

# 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

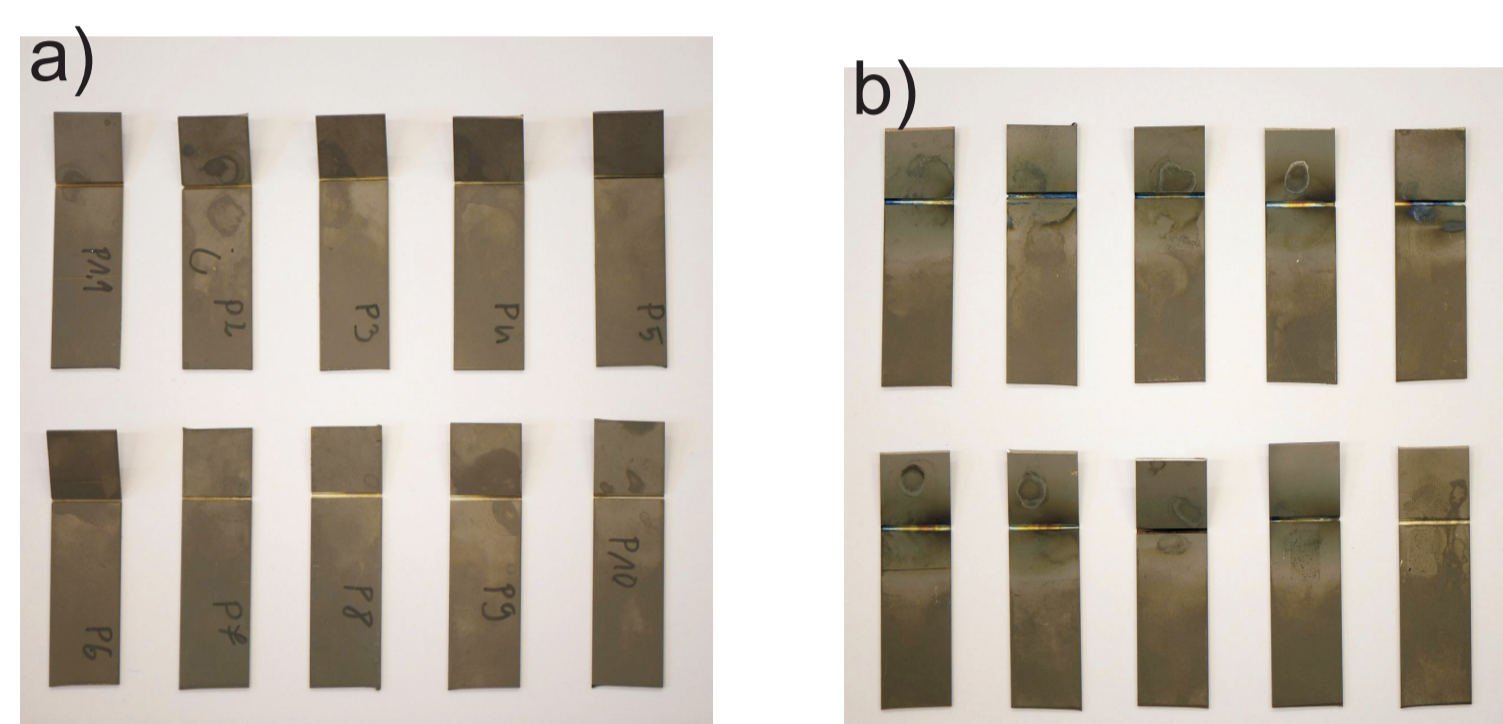
#### Wyniki badań

**Wyznaczenie właściwości mechanicznych oraz temperatury kruchości powłoki AlNi wytworzonej na nadstopie 625 w procesie aluminowania dyfuzyjnego**

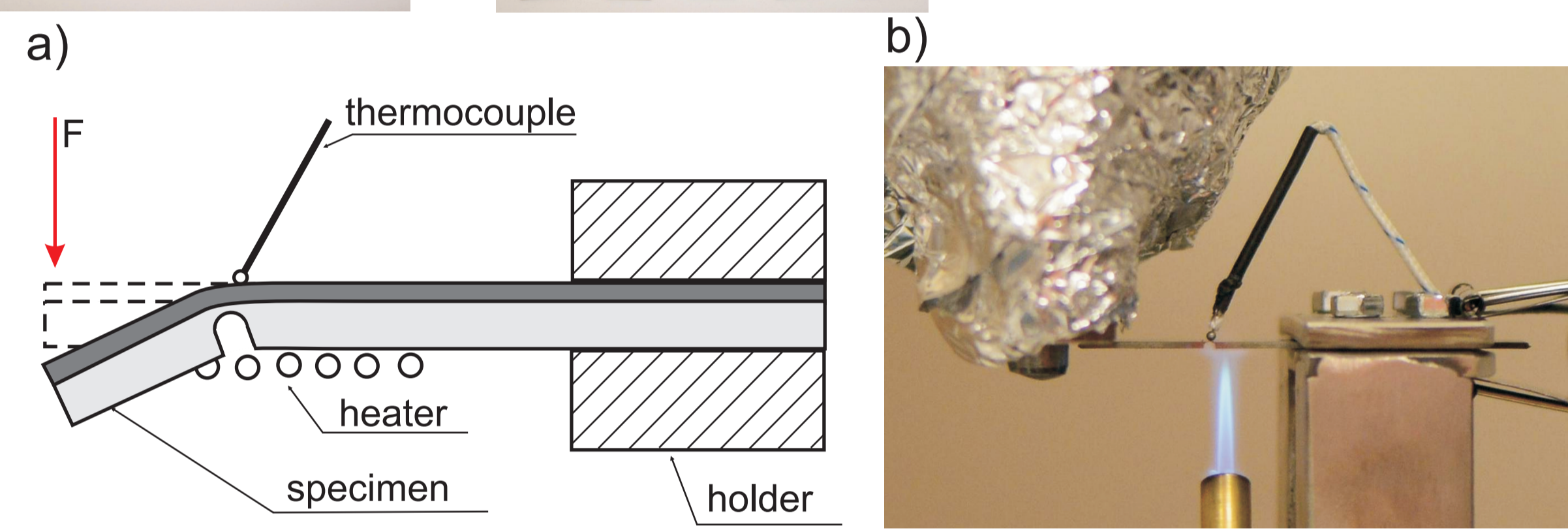
**Determination of the brittleness temperature of the AlNi coatings**  
The test specimens were made of a commercial Inconel 625 alloy

Właściwości mechaniczne i temperaturę, w której wzrasta kruchość powłoki AlNi wyznaczono podczas próby zginania. Do próby zginania przygotowano próbki o wielkości 50 mm x 19 mm x 1 mm. W próbkach nacięto karb o szerokości 1,8 mm i wysokości 0,96 mm starając się pozostawić ponad karbem powłokę aluminidkową. Próbę zginania prowadzono w temperaturze pokojowej 20°C rejestrując siłę gnącą (F) w funkcji ugięcia (d) oraz czasu (t). Próbę przeprowadzono na 10 próbkach (rys. 1a, rys. 2). Przykładowe krzywe  $F = f(d)$  zarejestrowane podczas próby zginania przedstawiono na rys. 3a.

On the surface of the specimens the AlNi coating in "Above pack" processes was produced. The brittleness temperature of the AlNi coatings was determined during the bending test. The bend test specimens were prepared with dimensions 50 mm x 19 mm x 1 mm. In the samples were cut a notch with a width of 1,8 mm and a height of 0,95 mm. Aluminide coatings efforts were made to leave above the notch. The bending tests were performed at temperature room 20°C. The values of the force bending and displacement of specimen as a time function were measured during the test bending. The test was performed on 10 specimens, Fig. 1a. On the Fig 3a were shown the exemplary curves of force as a displacement function recorded during test bending.



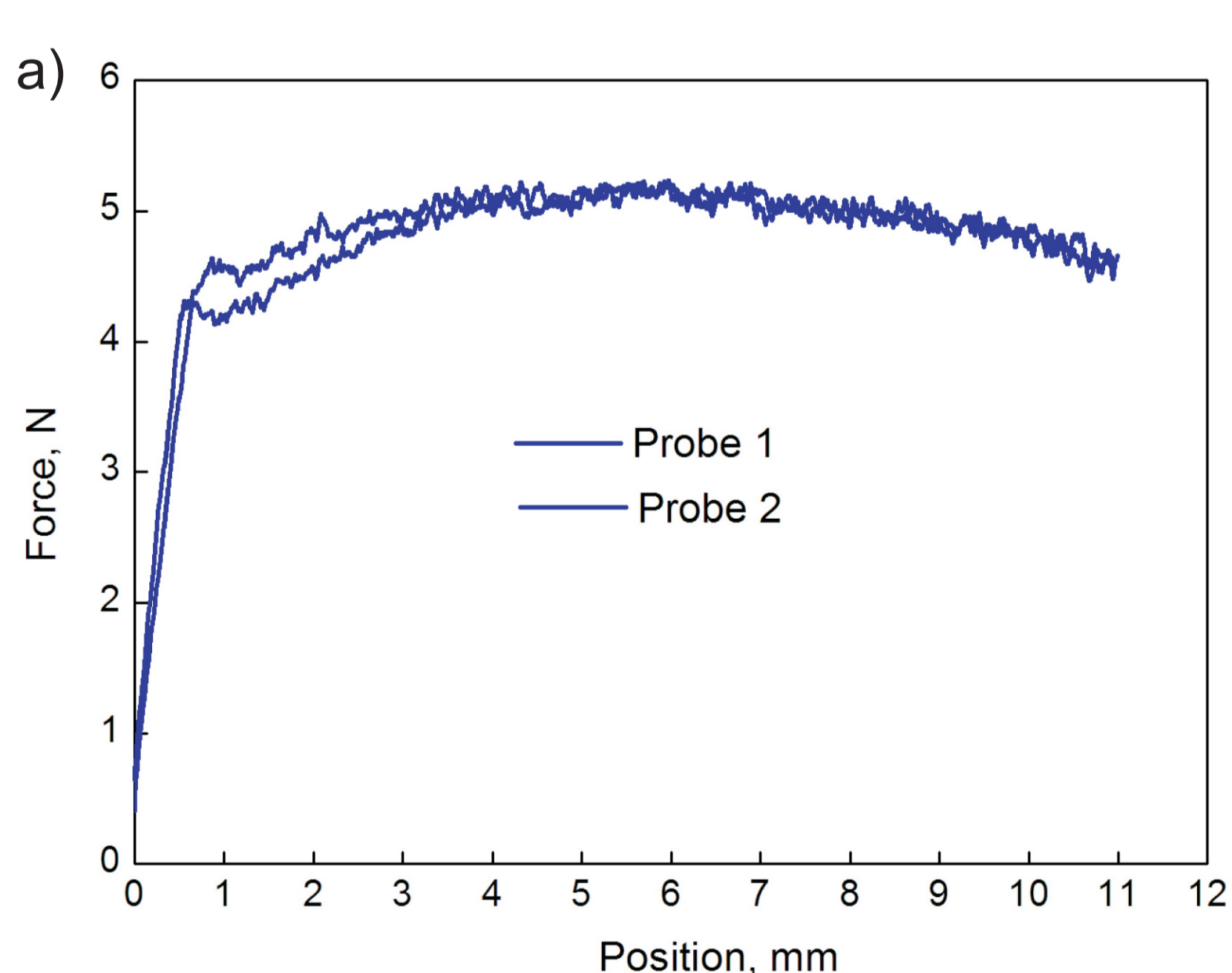
Rys.1. Próbkę do badań  
Fig.1. Test samples



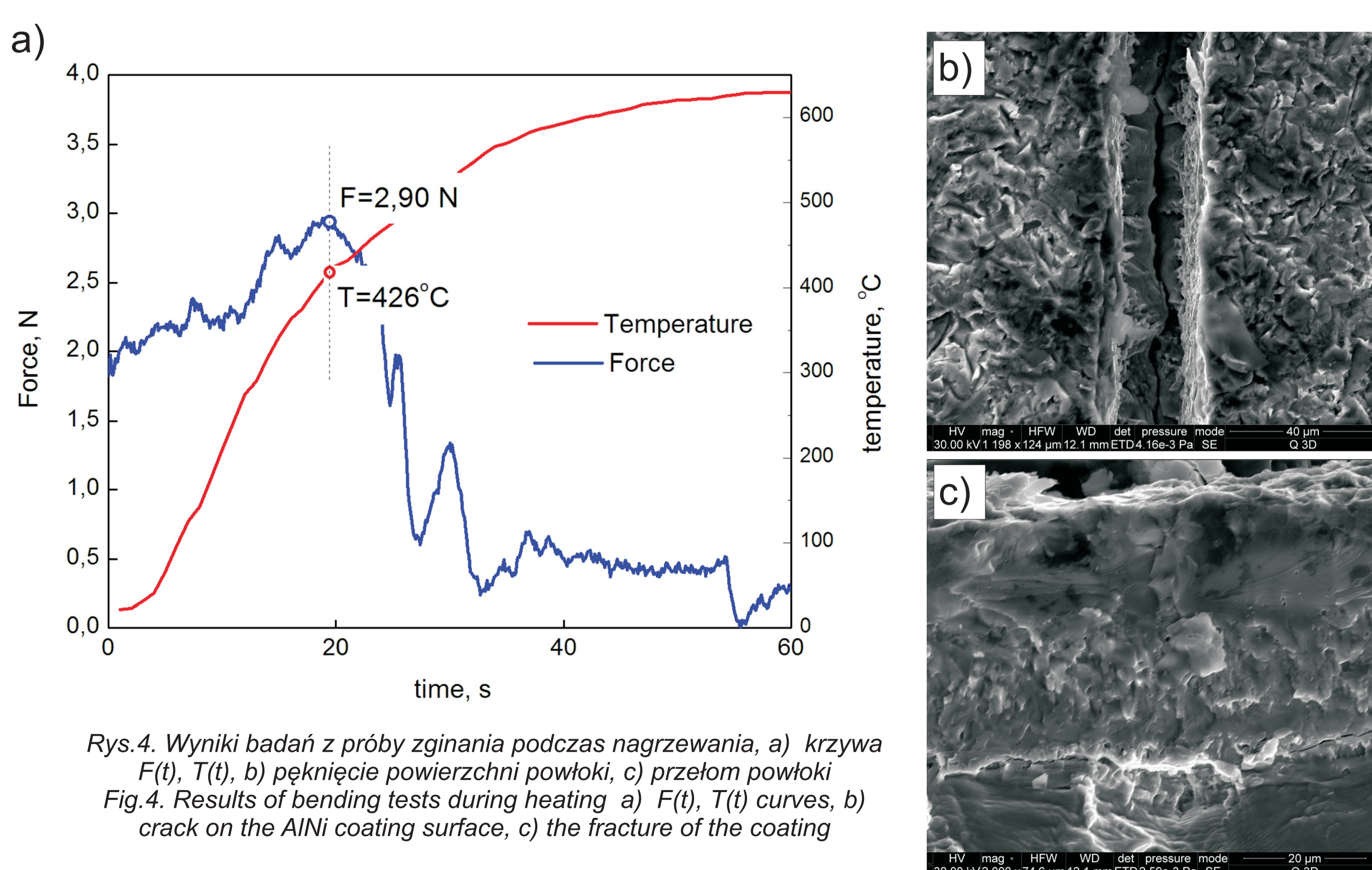
Rys.2. Stanowisko do wyznaczania temperatury kruchości powłoki: a) schemat, b) przebieg pomiaru  
Fig.2. Determination of brittleness of AlNi coating, a) scheme, b) measurement

W celu określenia temperatury, w której następuje wzrost kruchości powłoki AlNi wykonano próbę zginania podczas nagrzewania próbki od 20°C do 600°C. Stosowano obciążenie powodujące odkształcenia sprężyste próbki. Rejestrowano temperaturę (T) oraz siłę gnącą (F) w funkcji czasu (t). Próbę przeprowadzono dla dziesięciu próbek (rys 1b). Na rys. 4 przedstawiono przykładowe krzywe otrzymane dla pojedynczej próbki: temperaturę  $T = f(t)$  oraz siły  $F = f(t)$ . W wyniku pęknięcia powłoki nastąpiła nagła zmiana wartości siły gnącej. Zarejestrowana w czasie pęknięcia temperatura powłoki aluminidkowej jest temperaturą, w której wzrasta kruchość. Charakter pęknięcia powłoki AlNi określono na podstawie badań faktograficznych (rys 3c, 4c).

In order to determine of the brittleness temperature of the AlNi coating, the bending test was performed while heating the sample from a temperature of 20°C to 600°C. Applied the values of the load led to a elastic strain of the sample. The temperature and bending force as a time function were recorded. The test from a temperature of 20°C to 600°C was performed on 10 specimens. On the Fig. 1b, Fig. 2 the curves of temperature  $T=f(t)$  and bending force  $F=f(t)$  obtained for a single sample were shown. As a result of cracking followed by sudden change of the value of the bending force. Temperature, which was registered at the time the cracking of the aluminide coating is the brittleness temperature. The nature of cracking of the aluminide coatings was described on the basis of fractography studies (Fig. 3c, 4c).



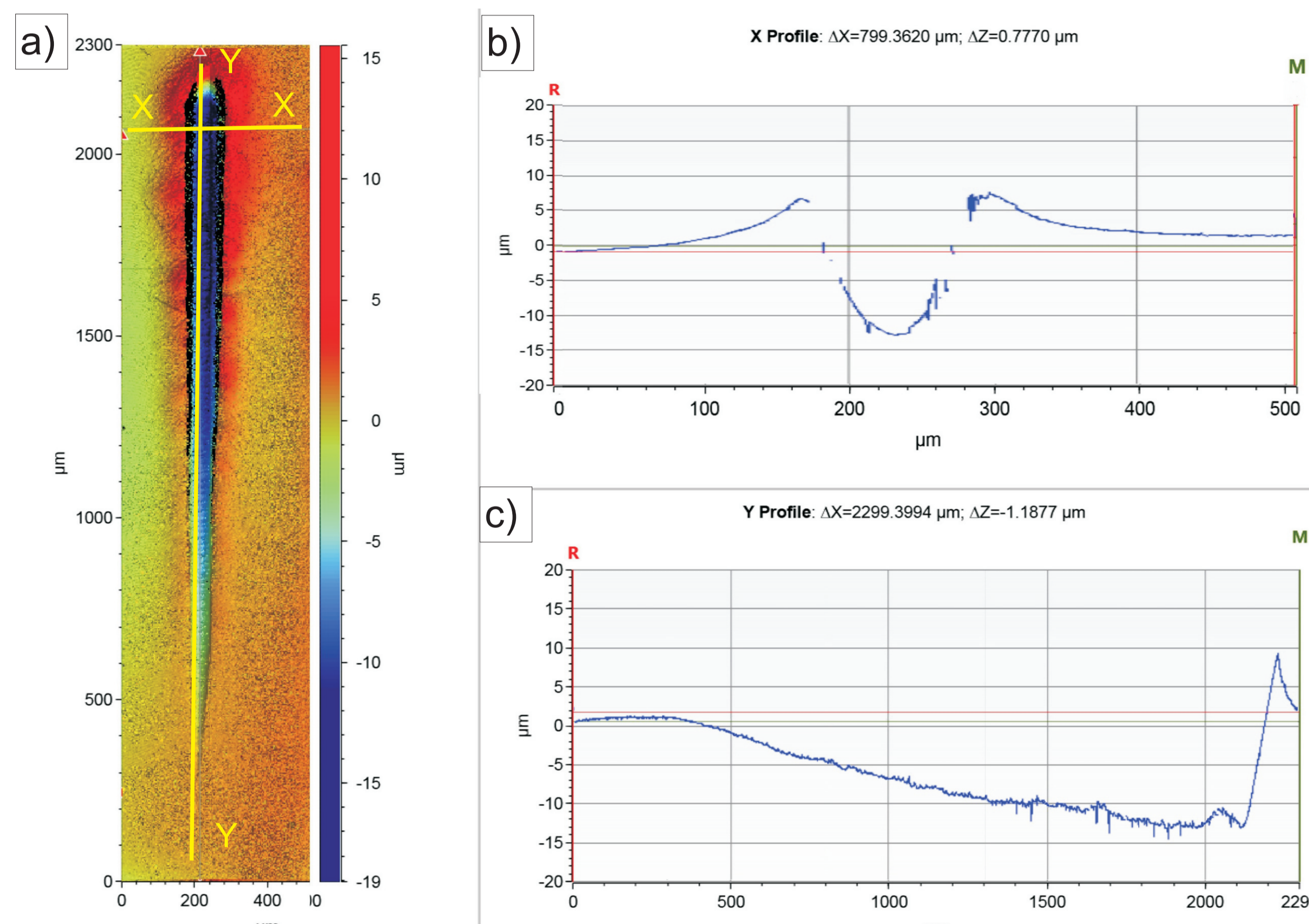
Rys.3. Wyniki badań z próby zginania w temperaturze 20°C, a) krzywa zginania, b) pęknięcie powierzchni powłoki, c) przelom powłoki  
Fig.3. Results of bending tests at 20°C temperature, a) bending curve, b) crack on the AlNi coating surface, c) the fracture of the coating



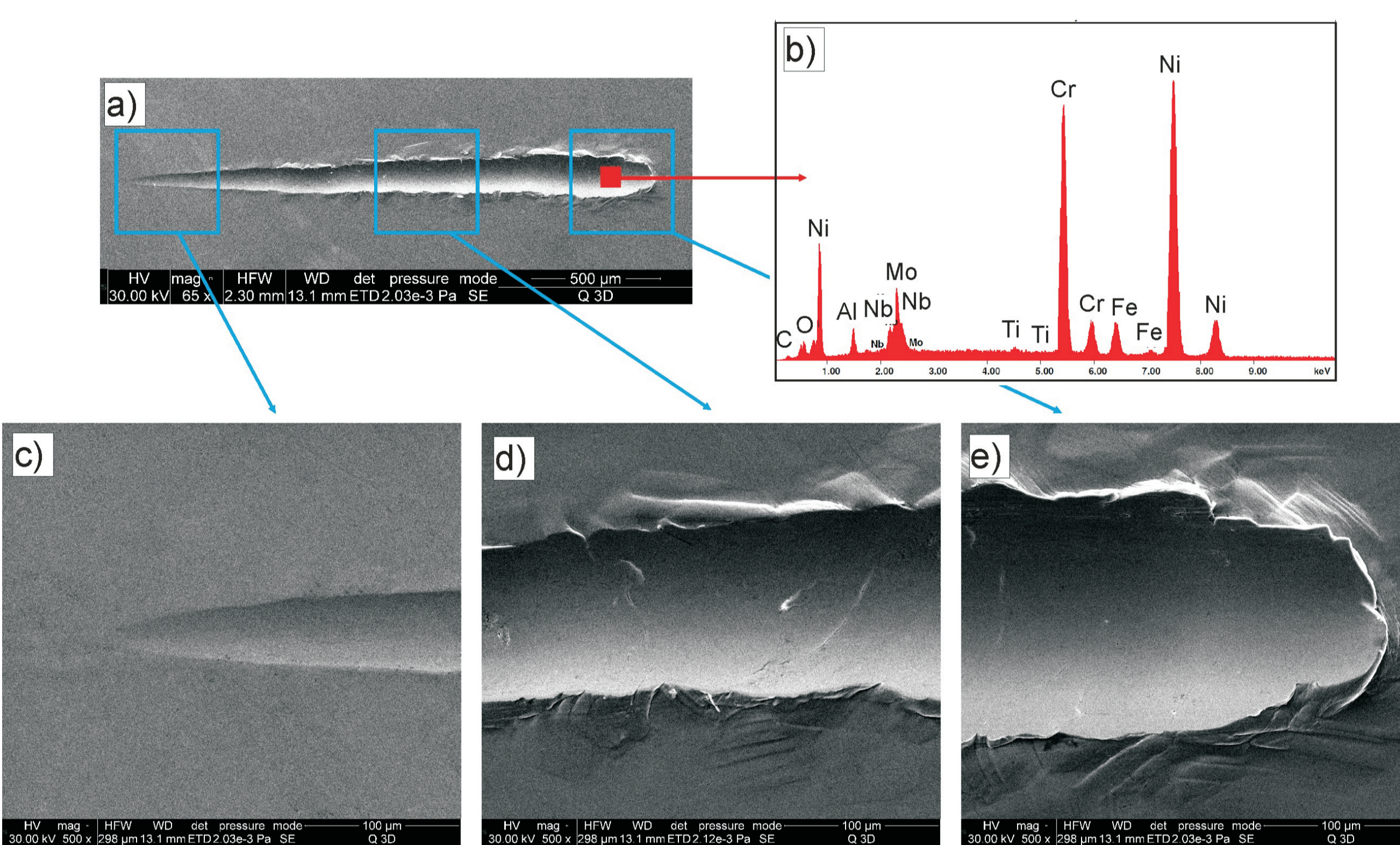
Rys.4. Wyniki badań z próby zginania podczas nagrzewania, a) krzywa  $F(t)$ ,  $T(t)$ , b) pęknięcie powierzchni powłoki, c) przelom powłoki  
Fig.4. Results of bending tests during heating a)  $F(t)$ ,  $T(t)$  curves, b) crack on the AlNi coating surface, c) the fracture of the coating

Badania scratch-test pozwoliły zaobserwować charakter destrukcji materiału podczas rysowania w poszczególnych warstwach powłoki. W badaniach scratch-test stosowano węgelnik Rockwella o promieniu zaokrąglenia  $r=0,1$  mm, siła obciążająca węgelnik wzrastała liniowo od 0,03 N do 30 N, długość odcinka pomiarowego wynosiła  $l=2$  mm, szybkość zakładania obciążenia 5 N/min.

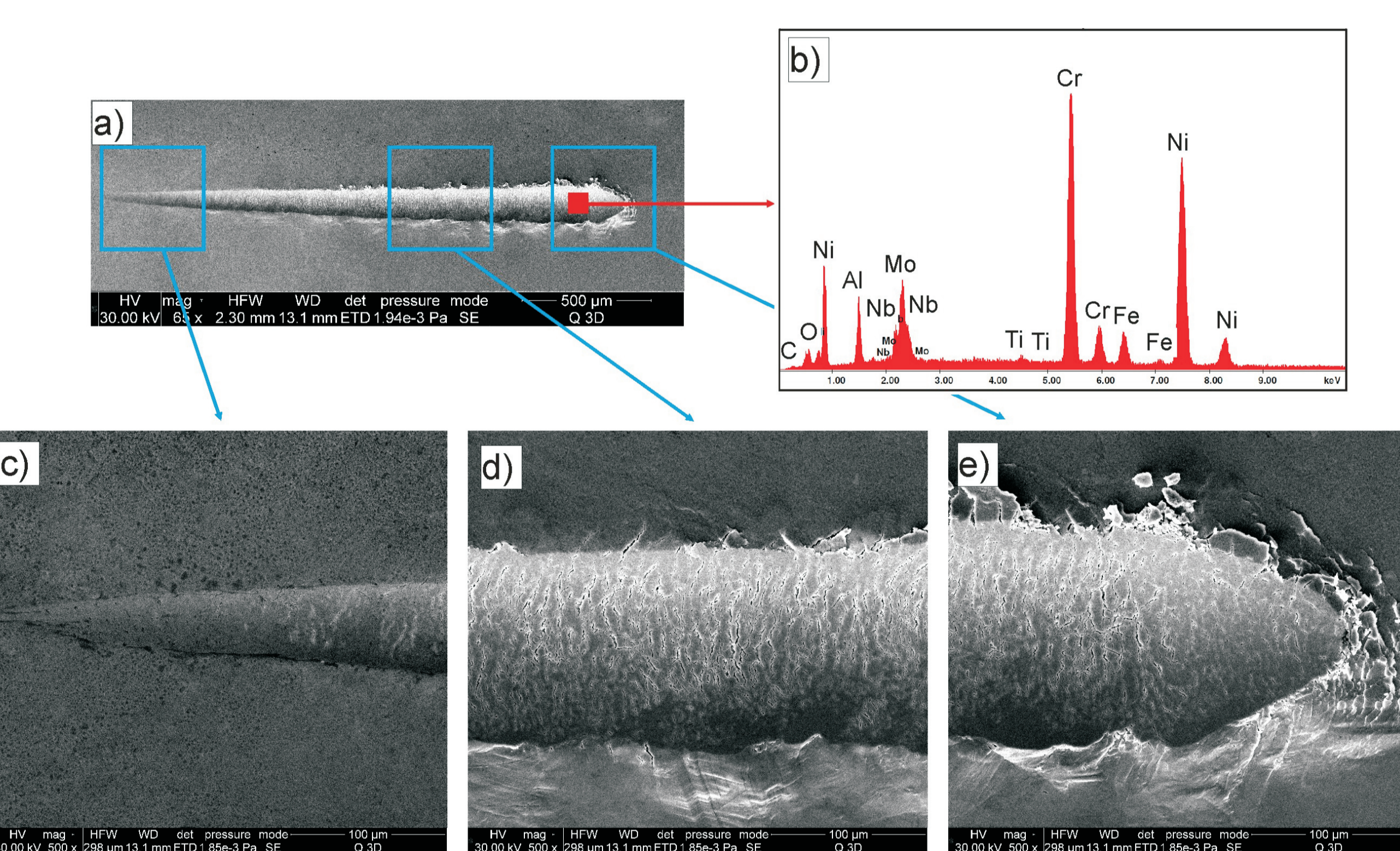
During of the scratch test, we can observe the nature of the destruction of the individual layers of the aluminide coating. In a study scratch-test was used: indenter Rockwell from radiused  $r = 0.1$  mm, loading (0.03 N to 30 N, linearly increasing), the length of the measurement,  $l = 2$  mm, the speed setting of load of 5 N/min.



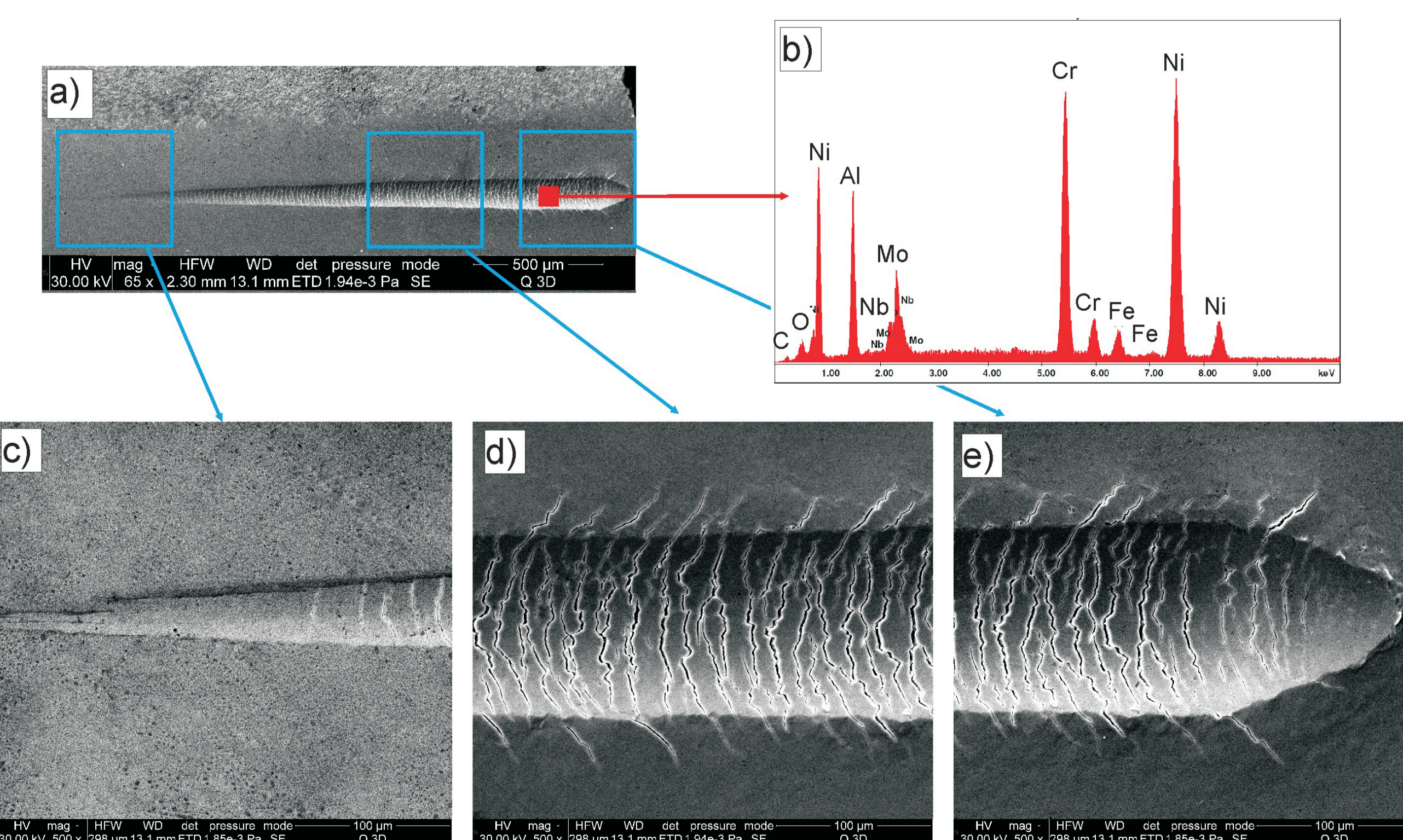
Rys.5. Widok rysy powstałej podczas scratch-test w powłoce AlNi (a), Profile rysy X-X (b) oraz Y-Y (c)  
Fig.5. View on the scratch of the coating AlNi (a), scratch profiles X-X (b) and Y-Y (c)



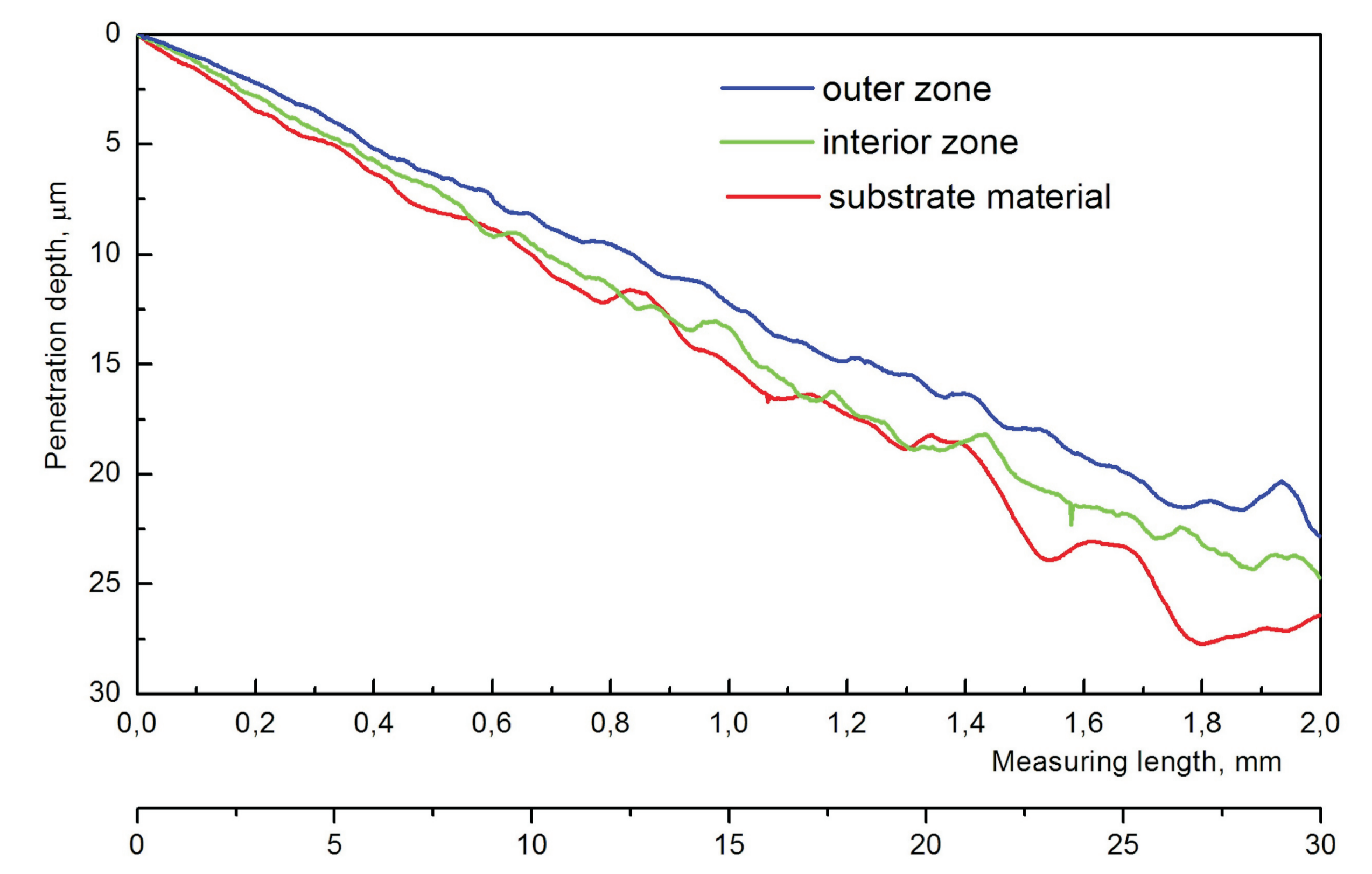
Rys.6. Inconel 625. Mikrostruktura SEM (a,c,d,e) oraz spektrum EDX (b) zarejestrowana w materiale rodzimym  
Fig.6. Inconel 625. Microstructure SEM (a,c,d,e) and EDX spectrum (b) of the scratch



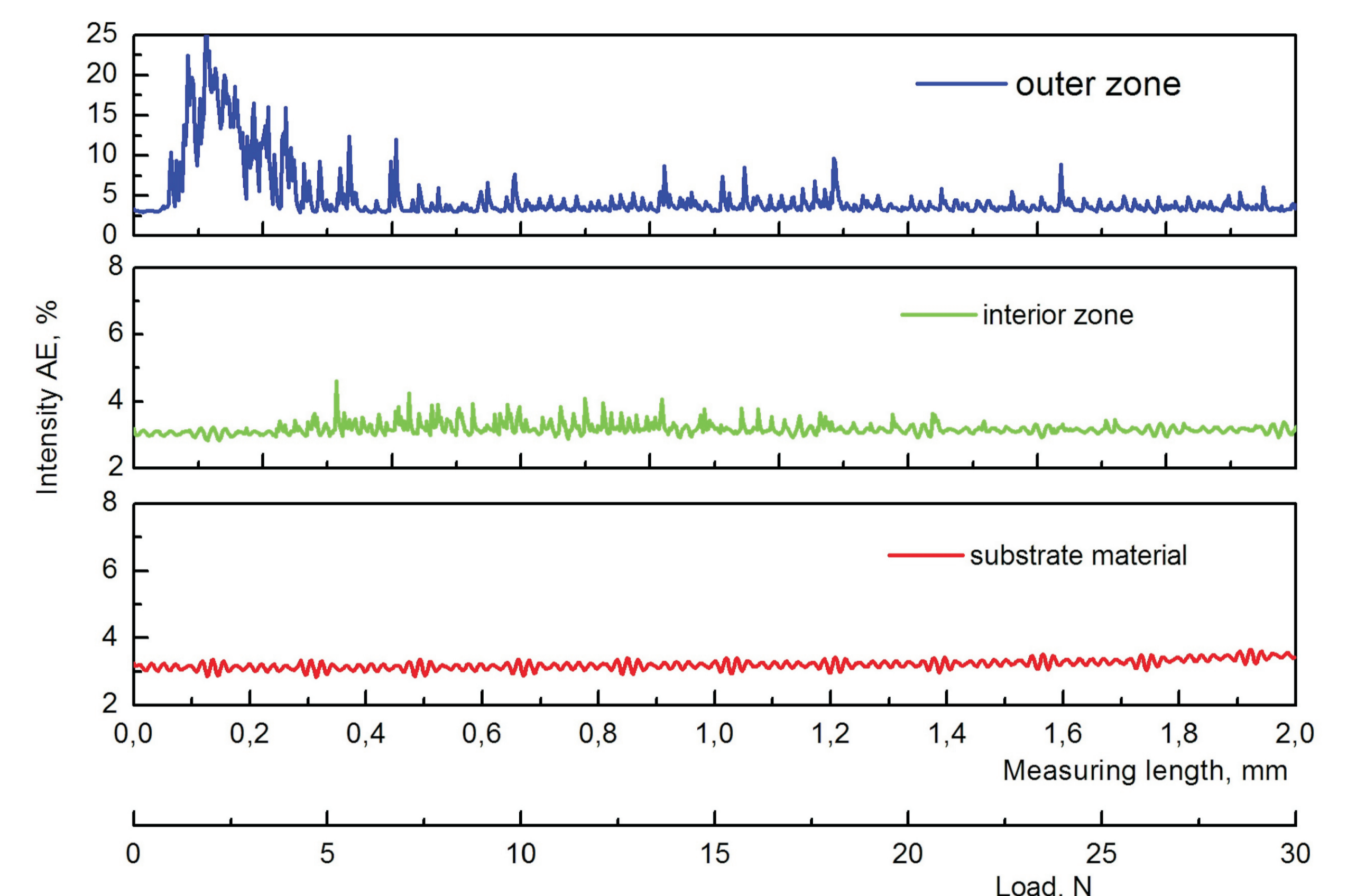
Rys.7. Strefa wewnętrzna powłoki AlNi. Mikrostruktura SEM (a,c,d,e) oraz spektrum EDX (b) zarejestrowana w materiale rodzimym  
Fig.7. Interior zone of the AlNi coating. Microstructure SEM (a,c,d,e) and EDX spectrum (b) of the scratch



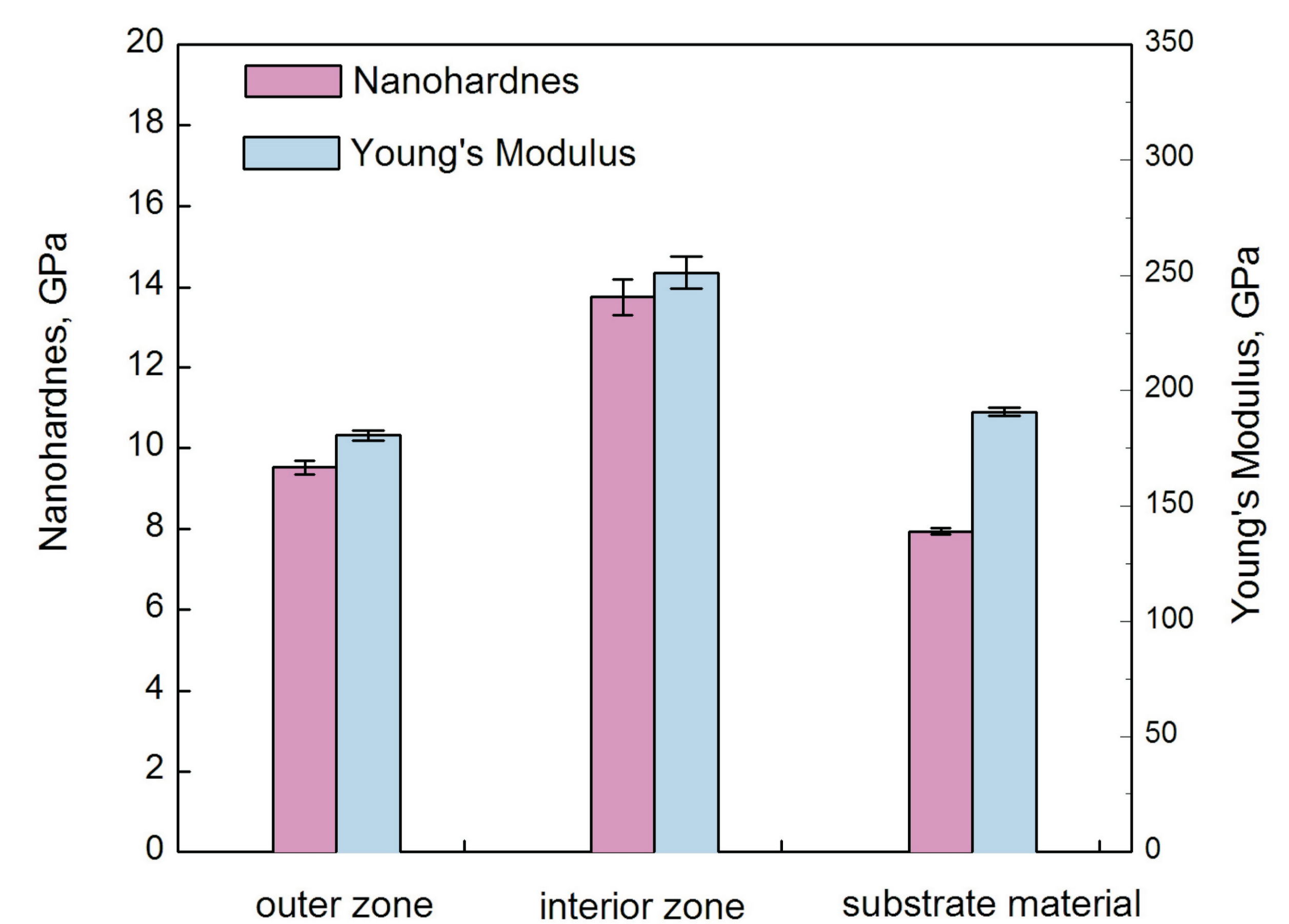
Rys.8. Strefa zewnętrzna powłoki AlNi. Mikrostruktura SEM (a,c,d,e) oraz spektrum EDX (b) zarejestrowana w materiale rodzimym  
Fig.8. Outer zone of the AlNi coating. Microstructure SEM (a,c,d,e) and EDX spectrum (b) of the scratch



Rys. 9. Głębokość zarysowania w funkcji drogi oraz w funkcji obciążenia  
Fig.9. Penetration depth as a measuring length function and load function



Rys. 10. Sygnal Emisji Akustycznej rejestrowany podczas scratch testu  
Fig.10. Acoustic Emission signal recorded during the scratch test



Rys. 11. Nanotwardość i Moduł Younga badanych próbek  
Fig.11. Nanohardness and Young modulus of the tested specimens

#### Wnioski

#### Conclusions

1. Podczas ogrzewania następuje wzrost kruchości powłoki AlNi w temperaturze z zakresu 420°C - 440°C.
2. Charakter pęknięcia powłoki aluminidkowej w temperaturze 20°C oraz w temperaturze z zakresu 420°C - 440°C, jest podobny. W strefie zewnętrznej oraz w strefie wewnętrznej powłoki aluminidkowej występują przelomy trans krystaliczne łupliwe.

1. During heating of the aluminide coating in the temperature with range 420oC - 440oC occurs an increase of its brittleness.
2. The nature of cracking of the aluminide coating at a temperature of 20 oC is similar to cracking in temperature with range 420oC - 440oC. In the outer and interior zone of the aluminide coating the transcrystalline cleavage fracture were observed.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Indicators of the project

#### Publikacje

1. Adamiak S., Bochnowski W., Dziedzic A., Filip R., Szeregij E.: *Structure and Properties of the Aluminide Coatings on the Inconel 625 Superalloy*. High Temp. Mater. Proc. 2015;