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

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
25-26 Czerwca 2012

ZB 10

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

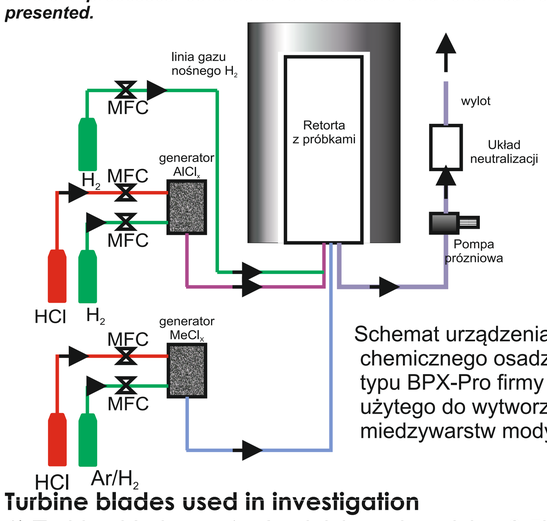
Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Uniwersytet Rzeszowski

Wyniki badań
Results

POLITECHNIKA RZESZOWSKA
PODZADANIE:
Opracowanie podstaw technologii oraz parametrów technologicznych wytwarzania nowych modyfikowanych powłok aluminidkowych metodą CVD, w tym podpowłokowych barier cieplnych stanowiących alternatywę dla stosowanych międzywarstw typu MeCrAlY, na łopatki turbin

Wprowadzenie
Przeprowadzona analiza danych literaturowych wskazuje na możliwość wprowadzania dodatkowych pierwiastków modyfikujących w trakcie aluminiowania metodą CVD, na co wskazują doświadczenia m.in. firmy Howmet. Celem realizowanych badań było opracowanie warunków aluminiowania 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. W układzie tym chlorek aluminium ($AlCl_3$) generowany jest poprzez przepuszczanie chlorowodoru (HCl) przez granule aluminium o czystości 99,8%, umieszczone w zewnętrznym generatorze, a następnie wprowadzane do retorty za pomocą gazu nośnego – wodoru (H_2). Czterochlorek cyrkonu ($ZrCl_4$) generowany jest przy użyciu gazu reaktywnego – chlorowodoru, w drugim, niezależnym generatorze, z którego transportowany jest za pomocą gazu nośnego - wodoru lub argonu.

ABSTRACT
The modification by Zr of aluminide coatings by low-activity proces was the aim of the task. The BXP-Pro CVD system produced by IonBond was used. Aluminide coatings were deposited o 1st stage turbine blandes (ZS6K nicker superalloy) and on MAR M200+Hf samples. The results of different processes conditions on structure and chemical composition of coatings were presented.



Schemat urządzenia do aluminiowania metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD) typu BPX-Pro firmy IonBond użytego do wytworzenia miedzywarstw modyfikowanych cyrkonem

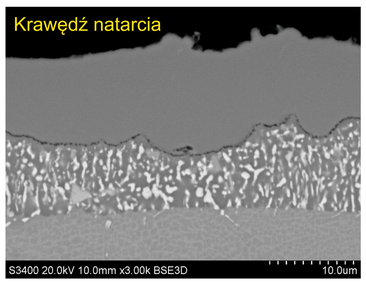
Turbine blades used in investigation
1) Turbine blade no. 1; aluminizing+zirconizing 3.5h/1020°C
2) Turbine blade no. 2; aluminizing 5h+ aluminizing+zirconizing 3.5h/1020°C
3) Turbine blade no. 3; aluminizing+zirconizing 5h/1020°C + aluminizing+zirconizing 3.5h/1020°C

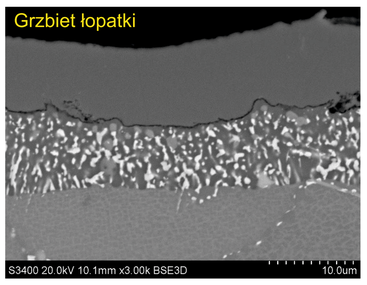
Samples with Zr-modified aluminide coatings deposited on MAR M200+Hf (DS):
1) Sample no 1 aluminizing+ aluminizing+zirconizing 3.5h/1020°C
2) Sample no 2 aluminizing 5h+ aluminizing+zirconizing 3.5h/1020°C
3) Sample no 3 aluminizing 2h+ aluminizing+zirconizing 2h/1040°C

Stopy używane jako materiał podłoża - skład chemiczny
Chemical compositon of alloys used as a base material

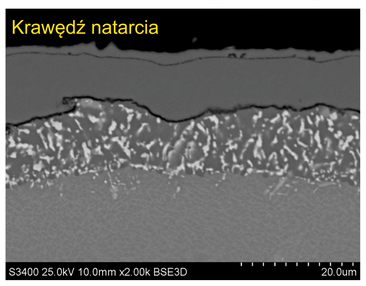
	Zawartość pierwiastka, % mas.											
Stop	Ni	Cr	Co	W	Nb	Al	Ti	B	Zr	Hf	Mo	C
MAR M200+Hf	reszta	8,0	9,0	12,0	1,0	5,0	1,9	0,0015	0,03	2,0		0,13
ŻS6K	reszta	9,8	5.0	5.0		4.5					10.5	

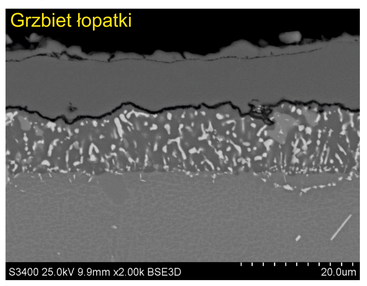
MIKROSTRUKTURA WARSTW WYTWORZONYCH NA ŁOPATKACH
Microstructure of coatings deposited on turbine blades



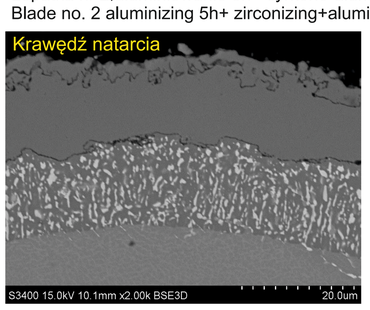


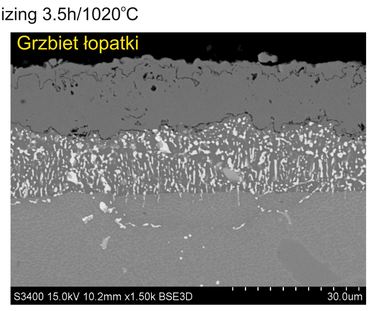
Łopatka nr 1; aluminiowanie+cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C
Blade no 1. aluminizing+zirconizing+aluminizing





Łopatka nr 2;aluminiowanie 5h+ cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C
Blade no. 2 aluminizing 5h+ zirconizing+aluminizing 3.5h/1020°C

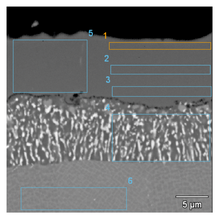




Łopatka nr 3; cyrkono-aluminiowanie 5h/1020°C + cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C Blade no. 3 zirconizing+aluminizing 5h/1020°C + zirconizing+aluminizing 3.5h/1020°C

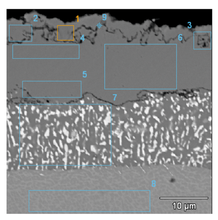
Wyniki badań
Results

WYNIKI ANALIZY SKŁADU CHEMICZNEGO W MIKROOBSZARACH WARSTW WYTWORZONYCH NA ŁOPATKACH
THE RESULTS OF EDS CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS OF COATINGS DEPOSITED ON TURBINE BLADES



Łopatka nr 1; aluminiowanie
+cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C
Turbine blade no. 1: Al+Zr-Al 3.5h/1020°C

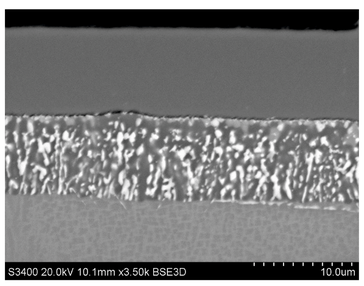
% at.	Al	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Zr	Mo	W
pt1	40.63		1.84	0.48	4.16	52.82	0.08		
pt2	37.56	0.89	3.31	0.34	5.43	52.47	0.00		
pt3	35.47	1.84	4.41	0.38	5.60	52.17	0.13		
pt4	25.79	2.94	11.48		8.55	44.45	0.00	1.26	5.54
pt5	38.89	0.85	2.93	0.44	4.94	51.81	0.13		
pt6	11.99	3.00	10.38	0.09	8.61	62.16	0.00		3.78



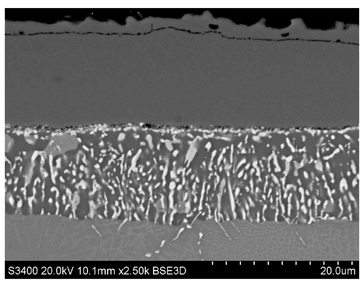
Łopatka nr 3; cyrkono-aluminiowanie 5h/1020°C
+ cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C
Turbine blade no. 3: Zr-Al 5h/1020°C+Zr-Al 3.5h/1020°C

% at.	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Zr	Mo	W
pt1	44.88		1.11		0.62	3.55	49.72	0.13		
pt2	43.63		1.15		0.68	4.46	49.79	0.30		
pt3	48.03	0.35	1.41		0.60	4.44	44.95	0.23		
pt4	39.87	0.43	2.76			5.24	51.59	0.11		
pt5	36.36	2.10	4.06		0.46	6.23	50.74	0.05		
pt6	38.44	1.17	3.32			5.39	51.69			
pt7	26.98	2.90	9.72	0.15		7.25	47.75		1.14	4.10
pt8	11.10	2.34	10.46			8.73	63.19		0.97	3.21
pt9	45.39	0.31	1.05		0.92	4.04	48.04	0.24		

MIKROSTRUKTURA WARSTW WYTWORZONYCH NA PRÓBKACH NA PODŁOŻU STOPU MAR M200+Hf
MICROSTRUCTURE OF COATINGS DEPOSITED ON MAR M200+Hf SAMPLES

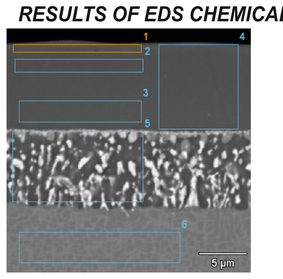


Próbka nr 1 aluminiowanie
+ cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C
Sample no. 1. Al+ZrAl 3.5h/1020°C



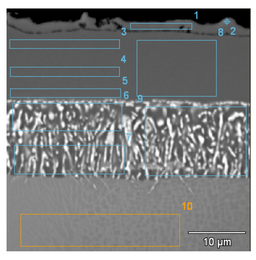
Próbka nr 2 aluminiowanie 5h
+ cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C
Sample no. 2. Al 5h+Zr-Al 3.5h/1020°C

WYNIKI ANALIZY SKŁADU CHEMICZNEGO W MIKROOBSZARACH WARSTW WYTWORZONYCH NA PRÓBKACH NA PODŁOŻU STOPU MAR M200+Hf
RESULTS OF EDS CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS ON MAR M200+HF SAMPLES



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

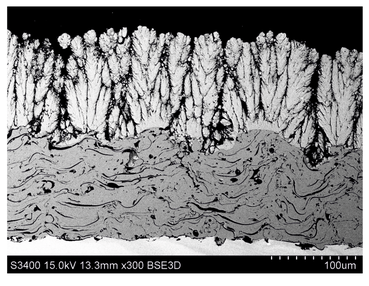
% at.	Al	Ti	Cr	Co	Ni	Zr	Hf	W
pt1	47.01		2.40	4.46	45.88	0.25		
pt2	39.95	0.26	2.60	5.58	51.48	0.14		
pt3	35.57	1.55	4.67	6.27	51.94	0.00		
pt4	39.13	0.77	3.55	5.54	50.93	0.08		
pt5	28.02	2.35	10.66	7.98	46.17	0.00	0.81	4.00
pt6	11.38	2.17	11.58	9.39	60.51	0.00		4.97

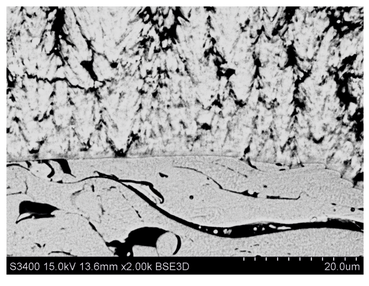


Próbka nr 2 aluminiowanie 5h + cyrkono-aluminiowanie 3.5h/1020°C
Sample no. 2 Al. 5h + Zr-Al 3.5h/1020°C

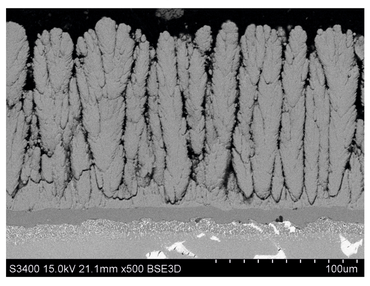
% at.	Al	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Zr	Hf	W
pt1	48.51		1.45		4.36	45.66			0.02
pt2	52.32		1.42		3.93	42.31			0.02
pt3	39.86	0.72	3.14		5.95	50.30	0.02		
pt4	37.00	1.34	4.30		6.32	51.04			
pt5	28.31	2.55	9.89		6.60	43.77		4.50	4.38
pt6	26.96	2.40	10.04		8.94	43.18	0.98	0.31	7.20
pt7	18.20	2.35	9.73		8.96	53.94	0.55	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	48.08		0.23	6.41
pt10	11.78	2.69	9.19		8.25	62.31	1.27	1.24	3.26

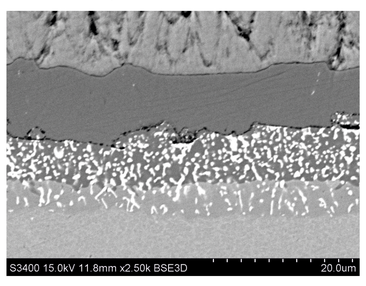
MIKROSTRUKTURA POWŁOKOWEJ BARIERY CIEPLNEJ Z WARSTWĄ CERAMICZNĄ WYTWORZONĄ METODĄ FIZYCZNEGO OSADZANIA Z FAZY GAZOWEJ Z ODPAROWANIEM ZA POMOCĄ PALNIKA PLAZMOWEGO - PS-PVD
STRUCTURE OF THERMAL BARRIER COATINGS DEPOSITED BY PS-PVD METHOD





Powłoka TBC z międzywarstwą z wieloskładnikowego stopu MeCrAlY osadzoną metodą APS
Thermal barrier coating with MeCrAlY bondcoat deposited by APS method

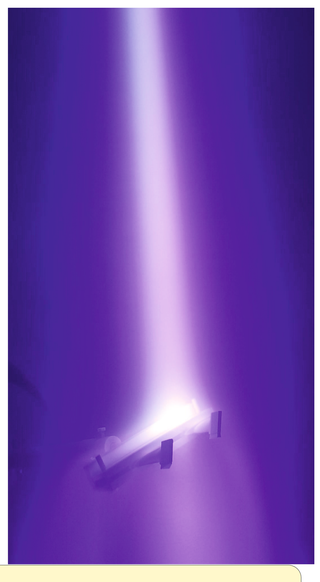




Powłoka TBC z międzywarstwą aluminidkową modyfikowaną cyrkonem
TBC coating with Zr-modifed aluminide bond coat

Wyniki badań
Results

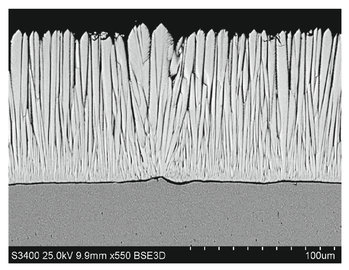
APARATURA DO NATRYSKIWANIA PLAZMOWEGO W WARUNKACH OBNIŻONEGO CIŚNIENIA LPPS-THINF FILM FIRMY SULZER-METCO STOSOWANE DO WYTWORZENIA WARSTWY CERAMICZNEJ POWŁOKI TBC METODĄ PS-PVD
The LPPS-Thin Film system used for ceramic layer deposition by PS-PVD method

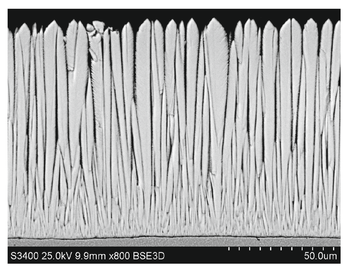


Wnioski

- *Przeprowadzone próby technologiczne wykazały możliwość wprowadzania cyrkonu w procesie aluminiowania niskoaktywnego. Wytworzone warstwy charakteryzowały się grubością dochodzącą do 30 µm.*
- *Zaobserwowano także równomierny rozkład zawartości aluminium w obszarze strefy zewnętrznej β-NiAl.*
- *Jak wskazują dane literaturowe zawartość Zr w strefie zewnętrznej warstwy aluminidkowej już na poziomie <1% at. zapewnia znaczny wzrost odporności na utlenianie.*
- *Dalsze badania realizowane w ramach zadania badawczego będą miały na celu określenie wpływu warunków cyrkono-aluminiowania na odporność na utlenianie w porównaniu z aktualnie stosowanymi powłokami typu MeCrAlY oraz (Ni,Pt)Al, w tym z naniesioną warstwą ceramiczną typu top coat – YSZ.*
- *Planowane jest przeprowadzenie prób osadzania warstwy ceramicznej z zastosowaniem metody fizycznego osadzania z fazy gazowej z odparowaniem za pomocą palnika plazmowego PS-PVD. oraz procesu EB-PVD*

MIKROSTRUKTURA POWŁOKOWEJ BARIERY CIEPLNEJ Z WARSTWĄ CERAMICZNĄ OSADZONĄ METODĄ EB-PVD NA URZĄDZENIU SMART COATER FIRMY ALD
MICROSTRUCTURE OF TBCs WITH CERAMIC LAYER DEPOSITED BY EB-PVD METHOD USING SMART COATER SYSTEM DEVELOPED BY ALD





Wnioski
Conclusions

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.%.
In next stage the PS-PVD and EB-PVD methods will be used for ceramic layer deposion on Zr-modified aluminide bondcoat

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation

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

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

W ramach zadania badawczego miedzywarstwę na bazie wieloskładnikowego stopu typu MeCrAlY osadzono we współpracy z firmą WSK PZL-Rzeszów SA,

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Publikacje:
1. 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

Prace mgr, dr, hab.
Prace inżynierskie obronione:
1. Maciej Masłyk : ***Dobór i podstawy technologii wytwarzania dyfuzyjnych warstw aluminidkowych stosowanych na elementach silnika lotniczego*** . Promotor: dr inż. Marek Góral, 2012 r.
2. Mateusz Maliniak : ***Metody wytwarzania oraz charakterystyka aluminidkowych warstw ochronnych stosowanych na elementy części gorącej silników lotniczych***. Promotor: dr inż. Marek Góral, 2012 .r
3. Tomasz Miziniak : ***Badania odporności na korozję wysokotemperaturową warstw ochronnych wytwarzanych na elementach konstrukcyjnych części gorącej silnika lotniczego***. Promotor: dr inż. Maciej Motyka 2012 r.

Prace inżynierskie w realizacji
Tadeusz Kubaszek : ***Wpływ warunków osadzania na mikrostrukturę powłokowych barier cieplnych wytwarzanych metodą PS-PVD,*** dr inż. Marek Góral, 2012 .r

Prace magisterskie w realizacji
Maciej Masłyk : ***Mikrostruktura oraz odporność na utlenianie powłokowych barier cieplnych z międzywarstwą typu MeCrAlY poddanych aluminiowaniu metodą CVD***. Promotor: dr inż. Marek Góral, 2013 r.
Mateusz Maliniak : ***Odporność na cykliczne utlenianie dyfuzyjnych warstw aluminidkowych modyfikowanych cyrkonem***. Promotor: dr inż. Marek Góral, 2013 r.

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO