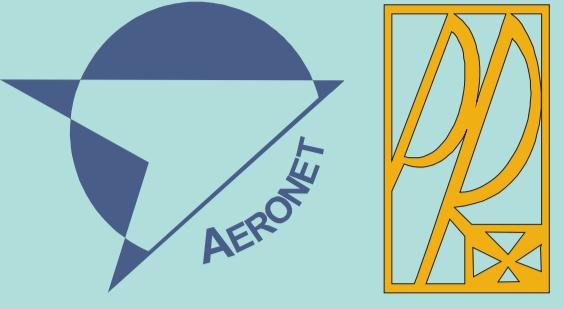


Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym Modern material technologies in aerospace industry



INNOWACYJNA
GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓŁNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
9 - 10 Grudnia 2013

ZB12

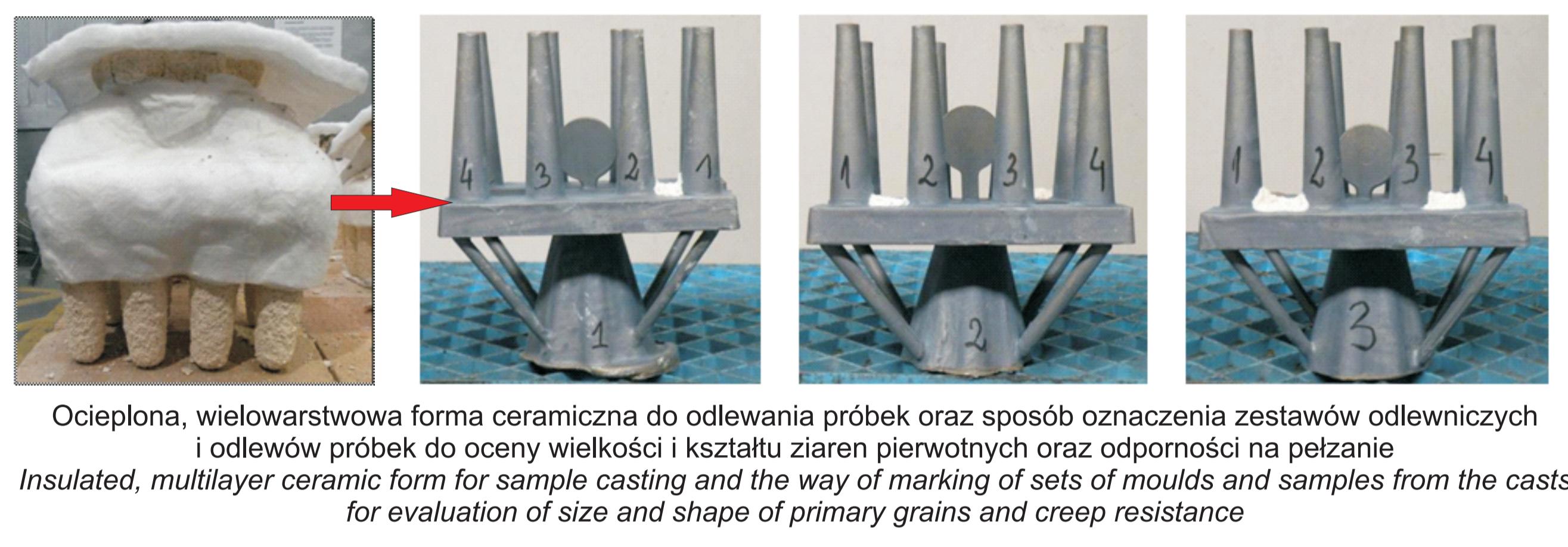
Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych Precision casting of Ni alloys on critical parts of aircraft engines

Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska

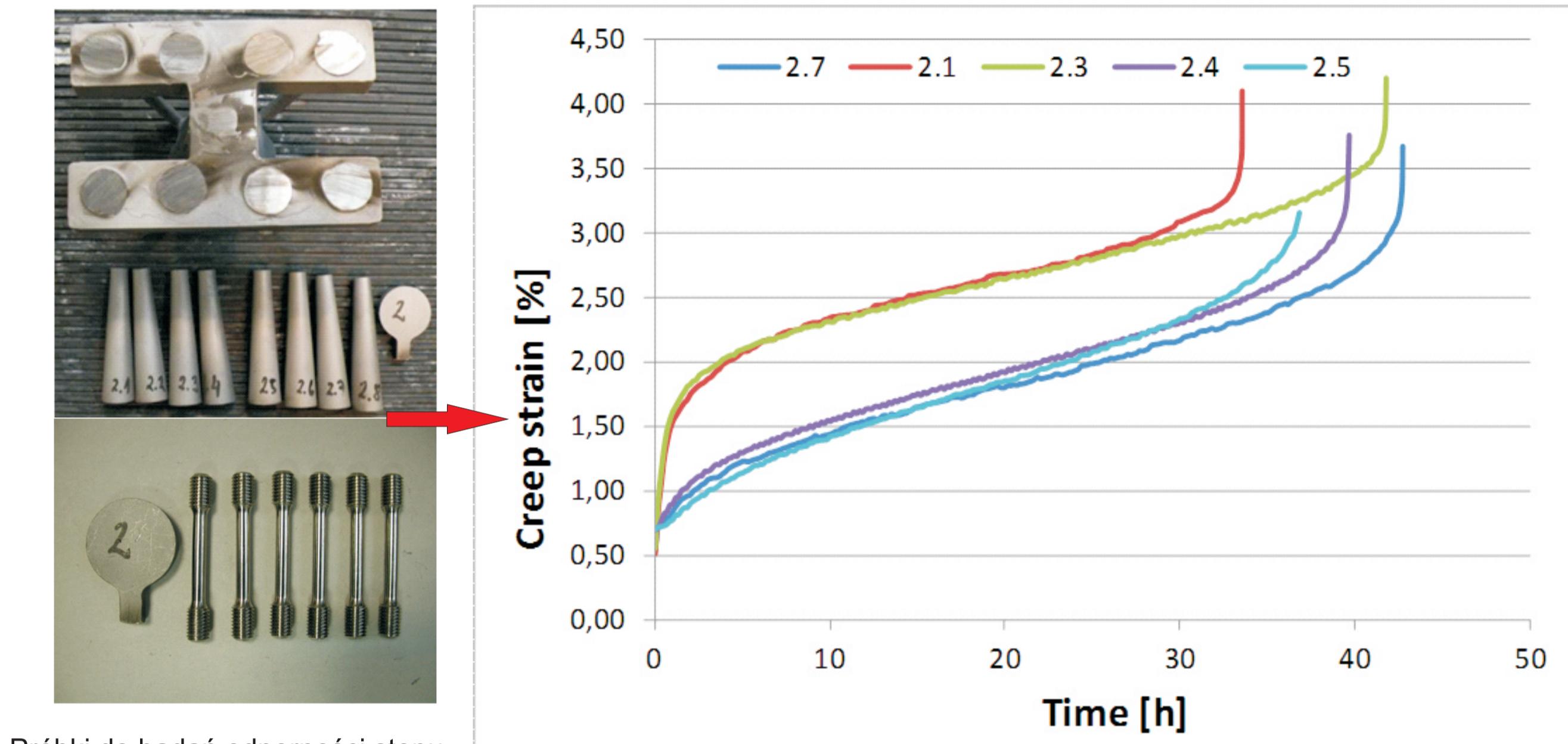
Wyniki badań Results

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

Analiza powtarzalności wyników oceny odporności na pełzanie odlewanych precyzyjnie próbek z nadstopu niklu IN 713C
Analysis of repeatability of creep tests carried out on samples from investment cast IN713C nickel-based superalloy



Ocieplona, wielowarstwowa forma ceramiczna do odlewania próbek oraz sposób oznaczenia zestawów odlewniczych i odlewów próbek do oceny wielkości i kształtu ziaren pierwotnych oraz odporności na pełzanie.
Insulated, multilayer ceramic form for sample casting and the way of marking of sets of moulds and samples from the casts for evaluation of size and shape of primary grains and creep resistance.



Zbiórce zestawienie krzywych pełzania dla próbek wykonanych z zestawu odlewniczego nr 2, parametry próby: temperatura 982°C i napięcie 151,7 MPa
Statement of creep curves of samples selected from No. 2 set of moulds, parameters of the test: 982°C temperature and 151.7 MPa strain

Przykład wyników testów statystycznych dla czasu do zerwania próbek w próbie pełzania
Example of results of statistical tests in analyzing data of time up to the samples in creep tests reached their breaking points

	Odlew nr 1	Odlew nr 2	Odlew nr 3
ε, %	4,73	4,10	4,82
	4,18	4,21	2,85
	3,93	3,76	3,09
	4,77	3,17	3,39
	4,80	3,68	2,96

Test Shapiro-Wilk

a 0,05
W(a/2,5) 0,727
W(1-a/2,5) 0,99
W 0,807
W(a/2,5) < W < W(1-a/2,5)
rozkład normalny

Test Bartlett

a 0,05
X² 2,493
p 0,288
Wniosk 0,99
p>a: istnieje możliwość zastosowania testu jednorodności wielu średnich

Test jednorodności wielu średnich
a 0,05
F 4,418
p 0,036
Wniosk p<a: badane odlew różnią się istotnie odkształceniem całkowitym

Test jednorodności dla dwóch średnich
nr 1/ nr 2 nr 2 / nr 3 nr 3 / nr 1
a 0,05 0,05 0,05
F 1,056 3,888 4,106
p 0,480 0,108 0,100
Wniosk można zastosować test dla dwóch średnich
t -2,724 -0,889 -2,622
p 0,013 0,200 0,015
Wniosk ε_{całk} różni się istotnie pomiędzy odlewem nr 1 i 2 ε_{całk} nie różni się istotnie pomiędzy odlewem nr 2 i 3 ε_{całk} różni się istotnie pomiędzy odlewem nr 1 i 3

Zastosowanie odpowiednich testów statystycznych umożliwiło wykazanie, że:

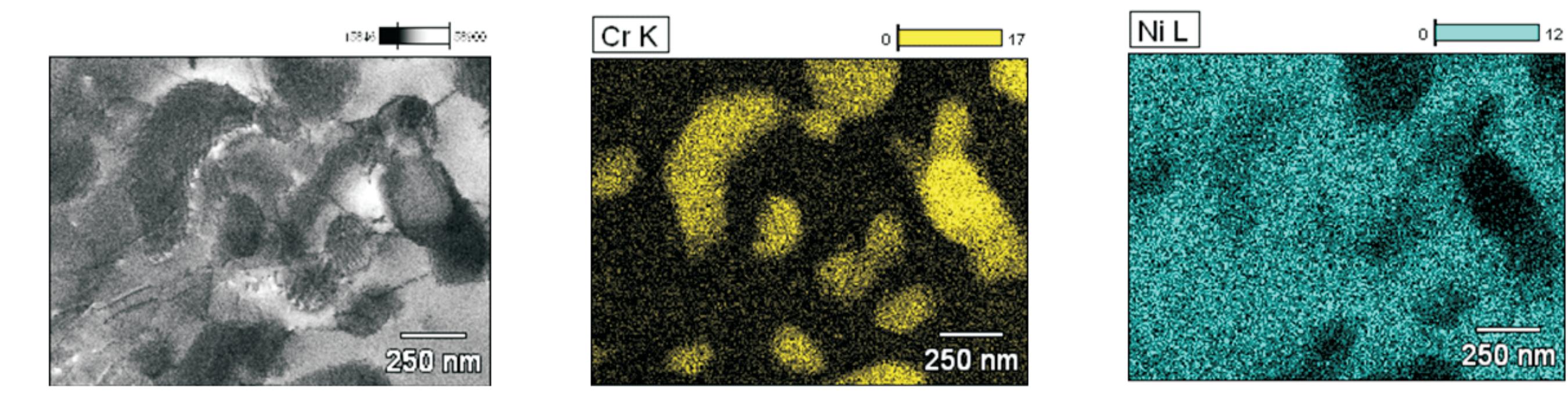
- Czas do zerwania próbek pobranych z różnych miejsc, różnych zestawów odlewniczych są nieistotnie różne.
- Szybkość pełzania w II stadium pełzania ustalonego próbek pobranych z różnych miejsc, różnych zestawów odlewniczych jest nieistotnie różna.
- Srednie odkształcenie całkowite dla próbek pobranych z zestawu odlewniczego nr 1 wynosi 4,48% i jest istotnie większe od średniego odkształcenia całkowitego dla próbek pobranych z zestawu odlewniczego nr 2 (3,78%) i zestawu odlewniczego nr 3 (3,42%).
- Wpływ położenia próbek w zestawie odlewniczym na wyniki próby odporności na pełzanie: szybkość pełzania, czas do zerwania oraz odkształcenie całkowite jest nieistotny.

Application of appropriate statistical tests enabled to state that:

- Times up to reaching breaking points of the samples selected from various place of set of moulds and various sets of moulds are statistically insignificant.
- Creep rate in stage II of samples selected from various places of set of moulds and various sets of moulds is statistically insignificant.

3. Mean value of deformation for samples selected from No. 1 set of moulds amounts to 4,48%. It is a statistically significant greater than a mean value of deformation for samples selected from No. 2 set of moulds (3,78%) and No. 1 set of moulds (3,42%).

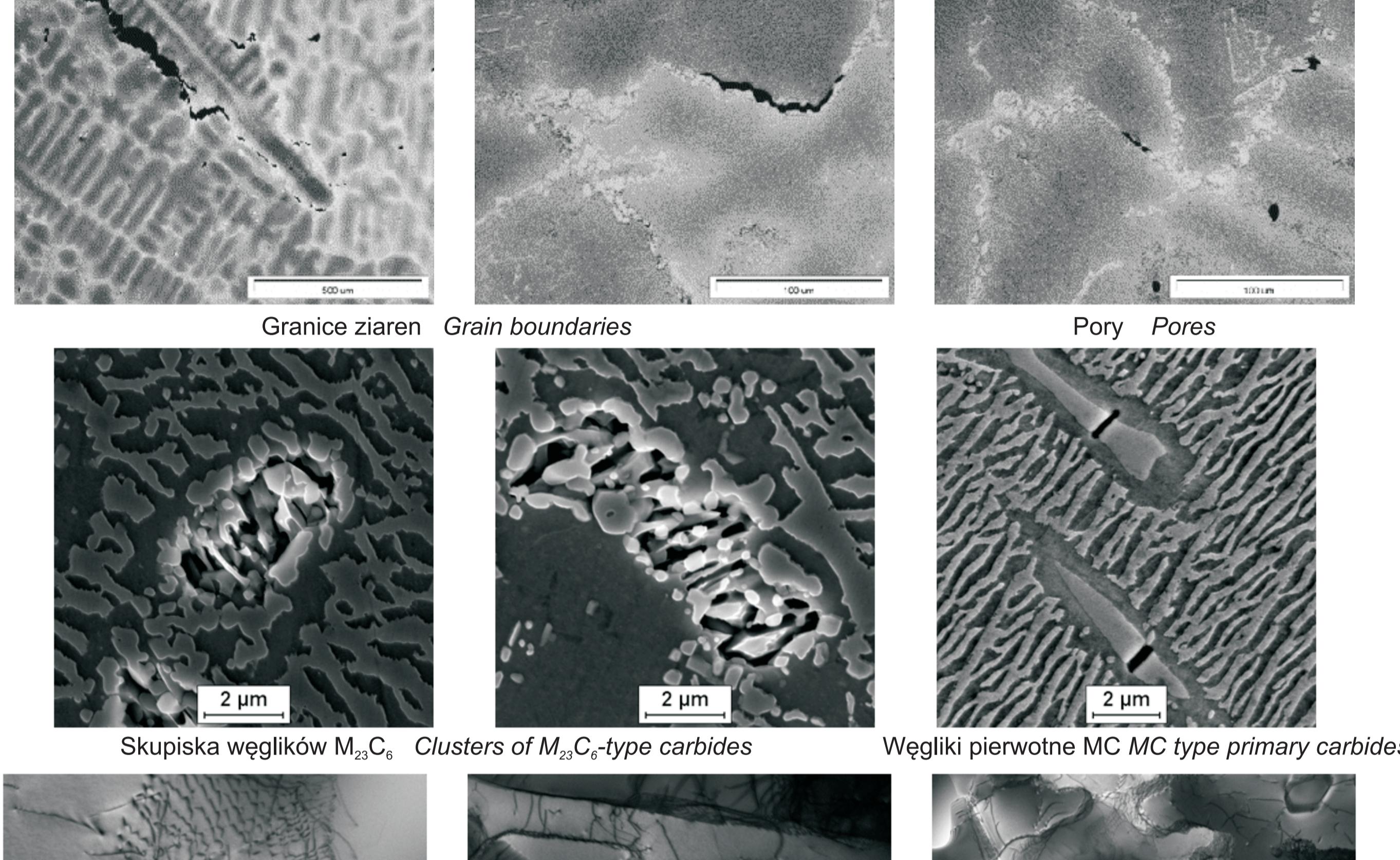
4. Influence of location of samples in set of moulds on the results of creep test: creep rate, time up to reaching breaking point, and deformation are statistically insignificant.



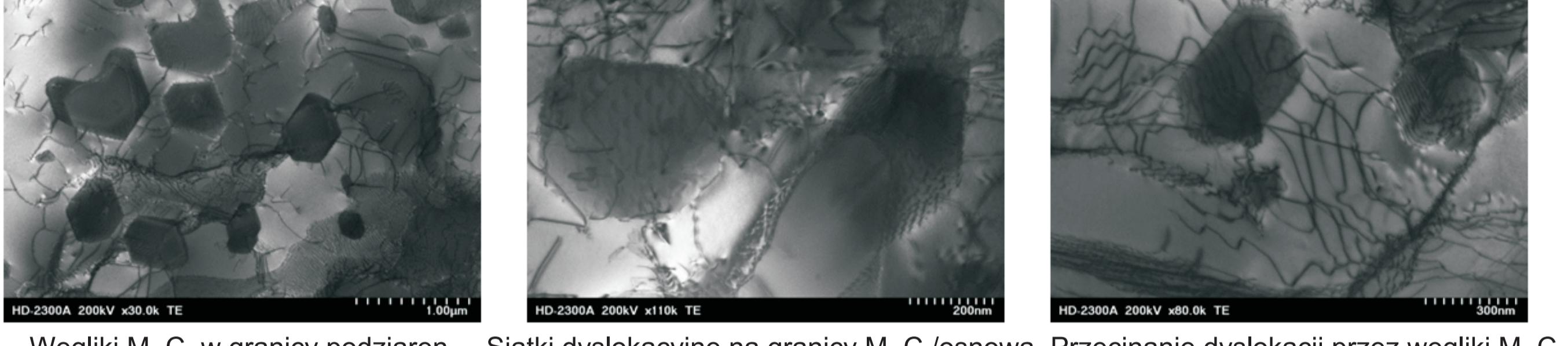
Węgliki typu MC i M₂₃C₆ - stężenie względne pierwiastków
MC-type and M₂₃C₆-type carbides - relative concentration of elements

Wyniki badań Results

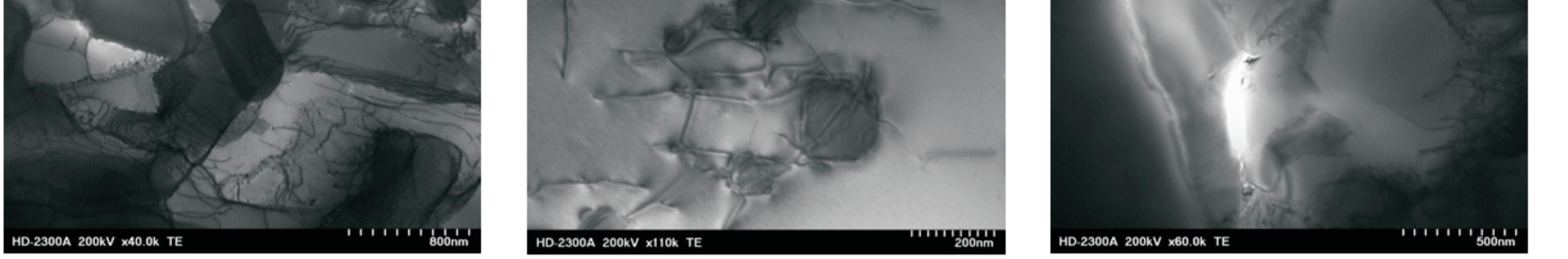
Czynniki strukturalne wpływające na odporność na pełzanie stopów wsadowych z nadstopu niklu IN 713C
Structural factors effecting creep resistance of master heats made from IN713C nickel-based superalloy



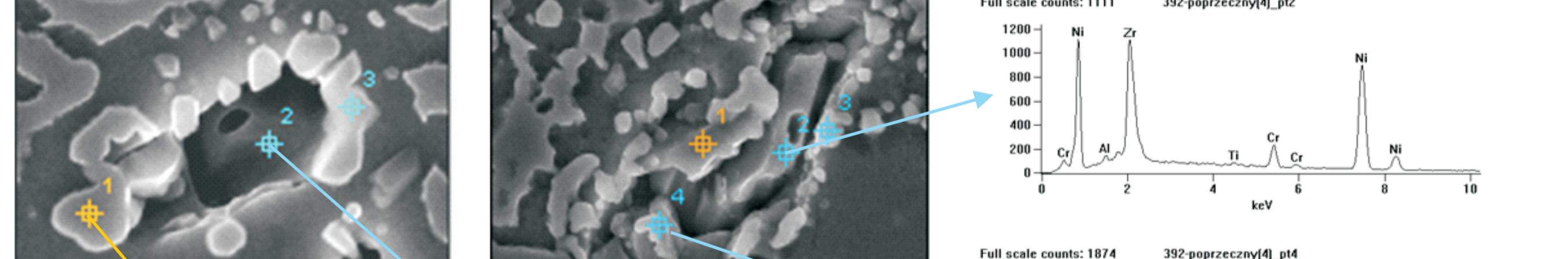
Tworzenie się siatek dyslokacyjnych na granicach międzyfazowych y/y'.
The creation of dislocation networks in y/y' phase boundaries



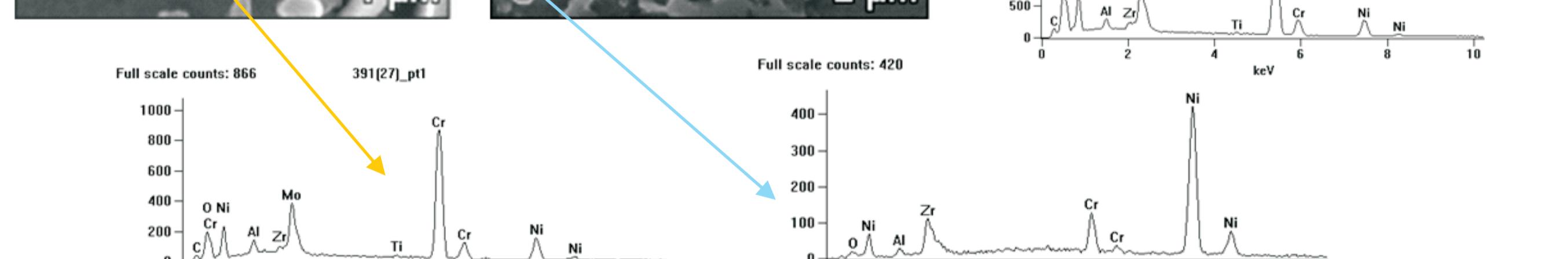
Rafting i siatki dyslokacyjne na granicach międzyfazowych y/y'.
Rafting and dislocation networks in y/y' phase boundaries



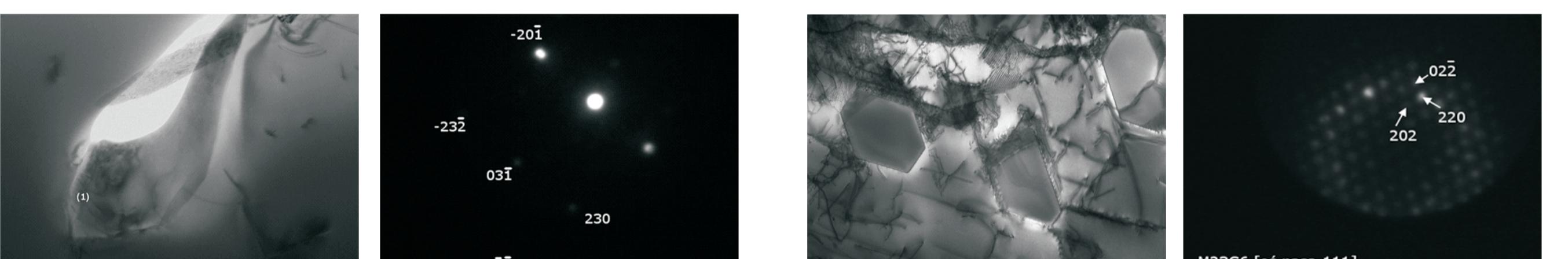
Przecinanie dyslokacji przez węgliki M₂₃C₆.
Dislocation cutting by M₂₃C₆-type carbides



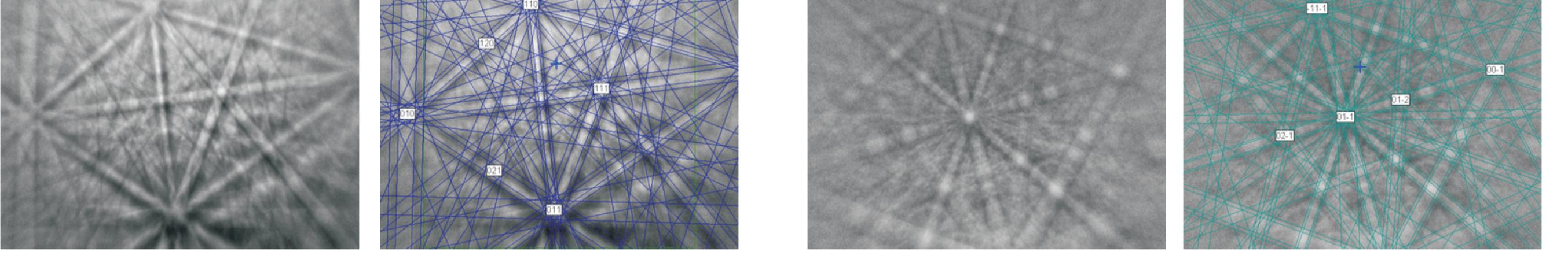
Hamowanie dyslokacji przez węgliki M₂₃C₆.
Inhibition of dislocation by M₂₃C₆-type carbides



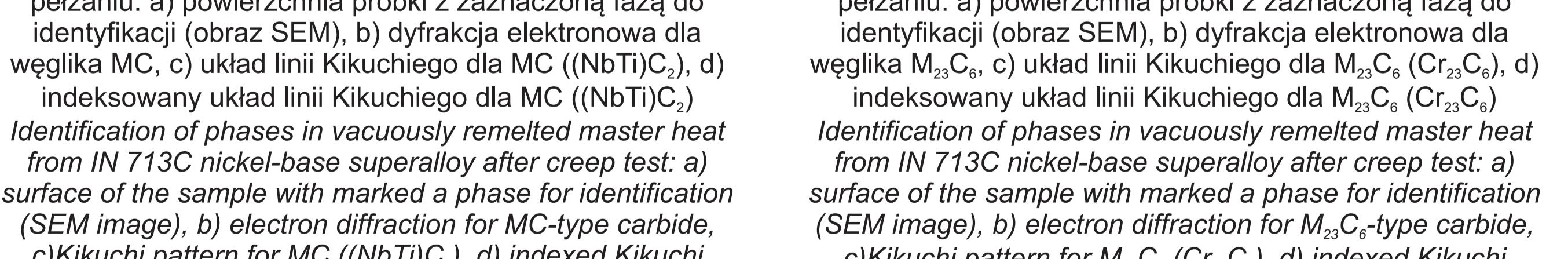
Pętle dyslokacyjne wokół węglików M₂₃C₆.
Dislocation loops round M₂₃C₆-type carbides



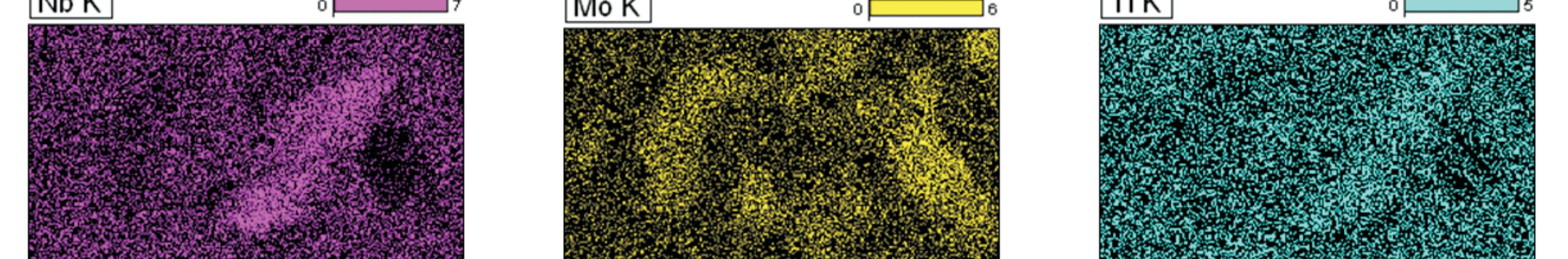
Węgielki pierwotny MC.
MC-type primary carbide



Eutektyki węglakowe i eutektyki z fazą międzymetalicznej NiZr.
Carbide eutectics and eutectics with intermetallic phase of NiZr



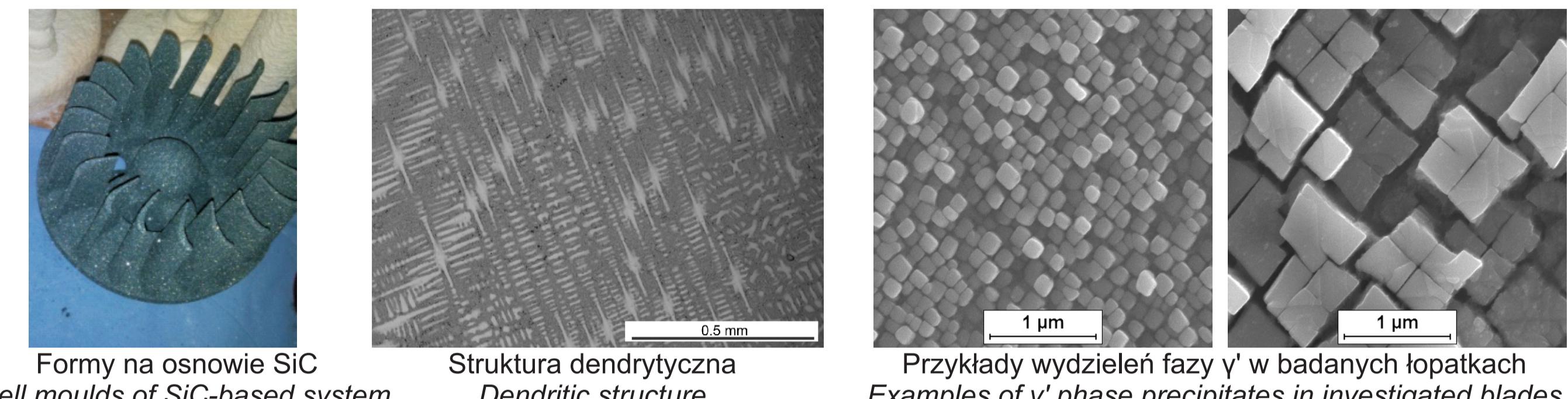
Identyfikacja faz w przetopionym próżniowo materiale wsadowym (master heat) z nadstopu niklu IN 713C po pełzaniu: a) powierzchnia próbki z zaznaczoną fazą do identyfikacji (obraz SEM), b) dyfrakcja elektronowa dla węglika MC, c) układ linii Kikuchiego dla MC ((NbTi)C₆)₃, d) indeksowany układ linii Kikuchiego dla M₂₃C₆ (Cr₃C₆)₃
Identification of phases in vacuously remelted master heat from IN 713C nickel-base superalloy after creep test: a) surface of the sample with marked a phase for identification (SEM image), b) electron diffraction for MC-type carbide, c)Kikuchi pattern for MC ((NbTi)C₆), d) indexed Kikuchi pattern for M₂₃C₆ (Cr₃C₆)₃



Identyfikacja faz w przetopionym próżniowo materiale wsadowym (master heat) z nadstopu niklu IN 713C po pełzaniu: a) powierzchnia próbki z zaznaczoną fazą do identyfikacji (obraz SEM), b) dyfrakcja elektronowa dla węglika MC, c) układ linii Kikuchiego dla M₂₃C₆ (Cr₃C₆)₃, d) indeksowany układ linii Kikuchiego dla M₂₃C₆ (Cr₃C₆)₃
Identification of phases in vacuously remelted master heat from IN 713C nickel-base superalloy after creep test: a) surface of the sample with marked a phase for identification (SEM image), b) electron diffraction for M₂₃C₆ (Cr₃C₆)₃, c)Kikuchi pattern for M₂₃C₆ (Cr₃C₆)₃, d) indexed Kikuchi pattern for M₂₃C₆ (Cr₃C₆)₃

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



Formy na osnowie SiC
Shell moulds of SiC-based system

Struktura dendrytyczna
Dendritic structure

Przykłady wydzieleni fazy y' w badanych lopatkach
Examples of y' phase precipitated in investigated blades

0,5 mm
1 μm
1 μm

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL 26-88 i PVAL 47-88
Properties of moulding mixture from SiC with bonds

Właściwości mieszanek z SiC ze spoiwami PVAL