

## JAKOŚĆ ŻELIWA SYNTETYCZNEGO WYTWARZANEGO W PIECU INDUKCYJNO-PLAZMOWYM

Wojciech LYBACKI

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów  
ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

### 1. Wstęp

Podstawą klasyfikacji żeliwa szarego wg normy PN-92/H-83101 jest minimalna wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  określona na próbce o średnicy pomiarowej  $d_0 = 20$  mm, wykonanej z osobno odlanego wałka o średnicy  $\Phi = 30$  mm i długości  $L = 300$  mm, formowanego zgodnie z normą PN-88/H 83106. Klasyfikacja ta odpowiada normie ISO oraz normom innych krajów europejskich. Mimo, że wytrzymałość na rozciąganie jest podstawowym kryterium oceny jakości żeliwa, to coraz powszechniejszy jest pogląd, że zagadnienie jakości żeliwa jest pojęciem szerszym i wytrzymałość żeliwa  $R_m$  należy rozpatrywać łącznie z innymi jego właściwościami: twardością, modułem sprężystości  $E$  i udarnością  $KC$  [1-4].

W. Patterson i A. Collaud wprowadzili kilku wskaźników charakteryzujących jakość żeliwa w zależności od jego składu chemicznego, a mianowicie: twardość względną  $HB_w$ , wytrzymałość względną  $R_{m,w}$  i kompleksowy wskaźnik jakości  $LJ$  lub  $Q_i$ . W zależności od składu chemicznego żeliwa określone zostały optymalne wartości modułu sprężystości, jakim powinno charakteryzować się żeliwo dobrej jakości.

Wieloletnie badania prowadzone w Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Poznańskiej wykazały, że zastosowanie plazmotronu w piecu indukcyjnym nie tylko uaktywnia procesy rafinacyjne i podwyższa właściwości mechaniczne i plastyczne wytapianych w nim stopów żelaza, lecz także poprawia wskaźniki energetyczne procesu topienia [5].

Podstawowymi materiałami stosowanymi do otrzymywania żeliwa szarego są: surowki odlewnicze, żłom stalowy i żłom żeliwny. Najtańszym surowcem, który może być wykorzystany do wytwarzania żeliwa jest żłom stalowy, a otrzymane w wyniku nawęglania stali żeliwo nosi nazwę żeliwa syntetycznego. Główną przeszkodą w szerokim zastosowaniu żłomu stalowego do wytwarzania żeliwa syntetycznego jest niska efektywność znanych metod nawęglania żelaza i stali. W przedstawianej pracy postanowiono wykorzystać korzystne cechy pieca indukcyjno-plazmowego, takie jak:

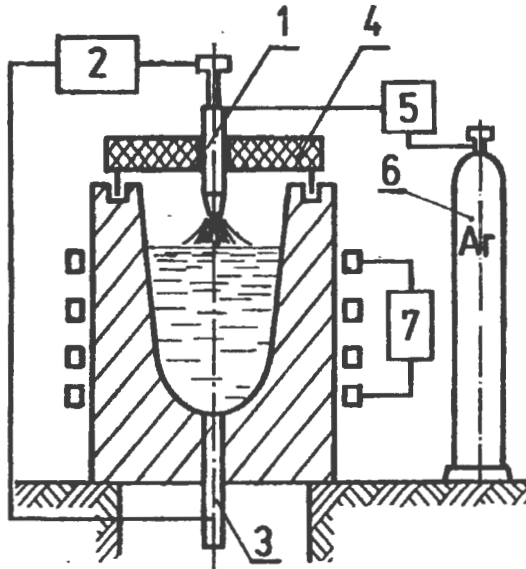
- wysoka temperatura łuku plazmowego,

- topienie w atmosferze obojętnej (plazma argonowa),
- aktywny żużel,

do wytwarzania syntetycznego żeliwa szarego, a do oceny jego jakości zastosować wskaźniki podane przez W.Pattersona i A.Collauda.

## 2. Badania własne

Badania nad wytwarzaniem żeliwa syntetycznego prowadzono w piecu indukcyjno-plazmowym, którego schemat przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego:

- 1 – plazmotron, 2 – źródło prądu stałego, 3 – elektroda dna, 4 – pokrywa pieca,  
5 – rotametr, 6 – butla z argonem, 7 – generator średniej częstotliwości

Fig. 1. Diagram of the research stand

- 1 – plasmatron, 2 – DC power source, 3 – bottom electrode, 4 – furnace cover,  
5 – rotameter, 6 – argon cylinder, 7 – medium-frequency generator

Materiał wsadowy stanowił jednorodny złom stalowy oraz nawęglacz grafitowy. Po roztopieniu ciekły metal przetrzymywano w temperaturze 1460–1480 °C w czasie 15–20 min. Skład chemiczny ciekłego metalu korygowano za pomocą żelazokrzemu Si75 i żelazomanganu FeMn80. Do modyfikacji wykorzystano modyfikatory: inoculin oraz Si75Al2. Skład chemiczny zastosowanych materiałów wsadowych i dodatków zestawiono w tabeli 1.

Wykonano dwie serie wytopów syntetycznego żeliwa szarego. W I serii wytwarzano syntetyczne żeliwo szare nie modyfikowane. Końcowy skład chemiczny

żeliwa ustalano zmieniając masę nawęglacza wprowadzanego do pieca wraz ze złomem stalowym oraz żelazostopów dodawanych do ciekłego żeliwa; współczynnik nasycenia eutektycznego żeliwa zmieniano w zakresie  $S_c = 0,8-1,0$ .

Tabela 1

Skład chemiczny materiałów wsadowych  
Chemical composition of charge materials

Nazwa materiału	Skład chemiczny, %					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
Złom stalowy	0,21	0,36	0,60	0,014	0,020	0,017
Nawęglacz grafitowy	96,88	-	-	-	0,14	popiół=1,03
Żelazokrzem Si75	0,15	75	0,50	0,06	0,04	0,20
Żelazomangan FeMn80	0,50	2,00	82	0,30	0,03	-
Inoculin 25	-	65,8	3,71	Zr=4,12	Ca=1,59	Al=0,97
Żelazokrzem Si75Al2	0,10	76,1	0,30	0,04	0,04	0,15

W II serii wytopów stosowano zabieg modyfikacji. Założony program badań obejmował modyfikowanie żeliwa o ustalonych na dwóch poziomach składnikach: węgiel (2,8–3,2%), krzem (0,8–1,2%) oraz ilość modyfikatora (0,5–0,7%).

Skład chemiczny żeliwa oznaczano za pomocą spektrometru firmy BAIRD; zawartość węgla i siarki przy użyciu analizatora LECO-CS244. Zawartość wodoru określano metodą ekstrakcji termicznej w próżni, natomiast badanie zawartości tlenu i azotu wykonano za pomocą automatycznego analizatora LECO-TC436. Próbkę do badania właściwości mechanicznych żeliwa syntetycznego odlewano zgodnie z normą PN-92/H-83101. Wytrzymałość na rozciąganie określono za pomocą maszyny wytrzymałościowej INSTRON 4206, a twardość Brinella – twardościomierzem WOLPERT, przy zastosowaniu kulki o średnicy 2,5 mm. Moduł sprężystości żeliwa oznaczano przy użyciu elastomatu Förstera.

## 2. Wyniki badań

Badania skuteczności nawęglania stali w piecu indukcyjno-plazmowym wykazały, że efektywność nawęglania stali w piecu indukcyjno-plazmowym przekracza 90%, a stopień wykorzystania węgla z nawęglacza osiąga niemal wartość 100% [6]. Pozwala to w szerokim zakresie regulować zawartość węgla i skład chemiczny żeliwa.

### 3.1. Skład chemiczny żeliwa syntetycznego

Wyniki analizy chemicznej wytworzonego żeliwa zestawiono w tabeli 2. Wynika z niej, że żeliwo syntetyczne wytwarzane w piecu indukcyjno-plazmowym charakteryzuje się małą zawartością gazów. Na podkreślenie zasługuje niska zawartość azotu, która jest co najmniej dwukrotnie niższa od zawartości azotu w żeliwie syntetycznym wytapianym w piecu indukcyjnym lub łukowym.

Skład chemiczny żeliwa syntetycznego  
Chemical composition of synthetic cast iron

Nr wyto- pu	Podstawowy skład chemiczny żeliwa, [%]					Zawartość gazów w żeliwie			S <sub>c</sub>
	C	Si	Mn	P	S	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
						cm <sup>3</sup> /100g	ppm	ppm	
1	3,79	1,28	0,83	0,030	0,021	3,47	31	27	1,02
2	3,40	1,28	0,83	0,283	0,022	4,01	-	-	1,03
3	3,05	3,25	0,90	0,304	0,020	3,89	26	52	0,99
4	3,05	2,27	0,93	0,045	0,026	5,27	25	45	0,90
5	2,78	4,20	0,94	0,446	0,017	3,03	22	41	1,03
6	2,80	2,45	0,65	0,141	0,023	4,15	26	53	0,82
1M <sup>*)</sup>	2,63	2,23	0,83	0,020	0,020	4,04	34	61	0,75
2M	2,99	1,68	0,85	0,025	0,031	3,51	41	63	0,81
3M	2,98	1,77	0,60	0,019	0,031	3,79	-	-	0,81
4M	2,80	1,96	0,59	0,023	0,035	4,44	31	52	0,78
5M	2,85	2,08	0,91	0,025	0,029	3,90	24	77	0,80
6M	2,79	2,16	0,62	0,016	0,023	3,80	25	64	0,79

\*) żeliwo modyfikowane

### 3.2. Właściwości mechaniczne żeliwa syntetycznego

Właściwości mechaniczne wytworzonego żeliwa syntetycznego wraz ze wskaźnikiem jakości Pattersona podano w tabeli 3. Wyniki tych badań przedstawiono również na rys. 2 i 3 porównując je z wynikami przewidywanymi przez W. Pattersona i A. Collauda dla żeliwa „jakościowego”.

Zestawione w tabeli 3 wyniki badań właściwości mechanicznych żeliwa syntetycznego wskazują, że bez zabiegu modyfikacji można uzyskać żeliwo od gatunku 150 do 300. Zabieg modyfikacji pozwala wytwarzać żeliwo o wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  przekraczającej 400 MPa. Z wyników tych badań wynika, że przy tym samym składzie chemicznym żeliwo syntetyczne charakteryzuje się wyższą wytrzymałością od żeliwa wytapianego z tradycyjnych surowców (rys.2). Dla żeliwa „jakościowego” współczynnik jakości W.Pattersona LJ powinien wynosić co najmniej LJ=1,00. Według Pattersona tylko dla żeliwa rafinowanego gazami wskaźnik ten przyjmuje wartość 1,2. Uzyskane w badaniach wskaźniki jakości dla żeliwa syntetycznego nie modyfikowanego znacznie przekraczają tę wartość; wskaźniki jakości dla żeliwa syntetycznego modyfikowanego również są wyższe od granicznej wartości LJ=1,00. Wyniki badań modułu sprężystości żeliwa syntetycznego  $E_0$  są także wyższe od wartości przewidywanych przez równanie A. Collauda.

Tabela 3

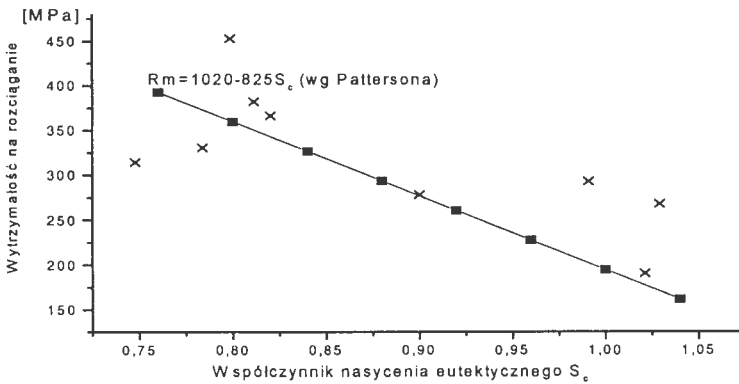
Właściwości mechaniczne i wskaźnik jakości LJ żeliwa syntetycznego wg Pattersona  
 Mechanical properties and quality index LJ of synthetic cast iron (according to Patterson)

Nr wytupu	$R_{m\bar{s}r}$ [MPa]	$HB_{\bar{s}r}$	$E_0$ [MPa]	LJ
1	190	219	117887	1,06
2	268	207	147200	1,58
3	293	199	133570	1,38
4	277	208	131947	1,00
5	267	218	146671	1,57
6	366	228	147552	1,06
1M	314	210	152900	1,07
2M	383	232	141100	1,15
3M	330	205	126200	1,15
4M	330	217	156300	1,11
5M	355	220	-	1,14
6M	453	255	-	1,25

\*)

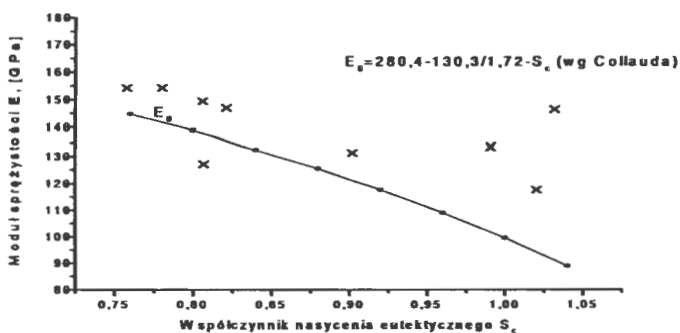
$$LJ = \frac{R_{m,rz}}{HB_{rz}} \cdot \frac{539 - 355 \cdot S_c}{1020 - 825 \cdot S_c}$$

gdzie:  $R_{m,rz}$ ,  $HB_{rz}$  – rzeczywiste, średnie wartości wytrzymałości na rozciąganie i twardości



Rys. 2. Wpływ współczynnika nasycenia eutektycznego  $S_c$  na wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  syntetycznego żeliwa szarego.

Fig. 2. The effect of eutectic saturation coefficient  $S_c$  on tensile strength  $R_m$  of synthetic grey cast iron



Rys. 3. Zależność między współczynnikiem nasycenia eutektycznego  $S_e$  i modułem sprężystości  $E_0$  żeliwa syntetycznego  
 Fig. 3. Relation between the eutectic saturation coefficient  $S_e$  and modulus of elasticity  $E_0$  of synthetic grey cast iron

#### 4. Wnioski

1. Piec indukcyjno-plazmowym stwarza korzystne warunki wytwarzania dowolnego gatunku syntetycznego żeliwa szarego.
2. Jakość żeliwa syntetycznego wytwarzanego w piecu indukcyjno-plazmowym spełnia warunki żeliwa jakościowego, określone przez W. Pattersona i A. Collauda.

#### Literatura

1. Patterson W.: Relative Härte und Reifergrad als Begriffe zur Bewertung von grauem Gusseisen. Giesserei 1958, nr 14.
2. Collaud A.: Das Problem der Bewertung des Gusseisens und die Rolle des Gefüges der Grundmasse. Giesserei 1960, nr25.
3. Collaud A., Thieme J.C.: Die Zähigkeit von Gusseisen mit Lamellengraphit als Qualitätsmasstab und neue Wege zu ihrer Erhöhung. Giesserei 1966, nr 14.
4. Podrzucki C., Kalata C.: Metalurgia i odlewnictwo żeliwa. Wyd. Śląsk 1974.
5. Łybacki W., Modrzyński A., Pichet J., Soppa A.: Rafinacja i intensyfikacja topienia stopów żelaza w piecu indukcyjnym za pomocą plazmy niskotemperaturowej. Przegląd Odlewnictwa t. 39, 1989, nr 4, s.138.
6. Łybacki W.: Efektywność nawęglania żelaza i stali w piecu indukcyjno-plazmowym. Przegląd Odlewnictwa t. 45, 1995 nr 4, s. 145.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Michał Szweycer