

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

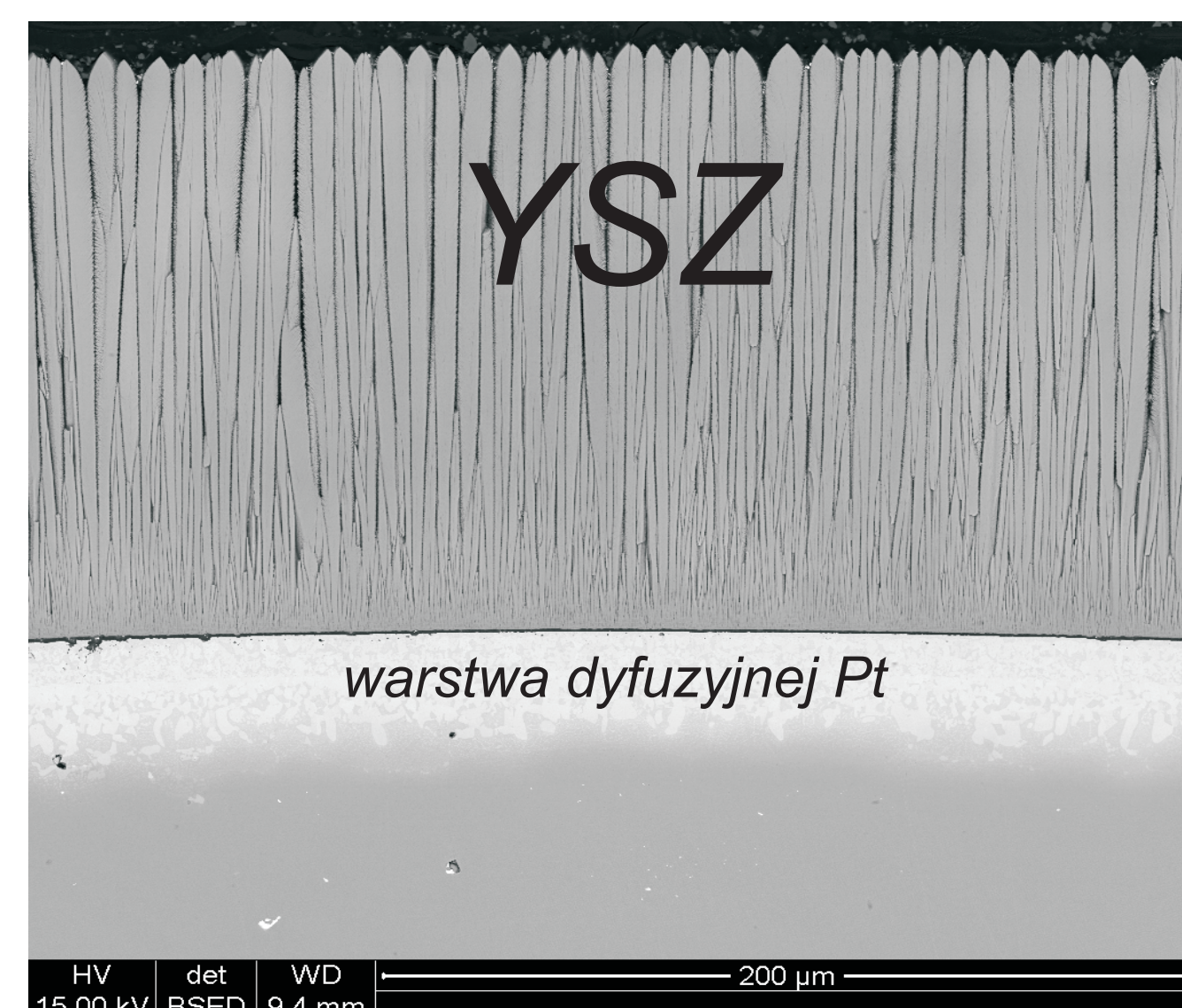
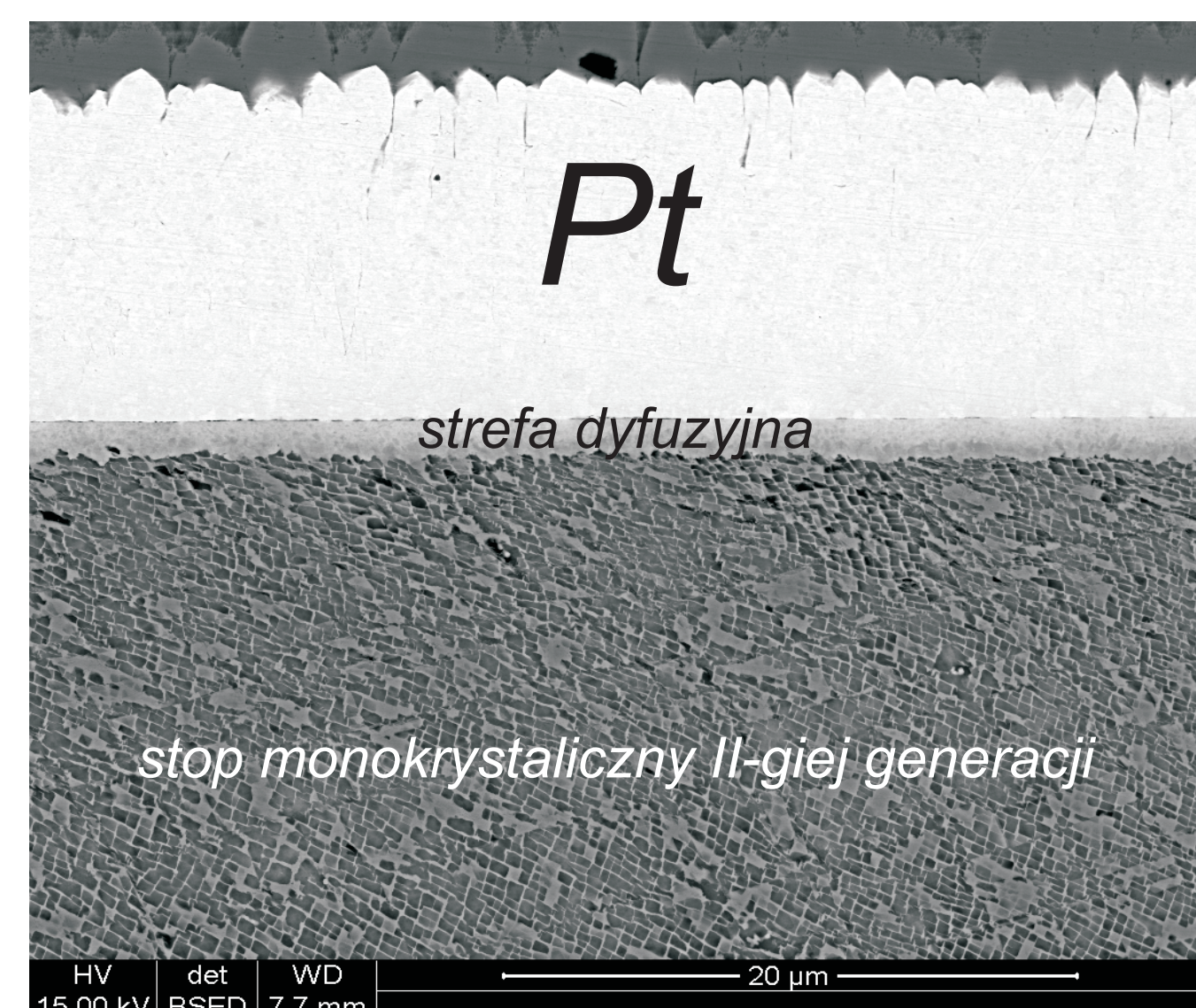
Nowoczesne powłoki barierowe na krytyczne części silnika. Modern barrier covers on critical engine parts

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

Wyniki badań Results

Zadanie
Opracowanie podstaw technologii wytwarzania modyfikowanych powłok aluminiowych oraz powłok krzemkowych metodami gazowymi w tym, stanowiących międzywarstwy pod powłoki TBC otrzymywane metodą EB-PVD na łopatkach kierujących turbin

Technology grounds elaboration of modified aluminide coatings and silicide coatings by gaseous methods for bondcoats for TBC coatings obtained by EB-PVD on blades and vanes.



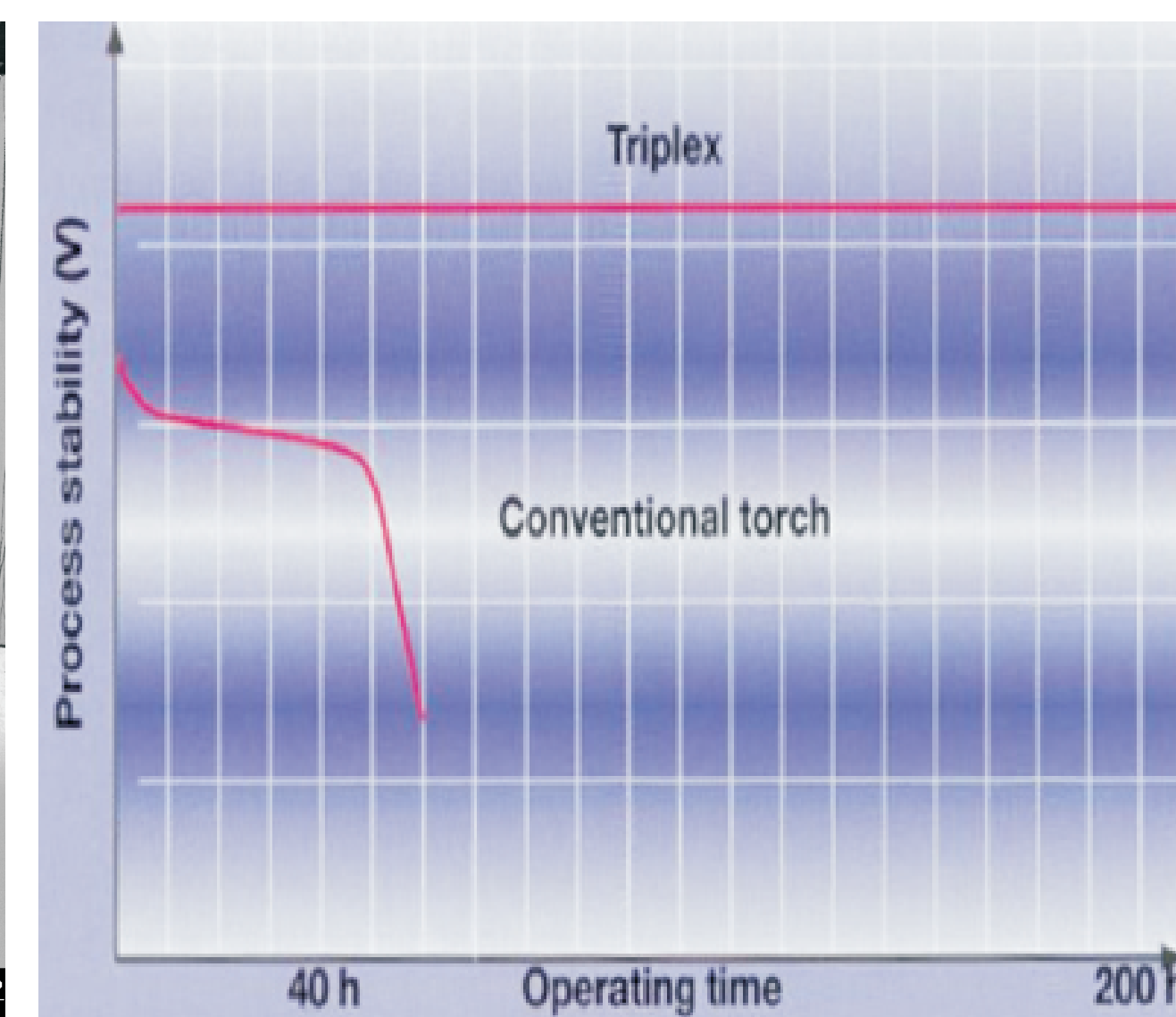
Mikrostruktura warstwy platyny po procesie osadzania
Microstructure of the platinum layer after deposition process

Mikrostruktura powłokowej bariery cieplnej TBC wytworzona metodą EB-PVD
Microstructure of a thermal barrier coating TBC produced by EB-PVD

Wyniki badań Results

Zadanie
Opracowanie parametrów technologicznych procesu wytwarzania powłok TBC metodą natryskiwania cieplnego z zastosowaniem nowoczesnej aparatury TRIPLEX oraz nowych materiałów ceramicznych.

Development of parameters for technological process of TBC deposition using thermal spraying applying novel apparatus TRIPLEX and new materials



Porównanie wydajności systemu TRIPLEX do konwencjonalnego systemu plazmy
Performance comparison of conventional APS system to TRIPLEX PRO 200 plasma system

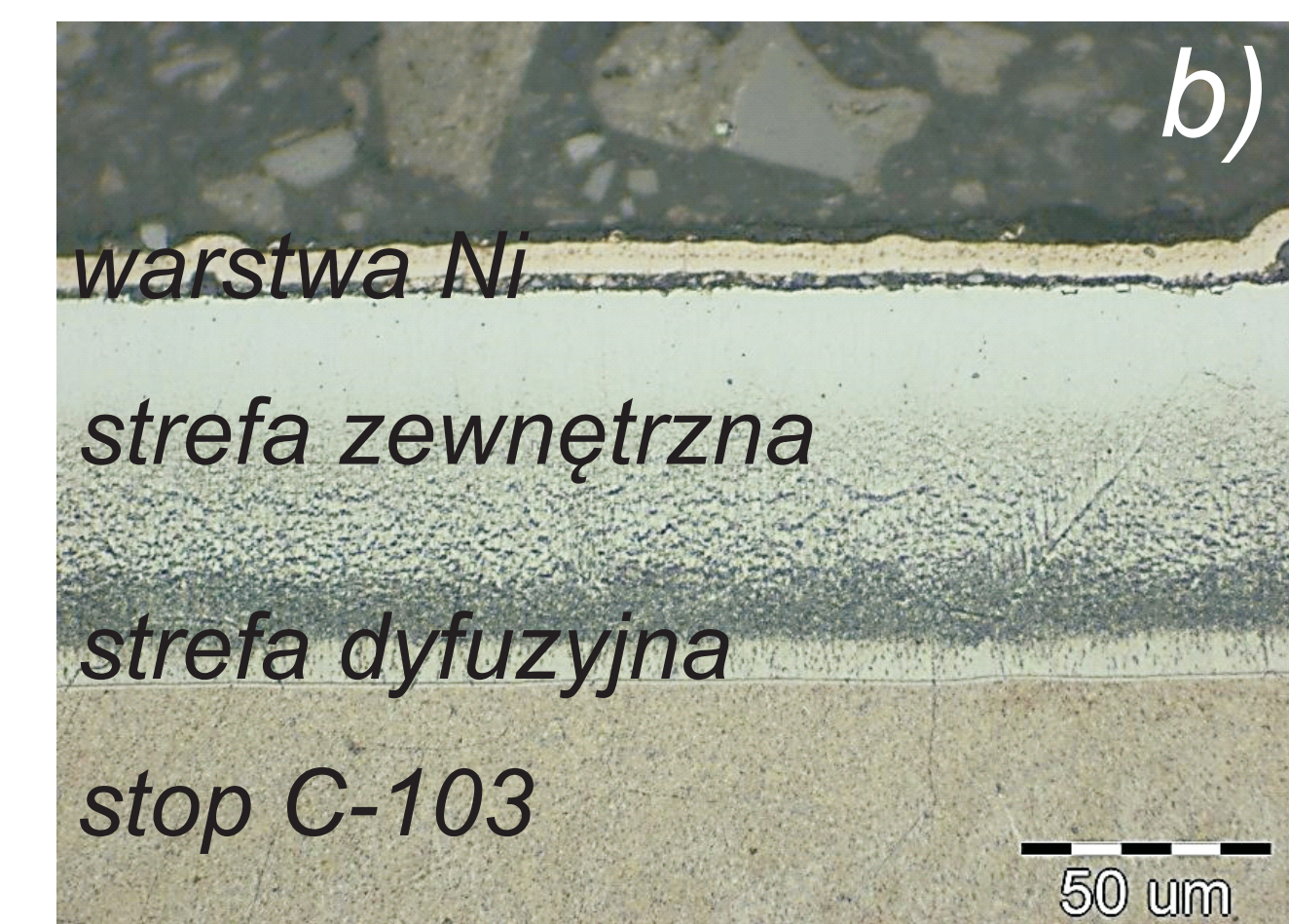
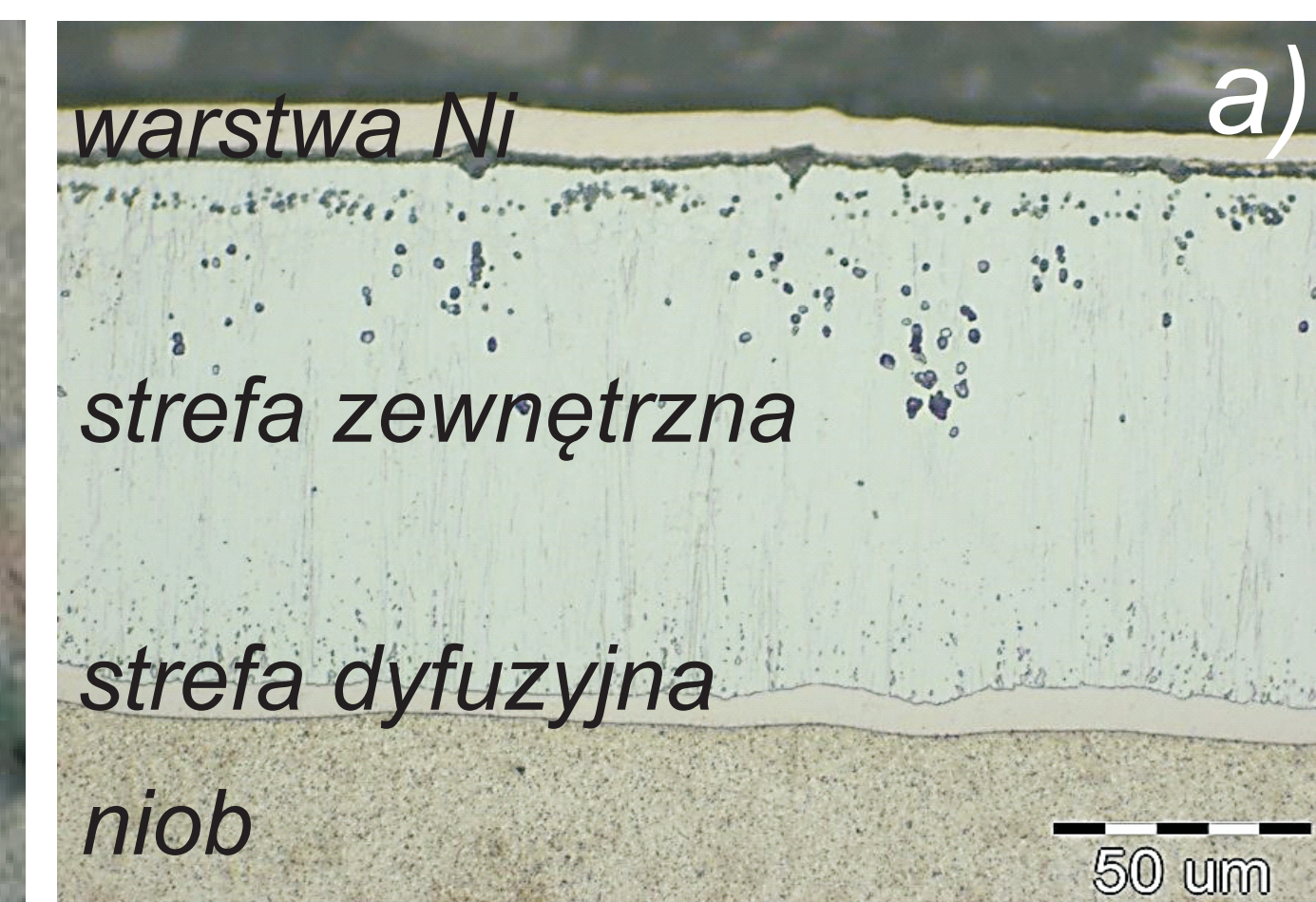


Trójelektrodowy system TRIPLEX PRO 200
Triple electrode TRIPLEX PRO 200 system

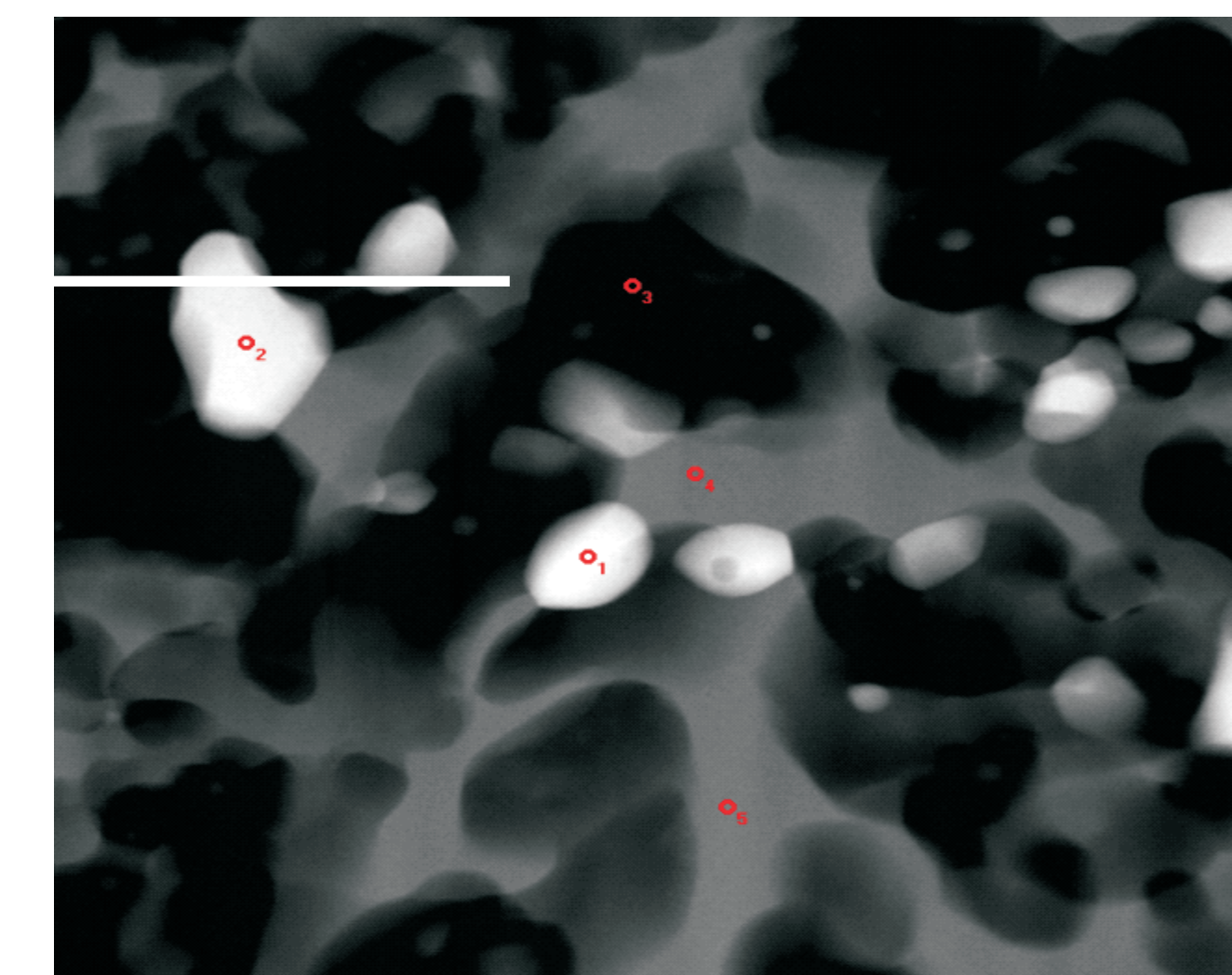
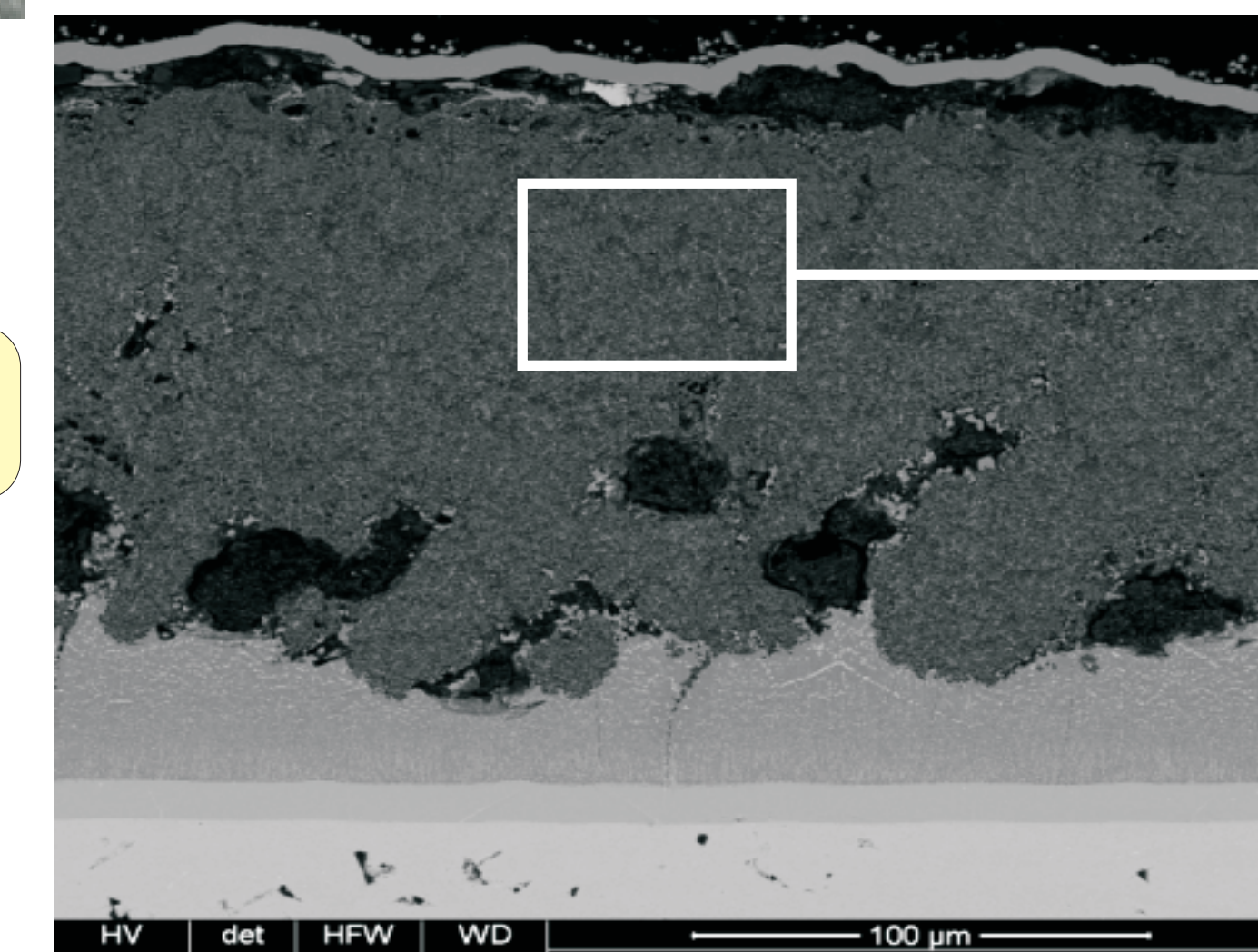
Wyniki badań Results

Zadanie
Badania degradacji powłok w warunkach cyklicznego utleniania w środowisku gazów spalinowych (burner rig). Badania nieniszczące powłok.

Investigation of coatings degradation under cyclic oxidation conditions in exhaust gases (burner rig). Non-destructive evaluation.



Mikrostruktura warstw krzemkowych wytworzonych metodą kontaktowo-gazową na niobie a) oraz stopie C-103 b)
Microstructure of silicide coatings obtained by pack cementation on niobium a) and C-103 alloy [M. Zawadzki]



Mikrostruktura zgorzeliwej warstwy krzemkowej na stopie niobu C-103 po teście izotermicznego utleniania 1100°C po 183 h
Scale microstructure of silicide coating on niobium alloy C-103 after isothermal oxidation test of 1100°C after 183 h [M. Zawadzki]

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Skaner 3D do pomiaru grubości powłok TBC metodą nieniszczącą
3D scanner for measuring coating thickness TBC by non-destructive method

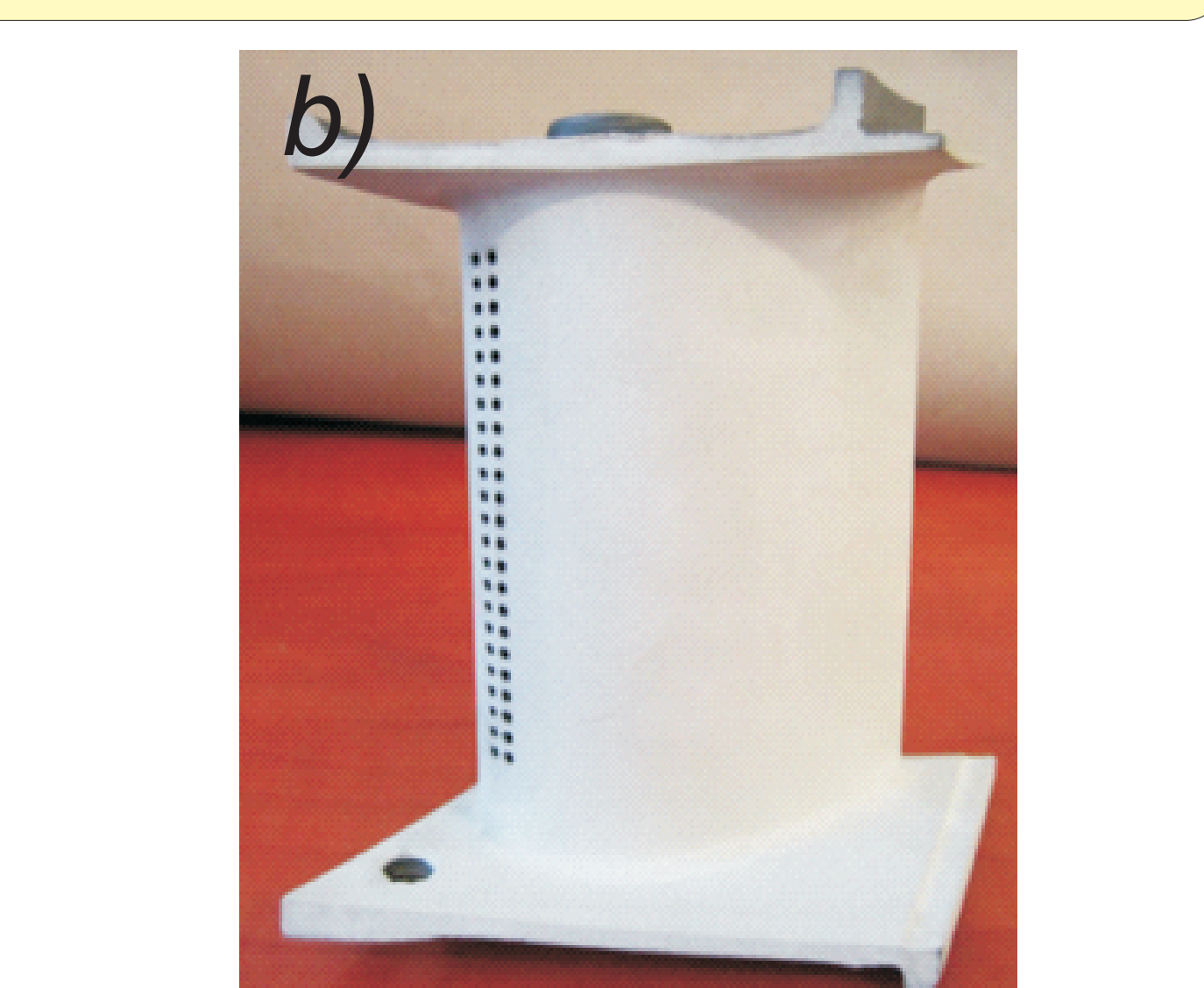


Łopátka kierująca turbin silnika lotniczego z powłokową barierą ceramiczną wytworzoną metodą EB-PVD oraz modyfikowaną platyną międzywarstwą
Turbine vane of aircraft engine with a ceramic barrier coating prepared by EB-PVD and modified platinum bondcoat

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Łopátka turbin silnika turbodrzutowego śmigłowca a) oraz turbinowego samolotu b) po procesie natryskiwania warstwy TBC za pomocą systemu TRIPLEX PRO 200 oraz drążenia laserowego
Turbojet engine turbine blade of a helicopter a), and the turbine blade of aircraft b) coating after the thermal spraying process by TRIPLEX PRO 200 and the laser drill



Wewnętrzna a) oraz zewnętrzna b) część elementu silnika lotniczego po procesie natryskiwania warstwy TBC za pomocą systemu TRIPLEX PRO 200 oraz drążenia laserowego
Inner a) and outer b) surface of the jet engine part after the spraying process TBC layer using a system TRIPLEX PRO 200 and laser drill

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Powłokowa bariera cieplna TBC
Warstwa NbSi ₂
Warstwa Nb ₅ Si ₃
Podłoże Nb lub C-103



Model powłoki barierowej TBC na podłożu z niobu i na stopie C-103
Model of TBC coatings on Nb and Nb alloy C-103 [M. Zawadzki]

Propozycje komercyjnego zastosowania powłok żaroodpornych wytworzonych na trudnotopliwych materiałach, niob oraz stop niobu C-103
Proposals for commercial use of high temperature coatings produced on refractory materials, niobium and niobium alloy C-103 [M. Zawadzki]

Wnioski Conclusions

1. Warstwy krzemkowe otrzymywane metodą kontaktowo-gazową oraz aluminiowo-krzemowe otrzymywane metodą nanoszenia zawiesin i wygrzewania zwiększają odporność na utlenianie niobu i jego stopu C-103

Silicide coatings obtained using pack cementation method and silicoaluminizing by slurry deposition and annealing increase oxidation resistance of niobium and its alloy C103

2. Warstwy Al-Si wytworzone metodą zawiesinową złożone były z fazy Al₃Nb oraz krzemków niobu NbSi₂ i Nb₅Si₃. W strukturze warstw krzemkowych otrzymanych metodą kontaktowo-gazową występowały fazy NbSi₂ oraz Nb₅Si₃.

Al-Si coatings obtained using slurry method consisted of Al₃Nb phase and niobium silicides NbSi₂ and Nb₅Si₃. In the structure of silicide coatings obtained by pack cementation method NbSi₂ and Nb₅Si₃ phases were present.

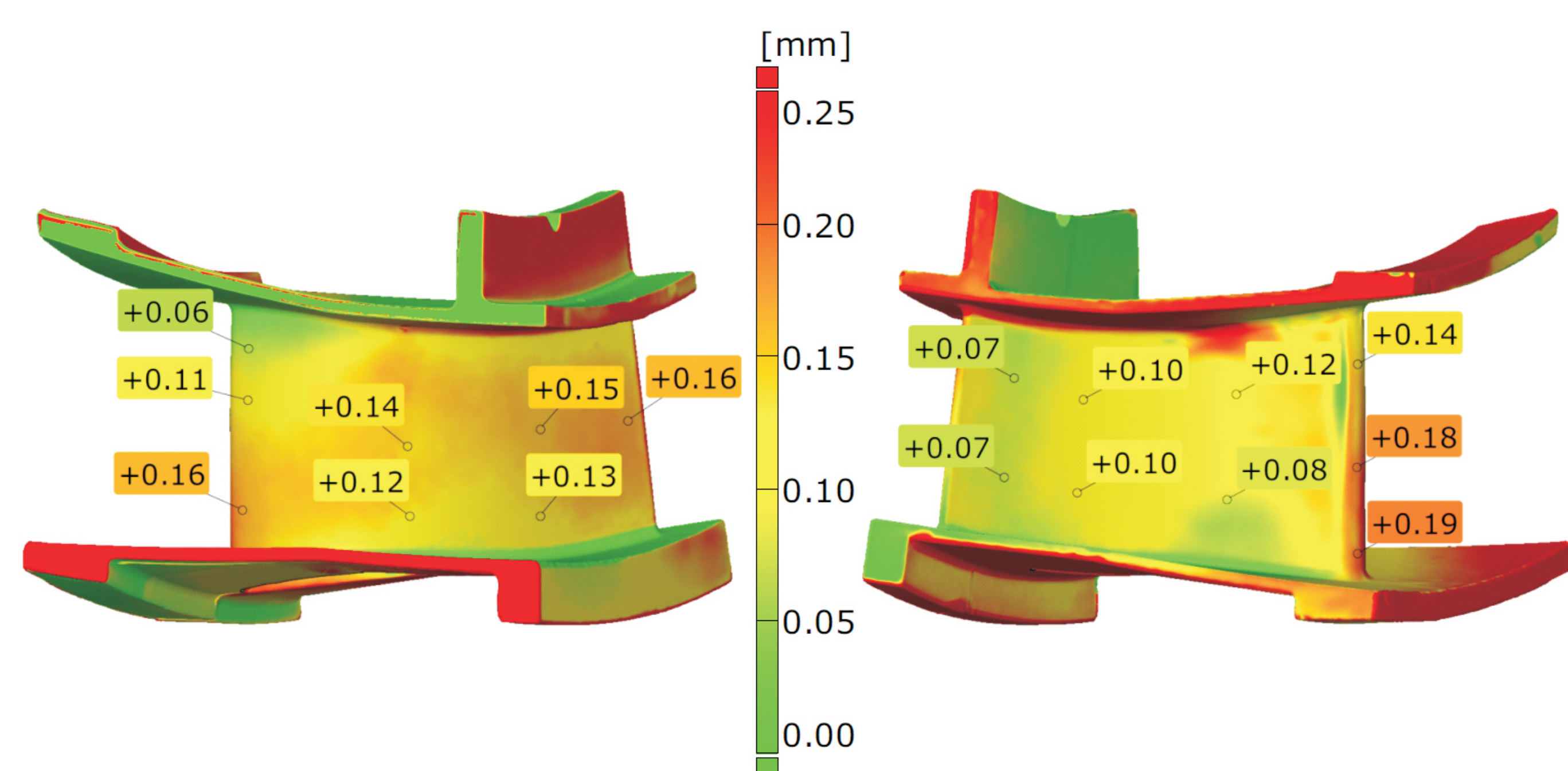
3. Mikrostruktura, skład chemiczny i fazowy oraz parametry procesu obróbki cieplnej warstw wytworzonych wybranymi metodami wpływają na odporność na utlenianie wysokotemperaturowe niobu oraz stopu niobu C-103. Największą odpornością na utlenianie izotermiczne w temperaturze 1100°C charakteryzowały się warstwy krzemkowe wytworzone metodą kontaktowo-gazową i następnie w kolejności: warstwy wytworzone dwuetapowo oraz metodą zawiesinową.

Microstructure, chemical and phase composition as well as heat treatment parameters of coatings obtained using selected methods influence high temperature oxidation resistance of niobium and C-103 alloy. The highest isothermal oxidation resistance at 1100°C was exhibited by silicide

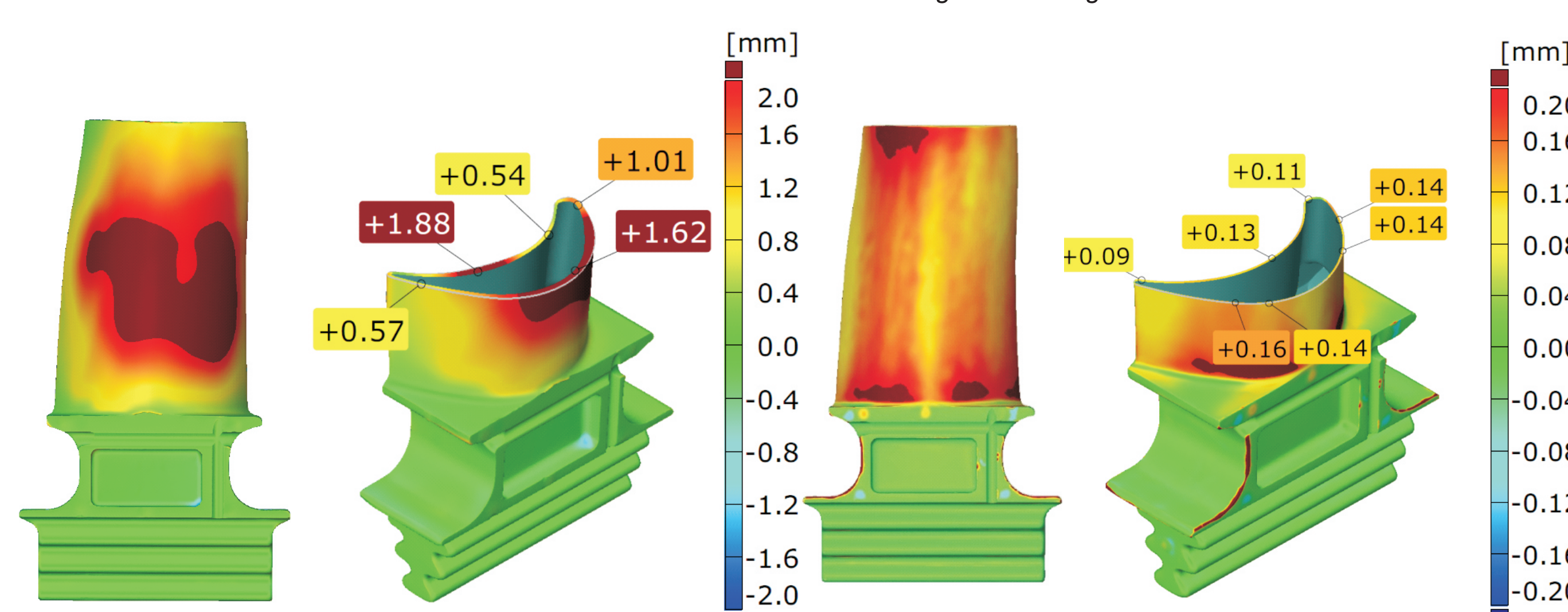
Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty
1. Swadźba R., i in. *Modification of Aluminide Bond Coatings for EB-PVD TBCs with Pd and Pt Using Novel CHC-PVD method*, ICMCTF 2014, San Diego, USA, Referat
2. Swadźba R., i in. *High Temperature Oxidation of EB-PVD TBCs on Pt-diffused Single Crystal Ni Superalloy*, ICMCTF 2014, San Diego, USA, Poster

Publikacje
1. Swadźba R., Wiedermann J., Hetmańczyk M., Swadźba L., Witala B., Moskal G., Mendala B., Komendera L., *Microstructural examination of TGO formed during pre-oxidation on Pt-aluminized Ni-based superalloy*, Materials and Corrosion 65 (3), 2014, pp. 319-323
2. Przeliorz R., Swadźba L., *Utleńianie niobu oraz stopu C-103 z warstwą krzemkową otrzymaną metodą kontaktowo-gazową*, Ochrona przed korozją vol.57, nr5, 2014, pp. 155-159
3. Swadźba R., i in. *Modification of Aluminide Bond Coatings for EB-PVD TBCs with Pd and Pt Using Novel CHC-PVD method*, Surface and Coatings Technology - publikacja w recenzji
Prace doktorskie (I-sze półrocze 2014)
Tytuł: *Technologiczne podstawy wytwarzania oraz właściwości powłokowych barier cieplnych z drążonymi laserem otworami na wybranych elementach silnika lotniczego*
Autor: mgr inż. Paweł Sosnowy
Promotor: dr hab. inż. Lucjan Swadźba prof. nzw. Pol. Si.
Status: *Obrona pracy 18.03.2014 - praca zakończona*



Pomiar i rozkład grubości powłokowych barier cieplnych wykonany za pomocą skanera 3D metodą nieniszczącą
Measurement and thickness distribution of thermal barrier coating made using non-destructive 3D scanner



Optymalizacja procesu natryskiwania powłokowych barier cieplnych TBC. a) przed optymalizacją, niejednorodna, zbyt wysoka grubość warstwy, b) po optymalizacji, jednorodny rozkład grubości warstwy
Optimization of thermal barrier coating process a) before optimization, heterogeneous, too high thickness of the coating, b) after the optimization, a uniform coating thickness distribution

Wnioski Conclusions

1. Przeprowadzone badania dotyczyły zastosowania warstwy wierzchniej monokrystalicznego nadstopu Ni drugiej generacji wzbogaconej w Pt jako międzywarstwy dla powłokowych barier cieplnych (TBC) otrzymywanych metodą EB-PVD. Osadzanie Pt zostało przeprowadzone z wykorzystaniem nowej techniki fizycznego osadzania z fazy gazowej (PVD).

The conducted study concerned the application of Pt-enriched surface layer of a 2nd generation SX Ni superalloy as a bond coating for EB-PVD Thermal Barrier Coatings. The deposition of Pt layer was conducted using a novel Physical Vapor Deposition (PVD) method.

2. Rozwój warstwy tlenkowej TGO następował poprzez zarodkowanie i wzrost kolumnowych ziarn Al₂O₃ na granicy rozdzielną porowatą strefą Al₂O₃ a podłożem. Stwierdzono, że granice ziarn warstwy TGO są wzbogacone w Hf, Y i Ta, natomiast nie stwierdzono obecności Zr.

The evolution of the TGO involved the nucleation and growth of columnar α-alumina grains at the interface between the porous α-alumina and the substrate. The grain boundaries of the TGO were found to be doped with Hf, Y and Ta while no Zr was detected.

3. Odwarstwienie powłoki ceramicznej YSZ, które zaobserwowano nieniszczącą metodą skanowania 3D powstało na skutek niezahamowanego utleniania Ni, które następowało w obszarach gdzie proces utleniania nie był kontrolowany przez wzrost Al₂O₃, ze względu na niską zawartość Al w powłoce.

The buckles observed using 3D nondestructive scanning method formed as a result of unimpeded oxidation of Ni which continued in the regions where the growth of alumina did not become rate controlling due to low Al level in the bond coating.

Wnioski Conclusions

1. Opracowane parametry procesu wytwarzania powłokowych barier cieplnych z wykorzystaniem systemu TriplexPro 200 pozwoliły na zwiększenie efektywności procesu natryskiwania oraz przyczyniły się do zwiększenia o 20% w stosunku do wymagań norm lotniczych.

The developed process parameters of thermal barrier coatings deposition using TriplexPro 200 system allowed to increase the effectiveness of thermal spraying process and to improve bond coating adherence by 20% compared to aircraft industry standards requirements

2. Mikrostruktura powłokowych barier cieplnych była zgodna z wymaganiami norm lotniczych i zapewniała im dobrą odporność na utlenianie i korozję w środowisku związków siarki oraz gazów spalinowych.

The microstructure of thermal barrier coatings was compliant with aircraft industry standards and provided good oxidation and corrosion resistance in sulfur compounds and exhaust gases environment.

3. W przekrojach drążonych otworów ze wzrostem energii wiązki lasera obserwowano zwiększanie ich średnicy i formowanie kształtu stożka w powłoce ceramicznej. Różnica wartości średnicy wejścia do średnicy wyjścia otworu wynosiła 10 - 40% w procesie drążenia impulsowego oraz 5 - 15% w procesie wycinania laserowego.

An increase of drilled hole diameter and cone shape formation was observed to occur with an increase of laser beam Energy. The difference between the entrance and exit diameter of drilled holes was 10-40% for impulse drilling process and 5-15% for laser drilling.