

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

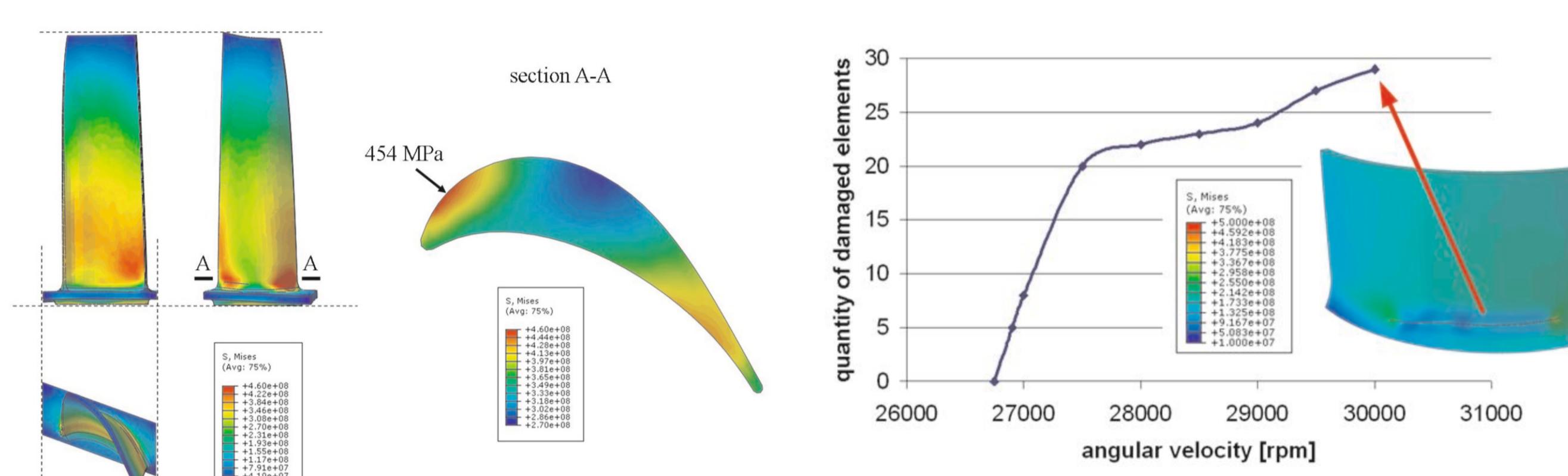
Nowoczesne pokrycia barierowe na krytyczne części silnika Modern barrier covers on critical engine parts

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

Wyniki badań Results

Celem przeprowadzonych badań było zastosowanie metod numerycznych przy projektowaniu łopatek turbin silników odrzutowych z wykorzystaniem techniki „submodelingu”. Pozwala ona na bardziej szczegółową analizę procesu uszkodzenia najbliższego miejsca w łopatce. Praca była szczególnie skoncentrowana na profilu roboczym łopatki w celu zbadania kierunku i rozwoju uszkodzenia kruchego pokrycia TBC. Uszkodzenie było modelowane z wykorzystaniem techniki X-FEM. Wyznaczono krytyczne wartości prędkości obrotowych wirnika przy których następuje inicjacja uszkodzenia i późniejszy rozwój. Uszkodzenie warstwy TBC może prowadzić do destrukcji całego pokrycia ochronnego i późniejszego narażenia całego wirnika (wykonanego ze stopu) na nagłe szok termiczne.

The aim of the present work is an extension of the numerical methods in the turbine blade design by application of submodeling technique. It allows to perform more detailed analysis of damage process and progressive fracturing of the most effored places of the turbine blade. In particular the work was concentrated on the profile with the footer connection in order to define direction of damage development, e.g. cracking of the TBC. The progressive damage was modeled numerically with application of the XFEM technique. The critical values of rotor speeds were estimated at which damage process initiates and further develops. The damage of TBC can lead to destruction of protective covering and further exposures the whole turbine blade core (made of alloy) to sudden thermal shock.



Wnioski Conclusions

- Uzyskano zbieżność wyników otrzymanych na drodze teoretycznej oraz w wyniku przeprowadzenia symulacji komputerowej. Maksymalne naprężenia zredukowane Misesa występowały na podstawie łopatki.
- Zastosowana w obliczeniach numerycznych technika submodelingu pozwoliła na dokładniejsze wykonanie siatki elementów skończonych wraz z wykonaną warstwą ochronną TBC. Sekcja dla wyodrębnionego fragmentu w modelu globalnym posiadała 772 elementy zaś submodel 104987 elementów. W wyniku tego uzyskano dokładniejsze wartości naprężen Misesa, większe o 18,6 % (biorąc pod uwagę maksymalną wartość) w stosunku do modelu globalnego.
- Postępując się techniką X-FEM wyznaczono krytyczną wartość prędkości obrotowej łopatki przy której warstwa TBC nie ulega uszkodzeniu. Po przekroczeniu prędkości 26750 rpm dochodzi do szybkiego uszkadzania elementów aż do prędkości 27500 po przekroczeniu której wzrost już nie jest taki gwałtowny.
- The convergence of results obtained for both models: analytical and numerical was achieved. The maximum of the reduced Misses stresses occurred in the basis of blade.
- The submodeling technique, applied in numerical calculations, permitted for creation very fine the finite element mesh for detailed analysis of the selected fragment of the turbine blade. In the global model this fragment was described by 772 elements, meanwhile the submodel possessed 104987 elements. This approach allows for more exact calculation of the Misses stress values, which were about 18,6% larger in relation to global model (taking into consideration maximum value).
- Using the X-FEM technique we assessed the critical threshold of the rotor speed with the turbine blade at the thin TBC layer does not undergo damage. After exceeding of the speed level equal to 26750 rpm, it comes to quick damaging of elements until the speed limit 27500 rpm. Then the damage growth is smaller for higher values of the rotor speed.

Wyniki badań Results

Celem pracy było wytworzenie dyfuzyjnych warstw powierzchniowych zawierających fazy międzymetaliczne z układu Ti-Al na podłożu stopu tytanu Timetal 1100 oraz warstw zawierających fazy międzymetaliczne z układu Ti-Al-Ag i Ti-Al-Pd na podłożu tytanu Grade 2. W celu scharakteryzowania mikrostruktury wytworzonych warstw wykonano badania składu fazowego (XRD), składu chemicznego (EDS) oraz morfologii (SEM).

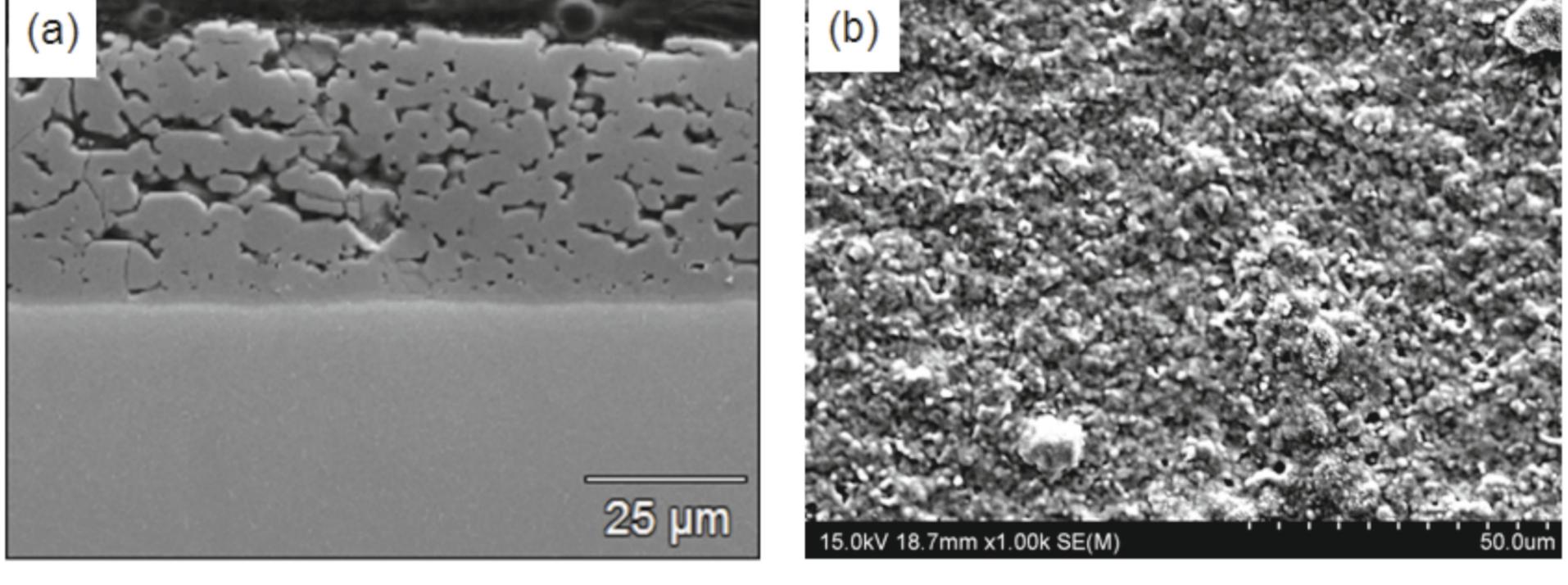
Stop tytanu Timetal 1100
Titanium alloy Timetal 1100
(Ti-6Al-2.75Sn-4Zr-0.4Mo-0.45Si)

Zalety:
Advantages:
• duża wytrzymałość względna;
• high relative strength;
• dobra odporność na pełzanie;
• high creep resistance;
• dobrze odporność na pękanie;
• high fracture toughness

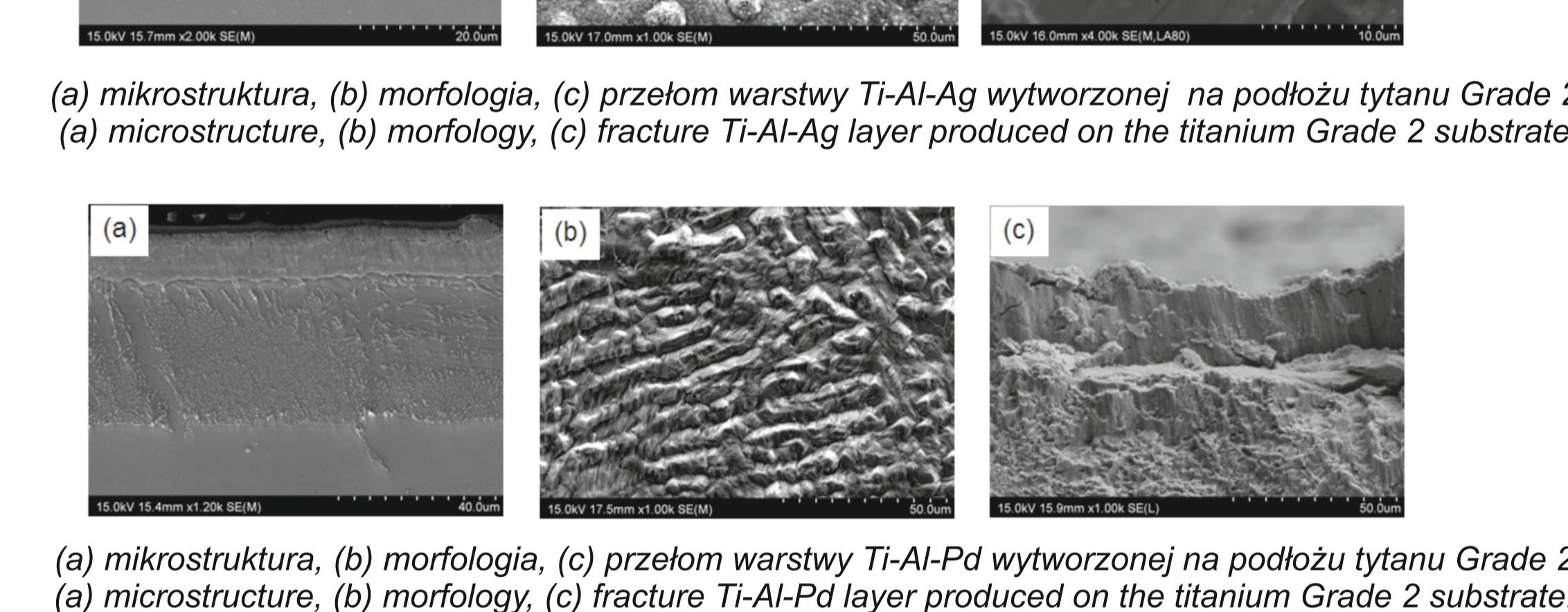
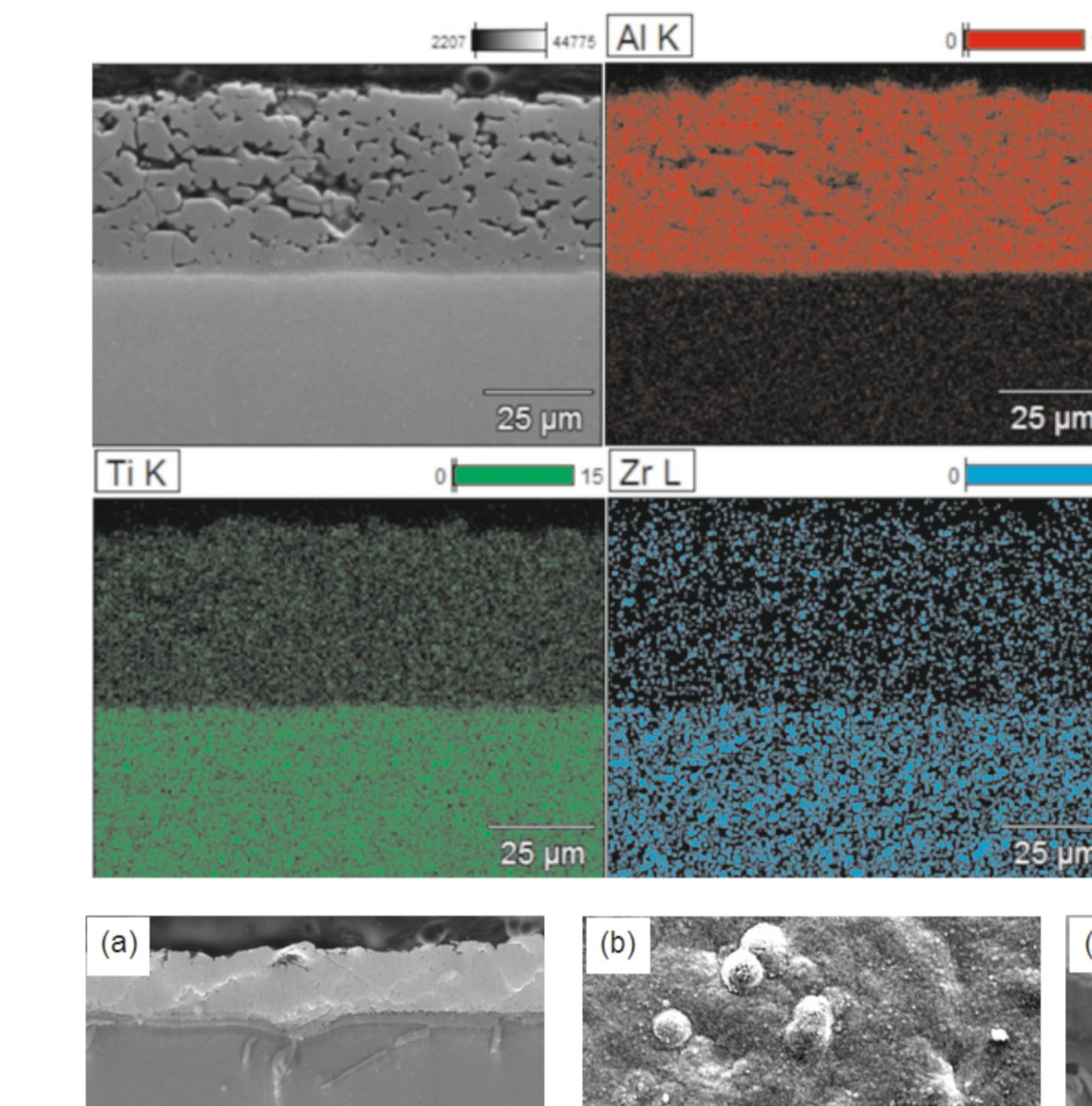
Zastosowanie stopu tytanu Timetal 1100
The application titanium alloy Timetal 1100

Wady stopu tytanu Timetal 1100
Defect of titanium alloy Timetal 1100
- niska odporność korozjona;
- low corrosion resistance;
- niewystarczająca żarowymagałość powyżej temperatury 600°C;
- insufficient high temperature creep resistance above 600°C;
- niska odporność na zużycie ścieżne;
- low abrasive wear resistance.

Lotnictwo:
Aviation:
- dyski sprężarek wysokiego ciśnienia;
- high pressure compressor disc;
- łopatki turbin niskiego ciśnienia;
- low pressure turbine blades.



(a) mikrostruktura, (b) morfologia warstwy TiAl3, wytworzonej na podłożu stopu tytanu Timetal 1100
(a) microstructure, (b) surface morphology of the TiAl3 layer produced on titanium alloy Timetal 1100 substrate.

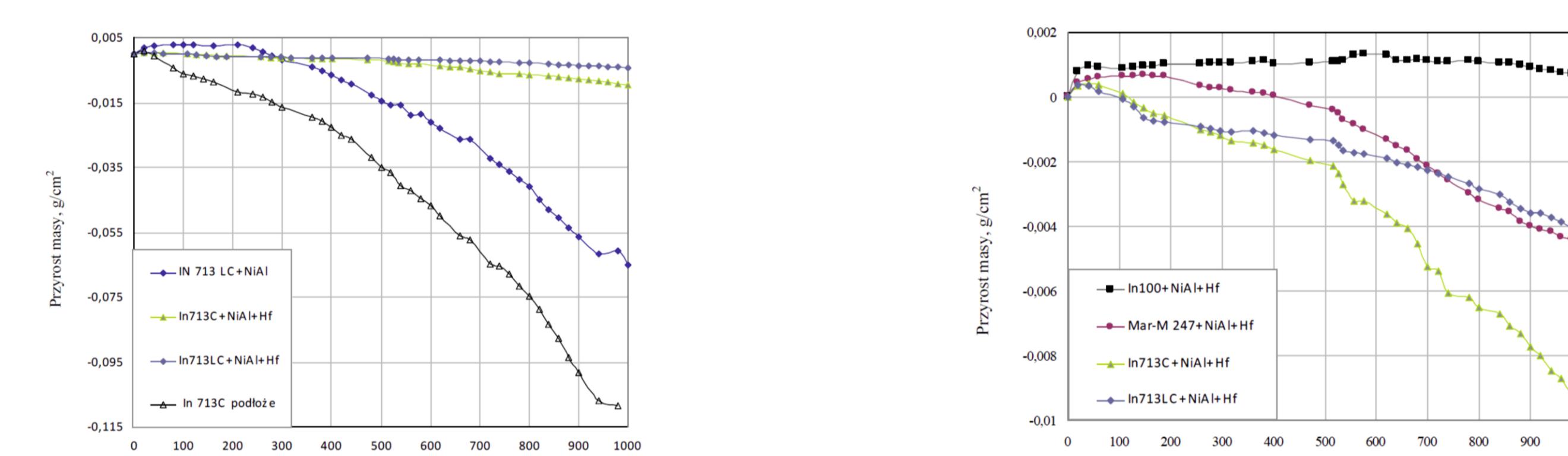


(a) mikrostruktura, (b) morfologia, (c) przełom warstwy Ti-Al-Pd wytworzonej na podłożu tytanu Grade 2
(a) microstructure, (b) morphology, (c) fracture Ti-Al-Pd layer produced on the titanium Grade 2 substrate.

Wyniki badań Results

Thermal stability of aluminide coatings synthesized on nickel based superalloys in oxidation condition.

The process of aluminizing was carried out on IonBond equipment using AlCl_3 gas. Heat resistant aluminide coatings, standard and modified with Hf were synthesized on nickel based superalloys by a low activity process. Thermal stability and heat resistance of the coating were specified by oxidation tests. Change of phase composition and morphology of microstructure components of aluminide coatings up to the time of oxidation were determined.



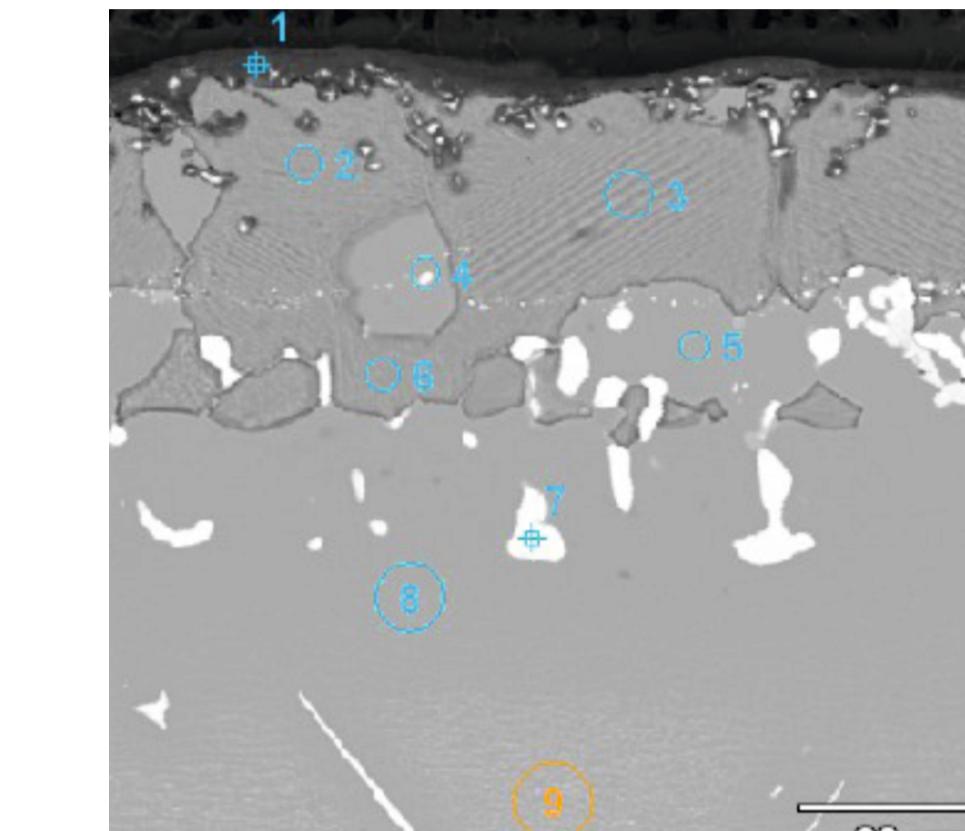
Kinetyka utleniania nadstopów In 713C i In 713LC: bez powłoki, z powłoką NiAl + Hf/Hf modyfikowaną Hf - 1050°C/8h (In 713C + NiAl + Hf, In 713LC + NiAl + Hf)

Oxidation kinetics of In 713C and In 713LC alloys: without layer, with NiAl layer - 1050°C/8h (In 713C + NiAl) and with Hf modified NiAl layer - 1020°C/6h (In 713C + NiAl + Hf)

Mikrostruktura warstwy aluminidowej na podłożu In 100 po procesie utleniania w temperaturze 1100°C
Microstructure of aluminide layer on the base of In 100 after oxidation process at the temperature of 1100°C

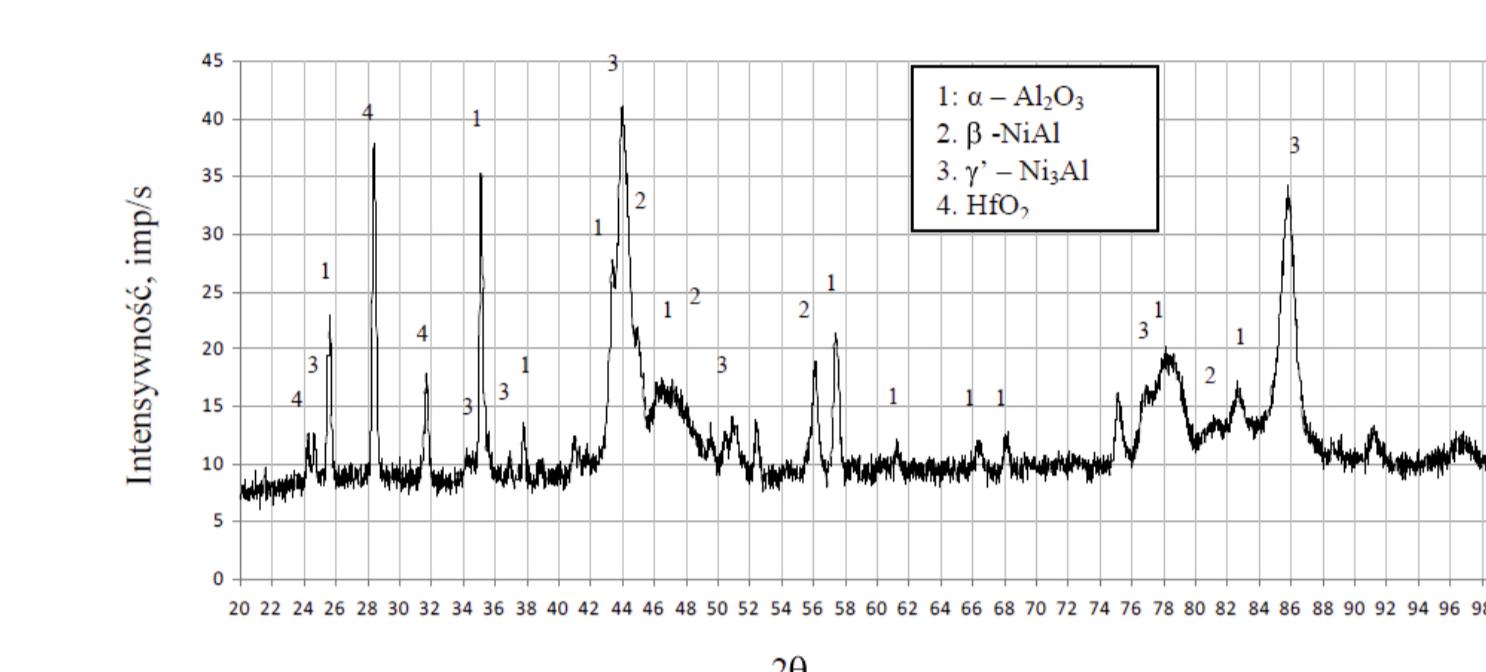
	O-K	Al-K	Ti-K	Cr-K	Co-K	Ni-K	Hf-L	W-L
pkt1	66.53	33.47						
pkt2		29.25						
pkt3		28.55	0.64	6.68	6.94	56.04		1.15
pkt4		17.96	1.16	5.13	9.16	60.10	3.54	2.96
pkt5		17.72	1.50	5.33	8.86	63.68	2.91	
pkt6		29.77	0.67	7.21	7.06	53.89	0.05	1.35
pkt7						25.00	16.09	32.48
pkt8		15.27	1.02	11.08	11.74	57.74	0.23	2.91
pkt9		14.94	1.09	10.38	11.03	57.81	0.46	4.28

Skład chemiczny warstwy aluminiowej modyfikowanej Hf po utlenieniu w temperaturze 1100°C
Chemical composition of aluminide coating modified with Hf after oxidation at temperature of 1100°C

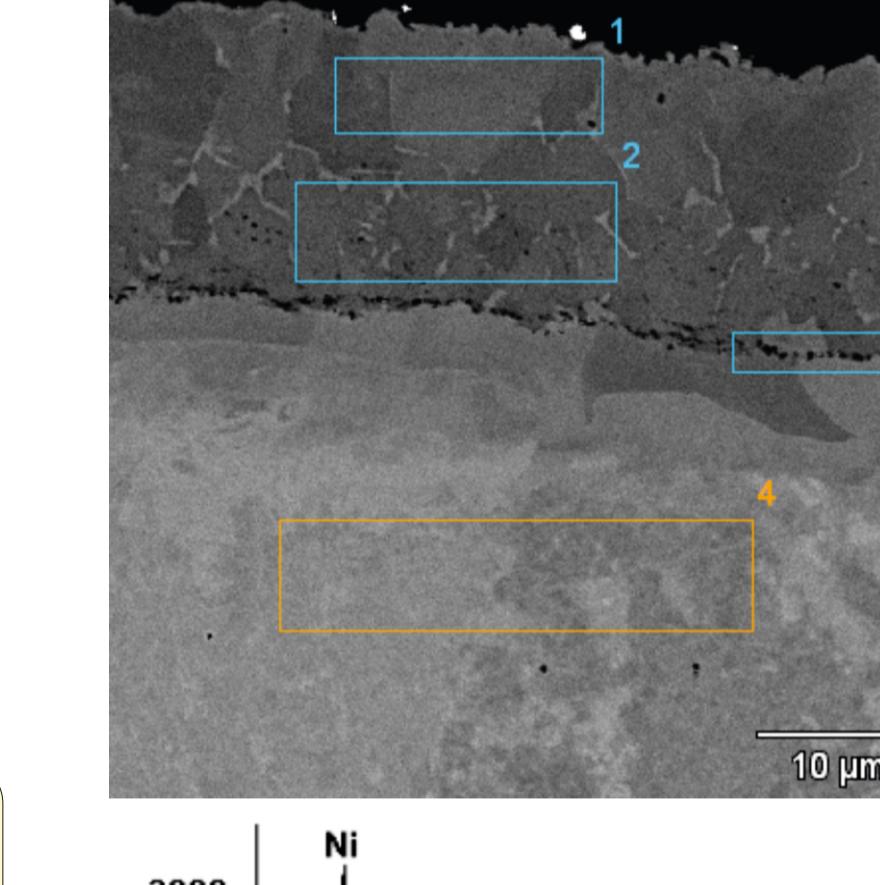


O-K	Al-K	Ti-K	Cr-K	Co-K	Ni-K	Hf-L	W-L
pkt1	66.53	33.47					
pkt2		29.25					
pkt3		28.55	0.64	6.68	6.94	56.04	1.15
pkt4		17.96	1.16	5.13	9.16	60.10	3.54
pkt5		17.72	1.50	5.33	8.86	63.68	2.91
pkt6		29.77	0.67	7.21	7.06	53.89	0.05
pkt7						25.00	16.09
pkt8		15.27	1.02	11.08	11.74	57.74	0.23
pkt9		14.94	1.09	10.38	11.03	57.81	0.46

Skład fazowy aluminiowej warstwy modyfikowanej Hf po utlenieniu w temperaturze 1100°C
Chemical composition of oxygenated aluminide layer modified with Hf after oxidation at temperature of 1100°C



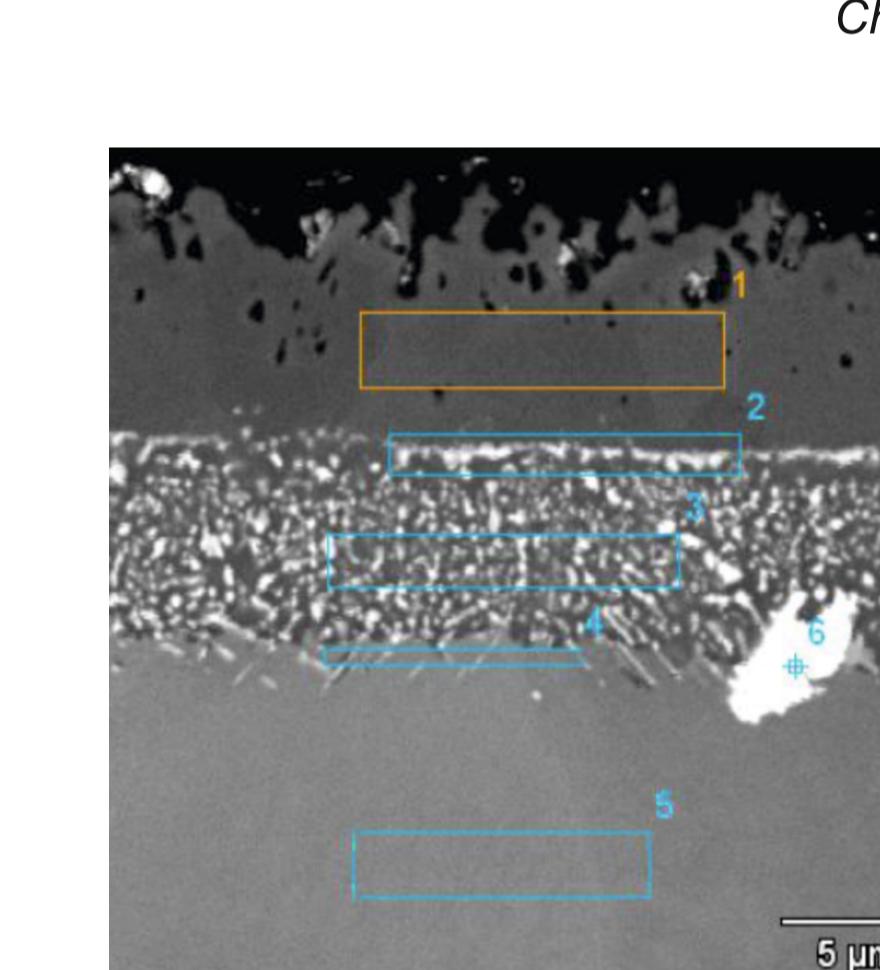
Aluminide coating modified with Zr on the base of nickel superalloys



Mikrostruktura warstwy aluminiowej modyfikowanej Zr na podłożu stopu In 100
Microstructure of aluminide coating modified with Zr on the base of In 100 alloy

	Al-K	Si-K	Ti-K	Cr-K	Fe-K	Co-K	Ni-K	Sr-L	Zr-L
Ni+CVD+Zr_ip(2)_pt1	20.77		5.49	3.88	0.52	9.76	61.09		0.56
Ni+CVD+Zr_ip(2)_pt2	12.26		5.29	8.54		8.12	58.56	3.64	3.37
Ni+CVD+Zr_ip(3)_pt3	13.69		7.94	9.71		10.30	54.26		0.18
Ni+CVD+Zr_ip(4)_pt4	7.24		5.09	3.33	9.41	9.69	65.24		0.00
Ni+CVD+Zr_ip(5)_pt5	6.01		4.69	62.07	13.31	1.37	8.25	10.99	68.66
Ni+CVD+Zr_ip(6)_pt6	4.94						4.09		0.03

Skład chemiczny mikroobszarów warstwy aluminiowej
Chemical composition of microareas of aluminide coating



Mikrostruktura warstwy aluminiowej modyfikowanej Zr na podłożu stopu MAR 247
Microstructure of aluminide coating modified with Zr on the base of MAR 247 alloy

	Al-K	Si
--	------	----