

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al - Li) oraz Ti

### Plastic forming of aeronautical Al (including Al-Li) and Ti alloys

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska, Politechnika Częstochowska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

#### Wyniki badań Results

#### ZGRZEWANIE WYBUCHOWE stopów Ni Ti

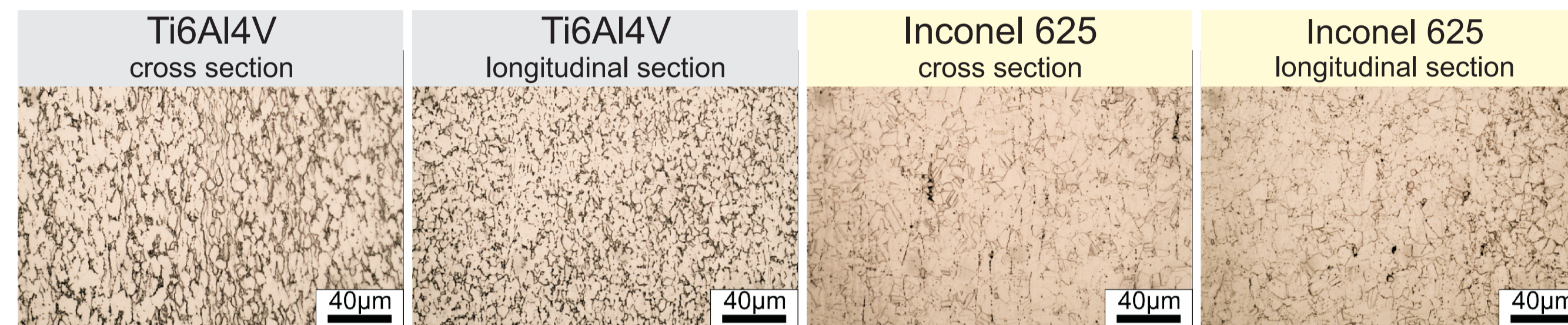
#### EXPLOSIVE WELDING of Ni and Ti ALLOYS

**Cel**  
Wykorzystanie wysokoenergetycznego odkształcenia plastycznego (zgrzewanie wybuchowe) do łączenia stopu tytanu Ti6Al4V ze stopem niklu Inconel 625, na podstawie doświadczeń zdobytych w łączeniu Ni-Ti

**Materiał**  
• Stop niklu Inconel 625, trzy blachy o grubości  $g=1,55\text{mm}$  o wymiarach:  $250\text{mm} \times 350\text{mm}$   
• Stop tytanu Ti6Al4V, dwie blachy o grubości  $g=0,84\text{mm}$  o wymiarach:  $200\text{mm} \times 300\text{mm}$

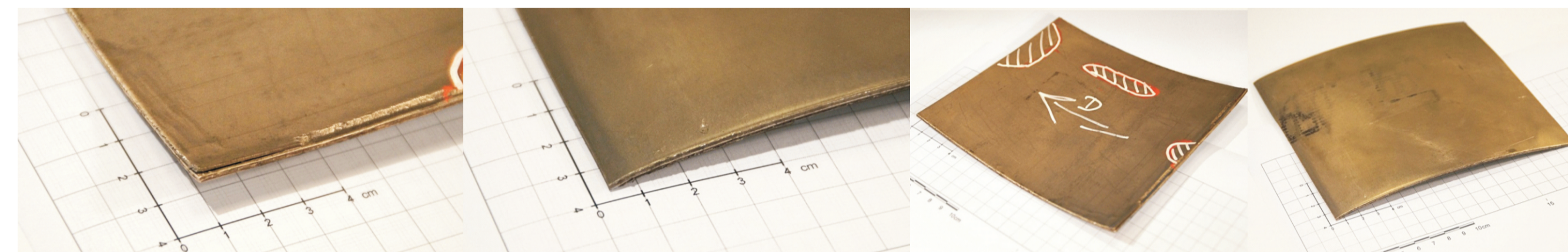
**Aim of the study**  
The use of high-energy plastic deformation (explosive welding) to join Ti6Al4V titanium alloy with Inconel 625 nickel alloy, (based on experience in welding Ni and Ti)

**Materials**  
• Inconel 625 alloy, three sheets of  $g=1,55\text{mm}$  thickness and  $250\text{mm} \times 350\text{mm}$  dimensions  
• Ti6Al4V alloy, two sheets of  $g=0,84\text{mm}$  thickness and:  $200\text{mm} \times 300\text{mm}$  dimensions



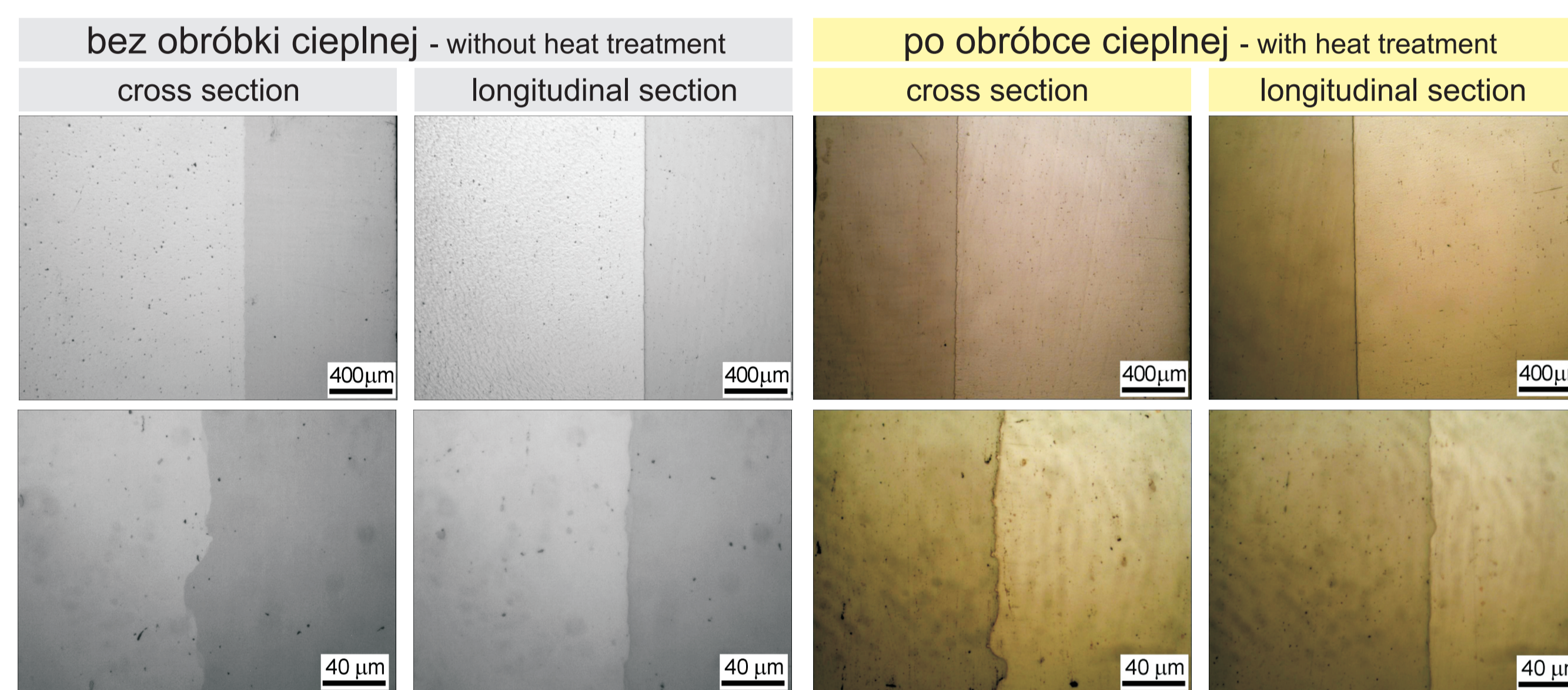
Rys. 1. Mikrostruktura badanych materiałów

Fig. 1. Microstructure of analysed alloys



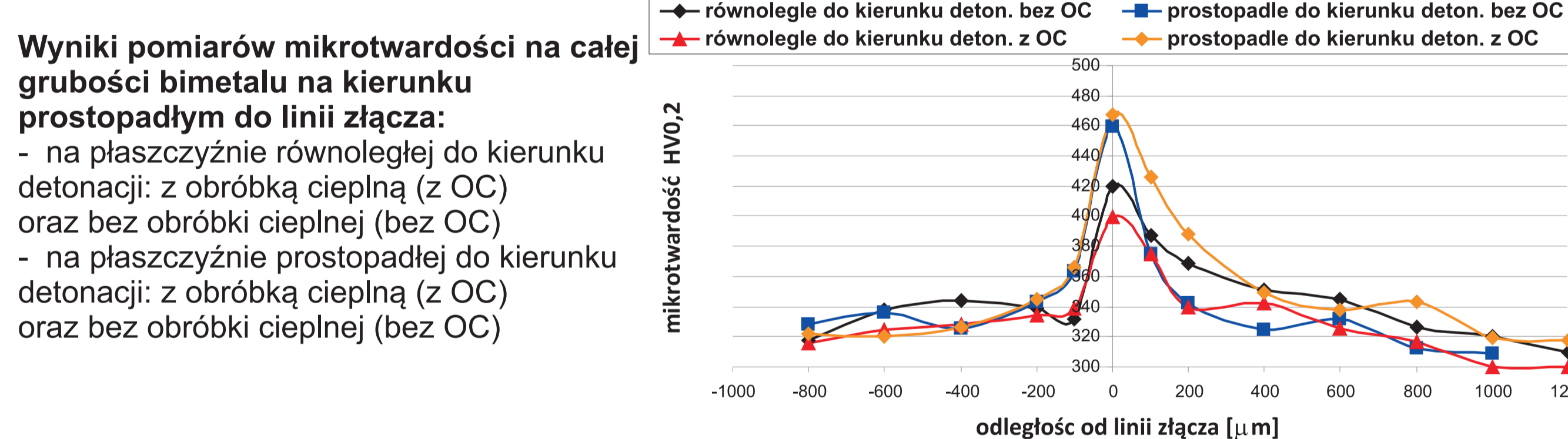
Rys. 2. Przykładowa blacha bimetaliczna (Ti6Al4V - Inconel 625)

Fig. 2. Sample Ti6Al4V - Inconel 625 bimetal



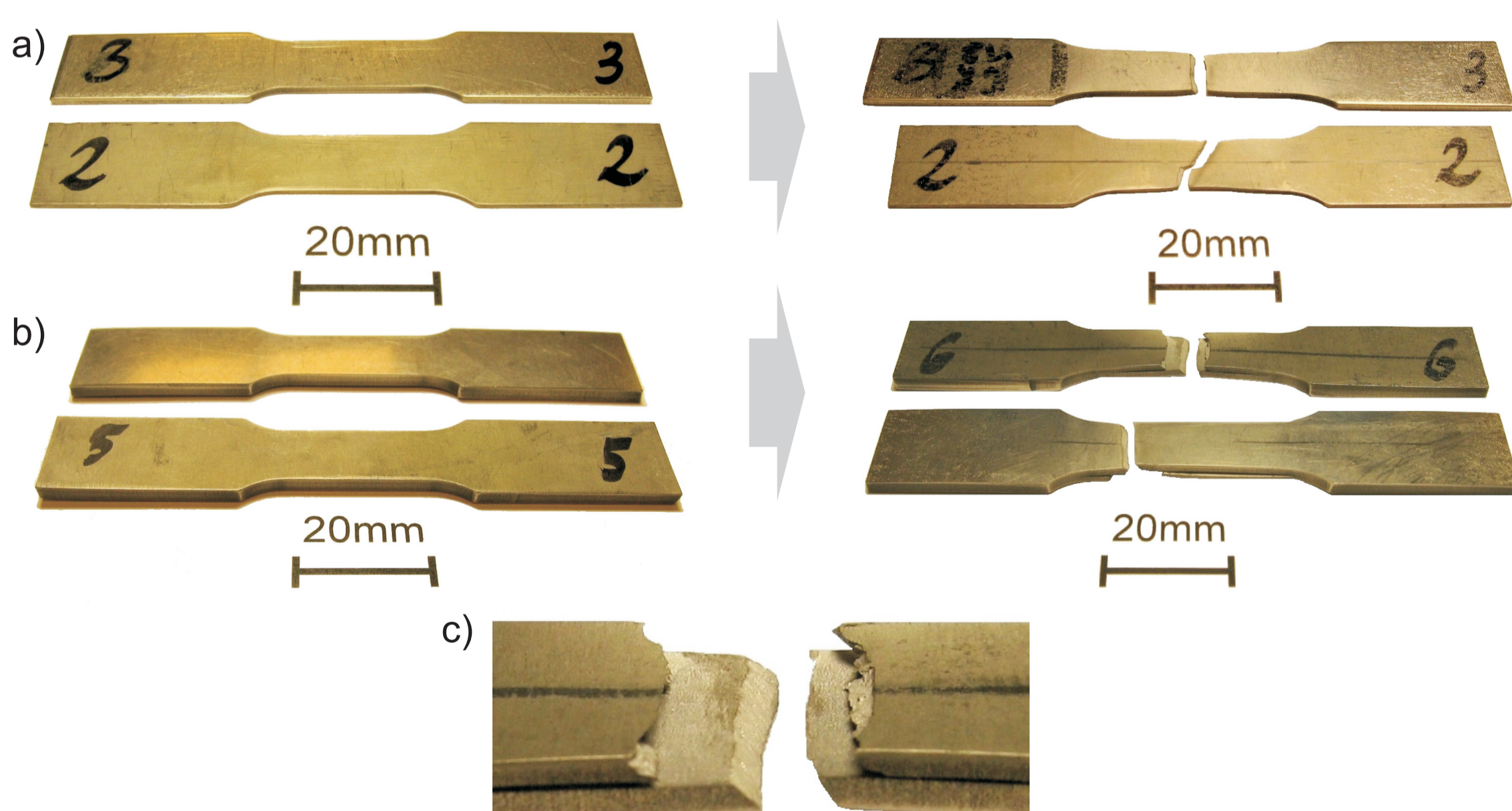
Rys. 3. Obserwacje mikroskopowe strefy złącza

Fig. 3. Microscopic observations of the joint



Rys. 4. Wyniki pomiarów mikrohardności na kierunku prostopadłym do linii złącza

Fig. 4. Microhardness measurements (direction perpendicular to the joint)

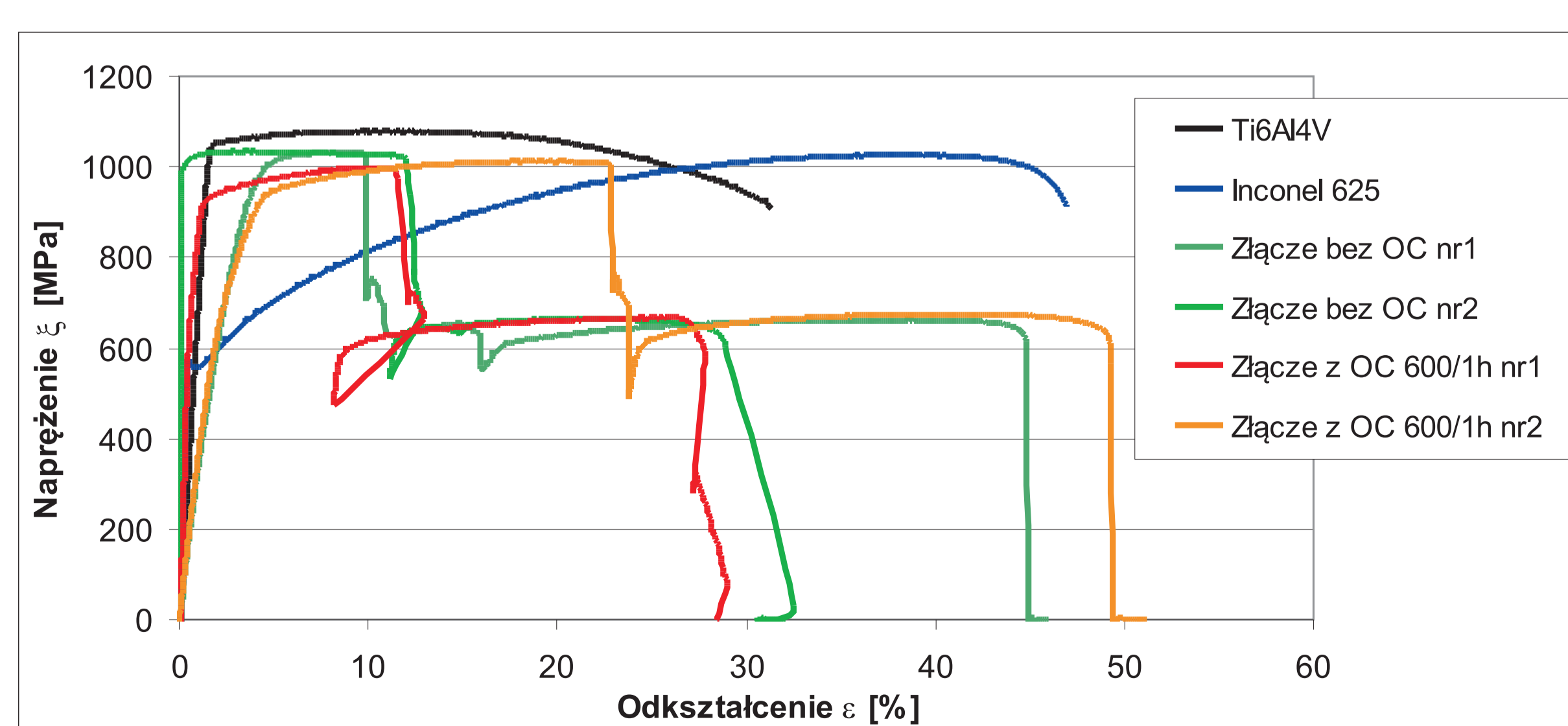


Rys. 5. Próbkę do próby jednoosiowego rozciągania:

a) blacha Ti6Al4V (2) oraz Inconel 625 (3) przed i po próbie rozciągania; b) próbki blach bimetalicznych przed i po próbie rozciągania; c) przełom blachy bimetalicznej

Fig. 5. Tensile test samples:

a) Ti6Al4V (2) and Inconel 625 (3) before and after test; b) bimetalic samples before and after test; c) bimetalic sample fracture

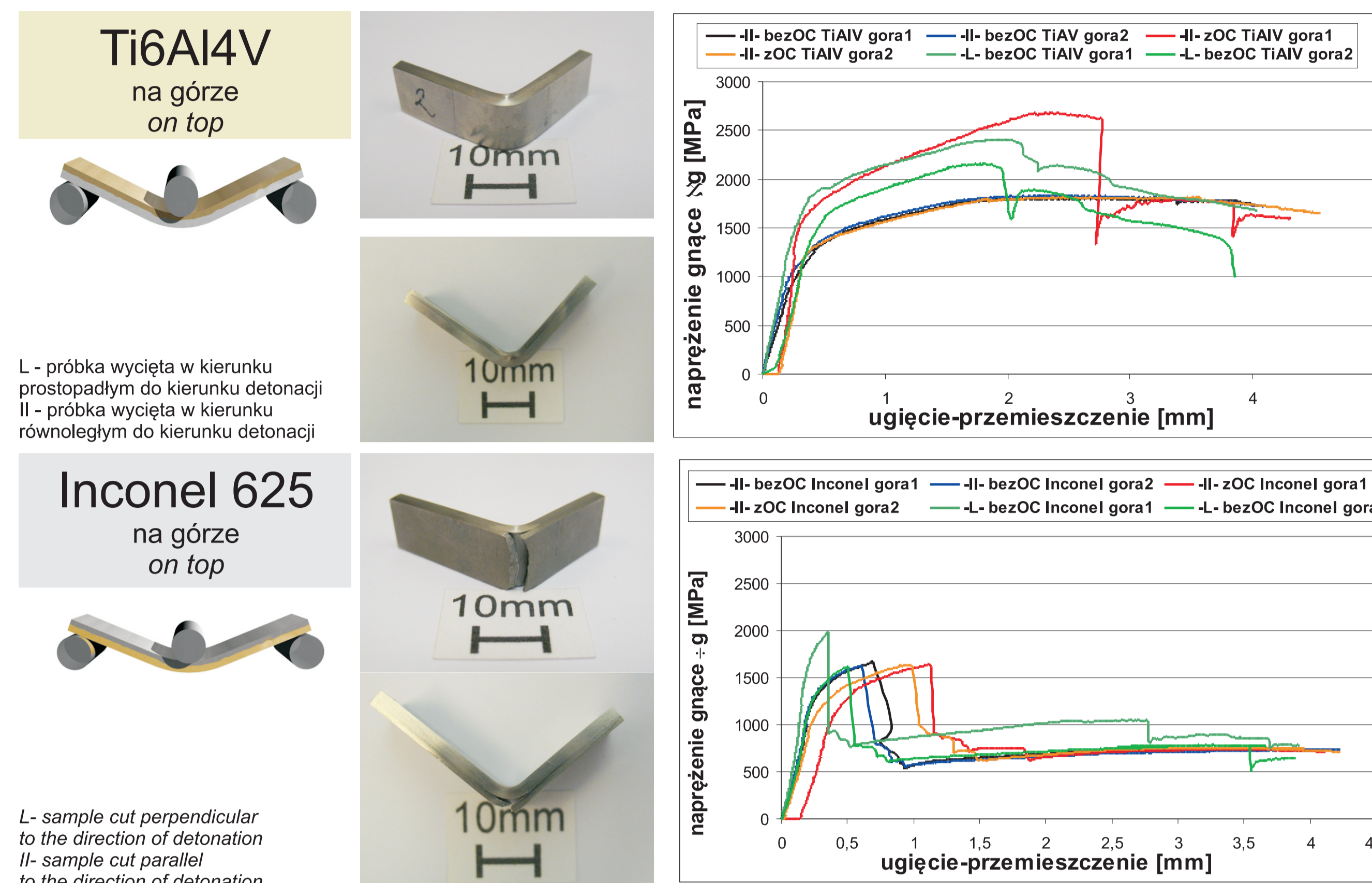


Rys. 6. Zmiany naprężenia rozciągającego w funkcji odkształcenia

Fig. 6. Tensile stress as a function of strain

Wykresy przedstawiają m.in. rozdzielenie połączenia, pęknięcie stopu Ti6Al4V, a następnie pęknięcie stopu Inconel 625

Diagrams presents: joint delamination, Ti6Al4V cracking, and Inconel 625 cracking



Rys. 7. Wyniki prób zginania trójpunktowego (wpływ kierunku detonacji oraz obróbki cieplnej 650C/1h)

Fig. 7. Results of the three-point bend test (influence of the direction of detonation and heat treatment 650C/1h)

W wyniku podjętych prób łączenia wybuchowego stopów Ti6Al4V oraz Inconel 625 uzyskano spójne oraz wytrzymałe złącze bimetaliczne. Wytrzymałość na rozciąganie złącza Ti6Al4V / Inconel 625 w stanie bez wyżarzania jest nieznacznie większa niż wytrzymałość stopu Inconel 625 i nieznacznie mniejsza niż wytrzymałość stopu Ti6Al4V.

Selected parameters of explosive welding allowed to obtain Ti6Al4V and Inconel 625 Bimetal. Upper position of Ti6Al4V alloy in 3-point bending test (stretching Inconel 625) provides no fracture of the sample, Tensile strength of Ti6Al4V / Inconel 625 bi metal without annealing is slightly greater than the strength of the Inconel 625 alloy, and slightly less than the strength of the Ti6Al4V alloy.

#### Przeróbka plastyczna wiórów tytanowych metodą KoBo

#### Plastic Processing of titanium chips by KoBo technique

**Cel**  
Recykling odpadów w postaci wiórów i ich konsolidacja do postaci objętościowego, litego produktu

**Materiał**  
Technicznie czysty tytan Grade 2 - wióry uzyskane w wyniku toczenia

**Metoda**  
KoBo: wyciskanie współbieżne z cyklicznym obrotem matrycy

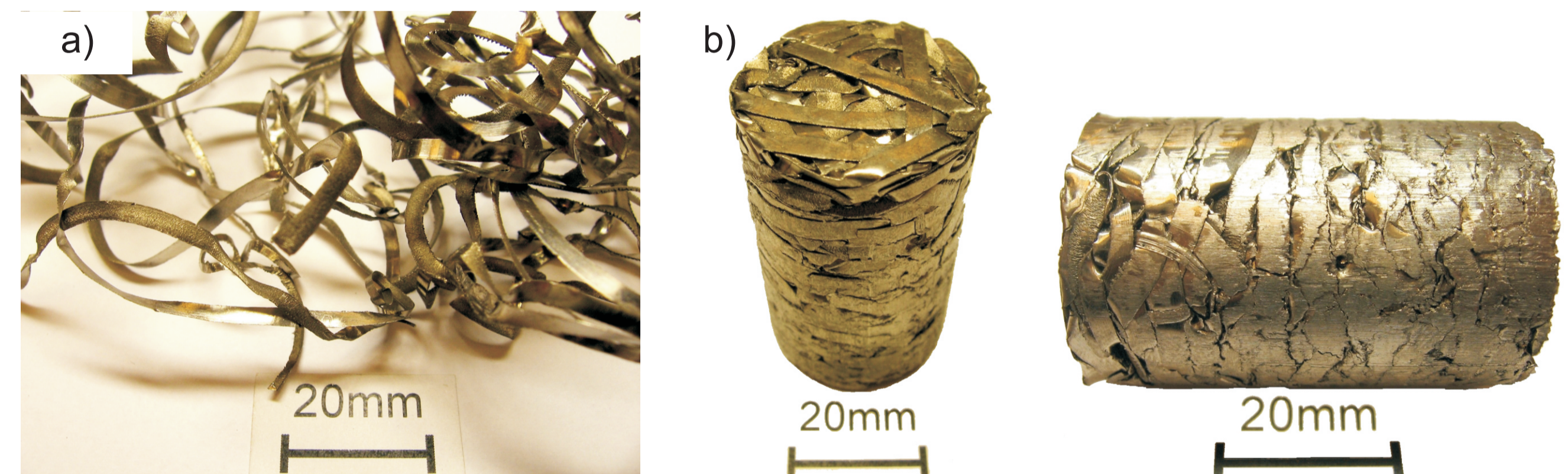
**Aim of the study**  
Recycling of titanium chips obtained during machining process; consolidation of the chips into solid, good quality product.

**Materials**  
Technically pure titanium Grade 2 - Chips obtained by rolling

**Method**  
Kobo: coextrusion with cyclic rotation of die

Wstępnie zagęszczono wióry w temperaturze otoczenia przy użyciu prasy – uzyskano wsad o średnicy  $\varnothing 28\text{mm}$

Initially, chips were consolidated at room temperature using press; product: 28mm rod

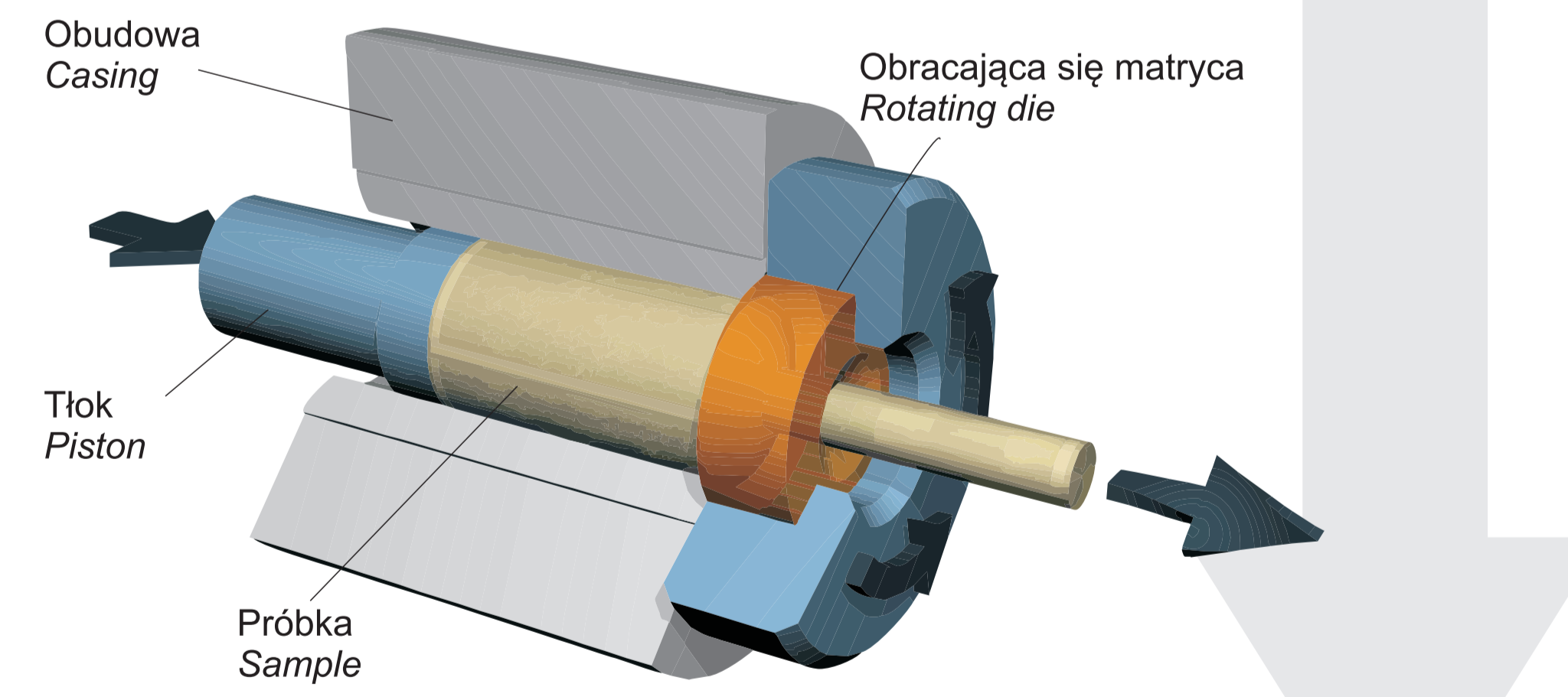


Rys. 8. Próbkę przygotowane do wyciskania metodą KoBo:

a) wióry, b) wstępnie zagęszczony wsad

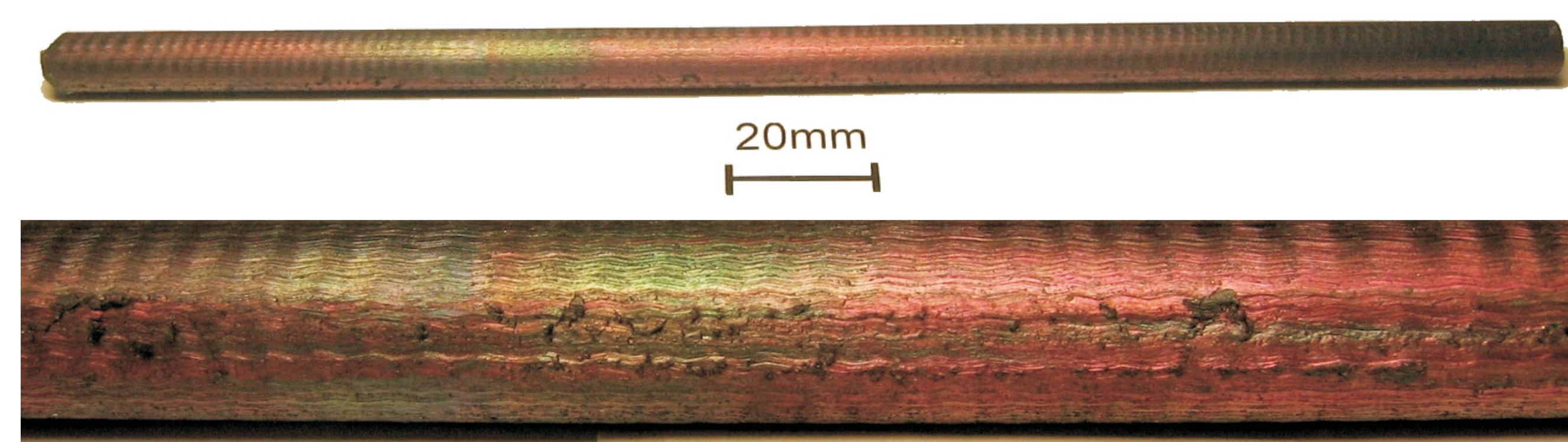
Fig. 8. Próbkę przygotowane do wyciskania metodą KoBo:

a) chips, b) initially consolidated chips



Rys. 9. Schemat metody KoBo

Fig. 9. KoBo technique scheme



Rys. 10. Próbkę po przeróbce plastycznej metodą KoBo - różne powiększenia

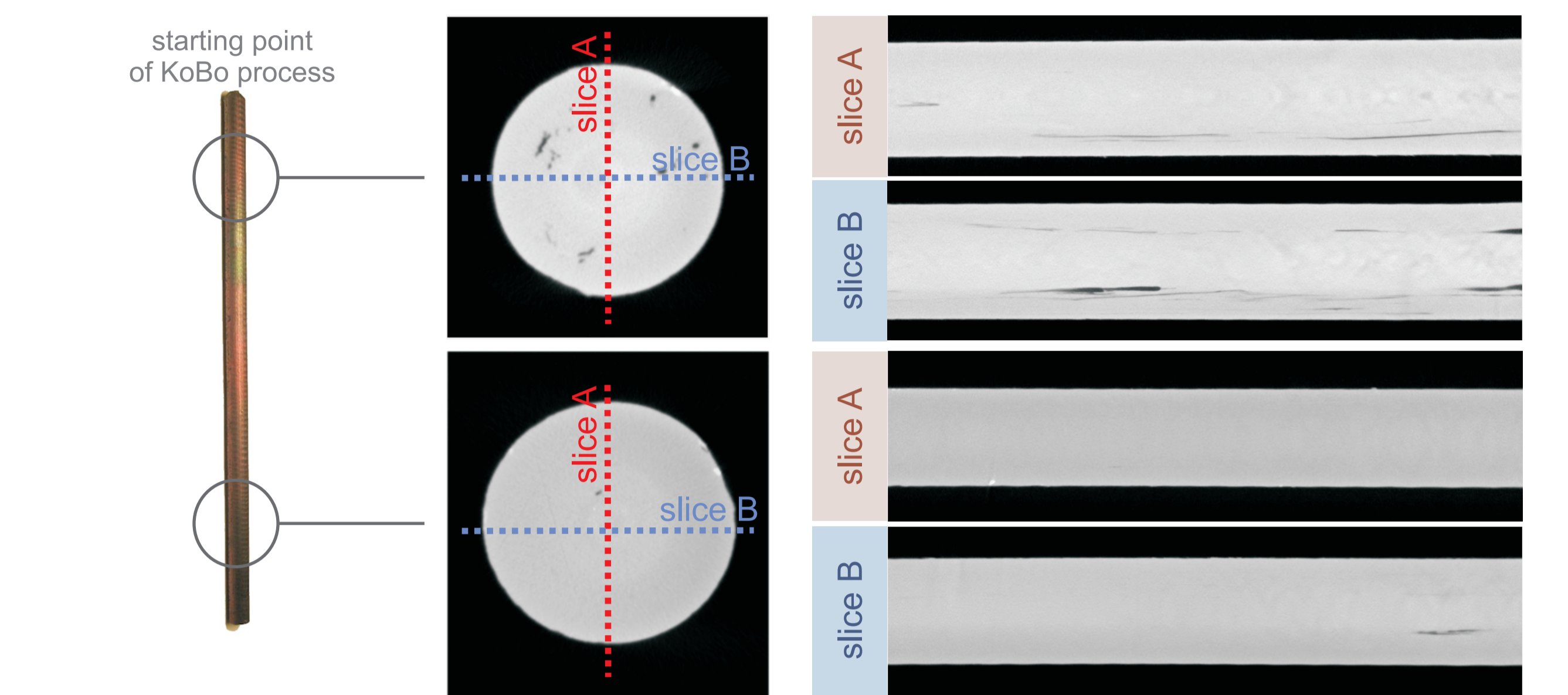
Fig. 10. Samples after KoBo plastic processing - different magnification

Przeprowadzono wyciskanie wsadu metodą KoBo w temp.  $350^{\circ}\text{C}$  z chłodzeniem wodą za matrycą. Uzyskano produkt o średnicy  $\varnothing 8\text{mm}$  w postaci prostoliniowego pręta z widocznymi narostami pochodzącymi z matrycy oraz nieznacznie zdefektowaną powierzchnią. Zaburzenie powierzchni jest efektem powstania tlenków.

Extrusion was carried out using Kobo technique at  $350^{\circ}\text{C}$  with water cooling after die. Straight  $\varnothing 8\text{mm}$  diameter rod was produced. Surface of the rod was covered by growths (die material) and small defects. Color change of the surface is related to oxidation process.

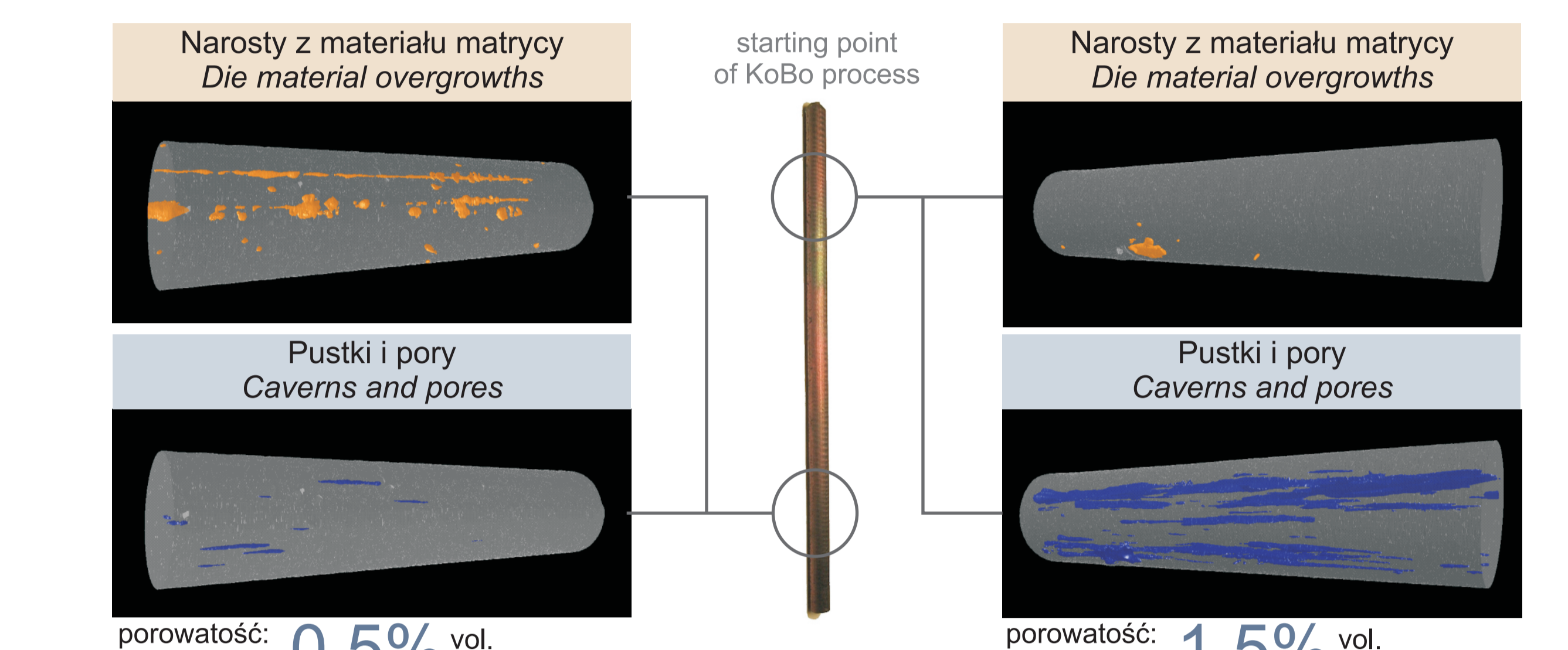
#### Badanie jednorodności skonsolidowanych wiórów - mikrotomografia komputerowa

#### Homogeneity analysis of consolidated chips - X-Ray computer microtomography



Rys. 11. Pojedyncze rastry (slice'y) na podstawie mikrotomografii rentgenowskiej  $\mu\text{XCT}$  (kontrast w funkcji gęstości)

Fig. 11. Single slices from mikro computer tomography analysis (density contrast)



Rys. 12. Rekonstrukcja 3D próbek na podstawie badania  $\mu\text{XCT}$ , kolorami zaznaczone narosty i pory

Fig. 12. 3D reconstructions of the samples based on  $\mu\text{XCT}$ , colour-marked overgrowths and pores

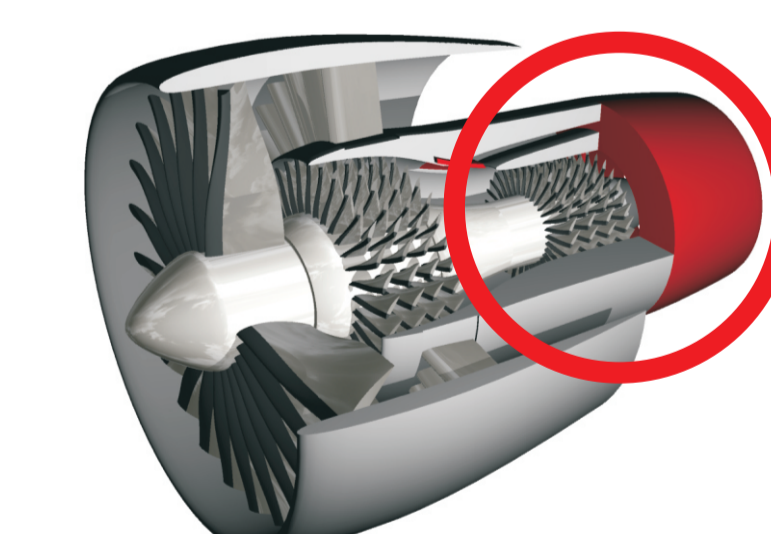
#### Wnioski Conclusions

- W wyniku podjętych prób łączenia wybuchowego stopów Ti6Al4V oraz Inconel 625 uzyskano spójne oraz wytrzymałe złącze bimetaliczne.
- Wytrzymałość na rozciąganie złącza Ti6Al4V / Inconel 625 w stanie bez wyżarzania jest nieznacznie większa niż wytrzymałość stopu Inconel 625 i nieznacznie mniejsza niż wytrzymałość stopu Ti6Al4V.
- Wyniki testów zginania ujawniły, że w przypadku górnego położenia stopu Ti6Al4V (tzn. rozciągania stopu Inconel 625) żadna próbka nie uległa pękaniu. Górne pozycjonowanie stopu Inconel 625 (tzn. rozciąganie stopu Ti6Al4V) prowadzi natomiast do pęknięcia stopu tytanu. Pomimo tego bimetal nie ulega dalszemu rozwarstwieniu.
- Niezależnie od badanej próbki w strefie połączenia zaobserwowano efekt umocnienia wyrażony wyraźnym wzrostem mikrohardności.
- Wyciskanie wiórów tytanowych metodą KoBo zaowocowało uzyskaniem produktu w postaci pręta o średnicy  $\varnothing 8\text{mm}$ , charakteryzującego się lokalną porowatością od 0,5 do 1,5%.

- Selected parameters of explosive welding allowed to obtain Ti6Al4V and Inconel 625 Bimetal. Upper position of Ti6Al4V alloy in 3-point bending test (stretching Inconel 625) provides no fracture of the sample,
- Tensile strength of Ti6Al4V / Inconel 625 bi metal without annealing is slightly greater than the strength of the Inconel 625 alloy, and slightly less than the strength of the Ti6Al4V alloy.
- Bending test results revealed that, with the upper position of Ti6Al4V alloy (stretching Inconel 625 alloy), sample doesn't crack. Performing test with upper positioning of Inconel 625 (stretching Ti6Al4V alloy) leads to sample cracking. Despite this, there is not further delamination of bimetal.
- On every sample, zone strengthening effect was observed (increased microhardness in the joint area).
- Product of KoBo extrusion of Ti chips is a straight  $\varnothing 8\text{mm}$  rod, with local porosity 0,5-1,5%.

#### Przykłady zastosowania w lotnictwie

#### Examples of application in aviation



Rys. 13. Silnik turbodozrutowy

Fig. 13. Turbine engine

Złącza bimetalowe Ni-Ti: wytwarzana gazów w silnikach turbinowych (gazogenerator), Wyloty gazów spalinowych w silnikach turbinowych

#### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

#### Collaboration with aviation industry

Technologia wytwarzania bimetalu na bazie Ti-Ni z wykorzystaniem wysokoenergetycznego odkształcenia plastycznego (zgrzewanie wybuchowe) wchodzi w zakres zainteresowań zakładów WSK „PZL-Rzeszów” S.A.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Indicators of the project

- Prezentacja posterowa**
- K. Topolski, P. Wiciniński, Z. Szulc, A. Galka, H. Garbacz, **Testing and characterization of explosively joined ti/ni bimetals**, konferencja Explosive production of new materials, 2014
- Publikacje**
- Topolski K., Garbacz H., Pachla W., Wiciniński P., Kurzydłowski K. J.: **Mechanical Properties of Nanocrystalline Titanium Obtained by Hydrostatic Extrusion**, Archives of Metallurgy and Materials, 57 (2012) 863 – 867
  - Garbacz H.: **Metody otrzymywania nanokrystalicznego tytanu**, Inżynieria Materiałowa, Nr 3(187) (2012)134-138
  - Dolega Ł., Adamczyk-Cieślak B., Mizera J., Kurzydłowski K. J.: **Corrosion resistance of model ultrafinegrained Al-Li alloys produced by severe plastic deformation**, Journal of Materials Science (2012) 47, 3026-3033
  - K. Topolski, P. Wiciniński, Z. Szulc, A. Galka, H. Garbacz, **Progress in the characterization of explosively joined Ti/Ni bimetals**, Materials and Design 2014 in press
- Prace mgr, dr, hab.**
- Prace magisterskie obronione:**
- Kamil Wasiluk: **Mikrostruktura i właściwości blach bimetalicznych Ti-Ni uzyskanych metodą platerowania wybuchowego**. Promotor: dr hab. inż. Halina Garbacz
  - Anna Dobkowska: **Zależność odporności korozyjnej stopów Al-Li od stopnia zgniotu**. Promotor: dr inż. Joanna Zdunek
  - Małgorzata Kobus: **Wyciskanie hydrostatyczne stopów Al-Li**. Promotor prof. dr hab. Halina Garbacz
- Prace inżynierskie obronione:**
- Adrian Rybka: **Wytwarzanie bimetalu NiTi z wykorzystaniem wysokoenergetycznego odkształcenia plastycznego**. Promotor: prof. dr hab. inż. Halina Garbacz
- Prace inżynierskie planowane:**
- Magdalena Rydzewska: **Konsolidacja wiórów tytanowych metodą KoBo**
- Udział studentów: 5, Udział doktorantów: 3, Udział innych wykonawców: 2