

Pole zarezerwowane dla komitetu redakcyjnego, proszę pozostawić puste

Casting ductile iron in layer moulds made from ecological sands

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

^a Chair of Production Process Engineering, Cracow University of Technology, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Cracow, Poland

^b Hardtop Foundry, Charsznica, Poland

^c Hardtop Foundry, Charsznica, Poland

*Contact for correspondence: e-mail: mrazcka@pk.edu.pl

Received XXXXX 2011; accepted for printing XXXXX 2011

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%.

Keywords: Innovative foundry materials and technologies, environmental protection, ductile iron, two-layer moulds, casting examinations.

1. Introduction

Studies presented in this paper were conducted under the target project in Hardtop Foundry Charsznica. The purpose of the industrial research and of the development, implementation and investment works was:

- to choose the self-setting sand technology and develop the composition of moulding and core sands for the range of ductile iron castings manufactured by HARDTOP Foundry,
- to develop a technology for making castings from the implemented materials,
- to design a work post for the manufacture of moulds and cores from self-setting sands, for metal melting, and for knocking out and fettling of castings,

- to start the production of responsible castings made from ductile iron with improved strength properties and performance characteristics.

Making castings from ductile iron is a difficult task because it is necessary to adjust and combine into one whole a set of the following counteracting elements [1,2,3,4, 5]:

- the mass density of magnesium is four times lower than that of the liquid cast iron. Therefore it is necessary to use special methods for immersion of magnesium and keeping it under the melt surface,
- the boiling point of magnesium is 1105°C, and so it is much lower than the temperature of the overheated liquid cast iron,
- having high affinity to oxygen, magnesium shall enter into reaction with oxides present in the melt and by reducing them shall lower its own content in the cast iron.

The rate of magnesium loss in cast iron depends on several factors, like the temperature of metal, oxygen availability, contact with the slag, the ladle lining material, and the atmosphere.

Based on the results of the tests carried out it has been found that any transfer of metal from one vessel to another after the spheroidising treatment will cause a 0.007 to 0.01% drop in magnesium content; holding of the melt in a ladle results in a magnesium loss of about 0.001%/min.

Magnesium never dissolves completely in cast iron, and this limited solubility depends on the chemical composition of cast iron, i.e. on the content of carbon, silicon, etc.

Various techniques are used to introduce magnesium to the cast iron melt and to eliminate the difficulties discussed above.

The dissolution of magnesium in liquid cast iron is also dependent on the time during which the bubbles of magnesium vapour are in contact with cast iron, and on the surface area of these bubbles, as expressed by the following equation:

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

Achieving the highest possible value of the coefficient R requires actions to ensure the longest possible time of contact between the cast iron melt and magnesium, which initially almost always occurs in gaseous form, and creating the largest possible surface area for contact between the cast iron and magnesium bubbles.

2. Description of research methods

2.1. Choice of the cast iron spheroidising treatment and inoculation

When evaluating various methods of spheroidisation to choose an optimum one for the specific needs and conditions of HARDTOP Foundry, besides the selection of equipment also the choice of a spheroidising agent was taken into account.

To ensure the longest possible time of contact between the cast iron and magnesium, the slender ladle with a removable lid was thought to be the best solution for the spheroidising treatment, considering also a relatively easy operation of the slag removal and pouring of moulds with metal.

The main objective of the chosen method was to reduce the volume of air available during the reaction of hot metal with magnesium alloy. The benefits of this method are as follows:

- reduced smoke and glare effect,
- increased magnesium yield,
- reduced loss of temperature,
- improved compatibility in the final content of magnesium.

2.2. Moulding and core sand technology

In HARDTOP Foundry, castings from iron alloys were previously done manually in common bentonite sands and in the CO₂-hardened loose self-setting sands with water glass 145. Yet, sands with water glass hardened with CO₂ are characterised by rather poor knocking out properties, and the addition of binder is relatively large [6]. The surface quality of castings made in the

sand moulds with water glass 145 has proved to be inadequate and failed to meet the customer requirements. In addition, sands with water glass were characterised by high hygroscopicity, which made long storing of cores and moulds impossible. The occasionally experienced friability of the sand increased the risk of casting defects in the form of sand inclusions. At the same time, too much of water glass added to the sand increased the moisture content in this sand and resulted in the occurrence of casting defects, mainly pores and occasionally in extreme cases also blowholes. In the periods of increased humidity of the atmospheric air, it was very difficult to maintain the technological regime in the foundry, and the increased friability of moulds finally resulted in an increased rate of the rejected castings.

Therefore it was decided to use in the process of making responsible ductile iron castings new types of the self-setting sands for both moulds and cores.

The first assumption was that ductile iron castings would be made in layer moulds.

It was decided to use for the facing and core sand a composition containing alkaline phenolic resin of the trade name Super Eco R. For the backing sand, a mixture containing alkaline geopolymer binder of the trade name Rudal A was selected. The use of two sands of the same chemical nature (highly alkaline) made combining them together relatively easy and facilitated the reclamation process. The sand was hardened by blowing it with carbonic acid anhydride - carbon dioxide.

2.3. Simulation studies of selected ductile iron castings

The simulation and respective calculations of the casting process were performed in a MAGMASoft programme. The programme was provided with a specialised module called MAGMAIron used for an analysis of the cast iron solidification process [7].

The analysis of cast iron solidification and cooling was carried out, paying special attention to phenomena occurring at the level of microstructure and to the liquid/solid phase transition by nucleation and precipitation of primary austenite and a eutectic phase as a mixture of pearlite and cementite. Cooling rate was also taken into account as a primary factor which determines the stability and the number of nuclei on which the solid phase is formed and growing. The impact of the cooling rate on the size and distribution of graphite was also examined.

3. Discussion of results

3.1. Simulation of the casting process

The initial process conditions such as the alloy composition, mould material, pouring temperature, pouring time, and the heat transfer parameters in a mould-casting system were determined.

Table 1 gives the chemical composition of alloys analysed.

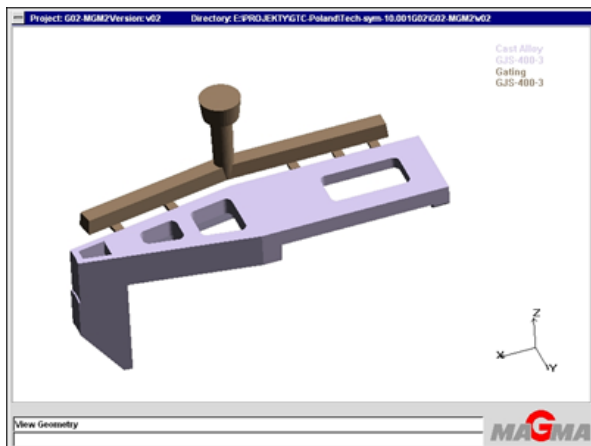


Fig. 1. The technology of making the casting of a base

Table 1 Chemical analysis of the examined alloys

	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

Example of analysis for the casting of a base:

Weight - 102 kg

Cast iron – GJS400-15

Pouring temperature – 1310°C

Number of active nuclei – 100 %

Graphitisation ratio - good (7 in a 1 to 10 scale)

Inoculation process – good

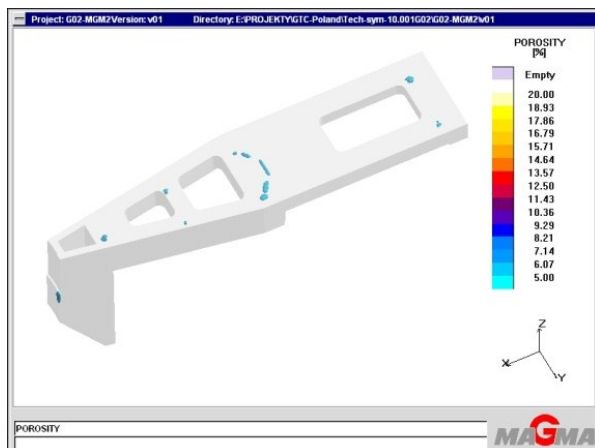


Fig. 2 The distribution of porosity above 5% for compositions S1 and S3 given in Table 1

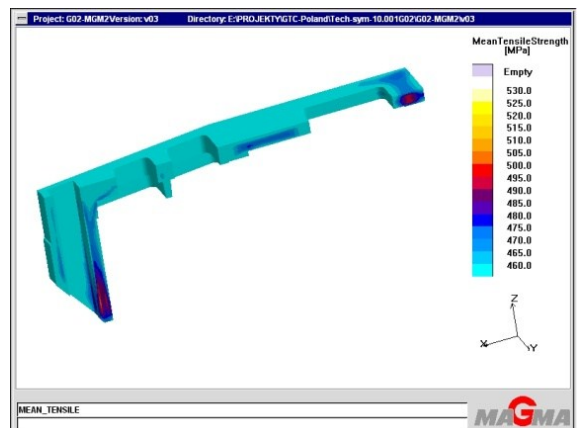
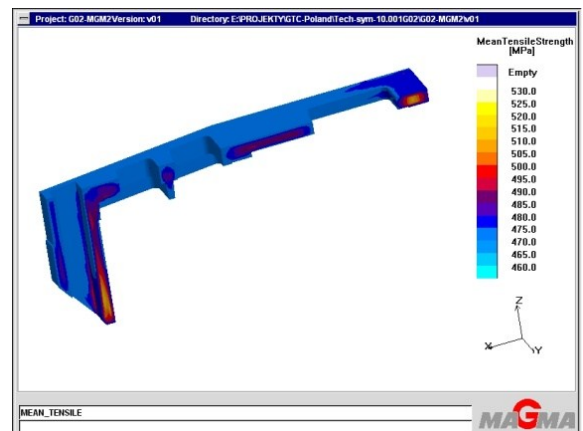


Fig. 3 The distribution of tensile strength values in casting cross-section for different compositions

The applied casting technology is shown in Figure 1. Metal is poured into the mould cavity through five ingates. The adopted time of pouring is 12 seconds and the pouring temperature is 1310°C. Figures 2 and 3 show the results of calculations of the porosity level and tensile strength values distribution.

From the performed calculations it follows that the porosity can be minimised by the properly adjusted chemical composition and properly conducted metallurgical process. The analysis shows that to obtain a porosity of less than 5%, the best composition is the composition No. S3 (Table 1).

3.2. The choice of basic moulding and core sand components

Layer moulds were made from sands hardened by blowing with carbon dioxide - CO₂. The facing and core sand contained in its composition an organic binder, which was the Super Eco R alkaline phenolic resin, while backing sand contained an alkali geopolymer binder called Rudal A.

The sand mixtures were prepared in batch type wing mixers.

Tests were conducted using newly developed pattern equipment. The results of the tests and trials enabled optimising the technology of casting production in different sectors of the casting stand, i.e. to synchronise the following technological operations: preparation of moulding and core sands, making moulds and cores, pouring of castings, cooling of castings and knocking out.

The test moulds and cores for pilot castings were made from the following sands:

- facing and core sand with an alkaline organic binder - Super Eko R,
- backing sand with an inorganic geopolymer binder – RUDAL A.

Studies to select the best composition of the facing and backing moulding sand and of the core sand were carried out on the following materials:

- silica sand from Grudzień Las
 - main fraction 0,40/0,32/0,20 - 91,31%
 - dust fraction content (< 0,100 mm) - 0,36%
 - clay content < 0,2%
 - sintering point > 1 350°C
 - moisture content - 0,03%
 - pH - 6,70
 - specific surface area - 6,02 m²/kg
- RUDAL A binder
 - sodium silicate content (Na₂O + SiO₂) - 40 ÷ 46%
 - pH 12,5 ÷ 13,5
- SUPER EKO R binder
 - viscosity at 20°C – 170 ÷ 320 [cP]
 - density at 20°C - 1,280 - 1.330 [g/cm³]

The composition of the facing and core sand was as follows (in parts by weight):

- silica sand from Grudzień Las - 100
- Super Eko R binder - 2
- hardening with CO₂ - 15 sec

The sand properties were as follows:

- compression strength (measured after 1h, 3h and 24h of hardening)
 - Rc1h 1,2 ÷ 1,35 MPa

- Rc3h 1,45 ÷ 1,7 MPa
- Rc24h 2,0 ÷ 2,55 MPa

— bending strength

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

— permeability after 24 h

- PS24h > 600 m²/Pa·S

The composition of the backing sand was as follows (in parts by weight):

- silica sand from Grudzień Las - 100
- Rudal A binder - 2,5 ÷ 3,0
- hardening with CO₂ - 15 sec

The sand properties were as follows:

— compression strength

- Rc1h 0,75 ÷ 1,15 MPa
- Rc3h 1,1 ÷ 1,4 MPa
- Rc24h 1,7 ÷ 1,95 MPa

— permeability after 24h

- PS24h > 550 m²/Pa·S

3.2. Mould making

Moulds for pilot castings were made from the facing sand with a Super Eco R organic binder and from the backing sand with a Rudal A inorganic geopolymer binder. Like facing sand, the core sand was also prepared with a Super Eco R binder.

Moulds and cores were compacted manually with rammers. Hardening of moulds and cores was performed by blowing them with carbon dioxide for 30 ~ 90 seconds, depending on the mould size. Patterns were withdrawn from moulds after the sand hardening. The quality of moulds and cores was good. After the lapse of 4 to 6 hours from the moulding operation, both moulds and cores were coated with protective coatings based on alcohol.

After thorough mixing, the protective coatings were applied with brush. Cores were placed in moulds and moulds were assembled when totally cooled from the operation of firing the protective coating. In justified cases, to ensure proper feeding of casting and to reduce the amount of liquid metal necessary for one cast element, risers in exothermic sleeves were used. Exothermic sleeves of the trade names Volmix T EXP-AXT and Volumix M FXM-AXM were made by Jodovit Chemical Group. Risers were not used when castings of similar wall thickness and free from the hot spots were made. The high rigidity of moulds made from the implemented sands enabled using the self-feeding technique, but then it was necessary to strictly observe the recommended technological regime in respect of:

- chemical composition of metal,
- pouring temperature,
- mould making technology,
- metal processing technology.

The technique of self-feeding was applied in the manufacture of the aforementioned pilot castings.

Moulds for these castings were assembled in the moulding shop and poured with molten iron in 9 – 10 hours after moulding.

3.3. Melting of cast iron and pouring of moulds

The cast iron had the following composition:

Ductile iron EN – GJS – 400 – 15

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

From the test ingots, specimens for mechanical testing were prepared by machining; polished sections were also made for structure examinations.

The mechanical properties of EN – GJS – 400 – 15 cast iron were as follows:

· Rm	480 – 535 MPa
· Re	360 – 389 MPa
· A5	14,8 – 16,8 %

The ready casting of a base is shown in Figure 4.



Fig. 4. Casting of the base weighing 102 kg. GJS 400-15

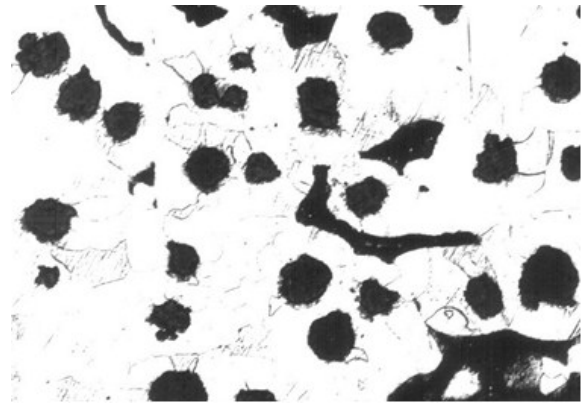


Fig. 5. Cast iron of EN-GJS-400-15 grade. Ferritic structure with small amount of pearlite P6, etched with Mi 1 Fe, 100x

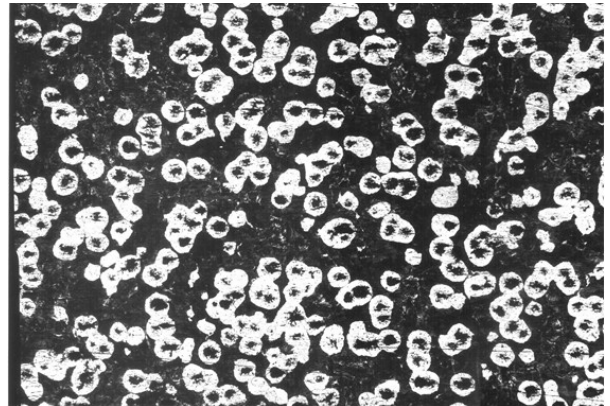


Fig.6. Cast iron of EN-GJS 500-7 grade. Pearlitic-ferritic structure P70, etched with Mi1Fe. 100x

4. Conclusions

The technological tests of making responsible ductile iron castings in layer moulds from sands with alkaline binders and studies of the properties of cast materials and ready castings fully confirmed the validity of the adopted concept and technology.

Using two types of sand for the manufacture of moulds and cores, i.e.:

- core and facing sand with a Super Eco R phenolic resin, and
 - backing sand with a Rudal A geopolymer binder
- contributed to an improvement of the casting quality and considerably facilitated the production process due to:
- better knocking out properties of the sand,
 - less strenuous work with the casting cleaning and finishing,
 - reduced waste owing to a simplified sand reclamation process.

The new technology has allowed the commercial production of new materials and casting types not manufactured so far by this Foundry.

At the same time, as a result of the new technology being implemented to production, other benefits followed to mention only:

- reduced level of rejects
- reduced level of molten metal consumption due to the use of risers with exothermic sleeves.

The technology of layer moulds used by HARDTOP Foundry has greatly contributed to raising the technical level of the foundry and increasing its competitiveness against other manufacturers of castings.

References

- [1] Fraś E., Podrzucki Cz. – Żeliwo modyfikowane. Skrypt uczelniany AGH. Kraków, 1978r
- [2] Karsay Stephen I - Żeliwo sferoidalne i wytwarzanie – tłumaczenie wydania polskiego M.Kaczorowski - Warszawa 2000 r.
- [3] Piaskowski J.- Żeliwo sferoidalne – Poradnik dla odlewnika. Wydanie Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, 1986r
- [4] Sorelmetal: o żelwie sferoidalnym
- [5] Tabor A., Rączka J. – Odlewnictwo. FOTOBIT. Kraków, 1996r.
- [6] Lewandowski L. – Masy formierskie i rdzeniowe. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1991r
- [7] Gwizdź A., Pysz S., Dworak P.: MAGMAsoft simulation applied in verification of technology to produce new range alloy steel castings. Archives of Foundry Engineering. Vol.

10, Issue 3, July-September 2010. Polish Academy of Sciences. Katowice-Gliwice 2010.

- [8] Tabor A. – Odlewnictwo. Politechnika Krakowska. Kraków, 2007

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 klas 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 uproszczono 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 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.

Pole zarezerwowane dla komitetu redakcyjnego, proszę pozostawić puste

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

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

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

^b Odlewnia Hardtop, Charsznica, Polska

^c Odlewnia Hardtop, Charsznica, Polska

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

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 2.07.2012

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 klas 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 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, wybierania 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 żużlem, 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 w żeliwie 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 odejmowaną 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 sypkich 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 niewystarczająca 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 osypliwość masy powodowała zagrożenie powstawania w odlewach wad w postaci zaproszeń. 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 osypliwości 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 (wysokie 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 MAGMALRON [7].

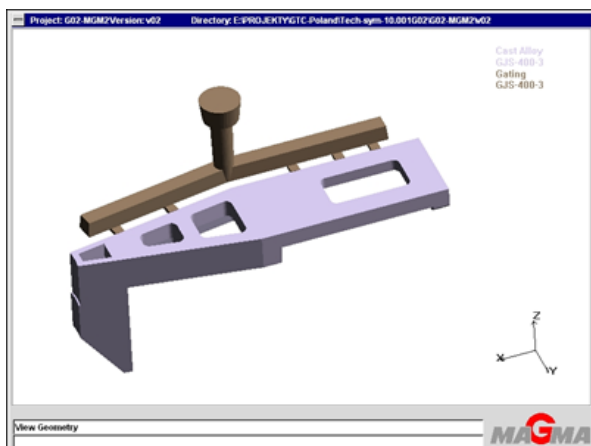
Przeprowadzono analizę krzepnięcia i stygnięcia odlewu żeliwnego z uwzględnieniem zjawisk zachodzących na poziomie mikrostruktury oraz analizę procesu przechodzenia z fazy ciekłej w fazę stałą poprzez zarodkowanie i wydzielanie się pierwotnego austenitu oraz fazy eutektycznej jako mieszaniny perlitu 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.

Tabela nr 1



Rys. 1. Technologia odlewania odlewu podstawy stacji

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

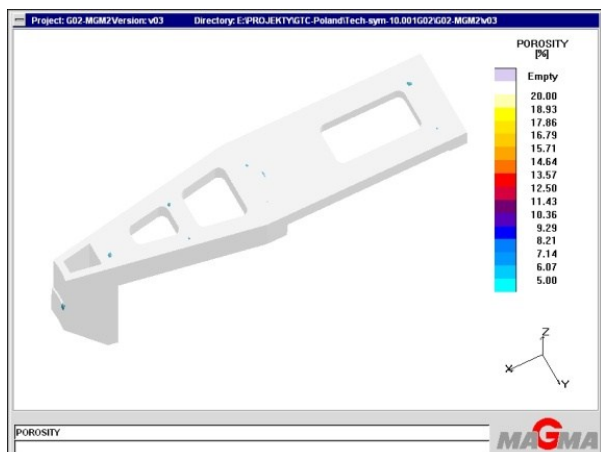
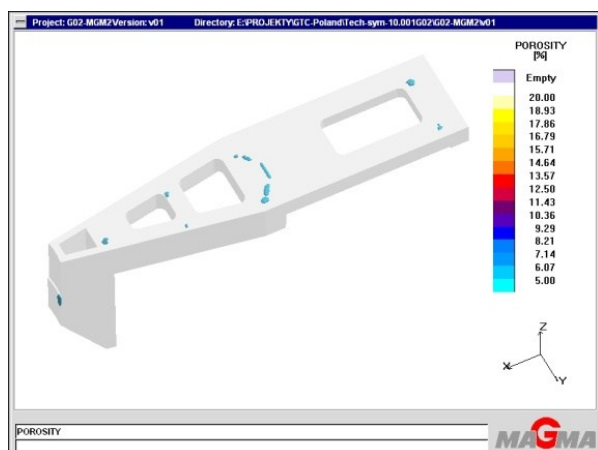
Żeliwo – GJS400-15

Temp. zalewania – 1310°C

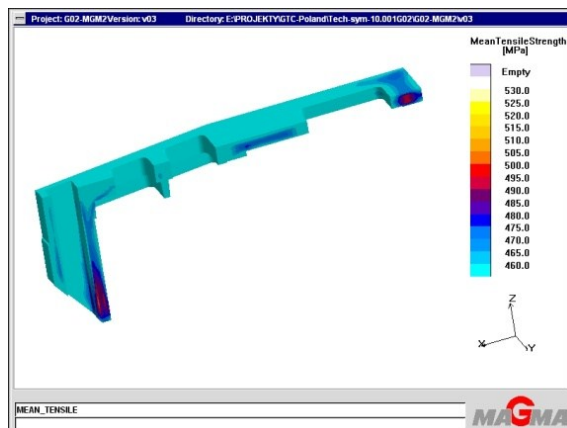
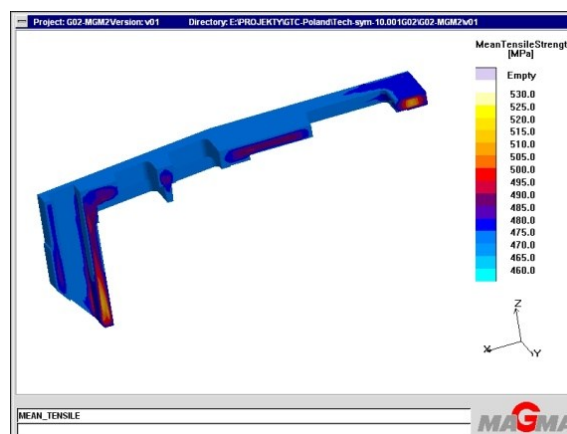
Ilość zarodków aktywnych – 100 %

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

Proces modyfikacji – dobry



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



Rys. 3 Rozkład 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, natomiast 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 lepszysza < 0,2%
 - temperatura spiekania > 1 350oC
 - 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 20oC – 170 ÷ 320 [cP]
 - gęstość w 20oC - 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 był następujących (w częściach wagowych):

- 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

3.2. 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.

Formy i rdzenie zagęszczono ręcznie ubijakami. Utwardzanie form i rdzeni 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 nanoszono powłokę ochronną alkoholową.

Powłokę ochronną nanoszono pędzlem po dokładnym jej wymieszaniu. Rdzenie zakładano 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 nadlewki 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, nadlewki 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 powierzchni formierni i zalano ciekłym żeliwem po upływie 9 – 10 godzin od momentu zaformowania.

3.3. Topienie żeliwa i zalewanie form

Skład wytapianego żeliwa był następujący:

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

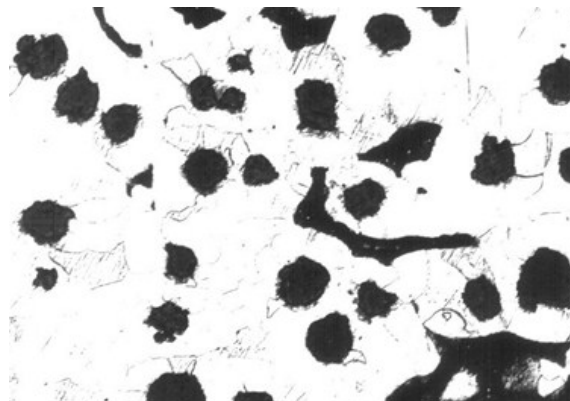
Właściwości mechaniczne żeliwa EN – GJS – 400 – 15 były następujące:

· Rm	480 – 535 MPa
· Re	360 – 389 MPa
· A5	14,8 – 16,8 %

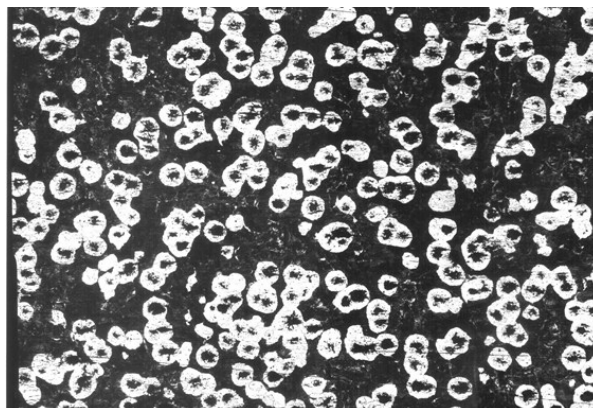
Wykonany odlew podstawy stacji przedstawiony jest na rys.4.



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



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 wybijałości 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.

Literatura

- [1] Fraś E., Podrzucki Cz. – Żeliwo modyfikowane. Skrypt uczelniany AGH. Kraków, 1978r
- [2] Karsay Stephen I - Żeliwo sferoidalne i wytwarzanie – tłumaczenie wydania polskiego M.Kaczorowski - Warszawa 2000 r.
- [3] Piaskowski J.- Żeliwo sferoidalne – Poradnik dla odlewnika. Wydanie Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, 1986r
- [4] Sorelmetal: o żelwie sferoidalnym
- [5] Tabor A., Rączka J. – Odlewnictwo. FOTOBIT. Kraków, 1996r.
- [6] Lewandowski L. – Masy formierskie i rdzeniowe. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1991r
- [7] Gwiżdż A., Pysz S., Dworak P.: MAGMASoft simulation applied in verification of technology to produce new range

alloy steel castings. Archive of Foundry Engineering. Vol. 10, Issue 3, July-september 2010. Polish Academy of Sciences. Katowice-Gliwice 2010.

- [8] Tabor A. – Odlewnictwo. Politechnika Krakowska. Kraków, 2007

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%.