

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

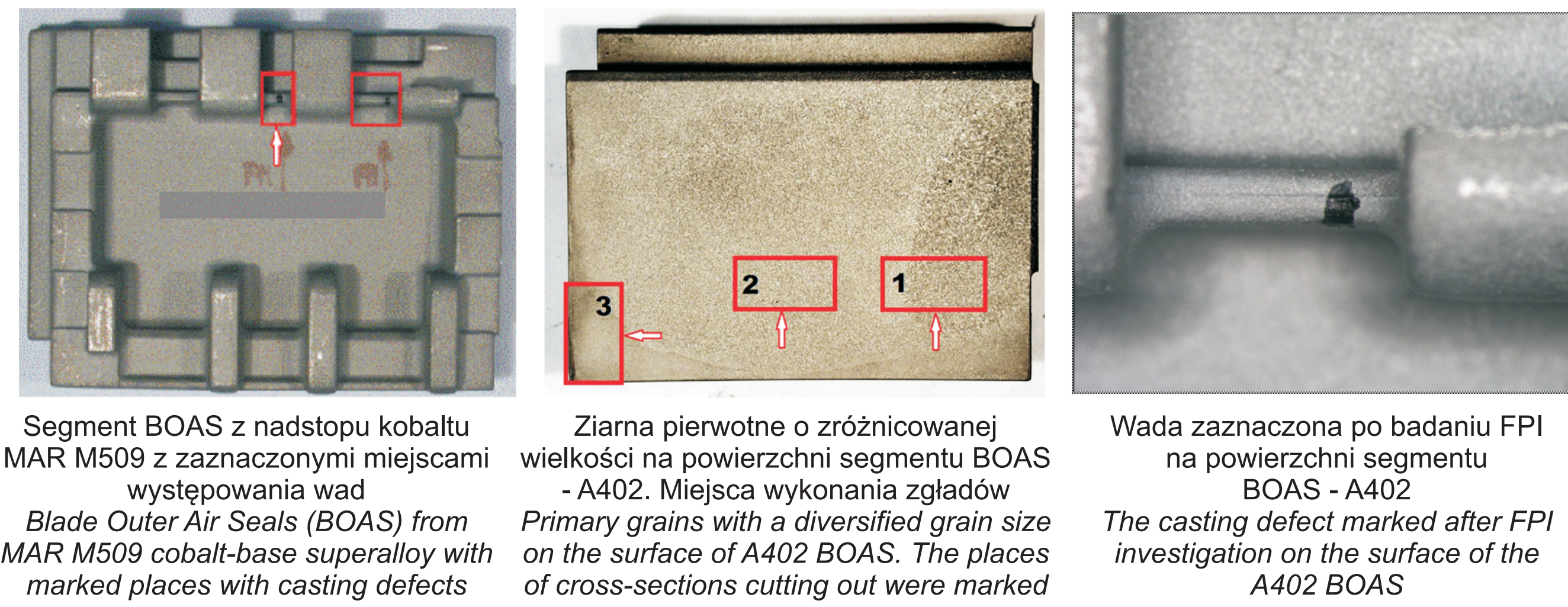
Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych

Precision casting of Ni alloys on critical parts of aircraft engines

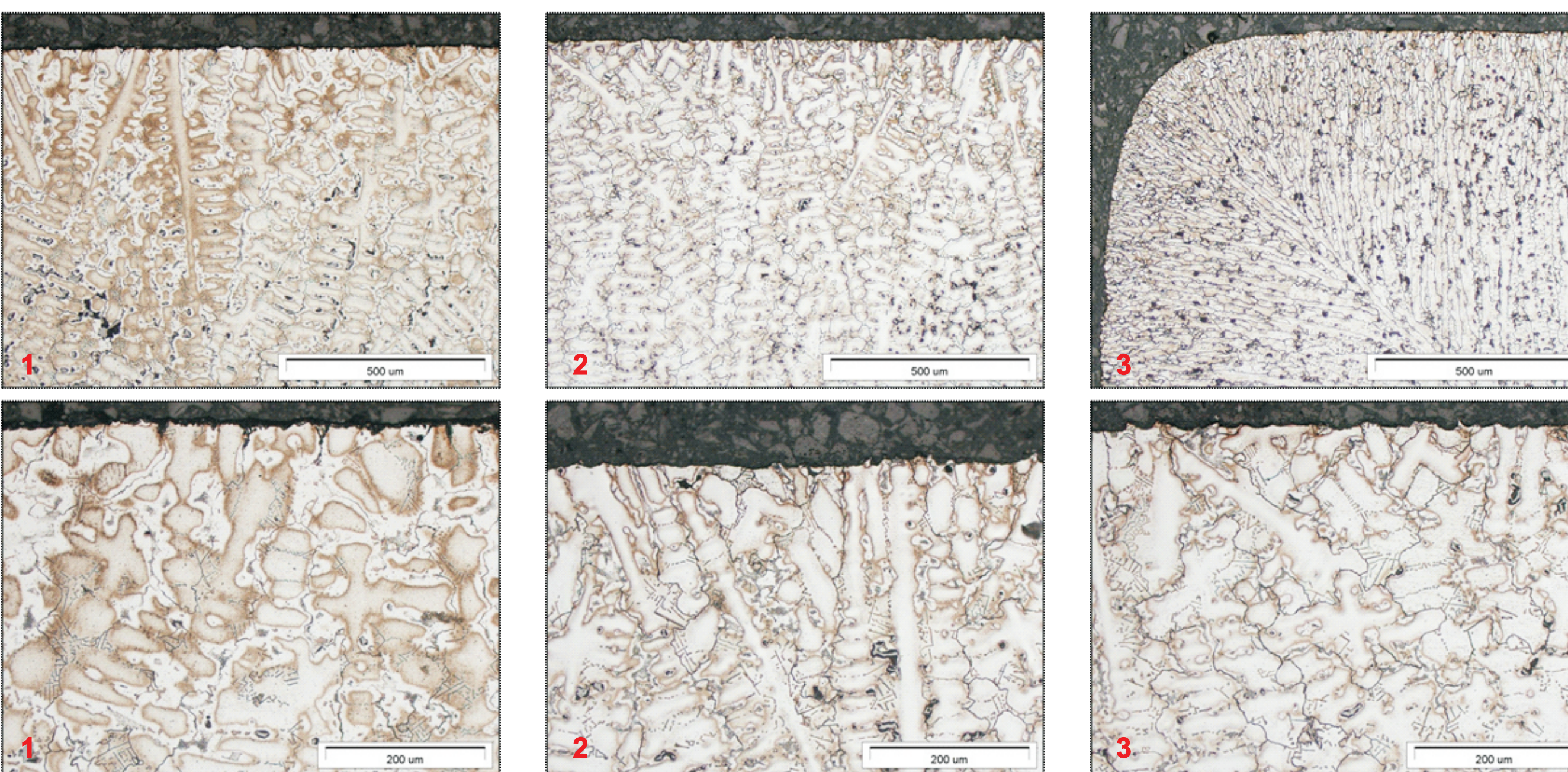
Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

Wyniki badań Results

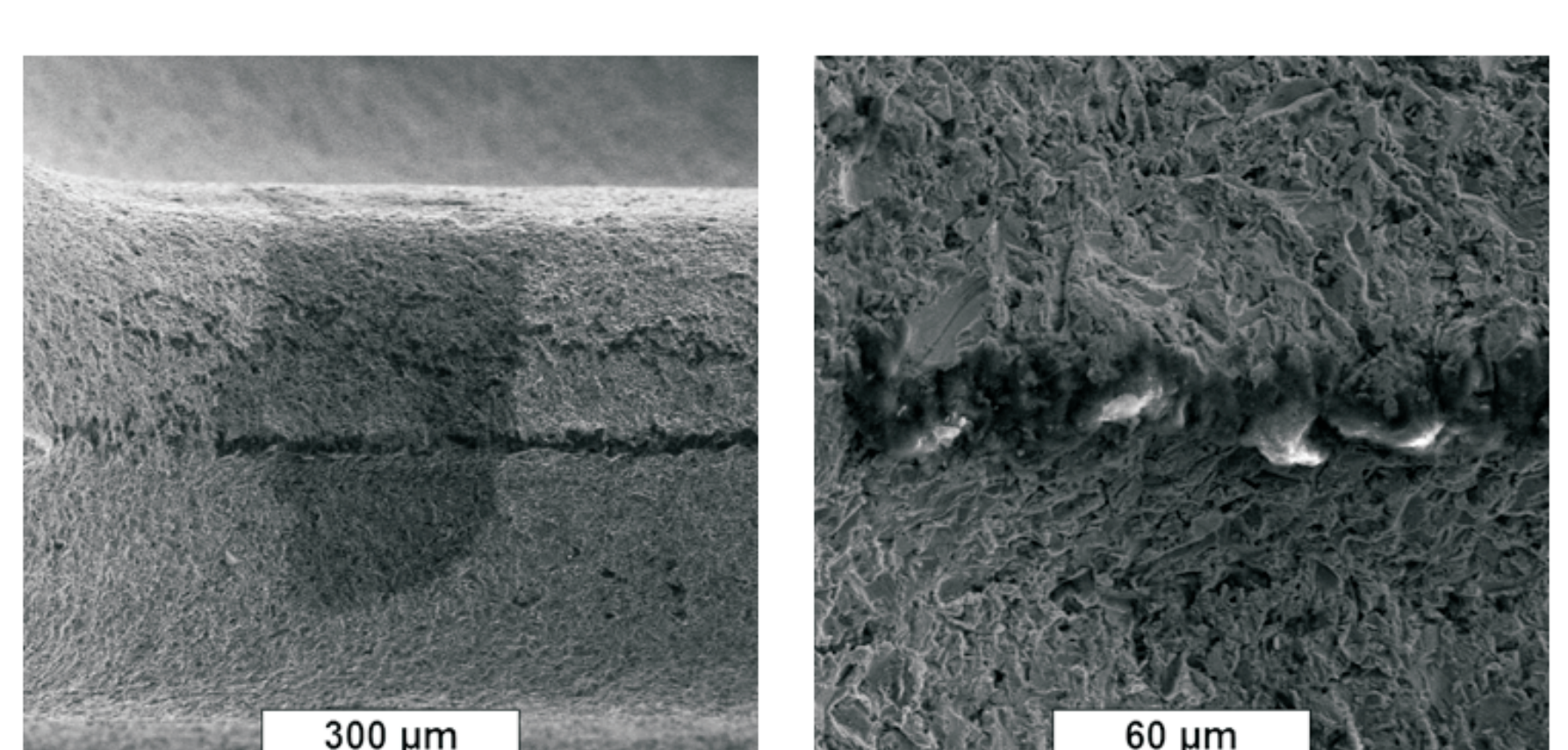
Analiza przyczyn powstawania wad odlewniczych w odlewach precyzyjnych segmentów BOAS z nadstopu kobaltu MAR M 509
Analysis of the causes of casting defects in precision casts of BOAS from the MAR M 509 cobalt-base superalloy



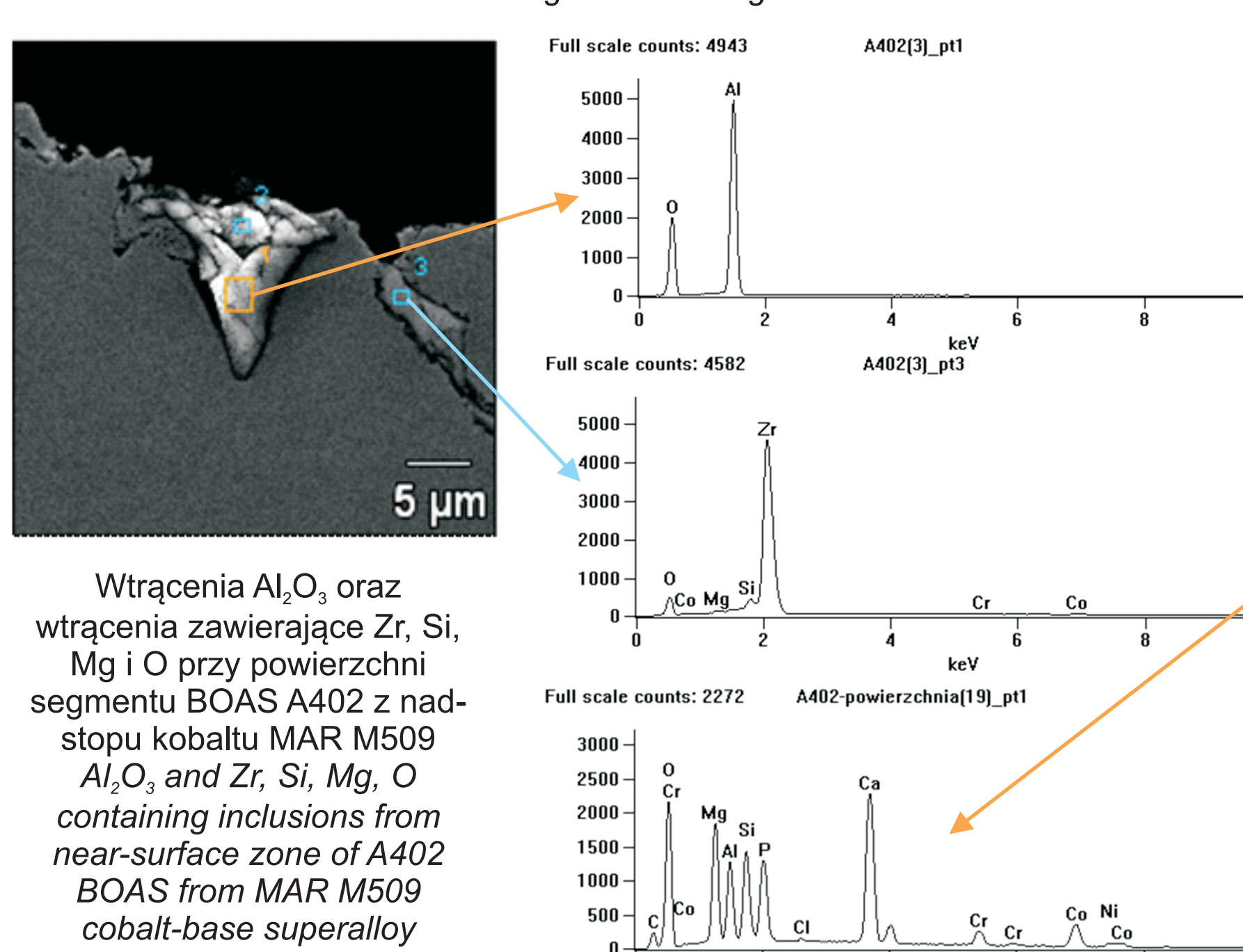
Segment BOAS z nadstopu kobaltu MAR M509 z zaznaczonymi miejscami występowania wad
Blade Outer Air Seals (BOAS) from MAR M509 cobalt-base superalloy with marked places with casting defects



Ziarna pierwotne o zróżnicowanej wielkości na powierzchni segmentu BOAS - A402. Miejsca wykonania złążeń
Primary grains with a diversified grain size on the surface of A402 BOAS. The places of cross-sections cutting out were marked



Morfologia powierzchni oraz wtrącenia i zanieczyszczenia ujawnione na powierzchniach roboczych segmentu BOAS A402. Widoczne zagłębienie powstałe w wyniku wadliwego wykonania modelu woskowego z licznymi wtrąceniami „wbitymi” do zagłębienia w procesie czyszczenia odlewów
The surface morphology, inclusions and pollutants revealed on the working surfaces of A402 BOAS. SEM, BSE. The visible depression appeared probably as a result of faulty wax model with many inclusions cut into the depression during cast cleaning



Wtrącenia Al₂O₃ oraz wtrącenia zawierające Zr, Si, Mg i O przy powierzchni segmentu BOAS A402 z nadstopu kobaltu MAR M509
Al₂O₃ and Zr, Si, Mg, O containing inclusions from near-surface zone of A402 BOAS from MAR M509 cobalt-base superalloy

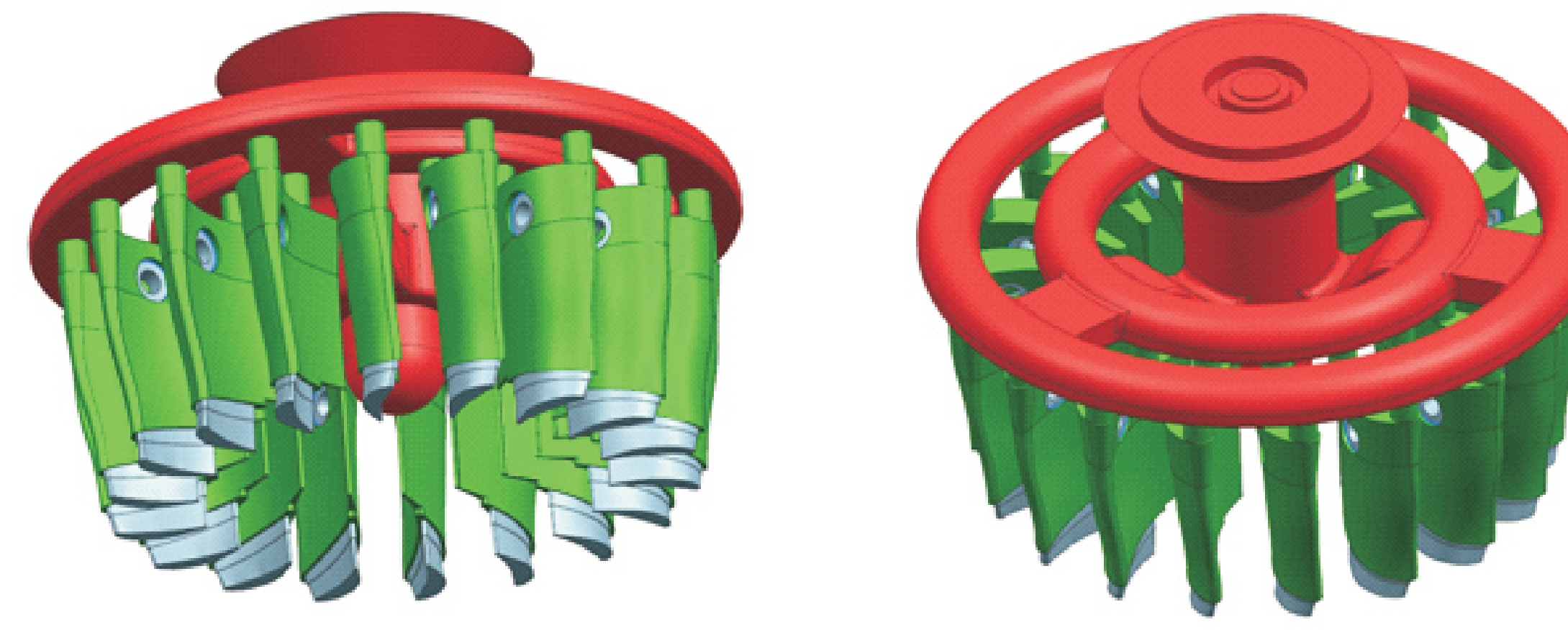
Wnioski Conclusions

Wady w segmentach BOAS ujawnione w badaniach fluorescencyjnych FPI występowały głównie w charakterystycznych rowkach na powierzchni łączników. Przyczyną powstawania tych rowków są wadliwie wykonane modele woskowe - niezadawalająca gładkość powierzchni modeli w tych miejscach. W rowkach ujawniono wtrącenia Al₂O₃ oraz wtrącenia zawierające Mg, Si, P, S, Cl, Ca i Fe. Wtrącenia Al₂O₃ i zanieczyszczenia zawierające te pierwiastki występowały ponadto na powierzchniach roboczych segmentów. W elektroluzji stosowanej w procesie piaskowania odlewów występują oprócz Al₂O₃, sól i potas, a w kształtkach używanych w procesie czyszczenia odlewów luźnym ścierniwem oprócz korundu występują Si, Mg, Ca, Fe i S. Wtrącenia ujawnione w rowkach pochodzą zatem z procesu czyszczenia odlewów. Na przekrojach poprzecznych segmentów stwierdzono również występowanie w strefie przy powierzchniowej odlewów wtrącen Al₂O₃ oraz wtrącen zawierających Al, Zr, Si i ten. Te wtrącenia pochodzą z materiału formy ceramicznej. Defects in BOAS revealed during FPI investigations were mainly present in characteristic grooves on the surface of the beams. The most probable reason of these grooves occurring are faulty wax models and unsatisfactory smoothness of the model surface in these areas. The inclusions of Al₂O₃ and Mg, Si, P, S, Cl, Ca, Fe containing inclusions were revealed in the grooves. The inclusions of Al₂O₃ and pollutants containing these elements occurred also on the working surfaces of BOASes. In the alumundum applied in sand-blasting of casts there are sodium and potassium besides Al₂O₃. In the profiles used in cleaning of casts with loose abrasive there are Si, Mg, Ca, Fe and S besides corundum. Then the inclusions revealed in the grooves occurred as a result of cast cleaning process. The inclusions of Al₂O₃ and Al, Zr, Si, O containing inclusions were revealed in the near-surface zone on the cross-sections of the BOASes. These inclusions derive from ceramic mold material.

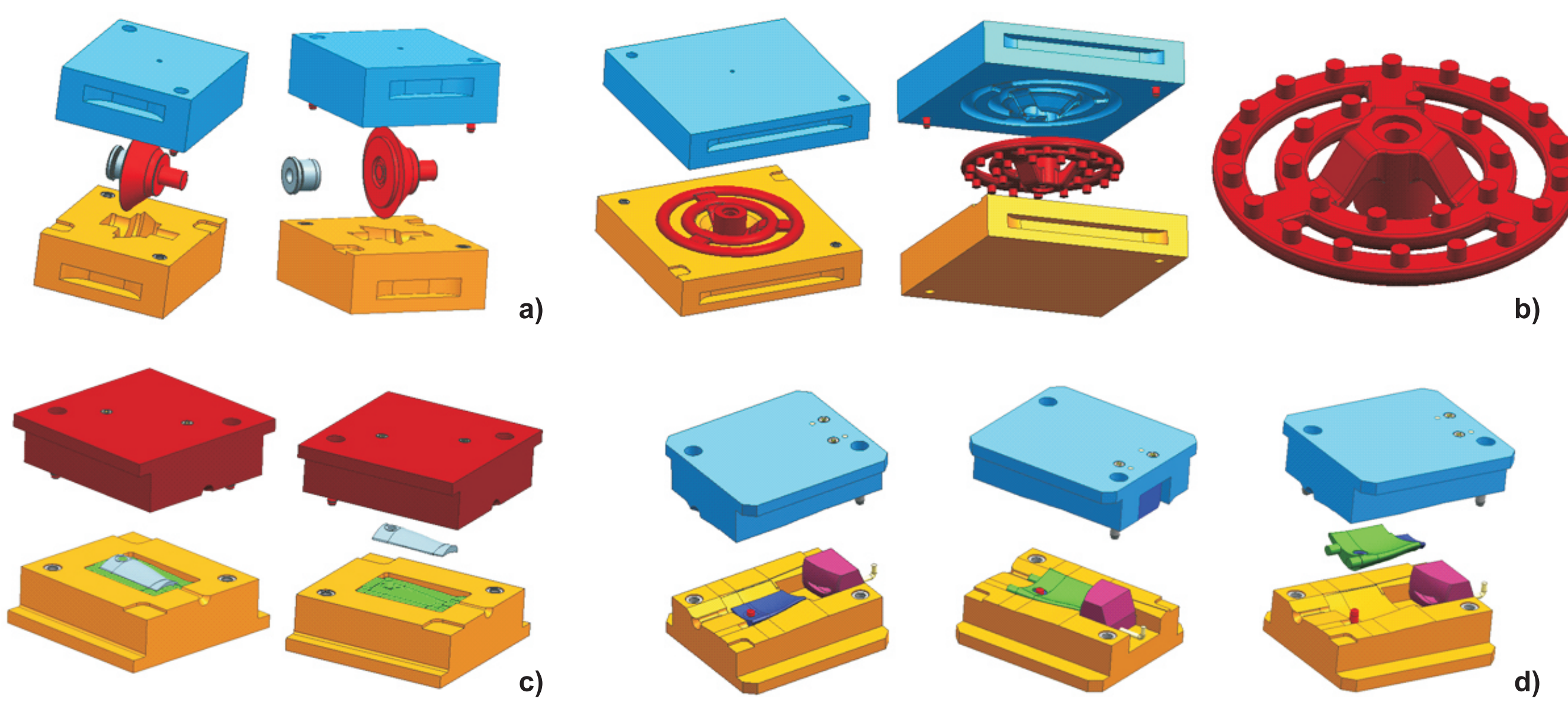
Wyniki badań Results

Optymalizacja procesu wytwarzania łopatek kierującej ze stopu ZS6K-WI pierwszego stopnia turbiny silnika lotniczego PZL-10W
Optimization of investment casting technology of turbine blades of turbine first stage of PZL-10W engine

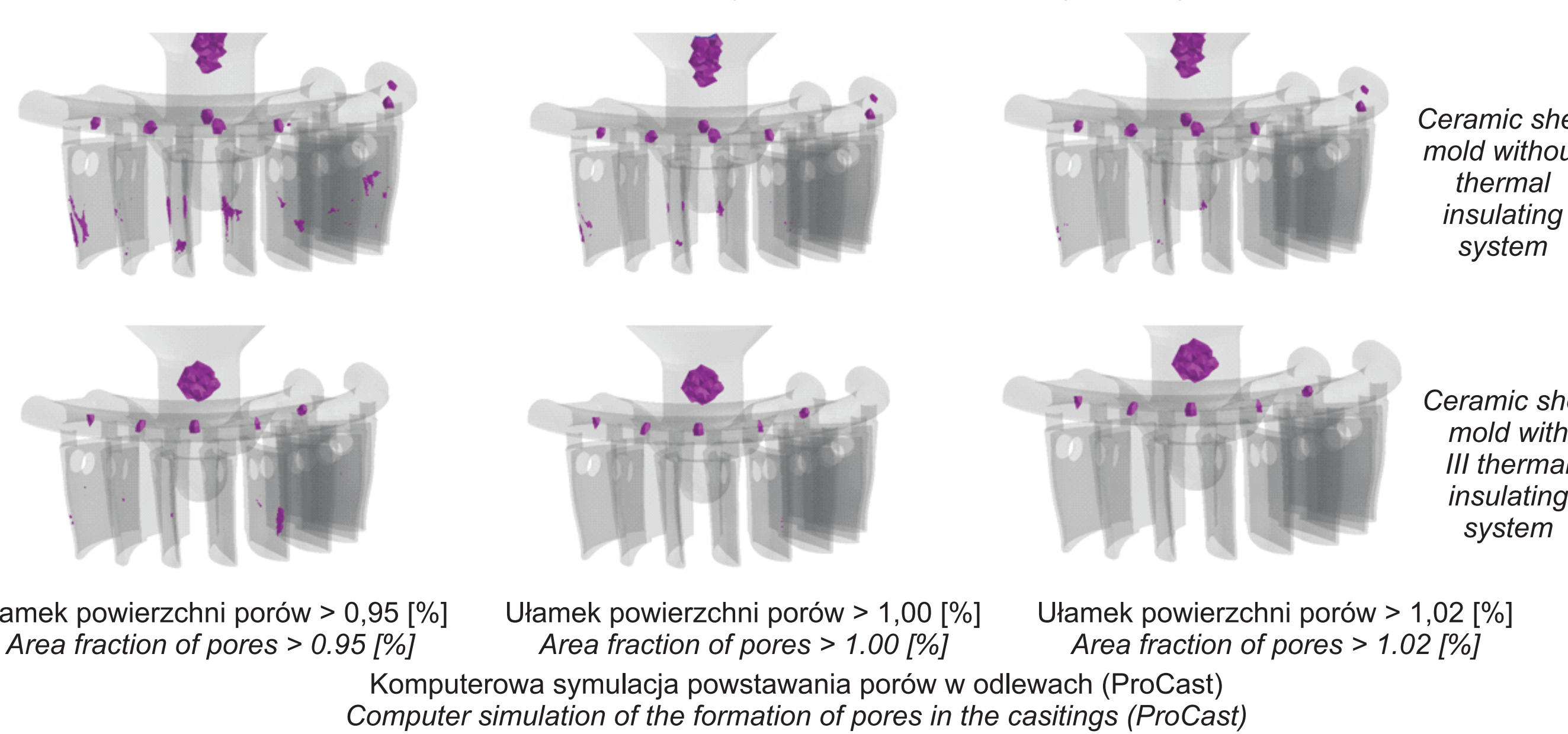
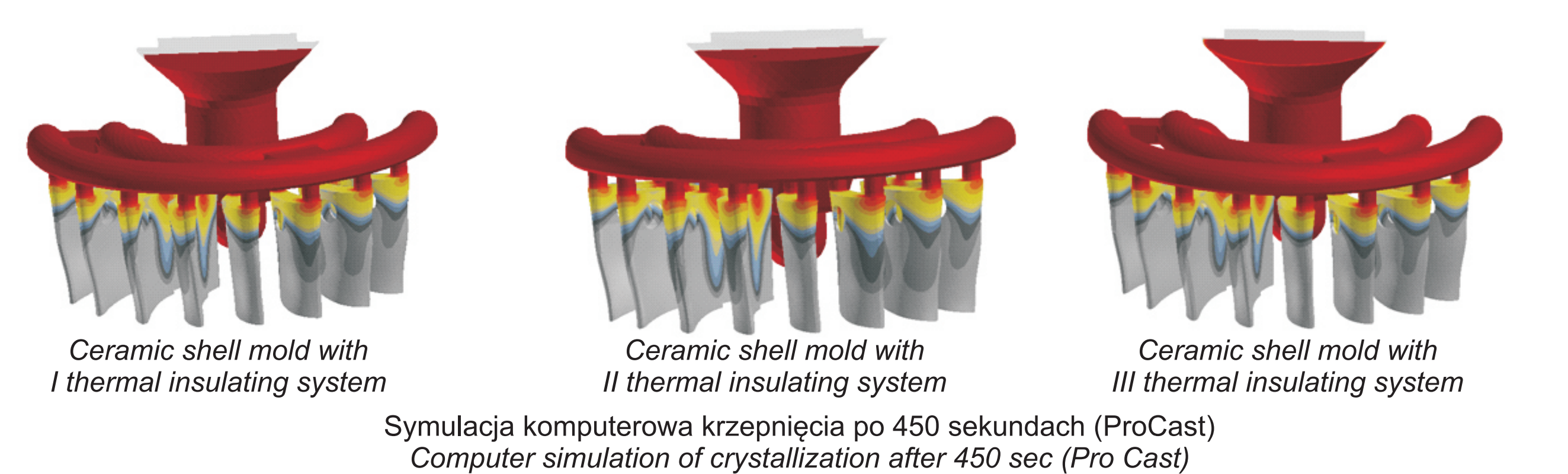
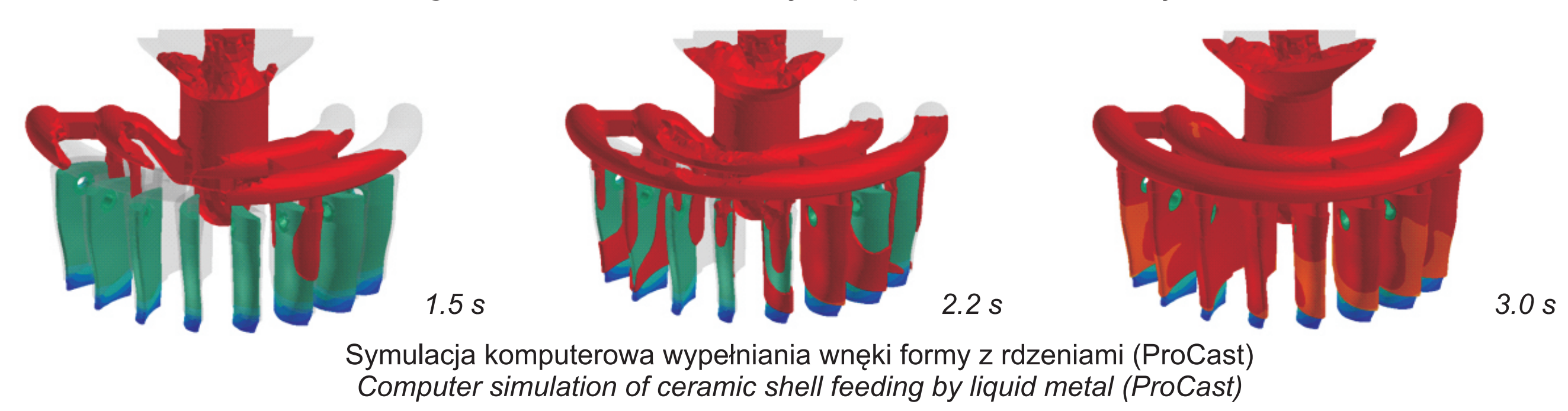
Projektowanie woskowego zestawu modelowego - model 3D
Design of wax model of ceramic shell mold assembly - 3D model



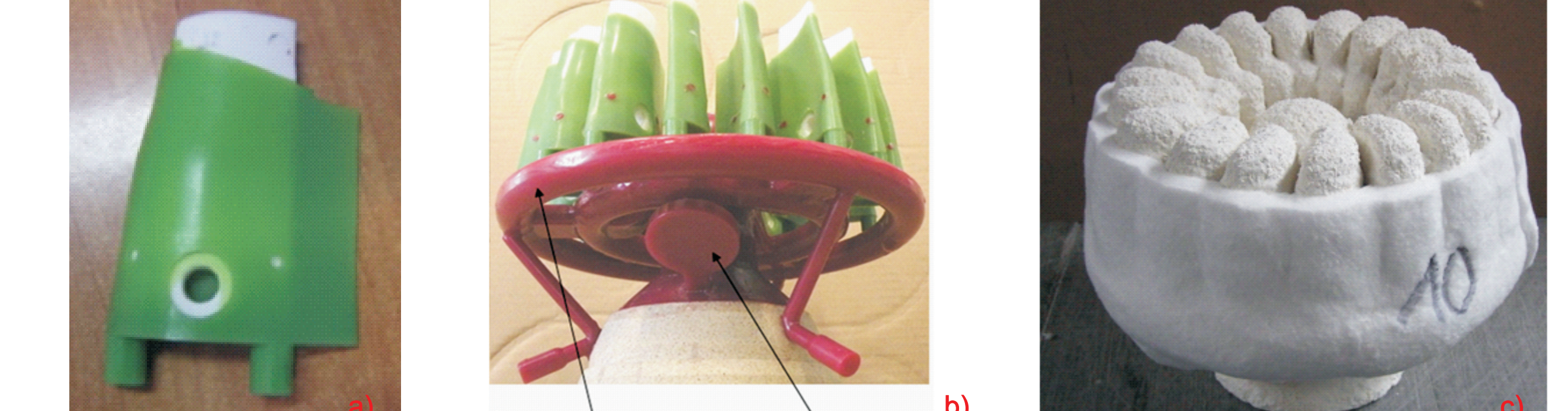
Projektowanie formy wtryskowej misy wlewowej (a) układu wlewowego (b), rdzennicy (c), łopatek (d) - modele 3D
Design of injection mold bowls refueling (a), gating system (b), core box (c), blades (d) - 3D models



Simulacja komputerowa wypełniania formy ciekłym metalem i krzepnięcia odlewów
Simulation of feeding of ceramic shell by liquid metal and crystallization of casts



Wykonanie woskowych modeli łopatek z rdzeniami ceramicznymi (a), zestawów modelowych (b) i wielowarstwowej, ocieplanej formy ceramicznej (c)
Wax models of blades with ceramic cores (a), wax model of ceramic shell mold assembly (b) and multilayer ceramic shell mold with insulating system (c)



Odlew po wybitciu z formy i piaskowaniu (a), łopatkę turbiny po finalnej obróbce (b)
Casts after breaking the mold and sanding (a), turbine blade after final cleaning (b)

Wnioski Conclusions

Optymalizacja technologii umożliwiła znaczne zmniejszenie porowatości i liczby wad wykrywanych w badaniach nieniszczących Rtg i FPI oraz wzrost uzysku o 5%.
Optimization of investment casting technology of turbine blades enabled significant decrease of casts porosity and cast defects revealed in Rtg and FPI inspections, increase of yield and decrease of cost of poor casts' quality.

Wyniki badań Results

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

Wyniki badań form z SiC z udziałem spoiwa Keycote oraz odlewów
Results of the study of new ceramic shell molds of SiC-based system for nickel superalloys casting with Keycote compounds

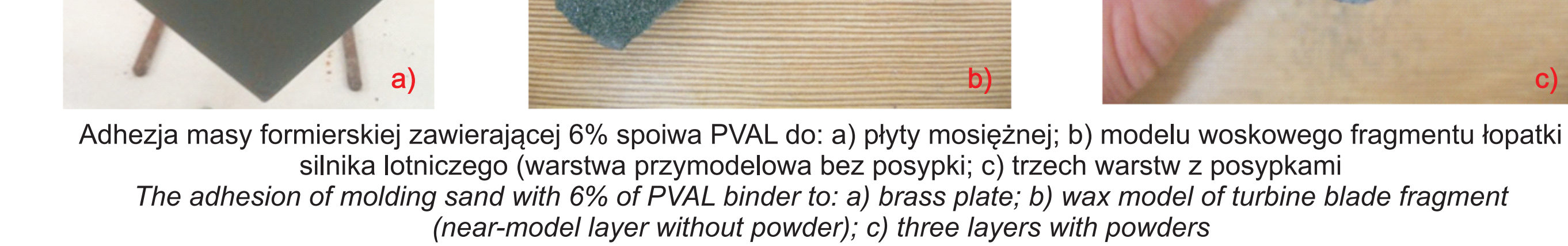
Problem do rozwiązania: zbyt duża wytrzymałość mechaniczna form
Stosowane rozwiązania: 1. optymalizacja składu chemicznego mieszanki, 2. dobór innego spoiwa - próby z zastosowaniem spoiwa PVAL dały zadowalające wyniki
The problem: too high mechanical strength of the molds
The applied solutions: 1. optimization of mixture composition, 2. selection of the other binder - tests with PVAL binder were satisfactory



Stanowisko do badań kinetyki suszenia formy
Installation for investigation of mold drying kinetics

Forma z SiC z udziałem spoiwa Keycote
Ceramic shell molds - SiC-based system with Keycote compounds

Gotowy odlew
Final investment cast



Adhezyja masy formierskiej zawierającej 6% spoiwa PVAL do: a) płyty mosiężnej; b) modelu woskowego fragmentu łopatek silnika lotniczego (warstwa przymodelowa bez posypki); c) trzech warstw z posypkami
The adhesion of molding sand with 6% of PVAL binder to: a) brass plate; b) wax model of turbine blade fragment (near-model layer without powder); c) three layers with powders

Wnioski Conclusions

Wielowarstwowe formy ceramiczne do odlewania precyzyjnych łopatek wykonane z nowych mieszanek z SiC ze spoiwami Keycote spełniają wszystkie kryteria jakościowe.
Multilayer ceramic molds for investment casting of blades made from new compounds containing SiC with Keycote binders satisfy all quality conditions.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty
Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Sitek R., Kurzydłowski K.J.: **Wpływ dodatku glikolu poli(etylenowego) na właściwości mas lejnych do wytwarzania form ceramicznych na osnowie SiC do zastosowań w odlewnictwie precyzyjnym części turbin lotniczych.** III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Materiałów Polimerowych, Gliwice - Aprica, Włochy, 01-08.02.2014.

Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Zagórska M., Kurzydłowski K.J.: **Technological properties of SiC-based ceramic slurries for manufacturing investment casting shell molds.** XX Międzynarodowa Konferencja Odlewników Polskich, Czeskich i Słowackich Współpraca 2014, Izbičko, Polska, 24-26.04.2014.

Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Kurzydłowski K.J.: **Effect of poly(vinyl alcohol) addition on rheological properties of ceramic slurries based on yttria.** EMRS Spring Meeting, Lille, Francja, 26-30.05.2014.

Referaty planowane
Chmiela B., Kianicova M., Sozańska M.: **Degradation of diffusive aluminide coating after service in Zr56K superalloy.** International Scientific Conference Corrosion 2014, Gliwice, Polska, 18-21.11.2014.

Kościełniak B., Sozańska M., Cwajna J.: **Effect of carbides on creep resistance of master heat ingot of IN-713C nickel superalloy.** XV International Conference on Electron Microscopy, Kraków, Polska, 15-18.09.2014.

Publikacje
Chmiela B., Kianicova M., Sozańska M.: **Degradation of diffusive aluminide coating after service in Zr56K superalloy.** Solid State Phenomena, 2014, w druku.

Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Sitek R., Kurzydłowski K.J.: **Wpływ dodatku glikolu poli(etylenowego) na właściwości mas lejnych do wytwarzania form ceramicznych na osnowie SiC do zastosowań w odlewnictwie precyzyjnym części turbin lotniczych.** Przetwórstwo Tworzyw 1 (157) 20, 2014, 40-49.

Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Zagórska M., Kurzydłowski K.J.: **Technological properties of SiC-based ceramic slurries for manufacturing investment casting shell molds.** Archives of Metallurgy and Materials, 2014, w druku.

Szczotok A., Matysiak H.: **Influence of constituents of shell mold on the morphology and chemical composition of carbides occurring in IN 713C superalloy castings.** Journal of Materials Engineering and Performance, opublikowane online 15.05.2014.

Szczotok A., Chmiela B.: **Effect of heat treatment on chemical segregation in CMSX-4 nickel-base superalloy.** Journal of Materials Engineering and Performance, opublikowane online 25.12.2013.

Wiśniewski P., Małek M., Sitek R., Matysiak H., Kurzydłowski K.J.: **Technologiczne właściwości mas formierskich z SiC z przeznaczeniem dla ceramicznych form odlewniczych dla przemysłu lotniczego.** Szkło i Ceramika 3/2014, w druku.

Prace doktorskie planowane
Zagórska M.: **Wpływ parametrów technologicznych procesu krystalizacji na właściwości i mikrostrukturę odlewniczej nadstopu niklu Rene 77.** Otwarcie przewodów: 05.2014.

Prace magisterskie obronione
Psurek M.: **Morfologia i skład chemiczny wydzielen fazy gamma' w modyfikowanych objętościowo odlewach precyzyjnych z nadstopu niklu IN713C.** Obrona 06.2014. Promotor dr hab. inż. M. Sozańska, prof. nzw. w Pol. Si.

Psurek M.: **Wpływ procesu pełzania na mikrostrukturę nadstopu IN 713C.** Obrona 06.2014. Promotor dr inż. A. Szczotok.

Prace magisterskie planowane
Oleszko A.: **Mikrostruktura i właściwości łopatek turbiny silnika lotniczego odlanych precyzyjnie z nadstopu In 713C do form z SiC.** Planowany termin obrony 09.2014. Promotor dr inż. A. Szczotok.

Zgłoszenie patentowe
Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Kurzydłowski K.J.: **Lejna mieszanka formierska do produkcji ceramicznych form odlewniczych.** P.406518 (zgłoszenie 16.12.2013).