

CAPABILITY OF ADAPTATION THE NEW GENERATION ADI CAST IRON ON THE BUILDING OF AGRICULTURAL MACHINES

Summary

The paper presents the capability of adaptation the ADI cast iron of the working elements in soil. Report the history that material, physical – mechanical properties, structure and tribology in dimension to carry out the laboratory testing.

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA NOWEJ GENERACJI ŻELIWA SFEROIDALNEGO (ADI) W BUDOWIE MASZYN ROLNICZYCH

Streszczenie

W artykule poruszono możliwości zastosowania żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną (ADI) na elementy pracujące w glebie. Omówiono historię opracowania tego tworzywa odlewniczego, jego właściwości fizykomechaniczne, strukturalne i tribologiczne w aspekcie wykonanych wstępnych badań laboratoryjnych.

Wprowadzenie

Optymalny dobór materiałów konstrukcyjnych w budowie maszyn i urządzeń rolniczych jest niezwykle ważny i ciągle aktualny. Wynika to z coraz większej ich podaży i coraz bardziej nowoczesnych konstrukcji. Awaria elementu lub całego zespołu maszyny prowadzi do przerwy w pracach polowych i wiąże się często z poważnymi stratami w plonach. Dlatego tak istotne jest podwyższenie trwałości eksploatacyjnej elementów lub zespołów w aspekcie trwałości i niezawodności całych maszyn, pracujących najczęściej w krótkich okresach agrotechnicznych.

Elementy i zespoły tych maszyn są w czasie użytkowania poddawane znacznym obciążeniom mechanicznym, zużyciu ściernemu twardymi składnikami gleby jak również agresywnemu działaniu mediów chemicznych (nawozy naturalne i sztuczne, wapno, środki ochrony roślin).

Pomiędzy okresami agrotechnicznymi maszyny rolnicze przechowywane są w otwartej przestrzeni i podlegają dodatkowo agresywnemu wpływowi czynników atmosferycznych, takich jak: promieniowanie UV, deszcz, zmiany temperatury i wilgotności.

Dlatego też materiałom stosowanym w tym przemyśle stawia się bardzo wysokie wymagania fizykomechaniczne, tribologiczne, chemiczne i korozyjne. Wprowadzenie nowoczesnych żeliw sferoidalnych z przemianą izotermiczną (ADI) na wybrane elementy maszyn pracujących w glebie, w trudnych warunkach złożonego procesu orki może przynieść wymierne korzyści ekonomiczno – trwałościowe. Z tego powodu Zespół Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu i Instytutu Odlewnictwa w Krakowie podjął prace związane z doбором i racjonalnym zastosowaniem tego tworzywa na elementy odlewane w maszynach rolniczych pracujących w glebie.

Historia żeliwa ADI

Żeliwo sferoidalne zostało opracowane przez Hentona Morrogha z Anglii i Keitha Millisza z USA w 1948 roku [1]. Do sferoidyzacji Morrogh zastosował cer, a Millisza magnez. W wyniku wprowadzenia niewielkiej ilości tych pierwiastków powstał grafit kulkowy, który nadał odlewalnemu materiałowi żadaną plastyczność obok dobrej wytrzymałości.

Po raz pierwszy wyprodukowano je w odlewni International Harvester w USA. Z upływem lat materiał ten znajdował coraz to szersze zastosowanie w przemyśle samochodowym (wały korbowe) ze względu na wyjątkowo dobre właściwości mechaniczne.

Stosunkowo niedawno Matti Johansson opracował specjalny skład chemiczny żeliwa sferoidalnego i zastosował hartowanie bainityczne z przemianą izotermiczną, co pozwoliło na uzyskanie znacznie wyższych właściwości mechanicznych. Od tego czasu tego typu żeliwo sferoidalne zaczęto nazywać w skrócie ADI.

Pod koniec lat 90. w Stanach Zjednoczonych zaczęto stosować ADI na różne części konstrukcyjne maszyn, w tym w budowie maszyn rolniczych.

Obecnie ADI zajmuje szczególne miejsce wśród materiałów konstrukcyjnych ze względu na wysokie właściwości wytrzymałościowe i jednocześnie plastyczne oraz bardzo dobrą odporność na ścieranie w porównaniu ze stałą.

Podstawowe właściwości ADI

Żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną jest znane pod nazwą „Austempered Ductile Iron” (ADI) [2]. Mikrostruktura tego żeliwa składa się ze sferoidalnego węgla i osnowy bainitu z niewielkimi wtrąceniami ferrytu (rys. 1), a jego skład chemiczny zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Skład chemiczny żeliw sferoidalnych (ADI) [4]
 Table 1. Chemical constitution of ADI cast irons [4]

Wytop	Skład chemiczny [%]								
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Cu	Mo
1	3,00	2,30	0,25	0,04	0,01	0,07	1,95	1,00	-
2	3,45	2,00	0,16	0,04	0,01	0,05	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	0,01	0,045	2,00	0,96	-
5	3,60	2,35	0,30	0,05	0,02	0,06	1,50	-	0,30

Tab. 2. Wyniki badań wytrzymałościowych próbek z żeliwa ADI [4]
 Table 2. Results of strength testing of the ADI cast Iron samples [4]

Wytop	Rm [MPa]	Re [MPa]	A [%]	Z [%]	KCU [J/cm ²]	Twardość [HRC]
1	1298	870	3,2	3,9	12	50
2	930	708	-	-	7,4	37
3	1170	744	1,8	0	7,4	40
4	-	-	-	-	-	40
5	986	860	1,6	2	7,3	38

Podstawowymi składnikami stopowymi są: krzem(Si), nikiel (Ni), miedź (Cu) oraz molibden (Mo). Żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną cechuje się:

- wysoką wytrzymałością na rozciąganie (Rm),
- bardzo dobrą plastycznością i dobrą udatnością,
- wysoką odpornością na ścieranie.

Dobre właściwości mechaniczne tego żeliwa zależą od kombinacji i zawartości procentowej składników stopowych oraz warunków hartowania z przemianą izotermiczną. Wysoka temperatura przemiany izotermicznej, położona 150-180°C powyżej temperatury przemiany martenzytycznej ($M_s \sim 210^\circ\text{C}$) powoduje powstanie struktury dającej niższą twardość i wytrzymałość na rozciąganie i wyższą plastyczność. Natomiast niska temperatura przemiany izotermicznej, położona nieznacznie powyżej temperatury M_s daje wysoką twardość, wytrzymałość na rozciąganie i niską plastyczność. Dlatego też, skład chemiczny i parametry obróbki cieplnej dobiera się odpowiednio do wymagań stawanym wybranym elementom.

Obróbka cieplna ADI

Podstawą uzyskania struktury nowej generacji żeliwa sferoidalnego ADI, czyli sferoidalnego węgla i osnowy bainitu z niewielkimi wtrąceniami ferrytu, jest proces obróbki cieplnej polegający na hartowaniu z przemianą izotermiczną.

Parametry obróbki cieplnej zależą od składu chemicznego żeliwa i grubości ścianek odlewów. Podstawowymi parametrami decydującymi o zapewnieniu wymaganych właściwości odlewów są [2]:

- temperatura austenitacji 820-950°C,
- czas austenitacji 0,5-3 h,
- temperatura przemiany izotermicznej 230-400°C,
- czas przemiany izotermicznej 0,5-5 h.

Obróbka cieplna żeliwa sferoidalnego (ADI) przebiega w kilku etapach [2]:

I ETAP - Nagrzewanie odlewów do temperatury austenitacji, tzn. w granicach 830-950°C (I-2).

II ETAP - Wytrzymywanie w temperaturze austenitacji do momentu wyrównania temperatury na przekroju odlewów. W trakcie tego etapu następuje rozpad składników struktury żeliwa wyjściowego (perlitu, ferrytu, ew. węglików) i nasycenie austenitu węglem (2-3).

III ETAP - Chłodzenie w wannie z roztopioną solą, z szybkością, która zapewni uniknięcie tworzenia się perlitu do temperatury wygrzewania izotermicznego 230-400°C (3-4).

IV ETAP - Wygrzewanie izotermiczne w wannie do momentu, gdy utworzy się ausferrytyczna struktura (4-5).

V ETAP - Chłodzenie do temperatury otoczenia (5-6).

VI ETAP - Mycie z pozostałości soli.

Elementy hartowane bainitycznie z przemianą izotermiczną nie podlegają odpuszczaniu.

Wpływ składu chemicznego i parametrów obróbki cieplnej na strukturę i właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego (ADI)

Jak już wcześniej wspomniano, na strukturę i właściwości mechaniczne elementów decydujący wpływ ma skład chemiczny i odpowiednio dobrane parametry obróbki cieplnej. W ramach nawiązanej współpracy pomiędzy PIMR i IO – Kraków dotyczącej możliwości zastosowania żeliwa sferoidalnego z przemianą izotermiczną (ADI) w budowie maszyn rolniczych, opracowano pięć wytopów, które poddano odpowiedniej obróbce cieplnej i zbadano właściwości mechaniczne poszczególnych tworzyw odlewniczych (tab. 2) [4].

Skład chemiczny zbadano metodą analizy spektrometrycznej na spektrometrze firmy ARL (tab. 1) w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie [4].

Następnie próbki poddano zróżnicowanej obróbce cieplnej w celu uzyskania różnic w strukturze i właściwościach mechanicznych [4]:

1. Odlewy z wytopu 1 – wyżarzanie grafityzujące, austenitacja, hartowanie z przemianą izotermiczną w niskiej temperaturze do twardości ~50HRC.

2. Odlewy z wytopu 2 – austenitacja, hartowanie z przemianą izotermiczną w wysokiej temperaturze do twardości ~37HRC.

3. Odlewy z wytopu 3 – austenitacja, hartowanie z przemianą izotermiczną w niskiej temperaturze do twardości ~40HRC.
4. Odlewy z wytopu 4 – austenitacja, hartowanie z przemianą izotermiczną w niskiej temperaturze do twardości ~40HRC.
5. Odlewy z wytopu 5 – austenitacja, hartowanie z przemianą izotermiczną w wysokiej temperaturze do twardości ~38HRC.

Po zbadaniu składu chemicznego i przeprowadzeniu obróbki cieplnej wykonano badania właściwości mechanicznych [4]:

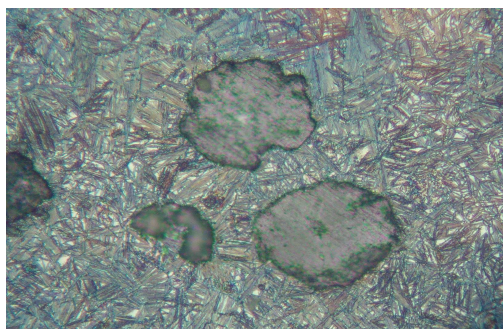
- wytrzymałości na rozciąganie (R_m), granicy plastyczności (R_e), wydłużenia (A) i przewężenia w temperaturze pokojowej (Z),
- pomiaru twardości metodą Rockwella,
- odporności na kruche pękanie (KCU) w temperaturze pokojowej.

Wyniki tych badań zestawiono w tab. 2.

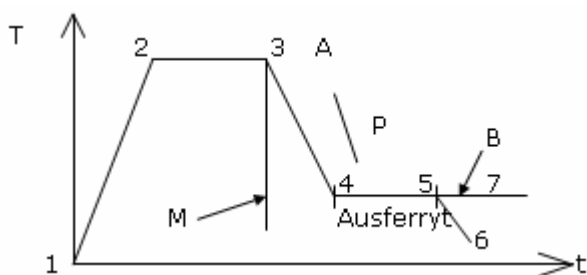
Próbki z wytopu drugiego zerwały się poza długością pomiarową. Natomiast próbki z wytopu czwartego nie zostały poddane badaniom mechanicznym i strukturalnym, ponieważ miały skład chemiczny i parametry obróbki cieplnej takie same jak wytop trzeci.

W celu określenia wpływu parametrów obróbki cieplnej na mikrostrukturę wykonano zgłady metalograficzne w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Poznańskiej. Do obserwacji mikrostruktur posłużył mikroskop metalograficzny typu NEOPHOT 33.

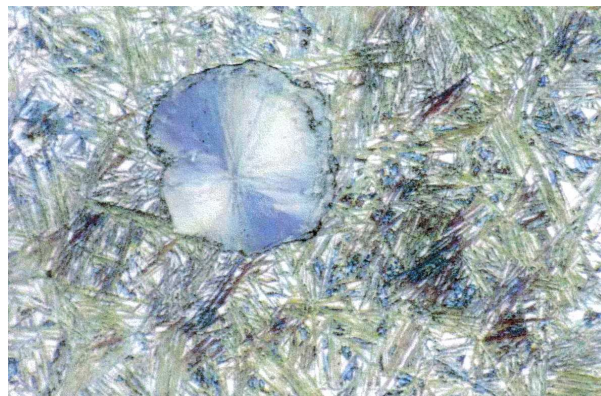
Obrazy mikrostruktur wyżej wymienionych wytopów przedstawiają rysunki (rys. 3, 4, 5, 6).



Rys. 1. Widok struktury żeliwa ADI. Grafit sferoidalny na tle bainitu i austenitu szczątkowego. Pow. 300x [3]
Fig. 1. View of the ADI cast iron. Spheroidal graphite on the background of bainite and residual austenite. Magnification 300x [3]



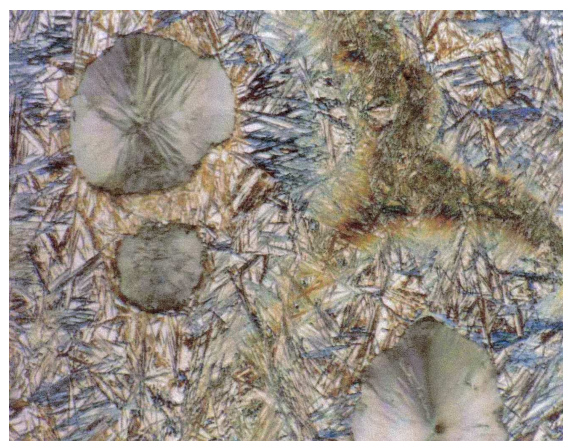
Rys. 2. Schemat obróbki cieplnej żeliwa sferoidalnego (ADI) [2]
Fig. 2. The schema of the heat treatment the ADI cast iron [2]



Rys. 3. Widok struktury żeliwa sferoidalnego (ADI) z wytopu 1. Grafit sferoidalny na tle bainitu i austenitu szczątkowego. Pow.300x. [5]
Fig. 3. View of the structure ADI cast iron of the sample 1. Spheroidal graphite on the background of bainite and residual austenite. Magnification 300x. [5]



Rys. 4. Widok struktury żeliwa sferoidalnego (ADI) z wytopu 2. Grafit sferoidalny na tle bainitu i austenitu szczątkowego. Pow.300x. [5]
Fig. 4. View of the structure ADI cast iron of the sample 2. Spheroidal graphite on the background of bainite and residual austenite. Magnification 300x. [5]



Rys. 5. Widok struktury żeliwa sferoidalnego (ADI) z wytopów 3 i 4. Grafit sferoidalny na tle bainitu i austenitu szczątkowego. Pow. 300x. [5]
Fig. 5. View of the structure ADI cast iron of the samples 3 and 4. Spheroidal graphite on the background of bainite and residual austenite. Magnification 300x. [5]



Rys. 6. Widok struktury żeliwa sferoidalnego (ADI) z wytopu 5. Grafit sferoidalny na tle bainitu i austenitu szczątkowego. Pow. 300x. [5]

Fig. 6. View of the structure ADI cast iron of the sample 5. Spheroidal graphite on the background of bainite and residual austenite. Magnification 300x. [5]



Rys. 7. Widok miski z elektrokorundem
Fig. 7. View of the bowl with aloxite



Rys. 8. Widok próbek
Fig. 8. View of the samples

Z przeprowadzonych badań można stwierdzić, że skład chemiczny i parametry obróbki cieplnej wpływają w istotny sposób na właściwości materiału. Na przykład wytop pierwszy charakteryzował się najwyższymi właściwościami mechanicznymi oraz prawidłową drobnoziarnistą mikrostrukturą (hartowanie przeprowadzono w niskiej temperaturze). Natomiast wytop drugi, który poddano hartowaniu w wysokiej temperaturze charakteryzował się niskimi właściwościami mechanicznymi i gruboziarnistą strukturą.

Odporność na ścieranie żeliwa sferoidalnego (ADI)

Badania tribologiczne, przeprowadzone w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu, wykonano w zróżnicowanych warunkach:

- tarcia w suchym medium ściernym,
- tarcia suchego metal – metal.

Celem badań laboratoryjnych było określenie intensywności zużycia wybranych żeliw sferoidalnych (ADI) w porównaniu z powszechnie stosowanymi na elementy maszyn rolniczych stalami (45, 38GSA).

Badania odporności na ścieranie w warunkach tarcia w suchym medium ściernym zostały przeprowadzone na specjalnie skonstruowanym stanowisku w PIMR (rys. 7).

Stanowisko badawcze składało się z miski stożkowej, w której umieszczony był elektrokorund (masa ścierna). Badane próbki umieszczone zostały w listwowym uchwycie osadzonym we wrzecionie wiertarki promieniowej (rys. 8). Obroty badanym próbkom nadawało wrzeciono wiertarki. Prędkość próbek w masie ścierniej była stała i wynosiła 5 km/h [4].

Zużycie określono metodą wagową dokonując, co 20 h (co odpowiadało drodze 100 km) pomiarów masy próbek. Natomiast intensywność zużycia określono ze wzoru podanego w normie dla badań przeprowadzanych na maszynie Amslera [6]:

$$I_{pw} = Z_{pw} / s \text{ [}\mu\text{g/km]}$$

gdzie:

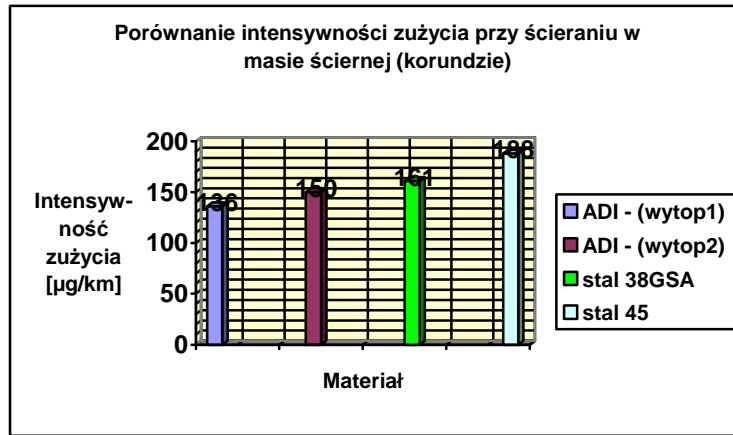
I_{pw} - intensywność zużycia wagowego [g/km],
 Z_{pw} - zużycie wagowe próbki w ustalonym okresie [g],
 S - całkowita droga tarcia [100 km].

Wyniki przeprowadzonych badań zestawiono w tab. 3 oraz na rys. 9.

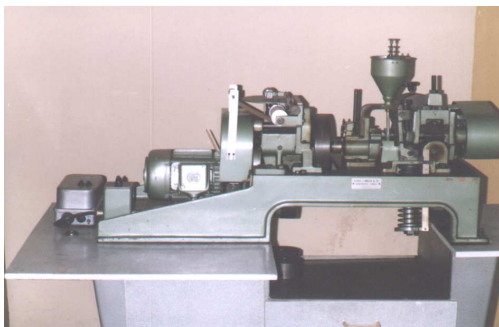
Tab. 3. Zestawienie średnich wyników intensywności zużycia badanych materiałów, przy tarcii o masę ścierną (elektrokorund) [4]

Table 3. Setting-up of the mean results of intensity of wear of tested materials during friction against abrasive mass (aloxite) [4]

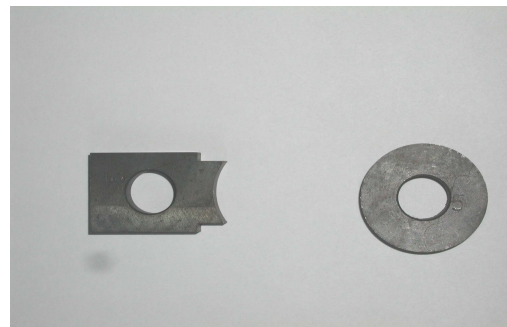
Lp.	Oznaczenie	Twardość [HRC]	Droga tarcia [km]	Średni ubytek masy [g]	Średnia intensywność zużycia [$\mu\text{g/km}$]
1	Wytop 1	49	100	0,0136	136
2	Wytop 2	41	100	0,0150	150
3	Stal 38GSA	43	100	0,0161	161
4	Stal 45	41	100	0,0180	180



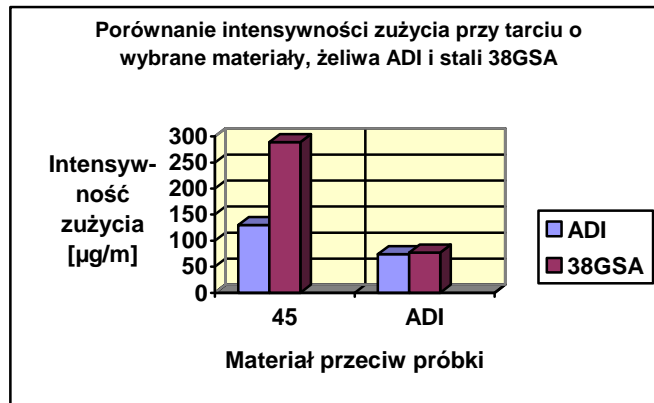
Rys. 9. Porównanie intensywności ścierania badanych materiałów [4]
 Fig. 9. Comparison of abrasion intensity of tested materials [4]



Rys. 10. Widok maszyny Amslera [3]
 Fig. 10. View of the Amsler's machine [3]



Rys. 11. Widok próbki i przeciwpółki (krążek) [3]
 Fig. 11. View of the sample and anti-sample (disk) [3]



Rys. 12. Porównanie intensywności zużycia żeliwa ADI I stali 38GSA, przy tarcieniu o wybrane materiały [4]
 Fig. 12. Comparison of wear intensity of the ADI cast iron and the 38GSA steel, during friction against chosen materials [4]

Jak wynika z tab. 3 i rys. 9, najwyższą odpornością na ścieranie charakteryzuje się żeliwo z wytopu 1, nieco niższą - żeliwo z wytopu 2. Znacznie wyższą intensywnością zużycia charakteryzowały się próbki ze stali 45 i 38GSA. Powyższe wstępne wyniki wskazują na bardzo dobre właściwości tribologiczne żeliwa sferoidalnego (ADI) w warunkach sypkiego medium ściernego.

Badania odporności na ścieranie w warunkach tarcia suchego metal o metal przeprowadzono na maszynie typu Amsler-A135 (rys. 10). Badania te zostały wykonane zgodnie z normą [6]. Zastosowano układ klocek-krążek, gdzie próbka z badanego materiału (klocek) była nieruchoma, a

przeciwpółka (krążek) obracała się z prędkością 0,42 m/s (rys. 11).

Intensywność zużycia określono jak w poprzednim przypadku ze wzoru podanego w normie dla badań przeprowadzanych na maszynie Amslera [6]. Na maszynie określono moment tarcia (M_t) i współczynnik tarcia (μ_{st}) za pomocą wzorów:

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

gdzie:

N – obciążenie próbek [daN]

s – określona droga tarcia [cm].

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

gdzie:

r – promień przeciwpróbki = 2 cm.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazano w tab. 4.

Jak wynika z tab. 4 i rys. 12, najniższą intensywność zużycia w warunkach tarcia suchego mają żeliwa ADI w porównaniu ze stalami 45 i 38GSA. Badania te potwierdziły wysoką odporność tribologiczną tych nowej generacji żeliw sferoidalnych (ADI), także w warunkach tarcia suchego.

Zalety ADI

Przewiduje się, że produkcja nowej generacji żeliwa sferoidalnego ADI wzrośnie o ponad 300% do 2007 roku, z tendencją rosnącą w najbliższych latach. Materiał ten przewyższa odkuwki stalowe, elementy spawane, wyroby ze stali nawęglonej i aluminium [2].

Żeliwo ADI, oprócz wcześniej wspomnianych wysokich właściwości mechanicznych, ma również szereg dodatkowych zalet, które czynią z tego materiału jeszcze bardziej atrakcyjny materiał konstrukcyjny. Na każdym etapie procesu produkcyjnego element wykonany z ADI może dać oszczędności rzędu 20% w porównaniu ze stalą kutą i aż do 50% oszczędności w porównaniu z aluminium. Materiał ten cechuje się dobrą lejniścią, dzięki czemu odwzorowuje bardzo skomplikowane kształty, co zapewnia obniżenie kosztów obróbki mechanicznej i oprzyrządowania.

Koszt obróbki cieplnej żeliwa sferoidalnego poddanego hartowaniu z przemianą izotermiczną jest niższy niż nawęglanie lub hartowanie, natomiast daje lepszą jednorodność i łatwą do określenia i prognozowania poprawę właściwości.

Mniejsze jest także zużycie energii podczas produkcji, np. odlew wykonany z żeliwa sferoidalnego (ADI) wymaga o 50% mniej energii niż odlew staliwny i o prawie 80% mniej niż odkuwka stalowa.

Gęstość tego materiału w porównaniu np. ze stalą jest niższa o 10%, co pozwala na bardziej ekonomiczne zaprojektowanie odlewów bez negatywnego wpływu na pracę elementów.

ADI ma porównywalną bądź wyższą wytrzymałość mechaniczną niż stal z mikrododatkami, zachowując takie same pozostałe własności.

Zastosowanie ADI

Ze względu na wysoką odporność na ścieranie i dobrą udarność żeliwa sferoidalnego (ADI) zauważalny jest wzrost jego zastosowania w różnych dziedzinach przemysłu [2]:

- w przemyśle samochodowym np.: drążki sterownicze, korbowody, koła zębate rozrzędu, zwrotnice itd.;
- w przemyśle maszyn rolniczych np.: elementy pługów, piasty kół, lemiesz, elementy do wysiewania nawozów sztucznych itd.;
- w przemyśle zbrojeniowym np.: pociski, opancerzenia, stopy ogni w gąsienicy itd.;
- w budownictwie np.: zęby koparek, kruszarki do nawierzchni drogowej, zęby kół łańcuchowych, wsporniki, prowadnice itd.;
- w kolejnictwie np.: kołpaki, klocki hamulcowe, elementy torów, elementy silnika, amortyzatory itd.

Wnioski

Z analizy dotychczasowej literatury, jak również danych z przeprowadzonych badań w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu i w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie można sformułować następujące wnioski:

1. Żeliwo sferoidalne nowej generacji hartowane z przemianą izotermiczną (ADI) charakteryzuje się wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi i plastycznymi, ze względu na uzyskaną strukturę bainitu podczas hartowania z przemianą izotermiczną.
2. Odpowiedni dobór składu chemicznego i parametrów temperaturowych obróbki cieplnej (hartowania z przemianą izotermiczną) jest konieczny w aspekcie zoptymalizowania właściwości mechanicznych i tribologicznych tworzywa,
3. Intensywność zużycia ściernego żeliwa sferoidalnego w porównaniu z innymi materiałami (stalami, stopami lekkimi) jest niska.
4. Dobre własności lejne żeliwa sferoidalnego zapewniają dowolne kształtowanie elementów i niskie koszty obróbki mechanicznej.
5. Stosunkowo niska cena żeliwa ADI, w porównaniu ze staliwem, wpływa korzystnie na potaniecie produkowanych wyrobów.
6. Wiele zalet tworzywa odlewniczego ADI wskazuje na możliwość i celowość jego zastosowania na różne elementy konstrukcyjne maszyn rolniczych w aspekcie ekonomicznym i zwiększenia trwałości eksploatacyjnej.

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

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

Lp.	Materiał		Obciążenie N [daN]	Średni moment tarcia M_t μ_{sr} [daNm]	Średni wsp. tarcia μ_{sr}	Średni ubytek masy próbki [g]	Średnia temp. próbki [°C]	Średnia inten. zużycia I_{pw} [μg/m]	I_{pw} (ADI)/ I_{pw} (38GSA)
	próbka	przeciw- próbka							
1.	38GSA	45	60	35	0,29	0,0725	123	28,9	44,98
	ADI	45	60	39	0,325	0,0326	115	13	44,98
2.	ADI	ADI	60	41	0,34	0,0186	139	7,4	96,1
	38GSA	ADI	60	40	0,33	0,0190	127	7,7	96,1

Literatura

- [1] ADI – Austempered Ductile Iron. Biuletyn Metals Minerals. 2/2003
- [2] J. Tybulczuk, A.W.Kowalski: Żeliwo ADI – własności i zastosowanie w przemyśle. Atlas odlewów. Instytut Odlewnictwa w Krakowie. Kraków 2002r.
- [3] Internet
- [4] M. Łabęcki, M. Gościański, J. Szulczyk: Badania laboratoryjne oraz eksploatacyjne wybranych elementów roboczych maszyn rolniczych pracujących w glebie, wykonanych z nowoczesnych żeliw ADI. Praca PIMR Poznań. Grudzień 2003r.
- [5] Z. Pirowski, J. Olszyński, J. Wodnicki, W.UHL: Wstępne badania przydatności nowych tworzyw odlewniczych na wybrane elementy maszyn rolniczych. Instytut Odlewnictwa w Krakowie. 2003r.
- [6] Norma PN-82/H-04332: Badanie zużycia metali lub ich warstw dyfuzyjnych w procesie tarcia ślizgowego przy stałym nacisku na maszynie Amslera.