

ELEMENTY MASZYN ROLNICZYCH PRACUJĄCYCH W GLEBIE WYKONANE Z NOWOCZESNYCH TWORZYW ODLEWNICZYCH

Zenon Pirowski*, Jerzy Olszyński*, Józef Turzyński*, Marek Gościański**

*Instytut Odlewnictwa w Krakowie

**Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

Streszczenie. W pierwszej części artykułu wstępnie oceniono właściwości trybologiczne kilku wybranych gatunków ADI o zróżnicowanym składzie chemicznym i strukturze oraz właściwościach mechanicznych w aspekcie ich zastosowania na elementy maszyn rolniczych. Zarówno badania laboratoryjne (próbki ADI), jak i eksploatacyjne (odlewy prototypowego lemiesza do pługa wykonane z ADI) wykazały, że intensywność zużycia ściernego w różnych mediach jest znacznie mniejsza niż stali 38GSA, z której powszechnie wykonuje się w Polsce wiele elementów pracujących w glebie. Wstępne badania potwierdziły także tezę o realnej możliwości aplikacji tego żeliwa na elementy odlewane jako zamienników elementów spawanych, kutych i walcowanych w konstrukcjach maszyn i urządzeń rolniczych.

Część druga artykułu to dalsze poszukiwania przez autorów tworzyw odlewniczych, które mogłyby pracować w bardzo trudnych warunkach, takich jak eksploatacja w glebie części maszyn i urządzeń rolniczych. Opisano tu staliwo dwufazowe Cr-Ni-Mo z dodatkiem azotu, sugerując, iż swymi właściwościami może ono sprostać stawianym wymogom. Przeprowadzono badania strukturalne i próby trybologiczne wykonanych odlewów. Stosując modyfikację składu chemicznego i odpowiednią obróbkę cieplną, doprowadzono do zwiększenia odporności na zużycie badanych tworzyw.

Słowa kluczowe: elementy maszyn rolniczych, zużycie, obróbka cieplna, hartowanie izotermiczne, żeliwo sferoidalne, ADI, stale stopowe, stopy dwufazowe

Część I

WŁAŚCIWOŚCI TRYBOLOGICZNE ŻELIWA SFEROIDALNEGO OBRABIANEGO CIEPLNIE

WPROWADZENIE

Żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną, znane pod nazwą Austempered Ductile Iron (ADI), jest żeliwem o osnowie składającej się z igieł ferrytu bainitycznego i przesyconego węglem austenitu.

Żeliwo to cechuje wysoka wytrzymałość na rozciąganie i odporność na ścieranie oraz bardzo dobra plastyczność. Właściwości mechaniczne ADI zależą od doboru i zawartości składników stopowych, a zwłaszcza od temperatury przemiany izotermicznej. Dlatego też, dla uzyskania żądanych właściwości ADI w odniesieniu do konkretnego odlewu, konieczna jest optymalizacja składu chemicznego i temperatury przemiany izotermicznej [Tybulczuk *i in.* 2002].

Wysokie właściwości fizykomechaniczne ADI powodują, że od kilkunastu lat na świecie, a od kilku w Polsce znajduje ono coraz szersze zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu jako tańszy zamiennik staliwa stopowego i stali narzędziowej bądź ulepszonej cieplnie, w szczególności w skomplikowanych konstrukcjach kuto-spawanych.

DOBÓR TWORZYW-SUROWCÓW NA ELEMENTY MASZYN ROLNICZYCH

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. Awaria elementu lub zespołu tych maszyn prowadzi do ich postoju, a straty z tego tytułu są często niepowetowane. 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 SiO_2), działają na nie agresywne media chemiczne (środki ochrony roślin, nawozy naturalne i nawozy 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 promieniowanie słoneczne. Dlatego też materiałom stosowanym w tym przemyśle stawia się bardzo wysokie wymagania: chemiczne, fizykomechaniczne, trybologiczne i korozyjne. Spełnienie wielu z nich jest możliwe dzięki nowoczesnym materiałom, w tym także odlewniczym, które pojawiają się również na polskim rynku.

Wprowadzenie nowoczesnych odlewów, które z uwagi na swoje parametry wytrzymałościowe i odporność na zużycie ścierne mogłyby zastąpić drogie w wykonawstwie elementy spawane czy kute ze stali, będzie miało podstawowe znaczenie dla potania technologii wytwarzania maszyn rolniczych, może też przyczynić się do wzrostu ich nowoczesności i konkurencyjności, także na rynku UE. Szczególnie interesujące efekty może przynieść zastosowanie ADI do wybranych elementów roboczych pracujących w glebie w trudnych warunkach złożonego procesu orki.

Ze względu na możliwość zróżnicowania składu chemicznego i regulacji właściwości fizykomechanicznych poprzez zastosowaną obróbkę cieplną, zespół pracowników Instytutu Odlewnictwa w Krakowie i Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu postanowił ocenić właściwości trybologiczne kilku wybranych gatunków ADI w aspekcie możliwości zastosowania tego tworzywa jako surowca do wyrobu wybranych elementach roboczych maszyn do uprawy gleby.

Porównywano także ze sobą właściwości kilku gatunków żeliwa ADI i stali, z których najczęściej wykonywane są elementy maszyn i urządzeń rolniczych pracujące w glebie. Tworzywami badanymi były:

- ADI, z którego odlewy (próbki i prototypowe odlewy lemiesz) poddano zabiegom zróżnicowanej obróbki cieplnej [Pirowski i Olszyński 2003],
- stal 38GSA (próbki hartowane i odpuszczane do twardości 42 HRC oraz standardowe lemiesz do pługów produkcji polskiej o twardości 39÷40 HRC),
- stal 45 (próbki hartowane i odpuszczane do twardości 42 HRC).

BADANIA CHEMICZNE I MECHANICZNE

Badania składu chemicznego otrzymanych wytopów (1÷5) określano metodą analizy spektrometrycznej na spektrometrze firmy ARL.

W celu oceny jakości wykonanych odlewów wykonano badania właściwości mechanicznych próbek ADI z poszczególnych wytopów. Badania te obejmowały: statyczną próbę rozciągania metali w temperaturze pokojowej (oceniano R_m , $R_{0,2}$, A_5 , Z), próbę uderzeniową metali w temperaturze pokojowej (oceniano KCU), pomiar twardości metali sposobem Rockwella (oceniano HRC). Wyniki badań składu chemicznego poszczególnych wytopów żeliwa ADI zamieszczono w tabeli 1, a wyniki badań właściwości mechanicznych tych stopów ujęto w tabeli 2.

Tabela 1. Skład chemiczny poszczególnych wytopów ADI

Table 1. Chemical content of particular ADI melts

Oznaczenie wytopu	Skład chemiczny, %								
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Cu	Mo
1	3,00	2,30	0,25	0,04	0,010	0,070	1,95	1,00	-
2	3,45	2,00	0,16	0,04	0,010	0,050	2,10	1,05	-
3	3,55	2,20	0,23	0,05	0,015	0,045	1,95	0,98	-
4	3,25	2,25	0,26	0,05	0,010	0,045	2,00	0,96	-
5	3,60	2,35	0,30	0,05	0,020	0,060	1,50	-	0,30

Tablica 2. Otrzymane właściwości mechaniczne ADI

Table. 2. The obtained mechanical properties of ADI

Oznac. wytopu	Wytrzymałość na rozciąganie R_m , MPa	Granica plastyczno- ści $R_{0,2}$, MPa	Wydłużenie A_5 , %	Przewężenie Z , %	Uderność KCU, J/cm ²	Twardość HRC
1	1298	870	3,2	3,9	12,0	50
2	930	708	-	-	7,4	37
3	1178	744	1,8	0,0	7,4	40
4	-	-	-	-	-	40
5	986	860	1,6	2,0	7,3	38

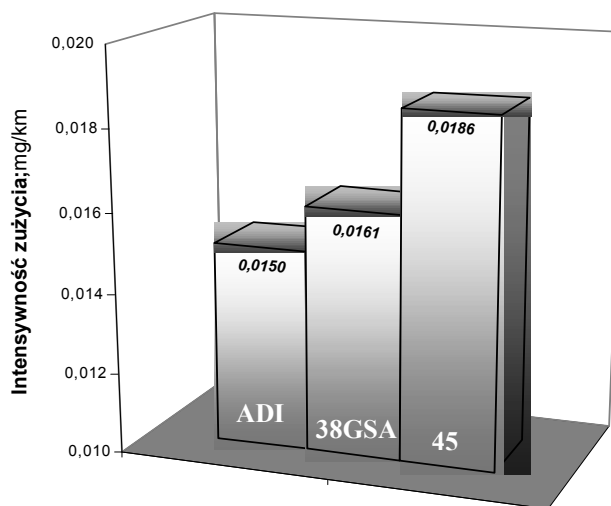
BADANIA TRYBOLOGICZNE

Badania odporności na ścieranie próbek żeliwa ADI wykonano na specjalnym stanowisku [Gościański *i in.* 2003] w misie ścierniej wypełnionej elektrokorundem (Al_2O_3). Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 3, a intensywność zużycia próbek ADI, stali 38GSA oraz stali 45 przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 3. Zużycie badanych materiałów, przy tarcu o masę ścierną (korund)

Table 3. Wear of tested materials at friction against abrasive material (corund)

Oznaczenie	Twardość HRC	Droga tarcia km	Średni ubytek masy mg
ADI	41	100	15,0
Stal 38GSA	43	100	16,1
Stal 45	41	100	18,6



Rys. 1. Porównanie intensywności zużycia badanych materiałów

Fig. 1. Comparison of the intensity of the tested materials wear

Eksploatacyjne badania porównawcze w glebie dla odlewów prototypowych lemiesz do pługów przeprowadzono w warunkach wilgotności 7-12%, niskim stopniu zakamienienia i średnim stopniu zwięzłości gleby. Prędkość orki wyniosła 5-6 km/h. Zastosowano do badań pług pięcioskibowy PHX-5 produkcji czeskiej [Gościański *i in.* 2003].

Wyniki badań eksploatacyjnych gotowych elementów (lemiesz) wykonanych z różnych gatunków ADI przedstawiono w tabeli 4.

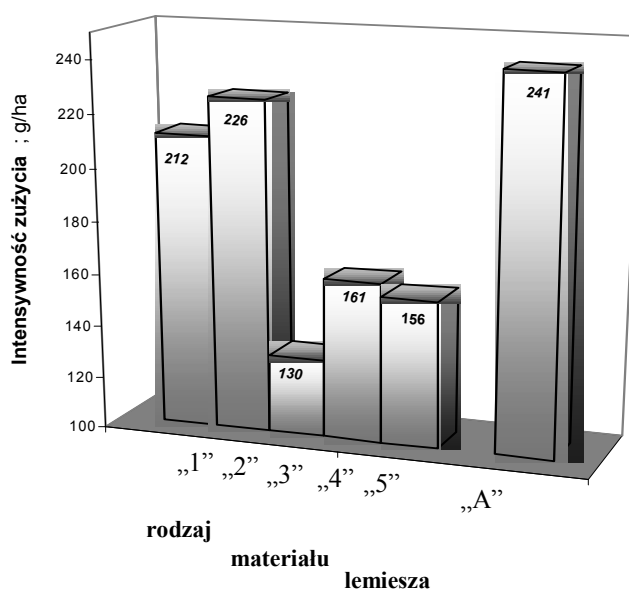
Tabela 4. Zestawienie wyników badań eksploatacyjnych lemiesz wykonanych z ADI oraz standardowych wykonanych ze stali 38GSA

Table 4. Comparison of operating tests of ploughshare made of ADI and standard ones made of 38GSA steel

Nazwa zestawu	Rodzaj lemiesza	Twardość HRC	Zużycie lemiesz g/ha	Trwałość ^{*)} ha/lemiesz
PHX-5	bazowy typu Atlas (stal 38GSA)	40	241,0	5,1
	ADI – wytop 1	41	211,6	10,4
	ADI – wytop 2	31	226,1	10,2
	ADI – wytop 3	46	130,0	13,0
	ADI – wytop 4	40	161,0	11,5
	ADI – wytop 5	42	156,2	11,9

^{*)} Trwałość lemiesza wyrażoną w ha/lemiesz określono jako liczbę przepracowanych hektarów przez poszczególny lemiesz do jego granicznego zużycia.

Na rysunku 4 pokazano intensywność zużycia w glebie lemiesz z poszczególnych wytopów w porównaniu z lemiem standardowym typu ATLAS (A) ze stali 38GSA.



Rys. 3. Porównanie intensywności zużycia w glebie prototypowych lemiesz wykonanych z różnych gatunków ADI z lemiem ze stali 38GSA

Fig. 3. Comparison of the intensity of wear in the ground of the prototype ploughshares made of different ADI grades and 38GSA steel

WNIOSKI

Podczas realizacji pracy potwierdzono zależność właściwości mechanicznych ADI od jego składu chemicznego, a zwłaszcza od zastosowanej obróbki cieplnej, tj. od parametrów hartowania z przemianą izotermiczną.

Przeprowadzone trybologiczne badania laboratoryjne i eksploatacyjne potwierdzają wyższą odporność na ścieranie ADI w porównaniu ze stalą 38GSA stosowaną przez polskich producentów. Intensywność zużycia żeliwa ADI była we wszystkich próbach laboratoryjnych mniejsza od intensywności zużycia stali 38GSA. W próbach eksploatacyjnych wykonanych na prototypowych lemieszach do pługów intensywność zużycia w glebie wyrażona w g/ha żeliwa ADI była średnio o około 23% mniejsza niż intensywność zużycia stali 38GSA. Należy przy tym zwrócić uwagę na zróżnicowanie intensywności zużycia elementów z ADI w zależności od gatunku żeliwa. W przypadku lemiesza z wytopu „3” intensywność zużycia była mniejsza nawet o ok. 47% od intensywności zużycia porównywanych elementów z bardzo dobrej stali 38GSA. Zatem istnieje możliwość sterowania składem chemicznym i obróbką cieplną żeliwa ADI w celu zoptymalizowania właściwości mechanicznych i trybologicznych w aspekcie możliwości jego zastosowania do wyrobu elementów konstrukcyjne w maszynach i urządzeniach rolniczych.

Część II

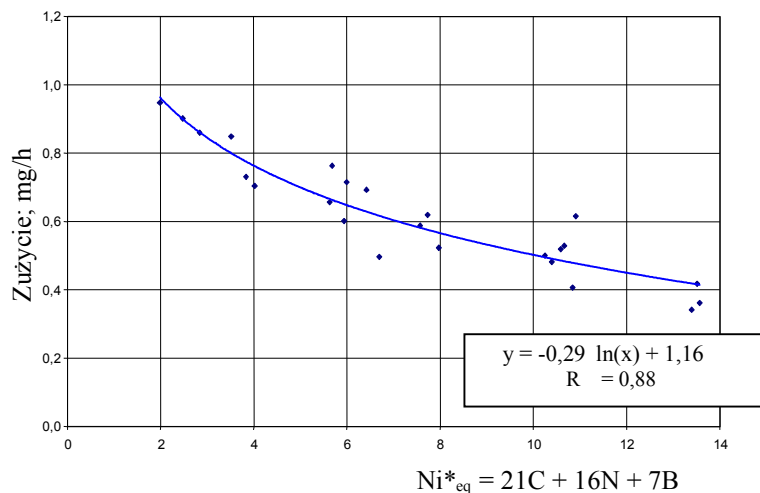
STRUKTURALNE I TRYBOLOGICZNE BADANIA DWUFAZOWEGO STALIWA CR-NI-MO Z PODWYŻSZONĄ ZAWARTOŚCIĄ AZOTU

WSTĘP

Stopy dwufazowe zajmują szczególną pozycję wśród stali chromowo-niklowych. Dynamiczny rozwój tych stopów rozpoczął się w latach osiemdziesiątych. Jako odlewy stosuje się je między innymi na korpusy, wirniki, kierownice pomp, a w postaci odkuwek – na wały pomp wtryskowych i pomp wody morskiej. Zdecydowanie wzrasta zainteresowanie tym tworzywem różnych gałęzi przemysłu. Obecnie prowadzone są przez Instytut Odlewnictwa w Krakowie i Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu wspólne prace, mające na celu stwierdzenie możliwości zastosowania tych stopów jako surowca do wyrobu elementów maszyn rolniczych pracujących bezpośrednio w glebie.

BADANIA STRUKTURALNE I TRYBOLOGICZNE

W ramach prowadzonych badań określono wpływ dodatków pierwiastków międzywęzłowych ferrytyczno-austenitycznego (FA) staliwa Cr26Ni5Mo3 na proces jego zużycia erozyjnego (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ węgla, azotu i boru na zużycie erozyjno-korozyjne staliwa Cr26Ni5Mo3 w środowisku jonów chlorkowych (badania własne)

$$Ni_{eq} = Ni + 0,5 Mn + Ni^*_{eq}$$

Fig. 1. An influence of carbon, nitrogen and boron on erosive-corrosive wear of Cr26Ni5Mo3 cast steel in chlorion environment (the authors' research)

Topografia powierzchni zużycia, klasyczne badania metalograficzne, badania korozyjne oraz związek pomiędzy ilością ferrytu i odpornością na zużycie erozyjne staliwa Cr26Ni5Mo3 wykazały, że mechanizm tego zużycia polega na zaatakowaniu przez medium cierne głównie pół ferrytu [Pirowski *i in.* 2002].

Przy znacznej ilości austenitu w stopie wynikiem niszczenia ferrytu jest powstawanie szeregu głębokich kraterów (wżerów) przez wyłobianie tej fazy w warstwie powierzchniowej próbki narażonej na uderzania drobin piasku. Obszary zajmowane przez austenit są tu ścierane zdecydowanie wolniej.

W stopach ze znaczną przewagą ferrytu jego duże ziarna są zdecydowanie szybciej ścierane niż wydzielania austenitu. Ubytki ferrytu są większe wokół drobnych wydzielań austenitu. Opór, jaki stawiają odporniejsze na zużycie ziarna tej fazy jest przyczyną zawirowań wokół nich strugi medium cierne, przez co następuje intensywniejsze w tych miejscach zużycie ferrytu. Powoduje to „podmywanie” ziaren austenitu, co w dalszej fazie procesu niszczenia erozyjnego powoduje ich wykruszanie i odrywanie. Odsłaniają się wówczas kolejne ziarna ferrytu i proces zużycia erozyjnego postępuje w głąb materiału ścieranego.

W stopach o znacznym udziale obu faz, zwłaszcza o rozdrobnionym ziarnie, zużyta powierzchnia jest bardzo nieregularna. Nie występują tu mniej zużyte, duże fragmenty powierzchni. Obserwuje się natomiast szereg wgłębień (zniszczony ferryt) i wzniesień (zdecydowanie odporniejsze obszary austenitu).

Szybkość procesu zużycia erozyjnego staliwa dwufazowego zależy zatem z jednej strony od ilości ferrytu, a z drugiej od morfologii jego wydzielań. W stopach FA bardziej odpornych na zużycie erozyjne wydzielania tej fazy winny być drobne i stosunkowo

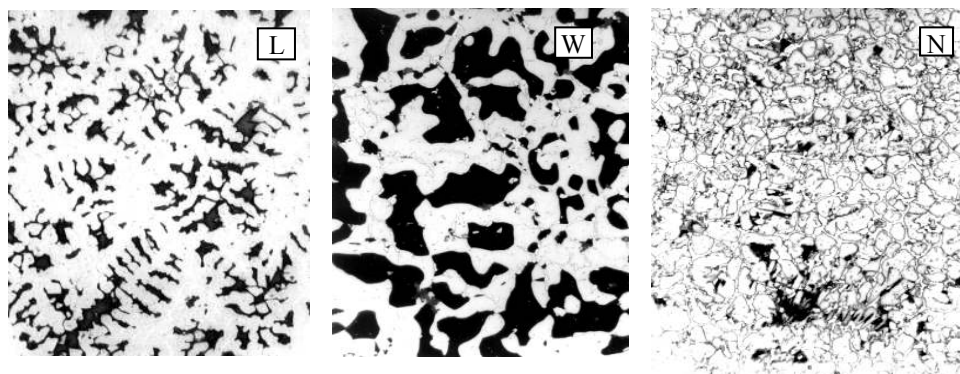
nieliczne. Najlepiej, gdy są rozmieszczone wewnątrz ziaren austenitu. Niekorzystne natomiast są duże wydzielania, zwłaszcza rozłożone wokół ziaren austenitu.

W stanie odlanym ograniczeniu ilości ferrytu w badanym staliwie sprzyja, choć w różnym stopniu, wprowadzenie dodatków – pierwiastków międzywęzłowych. Największą rolę odgrywa tu azot, a następnie bor. Również działanie węgla jest podobne, ale zbyt duża jego zawartość prowadzi do nadmiernego wydzielania węglików i zwiększenia ilości ferrytu. Obecność węglików, choć zmniejsza zużycie erozyjne, to jest niekorzystna z punktu widzenia odporności staliwa dwufazowego na korozję wżerową. Zagadnienie to stanowi równie ważny, choć odrębny problem.

Pierwiastki międzywęzłowe powodują znaczne rozdrobnienie struktury. Silne działanie w tym kierunku stwierdzono zwłaszcza przy wprowadzaniu boru. Jednak w żadnym z badanych stopów ferryt (w zasadniczej swej ilości) nie występuje w postaci drobnych wydzieleni rozmieszczonych wewnątrz ziaren austenitu. Odpowiednia zawartość pierwiastków międzywęzłowych prowadzi jedynie do krystalizacji wielu drobnych wydzieleni ferrytu, ale o rozłożeniu międzidendrytycznym.

Poza składem chemicznym, struktura stopów FA zależy również od obróbki cieplnej. Według Czyżowicza [1993] wyróżnić można dwa charakterystyczne zakresy temperatury, w których stopy te wykazują odmienne właściwości, a mianowicie:

- zakres temperatury poniżej 1038°C, w którym w stali pojawiają się takie wydzielania jak: faza σ , węglikoazotki, faza α' i szereg innych,
- zakres temperatury powyżej 1038°C, w którym następuje intensywna przemiana austenitu w ferryt.



pow. 500x

Rys. 2. Mikrostruktura staliwa Cr26Ni5Mo3 z dodatkiem 0,20% C, 0,54% N i 0,075% B

L – stan odlany – 20% ferrytu,

W – po przesycaniu powyżej 1038°C – 41% ferrytu,

N – po przesycaniu poniżej 1038°C – 1% ferrytu.

Fig. 2. Microstructure of Cr26Ni5Mo3 cast steel with addition of 0,20% C, 0,54% N and 0,075% B

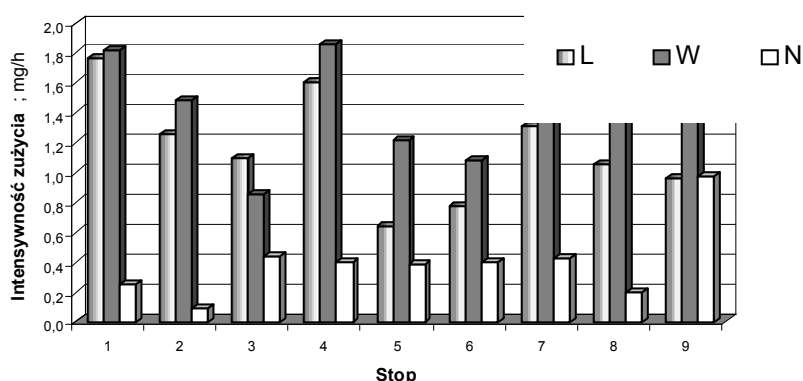
L – casted state – 20% of ferrite

W – after dissolving over 1038°C – 41% of ferrite

N – after dissolving below 1038°C – 1% of ferrite

Badane próbki staliwa Cr26Ni5Mo3 o zmiennej zawartości węgla (0,03–0,22%), azotu (0,08–0,59) i boru (0,002–0,100) obrabiano cieplnie w atmosferze zabezpieczającej przed nadmiernym utlenianiem i odwęglaniem.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów ilości ferrytu w badanych stopach wykazały zdecydowanie odmienny wpływ zastosowanych zabiegów cieplnych na stopień przemiany $\alpha \leftrightarrow \gamma$, a w niektórych przypadkach nawet na jej kierunek, czego przykładem jest przedstawiona na rysunku 2 struktura staliwa Cr26Ni5Mo3 z dodatkiem 0,20% C, 0,54% N i 0,075% B. Ta zmiana struktury wpłynęła na zmianę odporności na zużycie erozyjne badanych stopów (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ zastosowanej obróbki cieplnej na intensywność zużycia erozyjnego badanych stopów

L – stan odlany, W – po przesycaaniu powyżej 1038°C, N – po przesycaaniu poniżej 1038°C

Fig. 3. Influence of the applied heat treatment on the intensity of the tested alloys erosive wear

L – casted state, W – after dissolving over 1038°C, N – after dissolving below 1038°C

ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Pomiary ilości ferrytu wykazały, w odróżnieniu od danych literaturowych, że przesycaanie w temperaturze powyżej 1038°C powoduje zmniejszenie ilości ferrytu w strukturze staliwa, zwłaszcza zawierającego powyżej 0,4% azotu, ale tylko wówczas, gdy w stopie brak jest boru, a zawartość węgla nie przekracza 0,1%. Obecność boru powyżej 0,06% i/lub znaczna ilość węgla (około 0,2%) wywołała zdecydowanie inny wpływ azotu na przemianę $\alpha \leftrightarrow \gamma$. Nastąpiło wówczas nawet dwukrotne zwiększenie ilości ferrytu. Jak wykazała mikroanaliza rentgenowska, wynika to z faktu, że w stopach tych obserwuje się fazy bardzo bogate zarówno w chrom, jak i w molibden. Należy sądzić, że są to związki typu $M_{23}(C,N,B)_6$. Wydzielen takich w stanie lanym nie zaobserwowano. Wydzielenia te „gromadzą” austenitotwórcze pierwiastki międzywęzłowe, a ich brak w osnowie powoduje, że przemiana $\alpha \leftrightarrow \gamma$ przesuwają się znacznie w kierunku ferrytu.

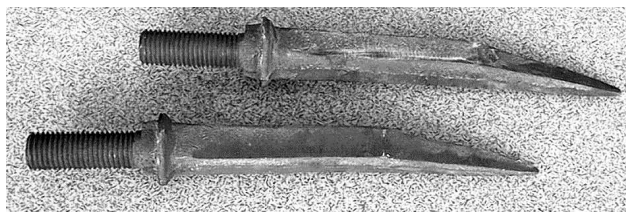
Przesycaanie staliwa Cr26Ni5Mo3 w temperaturze poniżej 1038°C przynosi zdecydowanie odmienne efekty. W każdym z badanych stopów ilość ferrytu zdecydowanie się

zmniejszyła, w niektórych przypadkach wynosiła nawet poniżej 1%. W stopach tych nie zaobserwowano faz różniących się zdecydowanie składem chemicznym. Stwierdzono jedynie trochę większą zawartość pierwiastków ferrytotwórczych w ferrycie, a austenitotwórczych w austenicie. Zatem należy sądzić, że zastosowana temperatura przesycania z jednej strony spowodowała rozpuszczenie wydzieliń obecnych w stanie lanym, a więc wzbogacenie stopu w austenitotwórcze pierwiastki międzywęzłowe i ujednorodnienie składu chemicznego, a z drugiej strony była za niska, aby powstały wydzielenia typu $M_{23}(C,N,B)_6$ zubożające osnowę metalową w te pierwiastki. W trakcie takiego przesycania rozpuszczeniu uległa np. obserwowana w stanie odlanym faza σ . Zawartość ferrytu w tym stopie po zastosowaniu takiego przesycania zmniejszyła się z prawie 80% do około 1%. W żadnym z badanych stopów zawartość ferrytu po tym przesycaniu nie przekraczała 15%, a niekiedy była bliska zeru.

Badania zużycia erozyjnego wykazały, że przesycanie staliwa Cr26Ni5Mo w temperaturze powyżej 1038°C nieco pogarsza odporność tego stopu na zużycie erozyjne. Zdecydowaną poprawę tej właściwości badanego staliwa uzyskano natomiast stosując przesycanie w temperaturze mniejszej niż 1038°C. Wynika to z wpływu zastosowanej obróbki cieplnej na strukturę stopu.

Podsumowując wyniki badań prowadzonych w niniejszej pracy można stwierdzić, że dobierając odpowiednio parametry obróbki cieplnej oraz zawartość pierwiastków międzywęzłowych w stopach dwufazowych można w szerokim zakresie sterować ich strukturą, a przez to wpływać na właściwości stopu. Udało się tą drogą znacznie poprawić odporność staliwa Cr26Ni5Mo3 na zużycie erozyjne.

Poczyniono również próby zastosowania opracowanych stopów do produkcji konkretnych odlewów pracujących w warunkach zużycia ściernego. W tym celu we współpracy z Przemysłowym Instytutem Maszyn Rolniczych w Poznaniu wykonano eksperymentalne odlewy palców brony ze staliwa chromowo-niklowo-molibdenowego o zwiększonej zawartości węgla (około 0,3%) i azotu (około 0,5%). Na drodze obróbki mechanicznej wykonano gwint w części mocującej element pracujący bezpośrednio w glebie z konstrukcją brony (fot. 1.), a następnie poddano je przesycaniu w temperaturze poniżej 1038°C (wariant „N” obróbki cieplnej),



Fot. 1. Palce brony wykonanych ze staliwa Cr26Ni5Mo3 z dodatkiem azotu.
Odlewy po obróbce cieplnej i mechanicznej

Phot. 1. Harrow tines made of Cr26Ni5Mo3 cast steel with nitrogen addition.
Castings after heat and mechanical treatment

Tak przygotowane odlewy przekazano do badań trybologicznych w PIMR w Poznaniu. Badania te polegały na wielogodzinnym ścieraniu w korundzie na specjalistycznym stanowisku stendowym. Wyniki tych prób nie wykazały śladów zużycia (ubytku masy), mimo wielogodzinnego przebiegu w warunkach ciernych. Zatem, z technicznego punktu widzenia opracowane stopy mogą być wykorzystywane w odlewach elementów

maszyn i urządzeń rolniczych pracujących w glebie, zwłaszcza, że stopy te są obrabialne mechanicznie. O ewentualnych korzyściach ekonomicznych z ich stosowania można będzie mówić dopiero po przeprowadzeniu szerokich, porównawczych badań eksploatacyjnych dla różnych metali i w różnych rodzajach gleby.

LITERATURA

- Czyżowicz S. 1993: Prace IMŻ 3-4, 26–38.
- de Bold T. A. 1989: Minerals; Metals a. Materials Society, 41, 3, 12–15.
- Gościański M., Łabęcki M., Szulczyk J. 2003: Badania laboratoryjne i eksploatacyjne wybranych elementów roboczych maszyn rolniczych pracujących w glebie wykonanych z nowoczesnego żeliwa ADI. Prace PIMR, Poznań, TT2.
- Gunn R.N. 1997: Duplex stainless steels. Microstructure, properties and applications; Abington Publishing Woodhead Publishing Limited in Association with the Welding Institute; Cambridge England.
- Kędzierski Z. i in. 1999: Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej wykonanej w ramach zlecenia Instytutu Odlewnictwa (Kraków).
- Łabęcki M. 1997: Określenie przeciętnej trwałości lemieszów do pługów w zależności od stopnia zwięzłości, wilgotności i zakamienienia gleby. Prace PIMR, 1.
- Matthews M. J. 1982: Minerals; Metals a. Materials Technology, 14, 5, 205–210.
- Pirowski Z. i in. 2002: Biuletyn Instytutu Odlewnictwa w Krakowie; 1, 2, 3 i 5.
- Pirowski Z., Olszyński J. 2003: Wstępne badania przydatności nowych tworzyw odlewniczych na elementy maszyn rolniczych. Instytut Odlewnictwa; Kraków, 2053.
- Pirowski Z. 2003: Odlewnictwo – Nauka i Praktyka, 6; (Kraków).
- Radzikowska J. 1999a: Raport Nr 24/KBM/99 Zespołu Laboratoriów Badawczych Instytutu Odlewnictwa (Kraków).
- Radzikowska J. 1999b: Raport Nr 48/KBM/99 Zespołu Laboratoriów Badawczych Instytutu Odlewnictwa (Kraków).
- Reick W., Pohl M. Padilha A. F. 1990: Metallurgy International, 3, 8 46–50.
- Sridhar N., Kolts J., Flasche L. H. 1985: J. of Metals, 2, 3, 31–35.
- Tybulczuk J., Kowalski A. 2002: Żeliwo ADI – własności i zastosowanie w przemyśle. Atlas odlewów. Instytut Odlewnictwa; Kraków.

ELEMENTS OF AGRICULTURAL MACHINES WORKING IN THE GROUND MADE OF MODERN CASTING MATERIALS

Part I

TRIBOLOGY PROPERTIES OF HEAT-TREATED DUCTILE CAST IRON

Part II

STRUCTURAL AND TRIBOLOGY RESEARCH ON TWO-PHASE CR-NI-MO CAST STEEL WITH INCREASED CONTENTS OF NITROGEN

Summary. In the paper the tribology properties of several selected grades of ADI cast iron of varied chemical content, structure and mechanical properties were initially evaluated in the aspects of their application for agricultural machines elements. Both laboratory test (ADI cast iron samples) and operating tests (ploughshare castings made from ADI casts iron) proved that the intensity of abrasive wear in different media is much smaller than for 38GSA steel, which is commonly

applied in Poland for elements working in the ground. The initial researches also confirmed the thesis of the practical possibility of this cast iron application for casting elements to replace welded, forged and rolled elements in the constructions of farming machines and devices. However, it requires optimisation of the chemical content of ADI cast iron as well as the applied heat-treatment.

In the second part of the paper the authors searched for other casting materials that could work in very hard tribologically conditions such as agricultural machines and devices operating in the ground. Two-phase Cr-Ni-Mo cast steel with addition of nitrogen was described and it was suggested that the material thanks to its properties could meet the mentioned requirements. Some structural researches as well as tribology tests of the performed casts were conducted. The application of the chemical content's modification and the appropriate heat-treatment resulted in an increase of the wear resistance of the tested materials.

Key word: elements of the agricultural machines, wear, heat treatment, isothermal hardening, ductile cast iron, ADI, alloy steels, two-phase alloys

Recenzent: prof. dr hab. Eugeniusz Krasowski