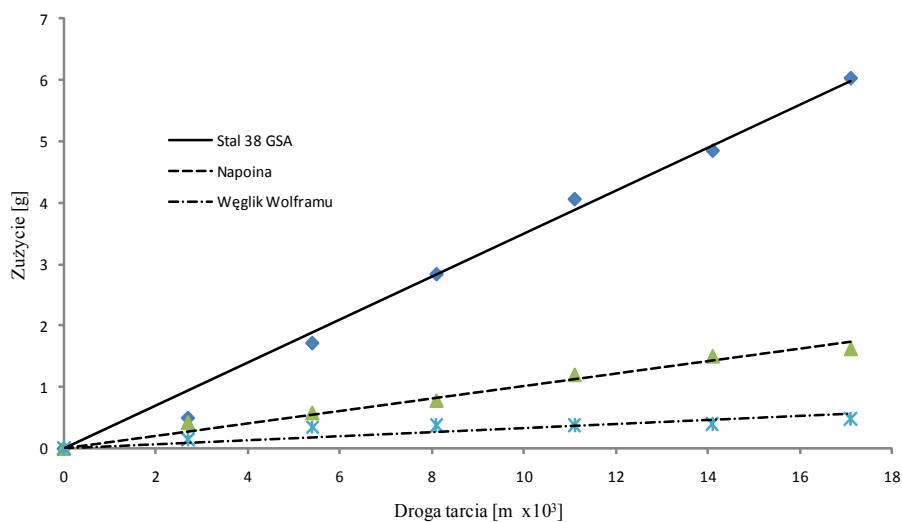
Źródło: badania własne

Rys. 1. Przebieg zużycia masowego stali borowej oraz trudnościeralnej w funkcji drogi tarcia
 Fig. 1. The process of mass wearing of boritic steel and abrasion resistant steel in the function of sliding distance

Tabela 2. Wyniki pomiarów twardości badanych materiałów
 Table 2. Measurement results of hardness of the examined materials

Rodzaj materiału konstrukcyjnego	Wartość średnia HV10	Odchylenie standardowe HV10	Granice przedziału ufności $\alpha=0,05$ HV10	Rozstęp HV10
38 GSA	494	57,3	434,0 ÷ 553,9	162
Stal trudnościeralna	493	58,3	438,4 ÷ 547,6	164
Napoina	1280	116,3	1170,1 ÷ 1387,8	346
Stal borowa	725	87,8	642,8 ÷ 807,2	208
Węgiel wolframu	1420	91,1	1312,9 ÷ 1533,1	223

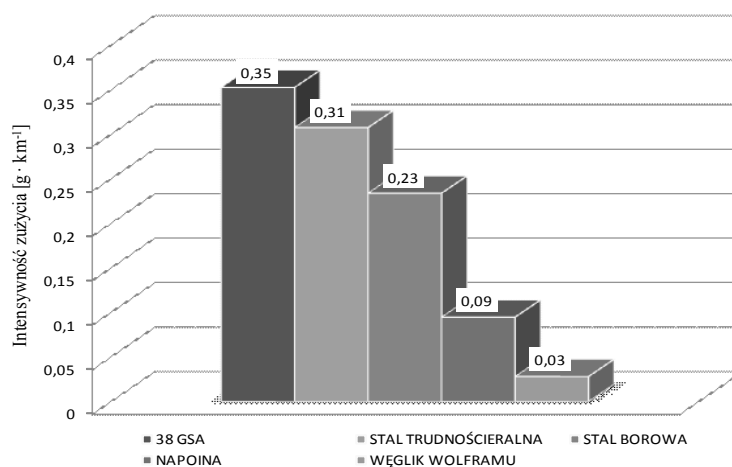
Źródło: badania własne



Źródło: badania własne

Rys. 2. Przebieg zużycia masowego napoiny na bazie metali przejściowych oraz węglika wolframu w funkcji drogi tarcia

Fig. 2. The process of mass wearing of padding weld on the basis of transition metals and tungsten carbide in the function of sliding distance



Źródło: badania własne

Rys. 3. Zestawienie intensywności zużycia nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych w piasku luźnym

Fig. 3. Set of wear intensity of modern construction materials in loose sand

Tabela 3. Test Duncana: 0 – różnic nie ma, 1 – różnice wysoko istotne na poziomie 0,01, 5 – różnice istotne na poziomie 0,05
 Table 3. Duncan test: 0 – no difference, 1 – highly essential differences on the level 0,01, 5 – essential differences on the level 0,05

	Wartości średnie	Węglík wolframu	Napoina	Stal borowa	Stal trudnościeralna	Stal 38 GSA
Stal 38 GSA	0.3569	1	1	1	0	0
Stal trudnościeralna	0.3047	1	1	5	0	
Stal borowa	0.2322	1	1	0		
Napoina	0.0947	5	0			
Węglík wolframu	0.0287	0				

Źródło: badania własne

Podsumowanie

Przeprowadzone badania w naturalnych warunkach eksploatacji wykazały, że w dla piasku luźnego, gleby której powierzchnia dominuje w kraju, zastosowanie nowych materiałów konstrukcyjnych powoduje znaczne zwiększenie odporności na zużycie w stosunku do zużycia, powszechnie stosowanej na elementy narzędzi rolniczych do uprawy gleby, stali 38GSA. Najmniejsze zużycie stwierdzono dla próbek, na które nałożono warstwy kompozytowej lub wieloskładnikową. W przypadku warstwy kompozytowej technologia nakładania warstwy wymaga specjalistycznego oprzyrządowania i jest wykonywana w przedsiębiorstwach specjalistycznych, natomiast warstwę wieloskładnikową można między innymi nakładać z wykorzystaniem ogólnie dostępnych spawarek transformatorowych. Problemami do rozwiązania są, w przypadku warstwy kompozytowej, ograniczenie zużycia materiału bazowego, zaś w drugim przypadku poszukiwanie takiego składu chemicznego na bazie pierwiastków przejściowych, aby zminimalizować koszty wytworzenia nakładanych materiałów. Stosowanie stali trudnościeralnej i borowej przyczynia się także znacząco do obniżenia intensywności zużycia elementów roboczych.

Bibliografia

- Klimpel A.** 1999. Technologie napawania i natryskiwania cieplnego. Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999. ISBN 83-88000-61-6.
- Konat Ł.** 2007. Struktury i właściwości stali Hardox a ich możliwości aplikacyjne w warunkach zużycia ściernego i obciążeń dynamicznych. Praca doktorska. Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Politechnika Wrocławska. Wrocław. Maszynopis.
- Łabęcki M., Gościański M., Kapińska D., Pirowski Z.** 2007. Badania tribologiczne, wytrzymałościowe i strukturalne wybranych materiałów stosowanych na elementy maszyn rolniczych pracujących w glebie. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych. Nr 52(2). Poznań. s. 43-51.
- Napiórkowski J.** 2005. Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 17. Rozprawa habilitacyjna. PTIR Kraków. ISSN 1429-7264.
- Napiórkowski J.** 2010. Elementarne procesy zużycia tworzyw wielofazowych w piasku luźnym. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(120). s. 71-77.
- Rutkowski P., Stobierski L.,** 2009. Ewolucja mikrostruktury tworzyw kompozytowych z węglików metali przejściowych. Materiały Ceramiczne 61(2). s. 140-145.

EVALUATION OF THE WEAR OF MODERN CONSTRUCTION MATERIALS USED TO PRODUCE SOIL TREATMENT TOOLS

Abstract. The research findings on the intensity of modern construction materials wear in natural soil conditions were presented. Samples made of boron steel, abrasion resistant steel, multi-component padding weld and tungsten carbide samples were accepted for the experiment. Multi-component layer and carbide were applied on the 38GSA steel. The experiment was performed on the loose sand on a specially constructed research station. The purpose of the experiment was to determine the mass wear of individual materials with reference to sliding distance. The research revealed an essential difference in wearing values between materials.

Key words: wearing intensity, abrasion resistant steel, boron steel, multi-component padding weld, tungsten carbide, loose sand

Adres do korespondencji:

Jerzy Napiórkowski; e-mail: napij@uwm.edu.pl
Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11
10-756 Olsztyn