

# 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

#### Wyniki badań Results

#### Wyniki badań Results

#### Ogólne informacje

Rozwój wysokowytrzymałych materiałów od początku był przedmiotem zainteresowania przemysłu lotniczego. Potencjalnym tworzywem dla zastosowań wysokotemperaturowych są stopy na osnowie faz międzymetalicznych, materiały kompozytowe oraz stopy na osnowie niobu. W wielu przypadkach tworzywa te stanowią unikalne połączenie wysokiej odporności na korozję gazową, znaczny moduł sprężystości i niską gęstość w porównaniu do nadstopów niklu. Ze względu na możliwe zastosowanie, wynikające z wysokiej wytrzymałości oraz temperatury topnienia, odporności na korozję a także niskiej masy właściwej, szczególne zainteresowanie wzbudzają aluminidki metali przejściowych, a w szczególności aluminidki niobu [1, 2]. Zastosowanie aluminidków tytanu i niklu zazwyczaj jest ograniczone do temperatury poniżej 1000°C, podczas gdy aluminidki niobu mogą być stosowane nawet przy temperaturze powyżej 1200°C [3].

Spółród różnych faz z układu Nb-Al, szczególnie atrakcyjna do zastosowań wysokotemperaturowych jest faza NbAl<sub>3</sub>, z powodu wysokiej temperatury topnienia (1680°C) i niskiej gęstości (4,54 g/cm<sup>3</sup>) w porównaniu do fazy Ni<sub>3</sub>Al (7,6 g/cm<sup>3</sup>) [4]. Fazę NbAl<sub>3</sub> stosuje się w na łopatkach silników lotniczych lub w stacjonarnych turbinach gazowych [5]. Jednak przeszkodą w stosowaniu NbAl<sub>3</sub> jest mała zdolność do odkształceń, niska wytrzymałość i mała plastyczność przy temperaturze pokojowej [6].

Równoległe do faz międzymetalicznych prowadzone są badania na stopach niobu takich jak Nb-1Zr, PWC-11 i C-103, które stosuje się w reaktorach jądrowych i kosmonautyce. Stopy niobu są najbardziej odpowiednie jako tworzywa konstrukcyjne do pracy w zakresie temperatury 900-1200°C. Główną wadą w zastosowaniach niobu jest niska odporność na utlenianie w atmosferach, które zawierają wysokie ciśnienia cząstkowe tlenu.

Już przy niewielkim ciśnieniu cząstkowym tlenu w atmosferze - rzędu kilku ppm, stopy stają się kruche [7], stąd wymagane jest zastosowanie powłok ochronnych. Spośród różnych technik wytwarzania warstw ochronnych do zastosowań wysokotemperaturowych, najczęściej stosuje się metodę proszkową (pack cementation) [4]. Celem badań było określenie szybkości utleniania stopu przemysłowego C-103 z warstwą aluminiową. Ochronna warstwa aluminium została wytworzona metodą proszkową.

#### Introduction

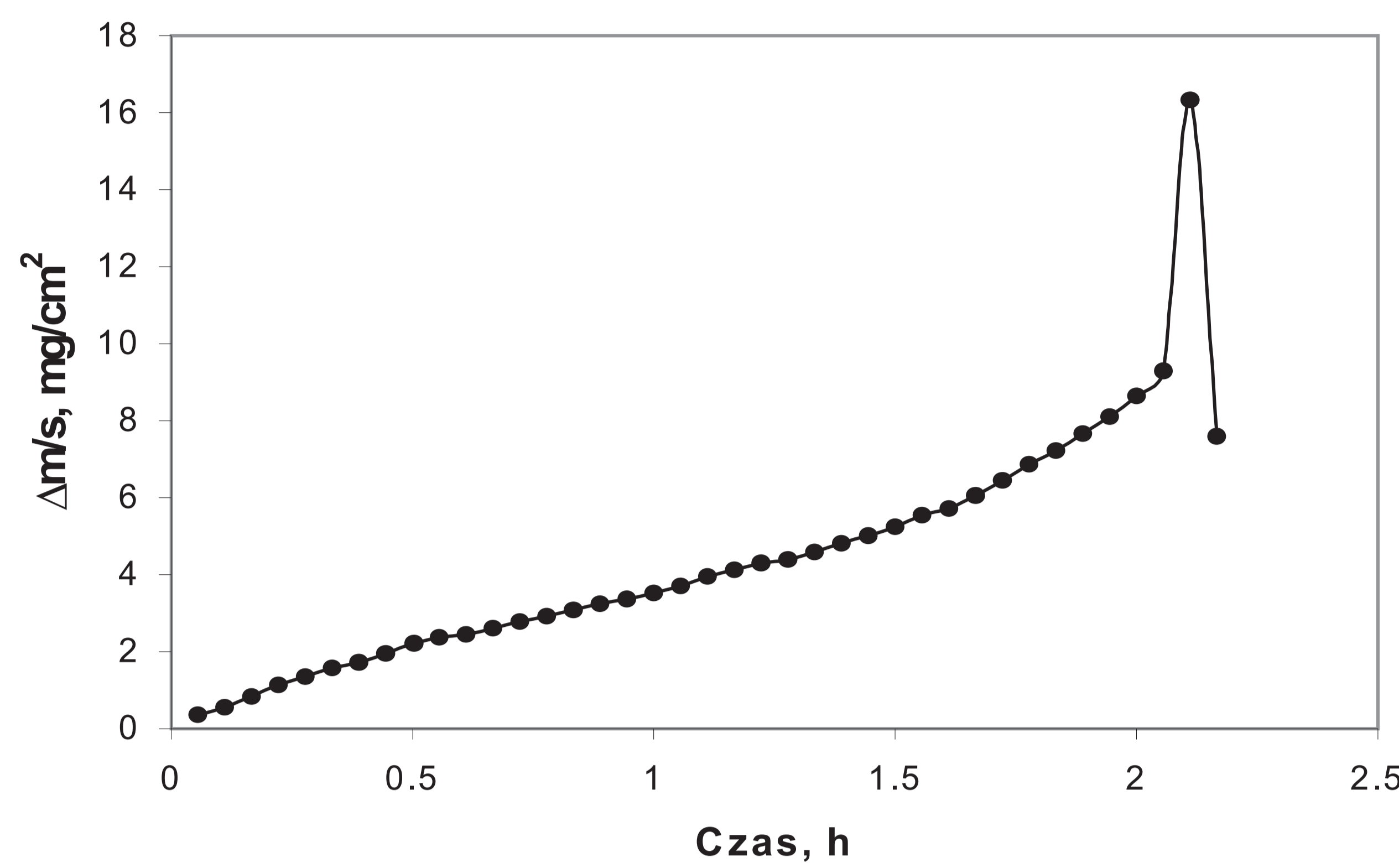
The development of high strength material from the beginning has been of interest to the aerospace industry. A potential material for high temperature applications based alloys are intermetallic phases, composite materials and niobium based alloys. In many cases, these materials provide a unique combination of high gas corrosion resistance, high elastic modulus and a low density in comparison to nickel superalloys. Due to the possible application as a result of high strength and melting points, corrosion resistance and a low specific mass, specific attention is drawn aluminides of transition metals, especially a niobium aluminides [1, 2].

The use of titanium and nickel aluminides is typically limited to a temperature below 1000°C, while the niobium aluminides may be used even at temperatures above 1200 °C [3].

Various phases of the Nb-Al, are particularly attractive for high temperature, like NbAl<sub>3</sub> phase, of the high melting point (1680°C) and low density (4.54 g / cm<sup>3</sup>) compared to the phase Ni<sub>3</sub>Al (7.6 g / cm<sup>3</sup>) [4]. NbAl<sub>3</sub> phase is applied to the blades in aircraft engines or stationary gas turbines [5]. However, the use of NbAl<sub>3</sub> obstacle is small deformation ability, low strength and low ductility at room temperature [6].

Parallel to the intermetallic studies are being conducted on niobium alloys such as Nb-1Zr, PWC-11 and C-103, which are used in nuclear reactors and aerospace. Niobium alloys are most suitable as construction materials for use in the temperature range 900-1200 °C. The main disadvantage of the application of niobium is low oxidation resistance atmospheres that contain high oxygen partial pressure.

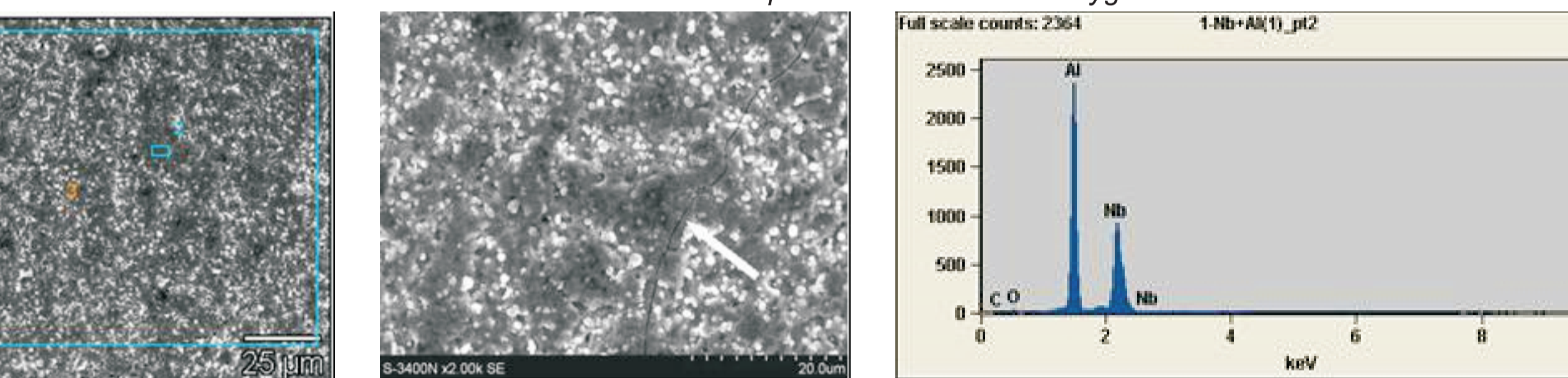
Even at low partial pressure of oxygen in atmosphere- order of a few ppm, alloys become brittle [7], hence the need to apply the coating. Among the various techniques for preparing protective layers for high temperature applications, the most commonly used method of powder (pack cementation) [4]. The aim of the study was to determine the rate of oxidation of industrial alloy C-103 with a layer of aluminum. The protective layer is made of aluminum powder method.



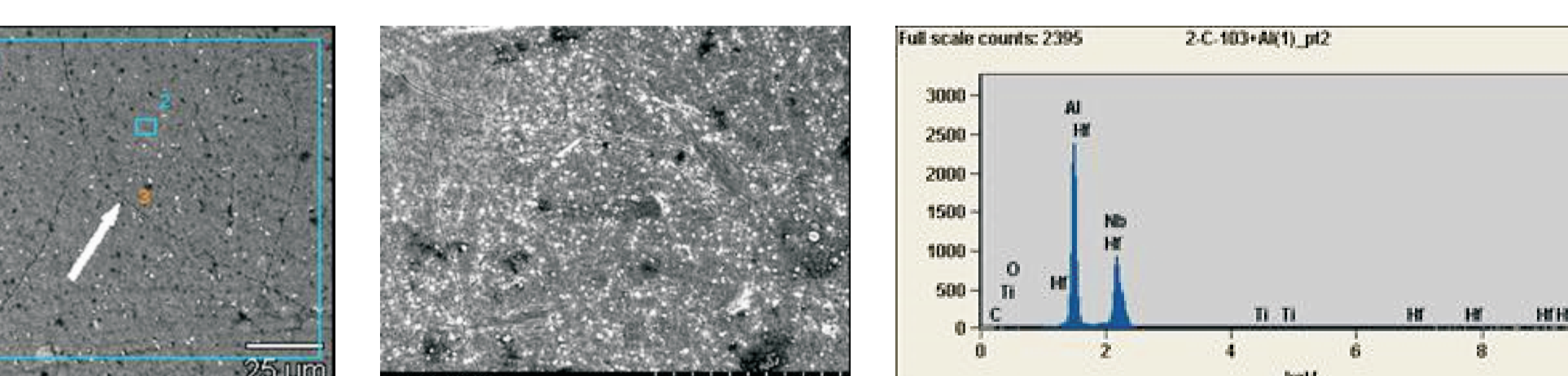
Przebieg utleniania stopu C103 z warstwą Al wytworzoną metodą proszkową. T = 1100°C, atmosfera - tlen techniczny  
Oxidation curve of the alloy C103 Al layer produced by pack cementation T = 1100 °C, atmosphere - technical oxygen



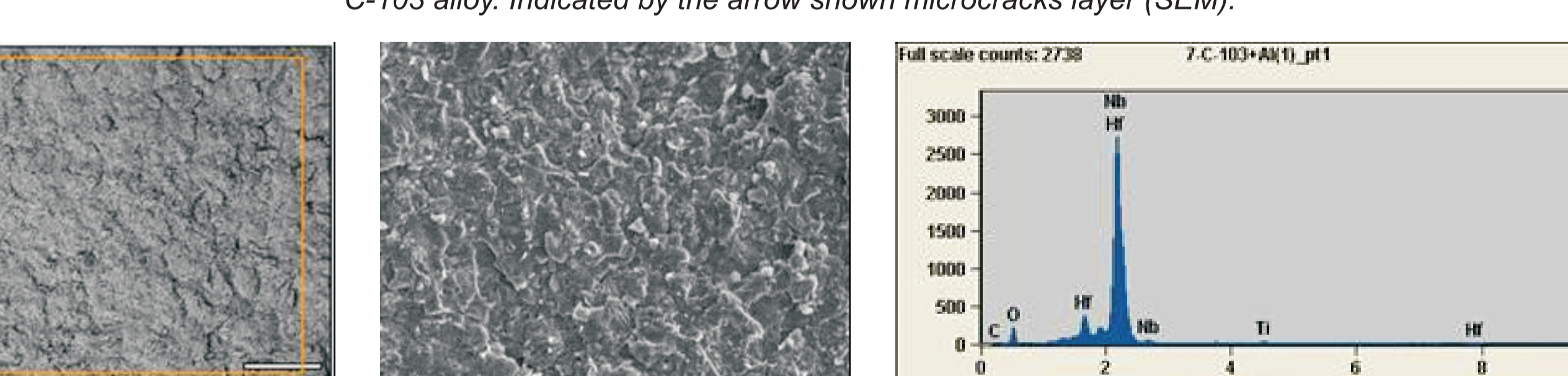
Wygląd próbki ze stopu C-103 z warstwą aluminium wytworzoną metodą proszkową wraz z odpadniętą zgorzeliną, po 2 godz. utleniania przy temperaturze 1100°C, w tlenie  
Samples appearance of C-103 alloy with aluminum coating produced by pack cementation method with scale fall off after 2 hours oxidation at a temperature of 1100°C in oxygen



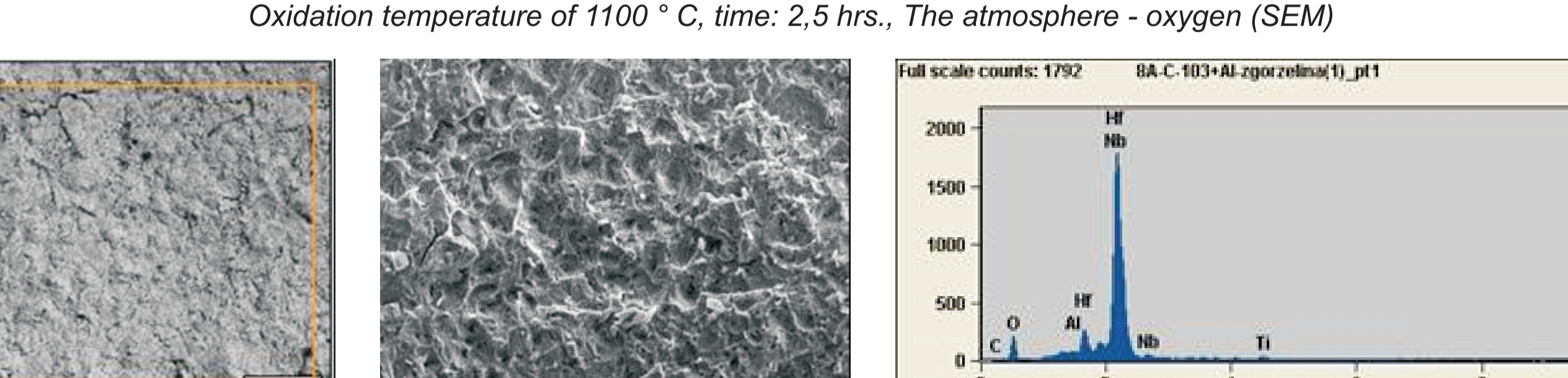
Morfologia oraz skład chemiczny zewnętrznej warstwy aluminiowej otrzymanej metodą kontaktowo-gazową na niobie. Strzałką zaznaczono widoczne mikropęknięcia w warstwie (SEM).  
The morphology and chemical composition of the outer layer of aluminum obtained by pack cementation method on niobium. Indicated by the arrow shown microcracks layer (SEM).



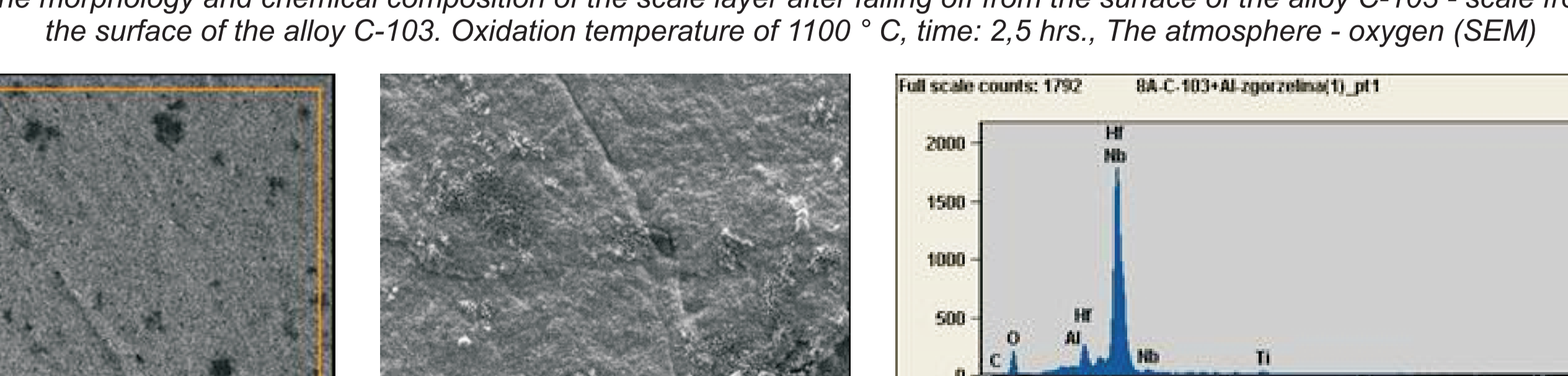
Morfologia oraz skład chemiczny zewnętrznej warstwy aluminiowej otrzymanej metodą kontaktowo-gazową na stopie C-103. Strzałką zaznaczono widoczne mikropęknięcia w warstwie (SEM).  
The morphology and chemical composition of the outer layer of aluminum obtained by pack cementation method on the C-103 alloy. Indicated by the arrow shown microcracks layer (SEM).



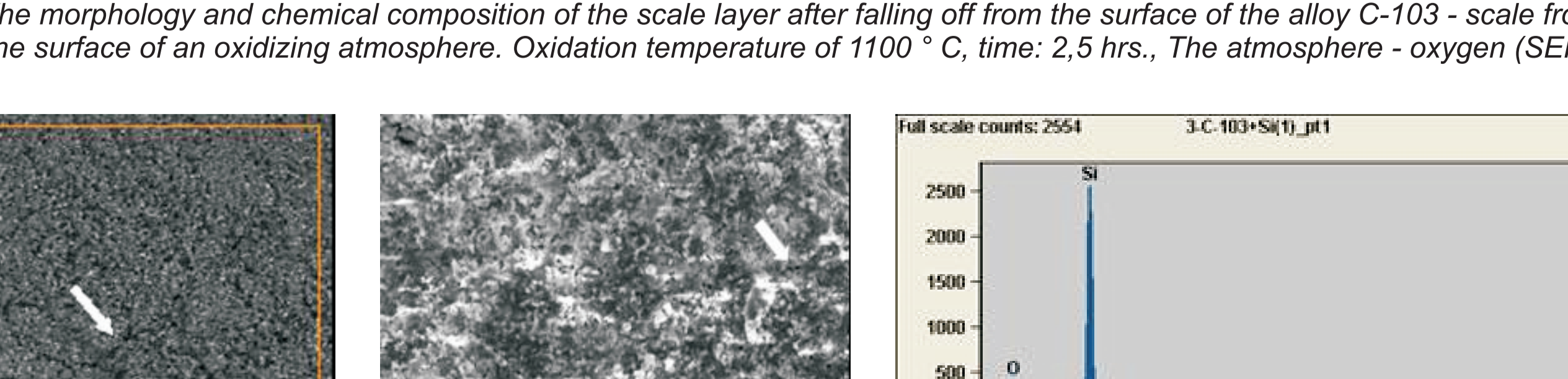
Morfologia oraz skład chemiczny zewnętrznej powierzchni próbki ze stopu C-103 po odpadnięciu warstwy zgorzeliny. Temperatura utleniania 1100°C, czas 2,5 godz., atmosfera - tlen (SEM).  
The morphology and chemical composition of the outer surface of the sample alloy C-103 after falling off scale layer. Oxidation temperature of 1100 °C, time: 2.5 hrs., The atmosphere - oxygen (SEM)



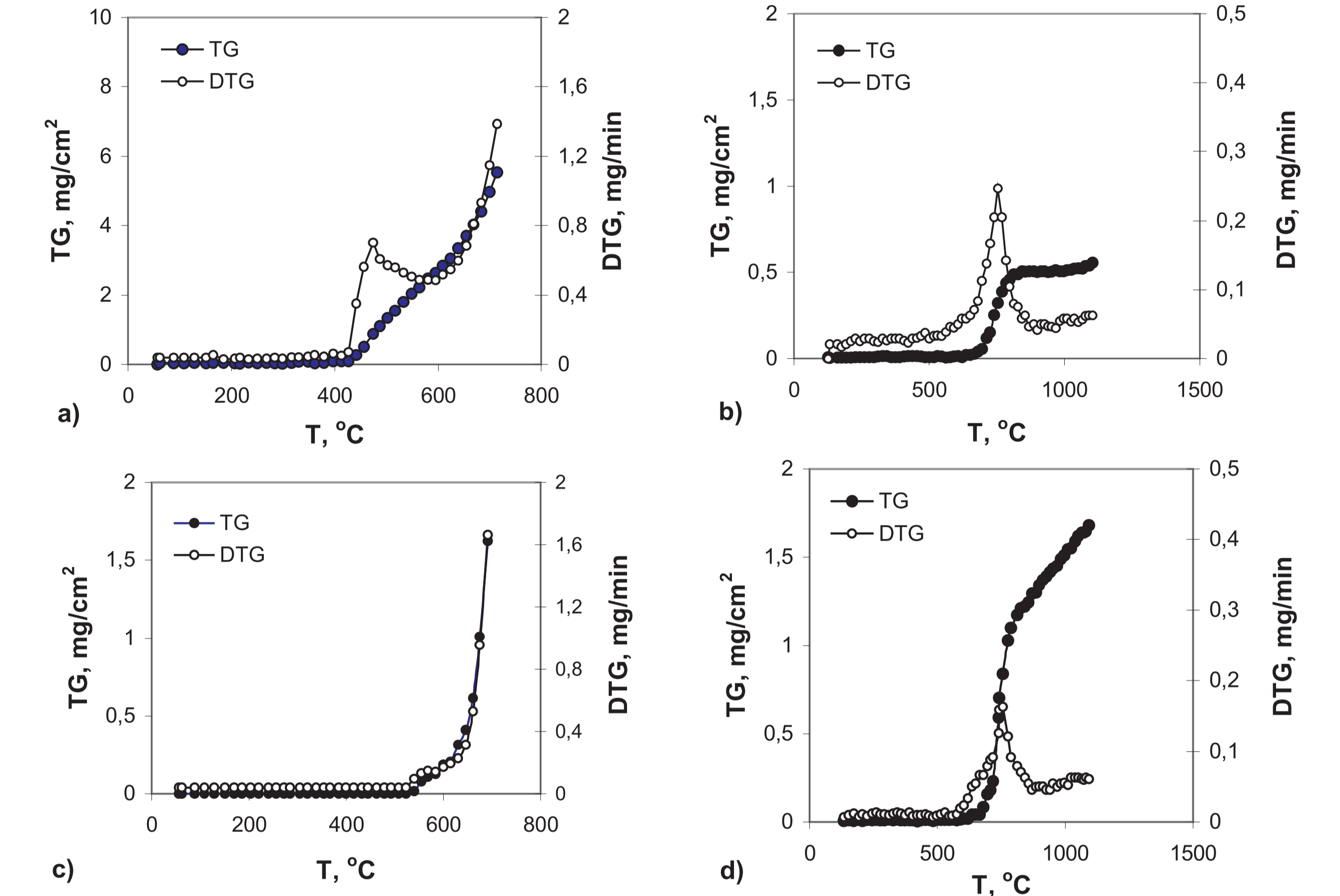
Morfologia oraz skład chemiczny warstwy zgorzeliny po odpadnięciu od powierzchni stopu C-103 - powierzchnia zgorzeliny od strony atmosfery utleniającej. Temperatura utleniania 1100°C, czas 2,5 godz., atmosfera - tlen (SEM).  
The morphology and chemical composition of the scale layer after falling off from the surface of the alloy C-103 - scale from the surface of an oxidizing atmosphere. Oxidation temperature of 1100 °C, time: 2.5 hrs., The atmosphere - oxygen (SEM)



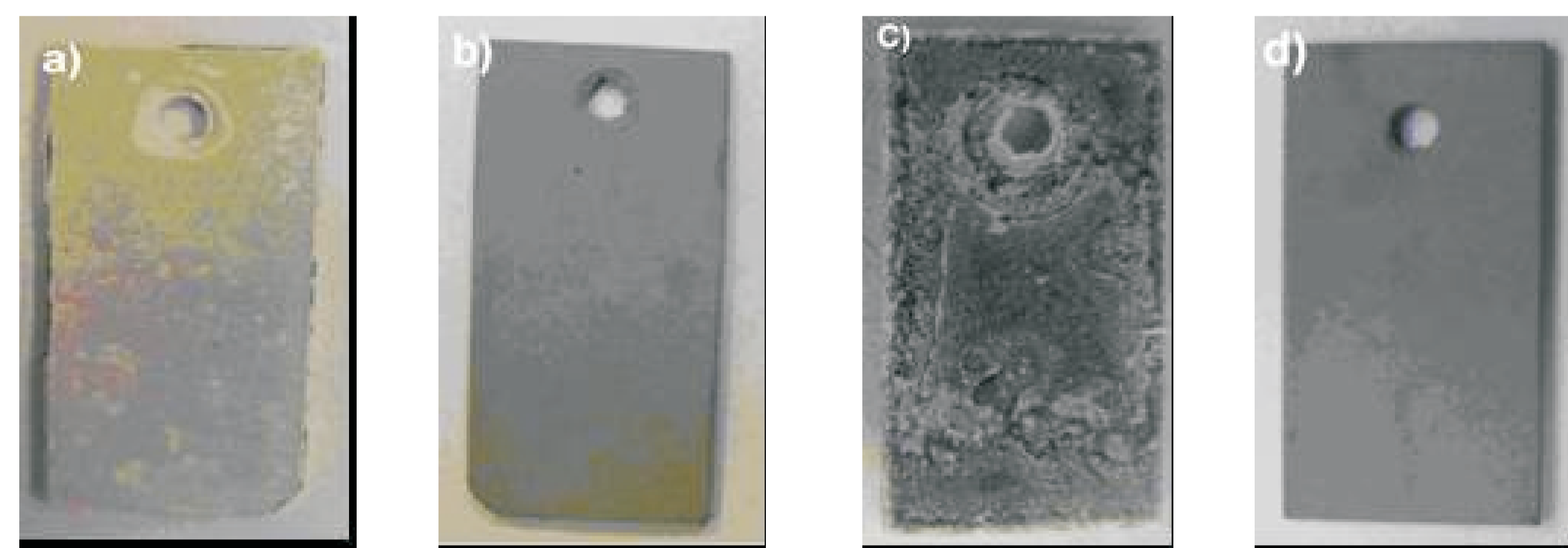
Morfologia oraz skład chemiczny warstwy zgorzeliny po odpadnięciu od powierzchni stopu C-103 - powierzchnia zgorzeliny od strony atmosfery utleniającej. Temperatura utleniania 1100°C, czas 2,5 godz., atmosfera - tlen (SEM).  
The morphology and chemical composition of the scale layer after falling off from the surface of the alloy C-103 - scale from the surface of an oxidizing atmosphere. Oxidation temperature of 1100 °C, time: 2.5 hrs., The atmosphere - oxygen (SEM)



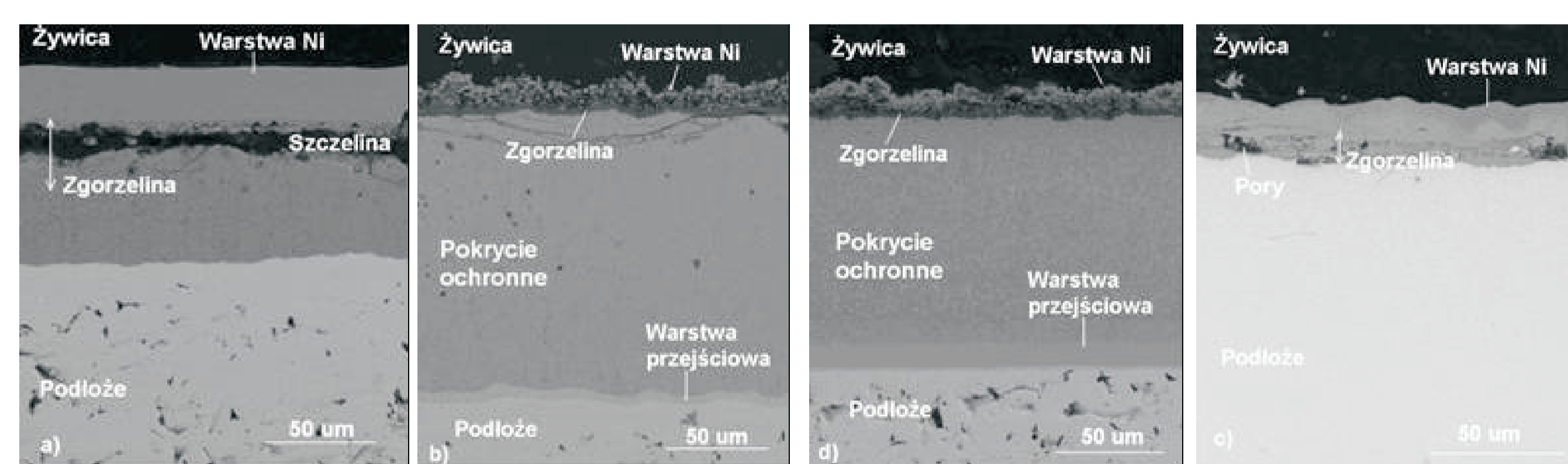
Morfologia oraz skład chemiczny ochronnej warstwy krzemkowej utworzonej metodą kontaktowo na stopie C-103 po utlenianiu przy temperaturze 1100°C, czas 8 godz., atmosfera - tlen.  
The morphology and chemical composition of the protective layer of silicide formed by pack cementation method on C-103 after oxidation at a temperature of 1100 °C, time 8 h., the atmosphere - oxygen. Arrows indicate the microcracks in the oxide layer (SEM).



Porównanie utleniania Nb i stopu C-103, a) Nb po nagraniu do 700°C, b) Nb z warstwą krzemkową po nagraniu do 700°C, c) stop C-103 po nagraniu do 700°C, d) stop C-103 z warstwą krzemkową po nagraniu do 1100°C.  
Comparison of oxidation of Nb and C-103 alloy, a) Nb after heating to 700°C, b) Nb with a layer of silicide when heated to 700°C, c) C-103 alloy after heating to 700°C, d) the alloy C-103 of the silicide layer after heating to 1100°C.

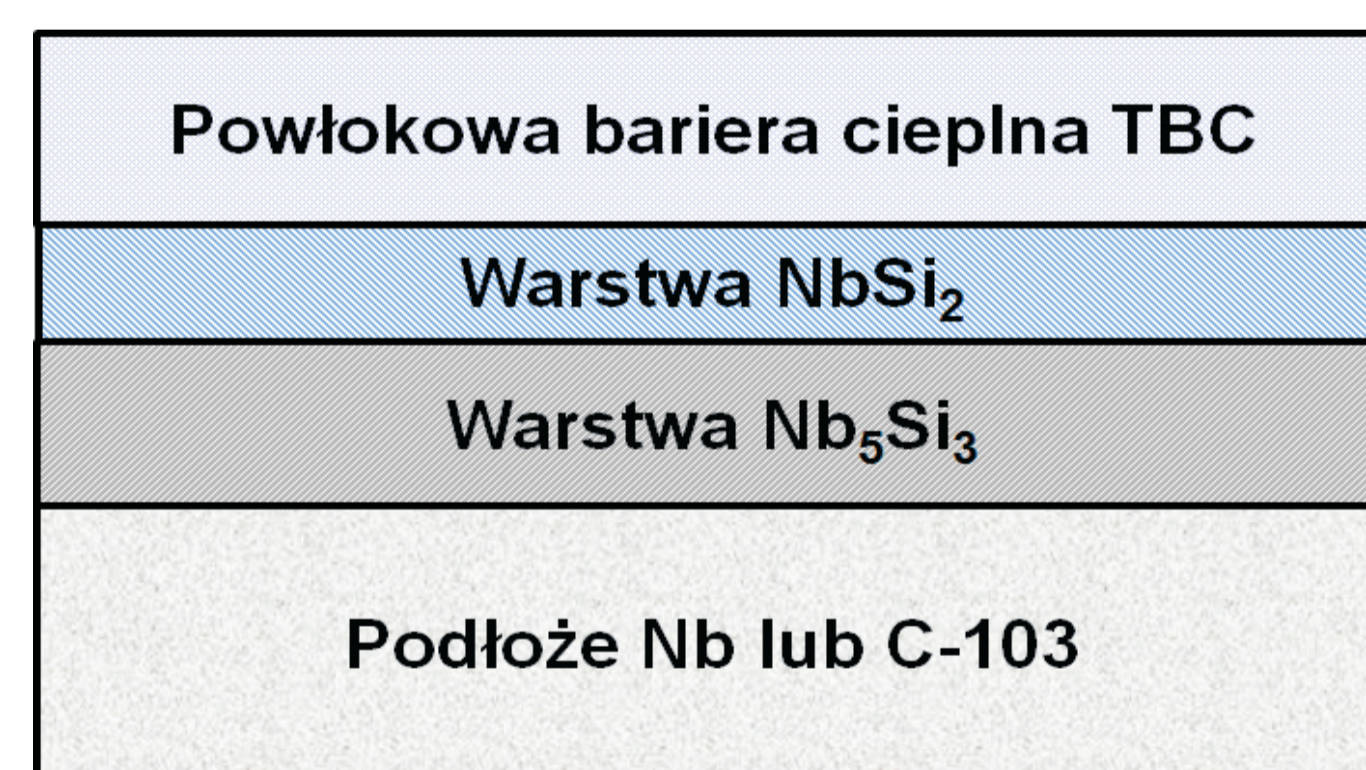


Wygląd próbek po utlenianiu w tlenie. a) Nb po nagraniu do 700°C, b) Nb z warstwą Si po nagraniu do 1100°C, c) stop C-103 po nagraniu do 700°C, d) stop C-103 z warstwą krzemkową po nagraniu do 1100°C  
Appearance of samples after oxidation with oxygen. a) Nb after heating to 700°C, b) Nb Si layer after heating to 1100°C, c) C-103 alloy after heating to 700°C, d) Alloy C-103 with a layer of silicide when heated to 1100°C



Przekrój poprzeczny zgorzeliny i warstwy krzemkowej po utlenianiu. a) Nb po utlenianiu w 700°C, b) Nb z pokryciem ochronnym po utlenianiu w 1100°C, c) stop C-103 po utlenianiu w 700°C, d) stop C-103 z pokryciem ochronnym po utlenianiu w 1100°C.  
Cross-section of scale and silicide coating after oxidized, a) Nb oxidized at 700°C, b) Nb of protective coating after oxidation at 1100°C, c) C-103 alloy after oxidation at 700°C, d) An alloy C-103, a protective coating after oxidation at 1100°C.

#### Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



#### Wnioski Conclusions

- Ochronne powłoki krzemkowe wytworzone metodą kontaktowo-gazową, na niobie i stopie niobu C-103 w znaczący sposób podwyższa odporność na utlenianie w porównaniu do próbek bez warstwy krzemkowej
- Utworzone powłoki krzemkowe podwyższa odporność na utlenianie w porównaniu do próbek bez warstwy krzemkowej
- Utlennianie niobu oraz stopu C-103 bez powłoki ochronnej zachodzi ze wzrastającą szybkością. Utworzona zgorzelina zbudowana jest z tlenku Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Oxidation of niobium and Alloy C-103 without the protective covering takes place with increasing speed. Created scale is composed of oxide Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Próbki z warstwą krzemkową wykazują bardzo dobrą odporność na utlenianie w temperaturze 1100°C. Związane to jest głównie z obecnością SiO<sub>2</sub> w zgorzelinie.
- Samples with silicide coatings exhibit very good resistance to oxidation at 1100°C. This is mainly associated with the presence of SiO<sub>2</sub> of the scale.

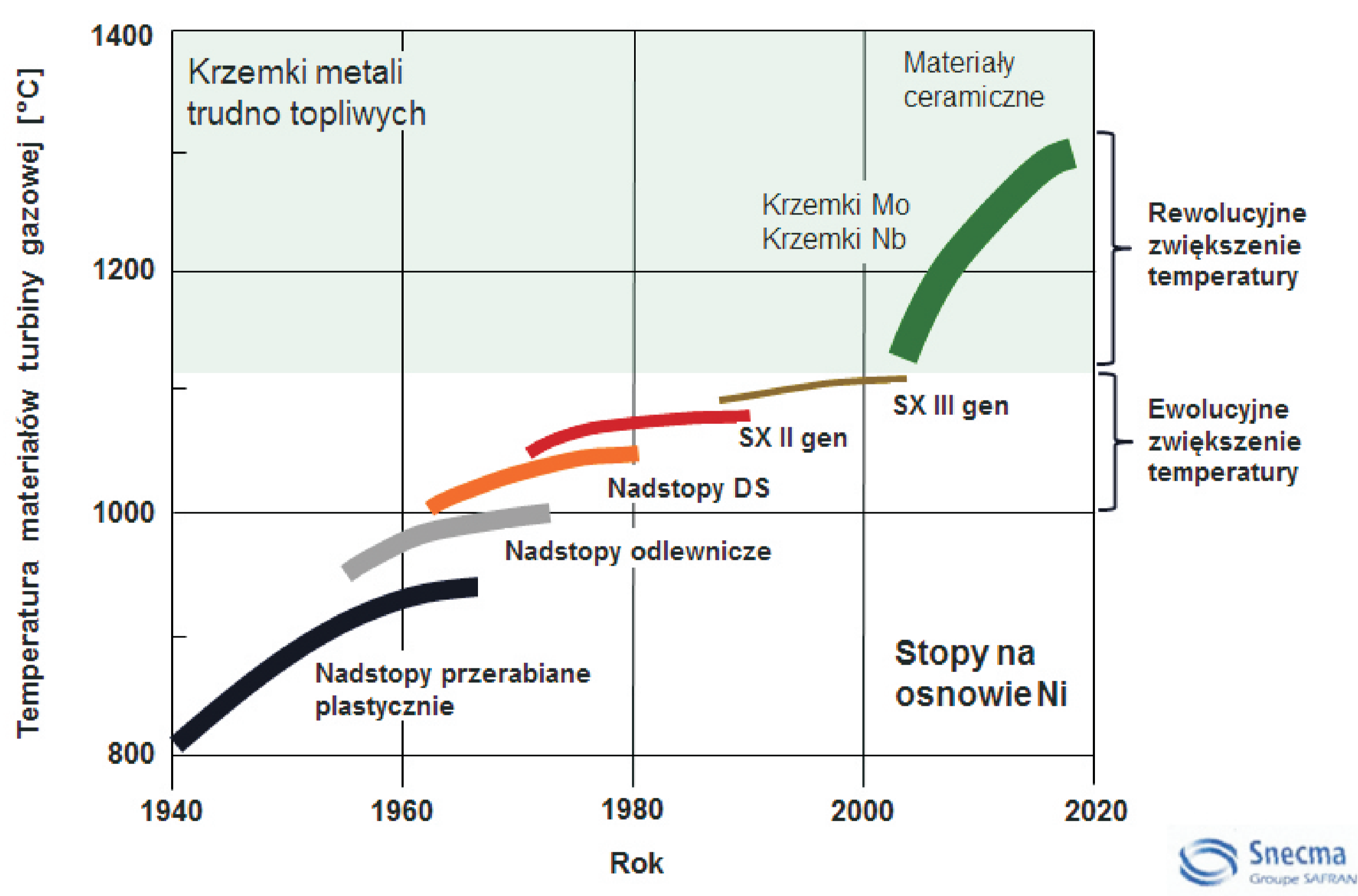
#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

#### Referaty

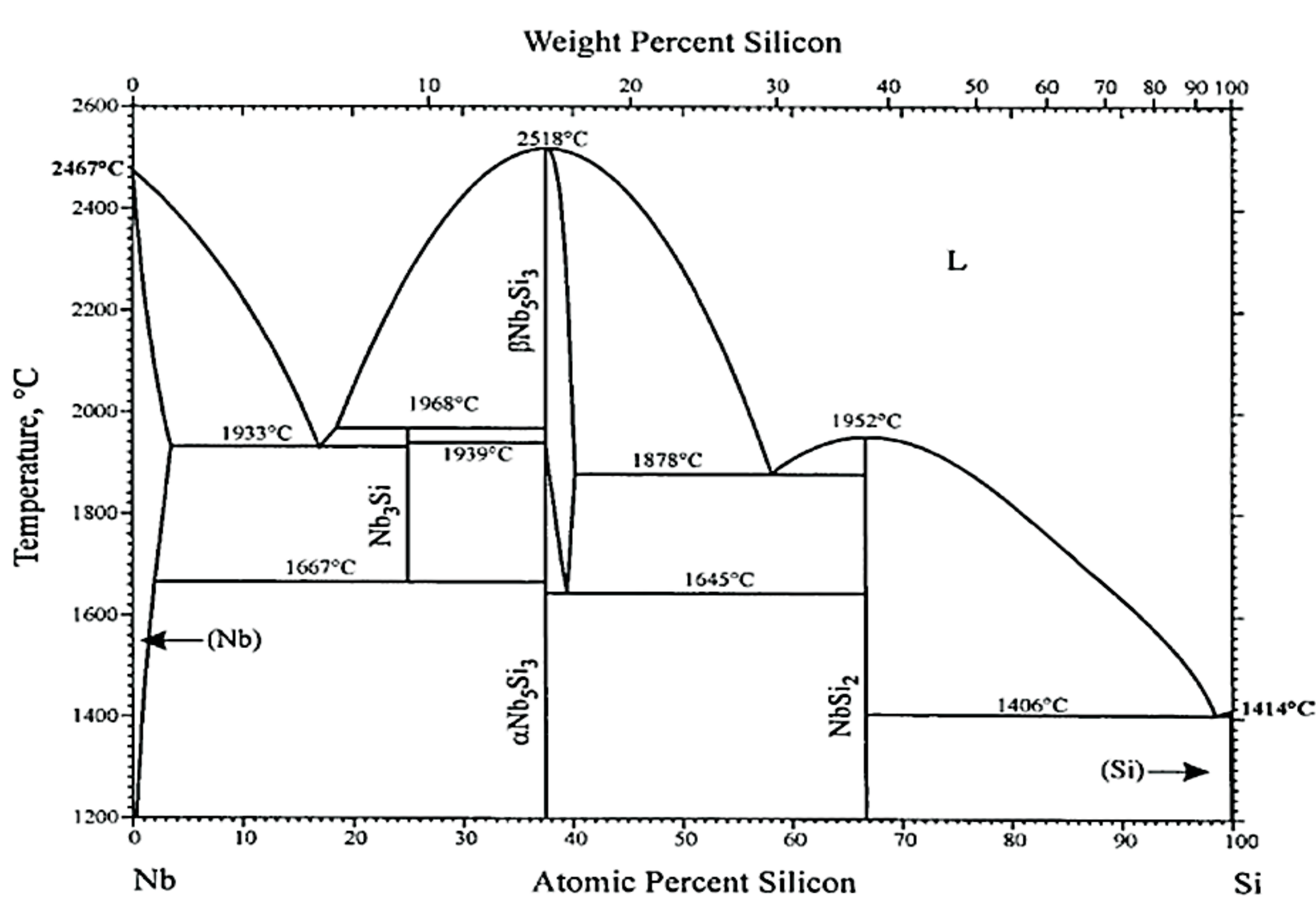
- Roman Przeliorz, Lucjan Swadzba, Oxidation of niobium and C-103 alloy coated by means of the pack cementation method

#### Publikacje

- Roman Przeliorz, Lucjan Swadzba, Oxidation of niobium and C-103 alloy coated by means of the pack cementation method, Ochr. Przed Koroz., 2014, 57, 5, pp.155-159



Rozwój materiałów determinowany wzrostem temperatury pracy elementów turbin  
The development of materials determined by increasing temperature turbine components



Układ równowagi Nb - Si  
Nb - Si phase diagram