

BADANIA ZUŻYCIA STALI HARDOX EXTREME W WARUNKACH TARCIA SUCHEGO. CZĘŚĆ 2.

Streszczenie

W części drugiej artykułu przedstawiono wyniki badań tribologicznych próbek ze stali Hardox Extreme (wyciętych metodą hydroabrazijną) ale współpracujących w warunkach tarcia suchego z trzema próbkami, których powierzchnie trące obrobiono laserowo w różnych wariantach technologicznych. Badania, które wykonano przy użyciu tribometru AMSLER, wykazały ponad 4-krotnie mniejszą intensywność zużycia stali Hardox Extreme na stali Hardox 450 stopowanej borem niż na stali Hardox Extreme napawanej TML220S.

Słowa kluczowe: badania tribologiczne, stal Hardox Extreme, tarcie, tribometr

Wprowadzenie

Popularność stali trudnościeralnych typu Hardox wynika przede wszystkim z ich właściwości mechanicznych i jednocześnie tribologicznych. Ewidentny wzrost zainteresowania związany jest z możliwościami technologicznymi i szerokim wachlarzem potencjalnych zastosowań. W części pierwszej artykułu omówiono zużycie stali Hardox Extreme w parach ciernych z Hardox Extreme, z Hardox 450 oraz z żeliwem ADI. W części drugiej zostaną przedstawione wyniki badań tribologicznych próbek stali Hardox Extreme w parach ciernych ze stalą Hardox 450 i Hardox Extreme, których powierzchnie cierne dodatkowo poddano procesom napawania trudnościeralnymi warstwami.

Doskonałe właściwości tribologiczne są niezwykle istotne w rolnictwie, szczególnie w odniesieniu do narzędzi roboczych maszyn i ruchomych elementów urządzeń rolniczych. Modyfikacja struktury warstwy wierzchniej elementów i zespołów roboczych jest szczególnie ważna w maszynach i urządzeniach rolniczych, pracujących w trudnych warunkach agrotechnicznych. Z jednej strony zachowujemy właściwości materiału w rdzeniu części zamiennej a podwyższamy tylko właściwości tribologiczne warstwy wierzchniej, co pozwala na znaczne zwiększenie trwałości eksploatacyjnej wyrobu. Są również aplikacje, gdzie wymagana jest współpraca ślizgowa dwóch elementów nie tylko o wysokiej twardości i parametrach wytrzymałościowych, ale których powierzchnie współpracujące poddawane są dodatkowo obróbce laserowej napawania super trudnościeralnymi stopami [2, 3, 5].

Przedmiot badań

Przedmiotem badań tribologicznych były próbki wycięte metodą hydroabrazijną ze stali Hardox Extreme o grubości 10 mm. Widok próbek do badań tribologicznych przy użyciu tribometru AMSLER przedstawiono na rys. 1 i 2.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Kształt próbki B i A wyciętej z kawałka blachy Hardox Extreme do badań tribologicznych

Fig. 1. Shapes of A and B samples cut out from sheet of Hardox Extreme steel in order to tribological analysis



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Widok próbki typu B w trzech wariantach technologicznych I i II - stopowana Borem, III - napawana proszkiem TML220S (LMD)

Fig. 2. View of the B sample in three kinds of technological variants: I and II made by laser boring method, III made by laser cladding method with TML 220S powder use

Jako przeciwpróbki użyto stal Hardox Extreme napawaną laserowo, trójstrumieniowo, stopem Inconell 625 z dodatkiem węgla wolframu (TML220S) przy użyciu urządzenia Trulaser Cell 3008 oraz stal Hardox 450 w dwóch najlepszych wariantach technologicznych (stopowania laserowego borem).

Opis technologii stopowania borem przeciwpróbek

Stopowanie borem przeciwpróbek ze stali Hardox 450 prowadzono z wykorzystaniem lasera molekularnego CO₂ firmy TRUMPF (typ TLF 2600 Turbo), o mocy znamionowej 2,6 kW, znajdującego się w Laboratorium Techniki Laserowej Zakładu Obróbki Skrawaniem Politechniki Poznańskiej. Bor amorficzny naniesiono w postaci specjalnie przygotowanej pasty o grubości 40 µm.

W czasie obróbki powierzchniowej stali zastosowano różną moc wiązki lasera $P = 0,91$ i $1,17$ kW, prędkość skanowania wiązką lasera $v = 3,84$ m·min⁻¹, średnica wiązki o przekroju kołowym $d = 2$ mm oraz skok linii śrubowej $f = 0,50$ mm·obr.⁻¹;

Wariant I:

$P = 0,91$ kW, $v = 3,84$ m·min⁻¹,
 $f = 0,50$ mm, $d = 2$ mm;

Wariant II:

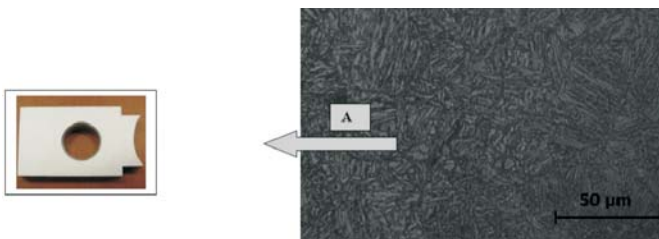
$P = 1,17$ kW, $v = 3,84$ m·min⁻¹,
 $F = 0,50$ mm, $d = 2$ mm [1].

Opis technologii napawania laserowego stopem TML220S (LMD)

Napawanie laserowe stopem TML220S przeciwpróbek ze stali Hardox Extreme wykonano przy użyciu urządzenia Tru Laser Cell 3008 firmy TRUMPF (technologia LMD), znajdującego się w Laboratorium Zespołu Badań i Rozwoju Materiałów Konstrukcyjnych Maszyn Rolniczych Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych. W czasie obróbki powierzchniowej zastosowano następujące parametry technologiczne procesu laserowego napawania mieszczące się w przedziałach:

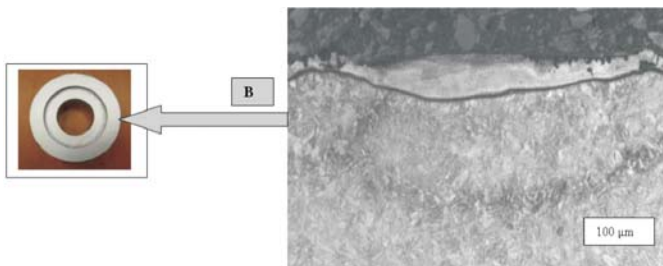
- moc lasera: 700-900 W,
- średnica wiązki lasera: 2-3 mm,
- ilość proszku: 10-20 g·min⁻¹,
- prędkość ruchu głowicy: 500-1000 mm·min⁻¹.

Na rys. 3-6 przedstawiono mikrostruktury próbek stali użytych do badań tribologicznych.



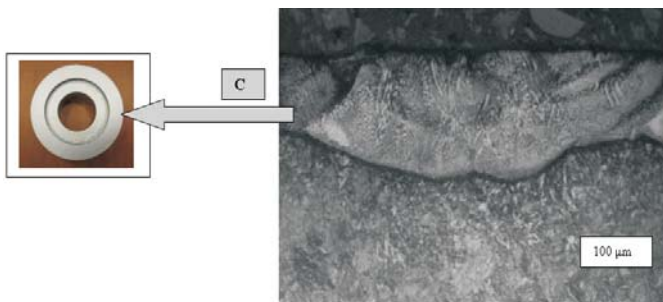
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Mikrostruktura stali Hardox Extreme - próbka bazowa (A - powierzchnia ciemna)
Fig. 3. Microstructure of Hardox Extreme steel - basic sample (A - dark surface)



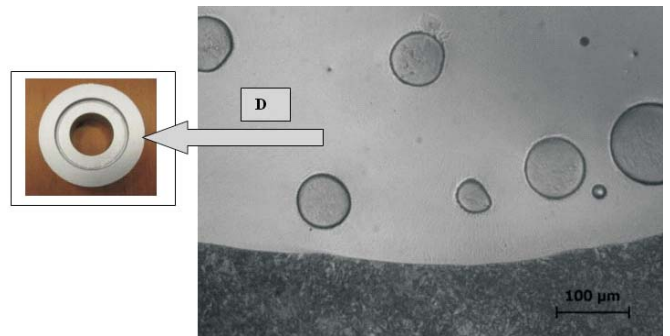
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Mikrostruktura stali Hardox 450 po laserowym borowaniu powierzchni czołowej przeciwpróbki wariant I (B)
Fig. 4. Microstructure of Hardox 450 steel after laser boriding of the front face of counter-sample variant I (B)



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Mikrostruktura stali Hardox 450 po laserowym borowaniu powierzchni czołowej przeciwpróbki wariant II (C)
Fig. 5. Microstructure of Hardox 450 steel after laser boriding of the front face of counter-sample variant II (C)



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 6. Mikrostruktura stali Hardox Extreme po napawaniu laserowym powierzchni czołowej (D) przeciwpróbki stopem TML220S

Fig. 6. Microstructure of Hardox Extreme steel after laser cladding of the front face of counter-sample (D) with TML 220S powder

Metodyka badań tribologicznych (tribometr Amsler)

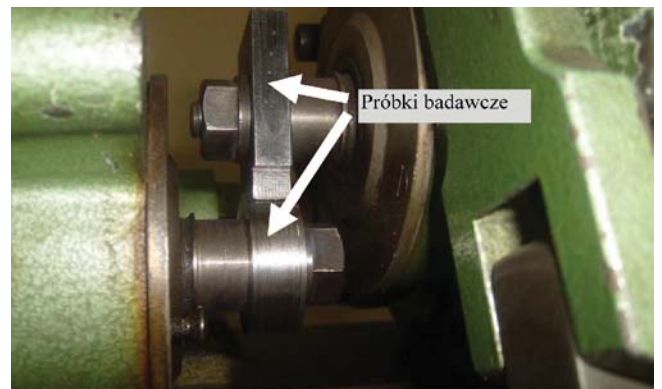
Badania próbek metalowych przeprowadzono przy użyciu maszyny do badania ścieralności metali typu Amsler - A135, produkcji szwajcarskiej. Maszyna umożliwia prowadzenie badań ścieralności przy ruchu obrotowym, w zakresie obciążeń badanych próbek 0-2000 N, przy dwóch prędkościach obrotowych wałka, wynoszących 200 i 400 obr·min⁻¹ (0,42-0,84 m·s⁻¹), w warunkach tarcia suchego lub przy zastosowaniu smarowania. Widok urządzenia przedstawiono na rys. 7, natomiast widok próbek zamocowanych w tribometrze na rys. 8.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 7. Widok tribometru Amsler do badania odporności na ścieranie

Fig. 7. View of the Amsler tribometer for abrasion resistance analysis



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 8. Widok próbek zamocowanych w tribometrze Amsler

Fig. 8. View of the samples fixed in Amsler tribometer

Badania prowadzono zgodnie z normą PN-82/H- 04332 pt. „Badanie zużycia metali lub ich warstw dyfuzyjnych w procesie tarcia ślizgowego przy stałym nacisku na maszynie Amslera”. Zastosowano metodę „A”, przy tarcii suchym (bez smarowania). Badania prowadzono w układzie próbka wklęsła (nieruchoma) - próbka okrągła (ruchoma). Obciążenie próbek metalowych wynosiło 600 N, zgodne z metodyką badań trybologicznych na maszynie Amslera opracowaną w PIMR. Obroty próbki (okrągłej) wynosiły 200 obr.·min⁻¹, (0,42 m·s⁻¹) [4].

Zgodnie z zaleceniami normy dla wszystkich par próbek przeprowadzono wstępne docieranie (nieuwzględniane w wynikach), które trwało 30 min.

Zużycie określano metodą wagową, dokonując co określony czas (120 minut) pomiarów masy próbek za pomocą elektronicznej wagi analitycznej SARTORIUS, o zakresie udźwigu 0,0001-200 g. Każdą parę badano co 2, 4 i 6 h, z dokładnością do ±0,0002 g.

Obliczono różnice zużycia odpowiednio po 2, 4 i 6 h przebiegu, tj. po przebyciu przez każdą z próbek danej pary ciernej, w ciągu 2 h, drogi s = 3024 m. Na podstawie zużycia wagowego próbki Z_{pw}, obliczono także intensywność zużycia I_{pw} wg wzoru:

$$Z_{pw} = m_{zc} - m_o \quad [g],$$

$$I_{pw} = \frac{Z_{pw}}{s} \quad [g \cdot m^{-1}],$$

gdzie: I_{pw} - intensywność zużycia wagowego [g·m⁻¹],

Z_{pw} - zużycie wagowe próbki w okresie ustalonego przebiegu zużycia [g],

m_{zc} - masa próbki po zużyciu [g],

m_o - masa próbki po dotarciu [g],

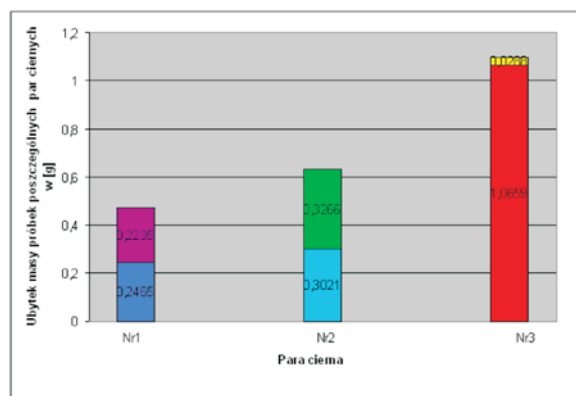
s - całkowita droga tarcia [m].

Wyniki badań

W tab. 1 oraz na rys. 9-10 przedstawiono wyniki obliczeń zużycia poszczególnych próbek trzech par ciernych przy użyciu tribometru AMSLER, w warunkach tarcia suchego.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, najmniejszą intensywność zużycia pary ciernej nr I, zarówno próbki ze stali Hardox Extreme i przeciwpróbki ze stali Hardox 450 stopowanej borem w wariancie I. Najmniej zużyta przeciwpróbka była próbka ze stali Hardox Extreme z warstwą TML220S ze stopu Inconel 625 z węglikiem wolframu. Próbka ze stali Hardox Extreme najbardziej zużyła się w kontakcie z przeciwpróbka ze stali Hardox Extreme z warstwą TML220S ze stopu Inconel z węglikiem wolframu. Potwierdza to opinie o bardzo odpornej na ścieranie warstwie stopu TML220S nałożonej metodą LMD na stal Hardox

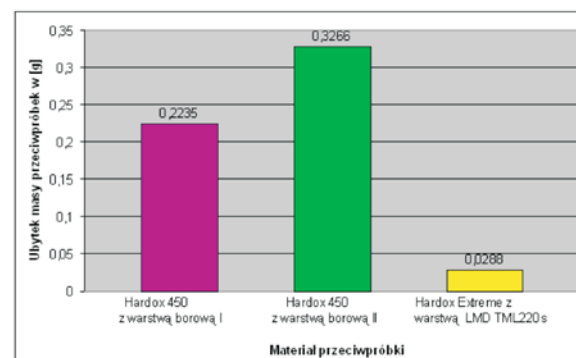
Extreme. W kontakcie z tym podłożem nawet tak dobra, pod względem wytrzymałościowym, strukturalnych i twardości (>62HRC) stal Hardox Extreme uległa intensywnemu zużyciu ściernemu.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 9. Ubytek masy poszczególnych próbek w parze ciernej nr 1, 2, 3 (według tab. 1)

Fig. 9. Weight loss of samples in friction pair I, II, III (according to table 1)



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 10. Ubytek masy próbek, których powierzchnia została stopowana laserowo borem oraz napawana proszkiem stopu niklowego z węglkami wolframu w kontakcie z próbkami ze stali Hardox Extreme

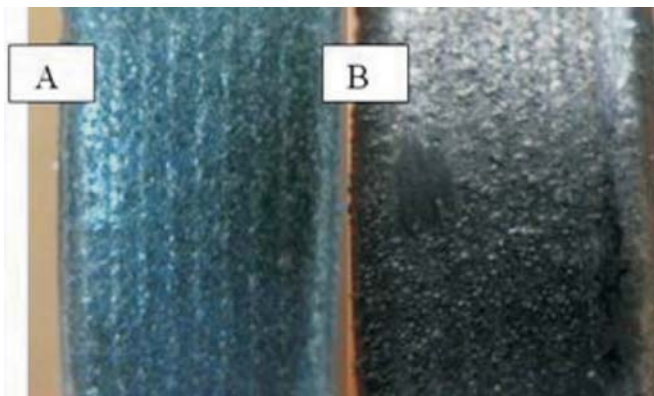
Fig. 10. Weight loss of samples, which surfaces were modified by laser boriding and laser cladding with powder mixture of nickel and tungsten carbides cooperating with Hardox Extreme steel

Topografię powierzchni tarcia próbki okrągłej ze stali Hardox Extreme (próbka napawana LMD) pracującej w parze ciernej z próbka ze stali stal Hardox Extreme przedstawiono na rys. 11.

Tab. 1. Zbiorcze wyniki badań trybologicznych
Table 1. General results of tribological research

Lp.	Kształt próbki pary ciernej	Material	Ubytek masy Z _{pw} [g]	Intensywność zużycia I _{pw} [g·m ⁻¹]	Czas pracy [h]	Droga tarcia s [m]	Twardość Rockwella [HRC]
Numer pary ciernej 1							
1.	Próbka okrągła	Hardox 450 stopowana borem (I)	0,2235	2,4636·10 ⁻⁵	6	9072	-
2.	Próbka wklęsła	Hardox Extreme	0,2465	2,7172·10 ⁻⁵			62
Numer pary ciernej 2							
3.	Próbka okrągła	Hardox 450 stopowana borem (II)	0,3266	3,6001·10 ⁻⁵	6	9072	-
4.	Próbka wklęsła	Hardox Extreme	0,3021	3,3300·10 ⁻⁵			62
Numer pary ciernej 3							
5.	Próbka okrągła	Hardox Extreme napawana LMD stopem TML220S	0,0288	0,3175·10 ⁻⁵	6	9072	-
6.	Próbka wklęsła	Hardox Extreme	1,0659	11,7493·10 ⁻⁵			62

Źródło: opracowanie własne / Source: own work



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 11. Widok topografii powierzchni tarcia próbki okrągłej ze stali Hardox Extreme (próbka napawana LMD): A) przed ścieraniem, B) po ścieraniu

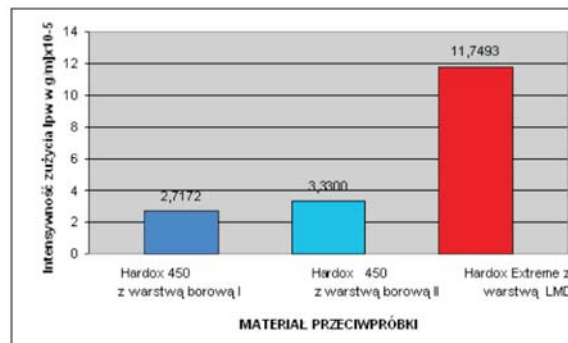
Fig. 11. View of the surface topography of round sample made from Hardox Extreme (modified by laser cladding method): A) before abrasion process, B) after abrasion process

Podsumowanie

Badania tribologiczne stali Hardox Extreme wykazały jej dobrą odporność na ścieranie i mały ubytek masy we współpracy ze stalą Hardox 450 stopowanej borem w wariacie technologicznym I.

Intensywność zużycia stali Hardox Extreme w tej parze była ponad 4-krotnie mniejsza od zużycia tej samej stali we współpracy z próbką Hardox Extreme napawanej laserowo super twardym stopem TML220S (rys. 12).

Opracowana w PIMR w Poznaniu powłoka trudnościeralna nie tylko sprawdza się na elementach pracujących w warunkach ściernych z mediami sypkimi takimi jak biomasa drzewna, słomiana, gleba, ale także może znaleźć zastosowanie na elementy pracujące w wielu odpowiedzialnych ślizgowych węzłach ciernych.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 12. Wpływ materiału i warstwy wierzchniej przeciwpróbki na intensywność zużycia stali Hardox Extreme w warunkach tarcia suchego, przy użyciu tribometru AMSLER

Fig. 12. Influence of the material properties and surface layer of the counter-sample on intensity of wearing-out of the Hardox Extreme steel during dry friction, with the use of AMSLER tribometer

Bibliografia

- [1] Kapcińska-Popowska D.: Wpływ borowania dyfuzyjnego i laserowego na strukturę i właściwości stali konstrukcyjnej stosowanej na części maszyn rolniczych. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, 2015.
- [2] Materiały informacyjne firmy SSAB. Trudnościeralna blacha Hardox - twarda i mocna stal dla agresywnych środowisk pracy.
- [3] Nosal S.: Tribologia. Wprowadzenie do zagadnień tarcia, zużywania i smarowania. Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2012.
- [4] PN-82/H-04332: Badania wytrzymałościowe metali. Badanie odporności na zużycia metali lub ich warstw dyfuzyjnych w procesie tarcia ślizgowego przy stałym nacisku na maszynie Amslera.
- [5] Szczerek M., Wiśniewski M.: Tribologia i trybotechnika. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 2000.

TRIBOLOGICAL RESEARCH OF HARDOX EXTREME STEEL IN THE DRY FRICTION CONDITIONS. PART. 2.

Summary

Second part of the article is devoted to the results of tribological research with samples made from Hardox Extreme steel ((cut out by hydro-abrasion process) that cooperate with samples modified by laser metal deposition process (LMD) working in dry friction environment. Their surfaces were shaped by different technological variants of laser cladding method. Results indicate over 4-times less wearing rate of Hardox Extreme steel cooperating with modified by laser boriding Hardox 450 steel, than Hardox Extreme steel modified by laser cladding technology with TML 220S powder.

Key words: tribological research, Hardox Extreme steel, friction, tribometer

Kazimierz A. Dreszner
Adam P. Dubowski, Tadeusz Pawłowski, Jan Szczepaniak

**NAPĘDY HYDROSTATYCZNE
W MASZYNACH ROLNICZYCH**

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH
POZNAŃ 2005

NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH
ISBN 83-921598-2-9

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. +48 61 87 12 200; fax + 48 61 879 32 62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: http://www.pimr.poznan.pl