

ELEMENTARNE PROCESY ZUŻYWANIA TWORZYW WIELOFAZOWYCH W PIASKU LUŻNYM

Jerzy Napiórkowski

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

Streszczenie. W pracy przedstawiono ocenę elementarnych procesów zużycia zachodzących w wielofazowych tworzywach konstrukcyjnych podczas tarcia w piasku luźnym. Badania tribologiczne przeprowadzono na maszynie zużyciowej typu „wirującej misy”. Ocenie poddano twardość materiałów, chropowatość powierzchni przed i po tarcia oraz ocenę struktury fizycznej powierzchni tarcia za pomocą mikroskopu metalograficznego i skaningowego mikroskopu elektronowego. Jako tworzywa wielofazowe przyjęto spoiwa uzyskiwane w procesie napawania, w których można wyróżnić fazy twarde w postaci węglików (Mo_2C , VC, TiC, $(\text{Fe}, \text{Cr}_3)\text{C}$, W_2C) oraz osnowę w postaci ferrytu stopowego.

Słowa kluczowe: tworzywo wielofazowe, proces zużycia, piasek luźny, twardość, chropowatość

Wprowadzenie

Zużycie w glebie jest trudnym do kontrolowania procesem destrukcji charakteryzującym się zróżnicowaniem elementarnych zjawisk zużycia oraz określeniem stopnia ich udziału w złożonych realnych procesach tribologicznych. Dobór tworzywa konstrukcyjnego o optymalnych właściwościach dla konkretnych warunków środowiskowych użytkowania elementów roboczych winien być poprzedzony analizą charakteru i rodzaju zużycia na powierzchni jak i w warstwie wierzchniej [Gierek 2005, Napiórkowski 2005]. Przebieg procesów tribologicznych podczas zużycia stali w piasku luźnym przedstawiono między innymi w pracach Napiórkowskiego [2005] i Owsiaka [1998]. Na elementy robocze maszyn rolniczych obrabiających glebę w coraz szerszym zakresie stosuje się materiały wielofazowe. Wyróżnia się dwie formy wielofazowości, jedną z nich jest połączenie dwóch różnych materiałów, z których pierwszy jest materiałem zasadniczym, drugi zaś stanowi osnowę dla materiału pierwszego. Druga forma wielofazowości wynika z budowy wewnętrznej materiału, w której można wyróżnić fazy twarde w postaci węglików (Mo_2C , VC, TiC) wytraconych w procesie krzepnięcia. Osnowę najczęściej stanowi ferryt stopowy [Dobrzański 2006].

Celem pracy jest ocena elementarnych procesów zużycia w tworzywach wielofazowych podczas tarcia w piasku luźnym.

Metodyka badań

Badania realizowano na maszynie zużyciowej typu „wirującej masy”. Próbkę stanowił prostopadłościan o wymiarach 30 x 25 x 10 mm wycięty ze spoiwa uzyskanego poprzez napawanie materiałami dodatkowymi firmy Castolin stali 38GSA (tab. 1). Badania przeprowadzono na sześciu próbkach dla każdego badanego materiału.

Tabela 1. Składy chemiczne i mikrostruktury badanych tworzyw wielofazowych
Table 1. Chemical constitutions and microstructures of examined multiphase materials

Symbol pierwiastka	Zawartość pierwiastków [%] i mikrostruktura				
	AbraTec 6088	XHD 6715	XHD 6710	N102	N 6070
C	0,30	5,00	1,15	0,94	5,00
Mn	0,73	-	13,2	1,63	2,99
Si	0,98	-	0,56	1,06	1,68
Cr	5,34	21,00	45,00	5,40	31,60
Mo	0,01	8,50	0,01	6,83	-
Ni	0,16	-	1,00	0,01	0,30
V	0,01	-	0,04	2,21	-
Al.	-	-	0,01	-	-
Cu	-	-	0,14	-	-
Nb	-	7,00	-	-	-
W	-	6,00	-	---	-
Mikrostruktura	Równomiernie rozłożone W_2C w osnowie niklowej	Feryt stopowy z licznymi drobnymi węglnikami typu Mo_2C , WC i NbW .	Węgliki pierwotne eutektyka [$\alpha + (Fe,Cr)_7C_3$], budowa płytkowa z austenitem szczątkowym	Stopiwo bainityczno-martenzytyczne z rozłożonymi licznymi drobnymi węglnikami typu Mo_2C i VC	Feryt stopowy + rozłożone z dużą gęstością bardzo twarde węgliki $(Fe,Cr)C$

Źródło: badania własne i dane producenta

Pomiaru twardości dokonano przy użyciu twardościomierza Vickersa typu HM010u zgodnie z PN-EN ISO 6507-1:1999, zaś chropowatości za pomocą profilografu HOMMEL WERKE T1000 zgodnie z PN-87/M-04251. Mierzono następujące parametry: średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości (R_a), wysokość profilu chropowatości według 10 punktów (R_z) i średni odstęp chropowatości profilu – parametr horyzontalny - (Sm).

Dobrano następujące parametry tarcia:

- droga tarcia – 10 000 [m];
- prędkość tarcia - 2 [$m \cdot s^{-1}$];
- obciążenie - 13 [kPa].

Oceny powierzchni dokonywano po przebiegu całkowitej drogi tarcia mikroskopem optycznym NEOPHOT 32 i skaningowym JOEL typu JAM 5200, zaś badania metalograficzne przeprowadzono mikroskopem skaningowym TESLA BS340.

Badania tarcia przeprowadzono w piasku luźnym, składającym się z frakcji: żwiru (12,52%), piasku (73,82%), pyłu (11,14%) i ilu (2,52%). Średnia wilgotność gleby 6%, zaś kwasowość pH 6,1.

Wyniki i analiza

Najwyższą twardością spośród badanych stopiw charakteryzowało się tworzywo N102 (tab2), które zawierało w swoim składzie węgiel (5%), chrom (31,6%) oraz pierwiastek sprzyjający powstawaniu węglików tj. mangan (2,99%), a następnie stopiwo które zawierało także dużo węgla (5%), ale oprócz podstawowego pierwiastka węglidotwórczego jakim jest chrom (21%) występowały dodatkowe pierwiastki węglidotwórcze takie jak wolfram (7%) i niob (7%). Z kolei najmniejszą twardością charakteryzowało się stopiwo o najniższych spośród badanych tworzyw zawartościach węgla (0,94%) i chromu (5,4%) pomimo zwiększonej zawartości wanadu (2,21%). W przypadku spoiwa AbraTec 6088 w stosunkowo twardej osnowie umiejscowione są ziarna bardzo twardych węglików wolframu.

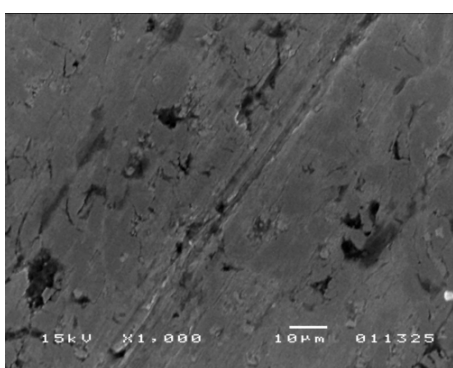
Tabela 2. Zestawienie twardości tworzyw wielofazowych
Table 2. List of multiphase material hardness values

Rodzaj warstwy	Twardość [HV]			Średnia twardość [HV]
AbraTec 6088	519	523	616	osnowa 553/2400 węgliki
N102	648	659	618	642
XHD 6710	816	805	833	818
XHD 6715	890	857	873	873
N 6070	989	976	983	983

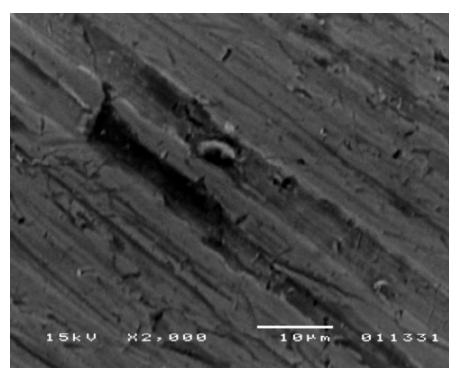
Źródło: badania własne

Zużycie w piasku luźnym charakteryzuje się występowaniem przede wszystkim elementarnych procesów zużycia mechanicznego polegających przede wszystkim na bruzdowaniu, w mniejszym zaś zakresie rysowaniu ścieranej powierzchni luźnymi ziarnami piasku (rys. 1-4). Głębokość powstających bruzd uzależniona jest przede wszystkim od twardości tworzywa. Najgłębsze bruzdy stwierdzono podczas tarcia tworzywa o najmniejszej twardości (rys. 2). Zużycie ściernie przez rysowanie lub bruzdowanie jest najmniej złożonym procesem zużycia, występującym, gdy powierzchnia robocza elementu roboczego ścierana jest przez szciotkujące działanie drobnych cząstek piasku, przesuwających się po tej powierzchni z różną prędkością oraz stosunkowo niewielkimi naciskami. Podczas prób tarcia badanych powierzchni, o stosunkowo dużej twardości, stwierdzono tylko na jednej z nich występowanie mikroskrawania (rys 3). Widoczna tu jest głęboka bruzda, na której widoczne są małe narosty i pęknięcia powstałe w procesie skrawania. Zużycie poprzez mikroskrawanie uwarunkowane jest występowaniem dużych nacisków podczas kontaktu cząstek ziaren gleby z powierzchnią roboczą oraz ruchu tych ziaren. Zjawisko to zaobserwowano w tworzywie o budowie płytkowej, zatem w tego typu tworzywach występują płaszczyzny poślizgu, o zmniejszonej wytrzymałości, sprzyjające powstawaniu intensywnego zużycia poprzez mikroskrawanie, spowodowane oddziaływaniem ostrych krawędzi piasku i żwiru.

Na rysunkach 1 i 3 widoczne są lokalne wyrwania materiału, które można zinterpretować jako oddziaływanie zaokrąglonych ziaren piasku. Powodowały one wielokrotne nagniatanie powierzchni (zmęczenie powierzchniowe materiału), a w następstwie pojawienie się lokalnych wyrwań charakterystycznych dla łuszczenia (spallingu). Lokalne wyrwania powierzchni są efektem zużywania wielocyklowego, na które kolejno składają się odkształcenia sprężyste, odkształcenia plastyczne, powstawanie zgniotów mikroobjętości, charakteryzujących się zdeformowaną strukturą oraz ścinaniem tych mikroobjętości [Napiórkowski 2005].

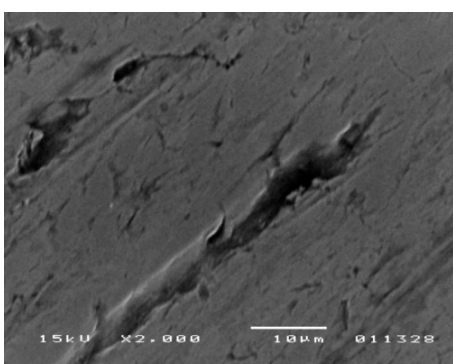


Rys. 1. Obraz powierzchni tworzywa N 6070
Fig. 1. N 6070 material surface image

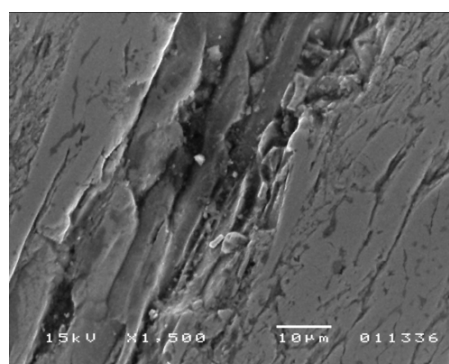


Rys. 2. Obraz powierzchni tworzywa N102
Fig. 2. N102 material surface image

Źródło: badania własne



Rys. 3. Obraz powierzchni tworzywa XHD6710
Fig. 3. XHD6710 material surface image

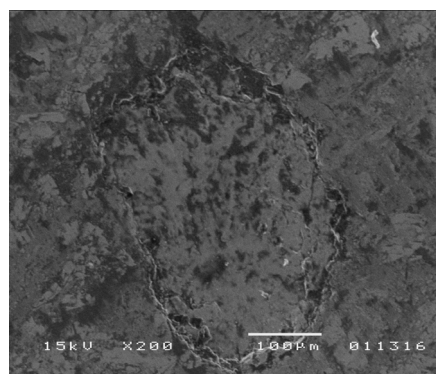
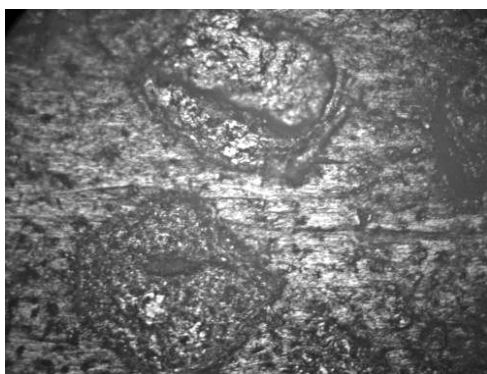


Rys. 4. Obraz powierzchni tworzywa XHD6715
Fig. 4. XHD6715 material surface image

Źródło: badania własne

Elementarne procesy zużycia...

Odmienne procesy zużycia zaobserwowano w tworzywie Abra Tec 6088 (rys. 5-6), które w pierwszym etapie polegają na dość intensywnym skrawaniu osnowy (rys. 5), następnie obluzowaniu ziaren węglików (rys. 6) i w dalszej kolejności wyźłobieniu ich z warstwy. Jest to klasyczny proces elementarnego zużycia przez żłobienie występujący w masie ścierniej o dużej zawartości twardych i ostrokrawędzistych ziaren ściernych w wielofazowych warstwach wierzchnich.



Źródło: badania własne

Rys. 5. Obraz makroskopowy powierzchni tworzywa Abra Tec 6088 (30x)

Fig. 5. Macroscopic image of Abra Tec 6088 (30x) material surface

Rys. 6. Obraz powierzchni tworzywa AbraTec 6088

Fig. 6. AbraTec 6088 material surface image

Odzwierciedleniem uzyskanych przebiegów elementarnych procesów zużycia są uzyskane chropowatości powierzchni po tarcu w piasku luźnym po drodze 10 000 m (tab. 3). Dla tworzywa XHD 6710, dla którego stwierdzono występowanie mikroskrawania uzyskano najwyższy wzrost (4x) chropowatości mierzony średnim arytmetycznym odchyleniem profilu chropowatości R_a po tarcu w stosunku do chropowatości przed tarcem. Natomiast dla tworzywa najtrwadszego i jednocześnie o dużej liczbie drobno rozłożonych węglików (N6070), w którym zużycie przebiegało w wyniku rysowania i bruzdowania wzrost R_a wynosił tylko 1,7x. W przypadku parametru horyzontalnego chropowatości powierzchni S_m , wzrost jego wartości po tarcu kształtował się na zbliżonym poziomie dla wszystkich badanych powierzchni (od 1,73x dla AbraTec6088 do 2,3x dla XHD6715). Nie stwierdzono zwiększonego wzrostu chropowatości dla warstwy podlegającej zużyciu przez żłobienie tj. AbraTec6088. Jest to wynikiem wyźłabiania węgla wolframu na niewielkiej głębokości jego zamocowania.

Tabela 3. Charakterystyki chropowatości powierzchni przed i po tarcii w piasku luźnym
 Table 3. Surface roughness characteristics before and after exposure to friction in loose sand

Parametr	Średnia chropowatość [μm]									
	AbraTec 6088		XHD 6715		XHD 6710		N102		N 6070	
	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po
R _a	0,71	1,74	0,34	1,24	0,40	1,60	0,46	1,05	0,41	0,72
R _z	6,30	10,39	2,91	8,14	3,94	7,84	3,53	6,98	4,06	4,75
S _m	144,4	250	130	305	132,0	283,4	102,4	225,0	115,9	222,6

Źródło: badania własne

Wnioski

1. Przebieg elementarnych procesów zużywania w piasku luźnym tworzyw wielofazowych uzależniony jest od mikrostruktury i twardości tworzywa. Podczas zużywania warstw wierzchnich zawierających dużo równomiernie rozłożonych węglików dominuje rysowanie i o niskiej intensywności brzdowanie. W miarę zmniejszania twardości warstwy następuje wzrost intensywności oddziaływania brzdowania oraz w przypadku mikrostruktury płytkowej lokalnie mikroskrawania. We wszystkich przypadkach mogą wystąpić wyrwania wynikające z zużycia zmęczeniowego warstwy wierzchniej.
2. Zużywanie twardych węglików, o małej gęstości rozłożenia, w piasku luźnym składa się z dwóch kolejno po sobie następujących procesów tj. intensywnego zużywania osnowy przez brzdowanie i mikroskrawanie a następnie wyłabiania twardych cząstek węglików wolframu w wyniku osłabienia wiązań z osnową.
3. Celem zmniejszenia intensywności zużywania elementów roboczych obrabiających piasek luźny, tworzywa konstrukcyjne winne zawierać w warstwie wierzchniej rozłożone z dużą gęstością drobne węgliki (Fe,Cr)C.
4. Ocenę elementarnych procesów zużywania w piasku luźnym z wykorzystaniem pomiarów chropowatości powierzchni można wykorzystywać dla warstw zużywanych poprzez rysowanie, brzdowanie, mikroskrawanie i zmęczenie tribologiczne. Niecelowe jest stosowanie tych parametrów do scharakteryzowania zużywania przez żłobienie.

Bibliografia

- Dobrzański L.A.** 2006. Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. WNT. Warszawa. ISBN 83-204-3249-9.
- Gierek A.** 2005. Zużycie tribologiczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice. ISBN 83-7335-365-8.
- Napiórkowski J.** 2005. Zużycie oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych. Inżynieria Rolnicza Nr 12(72). Rozprawy habilitacyjne Nr 17.
- Owsiak Z.** 1998. Narzędzia skrawające glebę. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej. Wrocław. Monografie XV. ISSN 0867-7964.

ELEMENTARY WEAR PROCESSES FOR MULTIPHASE MATERIALS IN LOOSE SAND

Abstract. The paper presents assessment of elementary wear processes taking place in multiphase structural materials due to friction in loose sand. Tribological tests were carried out using spinning bowl type fatigue-testing machine. The following parameters were analysed: hardness of materials, surface roughness before and after exposure to friction and physical structure analysis for surface subject to friction carried out using metallographic microscope and scanning electron microscope. As multiphase materials, the researchers used binders obtained in pad welding process, allowing to distinguish hard phases in form of carbides $\{Mo_2C, VC, TiC, (Fe, Cr_3)C, W_2C\}$ and matrix consisting of alloy ferrite.

Key words: multiphase material, wear process, loose sand, hardness, roughness

Adres do korespondencji:

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