

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

Wyniki badań Results

Powłoki barierowe warstwą aluminidkową modyfikowaną hafnem

Barrier covers modified by hafno-aluminizing proces.

Warstwę aluminidkową modyfikowaną hafnem wytworzono metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD) stosując 1-godzinne aluminowanie, 8- godzinne hafnoaluminowanie oraz końcowe 1-h aluminowanie. Jako materiał podłoża zastosowano nadstopy niklu: Rene 80, CMSX-4, IN-100, IN-718 oraz MAR M-247. Przeprowadzono pełne badania mikrostruktury w stanie wyjściowym.

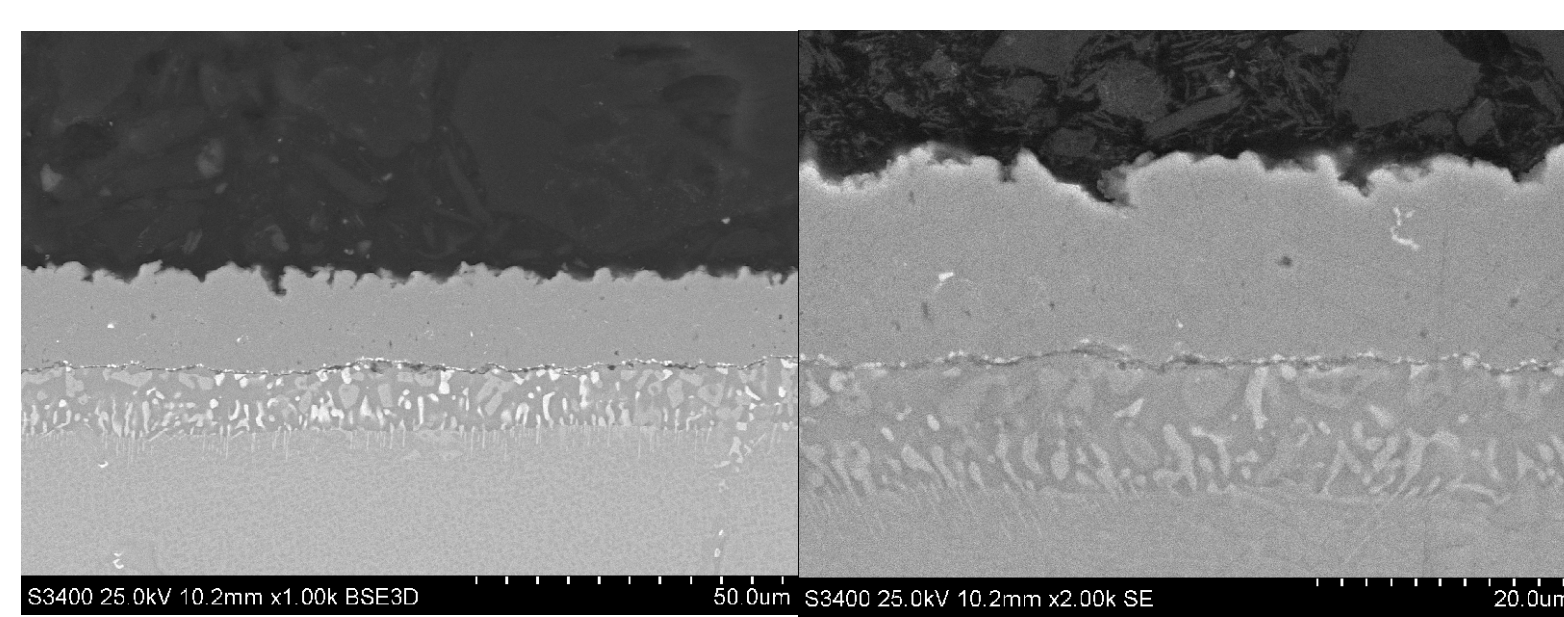
Drugi etap stanowiło przeprowadzenie próby cyklicznego utleniania próbek z warstwą aluminidkową na podłożu stopów CMSX-4, IN-100 oraz IN-718. Badaniom poddano próbki z dwoma wariantami hafnowania i aluminowania

The hafno-aluminizing proces using CVD method was conducted. The surface morphology, microstructu and chemical composition analysis were conducted. The Hf-modified aluminide coating can pe applied as a bondcoats for Thermal Barrier Coatngs. The CMSX-4, IN-100, IN-718 as well as Rene 80 and MAR M-247 was a base material.

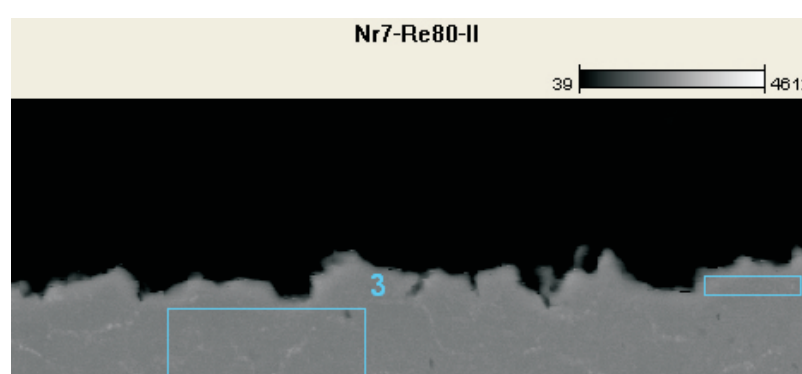
The cyclic oxidation test at 1100oC was conducted. The samples of CMSX-4, IN-100 and IN-718 was a base material. The two variants of aluminizing proces were tested

Wyniki badań Results

Mikrostruktura warstwy aluminidkowej wytworzonej na podłożu stopu Rene 80 w wyniku aluminowania niskoaktywnego z wprowadzaniem hafnu

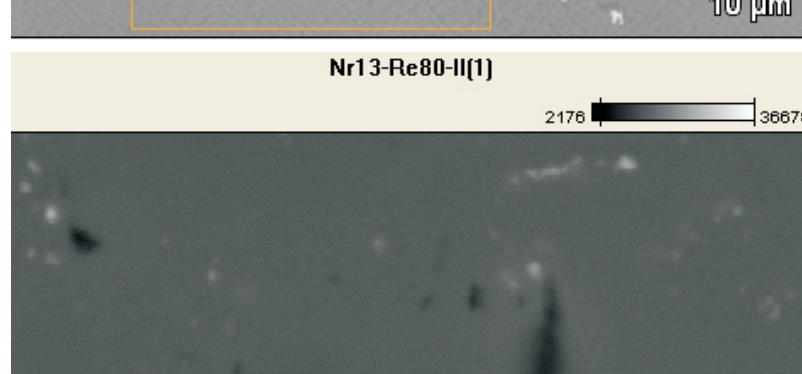


The microstructure of Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity aluminizing process obtained on Re 80 nickel superalloy



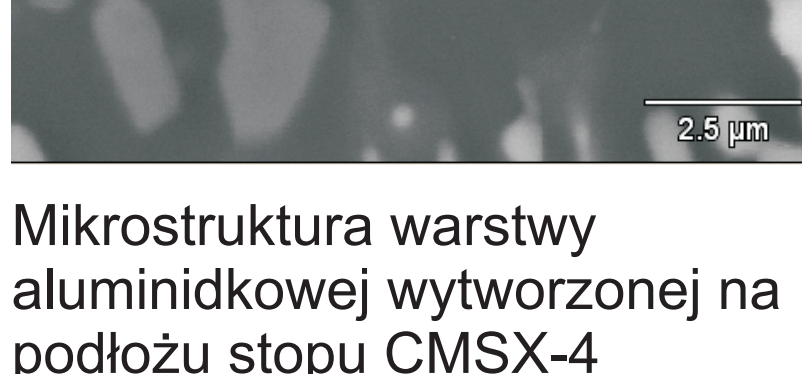
Obszar / Area	Atom %									
	Al	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Mo	Hf	W	
1	40,95	0,40	1,40	0,52	4,72	51,62	0,24	0,15		
2	22,09	8,83	20,08	4,92	39,82	2,12	0,57	1,58		
3	32,08	3,49	8,48	0,30	5,89	48,41	0,49	0,86		
4	11,51	5,61	18,80	0,24	8,22	51,05	2,60	0,66	1,82	
5	6,41	5,85	15,09	9,01	60,19	1,86	0,17	1,43		

Wyniki analizy składu chemicznego w wybranych obszarach mikrostruktury dyfuzyjnej warstwy aluminidkowej modyfikowanej hafnem wytworzonej na podłożu stopu Re 80 Results of EDS analysis in selected areas of sample with Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity process on Re 80 nickel superalloy

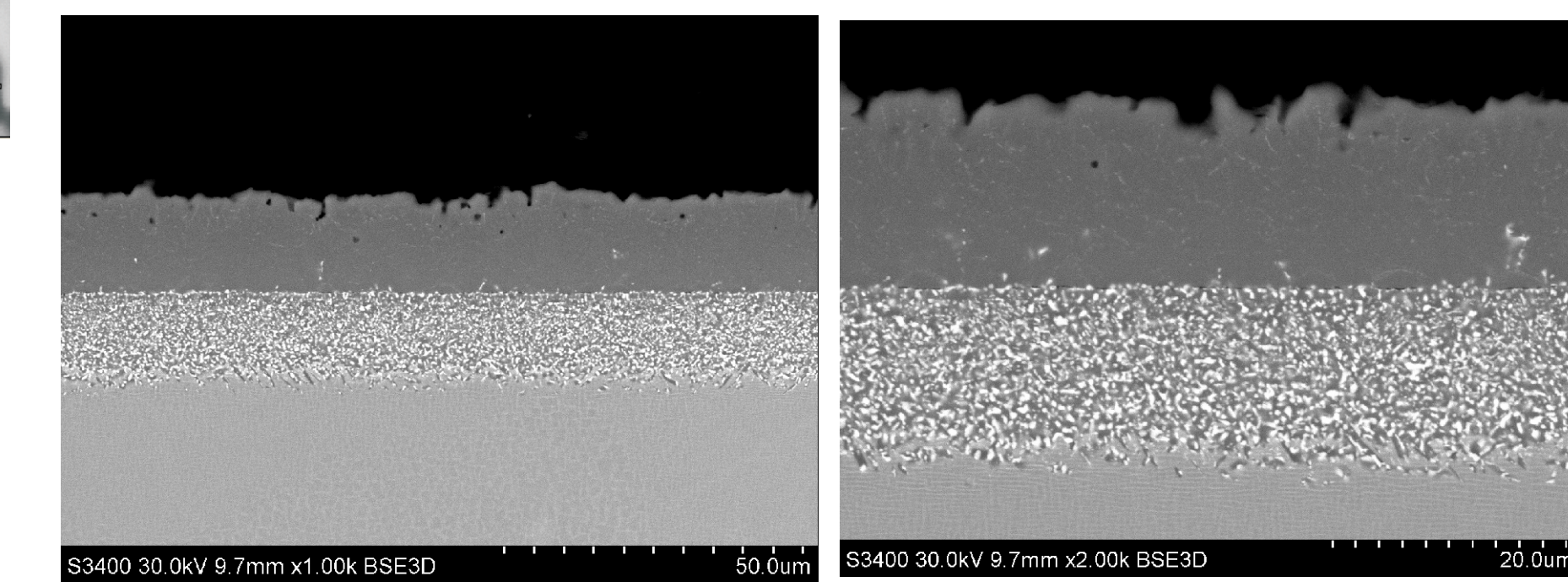


Obszar / Area	Atom %									
	Al	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Hf	W		
1	30,07	2,48	4,09	0,42	6,11	49,05	0,77			
2	33,97	2,51	4,11	0,41	6,26	50,83	1,91			

Wyniki analizy składu chemicznego wydzieli zawierających Hf w dyfuzyjnej warstwie aluminidkowej modyfikowanej hafnem wytworzonej na podłożu stopu Re 80 Results of EDS analysis of precipitations in Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity process on Re 80 nickel superalloy



Mikrostruktura warstwy aluminidkowej wytworzonej na podłożu stopu CMSX-4 w wyniku aluminowania niskoaktywnego z wprowadzaniem hafnu



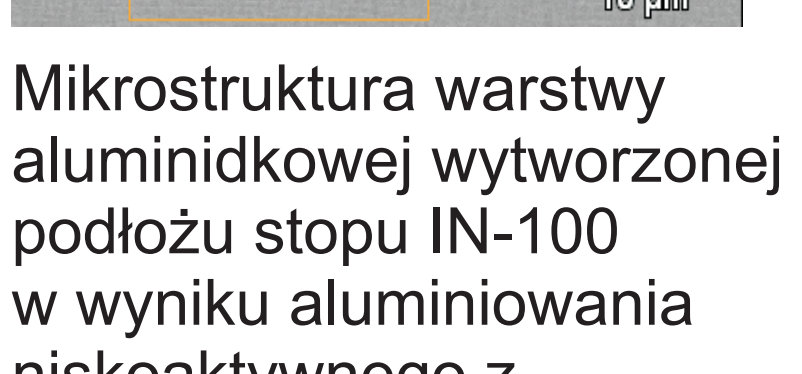
The microstructure of Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity aluminizing process obtained on CMSX-4 nickel superalloy

Wyniki badań Results

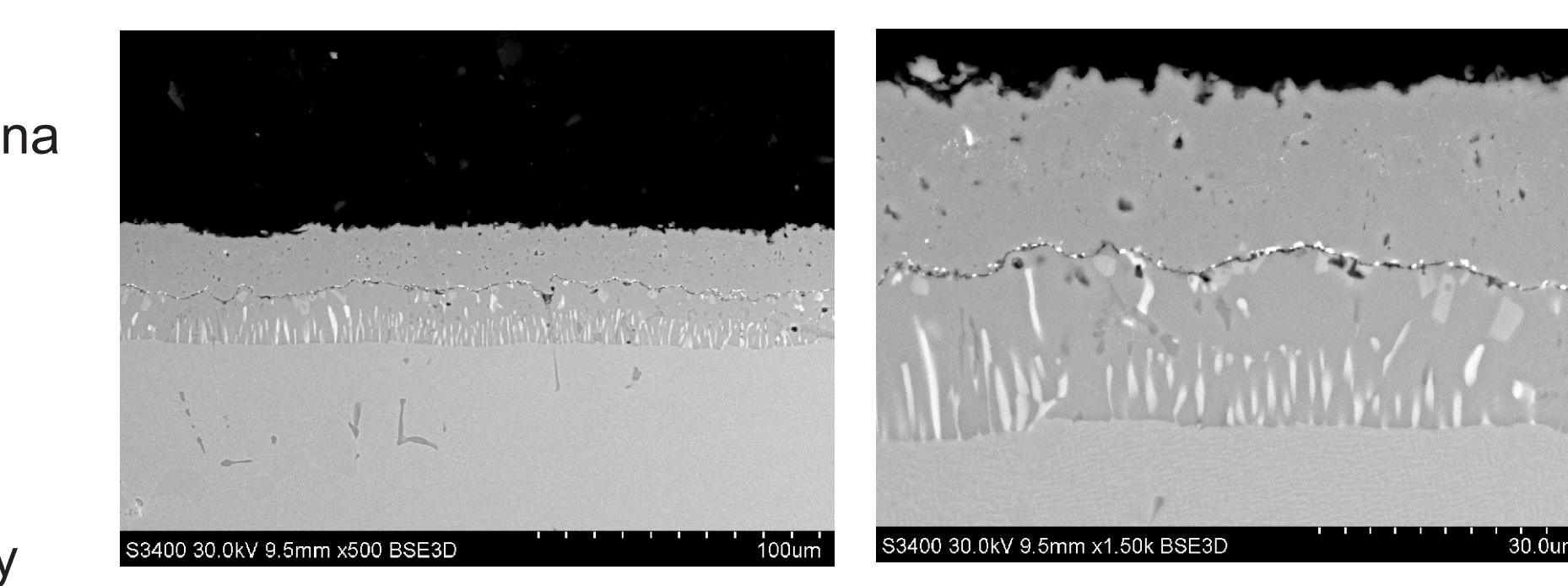


Obszar / Area	Zawartość pierwiastków [% at.]									
	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Hf	Ta	W
1	44,35	0,24	0,76	0,56	3,29	50,81	0,00			
2	39,00	0,22	2,23	0,26	5,35	52,15	0,00			
3	39,24	0,46	2,07	0,40	5,19	52,62	0,02			
4	28,54	1,18	8,21	0,45	8,10	50,28	0,00	1,10	2,14	
5	13,35	1,36	8,47	0,18	9,38	63,54	0,00	1,72	2,01	

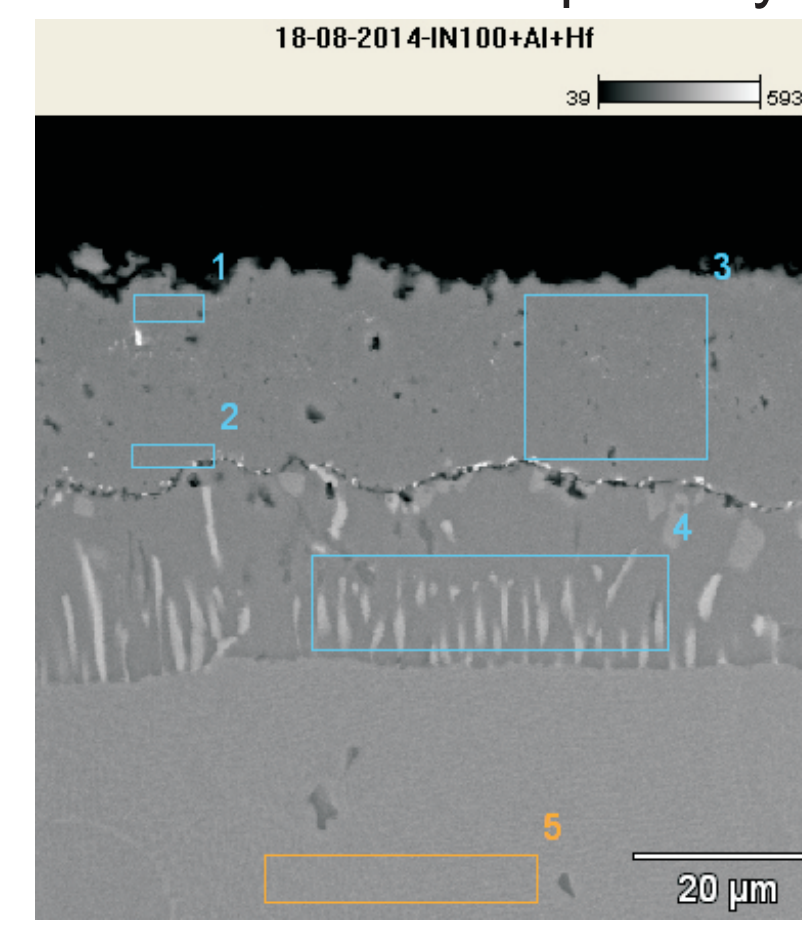
Wyniki analizy składu chemicznego w wybranych obszarach mikrostruktury dyfuzyjnej warstwy aluminidkowej modyfikowanej hafnem wytworzonej na podłożu stopu CMSX-4 Results of EDS analysis in selected areas of sample with Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity process on CMSX-4 nickel



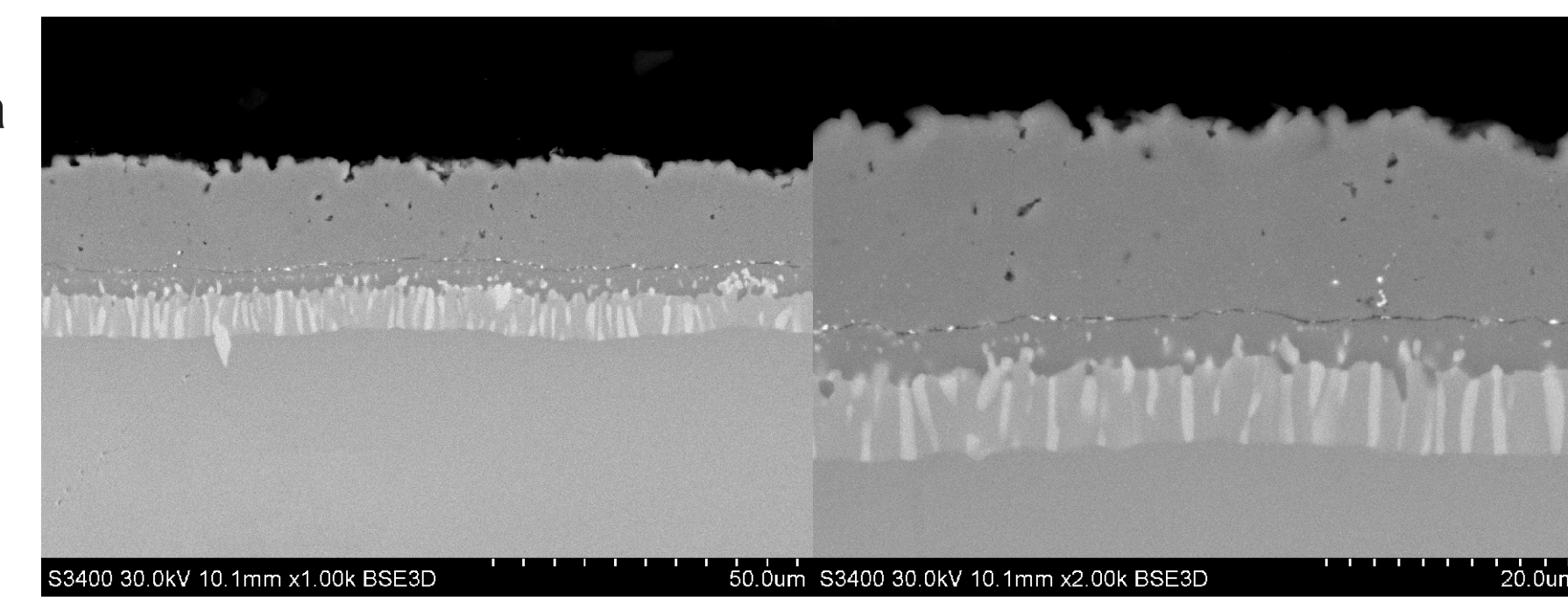
Mikrostruktura warstwy aluminidkowej wytworzonej na podłożu stopu IN-100 w wyniku aluminowania niskoaktywnego z wprowadzaniem hafnu The microstructure of Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity aluminizing process obtained on IN-100 nickel superalloy



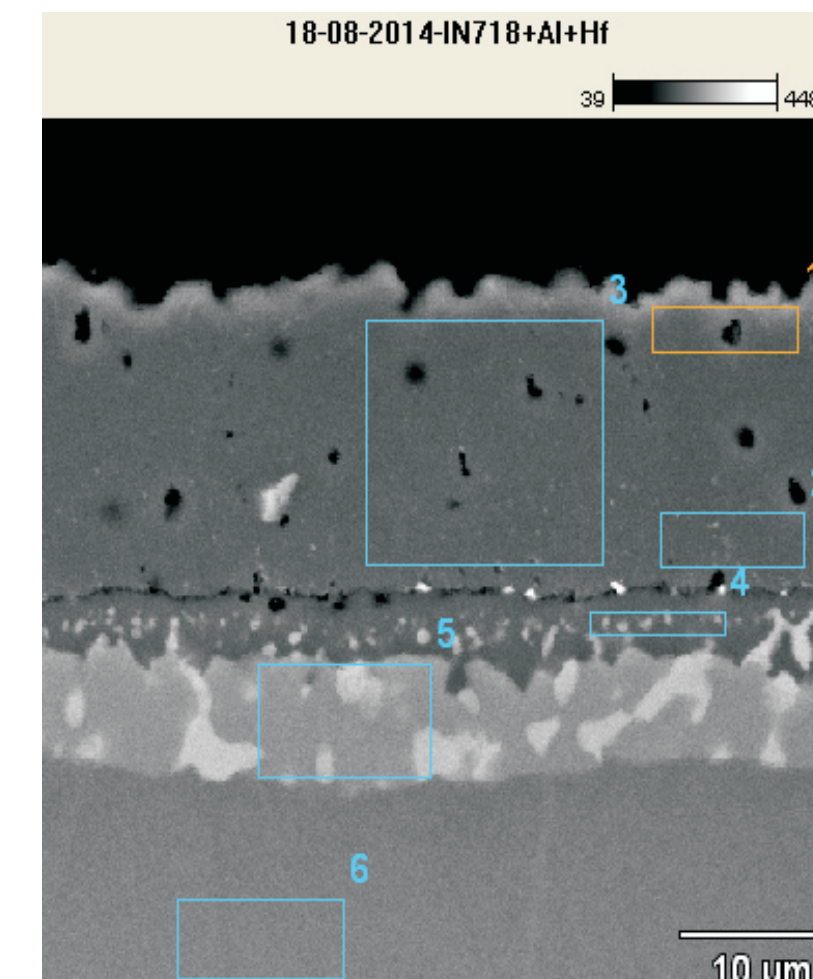
Wyniki analizy składu chemicznego w wybranych obszarach mikrostruktury dyfuzyjnej warstwy aluminidkowej modyfikowanej hafnem wytworzonej na podłożu stopu IN-100 Results of EDS analysis in selected areas of sample with Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity process on IN-100 nickel superalloy



Mikrostruktura warstwy aluminidkowej wytworzonej na podłożu stopu IN-718 w wyniku aluminowania niskoaktywnego z wprowadzaniem hafnu



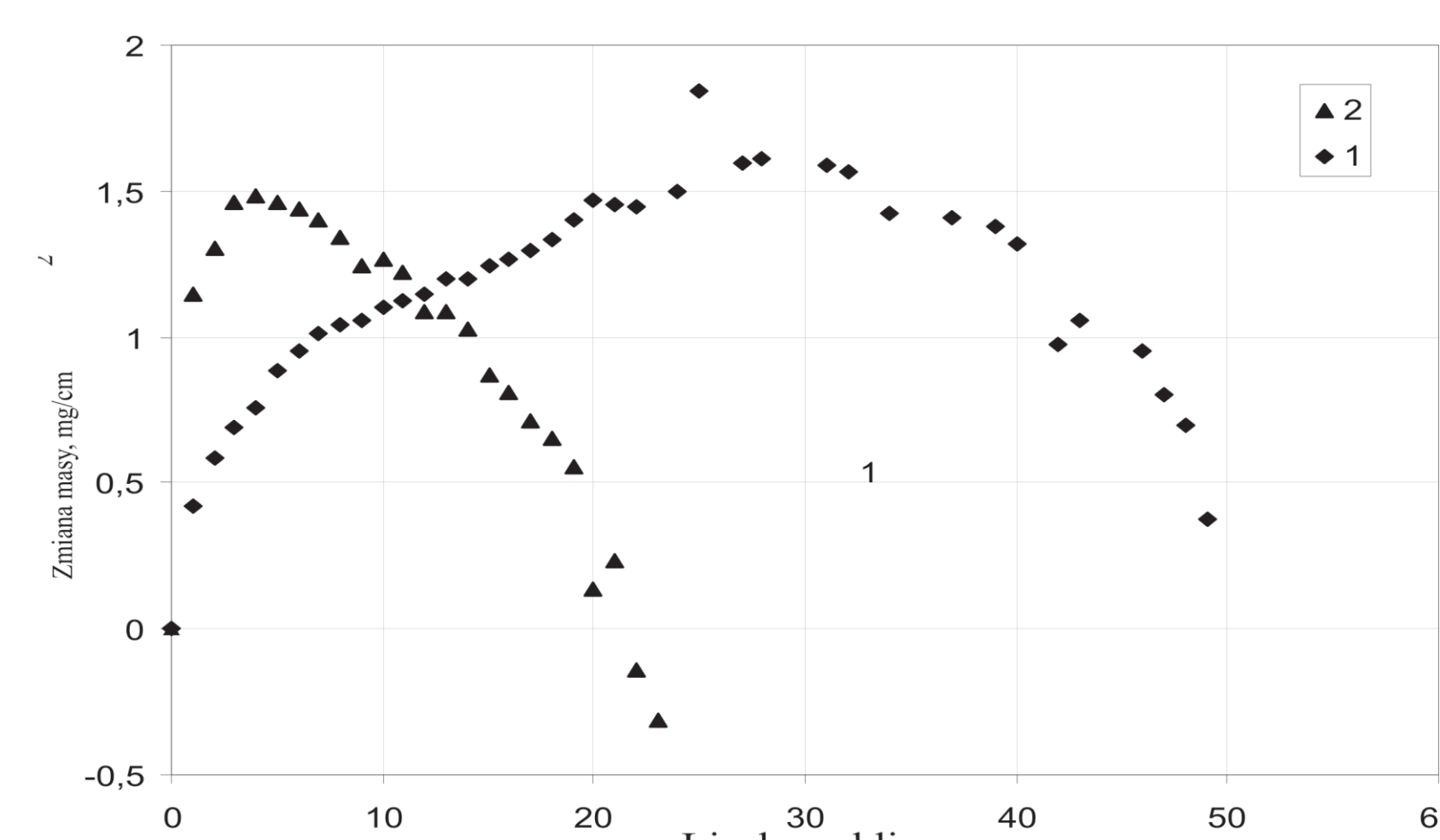
The microstructure of Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity aluminizing process obtained on IN 718 nickel superalloy



Obszar	Zawartość pierwiastków [% at.]									
	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Nb	Mo	Hf
1	39,74	0,23	1,44		5,05	53,54				0,00
2	35,78	0,61	3,53		7,23	52,52	0,34			0,00
3	37,20	0,52	2,52		6,10	53,86				0,00
4	31,51	1,50	4,65		7,99	47,25	6,85			0,24
5	2,99	0,74	39,97	0,29	24,17	18,37	6,97	6,51		0,00
6	5,38	1,15	20,97	0,05	18,70	47,93	4,16	1,66		0,00

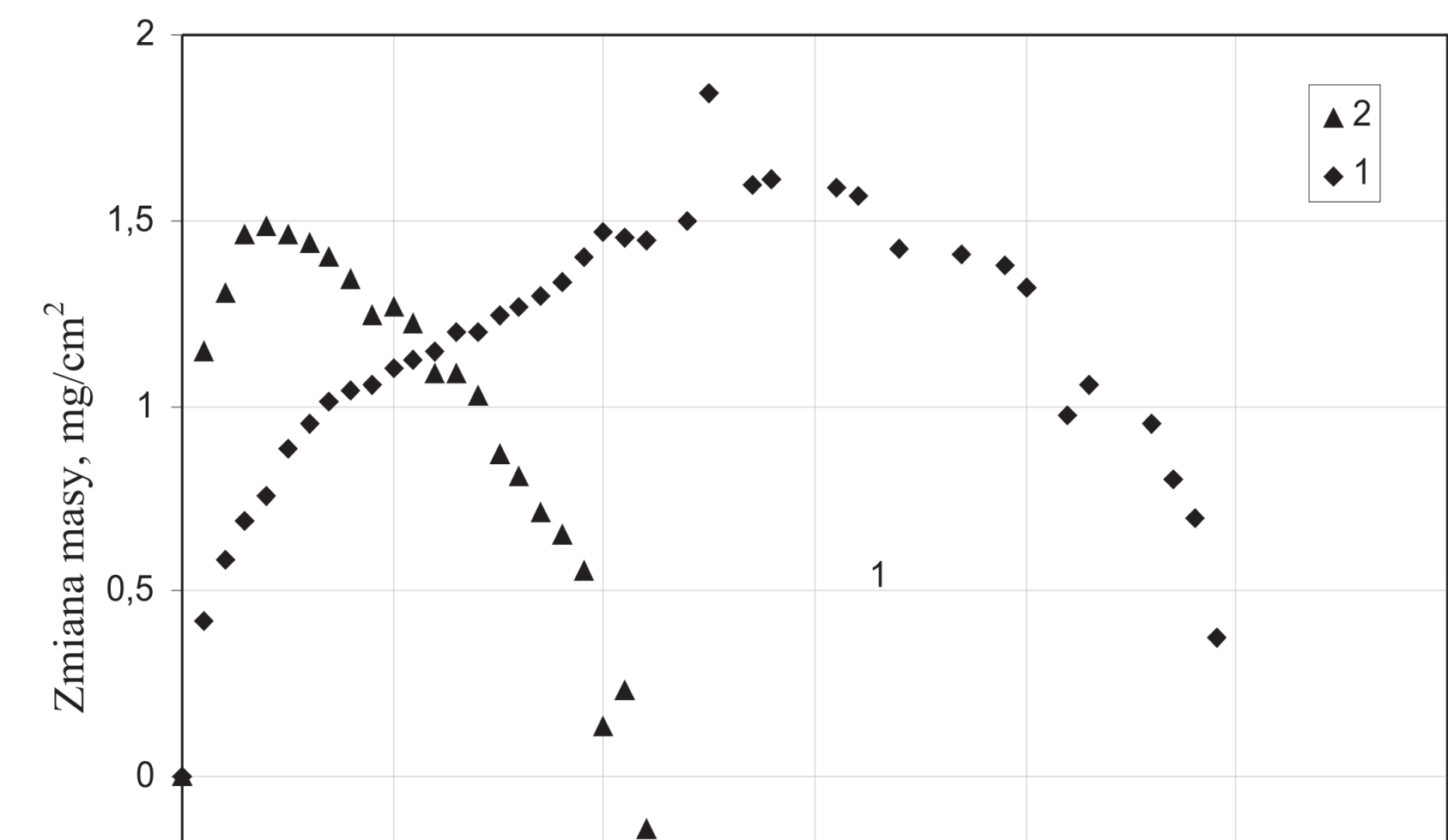
Wyniki analizy składu chemicznego w wybranych obszarach mikrostruktury dyfuzyjnej warstwy aluminidkowej modyfikowanej hafnem wytworzonej na podłożu stopu IN-718 Results of EDS analysis in selected areas of sample with Hf-modified aluminide coating obtained by CVD low activity process on IN-718 nickel superalloy

Wyniki próby cyklicznego utleniania warstwy aluminidkowej modyfikowanej hafnem na podłożu stopu Inconel 718: 1 - aluminowanie 60 min+ aluminowanie i hafnowanie 540 min+aluminowanie 60 min., 2- aluminowanie 240 min+ hafnowanie 60 min;



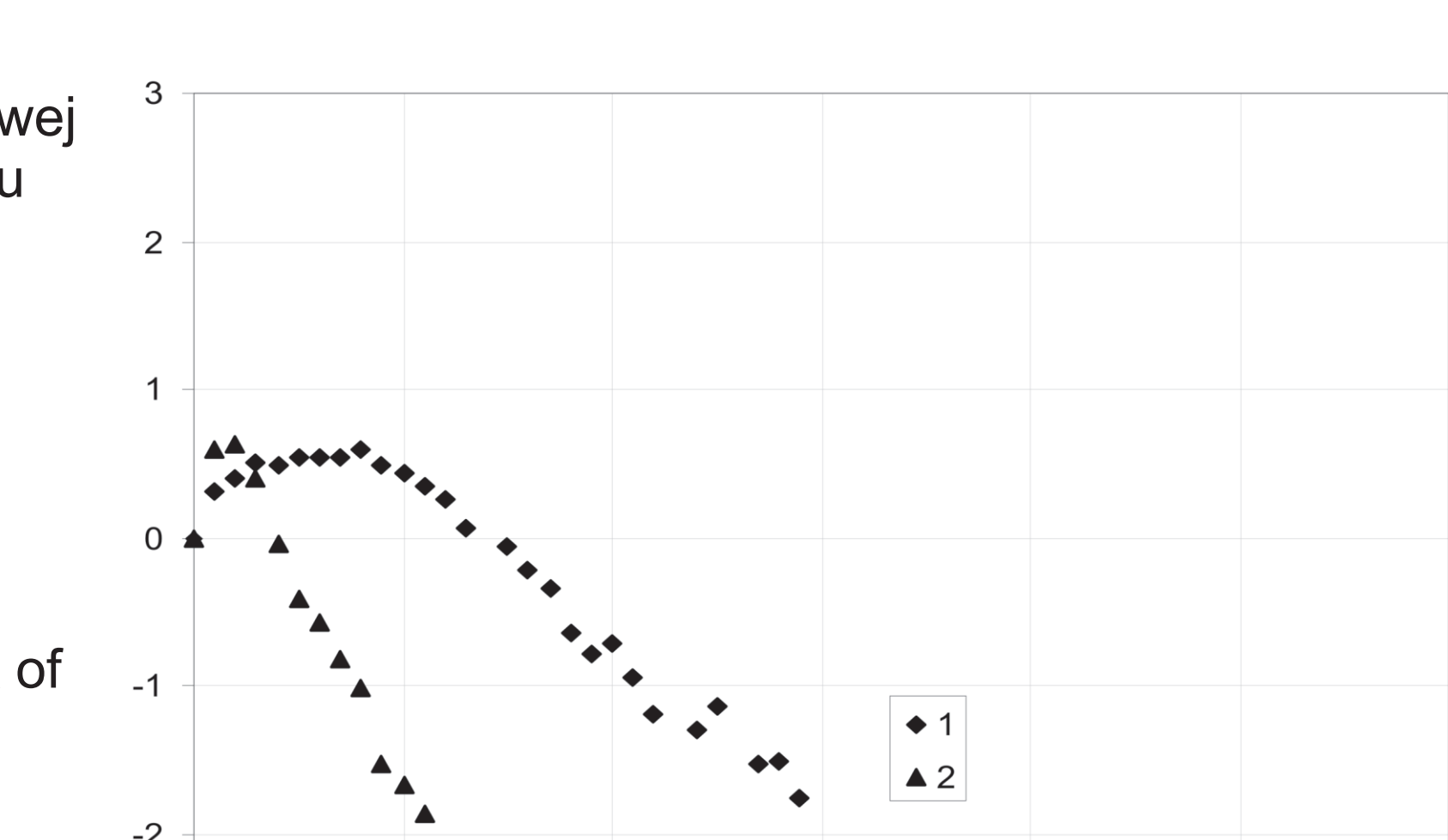
The results of cyclic oxidation test of Hf-modified aluminide coating deposited by CVD method on IN 718 superalloy during processes: 1 -60 min of aluminizing+hafnium-aluminizing 540 min+ aluminizing 60 min, 2- 240 min aluminizing+60 min hafnizing

Wyniki próby cyklicznego utleniania warstwy aluminidkowej modyfikowanej hafnem na podłożu stopu Inconel 100: 1 - aluminowanie 60 min+ aluminowanie i hafnowanie 540 min+aluminowanie 60 min., 2- aluminowanie 240 min+ hafnowanie 60 min;



The results of cyclic oxidation test of Hf-modified aluminide coating deposited by CVD method on IN 100 superalloy during processes: 1 -60 min of aluminizing+hafnium-aluminizing 540 min+ aluminizing 60 min, 2- 240 min aluminizing+60 min hafnizing

Wyniki próby cyklicznego utleniania warstwy aluminidkowej modyfikowanej hafnem na podłożu stopu CMSX-4: 1 - aluminowanie 60 min+ aluminowanie i hafnowanie 540 min+aluminowanie 60 min., 2- aluminowanie 240 min+ hafnowanie 60 min;



The results of cyclic oxidation test of Hf-modified aluminide coating deposited by CVD method on CMSX-4 superalloy during processes: 1 -60 min of aluminizing+hafnium-aluminizing 540 min+ aluminizing 60 min, 2- 240 min aluminizing+60 min hafnizing

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...

Thermal barrier coatings can be used for oxidation and high temperature protection of first

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Collaboration with aviation industry

W ramach zadania badawczego aluminowanie metodą VPA wykonano we współpracy z WSK PZL-Rzeszów SA

During the task the Vapour Phase Aluminizing was conducted in cooperation with WSK-PZL Rzeszów SA

Wskaźniki realizacji 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
 - 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

- Publikacje**
- Filip, R., Zagula-Yavorska, M., Pytel, M., Romanowska, J., Maliniak, M., Sieniawski, J. *The oxidation resistance of nonmodified and Zr-modified aluminide coatings deposited by the CVD method* (2015) Solid State Phenomena, 227, pp. 361-364.
 - Romanowska, J., Zagula-Yavorska, M., Góral, M., Sieniawski, J., *Zirconium modified aluminide coatings obtained by the CVD method* (2015) Solid State Phenomena, 227, pp. 174-177.
 - Zagula-Yavorska, M., Sieniawski, J., Filip, R. *The influence of the chemical composition of superalloys on the oxidation resistance of aluminide coating* (2015) Solid State Phenomena, 227, pp. 365-368

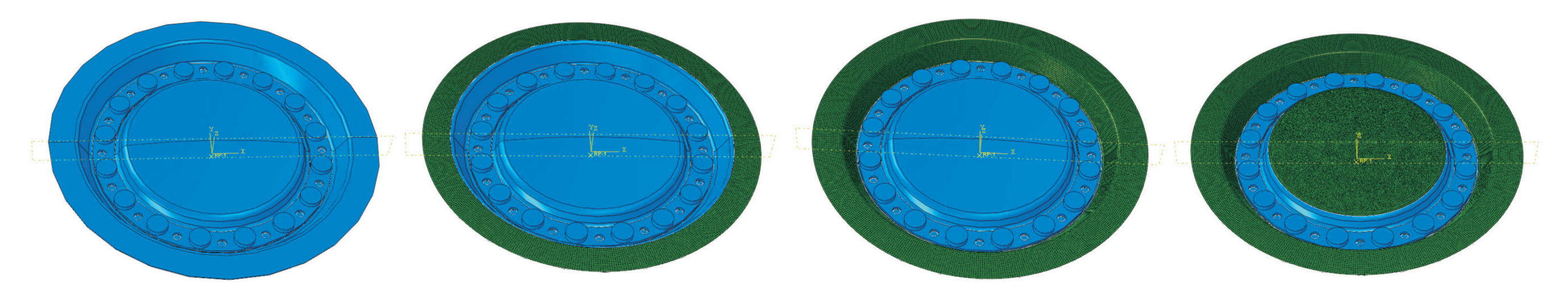
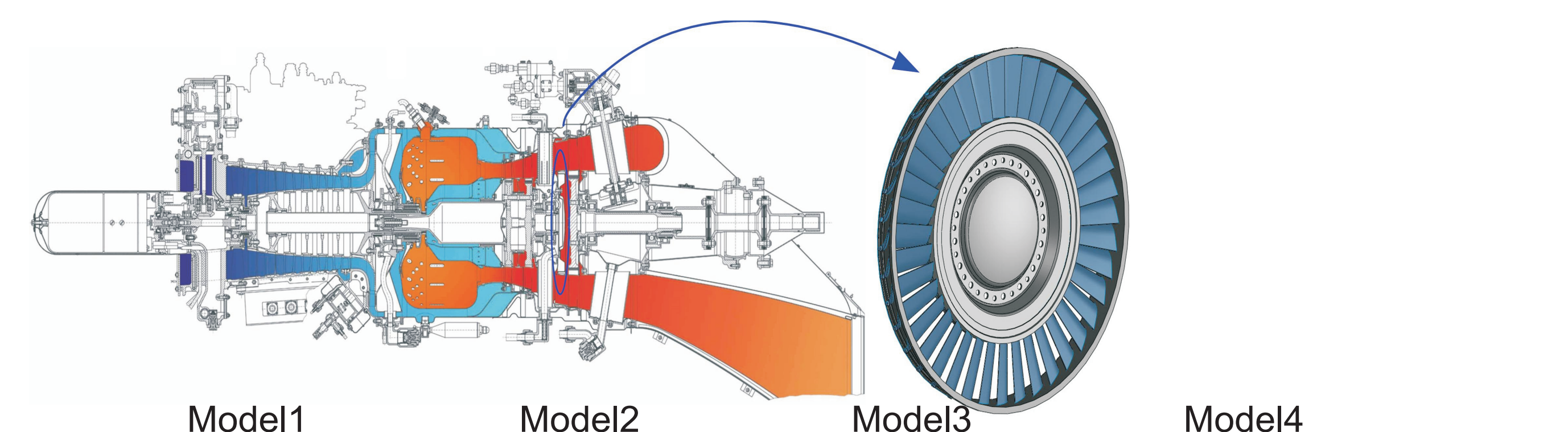
Wyniki badań Results

Określenie pól temperatur i naprężeń cieplnych w łącznikach mechanicznych silników lotniczych

Determination of temperature and thermal stresses fields in mechanical connectors of aircraft engines

Istotą symulacji numerycznych była analiza wpływu naniesienia powłoki ochronnej TBC na wartości temperatur oraz naprężeń cieplnych, które powstają w łącznikach mechanicznych po czasie 1s od uruchomienia silnika.

The essence of the numerical simulations was to analyze the influence of the TBC coating application on the values of temperatures and thermal stresses arising in the mechanical connectors after 1s from engine start.

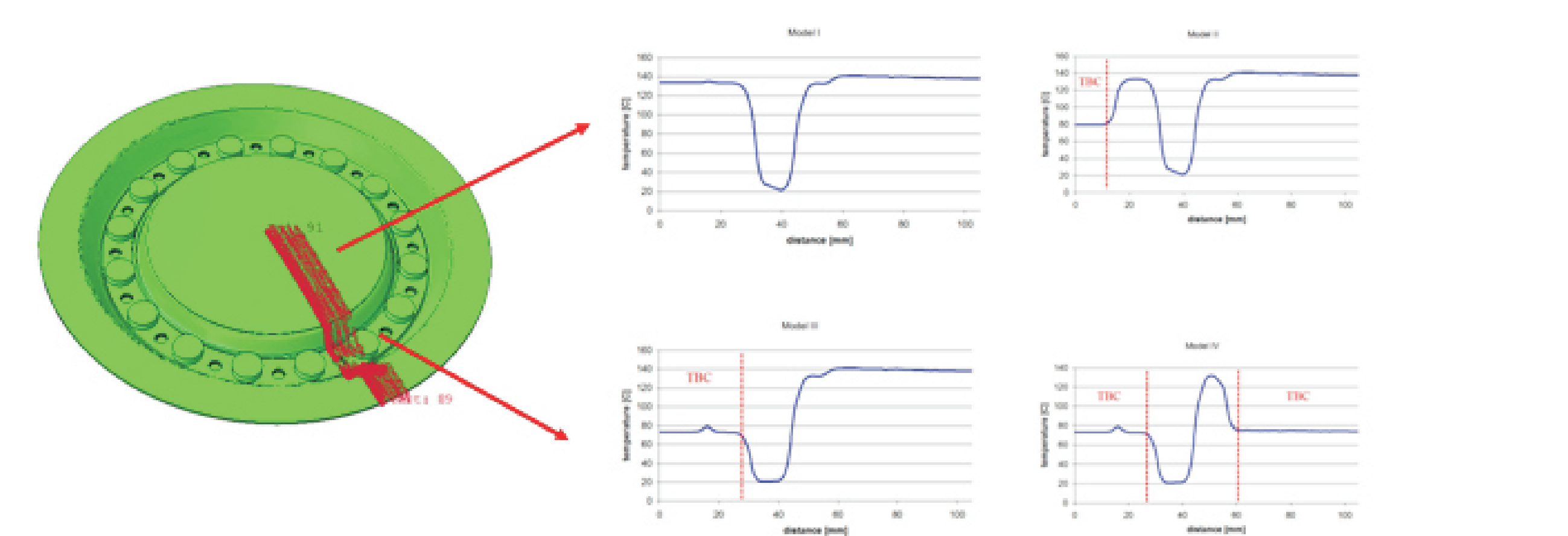
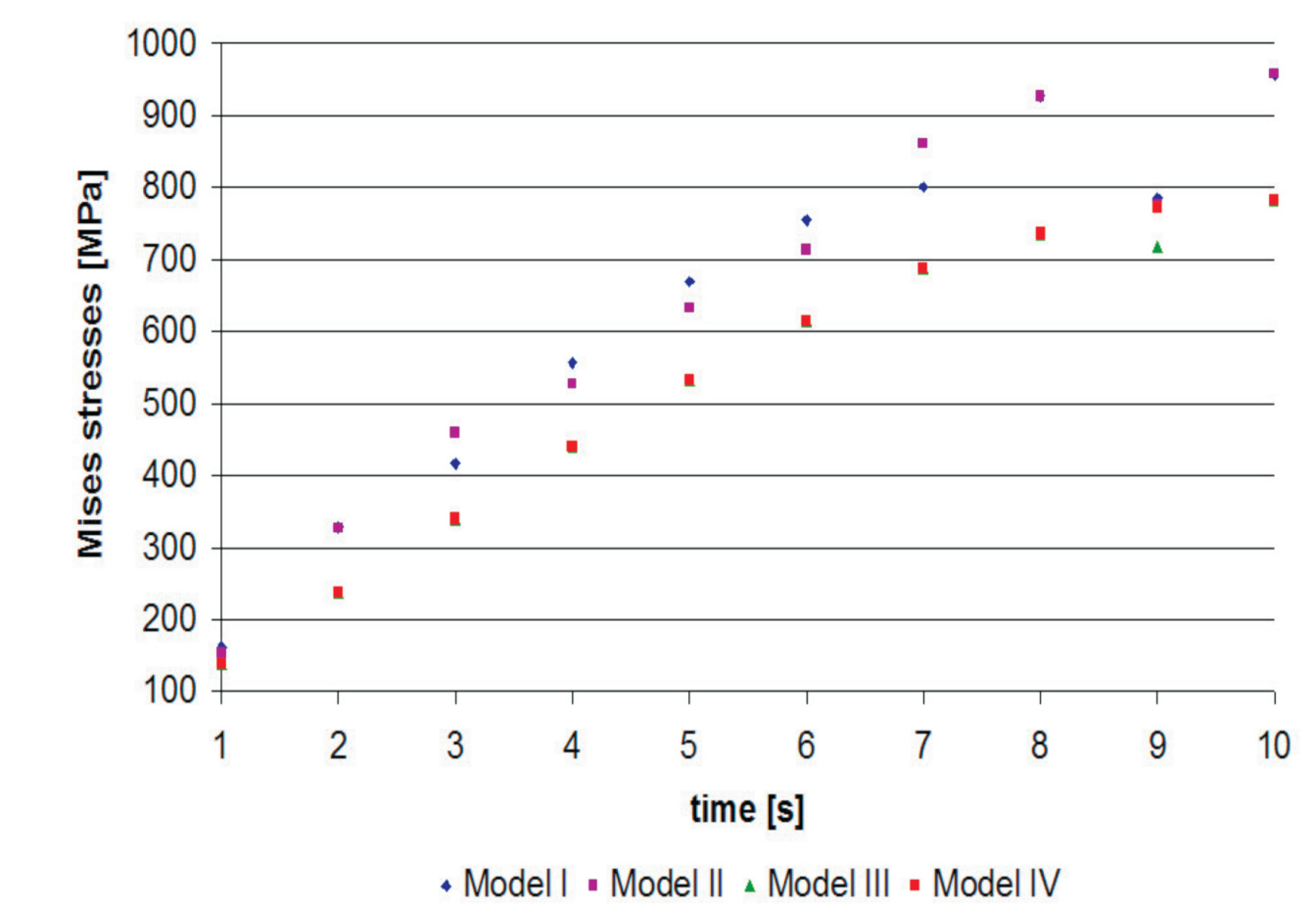


Pokrycie TBC było zbudowane z dwóch warstw: podkładu o grubości 0,2mm oraz pokrycia o grubości 0,3mm.

TBC was made of two layers: BC- bond coat with thickness of 0,2mm and TC-top coat with thickness of 0,3mm.

W tym celu zostały zbudowane 4 modele z różną powierzchnią warstwy TBC.

For his purpose four models with different TBC surface area were built



Wnioski

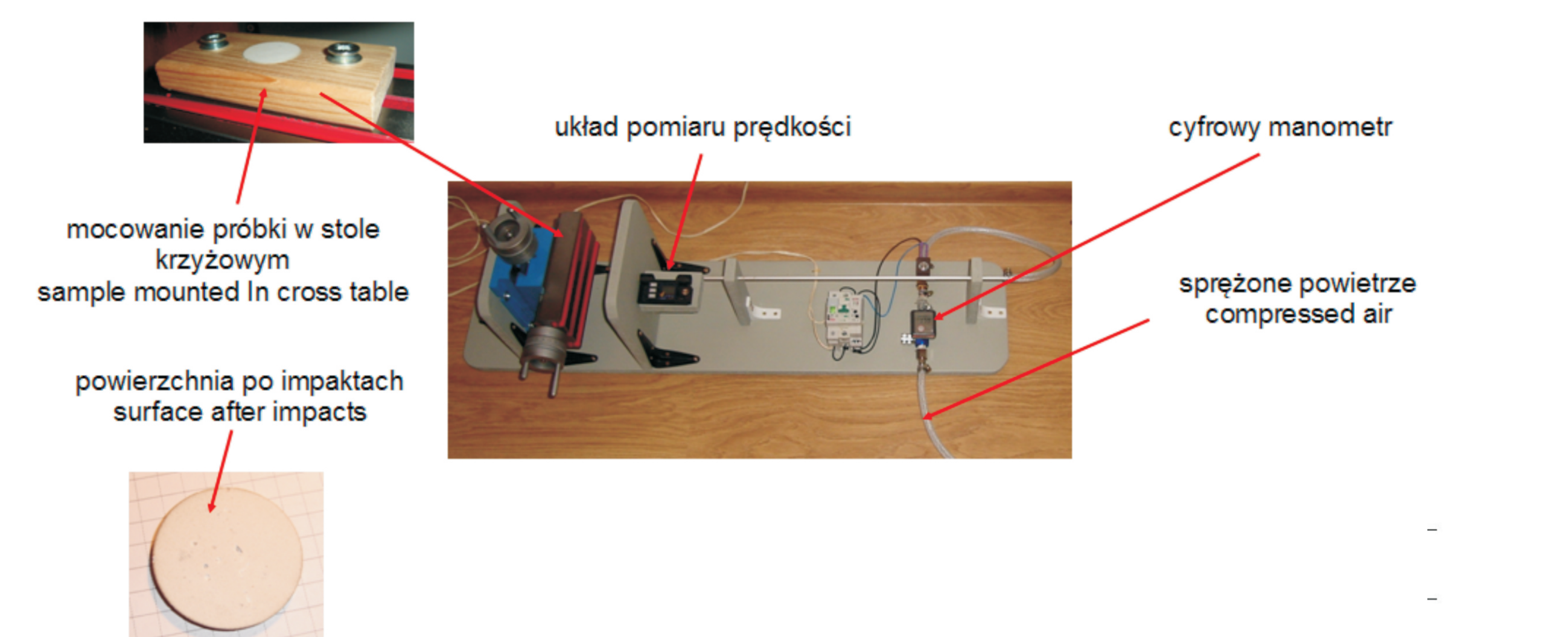
Conclusions

Z powyższych wykresów wynika, że stosowanie powłoki ochronnej TBC pozwala w znaczny sposób obniżyć temperaturę tarczy tj. o około 43%.

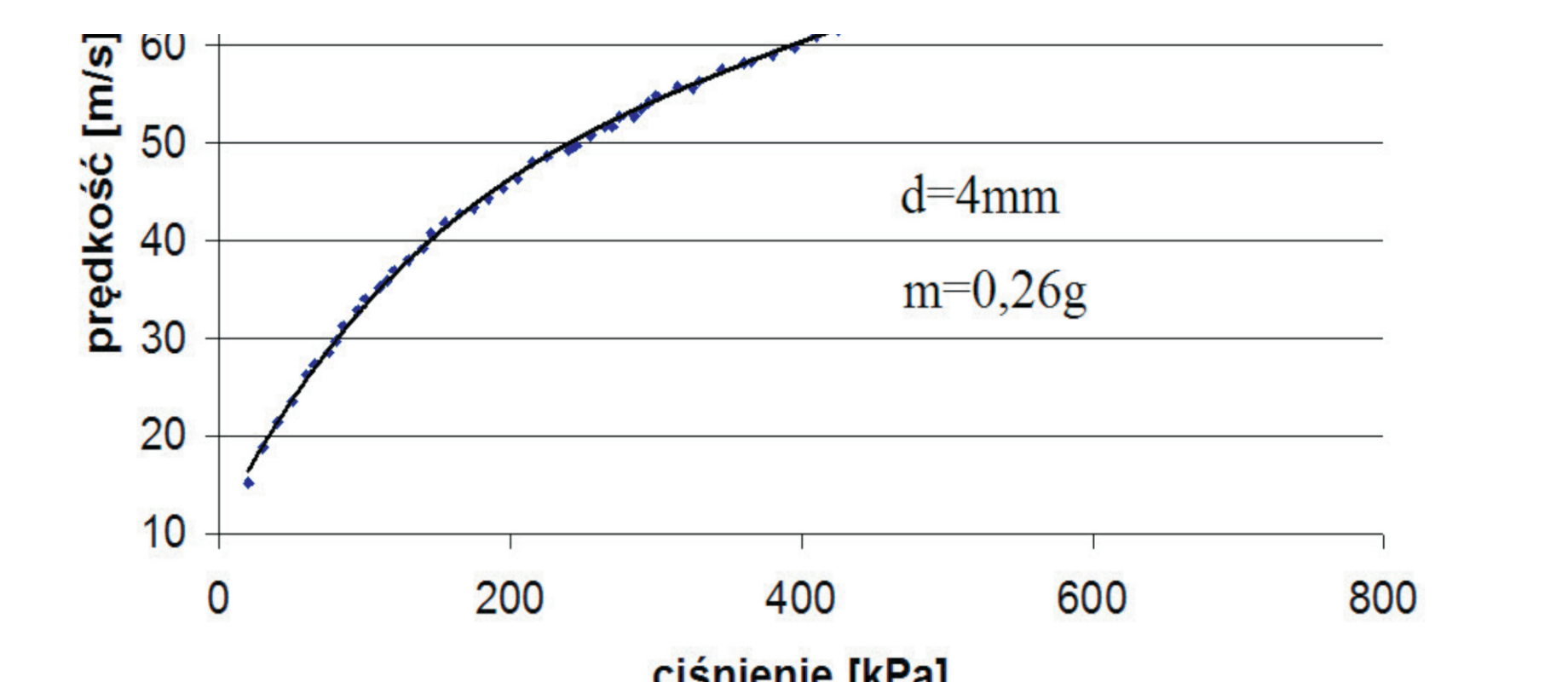
The above graphs shows, that the application of a protective TBC coating can significantly decrease the disk temperature of about 43%

Stanowisko do badania uderzeń cząstek w powłoki TBC

Experimental stand for impacts of particles in TBC layers



Charakterystyka urządzenia dla węgelnika o masie m=0,26g i średnicy d=4mm



The characteristics of the apparatus for mass indenter m=0,26g and diameter d=4mm