

**ANALIZA PROCESU ZALEWANIA I KRZEPNIĘCIA ODLEWÓW  
ZE STALIWA STOPOWEGO PRZEZNACZONEGO DO PRACY  
W NISKICH TEMPERATURACH**

**ANALYSIS OF THE POURING AND SOLIDIFICATION PROCESS  
OF ALLOYED STEEL CASTINGS FOR LOW - TEMPERATURE  
PERFORMANCE**

*Andrzej Gwiżdż, Zenon Pirowski, Stanisław Pysz, Robert Żuczek<sup>1</sup>, Piotr Dworak<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków,

<sup>2</sup> MAGNUS NORD Sp. z o.o., ul. M. Skłodowskiej-Curie 59/69, 87-100 Toruń

**Streszczenie**

*Przedstawiona praca stanowiła część badań przemysłowych (stosowanych) wykonywanych w ramach projektu celowego ROW-II-403/2008 realizowanego w MAGNUS-NORD Sp z o.o w Toruniu. Przeprowadzono symulację zalewania i krzepnięcia dwóch dużych odlewów staliwnych o masie: I - około 200 kg i II - około 700 kg, wg dotychczas stosowanej technologii. Po analizie wyników symulacji zaproponowano zmiany w technologii odlewania. Po wprowadzeniu zmian w technologii, ponownie przeprowadzono symulację komputerową. Analiza jej wyników wykazała zdecydowaną poprawę warunków krzepnięcia i wyeliminowanie powstających porowatości i jam skurczowych.*

Słowa kluczowe: symulacja, proces zalewania, krzepnięcie, porowatość, wady odlewów

**Abstract**

*The study forms a part of the program of applied industrial research executed under Target Project No. ROW-II-403/2008 at MAGNUS-NORD Sp z o.o in Toruń. Pouring and solidification of two large steel castings weighing 200 kg (casting I) and 700 kg (casting II) was simulated, basing on the casting manufacturing technology used up to now. Detailed analysis of the results of simulation resulted in changes proposed and introduced to the so far used manufacturing technology. After the said changes had been introduced, the simulation of the casting process was done once again. The analysis of the obtained results indicated a substantial improvement in the solidification conditions and effectively eliminated the porosities and shrinkage cavities.*

Key words: simulation, pouring process, solidification, porosity, casting defects

## Wstęp

Podczas projektowania technologii odlewania, w celu dokładnego przeanalizowania całego procesu, wykorzystuje się modelowanie numeryczne odlewania.

Służą do tego programy, które w założeniu mają odzwierciedlać (symulować) rzeczywiste zjawiska zachodzące podczas zalewania, krzepnięcia i stygnięcia odlewu oraz wykazać ewentualne problemy dla danej technologii [1, 2, 3].

Symulacja jest oparta na dwóch podstawowych zagadnieniach:

- 1) opracowanie modelu matematycznego (zapisanego w postaci kodu) opisującego proces;
- 2) wykorzystywanie podczas obliczeń danych (najczęściej w postaci funkcji lub tabelaryzowanych zależności) własności materii biorącego udział w procesie.

Podstawowymi danymi wejściowymi do symulacji są parametry stopu odlewu oraz masy formierskiej. Parametrami charakteryzującymi dany stop i niezbędnymi do przeprowadzenia symulacji są dane termofizyczne materiału takie, jak: zależność od temperatury: ciepła właściwego, przewodności cieplnej i gęstości. Pozostałe parametry to czas i temperatura zalewania. Są to nieodłączne cechy procesu zalewania, które można określić wprost w odlewni. Innym niezwykle ważnym parametrem jest współczynnik wnikania ciepła z metalu do formy. Ten parametr jest zawarty w bazie danych programu MAGMASoft.

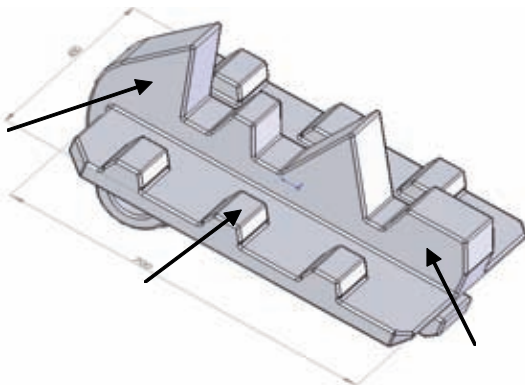
## 1. Symulacja zalewania i krzepnięcia

Przeprowadzona symulacja miała za zadanie sprawdzenie wcześniej opracowanej technologii dwóch odlewów staliwnych [4].

Technologia została zaproponowana przez zakład i obejmowała: rozmieszczenie wraz z wymiarami układu wlewowego, rozmieszczenie oraz wielkości układu zasilającego. Na podstawie dostarczonej dokumentacji przygotowano rysunki w formacie AutoCad 3D. Taka dokumentacja jest podstawą do przygotowania symulacji odlewania z wykorzystaniem programu MAGMASoft.

### Odlew I

Odlew oznaczony jako I charakteryzuje się kilkoma węzłami cieplnymi. Jego masa wynosi około 220 kg. Odlew jest wykonywany ze staliwa GS25CrMo4. Przyjęta temperatura zalewania wynosiła 1600°C a czas zalewania 35 sekund.

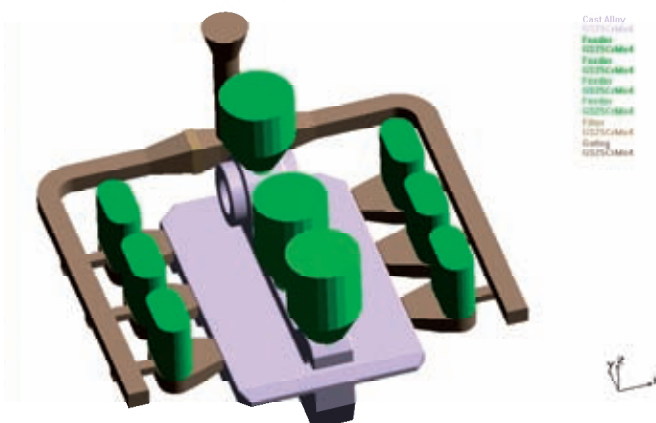


Rys. 1. Kształt i wymiary odlewu I oraz zaznaczone węzły cieplne

Fig. 1. Configuration and dimensions of casting I and marked places of hot spots

Technologia zakładała 9 nadlewów wszystkie nadlewy są izolowane. Rysunek 2 przedstawia technologię wyjściową odlewania odlewu.

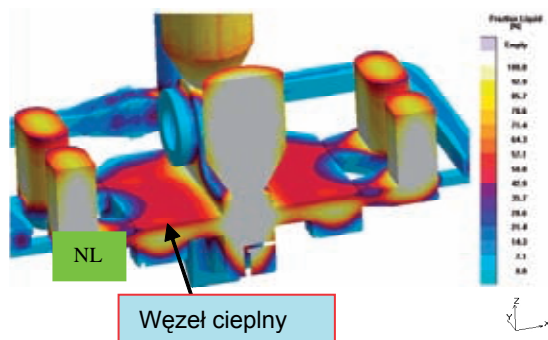
Przeprowadzona analiza wykazała iż odlew posiada dużo wad porowatości o dużych rozmiarach.



Rys. 2. Technologia wyjściowa odlewania odlewu I  
Fig. 2. Previously used technology for making casting I

Powstałe wady są wynikiem braku zasilania węzłów cieplnych. Nadlew jest oddalony od odlewu i połączony szyjką o równomiernej grubości, która ma tendencję do szybkiego przechłodzenia. Sama wielkość nadlewów bocznych wydaje się wystarczająca do zasilania, długo krzepną jednak zostają zbyt wcześnie odcięte od zasilanych węzłów cieplnych (rys. 3).

Duże porowatości powstają również w środkowej części odlewu, pomimo 3 dużych nadlewów. Konfiguracja kształtów i trudność umieszczenia nadlewów w ten sposób aby zapewnić kierunkowość krzepnięcia są powodem dużych wad, pomimo stosowania nawet dużych nadlewów. Powstające porowatości w odlewie przedstawiono na rysunku 4.



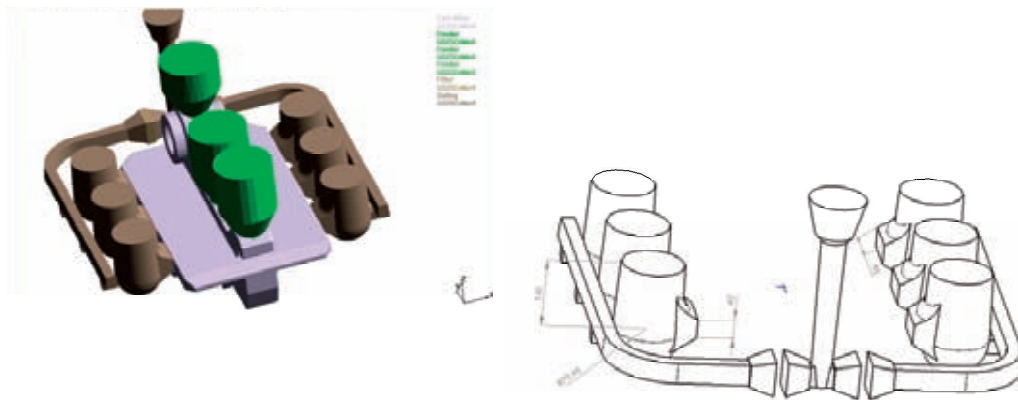
Rys. 3. Krzepnięcie połączenia nadlew-odlew  
Fig. 3. The solidification of riser-casting section



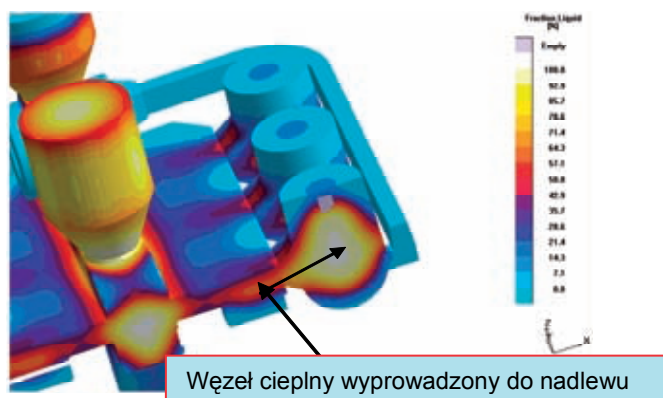
Rys. 4. Porowatość w odlewie w wyjściowej technologii  
Fig. 4. Porosity in casting made by the previously used technology

Zaproponowana nowa technologia (rys. 5) nie zwiększa ilości metalu wprowadzane-  
go do wnęki formy, eliminuje w większości wady odlewu. Boczne nadlewy połączone są  
większą szyjką z węzłem cieplnym tak, aby wymusić kierunkowe krzepnięcie. Podczas  
krzepnięcia węzeł cieplny jest cały czas zasilany z nadlewu. W przekroju układ-odlew-  
nadlew pokazanym na rysunku 6 widać, że węzeł cieplny jest wyprowadzany do nadlewu.  
Zdecydowanie sprzyja to kierunkowemu zasilaniu w wyniku czego porowatość w tym  
obszarze została zdecydowanie zmniejszona (rys. 7).

Poważnym problemem jest zasilenie węzła cieplnego w środkowej części odlewu.  
W tym obszarze powstaje duża porowatość (rys. 4 ). Nadlew stojący nad rdzeniem nie  
jest w stanie zasilić tak głęboko umiejscowionego węzła cieplnego, do którego przepływ  
metal z nadlewu jest utrudniony ze względu na znajdujący rdzeń. Jedynym rozwią-  
zaniem jest zastosowanie ochładzalników w dolnej części odlewu. Przeprowadzona symu-  
lacja z wprowadzonymi ochładzalnikami pokazuje iż wielkość porowatości w tym obszar-  
ze zdecydowanie uległa zmniejszeniu (rys. 8).

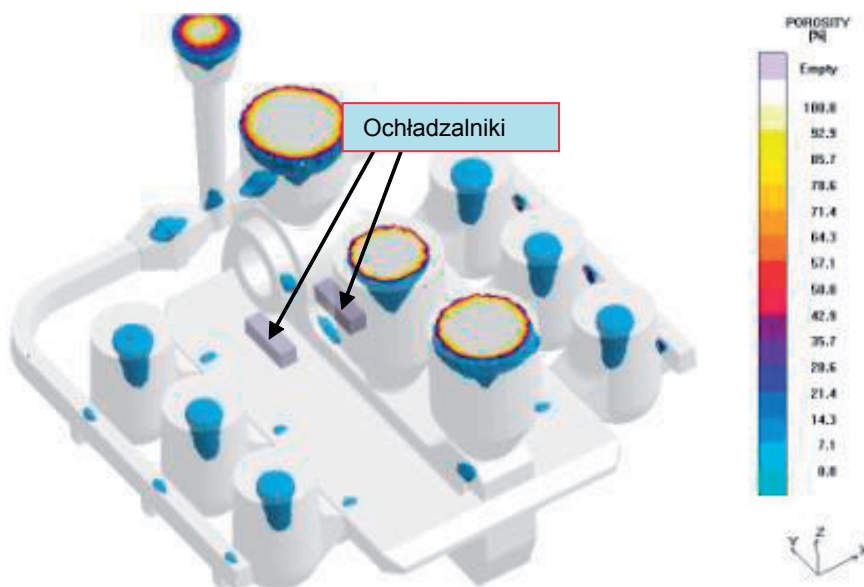


Rys. 5. Proponowana nowa technologia odlewu I  
Fig. 5. Proposed new technology for making casting I



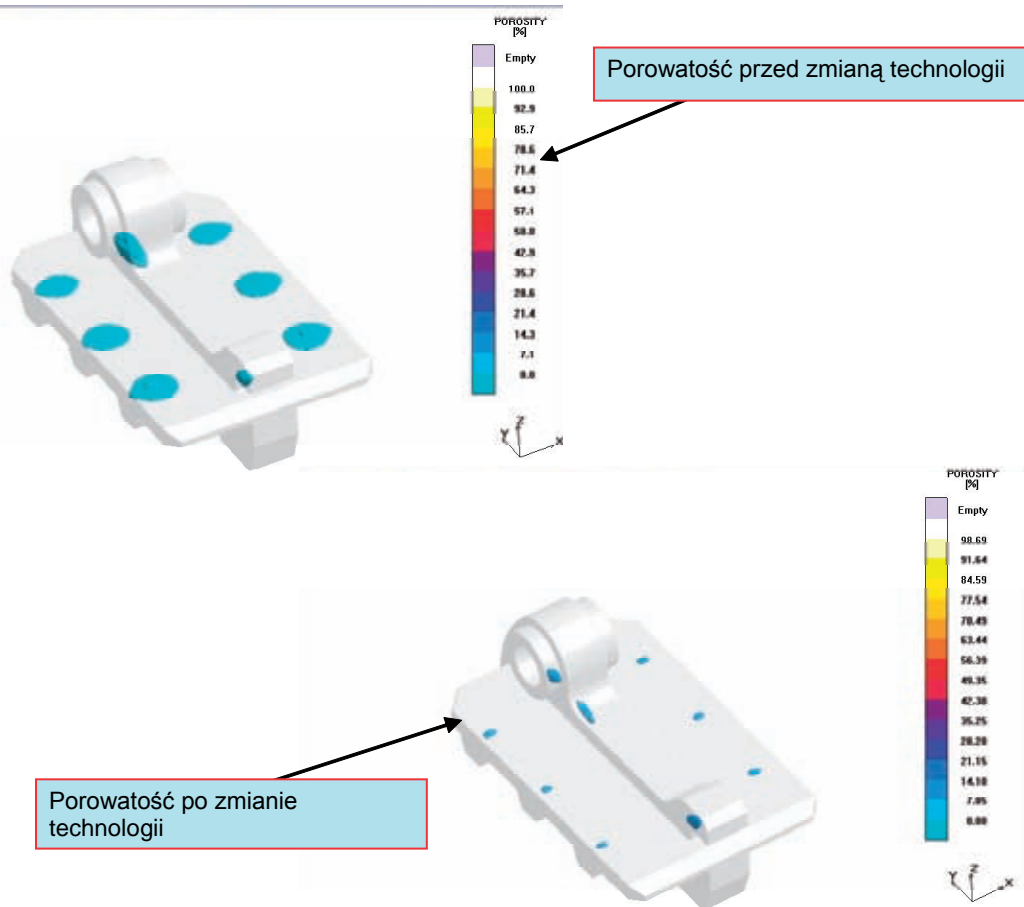
Rys. 6. Kolejne fazy krzepnięcia

Fig. 6. The successive stages of solidification



Rys. 7. Porowatość w odlewie po zmianie technologii

Fig. 7. Porosity in casting made by new technology



Rys. 8. Porównanie wielkości porowatości dla obu technologii  
 Fig. 8. Comparison of the severity level of porosity in castings  
 made by both technologies

## Odlew II

Odlew oznaczony jako II charakteryzuje się równomierną grubością ścianki. Masa metalu wlewanego do formy wraz układem wlewowym i nadlewami wg pierwszej wersji technologii wynosi około 713 kg (rys. 9) Odlew jest wykonywany ze staliwa GX5CrNi18-10. Przyjęta temperatura zalewania wynosiła 1500°C a czas zalewania 80 sekund.

Odlew jest od dołu uźebrowany co sprawia iż krzyżujące się żebra tworzą węzły cieplne. W tych miejscach zostały wprowadzone nadlewy, 14 nadlewów Kalminex X3 oraz w środku jeden nadlew X4. Nadlewy są połączone z odlewem bezpośrednio bez szyjki. Rysunek 10 przedstawiający krzepnięcie odlewu wraz z nadlewami w przekroju poprzecznym, pokazuje iż węzeł cieplny tworzy się na połączeniu odlewu z nadlewami. Duża powierzchnia styku generuje dodatkowy układ cieplny i pomimo że moduły nadlewów są odpowiednie dla węzła cieplnego odlewu to powstający większy węzeł cieplny uniemożliwia prawidłowe zasilenie odlewu.

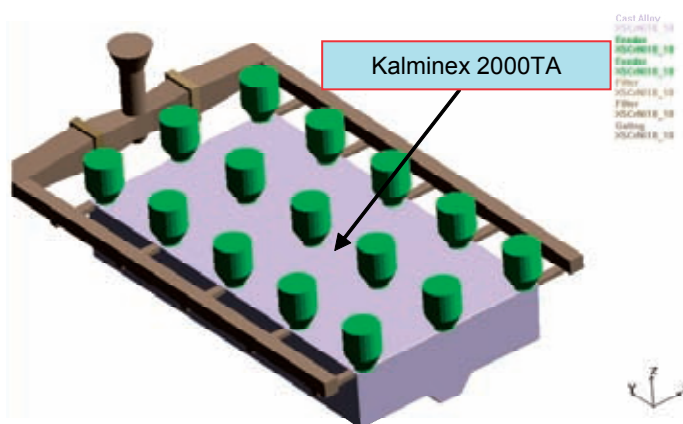




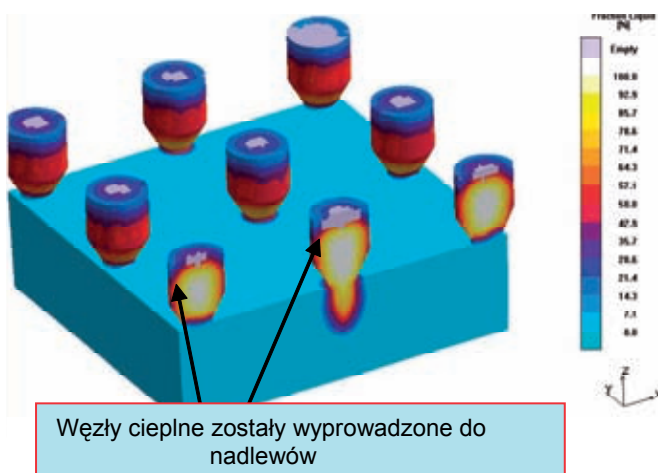
Zmiana technologii (rys. 11) zmierzała do wyeliminowania powstawania dodatkowych węzłów cieplnych na połączeniu nadlew-odlew. Polegała na wprowadzeniu w te same miejsca nadlewów z przeponkami Kalminex ZTA4. Ogólna masa metalu wlewanego do formy wzrosła do 772 kg. Przeprowadzona symulacja krzepnięcia wykazała, że porowatość uległa zdecydowanemu zmniejszeniu.

Wprowadzone nadlewy wyprowadzają węzeł cieplny do góry tak jak to przedstawia rysunek 12.

Porównanie rozkładu porowatości w obu technologiach pokazuje iż zmiana wielkości i sposobu zasilania zmniejsza porowatość (rys. 13).

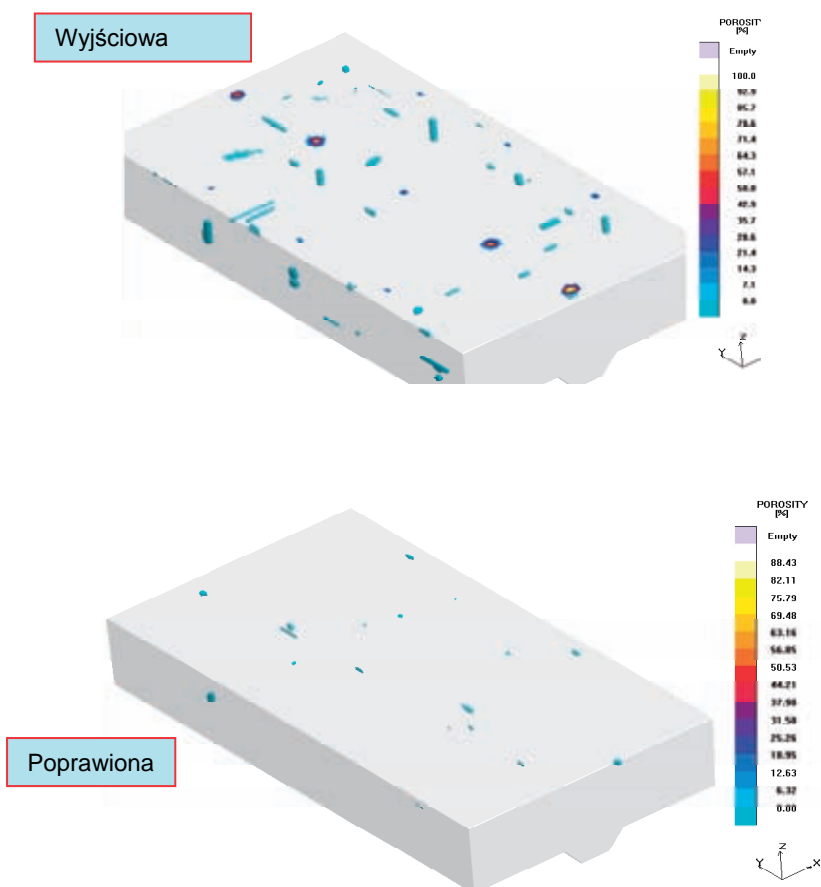


Rys. 11. Technologia poprawiona  
Fig. 11. Proposed new technology



Rys. 12. Krzepnięcie odlewu i nadlewu w przekroju odlewu  
Fig. 12. The solidification of casting-riser section





Rys. 13. Rozkład porowatości w obu technologiach  
Fig. 13. Porosity distribution obtained in both technologies

Wyniki uzyskane w analizie krzepnięcia i zmiany technologii będą zweryfikowane podczas wytopów w MAGNUS-NORD Sp. z o.o.

## Podziękowania

Artykuł powstał w oparciu o wyniki badań przemysłowych wykonanych w ramach projektu celowego ROW-II-403/2008 pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania i uruchomienie produkcji odlewów stalowych o zwiększonych właściwościach w niskiej temperaturze” realizowanego w Magnus-Nord Sp. z o.o. w Toruniu. Autorzy składają podziękowania Prezesowi Magnus-Nord Panu Krzysztofowi Żurawskiemu za współpracę oraz umożliwienie przeprowadzenia badań.

## Literatura

1. Feeding and Riserling Guidelines for Steel Casting, Steel Foundries' Society of America, 2001
2. Moryan E.: Analyzing Steel Alloy Filtration. Modern Casting, September 2003
3. Shamsuddin Sulaiman, Lim Ying Pio: Validation of MAGMASoft simulation of the sand Casting process, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Universiti Putra Malaysia
4. Pirowski Z. i in.: Opracowanie technologii wytwarzania i uruchomienie produkcji odlewów stalowych o zwiększonych właściwościach mechanicznych w niskiej temperaturze. Praca nauk.-bad., Instytut Odlewnictwa, 2008 (Zl.7207/01)

*Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef S. Suchy*