

COMPARATIVE RESEARCH OF ABRASION RESISTANCE OF THE NEW GENERATION HARDOX 500 STEEL AND GENERALLY APPLIED MATERIALS

Summary

The paper presents the advantages and capacity of adaptation of the HARDOX 500 steel for construction of agricultural machines based on the available technical literature and the testing carried out in the Industrial Institute of Agricultural Engineering in Poznań.

PORÓWNAWCZE BADANIA ZUŻYCIA ŚCIERNEGO NOWEJ GENERACJI STALI HARDOX 500 I MATERIAŁÓW POWSZECHNIE STOSOWANYCH

Streszczenie

Artykuł przedstawia zalety i możliwości zastosowania stali HARDOX 500 w budowie maszyn rolniczych na podstawie dostępnej literatury i badań przeprowadzonych w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu.

1. Wprowadzenie

Ciągły rozwój techniki powoduje, że konieczne jest poszukiwanie nowych materiałów i udoskonalanie już znanych. Konstruktorzy mają do dyspozycji bardzo wiele gatunków materiałów o różnorodnych właściwościach użytkowych, które mogą dobrać w zależności od potrzeb stawianych wobec projektowanych przez nich elementów. Spełnienie wszystkich wymagań techniczno-eksploatacyjnych niekiedy jest trudne, a nawet niemożliwe.

W maszynach i urządzeniach rolniczych, szczególnie przeznaczonych do uprawy gleby, warunki eksploatacyjne w istotny sposób wpływają na ich trwałość eksploatacyjną (dotyczy to różnych okresów agrotechnicznych i zmieniających się warunków atmosferycznych). Trwałość elementów eksploatowanych w glebie związana jest ze złożonymi procesami tribologicznymi, wynikającymi z charakteru pracy narzędzia oraz ze złożonymi procesami interakcji energetycznych, zachodzących między aktywnym narzędziem rolniczym a glebą. Wynika stąd problem właściwej optymalizacji nie tylko konstrukcji elementu, ale także prawidłowego doboru materiału (jego składu chemicznego i struktury fazowej) w aspekcie podniesienia jakości i trwałości eksploatacyjnej.

Dlatego też bardzo ważne jest spełnienie następujących wymagań:

- wysokiej wytrzymałości,
- bardzo dobrej odporności na ścieranie,
- optymalnej udarności.

Właściwości te, w połączeniu ze zoptymalizowaną geometrią kształtu elementów, powinny spełnić założone kryteria jakościowe i trwałościowe. Dlatego też odpowiedni dobór materiałów na poszczególne elementy konstrukcyjne w budowie maszyn jest bardzo istotny z punktu widzenia niezawodności i funkcjonalności działania urządzenia, jak również ma ogromny wpływ na podwyższenie trwałości eksploatacyjnej [1].

Obecnie, celowe jest stosowanie nowych materiałów na odpowiedzialne konstrukcje maszyn i urządzeń, od których

wymaga się wysokich właściwości wytrzymałościowych, szczególnie w trudnych warunkach eksploatacji erozyjno-tribologicznej. W istotny sposób może to podnieść jakość maszyn i urządzeń, ale także znacznie wydłużyć ich trwałość eksploatacyjną, przy możliwości zmniejszenia masy.

2. Przedmiot badań

Przedmiotem badań były próbki wykonane z następujących materiałów:

- stali HARDOX 500:
 - w stanie hartowanym 900°C i odprężanym 200°C (dla badań odporności na ścieranie i twardości),
 - w stanie wyjściowym (dla badań wytrzymałościowych),
- stali 38GSA (hartowana i odprężana),
- stali S355 (18G2),
- stali S235JR (St3S),
- żeliwa sferoidalnego z przemianą izotermiczną (ADI).

3. Cel pracy

Celem pracy było porównanie właściwości tribologiczno-wytrzymałościowych wytypowanych próbek metali. W celu określenia tych właściwości przeprowadzono następujące badania:

- tribologiczne (trybometr Amsler),
- wytrzymałości na rozciąganie (R_m), granicy plastyczności (R_e) oraz wydłużenia (A),
- twardości (w skali HRC).

4. Podstawowe właściwości stali HARDOX 500

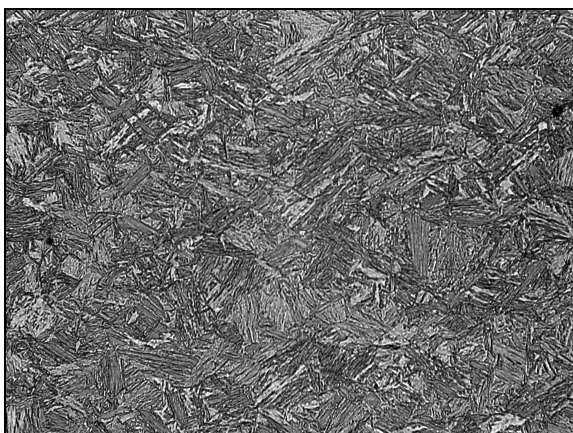
Stal HARDOX 500 zalicza się do „wysokojakościowych stali odpornych na ścieranie” [2, 3]. Mikrostruktura tej stali składa się z bainitu [4] (rys. 1).

Stal HARDOX 500 charakteryzuje się:

- wysokimi właściwościami mechanicznymi,
- wysoką udarnością,
- wysoką ciągliwością,

- możliwością obróbki skrawaniem specjalistycznymi narzędziami,
- wysoką odpornością na ścieranie,
- dobrą spawalnością, można stosować wszystkie klasyczne metody spawania.

Skład chemiczny stali HARDOX 500 zestawiono w tab. 1, natomiast własności mechaniczne w tab. 2.



Rys. 1. Struktury stali HARDOX 500. Bainit. Pow. 250x
Fig. 1. HARDOX 500 steel. Bainite. Magnification 250x

5. Zastosowanie stali HARDOX 500

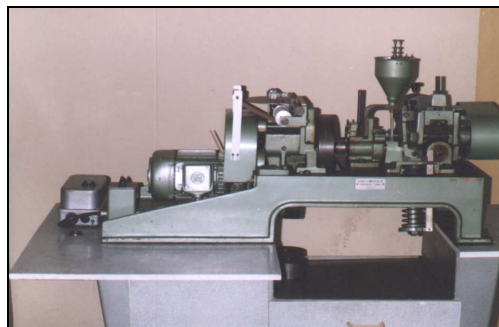
Ze względu na wysoką odporność na ścieranie i wysokie właściwości wytrzymałościowe stal HARDOX 500 może być stosowana na: rozdrabniarki, sita, dozowniki, kontenery, ostrza tnące, przenośniki, wiadra, koparki, przekładnie zębate, koła łańcuchowe, zbiorniki, lemiesz, rozgniatarki, rozrzutniki, skrzynie ładunkowe, zsypy, bębny młynów kulowych, mieszarek mas formierskich, elementy urządzeń wydobywczych kopalń kruszyw.

6. Porównawcze badania odporności na ścieranie

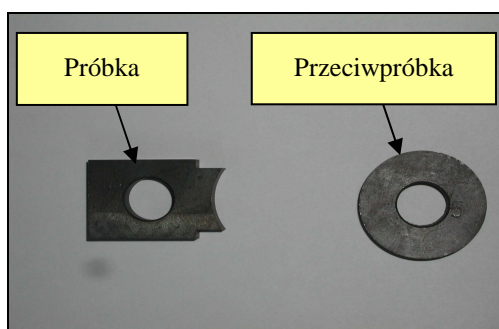
Badania trybologiczne w warunkach tarcia suchego metal-metal przeprowadzone zostały w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu w ramach działalności statutowej TT-4/2008. Celem badań laboratoryjnych było określenie intensywności zużycia wybranych stali HARDOX 500 w porównaniu z innymi materiałami.

Badania odporności na ścieranie w warunkach tarcia suchego metal-metal przeprowadzono na maszynie typu Amsler - A135 (rys. 2). Badania te zostały wykonane zgodnie z normą PN-82/H-04332 [6].

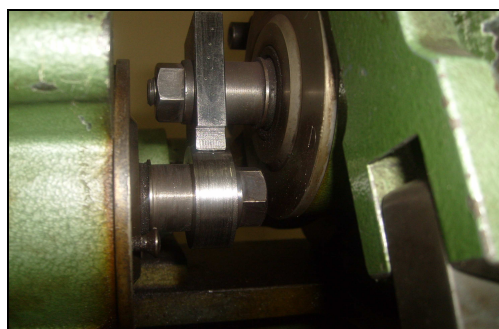
Zastosowano układ klocek – krążek, gdzie próbka z badanego materiału (klocek) była nieruchoma, a przeciwpróbka (krążek) obracała się z prędkością 0,42 m/s (rys. 3 i 4).



Rys. 2. Maszyna Amslera
Fig. 2. Amsler's machine



Rys. 3. Próbka i przeciwpróbka (krążek)
Fig. 3. Sample and anti-sample (disk)



Rys. 4. Próbka i przeciwpróbka zamocowane na trybometrze Amslera
Fig. 4. Sample and anti-sample fixed on Amsler's machine (disk)

Tab. 1. Skład chemiczny stali HARDOX 500 (wg karty katalogowej) [5]
Table 1. Chemical composition of HARDOX 500 steel [5]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Mn
%max	%max	%max	%max	%max	%max	%max	%max	%max	%max
0,18	0,45	1,50	0,025	0,010	1,0	0,3	-	-	1,50

Tab. 2. Własności mechaniczne stali Hardox 500 (wg karty katalogowej) [5]
Table 2. Mechanical properties of HARDOX 500 steel [5]

Granica plastyczności Re [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa]	Wydłużenie A ₅ [%]	Twardość HB
900	1100	10	360

Intensywność zużycia określono ze wzoru podanego w normie dla badań przeprowadzanych na maszynie Amslera [6]. Na maszynie określono moment tarcia M_t i współczynnik tarcia μ_{sr} za pomocą następujących wzorów:

$$M_t = N \cdot s \text{ [daNcm]},$$

gdzie:

N – obciążenie próbek [daN],

s – określona droga tarcia [cm].

$$\mu_{sr} = M_t / (N \cdot r),$$

gdzie: r – promień przeciwpróbkki = 2 cm.

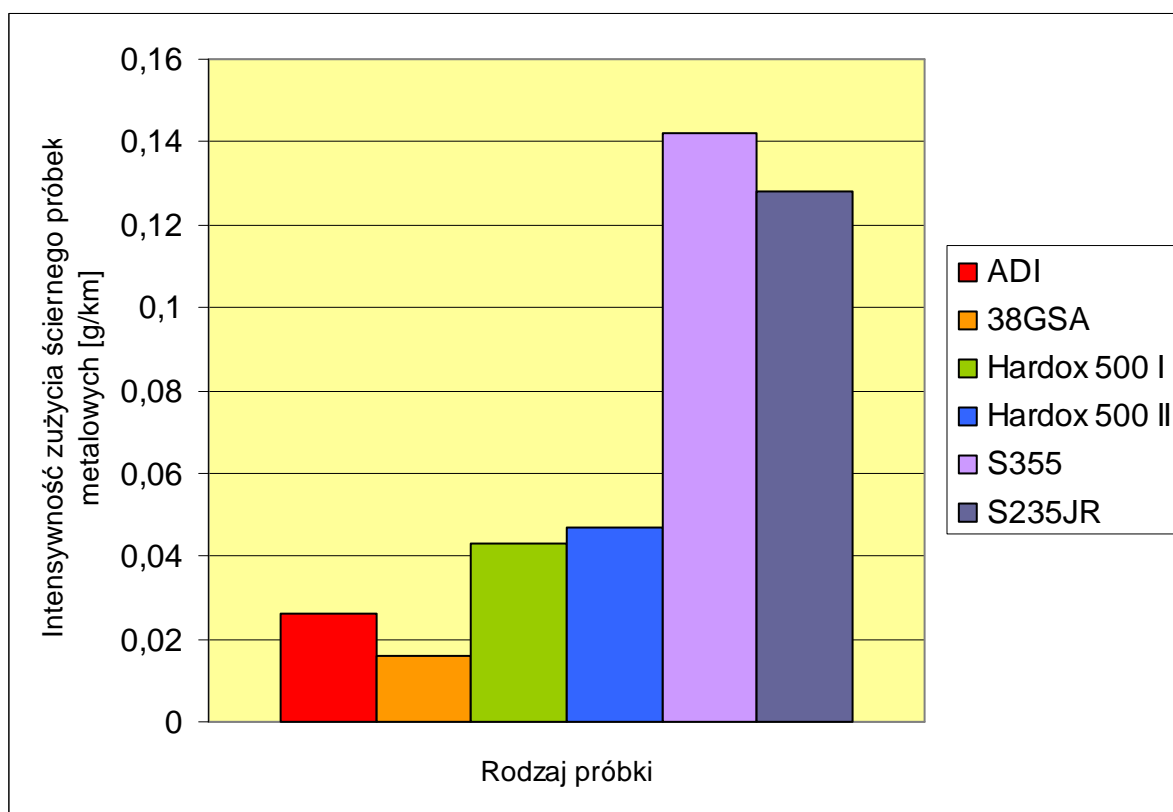
Wyniki badań odporności na ścieranie przedstawiono w tab. 3 oraz na rys. 5.

Jak wynika z tab. 3 i rys. 5, najniższą intensywność zużycia mają: stal HARDOX 500, żeliwo sferoidalne z przemianą izotermiczną (ADI) i stal 38GSA. Badania te dowiodły, że stal HARDOX 500 można zastosować na elementy maszyn rolniczych, które powinny charakteryzować się większą odpornością na ścieranie.

Tab. 3. Zestawienie wyników badań odporności na ścieranie, prowadzonych na maszynie Amslera przy tarcu o wybrane materiały [4]

Table 3. Setting-up of results of abrasion resistance tests carried out on the Amsler's machine during friction [4]

Lp.	Materiał		Temperatura [°C]	Moment tarcia [kg·cm]	Zużycie [g]	Droga [km]	Intensywność zużycia I_{pw}
	Przeciwpróbkka	Próbka					
1.	Stal C45	Stal HARDOX 500 (w stanie wyjściowym)	133	35,0	0,0542	1,256	0,043
2.	Stal C45	Stal HARDOX 500 (hartowanie 900 °C oraz odprężanie 200°C)	132	33,0	0,0580	1,256	0,047
3.	Stal C45	Stal 38GSA	123	33,0	0,0190	1,256	0,016
4.	Stal C45	S355	133	37,0	0,1789	1,256	0,142
5.	Stal C45	S235JR	124	37,0	0,1603	1,256	0,128
6.	Stal C45	Żeliwo ADI	136	33,0	0,0325	1,256	0,026



Rys. 5. Porównanie intensywności zużycia przy użyciu trybometru Amslera [4]

Fig. 5. Comparison of wear intensity during friction in contact with chosen materials [4]

7. Porównawcze badania właściwości wytrzymałościowych

Badania wybranych właściwości wytrzymałościowych (R_m , R_e , A) przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu HT-2402 (rys. 6). Badania te przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 10002-1.



Rys. 6. Maszyny wytrzymałościowej HT-2402
Fig. 6. Endurance machine HT-2402

Wyniki badań właściwości mechanicznych przedstawiono w tab. 4.

Tab. 4. Zestawienie wyników badań wytrzymałościowych, prowadzonych na maszynie wytrzymałościowej HT-2402 [4]
Table 4. Setting-up of results of mechanical properties, carried out of the endurance machine HT-2402 [4]

Lp.	Materiał	Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]	Granica plastyczności R_e [MPa]	Wydłużenie A [%]
1.	Hardox 500	1282	1204	12
2.	S355	619	449	15
3.	S235JR	393	215	23
4.	38GSA	1320	1100	10
5.	ADI	1298	870	3

Badania wykazały bardzo wysokie właściwości wytrzymałościowe stali HARDOX 500, żeliwa sferoidalnego z przemiana izotermiczną (ADI) oraz stali 38GSA.

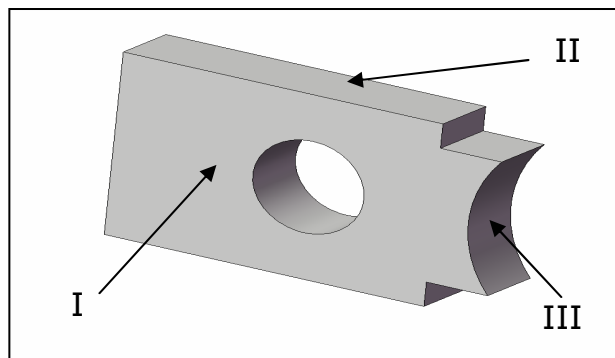
8. Porównawcze badania twardości

Twardość analizowanych próbek zbadano na twardościomierzu marki „Zwick”, typ ZHR4150AK (rys. 7), stosując pomiar metodą Rockwella, w skali „C”. Pomiar wy-

konano na trzech powierzchniach próbki (rys. 8) z dokładnością ± 2 HRC, zgodnie z PN-EN ISO-6508.



Rys. 7. Twardościomierz „Zwick” Rockwell’a ZHR.4150 AK
Fig. 7. Hardness tester “Zwick” Rockwell’a ZHR.4150 AK



Rys. 8. Próbką do badań twardości
Fig. 8. Sample for hardness testing

Wyniki badań twardości przedstawiono w tab. 5.

Tab. 5. Zestawienie wyników twardości [4]
Table 5. Setting-up of results of hardness [4]

Lp.	Materiał	Twardość* [HRC]	
		I	II
1.	Hardox 500 (w stanie wyjściowym)	I	25
		II	43
		III	41
2.	Hardox 500 (po hartowaniu – 900 °C i odpężaniu - 200 °C)	I	34
		II	45
		III	43
3.	S355 (w stanie wyjściowym)	I	11
		II	15
		III	14
4.	38GSA (po hartowaniu i odpężaniu)	I	46
		II	42
		III	47
5.	ADI	I	41
6.	S235JR (w stanie wyjściowym)	NIEMIERZALNE	

* średnia twardość dla: I – 20 pomiarów, II – 5 pomiarów, III – 4 pomiarów

9. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej i wstępnych badań porównawczych stali HARDOX 500 z innymi wybranymi materiałami konstrukcyjnymi nasuwają się następujące spostrzeżenia.

1. Celowe jest stosowanie stali HARDOX 500 w wybranych odpowiedzialnych konstrukcjach maszyn i urządzeń, od których wymaga się wysokich właściwości wytrzymałościowych i ściernych, szczególnie w trudnych warunkach eksploatacji erozyjno-tribologicznej. W znaczący sposób spowoduje to podniesienie jakości elementów maszyn i urządzeń rolniczych, przy możliwości zmniejszenia masy oraz wydłużeniu ich trwałości eksploatacyjnej.

2. Przeprowadzone porównawcze badania trybologiczne i wytrzymałościowe potwierdzają wysoką odporność na ścieranie i wytrzymałość na rozciąganie stali HARDOX 500, jak również żeliwa sferoidalnego z przemianą izotermiczną (ADI).

10. Literatura

- [1] Łabęcki M., Krysztofiak A., Pawłowski T., Mielec K., Gościański M., Radniecki J., Kapcińska D.: Uruchomienie produkcji odlewów części zamiennych do maszyn rolniczych z wysokojakościowego, stopowego żeliwa sferoidalnego. Zadanie 1: Badania warunków pracy i zużycia wybranych elementów maszyn rolniczych pracujących w glebie. Projekt celowy finansowany z funduszy strukturalnych UE WKP_1/1.4. 1/1/2005/12/12/229, Prace PIMR, TT-2/2006.
- [2] Dudziński W., Konat Ł., Pękalska L., Pękalski G.: Struktury i właściwości stali Hardox 400 i 500. Inżynieria Materiałowa, 2006, nr 3 (151), s. 139-142.
- [3] Konat Ł.: Struktury i właściwości stali Hardox a ich możliwości aplikacyjne w warunkach zużywania ściernego i obciążeń dynamicznych. Rozprawa doktorska 2007.
- [4] Kapcińska D., Żurowski K., Gościański M.: Analiza nowej generacji materiałów stosowanych na wybrane elementy w budowie maszyn pracujące w wyjątkowo trudnych warunkach zużycia erozyjno-trybologicznego w aspekcie zwiększenia ich trwałości eksploatacyjnej. Prace PIMR, TT-4/2008.
- [5] Karta katalogowa stali HARDOX 500.
- [6] Norma PN-82/H-04332: Badanie zużycia metali lub ich warstw dyfuzyjnych w procesie tarcia ślizgowego przy stałym nacisku na maszynie Amslera.