



Wykonywanie odlewów z żeliwa sferoidalnego w formach warstwowych z ekologicznych mas formierskich

M. Rączka ^{a*}, K. Gandurski ^b, B. Isendorf ^b

^a Katedra Inżynierii Procesów Produkcyjnych, Politechnika Krakowska, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Polska

^b Odlewnia Hardtop, Charsznica, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: mraczka@pk.edu.pl

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 02.07.2012

Streszczenie

Artykuł zawiera wyniki uzyskane podczas badań wykonywanych w ramach projektu celowego w odlewni Hardtop w Charsznicy.

Celem badań było opracowanie technologii wykonania dobrej jakości odlewów z żeliwa sferoidalnego przy jednoczesnym zachowaniu skutecznych technik ochrony środowiska. Przedstawiono badania wykonywania odlewów o masie od 1 do 300 kg z żeliwa sferoidalnego gatunek 400-15, 500-7 z zastosowaniem form dwuwarstwowych, gdzie masę przymodelową i rdzeniową stanowi masa z alkalicznym spoiwem organicznym, a masę wypełniającą – masa ze spoiwem nieorganicznym - geopolimerowym.

Zastosowano uproszczoną regenerację masy z możliwością wykorzystania odzyskanego regeneratu do masy wypełniającej. Przeprowadzono dobór metody sferoidyzacji i modyfikacji żeliwa odpowiednich dla warunków odlewni Hardtop. Wykonano serię próbną odlewów i przeprowadzono badania poprawności konstrukcji układów zalewania i zasilania z zastosowaniem otulin egzotermicznych na nadlewy. Badania potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji wykonywania odlewów z żeliwa sferoidalnego w formach warstwowych przy zachowaniu maksymalnie 15% udziału mas ze spoiwem organicznym.

Słowa kluczowe: Innowacyjne materiały i technologie odlewnicze, ochrona środowiska, żeliwo sferoidalne, formy dwuwarstwowe, badania odlewów.

1. Wprowadzenie

Badania przedstawione w artykule zostały przeprowadzone w ramach projektu celowego w odlewni Hardtop w Charsznicy. Celem prowadzonych badań przemysłowych, prac rozwojowych oraz prac wdrożeniowo-inwestycyjnych były:

- dobór technologii mas samoutwardzalnych i opracowanie składów mas formierskich i rdzeniowych dla wdrażanego w odlewni HARDTOP asortymentu odlewów z żeliwa sferoidalnego
- opracowanie technologii wykonania odlewów z wdrażanych tworzyw
- zorganizowanie gniazda wykonywania form i rdzeni z mas samoutwardzalnych, wytapiania metalu, wybijania i oczyszczania odlewów

- uruchomienie produkcji odpowiedzialnych odlewów z żeliwa sferoidalnego o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych i użytkowych.

Wytwarzanie żeliwa sferoidalnego jest zadaniem trudnym ze względu na konieczność pogodzenia przeciwdziałających elementów, do których zaliczamy następujące problemy [1, 2, 3, 4, 5]:

- masa właściwa magnezu jest czterokrotnie mniejsza niż ciekłego żeliwa. Zachodzi zatem potrzeba stosowania odpowiednich metod zanurzenia i utrzymywania magnezu pod powierzchnią ciekłego metalu,
- temperatura wrzenia magnezu wynosi 1105°C, a więc jest znacznie niższa od temperatury ciekłego przegrzanego żeliwa,
- magnez wykazuje duże powinowactwo z tlenem w związku z czym będzie on wchodził w reakcję z tlenkami

występującymi w ciekłym żeliwie redukując je, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia jego zawartości w metalu.

Szybkość ubytku magnezu w żeliwie zależy od temperatury metalu, dostępu tlenu, kontaktu z żużłem, materiałem wyłożenia kadzi, atmosferą.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że jedno przelanie metalu po zabiegu sferoidyzacji powoduje spadek zawartości magnezu o 0,007 do 0,01%, a w czasie przetrzymywania żeliwa w kadzi ubytek magnezu o około 0,001%/minutę.

Magnez prawie zupełnie nie rozpuszcza się w żeliwie, a jego ograniczona rozpuszczalność zależy od składu chemicznego żeliwa tj. zawartości węgla, krzemu itp.

Dla wprowadzenia magnezu do żeliwa stosuje się różne sposoby pozwalające na wyeliminowanie przedstawionych trudności.

Rozpuszczanie magnezu w ciekłym żeliwie uzależnione jest również od czasu kontaktu pęcherzyków par magnezu z żeliwem i ich powierzchni, co można wyrazić wzorem:

$$R_{Mg} = f(T;F) \quad [2, 4]$$

Uzyskanie możliwie najwyższego współczynnika R wymaga działań zmierzających do zapewnienia jak najdłuższego kontaktu między ciekłym żeliwem a magnezem, który początkowo prawie zawsze występuje w postaci gazowej, oraz stworzenie jak największej powierzchni kontaktu pęcherzyków magnezu z żeliwem.

2. Opis metod badawczych

2.1. Dobór metody sferoidyzacji i modyfikacji żeliwa

Dokonując oceny przedstawionych metod sferoidyzacji pod kątem jej wyboru dla potrzeb i warunków odlewni HARDTOP Sp. z o.o. poza doбором urządzenia uwzględniono jednocześnie dobór sferoidyzatora.

W celu zapewnienia możliwie najdłuższego czasu kontaktu magnezu z żeliwem do zabiegu sferoidyzacji żeliwa wybrano najkorzystniejszą metodę w kadzi smukłej z pokrywą odejmovaną dla ułatwienia operacji usuwania żużla i zalewania form metalem.

Metoda ta opiera się na ograniczeniu objętości powietrza dostępnego podczas reakcji gorącego metalu ze stopami magnezu. Korzyści wynikające ze stosowania tej metody są następujące:

- zmniejszenie zadymienia i efektów pirotechnicznych,
- zwiększenie uzysku magnezu,
- zmniejszenie strat temperatury,
- lepsza zgodność ostatecznej zawartości magnezu.

2.2. Technologia mas formierskich i rdzeniowych

W odlewni HARDTOP sp. z o.o. odlewy ze stopów żelaza dotychczas były wykonywane ręcznie z klasycznych mas bentonitowych i syplik mas samoutwardzalnych ze szkłem wodnym 145 utwardzonych CO₂. Masy ze szkłem wodnym wg procesu CO₂

charakteryzują się niezbyt dobrą wybijalnością, a dodatek spoiwa jest stosunkowo duży [6]. Jakość powierzchni odlewów wykonywanych w formach z mas ze szkłem wodnym 145 była zła i nie spełniała wymagań klientów. Ponadto masy ze szkłem wodnym charakteryzowały się dużą higroskopijnością, w związku z czym rdzenie i formy nie mogły być zbyt długo przetrzymywane. Pojawiająca się osypliwłość masy powodowała zagrożenie powstawania w odlewach wad w postaci zaprószeń. Jednocześnie zbyt duży dodatek szkła wodnego powodował zwiększenie wilgotności masy formierskiej, co powodowało powstawanie wad odlewniczych w postaci porów i w skrajnych przypadkach pęcherzy gazowych. W okresach o zwiększonej wilgotności powietrza utrzymanie reżimu technologicznego w odlewni było utrudnione, a w efekcie końcowym wynikiem zwiększonej osypliwłości form był wzrost ilości zabrakowanych odlewów.

W związku z powyższym podjęto decyzję o zastosowaniu do wytwarzania odpowiedzialnych odlewów z żeliwa sferoidalnego nowych rodzajów mas samoutwardzalnych zarówno do wytwarzania form, jak i rdzeni odlewniczych.

Założono, że odlewy z żeliwa sferoidalnego będą wykonywane w formach warstwowych.

Na masę przymodelową i rdzeniową wytypowano masę zawierającą alkaliczną żywicę fenolową o nazwie handlowej Super Eko R. Na masę wypełniającą natomiast wytypowano masę zawierającą alkaliczne spoiwo geopolimerowe o nazwie handlowej Rudal A. Zastosowanie dwóch mas o tym samym charakterze chemicznym (alkaliczne) umożliwiło ich łatwe łączenie i ułatwia proces regeneracji osnowy mas. Utwardzanie mas odbywa się w wyniku przedmuchiwania bezwodnikiem kwasu węglowego – dwutlenkiem węgla.

2.3. Badania symulacji odlewania wytypowanych odlewów z żeliwa sferoidalnego

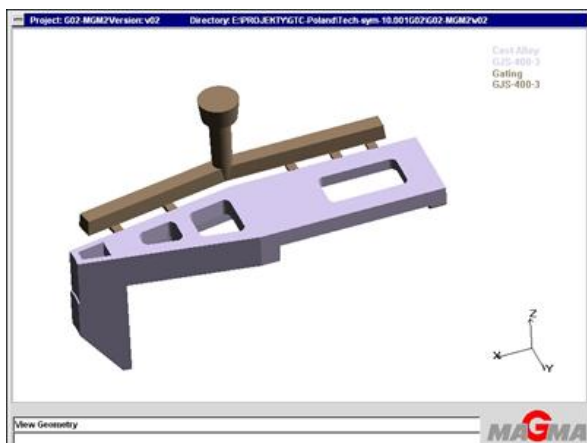
Obliczenia symulacji procesu odlewania wykonano z wykorzystaniem programu MAGMAsoft. Program ten posiada specjalistyczny moduł do analizy krzepnięcia odlewów żeliwnych o nazwie MAGMAIron [7].

Przeprowadzono analizę krzepnięcia i stygnięcia odlewu żeliwnego z uwzględnieniem zjawisk zachodzących na poziomie mikrostruktury oraz analizę procesu przechodzenia z fazy ciekłej w fazę stałą poprzez zarodkowanie i wydzielanie się pierwotnego austenitu oraz fazy eutektycznej jako mieszaniny perlitu i cementytu. Uwzględniono przy tym szybkość chłodzenia, która wpływa na trwałość i ilość zarodków jako czynnika pierwotnego, na których tworzy się i rozrasta faza stała. Analizowany był również wpływ szybkości chłodzenia na wielkość i rozmieszczenie grafitu..

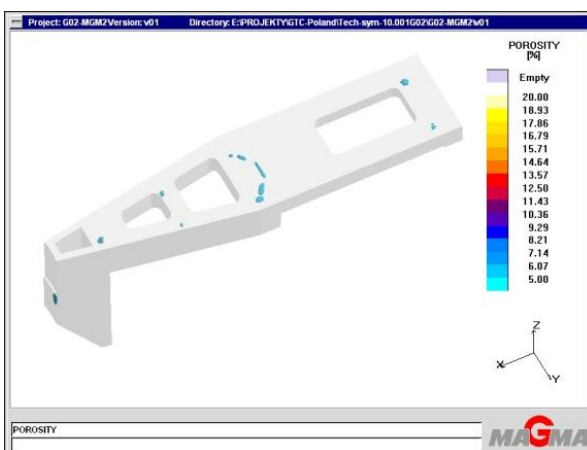
3. Opis uzyskanych wyników

3.1. Symulacja odlewania

Określono warunki początkowe procesu takie jak: określenie składu stopu, materiału dla formy, temperatury zalewania, czasu zalewania, oraz parametrów wymiany ciepła między odlewem i formą. W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny stopów poddanych analizie.



Rys. 1. Technologia odlewania odlewu podstawy stacji



Rys. 2. Rozkład prognozowanej porowatości powyżej 5% dla składów S1 i S3 przedstawionych w tabeli nr 1

Tabela nr 1. Skład analizowanych stopów

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg
S1	3,6	2,65	0,15	0,016	0,02	0,1	0,036
S2	3,3	2,65	0,15	0,016	0,02	0,1	0,036
S3	3,3	2,3	0,15	0,016	0,02	0,1	0,036
S4	3,7	2,3	0,15	0,016	0,02	0,1	0,036

Przykładowa analiza dla odlewu podstawy stacji:

Masa - 102 kg

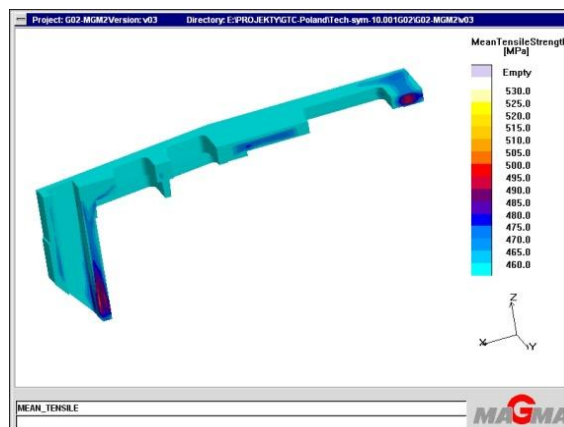
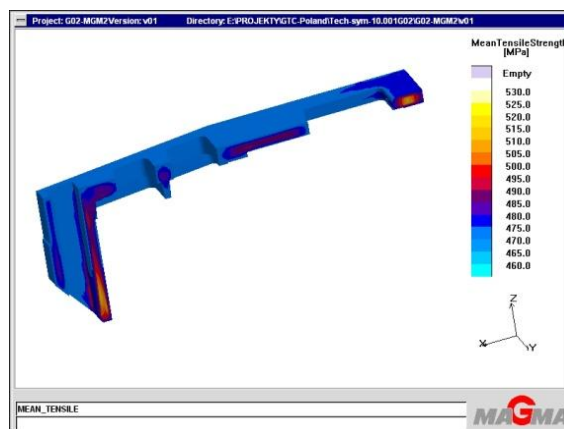
Żeliwo – GJS400-15

Temp. zalewania – 1310°C

Ilość zarodków aktywnych – 100 %

Stopień grafityzacji dobry (wartość 7 w skali od 1 do 10)

Proces modyfikacji – dobry



Rys. 3 Rozkład prognozowanej wytrzymałości w przekroju odlewu dla poszczególnych składów

Technologię odlewania dla odlewu podstawy stacji przedstawiono na rysunku nr 1. Metal wlewany do wnęki formy jest przez 5 wlewów doprowadzających. Przyjęty czas zalewania 12 sekund oraz temperaturę zalewania 1310°C. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki obliczeń rozkładu porowatości i wytrzymałości.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można zminimalizować porowatość poprzez dobranie odpowiedniego składu chemicznego oraz odpowiednie prowadzenie procesu metalurgicznego. Przeprowadzona analiza wykazała, że dla uzyskania porowatości poniżej 5% najbardziej optymalnym jest skład nr S3 (tabela 1).

3.2. Dobór składów mas formierskich i rdzeniowych

Formy warstwowe wykonywano z mas utwardzanych przez przedmuchiwanie dwutlenkiem węgla CO₂. Masę przymodelową i rdzeniową stanowiła masa zawierająca spoiwo organiczne – alkaliczną żywicę fenolową Super Eko R. Masa wypełniająca zawierała alkaliczne spoiwo geopolimerowe Rudal A.

Masy sporządzano w mieszarkach skrzydełkowych o działaniu okresowym.

Próby przeprowadzono z udziałem nowo opracowanego oprzyrządowania modelowego. Wyniki prób i badań pozwoliły zoptymalizować technologię wytwarzania odlewów w poszczególnych stanowiskach gniazda w aspekcie synchronizacji kolejnych operacji technologicznych: sporządzania mas formierskich i rdzeniowych, wykonywania form i rdzeni, odlewów oraz procesów stygnięcia i wybijania odlewów.

Próby technologiczne wykonywania form i rdzeni dla odlewów testowych przeprowadzono z zastosowaniem następujących mas:

- masa przymodelową i rdzeniową z udziałem alkalicznego spoiwa organicznego – Super Eko R
- masa wypełniająca z udziałem nieorganicznego spoiwa geopolimerowego – RUDAL A.

Badania doboru składu mas formierskich przymodelowej i wypełniającej oraz masy rdzeniowej przeprowadzono z udziałem następujących materiałów:

- piasek kwarcowy Grudzień Las
 - frakcja główna 0,40/0,32/0,20 - 91,31%
 - zawartość frakcji pyłowej (< 0,100 mm) - 0,36%
 - zawartość lepiszcza < 0,2%
 - temperatura spiekania > 1350°C
 - wilgotność - 0,03%
 - pH - 6,70
 - powierzchnia właściwa - 6,02 m²/kg
- spoiwo RUDAL A
 - zawartość krzemianu sodu (Na₂O + SiO₂) - 40 ÷ 46%
 - pH 12,5 ÷ 13,5
- spoiwo SUPER EKO R
 - lepkość w 20°C – 170 ÷ 320 [cP]
 - gęstość w 20°C - 1,280 - 1.330 [g/cm³]

Skład masy formierskiej przymodelowej i rdzeniowej był następujący (w częściach wagowych):

- piasek kwarcowy Grudzień Las - 100
- spoiwo Super Eko R - 2
- utwardzanie CO₂ - 15 sek

Właściwości masy były następujące:

- wytrzymałość na ściskanie (mierzona po 1h, 3h i 24h czasu utwardzania)

Rc1h	1,2 ÷ 1,35 MPa
Rc3h	1,45 ÷ 1,7 MPa
Rc24h	2,0 ÷ 2,55 MPa

- wytrzymałość na zginanie
Rg1h 0,85 ÷ 1,15 MPa
Rg3h 1,2 ÷ 1,35 MPa
Rg24h 1,8 ÷ 2,1 MPa

- przepuszczalność po 24 h
PS24h > 600 m²/Pa·S

Skład masy formierskiej wypełniającej (cz.wag.):

- piasek kwarcowy Grudzień Las - 100
- spoiwo Rudal A - 2,5 ÷ 3,0
- utwardzanie CO₂ - 15 sek

Właściwości masy były następujące:

- wytrzymałość na ściskanie
Rc1h 0,75 ÷ 1,15 MPa
Rc3h 1,1 ÷ 1,4 MPa
Rc24h 1,7 ÷ 1,95 MPa
- przepuszczalność po 24h
PS24h > 550 m²/Pa·S

3.3. Wykonanie form

Formy dla testowych odlewów wykonywano stosując masę przymodelową z udziałem organicznego spoiwa Super Eko R, oraz masę wypełniająca z udziałem nieorganicznego spoiwa geopolimerowego RUDAL A. Masa rdzeniowa, podobnie jak masa przymodelową sporządzana była z udziałem spoiwa Super Eko R.

Utwardzanie masy, z której powstały formy i rdzenie następowało w wyniku przedmuchiwania dwutlenkiem węgla przez 30÷90 sekund w zależności od wielkości formy. Modele z form usuwano po utwardzeniu masy. Jakość wykonanych form i rdzeni była dobra. Po upływie 4 ÷ 6 godzin od momentu zaformowania na formy i rdzenie наносono powłokę ochronną alkoholową.

Powłokę ochronną наносono pędzlem po dokładnym jej wymieszaniu. Rdzenie wkładano do form i formy składano po całkowitym ostygnięciu po wypaleniu powłoki ochronnej. W uzasadnionych przypadkach dla prawidłowego zasilenia odlewów i dla ograniczenia ilości ciekłego metalu stosowano nadlewy w otulinach egzotermicznych. Stosowano otuliny egzotermiczne typu Volmix T EXP-AXT, Volumix M FXM-AXM firmy Jodovit Chemical Group. W przypadkach wykonywania odlewów o zbliżonych grubościach ścianek, pozbawionych węzłów cieplnych, nadlewów nie stosowano. Duża sztywność form z wdrażanych mas umożliwia wykorzystanie techniki samozasilania, należy wówczas jednak zachować zalecony reżim technologiczny w zakresie:

- składu chemicznego metalu
- temperatury zalewania
- technologii wykonania form
- procesu przygotowania metalu.

Technikę samozasilania wykorzystano przy wykonywaniu wymienionych wcześniej odlewów testowych.

Formy dla tych odlewów złożono na formierni i zalano ciekłym żelwem po upływie 9–10 godzin od momentu zaformowania.

3.4. Topienie żeliwa i zalewanie form

Skład wytapianego żeliwa był następujący (% wag.):

Żeliwo sferoidalne EN – GJS – 400 – 15

C	3,3
Si	2,3
Mn	0,5
P	0,015
S	0,005
Mg	0,015

Z wlewków próbných wykonano na drodze obróbki mechanicznej próbki dla określenia właściwości mechanicznych i zgłady dla przeprowadzenia badań strukturalnych.

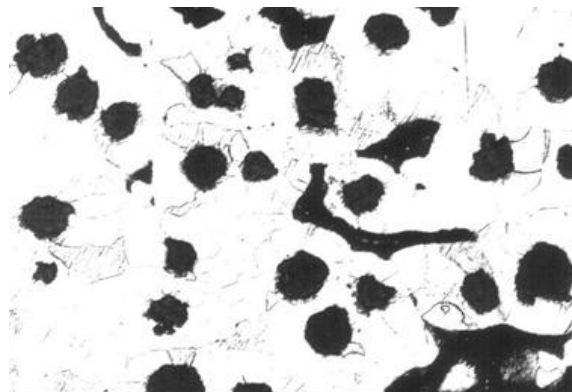
Właściwości mechaniczne żeliwa EN – GJS – 400 – 15 były następujące:

· R_m	480 – 535 MPa
· R_e	360 – 389 MPa
· A_5	14,8 – 16,8 %

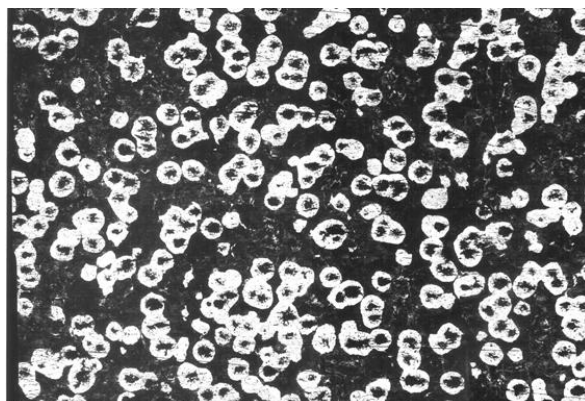
Wykonany odlew podstawy stacji przedstawiony jest na rys. 4.



Rys. 4. Odlew z GJS 400-15 podstawy stacji o masie 102 kg.



Rys. 5. Żeliwo EN-GJS-400-15. Struktura ferrytyczna z niewielką ilością perlitu P6, traw. Mi 1 Fe, pow. 100x,



Rys. 6. Żeliwo EN-GJS 500-7. Struktura perlityczno-ferrytyczna P70, traw. Mi1Fe. pow. 100x

4. Wnioski

Przeprowadzone próby technologiczne wykonywania odpowiedzialnych odlewów z żeliwa sferoidalnego w formach warstwowych z mas formierskich z alkalicznymi spoiwami oraz badania właściwości tworzyw i odlewów w pełni potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji technologicznej.

Zastosowanie dwóch rodzajów mas do wytwarzania form i rdzeni:

- masy rdzeniowej i przymodelowej z żywicą fenolową Super Eko R
- masy wypełniającej ze spoiwem geopolimerowym Rudal A

przyczyniło się do poprawienia jakości odlewów i w znacznym stopniu usprawniło proces produkcyjny poprzez:

- poprawę wybijalności mas
- ograniczenie prac uciążliwych związanych z oczyszczaniem i wykańczaniem odlewów
- zmniejszenie ilości odpadów w wyniku uproszczonej regeneracji osnowy mas.

Nowa technologia umożliwiła podjęcie produkcji nowych tworzyw i asortymentów odlewów, których zakład dotychczas nie produkował.

Jednocześnie w wyniku wdrożenia do produkcji nowej technologii nastąpiło:

- zmniejszenie ilości braków,
- zmniejszenie zużycia ciekłego metalu w wyniku zastosowania nadlewów w otulinach egzotermicznych.

Zastosowana w odlewni HARDTOP sp. z o.o. technologia form warstwowych przyczyniła się do podniesienia poziomu technicznego i wzrost konkurencyjności w stosunku do innych producentów odlewów.

- [3] Piaskowski J. (1986). *Żeliwo sferoidalne – Poradnik dla odlewnika*. Wydanie Instytutu Odlewnictwa w Krakowie.
- [4] Sorelmetal: o żeliwie sferoidalnym.
- [5] Tabor A., Rączka J. (1996). *Odlewnictwo*. Kraków, FOTOBIT.
- [6] Lewandowski L. (1991). *Masy formierskie i rdzeniowe*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [7] Gwiżdż A., Pysz S., Dworak P. (2010). MAGMASoft simulation applied in verification of technology to produce new range alloy steel castings. *Archive of Foundry Engineering* 10(3). Polish Academy of Sciences. Katowice-Gliwice.
- [8] Tabor A. (2007). *Odlewnictwo*. Kraków, Politechnika Krakowska

Literatura

- [1] Fraś, E., Podrzucki, C. (1978). *Żeliwo modyfikowane*. Kraków, Skrypt uczelniany AGH.
- [2] Karsay, S.I. (2000). *Żeliwo sferoidalne i wytwarzanie*. Tłumaczenie wydania polskiego M.Kaczorowski, Warszawa.

Casting ductile iron in layer moulds made from ecological sands

Abstract

The article contains the results of tests performed under the target project in Hardtop Foundry Charsznica.

The objective of the tests and studies was to develop a technology of making high-quality ductile iron castings, combined with effective means of environmental protection. The studies presented in this article related to castings weighing from 1 to 300 kg made from ductile iron of grades 400-15 and 500-7, using two-layer moulds, where the facing and core sand was the sand with an alkaline organic binder, while backing sand was the sand with an inorganic geopolymer binder.

A simplified method of sand reclamation was applied with possible reuse of the reclaim as an addition to the backing sand. The cast iron spheroidising treatment and inoculation were selected taking into account the specific conditions of Hardtop Foundry. A pilot batch of castings was made, testing the gating and feeding systems and using exothermic sleeves on risers. The study confirmed the validity of the adopted concept of making ductile iron castings in layer moulds, while maintaining the content of sand with an organic binder at a level of maximum 15%.