

WYTWARZANIE ŻELIWA Z GRAFITEM WERMIKULARNYM POPRZEZ OBRÓBKĘ STOPU ALUMINIUM I MISZMETALEM CEROWYM

SOIŃSKI Marek Sławomir, WARCHAŁA Tadeusz
Katedra Odlewnictwa, Politechnika Częstochowska
42-200 Częstochowa, Al. Armii Krajowej 19, POLAND

STRESZCZENIE

Przedstawiono badania nad uzyskaniem żeliwa z grafitem wermikularnym. Do żeliwa wyjściowego jako substancję zakłócającą proces sferoidyzacji grafitu wprowadzano dodatek aluminium (0,4 lub 0,8%), a następnie tworzywo obrabiano miszmetalem cerowym (wprowadzanym w ilości 0,1 lub 0,3%) i modyfikowano żelazokrzemem 75%-wym. Stwierdzono, że użycie do obróbki stopu miszmetal w ilości 0,1% umożliwia wytworzenie żeliwa wermikularnego o osnowie ferrytyczno-perlitycznej.

1. WPROWADZENIE

Żeliwo z grafitem wermikularnym (określonym w normie PN-75/H-04661 pt. "Żeliwo szare, sferoidalne i ciągliwe. Badanie metalograficzne. Określanie mikrostruktury" jako grafit krętkowy), zwane potocznie żeliwem wermikularnym, łączy szereg korzystnych cech żeliwa sferoidalnego (dotyczy to głównie właściwości mechanicznych i żeliwa szarego (takich jak np. przewodność cieplna). Tworzywo charakteryzuje się lepszą szczelnością i żaroodpornością aniżeli żeliwo szare; bardzo korzystną cechą żeliwa wermikularnego jest zachowywanie niezłych własności mechanicznych i to zarówno w niskich, jak i w podwyższonych temperaturach, choć ustępują one własnościom żeliwa sferoidalnego [1].

Żeliwo wermikularne, traktowane przed laty jako tworzywo niepełnowartościowe i powstałe w wyniku nieprawidłowego, czy też niepełnego zabiegu sferoidyzacji żeliwa, zyskuje obecnie na znaczeniu. Zastępuje się nim szereg części maszyn, od których wymaga się większej wytrzymałości i mało przy tym wrażliwych na obciążenia dynamiczne. Tworzywo to można stosować w warunkach występowania gradientów temperatury i uderów cieplnych (np. na głowice silników spalinowych, kolektory wydechowe, wlewnice stalownicze, tarcze hamulcowe pociągów szybkobieżnych oraz samochodów wyścigowych [1]. Szereg metod wytwarzania tego rodzaju stopu omówiono m.in. w pracach [2,3].

Niniejsza praca stanowi kontynuację badań przedstawionych w artykule [4]. Obejmowały one określenie możliwości wermikulacji żeliwa przy użyciu:

- aluminium (jako desferoidyzatora), które wprowadzano do żeliwa w ilościach 0,3 lub 0,6% w stosunku do masy wytapianej porcji stopu;
- miszmetal cerowego, dodawanego w ilościach 0,2 i 1%;
- żelazokrzemu 75%-wego, jako modyfikatora, dodawanego w ilościach 0,6 i 1,2%.

Badania struktury żeliwa, wytopionego w ramach badań omówionych w pracy [4], pozwoliły na stwierdzenie, że jedynie w przypadku użycia do obróbki ciekłego żeliwa z wymienionymi ilościami aluminium, miszmetal cerowego w ilości 0,2% i żelazokrzemu w ilości 1,2% możliwe jest uzyskanie żeliwa z grafitem wermikularnym (o osnowie ferrytyczno-perlitycznej). Ponadto stwierdzono, że korzystniej na kształt wydzielen grafitu oddziaływał większy dodatek aluminium (tzn. w ilości 0,6%) w porównaniu z dodatkiem aluminium w ilości 0,3%. Użycie do obróbki żeliwa miszmetal cerowego w ilości 1% prowadziło do powstania żeliwa połowicznego.

2. BADANIA WŁASNE

Biorąc pod uwagę wyniki wcześniej zrealizowanych badań, przedstawionych skrótowo we „Wprowadzeniu”, uznano za celowe określenie, czy możliwe jest uzyskanie żeliwa z grafitem wermikularnym poprzez wprowadzenie kolejno do ciekłego żeliwa „wyjściowego”:

- aluminium w ilościach 0,4 oraz 0,8%;
- miszmetal cerowego w ilościach 0,1 oraz 0,3%;
- żelazokrzemu 75%-wego w ilościach 1 oraz 1,4%.

Chodziło tutaj m.in. o sprawdzenie:

- czy wystarczający dla pełnej wermikularyzacji grafitu będzie dodatek miszmetal cerowego w ilości 0,1%;
- czy przekroczenie dodatku 0,2% miszmetal cerowego (i wprowadzenie tej substancji w ilości 0,3%) nie doprowadzi do powstania żeliwa połowicznego;
- jak będą oddziaływać na powstawanie grafitu wermikularnego dodatki aluminium, wprowadzonego w ilościach 0,4 i 0,8% (wobec wcześniej stosowanych w badaniach ilości 0,3 i 0,6%).

W ramach pracy wykonano osiem wytopów żeliwa. Przeprowadzono je w laboratoryjnym piecu indukcyjnym średniej częstotliwości przy użyciu tygla o wyłożeniu obojętnym i pojemności 3kg. Jako wsad użyto złom żeliwa sferoidalnego, surówkę stosowaną w produkcji żeliwa z grafitem kulkowym oraz żelazo armco. Przy zestawianiu wsadu założono, że zawartość węgla w żeliwie „wyjściowym” (tzn. do zabiegu wermikularyzacji) będzie wynosić 3,5%, a krzemu około 2,0%.

Po stopieniu żeliwa i przegrzaniu go do temperatury 1400°C usuwano żużel i dodawano aluminium pod powierzchnię ciekłego metalu. Po upływie około 4-ech minut, mieszano kąpiel, ściągano żużel i dodawano miszmetal cerowy. Po kolejnych czterech minutach ponownie usuwano żużel i wprowadzano do kąpieli żelazokrzem 75%-wy. Następnie z wytapianego żeliwa odlewano próby prętowe (z nadlewem); miały one kształt stożka ściętego o średniej średnicy (tzn. w połowie długości próby) wynoszącej 20mm. Formy wykonane były z sypkiej masy samoutwardzalnej na szkło wodnym.

W tabeli 1 podano udziały procentowe wprowadzanych do żeliwa dodatków oraz składy chemiczne wytopionego tworzywa. W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań struktury wytworzonych stopów. Badania kształtu i wielkości wydzieleni grafitu (kol. 3 i 4 tabeli 2) wykonano zgodnie z normą PN-75/H-04661, przy użyciu mikroskopu optycznego. Powierzchnia zajęta przez wydzielenia grafitu (kol. 5 tabeli 2) została określona za pomocą komputerowego analizatora kształtu „Quantimet 570”; w oparciu o badania wykonane przy użyciu „Quantimetu” wyznaczono także stopień wermikularyzacji grafitu (kol. 6 tabeli 2). Stopień ten obliczono jako stosunek powierzchni zajętej przez wydzielenia grafitu o współczynniku kształtu od 0 do 0,05 do powierzchni zajętej przez wszystkie wydzielenia grafitu. Współczynnik kształtu wydzieleni grafitu wyznaczany był jako stosunek powierzchni danego wydzielenia i kwadratu jego obwodu, podobnie jak miało to miejsce m.in. w pracy [5].

Tabela 1. Udziały procentowe wprowadzonych do żeliwa dodatków oraz skład chemiczny wytopionego tworzywa

| Nr Wytopu | Udział procentowy wprowadzonych dodatków | | | Skład chemiczny, % | | | | | |
|--------------|---|--------------------------|------------------|--------------------|------|------|-------|-------|------|
| | Al | Misz- metal cerowy | Żelazo- krzem | C | Si | Mn | S | P | Al |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 0,8 | 0,3 | 1,4 | 3,25 | 2,49 | 0,20 | 0,018 | 0,046 | 0,55 |
| 2 | 0,4 | 0,3 | 1,4 | 3,19 | 2,62 | 0,19 | 0,016 | 0,046 | 0,38 |
| 3 | 0,8 | 0,1 | 1,4 | 3,16 | 2,61 | 0,22 | 0,018 | 0,046 | 0,66 |
| 4 | 0,4 | 0,1 | 1,4 | 3,24 | 2,78 | 0,18 | 0,022 | 0,046 | 0,21 |
| 5 | 0,8 | 0,3 | 1,0 | 3,08 | 2,28 | 0,19 | 0,021 | 0,045 | 0,66 |
| 6 | 0,4 | 0,3 | 1,0 | 3,30 | 2,49 | 0,18 | 0,019 | 0,043 | 0,31 |
| 7 | 0,8 | 0,1 | 1,0 | 3,33 | 2,53 | 0,20 | 0,016 | 0,045 | 0,67 |
| 8 | 0,4 | 0,1 | 1,0 | 3,33 | 2,45 | 0,20 | 0,020 | 0,047 | 0,34 |

Analiza danych zawartych w tabeli 2 pozwala na zorientowanie się, że jedynie w przypadku tworzywa z wytopów 3,4,7 i 8, a więc stopów obrabianych miszmetalem cerowym w ilości 0,1%, uzyskano żeliwo szare o podstawie perlityczno-ferrytycznej (wytopy 3 i 8), względnie ferrytyczno-perlitycznej (wytopy 4 i 7). Dodatek miszmetal cerowy w ilości 0,3% okazał się zdecydowanie za wysoki - uzyskiwano żeliwo połowiczne.

Na rysunku 1 pokazano przykładowo grafit (w przeważającej części wermikularny) w żeliwie z wytopu 4, a na rysunku 2 mikrostrukturę żeliwa z tego wytopu. Na rysunku 3 pokazano przykładowo grafit w żeliwie z wytopu 1, a na rysunku 4 mikrostrukturę żeliwa z tego wytopu (żeliwo połowiczne).

Jest rzeczą charakterystyczną, że wprowadzenie wyższego dodatku aluminium tzn. 0,8% prowadziło do stosunkowo nieznacznego wzrostu stopnia wermikularyzacji grafitu w porównaniu z żeliwem z mniejszym dodatkiem tego pierwiastka tzn. 0,4% (por. dane zawarte w tabeli 1 i 2 odpowiednio dla tworzyw z wytopów 3 i 4 oraz 7 i 8). Wystarczający dla uzyskania żeliwa wermikularnego okazał się dodatek modyfikatora tj. żelazokrzemu w ilości 1%, a jego zwiększenie do około 1,4% praktycznie nie wiązało się ze zwiększeniem stopnia wermikularyzacji grafitu.

Tabela 2. Wyniki badań struktury żeliwa

| Nr Wytoku | Składniki strukturalne występujące w badanym żeliwie ¹⁾ | Grafit | | | |
|-----------|--|---------------------------------|----------------------------------|--|---|
| | | Kształt wydzielen ²⁾ | Wielkość wydzielen ³⁾ | Powierzchnia zajęta przez wydzielenia, % | Stopień wermikularyzacji grafitu, % ⁴⁾ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | P, F, C _p , L _p , G | Gf5; Gf7 | Gw15 Gw25 | 2,00 | |
| 2 | P, F, C _p , G | Gf5; Gf7 | Gw15 Gw25 | 6,89 | |
| 3 | P, F, G | Gf5; Gf7; Gf9 | Gw15 Gw25 | 8,00 | 89,4 |
| 4 | F, P, G | Gf5; Gf7; Gf9 | Gw15 Gw25 | 10,16 | 82,5 |
| 5 | P, F, C _p , L _p , G | Gf5; Gf6; Gf7; Gf8; Gf9 | Gw15 Gw45 | 2,65 | |
| 6 | P, F, C _p , L _p , G | Gf5; Gf7 | Gw15 Gw25 | 1,29 | |
| 7 | F, P, G | Gf5; Gf7; Gf9 | Gw15 Gw25 | 8,83 | 85,5 |
| 8 | P, F, G | Gf5; Gf9 | Gw15 Gw25 | 9,54 | 84,3 |

1) Oznaczenie składników strukturalnych: P - perlit; F - ferryt; C_p - cementyt pierwotny; L_p – ledeburyt przemieniony; G - grafit;
2) Kształt wydzielen grafitu: Gf5 - krętkowy; Gf6 - postrzępiony; Gf7 - zwarty; Gf8 - kulkowy nieregularny; Gf9 - kulkowy regularny;
3) Wielkość wydzielen grafitu: Gw15 - do 15 μm.; Gw25 - 15 ÷ 30μm.; Gw45 - 30 ÷ 60 μm.;
4) W przypadku żeliwa połowicznego (wytopy 1, 2, 5 i 6) wyznaczanie stopnia wermikularyzacji uznano za bezcelowe.

W badanym żeliwie stwierdzono występowanie kilku rodzajów grafitu (por. dane zawarte w kol. 3 tabeli 2). Grafitowi wermikularnemu (w żeliwie z wytopów 3, 4, 7 i 8) towarzyszył na ogół grafit zwarty Gf7 oraz kulkowy regularny Gf9. W przypadku żeliwa połowicznego występował na ogół grafit krętkowy Gf5 i zwarty Gf7, choć - jak to miało miejsce w przypadku stopu z wytoku 5 - wystąpił również grafit postrzępiony Gf6, kulkowy nieregularny Gf8 i kulkowy regularny Gf9.

Powierzchnia zajęta przez wydzielenia grafitu wynosiła w przypadku żeliwa szarego od 8,0 do 10,2%; w przypadku żeliwa połowicznego była oczywiście znacznie mniejsza i mieściła się w granicach od 1,3 do 6,9%.

Rys. 1. Grafit w żeliwie z wytopu 4. Zgląd nietrawiony, pow. 100x

Fig. 1. Graphite in cast iron from the heat 4. Non-etched, magn. 100x

Rys. 2. Mikrostruktura żeliwa z wytopu 4. Zgląd trawiony nital, pow. 300x

Fig. 2. Microstructure of cast iron from the heat 4. Etched with nital, magn. 300x

Rys. 3. Grafit w żeliwie z wytopu 1. Zgląd nietrawiony, pow. 100x

Fig. 3. Graphite in cast iron from the heat 1. Non-etched, magn. 100x

Rys. 4. Mikrostruktura żeliwa z wytopu 1. Zgląd trawiony nital, pow. 300x

Fig. 2. Microstructure of cast iron from the heat 1. Etched with nital, magn. 300x

3. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań oraz ponadto przy uwzględnieniu wyników pracy [4] stwierdzono, że możliwe jest wytworzenie żeliwa z grafitem wermikularnym poprzez wprowadzenie do stopu dodatku aluminium w ilości 0,3 do 0,8%, obróbkę miszmetalem cerowym w ilości 0,1 do 0,2% oraz późniejszą modyfikację żelazokrzemem. Użycie do obróbki żeliwa miszmetal cerowego w ilości 0,3% i więcej prowadzi do powstania żeliwa połowicznego.

Badania finansowane w ramach projektu badawczego KBN Nr 7 T08B 019 13.

LITERATURA

- [1] Warchala T.: Metalurgia i odlewnictwo żeliwa. Cz. I. Struktura i właściwości żeliwa. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1988.
- [2] Podrzucki C., Wojtysiak A.: Żeliwo plastyczne niestopowe. Cz. II. Wyd. AGH, Kraków 1988.
- [3] Warchala T.: Metalurgia i odlewnictwo żeliwa. Cz. II. Technologia żeliwa. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1995.
- [4] Soiński M.S.: Badania nad wytwarzaniem żeliwa z grafitem wermikularnym. Mat.Symposium Naukowe „Zjawiska fizykochemiczne w odlewnictwie”. Wyd.Komisji Budowy Maszyn PAN Oddz. w Poznaniu, Zakładu Odlewnictwa i Materiałoznawstwa WSI w Zielonej Górze, Zielona Góra - Przełazy, 1994, s. 47-52.
- [5] Soiński M.S.: Application of Shape Measurement of Graphite Precipitates in Cast Iron in Optimizing the Spheroidizing Process. Acta Stereologica 5, 1986, z. 2, s. 311-317.

PRODUCTION OF CAST IRON WITH VERMICULAR GRAPHITE BY APPLYING ALUMINIUM AND CERIUM MISCHMETAL FOR THE ALLOY TREATMENT

Abstract

Investigations concerning the obtaining of cast iron with vermicular graphite have been presented. Aluminium has been introduced to the basic cast iron as a substance disturbing the sferoidization process (0.4 or 0.8% of Al) and then the material has been treated with cerium mischmetal (added in the quantity of 0.1 or 0.3%) and modified with 75% ferrosilicon. It has been found that applying 0.1% of mischmetal for the alloy treatment allows for producing of vermicular cast iron with ferritic - pearlitic matrix.