

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Nowoczesne powłoki 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

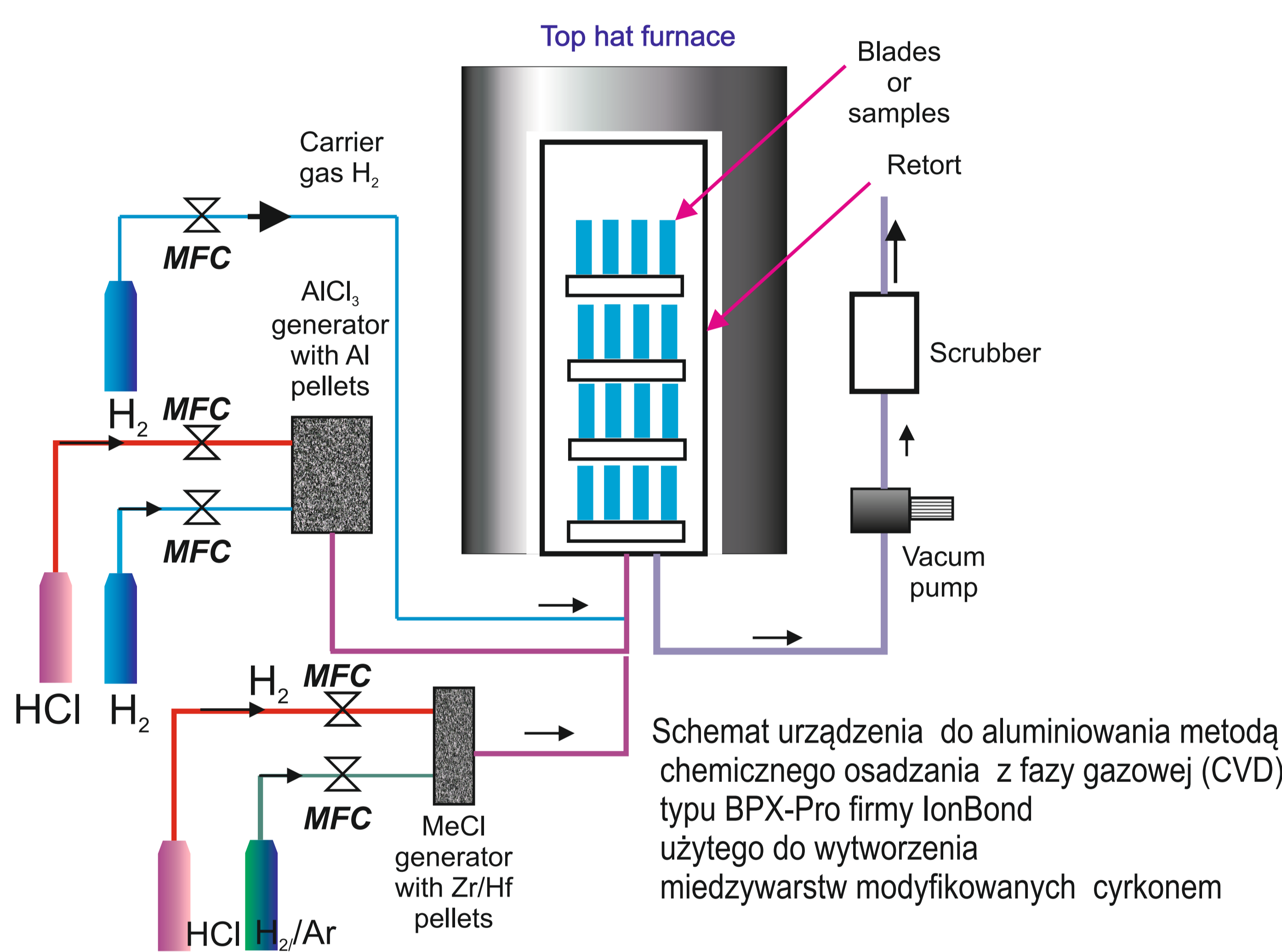
Opracowanie podstaw technologii oraz parametrów technologicznych wytwarzania nowych modyfikowanych powłok aluminiowych metodą CVD, w tym podpowłokowych barier ciepłych stanowiących alternatywę dla stosowanych międzywarstw typu MeCrAlY, na łopatkach turbin

Wprowadzenie

Analiza danych literaturowych wskazuje na możliwość wprowadzania dodatkowych pierwiastków modyfikujących w trakcie aluminowania metodą CVD. Wskazują na to doświadczenia m.in. firmy Howmet. Celem realizowanych badań było opracowanie warunków aluminowania niskoaktywnego metodą CVD, w trakcie którego wprowadza się cyrkon jako pierwiastek modyfikujący. Badania prowadzono na doświadczalnym urządzeniu typu BPX Pro 325 S firmy Ionbond z zastosowaniem dwóch generatorów jednocześnie. Warstwy naniesiono na podłożu stopu MAR M200+Hf. Przeprowadzono próby wyżarzania warstw aluminiowych modyfikowanych cyrkonem w próżni w 1020°C w czasie 12, 16 i 20 godzin. Zaobserwowano zmiany w budowie warstwy oraz zawartości cyrkonu. Następnie wykonano wstępne próby osadzania warstw ceramicznych na powierzchni warstwy modyfikowanej Zr metodami EB-PVD oraz PS-PVD

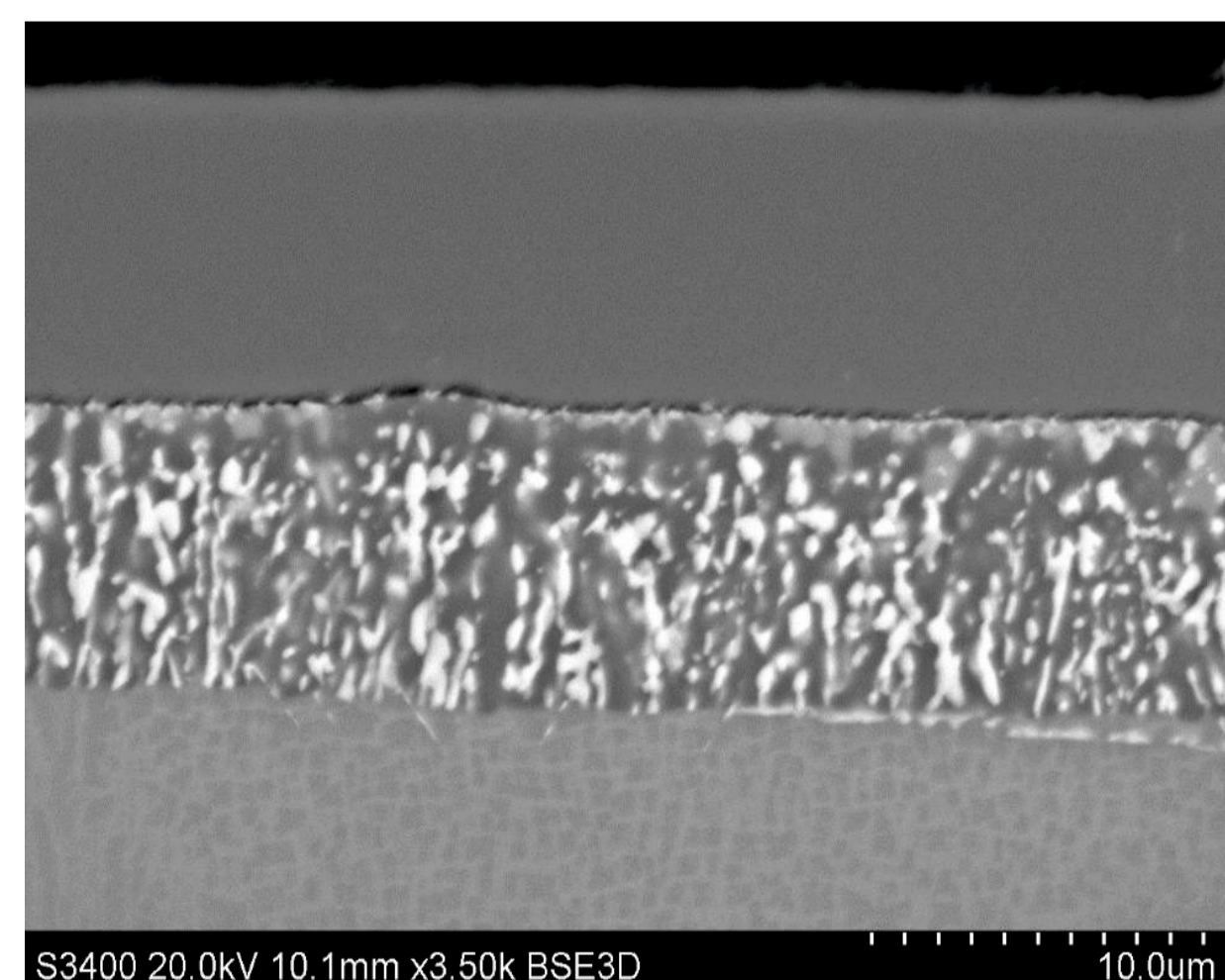
ABSTRACT

The modification by Zr of aluminide coatings by low-activity proces was the aim of the task. The BPX-Pro CVD system produced by IonBond was used. Aluminide coatings were deposited on MAR M200+Hf samples. The results of different processes conditions on structure and chemical composition of coatings were presented. The influence of coatings annealed in vacuum at 1020°C for 12, 16, 20 h on microstructure was described. The ceramic layers of TBC were deposited by EB-PVD (Electron Beam Physical Vapour Deposition) and PS-PVD (Plasma Spray Physical Vapour Deposition)

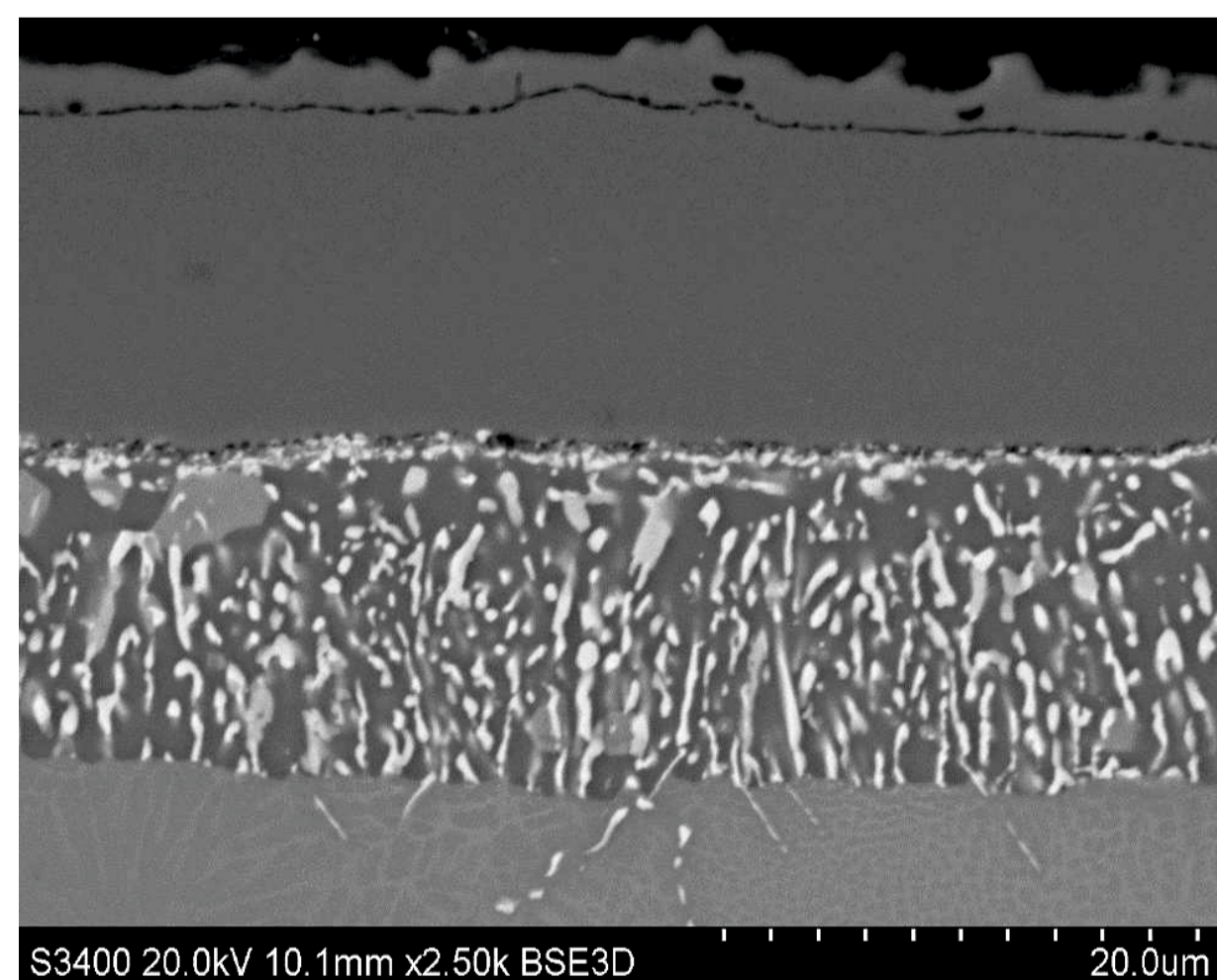


Samples with Zr-modified aluminide coatings deposited on MAR M200+Hf (DS):

- Sample no 1 aluminizing+ aluminizing+zirconizing 3.5h/1020°C
- Sample no 2 aluminizing 5h+ aluminizing+zirconizing 3.5h/1020°C
- Sample no 3 aluminizing 2h+ aluminizing+zirconizing 2h/1040°C



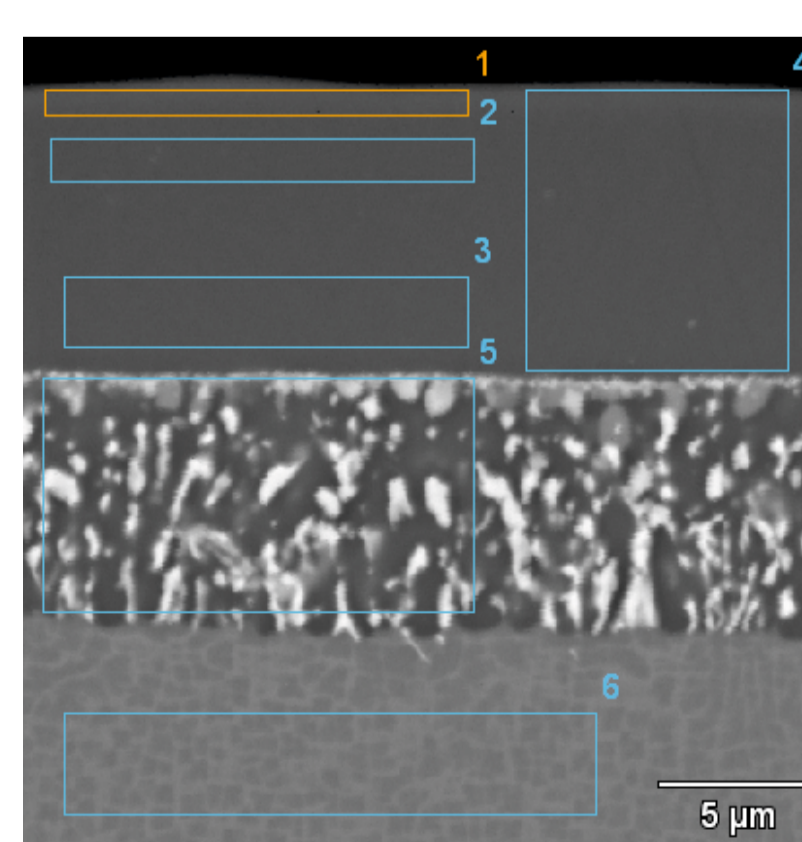
Próbka nr 1 aluminowanie + cyrkon-aluminowanie 3.5h/1020°C
Sample no. 1. Al+ZrAl 3.5h/1020°C



Próbka nr 2 aluminowanie 5h + cyrkon-aluminowanie 3.5h/1020°C
Sample no. 2. Al 5h+Zr-Al 3.5h/1020°C

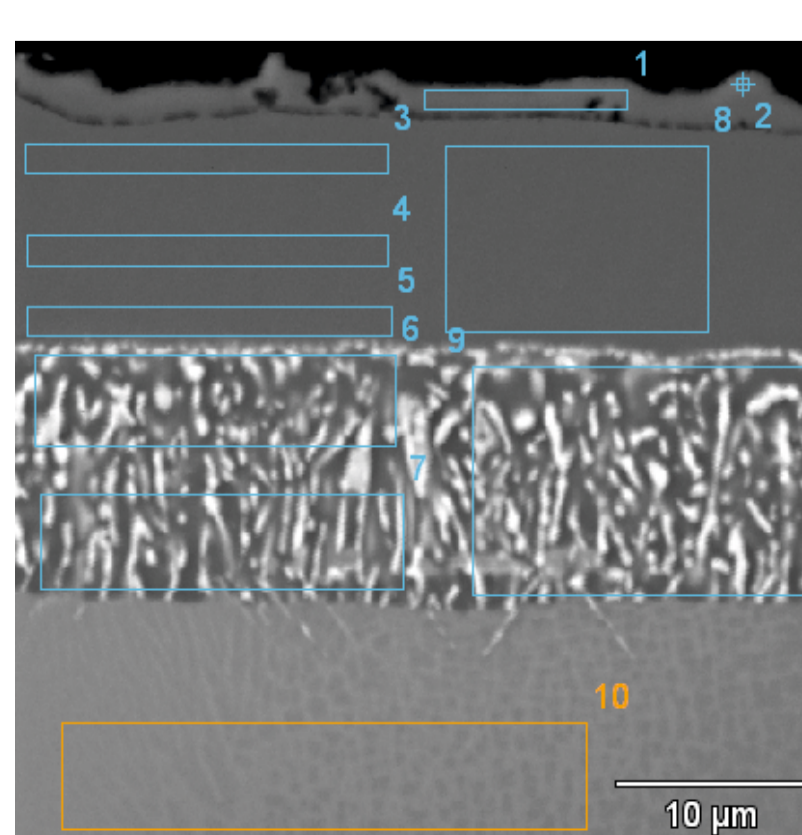
WYNIKI ANALIZY SKŁADU CHEMICZNEGO W MIKROBZSZARACH WARSTW WYTWORZONYCH NA PRÓBKACH NA PODŁOŻU STOPU MAR M200+Hf

RESULTS OF EDS CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS ON MAR M200+HF SAMPLES



Próbka nr 1 aluminowanie + cyrkon-aluminowanie 3.5h/1020°C
Sample no. 1 Al+Zr-Al 3.5h/1020°C

% at.	Al	Ti	Cr	Co	Ni	Zr	Hf	W
pt1	47.01		2.40	4.46	45.88	0.25		
pt2	39.95	0.26	2.60	5.58	51.48	0.14		
pt3	35.57	1.55	4.67	6.27	51.94	0.00		
pt4	39.13	0.77	3.55	5.54	50.93	0.00		
pt5	28.02	2.35	10.66	7.98	46.17	0.00	0.81	4.00
pt6	11.38	2.17	11.58	9.39	60.51	0.00		4.97

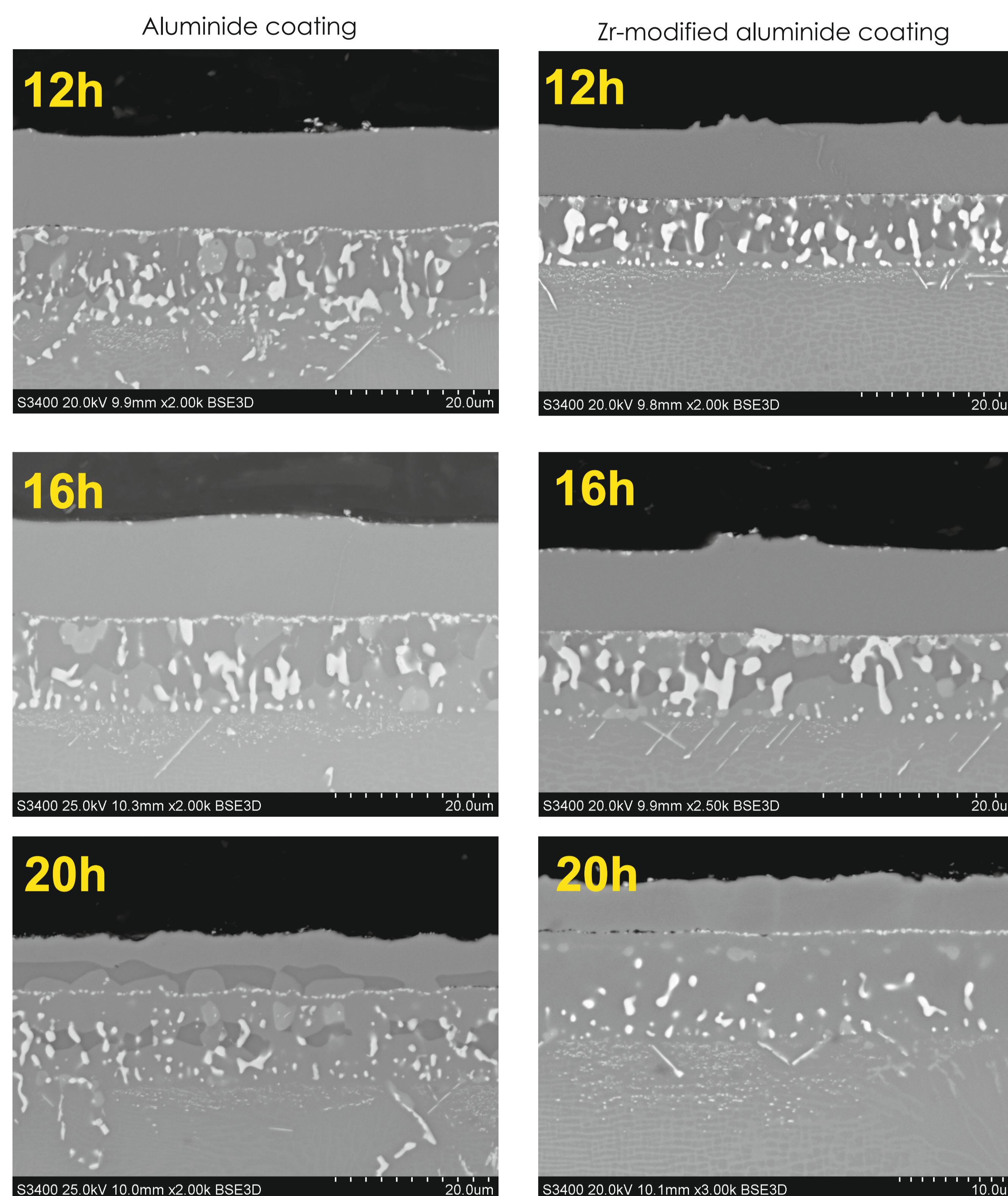


Próbka nr 2 aluminowanie 5h + cyrkon-aluminowanie 3.5h/1020°C
Sample no. 2 Al 5h + Zr-Al 3.5h/1020°C

% at.	Al	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Zr	Hf	W
pt1	48.51		1.45		4.36	45.66			0.02
pt2	52.32		1.42		3.93	42.31			0.02
pt3	39.86	0.72	3.14		5.95	50.30	0.02		
pt4	37.00	1.34	4.30		6.32	51.04			
pt5	28.31	2.55	9.89		6.60	43.77		4.50	4.38
pt6	26.96	2.40	10.04		8.94	43.18	0.98	0.31	7.20
pt7	18.20	2.35	9.73		8.96	53.94	0.55	0.79	5.48
pt8	32.81	1.70	6.84		6.87	48.24	0.39	0.77	2.37
pt9	19.87	2.25	13.41	0.18	9.57	49.08		0.23	6.41
pt10	11.78	2.68	9.19		8.25	62.31	1.27	1.24	3.26

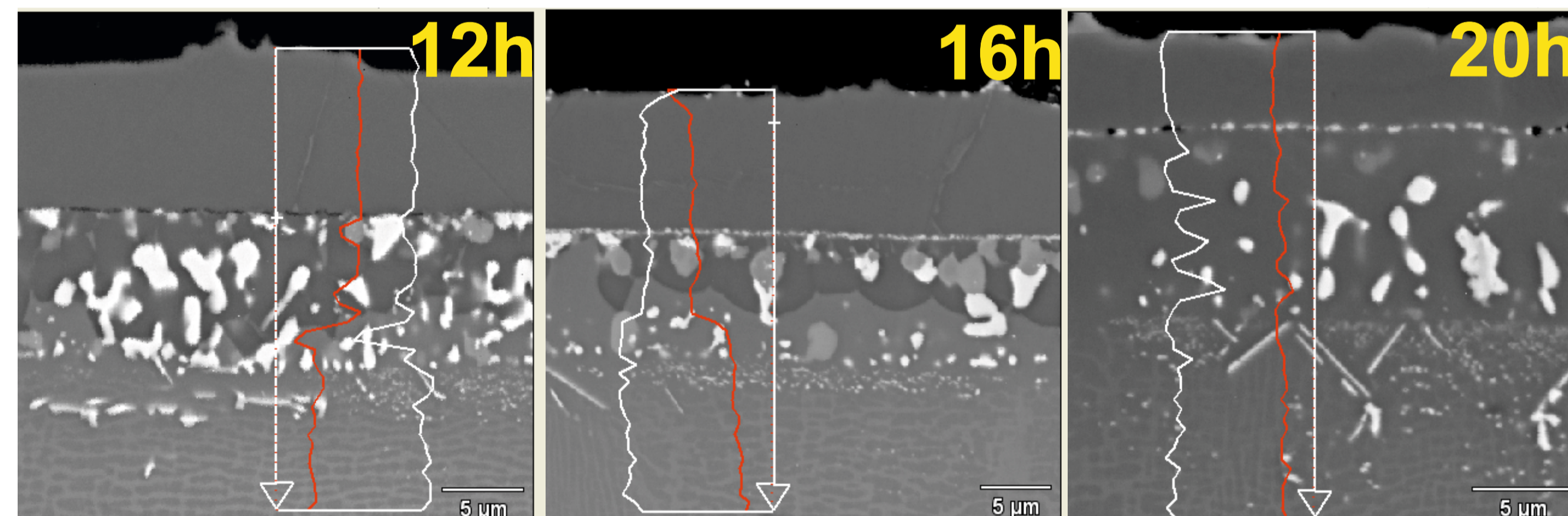
Wyniki badań

Results



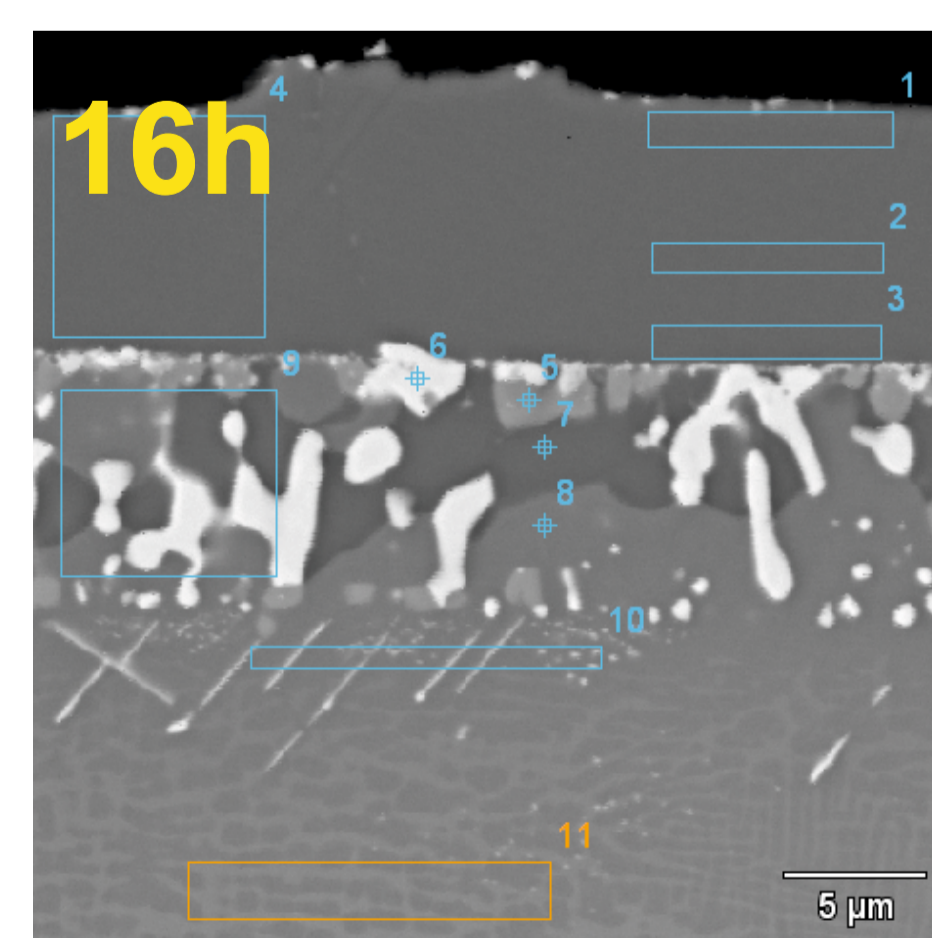
Zmiana mikrostruktury w warstwach aluminiowych oraz aluminiowych modyfikowanych cyrkonem wytworzonych na podłożu stopu MAR M200 po 12, 16, 20 godzinach wyżarzania w 1020°C
The changes in microstructure of simple aluminide and Zr-modified aluminide coatings deposited on MAR M200+Hf nickel superalloy after annealing for 12, 16, 20 h at 1020°C

Zr-DOPING ALUMINIZING

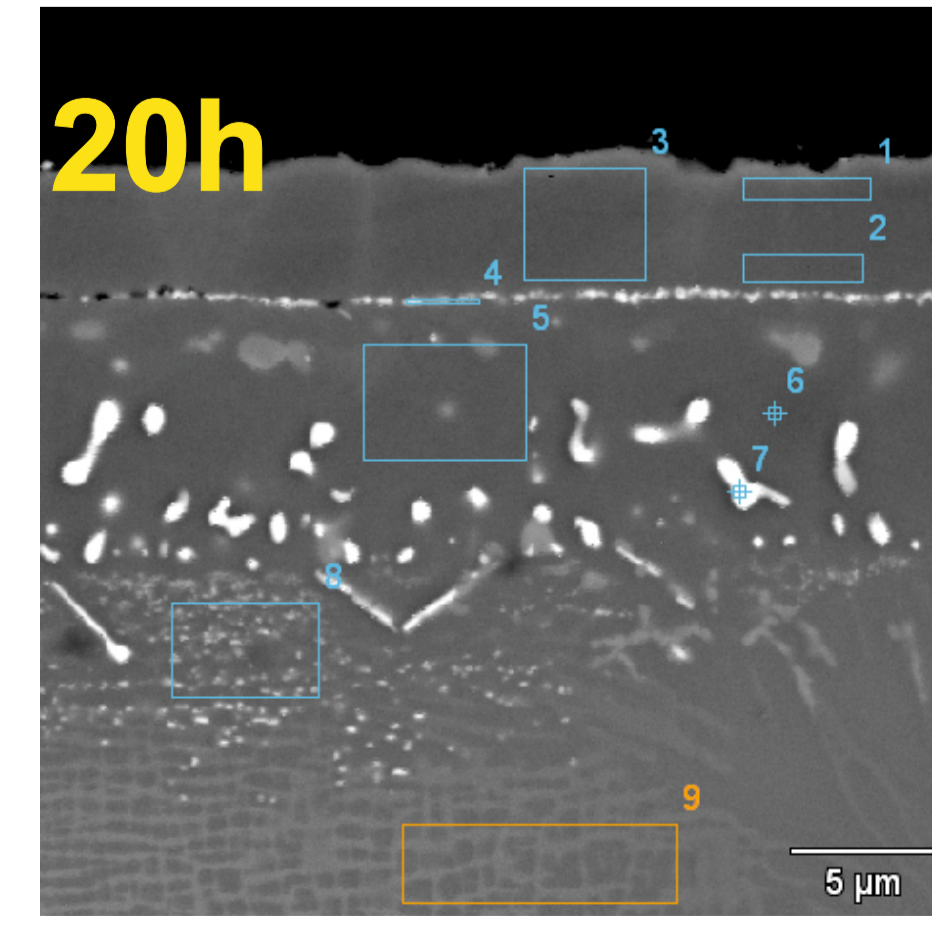


Analiza liniowa składu chemicznego warstwy aluminiowej modyfikowanej cyrkonem wytworzonych na podłożu stopu MAR M200 po 12, 16, 20 godzinach wyżarzania w 1020°C
The results of linear EDS chemical composition analysis of Zr-modified aluminide coating deposited on MAR M200+Hf nickel superalloy after annealing for 12, 16, 20 h at 1020°C

Point/area	Al-K	Ti-K	Cr-K	Co-K	Ni-K	Zr-L	Nb-L	Hf-L	W-L
1	31.59	1.47	4.98	8.03	52.89	0.01	0.13	0.44	0.47
2	31.90	1.18	5.14	7.98	53.26	0.10	0.05	0.19	0.21
3	32.61	0.92	5.31	7.90	53.04	0.03	0.10	0.00	0.10
4	31.38	1.13	5.13	7.56	53.63	0.08	0.15	0.17	0.77
5	33.49	6.16	5.23	6.95	44.28	0.00	0.82	3.07	0.00
6	25.47	1.72	7.31	7.86	52.42	0.00	0.38	1.98	2.85
7	27.30	1.27	8.28	7.46	53.01	0.11	0.18	0.15	2.24
8	5.57	1.80	20.12	12.65	23.01	0.00	1.75	0.00	33.11
9	17.92	2.96	5.97	9.18	60.19	0.00	0.56	0.15	3.08
10	16.24	2.78	7.68	9.61	57.81	0.04	0.33	0.55	4.96
11	26.27	1.10	9.82	8.47	48.26	0.00	0.12	0.03	5.92
12	14.36	2.51	8.49	10.80	53.22	0.00	0.47	0.07	10.06
13	11.53	1.96	11.85	11.93	56.84	0.00	0.21	0.18	5.49



Point area	Al-K	Ti-K	Cr-K	Co-K	Ni-K	Zr-L	Nb-L	Hf-L	W-L
1	35.61	1.25	4.49	6.92	50.67	0.00	0.17	0.57	0.31
2	32.97	1.23	4.65	7.85	53.01	0.00	0.05	0.02	0.23
3	32.54	1.06	5.03	7.91	52.80	0.00	0.07	0.06	0.54
4	33.54	1.28	4.73	7.99	52.00	0.02	0.11	0.03	2.28
5	13.73	2.15	41.55	5.19	26.59	0.00	0.77	4.36	5.66
6	32.36	1.26	4.88	7.69	53.07	0.00	0.13	0.18	0.43
7	31.68	1.04	6.60	7.94	51.50	0.00	0.13	0.10	1.01
8	6.37	1.21	31.64	5.03	18.12	0.00	1.18	0.13	37.31
9	21.05	1.98	11.03	9.55	46.09	0.00	0.43	0.64	9.23
10	14.10	2.86	13.66	9.40	51.62	0.02	0.40	0.25	7.69
11	12.66	2.10	10.92	10.88	57.72	0.00	0.32	0.60	4.80

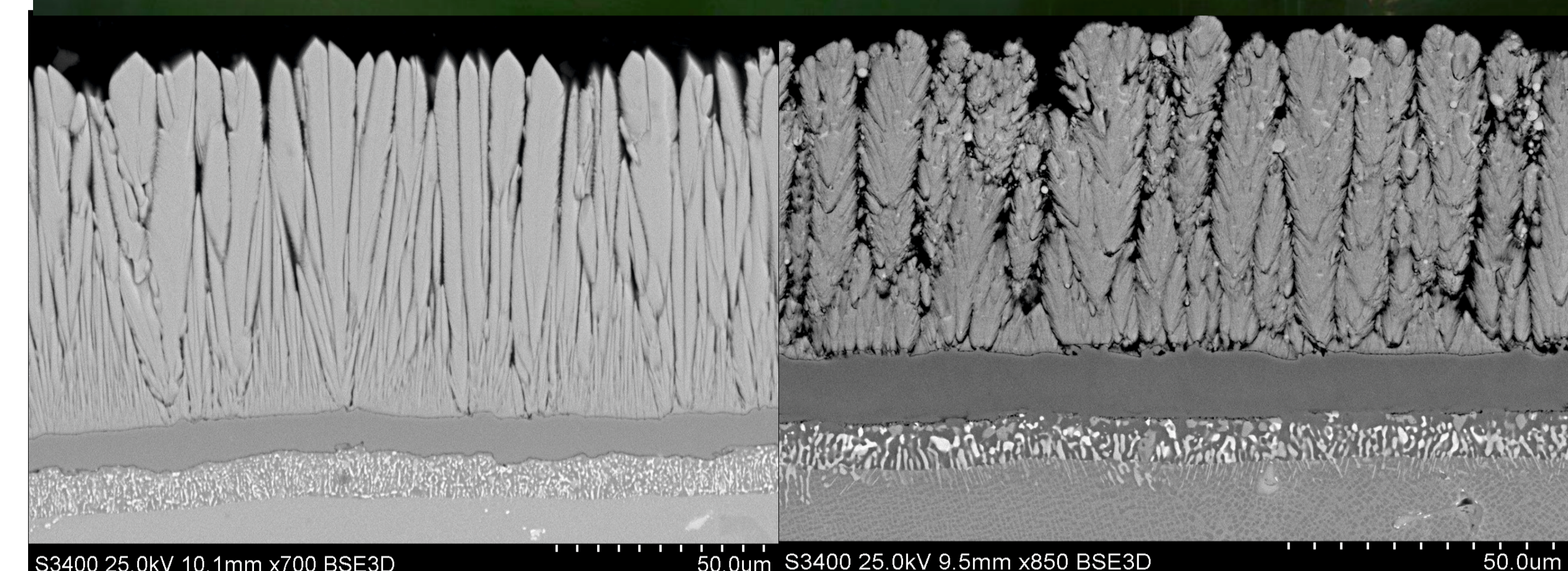


Point area	Al-K	Ti-K	Cr-K	Co-K	Ni-K	Zr-L	Nb-L	Hf-L	W-L
1	16.89	3.16	2.98	9.15	64.45	0.00	0.51	0.22	2.63
2	17.82	2.17	3.53	9.49	63.89	0.00	0.24	0.14	2.71
3	17.36	2.59	3.44	9.29	64.38	0.00	0.39	0.09	2.47
4	16.01	2.95	4.17	8.46	58.14	0.00	0.69	6.30	3.28
5	17.38	1.97	5.19	9.75	62.18	0.00	0.25	0.12	3.16
6	18.48	1.72	4.68	9.52	63.30	0.00	0.24	0.11	1.96
7	17.45	2.20	4.57	9.65	62.39	0.00	0.30	0.15	3.30
8	13.89	2.58	9.88	10.61	57.12	0.00	0.33	0.62	4.98
9	11.23	1.95	12.04	10.69	58.87	0.08	0.38	0.68	4.09

Analiza składu chemicznego warstwy aluminiowej modyfikowanej cyrkonem wytworzonej na podłożu stopu MAR M200 po 12, 16, 20 godzinach wyżarzania w 1020°C
The results of EDS chemical composition analysis of Zr-modified aluminide coating deposited on MAR M200+Hf nickel superalloy after annealing for 12, 16, 20 h at 1020°C

Wyniki badań

Results



Mikrostruktura powłok TBC złożonych z międzywarstwy aluminiowej modyfikowanej cyrkonem oraz ceramicznej typu YSZ osadzonej metodą EB-PVD oraz PS-PVD
Microstructure of TBCs with Zr-modified aluminide bond coat and YSZ ceramic layer deposited by EB-PVD or PS-PVD

Wnioski

- Przeprowadzone próby technologiczne wykazały możliwość wprowadzania cyrkonu w procesie aluminowania niskoaktywnego. Wytworzone warstwy charakteryzowały się grubością wynoszącą ok. 30 μm.
- Jak wskazują dane literaturowe zawartość Zr w strefie zewnętrznej warstwy aluminiowej j w ilości do 1% at. znacznie zwiększa odporność na utlenianie wysokotemperaturowe.
- Przeprowadzone badania przemian w warstwie w trakcie wyżarzania w próżni wykazały zmniejszenie się zawartości aluminium oraz zmiany w budowie warstw po 20 h w 1020°C
- Przeprowadzono próby osadzania warstwy ceramicznej z zastosowaniem metody fizycznego osadzania z fazy gazowej z odparowaniem za pomocą palnika plazmowego PS-PVD. oraz procesu EB-PVD

Summary

The results showed possibility of Zr-modified aluminide coatings deposition by low-activity aluminizing proces. The thickness of obtained coatings wer in range 20-30 microns. The amount of Zr in aluminide coating was less than 1 at.%. The PS-PVD and EB-PVD methods were be used for ceramic layer deposition on Zr-modified aluminide bondcoat

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Powłokowe bariery ciepłe stosowane są do ochrony powierzchni elementów części gorącej silnika lotniczego np. łopatek turbiny pierwszego stopnia, elementów komory spalania itp.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

W ramach zadania badawczego wyżarzanie w próżni warstw aluminiowych modyfikowanych cyrkonem prowadzono we współpracy z WSK PZL-Rzeszów SA,

Wskaźniki realizacji celów projektu

- Publikacje:**
- Marek Góral, Stanisław Dudek, Ryszard Filip, Jan Sieniawski, *Microstructure of Thermal Barrier Coatings obtained by using plasma spray and VPA methods*, Materials Science Forum, vol. 706-709 (Thermec 2011), str. 2412-2417, Trans Tech Publications, 2012

- Referaty/Postery:**
- Udział w konferencji STERMAT 2012. Prezentowane artykuły na posterach:

- A. Nowotnik, M. Góral, M. Pytel, K. Dychton, *Influence of coatings deposition parameters on microstructure of aluminide coatings deposited by CVD method on Ni-superalloys*, (Publikacja w druku)
- M. Góral, M. Pytel, R. Filip, J. Sieniawski, *The influence of turbine blade geometry and process parameters on the structure of Zr modified aluminide coatings deposited by CVD method on the ZS6K nickel superalloy* (Publikacja w druku)
- M. Pytel, M. Góral, A. Nowotnik, *The new method of TBC's samples preparation* (Publikacja w przygotowaniu)
- M. Góral, M. Pytel, P. Sosnowy, S. Kotowski, M. Drajewicz, *Microstructural characterization of Thermal Barrier Coatings deposited by APS and LPPS Thin Film methods* (Publikacja w druku)

- Prace mgr, dr, hab.**
- Prace inżynierskie obronione:**
- Maciej Mastyk: *Dobór i podstawy technologii wytwarzania dyfuzyjnych warstw aluminiowych stosowanych na elementach silnika lotniczego*. Promotor: dr inż. Marek Góral, 2012 r.
 - Mateusz Maliniak: *Metody wytwarzania oraz charakterystyka aluminiowych warstw ochronnych stosowanych na elementy części gorącej silników lotniczych*. Promotor: dr inż. Marek Góral, 2012 r.
 - Tomasz Miziniak: *Badania odporności na korozję wysokotemperaturową warstw ochronnych wytwarzanych na elementach konstrukcyjnych części gorącej silnika lotniczego*. Promotor: dr inż. Maciej Molyka 2012 r.
- Prace inżynierskie planowane**
- Tadeusz Kubaszek: *Wpływ warunków osadzania na mikrostrukturę powłokowych barier ciepłych wytwarzanych metodą PS-PVD*, dr inż. Marek Góral, 2012 r.

- Prace magisterskie planowane**
- Maciej Mastyk: *Mikrostruktura oraz odporność na utlenianie powłokowych barier ciepłych z międzywarstwą typu MeCrAlY poddanych aluminowaniu metodą CVD*. Promotor: dr inż. Marek Góral, 2013 r.
 - Mateusz Maliniak: *Odporność na cykliczne utlenianie dyfuzyjnych warstw aluminiowych modyfikowanych cyrkonem*. Promotor: dr inż. Marek Góral, 2013 r.