

Wpływ termoizolacyjnej masy formierskiej na mikrostrukturę żeliwa szarego

M. Cholewa*, Cz. Baron, Ł. Kozakiewicz

Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

* Kontakt korespondencyjny. E-mail: mirosław.cholewa@polsl.pl

Otrzymano 13.07.2015; zaakceptowano do druku 20.07.2015

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analiz mikrostruktur żeliwa szarego EN-GJL-HB155. Formy wykonano z różnych mas formierskich – klasycznej bentonitowej, piaskowej z żywicą chemoutwardzalną oraz termoizolacyjnej o osnowie z mikrosfer glinokrzemianowych. Do wykonania odlewów próbnych i formowania wykorzystano czterostopniowy model schodkowy według tzw. „próby schodkowej” o grubości stopni: 3, 5, 10, 20 mm. Podjęte badania stanowią wstęp do analizy mikrostruktur szkieletowych odlewów żeliwnych. Odlewy szkieletowe powinny się charakteryzować niewielką grubością łączników tworzących szkielet (docelowo poniżej 3 mm), wysoko rozwiniętą powierzchnią oddawania ciepła, dobrymi własnościami mechanicznymi oraz z góry ustaloną geometrią komórek elementarnych. Odlewy szkieletowe stanowią oryginalne opracowanie Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej.

Słowa kluczowe: Masa formierska, Mikrosfery glinokrzemianowe, Piasek kwarcowy, Struktura pierwotna, Własności termofizyczne

1. Wprowadzenie

Rodzaj masy formierskiej ma istotny wpływ na strukturę pierwotną odlewu. Szczególnie istotną rolę odgrywa rodzaj zastosowanej osnowy, odpowiadającej za własności termofizyczne, wpływające na szybkość przekazywania ciepła od odlewu do formy i do otoczenia. Znaczenia posiada również wielkość i kształt ziaren osnowy oraz zagęszczenie masy.

2. Własności termofizyczne mas

Ruch ciepła w układzie odlew-forma-otoczenie dotyczy zjawisk w procesie krzepnięcia i stygnięcia odlewu.

Podczas pierwszego (w zakresie temperatur likwidus-solidus) dochodzi do powstawania struktury pierwotnej, natomiast drugiego (poniżej linii solidus) kształtuje się ostateczna struktura metalu.

Na szybkość przepływu ciepła wpływ mają takie wielkości jak [1]:

- ciepło właściwe c [$kJ/(kg \cdot K)$],
- współczynnik przewodzenia ciepła λ [$W/(m \cdot K)$],
- współczynnik wyrównania temperatury (dyfuzyjność cieplna) a [m^2/s]

$$a = \frac{\lambda}{c\rho_0} \quad (1)$$

ρ_0 – gęstość pozorna [kg/m^3],

- współczynnik akumulacji ciepła b [$J/(m^2 \cdot s^{1/2} \cdot K)$]

$$b = \frac{\lambda}{\sqrt{a}} = \sqrt{\lambda c \rho_0} \quad (2)$$

- współczynnik wymiany ciepła między odlewem a formą (współczynnik wnikania ciepła do formy piaskowej) α_1 [$W/(m^2 \cdot K)$]

$$\alpha_1 = b_2[\pi(\tau - \tau_0)]^{-1/2} \quad (3)$$

τ – czas nagrzewania formy $s(h)$,

τ_0 – czas ruchu metalu od wlewu doprowadzającego do rozważanego przekroju formy $s[h]$.

Właściwości termofizyczne mają wpływ na kinetykę ruchu ciepła w układzie odlew-forma-otoczenie oraz tworzenie mikrostruktury odlewu. Specyficzne jest tworzenie strefy przewilżonej w klasycznych masach formierskich na bazie piasku kwarcowego i bentonitu podczas i po wypełnieniu formy ciekłym metalem.

Zmiana ilości ciepła dostarczanego przez odlew do masy formierskiej w funkcji czasu powoduje zmianę jej właściwości termofizycznych, w wyniku czego zmienia się współczynnik przewodzenia ciepła λ , ciepło właściwe c , a nawet gęstość masy, co spowodowane jest parowaniem oraz zachodzącymi w osnowie piaskowej przemianami fazowymi oraz rozkładem i/lub wypaleniem składników masy.

Udowodniono, iż wzrost temperatury w każdej kolejnej warstwie masy zależy od ilości dostarczonego ciepła i wprost proporcjonalny do współczynnika przewodzenia ciepła. Jednocześnie zaobserwowano, iż za wzrost temperatury odpowiada także ciepło objętościowe masy, będące iloczynem ciepła właściwego i gęstości pozornej. Szybkość podwyższania i wyrównywania temperatury jest odwrotnie proporcjonalna do iloczynu wartości ciepła właściwego i gęstości pozornej, czyli objętościowego ciepła właściwego (1) [1].

Przyrost współczynnika akumulacji ciepła jest proporcjonalny do przyrostu współczynnika przewodzenia ciepła, ciepła właściwego oraz gęstości pozornej (2). Oznacza to, że im wyższy parametr b tym lepsza zdolność masy do wyprowadzenia ciepła na zewnątrz, tzn. krótszy czas niezbędny do stygnięcia i krzepnięcia odlewu.

Praktyka wykazała, iż współczynnik przewodzenia ciepła λ nie jest wielkością stałą, ale zależną od takich parametrów jak: temperatura, jakość i ilość składników masy, sposób zagęszczania masy w formie. Podobnie jest w przypadku ciepła właściwego c , przy czym jego zmiana jest niewielka.

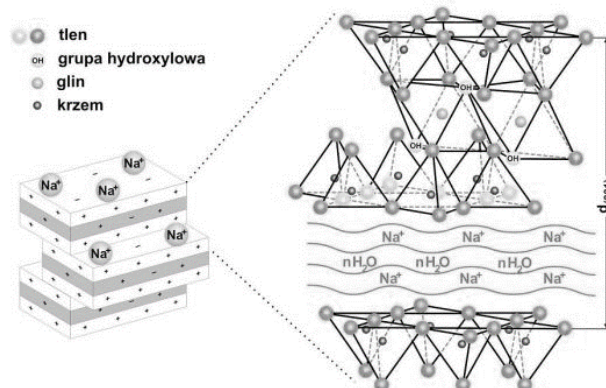
3. Masy formierskie

3.1. Klasyczna masa formierska

Klasyczna masa formierska scharakteryzowana została w normie PN-85/H-11003 [2]. Podstawowymi jej składnikami są: osnowa z piasku kwarcowego, lepszysze w postaci bentonitu oraz woda. W celu uzyskania pożądanych właściwości stosuje się dodatki zwiększające wytrzymałość, nośniki węgla poprawiające powierzchnię odlewu, materiały rozluźniające, zwiększające przepuszczalność i podatność oraz utrzymujące wilgoć zapobiegające wysychaniu i osypywaniu krawędzi.

Piasek formierski w znacznej mierze odpowiada za właściwości termofizyczne masy formierskiej. Istotne znaczenie odgrywa wielkość, kształt oraz rozmieszczenie względem siebie poszczególnych ziaren osnowy, a także grubość i równomierność

rozmieszczenia na ich powierzchni materiału wiążącego, w tym przypadku bentonitu, którego głównym składnikiem jest montmorylonit. Na rysunku 1 pokazano budowę pakietową montmorylonitu.



Rys. 1. Pakietowa budowa montmorylonitu [3]

3.2. Masa z żywicą chemoutwardzalną

Wykorzystanie mas formierskich na bazie żywic chemoutwardzalnych staje się powszechną praktyką. Pomimo szerokiej gamy spoiw do wytwarzania zarówno form jak i rdzeni najczęściej wykorzystywaną wydaje się być fenolowa żywica rezolowa o handlowej nazwie Carbophen utwardzana CO₂. Wybrane właściwości żywic tej grupy przedstawiono w tabeli 1 i 2.

Tabela 1.

Właściwości wybranych żywic z grupy Carbophen [4]

Rodzaj żywicy	Lepkość w 20°C [mPa·s]	Gęstość w 20°C [g/cm ³]	Wytrzymałość na zginanie ¹⁾ utwardzonego rdzenia piaskowego [MPa]		
			Natychmiastowa	po 1 h	po 24 h
Carbophen 5692	300÷500		0,9	1,4	2,0
Carbophen 7170	550÷750	1,30÷1,32	1,2	2,2	2,5
Carbophen 8178	500÷700		1,3	2,1	2,3

¹⁾ wartości podane przez producentów dla mas zawierających 100 części piasku i 3 części żywicy (wagowo), CO₂ – utwardzanie przez 15 s.

Tabela 2.

Właściwości fizyczne i chemiczne żywicy Carbophen 5692 [5]

Własność	Wielkość	Jednostka
Temperatura wrzenia	> 100	[°C]
Temperatura zapłonu	> 100	[°C]
Gęstość w 20°C	1,303 ÷ 1,309	[g/cm ³]
Lepkość dynamiczna w 20°C	300 ÷ 360	[mPa·s]
Kolor	czerwonobrązowy	
pH	> 12	

3.3. Masa termoizolacyjna

Termoizolacyjną masę formierską wykonano z mikrosfer glinokrzemianowych oraz spoiwa organicznego [6].

Mikrosfery to sferyczne cząstki glinowo krzemianowe wypełnione dwutlenkiem węgla i azotem, powstające w wyniku spalania węgla kamiennego w urządzeniach energetycznych [7]. Powstają w wyniku wysokotemperaturowego procesu spalania węgla w kotle energetycznym, podczas którego powstaje plastyczny żużel, który w połączeniu z gazami tworzy sferyczne cząstki wypełnione gazem. Podstawowe własności fizyczne mikrosfer glinokrzemianowych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3.
Własności fizyczne mikrosfer [8]

Właściwość	Wielkość	Jednostka
Gęstość nasypowa w stanie suchym	400 ± 30	[kg/m ³]
Gęstość masy otoczki glinokrzemianowej	2 200 ± 200	[kg/m ³]
Gęstość względna	690 ± 50	[kg/m ³]
Przewodnictwo cieplne	0,07 ± 0,03	[W/(m·K)]
Temperatura topnienia	1 495 ± 10	[°C]
Temperatura mięknięcia	1 220 ± 10	[°C]
Ciśnienie wewnętrzne w mikrosferze	0,02 ± 0,01	[MPa]
Zawartość wody w suchej mikrosferze	< 0,5	[%]
Twardość w skali Mohsa	6 ± 1	
Współczynnik pH wyciągu wodnego	7 ± 1	
Barwa	jasno szara do ciemno szarej	

4. Badania własne

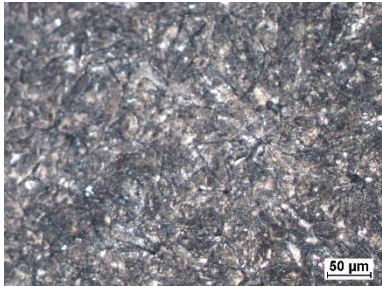
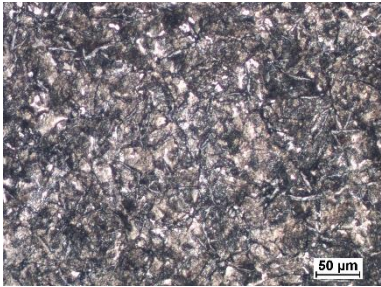
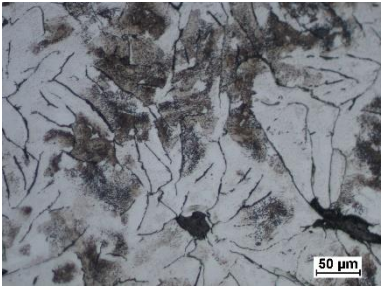
Celem badań była analiza mikrostruktury żeliwa szarego EN-GJL-HB155 odlewu schodkowego (rys. 2) w masach formierskich charakteryzujących się różnymi własnościami technologicznymi, w szczególności własnościami termofizycznymi. Przyjęto temperaturę zalewania równą 1420 °C.

Zakres badań obejmował:

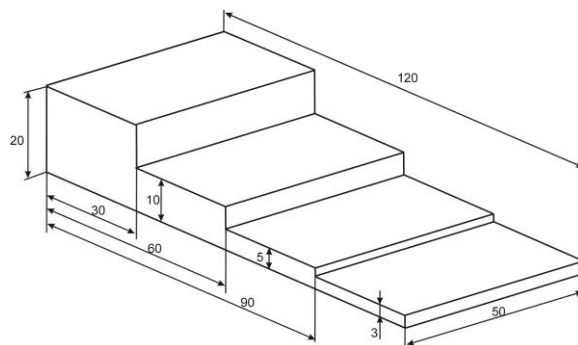
- sporządzenie mas

Tabela 4.

Mikrostruktury żeliwa szarego. Składniki struktury: kolor szary – perlit, biały – ferryt, czarny – grafit

	masa		
	klasyczna	chemoutwardzalna	termoizolacyjna
Wysokość stopnia 3			

- wykonanie form
- wytop żeliwa szarego
- wykonanie odlewów próbnych
- badania mikrostruktury
- analizę wyników
- wnioskowanie.



Rys. 2. Model próby schodkowej

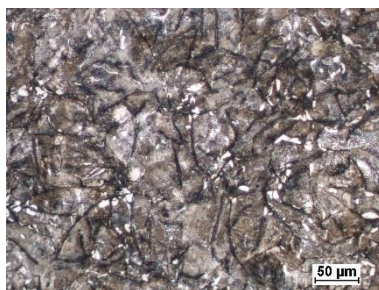
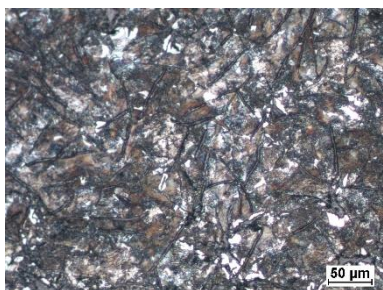
5. Analiza wyników

W tabeli 4 przedstawiono mikrostruktury żeliwa szarego odlewane do form wykonanych z trzech rodzajów mas formierskich.

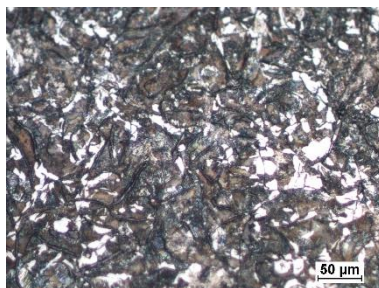
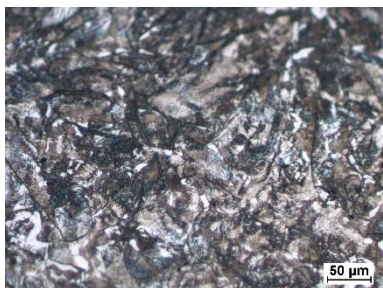
W przypadku masy klasycznej piaskowej z bentonitem uzyskano typową strukturę perlityczną ze szczątkowym ferrytem dla każdego stopnia próby schodkowej. Jediną różnicą jest wzrost wielkości grafitu. Dla stopnia grubości 3 mm, wydzielenia grafitu są drobne i równomiernie rozmieszczone. Natomiast dla stopni o grubości 5 i 10 mm nastąpił nieznaczny wzrost wielkości wydzieleni grafitu. Największy rozrost grafitu nastąpił dla schodka o grubości 20 mm.

Struktura żeliwa odlewane do masy chemoutwardzalnej jest podobna do struktury uzyskanej w masie klasycznej, co jest zgodne z oczekiwaniem i potwierdza niewielki wpływ egzotermicznej destrukcji spoiwa.

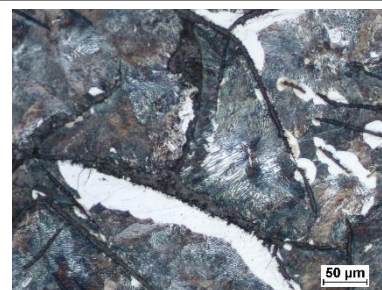
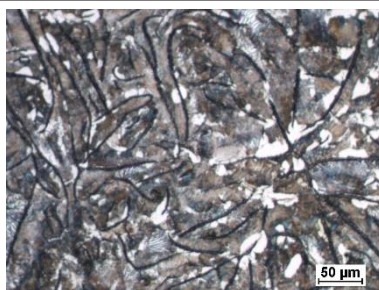
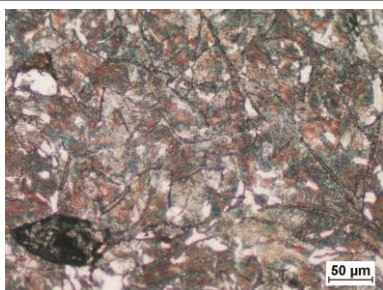
5



10



20



Największe różnice można zauważyć w strukturze odlewu uzyskanego w masie z osnową z mikroster glinokrzemianowych. Już w stopniu o grubości 3 mm nastąpił znaczny rozrost grafitu, a powstała osnowa żeliwa jest perlityczno-ferrytyczna. W kolejnych stopniach następuje dalszy wzrost grafitu, ale zanika ferryt. Jest to efekt właściwości termoizolacyjnych zastosowanej masy.

6. Wnioski

Strukturę żeliwa szarego powstałą w masie klasycznej oraz chemoutwardzalnej należy uznać za typową dla tego rodzaju odlewów. Inaczej jest dla masy termoizolacyjnej. Z jednej strony znaczny wzrost grafitu już w najmniejszym stopniu może powodować obniżenie własności materiału, jednak uzyskanie w odlewie o grubości ścianki 3 mm osnowy perlityczno-ferrytycznej może przyczynić się do zwiększenia własności plastycznych materiału. Masa taka hipotetycznie może być zastosowana na odlewy cienkościennie o grubości 0,5 ÷ 2 mm bez obawy o możliwość zabielenia struktury.

Literatura

- [1] Kowalski, J.S. (2011). Technologiczne aspekty przemian temperaturowych kwarcowej osnowy piaskowej syntetycznej masy formierskiej z bentonitem. MONOGRAFIA 395, seria mechanika. Kraków: Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- [2] PN-85/H-11003 *Odlewnicze materiały formierskie. Bentonit odlewniczy.*
- [3] Janiak, K. (2005). *Modyfikacja krzemianów warstwowych (bentonitu) za pomocą promotorów adhezji i wzmacniania.* Niepublikowana praca magisterska, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań, Polska.
- [4] Soiński, M. S. & Chmielarz, P. (2007). Selection of material for cores hardened with carbon dioxide. *Archives of Foundry Engineering.* 7(2), 107-110.
- [5] Hüttenes-Albertus Polska Sp. z o.o., Karta Charakterystyki Carbophen 5692.
- [6] Cholewa, M., Kozakiewicz, Ł. (2014). Strength Properties of Moulding Sand For Thin-Walled Casting Production. In METAL 2014. 23rd International Conference on Metallurgy and Materials. May 2014, (pp. 1294-1300). Brno, Czech Republic.
- [7] EKO EXPORT S.A. (2015, marzec). Oferta. Pobrano 15 marca, 2015 z <http://www.ekoexport.eu>

Influence of Heat Insulating Moulding Sand on Grey Cast Iron Microstructure

Abstract

The article presents results of EN-GJL-HB155 grey cast iron microstructure analysis. Moulds were prepared with use of different moulding sands – classic with bentonite, quartz with chemical hardened resin and heat-insulating with aluminosilicate microspheres matrix. To perform experimental casting and forming four-step pattern according to step test bar with a thickness of: 3, 5, 10, 20 mm were used. The study are the introduction of cast iron skeleton casting microstructure analysis. Skeleton castings should be characterized by a small thickness of connector making the skeleton (the target of less than 3 mm), the highly developed surface of the heat give-up, good mechanical properties and predetermined geometry of elementary cells. Skeleton castings are the original development of the Department of Foundry Engineering of the Silesian University of Technology.

Keywords: Moulding sand, Aluminosilicate microsphere, Quartz sand, Primary structure, Thermophysical properties