

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

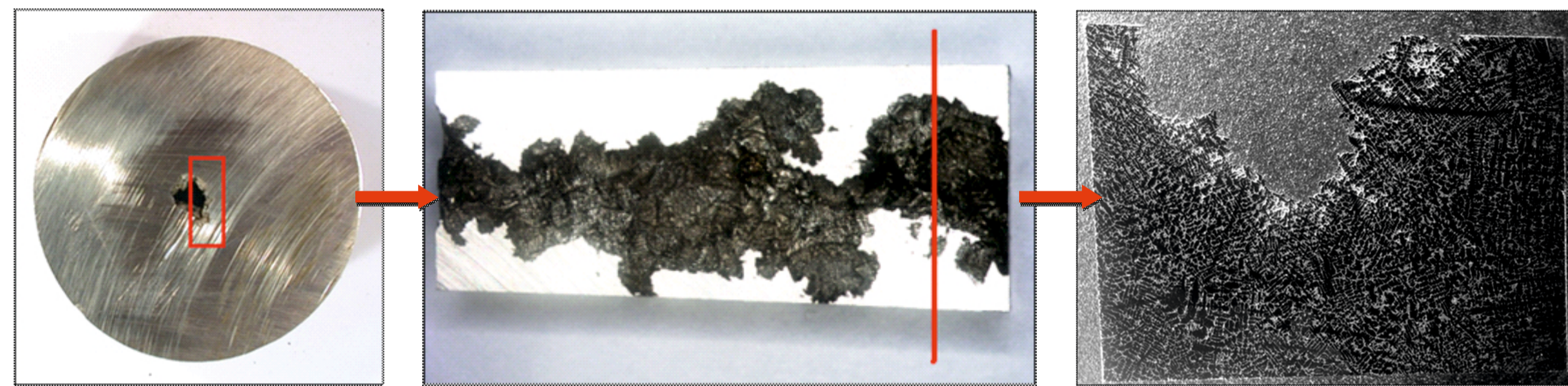
Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych

Precision casting of Ni alloys on critical parts of aircraft engines

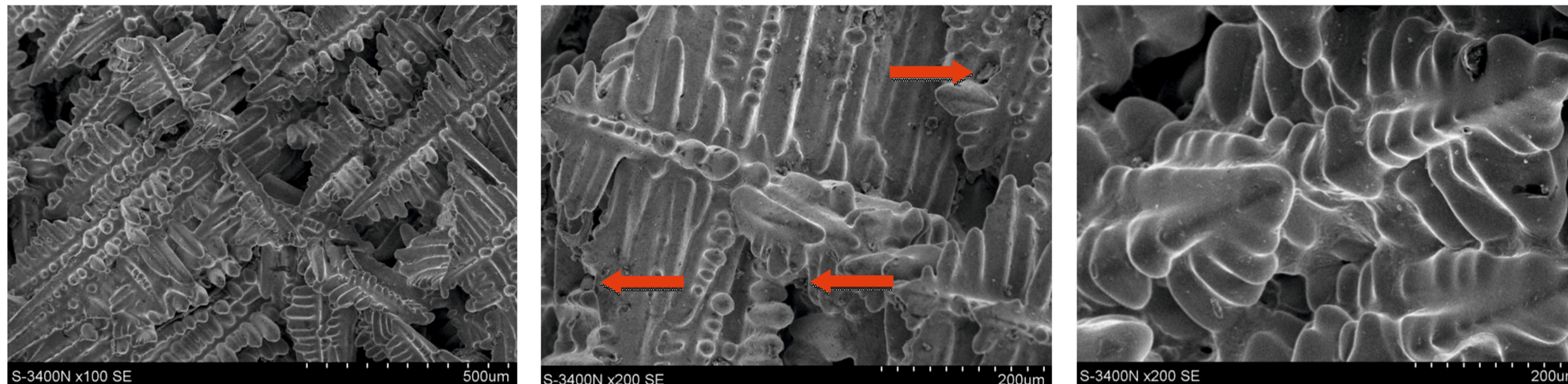
Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

Wyniki badań Results

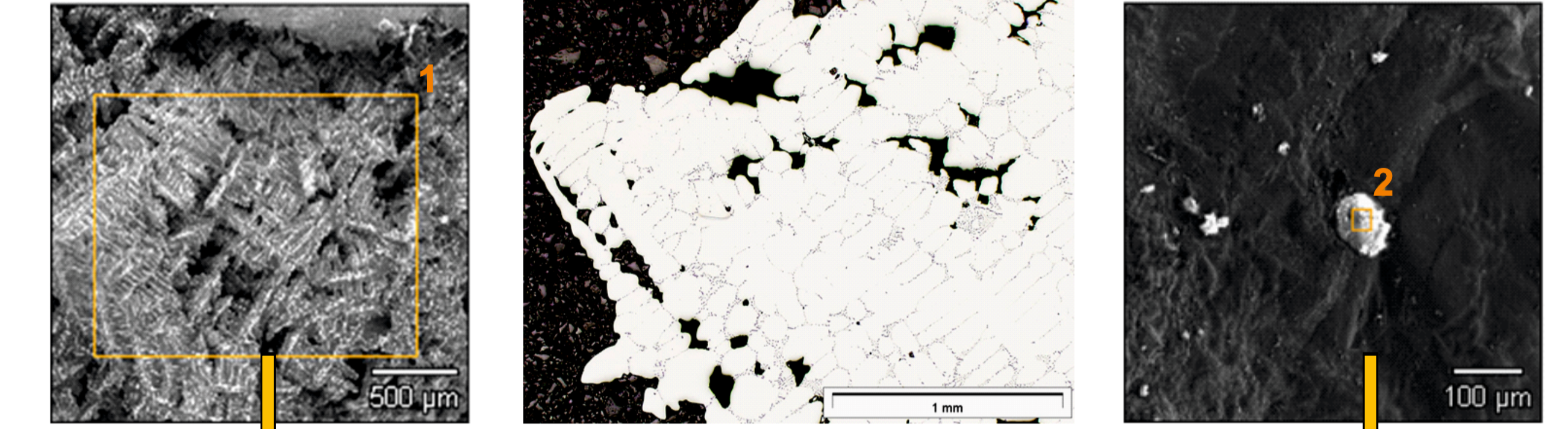
Ocena jakości metalurgicznej wlewków wsadowych na podstawie wyników analizy ATD
Evaluation of metallurgical quality of master heat on the basis of ATD analysis



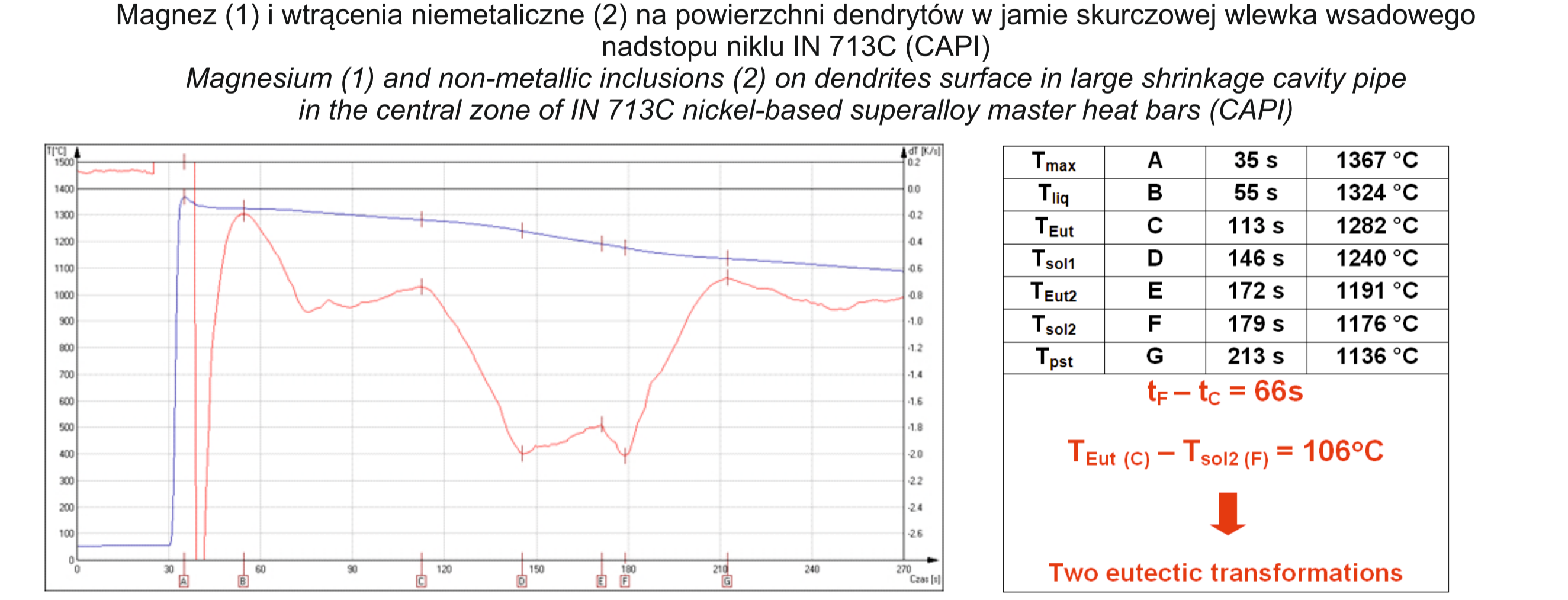
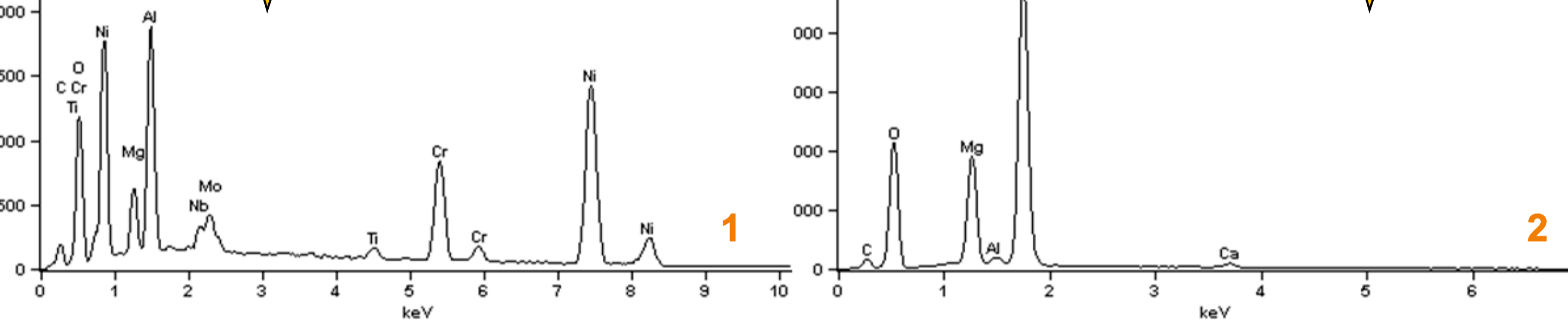
Przykład jamy skurczowej występującej w strefie osiowej wlewków wsadowych nadstopu niklu IN 713C (CAPI)
Example of large shrinkage cavity pipes in the central zone of IN 713C nickel-based superalloy master heat bars (CAPI)



Dendryty, wtrącecia niemetaliczne i pory skurczowe w jamie skurczowej wlewków wsadowych nadstopu niklu IN 713C (CAPI)
Dendrites, non-metallic inclusions and shrinkage pores in large shrinkage cavity pipe in the central zone of IN 713C nickel-based superalloy master heat bars (CAPI)



Magnez (1) i wtrącecia niemetaliczne (2) na powierzchni dendrytów w jamie skurczowej wlewków wsadowych nadstopu niklu IN 713C (CAPI)
Magnesium (1) and non-metallic inclusions (2) on dendrites surface in large shrinkage cavity pipe in the central zone of IN 713C nickel-based superalloy master heat bars (CAPI)



Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

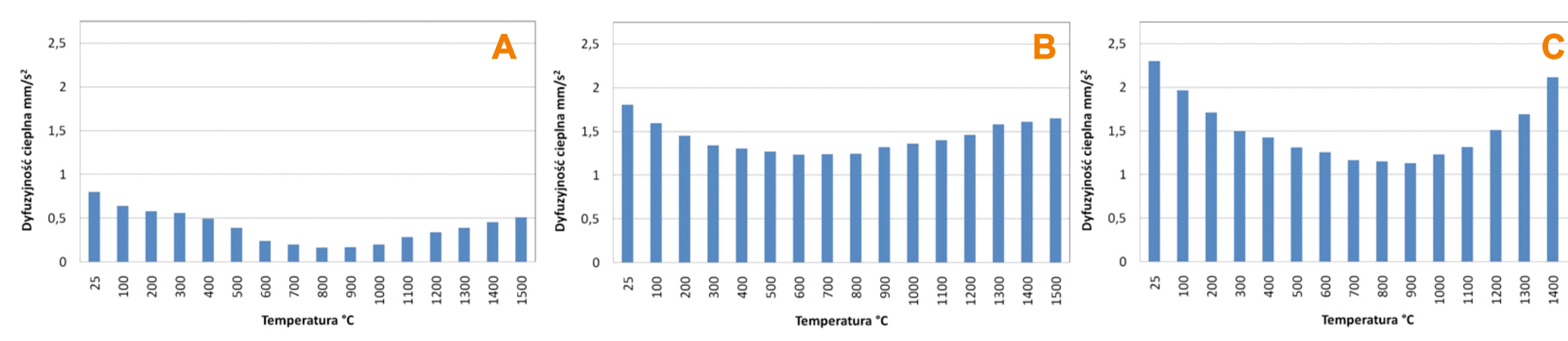
- Publikacje**
- Roskosz S.: Quantitative characterization of shrinkage and gas pores in turbine blades made of MAR M247 and IN 713C superalloys. Solid State Phenomena, 197, 2013, 64-69.
- Publikacje planowane**
- Roskosz S.: Evaluation of porosity of precision castings made of high-temperature creep resisting nickel superalloys. Practical Metallography/Praktische Metallographie.
 - Szczotok A., Cwajna J.: Characterizing of γ' phase in nickel-based superalloys, XIV International Conference on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials. Halkidiki, Greece, 23-28 czerwca 2013; Journal of Materials Science.
 - Szczotok A., Matysiak H.: Influence of constituents of shell mould on morphology and chemical composition of carbides occurring in castings from IN713C superalloy. 7th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, ACE-X 2013, Madrid, Spain, 1-4 lipca 2013; Key Engineering Materials.
 - Szczotok A., Chmiela B.: The Effect of Heat Treatment on Chemical Segregation in CMSX-4 Nickel-Based Superalloy. 7th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, ACE-X 2013, Madrid, Spain, 1-4 lipca 2013; Key Engineering Materials.
 - Chmiela B., Szeliga D., Sozańska M., Jarczyk J., Cwajna J.: Analysis of stray grain formation in single crystal CMSX-4 superalloy. Practical Metallography/Praktische Metallographie.
 - Chmiela B., Sozańska M., Cwajna J.: Application of EBSD technique to investigation and description of modern materials for aero engines turbine blades. Inżynieria Materiałowa.
- Prace doktorskie obronione**
- Chmiela B.: Zastosowanie metod mikroanalizy rentgenowskiej i techniki EBSD w badaniach materiałów dla lotnictwa. Termin zakończenia: 07.05.2013r.
- Prace magisterskie**
- Bojda G.: Wpływ modyfikacji powierzchniowej na mikrostrukturę i właściwości odlewów precyzyjnych z nadstopu niklu IN 713C. Planowany termin obrony: 06.2014r.
 - Psurek M.: Wpływ modyfikacji objętościowej na mikrostrukturę i właściwości odlewów precyzyjnych z nadstopu niklu IN 713C. Planowany termin obrony: 06.2014r.
 - Włodarczyk S.: Wpływ modyfikacji mieszanej na mikrostrukturę i właściwości odlewów precyzyjnych z nadstopu niklu IN 713C. Planowany termin obrony: 06.2014r.
 - Psurek M.: Mikrostruktura o właściwości łopatek turbiny silnika lotniczego odlanych precyzyjnie z nadstopu IN 713C do form z SiC. Planowany termin obrony: 06.2014r.
 - Oleszko A.: Wpływ parametrów procesu odlewania i grubości ścianki odlewu precyzyjnego z nadstopu IN 713C na jego mikrostrukturę. Planowany termin obrony: 06.2014r.

Wyniki badań Results

Nowe formy ceramiczne na osnowie SiC do odlewania nadstopów niklu
New ceramic shell moulds of SiC-based system for nickel superalloys casting



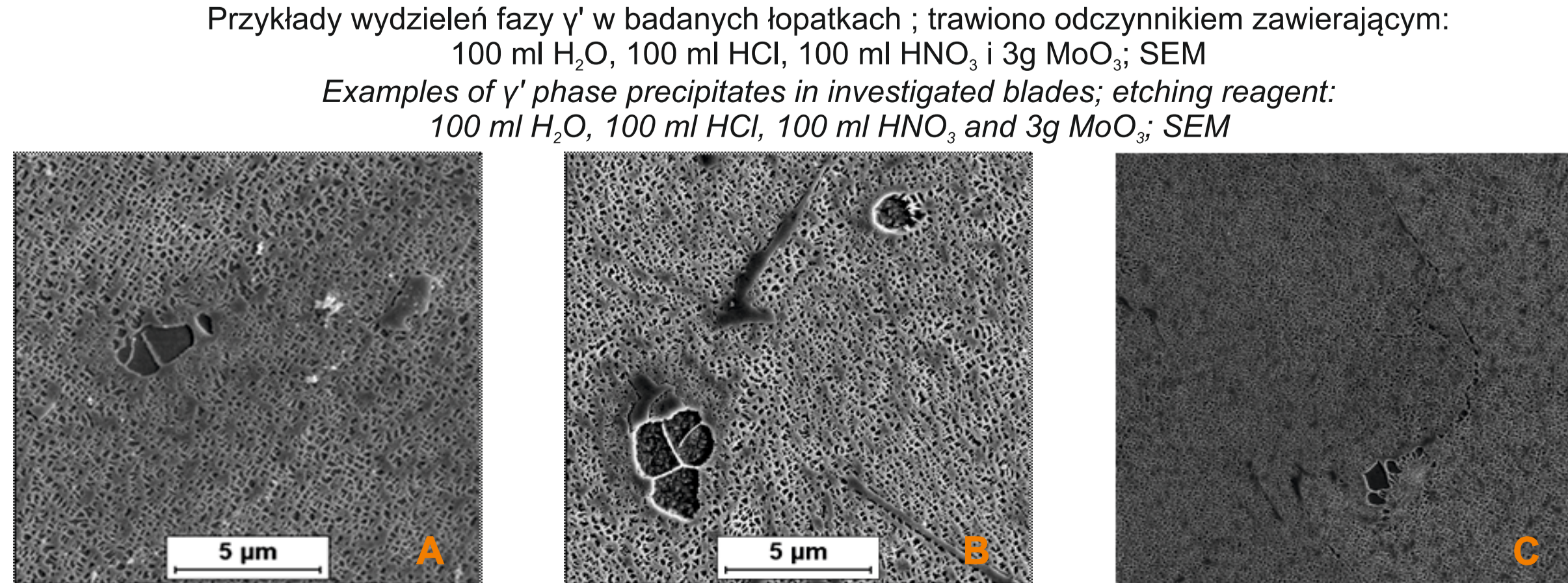
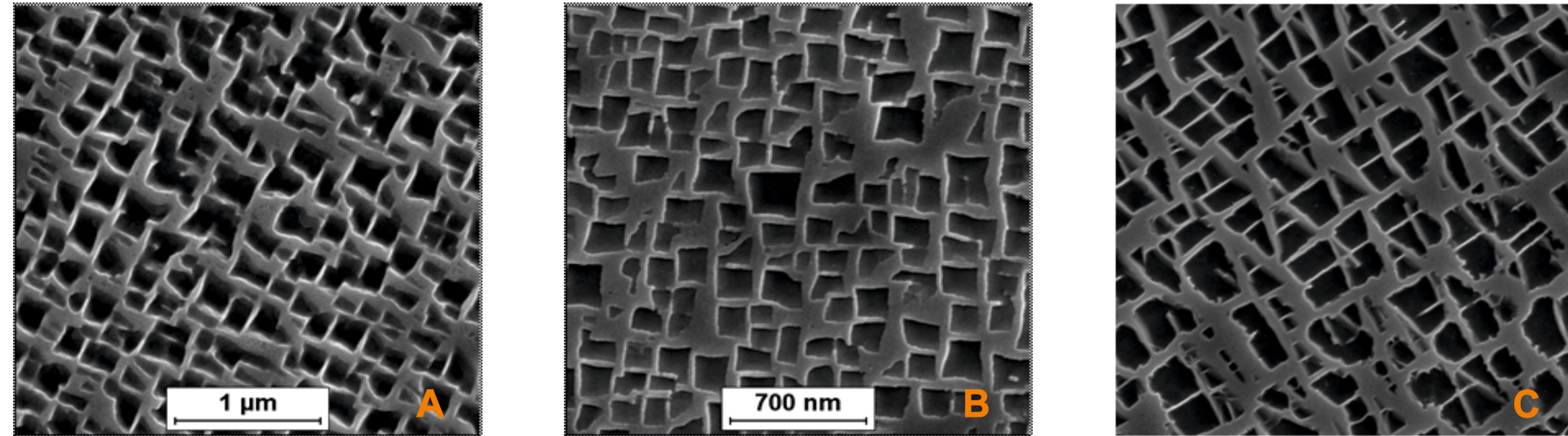
Formowanie zestawów modelowych: (1) model woskowy, (2) mieszanka na warstwy nośne formy (backup), (3) nanoszenie pierwszej warstwy, (4) obsypywanie, (5) formy, (6) badanie kinetyki suszenia form
Forming of model sets: (1) a wax pattern, (2) compound for the backup, (3) depositing a first layer (4) covering, (5) shell moulds, (6) investigation of kinetics of mould drying



Wyniki ilościowej oceny makro- i mikrostruktury łopatek z nadstopu IN 713C odlanych do nowych form ceramicznych
Results of quantitative evaluation of macro- and microstructure of blades cast into new ceramic shells

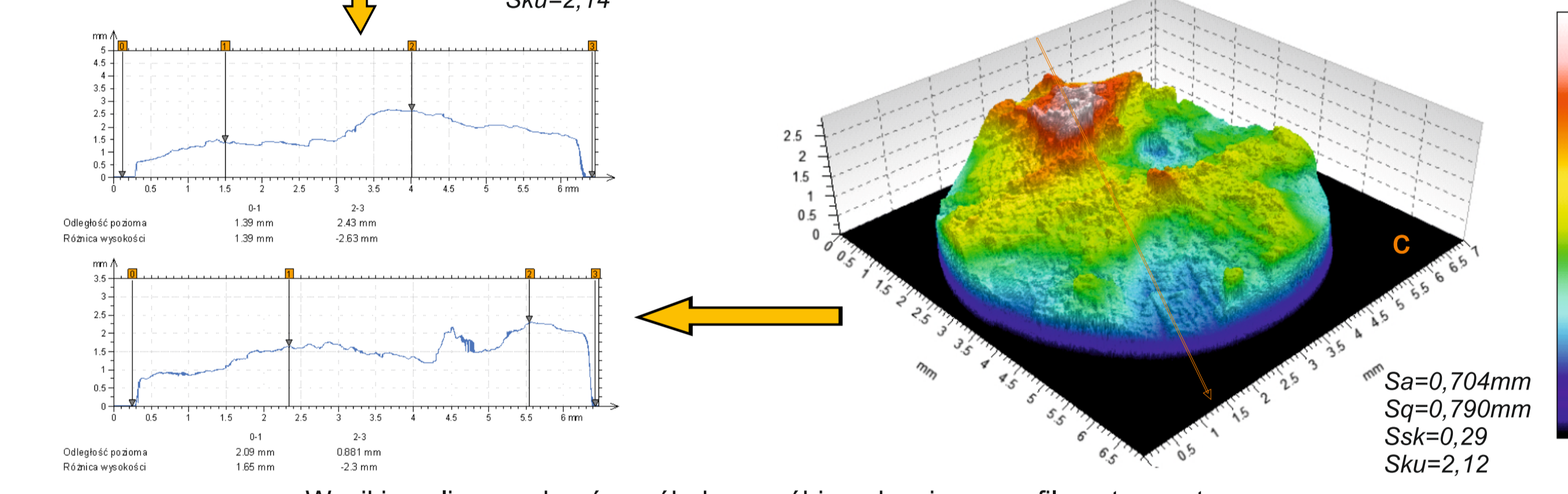
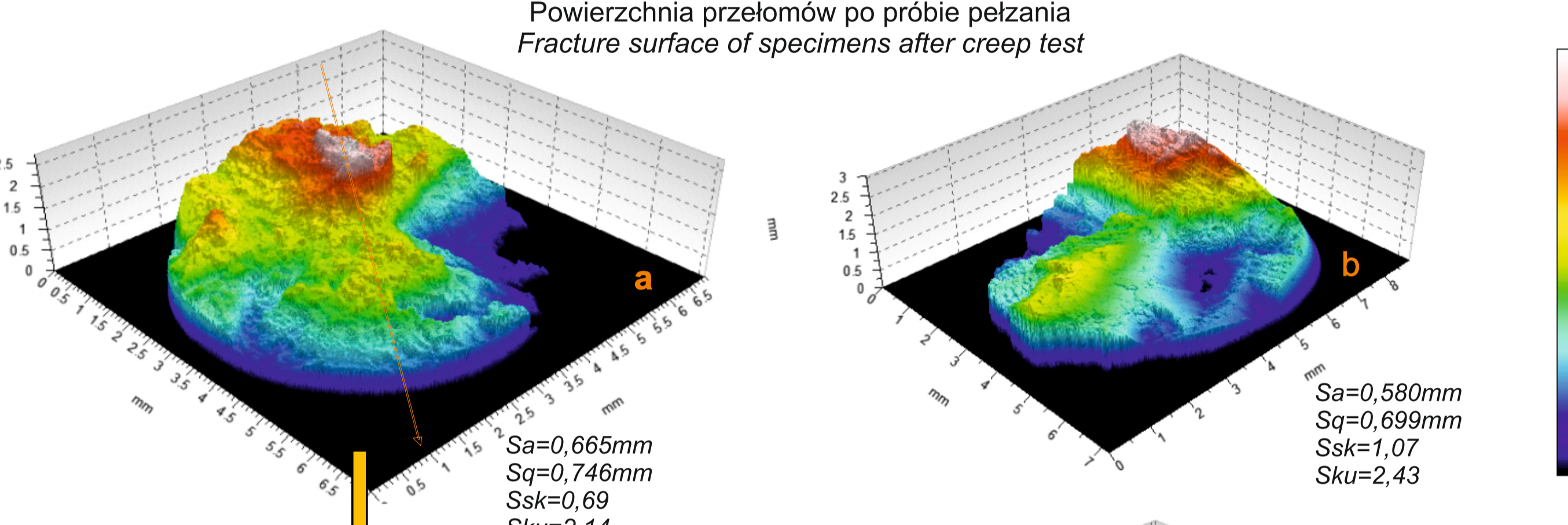
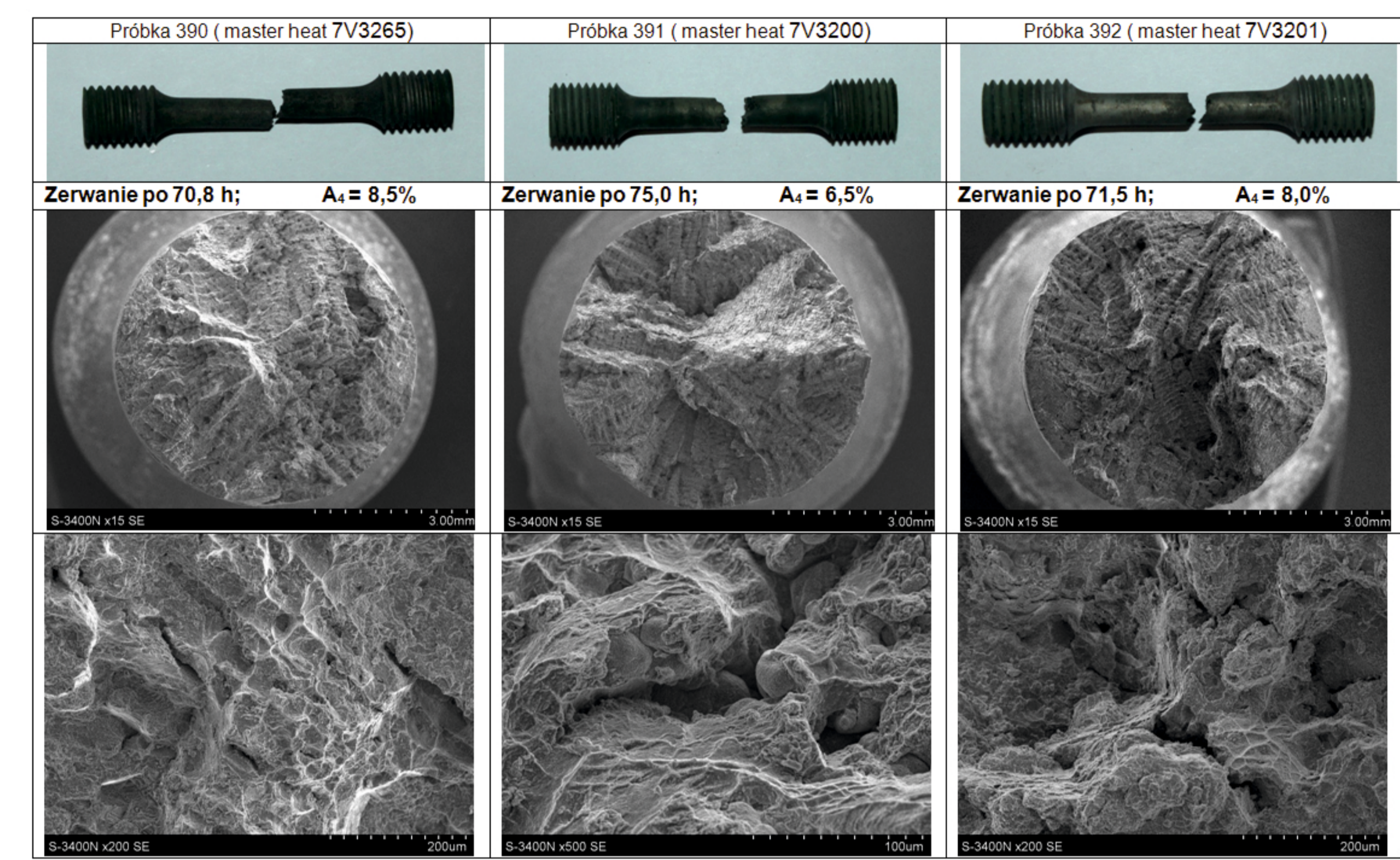
	FORMA A - Łopátka A 3-1 (System WSK "PZL Rzeszów") Shell A Blade A 3-1 (WSK "PZL Rzeszów" system)	FORMA B - Łopátka B 3-1 z posypką SiC Shell B with SiC layer	FORMA C - Łopátka 2I (System SiC) Shell C (SiC system)
Ziarna pierwotne Plane section area of grains	$A = 7.3 \text{ nm}^2$	$A = 3.8 \text{ nm}^2$; $v(A) = 67\%$	$A = 9.5 \text{ nm}^2$; $v(A) = 140\%$
Wskaźnik kształtu ξ Grains shape factor	$\xi = 0.63$; $v(\xi) = 26.4\%$	$\xi = 0.65$; $v(\xi) = 23.8\%$	$\xi = 0.60$; $v(\xi) = 32.0\%$
Wskaźnik wydłużenia ziaren $\eta = F_v/F_s$ F_v, F_s - średnice Fereta (Ferret's diameters)	$\eta = 2.0$ $v(\eta) = 46.1\%$	$\eta = 1.8$ $v(\eta) = 37.8\%$	$\eta = 2.03$ $v(\eta) = 45\%$

Mapy strukturalne przedstawiające zróżnicowanie wielkości i kształtu ziaren pierwotnych na powierzchni piór łopatek z nadstopu IN 713C odlanych do nowych form ceramicznych
Structural maps showing diversification of size and shape of primary grains on the surface of blade airfoil from IN 713C cast into new ceramic shell moulds



Wyniki badań Results

Wyniki analizy wpływu czynników strukturalnych na odporność na pełzanie stopów wsadowych z nadstopu niklu IN 713C
Results of analysis of structural factors effecting creep resistance of master heats made from IN713 nickel-based superalloy



Wnioski Conclusions

- Analiza ATD stopu wsadowego CAPI wykazała niezadowalającą jego jakość metalurgiczną. Stop charakteryzował się niską temperaturą solidus i dwoma przemianami eutektycznymi: ($y' + y$) i oraz ($y +$ węgliki). Ujawniono w nim złożone wtrącecia niemetaliczne zawierające Al, Si, Fe, Ca i ten oraz magnez. Te czynniki mogą negatywnie wpływać na odporność na pełzanie stopu wsadowego.
 - Wielowarstwowe formy ceramiczne do odlewania precyzyjnego łopatek wykonane z nowych mieszank z SiC ze spoiwami Keycote i Matrixcote spełniają wszystkie kryteria jakościowe.
 - Największą dyfuzyjność cieplną mają formy ceramiczne wykonane z SiC, nieznacznie większą od form z posypką SiC i znacznie większą od form odniesienia, w których zastosowano mieszanki i posypki wg technologii WSK.
 - Stwierdzono dużą niejednorodność wielkości i kształtu ziaren pierwotnych na powierzchni pióra oraz na przekrojach poprzecznych łopatek odlanych do form odniesienia, w których zastosowano mieszanki i posypki wg technologii WSK, form z posypką SiC oraz form wykonanych z SiC. Wskazuje to na konieczność dalszego doskonalenia technologii odlewania łopatek, w tym sposobu ich ocieplania.
 - Łopátki z nadstopu IN 713C odlane do wszystkich rodzajów form mają poprawną mikrostrukturę - objętość względną, wielkość i kształt wydzieleni fazy γ' oraz eutektyki ($y' + y$). Węgliki pierwotne w łopatkach odlanych do nowych form ceramicznych są jednak znacznie mniejsze w porównaniu do występujących w łopatkach odlanych do form odniesienia.
 - Czynnikami strukturalnymi, które mogą wpływać negatywnie na odporność na pełzanie stopów wsadowych z nadstopu IN 713C są: porowatość, duże wydzielenia węglików pierwotnych typu MC oraz eutektyka węglkowa z węglakami typu MC zawierającymi Nb i Zr oraz węglakami zawierającymi Mo i Cr.
1. ATD analysis of CAPI master heat pointed out its unsatisfactory metallurgical quality. The alloy was characterized by a low solidus temperature and two eutectic transformations: ($y' + y$) and ($y +$ carbides). The complex non-metallic inclusions containing Al, Si, Fe, Ca, O and Mg were revealed. The mentioned factors might negatively impact creep resistance of the master heat.
2. Multilayer ceramic moulds for investment casting of blades made from new compounds containing SiC with Keycote and Matrixcote binders satisfy all quality conditions.
3. The greatest thermal diffusivity demonstrate ceramic moulds made fully from SiC, a bit greater than moulds with SiC primary layer and significantly greater than reference moulds with compounds and primary layer according to WSK technology.
4. A great inhomogeneity of size and shape of primary grains on the surface of blade airfoil and transverse cross-sections of blades cast into reference moulds with compounds and primary layer according to WSK technology, moulds with SiC primary layer and made fully from SiC. It indicates that there is a necessity of further improvement of casting technology of blades, therein way of insulation.
5. Blades from IN 713C superalloy cast into all kinds of moulds have a correct microstructure volume fraction, size and shape of γ' phase precipitates and eutectics ($y' + y$). Primary carbides in blades cast into new ceramic moulds are significantly finer than those are present in blades cast into reference moulds.
6. Structural elements which might negatively influence on creep resistance of charge alloy from IN 713C superalloy are the following: porosity, great primary MC-type carbides and carbide eutectics with MC-type carbides with Nb and Zr as well as Mo and Cr.