

# Żeliwa ADI 800-8

[zeliwa-adi.zip](#)

[zeliwo\\_ADI](#)

Jednym z etapów produkcji żeliwa ADI jest wykonanie żeliwa sferoidalnego z dodatkiem takich pierwiastków jak Mn, Ni, Cu, Mo, Cr, Sn, lub innych pierwiastków pozwalających na uzyskanie struktury perlitycznej lub perlityczno-ferrytycznej i podniesienie hartowności. Trzeba tutaj zaznaczyć że nie każde żeliwo sferoidalne nadaje się do produkcji żeliwa ADI. Niektóre gatunki żeliwa niskostopowego jak i żeliwa wysokostopowego (np. żeliwo wysoko niklowe) nie są wykorzystywane do uzyskiwania ADI lub ich zastosowanie jest ekonomicznie nie opłacalne.

Sferoidyzację realizuje się za pomocą Mg lub jego związków. Można także zastosować pierwiastki ziem rzadkich takie jak np. Ce lub Re. Sferoidyzacja żeliwa polega na wprowadzeniu do kąpeli odpowiednich ilości magnezu co skutkuje wydzielaniem grafitu o morfologii kulkowej. Rozdrobnienie i kształt właściwy grafitu zależy od zawartości siarki oraz owego magnezu który pozostał w stopie jako jego składnik.

Charakter tego dodatku, tzn. wypalanie się w ciekłym metalu, sprawia że struktura otrzymanego stopu jest najlepsza bezpośrednio po przeprowadzeniu zabiegu sferoidyzowania a po odpowiednim czasie i przetrzymaniu ciekłej kąpeli w kadzi uzyskanie kształtu kulistego jest wręcz niemożliwe. Przyjmuje się że efekt sferoidyzacji utrzymuje się w ciekłej kąpeli około 10 minut co wymusza szybkie i sprawne wylewanie metalu np. z zalewarek stosowanych w automatycznych liniach formierskich DISAMATIC. Należy także pamiętać że nawet w wymienionej wcześniej umownej granicy czasu wszelkie zwlekanie wpływa niekorzystnie na otrzymane właściwości mechaniczne gotowego detalu.

Magnez wprowadzać można do kąpeli szeregiem metod:


1. Wprowadzenie za pomocą dzwonu, gdzie podwieszony pod dzwonem magnez lub jego stopy jest zanurzany w ciekłym metalu.
2. Zalewanie w kadzi – magnez w postaci odpowiedniej zaprawy zostaje umieszczony na dnie kadzi zalewanej bezpośrednio z pieca. Przy użyciu zaprawy ciężkiej może ona znajdować się na dnie bez stosowania dodatkowych obciążników. Przy lekkich zaprawach, w celu uniknięcia niepożądanego wypływania dodatku, można stosować jako obciążniki blachę stalową („Sandwich”), karbid („Trigger”) lub kształtkę ceramiczną wraz z nasyconym koksem (amerykańska metoda „Mag-Coke”).
3. Metoda drutowa polegająca na dostarczeniu do kąpeli znajdującej się w kadzi odpowiednich porcji magnezu stanowiącego rdzeń wprowadzanego drutu. Metoda bardzo precyzyjna.
4. Kadzie ciśnieniowe z tzw. „kieszenią” gdzie dodatek magnezu lub jego stopu znajduje się w odpowiedniej komorze znajdującej się za topliwą przegrodą – do sferoidyzacji dochodzi po jej przetopieniu.
5. Sferoidyzacja w autoklawie – kadź z ciekłą kąpielą zostaje wprowadzona do ciśnieniowego autoklawu gdzie podany zostaje nabój z magnezem.
6. Metoda dmuchowa – specjalna dysza wdmuchuje w strumieniu gazu obojętnego proszek bądź wióry magnezowe.

Te metody pozwalają na otrzymanie struktury perlitycznej bądź perlityczno-ferrytycznej. Strukturę ferrytyczną można uzyskać na drodze obróbki cieplnej (wyżarzanie grafityzujące).

Każde wprowadzenie sferoidyzatora powoduje gwałtowną reakcję, dymienie i oślepiające efekty świetlne a także rozpryski kropli ciekłego metalu zaś w przypadku kadzi ciśnieniowych konwektorowych zamkniętych prowadzi do drgań. Należy więc zwrócić szczególną uwagę podczas przebiegu tego procesu na bezpieczeństwo załogi[12].

Modyfikacje realizuje się zazwyczaj FeSi lub modyfikatorami na bazie FeSi. Modyfikacja ma na celu uzyskanie bardziej jednorodnego rozkładu wydzieleni grafitu oraz zapewnia większą liczbę zarodków. Skład chemiczny Struktura wyjściowa żeliwa sferoidalnego wpływa na parametry stosowanej obróbki cieplnej.

Na rysunku 1 przedstawiono typowy przebieg obróbki cieplnej polegający na austenizacji w temperaturze 815-950oC i hartowaniu izotermicznym w temperaturze 230-400oC.

 Rys. 1. Proces obróbki cieplnej prowadzony w celu uzyskania żeliwa ADI[8]


## Wytrzymałość na rozciąganie a wydłużenie

Różnice we właściwościach mechanicznych konkretnych rodzajów żeliwa ADI są związane z różnicami w strukturze. Jest to wynikiem różnych wariantów obróbki cieplnej. Poprzez sterowanie parametrami takimi jak temperatura austenizacji czy hartowania można modelować własności żeliwa ADI.


Dobrze widać to w stosunku wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  do wydłużenia procentowego  $A$ . Chociażby, tak jak np. przy hartowaniu, bardzo istotna jest temperatura procesu. Jeżeli hartować będziemy żeliwo w temperaturze ponad 400°C to możemy spodziewać się że w strukturze pojawią się węgliki ze względu na szybką przemianę - żeliwo nie będzie plastyczne. Udział austenitu w stosunku do ferrytu jest największy w zakresie od 350 do 370°C, wtedy też żeliwo będzie miało najlepsze wydłużenie zaś najmniejszą wytrzymałość. Jeżeli temperaturę hartowania postanowimy jeszcze obniżyć to w strukturze pojawi się martenzyt, efekt przemiany austenitu szczątkowego wydzielonego w trakcie chłodzenia do temperatury pokojowej. Wpływ na strukturę, prócz temperatur w procesach, ma także ich czas. Szczególnie istotny jest optymalny czas austenizacji, zapewniający z jednej strony odpowiednie wzbogacenie austenitu w węgiel (odpowiednio długi proces), z drugiej natomiast niedopuszczający do rozpoczęcia rozkładu austenitu i wydzielania się węglików (proces zbyt długi). Ma to bezpośrednie przełożenie na plastyczność.


Oczywiście wszystko to ma rzutować na inne właściwości. Wraz ze wzrostem wytrzymałości wzrasta także twardość Brinella. Jest to przedstawione na rysunku 3. Da się tam także zauważyć odwrotnie proporcjonalny stosunek omawianej wcześniej wytrzymałości do wydłużenia procentowego, podobną zależność wykazuje stosunek umownej granicy plastyczności do udarności.


Wraz ze wzrostem twardości, a więc przy spadającym module sprężystości  $E$ , spada udarność a także odporność na kruche pękanie.

 rys2-3 Rys. Porównanie własności poszczególnych gatunków żeliwa(szarego , sferoidalnego i ADI)[11]

## Zużycie ściernie


 rys 4 Rys 4 Porównanie intensywności ścierania badanych materiałów [4]

 rys 5 Rys. 5. Porównanie intensywności zużycia żeliwa ADI i stali 38GSA, przy tarciu o wybrane materiały [4]


 rys 6 Rys.6. Porównanie odporności na zużycie ścierne żeliwa ADI, żeliwa sferoidalnego i dwóch gatunków stali[5]

 rys 7 Rys. 7. Porównanie własności użytkowych żeliwa ADI z żeliwem Hadfielda (L120G13)

Wyniki prób przedstawione na rysunku 7 świadczą o możliwości uzyskania lepszej odporności na ścieranie żeliwa ADI, w warunkach suchego tarcia, w porównaniu z żeliwem Hadfilda. W tabeli 2 przedstawiono składy chemiczne żeliwa ADI typ A,B,C.

 tab2 Tabela 2 Skład żeliwa typu A, B, C

## Tłumienie

 rys 8 Rys.8. Natężenie hałasu w funkcji obrotów elementów wykonanych ze stali i żeliwa ADI

Żeliwo ADI stosuje się bardzo często w przemyśle samochodowym na różnego typu koła zębate, wały korbowodowe, elementy mocujące. Jednym z powodów stosowania tego materiału jest redukcja drgań. W wyniku badań skrzyń biegów stwierdzono że żeliwo ADI tłumi drgania o 40 % lepiej niż stal[6]

 rys 9 Rys. 9. Względne tłumienie stali, żeliwa sferoidalnego, żeliwa ciągliwego

Koszty produkcji żeliwa ADI.

Żeliwo ADI ogólnie jest polecane jako materiał konstrukcyjny ze względu na koszty produkcji detali w porównaniu do wykonania z innych materiałów. ADI z powodzeniem zajęło miejsce materiału do produkcji wałów korbowych a także kół zębatach. Głównym atutem były oszczędności związane z wytwarzaniem komponentów z tego tworzywa – okazało się że są to wydatki mniejsze o około 20% w porównaniu ze stalą kutą o ok. 50% w porównaniu z aluminium.

Różnice te wzięły się z kilku cech w których tworzywo to przewyższa inne materiały. Przede wszystkim jest to bardzo dobra lejność dzięki czemu skomplikowane kształty można otrzymać z większym uzyskiem a surowy odlew ma lepszą dokładność wymiarową. To z kolei oznacza oszczędności na obróbce mechanicznej. Kolejną istotną cechą są koszty obróbki cieplej które są niższe niż w przypadku np. nawęglania. Poza tym samo uzyskanie odlewu z żeliwa jest tańsze niż stalownego (niższe zużycie energii), nie porównując nawet do odkuwek stalowych których koszt wytworzenia powiększa się o kształtowanie plastyczne. Poza tym nieobrobione cieplnie żeliwo ADI jest bardziej skrawalne co zwiększa trwałość narzędzi a gotowy detal ma podobne właściwości mechaniczne co wiele gatunków stali będąc przy tym o ok. 10% lżejszy.

Aktualnie na terenie Polski zainstalowane są dwie linie przeznaczone do wytwarzania żeliwa ADI poprzez proces austenizacji i hartowania izotermicznego w kąpeli solnej.


Pierwsza z nich znajduje się w [Zakładzie Stopów Żelaza Instytutu Odlewnictwa w Krakowie](#). Składa się ona z pieca komorowego do austenizowania, wanny solnej służącej do hartowania, urządzenia płuczącego mającego za zadanie umyć i wysuszyć obrobione detale oraz przejezdnej ładowarki wsadu.

Temperatura austenizacji może wynosić do 1000°C, zakres temperatur hartowania to od 250 do 480°C zaś jednorazowy wsad to maksymalnie 350 kg brutto (obrabiane odlewy wraz z koszem).

Drugim miejscem gdzie odbywa się obróbka żeliwa ADI są [Odlewnie Polskie S.A.](#) mieszczące się w Starachowicach. Znajdująca się tam linia technologiczna składa się z pieca węgelnego do austenizacji, pieca solnego do hartowania, płuczki 3-stopniowej do mycia odlewów, stacji dozującej atmosferę ochronną oraz systemu transportowego wraz z zawiesiem, wyposażonym w klosz ochronny. Maksymalna temperatura austenizowania w piecu węglonym wynosi 950°C zaś hartowanie może być przeprowadzone w temperaturze od 270 do 400°C. Linia charakteryzuje się jednorazową ładownością rzędu 800 kg odlewów przy wydajności 2400 kg/dobę.

## Żeliwo ADI z grupy 800-8

Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 2 oraz inne dale literaturowe można stwierdzić że, w celu otrzymanie żeliwa ADI o dużej plastyczności należy prowadzić proces hartowania w górnym zakresie temperatury przedstawionych na rysunku 1. Jednocześnie długi czas hartowania izotermicznego także wpływa korzystnie na otrzymanie wysokich własności plastycznych. Można przyjąć zakres temperatury hartowania w zakresie 330- 400 oC jako właściwy dla uzyskania tworzywa o stosunkowo dobrych własnościach plastycznych. Powyżej temperatury 330 oC proces powstały ausfferyt różni się od mechanizmem powstawania ausfferytu powstającego w niższej temperaturze. Wysoka temperatura sprzyja dyfuzji węgla do austenitu. Duża zawartość węgla w austenicie powoduje że obniża się temperatura początku przemiany martenzytycznej. Hartowanie izotermiczne przez ok 3 godziny może doprowadzić do wzbogacenia węglem austenitu do poziomu 1,8%-2,2%. Powstała struktura składa się z martenzytu, grubych wydzieleni ferrytu i austenitu szczątkowego[9, 10].

 tab1 Tabela 1 Skład chemiczny żeliw ADI

 tab 2b Tabela 2 Wyniki własności poszczególnych stopów żeliwa ADI


## Zastosowanie żeliwa ADI 800-8

Żeliwo =[ADI 800-8](#), spośród produkowanych znormalizowanych żeliw tego gatunku, jest [=najbardziej plastyczne](#). Nazwa wzięta się od wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  oraz wydłużenia  $A$ , wartości te wynoszą odpowiednio 800 MPa oraz 8%. Są to, wraz z granicą plastyczności  $R_{p0,2}$  wynoszącą 500 MPa oraz udarnością Charpy'ego na próbkach z karbem w temperaturze  $23 \pm 5^\circ\text{C}$  równą 10J, wartości normatywne. Określa je polska norma PN-EN 1564:2000, powstała poprzez przetłumaczenie normy europejskiej.


Warto także wymienić takie właściwości jak wytrzymałość na ściskanie  $\sigma_{db}=1300\text{MPa}$ ; odporność na kruche pękanie 62 MPa/m; twardość Brinella 260-320HB; moduł sprężystości  $E=170\text{MPa}$ .

W porównaniu do innych rodzajów żeliwa ADI ujętych w tej normie, ADI 800-8 [=charakteryzuje się najmniejszą wytrzymałością na rozciągnię  \$R\_m\$ , na ściskanie odb oraz granicą plastyczności  \$R\_{p0,2}\$ . Dodatkowo =posiada najmniejszą twardość Brinella. Z drugiej strony =wyróżnia je największe wydłużenie procentowe  \$A\$  oraz moduł sprężystości  \$E\$ .](#)

Poniżej przedstawiono przykłady elementów wykonywanych z żeliwa ADI z omawianej grupy żeliw o wysokiej plastyczności.

 rys 10 Rys. Przykład połączenia z ADI używanego w ciężarówkach

 rys 11 Rys. Odlew ramy silnika z ADI 800-8

 rys 12 Rys. Możliwe zastosowanie[11]

## Doświadczenia i badania własne I.ODL .

### Żeliwo ADI.

Najwięcej żeliwa ADI produkują Stany Zjednoczone Ameryki Północnej W 2000 roku wynosiła ona 100 tys. ton, a wg prognoz na 2007 rok ma osiągnąć 200 tys. ton. W Europie rozwój rynku odbiorców odlewów z żeliwa ADI jest znacznie wolniejszy. Aktualna produkcja odlewów z ADI w Europie wynosi około 12 tys. ton rocznie.

Żeliwo ADI zostało ujęte w normach wielu krajów. W Polsce istnieje norma PN-EN 1564:200 „Żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną”.

I. Żeliwa sferoidalnego o składzie:

- C - 3,55 %,
- Si - 2,45 %,
- Mn - 0,10 %,
- P - 0,04%,
- S - 0,01%,
- Mg - 0,055%,
- Ni - 1,80 %,
- Cu - 1,25 %.

Żeliwo zostało poddane obróbce cieplnej w Instytucie Odlewnictwa z wykorzystaniem linii technologicznej LT ADI-350/1000. Cykl obróbki był następujący:


- austenizacja 900°C/2,5h,
- hartowanie z przemianą izotermiczną - 320°C/2h,
- mycie przez 8 minut w temperaturze 70°C i płukanie wodne przez 6 minut,
- suszenie w temperaturze 120°C przez 25 minut.

Po tak przeprowadzonej obróbce uzyskano twardość na powierzchni (po zeszlifowaniu 0,1 mm) 30-33 HRC.

Uzyskana struktura żeliwa była następująca:

- grafit:
  - VA5 (grafit zwarty rozmieszczenie A wielkości 0,06 do 0,12 mm) - 70%,
  - VIA5 (grafit kulkowy rozmieszczenie A wielkości 0,06 do 0,12 mm) - 30%

- osnowa metalowa:
  - ferryt iglasty i austenit.
  - zgląd trawiony, pow.500x

 rys 13 Mikrostruktura grafit kulkowy, ferryt iglasty, austenit

II. Wykonano następujące gatunki żeliwa:

Lp.	Rodzaj żeliwa	Projektowana zawartość pierwiastków międzywęzłowych %	
		Azot (N)	Bor (B)
1	GJS ADI	0	0
2	GJS ADI - N1	0,010	0
3	GJS ADI - B1	0	0,02 - 0,04
4	GJS ADI - N2	0,020	0
5	GJS ADI - B2	0	0,04 - 0,06
6	GJS ADI - B2,N2	0,010	0,06

Skład chemiczny w stanie lanym

C	Si	Mn	P	S	Mg	N	B	Cu	Ni	Cr	Al.	Ti	
1.	3,75	2,35	0,35	0,04	0,010	0,060	0,0048	-	0,71	0,91	0,01	0,011	0,015

2/N1 3,60 2,35 0,31 0,04 0,015 0,060 0,0057 - 0,71 0,91 0,01 0,011 0,015 4/N2 3,75 2,50 0,26 0,04 0,010 0,040 0,0075 - 0,69 0,67 0,02 0,012 0,020 3/B1 3,60 2,45 0,35 0,04 0,010 0,060 0,0060 0,030 0,72 1,00 0,03 0,051 0,023 5/B2 3,80 2,20 0,30 0,05 0,012 0,050 0,0058 0,060 0,77 0,70 0,05 0,056 0,014 6/N2,B2 3,80 2,55 0,30 0,04 0,025 0,085 0,0068 0,058 0,79 0,79 0,08 0,070 0,032

Obróbka 1. temperatura austenitizacji 900°C - wytrzymanie 2 godz. temp. kąpieli solnej 275°C - wytrzymanie 2 godz.

Obróbka 2. temperatura austenitizacji 900°C - wytrzymanie 2 godz. temp. kąpieli solnej 350°C - wytrzymanie 2 godz.

**Struktury w stanie lanym i po obróbce cieplnej.**

Oznaczn. wytopu	Mikrostruktura osnowy metalowej		
	Stan odlany	Po obróbce cieplnej 1.	Po obróbce cieplnej 2.
1	Pf1-P96	Bainit	Bainit, austenit
2/N1	Pf1-P96	Bainit	Bainit, austenit
3/B1	Pf1-P96-C4-Cw6000	Bainit, cementyt C4-Cw2000	Bainit, austenit, C4-Cw-2000
4/N2	Pf1-P92	Bainit, cementyt C2-Cw2000	Bainit, austenit
5/B2	Pf1-P96-C4-Cw6000	Bainit, cementyt C4-Cw2000	Bainit, austenit, C4-Cw-2000
6/B2,N2	Pf1-P96-C4-Cw6000	Bainit, cementyt C4-Cw2000	Bainit, austenit, C4-Cw-2000

## Twardości.

Oznaczenie żeliwa	Twardość HBW5 5/750		
	Stan odlany	Obróbka cieplna 1	Obróbka cieplna 2

258 533 380 ADI-2N1 240 515 353 CADI-3/B1 233 505 341 CADI-4N2 200 475 320 AGI-5/B2 174 341  
255 CADI-6/N2,B2 258 488 360

## Udarnośći KV

Oznaczenie żeliwa Obróbka cieplna 1 Obróbka cieplna 2 ADI- 1 5,9 8,8 ADI-2N1 5,9 8,5 CADI-3/B1 4,9  
4,9 CADI-4N2 4,9 7,2 AGI-5/B2 3,4 3,6 CADI-6/N2,B2 4,9 5,9

## Własności wytrzymałościowych Rm i A5

Oznaczenie żeliwa Obróbka cieplna 1 Obróbka cieplna 2

Rm [MPa] A5 [%] Rm [MPa] A5 [%] ADI- 1 1525 4,0 1044 13,4 ADI-2N1 1313 3,3 927 7,0 CADI-3/B1  
870 1,5 655 2,5 CADI-4N2 1064 1,7 820 1,8 AGI-5/B2 327 1,7 244 1,7 CADI-6/N2,B2 728 1,7 624 1,7

1. Mikrodatki pierwiastków międzywęzłowych boru i azotu powodują powstanie w strukturze wyjściowej żeliwa wydzieleni eutektyki cementytu, które pozostają po obróbce izotermicznej żeliwa, lecz w postaci rozdrobnionych wydzieleni.
2. Dodatki te powodują powstanie struktury żeliwa CADI, którego właściwości wytrzymałościowe (Rm, A5, KV) są niższe niż w żeliwie ADI lecz odporność na zużycie ścierne powinna być wyższa.
3. Dodatek łączny B i N powoduje efekty analogiczne jak dodatek boru.

## Literatura

1. Kazimierz Głownia, Andrzej Gwiżdż, Zenon Pirowski, Jacek Wodnicki; WPŁYW AZOTU I BORU W ŻELIWIE SFEROIDALNYM NA PRZEMIANY STRUKTURALNE W PROCESIE HARTOWANIA Z PRZEMIANĄ IZOTERMICZNA; PRACE INSTYTUTU ODLEWNICTWA, Tom L, Rok 2010, Zeszyt 1
2. John R. Keough, PEng, FASM; Austempered Ductile Iron (ADI) - A Green Alternative; Applied Process Inc. Technologies Div. - Livonia, Michigan, USA; April 2010
3. Austempered Ductile Cast Irons (ADI); Russell Ductile Castings Limited
4. M. Łabęcki, M. Gościański, J. Szulczyk, Z. Pirowski: Badania laboratoryjne oraz eksploatacyjne wybranych elementów roboczych maszyn rolniczych pracujących w glebie, wykonanych z nowoczesnych Źeliw ADI. Praca PIMR Poznań. Grudzień 2003r.
5. [www.ductile.org](http://www.ductile.org)
6. Paweł Skoczylas, Anna Krzyńska, Mieczysław Kaczorowski; The comparative studies of ADI versus Hadfield cast steel wear resistance; ISSN (1897-3310), Volume 11, Issue 2/2011, 123-126, 24/2, ARCHIVES OF FOUNDRY ENGINEERING
7. "Austempered Cast Irons" from the Iron Casting Handbook and other materials prepared by John R. Keough and Kathy L. Hayrynen, Applied Process, Inc., Livonia, Michigan.



8. D.Myszka, T. Baubul; Wytwarzanie żeliwa ausferrytycznego w piecu próżniowym z chłodzeniem gazowym; *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*; Vol. 30, nr. 3; 2010
9. S. Dymski; Kształtowanie struktury i własności mechanicznych żeliwa sferoidalnego podczas izotermicznej przemiany bainitycznej; Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej; Bydgoszcz
10. J. Lelito; Analiza efektów cieplnych i zmian struktury w procesie otrzymywania żeliwa ADI; Praca doktorska;
11. Dr.-Ing. Claudia Dommaschk; Basic ADI; TU Bergakademie Freiberg, Germany
12. A. Tabor, J.S. Rączka „Odlewnictwo”, wyd. Fotobit, Kraków 1996

From:

<http://home.agh.edu.pl/~wta/> - **Weronika T. Adrian**

Permanent link:

[http://home.agh.edu.pl/~wta/adi:adi\\_800-8?rev=1391723439](http://home.agh.edu.pl/~wta/adi:adi_800-8?rev=1391723439)

Last update: **2014/02/06 22:50**

