

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

Wyniki badań Results

KSZTAŁTOWANIE PLASTYCZNE STOPÓW AL-LI - WYCISKANIE HYDROSTATYCZNE PLASTIC FORMING OF AL-LI ALLOYS - HYDROSTATIC EXTRUSION

Skład chemiczny badanych materiałów

Skład chemiczny badano z wykorzystaniem optycznej spektrometrii emisyjnej (OES). Zawartość litu oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS). Skład chemiczny badanych próbek odpowiada składowi chemicznemu stopów AA 2099 oraz EN AW-8090

Chemical composition of investigated materials

The chemical composition was studied using optical emission spectrometry (OES). Lithium content was determined by atomic absorption spectrometry (AAS). The chemical composition of the samples corresponding to the chemical composition of alloys AA 2099 and EN AW-8090

Badania wykonane:
Analysis provided by:
Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach - Oddział Metali Lekkich



Tabela.1. Analiza składu chemicznego stopu 8090 OES, AAS - zawartość w % wagowych
Table.1. Chemical composition of the 8090 alloy OES, AAS - weight %

Analiza składu chemicznego stopu 8090 OES, AAS - zawartość w % wagowych Chemical composition of the 8090 alloy, OES, AAS - weight %											
Cu	Fe	Si	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	Be	Li
1,58	0,12	0,088	0,007	1,18	0,004	0,029	0,0047	0,042	0,072	0,00001	2,65

*) reszta Al, the rest is Al

Tabela.2. Analiza składu chemicznego stopu 2099 OES, AAS - zawartość w % wagowych
Table.2. Chemical composition of the 2099 alloy OES, AAS - weight %

Analiza składu chemicznego stopu 2099 OES, AAS - zawartość w % wagowych Chemical composition of the 2099 alloy, OES, AAS - weight %											
Cu	Fe	Si	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	Be	Li
2,85	0,043	0,029	0,35	0,39	0,004	0,023	0,73	0,044	0,070	0,00001	1,85

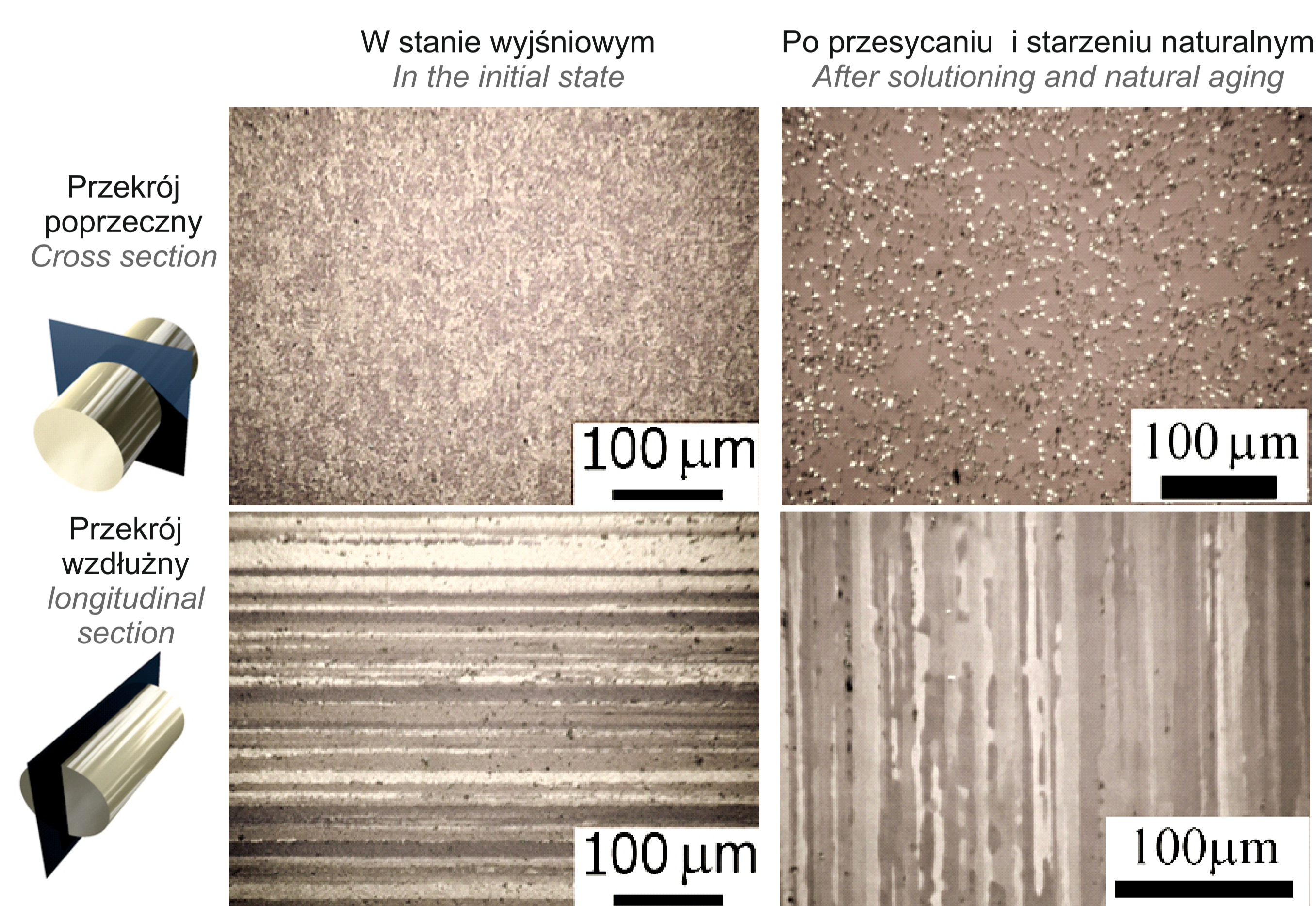
*) reszta Al, the rest is Al

MIKROSTRUKTURA STOPU 8090

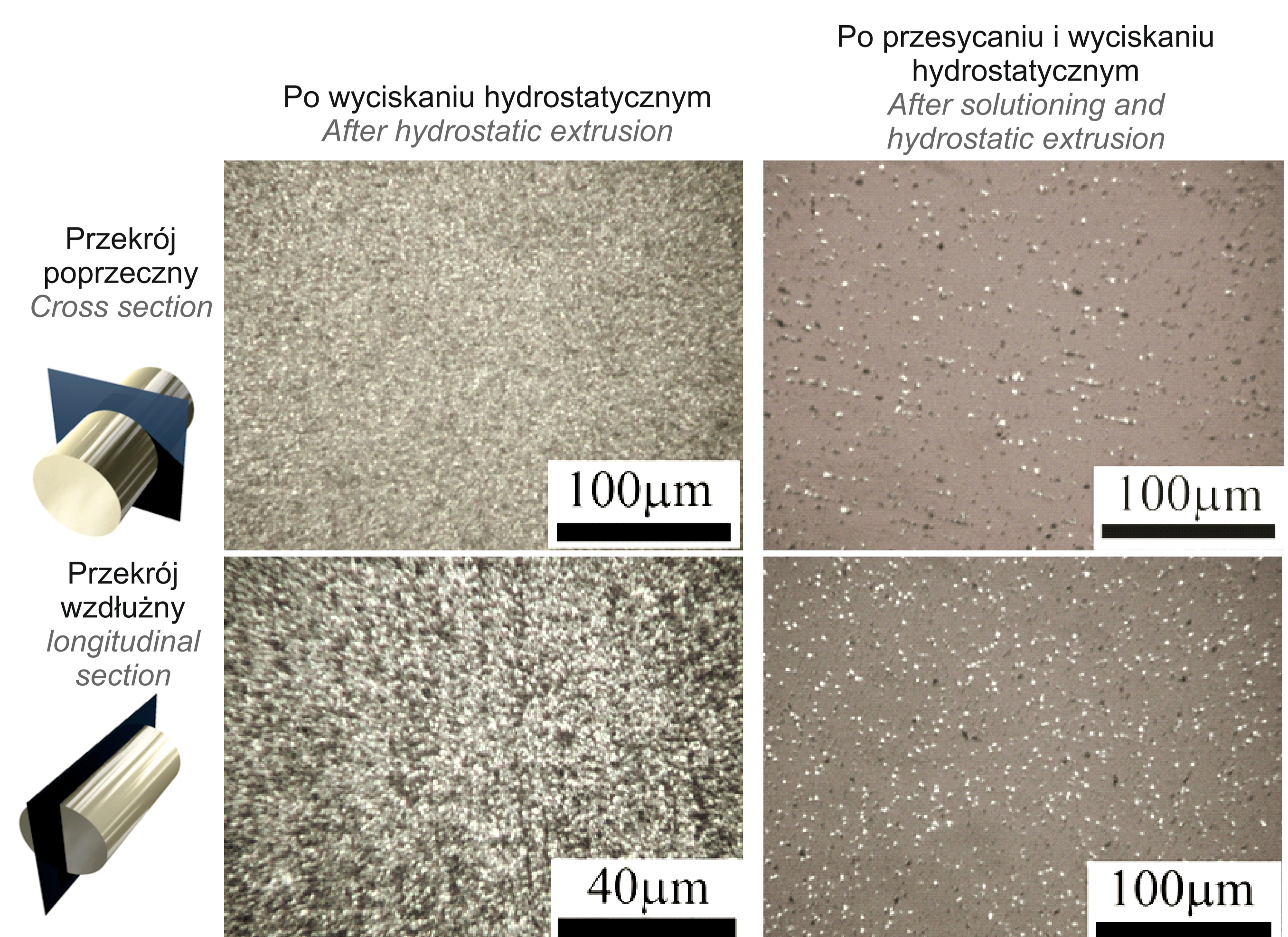
- Stop w stanie dostawy charakteryzował się zróżnicowaną wielkością ziaren i silną teksturą na przekroju wzdłużnym
- Po przesycaniu i starzeniu naturalnym, na przekroju poprzecznym pojawiają się wydzielenia
- W wyniku wyciskania hydrostatycznego ziarna na przekroju poprzecznym i wzdłużnym uległy rozdrobnieniu i są w przybliżeniu równoosiowe

MICROSTRUCTURE OF THE 8090 ALLOY

- In the initial state there is a strong texture visible on the longitudinal section of the sample
- After solutioning and natural aging, on the the cross-section small precipitates appear
- After hydrostatic extrusion, grains size have been reduced



Rys.1. Mikrostruktura stopu 8090 w stanie wyjściowym oraz po przesycaniu i starzeniu naturalnym
Fig.1. The microstructure of 8090 alloy in the initial state and after solutioning and natural ageing



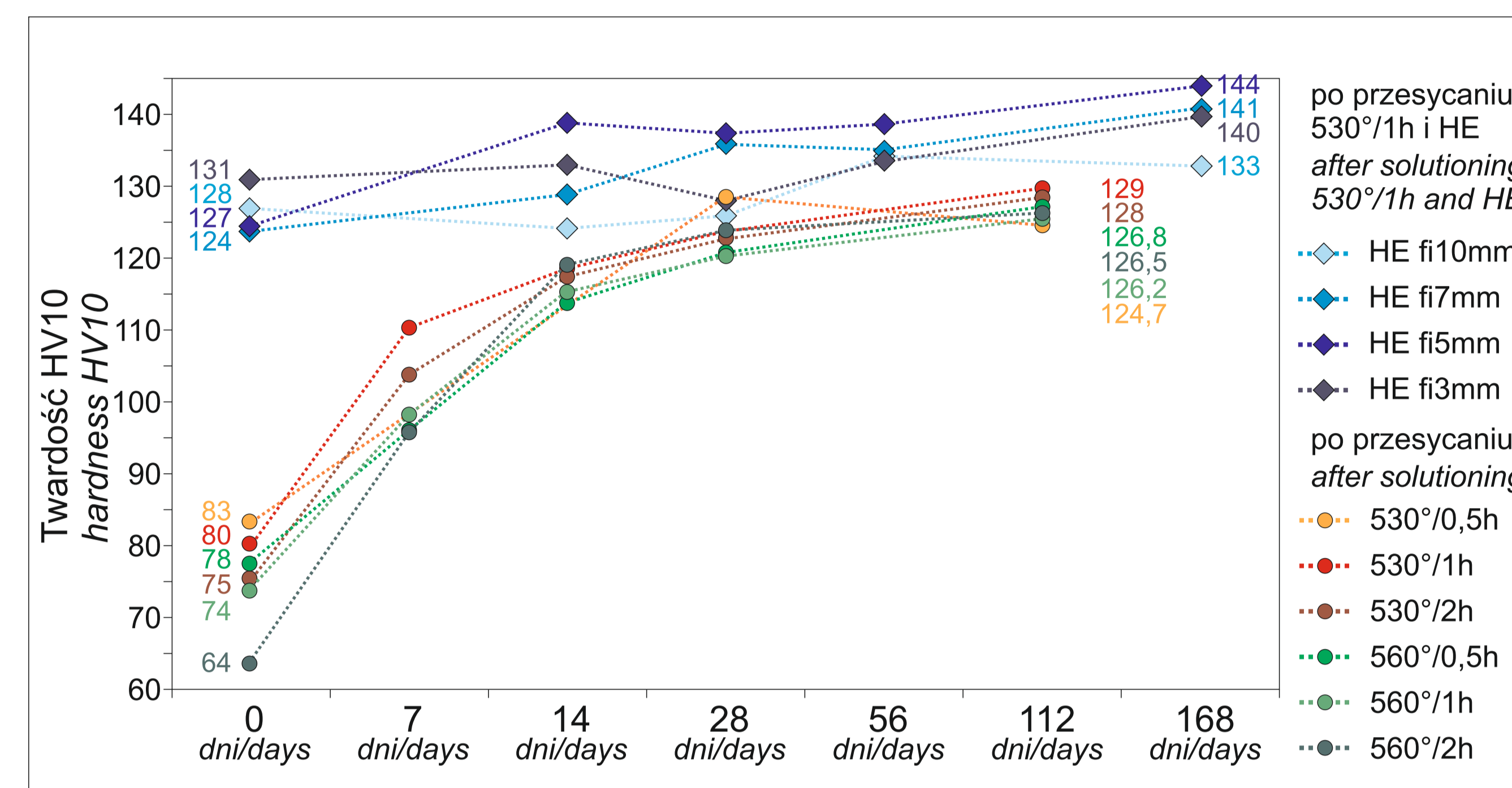
Rys.2. Mikrostruktura stopu 8090 po wyciskaniu hydrostatycznym oraz po przesycaniu i wyciskaniu hydrostatycznym
Fig.2. The microstructure of 8090 alloy after hydrostatic extrusion and after solutioning and hydrostatic extrusion

Wyniki pomiarów twardości (HV10) stopu 8090 po starzeniu naturalnym

- próbki po przesycaniu oraz po przesycaniu i hydroekstruzji

Hardness (HV10) of 8090 alloy after natural aging

- samples after solutioning and after solutioning followed by hydroekstruzji

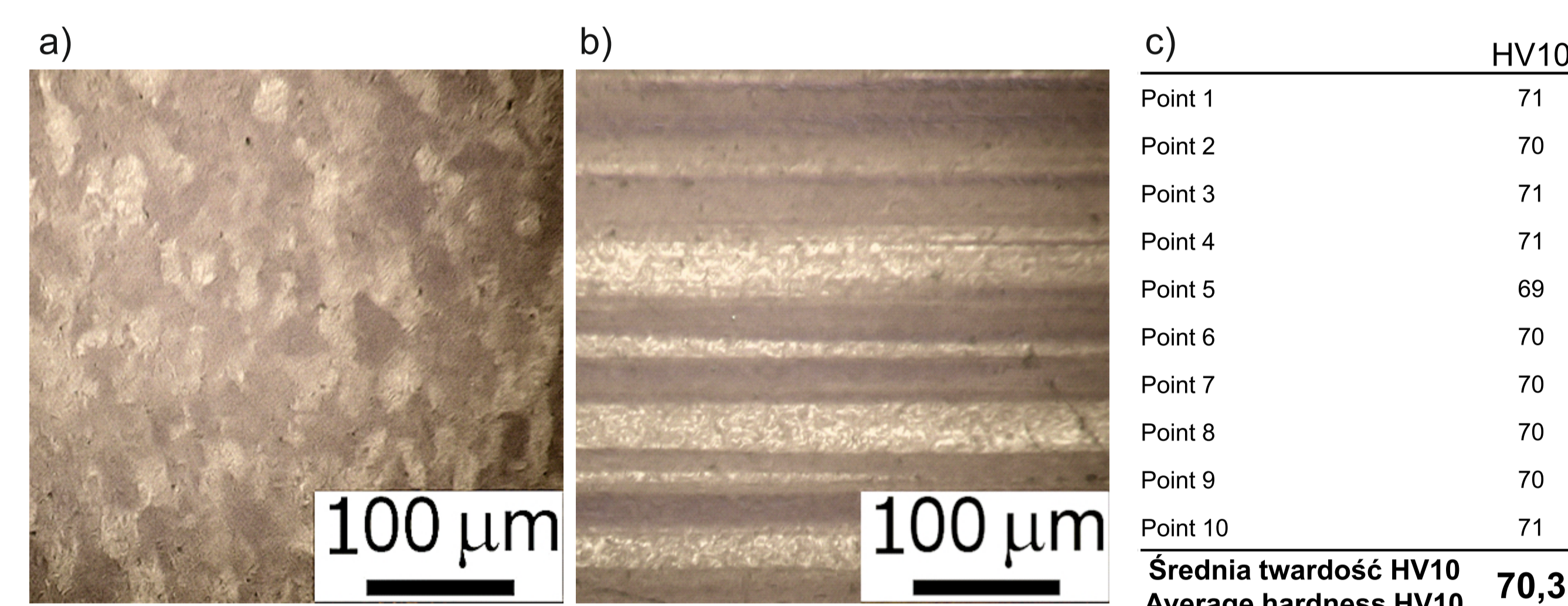


Rys.3. Pomiar twardości HV10 w wyniku starzenia naturalnego próbek po przesycaniu 530°C/1h i kolejnych etapach hydroekstruzji oraz po przesycaniu w temperaturze 530°C i 560°C przez różny okres czasu.
Fig.3. Hardness (HV10) as a result of the natural aging of the samples after 530°C/1h solutioning and subsequent HE stages and after the 530°C and 560°C solutioning only

- Wyciskanie hydrostatyczne przesyczonego stopu 8090 powoduje silne rozdrobnienie mikrostruktury i wyraźny wzrost twardości
- Wzrost właściwości mechanicznych jest wynikiem połączenia umacniania granicami ziaren i umacniania wydzieleniowego
- Hydrostatic extrusion of solutionized 8090 alloy leads to a significant reduction of grain size and increase of hardness
- Increase in the mechanical properties is the result of a combination of grain boundaries strengthening and precipitate strengthening

MIKROSTRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI STOPU 2099 (stan wyjściowy)

Microstructure and properties of the 2099 alloy (initial state)



Rys.4. Mikrostruktura i twardość stopu 2099 w stanie wyjściowym:
a) przekrój poprzeczny, b) przekrój wzdłużny, c) pomiary twardości HV10
Fig.4. Microstructure and hardness of the 2099 alloy (initial state):
a) cross-section, b) longitudinal section, c) hardness HV10

Parametry przesycania przeprowadzonego dla próbek ze stopu 2099

Solutioning parameters for 2099 alloy samples

Próbka	Temperatura przesycania Solutioning temperature [°C]	Czas przesycania Solutioning time [h]
Próbka 1	510°C	1h
Próbka 2	540°C	0,5h,
Próbka 3	540°C	1h
Próbka 4	540°C	2h
Próbka 5	570°C	1h

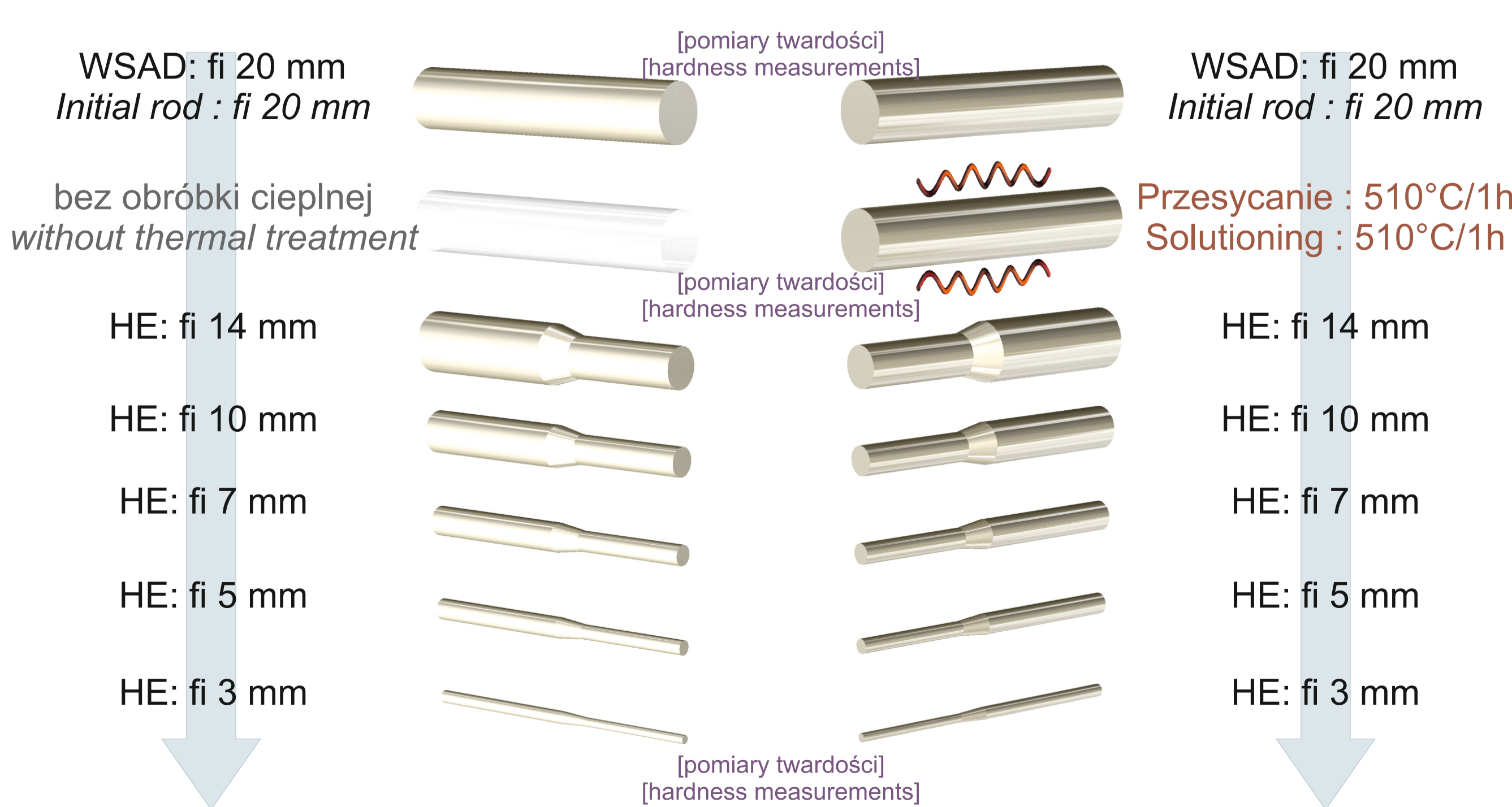
Rys.5. Parametry przesycania i zdjęcie próbek ze stopu 2099
Fig.5. Solutioning parameters and photography of the 2099 alloy samples

Tabela.3. Twardość próbek ze stopu 2099 po procesach przesycania (HV10)
Table.3. Hardness of the 2099 samples after solutioning processes (HV10)

Temperatura / czas Temperature / time	510C/1h	540C/0,5h	540C/1h	540C/2h	570C/1h
pomiar 1	80,7	75,2	78,7	78,6	66,8
pomiar 2	82	80,7	79,1	77,9	68,8
pomiar 3	81	77,7	80,3	78,4	67,5
pomiar 4	81,3	78	75,9	77	71,4
pomiar 5	82,7	80,7	79,6	78,2	69,2
Średnia wartość twardości HV10	81,5	78,5	78,7	78	68,7
Average hardness HV10					

Opracowanie parametrów wyciskania hydrostatycznego stopu 2099

Hydrostatic extrusion parameters of 2099 alloy



Rys.6. Schemat 2-torowego procesu wyciskania hydrostatycznego stopu 2099
Fig.6. Hydrostatic extrusion process scheme for 2099 alloy

WYSOKOENERGETYCZNE ODKSZTAŁCENIE - ZGRZEWANIE WYBUCHOWE

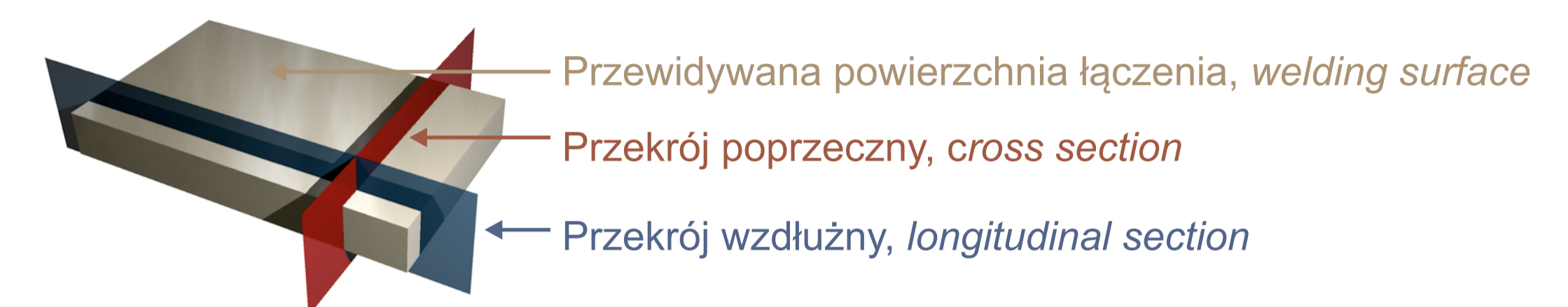
HIGH ENERGY DEFORMATION - EXPLOSIVE WELDING

Procesy zgrzewania wybuchowego stopów Ti-Grade2, Ti6Al4V, Inconel625

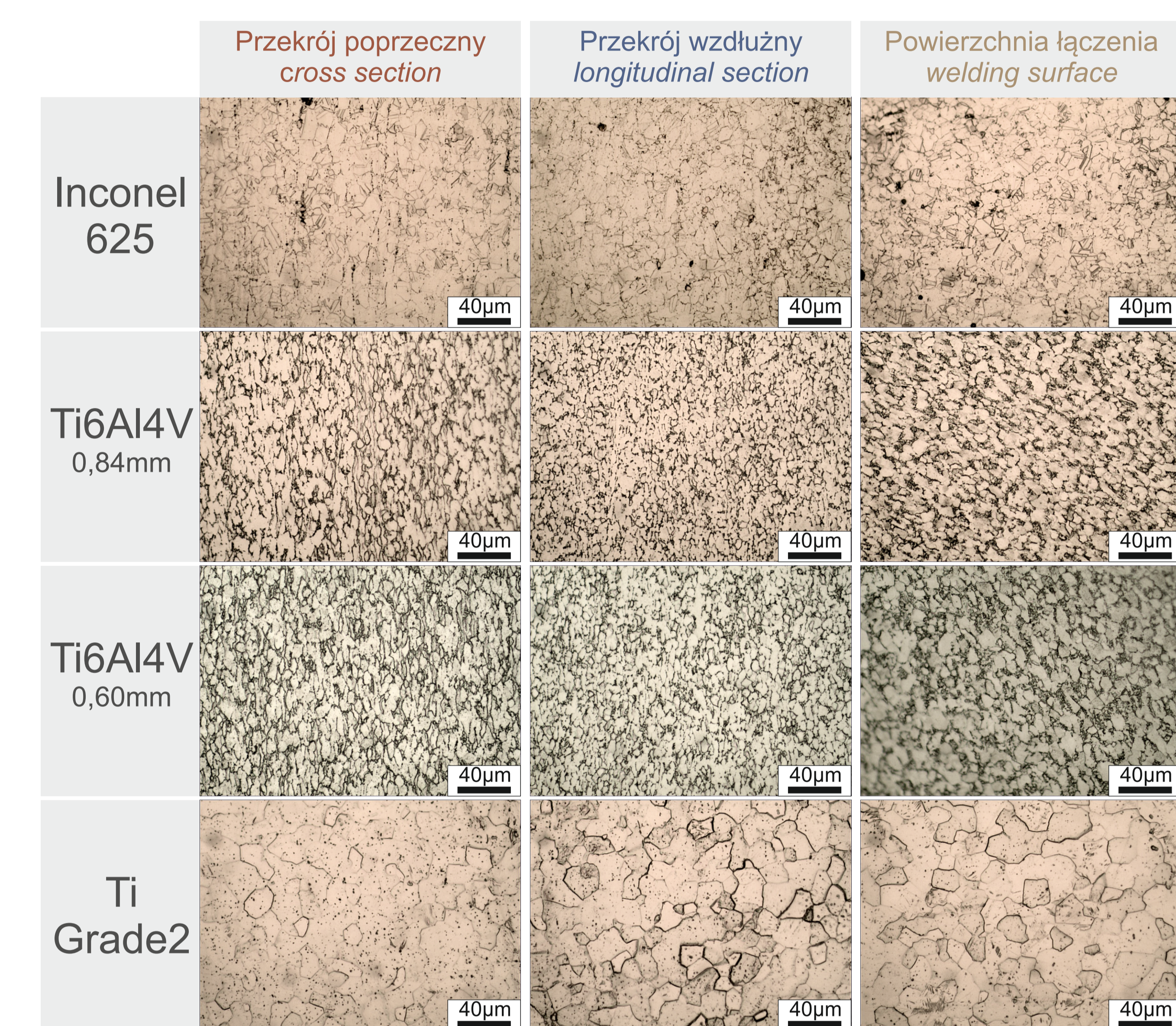
Explosive welding processes of Ti-Grade2, Ti6Al4V and Inconel625 alloys

selected materials:

- Inconel 625**, 3 sheets g = 1,55mm, size: 250mm x 350mm
- Ti6Al4V**, 2 sheets g = 0,84mm, size: 200mm x 300mm
- Ti6Al4V**, 2 sheets g = 0,60mm, size: 200mm x 300mm
- Ti-Grade 2**, 2 sheets g = 0,40mm, size: 200mm x 300mm



Rys.7. Badane płaszczyzny
Fig.7. Investigated planes



Rys.8. Mikrostruktura badanych materiałów
Fig.8. Microstructure of investigated materials

Wnioski Conclusions

- Wyciskanie hydrostatyczne przesyczonego stopu 8090 powoduje silne rozdrobnienie mikrostruktury
- Znaczący wzrost właściwości mechanicznych jest wynikiem połączenia umacniania granicami ziaren i wydzieleniowego
- pozytywne wyniki uzyskane na etapie badań bimetałów Ti-Ni wykorzystano do opracowania parametrów procesu łączenia stopu tytanu ze stopem niklu metodą wysokoenergetycznego odkształcenia (zgrzewanie wybuchowe)

- Hydrostatic extrusion of solutionized 8090 alloy leads to a significant reduction of grain size
- Increase in the mechanical properties is the result of a combination of grain boundaries strengthening and precipitate strengthening
- The positive results obtained in the previously analyzed Ti-Ni bimetal were used to develop parameters of titanium and nickel alloys explosive welding process

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Złącza bimetalowe ze stopów Ni-Ti: Wytornica gazów w silnikach turbinowych (gazogenerator) oraz Wyloty gazów spalinowych w silnikach turbinowych
Ni-Ti alloys: gasgenerators and exhaust in turbine engines

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

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

Manufacturing technology of Ni-Ti bimetal with the use of high plastic deformation (explosive welding) fall within the scope of interests WSK "PZL-Rzeszow" SA

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

- Garbacz H.: **Metody otrzymywania nanokrystalicznego tytanu**. Konferencja „Tytan i jego stopy - 2011”, Myczkowice, 9-12 października 2011r.

Publikacje

- Topolski K., Garbacz H., Pachla W., Wieceński 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

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

Prace inżynierskie obronione:

- Adrian Rybka : **Wytwarzanie bimetalu NiTi z wykorzystaniem wysokoenergetycznego odkształcenia plastycznego**. Promotor: dr hab. inż. Halina Garbacz,

Prace magisterskie planowane:

- Małgorzata Kobus : **Kształtowanie mikrostruktury i właściwości stopu Al-Li metoda wyciskania hydrostatycznego**. Promotor: dr hab. inż. Halina Garbacz,