

Marek GOŚCIAŃSKI, Zenon PIROWSKI*, Bartłomiej DUDZIAK

Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych

ul. Starołęcka 31, 60-963 Poznań

e-mail: office@pimr.poznan.pl

* Instytut Odlewnictwa, Zakład Stopów Żelaza

ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

e-mail: iod@iod.krakow.pl

COMPARATIVE EXPERIMENTAL RESEARCH OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF THE ADI CAST IRON IN DRY FRICTION CONDITIONS. PART I

Abstract

Structural and chemical composition characteristic of materials with high tribological properties: HARDOX, NJA-034B, 38GSA and new designed (under the development project no. N R03 009) ADI cast iron have been presented in the paper. Comparative experimental research of these materials in dry friction condition have been done, on the Amsler machine in aspect of wear intensity evaluation.

Key words: cast irons; dry friction; tribology; chemico-physical properties; laboratory experimentation

PORÓWNAWCZE BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH ŻELIWI ADI W WARUNKACH TARCIA SUCHEGO. CZĘŚĆ I

Streszczenie

W pracy scharakteryzowano pod względem strukturalnym i składu chemicznego materiały o wysokich właściwościach tribologicznych (stale HARDOX, NJA-034B i 38GSA) oraz nowo opracowane (w ramach projektu rozwojowego N R03 009) żeliwa ADI. Przeprowadzono porównawcze badania tribologiczne tych materiałów w warunkach tarcia suchego przy użyciu trybometru Amsler w aspekcie oceny ich intensywności zużycia.

Słowa kluczowe: żeliwa; tarcie suche; tribologia; właściwości chemiczno-fizyczne; badania laboratoryjne

1. Wstęp

Optymalny dobór nowoczesnych tworzyw konstrukcyjnych na części maszyn i urządzeń rolniczych jest problemem ciągle aktualnym, wynikającym – przede wszystkim – z coraz większej ich podaży, a z drugiej strony, z coraz doskonalszych ich konstrukcji.

Trwałość eksploatacyjna elementów maszyn rolniczych jest szczególnie ważna w aspekcie trwałości i niezawodności całych maszyn, pracujących najczęściej w krótkich okresach agrotechnicznych. Dlatego też dobór odpowiednich materiałów konstrukcyjnych w budowie maszyn rolniczych jest niezwykle ważny, ale zarazem bardzo trudny.

Elementy i zespoły tych maszyn są w czasie użytkowania poddawane bardzo dużym obciążeniom mechanicznym, podlegają intensywnemu ścieraniu twardymi składnikami gleby (głównie SiO₂), działającą na nie agresywne media chemiczne (środki ochrony roślin, nawozy naturalne i sztuczne, wapno itp.).

Przechowywanie maszyn rolniczych pomiędzy sezonami agrotechnicznymi odbywa się często w otwartej przestrzeni. W tym czasie podlegają one działaniu czynników atmosferycznych, takich jak: zmienna wilgotność powietrza, opady atmosferyczne, zmiany temperatury oraz zróżnicowane promieniowanie słoneczne. Dlatego też materiałem stosowanym w tym przemyśle stawia się bardzo wysokie wymagania: chemiczne, fizyko-mechaniczne, tribologiczne i korozyjne. Spełnienie wielu z nich jest możliwe dzięki nowoczesnym materiałom, w tym także odlewniczym, które pojawiają się również na polskim rynku.

W ostatnich latach trwają próby technologiczne szerszego zastosowania szczególnie żeliw sferoidalnych z przemianą izotermiczną (ADI), nie tylko na elementy pra-

cujące w glebie [1, 2], ale także na elementy zespołów pracujących w warunkach tarcia suchego.

Dzięki precyzyjnemu sterowaniu składem chemicznym tych żeliw i parametrami obróbki cieplnej (przemiany izotermicznej), możliwe jest osiągnięcie założonych właściwości mechanicznych i tribologicznych w aspekcie podniesienia trwałości eksploatacyjnej.

W wyniku przeprowadzonych badań tribologicznych, oceniono intensywności zużycia wybranych materiałów odpornych na ścieranie w porównaniu do różnych pod względem składu chemicznego i struktury żeliw ADI, w aspekcie ich kierunkowej aplikacji na elementy pracujące w warunkach tarcia suchego.

2. Przedmiot i warunki przeprowadzenia badań

Przedmiotem badań były próbki z nowo opracowanego żeliwa sferoidalnego z przemianą izotermiczną (w II wariantach składu chemicznego i IV wariantach obróbki izotermicznej) oraz porównawczo próbki ze stali: HARDOX 500, NJA-034B i 38GSA (rys. 1).



Rys. 1. Widok pary ciernej do badania odporności na ścieranie na maszynie Amslera

Fig. 1. View of the frictional-pair for abrasion resistance test on the Amsler machine

W tab. 1 zestawiono składy chemiczne stali użytych porównawczo do badań tribologicznych, a w tab. 2 podano składy chemicznie próbek z żeliwa ADI.

Próbki z żeliwa ADI zostały poddane obróbce cieplnej ze zróżnicowaną temperaturą hartowania izotermicznego w celu uzyskania założonej twardości:

- ADI A – twardość ~ 38HRC,
- ADI B.1 – twardość ~ 42HRC,
- ADI B.2 – twardość ~ 33HRC,
- ADI B.3 – twardość ~ 30HRC.

Średnia twardość próbek, którą zmierzono przy użyciu twardościomierza Zwick wynosiła odpowiednio: stali 38GSA-46 HRC, stali HARDOX 500-42HRC, stali NJA-034B-35HRC.

Do badań użyto dwa rodzaje próbek, opracowanych w ramach projektu, żeliw sferoidalnych A i B, różniących się dodatkiem Cu. Dodatek około 0,6% miedzi (Cu) przy zmniejszeniu zawartości drogiego niklu (Ni) znacząco ob-

niza cenę produkcji tego gatunku żeliwa, bez istotnego wpływu na jego właściwości. Należy jednocześnie podkreślić, że dodatki N, Mo, Cu zwiększają hartowność żeliwa, a więc opóźniają przemianę perlityczną, co daje możliwość zahartowania grubszego przekroju elementu, z uzyskaniem ausferytu (przemiana izotermiczna).

Na rys. 2 przedstawiono struktury metalograficzne badanych próbek.

Badania ścieralności wykonano na maszynie typu Amsler - A135, produkcji szwajcarskiej. Maszyna umożliwia prowadzenie badań ścieralności przy ruchu obrotowym, w zakresie obciążeń badanych próbek 0-200 daN, przy dwóch prędkościach obrotowych wałka (200 i 400 obr/min), na którym jest mocowana przeciwpróbka, w warunkach tarcia suchego lub przy zastosowaniu smarowania.

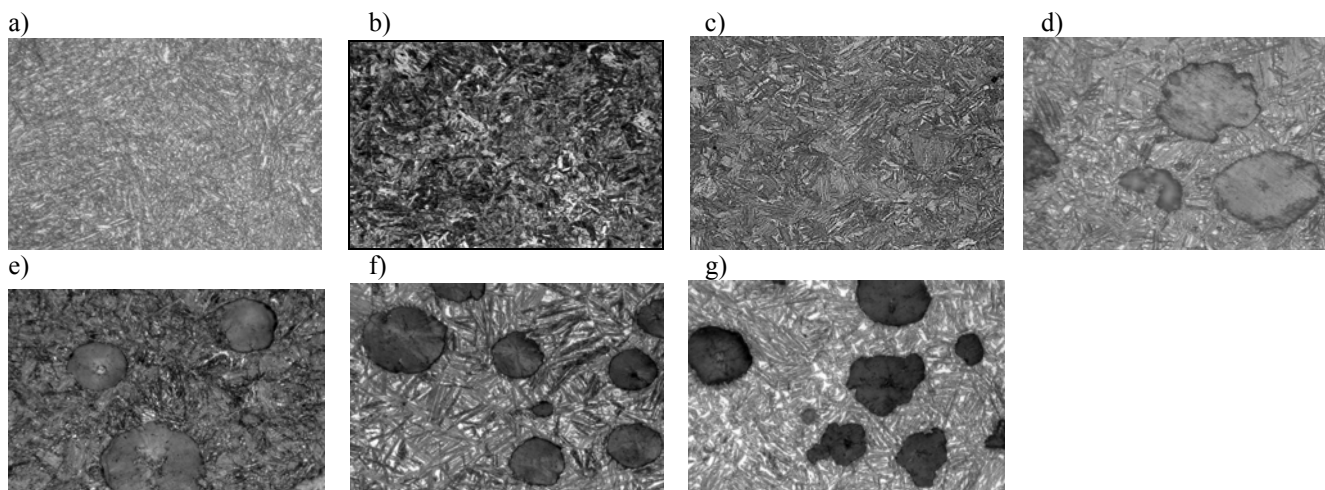
Maszyna jest wyposażona w urządzenie mierzące i rejestrujące przebieg momentu tarcia. Widok maszyny pokazano na rys. 3, a widok pary ciernej na rys. 1.

Tab. 1. Skład chemiczny stali użytych porównawczo do badań tribologicznych
Table 1. Chemical composition of steels used for comparative experimental research

Gatunek stali	Skład chemiczny [%]									
	C	Si	Mn	P	S	Ti	B	Cr	Al	Ni
38GSA	0,3-0,38	0,8-1,1	0,7-1,1	0,035	0,04	0,06-0,12	-	-	0,02-0,06	-
NJA-034B (stal borowa)	0,3	0,3	1,2	0,03	0,04	-	0,002-0,004	0,2	-	-
HARDOX 500	0,18	0,450	1,5	0,025	0,01	-	-	1	-	0,3

Tab. 2. Skład chemiczny żeliw sferoidalnych z przemianą izotermiczną
Table 2. Chemical composition of spheroidal cast iron with isothermal transformation

Gatunek stali	Skład chemiczny [%]								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mg	Mo	Cu
ADI A	3,60	2,35	0,30	0,050	0,020	1,50	0,060	0,3	-
ADI B.1	3,63	2,86	0,11	0,083	0,029	1,33	0,094	0,3	0,56
ADI B.2	3,63	2,86	0,11	0,083	0,029	1,33	0,094	0,3	0,56
ADI B.3	3,63	2,86	0,11	0,083	0,029	1,33	0,094	0,3	0,56



Rys. 2. Struktury metalograficzne badanych próbek stali i żeliw: a) próbka ze stali 38GSA – martenzyt odpuszczony (powiększenie 200x); b) próbka ze stali NJA-034B – Bainit z wtrąceniami ferrytu (powiększenie 300x); c) próbka ze stali HARDOX – bainit z niewielkim dodatkiem martenzytu (powiększenie 250x); d) próbka z żeliwa ADI (A) – środek próbki. Grafit sferoidalny na tle bainitu i austenitu szczątkowego (powiększenie 700x); e) próbka z żeliwa ADI B.1. Grafit sferoidalny na tle bainitu i nieznacznej ilości austenitu szczątkowego (powiększenie 500x); f) próbka z żeliwa ADI B.2 – grafit sferoidalny na tle bainitu, martenzytu i austenitu szczątkowego; znacznie większe ziarno niż w próbce żeliwa ADI B.1 (powiększenie 500x); g) próbka z żeliwa ADI B.3 – grafit sferoidalny na tle bainitu, martenzytu i austenitu szczątkowego; nieznaczne wtrącenia wolnego ferrytu, znacznie większe ziarno niż w próbce żeliwa ADI B.1 (powiększenie 500x)

Fig. 2. Metallographic structures of examined steel and cast iron samples



Rys. 3. Widok maszyny Amslera, do badania odporności na ścieranie, przy tarcia metal o metal
Fig. 3. View of the Amsler machine used for abrasion resistance test, at metal-metal friction

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 Amsler”. Zastosowano metodę „A”, badania w układzie klocek-krażek, gdzie próbka z badanego materiału (klocek) pozostaje nieruchoma, a przeciwpróbka (krażek) obraca się, przy tarcia suchym (bez smarowania). Zgodnie z zaleceniami normy, dla wszystkich par próbek przeprowadzono wstępne docieranie (nieuwzględniane w wynikach) do czasu uzyskania 70% powierzchni styku pomiędzy próbka a przeciwpróbka. Zużycie określano metodą wagową, dokonując co określony czas (100 minut) pomiarów masy próbek za pomocą elektronicznej wagi analitycznej SARTORIUS, typ o zakresie udźwigu od 0,0001 do 200 g, z dokładnością do $\pm 0,0002$ g. Każdą parę badano czterokrotnie, na ustalonej drodze tarcia (2512 m) i następnie obliczano średnią z wyników. Na podstawie zużycia wagowe próbki obliczono intensywność zużycia według wzoru:

$$I_{pw} = \frac{Z_{pw}}{s} \text{ [g / m]}, \quad (1)$$

gdzie:

I_{pw} – intensywność zużycia wagowego [g/m],

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

s – całkowita droga tarcia = 2512 [m].

Współczynnik tarcia μ_{sr} obliczono ze wzoru:

$$\mu_{sr} = \frac{M_t}{N \times r}, \quad (2)$$

Tab. 3. Zestawienie wyników badań odporności na ścieranie
Table 3. Set of results of abrasion resistance tests

Material próbki	Material przeciwpróbki	Moment tarcia końcowy [Nm]	Ubytek masy próbki [g]	Temperatura końcowa [°C]	Intensywność zużycia I_{pw} [g/m]	Współczynnik tarcia μ
38GSA	ADI A	3,85	0,07	129	0,000015	0,300
NJA-034B	ADI A	3,55	0,04	119	0,000016	0,295
HARDOX 500	ADI A	4,05	0,16	126	0,000065	0,337
ADI A	ADI A	4,05	0,03	126	0,000013	0,325
ADI B.1	ADI A	3,78	0,05	114	0,000020	0,320
ADI B.2	ADI A	3,80	0,04	117	0,000015	0,320
ADI B.3	ADI A	3,90	0,05	120,5	0,000019	0,330

gdzie:

M_t – moment tarcia M [Nm],

r – promień przeciwpróbki [m],

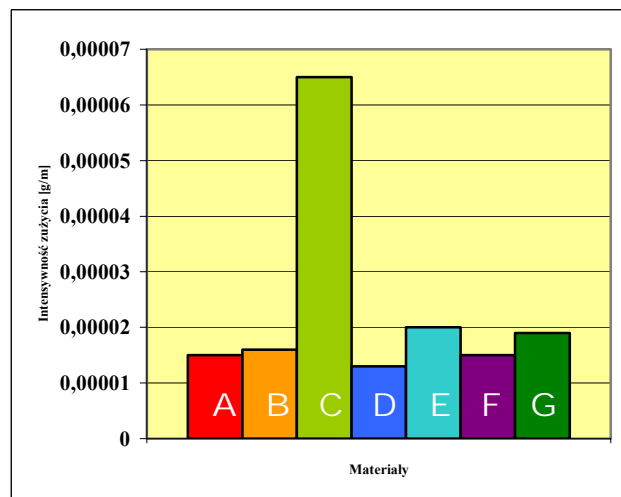
N – Nacisk [N].

3. Warunki przeprowadzonych badań

Przyjęto następujące parametry przy badaniu na trybometrze Amsler:

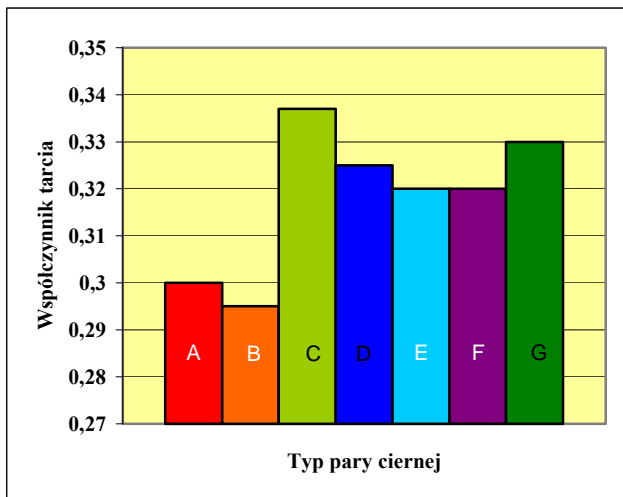
- standardowe nacisk na próbkę: 600N,
- promień przeciwpróbki: 0,02 m,
- obroty próbki (krażka) 200 obr/min, (0,42 m/s),
- temperatura próbek (próbka-przeciwpróbka) nie przekraczająca 150°C (temperatura gwarantująca brak zmian strukturalnych oraz możliwości zacierania się podczas badań). Podczas badań sprawdzano temperaturę próbek, za pomocą: termometru stykowego marki „TESTO”, produkcji niemieckiej, o zakresie pomiaru od -50 do +250°C i dokładności pomiaru $\pm 2^\circ\text{C}$,
- jako przeciwpróbka dla wszystkich badanych materiałów stosowano żeliwo ADI A o średniej twardości 38HRC.

Wyniki badań zestawiono w tab. 3 oraz pokazano graficznie na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Porównanie intensywności zużycia badanych materiałów: A - 38GSA, B - NJA-034B, C - HARDOX 500, D - ADI A, E - ADI B1, F - ADI B2, G - ADI B3

Fig. 4. Comparison of wear intensity of examined materials A - 38GSA, B - NJA-034B, C - HARDOX 500, D - ADI A, E-ADI B1, F - ADI B2, G - ADI B3 comparison of wear intensity



Rys. 5. Porównanie współczynnika tarcia μ dla różnych par ciernych, gdzie: A - para 38GSA-ADI A, B - para NJA-034B-ADI A, C - para HARDOX 500_ADI A, D - para ADI A-ADI A, E - para ADI B1- ADI A, F - para ADI B2 - ADI A, G - para ADI B3 - ADI A

Fig. 5. Comparison of coefficients of friction μ for different friction-pairs, where: A - pair 38GSA-ADI A, B - pair NJA-034B-ADI A, C - pair HARDOX 500_ADI A, D - pair ADI A-ADI A, E - pair ADI B1- ADI A, F - pair ADI B2 - ADI A, G - pair ADI B3 - ADI A

4. Podsumowanie

Wyniki badań wskazują, że najlepszymi gatunkami żeliwa sferoidalnego z przemianą izotermiczną, ze względu na skład chemiczny i warunki obróbki cieplnej, z punktu widzenia współpracy pary ciernej (wybrany stop metali – żeliwo ADI A), są żeliwa ADI typu A i B2. Przy tarcu badanych materiałów na żeliwie (ADI A) najniższą intensywnością zużycia cechują się próbki z tego samego żeliwa ADI A oraz żeliwa w odmianie ADI B.2.

Spośród materiałów porównawczych (stali odpornych na ścieranie) najniższą intensywnością ścierania charakteryzowała się stal 38GSA oraz stal borowa NJA-034B.

Wykonane badania dowodzą bardzo dobrej odporności na ścieranie żeliwa ADI, nie tylko w kontakcie ze stochastycznie zmieniającą się (pod względem składu chemicznego i warunków agrotechnicznych) glebą [1, 2], ale także w warunkach tarcia suchego w kontakcie z tym samym żeliwem. Również zastosowanie stali 38GSA i stali borowej, w parze ciernej z żeliwem (ADI), daje bardzo pozytywne wyniki tribologiczne.

5. Bibliografia

- [1] Łabęcki M., Mikołajczak M., Bugajski S., Szymański W.: Wytyczne doboru podstawowych materiałów konstrukcyjnych na elementy maszyn rolniczych. PIMT – TT-9/82.
- [2] Tybulczuk J., Kowalski A.W.: Żeliwo ADI – własności i zastosowanie w przemyśle. Atlas odlewów. Instytut Odlewnictwa w Krakowie, Kraków, 2002.
- [3] Leda H.: Wybrane metalowe materiały konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia. Wyd. Politechnika Poznańska, 1997.
- [4] Gościański M., Łabęcki M., Kapcińska D.: Badania tribologiczne, wytrzymałościowe i strukturalne wybranych materiałów stosowanych na elementy maszyn rolniczych pracujące w glebie. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2007, Vol. 52 (2): 43-51.
- [5] Pirowski Z., Gościański M.: Construction and technology of production of casted shaves for rotating and field ploughs. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Lublin: MOTROL, Wydawnictwo Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, Oddział w Lublinie, 2009, tom 11: 159-167.
- [6] Kapcińska D., Gościański M., Łabęcki M.: Możliwości zastosowania nowej generacji żeliwa ADI w budowie maszyn rolniczych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2006, Vol. 51 (3): 40-46.
- [7] Łabęcki M., Krysztofiak A., Pawłowski T., Mielec K., Gościański M., Radniecki J., Kapcińska D.: Opracowanie innowacyjnej konstrukcji i technologii wytwarzania odlewanych elementów maszyn rolniczych. Zadanie 1: Badania warunków pracy i zużycia wybranych elementów maszyn rolniczych pracujących w glebie. Prace PIMR, TT-2/2006. Poznań, 2006.

Publikacja opracowana w oparciu o wyniki prac realizowanych w ramach projektu rozwojowego nr: N R03 0009 06/2009, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie.