

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych

Investment casting of Ni alloys of critical parts of aircraft engines

Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

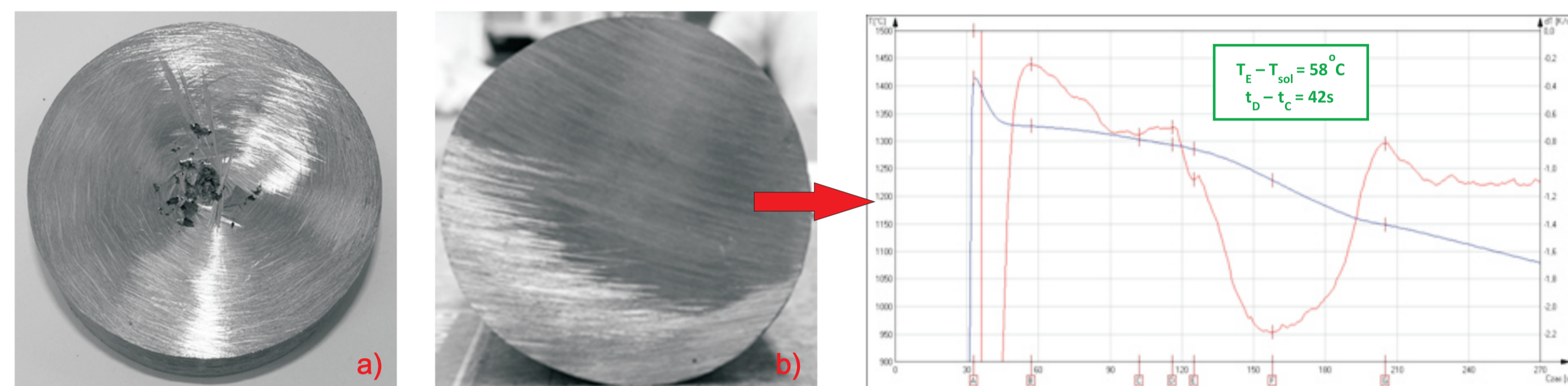
Wyniki badań Results

Ocena jakości stopu wsadowego CONCAST nadstopu niklu IN 713C

Evaluation of quality of CONCAST IN 713C nickel superalloy charge

Wlewku otrzymanym metodą Concast nie występują jamy skurczowe. Charakteryzuje się on lepszą jakością metalurgiczną od wlewów konwencjonalnych. Ujawniono w nim nieliczne wtrącenia niemetaliczne.

There are no contraction cavity on surface of ingot produced with Concast method. The ingot is characterized by better metallurgical quality than ingots produced conventionally. Not numerous nonmetallic inclusions were observed in it.

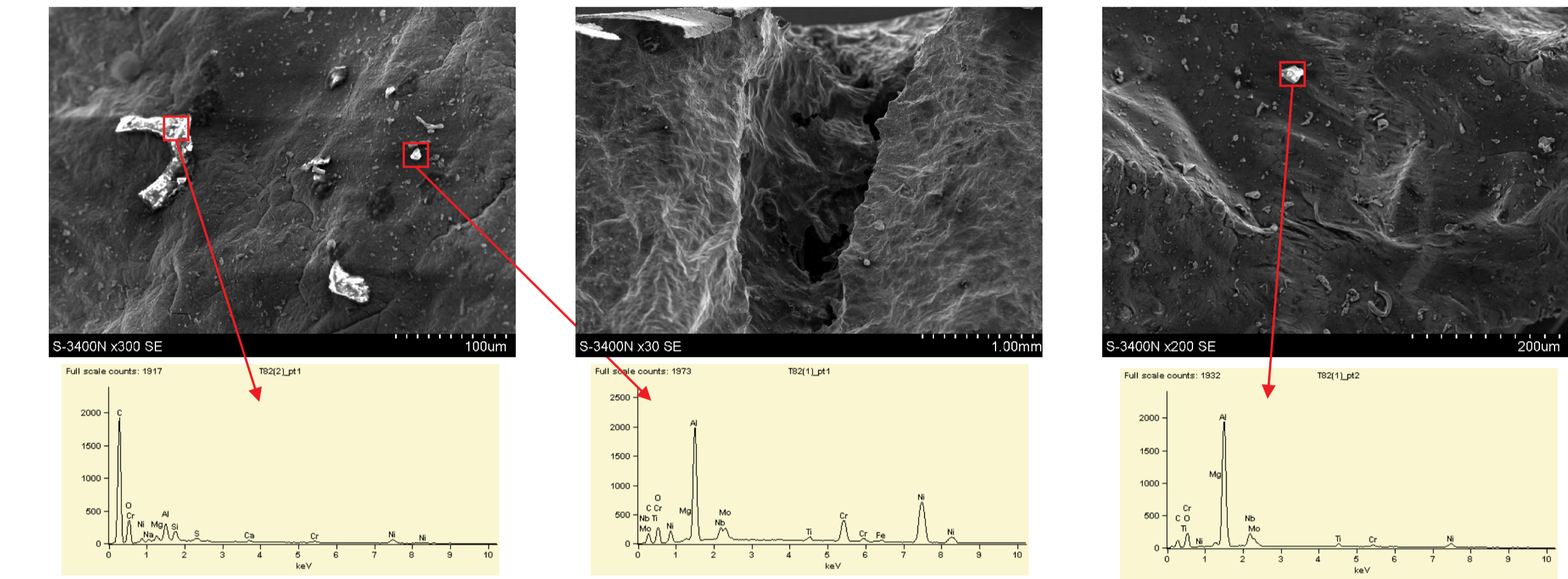


Przekrój wlewka wsadowego z nadstopu IN 713C: a) "master heat" otrzymany metodą konwencjonalną, b) "master heat" otrzymany metodą Concast

Cross section of IN 713C superalloy charge ingot: a) conventionally manufactured "master heat", b) "master heat" obtained with Concast method

Krzywa termiczna potwierdzająca dobrą jakość metalurgiczną nadstopu

Thermal curve confirming good metallurgical quality of the superalloy



Obrazy SEM i analiza EDS nielicznych wtrąceń we wlewku Concast po analizie ATD (zaznaczono obszary analizy)

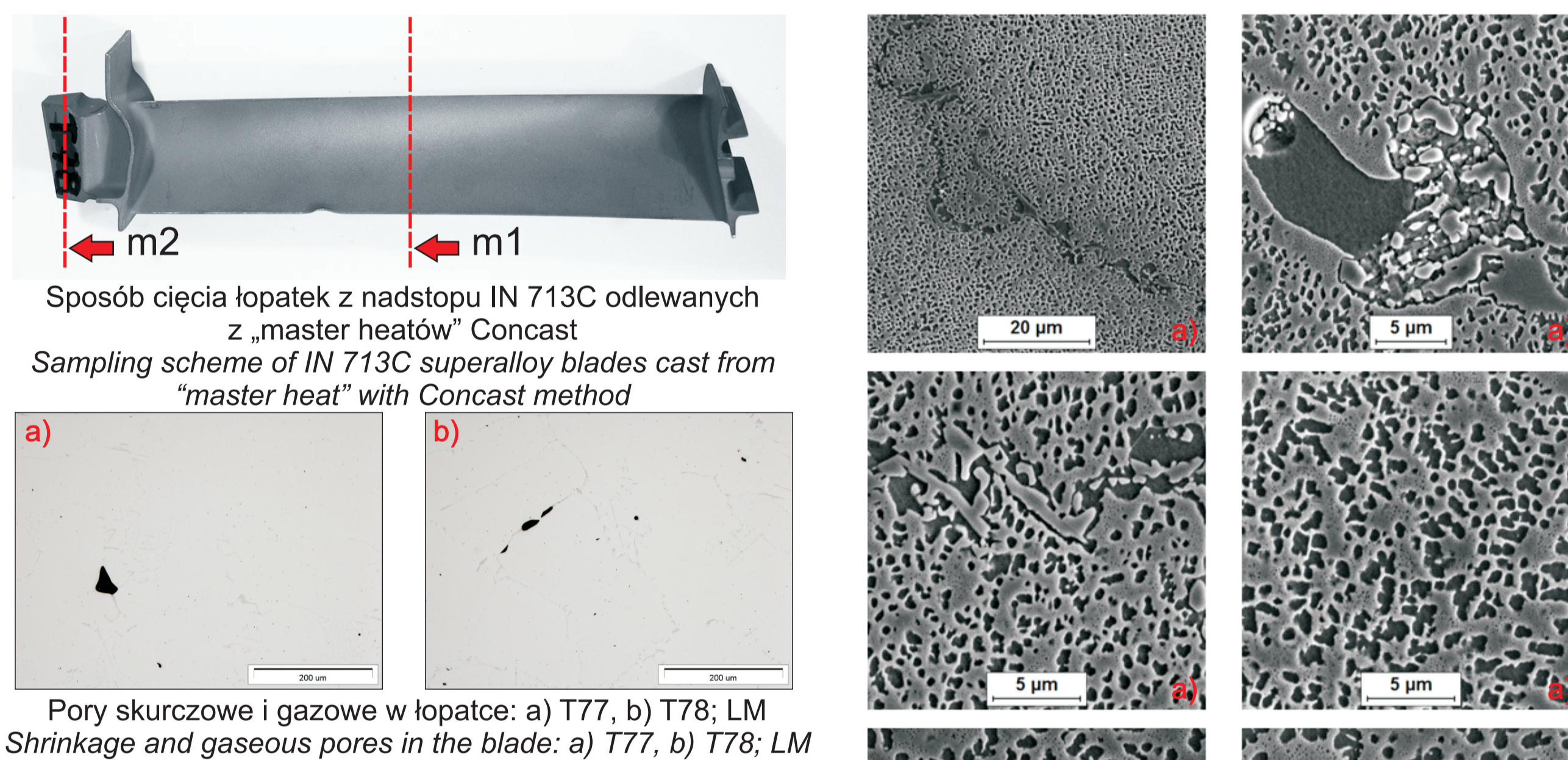
SEM images and EDS analysis of very few inclusions in Concast ingot after ATD analysis (analysis area is marked)

Ocena powtarzalności mikrostruktury odlewów łopatek z nadstopu IN 713C otrzymanego metodą CONCAST

Evaluation of repeatability of IN 713C superalloy cast blades manufactured using CONCAST method

Cel badań: ocena porowatości i mikrostruktury łopatek z nadstopu niklu IN 713C otrzymywanych metodą Concast oraz powtarzalności porowatości i mikrostruktury tych łopatek pobranych z różnych miejsc układu odlewniczego.

Aim of investigations: evaluation of porosity and microstructure of nickel IN 713C superalloy blades manufactured with Concast method; determination of microstructure and porosity repeatability of blades taken from various places of the casting set.



Sposób cięcia łopatek z nadstopu IN 713C odlewanych z "master heatów" Concast

Sampling scheme of IN 713C superalloy blades cast from "master heat" with Concast method

Porowatość i gazowe pory w łopatkach: a) T77, b) T78; LM

Shrinkage and gaseous pores in the blade: a) T77, b) T78; LM

Mikrostruktura na przekroju poprzecznym łopatek: a) T77, b) T78; SEM

Microstructure of blade cross section: a) T77, b) T78; SEM

Wnioski Conclusions

W jamie usadowej wlewka po analizie ATD stwierdzono obecność następujących wtrąceń niemetalicznych (w nawiasach podano ich źródła): tlenek aluminium Al_2O_3 (składnik jednej z warstw formy ceramicznej, materiał ścierny używany do czyszczenia odlewów, produkt rozkładu modyfikatora - glinianu kobaltu); tlenek krzemu SiO_2 (spoiwo formy ceramicznej); glinokrzemiany (spoiwo formy ceramicznej); żelazo i jego tlenki (składnik masy wlewowej, zanieczyszczenia stopu wsadowego). Zastosowanie testu zgodności λ Kolmogorowa-Smirnowa i test sumy rang Kruskala-Wallis wykazało, że cechy porowatości w łopatkach ze stopu IN-713C otrzymanego metodą Concast, pochodzących z różnych miejsc układu odlewniczego są powtarzalne. Uzyskane wyniki dotyczące ilości i wielkości porów nie przekraczają wartości dopuszczalnych. Ocena jakościowa mikrostruktury łopatek pochodzących z różnych miejsc układu odlewniczego wykazała obecność tych samych faz i składników strukturalnych.

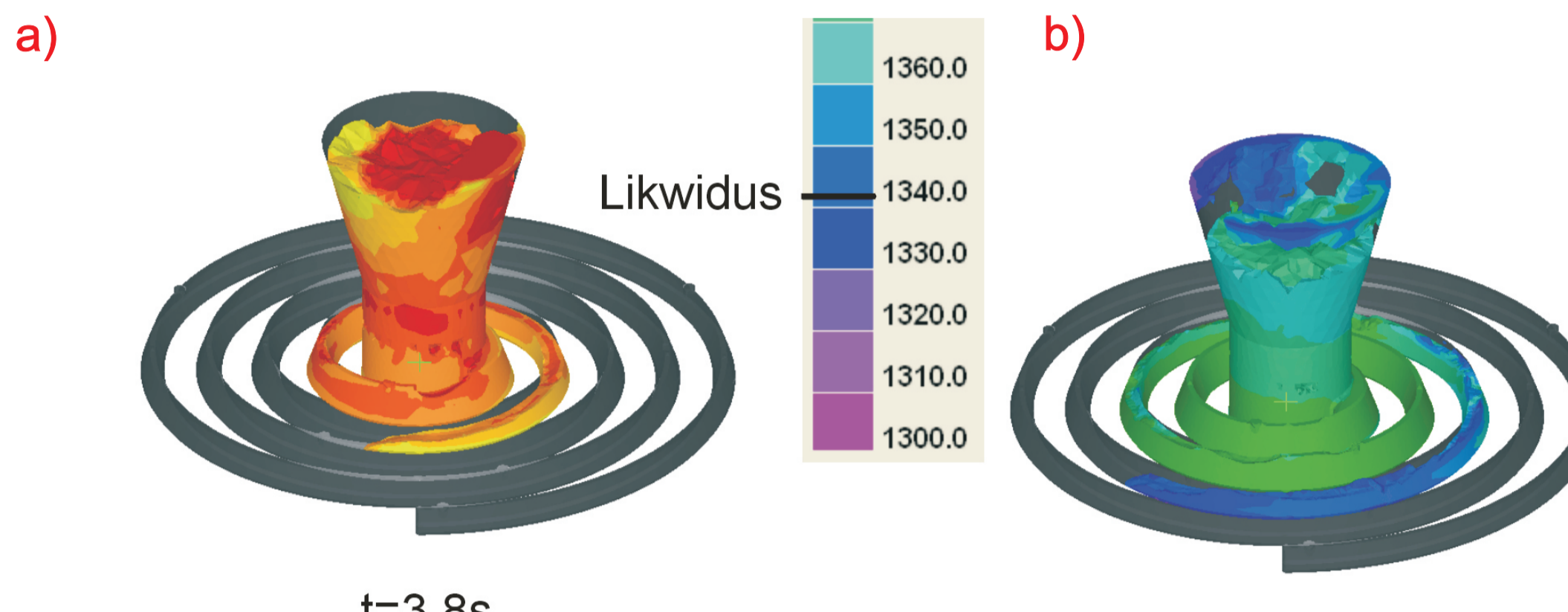
In shrink hole of the ingot after ATD analysis presence of the following nonmetallic inclusions was shown (with their origin in the brackets): Al_2O_3 (component of one of the ceramic mould layer, abrasive material used for cast cleaning, product of modifier, cobalt aluminate, decomposition); SiO_2 (ceramic mould binder); iron and its oxides (components of flat sprue, impurities of charge alloy). Applying of Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit and Kruskal-Wallis test of ranks sum has shown that porosity characteristics of IN 713C alloy blades manufactured with Concast method and coming from various places of the casting set are repeatable. The obtained results concerning number and size of the pores do not exceed acceptable values. Qualitative microstructural evaluation of blades coming from various places of the casting set revealed presence of the same phases and structural components.

Wyniki badań Results

Symulacja numeryczna stopnia wypełnienia wnęki formy ceramicznej

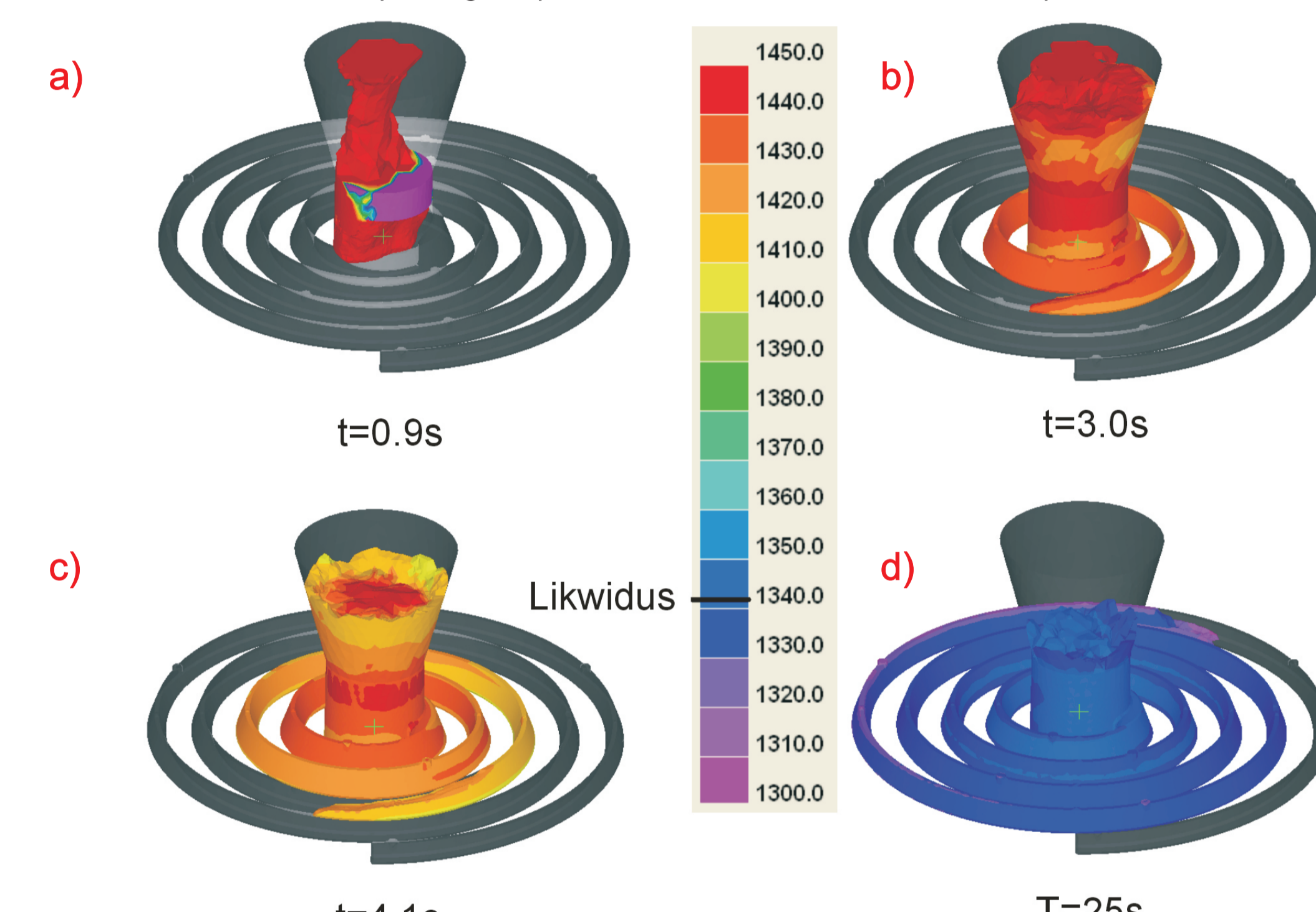
Numerical simulation of degree of mould cavity filling

Symulację numeryczną prowadzono z użyciem oprogramowania ProCAST w celu ustalenia prognozowanego przepływu ciekłego metalu i rozkładu wartości temperatury w wnęcie formy. The simulation was performed using ProCAST software to determine expected flow of liquid metal and temperature distribution in mould cavity.



Rozkład wartości temperatury i przepływ ciekłego metalu w wnęcie formy ceramicznej z uwzględnieniem filtra (a-b). Temperatura formy 1200°C, temperatura zalewania 1450°C, powierzchniowy udział porów w filtrze VF=0,3

Temperature distribution and liquid metal flow in ceramic mould cavity considering filter influence (a-b). Mould temperature 1200°C, pouring temperature 1450°C, area fraction of filter pores VF=0.3



Rozkład wartości temperatury i przepływ ciekłego metalu w wnęcie formy ceramicznej z uwzględnieniem filtra (a-d). Temperatura formy 1200°C, temperatura zalewania 1450°C, powierzchniowy udział porów w filtrze VF=0,6

Temperature distribution and liquid metal flow in ceramic mould cavity considering filter influence (a-d). Mould temperature 1200°C, pouring temperature 1450°C, area fraction of filter pores VF=0.6

Dobór materiału na ceramiczne filtry do precyzyjnego odlewania elementów silników lotniczych z nadstopu IN 713C

Selection of materials for investment cast parts of aircraft engines made from IN 713C superalloy

Cel badań: określenie wpływu rodzaju zastosowanego filtra na sposób wypełnienia wnęki formy odlewniczej.

Aim of investigations: determination of filter applied influence upon filling of mould cavity.

Wykonano osiem form z różnymi filtrami: 3 formy z filtrami płaskimi (10, 15 i 20 ppi), 3 formy z filtrami falowanymi (10, 15 i 20 ppi) oraz 2 formy filtrami z otoczką (10 i 15 ppi).

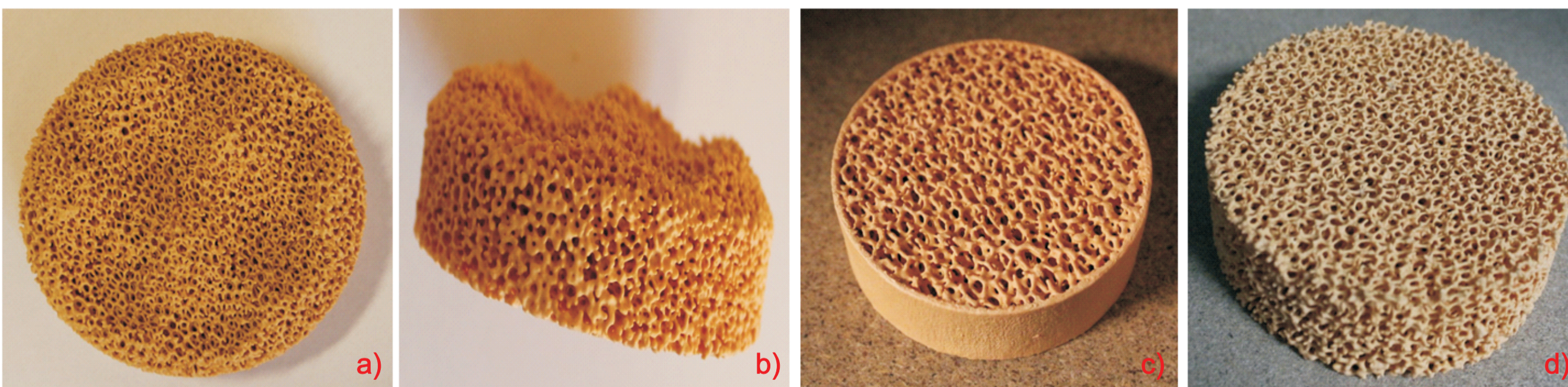
Eight forms with various filter were prepared: 3 with flat filters (10, 15 and 20 ppi), 3 with wavy filters (10, 15 and 20 ppi) and 2 rimmed filters (10 and 15 ppi).



Woskowy zestaw modelowy Wax model assembly

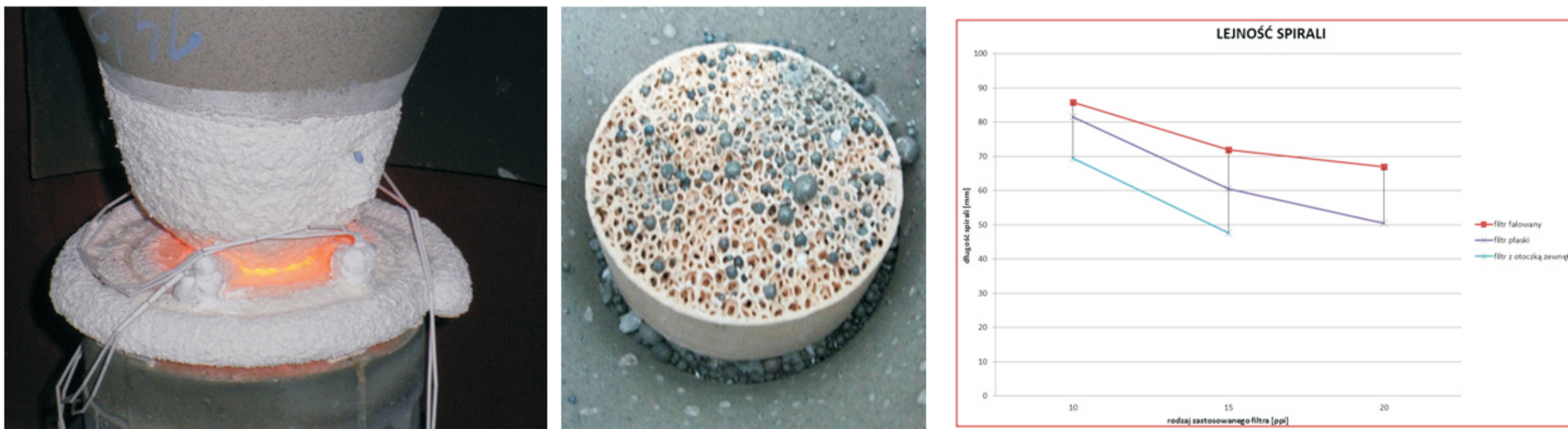
Model woskowy spirali Wax model of spiral

Forma ceramiczna Ceramic form



Zastosowane filtry ceramiczne: a), b) falowane, c) filtr z otoczką, d) filtr płaski

Applied ceramic filters: a), b) wavy, c) rimmed, d) flat



Forma w komorze pieca po zalaniu stopem Form in furnace chamber after alloy pouring

Formy po zalaniu i wybitiu Forms after pouring

Długość zalanej spirali w zależności od rodzaju filtra Length of cast spiral depending on filter type

Wnioski Conclusions

Udział powierzchniowy porów ma istotny wpływ na stopień wypełnienia formy. Zastosowanie filtra o większej powierzchni porów zmniejsza opór przepływu ciekłego stopu i zwiększa prędkość przepływu czoła strugi. Następuje wzrost stopnia wypełnienia wnęki formy z użyciem filtra o wartości parametru $VF=0,6$ w porównaniu z formą z filtrem o wartości $VF=0,3$. Filtry falowane ze względu na większą powierzchnię rozwinięcia mniej wyhamowują strugę metalu oraz redukują rozpryski w próżniowej komorze pieca podczas procesu zalewania w porównaniu z filtrami płaskimi. Mają one lepsze właściwości technologiczne w stosunku do filtrów płaskich i są rekomendowane do zastosowań produkcyjnych.

Area fraction of pores considerably affects degree of mould cavity filling. Applying of filter with higher pores surface reduces resistance of liquid metal flow and increases speed of stream front flow. Degree of mould cavity filling in case of filter of $VF=0.6$ is higher in comparison with $VF=0.3$ filter. Wavy filters, because of larger surface development, slow down metal stream and reduce splashing in vacuum chamber during cast process better than flat filters. They exhibit better technological properties in comparison with flat filters and are recommended in industrial applications.

Wyniki badań Results

Badania potencjału dzeta proszków formierskich

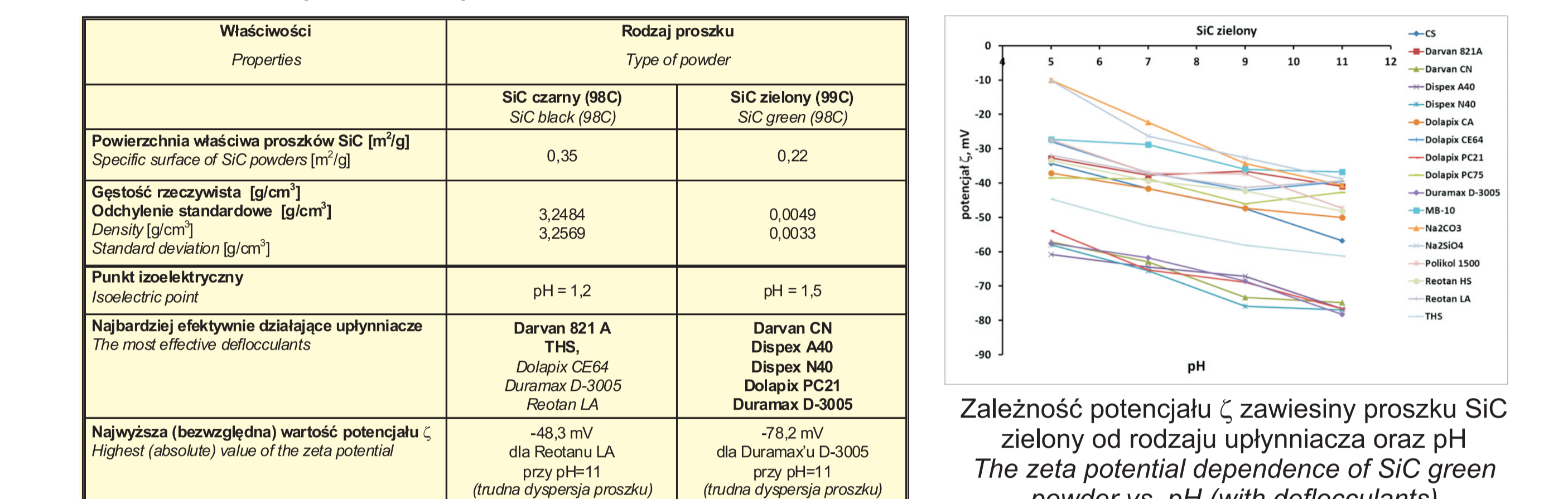
Investigations of zeta potential of moulding powders

Cel badań: określenie wpływu rodzaju upynnacza oraz pH zawiesiny na potencjał dzeta (ζ) proszków formierskich oraz wybór najbardziej efektywnych działających upynnaczy. Przedmiot badań: proszki: SiC czarny (98C) i SiC zielony (99C) oraz 17 upynnaczy komercyjnych.

Aim of investigations: determination of deflocculants type and suspension pH influence upon potential zeta of moulding powders and selection of the most effective deflocculants. The investigated powders: black SiC (98C), green SiC (99C) and 17 commercial deflocculants.

Właściwości proszków i zawiesin oraz najbardziej efektywnie działające upynnacze

Properties of powders and slurries the most effective deflocculants

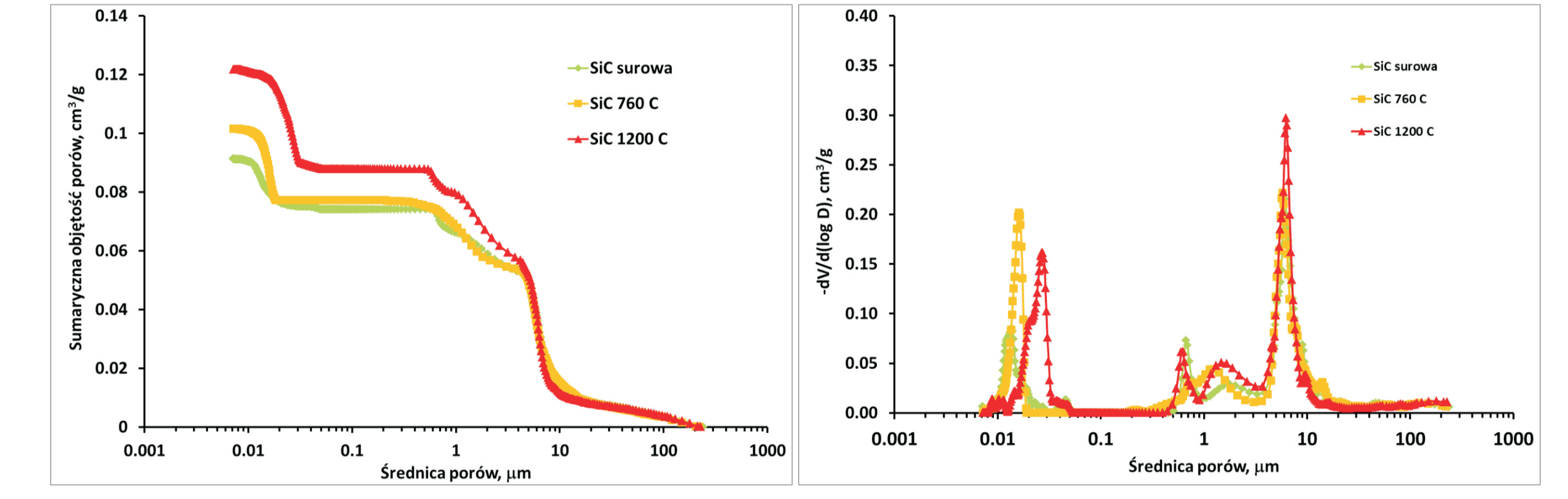


Badania porozymetryczne form ceramicznych z SiC

Porosimetry measurements of SiC ceramic moulds

Cel badań: określenie rozkładu wielkości porów w 3 próbkach porowatych spieków form ceramicznych z SiC: surowej, wypalanej w 760°C oraz wyzarzonej w 1260°C.

Aim of investigations: determination of pores size distribution in 3 samples of porous sinters of SiC ceramic moulds: not treated, fired at 760°C, cheated at 1260°C. Pores size distributions was assessed using mercury Poremaster 60.



Krzywe sumacyjne rozkładu wielkości porów w próbkach 100% SiC

Summation curves of pores size distributions of 100% SiC

Krzywe różniczkowe rozkładu wielkości porów w próbkach 100% SiC

Differential curves of pores size distributions of 100% SiC

Wnioski Conclusions

Próbki z serii „100% SiC” cechowały się dwumodalnym rozkładem wielkości porów. Główną populację stanowiły pory o średnicy 5 + 6 mm. Druga, mniejsza populacja złożona była z porów nanometrycznych. W trakcie wygrzewania nie zmieniała się wielkość porów, natomiast rosła ich sumaryczna objętość (porowatość otwarta).

The samples from "100% SiC" were characterised by bimodal pores size distribution. Pores of 5-6 mm diameter were the main fraction. During annealing pores size was not changing, whereas their total volume increased (open porosity).

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

- Malek M., Szymańska J., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Technological properties of silicon carbide ceramic slurries for fabrication ceramic shell moulds**. Conference Aluminum 2000, Florence, 12-16.05.2015.
- Malek M., Wiśniewski P., Kurzydowski K. J.: **Technological properties of ceramic slurries based on silicon carbide with poly(vinyl alcohol) addition for shell moulds fabrication in precision casting process**. 5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition (APMAS 2015), Oludeniz, 16-19.04.2015.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Charakteryzacja właściwości technologicznych mieszanek formierskich na bazie węglika krzemu stosowanych do produkcji ceramicznych form odlewniczych**. VI Krajowa Konferencja „Nowe Materiały Nowe Technologie w Przemysle Okrętowym i Maszynowym”, Swinoujście Ystad, 24-28.05.2015.

Publikacje

- Chmiela B., Kianicová M., Sozańska M.: **Degradation of diffusive aluminate coating after service in ZhS6K superalloy**. Solid State Phenomena 227, 2015, 349-352.
- Szczotok A.: **Study of casting from IN100 nickel-based superalloy using quantitative metallography and analytical electron microscopy**. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 4-5 (46), 2015, 320-329.

Referaty planowane

- Kościełniak B., Chmiela B., Cwajna J.: **Charakterystyka mikrostruktury modyfikowanego nadstopu na bazie niklu IN713C**. Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków-Rybo, 27-30.09.2015.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Influence of Binder Type on The SiC-Based Ceramic Slurries Properties for Casting Shell Moulds Fabrication**. Advanced Materials Word Congress, Stockholm, 23-26.08.2015.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Technological Properties of Binders Used For Fabrication Ceramic Shell Moulds**. CCTA 12 Conference of Calorimetry and Thermal Analysis, Zakopane, 6-10.09.2015.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Effect of Polyacrylic Binder Addition on the Technological Properties of SiC-Based Ceramic Slurries**. EMRS FALL MEETING 2015, Warszawa, 16-20.09.2015.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Influence of Binder Type on The Properties of SiC-Based Ceramic Slurries**. EUROMAT 2015, Warszawa, 20-24.09.2015.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Effect of Deflocculants Addition on Rheological Properties of Ceramic Slurries for Shell Moulds Fabrication**. 23rd International Conference on Materials and Technology, Portoroz, 27-30.09.2015.
- Szczotok A.: **Methods of revealing macro- and microstructure for selected Ni-based superalloys**. European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, Warszawa, 20-24.09.2015.
- Szczotok A., Cwajna J.: **Application of Quantitative Metallography to Cast Nickel-Based Superalloys**. Microscopy & Microanalysis 2015, Portland, Oregon, 2-6.08.2015.
- Szczotok A., Kościełniak B.: **Characterization of Microstructure of IN713C Superalloy after High Temperature Creep Test by LM, SEM and STEM**. ACEX 2015, Monachium, 29.06-2.07.2015.

Publikacje planowane

- Kościełniak B., Chmiela B., Cwajna J.: **Analysis of microstructure and phase identification in modified nickel-base superalloys using SEM and STEM method**. Archives of Metallurgy and Materials.
- Malek M., Szymańska J., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Technological properties of silicon carbide ceramic slurries for fabrication ceramic shell moulds**. Conference Aluminum 2000 proceedings, w druku.
- Malek M., Wiśniewski P., Kurzydowski K. J.: **Technological properties of ceramic slurries based on silicon carbide with poly(vinyl alcohol) addition for shell moulds fabrication in precision casting process**. Acta Physica Polonica A, w recenzji.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Charakteryzacja właściwości technologicznych mieszanek formierskich na bazie węglika krzemu stosowanych do produkcji ceramicznych form odlewniczych**. Inżynieria Materiałowa, w recenzji.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Influence of Binder Type on The SiC-Based Ceramic Slurries Properties for Casting Shell Moulds Fabrication**. Advanced Materials Letters.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Technological Properties of Binders Used For Fabrication Ceramic Shell Moulds**. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.
- Malek M., Wiśniewski P., Mizera J., Kurzydowski K. J.: **Effect of Deflocculants Addition on Rheological Properties of Ceramic Slurries for Shell Moulds Fabrication**. Materials and Technology.
- Szczotok, H. Malskiak: **Influence of variable casting wall thickness and shell mold constituents on secondary dendrite arm spacing in IN 713C superalloy castings**. Journal of Materials Processing Technology, w recenzji.

Zgłoszenia patentowe

3 zgłoszenia patentowe dotyczące mas formierskich z SiC analizowane przez Rzecznika Patentowego Politechniki Warszawskiej.