

**PROGNOZOWANIE WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI CIENKOŚCIENNYCH ODLEWÓW
CZASZ Z ŻELIWA SFEROIDALNEGO NA DRODZE BADAŃ SYMULACYJNYCH**

**SIMULATION TESTS TO FORECAST SELECTED PROPERTIES OF THIN-WALLED
CASTS OF DUCTILE IRON DOMES**

Mieczysław Kuder¹⁾, Stanisław Pysz²⁾

¹⁾ Instytut Odlewnictwa, Zakład Stopów Żelaza, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków,

²⁾ Instytut Odlewnictwa, Centrum Projektowania i Prototypowania, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków,

¹⁾ Foundry Research Institute, Department of Ferrous Alloys, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków,

²⁾ Foundry Research Institute, Design and Prototyping Center, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

E-mail: mieczyslaw.kuder@iod.krakow.pl

Streszczenie

Badaniom symulacyjnym poddano cienkościenne odlewy czasz (półkul) o grubości ścianki 4,2 i 10,3 mm z żeliwa sferoidalnego, w zakresie prognozowania skłonności do tworzenia naprężeń wewnętrznych, wad odlewniczych, kształtowania struktury i właściwości wytrzymałościowych stopu w ściankach odlewów. Celem było określenie czy właściwości wykonanych odlewów pozwolą na wykonanie kolejnych operacji produkcyjnych, a szczególnie pokrycie powierzchni warstwą gumy metodą wulkanizacji pod wysokimi naciskami prasy hydraulicznej. Stwierdzono, że przy zastosowaniu opracowanej technologii, zagrożenie pojawieniem się wad w odlewach jest niewielkie, a właściwości wytrzymałościowe są wystarczające dla bezpiecznego przeprowadzenia dalszych operacji produkcyjnych.

Słowa kluczowe: badania symulacyjne, żeliwo sferoidalne, krzepnięcie, struktura, wytrzymałość

Abstract

Thin-walled dome casts (hemispheres) with a wall thickness of 4.2 and 10.3 mm made of ductile iron underwent simulation tests within the frame of forecasting the tendency to create residual stresses, casting defects, the shaping of structures and strength properties of alloy in the walls of casts. The aim was to determine whether properties of casts would allow further production procedures and especially coating the surface with rubber by the method of high pressure rubber curing. It was stated that with the use of the developed technology the threat of possible defects in casts is insignificant and strength properties are sufficient to safely conduct further production operations.

Keywords: simulation tests, ductile iron, solidification, structure, strength

Wprowadzenie

Realizowana w Zakładzie Armatury JAFAR SA, modernizacja typoszeregu kulowych zaworów zwrotnych, o zakresie średnic nominalnych od DN125 do DN300 mm ma na celu obniżenie masy, oporów przepływu i podwyższenie trwałości zaworów. Efekt obniżenia oporów przepływu ma zostać osiągnięty między innymi przez zmniejszenie gęstości kul zamykających od wartości $\rho = 1,66 \text{ kg/dm}^3$ obecnie stosowanej, do wartości $1,20 \text{ kg/dm}^3$ przez redukcję grubości ścianek odlewanych czasz, stanowiących ich podstawowe elementy. Wykonane badania symulacyjne naprężeń

Introduction

The targeted project was conducted at Fabryka Armatur JAFAR SA to modernise the range of ductile iron reflux valves, within the range of nominal diameters from DN125 to DN300 mm aims at lowering mass, flow resistance and at improving the durability of valves. The effect of lowering the resistance of flow is supposed to be achieved, among other things, by decreasing the density of sealing balls from the present value $\rho = 1.66 \text{ kg/dm}^3$ to 1.20 kg/dm^3 by reducing the thickness of walls in the cast domes, which constitute their basic elements. The simulation

i odkształceń w ściankach kul zamykających w trakcie procesu wulkanizacji zewnętrznej warstwy gumowej pod wysokimi naciskami prasy hydraulicznej wykazały, że w przypadku kuli DN125 naprężenia w okolicach zamka łączącego dwie czasze osiągają wartości zbliżone do granicy plastyczności, określonej w normie materiałowej dla gatunku EN-GJS-400-15 na poziomie 250 MPa [1]. Żeliwo sferoidalne jest materiałem czułym na szybkość krzepnięcia i stygnięcia. W przypadku cienkościennych odlewów, szybkie obniżenie temperatury ścianki skutkuje zwiększonym udziałem perlitu w strukturze, rozdrobnieniem ziaren osnowy i wydzieleniu grafitu [2–5]. Wynikiem jest wzrost twardości i wytrzymałości tworzywa, w tym granicy plastyczności. Dla oceny wpływu powyższego efektu na wzrost bezpieczeństwa prowadzenia kolejnych etapów produkcji, w tym wykonania zamka łączącego obie czasze na drodze obróbki mechanicznej i procesu wulkanizacji zewnętrznej warstwy gumowej, a zatem i wykonalności całego zadania, przeprowadzono badania symulacyjne kształtowania się istotnych właściwości dwóch wielkości odlewów czasz – dla najmniejszych (DN125) i największych (DN300) zaworów z typoszeregu przewidzianego do modernizacji. Dodatkowym zadaniem jest sprawdzenie, czy opracowane technologie odlewnicze zapewniają uzyskanie zdrowych odlewów bez wad odlewniczych pochodzenia skurczowego, gazowego (wynikających z zasysania gazów), zapiaszczeń czy zażużeń (wynikających z przegrzewania miejscowego formy).

Cel i zakres badań

Celem badań było określenie (prognozowanie) właściwości cienkościennych czasz kul z żeliwa sferoidalnego, wykonanych w oparciu o opracowane technologie. Do realizacji ww. zadania zostały wykorzystane programy komputerowe MAGMASOFT®, a szczególnie moduły MAGMAiron® oraz MAGMAstress®. W zakresie prognozowania brano pod uwagę następujące zagadnienia:

- równomierność wypełniania formy metalem,
- kształtowanie struktury stopu podczas krzepnięcia i stygnięcia odlewu,
- możliwość wystąpienia wad typu skurczowego (porowatości),
- właściwości mechaniczne (wytrzymałość, plastyczność, twardość),
- naprężenia odlewnicze i możliwość wystąpienia odkształceń plastycznych lub pęknięć.

Realizacja badań symulacyjnych

Wstępnie określono warunki konstrukcyjne niezbędne do otrzymania zakładanej gęstości kul ρ równej 1,20 kg/dm³. Przy założeniu niezmienniej grubości warstwy (6 mm) gumy wulkanizowanej na

tests measuring stresses and deformations in walls of sealing balls conducted during the process of high pressure rubber curing with an external rubber layer proved that in case of the DN125 ball stresses in the area of the coupling lock between two domes achieve values similar to the yield point, which is defined in the material standard for EN-GJS-400-15 grade at the level of 250 MPa [1]. Ductile iron is a material sensitive to the rate of solidification and cooling. In relation to thin-walled casts, a quick decrease in wall temperature results in an increased participation of perlite in the structure, fragmentation of matrix grains and graphite precipitations [2–5]. The result is an increase in hardness and strength, including the yield point. In order to assess the impact of the above-mentioned effect on the increase of safety of further production stages, including the execution of lock coupling both domes by mechanical treatment and rubber curing with an external rubber layer and consequently the feasibility of the whole task, simulation tests of shaping fundamental properties for two dimensions of dome casts were conducted for the smallest (DN125) and the largest (DN300) valves from the range predicted for modernisation. An additional task is to check whether the developed casting technologies allow achieving sound casts without shrinkage casting defects, gaseous defects (resulting from gas suction), sand and slug inclusions (resulting from spot overheating of the cast).

The aim and the scope of the research

The aim of the research was to determine (forecast) properties of thin-walled domes of balls made of ductile iron in accordance with the developed technologies. In order to execute the above-mentioned tasks, computer software MAGMASOFT®, and especially modules MAGMAiron® and MAGMAstress® were utilised. Within the scope of the forecast the following issues were taken into account:

- equal filling of the mould with metal,
- the shaping of alloy structure during solidification and cooling of the cast
- the possibility of shrinkage defects (porosity)
- mechanical properties (strength, plasticity, hardness)
- casting stresses and possibilities of plasticity deformations or cracks.

The execution of simulation tests

The pre-specified design conditions which are necessary to achieve the assumed density of balls $\rho = 1.20 \text{ kg/dm}^3$ were initially defined. With the assumption of constant thickness of rubber on the surface, the

ich powierzchni, grubość ścianek czasz żeliwnych winna wynieść odpowiednio dla poszczególnych wielkości: od 4,2 mm (dla DN125) do 10,3 mm (dla DN300). Założono wykonanie zmodyfikowanych czasz wyłącznie z żeliwa sferoidalnego gatunku EN-GJS-400-15 wg PN-EN 1563:2000 (GGG 40 wg DIN 1693). Typowy skład chemiczny oraz minimalne właściwości wytrzymałościowe wymagane Polską Normą dla tego gatunku, określone na oddzielnie odlanym wlewkę próbnym o grubości 25 mm zamieszczono w tabeli 1.

thickness of walls of cast iron domes should be from 4.2 mm (for DN125) to 10.3 mm (for DN300) respectively. The assumption was to make modified domes exclusively from ductile iron grade EN-GJS-400-15 according to PN-EN 1563:2000 standard (GGG 40 according to DIN 1693). Table 1 presents a typical chemical composition and minimal strength properties required by the Polish Standard for this grade, which were determined on a separate cast test ingot with 25 mm thickness.

Tabela 1. Podstawowy skład chemiczny i właściwości wytrzymałościowe żeliwa sferoidalnego EN-GJS-400-15

Table 1. Basic chemical composition and strength properties of ductile iron EN-GJS-400-15

Zawartość podstawowych składników, % wag. / Content of basic elements, wt. %						Właściwości wytrzymałościowe / Strength properties		
C	Si	Mn	P	S	Mg	R _m , MPa	R _{p0,2} , MPa	A, %
3,5–3,8	2,5–2,8	max. 0,15	max. 0,05	max. 0,02	0,045	min. 400	min. 250	min. 15

Odlewy doświadczalne zostaną wykonane na nowo uruchomionej, automatycznej linii formowania bezskrzynkowego, z układem wlewowym zaopatrzonym w piankowy filtr ceramiczny, co ma gwarantować wysoką jakość powierzchni, dokładność wymiarową odlewów i czystość metalu. Poniżej przedstawiono wyniki badań symulacyjnych dwu wielkości czasz – do zaworów o wielkościach nominalnych DN125 i DN300 mm.

Test casts will be made on a newly launched automatic flaskless moulding line with a gating system coupled with a ceramic foam filter, which is supposed to guarantee a high quality surface, dimensional precision of casts and purity of metal. In the following section are presented the results of simulation tests for two dimensions of domes – for valves with nominal dimensions DN125 and DN300 mm.

Symulacje komputerowe odlewów czaszy DN125

Parametry wyjściowe:

- masa odlewu: 1,0 kg
- grubość ścianki: 4,2 mm
- ilość odlewów w formie: 6
- masa odlewów wraz z układem wlewowym: 11,5 kg
- czas zalewania: 6 s
- temperatura zalewania: 1380°C.

Computer-aided simulations of DN125 dome casts

Initial parameters:

- mass of cast: 1.0 kg
- wall thickness: 4.2 mm
- number of casts in a mould: 6
- mass of casts with the gating system: 11.5 kg
- pouring time: 6 s
- pouring temperature: 1380°C.



Castex DN 125_MCM0403
Geometry



Rys. 1. Rysunek odlewów czaszy DN125 z układem wlewowym

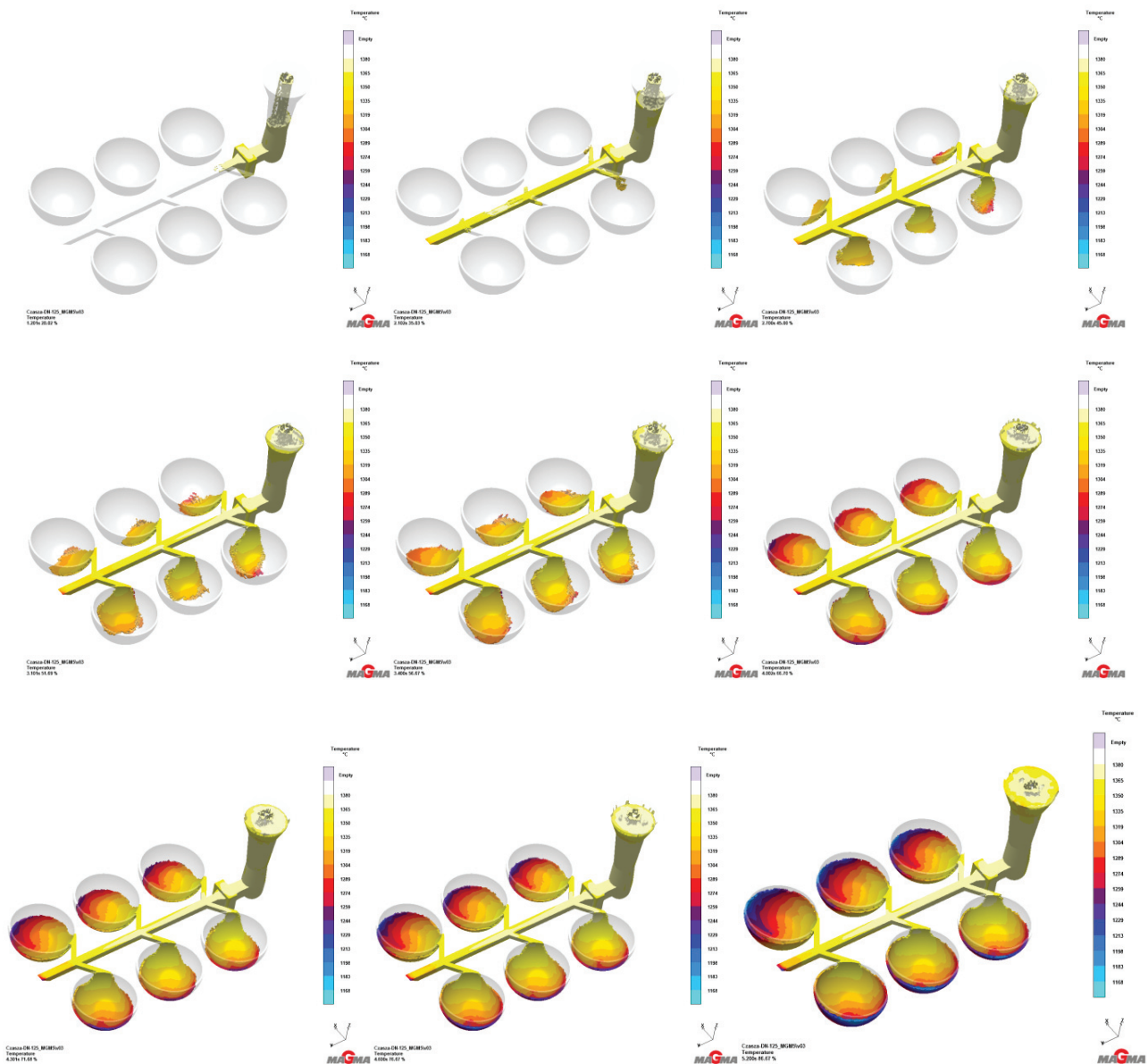
Fig. 1. Drawing of casts of DN125 domes with the gating system

Widok zestawu odlewów z układem wlewowym, wykorzystany do wykonania badań symulacyjnych zalewania i krzepnięcia czasz DN125, pokazano na rysunku 1.

Zalewanie. Przyjęty czas zalewania 6 sekund pozwala na spokojne i równomierne wypełnienie wnętrza formy. Symulacja zalewania pozwoliła na stwierdzenie, że wszystkie odlewy czasz, niezależnie od odległości od wlewu głównego, są zalewane w tym samym czasie, co gwarantuje dość równomierny rozkład temperatury we wszystkich odlewach (rys. 2). Nieco niższa temperatura w odlewach trzeciego rzędu odlewów czasz nie powinna stanowić zagrożenia powstaniem wad ciągłości materiału lub znaczących naprężeń.

The view of the set of casts with the gating system used for simulation tests of DN125 dome casting and solidification is presented in Figure 1.

Pouring. The assumed pouring time of 6 seconds allows steady and equal filling of the mould cavity. The simulation of pouring allowed the assertion that all casts of domes, regardless of the distance from the pouring gate, are cast at the same time, which guarantees an equal temperature distribution in all casts (Fig. 2). A slightly lower temperature in casts of the third row of domes should not result in defects of material continuity or significant stresses.

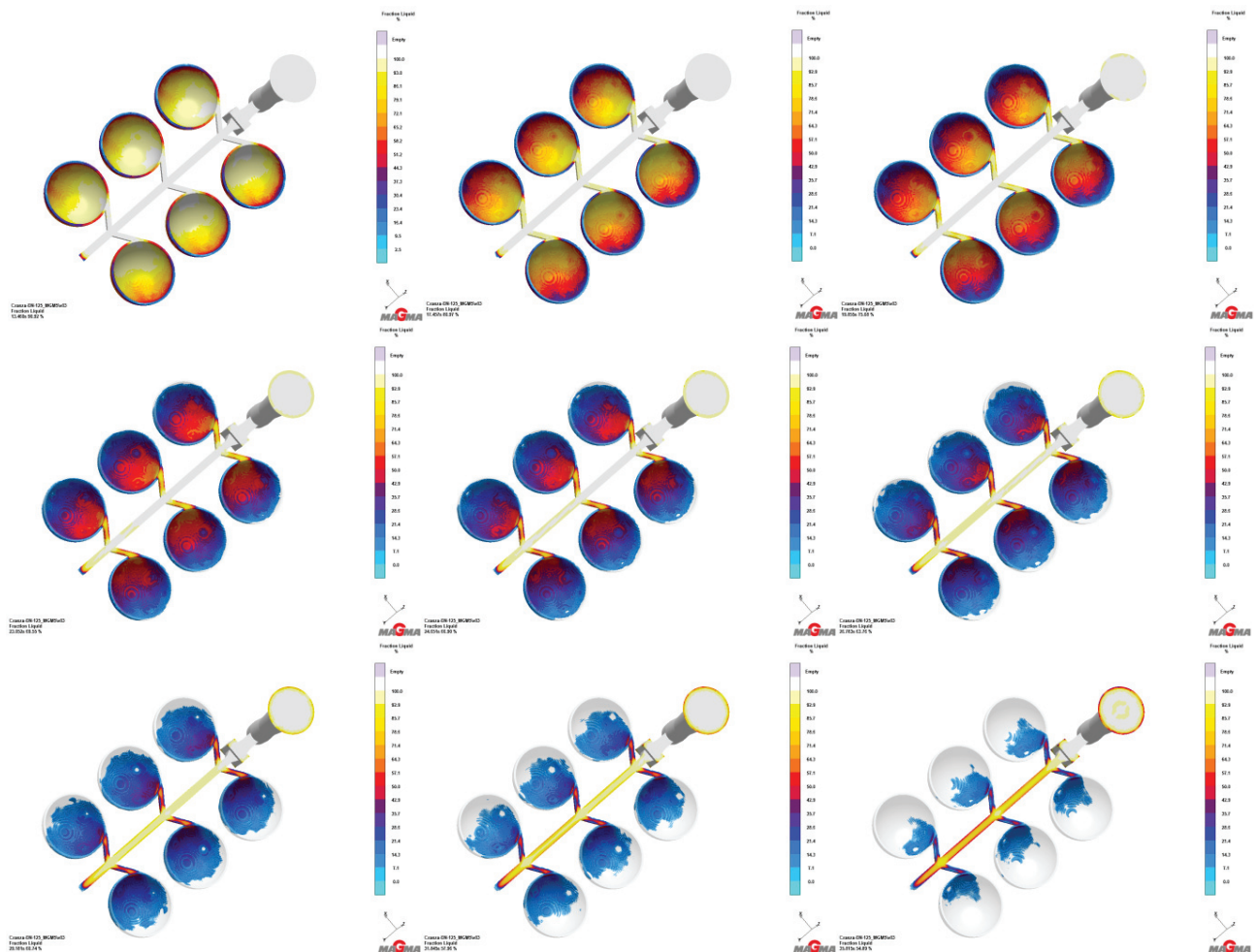


Rys. 2. Kolejne fazy zalewania odlewu czaszy DN125

Fig. 2. Successive phases of DN125 dome casting

Krzepnięcie. Na kolejnych slajdach przedstawionych na rysunku 3 widać, iż wszystkie odlewy krzepną równocześnie. Front krystalizacji w każdym odlewie przemieszcza się od zewnętrznych rejonów czaszy w stronę wlewu doprowadzającego i belki wlewowej, które równocześnie stanowią układ zasilający. Występująca kierunkowość krzepnięcia pozwala na zasilenie ostatnich porcji krzepnącego metalu, który znajduje się w obszarze połączenia wlewu doprowadzającego z odlewem. W konsekwencji odlewy nie wykazują znaczącej porowatości (rys. 4) i nieciągłości w swojej strukturze, mogących osłabić połączenie dwu czasz, podlegające podczas operacji wulkanizacji maksymalnym naprężeniom.

Solidification. From the following slides presented in Figure 3 it can be seen that all casts solidify at the same time. The crystallisation front in each cast moves from the external areas of domes in the direction of the ingate and the cross-gate, which simultaneously constitute the supply system. This directional solidification allows feeding the last batches of solidifying metal which is located between the ingate and the cast. As a consequence, casts do not show significant porosity (Fig. 4) and discontinuity on their surfaces, which might weaken the coupling between the two domes, which is subjected to maximum stresses during the process of rubber curing.



Rys. 3. Kolejne fazy krzepnięcia odlewu czaszy DN125
Fig. 3. Successive phases of DN125 dome solidification

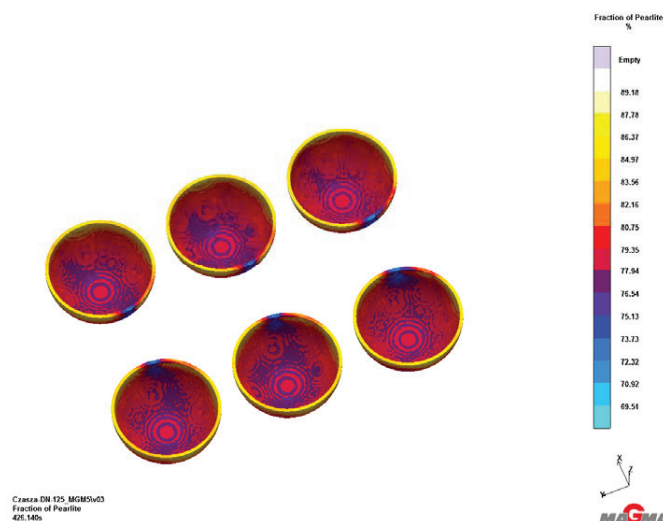


Rys. 4. Rozkład porowatości w odlewach czaszy DN125

Fig. 4. Porosity distribution in DN125 dome casts

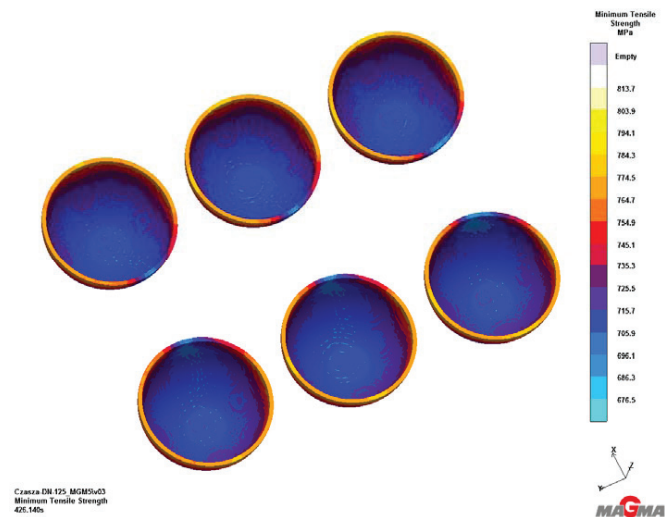
Właściwości. Na rysunku 5 przedstawiono symulację rozkładu perlitu w odlewach. Odlew czaszy DN125, który charakteryzuje się bardzo cienką ścianką, wynoszącą 4,2 mm, w przeważającym obszarze będzie posiadał strukturę perlityczną, o udziale tego składnika w granicach od 80% do 95%. Rzutuje to na końcowe właściwości tworzywa, w tym wytrzymałość, która może osiągnąć 750 MPa, twardość do 300 HB oraz wydłużenie około 2% (rys. 6–8).

Properties. In Figure 5 presents the simulation of pearlite distribution in casts. The cast of DN125 dome, which is characterised by a very thin wall, which equals 4.2 mm, will have a pearlitic structure in the predominating area, with the share of pearlite within the range from 80% to 95%. It has a direct effect on final properties of the material, including strength which can reach 750 MPa, hardness up to 300 HB and elongation approx. 2% (Figs. 6–8).

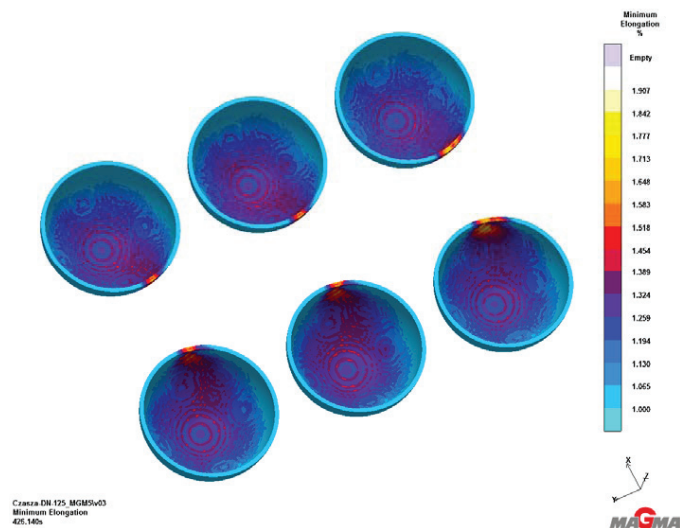


Rys. 5. Rozkład perlitu w odlewach czaszy DN125 po wybiciu z formy

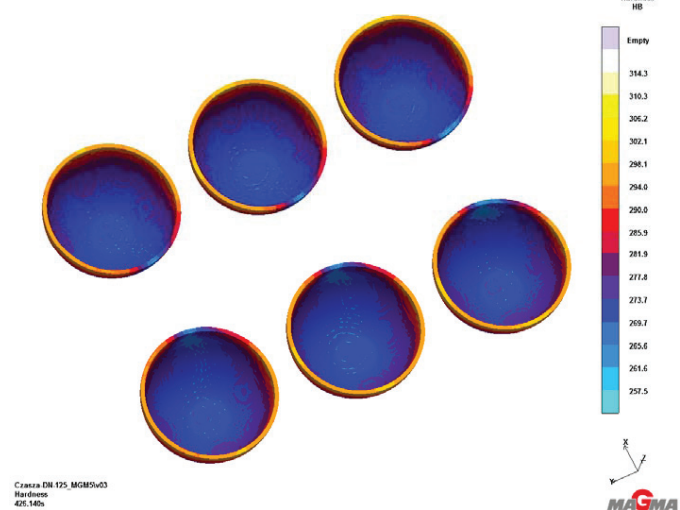
Fig. 5. Pearlite distribution in DN125 dome casts after removing from the mould



Rys. 6. Minimalna wytrzymałość na rozciąganie odlewów czasy DN125 po wybiciu z formy
Fig. 6. Minimum tensile strength of DN125 dome casts after removing from the mould



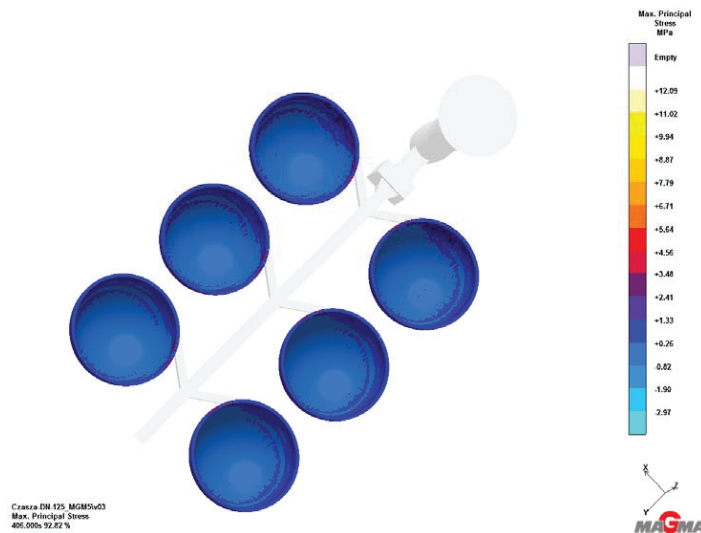
Rys. 7. Minimalne wartości wydłużenia odlewów czasy DN125 po wybiciu z formy
Fig. 7. Minimum elongation values of DN125 dome casts after removing from the mould



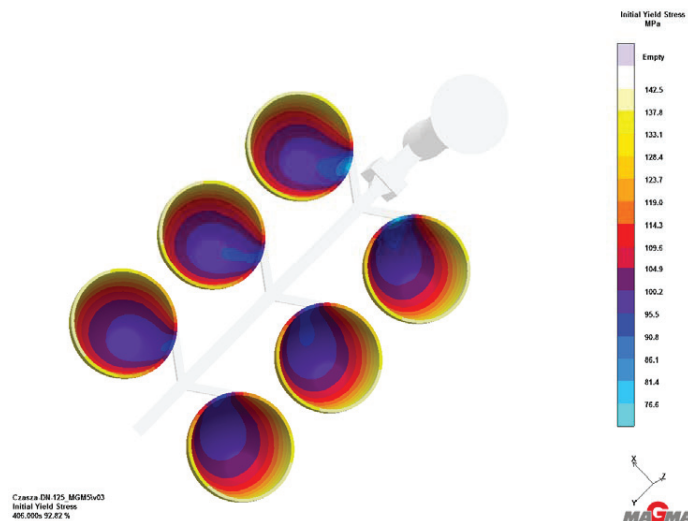
Rys. 8. Twardość odlewów czasy DN125 po wybiciu z formy
Fig. 8. Hardness of DN125 dome casts after removing from the mould

Naprężenia. Podczas krzepnięcia i stygnięcia odlewów w formie nie obserwuje się występowania dużych naprężeń własnych. Naprężenia te nie przekraczają granicy plastyczności w zakresie kruchości wysokotemperaturowej (rys. 9 i 10). Nie istnieje zatem zagrożenie wystąpienia pęknięć na gorąco. Jest to spowodowane niewielkimi rozmiarami pojedynczego odlewu oraz jego ukształtowaniem, które nie powoduje nadmiernego hamowania skurczu.

Stresses. During solidification and cooling of casts in the mould we do not observe the occurrence of residual stresses. These stresses do not exceed the yield point within the range of high temperature brittleness (Figs. 9 and 10). Hence, there is no threat of possible hot cracking. It results from small dimensions of a single cast and its shaping which does not cause excessively hindered shrinkage.



Rys. 9. Maksymalne naprężenia główne w odlewach czaszy DN125 po zakrzepnięciu, w szóstej minucie stygnięcia
Fig. 9. Maximum principal stress of DN125 dome casts after solidification at the 6th minute of cooling



Rys. 10. Granica plastyczności odlewów czaszy DN125 po zakrzepnięciu, w szóstej minucie stygnięcia
Fig. 10. Yield point of DN125 dome casts after solidification at the 6th minute of cooling

Symulacje komputerowe odlewów czaszy DN300

Parametry wyjściowe:

- masa odlewu: 13,3 kg
- grubość ścianki: 10,3 mm
- ilość odlewów w formie: 1
- masa odlewu wraz z układem: 17,5 kg
- czas zalewania: 12 s
- temperatura zalewania: 1350°C.

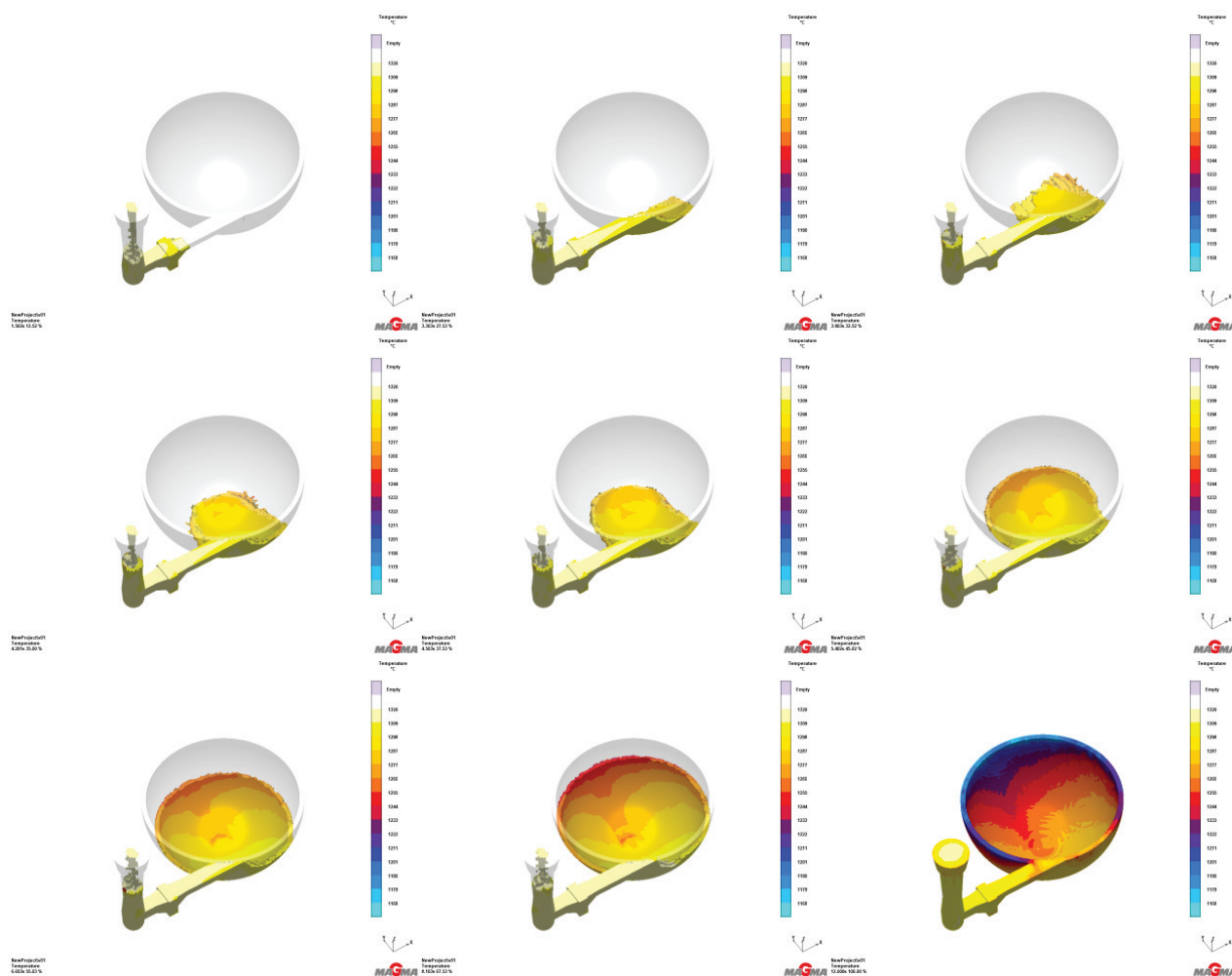
Zalewanie. Przyjęty czas zalewania 12 sekund pozwala na spokojne i równomierne wypełnienie wnętrza formy. Wydaje się jednak że optymalny czas zalewania powinien być mniejszy i wynosić około 9 sekund. Kolejne sekwencje przedstawione na rysunku 11 wskazują, że odlew po zalaniu ma dosyć równomierną temperaturę w całej swojej objętości. W najchłodniejszym miejscu, temperatura stopu jest wyższa niż temperatura likwidus i cały metal we wnętrzu formy pozostaje jeszcze przez pewien czas w stanie ciekłym. Wykluczona jest zatem możliwość powstania wad nieciągłości materiału w odlewie.

Computer-aided simulations of DN300 dome casts

Initial parameters:

- mass of cast: 13.3 kg
- wall thickness: 10.3 mm
- number of casts in a mould: 1
- mass of cast with the gating system: 17.5 kg
- pouring time: 12 s
- pouring temperature: 1350°C.

Pouring. The assumed pouring time of 12 seconds allows steady and equal filling of the mould cavity. However, it seems that the optimum pouring time should be shorter and should equal approx. 9 seconds. The successive phases presented in Figure 11 show that the cast after being filled with melt has an equal temperature in its total volume. At the coldest point the alloy temperature is higher than liquidus temperature and the whole melt in the mould cavity is still liquid for some time. That is why we exclude the possibility of creating discontinuity defects in the material and the cast.

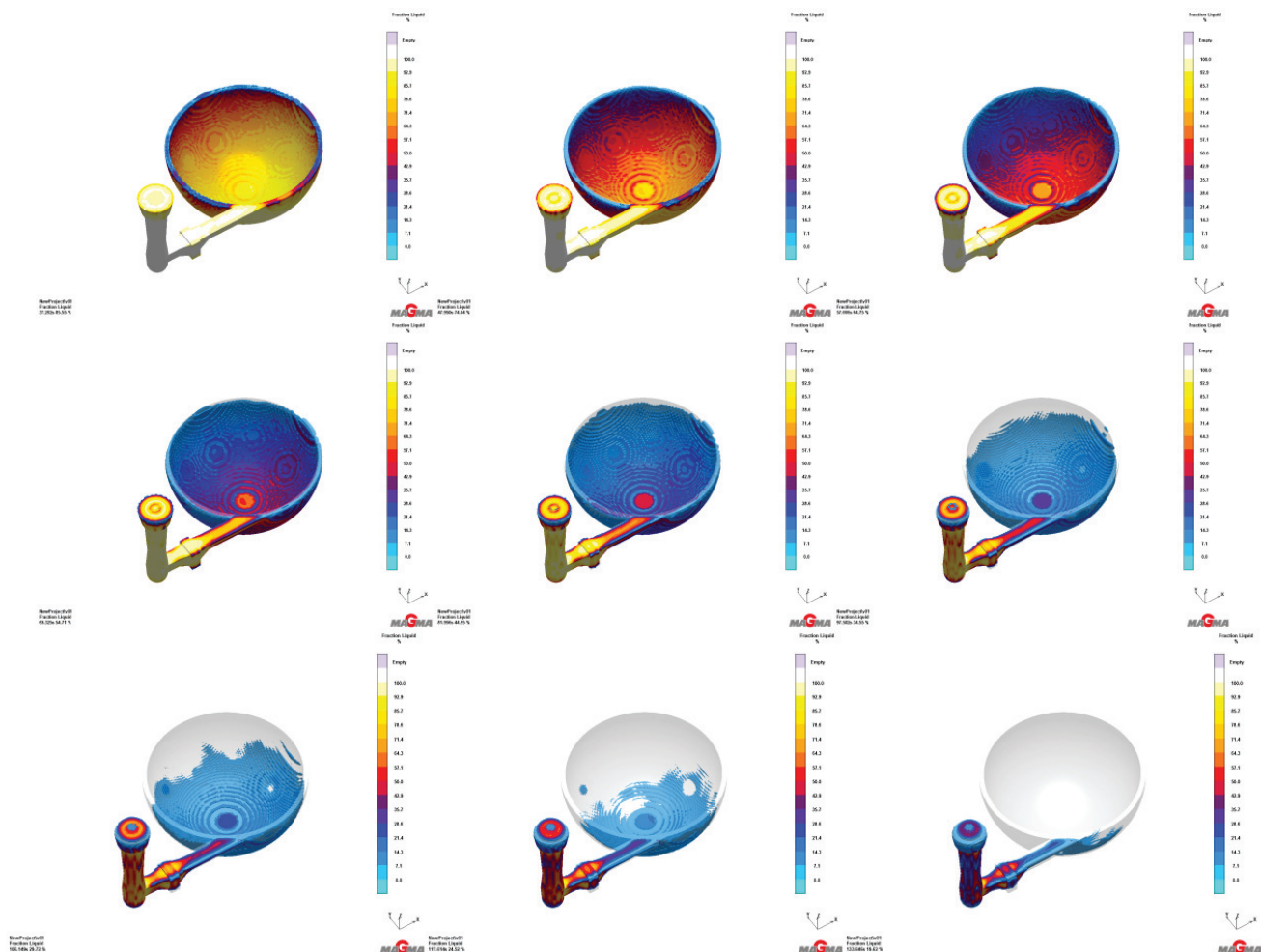


Rys. 11. Kolejne fazy zalewania odlewu czaszy DN300

Fig. 11. Successive phases of DN300 dome casting

Krzepnięcie. Na kolejnych slajdach przedstawionych na rysunku 12 widać, że odlew czaszy DN300 krzepnie kierunkowo. Krzepnięcie jest ukierunkowane w stronę wlewu doprowadzającego, co pozwala na zasilenie krzepnącego na końcu miejsca – które znajduje się w obszarze połączenia wlewu doprowadzającego – porcją metalu z układu wlewowego.

Solidification. In the following slides presented in Figure 12 it can be seen that DN300 dome casts solidify directionally. Solidification is directional which allows supplying the point, which solidifies at the end of the connection area with the ingate – metal portion of the gating system.

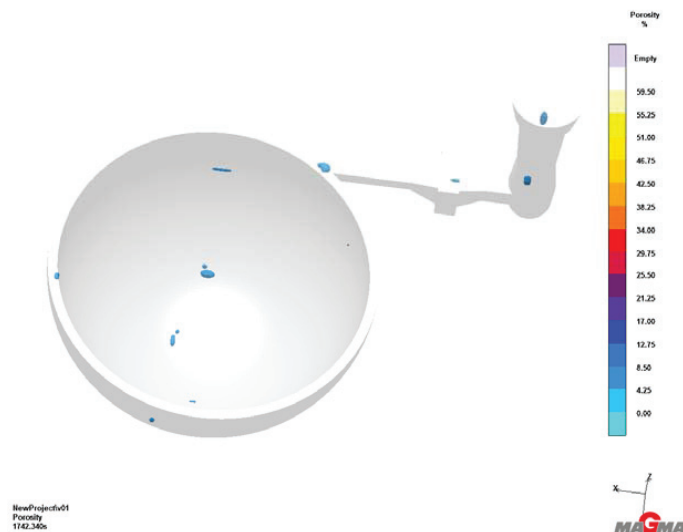


Rys. 12. Kolejne fazy krzepnięcia odlewu czaszy DN300

Fig. 12. Successive phases of DN300 dome solidification

Z symulacji procesu krzepnięcia wynika, iż istnieje zagrożenie pojawienia się wad typu skurczowego w odlewie, w tym również w miejscu doprowadzenia metalu do wnętrza formy. Dlatego zaleca się prowadzenie ultradźwiękowych badań defektoskopowych w tym miejscu i ewentualnie wprowadzenie korekty wymiarowej wlewu doprowadzającego. Na rysunku 13 przedstawiono miejsca, gdzie istnieje zagrożenie porowatością lub rzadziną; wartość około 4% świadczy, że jest niewielkie zagrożenie wystąpienia tej wady.

From the simulation of the solidification process it results that there is a threat of shrinkage defects in the cast, including also the place of supplying the metal to the mould cavity. That is why it is recommended to conduct ultrasonic defectoscopy at this point and possibly correct the dimensions of the ingate. Figure 13 presents points where there are threats of porosity or micro-shrinkage; the value of approx. 4% proves that the threat of such defects is slight.

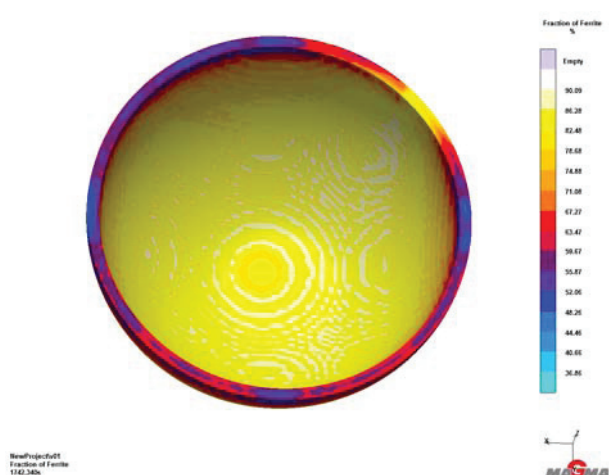


Rys. 13. Rozkład porowatości w odlewie czaszy DN300

Fig. 13. Porosity distribution in DN300 dome casts

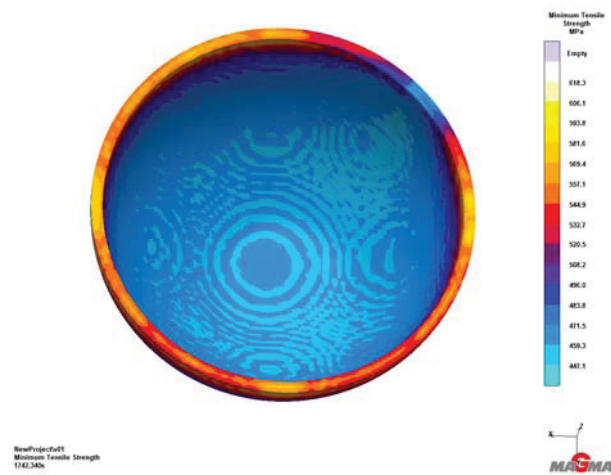
Właściwości. Odmienne niż w odlewach czaszy kuli DN125 struktura żeliwa czaszy DN300 jest ferrytyczno-perlityczna. Jest to spowodowane znacznie większą grubością ścianki, bo wynoszącą 10,3 mm i czułością tworzywa na szybkość krzepnięcia i stygnięcia odlewu. Na rysunku 14 przedstawiono prognozowany rozkład ferrytu i jego udział w odlewie, który wynosi od około 50% do 85%. Rzutuje to na końcowe właściwości, w tym wytrzymałość, której wartość kształtuje się w granicach od 450 MPa do 570 MPa (rys. 15), twardość, która wynosi około 175 HB (rys. 16), a wydłużenie zawiera się w granicach od 6% do 9% (rys. 17).

Properties. Unlike the DN125 dome casts the structure of ductile iron in DN300 domes is ferritic-pearlitic. It is caused by considerably higher density of the wall, which equals 10.3 mm and the sensibility of material to the rate of solidification and cooling. Figure 14 presents the forecast distribution of ferrite and its participation in the cast, which is from approx. 50% to 85%. It has an influence on the final properties, including strength, whose value is within the range from 450 MPa to 570 MPa (Fig. 15), hardness, which is approx. 175 HB (Fig. 16), and elongation which is within the range from 6% to 9% (Fig. 17).



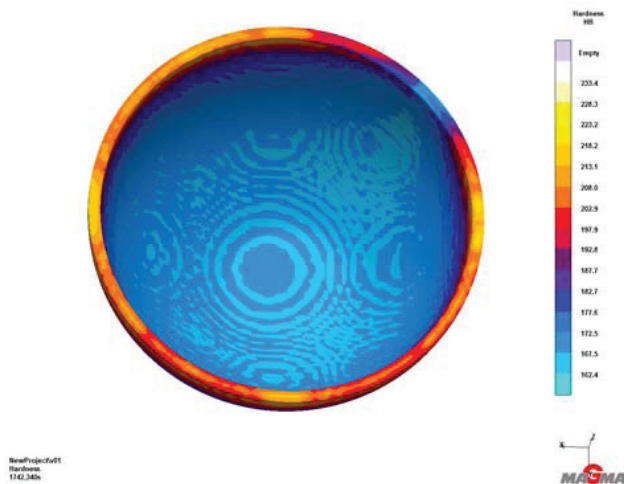
Rys. 14. Rozkład ferrytu w odlewie czaszy DN300 po wybiciu z formy

Fig. 14. Ferrite distribution in DN300 dome cast after removing from the mould



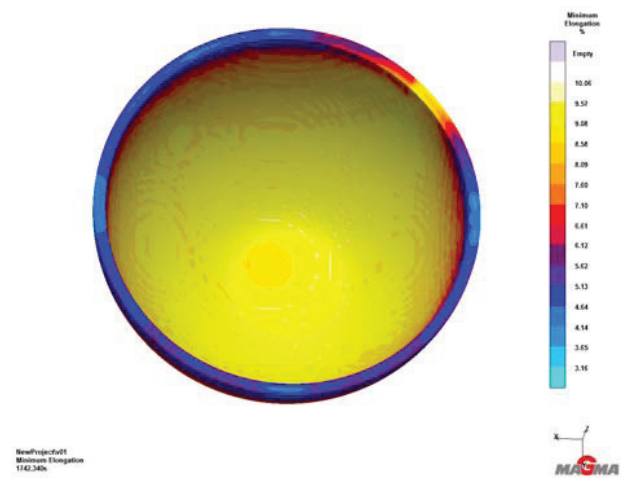
Rys. 15. Minimalna wytrzymałość na rozciąganie odlewu czaszy DN300 po wybiciu z formy

Fig. 15. Minimum tensile strength of DN300 dome cast after removing from the mould



Rys. 16. Twardość odlewu czaszy DN300 po wybiciu z formy

Fig. 16. Minimum elongation of DN300 dome cast after removing from the mould

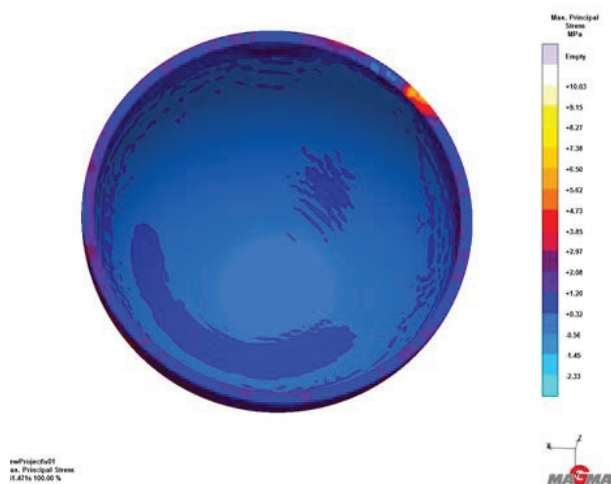


Rys. 17. Minimalne wartości wydłużenia odlewu czaszy DN300 po wybiciu z formy

Fig. 17. Hardness of DN300 dome cast after removing from the mould

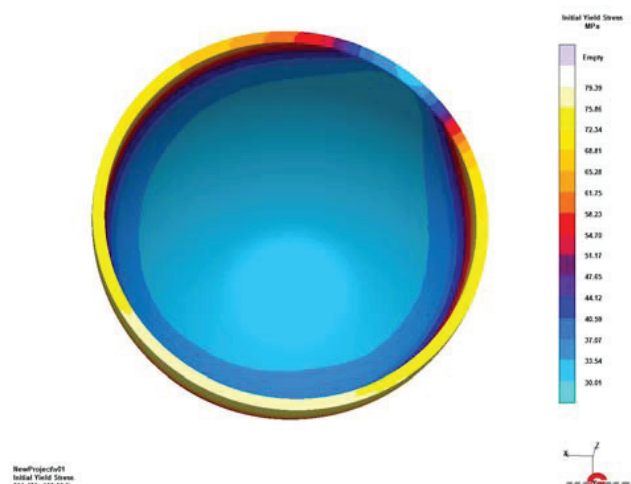
Napężenia. Podobnie jak w poprzednich odlewach, napężenia własne są znacznie niższe niż granica plastyczności w całym zakresie temperatur stygnięcia i nie powodują zagrożenia naruszenia ciągłości ścianki (pęknięcie na gorąco) czy choćby trwałej deformacji odlewu (rys. 18, 19).

Stresses. Similarly to the previous casts, residual stresses are considerably lower than the yield point in the total range of solidification temperature and do not pose a threat for discontinuity of the wall (hot cracking), or even a permanent deformation of the cast (Figs. 18, 19).



Rys. 18. Maksymalne napężenia główne w odlewie czaszy DN300 po zakrzepnięciu, w trzynastej minucie stygnięcia

Fig. 18. Maximum principal stress of DN300 dome cast after solidification at the 13th minute of cooling



Rys. 19. Granica plastyczności odlewu czaszy DN300 po zakrzepnięciu, w trzynastej minucie stygnięcia

Fig. 19. Yield point of DN300 dome cast after solidification at the 13th minute of cooling

Podsumowanie

Odlewy czasz kul typoszeru żeliwnych zaworów zwrotnych o wielkościach nominalnych: DN125 do DN300 (5 wielkości) będą wykonywane z żeliwa sferoidalnego EN-GJS-400-15 wg PN-EN 1563:2000 o jednakowym składzie

Summary

Dome casts of the range of cast iron reflux valves with nominal dimensions: DN125 to DN300 (5 dimensions) will be made of ductile iron EN-GJS-400-15 according to the standard PN-EN 1563:2000 with a unified chemical composition. It is forecast that as

chemicznym. Przewiduje się, że wskutek wrażliwości tego tworzywa na szybkość krzepnięcia, właściwości mechaniczne oraz struktura stopu w ściankach badanych odlewów będzie znacznie odbiegać od wartości przyjmowanych dla żeliwa odlewane w formie wlewką próbnego, oddzielnie odlewane o typowej grubości 25 mm, zasilanego przez obszerny nadlew. W przypadku odlewów czasz kul zamykających zaworów DN125 charakteryzujących się ścianką o grubości 4,2 mm, szybkość krzepnięcia i stygnięcia jest tak duża, że przy zastosowaniu typowego składu chemicznego powstanie struktura o znacznej przewodzie perlitu. Wskutek tego, wytrzymałość żeliwa może osiągnąć wartość 700 MPa. Równocześnie wydłużenie może obniżyć się do poziomu około 2%, a twardość – do 280 HB. W przypadku odlewu czaszy DN300, grubość ścianki wynosząca około 10,3 mm, powoduje wyraźne zmniejszenie szybkości krzepnięcia i stygnięcia odlewu, czego konsekwencją jest powstanie struktury o znacznej przewodzie ferrytu, co powoduje stosunkowo niską wytrzymałość i twardość żeliwa oraz wzrost właściwości plastycznych. Jednak uzyskane właściwości wytrzymałościowe w ściance tego odlewu i tak są znacznie wyższe niż wymagane ww. normą. Prognozowanie powstawania naprężeń w odlewach czasz i porównanie z granicą plastyczności w zakresie temperatur stygnięcia dowodzi, iż nie ma zagrożenia powstania pęknięć czy choćby deformacji. W przypadku czaszy dla zaworu DN125, wskutek stosunkowo wysokiej twardości, mogą wystąpić trudności w obróbce mechanicznej, niezbędnej dla właściwego połączenia dwóch półkul przed operacją wulkanizacji warstwy gumowej. Wysoka wytrzymałość żeliwa w ściance powyższej czaszy i odpowiednio wyższa granica plastyczności – znacznie wyższe niż przewiduje przedmiotowa norma na żeliwo sferoidalne, powoduje, że zagrożenia uszkodzeniem zmontowanej kuli podczas procesu wulkanizacji pod wysokimi naciskami prasy hydraulicznej, nie należy się obawiać.

Wyniki symulacji przebiegu zapełniania wnętrza form dla obu odlewów czasz sugerują, że zastosowane konstrukcje i parametry układów wlewowych z filtracją żeliwa, gwarantują spokojny i równomierny przepływ metalu, brak zagrożenia przegrzewaniem, wymywaniem materiału formy i zapiaszczeniami. W przypadku czaszy DN125, prędkość zapełniania wnętrza formy jest wystarczająca dla uzyskania równomiernego rozkładu temperatury metalu, co zagwarantuje równomierny przebieg krzepnięcia i niewielkie naprężenia własne odlewu.

W przypadku czaszy DN300 stwierdzono konieczność przekonstruowania układu wlewowego dla zwiększenia szybkości zalewania i skrócenia czasu jego trwania o około 30%.

Z uwagi na stosunkowo krótkie czasy zalewania i niewielkie spadki temperatury w układzie wlewowym i wnętrzu formy, nawet w przypadku czasz

a result of the sensibility of the material to the rate of solidification, mechanical properties and the structure of alloy in walls of the tested casts will be considerably different from values assumed for cast iron in the form of a test ingot, which was cast separately with a typical thickness of 25 mm, fed by a spacious riser head. In case of casts of domes of ball reflux valves DN125 which are characterised by 4.2 mm thick wall, the rate of solidification and cooling is so high that while using a typical chemical composition we obtain a structure with predominant participation of pearlite. As a result, the strength of the cast iron can achieve the value of 700 MPa. At the same time elongation can be lowered to the level of approx. 2%, and hardness to 280 HB. In relation to the DN300 dome, the wall thickness of approx. 10.3 mm causes significant reduction of the rate of solidification and cooling of the cast, which consequently results in obtaining a structure with predominant participation of ferrite and causes relatively low strength and hardness of cast iron as well as an increase of plasticity properties. However, the achieved strength properties of the wall of this cast are considerably higher than is required by the standard. Forecasts of stresses in casts of domes and the comparison with the yield point within the range of cooling temperature prove that there are no threats of cracks or even deformations. In case of domes for DN125 valves, as a result of relatively high hardness, there might be difficulties with mechanical treatment, which is necessary to correctly couple two hemispheres before rubber curing. The high strength of cast iron in the wall of the above-described dome and the respective higher yield point – considerably higher than is required by the said standard for ductile iron, result in the fact that there should not be cause for alarm of possible damage to an assembled ball during the process of high pressure rubber curing.

The results of the simulations of filling the mould cavity for both domes' casts suggest that the applied designs and parameters of gating systems with cast iron filtration, guarantee a steady and uniform flow of metal, lack of threat of overheating, elution of mould material and sand inclusions. In the case of the DN125 dome, the rate of filling the mould cavity is high enough to achieve uniform temperature distribution of metal, which guarantees a uniform course of solidification and slight residual pressures.

In the case of the DN300 dome, it was found necessary to redesign the gating system to increase the rate of pouring and reduce the time of pouring by approx. 30%.

Due to relatively short times of pouring and slight drops of temperature in the gating system and the mould cavity, even in the case of DN125 dome valve (of 4.2 mm thickness) we should not be afraid of possible material discontinuity defects, such as: short shot, unweld, or fold.

zaworu DN125 (o grubości ścianki 4,2 mm) nie należy obawiać się wystąpienia wad ciągłości materiału, jak: niedolew, niespaw, fałda.

Wyniki badań symulacyjnych wykazały możliwość wystąpienia porowatości o niewielkim natężeniu w różnych miejscach odlewów czasz z największym prawdopodobieństwem wystąpienia tej wady (około 4%) w okolicy wlewu doprowadzającego, krzepnącego na końcu, co nie stanowi większego zagrożenia dla jakości odlewu. Jednak wymaga zwrócenia uwagi przy prowadzeniu badań defektoskopowych odlewów próbnych.

Równocześnie należy stwierdzić, że przeprowadzone symulacje nie określają w sposób jednoznaczny właściwości odlewów i tworzywa a w konsekwencji charakteru rzeczywistych obciążeń, związanych przede wszystkim z uzyskiwaną w praktyce przemysłowej dokładnością wymiarową odlewów. Dlatego ostatecznym czynnikiem weryfikującym będzie wykonanie serii próbnych odlewów czasz różnych wielkości dobranych na podstawie typosze-regu, przewidzianych do wykonania prototypowych zaworów, przeprowadzenie badań materiałoznawczych, obróbka mechaniczna, montaż i wulkanizacja warstwy uszczelniającej na powierzchni kul.

Wnioski

1. Przyjęty skład chemiczny żeliwa, w tym wartość ekwiwalentu węglowego (CE) jest właściwy i wystarczający dla wykonywania cienkościennych odlewów czasz kul zaworów zwrotnych o nominalach planowanych do modernizacji.
2. Dla odlewania czasz najmniejszej wielkości – DN125 i DN150 – wskazane jest obniżenie zawartości manganu do poziomu poniżej 0,10%, co korzystnie wpłynie na podwyższenie udziału ferrytu w strukturze a zarazem obniżenie twardości i poprawę obrabialności odlewów.
3. O ile to możliwe, należy podnieść temperaturę zalewania o 20–30°C, dla obniżenia szybkości krzepnięcia i stygnięcia odlewów, co winno skutkować niższą skłonnością do zabielen i zwiększeniem udziału ferrytu w osnowie.
4. Dla czasz DN300 mm należy skorygować technologię odlewniczą w celu skrócenia czasu zalewania i polepszenia zasilania odlewu (zastosowanie nadlewu).
5. Dla wyeliminowania możliwości pojawienia się zabielen, szczególnie w przypadku pozycji o najcieńszych ściankach, należy zapewnić wysoką zdolność do zarodkowania żeliwa przez bardzo silną modyfikację, najlepiej dwustopniową, modyfikatorami złożonymi.

The simulation tests results proved possible porosity with slight intensity in different points of dome casts with the highest probability of this defect (approx. 4%) in the area of the ingate, which solidifies at the end, but which does not pose a larger threat to the quality of the cast. However, it requires paying more attention during defectoscopy tests of test casts.

At the same time it should be stated that the conducted simulations do not unequivocally determine the properties of casts and the consequent character of real loadings mostly connected with the achieved dimensional precision of casts in industrial practice. That is why the final verification factor will be to make a series of test cast domes with different dimensions selected on the basis of the range, which were forecast for the production of prototype valves, as well as conducting material tests, mechanical treatment, assembling and curing the sealing layer on the surfaces of the balls.

Conclusions

1. The assumed chemical composition of cast iron, including carbon equivalent value (CE) is adequate and sufficient to make thin-walled domes casts for ball reflux valves with values planned for modernisation.
2. To cast domes of the smallest dimensions – DN125 and DN150 – it is recommended to reduce the content of manganese to a level below 0.10%, which will positively influence the increase of ferrite participation in the structure and at the same time lower hardness and improve workability of casts.
3. If it is possible, the pouring temperature should be increased by 20–30°C to decrease the rate of solidification and cooling of casts, which should result in a lower tendency to create hard spots and a higher participation of ferrite in the matrix.
4. For DN300 domes the casting technology should be corrected to reduce the pouring time and improve feeding the cast (the use of a riser head).
5. To eliminate possible hard spots, especially in case of items with the thinnest walls, high cast iron nucleation capacity should be provided by a very strong modification, preferably two-stage, with the use of complex modifiers.

Podziękowania

Prace wykonano w ramach projektu celowego nr ROW-III-239/2012 pt.: „Opracowanie i wdrożenie nowej konstrukcji węzła uszczelniająco-zwrotnego typoszeregu żeliwnych zaworów zwrotnych, spełniającego wymagania normy PN-EN 1074-3:2002”.

Acknowledgements

The study was performed in the target project no ROW-III-239/2012: “Development and implementation of the new structure of the sealing and reflux node in the range of cast iron reflux valves that meets the requirements of PN-EN 1074-3:2002 standard”.

Literatura/References

1. Kuder M., Żuczek R. (2013). Optymalizacyjna analiza numeryczna rozkładu naprężeń i przemieszczeń w procesie wulkanizacji kul do zaworów zwrotnych. *Prace Instytutu Odlewnictwa*, 53(2), 53–74, DOI: 10.7356/iod.2013.9.
2. Fallon M.J. (2004). The Structures and tensile properties of irons containing mixtures of compacted and spheroidal graphite, determined from step plates. *Foundry Trade Journal*, 178(3613), 165–168.
3. Bockus S., Venckunas A., Zaldarys G. (2008). Relation between Section Thickness, Microstructure and Mechanical Properties of Ductile Iron Castings. *Materials Science*, 14(2), 1392–1420.
4. Górny M., Tyrała E. (2013). Effect of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of Thin-Walled Ductile Iron Castings. *Foundry Materials Engineering and Performance*, 22(1), 300–305.
5. Kuder M. (2013). Badanie czynników zmieniających stan fizykochemiczny ciekłego żeliwa i wybrane właściwości tworzywa. *Prace Instytutu Odlewnictwa*, 53(2), 13–28, DOI: 10.7356/iod.2013.6.

