

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

W pracy przedstawiono wyniki badań struktury, składu chemicznego, właściwości mechanicznych i emisji akustycznej warstwy wierzchniej stali austenitycznej AMS5510 stosowanej na elementy silników lotniczych.

W celu określenia właściwości warstw ochronnych między innymi warstw aluminiowych, cienkowych zaproponowano stanowisko do pomiaru sygnału emisji akustycznej generowanego podczas próby zginania w pokojowej i podwyższonej temperaturze. Przeprowadzono modelowe badania na próbkach ze stali austenitycznej AMS5510, na której powstała w procesie obróbki cieplnej warstwa tlenków o grubości do 300nm.

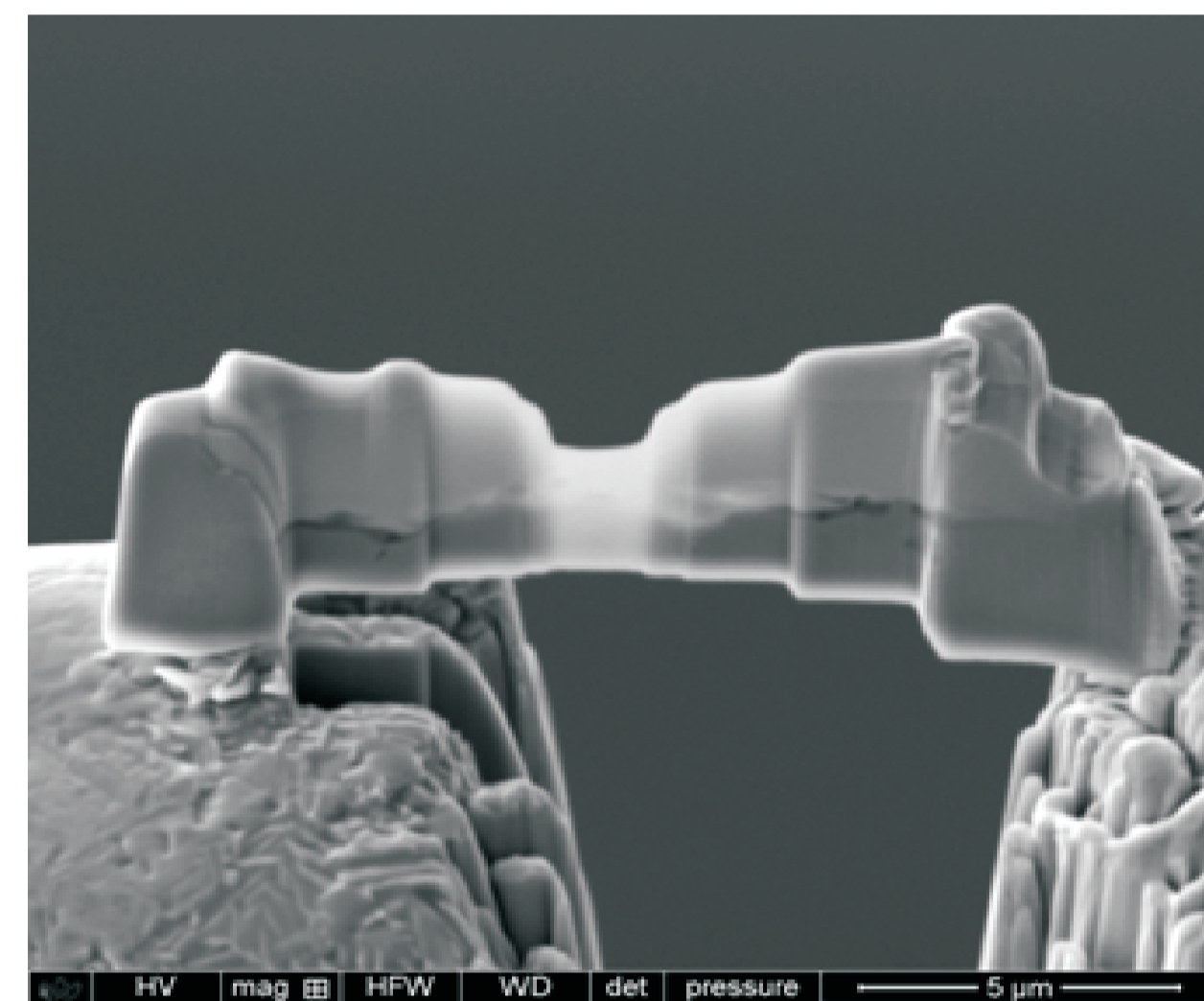
Materiał do badań stanowiły próbki ze stali austenitycznej AMS5510 o składzie chemicznym jak w Tabeli 1 i wymiarach 210x30x0,75mm. Skład chemiczny stali wyznaczono na spektrometrze Solaris CCD+

Tabela 1. Skład chemiczny stali AMS5510 użytej do badań, % wagowy
Table 1. Chemical composition of AMS5510 steel

Pierwiastek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Co
% wagowy	0,069	0,54	2,02	0,03	0,016	17,8	0,30	8,52	0,053	0,43	0,16

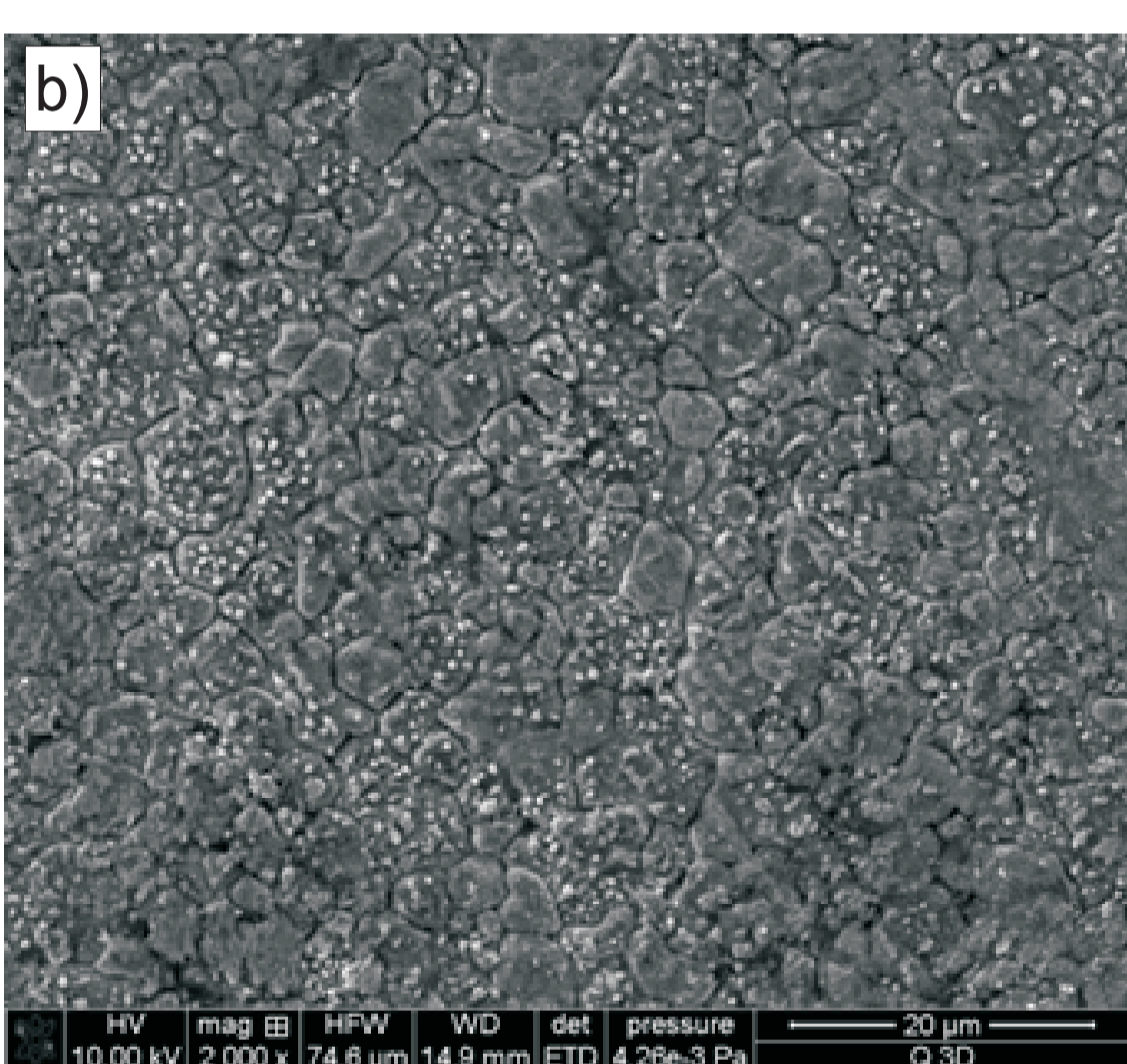
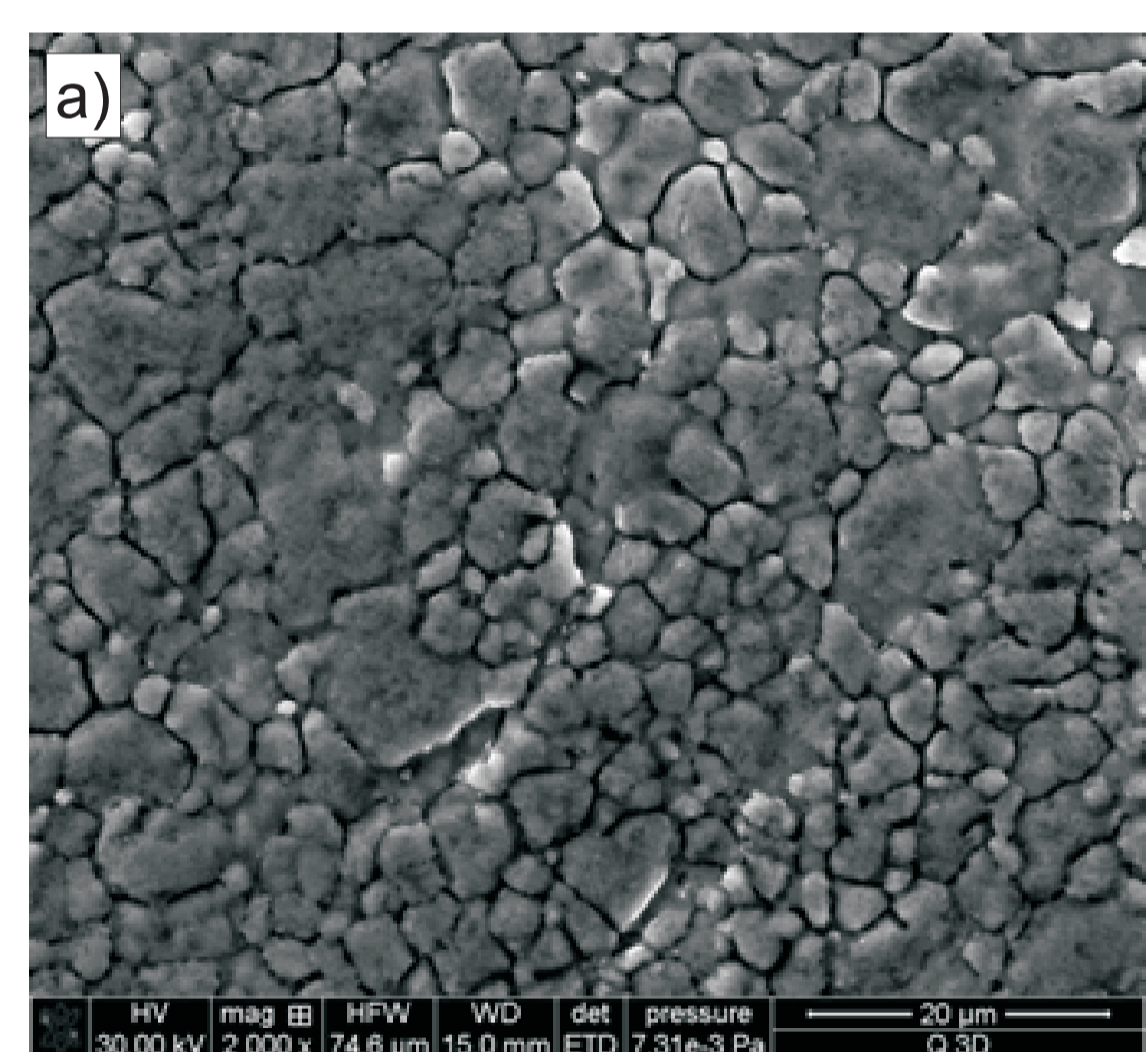
Pierwiastek	Nb	Ti	V	W	B	Ca	Mg	Sn	Zn	Zr	Fe
% wagowy	0,052	0,14	0,12	0,036	0,0005	0,0025	0,009	0,031	0,039	0,011	69,58

Próbki ze stali wyżarzono w temperaturze 982 °C w czasie 60 min. Obróbkę cieplną próbek prowadzono równolegle w dwóch piecach próżniowych: z molibdenową komorą grzejną i grafitową komorą grzejną. W wyniku obróbki cieplnej na powierzchni próbek powstała warstwa tlenków o różnej grubości w zależności od wyłożenia pieca. Powierzchnia stali utleniona w piecu z grafitową komorą grzejną posiadała szary matowy kolor (rys. 1).



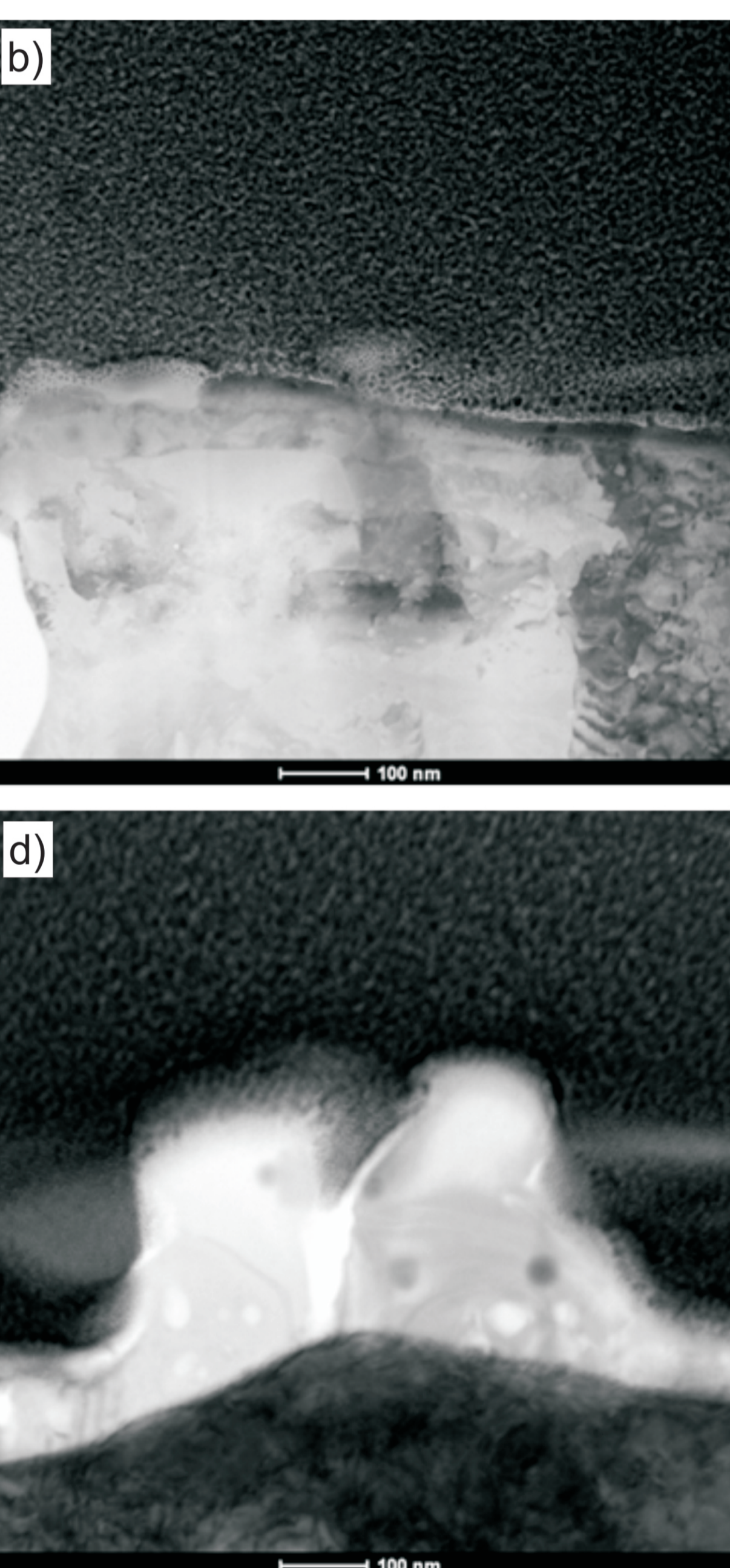
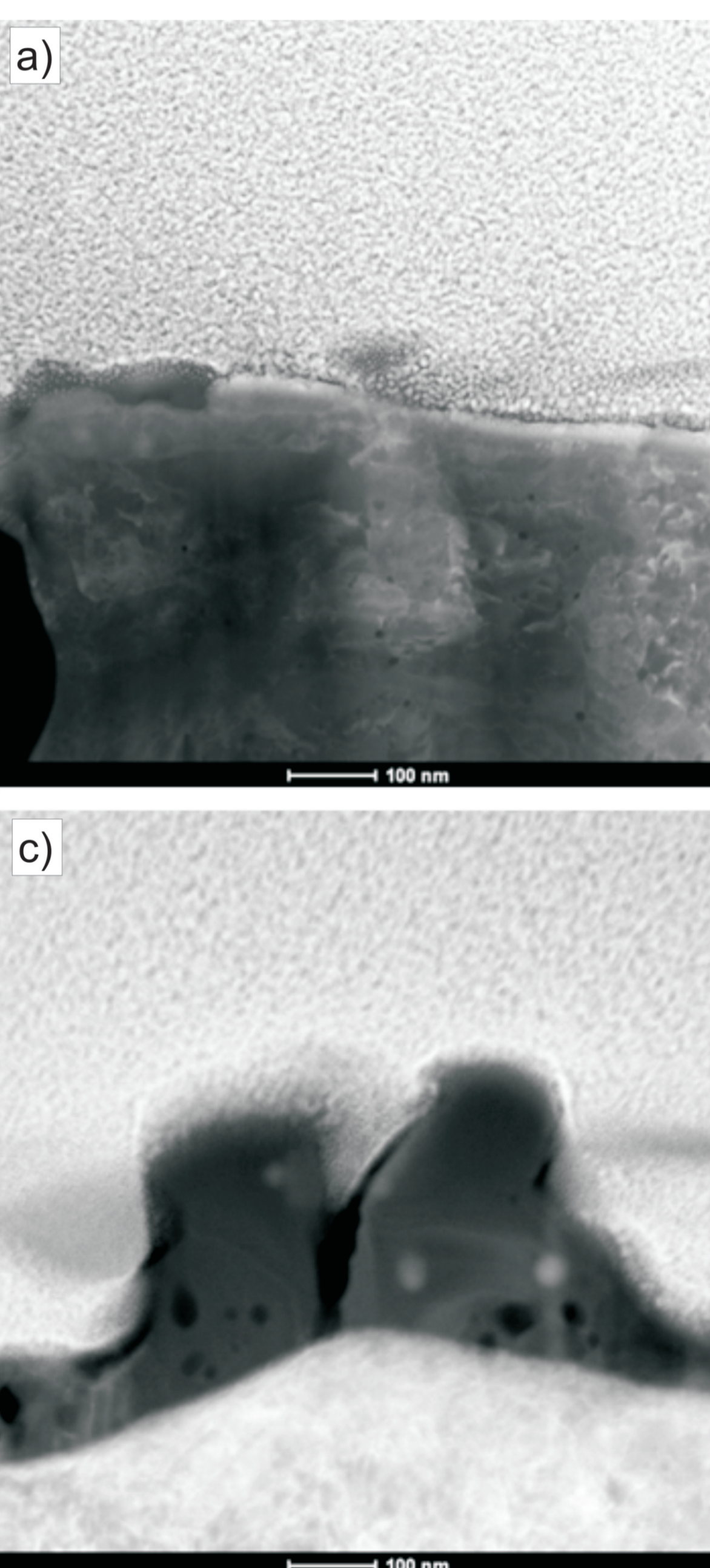
Rys. 1. Powierzchnia stali AMS5510 po wyżarzeniu w piecu z molibdenową komorą grzejną (u góry zdjęcia); po wyżarzeniu w piecu z grafitową komorą grzejną (u dołu zdjęcia)
Fig. 1. The surface of AMS5510 steel after annealing in a furnace with a molybdenum heating chamber (top image); after annealing in a furnace with a graphite heating chamber (bottom image)

Rys. 2. Przykładowy widok SEM pocienionej na mikroskopie FIB lamelki z utlenionej stali AMS5510 do badań w mikroskopie TEM
Fig. 2. SEM image. The sample - lamella thinned by the beam in the microscope FIB. AMS5510 steel

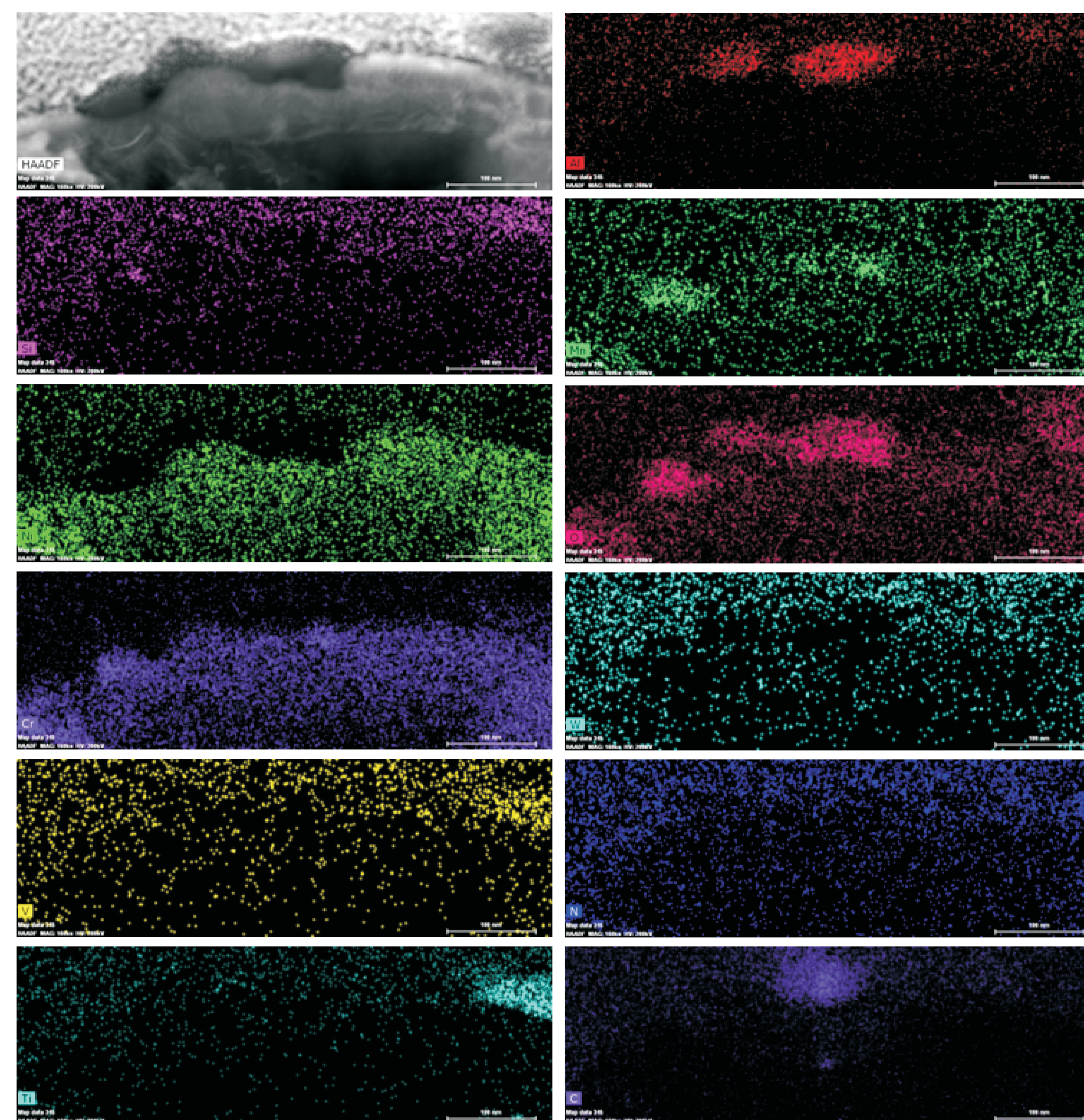


Rys. 3. Widok utlenionej powierzchni stali AMS5510; a) powstałej w piecu próżniowym z molibdenową komorą grzejną, b) powstałej w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną

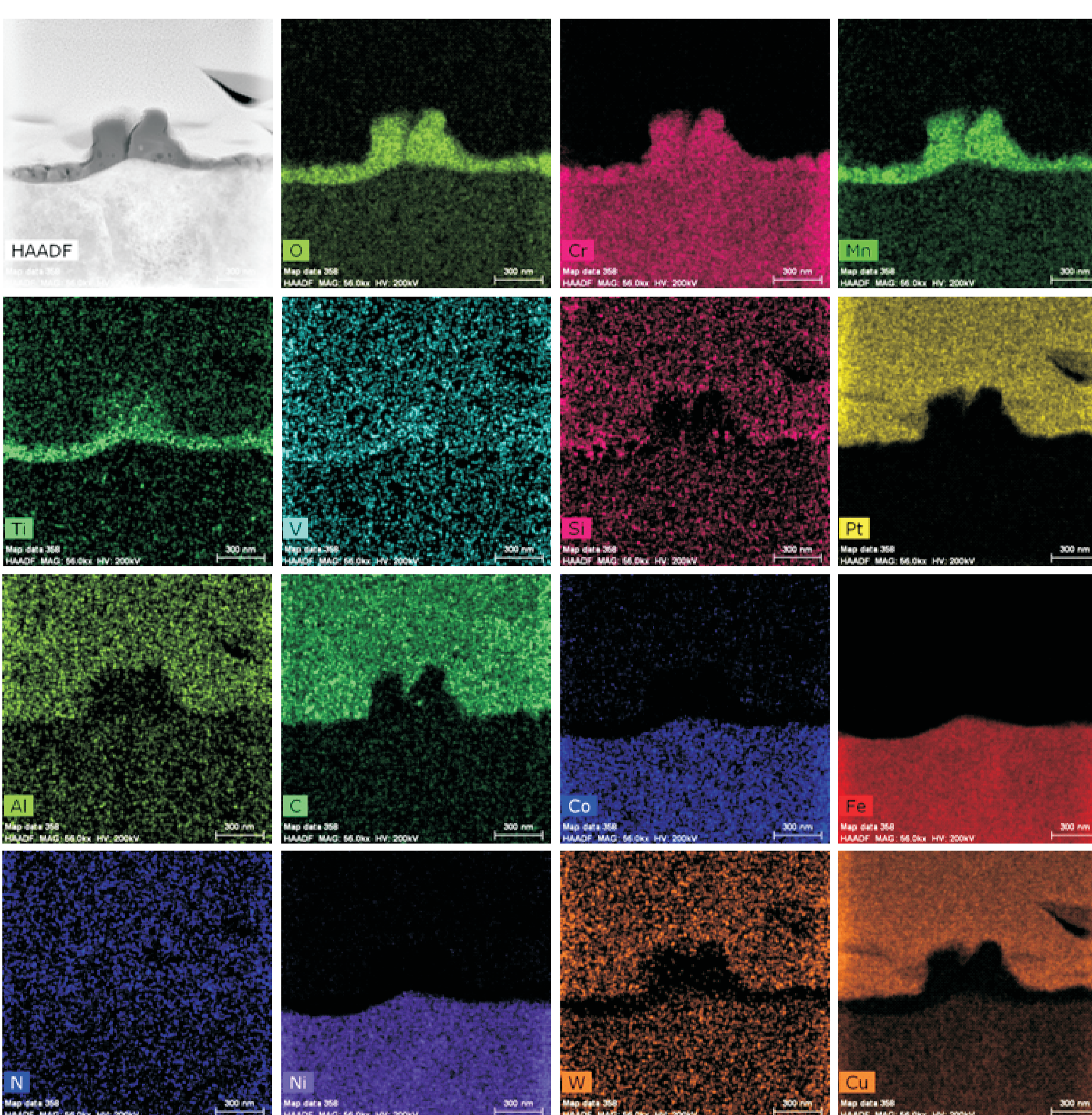
Fig. 3. SEM image. The surface of AMS5510 steel a) after annealing in a furnace with a molybdenum heating chamber, b) after annealing in a furnace with a graphite heating chamber



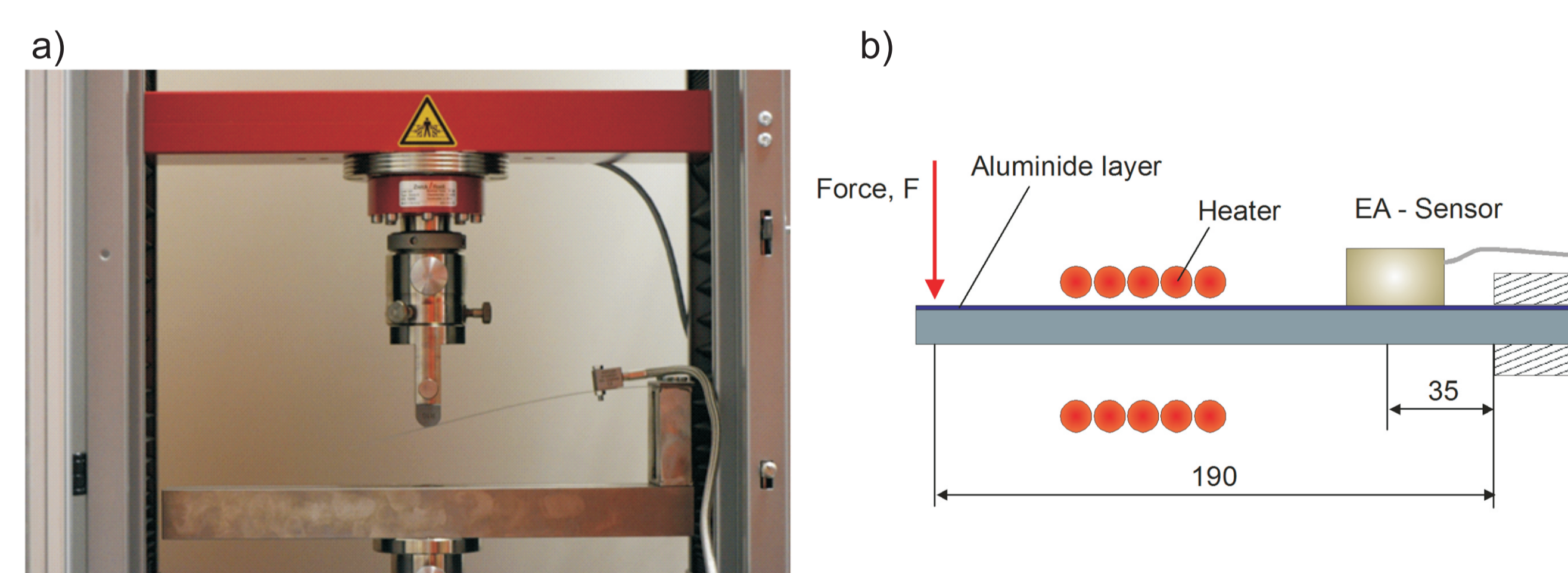
Rys. 4. Mikrostruktura warstwy tlenków na przekroju poprzecznym stali AMS5510; a, b) powstałej w piecu próżniowym z molibdenową komorą grzejną, c, d) powstałej w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną; a, c) STEM HAADF, b, d) STEM BF
Fig. 4. Microstructure of oxide layer on the cross section of AMS5510 steel a, b) formed in a furnace with a molybdenum heating chamber, c, d) formed in a furnace with a graphite heating chamber, a, c) STEM HAADF, b, d) STEM BF



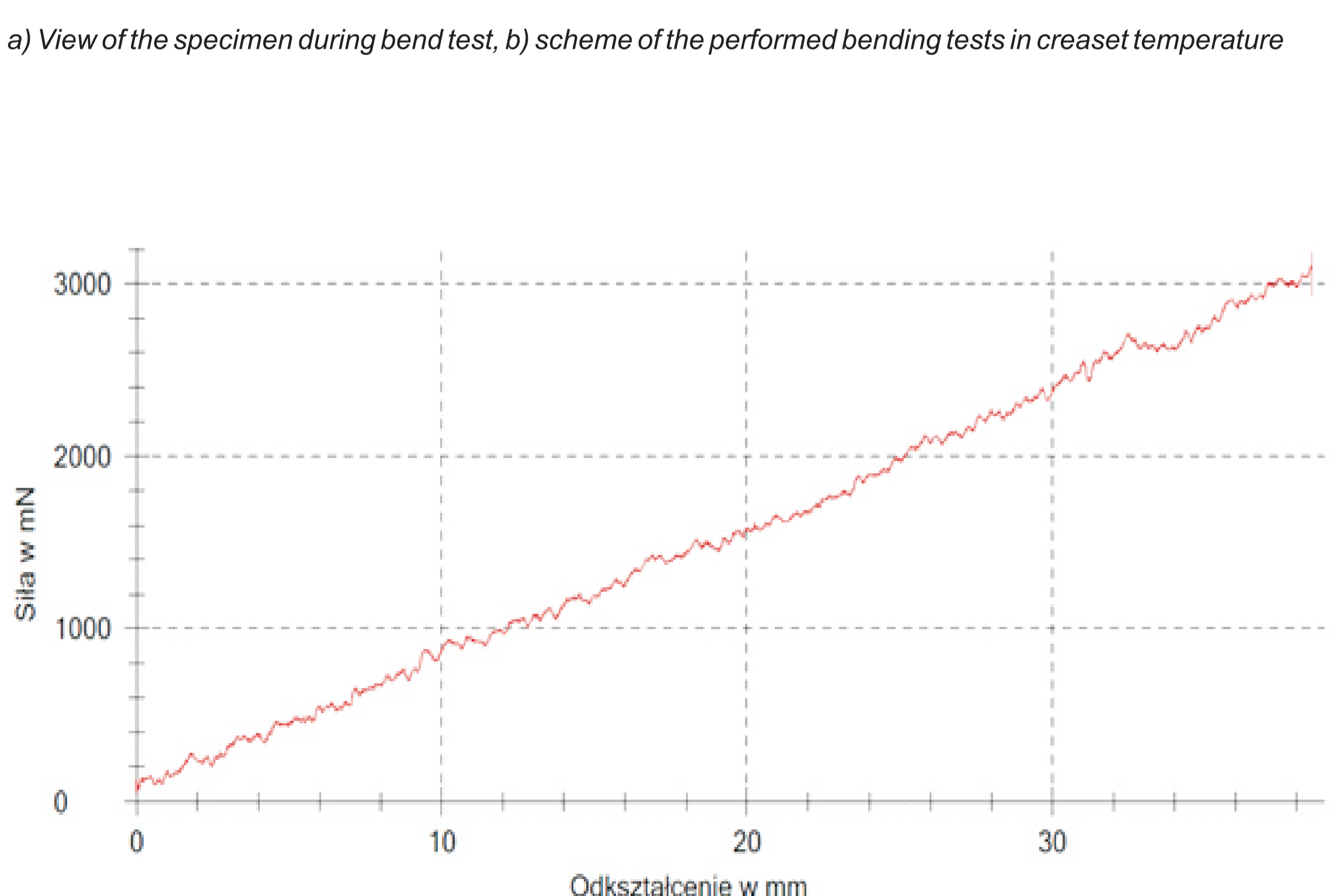
Rys. 5. Mapy EDS warstwy tlenków powstałych w piecu próżniowym z molibdenową komorą grzejną
Fig. 5. EDS mapping of the oxide layer. The oxide layer was created in a furnace with a molybdenum heating chamber



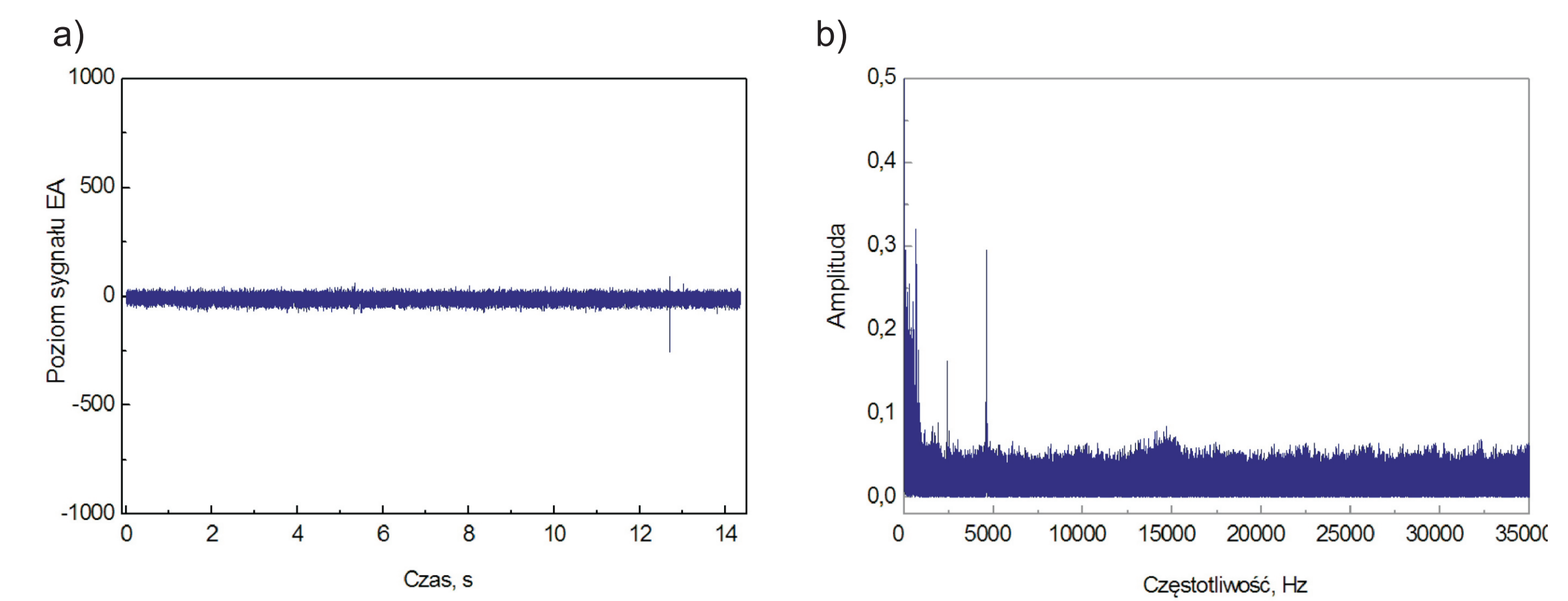
Rys. 6. Mapy EDS warstwy tlenków powstałych w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną
Fig. 6. EDS mapping of the oxide layer. The oxide layer was created in a furnace with a graphite heating chamber



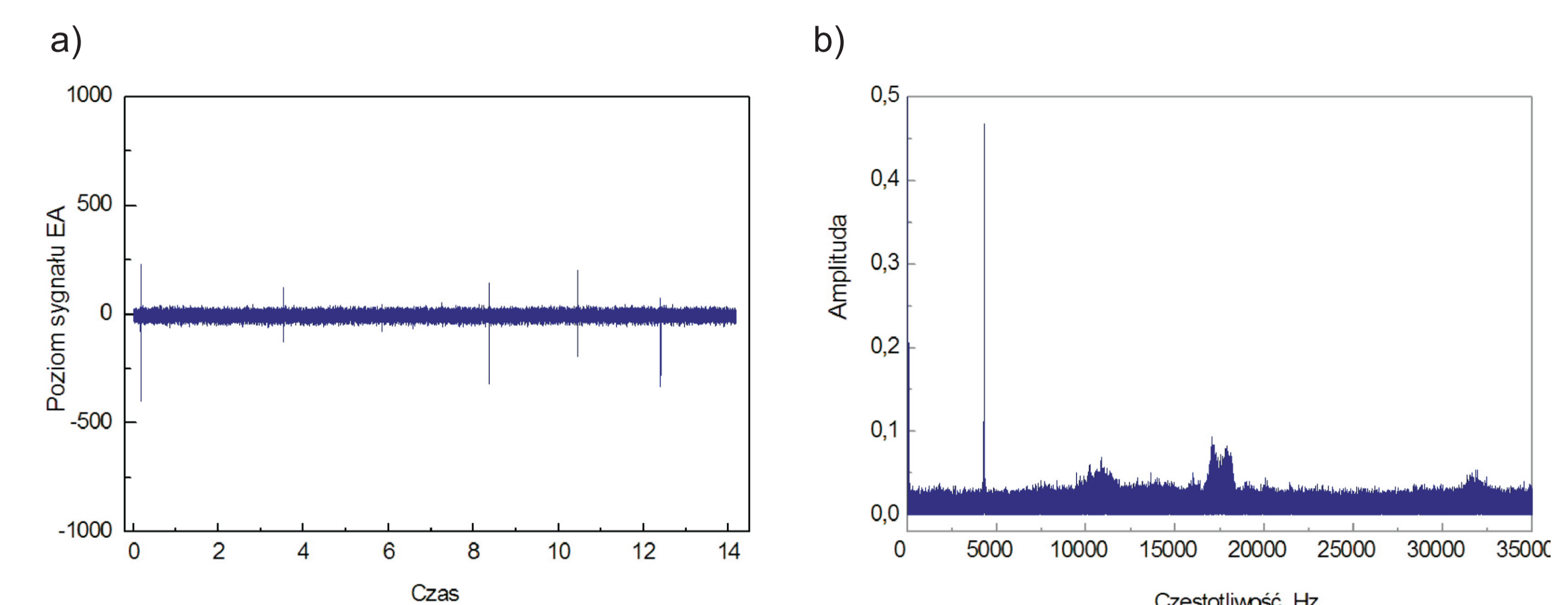
Rys. 7. a) Widok próbki podczas próby zginania w temperaturze pokojowej, b) schemat stanowiska do zginania w podwyższonej temperaturze
Fig. 7. a) View of the specimen during bend test, b) scheme of the performed bending tests in creaset temperature



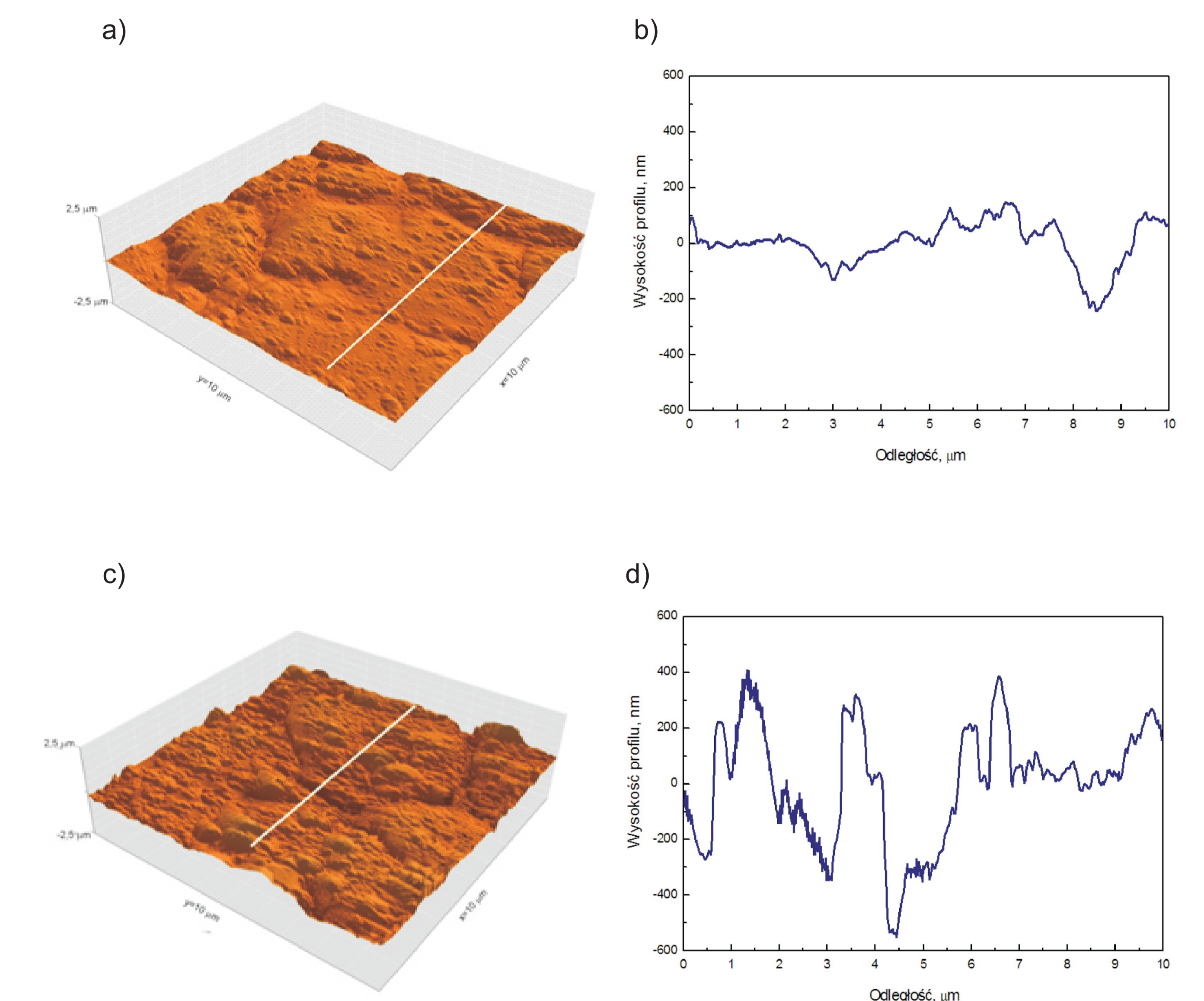
Rys. 8. Zależność ugięcia w funkcji siły gnącej dla próbki wyżarzanej w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną. Badanie przeprowadzone w temperaturze pokojowej
Fig. 8. The diagram of bending force as a function of the displacement for the sample annealed in a vacuum furnace with a graphite heating chamber



Rys. 9. Wykres sygnału EA (a) oraz transformaty FFT (b) dla stali utlenionej w piecu próżniowym z molibdenową komorą grzejną. Badanie przeprowadzono w temperaturze pokojowej
Fig. 9. Graph of signal EA (a) and FFT (b) the oxide layer of steel formed in a furnace with a molybdenum heating chamber



Rys. 10. Wykres sygnału EA (a) oraz transformaty FFT (b) dla stali utlenionej w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną. Badanie przeprowadzono w temperaturze pokojowej
Fig. 10. Graph of signal EA (a) and FFT (b) the oxide layer of steel formed in a furnace with a graphite heating chamber



Rys. 11. Obraz AFM powierzchni (3D) tlenków na stali ALMS5510 wyżarzanej w piecu próżniowym z komorą: a) molibdenową, c) grafitową, b, d) profil przekroju warstwy tlenków wyznaczony wzdłuż linii zaznaczonej na rys. a, c. AFM CSM Instruments
Fig. 11. The image AFM surface of the oxides (3D) on the steel ALMS5510 after annealing in a furnace with heating chamber: a) molybdenum, c) graphite, b, d) profile of the cross-section of oxide layer defined along of the line marked in figure a, c. AFM CSM Instruments

Wnioski Conclusions

- Grubość warstwy tlenków powstałych w piecu próżniowym z molibdenową komorą grzejną wynosiła od kilku do 50 nm natomiast grubość tlenków w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną od 40 nm do 300 nm.
 - Na podstawie analizy EDS najprawdopodobniej, jako pierwsze na powierzchni powstają tlenki tytanu, vanadu a następnie tlenki manganu i chromu. W warstwie tlenków powstałych w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną. Nie stwierdzono obecności tlenków aluminium. Natomiast obecność aluminium rejestrowano jedynie w warstwie tlenków powstałych w piecu próżniowym z molibdenową komorą grzejną
 - Podczas rejestracji sygnału EA próbek wyżarzanych w piecu próżniowym z molibdenową komorą grzejną nie obserwowano charakterystycznych częstotliwości powyżej 5 kHz.
 - W przypadku rejestracji sygnału EA próbek wyżarzanych w piecu próżniowym z grafitową komorą grzejną obserwowano charakterystyczne częstotliwości 11 kHz, 17,5 kHz i 34 kHz mogące świadczyć o zmianach (pękaniu, delaminacji) w powłoce tlenkowej.
 - W kolejnym cyklu badań planowane jest wykonanie pomiarów sygnału EA generowanego przez próbkę z wytworzoną warstwą aluminiową w warunkach zginania w podwyższonej temperaturze
- The thickness of oxide layers formed in a vacuum furnace with a heating chamber molybdenum ranged from a few nm to 50 nm. The thickness of oxide layers formed in a vacuum furnace with a graphite heating chamber ranged from 40 nm to 300 nm.
 - Based on the EDS analysis has been concluded that on the steel surface, the titanium oxides as first are created. Then were created the vanadium, manganese and chromium oxides. In the oxide layer formed in a vacuum furnace with a graphite chamber, there was not identified of aluminum oxide. The presence of aluminum was recorded only in the layer of oxides formed in a vacuum furnace with a heating chamber molybdenum.
 - During registration the EA signal of samples annealed in a vacuum furnace with molybdenum heating chamber was not observed characteristic frequencies above 5 kHz.
 - During the recording the EA signal of samples, which were annealed in a vacuum furnace with a graphite heating chamber the characteristic frequency was observed 11kHz, 17.5 kHz and 34 kHz possibly reflecting changes (cracking, delamination) in the oxide layer.
 - In the next tests the measurements of AE signal are planned. The AE signal will be generated by the sample with an alumide layer under bending load at increased temperature.