

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

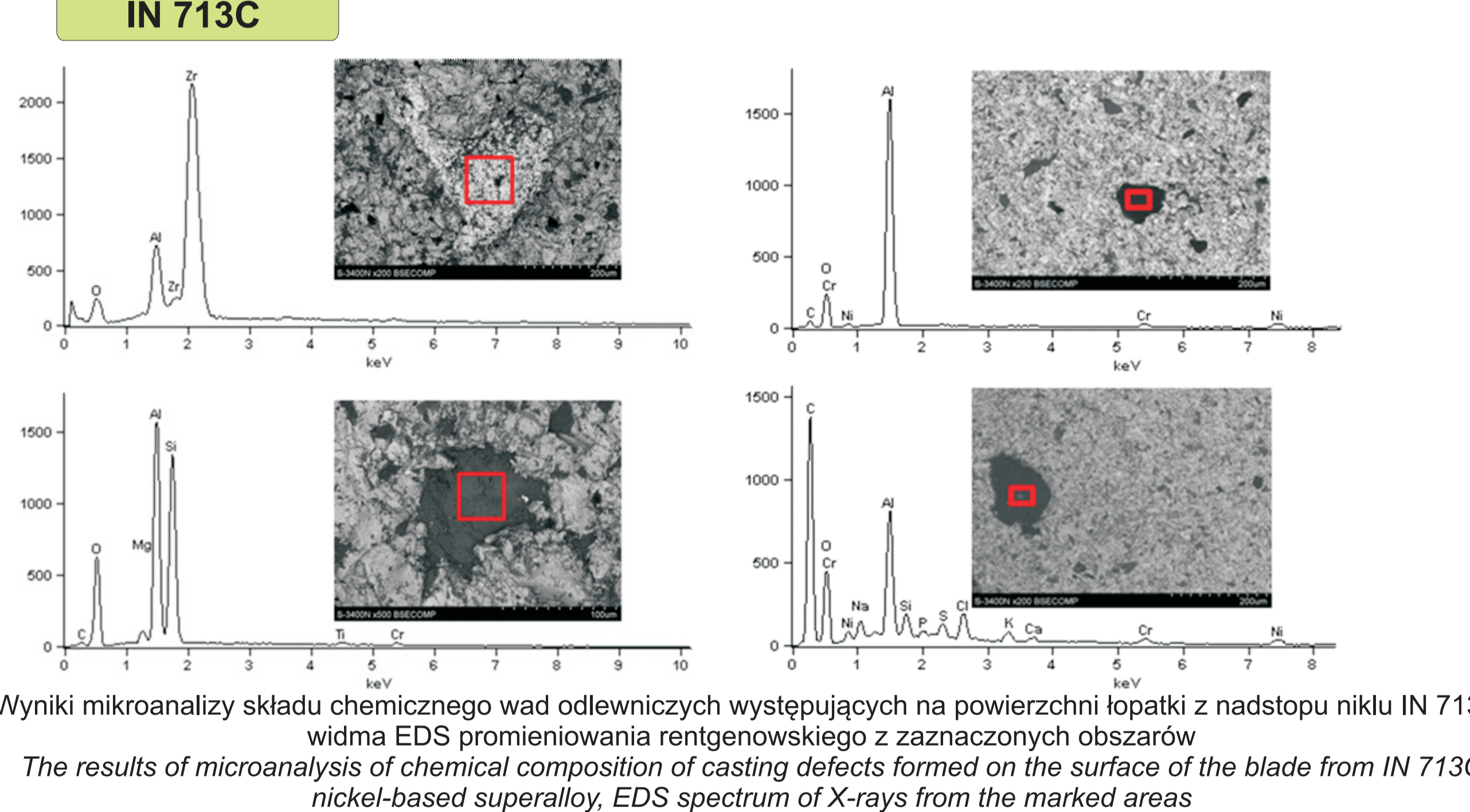
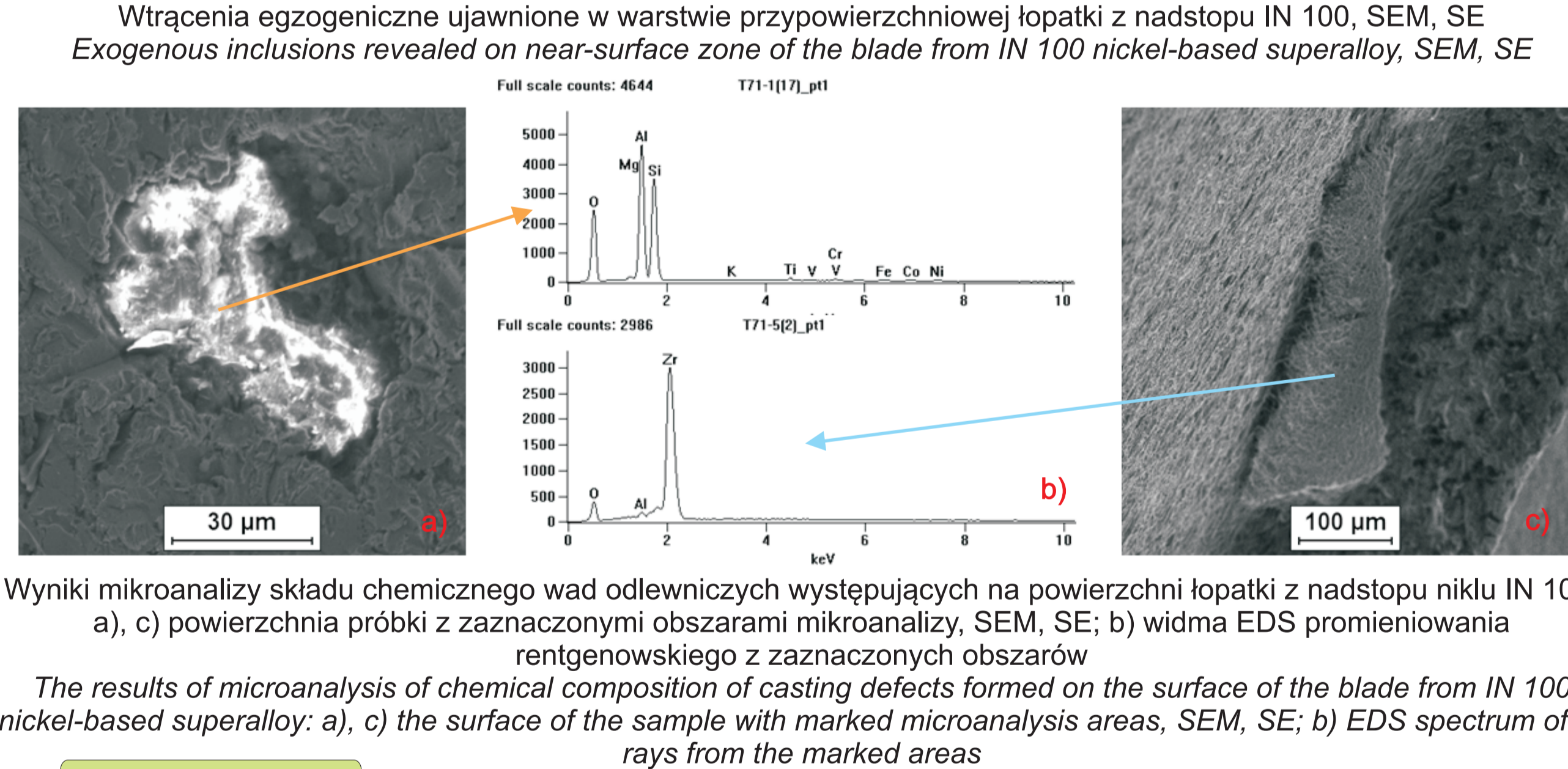
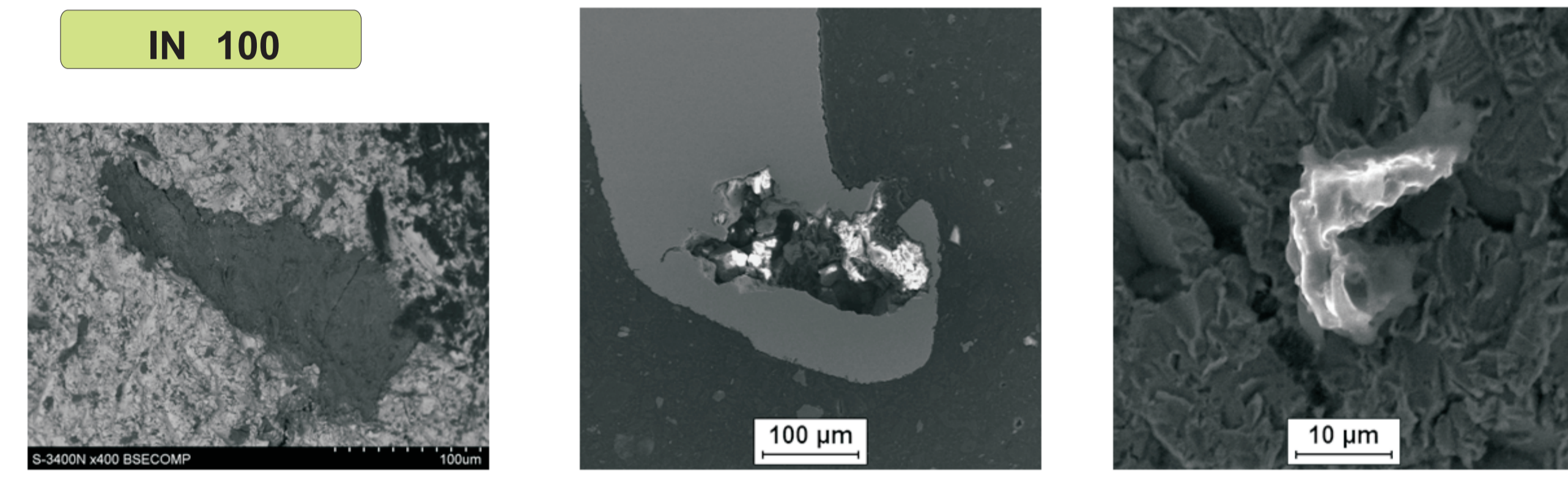
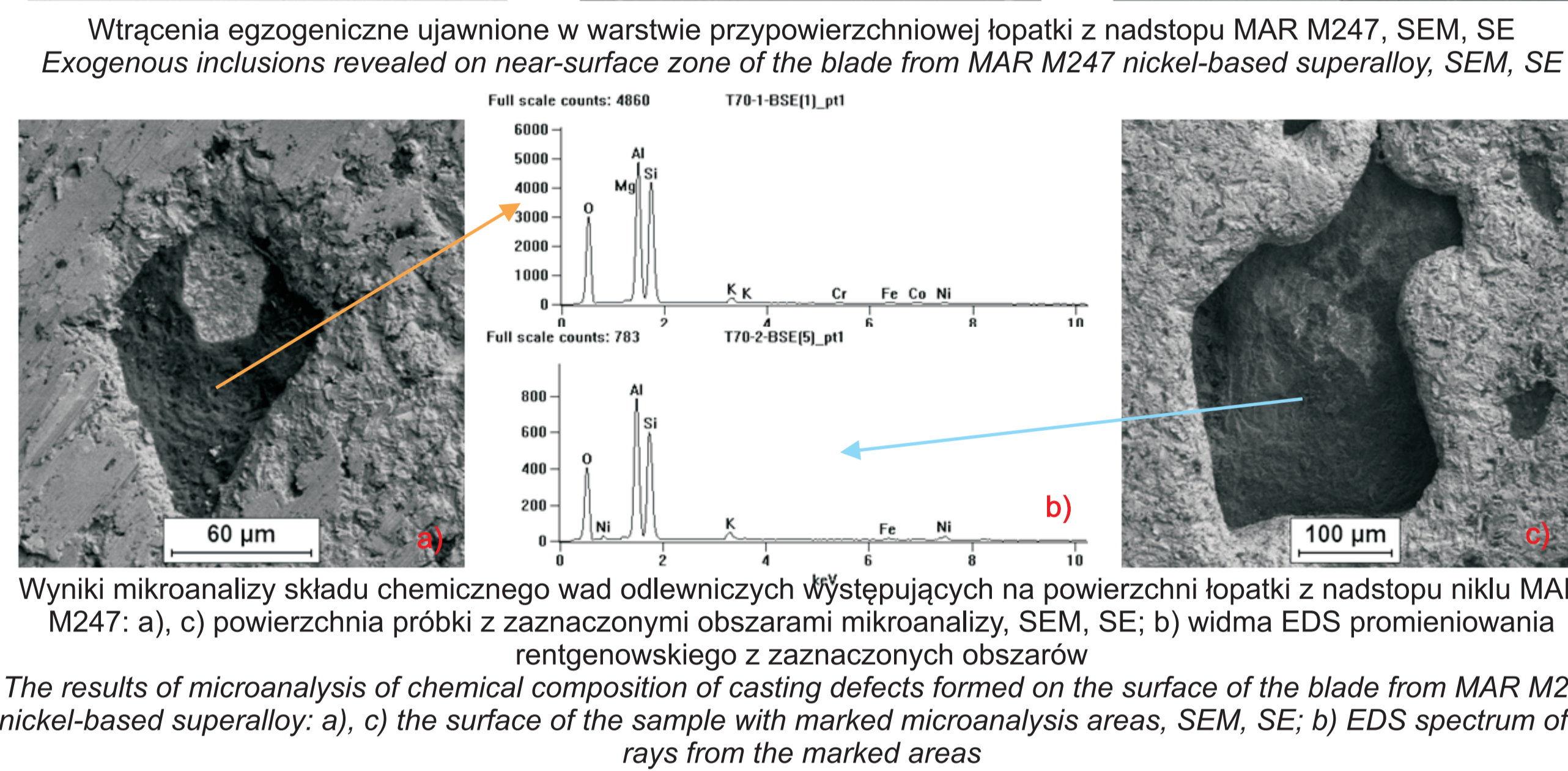
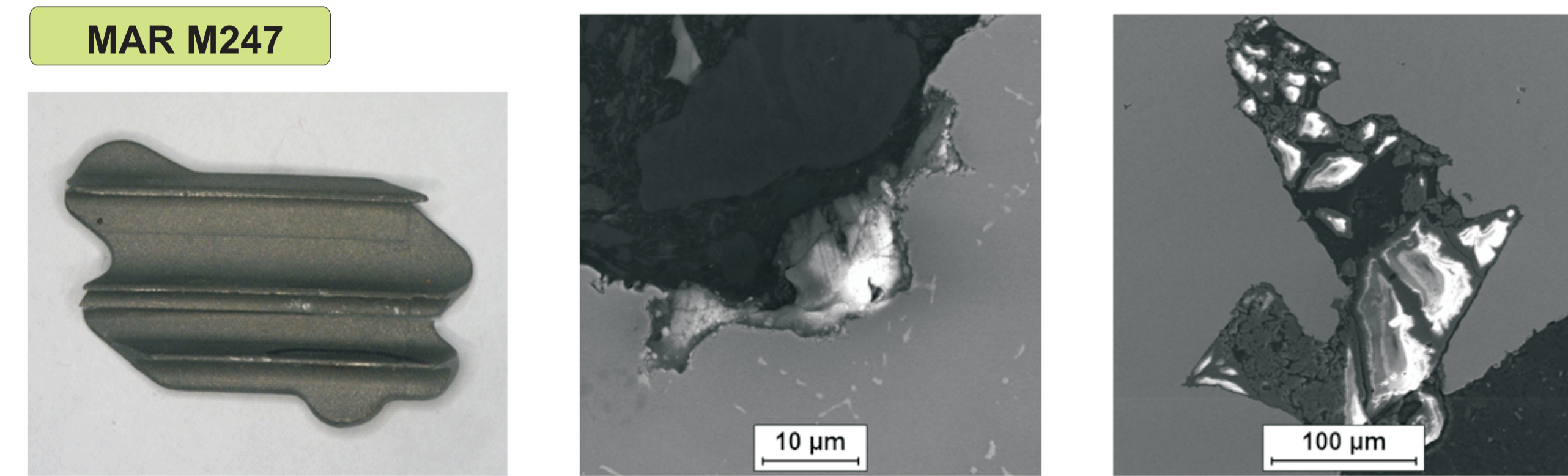
Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

Wyniki badań Results

Analiza przyczyn powstawania wad odlewniczych w łopatkach turbin niskiego ciśnienia silników lotniczych odlanych precyzyjnie z nadstopów niklu MAR M 247, IN 100 i IN 713C
Analysis of the causes of casting defects formation in low pressure turbine blades of air engines investment cast from MAR M 247, IN 100 and IN 713C nickel-based superalloys

Skład chemiczny nadstopów niklu MAR M247, IN100 i IN 713C (w % wag.)
Chemical composition of MAR M247, IN100 and IN 713C nickel-based superalloys (weight %)

Stop	Stężenie pierwiastków stopowych (w % masowych)										
	C	Cr	Co	Mo	W	Ta	Ti	Al	Zr	B	Inne
MAR M247	0,16	8,2	10	0,6	10	3	1	5,5	0,05	0,015	1,5 Hf
IN 100	0,16	10	15	3	-	-	4,75	5,5	0,05	0,015	0,8 V
IN 713C	0,10	13,5	-	4,5	-	-	0,8	6,0	0,06	0,010	2,0 Nb



Wnioski Conclusions

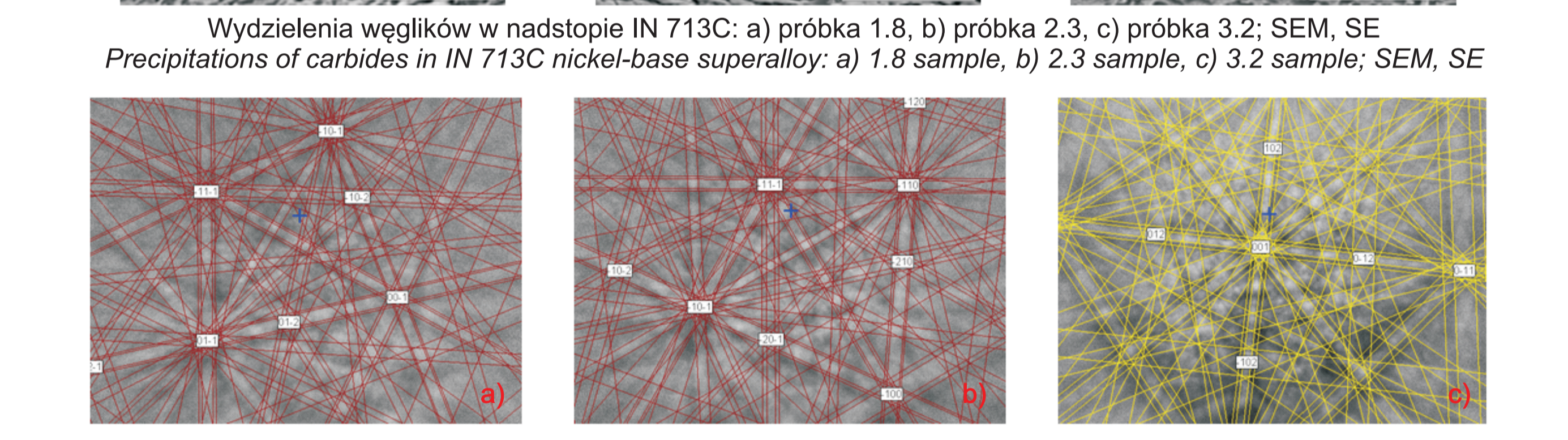
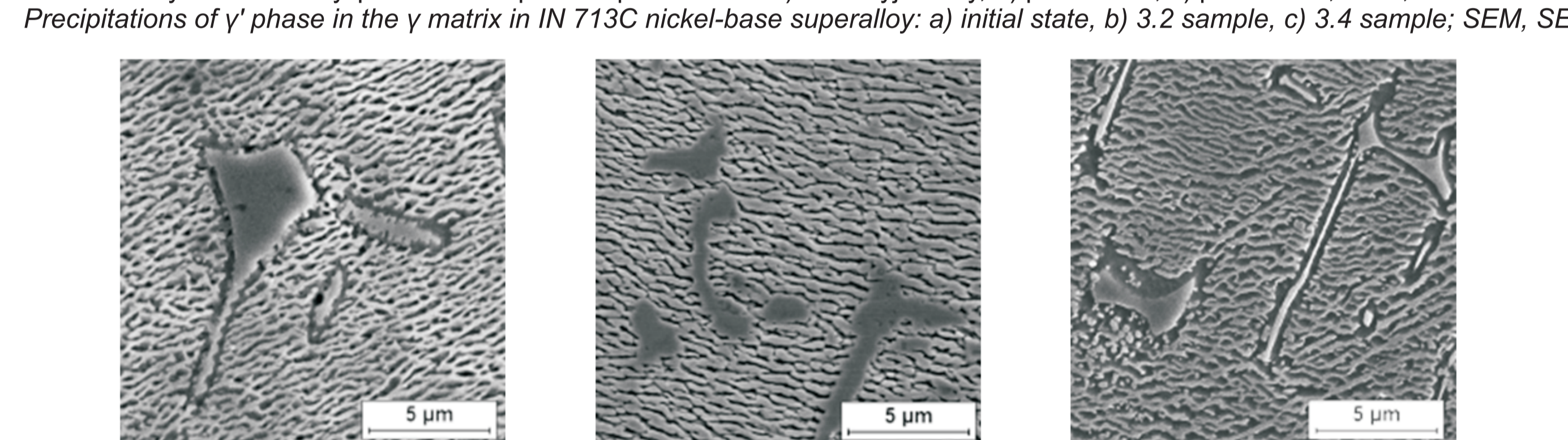
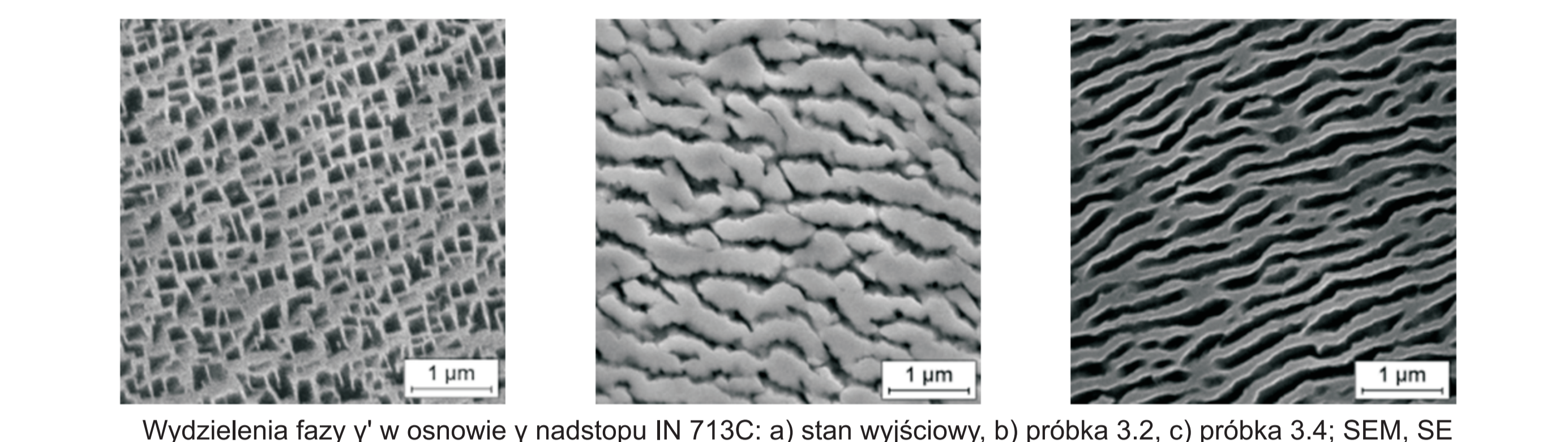
W łopatkach z nadstopów MAR M247 i IN 100 występowały wtrącenia Al_2O_3 i SiO_2 . Przyczynami powstania tego typu wtrąceń są: erozja formy ceramicznej oraz rozkład modyfikatora. Ponadto w łopatkach z nadstopu IN100 występowały wtrącenia niemetaliczne zawierające Zr i Mg, których źródłem pochodzenia jest erozja materiału tygla (ZrO, stabilizowany MgO). W łopatkach z nadstopu IN713C stwierdzono obecność następujących wtrąceń niemetalicznych (w nawiasach podano źródła ich pochodzenia):
 krzemian cyrkonu $ZrSiO_4$ (erozja materiału formy ceramicznej przez ciekły stop),
 tlenek aluminium Al_2O_3 (materiał ścierny oraz produkt rozkładu modyfikatora - glinianu kobaltu),
 tlenek krzemu SiO_2 (spoiwo formy ceramicznej),
 tlenek cyrkonu ZrO_2 (składnik tygla),
 żelazo i jego tlenki (składnik masy wlewowej).
 The Al_2O_3 and SiO_2 inclusions occurred in the blades from MAR M247 and IN 100 nickel-based superalloys. The causes of these kinds of inclusions formation were the following: erosion of ceramic mould and decomposition of inoculant. Moreover, non-metallic inclusions with Zr and Mg occurred in the blades from IN 100 nickel-based superalloy. The source of these inclusions was erosion of crucible material (ZrO_2 stabilized with MgO).
 In the blades from IN713C nickel-based superalloy the following non-metallic inclusions were observed (between parentheses the sources were presented):
 $ZrSiO_4$ zirconium silicate (erosion of ceramic mould material caused by liquid alloy),
 Al_2O_3 aluminium oxide (abrasive material and product of decomposition of inoculant - cobalt aluminate),
 SiO_2 silicon oxide (binder of ceramic mould),
 ZrO_2 zirconium oxide (component of the crucible),
 iron and its oxides (component of the bowl sprue).

Wyniki badań Results

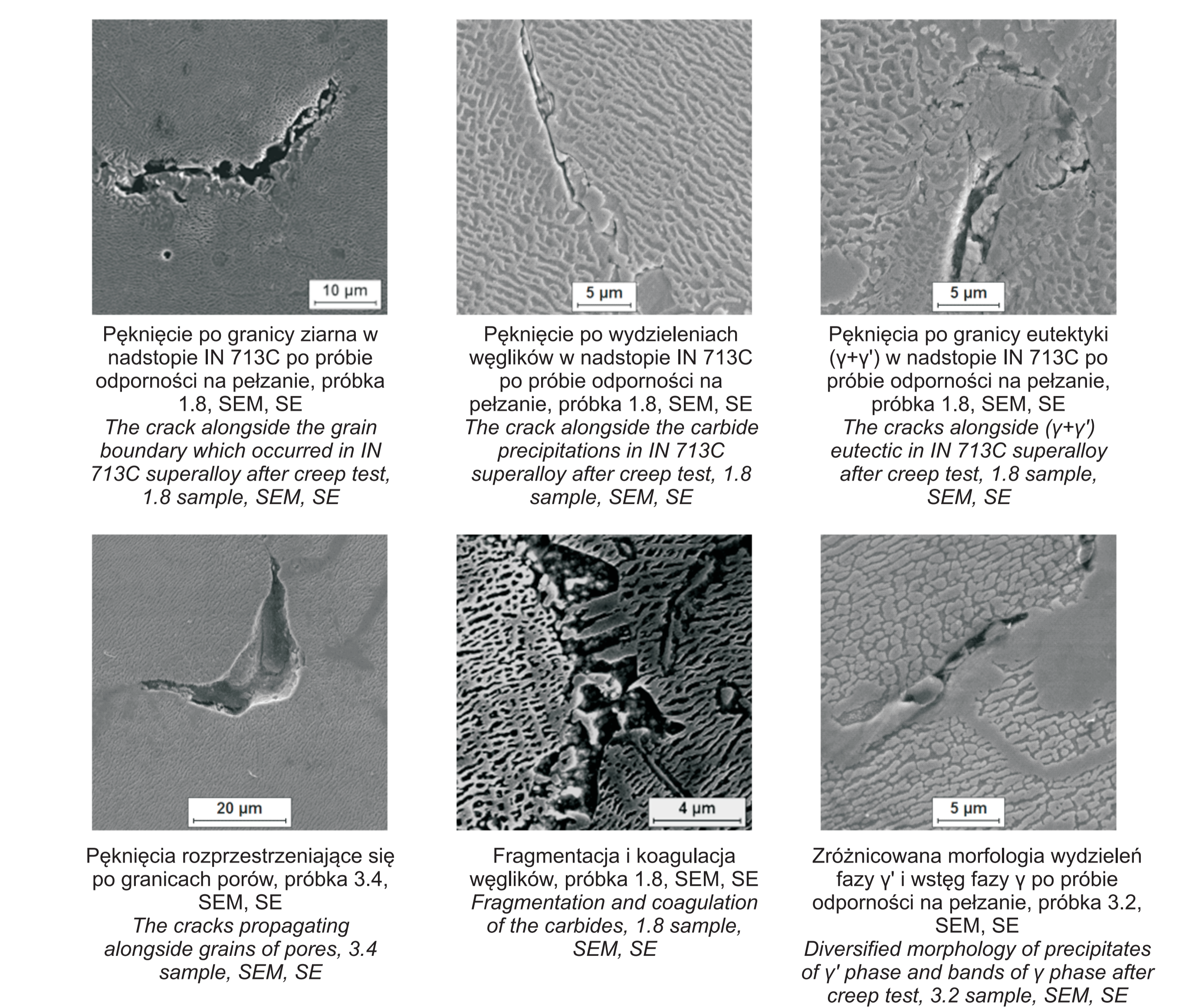
Analiza wpływu czynników strukturalnych na odporność na pełzanie nadstopu IN 713C na podstawie badań odlanych precyzyjnie próbek ze stopu wsadowego
Analysis of impact of structural factors on creep resistance of IN713C nickel-based superalloy on the basis of investigations of the samples investment cast from the master heat

Wyniki testu odporności na pełzanie wybranych do badań próbek z nadstopu IN 713C
Results of creep resistance of samples from IN 713C superalloy

Nr próbki	Czas do zerwania [h]	Odształcenie początkowe ϵ_p [%]	Odształcenie całkowite ϵ [%]	Szybkość pełzania [1/s]
1.8	42,7	0,51	4,80	$1,09 \cdot 10^{-7}$
2.3	41,7	0,55	4,21	$9,97 \cdot 10^{-8}$
3.2	37,4	0,50	2,85	$1,20 \cdot 10^{-7}$
3.4	32,0	0,50	3,09	$1,41 \cdot 10^{-7}$



Analiza pęknięć i innych zjawisk w mikrostrukturze IN 713C będących efektem oddziaływania naprężeń i temperatury podczas próby odporności na pełzanie
Analysis of cracks and other effects in the microstructure of IN 713C superalloy which occurred as a result of stresses and temperature during creep test



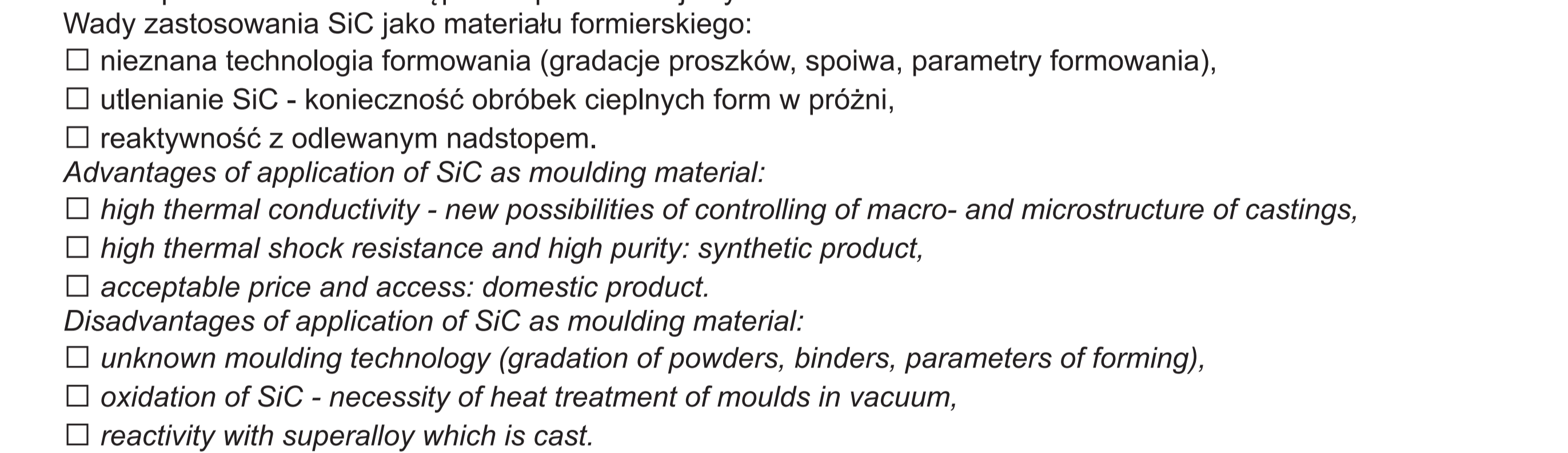
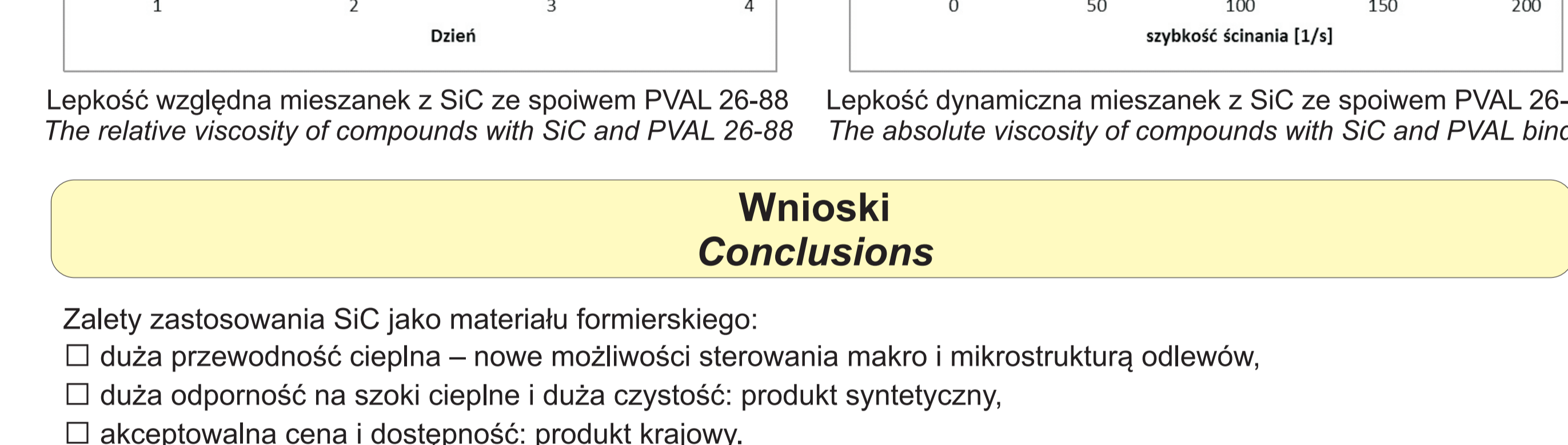
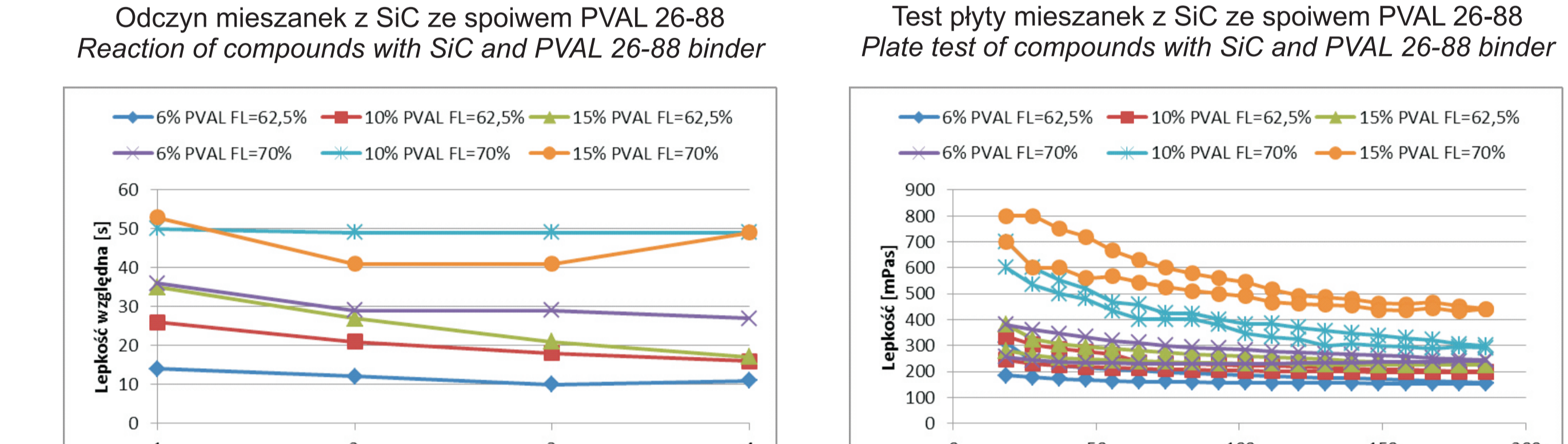
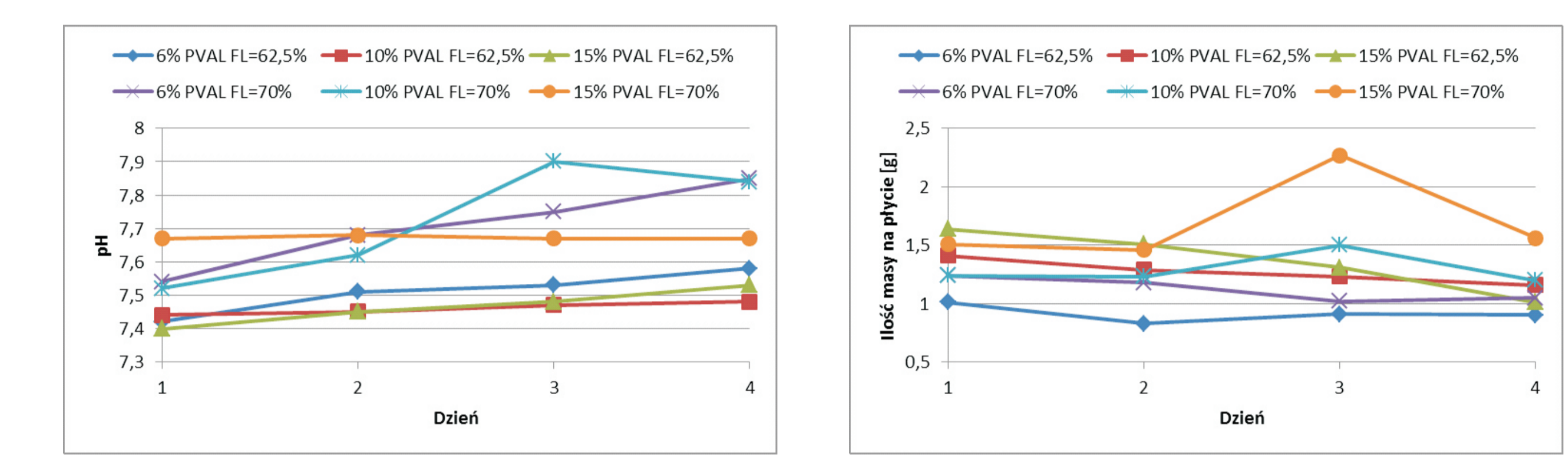
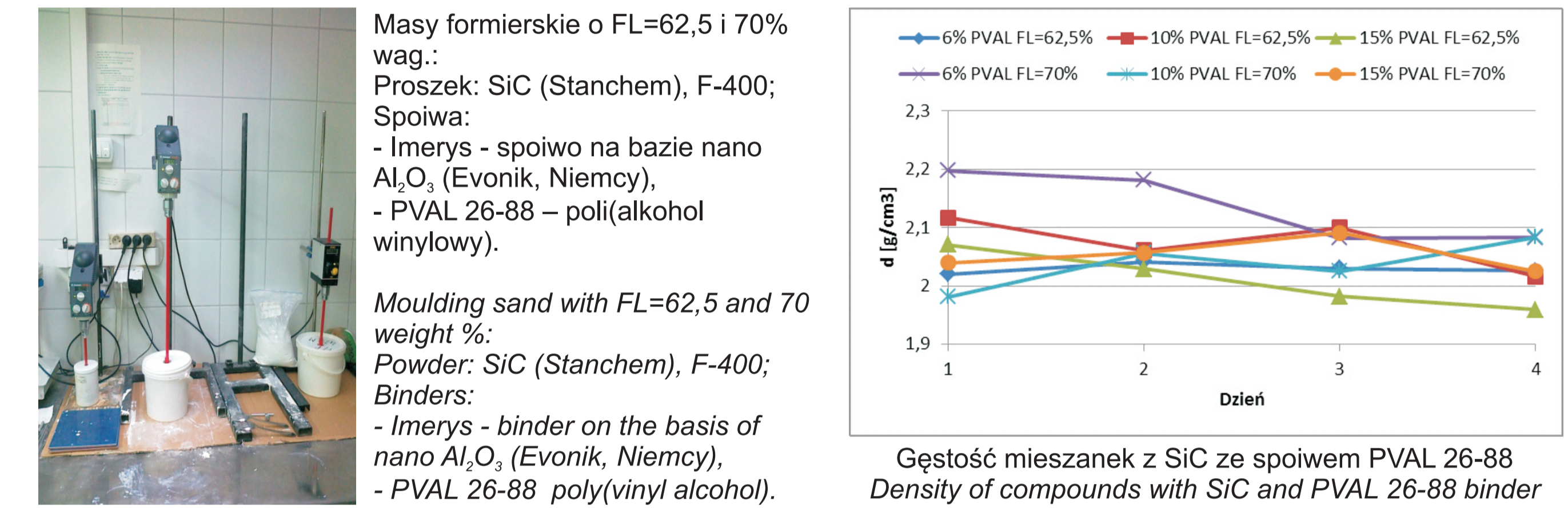
Wnioski Conclusions

Na podstawie badań mikrostruktury wykazano:
 wpływ porowatości, eutektyki ($\gamma+\gamma'$), dużych wydzieleni węglików pierwotnych, wydzieleni węglików na granicach ziaren oraz wydzieleni faz międzymetalicznych zawierających nikiel i cyrkon na odporność na pełzanie nadstopu niklu IN713C,
 występowanie rafingu wydzieleni fazy γ' obniżającego odporność na pełzanie,
 występowanie pełzania dyslokacyjnego oraz obecności siatek dyslokacyjnych na węglikach, na granicach międzyfazowych osnowy/wydzieleniu fazy γ' oraz γ/γ' eutektyki, a także wewnątrz wydzieleni fazy γ' i wewnątrz wstęg fazy γ .
 zachodzącej podczas próby odporności na pełzanie nadstopu IN 713C przemiany $MC + \gamma \rightarrow M_{23}C_6 + \gamma'$ w wyniku której powstają drobne węgliki wewnątrz $M_{23}C_6$.
 Stwierdzono, że główną przyczyną zróżnicowania czasu do zerwania i odształcenia całkowitego badanych próbek w próbie odporności na pełzanie była ich zróżnicowana makro i mikrostruktura związana z niepowtarzalnymi warunkami krystalizacji poszczególnych zestawów odlewniczych.
 On the basis of the microstructure investigations the following results were shown:
 influence of porosity, ($\gamma+\gamma'$) eutectic, great precipitates of primary carbides, precipitates of carbides alongside the grain boundaries and precipitates of intermetallic phases containing nickel and zirconium on creep resistance of IN713C superalloy,
 occurring of γ' phase rafting which reduced creep resistance,
 occurring of dislocation creep and dislocation networks in carbides, alongside matrix/precipitate of γ' phase and γ /carbide boundaries as well as inside precipitates of γ' phase and bands of γ phase,
 the results of $MC + \gamma \rightarrow M_{23}C_6 + \gamma'$ transformation in IN713C proceeding during creep test.
 The main reason of diversification of time to rupture and total strain of the investigated samples during creep test was diversified macro- and microstructure resulting from unrepeatable conditions of solidification in individual mould assemblies.

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

Wykonanie i badania mas formierskich z SiC i poli(alkoholem winylowym) 26-88
Forming and investigations of moulding sand with SiC and poly(vinyl alcohol) 26-88



Wnioski Conclusions

Zalety zastosowania SiC jako materiału formierskiego:
 duża przewodność cieplna – nowe możliwości sterowania makro i mikrostrukturą odlewów,
 duża odporność na szoki cieplne i duża czystość: produkt syntetyczny,
 akceptowalna cena i dostępność: produkt krajowy.
 Wady zastosowania SiC jako materiału formierskiego:
 nieznaną technologią formowania (gradacja proszków, spoiwa, parametry formowania),
 utlenianie SiC – konieczność obróbek cieplnych form w próżni,
 reaktywność z odlewaniem nadstopem.
 Advantages of application of SiC as moulding material:
 high thermal conductivity - new possibilities of controlling of macro- and microstructure of castings,
 high thermal shock resistance and high purity: synthetic product,
 acceptable price and access: domestic product.
 Disadvantages of application of SiC as moulding material:
 unknown moulding technology (gradation of powders, binders, parameters of forming),
 oxidation of SiC - necessity of heat treatment of moulds in vacuum,
 reactivity with superalloy which is cast.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

- Referaty**
- 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 EM2014, Kraków, Book of abstracts, s. 275-276, 15-18.09.2014.
 - Kościełniak B., Staszewski M., Cwajna J., Chmiela B.: **Analiza wad odlewniczych w odlewach precyzyjnych z nadstopu kobaltu MAR M509**, XLII Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków-Rytor, s. 70-73, 23-26.09.2014.
 - Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Kurzydłowski K.J.: **Effect of polyacrylic binder addition on rheological properties of silicon carbide ceramic slurries**, Junior Euroomat, Lausanne, Szwajcaria, 21-25.07.2014.
 - 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, Wlochy, 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 moulds**, XX Międzynarodowa Konferencja Odlewników Polskich, Czeskich i Słowackich Współpraca 2014, Izbičko, Polska, 24-26.04.2014.

- Publikacje**
- Chmiela B., Kianicova M., Sozańska M.: **Degradation of diffusive aluminide coating after service in Zh56K superalloy**, International Scientific Conference „Corrosion 2014”, Gliwice, 18.11.2014, w druku w Solid State Phenomena
 - 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 moulds**, Archives of Metallurgy and Materials vol. 59 (3), 2014, 1059-1062.
 - Sozańska M., Kościełniak B., Swadźba L.: **Evaluation of hot corrosion resistance of directionally solidified nickel-based superalloy**, International Scientific Conference „Corrosion 2014”, Gliwice, 18.11.2014, w druku w Solid State Phenomena
 - 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, 2014, s. 1-12.
 - Wiśniewski P., Małek M., Matysiak H., Sitek R., Kurzydłowski K.J.: **Technologiczne właściwości mas formierskich z SiC z przeznaczaniem dla ceramicznych form odlewniczych dla przemysłu lotniczego**, Szkło i Ceramika 3, 2014, 11-15.

- Publikacje planowane**
- Szczotok A.: **Study of casting from IN100 nickel-based superalloy using quantitative metallography and analytical electron microscopy**, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik.
 - Szczotok A., Matysiak H.: **Influence of variable casting wall thickness and constituents of shell mold on secondary dendrite arm spacing in IN713C superalloy castings**, Monografia Advanced Structured Materials Series by Springer
- 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 06.2015. Promotor dr inż. A. Szczotok.