

## Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych

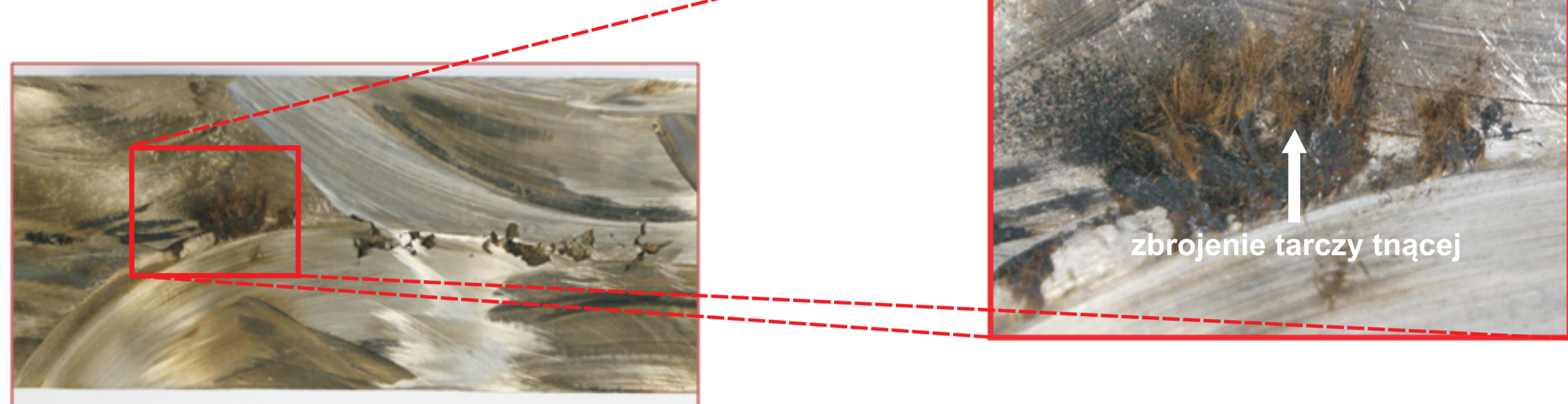
Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

### Wyniki badań

#### Analiza wpływu jakości stopów wsadowych (master heat) na jakość odlewów

Sposób cięcia prętów ze stopów master heat, jako jedna z przyczyn zanieczyszczenia odlewów wtrąceniami niemetalicznymi

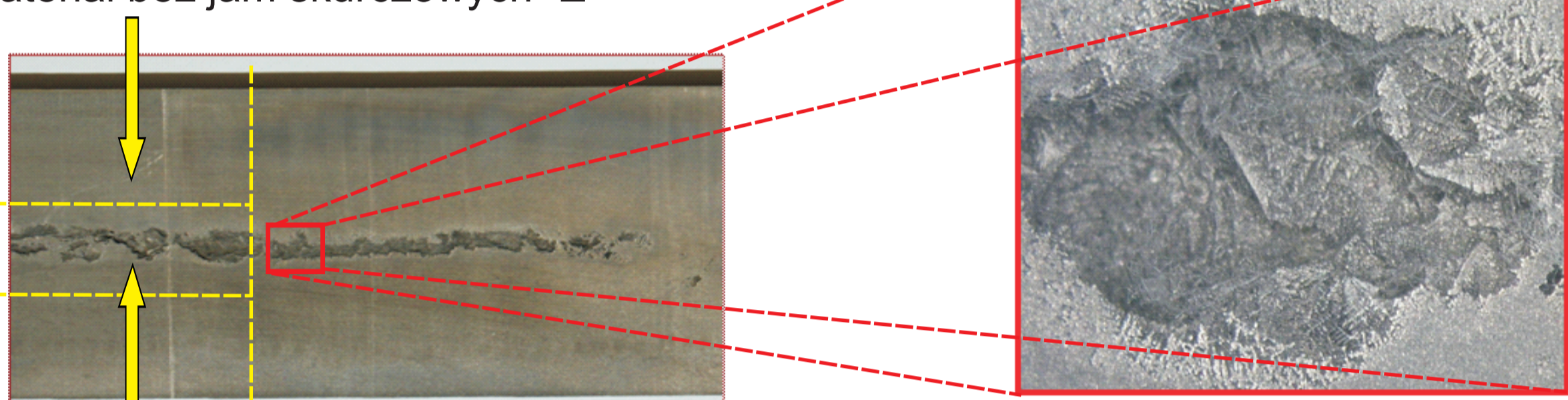
Po cięciu tarczą o osnowie gumowej, zbrojoną drutami stalowymi



Przekroje wzdłużne pręta ze stopu master heat IN 713C

Po cięciu elektroiskrowym

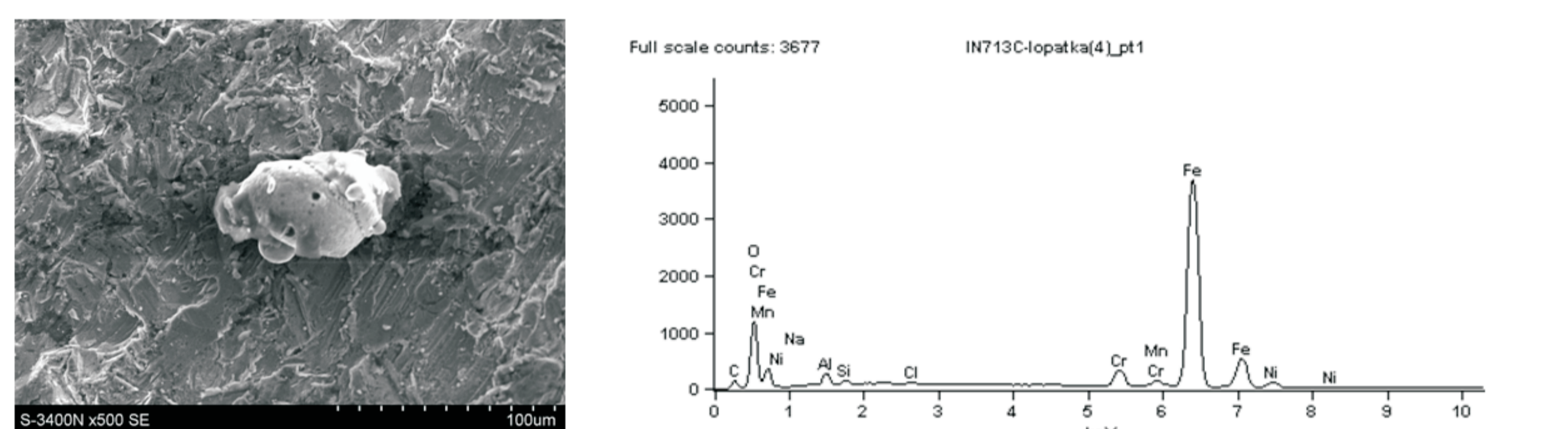
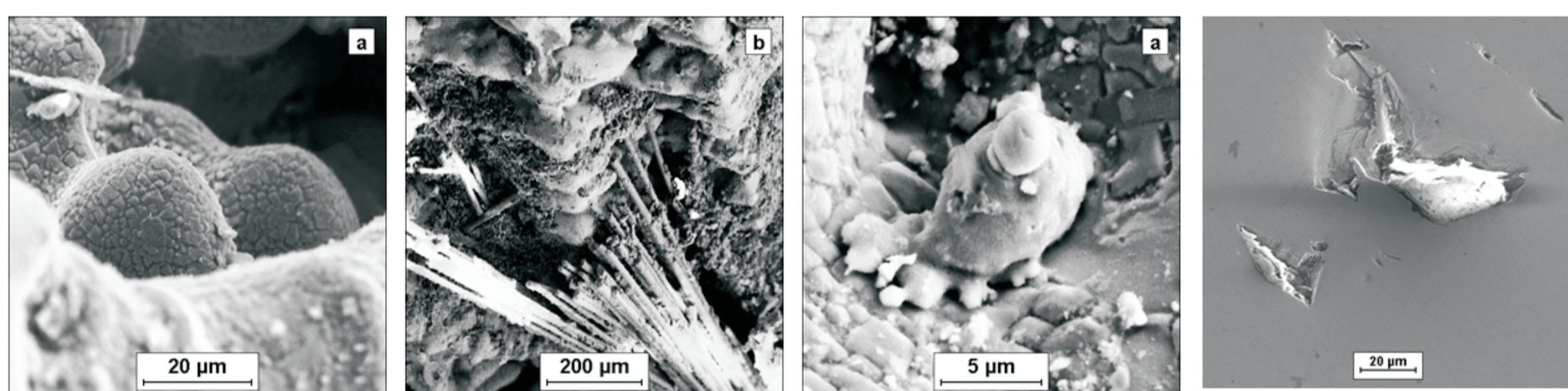
Materiał bez jam skurczowych "Z"



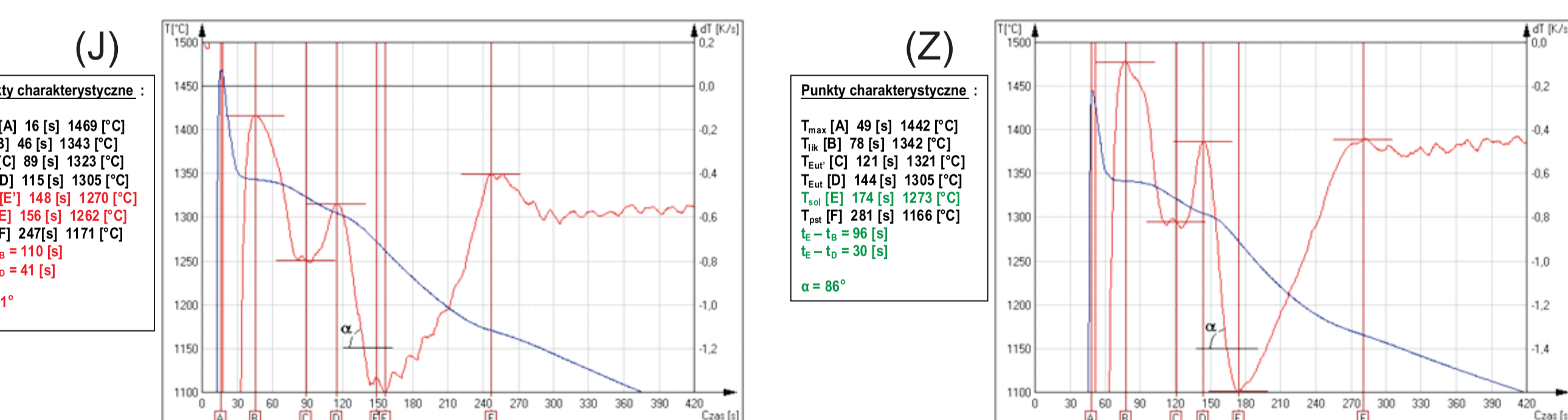
Materiał z jamami skurczowymi "J"

Przekroje wzdłużne pręta ze stopu master heat IN 713C

Zróżnicowanie „czystości metalurgicznej” stopów master heat, jako jedna z przyczyn zróżnicowania jakości odlewów

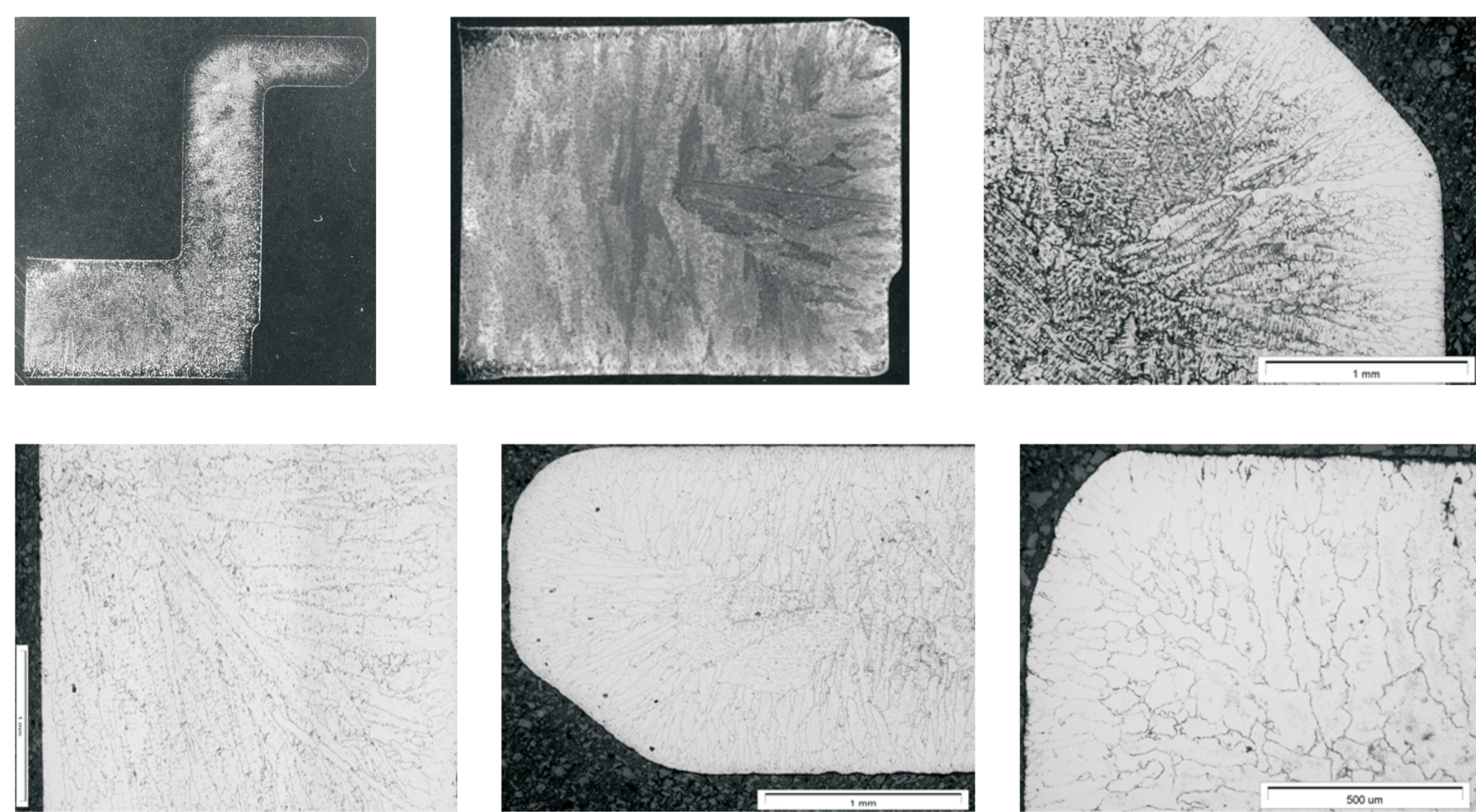


Skład chemiczny wtrąceń o kształcie zakrzepniętej kropli zawierających Fe, Cr, Al, Si i Mn ujawnionych w stopie master heat i na powierzchni łopatek doświadczalnych z nadstopu IN 713C



Badania 238 łopatek doświadczalnych z nadstopu niklu IN 713C wykazały, że łopatki odlane ze stopów wsadowych bez jam skurczowych (Z) charakteryzowały się, w porównaniu do łopatek odlanych ze stopów wsadowych z jamami skurczowymi (J): zblizoną liczbę pęknięć, wyraźnie mniejszą liczbą wtrąceń i zażużeń, mniejszą liczbą braków oraz o 17% większym uzyskiem.

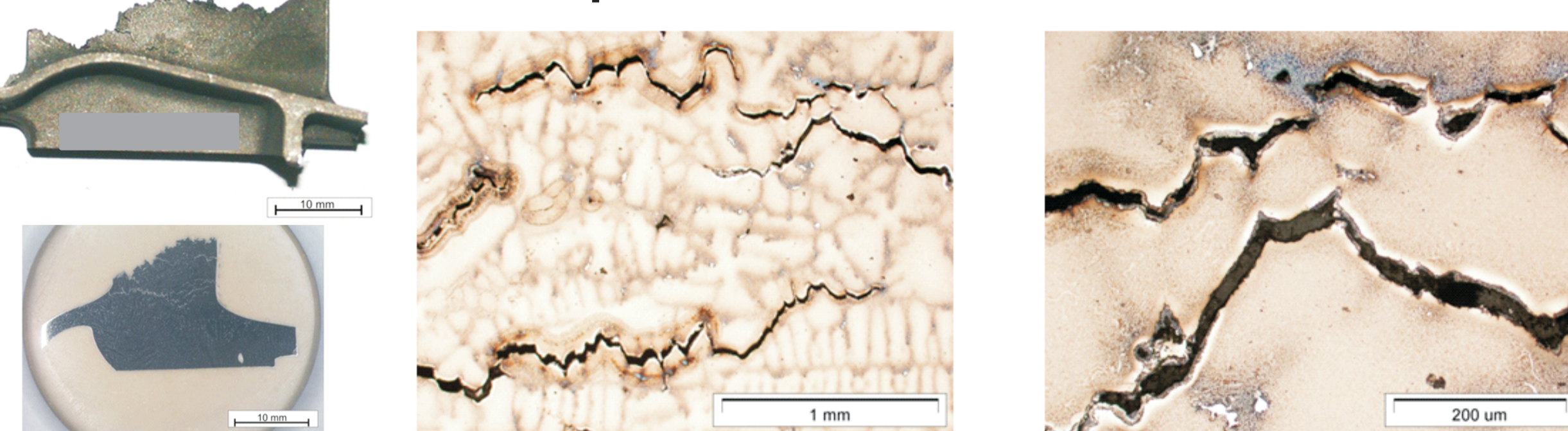
#### Analiza wad w segmentach BOAS z nadstopu kobaltu MAR M509



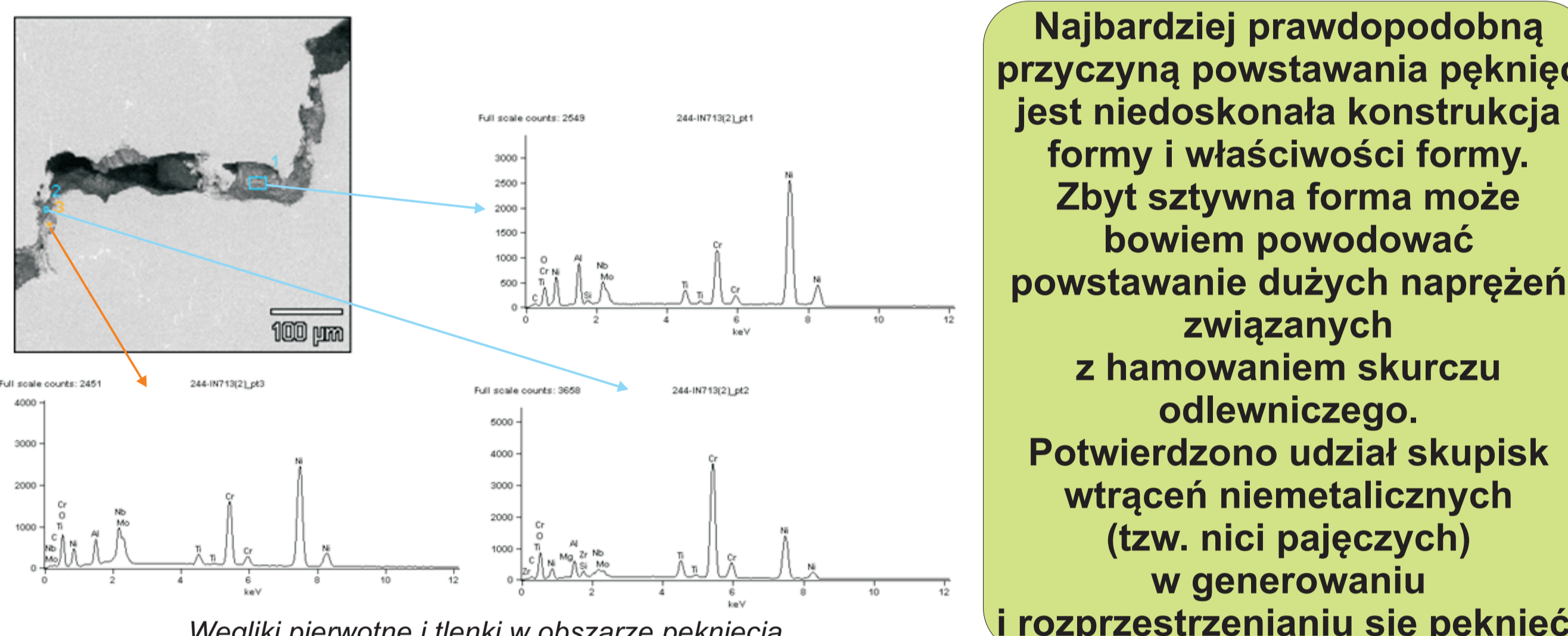
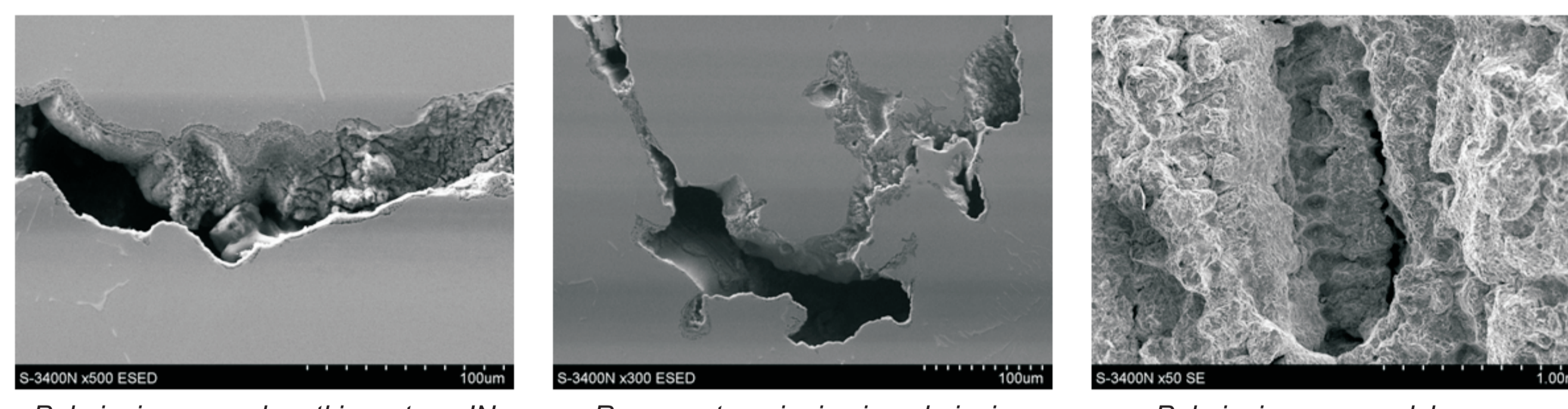
Strefowa mikrostruktura segmentów świadczy o ich nieprawidłowym krzepnięciu, ze zbyt szybkim odprowadzaniem ciepła ze strefy powierzchniowej odlewów. Przyczyną tego zjawiska jest niewłaściwy dobór temperatury zalewania i temperatury formy.

#### Analiza przyczyn powstawania wad w odlewach precyzyjnych krytycznych części silników lotniczych

##### Analiza przyczyn pęknięcia łopatek z nadstopu IN-713 w procesie odlewania

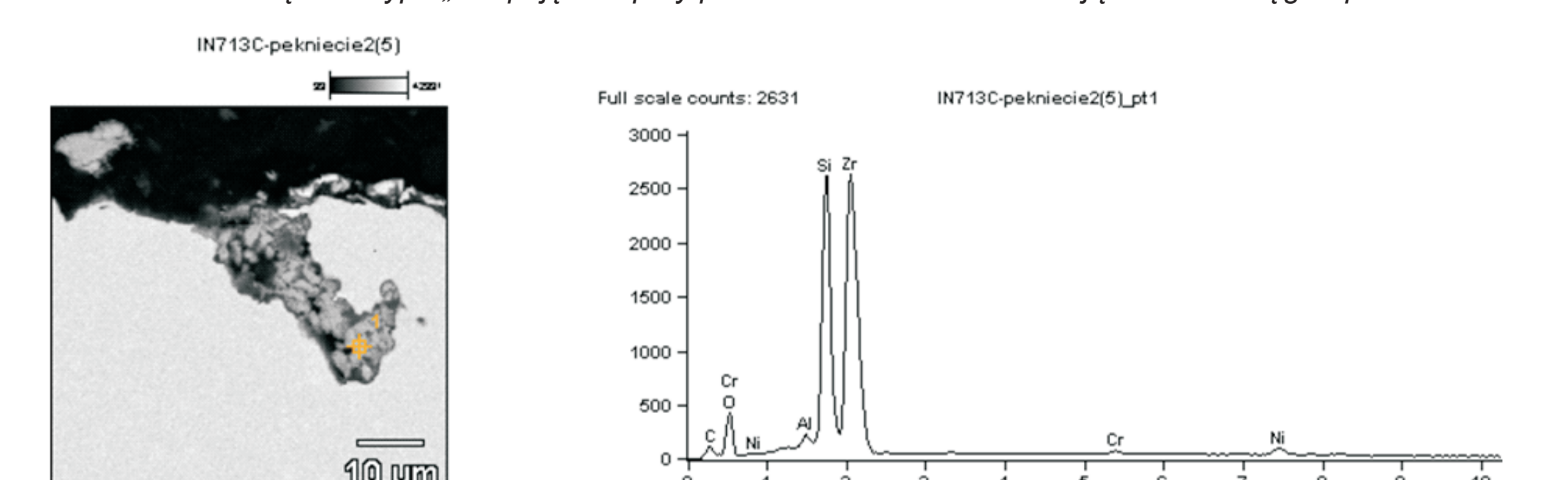
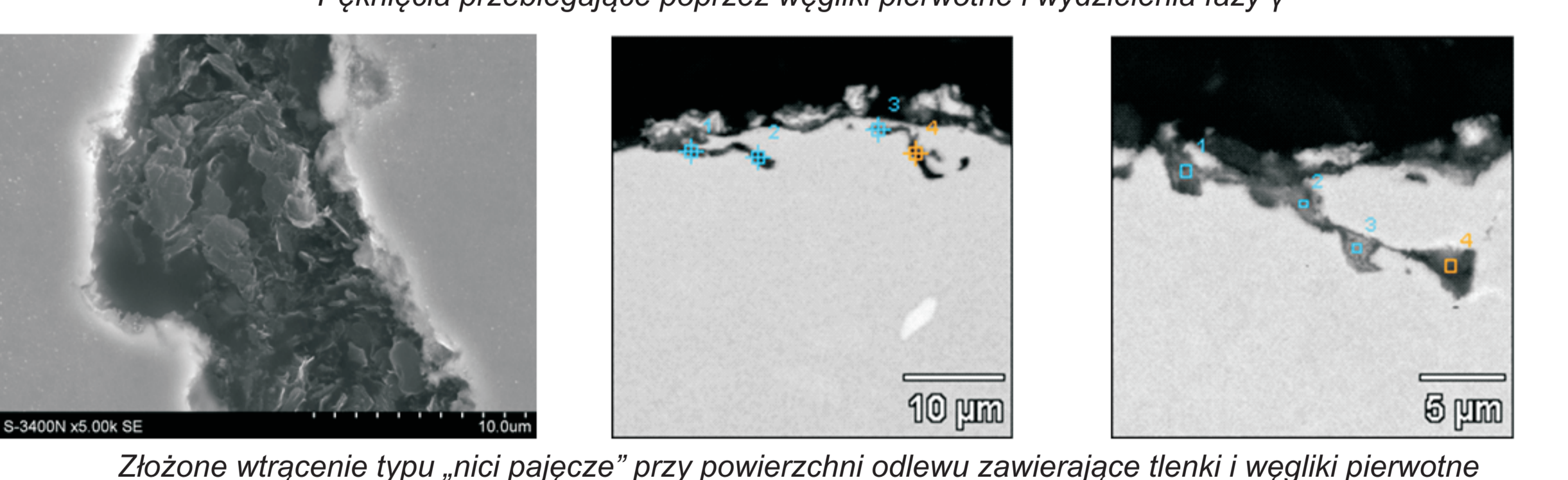
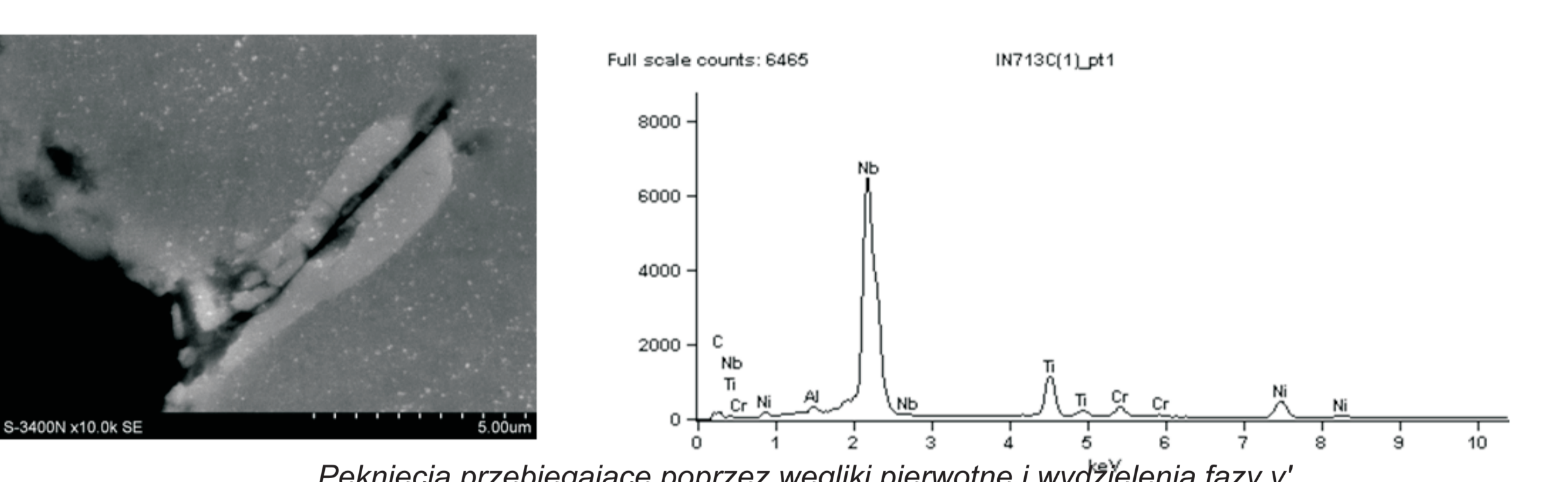
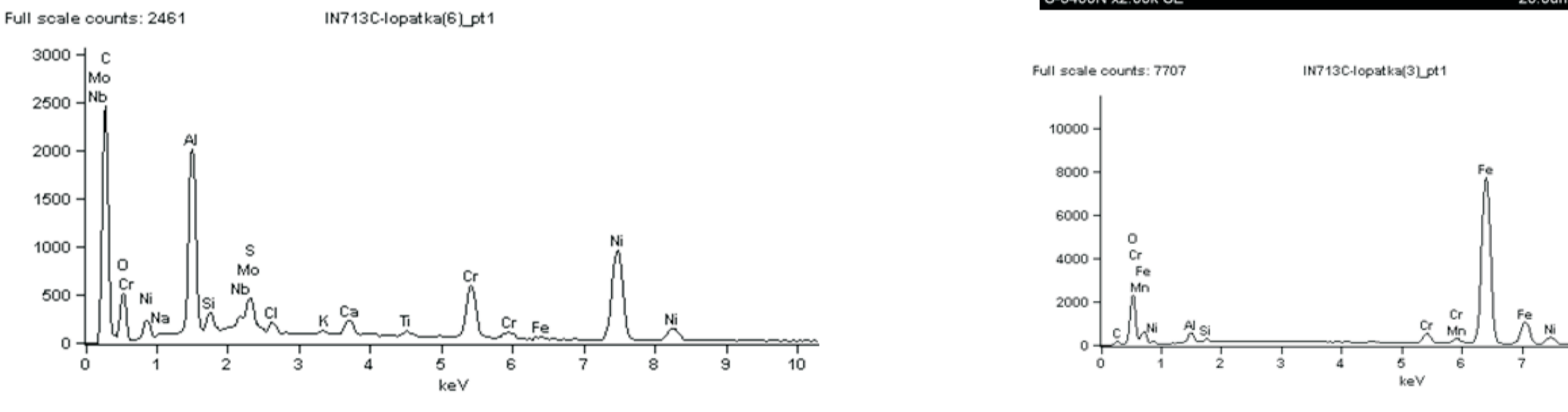
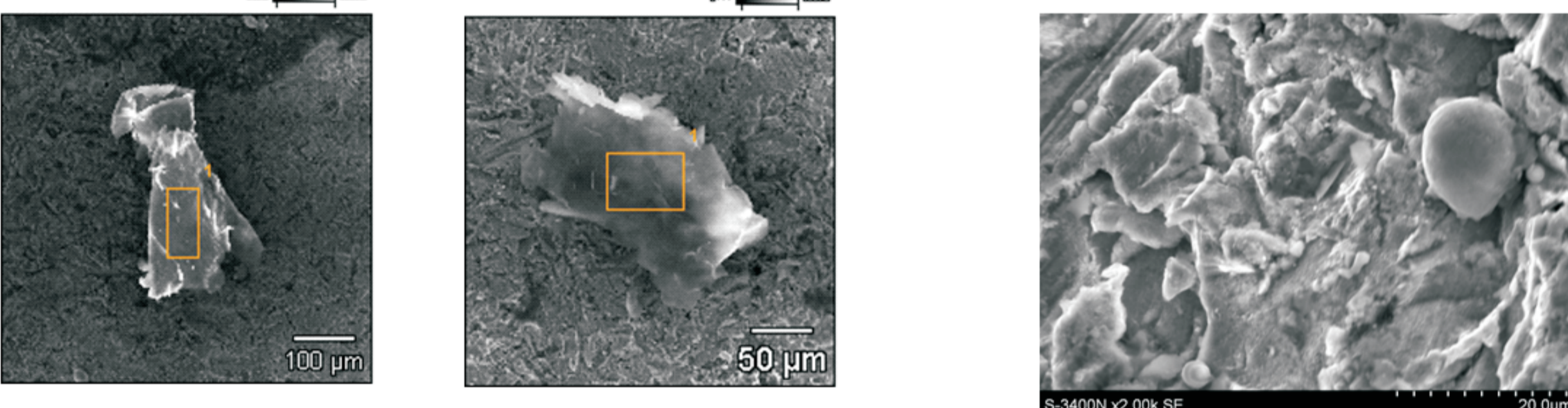


Fragment pękniętego odlewu precyzyjnego łopatki ze stopu IN 713 i zgład metalograficzny obszaru pęknięcia. Pęknięcie gorące po granicach dendrytów z widoczną warstwą utlenioną na powierzchni pęknięcia



Najbardziej prawdopodobną przyczyną powstawania wad jest niedoskonała konstrukcja formy i właściwości formy. Zbyt sztywna forma może bowiem powodować powstawanie dużych naprężeń związanych z hamowaniem skurczu odlewniczego. Potwierdzono udział skupisk wtrąceń niemetalicznych (tzw. nici pajęcznych) w generowaniu i rozprzestrzenianiu się pęknięć.

#### Analiza wad w łopatkach z nadstopu IN 713C ujawnionych w badaniach fluorescencyjnych



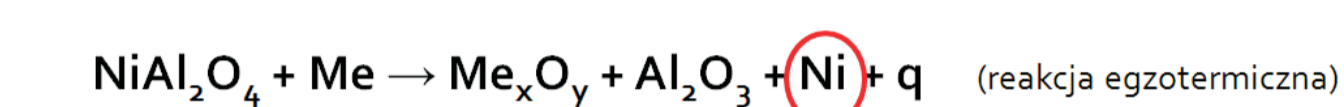
Generowaniu i rozprzestrzenianiu się pęknięć w łopatkach sprzyjają duże wydzielenia węglików pierwotnych typu MC (NbC) i fazy γ', wtrącenia niemetaliczne zawierające głównie Al, Cr i O oraz wtrącenia egzogeniczne zawierające pierwiastki wchodzące w skład formy ceramicznej

#### Optymalizacja procesu otrzymywania spinelu glinianu niklu NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – modyfikatora ziarna w odlewach z nadstopów niklu

Metody otrzymywania spinelu NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, który ma stanowić alternatywny powierzchniowy modyfikator wielkości ziarna odlewów polikrystalicznych z nadstopów niklu opracowano w WIM PW. Zastosowano technologię reakcji roztopu stałego (mieszany tlenków metali kalcynowanej w powietrzu).



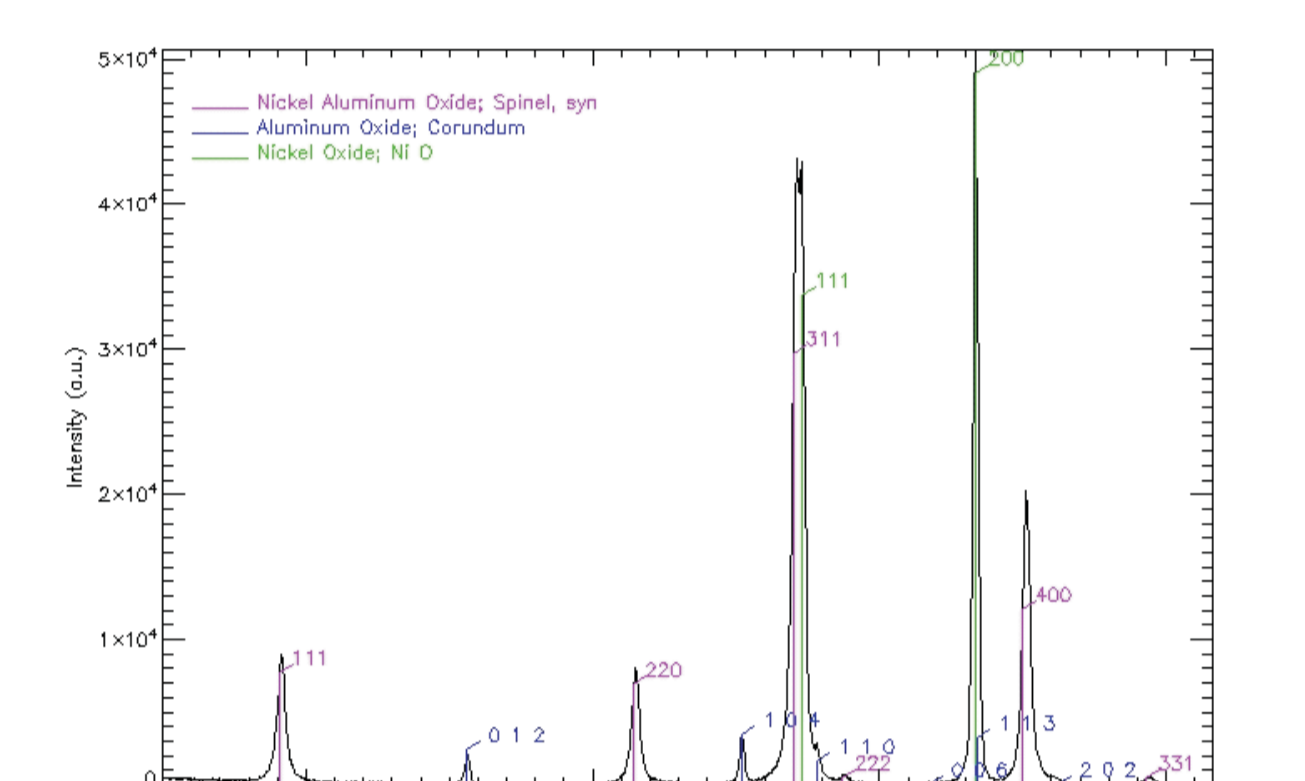
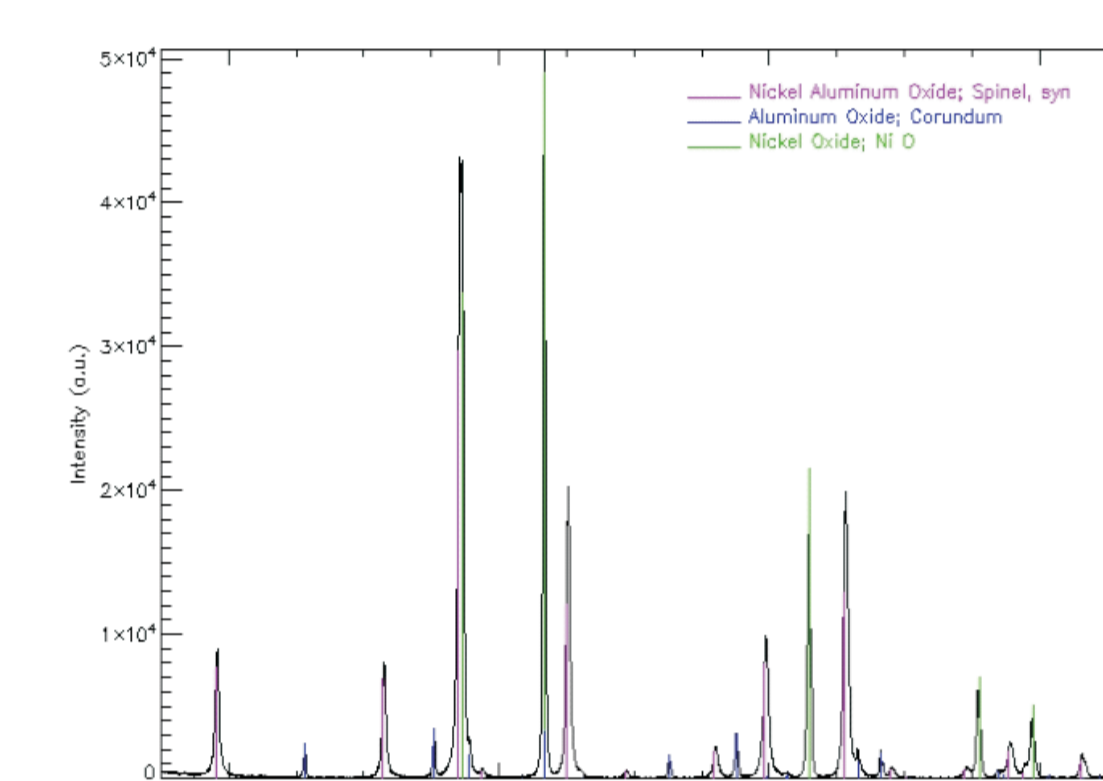
zarodek krystalizacji



zarodek krystalizacji

Tlenek glinu γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i tlenek niklu NiO wyprodukowane przez firmę Alfa Aesar GmbH & Co.KG

gdzie Me – Cr, Ti, Al, C dla nadstopów niklu



Wysokotemperaturowa synteza mieszany tlenków metali (NiO i γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pozwala na otrzymanie spinelu NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Reakcja nie zachodzi ze 100% wydajnością - w składzie fazowym produktów obserwuje się obecność związków reagentów. Wykazano, że ze wzrostem temperatury procesu syntezy następuje wzrost koncentracji spinelu glinianu niklu w próbce - wzrost intensywności promieniowania ugiętego na płaszczyźnie o wskaźniku (220) dla glinianu niklu.

### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Publikacje

- Moskal G., Cwajna J., Witala B., Rozmysłowska A.: *Analysis of influence of measurement conditions on repeatable results of thermal diffusivity of ceramic moulds designed for manufacturing the superalloys castings*. Europhysical Conference on Defects in Insulating Materials (EURODIM 2010), Pecs, 2010
- Moskal G., Cwajna J., Binczyk F., Cygan R., Witala B.: *Influence of measurement results of thermal conductivity and heat transfer coefficients on the simulation results of casting process of aircraft engine elements made of monocrystalline and directionally crystallized superalloys*. 6th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids: Mass Transfer, Heat Transfer and Microstructure and Properties, Paryż, 2010
- Moskal G., Cwajna J., Witala B., Cygan R.: *Influence of measurement results of thermal conductivity and heat transfer coefficients on the simulation results of casting process of aircraft engine elements*. Defect and Diffusion Forum, nr 312-315, str. 566-570, 2011
- Moskal G., Cwajna J., Matysiak H., Staszewski M., Witala B.: *Characterization of thermal and mechanical properties of ceramic shells for casting process*. Engineering Ceramics 2011: From Materials to Components, str. 78-79, 2011
- Chmiela B.: *Phase identification in new TBCs after thermal exposure using EBSD method*. Proceedings of XVIII International Student's Day of Metallurgy - CD, str. 313-319, 2011
- Dybowski B.: *Qualitative and quantitative analysis of microstructure of nickel-base superalloy ZhS6K*. Proceedings of XVIII International Student's Day of Metallurgy - CD, 2011
- Kościełniak B.: *Qualitative and quantitative analysis of microstructure of nickel-base superalloy CMSX-4*. Proceedings of XVIII International Student's Day of Metallurgy - CD, 2011
- Kukielka T.: *Primary dendrite arms spacing of the root of turbine blade*. XIII Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa „MATERIAŁY I TECHNOLOGIE XXI WIEKU” - CD, 2010
- Dybowski B.: *Jakościowa i ilościowa analiza mikrostruktury nadstopu niklu ZS6K*. III Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa „MATERIAŁY I TECHNOLOGIE XXI WIEKU” - CD, 2010
- Kościełniak B.: *Jakościowa i ilościowa analiza mikrostruktury nadstopu CMSX-4 na bazie niklu*. III Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa „MATERIAŁY I TECHNOLOGIE XXI WIEKU” - CD, 2010

#### Publikacje planowane

- Chmiela B., Sozańska M., Rodak K.: *Phase identification in nickel-base superalloys using EBSD/SEM method and electron diffraction in STEM*. The XIVth International Conference on Electron Microscopy, 2011.
- Sozańska M., Chmiela B., Cwajna J.: *Analysis of microstructure and phase identification in nickel-base superalloys ZhS6K using EBSD/SEM method*. The XIVth International Conference on Electron Microscopy, 2011.
- Szczotok A.: *Quantitative evaluation of carbides in nickel-base superalloy MAR-M247*. Technologies and Properties of Modern Utilised Materials, IOP Materials Science and Engineering Conference Series
- Roskosz S., Cwajna J.: *Quantitative characterization of shrinkage and gas pores in equiaxed and single crystal nickel base superalloys*. IX International Conference on Stereology and Image Analysis in Materials Science, STERMAT 2012
- Szczotok A., Cwajna J.: *Quantitative evaluation of gamma prime (γ') phase precipitates in CMSX-4 nickel-based superalloy*. IX International Conference on Stereology and Image Analysis in Materials Science, STERMAT 2012

#### Prace mgr, dr, hab.

**Prace inżynierskie obronione:**  
Tomaszewska J.: *Opracowanie metodyki wytwarzania spinelu NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> do modyfikacji nadstopu niklu IN 713C*. Promotor: dr inż. H. Matysiak

- Prace magisterskie planowane:**
- Kościełniak T.: *Ujawnianie i ocena fazy γ' w monokrystalicznym nadstopie niklu CMSX-4*. Promotor: dr inż. A. Szczotok, planowany termin obrony pracy VI.2011
  - Toczyłowska E.: *Ocena faz węglkowych w nadstopie niklu René 142 DS*. Promotor: dr inż. A. Szczotok, planowany termin obrony pracy VI.2011
  - Kwaśniewski D.: *Charakterystyka właściwości cieplnych form ceramicznych przeznaczonych do odlewania elementów z nadstopów niklu*. Promotor: dr inż. G. Moskal, planowany termin obrony pracy VI.2011
  - Bednorz Ł.: *Analiza zjawisk zachodzących w procesie krystalizacji nadstopów niklu na granicy forma-ciekły metal*. Promotor: dr inż. J. Michalska, planowany termin obrony pracy IX.2011

#### Prace doktorskie

Tytuł: *Zastosowanie metod mikroanalizy rentgenowskiej i techniki EBSD w badaniach materiałów dla lotnictwa*  
Autor: Chmiela B.  
Promotor: dr hab. inż. M. Sozańska, prof. nzw. w Pol. Śl.  
Status: Przewód doktorski otwarto 9.XI.2010, planowany termin zakończenia 2012