

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

Wyniki badań Results

Wpływ obróbek ciepło-chemicznych (procesu aluminowania lub azotowania) na odporność korozyjną stopu niklu IN 740H

Effect of thermo-chemical treatment (aluminizing or nitriding process) on the corrosion resistance of IN 740H nickel alloy

Celem zadania było opracowanie podstaw technologii wytwarzania na stopie niklu Inconel 740H dyfuzyjnych warstw powierzchniowych:

- na bazie faz międzymetalicznych z układu Ni-Al, modyfikowanych cyrkonem w procesie CVD
- na bazie azotku chromu w procesie PACVD

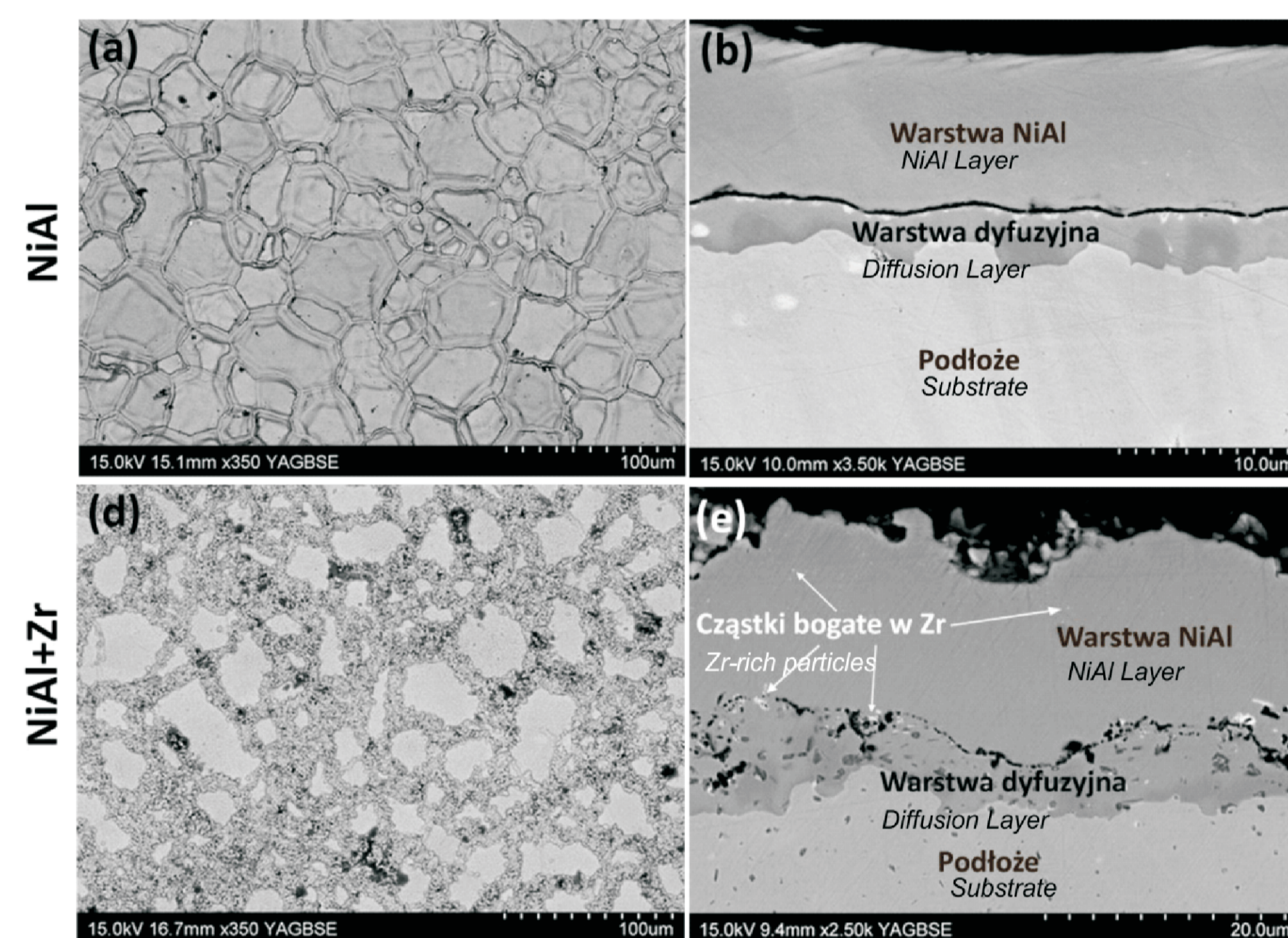
Wykonano badania: mikrostruktury (skaningowa mikroskopia elektronowa - SEM), składu chemicznego w mikroobszarach (EDS), składu fazowego XRD (Bruker D8 Advance), odporności korozyjnej metodą potencjodynamiczną oraz impedancyjną stopu niklu IN740H w stanie wyjściowym oraz z wytworzonymi warstwami ochronnymi.

The purpose of this work was to develop the manufacturing technology basis of diffusive surface layers on the Inconel 740H nickel alloy:

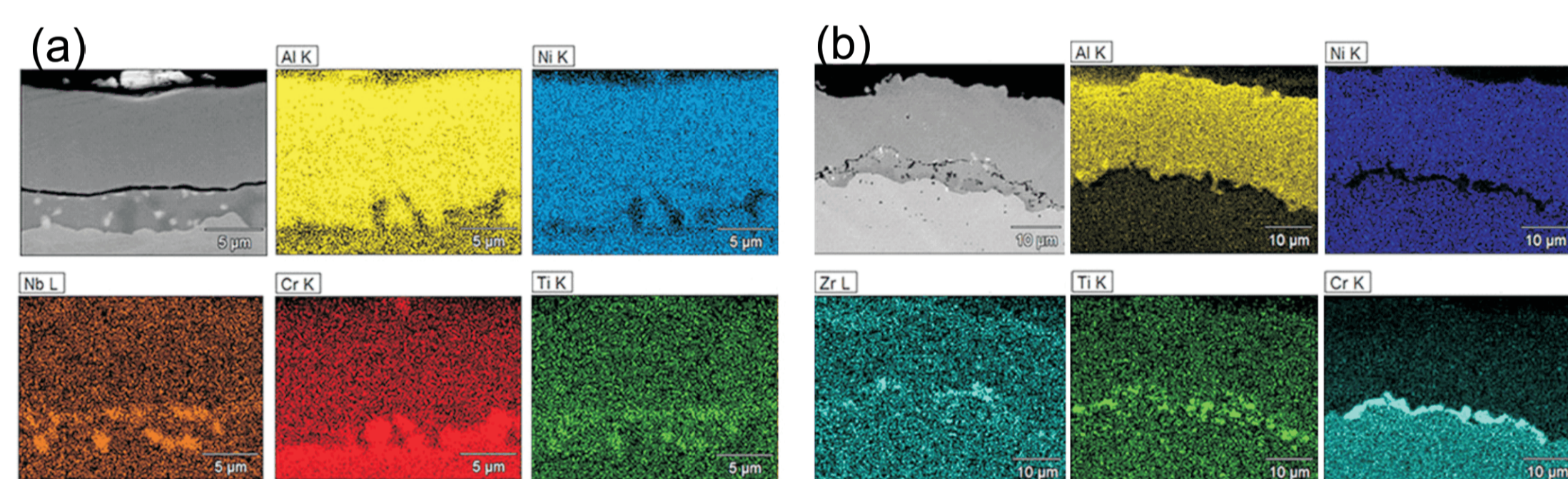
- Zr-modified based on intermetallic Ni-Al phases, in CVD process,
- based on chromium nitride in PACVD process.

The examinations of microstructure (scanning electron microscope - SEM), chemical composition in micro-areas (EDS), phase composition XRD (Bruker D8 Advance) and corrosion resistance (potentiodynamic and impedance methods) of Inconel 740H nickel alloy in the initial state and with the obtained layers were performed.

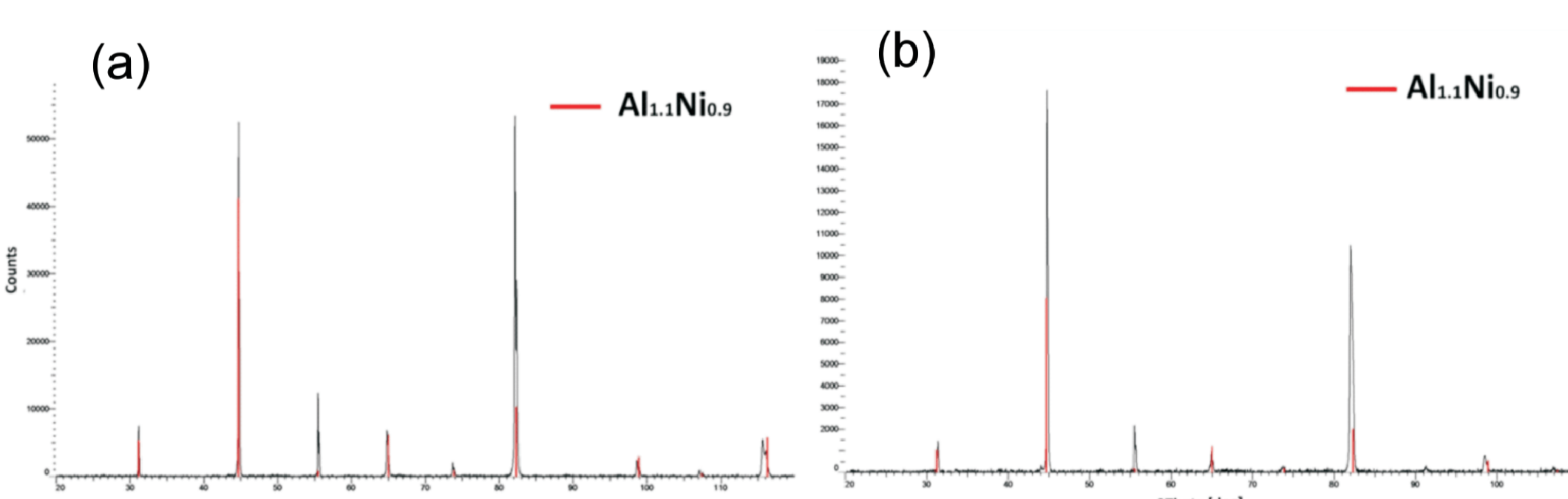
Warstwy NiAl modyfikowane Zr na podłożu nadstopu niklu Inconel 740H Zr-modified NiAl layers on the Inconel 740H superalloy



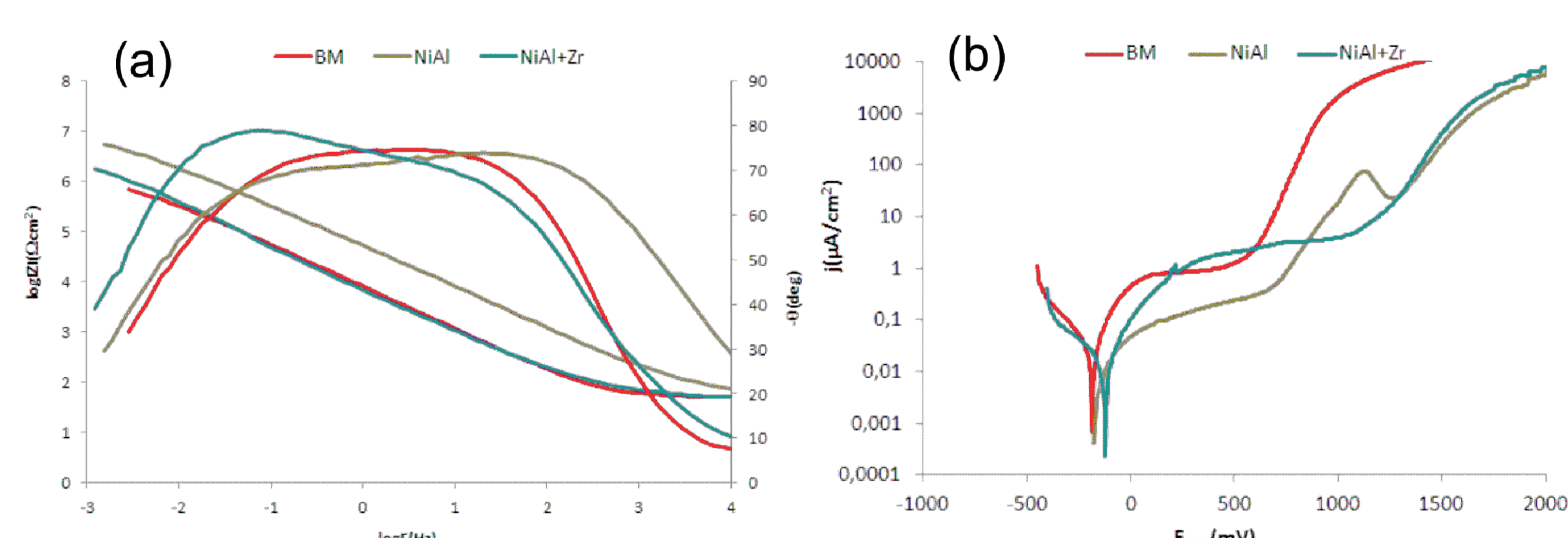
Rys.1. Mikrostruktura warstwy NiAl modyfikowanej Zr na podłożu nadstopu niklu Inconel 740H
Fig.1. Microstructure of Zr-modified NiAl layer produced on the Inconel 740H nickel based superalloy



Rys.2. Rozkład pierwiastków w przekroju warstw otrzymanych na podłożu stopu niklu Inconel 740H: (a) warstwa NiAl, (b) warstwa NiAl modyfikowana Zr (mapy EDS)
Fig.2. Elements distribution in the cross-section of produced layer on Inconel 740H alloy: (a) NiAl layer, (b) Zr-modified NiAl layer (EDS mapping)



Rys.3. Zapisy dyfrakcyjne otrzymane dla warstw wytworzonych na podłożu stopu niklu Inconel 740H: (a) warstwa NiAl, (b) warstwa NiAl modyfikowana Zr
Fig.3. X-ray diffraction patterns obtained for produced layers on the Inconel 740H alloy: (a) NiAl layer, (b) Zr-modified NiAl



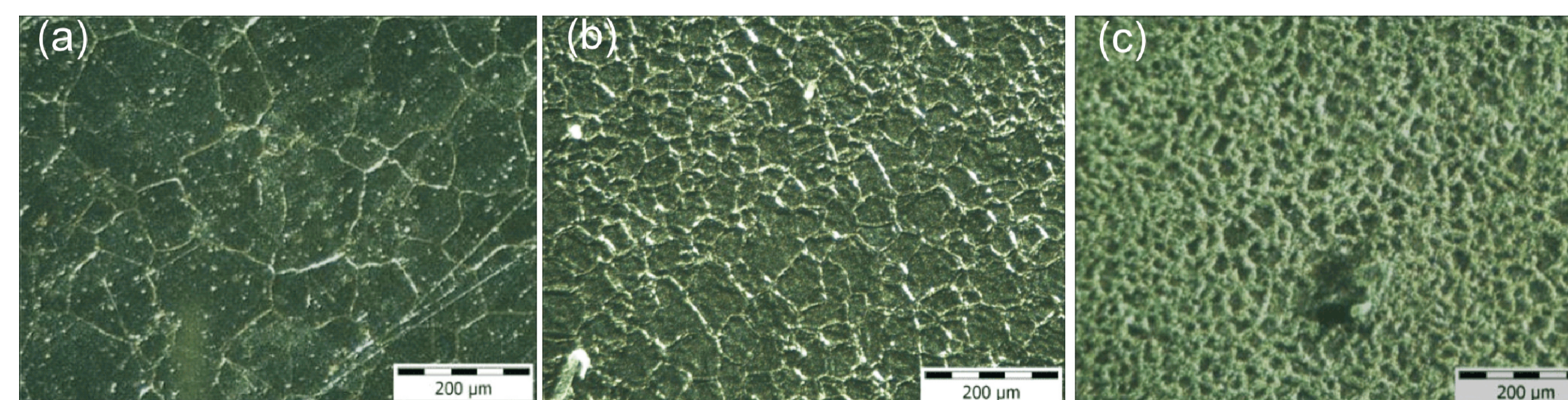
Rys.4. Wyniki badań korozyjnych przeprowadzonych dla stopu Inconel 740H w stanie wyjściowym i po procesie aluminowania: (a) wykres Bodego (badania impedancyjne), (b) krzywe potencjodynamiczne (badania potencjodynamiczne)
Fig.4. Results of the corrosion resistance tests obtained for the Inconel 740H alloy in initial state (BM) and after the aluminizing process: (a) Bode plot (impedance measurement), (b) potentiodynamic curves (potentiodynamic measurement)

Tabela 1. Charakterystyczne wartości elektrochemiczne badanego stopu Inconel 740H w stanie wyjściowym i po procesie aluminowania (badania impedancyjne)
Table 1. Corrosion parameters of Inconel 740H alloy in initial state (BM) and after the aluminizing process (impedance measurement)

	R_p	R_{ct}	R_{ox}
BM	$R_i(\Omega\text{cm}^2)$ $C(F/\text{cm}^2\text{s}^{-1})$	45 $1,03 \cdot 10^4$	$5,80 \cdot 10^5$ $1,51 \cdot 10^4$
NiAl	n	0,85	0,89
NiAl+Zr	$R_i(\Omega\text{cm}^2)$ $C(F/\text{cm}^2\text{s}^{-1})$	48 $1,74 \cdot 10^6$ $1,43 \cdot 10^4$	$7,00 \cdot 10^6$ $3,50 \cdot 10^6$
	n	0,85	0,885
	$R_i(\Omega\text{cm}^2)$ $C(F/\text{cm}^2\text{s}^{-1})$	48 $5,75 \cdot 10^6$ $1,43 \cdot 10^4$	$2,31 \cdot 10^9$ $1,38 \cdot 10^4$
	n	0,84	0,94

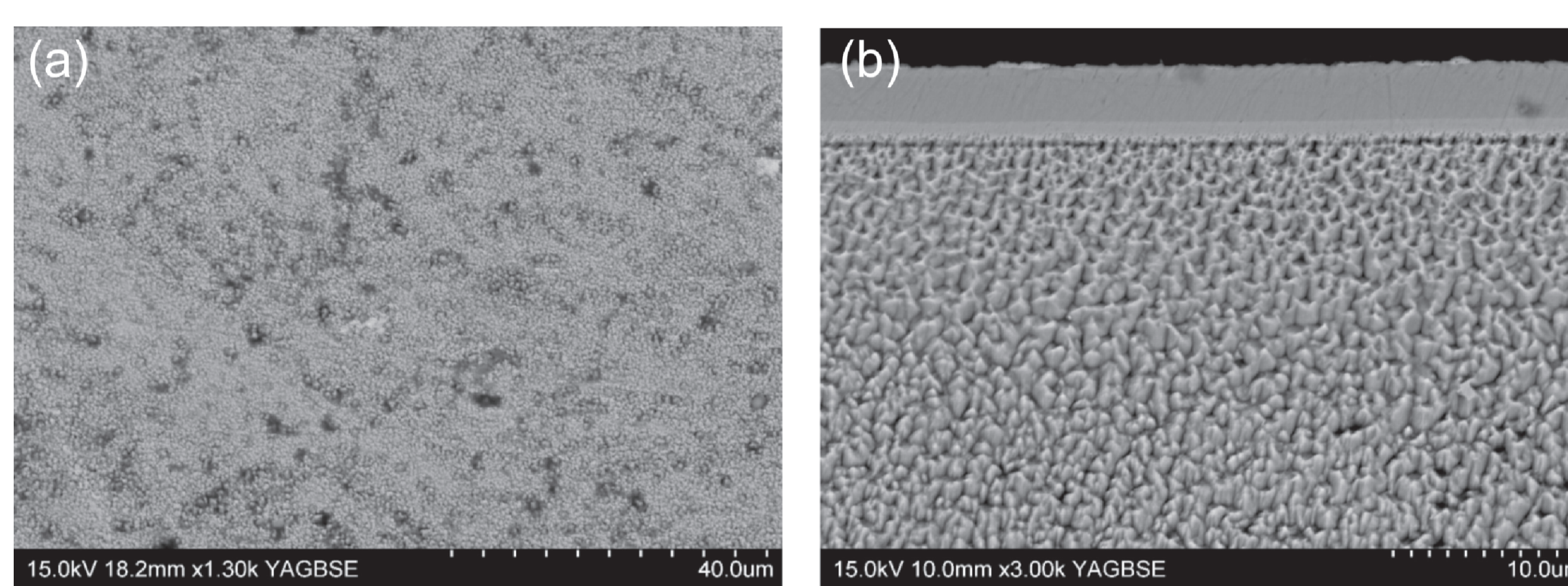
Tabela 2. Charakterystyczne wartości elektrochemiczne badanego stopu Inconel 740H w stanie wyjściowym i po procesie aluminowania (badania potencjodynamiczne)
Table 2. Corrosion parameters of Inconel 740H alloy in initial state (BM) and after the aluminizing process (potentiodynamic measurement)

	E_{cor} E_{corr}	i_{cor} i_{corr}
BM	-190	0,055
NiAl	-190	0,005
NiAl+Zr	-120	0,017

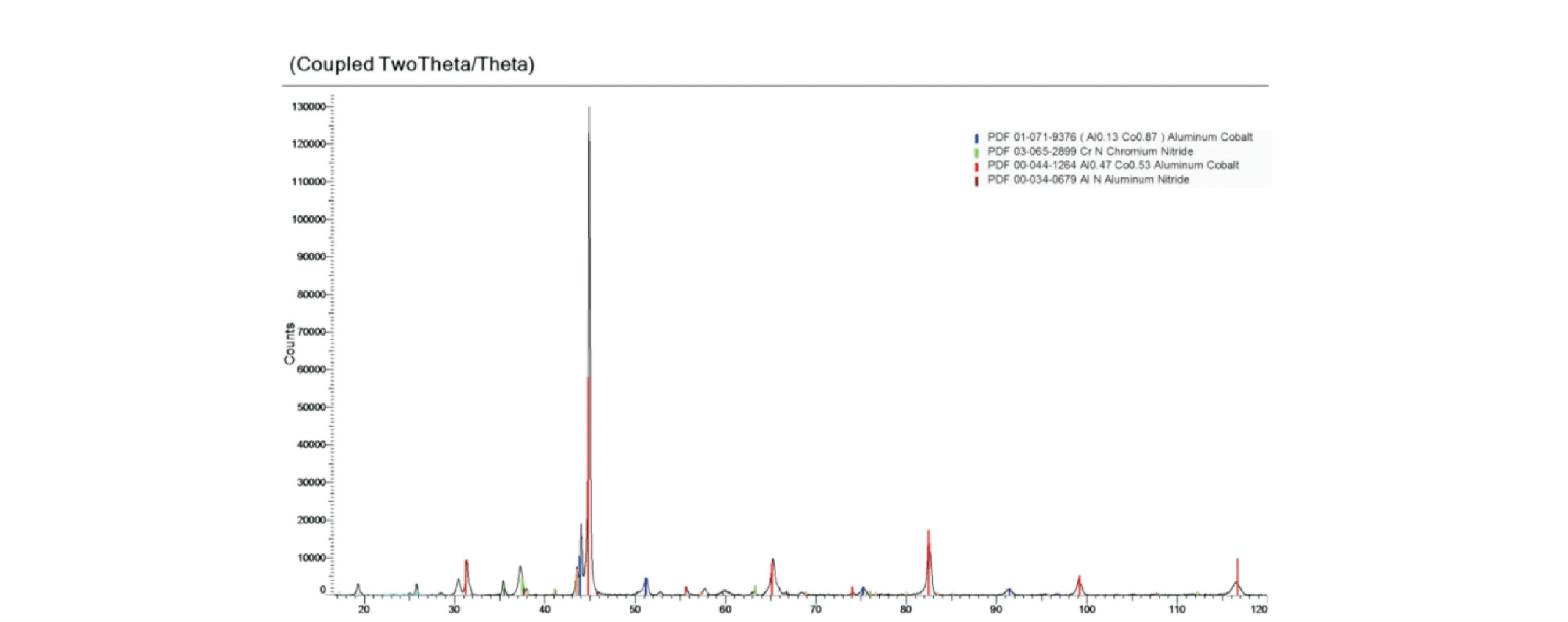
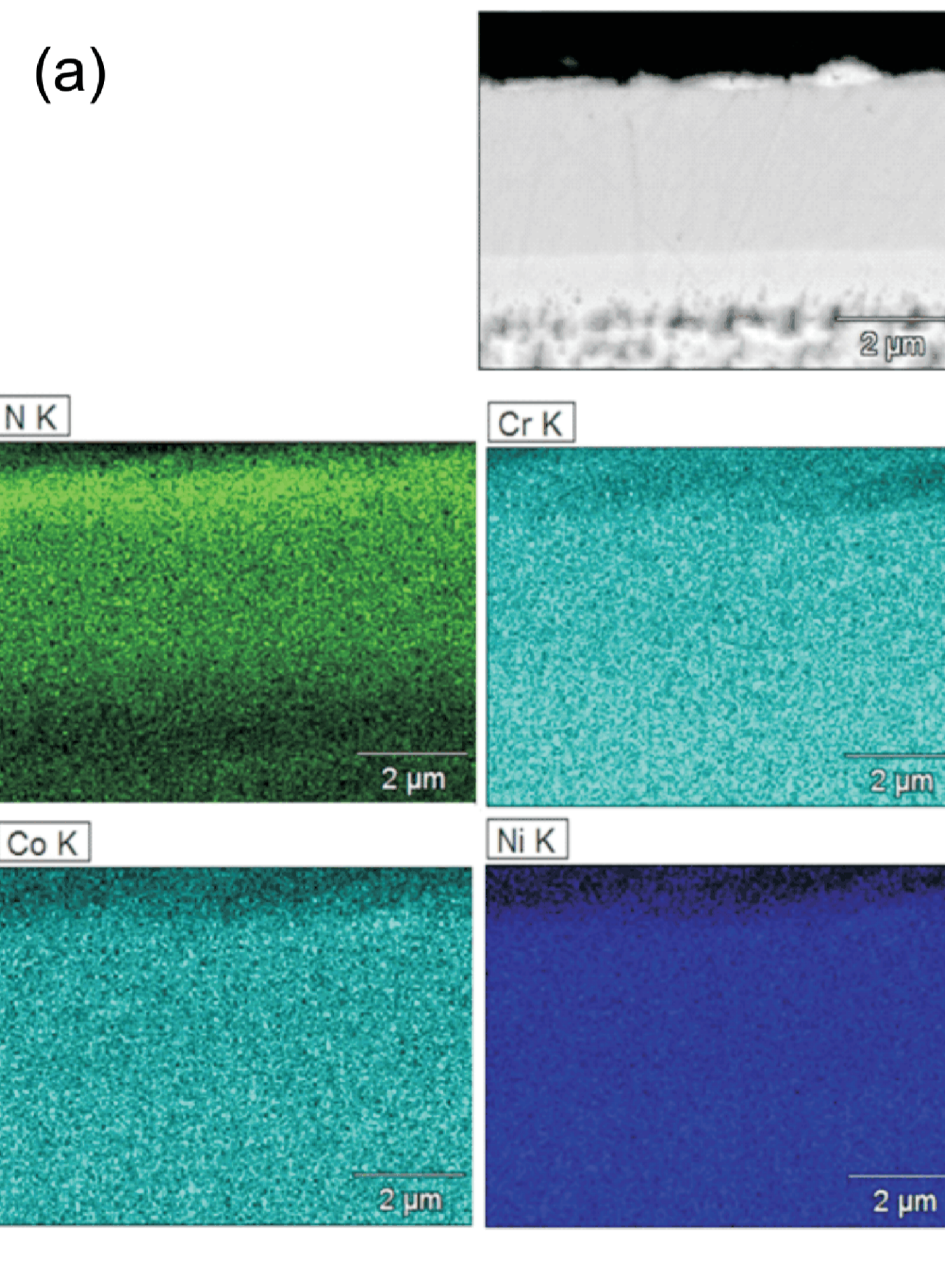


Rys.5. Zniszczenia korozyjne badaných podłoży po badaniach potencjodynamicznych: (a) BM, (b) NiAl, (c) NiAl+Zr
Fig.5. Surface morphology after potentiodynamic tests: (a) BM, (b) NiAl, (c) NiAl+Zr

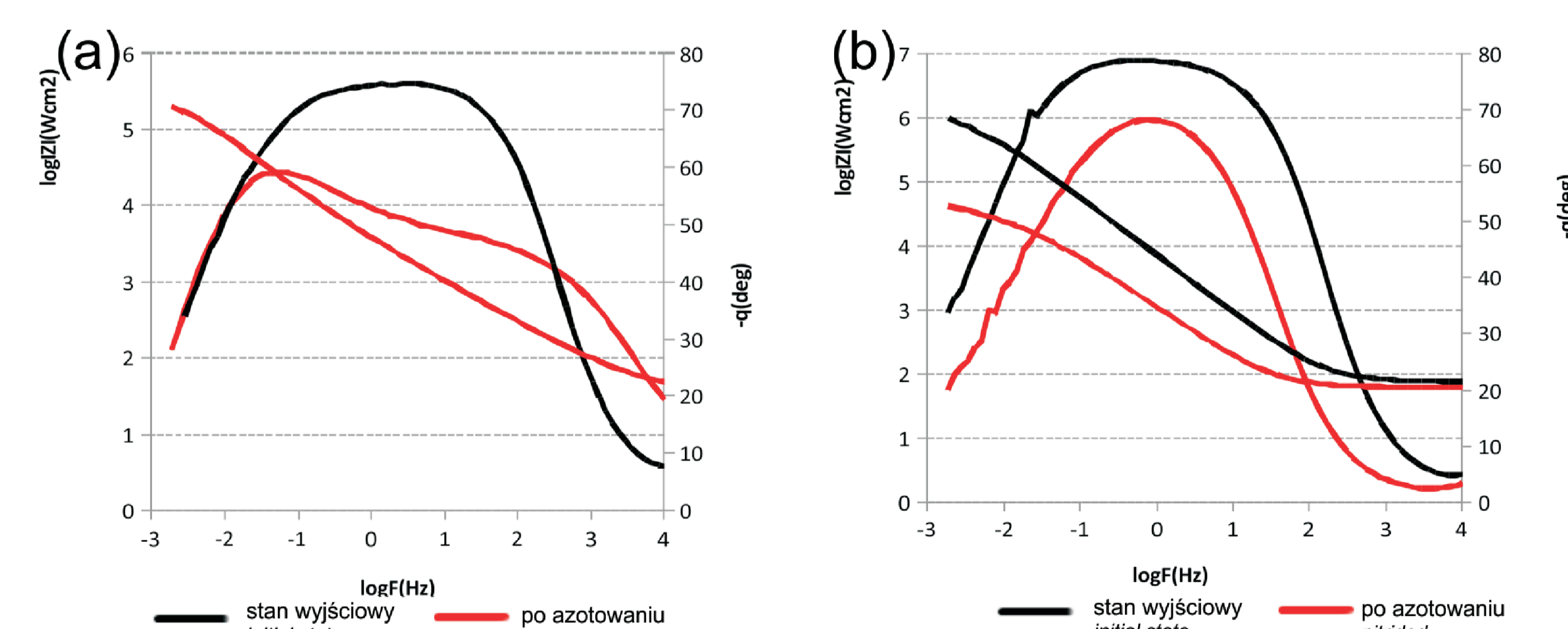
Warstwy CrN na podłożu nadstopu niklu Inconel 740H CrN layers on the Inconel 740H superalloy



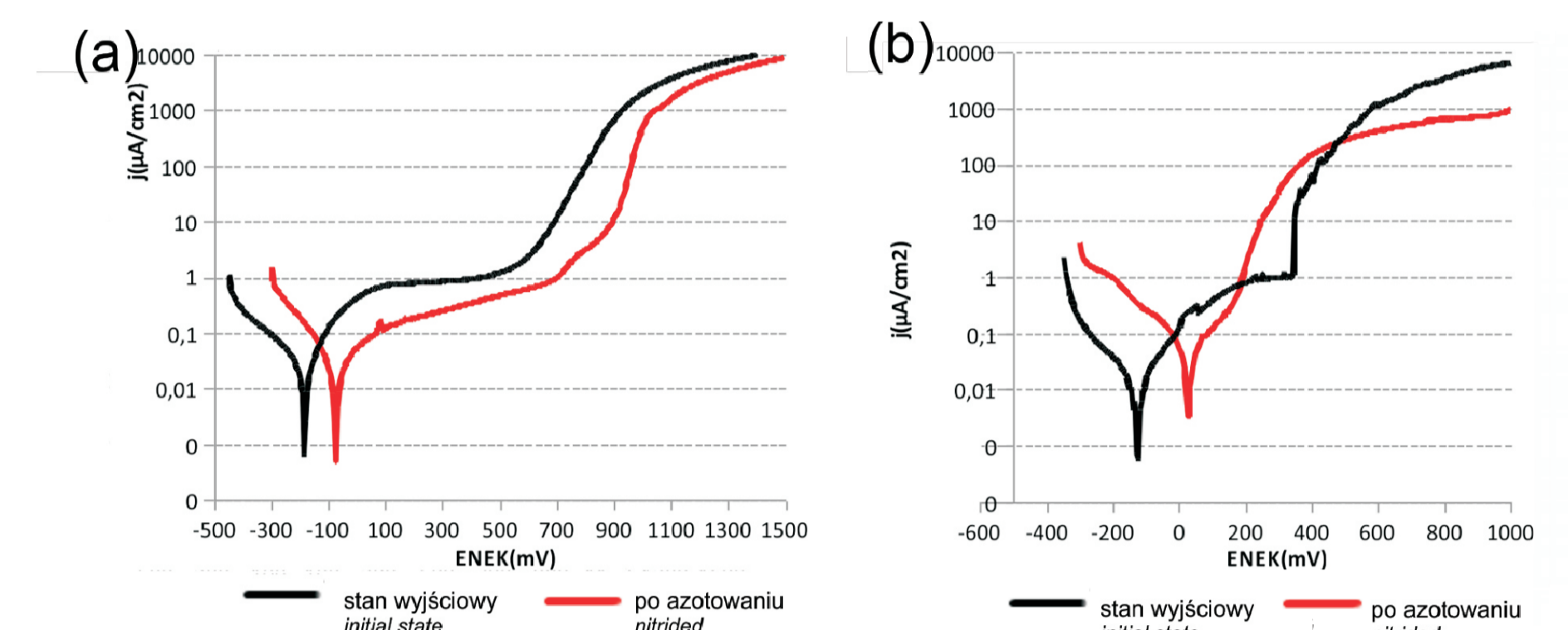
Rys.6. Warstwa wytworzona metodą PACVD na podłożu stopu niklu IN740H: (a) morfologia powierzchni, (b) przekrój warstwy (SEM)
Fig.6. Layer produced on the IN740H nickel alloy by the PACVD method: (a) surface morphology, (b) layer cross-section (SEM images)



Rys.7. (a) Rozkład powierzchniowy pierwiastków: N, Cr, Ni i Co, w przekroju poprzecznym warstwy wytworzonej metodą PACVD na podłożu stopu niklu IN 740H (mapy EDS), (b) Zapis dyfrakcyjny dla warstwy CrN+AlCo+AlN wytworzonej na podłożu stopu niklu Inconel 740H metodą PACVD
Fig.7. (a) Distribution of N, Cr, Co, Ni in manufactured layers on N740H alloy by the PACVD method (EDS Mapping), (b) X-ray diffraction pattern obtained for manufactured layers produced on N740H nickel alloy by the PACVD method



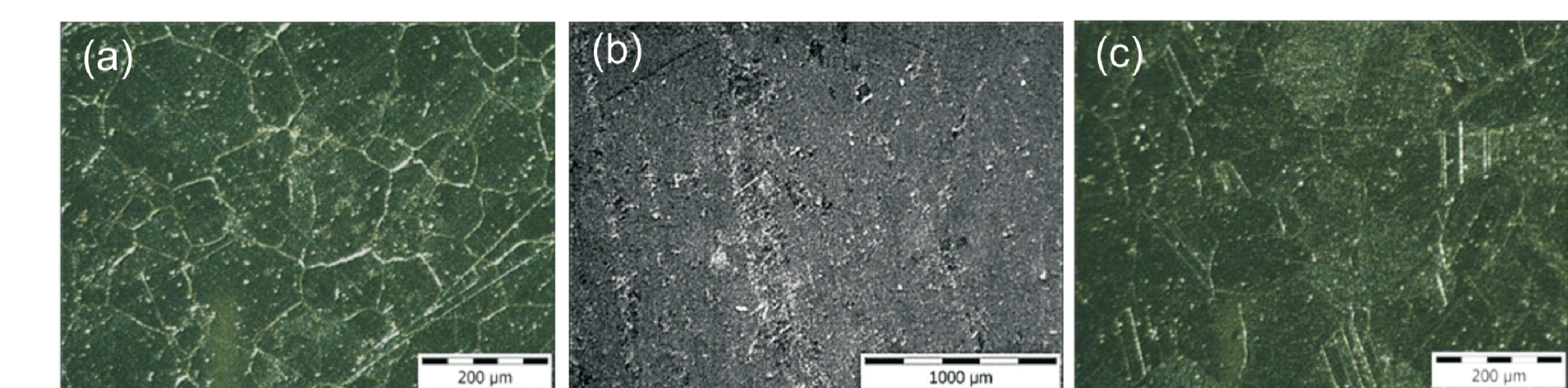
Rys.8. Widma impedancyjne warstw azotowanych ekspozowanych w roztworach korozyjnych (a) 0,1M Na2SO4, (b) 0,1M NaCl+H (pH=4)
Fig.8. Impedance spectra of the IN 740H alloy in initial state and after the nitriding process, exposed to: (a) 0.1M Na2SO4, (b) 0.1M NaCl+H (pH=4)



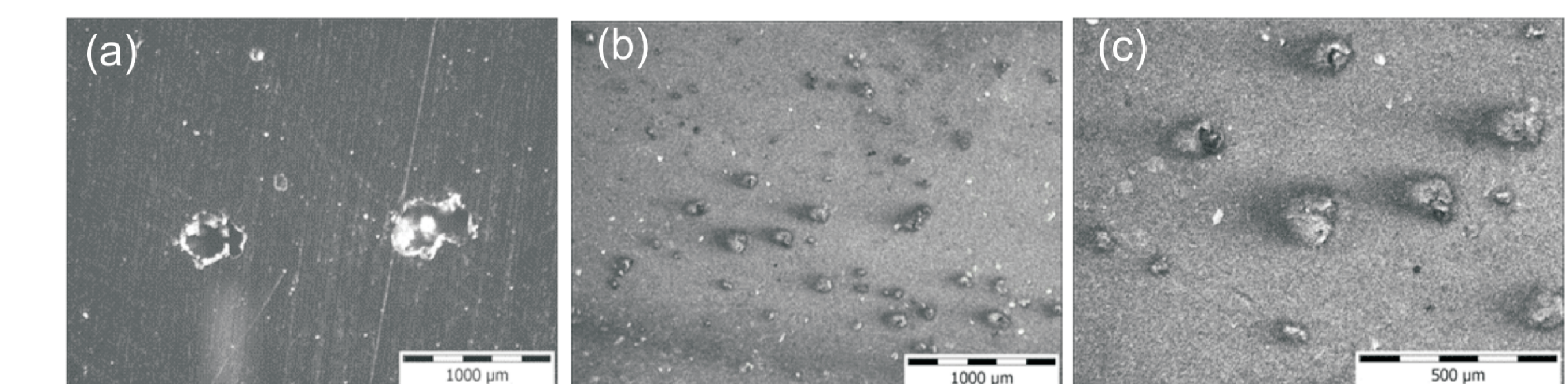
Rys.9. Krzywe potencjodynamiczne stopu Inconel 740H w stanie wyjściowym oraz po procesie azotowania jonowego ekspozowanego w badanych roztworach korozyjnych: (a) 0,1M Na2SO4, (b) 0,1M NaCl+H
Fig.9. Potentiodynamic curves of the IN 740H alloy in initial state and after the nitriding process, exposed to: (a) 0.1M Na2SO4, (b) 0.1M NaCl+H

Tabela 3. Charakterystyczne wartości elektrochemiczne badanego stopu Inconel 740H w stanie wyjściowym i po procesie azotowania, po ekspozycji w roztworach korozyjnych 0,1M Na2SO4 i 0,1M NaCl+H
Table 3. Corrosion parameters of IN 740H alloy in initial state and after the nitriding process, exposed to 0.1M Na2SO4 and 0.1M NaCl+H

	i_{cor} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	i_p ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	E_{cor} (mV)	E_{pit} (mV)	
Na2SO4	IN 740H (stan wyjściowy) IN 740H (initial state)	0,028	1	-190	
	IN 740H z warstwą CrN IN 740H + CrN layer	0,025	1	-75	
NaCl+H	IN 740H (stan wyjściowy) IN 740H (initial state)	0,02	1	-130	310
	IN 740H z warstwą CrN IN 740H + CrN layer	0,068	0,2	+30	130



Rys.9. Zniszczenia korozyjne IN740H po badaniach potencjodynamicznych w roztworze Na2SO4: (a) – stan wyjściowy, (b) – łuszczenie się warstwy azotowanej, (c) – korozja wżerowa warstwy azotowanej
Fig.9. Surface morphology of IN740H alloy exposed to 0.1M Na2SO4 after the potentiodynamic measurements: (a) initial state, (b) spalling of the layer obtained after the nitriding process, (c) degradation of the nitrided substrate under the outer layer



Rys.10. Zniszczenia korozyjne IN740H po badaniach potencjodynamicznych w zakwaszonym roztworze NaCl: (a) – stan wyjściowy, (b) – korozja wżerowa warstwy azotowanej
Fig.10. Surface morphology of IN740H alloy exposed to 0.1M NaCl+H after the potentiodynamic measurements: (a) initial state, (b) pitting corrosion of the obtained layer

Wnioski Conclusions

- Proces aluminowania stopu niklu Inconel 740H realizowany w parach AlCl_3 lub mieszaninie par $\text{AlCl}_3+\text{ZrCl}_3$ w atmosferze wodoru jako gazu nośnego prowadzi do utworzenia warstwy zawierającej fazę międzymetaliczną $\text{Al}_1.1\text{Ni}_0.9$
- Proces azotowania jarzeniowego stopu niklu Inconel 740H umożliwił wytworzenie warstwy $\text{CrN}+\text{AlCo}+\text{AlN}$
- Warstwy $\text{Al}_1.1\text{Ni}_0.9$ zwiększają odporność korozyjną materiału podłoża stopu niklu Inconel 740H w badanych roztworach korozyjnych
- Warstwa $\text{CrN}+\text{AlCo}+\text{AlN}$ tworzy niejednorodną powłokę katodową na stopie niklu IN 740H. Obecność niejednorodnej powłoki katodowej, w środowiskach chłorkowych, intensyfikuje korozję wżerową materiału, natomiast w środowiskach bezchlorkowych, warstwa $\text{CrN}+\text{AlCo}+\text{AlN}$ nie wpływa na zmiany szybkości korozji stopu niklu Inconel 740H.
- The aluminizing process in the presence of AlCl_3 or $\text{AlCl}_3+\text{ZrCl}_3$ and in the atmosphere of hydrogen provides formation of layer containing the intermetallic phase $\text{Al}_1.1\text{Ni}_0.9$
- The plasma nitriding process ensures formation of $\text{CrN}+\text{AlCo}+\text{AlN}$ layer on the Inconel 740H nickel alloy
- The $\text{Al}_1.1\text{Ni}_0.9$ layers improve the corrosion resistance of the Inconel 740H nickel alloy in applied corrosion solutions
- The $\text{CrN}+\text{AlCo}+\text{AlN}$ layer form non-homogeneous, cathodic layer on the Inconel 740H nickel alloy. Presence of the non-homogeneous, cathodic layer intensify pitting corrosion in chloride environments and do not affect the corrosion rate of the Inconel 740H nickel alloy in chloride-free environments.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty:

- R. Sitek, J. Mizera and K.J. Kurzydłowski, *Influence of Thermal Barrier Coatings on the Oxidation Resistance of Titanium Alloys*, The 8th International Workshop on Plasma Application and Hybrid Functionally Materials, 6-9.03.2015r, Hawaje
- R. Sitek, J. Kaminski, J. Mizera, K.J. Kurzydłowski, *Corrosion resistance of Inconel 740H nickel alloy after pulse plasma ion nitriding at frequency of 10 kHz*, IAPS Meeting 2015 in Hawaii, 5-th International Advances In Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, 16-19 kwietnia 2015 r, Oludeniz (Turcja)
- M. Zagorska, R. Sitek, J. Kaminski, K.J. Kurzydłowski, *Microstructure and corrosion resistance of Zr-modified NiAl layers on nickel based superalloy Inconel 740H*, 5-th International Advances In Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, 16-19 kwietnia 2015 r, Oludeniz (Turcja)

Publikacje:

- R. Sitek, J. Mizera, K.J. Kurzydłowski, *Influence of thermal barrier coatings on the oxidation resistance of titanium alloys*, Plasma Application and Hybrid Functionally Materials, Vol. 24 (2015) 37-38