

## OCENA POWTARZALNOŚCI PRODUKCJI ŻELIWA SFERO- IDALNEGO W WARUNKACH WYBRANEJ ODLEWNI

A. TABOR<sup>1</sup>, W. DZIADUR<sup>2</sup>

Institut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny  
Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości  
Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki  
Al. Jana Pawła II 37; 31-864 Kraków

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości wytrzymałościowych ( $R_m$  i  $A_5$ ) żeliwa sferoidalnego z trzech wytopów, oceny cech stereologicznych wydzieleni grafitu jak też wyniki badań metalograficznych.

Na podstawie testu Levene'a i analizy wariancji stwierdzono powtarzalność produkcji danego gatunku żeliwa sferoidalnego.

*Keywords: ductile iron, properties, structure, stereology, reproducibility*

### 1. WSTĘP

Do najczęściej stosowanych w technice materiałów odlewniczych należy żeliwo sferoidalne. Obserwowany ostatnio rozwój ilościowy jak i jakościowy tego tworzywa wynika z faktu, że jego właściwości mechaniczne są zbliżone do stali niskostopowych z mikrododatkami (NSPW, HSLA), a niekiedy je przewyższają. Natomiast koszt wytworzenia odlewu jest znacznie niższy od analogicznego detalu ze stali. Udział produkcji żeliwa sferoidalnego w ogólnej produkcji odlewów ze stopów żelaza może być traktowany jako wskaźnik nowoczesności przemysłu odlewniczego w danym kraju [1-4]. Mając na uwadze fakt ekonomiczności produkcji jak i poważną konkurencję na rynku odlewy z żeliwa sferoidalnego powinny oznaczać się wysoką jakością a w szczególno-

---

<sup>1</sup> dr inż., [tabor@mech.pk.edu.pl](mailto:tabor@mech.pk.edu.pl);

<sup>2</sup> dr inż., [wdziadur@mech.pk.edu.pl](mailto:wdziadur@mech.pk.edu.pl).

ści powtarzalnością produkcji. Celem niniejszego artykułu jest ocena powtarzalności odlewów w warunkach wybranej odlewni. Jako estymator powtarzalności produkcji, z losowych wytopów analizowanej odlewni, przyjęto wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie tego materiału.

## 2. METODYKA BADAŃ

Zgodnie z przyjętym celem pracy do badań wytypowano po trzy wlewki próbne (YII) z trzech losowo wytypowanych wytopów, których skład chemiczny przedstawiono w tab.1.

Tabela 1. Skład chemiczny badanego żeliwa  
Table 1. Chemical composition of the examined ductile iron

Nr wytopu	Skład chemiczny [%]					
	C	Si	Mn	S	P	Mg
1	3,65	2,79	0,138	0,04	0,045	0,032
2	3,70	2,78	0,122	0,01	0,045	0,042
3	3,70	2,65	0,118	0,01	0,043	0,030

Jako cechę opisującą powtarzalność produkcji w wytypowanej odlewni przyjęto cechy odlewu charakteryzujące klasę żeliwa tzn. wytrzymałość na rozciąganie ( $R_m$ ) oraz wydłużenie ( $A_5$ ). Do oceny istotności wpływu wytopu (powtarzalności) na w/w cechy zastosowano metodę analizy wariacji wielowymiarowej wykorzystując wyniki pomiarów z trzech powtórzeń, dla każdego żeliwa z trzech analizowanych wytopów. Analizę tą przeprowadzono przy pomocy programu „STATISTICA 6.0 PL”. Z każdego wlewka próbnego pobrano zgodnie z PN 91/H 04310 próbkę do statycznego rozciągania. Wymiary i geometria odpowiadały próbkom pięciokrotnym okrągłym z główkami o średnicy 14 mm. Badania te wykonano na maszynie wytrzymałościowej EU20 (prod. niemieckiej), stosując stałą prędkość obciążania 0,2 kN/s.

Ponadto program badań obejmował analizę metalograficzną (jakościową ocenę) grafitu jak i osnowy metalowej żeliwa (w oparciu o PN 75/H-04661). Badania te przeprowadzono za pomocą mikroskopu metalograficznego MeF-2 (prod. austriackiej), przy powiększeniach 100 i 500x na zglądach nietrawionych jak i trawionych.

Badanie ilościowe wydzieliń grafitu występującego w żeliwie z analizowanych wytopów, przeprowadzono za pomocą komputerowej analizy obrazu przy wykorzystaniu programu „Aphelion V 26”. Przedmiotem analizy stereologicznej grafitu była seria zdjęć metalograficznych zglądów żeliwa w stanie nietrawionym, wykonanych przy powiększeniu 100x. Pomiarom podlegały takie cechy grafitu jak: ułamek objętościowy ( $V_v$ ), liczba cząstek grafitu na jednostkę powierzchni ( $N_a$ ) oraz średnia jego średnica ( $d_{sr}$ ) [5].

W celu lepszego opisanie kształtu wydzieliń grafitu występującego w badanym żeliwie, wykonano dodatkowe badania zglądów trawionych selektywnie oraz przelomów przy pomocy mikroskopu skaningowego BS300 (prod. czeskiej).

### 3. WYNIKI BADAŃ

Zgodnie z przyjętym celem pracy wyznaczono podstawowe właściwości mechaniczne analizowanego żeliwa w próbie statycznego rozciągania. Wyniki tych badań zamieszczono w tab.2. Zawarte w tej tabeli dane posłużyły do oceny istotności powtarzalności wytopów (losowo wytypowanych). Przyjęto założenie, że poszczególne wyniki w grupach są zgodne z rozkładem normalnym [6]. W celu sprawdzenia powtarzalności produkcji jak i słuszności założenia jednorodności wariancji (przyjętych estymatorów), przeprowadzono test Levene'a, oddzielnie dla grup wyników  $R_m$  i  $A_5$ . Uzyskano wartości funkcji testowej FU oraz odpowiadające im poziomy prawdopodobieństwa p dla:

$$R_m: p=0,749582>0,05 \quad (1)$$

$$A_5: p=0,926591>0,05 \quad (2)$$

Ponieważ w obu przypadkach prawdopodobieństwo przyjęcia przez funkcję testową wartości większej od F jest większe od założonego poziomu istotności  $\alpha=0,05$ ; założenie o jednorodności wariancji jest spełnione.

Tabela 2. Wyniki badań właściwości mechanicznych badanego żeliwa sferoidalnego  
Table 2. The results of mechanical tests conducted on the examined ductile iron

Nr wytopu	$R_m$	$S_{(x)}$	$R_{0,2}$	$S_{(x)}$	$A_5$	$S_{(x)}$	Z	$S_{(x)}$
	[MPa]		[MPa]		[%]		[%]	
<b>1</b>	<b>531</b>	20,7	<b>346</b>	13,9	<b>14,7</b>	4,3	<b>10,4</b>	2,0
<b>2</b>	<b>505</b>	25,8	<b>333</b>	5,8	<b>14,7</b>	4,8	<b>10,6</b>	4,6
<b>3</b>	<b>522</b>	29,2	<b>327</b>	5,9	<b>16,9</b>	3,3	<b>12,8</b>	2,4

Następnie przeprowadzono analizę wariancji - w wyniku, której – uzyskano wartości funkcji F, stanowiącej iloraz wariancji międzygrupowej i wariancji resztkowej oraz odpowiadające im poziomy prawdopodobieństwa p dla:

$$R_m: F=0,832964, p=0,465690>0,05 \quad (3)$$

$$A_5: F=0,281809, p=0,760836>0,05 \quad (4)$$

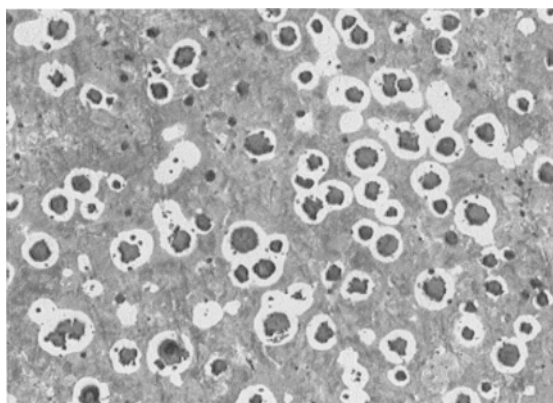
Z uwagi na fakt, że w obu przypadkach p jest większe od przyjętego poziomu prawdopodobieństwa  $\alpha=0,05$  można domniemać o braku istotnego wpływu dnia wytopu na wartość analizowanych parametrów  $R_m$  i  $A_5$ . Różnice występujące w uzyskanych wynikach mieszczą się w zakresie wynikających z oddziaływania zakłóceń losowych.

Uzupełniające badania metalograficzne wskazują, że we wszystkich badanych przypadkach osnowa metalowa była perlityczno-ferrytyczna. Typowy przykład występującej osnowy metalowej przedstawiono na rys.1. Natomiast wyniki ilościowych ba-

dań stereologicznych wydzielen grafitu zbiorczo przedstawiono w tab.3. Porównanie mierzonych cech grafitu wykazują na ich wysoką powtarzalność typowe kształty wydzielen grafitu przedstawiono na rys. 2 i 3. Rysunki te odpowiednio przedstawiają typowe kształty grafitu obserwowane na zglądach selektywnie trawionych jak i przelomach.

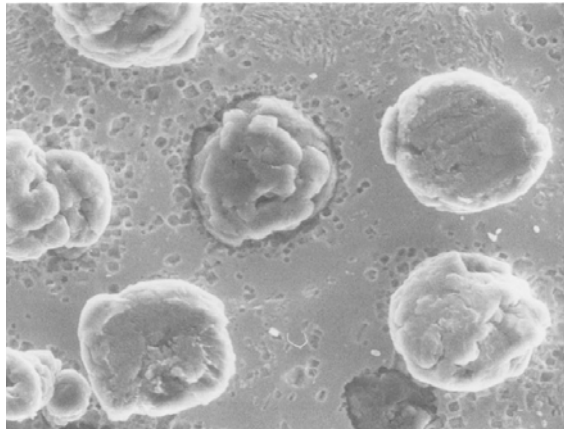
Tabela 3. Zbiorcze zestawienie mierzonych cech stereologicznych wydzielen grafitu występującego w badanym żeliwie  
 Table 3. Compilation of the measured stereological features of graphite precipitates present in the examined ductile iron

Nr wy- topu	V <sub>v</sub>	S <sub>(x)</sub>	Na	S <sub>(x)</sub>	D <sub>sr</sub>	S <sub>(x)</sub>
	[%]		[mm] <sup>-2</sup>		[μm]	
<b>1</b>	<b>0,163</b>	0,009	<b>101</b>	7,26	<b>46</b>	1,67
<b>2</b>	<b>0,149</b>	0,011	<b>86</b>	6,04	<b>49</b>	2,52
<b>3</b>	<b>0,152</b>	0,010	<b>100</b>	8,75	<b>46</b>	3,27



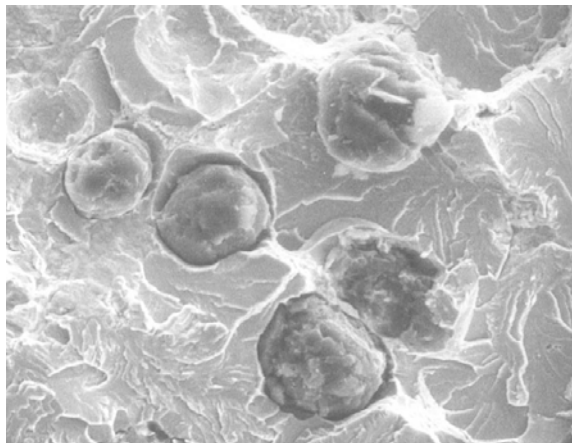
Rys. 1. Mikrostruktura analizowanego żeliwa obserwowana na zglądzie (traw.: 5% HNO<sub>3</sub>, pow.: 100:1)

Fig. 1. Microstructure of the examined ductile iron observed on polished section (etched with 5% HNO<sub>3</sub>, magnification 100:1)



Rys. 2. Kształt wydzieliń grafitu – zgląd selektywnie trawiony. Pow.: 500:1

Fig. 2. Shape of graphite precipitates - polished section after selective etching. Magnification 500:1



Rys. 3. Przełom próbki rozciąganej (osnowa pęknięcia transkryystaliczne łupliwe z obecnością wydzieliń grafitu. Pow.: 500:1)

Fig. 3. Fracture of the tensile test piece (matrix and transcrystalline cleavage fracture with graphite precipitates present, magnification 500:1)

#### 4. WNIOSKI

- 1) Wyniki badań właściwości mechanicznych żeliwa otrzymane w próbie statycznego rozciągania mogą stanowić podstawę oceny jakości produkcji odlewni.
- 2) Potwierdzeniem powtarzalności produkcji badanego gatunku żeliwa są przyjęte testy istotności wykonane za pomocą estymatorów wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie.
- 3) Dodatkowym potwierdzeniem stwierdzonej powtarzalności produkcji stanowią uzyskane wyniki badań metalograficznych.

#### LITERATURA:

- [1]. Podrzucki C.: *Żeliwo – struktura, właściwości, zastosowanie*, T.I i II, Wyd. ZG STOP, Kraków, 1991.
- [2]. Tabor A., Rączka J.S.: *Odlewnictwo*, Wyd. Fotobit, Kraków, 1999.
- [3]. Guzik E.: *Ogólna ocena metod sferoidyzowania żeliwa. Krzepnięcie Metali i Stopów*, PAN – Oddział Katowice, 1996, 26, s. 149-156.
- [4]. Guzik E.: *Zastosowanie techniki przewodu elastycznego (PE) do produkcji żeliwa sferoidalnego w wermikularnego w odlewniach krajowych*. Międzynarodowe sympozjum pt.: Nowoczesne technologie produkcji odlewów z żeliwa wysokojakościowego. Zawiercie 6-8 marzec 2000.
- [5]. Ryś J.: *Stereologia materiałów*; Wyd. Fotobit Design, Kraków 1995.
- [6]. Luskiewicz A., Słaby T.: *Statystyka z pakietem komputerowym STATISTICA PL*. Teoria i zastosowania. Wyd. C.H. Beck.

#### AN ASSESSMENT OF THE REPRODUCIBILITY OF THE DUCTILE IRON MANUFACTURING PROCESS UNDER THE CONDITIONS OF A SELECTED FOUNDRY

#### SUMMARY

The paper presents the results of mechanical tests ( $R_m$  and  $A_5$ ) conducted on ductile iron from three melts, the results of the examinations of the stereological features of graphite precipitates, and the results of metallographic examinations.

Basing on Levenen test and analysis of variance, the reproducibility of production of the selected ductile iron grade was confirmed.

Recenzował: Doc. Jerzy Stachańczyk