

**MATERIAŁY WSADOWE I TECHNOLOGIA WYTOPU
A STRUKTURA ŻELIWA SZAREGO**D. BARTOCHA¹, K. JANERKA², J. SUCHOŃ³Zakład Odlewnictwa, Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
ul. Towarowa 7 44-100 Gliwice POLAND**STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki analizy ilościowej i jakościowej wydzielen grafitu w żeliwie szarym. Zbadano próbki z sześciu wytopów zrealizowanych w różny sposób pod względem użytych materiałów wsadowych jak i pod względem prowadzenia wytopu. Wytop I i II prowadzono w sposób tradycyjny z surówki specjalnej firmy Sorel, III z surówki przeróbczej natomiast wytopy IV, V i VI to żeliwa tzw. syntetyczne wytopione ze złomu stalowego i złomu grafitowego. Analizę jakościową i ilościową wykonano przy użyciu programu MultiScan v 13.01. Przeprowadzono analizę wydzielen grafitu w żeliwie w czterech różnych miejscach nietrawionych zglądów metalograficznych wykonanych na odlanych próbkach $\phi 30$ mm oraz w surówkach na próbkach wyciętych z gąsek. Dokonano analizy porównawczej histogramów oceniając różnice pomiędzy żeliwami i podobieństwo do surówki w przypadku wytopów I, II, i III.

Key words: gray cast iron, charge materials, microstructure, mechanical properties

1. WSTĘP

Stan ciekłego żeliwa, a tym samym jego skłonność do zabielen może się zmieniać, przy tym samym podstawowym składzie chemicznym ciekłego metalu, w zależności od zastosowanych materiałów wsadowych. Dużą rolę odgrywają zawartość i postać grafitu w tych materiałach oraz zawartość pierwiastków śladowych, w tym również gazów.

¹ dr inż. dariusz2@zeus.polsl.gliwice.pl

² dr inż. janerka@zeus.polsl.gliwice.pl

³ dr inż. jsuchon@zeus.polsl.gliwice.pl

Pewną rolę przypisuje się też wtrąceniom niemetalicznym, głównie SiO_2 i FeS zawartym w surówce. Pierwiastki śladowe (Pb, As, Sb, Ti, Bi, Sn i inne) utrudniają w znacznym stopniu uzyskiwanie wymaganej struktury, zwłaszcza żeliwa sferoidalnego. Duże znaczenie przypisuje się również gazom (a zwłaszcza azotowi), których zawartość w surówkach z różnych zakładów wielkopiecowych może się zmieniać w szerokim przedziale.

Warunki wytapiania są określone rodzajem stosowanego pieca oraz zastosowaną technologią topienia, obejmują takie parametry, jak: temperatura przegrzania metalu, możliwość wytrzymania metalu w wymaganej temperaturze przez odpowiedni okres czasu, ciśnienie nad ciekłym metalem w okresie przegrzewania lub wytrzymywania, rodzaj atmosfery gazowej panującej w piecu w czasie topienia i przegrzewania itp. Wymienione czynniki determinują w mniejszym lub większym stopniu fizykochemiczny stan ciekłego metalu z punktu widzenia jego zdolności do zarodkowania grafitu podczas krzepnięcia.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Z analizy danych literaturowych wynika, iż zjawiska dziedziczności i genetyki w stopach technicznych to aktualne i nader istotne problemy współczesnej inżynierii materiałowej. Niestety wyniki badań i ich interpretacja, mimo odkrywania istotnych danych nie dostarczają jednoznacznych dowodów na istnienie zjawisk dziedziczności w stopach technicznych zbliżonych do genetycznego przekazywania cech dziedzicznych spotykanego w biologii. Należy, zatem odpowiedzieć na następujące pytania: czy zachodzi dziedziczność struktury i co za tym idzie własności żeliwa szarego?, jeśli tak to czy jest możliwe wyszczególnienie cech dziedzicznych w warunkach przemysłowych i co za tym idzie czy możliwe jest sterowanie własnościami żeliwa poprzez wpływ na dziedziczone cechy bądź na mechanizmy dziedziczenia. W świetle analizy literaturowej można powiedzieć, że w stopach technicznych występują zjawiska, które wskazywałyby na zachodzenie pewnego rodzaju dziedziczenia własności i struktury jednakże określenie mechanizmów rządzących tymi zjawiskami nie można jednoznacznie wyszczególnić w warunkach laboratorium badawczego, które nie przystają do warunków przemysłowych.

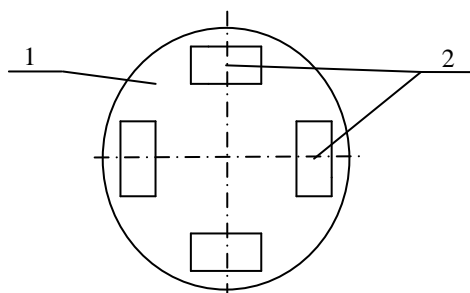
Postawić można, zatem następującą tezę, iż własności i struktura żeliwa szarego wytopionego w warunkach przemysłowych nie zależy w istotny sposób od rodzaju materiałów wsadowych. Różnice w jakości żeliwa powodowane są raczej jakością materiałów wsadowych (chodzi głównie o zanieczyszczenia niemetaliczne i związki gazotwórcze) ich przygotowaniem i kultura prowadzenia wytopu.

Aby udowodnić postawioną tezę jako główny cel pracy wyznaczono porównanie właściwości wytrzymałościowych i struktury żeliwa szarego EN-GJL-250 wytopionego metodą tradycyjną tzn. na bazie surówki specjalnej i przeróbczej oraz wytopionego wyłącznie ze złomu stalowego i grafitowego z różnymi stopniami dowęglania. Realizując cel pracy wyznaczony następujący ogólny zakres czynności do wykonania:

1. Przeprowadzenie 2 wytopów wzorcowych na bazie surówki specjalnej i złomu stalowego,
2. Przeprowadzenie 1 wytopu na bazie surówki przeróbczej i złomu stalowego,
3. Przeprowadzenie 3 wytopów ze złomu stalowego, obiegowego (żeliwo białe) i grafitowego z różnym stopniem dowęglania,
4. Przygotowanie próbek do badań mechanicznych oraz przeprowadzenie pomiarów: wytrzymałości na rozciąganie, udarności i twardości,
5. Przygotowanie zglądów metalograficznych,
6. Analiza struktury surówki i żeliwa z poszczególnych wytopów,
7. Opracowanie uzyskanych wyników badań i obliczeń oraz ich analiza,
8. Podsumowanie i sformułowanie wniosków.

3. BADANIA

W warunkach laboratoryjnych – piec indukcyjny średniej częstotliwości, wyłożenie obojętne, pojemność 25 kg – zrealizowano sześć wytopów żeliwa EN-GJL-250 wg planu z punktu 2, otrzymując stopy o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 1. W ramach każdego wytopu



Rys. 1. Miejsca na próbkach wykonania zdjęć struktury metalograficznej: 1 – próbka, 2 – miejsca wykonania zdjęć

Fig. 1. Places on specimen surface in which have been made photos; 1- specimen, 2- places of photo made

wykonano próbki do badań właściwości mechanicznych oraz do wykonania zglądów metalograficznych w celu wykonania analizy ilościowej i jakościowej wydzielen grafitu. Zgłady wykonano na próbkach odlanych o średnicy 30 mm dla żeliwa i próbkach wyciętych z gasek dla surówki, zdjęcia nietrawionych zglądów wykonano w sposób przedstawiony na rysunku 1.

Analizę ilościową i jakościową wydzielen grafitu w żeliwie i surówce wykonano przy pomocy programu MultiScan v 13.01. Wyniki analizy oraz przykładowe zdjęcia struktury badanego żeliwa i surówki przedstawiono na rysunkach 2-9.

4. WYNIKI

Wyniki pomiarów granicznej wytrzymałości na rozciąganie, twardości HB i udarności wraz z temperaturą przegrzania i zawartościami podstawowych pierwiastków chemicznych zestawiono w tabeli 2. Wartości twardości stanowią średnie z trzech pomiarów przeprowadzonych na próbkach odlanych o średnicy $\phi 30$ mm. Wartości granicznej wytrzymałości na rozciąganie to średnie z trzech prób statycznego rozciągania próbek o średnicach; $\phi 8$, $\phi 12$ i $\phi 16$ mm.

Tabela 1. Skład chemiczny żeliwa z poszczególnych wytopów i surówki
Table 1. Chemical compositions of cast iron from each melt and pig iron

Nr wytopu	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]	Mg [%]
Wytop I	3,39	1,65	1,23	0,048	0,023	0,064	0,244	0,002
Wytop II	3,34	1,87	1,21	0,047	0,022	0,12	0,034	0,002
Wytop III	3,41	1,78	1,10	0,051	0,022	0,068	0,047	0,002
Wytop IV	3,69	1,79	1,10	0,013	0,019	0,061	0,239	0,003
Wytop V	3,36	1,76	1,21	0,013	0,013	0,049	0,115	0,002
Wytop VI	3,40	1,74	1,04	0,017	0,015	0,048	0,083	0,002
S Sorel	4,5	0,81	0,04	0,049	0,019	-	-	-
S Przerób.	4,5	0,63	0,14	0,024	0,020	0,007	0,002	-

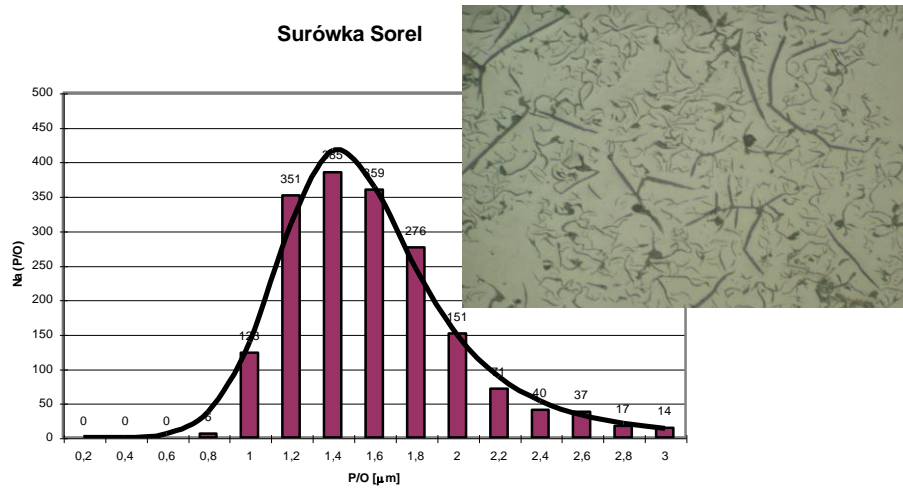
Tabela 2. Podstawowe dane o badanych żeliwach
Table 2. Basic information about tested cast irons

Wytop	Tzal [°C]	C[%]	Si[%]	Mn[%]	SC	SC I	Z [kJ/cm ²]	Rm [MPa]	HB
I	1480	3,39	1,65	1,23	0,907	0,901	25,46	335,93	227,6
II	1464	3,34	1,87	1,21	0,913	0,906	31	315,03	185
III	1450	3,41	1,78	1,10	0,925	0,919	30,81	326,39	171
IV	1407	3,69	1,79	1,10	0,997	0,990	33,69	310,33	159,3
V	1430	3,36	1,76	1,21	0,906	0,899	28,17	288,66	185
VI	1435	3,40	1,74	1,04	0,916	0,911	27,22	330,68	185
śred.	1444,3	3,43	1,76	1,15	0,927	0,921	29,39	317,83	185,4
odch. st.	25,990	0,129	0,07	0,08	0,035	0,035	2,991	17,210	23,108
% odch. st.	1,799	3,767	3,99	6,64	3,756	3,753	10,178	5,415	12,464

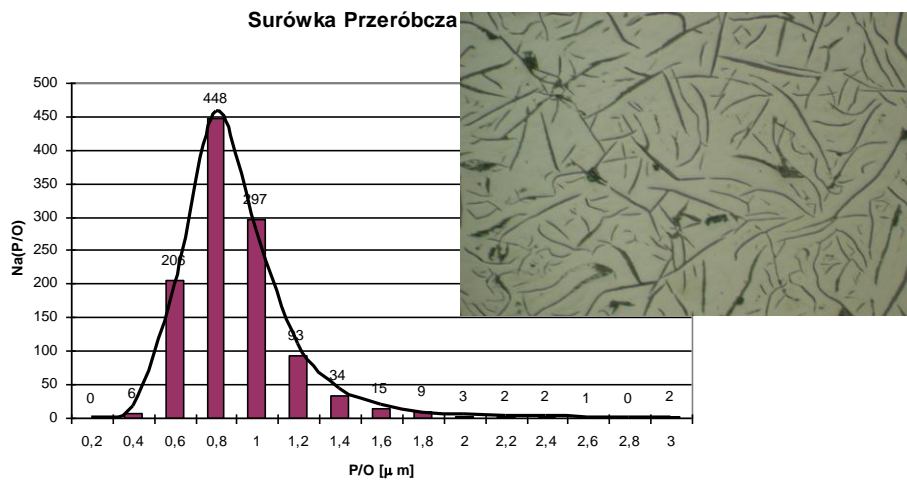
Wyniki analizy ilościowej i jakościowej wydzieleni grafitu w surówce i żeliwie przedstawiono w postaci histogramów liczebności wydzieleni grafitu o module (P/O) (odpowiednio P - pole powierzchni, O – obwód wydzielenia) w poszczególnych klasach wartości modułu, przedstawiono na rys 2 – 9 wraz ze statystycznie dopasowanymi wg funkcji aproksymującej (1) krzywymi rozkładu.

$$Na(P/O) = U \frac{Z \exp(Z(W - \ln(P/O)))}{(1 + \exp(Z(W - \ln(P/O))))^2} \quad (1)$$

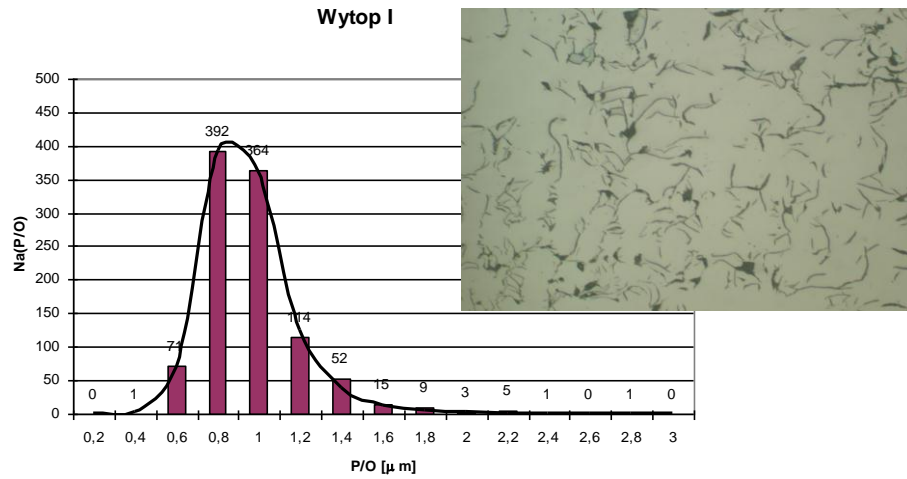
Graficzne zestawienie krzywych rozkładu wartości modułów wydzieleni grafitu oraz wartości współczynników U, W i Z funkcji aproksymującej przedstawiono na rysunku 10.



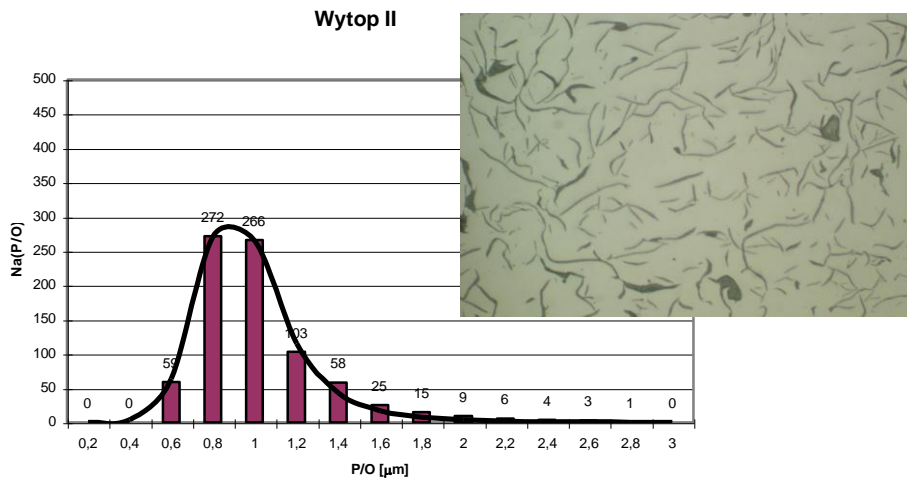
Rys. 2. Histogram rozkładu liczebności wydzieliń grafitu w klasach wielkości modułu (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury surówki Sorel (x120)
 Fig. 2. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of Sorel pig iron microstructure (x120)



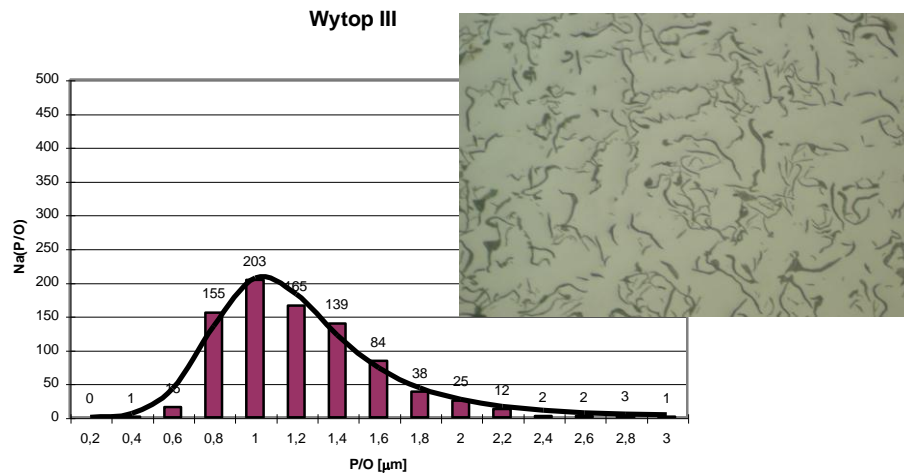
Rys. 3. Histogram rozkładu liczebności wydzieliń grafitu w klasach wielkości modułu (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury surówki przeróbczej (x180)
 Fig. 3. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of steelmaking pig iron microstructure (x180)



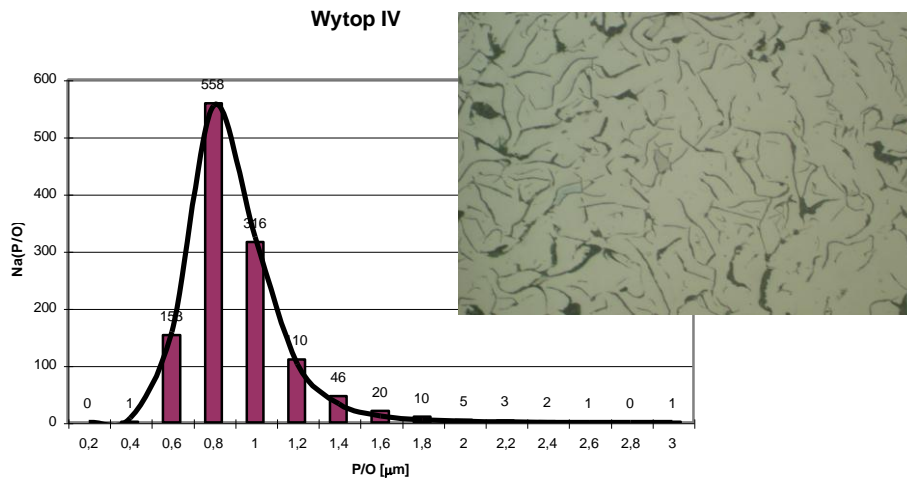
Rys. 4. Histogram rozkładu liczebności wydzieliń grafitu w klasach wielkości modułu (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury żeliwa wytop I (x180)
 Fig. 4. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of cast iron melt I microstructure (x180)



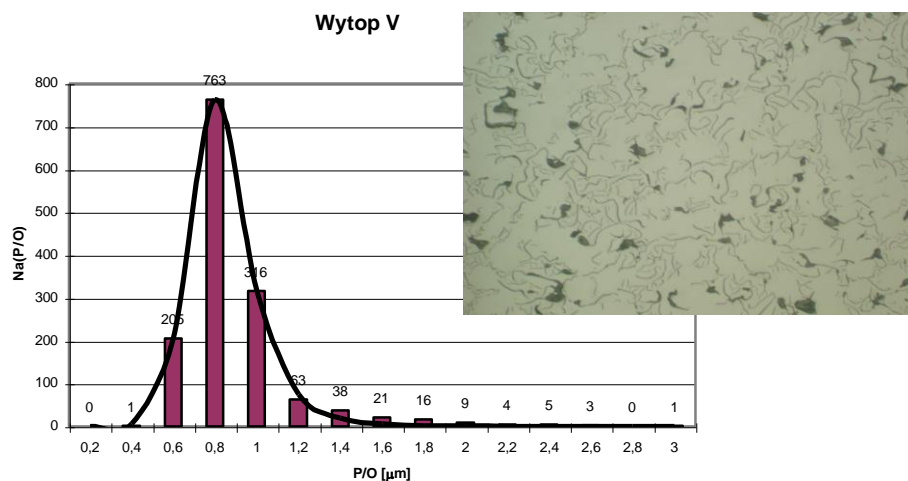
Rys. 5. Histogram rozkładu liczebności wydzieliń grafitu w klasach wielkości modułu (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury żeliwa wytop II (x180)
 Fig. 5. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of cast iron melt II microstructure (x180)



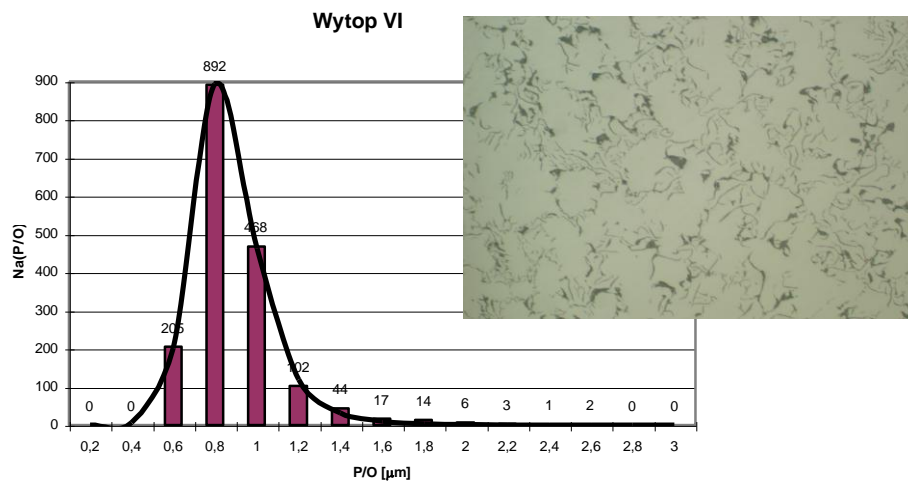
Rys. 6. Histogram rozkładu liczebności wydzielen grafitu w klasach wielkości modulo (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury żeliwa wytop III (x180)
 Fig. 6. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of cast iron melt III microstructure (x180)



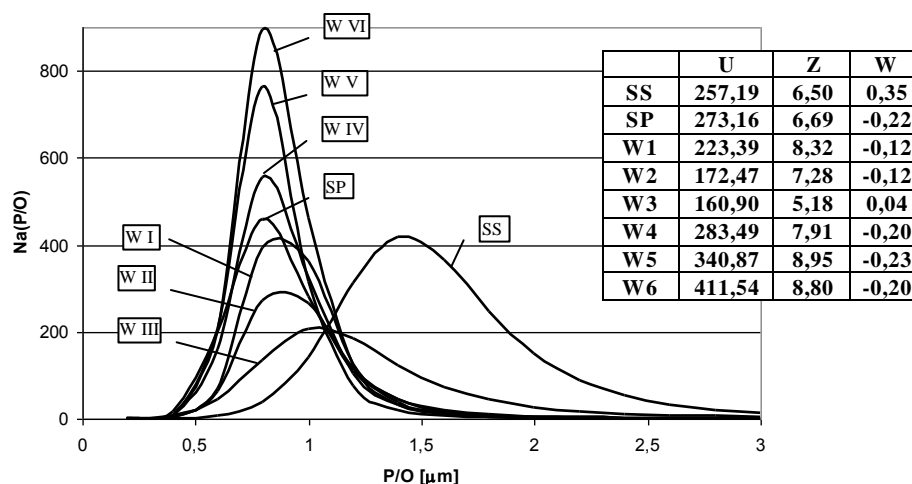
Rys. 7. Histogram rozkładu liczebności wydzielen grafitu w klasach wielkości modulo (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury żeliwa wytop IV (x180)
 Fig. 7. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of cast iron melt IV microstructure (x180)



Rys. 8. Histogram rozkładu liczebności wydzieliń grafitu w klasach wielkości modułu (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury żeliwa wytop V (x180)
 Fig. 8. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of cast iron melt V microstructure (x180)



Rys. 9. Histogram rozkładu liczebności wydzieliń grafitu w klasach wielkości modułu (P/O), krzywa aproksymująca rozkład i przykładowe zdjęcie struktury żeliwa wytop VI (x180)
 Fig. 9. Histogram of graphite number in modulo (P/O) size classes distribution, histogram's approximation curve and example photo of cast iron melt VI microstructure (x180)



Rys. 10. Graficzne zestawienie krzywych rozkładu wielkości grafitu żeliwa i surówki oraz wartości współczynników funkcji aproksymującej

Fig. 10. Graphic comparison cast iron and pig iron graphite size curve distribution as well as values of approximation function's coefficient

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem pracy było, w zaplanowanym cyklu badań, określenie wpływu jakości i rodzaju materiałów wsadowych oraz technologii wytopu na właściwości żeliwa szarego. I tym samym potwierdzenie bądź obalenie teorii głoszących ścisły związek pomiędzy jakością materiałów wsadowych (przede wszystkim postacią i ilością wydzielen grafitu w materiałach wsadowych), a właściwościami finalnego stopu. Niektórzy badacze twierdzą, iż mechanizmy dziedziczności własności i struktury stopów z materiałów wsadowych można opisać prawami genetyki takimi, jakie obowiązują w biologii.

Analizując uzyskane wyniki badań przede wszystkim dane dotyczące kształtu i ilości wydzielen grafitu (bezpośredni wpływ na właściwości żeliwa szarego) przedstawionych na rysunkach 2 – 9 można zauważyć pewne różnice w ilościowym i jakościowym opisie wydzielen grafitu pomiędzy żeliwami tzw. syntetycznymi (wytopami bez udziału surówki we wsadzie), a żeliwami wytopionymi w sposób tradycyjny (z surówką). Najbardziej z grupy sześciu badanych wytopów odstaje (analizując wydzielenia grafitu) wytop III na bazie surówki przeróbczej. Nie potwierdzają jednak tego własności mechaniczne i skład chemiczny, które zbliżone są do wartości średnich. O ile zachodzi ścisłe podobieństwo struktury (wydzielenia grafitu) żeliw syntetycznych wytop IV, V, VI, mimo różnic w prowadzeniu wytopów, i nieznaczne różnice pomiędzy tymi wytopami a wytopami przeprowadzonymi w sposób tradycyjny I, II, III to nie można doszukać się szczególnego podobieństwa w

opisie wydzielen grafitu (histogramy) surówki Sorel i surówki przeróbczej, a rodzajami żeliwa z nich wytopionymi. Wszystkie żeliwa charakteryzują się zbliżonymi własnościami mechanicznymi i składem chemicznym. Zarówno wartości podstawowych pierwiastków C, Si i Mn jak i własności mechaniczne różnią się w granicach 10 % tabela 2. Na tej podstawie można powiedzieć, iż żeliwa te w sensie technicznym są identyczne. Zatem podsumowując można sformułować następujące wnioski:

1. Struktura – kształt, wielkość i ilość wydzielen grafitu, żeliw syntetycznych wytop IV, V, VI są bardzo podobne, mimo różnic w prowadzeniu wytopu;
2. Struktura – kształt, wielkość i ilość wydzielen grafitu, żeliw z surówki nieznacznie odbiega od struktury żeliw syntetycznych;
3. Wyniki badań mechanicznych wskazują na pełne techniczne podobieństwo badanych żeliw;
4. Uzyskane wyniki potwierdzają wpływ jakości w sensie czystości materiałów wsadowych (surówka przeróbcza) na strukturę finalnego stopu, nie można jednak jednoznacznie potwierdzić wpływu jakości i ilości wydzielen grafitu w materiałach wsadowych na własności żeliwa, a zatem na podstawie uzyskanych wyników nie można potwierdzić istnienia zjawiska dziedziczności w badanym żelwie szarym.

LITERATURA

- [1] W. J. Nikitin: *Perspektywy technologii inżynierii genetycznej stopach*. Litejnoje Proizvodstvo X 1999.
- [2] W. Gawrilin: *O mechanizmie powstawania ciekłych stopów odlewniczych ich dziedziczności*. Litejnoje Proizvodstvo, X 1999.
- [3] B. F. Trachtenberg, M. S. Kenis, W. I. Krestianow, L. W. Troszyna: *Diagnostyka podstawowych mechanizmów dziedziczności technologicznej*. Litejnoje Proizvodstvo, X 1999.
- [4] W. I. Krestianow: *Strukturalna dziedziczność przy powstaniu odlewów z żeliwa sferoidalnego*. Litejnoje Proizvodstvo, X 1999.
- [5] K. Janerka, D. Bartocha: *Pneumatyczne nawęglanie przy produkcji żeliwa syntetycznego*. Mat. Konf. Współpraca, 2004.
- [6] K. Janerka, D. Bartocha, J. Gawroński: *Technologia nawęglania ciekłych stopów żelaza metodą pneumatycznego wdmuchiwania*. Archiwum Odlewnictwa, PAN – Katowice, nr 13, 2004.
- [7] D. Bartocha, J. Gawroński, K. Janerka: *Zależność właściwości żeliwa od materiałów wsadowych*. Archiwum Odlewnictwa, PAN – Katowice, nr 9, 2003.

Badania prowadzone w ramach projektu badawczego Nr 4 T08B 038 23 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

**CHARGE MATERIALS AND TECHNOLOGY OF MELT
AND STRUCTURE OF GRAY CAST IRON**

SUMMARY

In article the results of quantitative and qualitative analysis of graphite in gray cast iron have been presented. Specimens from six melts that had been realized in different way, taking into account charge materials as well as melting practice have been tested. Melt I and II had been made in traditional way from special pig iron Sorel, III from steelmaking pig iron, IV, V and VI are synthetic cast iron made from steel scrap and graphite scrap. The four pictures of structure that had been made on casting specimen of 30 mm diameter for each melt as well as for special and steelmaking pig iron have been analyzed. The quantitative and qualitative analysis has been made using MultiScan 13.01 computer software. Several conclusions from the comparative analysis of histogram taking into account differences between cast irons and similarity of cast irons to pig iron for melts I, II and III have been presented.

Recenzował Prof. Edward Guzik