

Jan STABRYŁA, Lech STARCZEWSKI
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

ODDZIAŁYWANIE WODORONOŚNYCH SKŁADNIKÓW GLEBY NA ZUŻYCIE ŚCIERNE NARZĘDZI ROLNICZYCH

Słowa kluczowe

Stal mikrostopowa, zużycie ścierne, wodór, narzędzia rolnicze.

Streszczenie

Autorzy w pracy przedstawiają efekt synergicznego działania zużycia ściernego i agresywnego środowiska gleby zawierającej związki wodoru.

Przeprowadzono badania laboratoryjne, w których oceniono wpływ wodoru na procesy zużycia ściernego. Zaproponowano nowe rozwiązania materiałowo-technologiczne pozwalające na zmniejszenie zużycia narzędzi rolniczych. Badania materiałowe i tribologiczne przeprowadzone zostały metodą porównawczą. Uzyskane wyniki świadczą o wysokiej odporności stali mikrostopowej na zużycie ścierne intensyfikowane agresywnym środowiskiem wilgotnej gleby.

Wprowadzenie

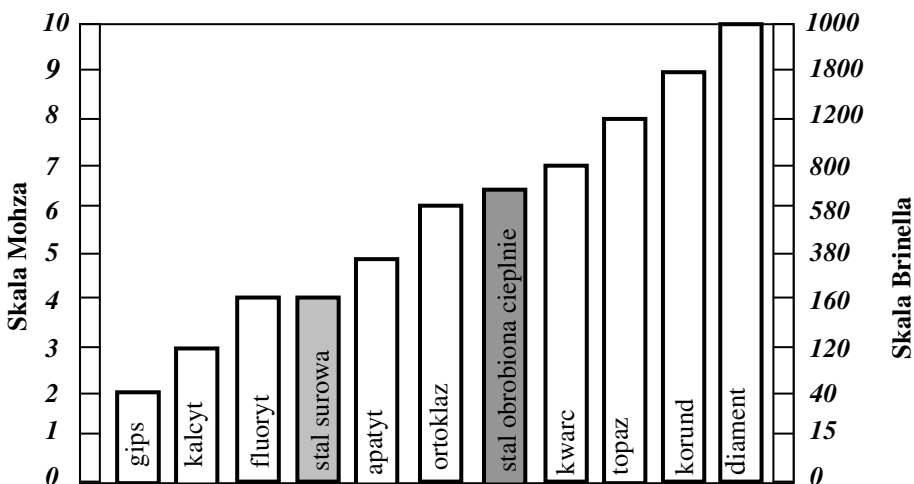
W rolnictwie mimo znacznego postępu ciągle jako podstawowe materiały konstrukcyjne stosowane są stale nisko- i średniowęglowe, a jedynie niekiedy stale niskostopowe. Warunki pracy narzędzi rolniczych można ocenić jako szczególnie trudne. Elementy robocze narzędzi do uprawy gleby takie jak redliczki, lemieszki pługów, zęby bron czy kultywatorów, ulegają zużyciu głównie na skutek ściernego oddziaływania twardych cząstek mineralnych na warstwę wierzchnią. Narzędzia uprawowe dostarczane przez różnych wytwórców posiadają twardość 250÷550 HB i są podatne na zniszczenie w wyniku dynamicznych

obciążeń wynikających z warunków pracy (kontakt z kamieniami) [3, 5]. Od wielu lat powszechnie stosowanym w kraju materiałem na elementy pracujące w glebie jest stal 38GSA, 65G, a nawet 18G2A. Obróbka cieplna stosowana do tych gatunków stali to objętościowe ulepszenie cieplne lub hartowanie powierzchniowe [5, 6].

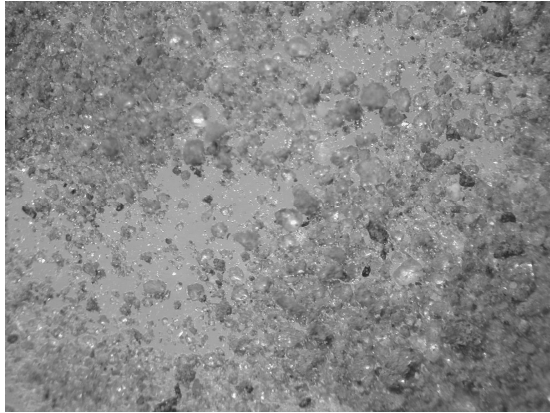
W dotychczasowych opracowaniach dotyczących zużycia narzędzi rolniczych najczęściej pomijano rolę agresywnego chemicznie środowiska gleby.

1. Gleba – specyficznym środowiskiem pracy narzędzi rolniczych

Gleba w uproszczeniu stanowi masę ścierną o bardzo zróżnicowanym składzie i właściwościach tribologicznych [4]. Intensywność zużycia ściernego narzędzia przez mineralną warstwę ścierną zależy głównie od różnicy twardości materiału trącego i materiału narzędzia. Frakcja ziarnista gleby to najczęściej piasek kwarcowy o twardości 7 w skali Mohza. Mogą również występować ziarna korundu, którego twardość ustępuje jedynie twardości diamentu (rys. 1). Piasek stanowiący podstawowy składnik większości gleb krajowych (rys. 2), jest materiałem ściernym nawet dla utwardzonej stali. Elementy robocze maszyn rolniczych takie jak: lemiesz, odkładnice, zęby bron, redliczki kultywatorów czy też noże glebogryzark podczas kontaktu z glebą ulegają zużyciu głównie przez tarcie. Oddziaływanie mechaniczne masy ściernej na narzędzia jest opisane w literaturze. Mniejszą uwagę zwraca się na pozostałe składniki gleby, które mogą wspomagać zużycie ściernie przez procesy korozyjne i niszczenie wodoro-
rowe. W kraju przeważają gleby kwaśne o pH 4÷6. Kwasy nieorganiczne (kwaśne deszcze) jak i organiczne pochodzenia roślinnego, białka zwierzęce i nawozy sztuczne, stanowią wodoronośne składniki gleby.



Rys. 1. Porównanie twardości stali i materiałów ceramicznych wg skali Mohza i Brinella



Rys. 2. Gleba piaszczysta. Widoczne ziarna ceramiczne i drobne cząstki gliny. Mikroskop MBS-9. Pow. 70 x

Autorzy, obserwując zużyte powierzchnie narzędzi rolniczych, dostrzegli symptomy charakterystyczne dla niszczenia wodorowego. Na tej podstawie przyjęto założenie, że procesy przyspieszonego zużycia warstwy wierzchniej metalu mogą być wspomagane wodorem [1, 2, 7, 9]. W wyniku tarcia cząstek mineralnych o powierzchnię narzędzi powstają warunki sprzyjające rozpadowi wodoronośnych składników zawartych w glebie. Proces ten jest stymulowany wysokimi naciskami, których wartość przekracza granicę plastyczności metalu, podwyższoną temperaturą w strefie tarcia i katalitycznym działaniem żelaza na węglowodory zawarte w składnikach gleby [7, 8]. Uwolniony wodór o małym promieniu atomowym ($0,37 \text{ \AA}$) może zostać zaadsorbowany na powierzchni, a następnie migrować w głąb stali. Wodór zostaje pułapkowany w obszarach dyslokacji, na granicach ziarn, w wakansach i innych defektach struktury. Może tworzyć „atmosfery Cotrella” blokujące ruch dyslokacji, co objawia się kruchością materiału. Istnieje pogląd [2, 9], że wodór łączy się z węglem zawartym w składnikach struktury stali, co powoduje odwęglenie, a tym samym obniżenie wytrzymałości warstwy wierzchniej. Na powierzchniach roboczych niektórych zużytych narzędzi rolniczych zaobserwowano ślady mikropęknięć charakterystyczne dla mikroeksplozji wywołanych metanem.

Dla zwiększenia trwałości narzędzi rolniczych należy poszukiwać materiału, który byłby odporny na ścieranie, obciążenia dynamiczne i wnikanie wodoru.

Studując literaturę, autorzy zwrócili uwagę na informacje o korzystnym oddziaływaniu boru na właściwości stali. Pierwiastek ten w ilości 0,003% w stalach niskowęglowych polepsza hartowność i umacnia granice ziarn, co prawdopodobnie może utrudniać dyfuzję wodoru w warstwę wierzchnią narzędzi uprawowych. Przypuszcza się, że jest to spowodowane zajmowaniem przez bor miejsc w strukturze, do których chętnie migruje wodór.

2. Badania własne

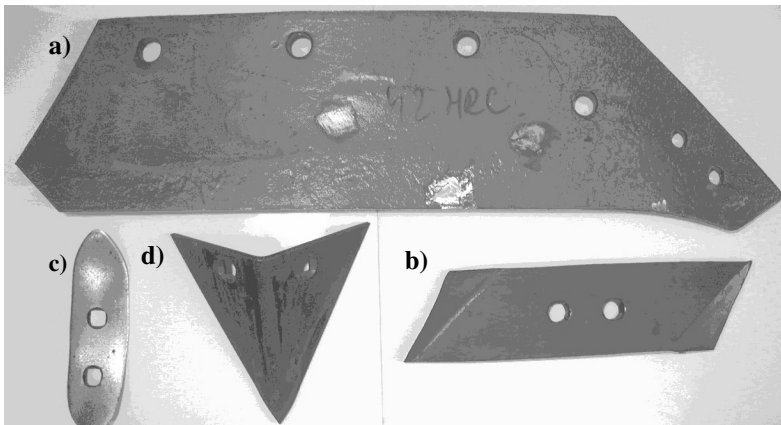
Do porównawczych badań przyjęto gatunek stali 38GSA i stal 25G2B z mikrodotądkiem boru. Skład chemiczny obydwu gatunków stali zestawiono w tabeli 1. Pierwiastki Ni i V stabilizują bor w strukturze. Zakres badań obejmował ocenę odporności na ścieranie oraz podatności obydwu gatunków stali na dyfuzję wodoru. Metodę badania zużycia dobrano pod kątem warunków pracy narzędzi przedstawionych na rys. 3.

Tabela 1. Skład chemiczny badanej stali

Gatunek stali	Zawartość pierwiastków %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Al	V	B
25G2B	0,25	1,12	0,32	0,027	0,035	0,46	0,07	0,02	0,08	0,003
38GSA	0,35	0,91	0,85	0,030	0,040	0,15	–	–	–	–

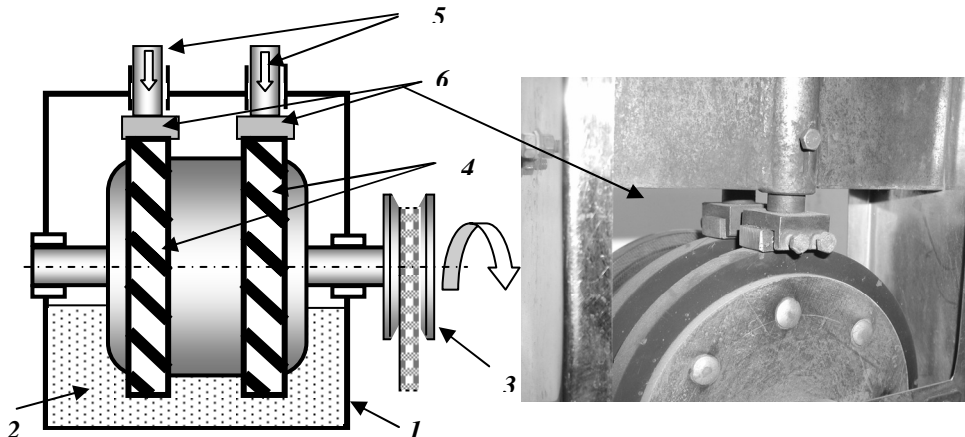
Powierzchnię roboczą narzędzi uprawowych (rys. 3) zamodelowano płaską próbką o wymiarach 30x35x10 mm. Proces ścierania prowadzono w korundzie EB54 zwilżanym wodą destylowaną (pH 7) lub elektrolitem (pH 5,5) symulującym kwasowość gleby w Regionie Północno-Wschodniej Polski. Stanowisko do ścierania przedstawiono na rys. 4.

Ocena zużycia przy zastosowaniu drogi tarcia wynoszącej 10 km prowadzona była metodą grawimetryczną. Szczegóły konstrukcji stanowiska i metody badań opisano w pracy [6].



Rys. 3. Narzędzia do obróbki gleby: a) lemiesz, b) dłuto lemiesza, c) redliczka kultywatora, d) redlica sadzarki do ziemniaków

W badaniach założono, że zużycie ścierne jest funkcją twardości stali, jej struktury i kwasowości środowiska. Dla otrzymania optymalnej struktury i twardości, próbki odpuszczano w czterech temperaturach. Z populacji 24 próbek (dla każdej stali) połowę hartowano z chłodzeniem w wodzie, a drugą połowę w oleju (tab. 2).

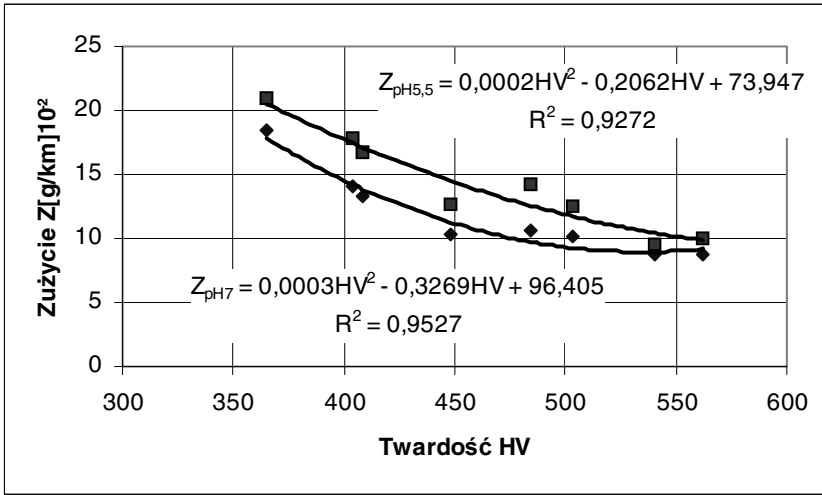


Rys. 4. Stanowisko do pomiaru zużycia w masie ścierniej: 1 – zbiornik, 2 – masa ścierna, 3 – napęd, 4 – tarcze gumowe, 5 – obciążniki, 6 – próbki

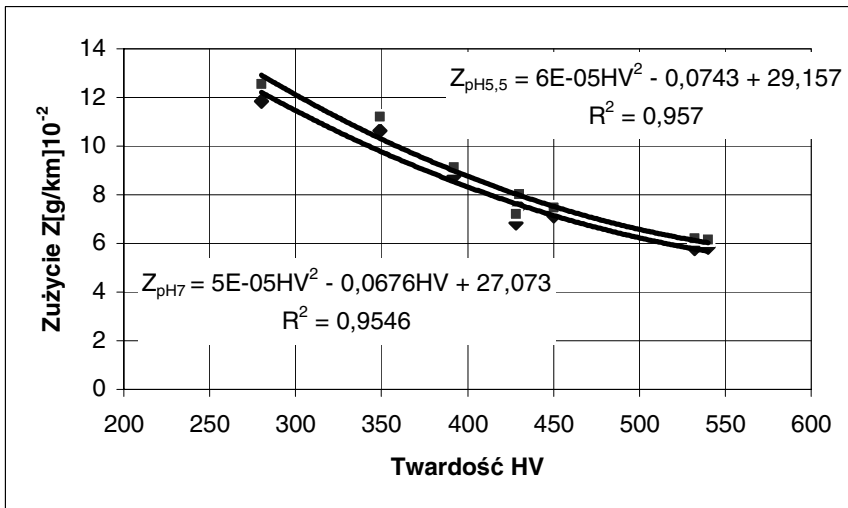
Rys. 5 i 6 prezentują zależności zużycia od twardości i pH środowiska. Wrażliwość badanych materiałów na wnikanie wodoru w strukturę oceniano w Instytucie Chemii Fizycznej PAN w Warszawie przez pomiar współczynników dyfuzji.

Tabela 2. Warianty obróbki i wyniki porównawczych badań stali 38GSA i 25G2B

Wariant obróbki	Warunki obróbki cieplnej	Temp. odpuszczania [°C]	stal 38GSA			stal 25G2B		
			HV _{sr}	Zużycie Z [g/km]·10 ⁻²		HV	Zużycie Z [g/km]·10 ⁻²	
				pH7	pH5,5		pH7	pH5,5
1.	austenitacja 900°C chłodzenie w wodzie	200	562	8,76	9,96	540	5,85	6,15
2.		300	540	8,75	9,50	532	5,80	6,20
3.		400	448	10,27	12,70	428	6,85	7,20
4.		500	404	17,02	19,75	349	10,64	11,20
5.	austenitacja 900°C chłodzenie w oleju	200	503	10,22	12,50	450	7,12	7,48
6.		300	484	10,55	14,24	430	7,50	8,02
7.		400	408	13,25	16,66	392	8,77	9,12
8.		500	365	18,40	20,90	280	11,85	12,56



Rys. 5. Zależność zużycia stali 38GSA od pH środowiska i twardości



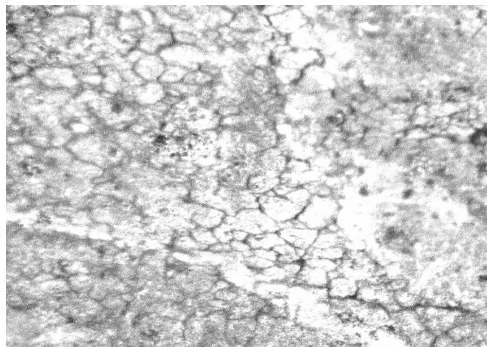
Rys. 6. Zależność zużycia stali 25G2B od pH środowiska i twardości

Pomiar wykonywano metodą przenikania wodoru przez ciekłą membranę o wymiarze $\phi 10,0 \times 1,0$ mm pobraną z badanych materiałów. W komorze wejściowej znajdował się elektrolit o pH 5,5, a w wyjściowej 0,1 N NaOH. W układzie rejestrowano prąd anodowy będący miarą szybkości przenikania wodoru przez próbkę. Z pomiarów przenikania wyznaczono współczynniki dyfuzji D_H wodoru wg zależności (1).

$$D_H = \frac{0,051 \cdot l^2}{t_b} \quad [\text{cm}^2/\text{s}] \quad (1)$$

gdzie: l – droga dyfuzji – grubość membrany [cm], t_b – czas pomiaru [s]

Dla stali 38GSA hartowanej w wodzie i odpuszczanej w temperaturze 300°C $D_H = 2,15 \cdot 10^{-6}$ [cm²/s], a dla podobnie utwardzanej stali z borem współczynnik dyfuzji jest o rząd wielkości mniejszy i wynosi $D_H = 8,60 \cdot 10^{-7}$ [cm²/s]. Oznacza to, że wodór wielokrotnie trudniej wnika w stal z borem. Ostrze narzędzia pracującego w kwaśnej glebie poddano oględzinom z użyciem mikroskopu stereoskopowego i stwierdzono, że na granicach ziarn wystąpiło pęknięcie charakterystyczne dla zużycia wodorowego (rys. 7). Stężenie wodoru w próbkach oznaczano metodą ekstrakcji próżniowej [7]. Stwierdzono, że stężenie wodoru w części roboczej jest 4÷5 razy większe niż w uchwycie nie stykającym się z glebą.



Rys. 7. Powierzchnia narzędzia po próbach połowych. Widoczna siatka pęknięć. Pow.70x

Podsumowanie

Zastosowanie wariantów obróbki cieplnej dało spodziewany efekt w postaci zróżnicowania twardości próbek. Zmieniając czynnik chłodzący i temperaturę odpuszczania po hartowaniu objętościowym, uzyskano twardość od 280 do 560 HV. Największą twardość uzyskano po niskim i średnim odpuszczaniu, co znajduje odzwierciedlenie w wynikach badania zużycia. Wykazano, że stal 28HGVB mimo porównywalnej twardości wykazuje 1,5-krotnie większą odporność na zużycie ściernie. Obydwa materiały mają różne zużycie w zależności od pH środowiska ściernego. W środowisku kwaśnym zarejestrowano wzrost zużycia o około 5% dla stali z borem i 20% dla stali bez boru. Istotność różnic potwierdzono testem t Studenta przy poziomie $\alpha = 0,05$.

Wynika z tego, że stal z borem ulepszona cieplnie jest znacznie bardziej odporna na wnikanie wodoru od podobnie obrobionej stali węglowej bez boru.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, co następuje:

- Pomiarzy metodą ekstrakcji próżniowej stężenia wodoru i wyznaczony współczynnik dyfuzji wykazały, że wodór zawarty w glebie ma istotny wpływ na wartość zużycia ściernego narzędzi rolniczych.
- Stal 25G2B wykazuje wyższą odporność na zużycie ściernie niż stal 38GSA.
- Stal węglowa 38GSA jest mniej odporna na działanie wodoru niż stal mikrostopowa z borem.
- Optymalnymi ze względu na agresywne środowisko gleby parametrami obróbki cieplnej stali 25G2B przeznaczonej na narzędzia rolnicze jest hartowanie objętościowe z temperatury 900°C w wodzie i odpuszczanie w temperaturze 300°C.

Bibliografia

1. Bethelor A.W., Stachowiak G.W.: Tribology in materials processing. Journal of Processing Technology. No 48 1995 p. 503–515.
2. Flis J. i inn.: Wodorowe i korozyjne niszczenie metali. PAN Instytut Chemii Fizycznej Wyd. PWN, Warszawa 1979.
3. Łunarska E., Nikiforov K., Stabryła J., Starczewski L.: Effect of the boron alloying and laser treatment on corrosion and hydrogen charging of low alloy steel. Surface Engineering. 2A. 2005 p. 187–194.
4. Rewut I.B.: Fizyka gleby. PWRiL, Warszawa 1980.
5. Stabryła J.: Improving the mechanical properties of steels for agriculture machine elements subject to strong load. Annual Review of Agricultural Engineering. 3(1) 2004 p. 171–180.
6. Stabryła J.: Stanowisko do badań zużycia ściernego materiałów na narzędzia pracujące w glebie. VI Symp. im. Cz. Kanafojskiego Płock 1994. s. 242–244.
7. Starczewski L.: Wodorowe zużywanie ciernych elementów maszyn. WITPiS, Sulejówek 2002.
8. Śmiałowski M.: Wodór w stali. WNT, Warszawa 1967.
9. Zwierzycki W.: Modele prognostyczne korozyjno-wodorowego używania się elementów maszyn. Radom–Poznań 2002.

Recenzent:

Lech DWILIŃSKI

Influence of hydrogen containing medium on wear of agriculture tools

Summary

In the paper authors present the effect of synergic action of wear and soil medium containing aggressive hydrogen compounds. Laboratory investigations allowed to determine the influence of hydrogen on abrasive wear. The new solution including material and technology was proposed for the purpose of decreasing the wear of agriculture tools. Material and tribological examinations were carry out by comparative method. The results confirmed high abrasive resistance of microalloyed heat treated steel in moist, sour soil.

