

**ZASTOSOWANIE PROGRAMU FLOW-3D DO SYMULACJI PROCESU ZALEWANIA
ORAZ KRZEPNIĘCIA ODLEWÓW Z ŻELIWA SFEROIDALNEGO. CZ. II**

**APPLICATION OF THE FLOW-3D SOFTWARE FOR SIMULATION OF
THE SPHEROIDAL IRON CASTING AND SOLIDIFICATION. PART II**

Andrzej Gwizdź¹⁾, Marcin Małysza²⁾, Mieczysław Nowak³⁾

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, ³⁾ Fabryka Armatur JAFAR SA, 38-207 Przysieki 87

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, ³⁾ Fabryka Armatur JAFAR SA, 38-207 Przysieki 87

E-mail: andrzej.gwizdz@iod.krakow.pl

Streszczenie

Przeprowadzono analizę symulacyjną zalewania i krzepnięcia odlewów z żeliwa sferoidalnego EN-GJS-400-15 zasuw miętko uszczelnionych do sieci gazowych z rur PE. Analiza ta przeprowadzona została w programie Flow-3D. Na podstawie dostarczonej przez Fabrykę Armatur JAFAR SA dokumentacji wykonane zostały bryły przestrzenne, które następnie zostały poddane analizie symulacyjnej procesu zalewania oraz krzepnięcia dla zasuw trzech wielkości DN50, DN100 i DN150. W części I artykułu [2] przedstawiono analizę symulacyjną dotyczącą zasuw DN150, a w niniejszej publikacji, będącej częścią II, symulację dotyczącą zasuw DN50.

Słowa kluczowe: komputerowe wspomaganie produkcji odlewniczej, symulacja zalewania i krzepnięcia, armatura żeliwna do instalacji przesyłowych gazu

Abstract

A simulation analysis was carried out on the casting and solidification of EN-GJS-400-15 spheroidal iron for production of soft-sealed wedge gates for PE pipe gas networks. The analysis was made in the Flow-3D software. Based on the engineering documentation provided by Fabryka Armatur JAFAR SA spatial bodies were developed and analysed by simulation of the casting and solidification processes of wedge gates in three sizes: DN50, DN100 and DN150. Part I of the work [2] presents the simulation analysis for the DN150 gate; this section of the work, i.e. Part II, the simulation applies to the DN50 gate.

Keywords: computer assisted casting production, casting and solidification simulation, cast iron fittings for gas transmission systems

Wstęp

Po wykonaniu analizy stanu naprężeń w konstrukcjach odlewu korpusu, pokrywy i klina zasuw klinowych do gazu [1] wykonano prace dotyczące symulacji procesów odlewniczych otrzymywania odlewów z żeliwa sferoidalnego. Symulacja ta została przeprowadzona w programie Flow-3D. Na podstawie dostarczonej przez firmę JAFAR SA dokumentacji wykonane zostały bryły przestrzenne, które następnie zostały poddane analizie symulacyjnej zalewania oraz krzepnięcia [2].

W publikacji przedstawiono wyniki analizy symulacyjnej zalewania i krzepnięcia dla zasuw DN50.

Introduction

Having completed the stress state analysis in the cast structures of the gas wedge gate body, lid and wedge [1], work was carried out to simulate the casting processes in production of spheroidal iron casts. The simulation was made in the Flow-3D software. Based on the engineering documentation provided by JAFAR SA spatial bodies were developed and analysed by simulation of casting and solidification [2].

This publication presents the results of the simulation analysis of the DN50 gate casting and solidification.

Możliwość wizualizacji wyników analizy symulacyjnej pozwala na ocenę poprawności projektowanego układu wlewowego oraz zasilającego pod kątem wypełniania wnęki formy oraz procesów cieplnych zachodzących w formie [4, 5, 6]. Takie narzędzie ułatwia pracę konstruktora odlewnika tworzącego technologię odlewniczą. Komputerowa wizualizacja konstrukcji oraz procesu technologicznego umożliwi uniknięcie konieczności wykonywania kosztownych prób, wykonywania odlewów oraz oprzyrządowania prototypowego, które mają być jedynie etapem na drodze do otrzymania ostatecznego detalu.

Wykonanie analizy numerycznej procesu odlewania i krzepnięcia

W artykule przedstawione zostały zestawy odlewów korpusów, klinów i pokryw. Przygotowanie symulacji komputerowej dla wybranej grupy detali poprzedzone jest stworzeniem wirtualnego odniesienia rzeczywistego detalu, zapisaniu go w odpowiednim formacie oraz wczytanie do programu symulacyjnego. W programie przygotowana zostaje przestrzeń robocza dla symulacji zawierająca domenę obliczeniową, zapisane warunki brzegowe, geometria bryły, warunki początkowe oraz dane materiałowe.

Symulacja procesu odlewania wymaga wprowadzenia bryły 3D, która uwzględni nadatki, pochYLENIA, zaokrąglenia oraz promienie odlewnicze.

Zaprojektowanie odpowiedniego układu wlewowego podlega kilku zasadom technologicznym. Obliczenie przekroju układu wlewowego dokonano przy założeniach opisanych w pracy [2]. Projektowanie technologii odlewów z żeliwa sferoidalnego wymaga zaprojektowania dodatkowo układu zasilającego. Wynika to z natury krzepnięcia i zmian objętości żeliwa sferoidalnego od momentu odlania stopu do formy, aż do całkowitego zakrzepnięcia. Odpowiednie zaprojektowanie zasilacza zapewniającego dostarczenie ciekłego metalu do wybranego obszaru może być bardzo ważne na drodze do otrzymania dobrego odlewu. Bardzo pomocne jest odpowiednie określenie modułu odlewu. Modułem nazywany jest stosunek objętości do powierzchni odprowadzającej ciepło [7].

Program symulacyjny pomaga w przybliżeniu określić obszary, które krzepną jako ostatnie, a tym samym mogą wymagać ciągłego zasilania ciekłym metalem.

Odlew korpusu

Węzeł cieplny powstaje w obszarze łączenia pierścieni z roboczą częścią korpusu oraz w obszarze otworów mocujących pokrywę. W oparciu o te dane przeanalizowane zostały dwie koncepcje układu wlewowo-zasilającego. Dla odlewu korpusu została przeprowadzona wstępna analiza procesu krzepnięcia. Jako materiał formy została wybrana z bazy

The capacity for imaging the simulation analysis results enables evaluation of correctness in the designed cast gating and feeding systems in terms of filling the mould void, and evaluation of the thermal processes inside the mould [4, 5, 6]. The tool described herein facilitates work of the foundry engineer who creates casting technologies. Computer imaging of design and of processing allows avoiding expensive testing, test casting and production of prototype instrumentation, which all serve only as a step to the final detail.

Performance of the casting and solidification process numerical analysis

The paper presents the sets of body, wedge and lid casts. Development of a computer simulation for the selected group of details is preceded by development of the virtual reference for the actual detail, saving the virtual reference in a suitable format and loading it in the simulation software. The software is used to prepare the simulation work space that contains the calculation domain, stored boundary conditions, body geometry, input conditions and material data.

The simulation of casting process requires inputting a 3D body with allowances, gradients, rounding and casting radii.

Designing the necessary gating system is governed by several process principles. The gating system diameter was calculated for the assumption presented in the work [2]. Designing the processes of spheroidal iron casts also requires designing the feeding system. This results from the nature of solidification and volume changes of spheroidal iron from the moment of casting the alloy into the mould to complete solidification. The right feeder design that secures input of liquid metal to the selected area can be most critical to production of good casts. It is very helpful to determine the cast modulus. The modulus here is the ratio of volume to heat removing surface [7].

The simulation software allows to approximately determine the areas which solidify last, and thus may require continuous feed of liquid metal.

Body cast

The heat centre occurs at the joint of rings with the service part of the body, and in the area of lid fastening holes. Based on the data, two concepts of gating and feeding system were analysed. A preliminary analysis of solidification process was completed for the body cast. The mould material selected from the software database was a press-formed bentonite mass, the cast material selected was EN-GJS-400-15 and $T_{pour} = 1370^{\circ}\text{C}$. The completed preliminary simulation allowed to approximately determine the nature

danych masa bentonitowa formowana przez prasowanie, materiał odlewu – żeliwo EN-GJS-400-15 oraz $T_{zal} = 1370^{\circ}\text{C}$. Przeprowadzona wstępna symulacja pozwala w przybliżeniu na określenie charakteru krzepnięcia odlewu oraz wyznaczenie obszarów krzepnących jako ostatnie. W tych miejscach będzie można spodziewać się porowatości skurczowej. Warunki symulacji zostały założone jako idealne, czyli warunek początkowy określił równą temperaturę w całej objętości odlewu. Nie jest to zgodne z rzeczywistością i ma na celu jedynie pomoc w identyfikacji charakteru krzepnięcia detalu.

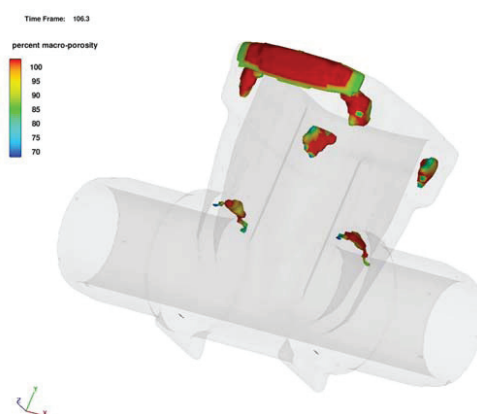
Porowatości, mogące powstać w odlewie, zostały przedstawione na wizualizacji wyników na rysunku 1.

Na rysunku 2 przedstawiono pierwszą koncepcję układu wlewowo-zasilającego dla korpusu DN 50.

of cast solidification and identify the last solidification areas. In this area shrink porosity is to be expected. The assumed simulation conditions were ideal, i.e. the initial condition defined a homogeneous temperature level throughout the whole cast volume. It is unrealistic, but it only serves to help identify the nature of detail solidification.

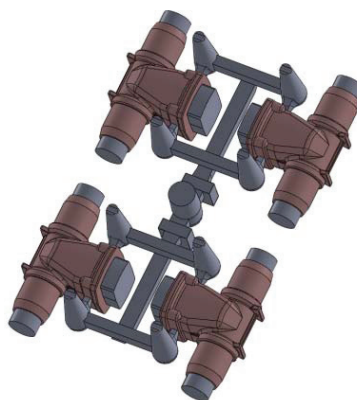
The porosity that may result in the cast is presented in the results imaging in Figure 1.

Figure 2 shows the first gating and feeding system concept for the DN50 body.



Rys. 1. Prognoza porowatości powstających podczas krzepnięcia odlewu korpusu

Fig. 1. Forecast of porosity resulting during the body cast solidification



Rys. 2. Koncepcja I technologii odlewania korpusu

Fig. 2. Concept I of the body casting process

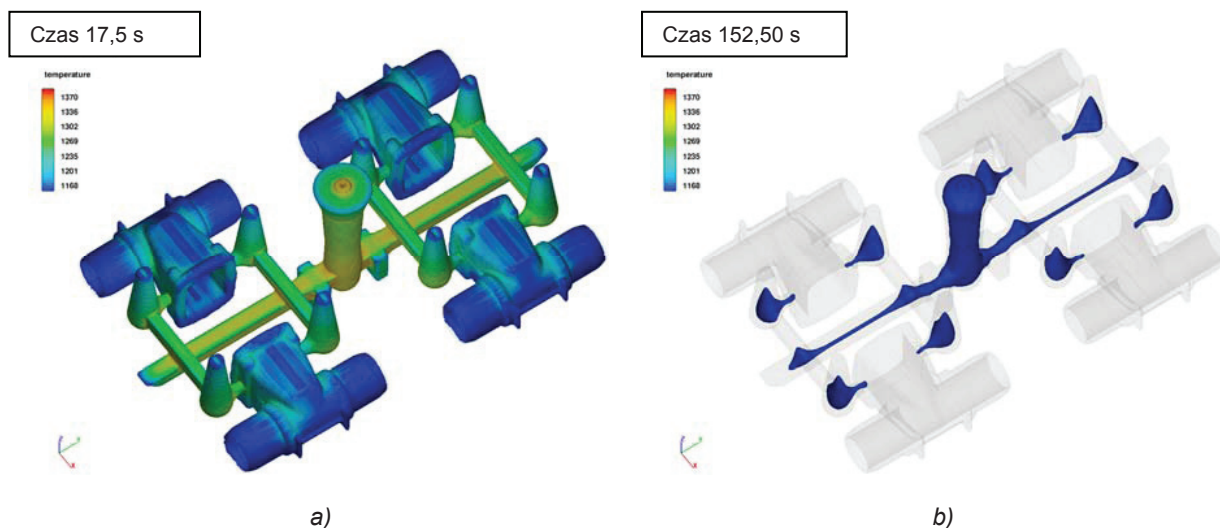
Dla przedstawionej na rysunku 2 technologii odlewania korpusu została przeprowadzona analiza procesu krzepnięcia. Wyniki symulacji zostały przedstawione na rysunku 3.

Prognozowana porowatość wypadła niekorzystnie dla detalu. Formujące się wady skurczowe są zlokalizowane w obszarze łączenia pierścieni,

The solidification process analysis was performed for the body casting process shown in Figure 2. The simulation results are presented in Figure 3.

The porosity forecast for the detail is unfavourable. The forming shrink defects are located in the area of joint of rings, as shown in the imaging. Figure 4 presents the areas in which porosity is possible.

co przedstawia wizualizacja. Na rysunku 4 przedstawione zostały obszary, w których mogą powstać porowatości.



Rys. 3. Symulacja krzepnięcia ciekłego metalu w odlewie
 Fig. 3. Simulation of liquid metal solidification in the body cast



Rys. 4. Prognozowana porowatość w odlewie
 Fig. 4. Forecast of porosity in the body cast

Podczas analizy samego krzepnięcia w obszarach tylnej ścianki – przy podstawie, prognozowane są porowatości. W celu wyeliminowania tych wad w drugiej koncepcji zastosowany został dodatkowy zasilacz na korpus w jego tylnej części. Na rysunku 5 została przedstawiona druga koncepcja technologii odlewania korpusu z nową koncepcją układu modelowego. Celem wykonania drugiej wersji jest ograniczenie prognozowanych porowatości.

Symulację procesu wypełniania ciekłym metalem formy przedstawiono na rysunku 6. Kryterium oceny przepływu może być również ilość powietrza zamkniętego podczas przepływu oraz tworzenie się zaburzeń powierzchni swobodnej. Takie defekty mogą koncentrować się w wybranych obszarach odlewu oraz

During the solidification analysis in the area of rear wall, at the base, porosity is forecast to occur. In order to eliminate the defects, the second concept used an additional feeder for the rear part of the body. Figure 5 shows the second concept of the body casting process, with the new model system concept. The purpose of the second version is to reduce the forecast porosity.

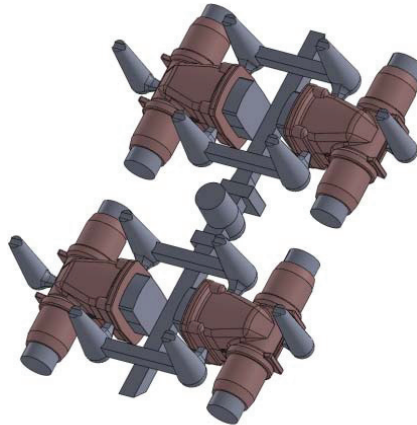
The simulation of the process of filling the mould with liquid metal is shown in Figure 6. The criterion of flow evaluation can also be based on the volume of air sealed during the flow and the generation of disturbances on the free surface. The defects may concentrate in certain areas of the cast and result in cast surface defects.

powodować wady na jego powierzchni. Wyniki analizy zostały przedstawione na rysunku 7.

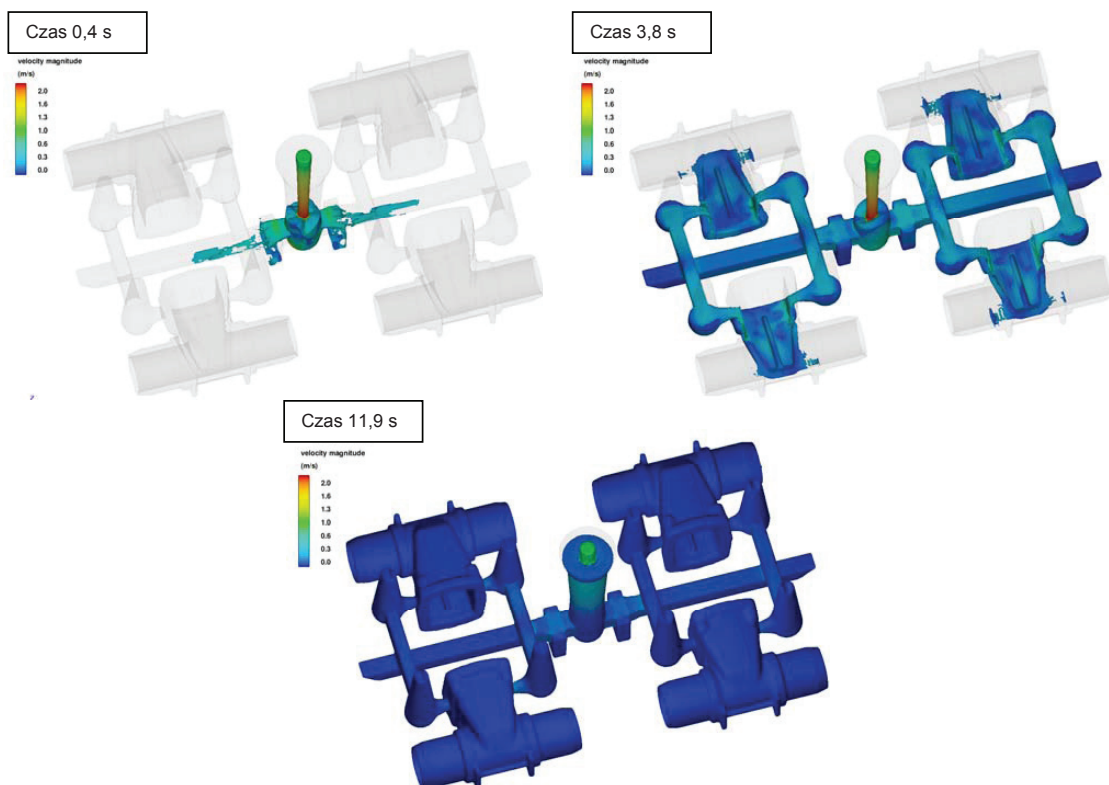
Można zauważyć, że część metalu, która została narażona na kontakt z powietrzem została przeniesiona do dodatkowego zasilacza usytuowanego w tylnej części odlewu. Rysunek 8 przedstawia symulację krzepnięcia ciekłego metalu w odlewie.

The analysis results are presented in Figure 7.

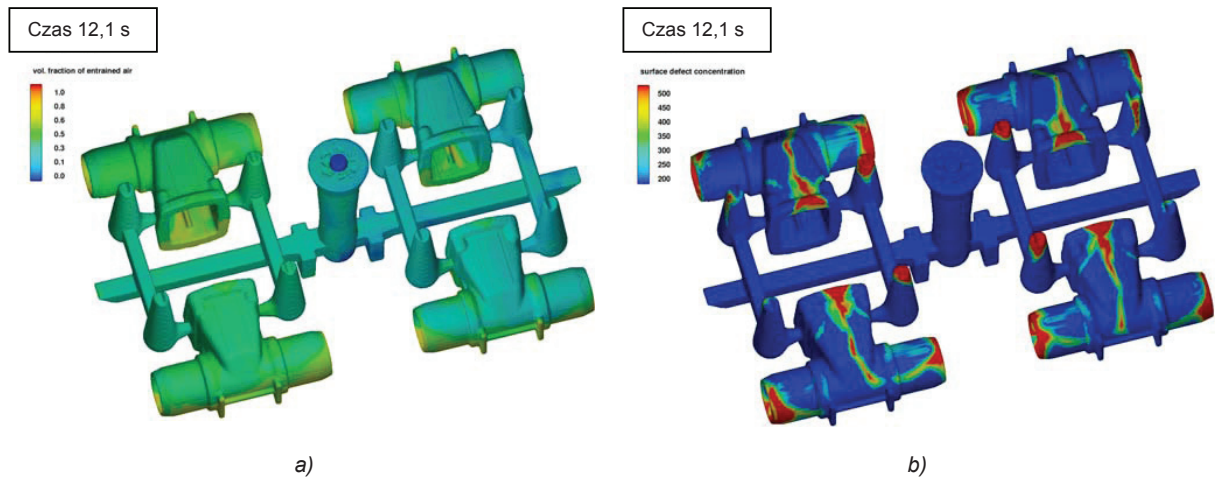
Note that the part of metal exposed to air was moved to the additional feeder located in the back of the cast. Figure 8 shows the simulated solidification of the liquid metal in the cast.



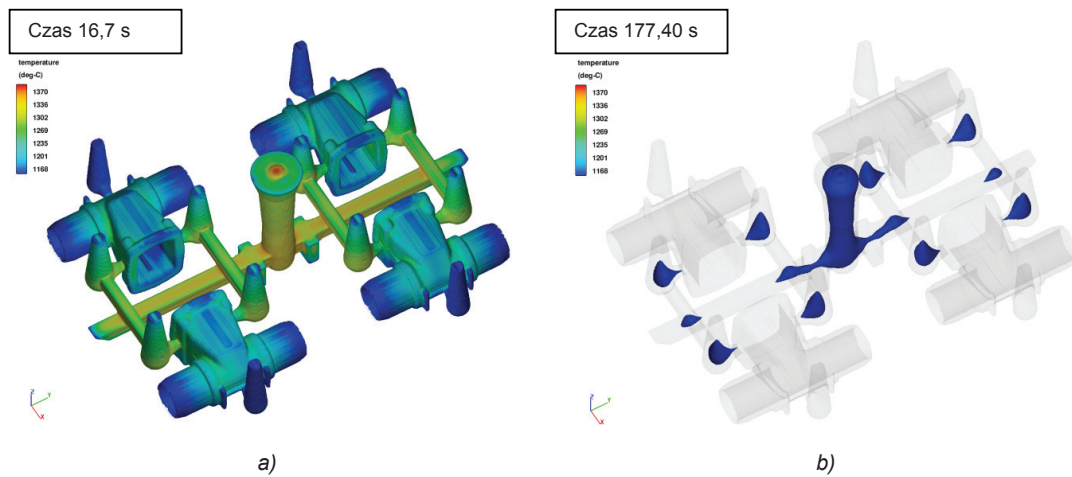
Rys. 5. Koncepcja II technologii odlewania korpusu
Fig. 5. Concept II of the body casting process



Rys. 6. Symulacja procesu wypełniania wnętrza formy korpusu
Fig. 6. Simulation of the body mould cavity filling process



Rys. 7. Wizualizacja procesu wypełniania wnętrza formy korpusu: a) powierzchnia kontaktu ciekłego metalu z powietrzem, możliwość powstania tlenków na jej powierzchni; b) koncentracja zaburzenia powierzchni swobodnej
 Fig. 7. Imaging of the body mould cavity filling process: a) the liquid metal / air contact interface, possible oxidation of this surface; b) concentration of the free surface disturbance



Rys. 8. Symulacja krzepnięcia ciekłego metalu w odlewie
 Fig. 8. Simulation of liquid metal solidification in the cast



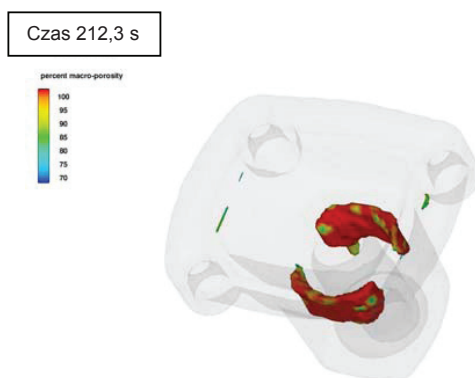
Rys. 9. Prognozowana porowatość w odlewie korpusu
 Fig. 9. Forecast of porosity in the body cast

Wizualizacja pokazuje krzepnące obszary odlewu. Na rysunku 9 została przedstawiona możliwa lokalizacja porowatości w odlewie.

Można zauważyć prognozowane porowatości występujące w tych samych obszarach, co w koncepcji pierwszej, lecz ich wielkość została ograniczona.

Odlew pokryw

Przygotowanie projektu układu wlewowo-zasilającego zostało poprzedzone wykonaniem symulacji krzepnięcia detalu. Na rysunku 10 zostało przedstawione prognozowane rozmieszczenie wad pochodzenia skurczowego dla warunków symulacji założonych jako idealne, czyli warunek początkowy określił równą temperaturę w całej objętości odlewu. Takie warunki odbiegają od rzeczywistości i mają na celu jedynie pomoc w identyfikacji charakteru krzepnięcia detalu.



Rys. 10. Prognozowana porowatość w odlewie pokryw

Fig. 10. Forecast of porosity in the lid cast

Analiza wyniku symulacji przedstawiona na rysunku 10 została wykorzystana do zaprojektowania koncepcji układu wlewowego. Na rysunku 11 została przedstawiona koncepcja technologii odlewania, która została wykorzystana w symulacji w celu weryfikacji poprawności założeń konstrukcyjnych.

Wybrana koncepcja została zasymulowana z wykorzystaniem warunków brzegowych opisanych dla danego rzeczywistego procesu odlewania. Z bazy danych wybrano: jako materiał formy – masę bentonitową formowaną przez prasowanie, materiał odlewu – żeliwo EN-GJS-400-15, $T_{zal} = 1370^{\circ}\text{C}$. Przeprowadzona wstępna symulacja pozwala na określenie charakteru krzepnięcia w odlewie oraz wyznaczenie obszarów krzepnących jako ostatnie.

Na rysunku 12 została przedstawiona wizualizacja przepływu z towarzyszącymi mu zjawiskami fizycznymi. Symulacja pozwoliła na określenie charakteru przepływu ciekłego metalu przez układ wlewowy, tworzących się zaburzeń powierzchni swobodnej ciekłego stopu oraz ich koncentracji w poszczególnych miejscach we wnętrzu.

The imaging shows the solidified areas of the cast. Figure 9 presents the possible location of porosity in the cast.

Note the forecast porosity occurs in the same areas as in Concept I; however, its size is reduced.

Lid cast

The gating and feeding system design was preceded by simulation of the detail solidification. Figure 10 presents the forecast distribution of shrinkage defects for the ideal simulation conditions, i.e. with the initial condition defining a homogeneous temperature level throughout the whole cast volume. The conditions are unrealistic, but they only serve to help identify the nature of detail solidification.

The simulation result analysis shown in Figure 10 was used to design the gating system concept. Figure 11 shows the casting process concept used in the simulation to verify the correctness of design assumptions.

The selected concept was simulated with the boundary conditions described for the given actual casting process. The mould material selected from the software database was a pressformed bentonite mass, the cast material selected was EN-GJS-400-15 and $T_{pour} = 1370^{\circ}\text{C}$. The completed preliminary simulation allowed to approximately determine the nature of cast solidification and identify the last solidification areas.

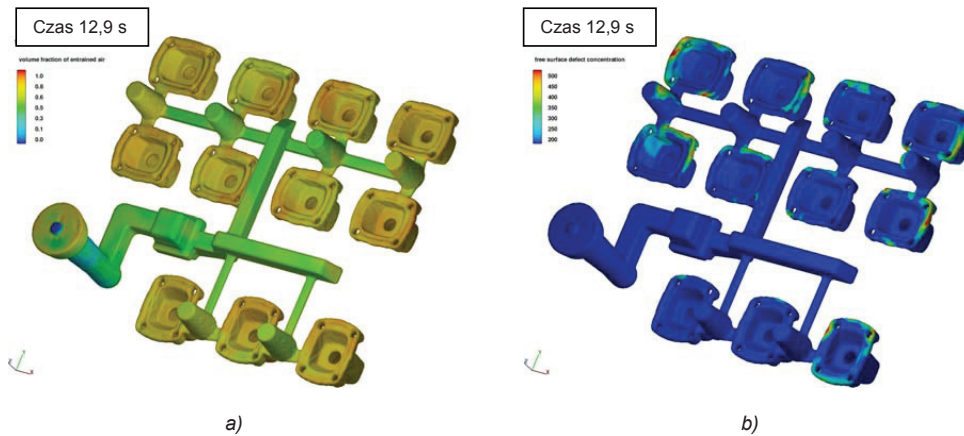
Figure 12 shows the imaging of flow with accompanying physical phenomena. The simulation allowed determining the nature of flow of the liquid metal through the gating system, the resulting free surface disturbances of the liquid alloy, and the disturbance concentrations in specific locations.

Symulacja krzepnięcia oraz prognozowane porowatości zostały przedstawione na rysunkach 13 i 14.

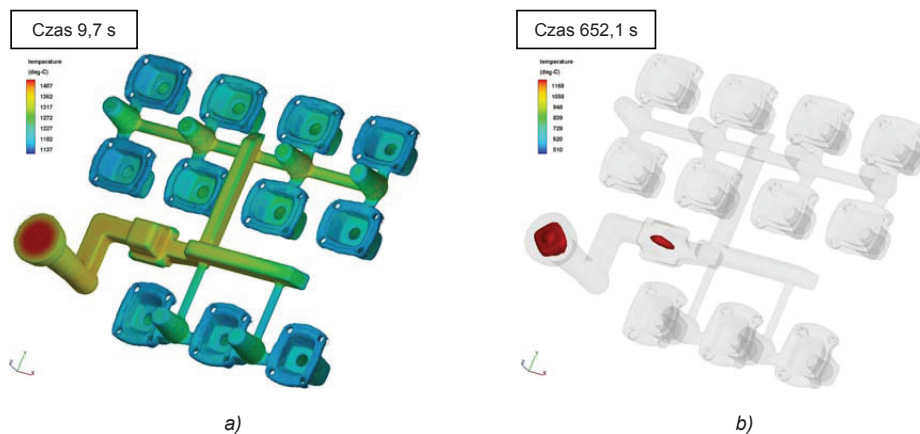
The simulation of solidification and the forecast porosity are presented in Figures 13 and 14, respectively.



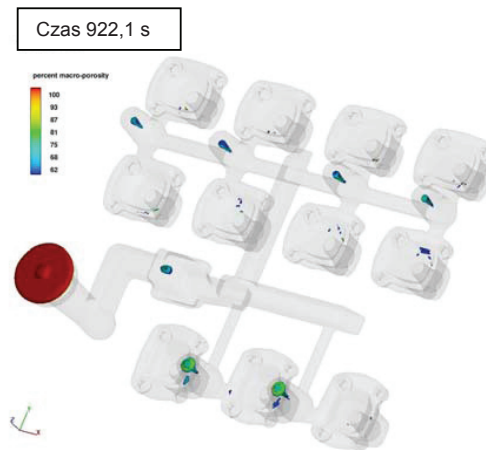
Rys. 11. Technologia odlewania pokrywy
Fig. 11. Lid casting process



Rys. 12. Wizualizacja procesu wypełniania wnętrza formy pokrywy: a) powierzchnia kontaktu ciekłego metalu z powietrzem, możliwość powstania tlenków na jej powierzchni; b) koncentracja zaburzenia powierzchni swobodnej
Fig. 12. Imaging of the lid mould cavity filling process: a) the liquid metal / air contact interface; possible oxidation of this surface; b) concentration of the free surface disturbance



Rys. 13. Symulacja krzepnięcia ciekłego metalu w odlewie
Fig. 13. Simulation of liquid metal solidification in the lid cast



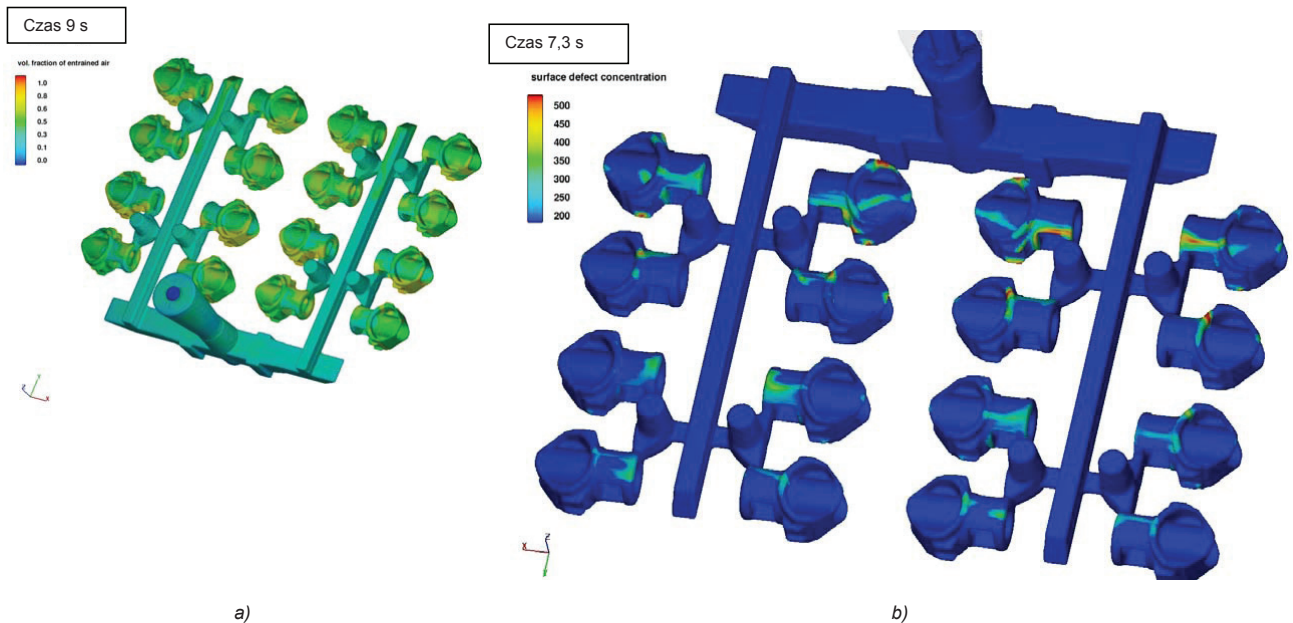
Rys. 14. Prognozowana porowatość w odlewie pokrywy
 Fig. 14. Forecast of porosity in the lid cast

Odlew klina

Koncepcję odlewania klina przygotowano dla płyty modelowej z czterema detalami. Klin jest elementem poddawany wulkanizacji, w celu nadania mu właściwości uszczelniających w czasie pracy w zasuwie. Technologia przewiduje umieszczenie szesnastu elementów na płycie modelowej. Na rysunku 15 przedstawiono powierzchnię kontaktu ciekłego metalu z powietrzem możliwość powstania tlenków na jej powierzchni oraz koncentrację zaburzeń powierzchni swobodnej.

Wedge cast

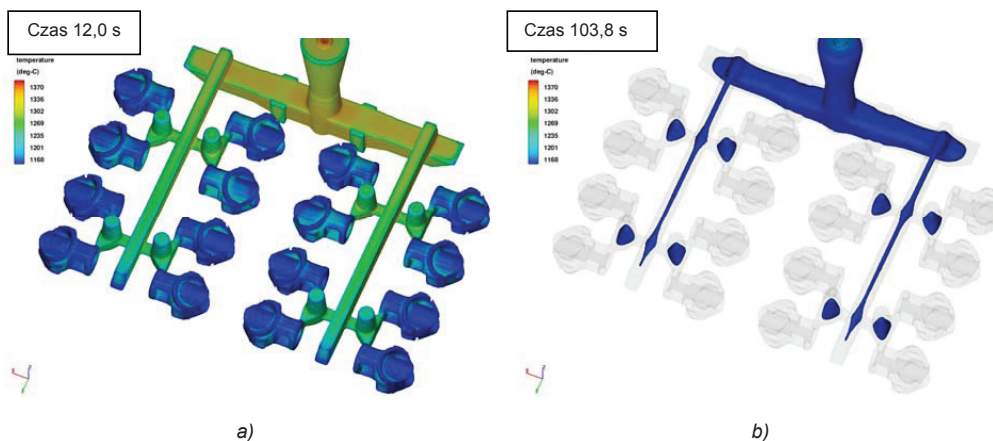
The concept of wedge casting was prepared for a model plate with four details. The wedge is the component subjected to rubber curing in order to provide it with sealing performance during operation in the gate. The process has placement of sixteen elements on the model plate. Figure 15 shows the liquid metal/air contact interface with possible oxidation of this surface, and the concentration of the free surface disturbance.



Rys. 15. Wizualizacja procesu wypełniania wnętrza formy klina: a) powierzchnia kontaktu ciekłego metalu z powietrzem, możliwość powstania tlenków na jej powierzchni; b) koncentracja zaburzenia powierzchni swobodnej
 Fig. 15. Imaging of the wedge mould cavity filling process: a) the liquid metal / air contact interface; possible oxidation of this surface; b) concentration of the free surface disturbance

Można zauważyć, że prognozowana koncentracja zaburzeń powierzchni przepływającego ciekłego metalu występuje w niewielkim stopniu w obszarach odlewów. Poniżej (rys. 16) zostały przedstawione wyniki z analizy procesu krzepnięcia odlewów klina.

Note that the forecast concentration of free surface disturbances in the flowing metal occurs to a small extent in the cast areas. Figure 16 presents the results of the wedge cast solidification process analysis.



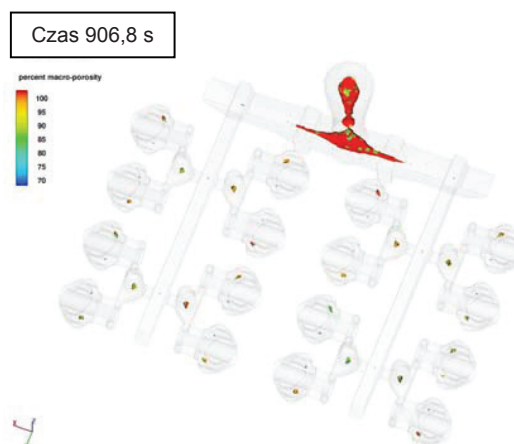
Rys. 16. Symulacja krzepnięcia ciekłego metalu w odlewie klina
 Fig. 16. Simulation of liquid metal solidification in the wedge cast

Analiza krzepnięcia pozwoliła określić obszary krzepnące jako ostatnie w odlewie.

The solidification analysis allowed to reveal the areas which solidify last.

Na rysunku 17 można zauważyć, że w odlewach pozostaje specyficzne miejsce, gdzie krzepnięcie następuje po zakończeniu zasilania przez nadlew. W tym obszarze można spodziewać się wystąpienia wad pochodzenia skurczowego. Późniejsze pokrywanie gumą zapewnia dodatkową szczelność dlatego te niewielkie wady nie stwarzają zagrożenia.

Figure 17 shows that a specific location occurs in the casts where solidification follows once the riser head feeding is over. Shrinkage-related defects should be expected in the area. The later rubber coating process ensures enhanced seal, so the small defects are not hazardous.



Rys. 17. Prognozowana porowatość w odlewie klina
 Fig. 17. Forecast of porosity in the wedge cast

Podsumowanie

1. Symulacja komputerowa pozwala na wizualizację oraz wstępną ocenę charakteru przepływu ciekłego metalu przez układ wlewowy. Umożliwia to analizę poprawności zaprojektowanego układu model-układ wlewowy oraz, jeżeli zaistnieje konieczność, wprowadzenie zmian na etapie projektowania technologii odlewniczej. Ocena charakteru przepływu oraz prędkości, jakie występują podczas przepływu pozwala na stwierdzenie, czy płynący ciekły metal może powodować penetrację formy oraz czy minimalna prędkość podnoszenia się lustra metalu w formie jest zachowana.
2. Przeanalizowanie dwóch koncepcji technologii odlewania korpusu pozwala wybrać bardziej optymalną konstrukcję układu wlewowo-zasilającego. Wybór musi być podyktowany, oprócz czynników wyznaczonych przez charakter pracy, czynnikami ekonomicznymi. Zastosowanie kolejnego zasilacza wiąże się z koniecznością stopienia dodatkowej porcji metalu, a tym samym podniesieniem kosztu wytworzenia pojedynczego odlewu. Jednak wprowadzenie dodatkowego źródła zasilania odlewu może przełożyć się na utrzymanie ilości brakowych odlewów na minimalnym poziomie.
3. Wyniki symulacji komputerowej posłużyły do wykonania rysunków konstrukcyjnych płyt modelowych do wykonania odlewów do zasuw gazowych DN50.

Podziękowania

Publikacja powstała w oparciu o wyniki badań przemysłowych wykonywanych w ramach projektu celowego ROW-III-209/2012 pt.: „Opracowanie i wdrożenie do produkcji typoszeregu zasuw klinowych z króćcami z rur PE do gazociągów z rur PE”. Autorzy realizujący badania przemysłowe z ramienia Instytutu Odlewnictwa w Krakowie dziękują Szefowi Rozwoju Fabryki Armatur JAFAR SA p. Mieczysławowi Nowakowi wraz z zespołem za współpracę przy realizacji tych badań.

Literatura/References

1. Gwiżdż A., Żuczek R., Nowak M. (2012). Analiza stanu naprężeń w konstrukcjach odlewu korpusu, pokrywy i klina zasuw klinowych do gazu. *Prace Instytutu Odlewnictwa*, 52(4), 133–160.
2. Gwiżdż A., Małysza M., Nowak M. (2012). *Badania modelowe i analiza rozptyłu metalu i krzepnięcia w formach odlewniczych*. Sprawozdanie z zadania nr 4 projektu celowego ROW-III-209/2012.
3. *Instrukcja Flow-3D V.10 manual*.
4. Allison J., Backman D., Christodoulou L. (2006). Integrated Computational Materials Engineering: A New Paradigm for the Global Materials Profession. *JOM*, 11, 25–27.

Summary

1. Computer assisted simulation allows imaging and pre-evaluation of the nature of liquid metal flow through the gating system. This in turn enables analysis of correctness of the designed gating system model, and to introduce modifications at the casting process design stage, if necessary. The evaluation of the flow nature and of the velocities that occur during the flow allows to conclude whether the flowing liquid metal may penetrate the mould or not, and whether the minimum velocity of metal surface rise in the mould is maintained or not.
2. The study of both casting process concepts for the body facilitates selection of the more optimum design of the gating and feeding system. The choice must be directed by economic factors, aside of the criteria established by the nature of work. Adding the extra feeder requires melting an additional batch of metal, which increases the single cast production cost. However, adding the extra feeding source to the cast may result in maintaining the number of defective casts at a minimum level.
3. The computer simulation results were adopted in production of the design drawings of model plates for the production of DN50 gas wedge gate casts.

Acknowledgements

This publication was created from the industrial research results provided from the Targeted Project no. ROW-III-209/2012 titled: “Development and production launch of the wedge valves with ends made of PE pipes for PE gas pipelines”. The authors of the industrial research at the Foundry Research Institute wish to thank Mr. Mieczysław Nowak, the Development Chief Officer at Fabryka Armatur JAFAR SA and his team for cooperation in this research.

5. Maj M., Piekło J. (2009). MLCF – an optimised program of low – cycle fatigue test to determine mechanical properties of cast materials. *Archives of Metallurgy and Materials*, 54(2), 393–397.
6. Ignaszak Z., Mikołajczyk P. (2007). Problem empirycznych parametrów pre-processingu na przykładzie symulacji krzepnięcia i zalewania odlewów z żeliwa sferoidalnego. [W:] *Innowacje w odlewnictwie. Część I*. Kraków: Instytut Odlewnictwa, 301–309.
7. Sorelmetal (2006). *O żeliwie sferoidalnym*. Warszawa: Metals Minerals Sp. z o.o.