

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Nowoczesne pokrycia barierowe na krytyczne części silnika

Modern barrier covers on critical engine parts

Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Uniwersytet Rzeszowski

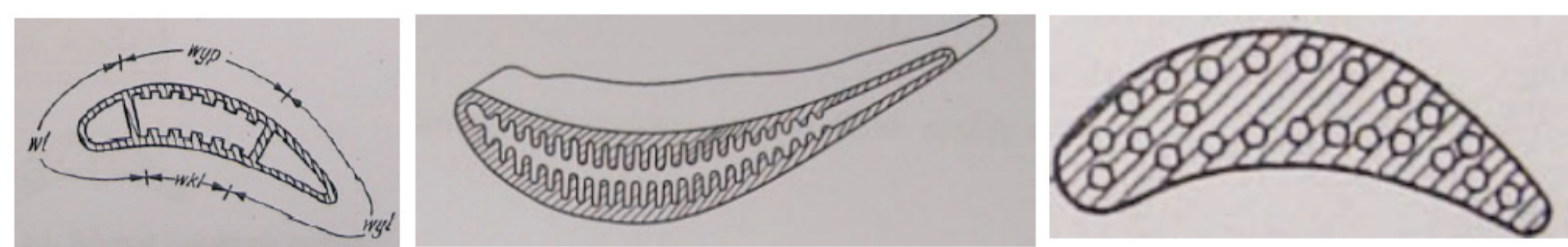
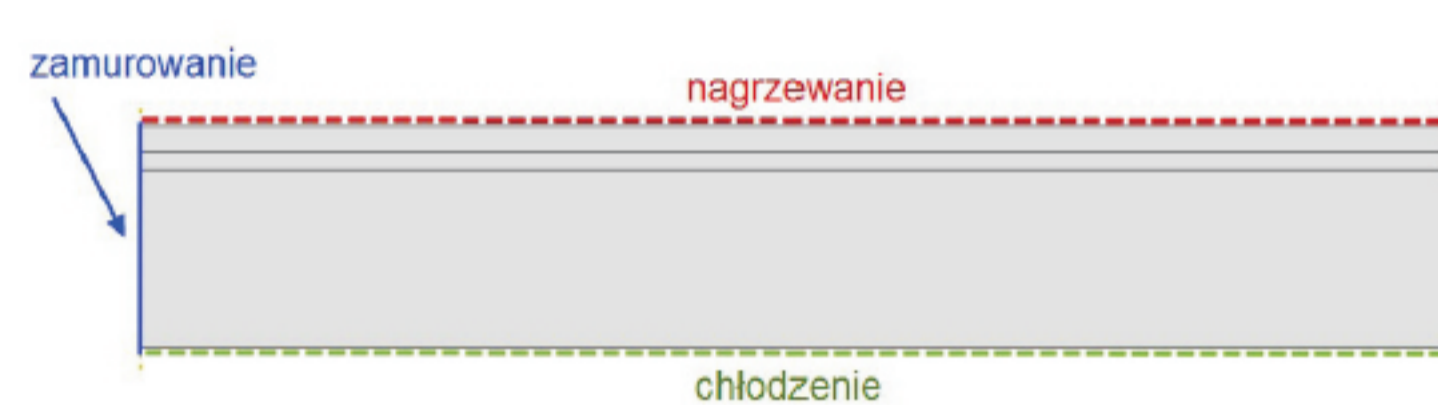
Wyniki badań Results

Tematem przeprowadzonych prac był wpływ kształtu próbki na poziom naprężeń normalnych na granicy TC-BC oraz zredukowanych Misesa na granicy BC-podłoże

The subject of the carried out work was the influence of the samples shapes to the level of normal stresses on TC-BC contact and Mises stresses on BC—substrate contact.

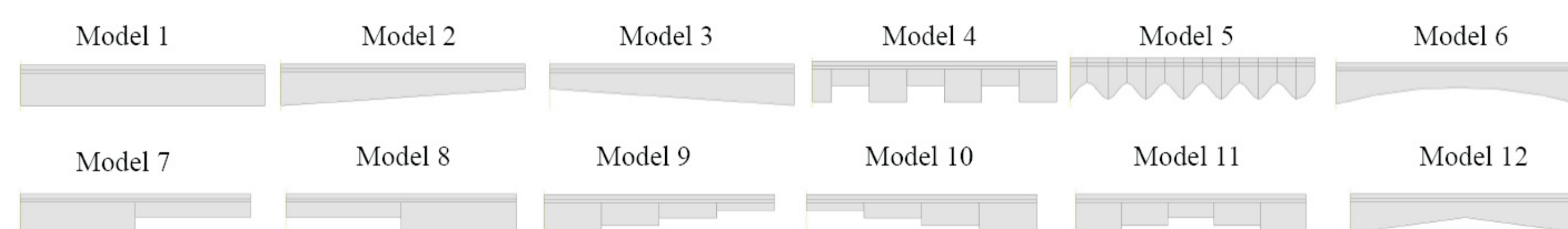
Łopatkę silników turbinowych posiadają zmienne pole przekroju poprzecznego (większe u podstawy) wynikające m.in. z przejścia dużych naprężeń gnących. Dodatkowo w przekroju poprzecznym łopatkę mogą występować otwory chłodzące lub żebra zwiększające powierzchnię wymiany ciepła. Sztywność łopatkę jest zatem zmienna zarówno wzdłuż jej długości jak i w przekroju poprzecznym.

The turbine blades have a variable cross-section (larger at the base) resulting from others from the acquisition of large bending stresses. In addition in the blade cross section, cooling holes or ribs (increases the heat exchange) may occur. Thus, the stiffness of the blade is variable, both among its length and in cross section.



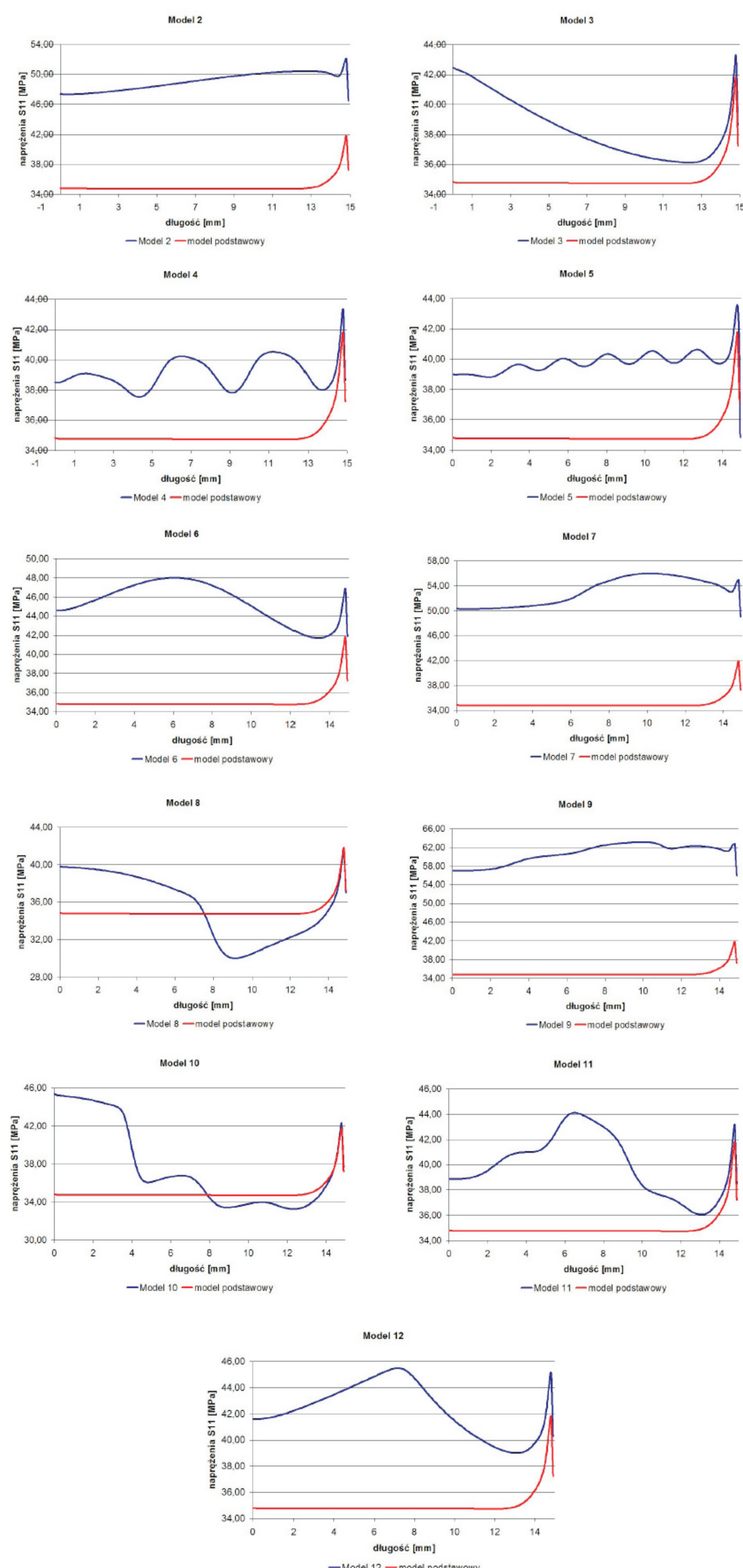
W celu określenia wpływu zmiennej sztywności próbki przeprowadzono szereg symulacji dla modeli pokazanych poniżej. Temperatura dla górnej powierzchni gdzie znajdowało się pokrycie TBC wynosiła 1000 °C, zaś dla dolnej 200 °C. Długość próbki wynosiła 15mm, grubość podłoża 2mm, grubość podkładu BC 0,2mm, zaś grubość powłoki ceramicznej TC 0,3mm.

To determine the effect of the stiffness variable of samples, a number of simulations were made for models which are shown below. The temperature of the upper surface was 1000°C and 200°C for the lower surface. The length of the beam was 15mm, substrate thickness 2mm, BC thickness 0,2mm and TC ceramic coatings 0,3mm



Naprężenia normalne na granicy pokrycia (TC) oraz podłoża (BC)

Normal stresses on TC—BC contact



Wnioski Conclusions

1. We wszystkich przypadkach wprowadzenie zmiennej sztywności próbki powoduje powstawanie wyższych naprężeń w porównaniu z modelem podstawowym (model). 2. Maksymalne naprężenia na granicy TC-BC wystąpiły w modelu 9 (63,1 MPa) i były wyższe od na-prężenia modelu podstawowego o około 51%. Występowały one nie na krańcu próbki lecz w odległości około 10mm od jej zamocowania. 3. Model podstawowy charakteryzuje się stałymi naprężeniami S11 (granica TC-BC) wynoszącymi 34,7 MPa i stałymi naprężeniami Misesa (granica BC-podłoże) wynoszącymi 109,2 MPa na odcinku około 13mm od zamocowania. Na ostatnich 2mm licząc od swobodnego końca naprężenia S11 gwałtownie rosną zaś naprężenia Misesa gwałtownie maleją i następnie rosną. 4. Wprowadzając zmienną sztywność możemy zatem przewidzieć miejsce najbardziej wyężone i poddać obserwacjom mikroskopowym obszary w których występowały różne wartości naprężeń.

Main conclusions: 1. In all cases, the application of the variable stiffness of the samples, causing formation of higher stresses compared with the base model (model 1). 2. The maximum stresses on the boundary TC-BC occurred in the model 9 (63,1 MPa) and were higher in comparison with model 1 by about 51%. 3. The base model characterized by a constant stress S11 (TC-BC contact) amounting 34,7MPa and constant Mises stresses (BC—substrate contact) amounting 109,2 MPa at a distance of approximately 13mm from encastre.

Wyniki badań Results

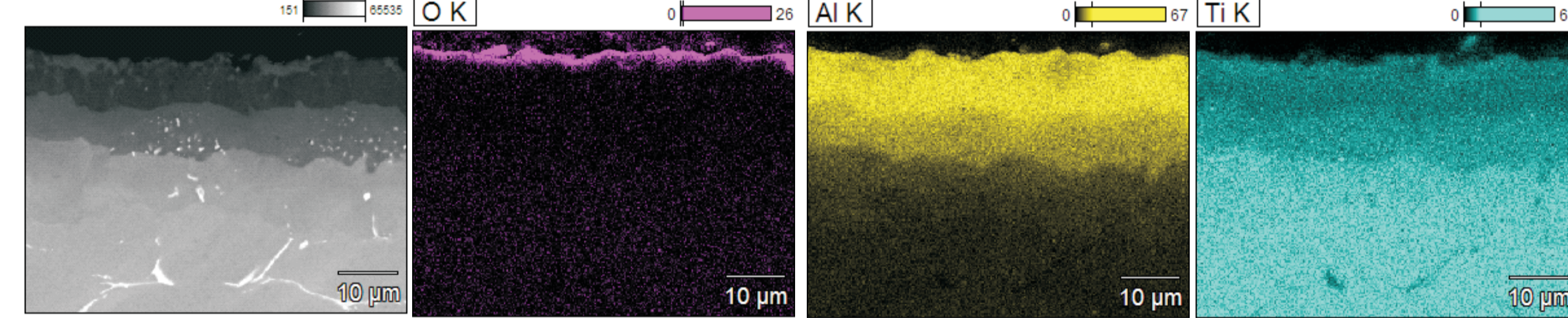
Badanie odporności na utlenianie stopu tytanu Timetal 1100 z wytworzonymi barierami cieplnymi TBC w atmosferze powietrza +1% H2O+1% SO2 w temperaturze 800C w czasie 100h;

- odporności na pełzanie stopu niklu IN 740 w temperaturze 600C pod obciążeniem 750 MPa.
- pomiar odkształcenia rejestrowany był w sekwencjach czasowych, co 5 minut, przez dwa czujniki.

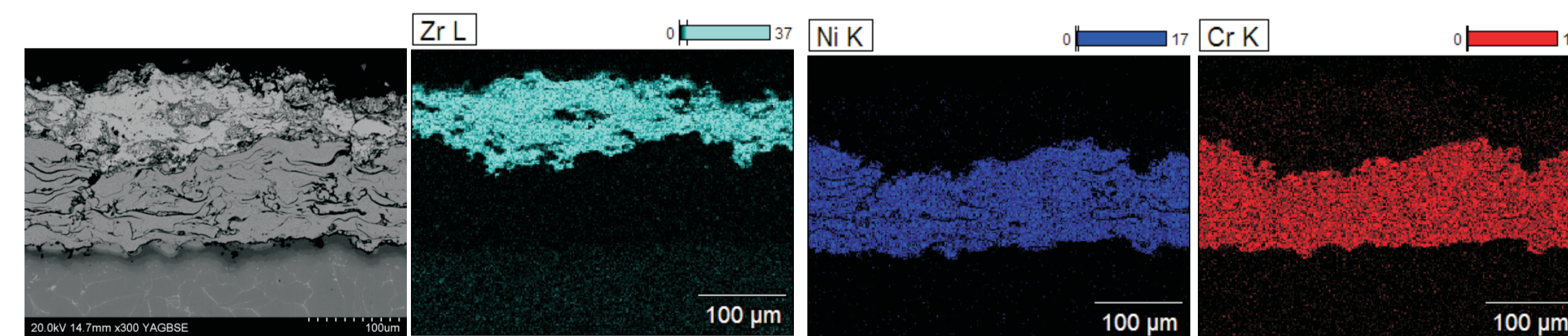
- oxidation resistance of the Timetal 1100 titanium alloy covered with thermal barriers (TBC) produced at 800 °C in an atmosphere of air+1% H2O+1% SO2 for 100h;
- creep resistance of the IN 740 nickel alloy at 600°C under a load (stress) of 750 MPa. The deformation of the samples was measured using two sensors and recorded every 5min



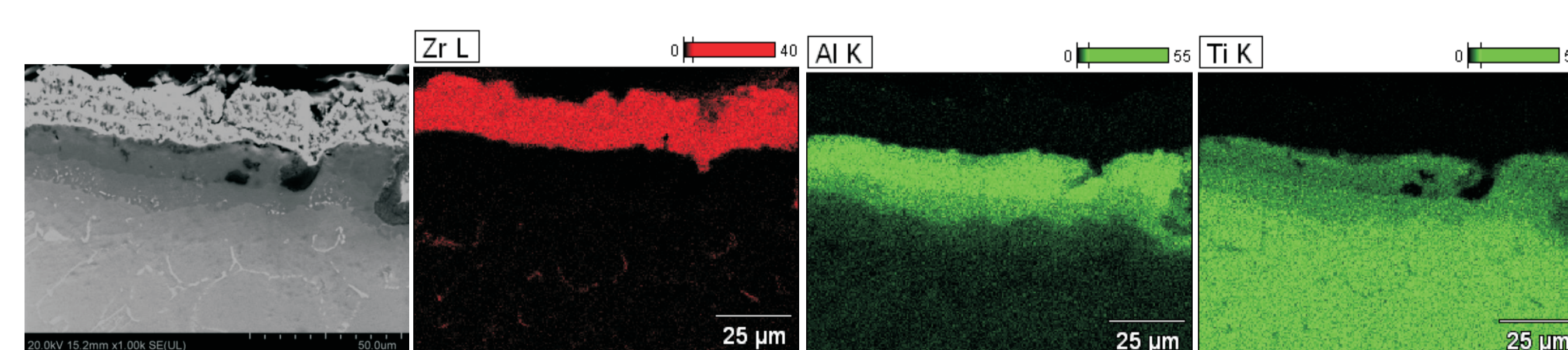
Powierzchnia stopu tytanu Timetal 1100 po badaniach utleniania w temperaturze 800C w atmosferze powietrza + 1 % H2O + 1 % SO2
Surface of the Timetal 1100 titanium alloy after the oxidation test conducted at 800°C in an air atmosphere + 1 % H2O + 1 % SO2



Morfologia warstwy oraz mapy EDS zawartości pierwiastków na przekroju warstwy aluminidowej po badaniach utleniania stopu Timetal 1100 w temperaturze 800 C w atmosferze powietrza + 1 % H2O + 1 % SO2
Morphology and chemical composition (EDS maps) of a cross-section of the aluminate layer after an oxidation test at 800°C in air atmosphere + 1 % H2O + 1 % SO2



Morfologia warstwy oraz mapy EDS zawartości pierwiastków na przekroju poprzecznym bariery cieplnej TBC wytworzonej w procesie APS po badaniach 100h utleniania w temperaturze 800C w atmosferze powietrza + 1 % H2O + 1 % SO2
Morphology of the layer and chemical composition (EDS maps) of a cross-section of TBC produced by the APS process after oxidation test at 800°C in an air atmosphere + 1 % H2O + 1 % SO2

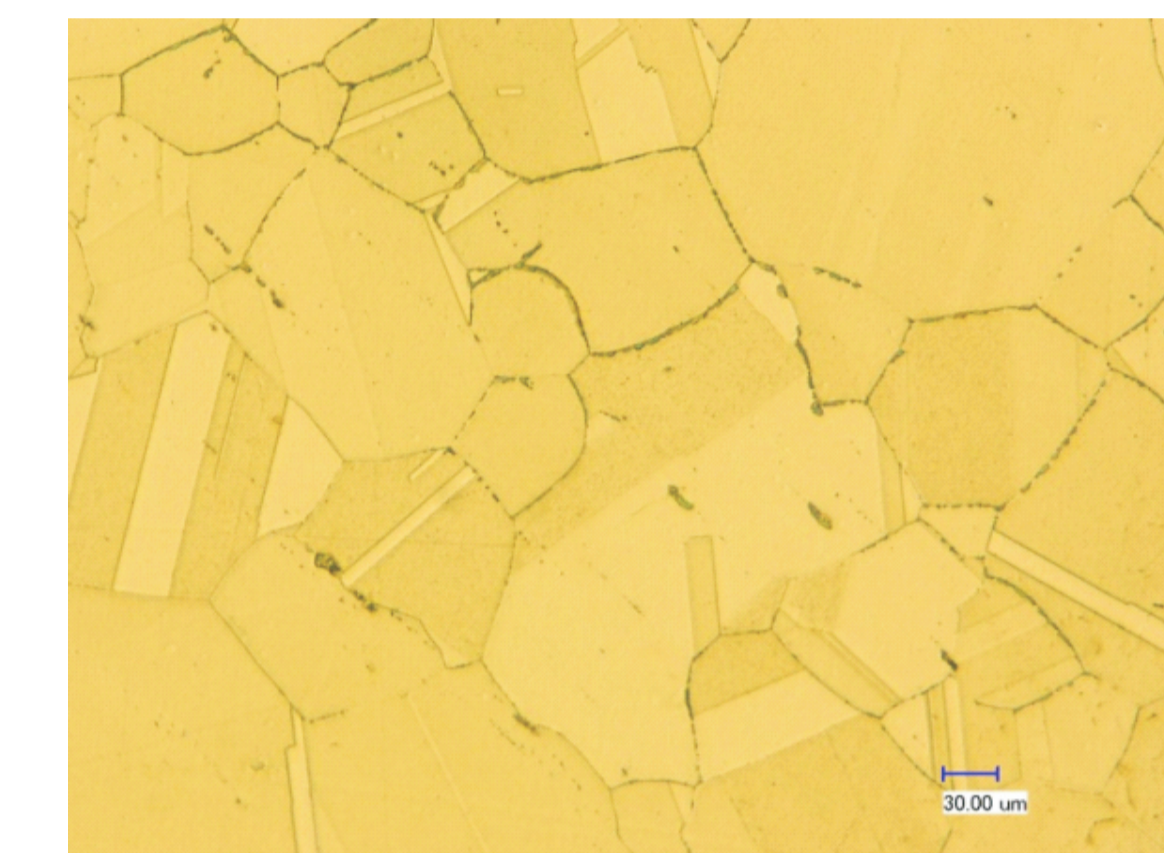


Morfologia warstwy oraz mapy EDS zawartości pierwiastków na przekroju poprzecznym bariery cieplnej TBC wytworzonej w procesie LPPS po badaniach 100h utleniania w temperaturze 800C w atmosferze powietrza + 1 % H2O + 1 % SO2
Morphology of the layer and chemical composition (EDS maps) of a cross-section of a LPPS-produced TBC after the oxidation test at 800°C in an atmosphere of air+ 1 % H2O + 1 % SO2

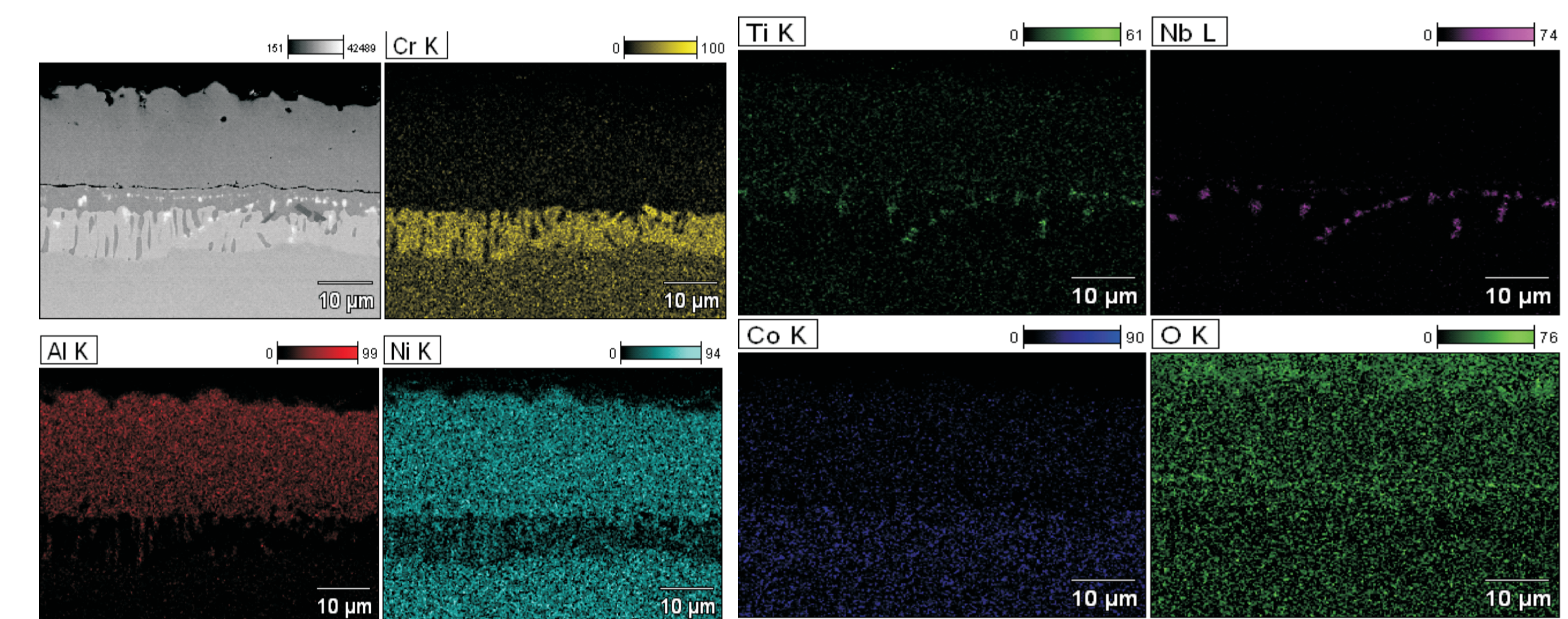
Wyniki badań utleniania stopu Timetal 1100 w stanie wyjściowym oraz z barierami cieplnymi TBC w czasie 100h w temperaturze 800C w atmosferze powietrza + 1 % H2O + 1 % SO2

Oxidation resistance of Timetal 1100 titanium in the initial state and with TBC produced at 800°C in air + 1% H2O + 1% SO2 for 100h

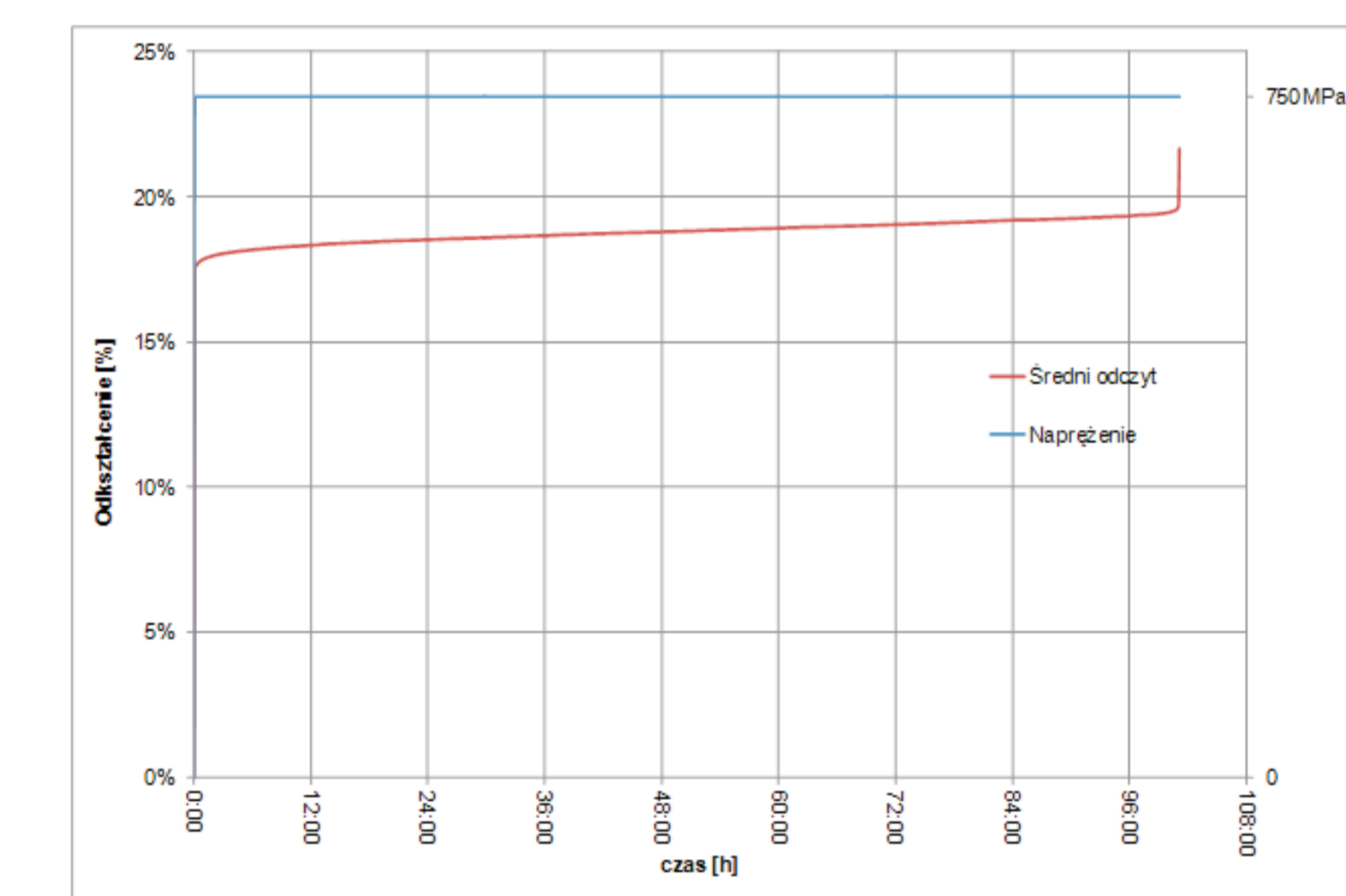
Warunki procesu utleniania: Temperatura: 800°C, Atmosfera: powietrze + 1 %H ₂ O + 1 %SO ₂					
Materiał	Rodzaj materiału, oznaczenie próbki	Powierzchnia całkowita [cm ²]	Czas utleniania [h]	Zmiana masy m [g]	Uwagi
Timetal 1100	Timetal Stan wyjściowy	14,29	100	0,01098	Widoczne znaczące odpryski złuszczenia zgrzewiny
	Timetal z warstwą aluminium (TA1 ₂ + TA1 ₂)	12,86	100	0,00420	brak
	Timetal z warstwą TBC Metoda LPPS	12,86	100	0,00579	pęknięcia
	Timetal z warstwą TBC Metoda APS	13,39	100	0,01908	pęknięcia



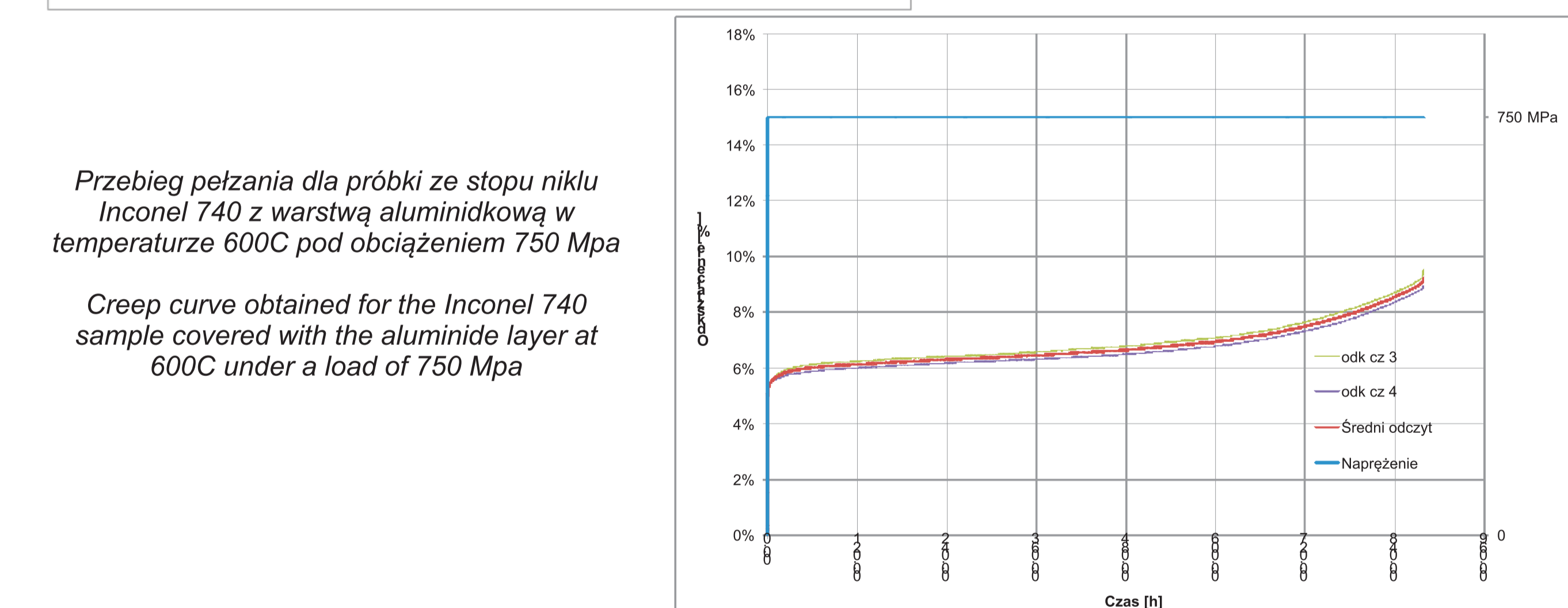
Mikrostruktura stopu niklu IN 740 w stanie wyjściowym
Microstructure of the IN 740 nickel alloy in the initial state



Mapy EDS zawartości pierwiastków na przekroju warstwy aluminidowej wytworzone w procesie CVD
EDS analysis of the chemical composition of a cross-section of an aluminate layer produced by CVD



Przebieg pełzania dla próbki ze stopu Inconel 740 w stanie wyjściowym w temperaturze 600C pod obciążeniem 750 Mpa
Creep curve obtained for an Inconel 740 sample in the initial state at 600°C under a load of 750 MPa



Przebieg pełzania dla próbki ze stopu niklu Inconel 740 z warstwą aluminidową w temperaturze 600C pod obciążeniem 750 Mpa
Creep curve obtained for the Inconel 740 sample covered with the aluminate layer at 600°C under a load of 750 Mpa

Wnioski Conclusions

Barierę cieplną TBC poprawiają odporność na utlenianie stopu tytanu Timetal 1100 w temperaturze 800 °C w czasie 100h w atmosferze powietrza+1% H2O+ 1%SO2.

Badania odporności na pełzanie wykonane w temperaturze 600C pod obciążeniem 750 MPa wykazały, że wytworzone metodą CVD warstwy aluminidowe poprawiają właściwości wytrzymałościowe stopu niklu IN 740.

Thermal barriers (TBC) improve the oxidation resistance of the Timetal 1100 titanium alloy at 800 °C during 100h in air + 1% H2O + 1% SO2.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty:

- T.Sadowski, P. Golewski, *The use of experimental bending tests to more accurate numerical description of TBC damage process*, The 3rd International Conference on Competitive Materials and Technology Processes, 6-10 października 2014, Miskolc
- P. Kwaśniak, P. Spiewak, H. Garbacz, and K. J. Kurzydłowski, *SPLIT SLIP MODES AND INVERSE PEIERLS RELATION IN ALPHA Ti*, prezentacja wyników na konferencji MSE 2014 (Materials Science & engineering)

Publikacje

- Tomasz Sadowski, Przemysław Golewski, *Experimental and numerical investigations of TBC behaviour after aging*, subjected to tension and bending, Solid State Phenomena Vol. 216 (2014) pp 128-133
- Tomasz Sadowski, Przemysław Golewski, *Heat transfer in composites subjected to temperature variations*, Solid State Phenomena Vol. 216 (2014) pp 140-145
- R. Sitek, D. Kukla, A. Kobayashi and K. J. Kurzydłowski, *Influence of High-Temperature Aluminizing on the Fatigue and Corrosion Resistance of Nickel Alloy Inconel 740*, Frontier of Applied Plasma Technology, Vo1.7 No. 1 (2014) 21-25