

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych

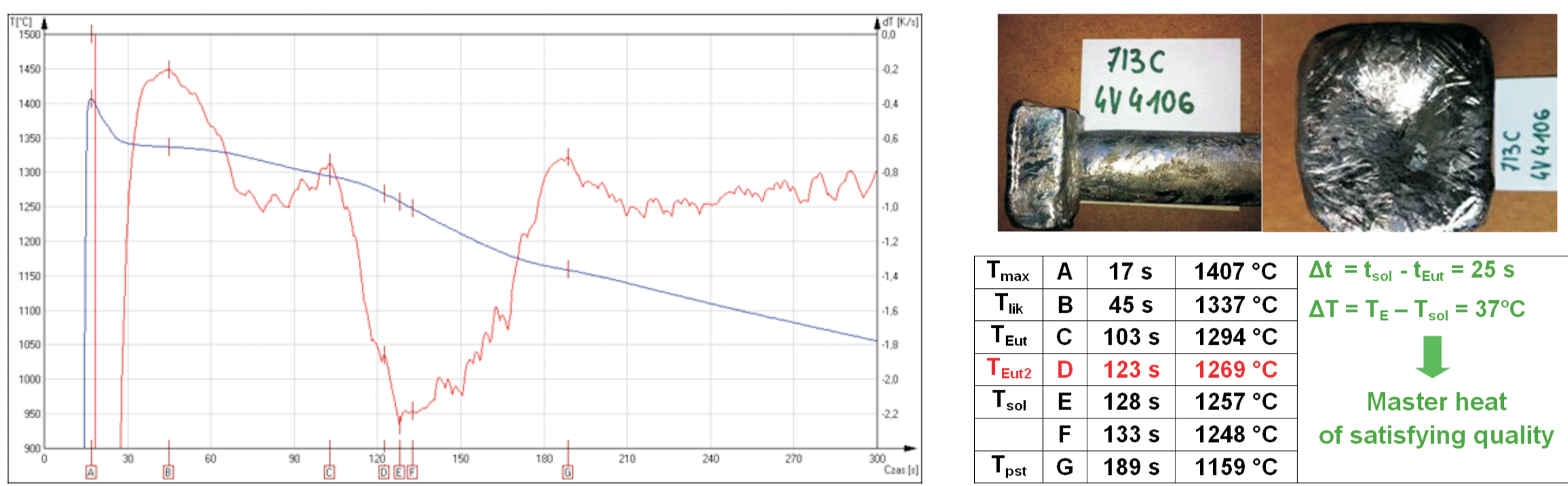
Precision casting of Ni alloys on critical parts of aircraft engines

Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

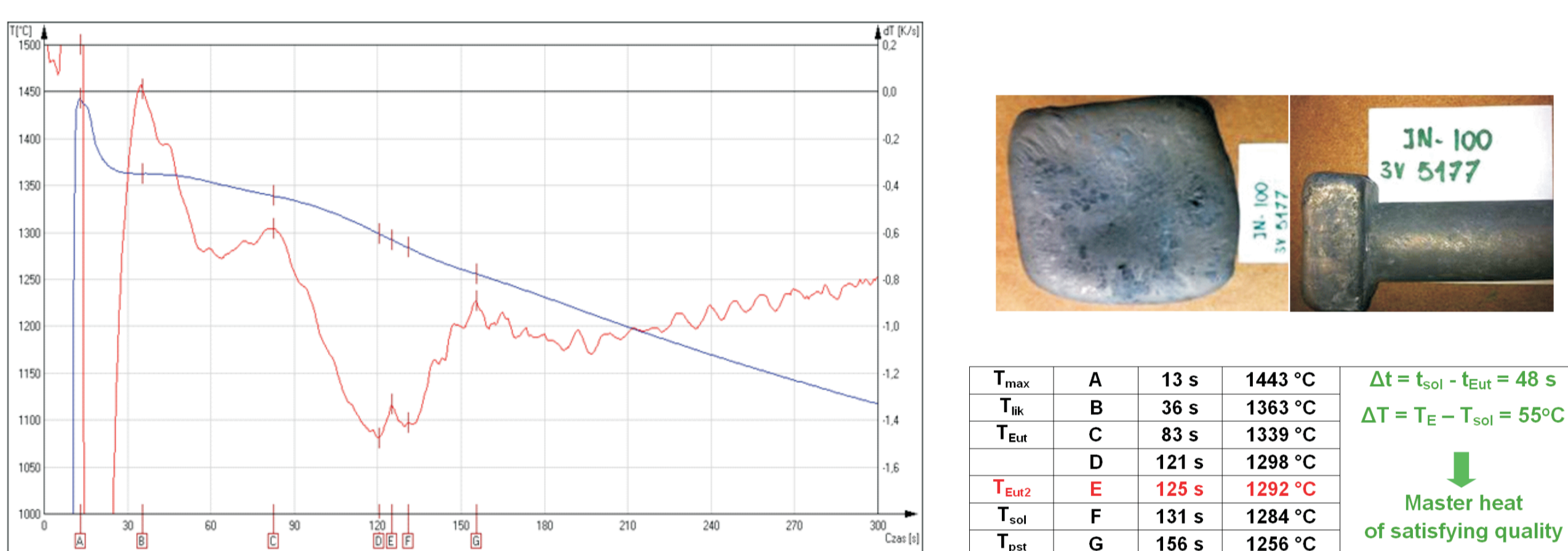
Wyniki badań Results

Ocena jakości metalurgicznej wlewków wsadowych master heat na podstawie wyników analizy ATD

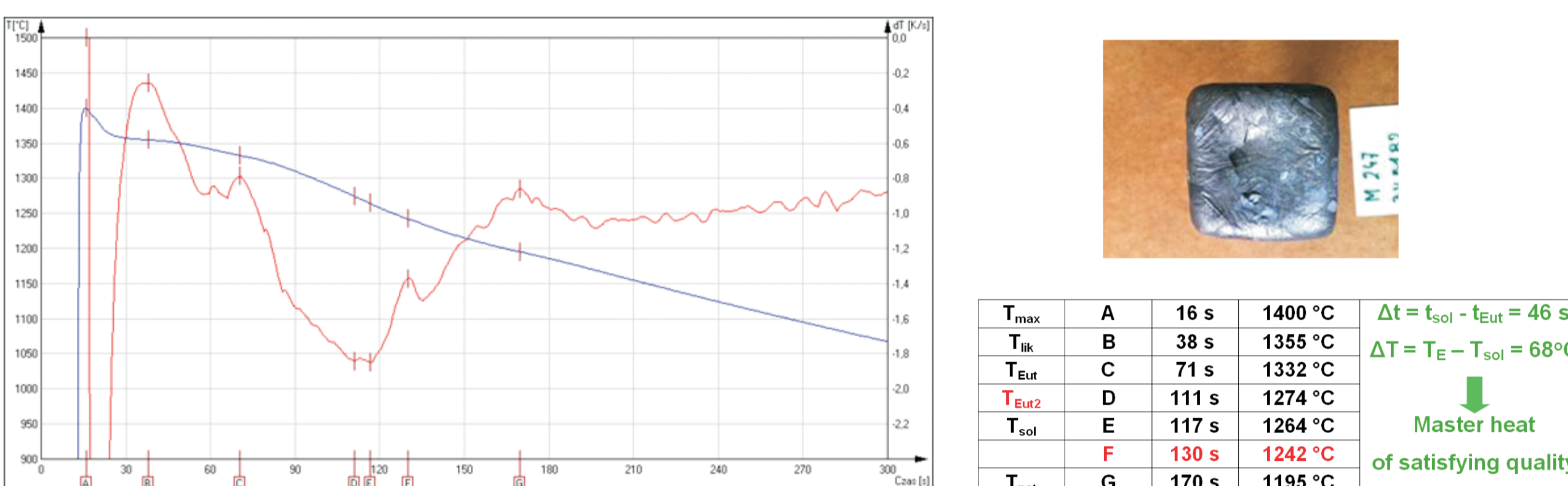
Evaluation of master heats metallurgical quality on the basis of ATD analysis



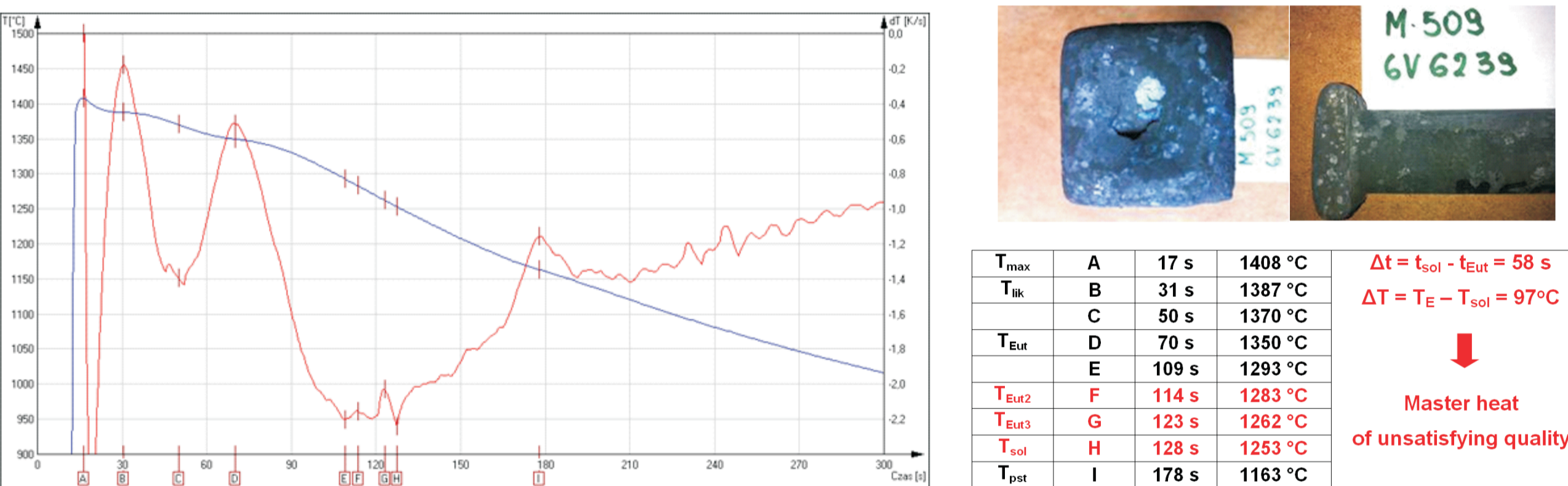
Wyniki analizy ATD nadstopu niklu IN713C - krzywe termiczne, temperatura i czas przemian oraz wygląd zewnętrzny wlewka ATD po próbie
Results of ATD analysis of IN713C nickel-based superalloy master heat - temperature and time of transformations, view of specimen after test



Wyniki analizy ATD nadstopu niklu IN100 - krzywe termiczne, temperatura i czas przemian oraz wygląd zewnętrzny wlewka ATD po próbie
Results of ATD analysis of IN100 nickel-based superalloy master heat - temperature and time of transformations, view of specimen after test



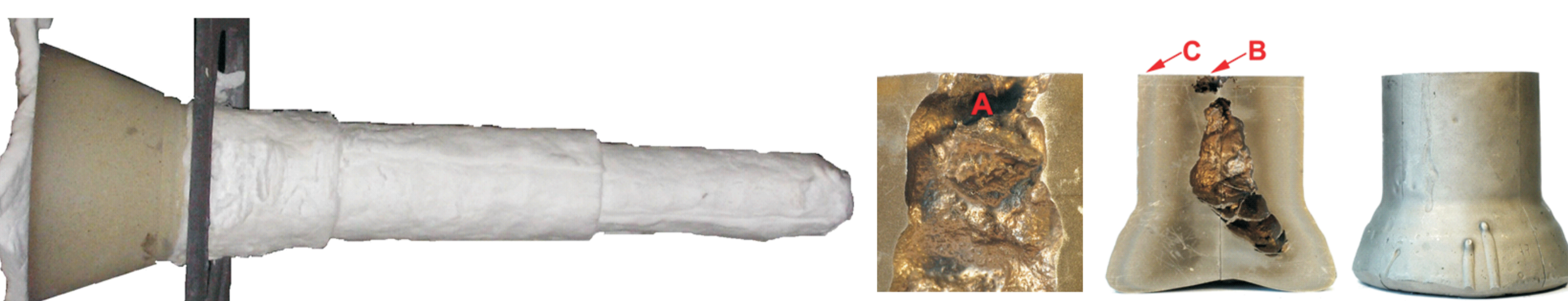
Wyniki analizy ATD nadstopu kobaltu MAR M247 - krzywe termiczne, temperatura i czas przemian oraz wygląd zewnętrzny wlewka ATD po próbie
Results of ATD analysis of MAR M247 nickel-based superalloy master heat - temperature and time of transformations, view of specimen after test



Wyniki analizy ATD nadstopu kobaltu MAR M509 - krzywe termiczne, temperatura i czas przemian oraz wygląd zewnętrzny wlewka ATD po próbie
Results of ATD analysis of MAR M509 cobalt-based superalloy master heat - temperature and time of transformations, view of specimen after test

Analiza wtrąceń niemetalicznych w stopie wsadowym MAR M247 przetopionym próżniowo w warunkach przemysłowych

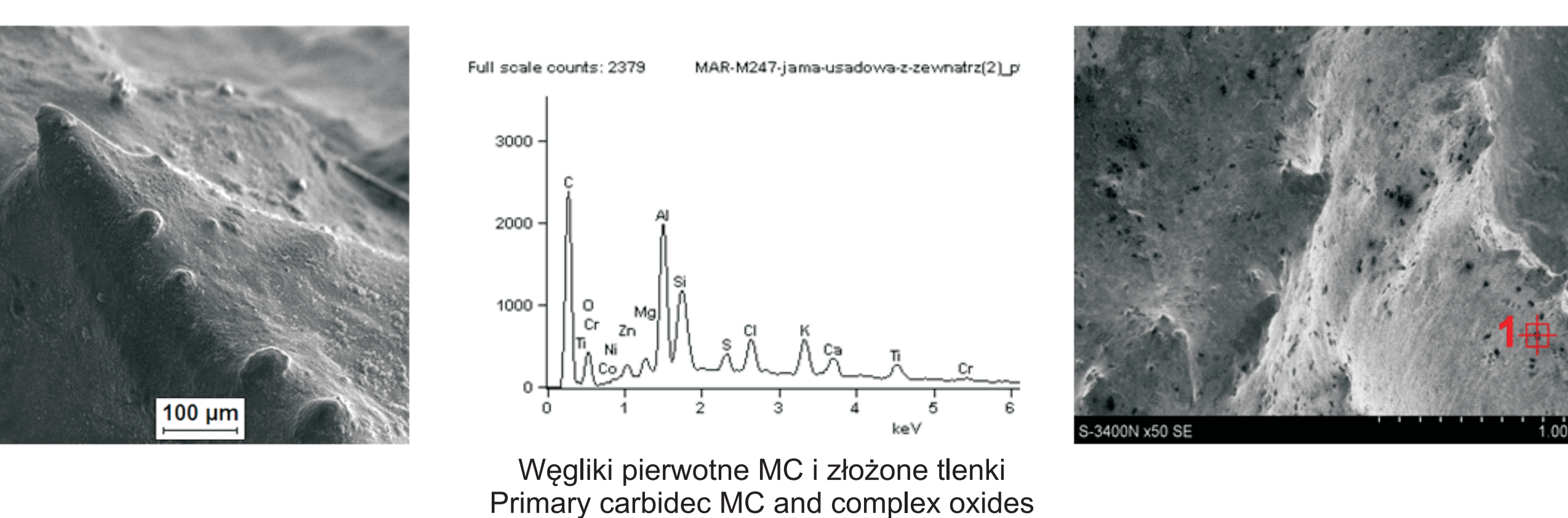
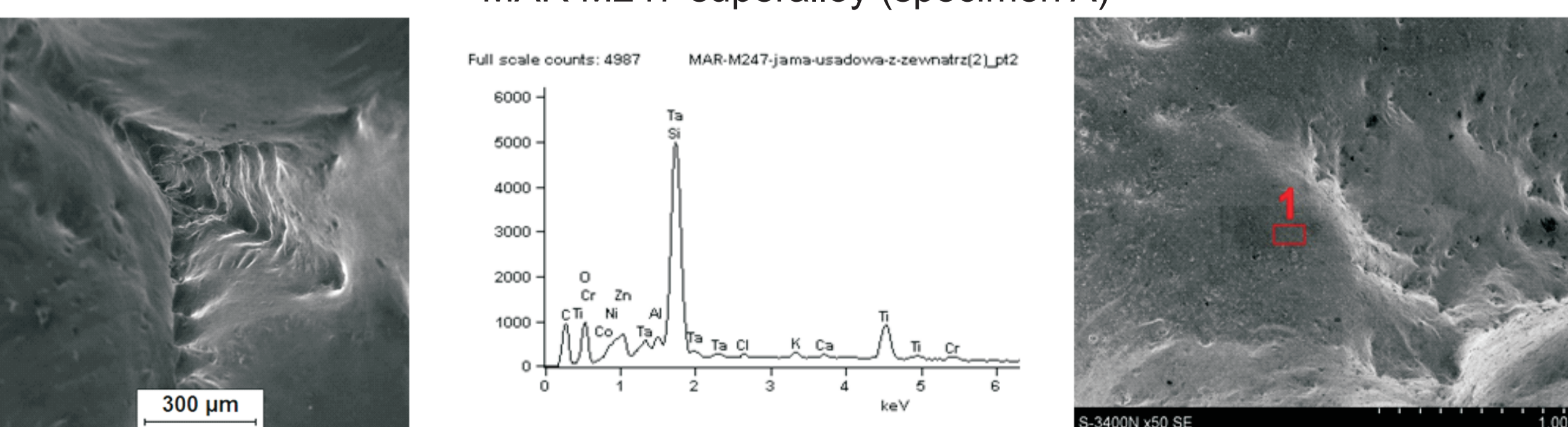
Analysis of nonmetallic inclusions in MAR M247 nickel-based superalloy experimental ingot - vacuum remelting in industrial conditions



Wlewkę doświadczalną z nadstopu MAR M247 odlano do specjalnie zaprojektowanej ocieplanej, wielowarstwowej formy ceramicznej
Experimental ingot of MAR M247 nickel-based superalloy cast into specially designed, insulated, multilayer ceramic shell

Sposób pobierania prób do badań głowy i górnego odcinka wlewka z nadstopu MAR M247
Sampling scheme for investigations of head and top parts of ingot made from MAR M247 superalloy

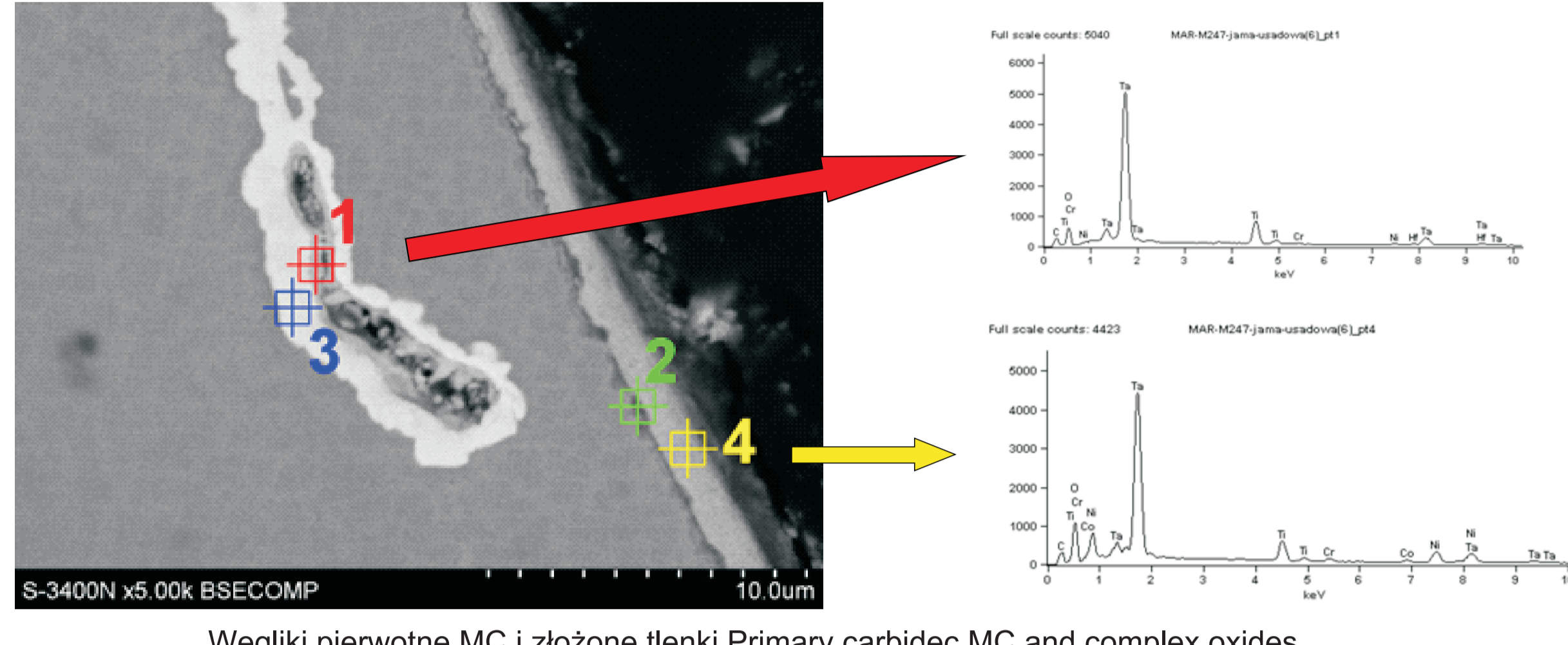
Wtrącenia na powierzchni dendrytów występujących w jamie skurczowej wlewka doświadczalnego z nadstopu MAR M247 (próbka A)
Inclusions on dendrite surfaces occurring in shrinkage cavity pipes of experimental ingot from MAR M247 superalloy (specimen A)



Węglik pierwotny MC i złożone tlenki
Primary carbide MC and complex oxides

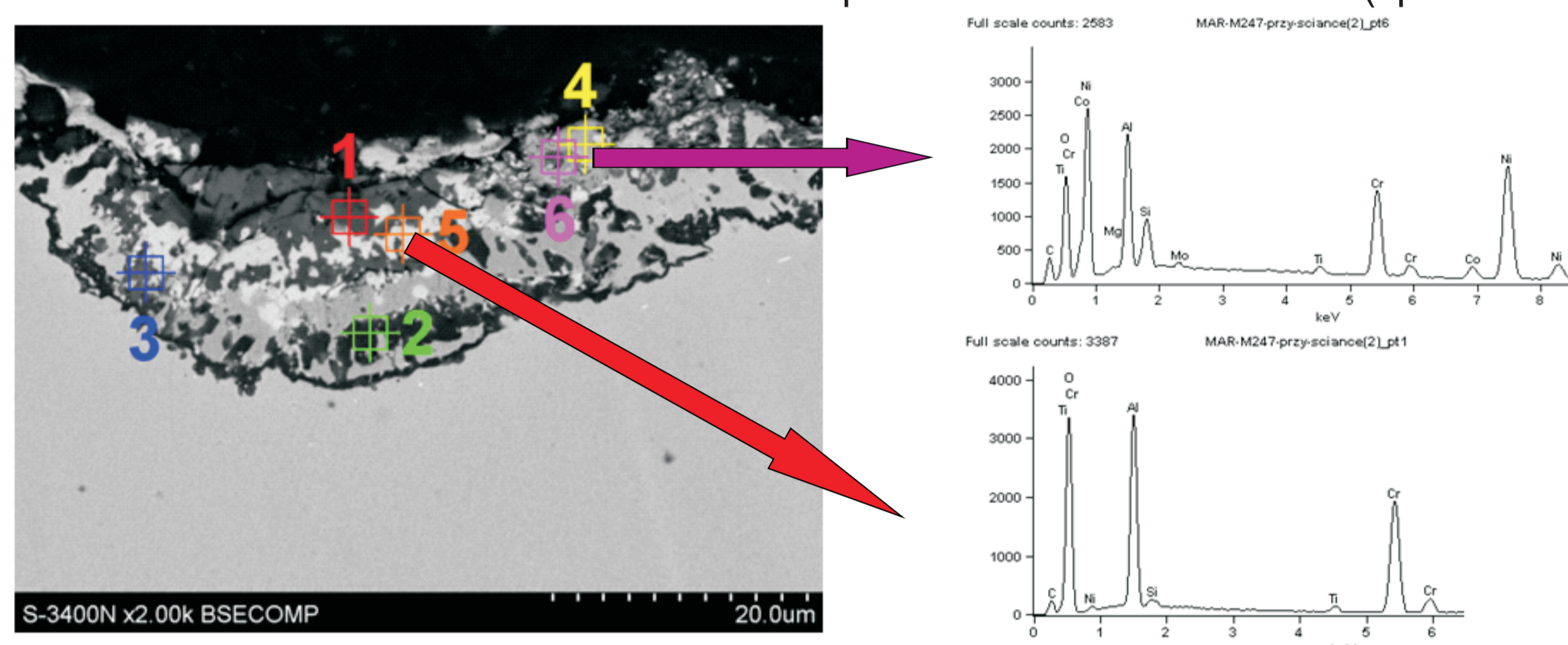
Wyniki badań Results

Wtrącenia w warstwie przypowierzchniowej dendrytów występujących w jamie skurczowej wlewka doświadczalnego z nadstopu MAR M247 (próbka B)
Inclusions on dendrite surfaces occurring in shrinkage cavity pipes of experimental ingot from MAR M247 superalloy (specimen B)



Węglik pierwotny MC i złożone tlenki Primary carbide MC and complex oxides

Wtrącenia w strefie reakcji ciekłego metalu z formą ceramiczną (próbka C)
Inclusions in the zone of reaction between liquid metal and ceramic shell (specimen C)



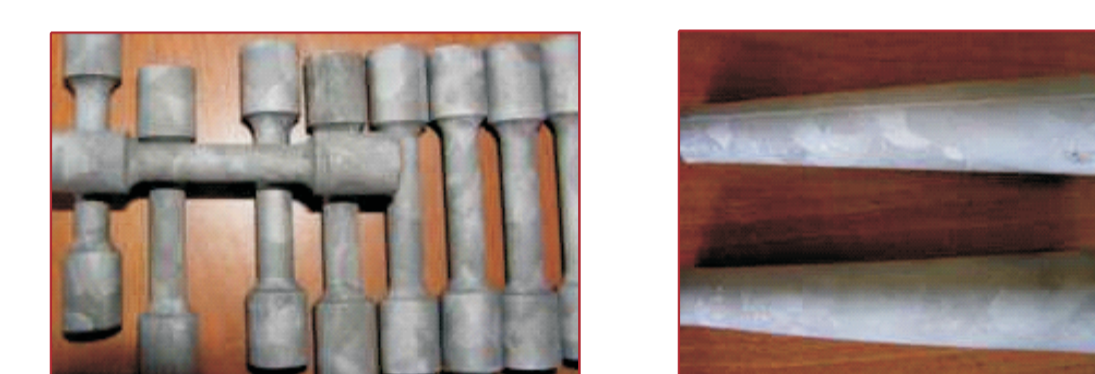
Złożone tlenki Al i Zr, glinokrzemiany i spinele oraz węglki pierwotne
Complex oxides, aluminosilicates, spinels and primary carbides

Analiza czynników wpływających na odporność na pełzanie stopów master heat z nadstopu MAR M509

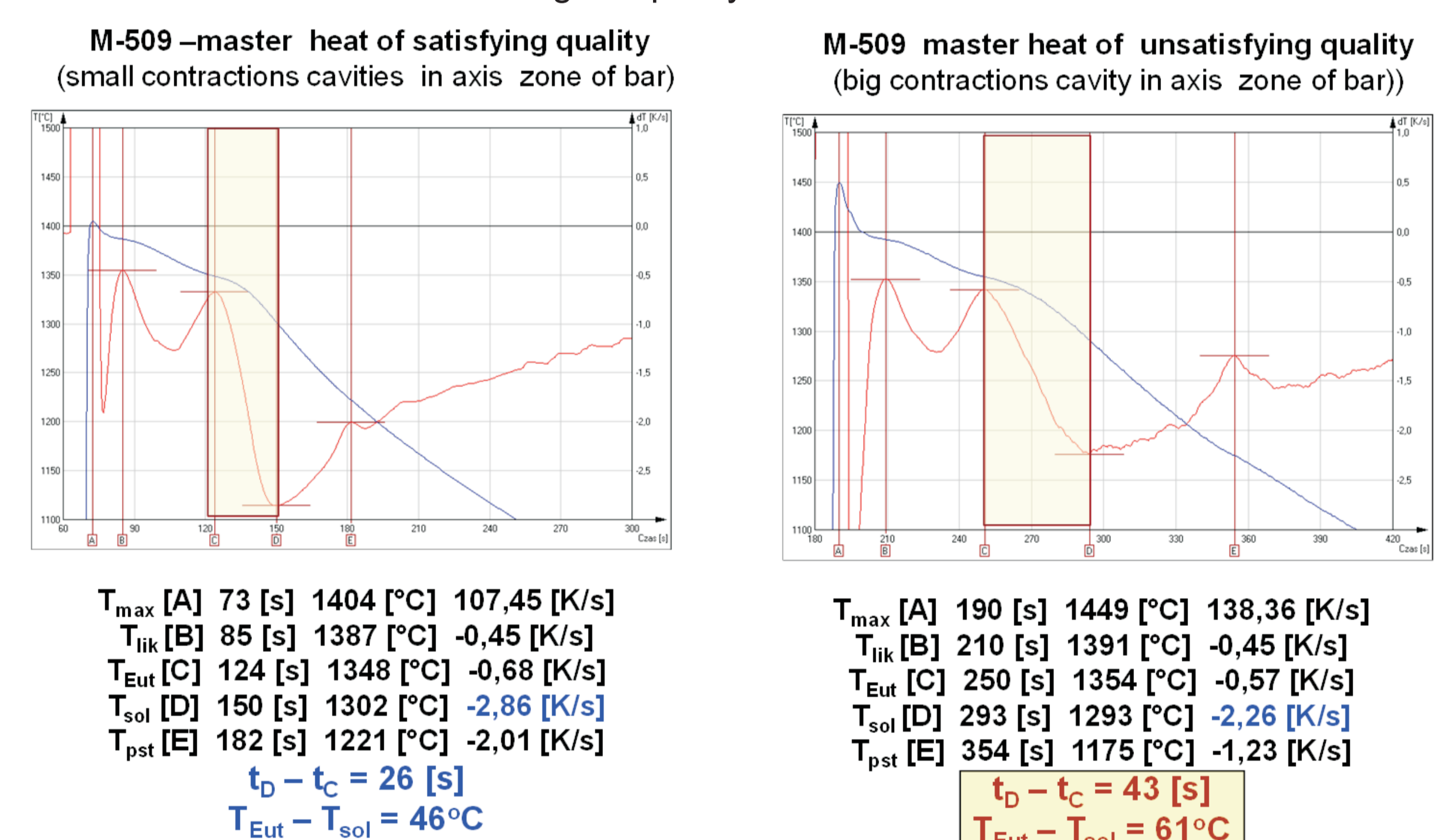
Factors effecting creep test results of cobalt-based MAR M509 master heats

Zróżnicowanie składu chemicznego i zawartości pierwiastków niepożądaných w stopach master heat o niezadawalającej odporności na pełzanie
Diversification of chemical composition of master heats MAR M509 and elevated concentration of undesirable chemical elements

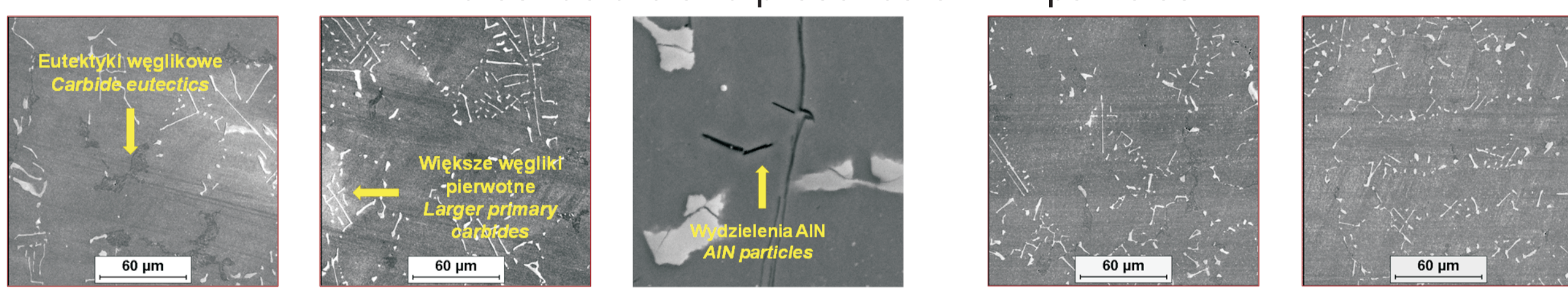
stop master heat	N [ppm]	O [ppm]	Cd [%]	Sn [ppm]	As [ppm]
6V5848	24	1	0,05	5	1
6V5895	18	1	0,05	5	1
6V5947	26	1	0,1	5	1
3V5007	38	2	0,15	10	2



Jakość metalurgiczna stopów wsadowych
Metallurgical quality of master heat bars



M-509 - master heat of satisfying quality (small contractions cavities in axis zone of bar)
M-509 master heat of unsatisfying quality (big contractions cavity in axis zone of bar)



Mikrostruktura i obecność wydzielen AIN
Microstructure and presence of AIN particles

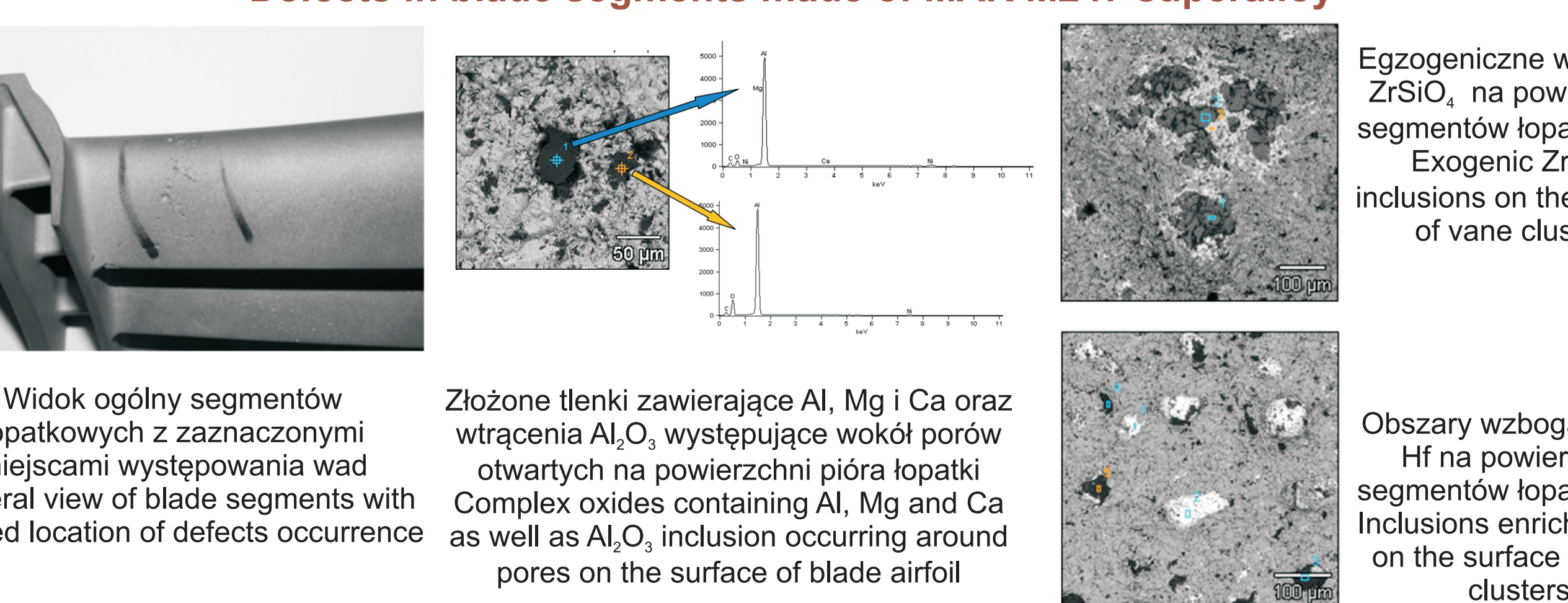
Nonmetallic inclusions	Master-heat	Casts
AIN	•	•
Sulfides (Mg)	•	•
Al ₂ O ₃	•	•
SiO ₂	•	•
Clusters of oxides Cr, Al, Ti, Ni, Fe	•	•
ZrO ₂	•	•
Carbon	•	•

Analiza przyczyn powstawania wad w odlawach precyzyjnych

Analysis of reasons defects formation in precision cast

Wady w segmentach łopatkowych z nadstopu MAR M247

Defects in blade segments made of MAR M247 superalloy



Widok ogólny segmentów łopatkowych z zaznaczonymi miejscami występowania wad
General view of blade segments with marked location of defects occurrence

Wnioski Conclusions

- Wyniki badań stopów wsadowych master heat stanowią potwierdzenie:
 - wplywu czystości metalurgicznej stopów wsadowych master heat na punkty charakterystyczne krzywych ATD opisujących proces krystalizacji stopu;
 - konieczności doboru parametrów odlewania na podstawie wyników analizy ATD dla danej partii wlewków wsadowych.
- Results of master heat study confirm:
 - effect of master heats metallurgical quality on ATD curves describing solidification process of superalloys;
 - necessity of selection of casting parameters on the basis of ATD analysis of given master heat.
- We wlewkach doświadczalnych ze stopów wsadowych MAR M247 odlanych do specjalnie zaprojektowanych, ocieplanych, wielowarstwowych form ceramicznych, w wyniku kierunkowej krystalizacji stopu zostały wytworzone do nadlewu liczne wtrącenia niemetaliczne: tlenki Al₂O₃, SiO₂, krzemian cyrkonu ZrSiO₄, złożone tlenki zawierające Hf, Al, Mg, Cr i Ca, spinele i glinokrzemiany zawierające Al, Si, Mg, Ca i O. Głównym źródłem pochodzenia tlenków Al₂O₃ i SiO₂ oraz krzemianu cyrkonu jest forma ceramiczna. Źródłem spinei, glinokrzemianów, siarczków magnezu, oraz wydzielen zawierających Fe, Na, K, S są stopy wsadowe.
- The non-metallic inclusions have been present in experimental ingots from MAR M247 superalloy cast into specially designed, insulated, multilayer, ceramic moulds. The inclusions are mainly ZrSiO₄ and Al₂O₃ i SiO₂ oxides, complex oxides containing Hf, Al, Mg, Cr i Ca, spinels as well as Al, Si, Mg, Ca, O containing aluminosilicates. The inclusions have been inserted into a sinkhead of the ingot as a result of directional solidification of master heat. An origin source of ZrSiO₄ and Al₂O₃ i SiO₂ oxides is ceramic shell. Main source of spinels, aluminosilicates and inclusions containing Fe, Na, K, S are master heats.
- Przyczynami niezadawalającej odporności na pełzanie stopów wsadowych master heat nadstopu MAR M509 są:
 - zawartość aluminium i pierwiastków niepożądanych w stopach wsadowych oraz ich niezadawalająca jakoś metalurgiczna;
 - niekorzystna mikrostruktura: większe węglki pierwotne, większa objętość względna eutektyk węglkowych, w porównaniu do nadstopów o zadawalającej odporności na pełzanie, oraz obecność dużych wydzielen AIN;
 - znaczna zawartość wtrąceń niemetalicznych.
- Main reasons of unsatisfying creep test results of MAR M509 superalloy master heat are:
 - presence of aluminium and elevated concentration of undesirable chemical elements as well as unsatisfying metallurgical quality of master heat bars;
 - incorrect microstructure: larger primary carbides, higher volume fraction of carbide eutectics, in comparison with superalloys of satisfying creep test results, and presence of large AIN inclusions.
- Główną przyczyną pęknięcia na gorąco łopatek z nadstopu IN713C w obszarze przejścia pióra w zamek jest niedostateczne zasilanie tego obszaru w ciekły metal w procesie krystalizacji. Konieczna jest zamiana sposobu zasilania odlaw w ciekły metal i/lub zmiana sposobu ocieplania formy ceramicznej.
- Main reason of hot cracking of blades made from IN713C superalloy in the transition area between airfoil and blade locking piece is insufficient feeding of the casting in this area on liquid metal during crystallization process. Modification of the feeding of the casting on liquid metal and/or modification of thermal insulation of ceramic mould are necessary.
- Wady w odlawach segmentów łopatkowych z nadstopu MAR M247 mają charakter powierzchniowy. Są to porowate oraz egzogeniczne wtrącenia niemetaliczne. Są to głównie tlenki Al₂O₃, SiO₂, MgO oraz ZrSiO₄ wchodzące w skład formy ceramicznej i tygla powstające w wyniku działania erozyjnego ciekłego nadstopu MAR M247 na materiał tygla i formy ceramicznej. Obszar wzbogacony w hafn powstają na powierzchni odlaw w wyniku reakcji zachodzących na granicy ciekły metal-forma ceramiczna. Obecność w odlawach zanieczyszczeń zawierających cynk, miedź, cynę i żelazo świadczą o niezadawalającej czystości metalurgicznej stopu wsadowego master heat.
- Defects in vane clusters made from MAR M247 superalloy are of surface character. They are pores and exogenic non-metallic inclusions: Al₂O₃, SiO₂, MgO oxides and ZrSiO₄ (non-metallic inclusions characteristic for the first coat the mould near the pat tern) can be probably derived from charge alloy of ceramic mould. Inclusions containing Zn, Cu, Sn and Fe have been mainly derived from master heat charge alloy and their presence confirms a significant influence of metallurgical purity of master heat alloys on a quality of casts.

Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

- Publikacje**
- Chmiela B., Sozańska M., Rodak K.: *Phase identification in nickel-based superalloys using EBSD/SEM and electron diffraction in STEM*. Solid State Phenomena, 186, 2012, 58-61.
 - Sozańska M., Chmiela B., Kianicova M., Cwajna J.: *Degradation of microstructure after service in ZrSiO₄ superalloy with diffusive aluminide coating*. Solid State Phenomena, 186, 2012, 143-146.
 - Chmiela B., Kianicova M., Sozańska M., Swadźba L.: *Degradation of Si-Al aluminide coating after service of turbine blades made of ZrSiO₄ superalloy*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; 35; 2012; 1-9.
 - Szczotok A., Rodak K.: *Microstructural studies of carbides in MAR-M247 nickel-based superalloy*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; 35; 2012; 1-11.

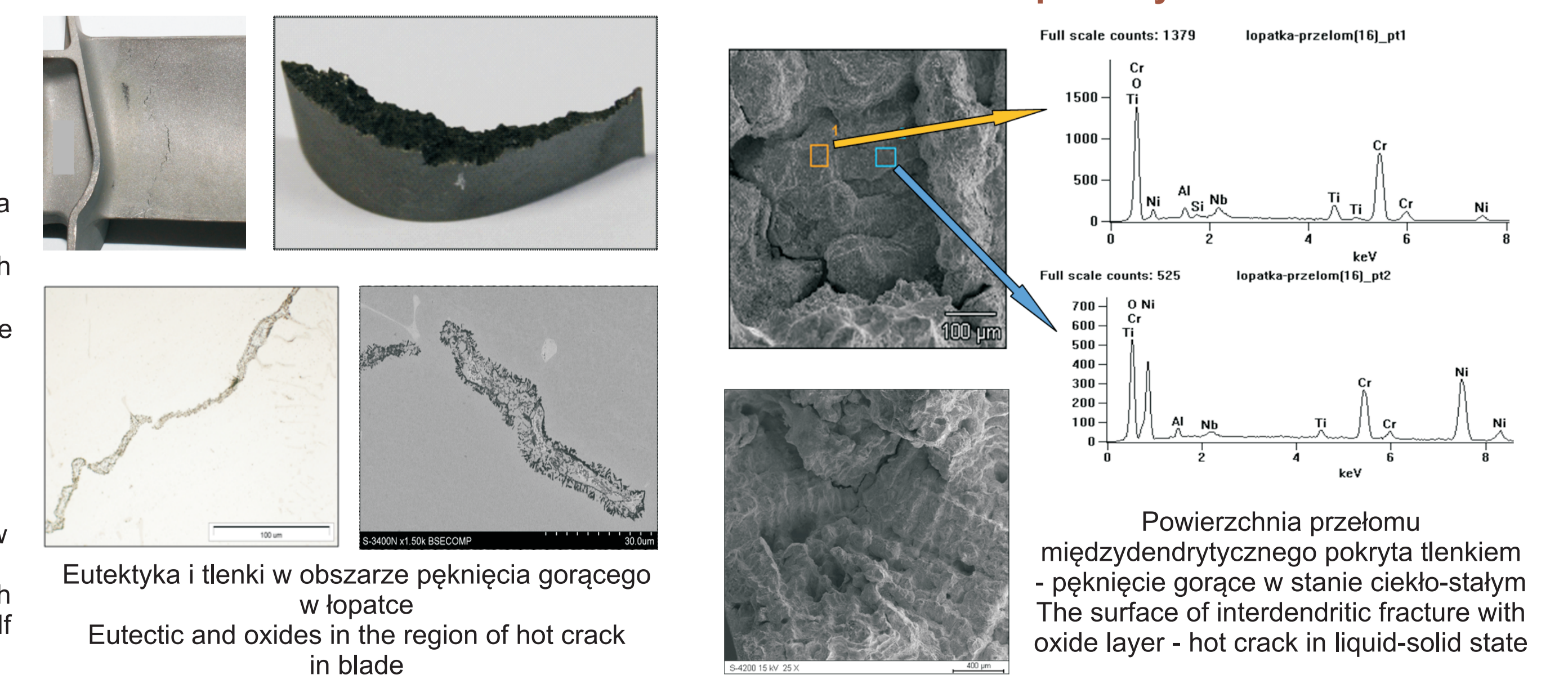
- Referaty**
- Kościelniak B., Chmiela B., Kukielka T.: *Analysis of non-metallic inclusions in casting made of IN713C superalloy forming as a result of metal - mould reactions*; Studentski vedeckí odborní konferencii METALURGIA 2012; Kosice; 17.04.2012

- Prace habilitacyjne**
- Temat: *Kompleksowa ocena porowatości odlawów precyzyjnych z żarowytrzymałych nadstopów niklu*
Autor: Roskosz S. . .
Stan: Praca po obronie 5.VI.2012.

- Projekty inżynierskie**
- Cepak M.: *Analiza przyczyn pęknięcia odlawów precyzyjnych łopatek z nadstopu Inconel 713C*.
 - Kościelniak B.: *Analiza wtrąceń niemetalicznych w stopie wsadowym Inconel 713C przetopionym próżniowo w warunkach przemysłowych*.
 - Młodzieniak M.: *Analiza wad w odlawach precyzyjnych łopatek z nadstopu Inconel 713C wykonanych z przetopionych próżniowo w warunkach przemysłowych stopów wsadowych*.
 - Stopyra M.: *Analiza wtrąceń niemetalicznych w stopie wsadowym MAR M247 przetopionym próżniowo w warunkach przemysłowych*.
 - Ziemski J.: *Analiza wad w odlawach precyzyjnych segmentów łopatek z nadstopu MAR M247*.
 - Balcerzyk R.: *Ocena czynników strukturalnych wpływających na wyniki oceny odporności na pełzanie odlaw z nadstopu kobaltu MAR M509*.
 - Ignasiak D.: *Ocena porowatości odlawów precyzyjnych z nadstopów niklu metodami mikroskopii świetlnej i mikroskopii elektronowej skaningowej*.

Wady w łopatkach z nadstopu IN 713C

Defects in blades made of IN 713C superalloy



Eutektyka i tlenki w obszarze pęknięcia gorącego w łopacie
Eutectic and oxides in the region of hot crack in blade