

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

ETAP I STAGE I

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

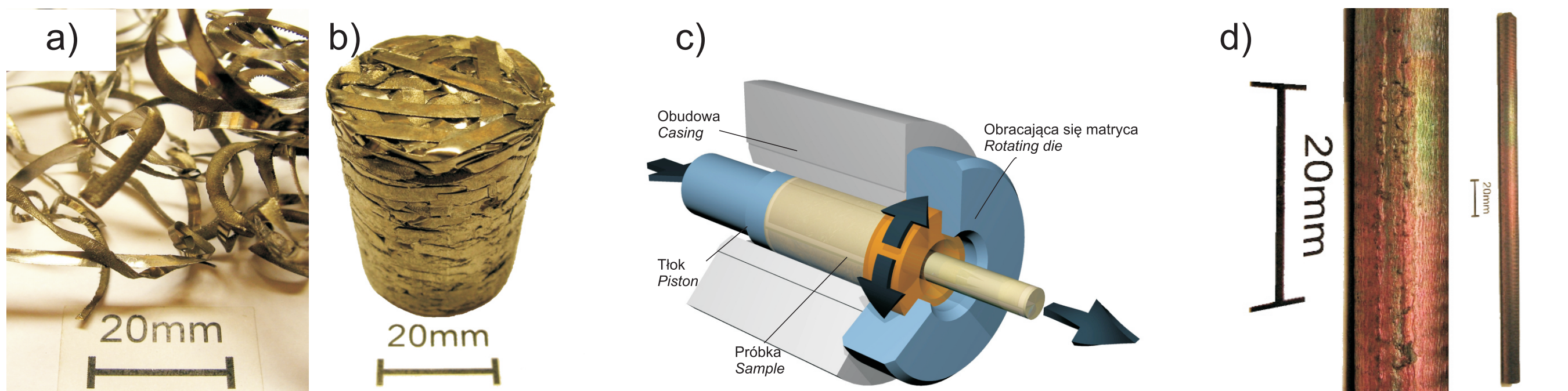
Material: technicznie czysty tytan Grade 2 - wióry uzyskane w wyniku toczenia i frezowania

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.

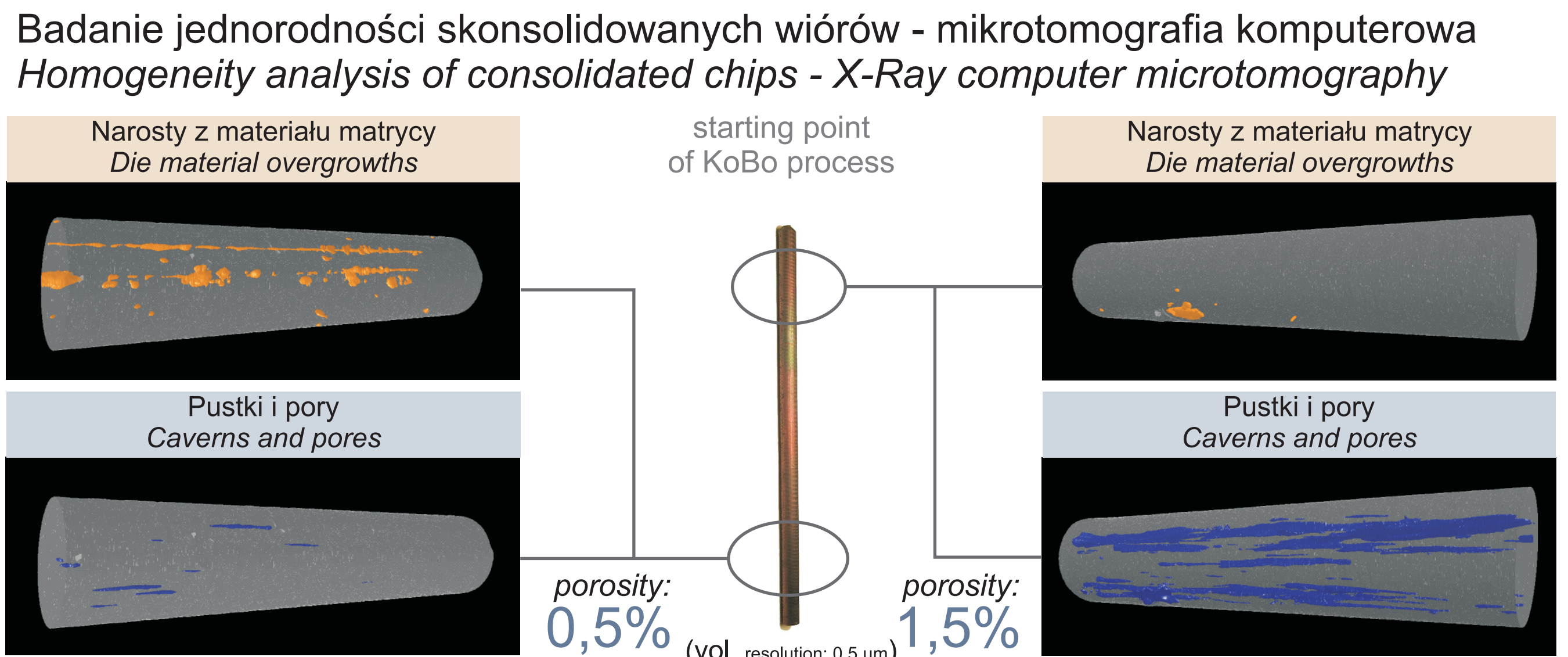
Materials: technically pure titanium Grade 2 - Chips obtained by rolling and milling

Method: Kobo: coextrusion with cyclic rotation of die



Rys. 1. a) wióry b) wstępnie zagęszczony wsad, c) schemat metody KoBo, d) próbki po przeróbce KoBo (różne powiększenia)

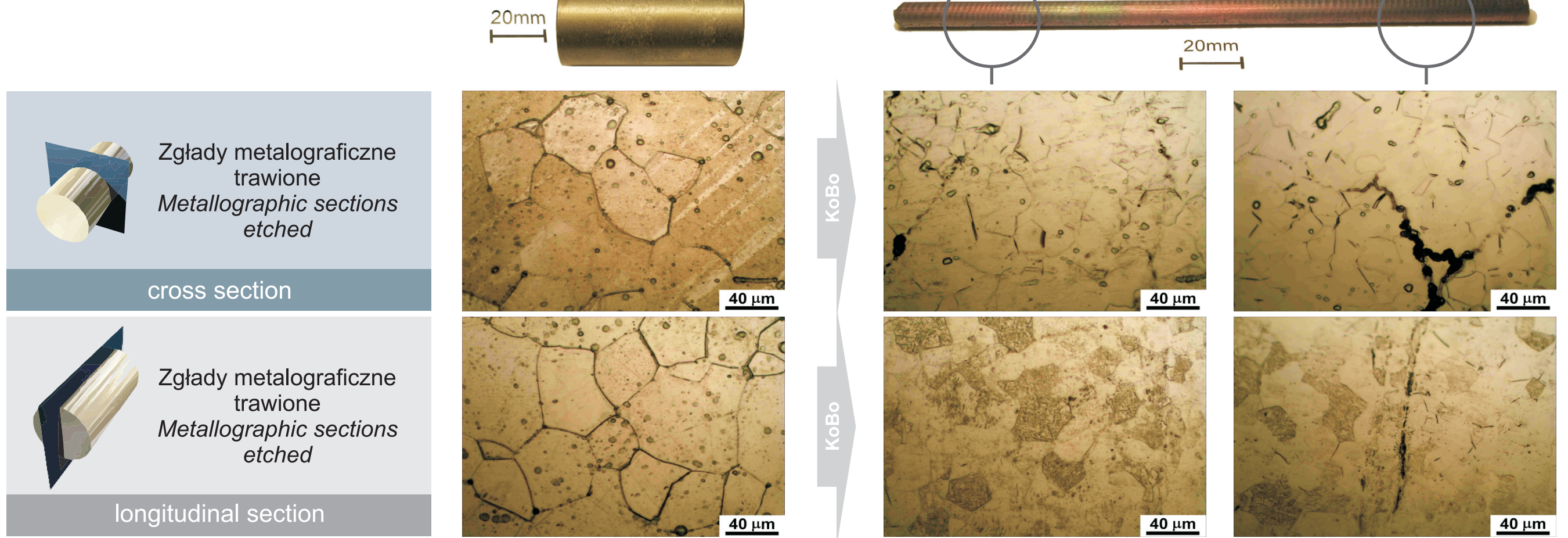
Wstępnie zagęszczono wióry w temperaturze otoczenia przy użyciu prasy – uzyskano wsad o średnicy Ø28mm (Fig.1.b). Następnie przeprowadzono wyciskanie wsadu metodą KoBo w temp. 350°C z chłodzeniem wodą za matrycą. Uzyskano produkt o średnicy Ø8mm w postaci prostoliniowego pręta z widocznymi narostami pochodzącymi z matrycy oraz nieznacznie zdefektowaną powierzchnią. Zabarwienie powierzchni jest efektem powstania tlenków. Initially, chips were consolidated at room temperature using press (Fig.1.b). Extrusion was carried out using Kobo technique at 350°C with water cooling after die. Straight, Ø8mm 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.



Rys. 2. Rekonstrukcja 3D próbek na podstawie badania µXCT, kolorami zaznaczone narosty i pory

Badania przy użyciu mikroskopii świetlnej

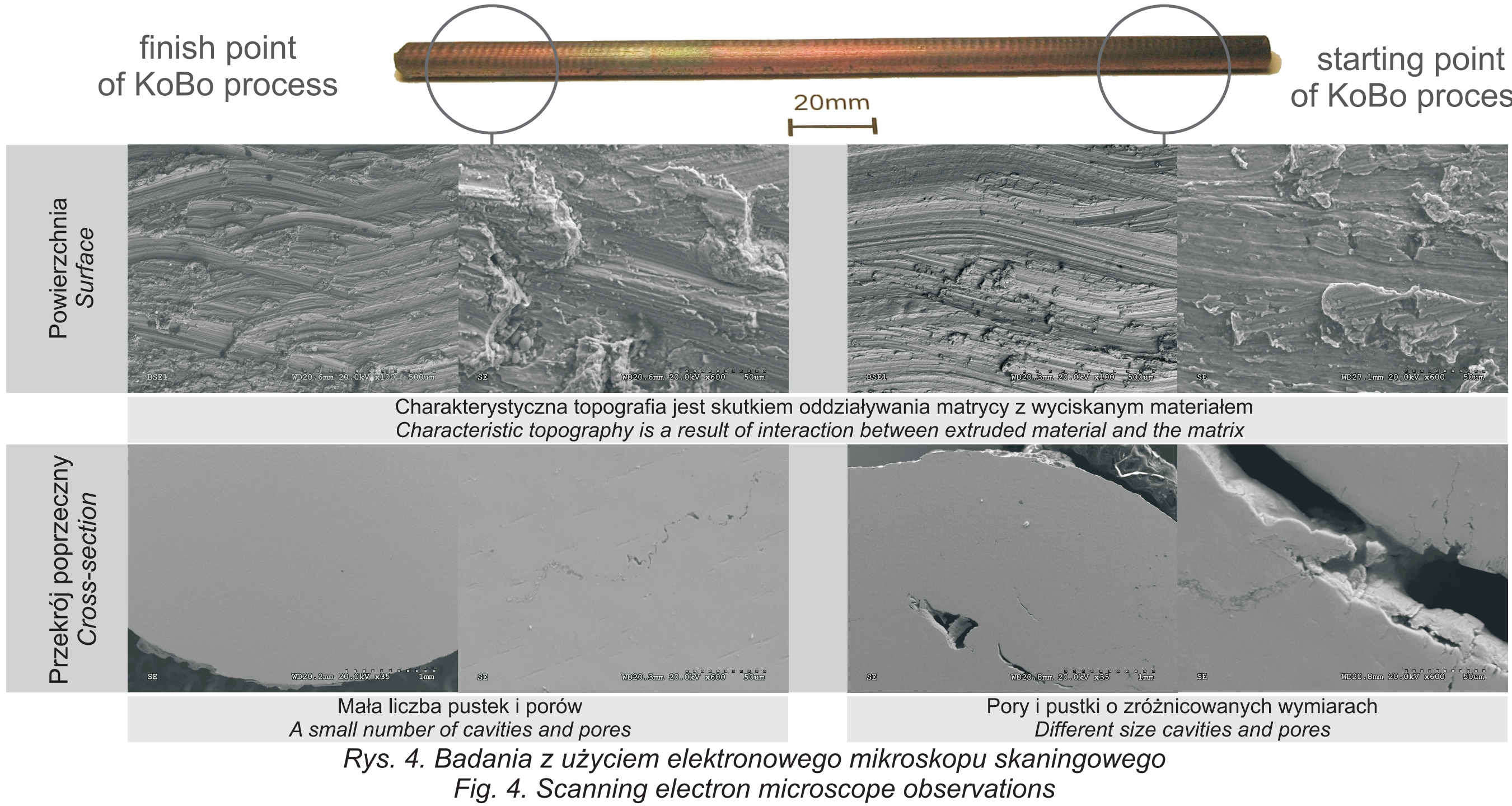
Light microscopy analysis



Rys. 3. Badania z użyciem mikroskopu świetlnego

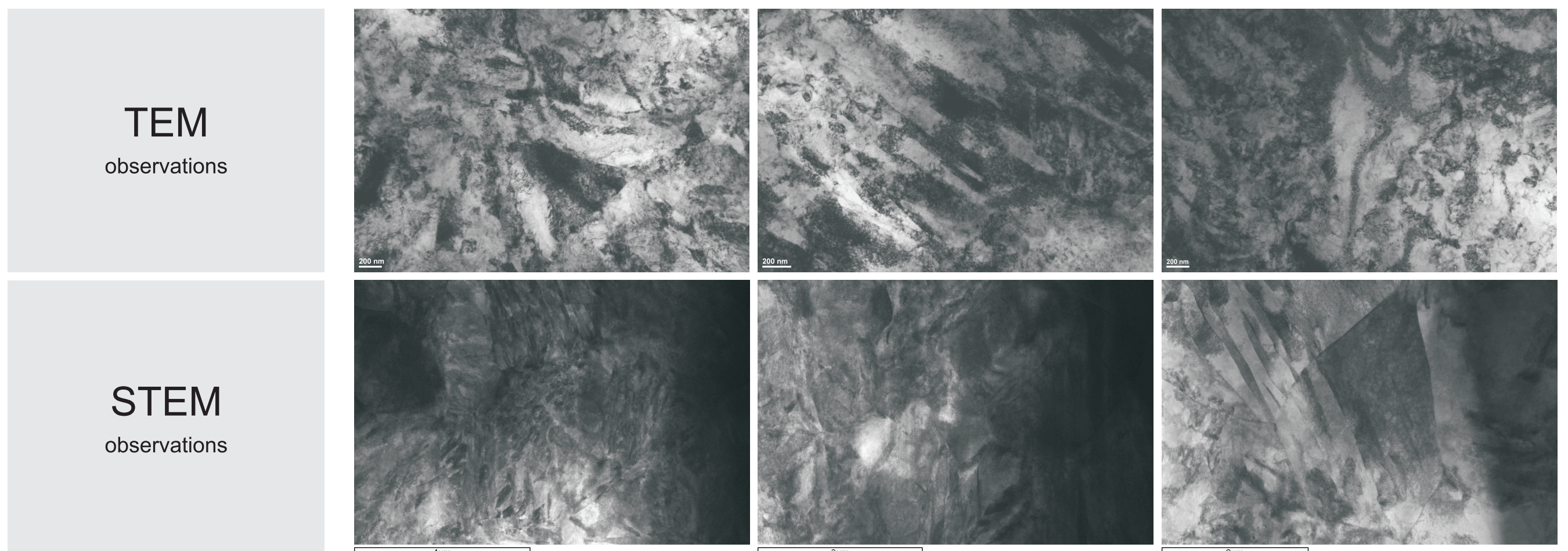
Badania przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej

Scanning Electron Microscope observations (SEM)



Badania przy użyciu transmisyjnej i skaningowo-transmisyjnej mikroskopii elektronowej

Transmission and Scanning-Transmission Electron Microscopy analysis (TEM and STEM)



Rys. 5. Obserwacje STEM i TEM tytanu Grade 2 po procesie KoBo

Badania składu chemicznego metodą EDS
Energy Dispersive Spectroscopy - chchemical composition analysis

Tab.1. Analiza składu chemicznego na powierzchni pręta po procesie KoBo
Tab. 1. Chemical composition of the rod surface after KoBo processing

finish point of KoBo process					starting point of KoBo process				
Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error	Element	Weight %	Weight % Error	Atom %	Atom % Error
O	15.11	+/- 1.39	34.63	+/- 3.19	N	4.01	+/- 0.47	8.37	+/- 0.98
Al	0.24	+/- 0.02	0.33	+/- 0.03	O	27.01	+/- 0.52	49.39	+/- 0.96
S	0.51	+/- 0.06	0.58	+/- 0.06	Al	0.14	+/- 0.02	0.15	+/- 0.02
Ca	0.15	+/- 0.03	0.14	+/- 0.03	Si	0.09	+/- 0.02	0.10	+/- 0.02
Ti	83.99	+/- 0.38	64.32	+/- 0.29	Ca	0.12	+/- 0.02	0.09	+/- 0.02
Total	100.00		100.00		Ti	68.63	+/- 0.30	41.91	+/- 0.18
					Total	100.00		100.00	

Pomiary mikrotwardości
Microhardness analysis

Tab. 2. Pomiary mikrotwardości materiału w stanie wyjściowym i po przeróbce KoBo wiórów
Fig. 2. Microhardness analysis of the material in the initial state and after KoBo processing of the chips

	stan wyjściowy Initial state				pręt po KoBo początek after KoBo - starting point				pręt po KoBo koniec after KoBo - finishing point			
	przekrój poprzeczny cross section	przekrój wzdłużny longitudinal section	oś 1	oś 2	przekrój poprzeczny cross section	przekrój wzdłużny longitudinal section	oś 1	oś 2	przekrój poprzeczny cross section	przekrój wzdłużny longitudinal section	oś 1	oś 2
HV0.2	155	157	166	160	157	174	189	173	169	182	185	185
SD	10.7	7.6	9.2	10.9	7.9	7.3	10.5	4.4	8.2	10.5	7.5	7.5
CV	0.07	0.05	0.06	0.07	0.05	0.04	0.06	0.03	0.05	0.06	0.04	0.04

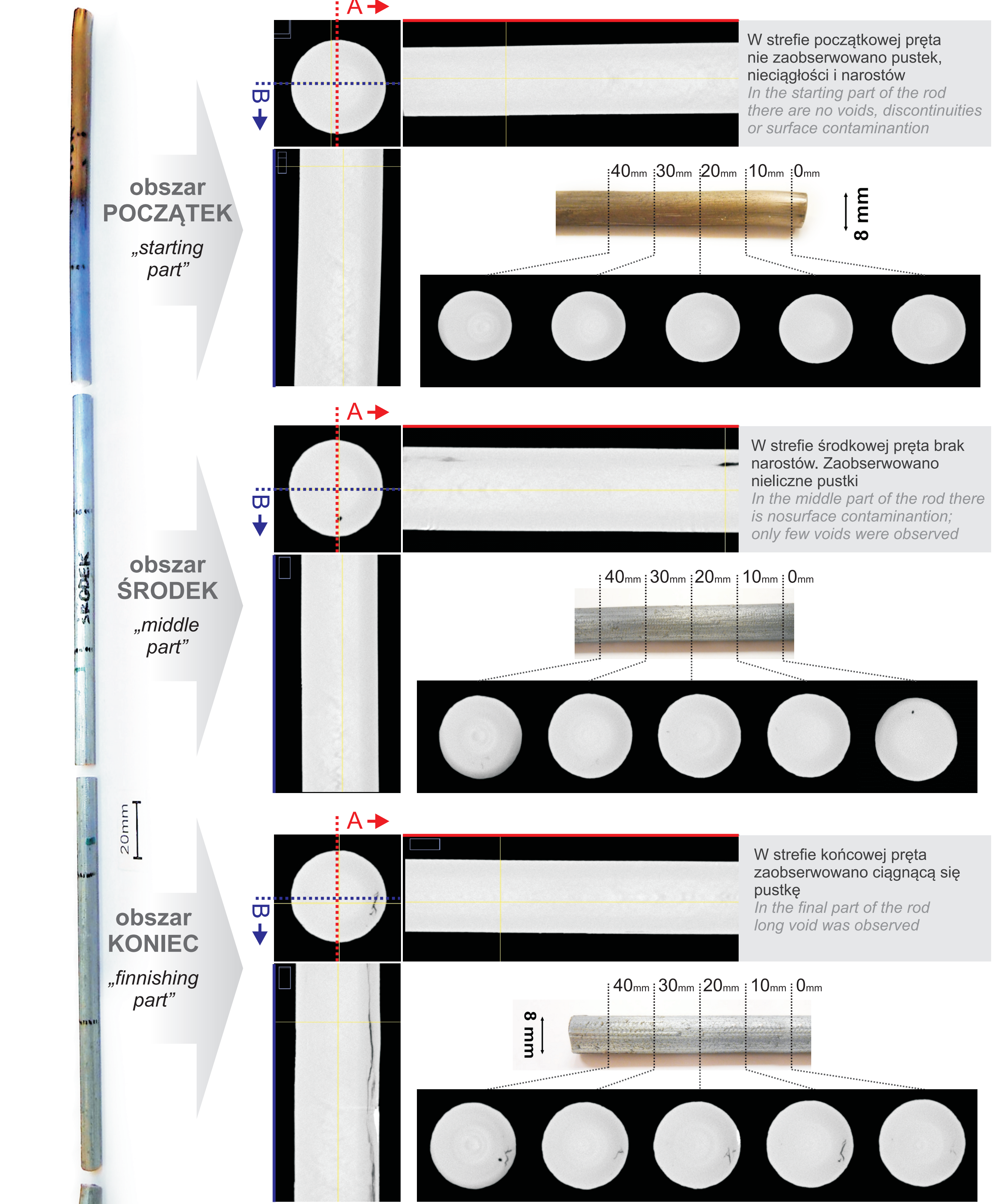
Badania powierzchni pręta ujawniły obecność charakterystycznej topografii będącej skutkiem oddziaływania matrycy z wyciskany materiałem. Badania przy użyciu uXCT, mikroskopii świetlnej oraz SEM dowiodły, iż obszar materiału odpowiadający końcowi pręta charakteryzował się mniejszą porowatością niż obszar z początku pręta. The study revealed characteristic topography which is the result of interaction of the matrix with the extruded material. Studies using uXCT, light microscopy and SEM have shown that the material region corresponding to the end of the rod is characterized by a lesser porosity than the area at the beginning of the rod.



Rys. 6. Produkt wyciskania wiórów tytanowych (metodą KoBo) z zastosowaniem przekładki z litego tytanu

Badanie jednorodności skonsolidowanych wiórów - mikrotomografia komputerowa

Homogeneity analysis of consolidation product - X-Ray computer microtomography



Rys. 7. Badanie jednorodności produktu - µXCT (kontrast w funkcji gęstości)

Strefa badań „początek” o długości L=40mm - Nie ujawniono żadnych wad. Można wnioskować, iż jest tutaj wyłącznie lity tytan z wkładki

Strefa badań „środek” o długości L=40mm - obecne są nieliczne, sferoidalne oraz wydłużone w kierunku wyciskania wady o płaskiej geometrii. W tej strefie nie ma już litego Ti z wkładki

Strefa badań „koniec” o długości L=40mm - obecne są nieliczne wydłużone wady sferoidalne oraz wady o płaskiej geometrii.

„Starting part” of the rod (L=40mm) - there are no defects observed in this section. (observed area is corresponding to solid titanium spacer/insert)

„Middle part” of the rod (L=40mm) - there are few small sferoidal voids. Most of them are elongated. This section is made of consolidated chips (no spacer/insert material)

„Finnishing part” of the rod (L=40mm) - there are few but rather long voids.

ETAP III STAGE III

Optymalizacja procesu przeróbki plastycznej

- dobór parametrów przeróbki KoBo

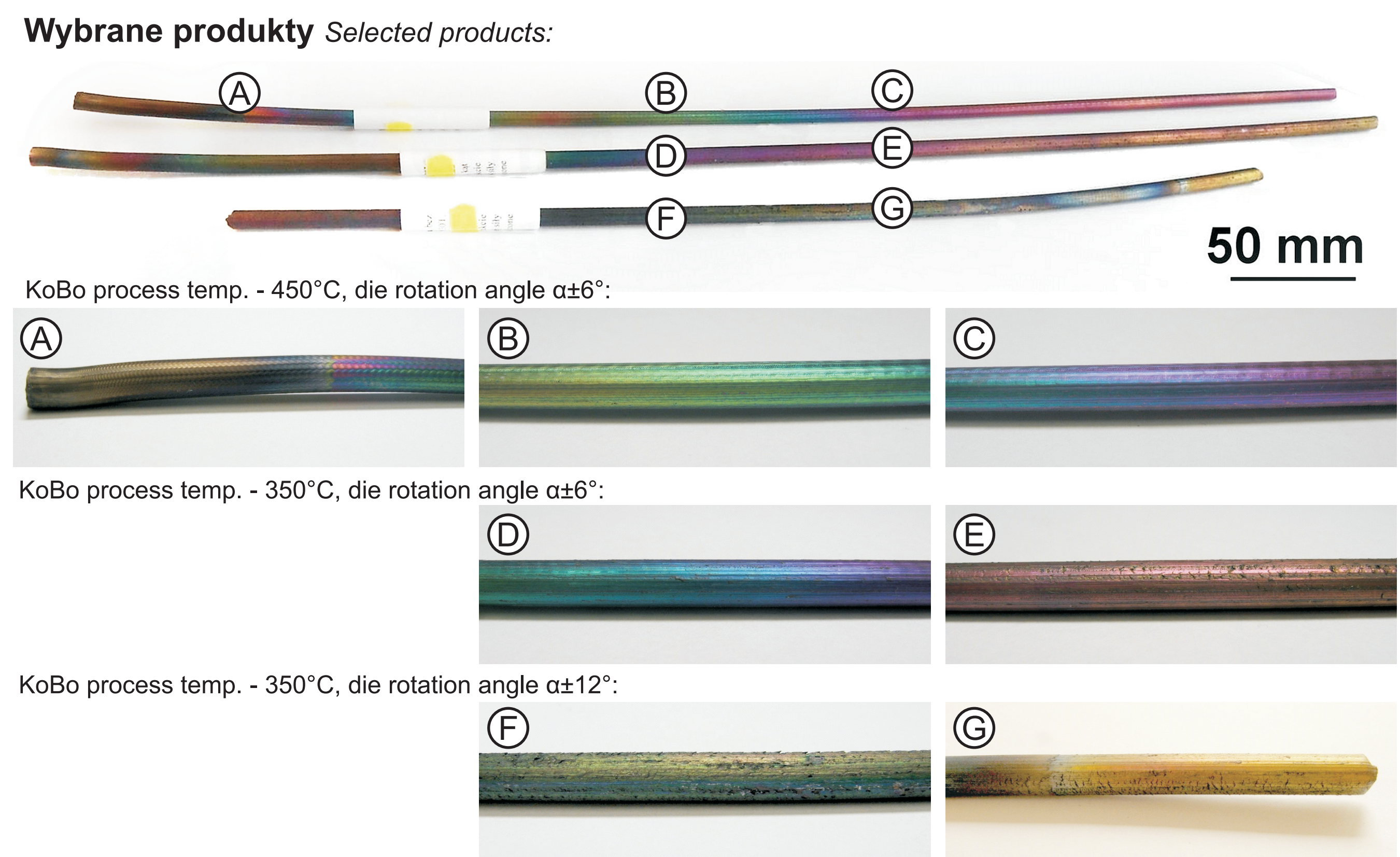
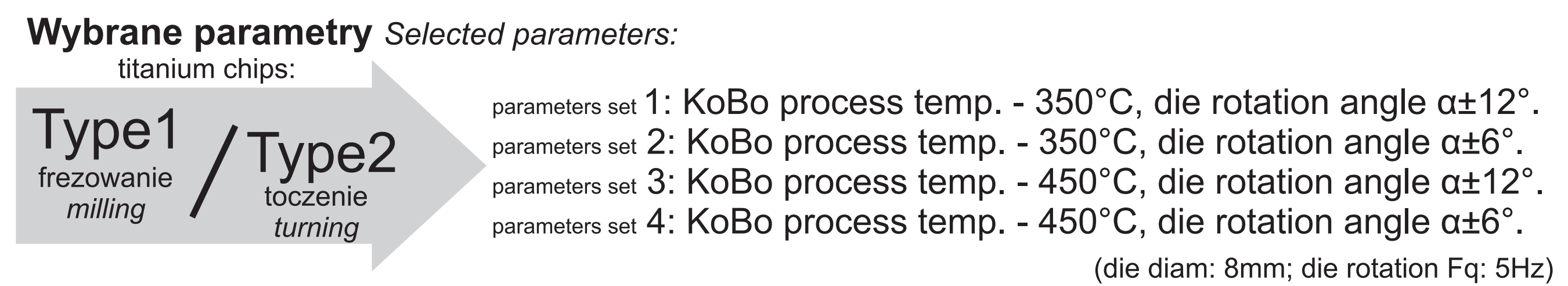
Plastic Processing optimization - KoBo processing parameters selection

Optymalizacja procesu przeróbki wiórów Ti Grade 2 polegająca na:

- uzyskaniu wiórów bez chłodziwa
- przeprowadzeniu eksperymentów przy różnych parametrach procesu (łącznie 8 procesów).
- Parametry zmienne: kąt obrotu matrycy, temperatura procesu, geometria wiórów.
- wprowadzeniu do komory prasy wkładki z litego tytanu

Optimization of the titanium chips extrusion process:

- titanium chips produced without cooling medium
- 8 different extrusion parameter sets (titanium chips type: milling/turning, temperature, die rotation angle)
- the use of solid titanium insert/spacer



Rys. 8. Produkt wyciskania wiórów tytanowych (metodą KoBo) z zastosowaniem różnych parametrów procesu

ETAP IV STAGE IV

Optymalizacja procesu przeróbki plastycznej

- zastosowanie chłodziwa podczas skrawania

Plastic Processing optimization - the use of cooling medium during machining

Realizacja procesu przeróbki wiórów Ti Grade 2 polegająca na:

- uzyskaniu wiórów z użyciem chłodziwa Statoi ToolWay ST
- jest to chłodziwo stosowane w praktyce w przemyśle podczas skrawania stopu Ti6Al4V;
- ma dobre właściwości smarne, antykorozyjne i jest łatwy w utylizacji
- przeprowadzeniu procesu wyciskania przy następujących parametrach: średnica produktu Ø8, temp wycikania KoBo - 350°C, obrót matrycy α±6°@5Hz
- wprowadzeniu do komory prasy wkładki z litego tytanu

Optimization of the titanium chips extrusion process:

- titanium chips produced with the use of Statoi ToolWay ST cooling medium
- medium used commercially during Ti6Al4V processing
- good lubricity, anti-corrosion properties, easy to dispose
- extrusion parameters: die diameter: 8mm; temp - 350°C; die rotation α±6°@5Hz
- the use of solid titanium insert/spacer

Wnioski Conclusions

- Wyciskanie wiórów tytanowych metodą KoBo zaowocowało uzyskaniem produktu w postaci pręta o średnicy Ø8 mm, charakteryzującego się lokalną porowatością od 0,5 do 1,5%.
- Badania przy użyciu tomografii komputerowej jak również badania przy użyciu mikroskopii świetlnej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej dowiodły, iż obszar materiału odpowiadający końcowi pręta charakteryzował się mniejszą porowatością niż obszar z początku pręta.
- Obserwacje metalograficzne zglądów trawionych ujawniły, iż w wyniku procesu KoBo uzyskano materiał o strukturze charakteryzującej się równoosiowymi ziarnami.
- Pręt uzyskany metodą przeróbki wiórów charakteryzuje się nieznacznie większą mikrotwardością niż Ti w stanie dostawy.
- Badania powierzchni pręta przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej ujawniły obecność charakterystycznej topografii będącej skutkiem oddziaływania matrycy z wyciskany materiałem.
- Optymalizacja procesu przeróbki wiórów Ti Grade 2 przy użyciu wkładki z litego tytanu zaowocowała uzyskaniem prostoliniowego i objętościowego produktu w postaci pręta o średnicy Ø8mm, którego stopień zagęszczenia był większy niż w przypadku pręta próbnego.

- Product of KoBo extrusion of Ti chips is a straight Ø8 mm rod, with 0,5 -1,5 % porosity.
- uXCT analysis, light and SEM microscopy have shown that the material region corresponding to the end of the rod is characterized by a lesser porosity.
- Extruded rods microstructure is characterised by regular, equiaxed grains
- Extruded rods have slightly higher microhardness than material in the initial state.
- The study revealed characteristic topography (material overgrowths and oxides) which is a result of interaction of the die with the extruded material.
- The use of solid titanium insert allowed to obtain better quality product - straight rod with higher consolidation rate.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Collaboration with aviation industry

Współpraca z WSK „PZL-Rzeszów” S.A. w zakresie łączenia stopów tytanu i niklu

Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

Zgłoszenia patentowe

- Zgłoszenie wynalazku w Urzędzie Patentowym RP. Tytuł wynalazku: „Sposób wyciskania elementów metalicznych z materiałów rozdrobnionych”. Numer zgłoszenia P-411 069, nadany w dniu:27.01.2015.
- Zgłoszenia wynalazku w Urzędzie Patentowym RP. Tytuł wynalazku: „Sposób ograniczenia strefy odkształcenia w procesie złożonego wyciskania materiałów” - zgłoszenie w trakcie

Prace inż, mgr, dr, hab.

Prace inżynierskie obronione:

- Magdalena Rydzewska: Konsolidacja wiórów tytanowych metodą KoBo

Udział studentów: 5, Udział doktorantów: 3, Udział innych wykonawców: 2