

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

WYCISKANIE HYDROSTATYCZNE STOPÓW Al-Li

Cel
Kształtowanie stopów Al-Li metodą wyciskania hydrostatycznego pod kątem poprawy ich właściwości mechanicznych.

Metodyka

- Badanie składu chemicznego stopu,
- Charakterystyka mikrostruktury i właściwości materiału w stanie wyjściowym (stan dostawy), po wyciskaniu, po umocnieniu wydzieleniowym oraz po przesycaaniu i wyciskaniu oraz starzeniu,
- Procesy wieloetapowego wyciskania hydrostatycznego stopów aluminium z litem (8090 oraz 2099) w stanie dostawy oraz po przesycaaniu,
- Dobór warunków umocnienia wydzieleniowego,
- Dobór i analiza parametrów procesów wyciskania hydrostatycznego (wartości ciśnienia wyciskania, przebieg wyciskania, liczba etapów),
- Analiza makroskopowa produktów wyciskania,
- Opis właściwości mechanicznych w oparciu o pomiary twardości (materiał badany bezpośrednio po procesie przesycaania, a także na różnych etapach wyciskania. Ponadto dla próbek poddanych procesom przesycaania i starzenia wykonano pomiary twardości w funkcji czasu).

Procesy wyciskania hydrostatycznego przeprowadzono we współpracy z Instytutem wysokich ciśnień Polskiej Akademii Nauk

HYDROSTATIC EXTRUSION OF Al-Li ALLOYS

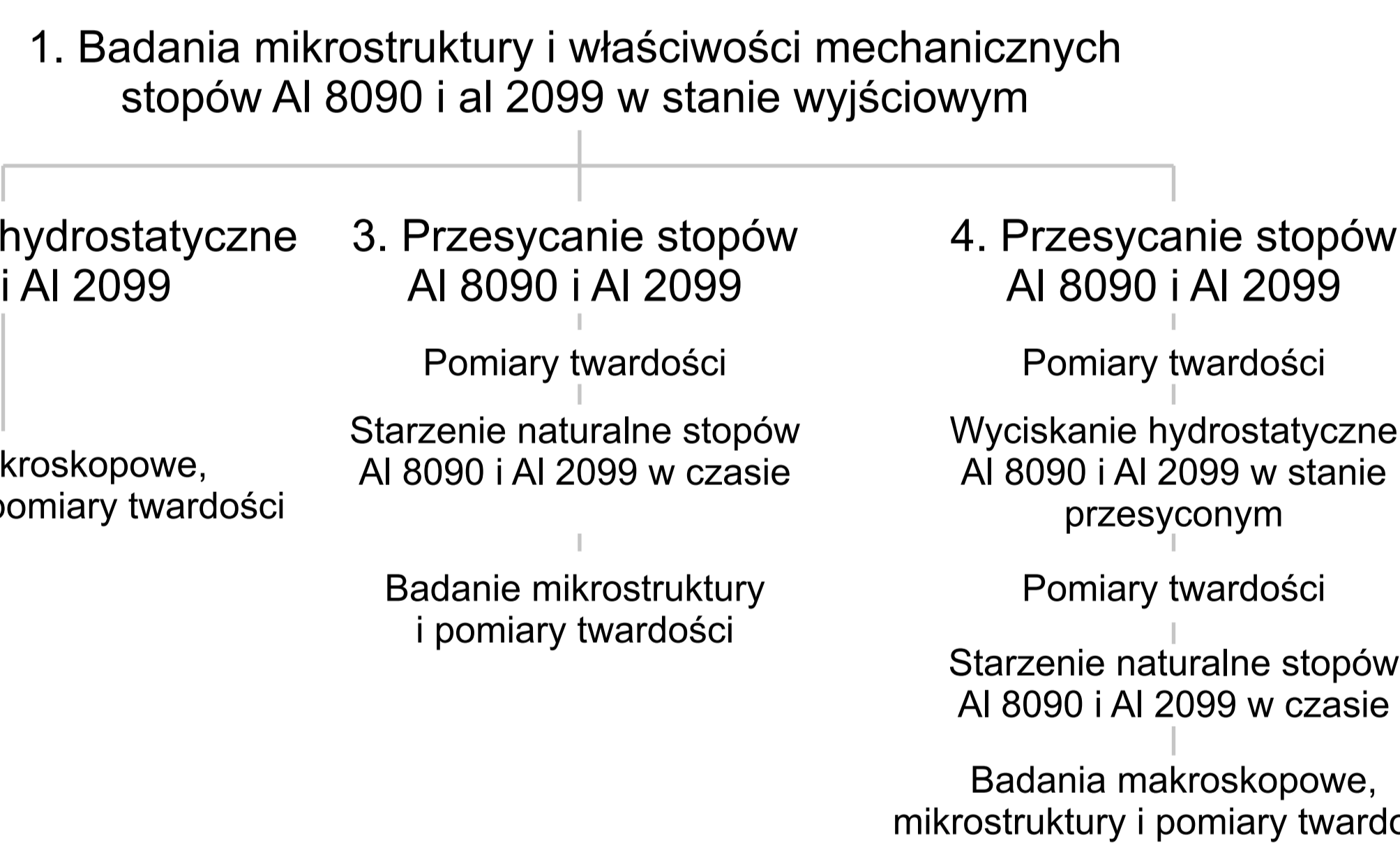
Aim of the study

Improvement of the the mechanical properties of Al-Li alloys using hydrostatic extrusion method.

Methods

- Chemical composition analysis,
- Characterization of the microstructure and properties of the material in the initial state (state of delivery), after hydroextrusion, precipitation strengthening and after combined: solution treatment, hydroextrusion and ageing processes,
- Multi-stage hydrostatic extrusion processes of Al-Li alloys (8090 and 2099): state of delivery and after solutioning,
- Selection of the strengthening parameters,
- Selection and analysis of hydrostatic extrusion process parameters (pressure extrusion, extrusion process, the number of stages),
- Analysis of macroscopic extrusion products,
- Description of the mechanical properties (based on hardness analysis) after various processes.

Hydrostatic extrusion processes were carried out in collaboration with the Institute of High Pressure of the Polish Academy of Sciences



Rys. 1. Schemat prowadzonych badań.
Fig. 1. Scheme of the performed analysis.

Skład chemiczny (OES, AAS)

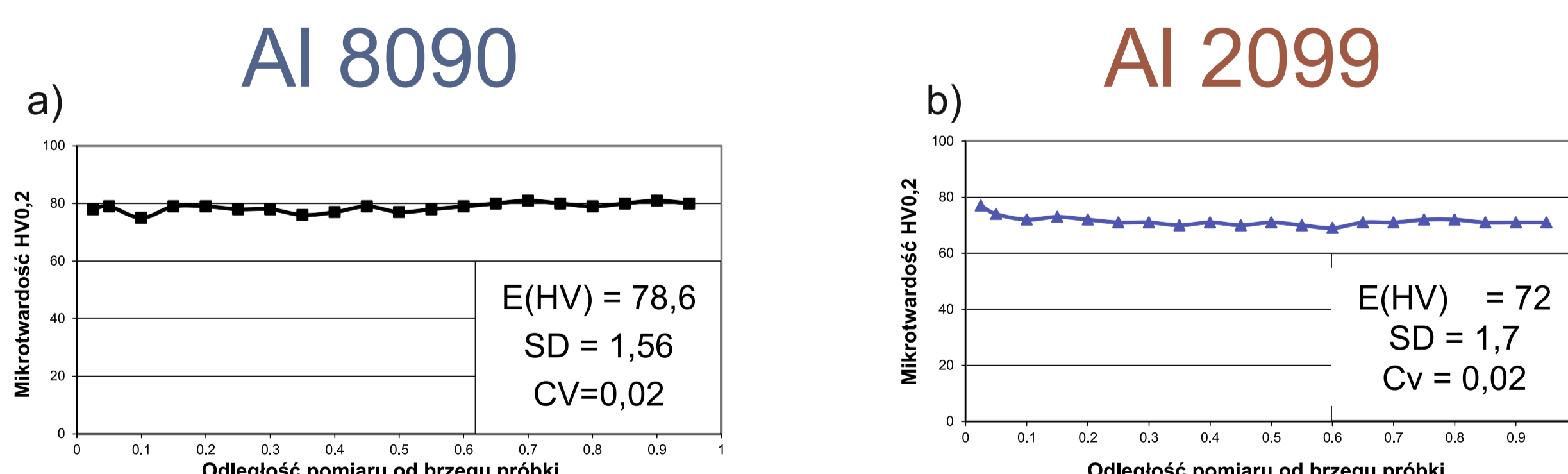
Chemical composition (OES - Optical Emission Spectroscopy, AAS - Atomic Absorption Spectrometry)

Tabela 1. Skład chemiczny stopów Al 8090 i Al 2099.
Table 1. Chemical composition of Al 8090 and Al 2099 alloys.

Al 8090	Chemical composition 8090 OES, AAS – weight %, rest Al											
	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	0,005	0,042	0,072	0,00001	2,65
Al 2099	Chemical composition 2099 OES, AAS – weight %, rest Al											
	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

Pomiary mikrotwardości (w stanie dostawy)

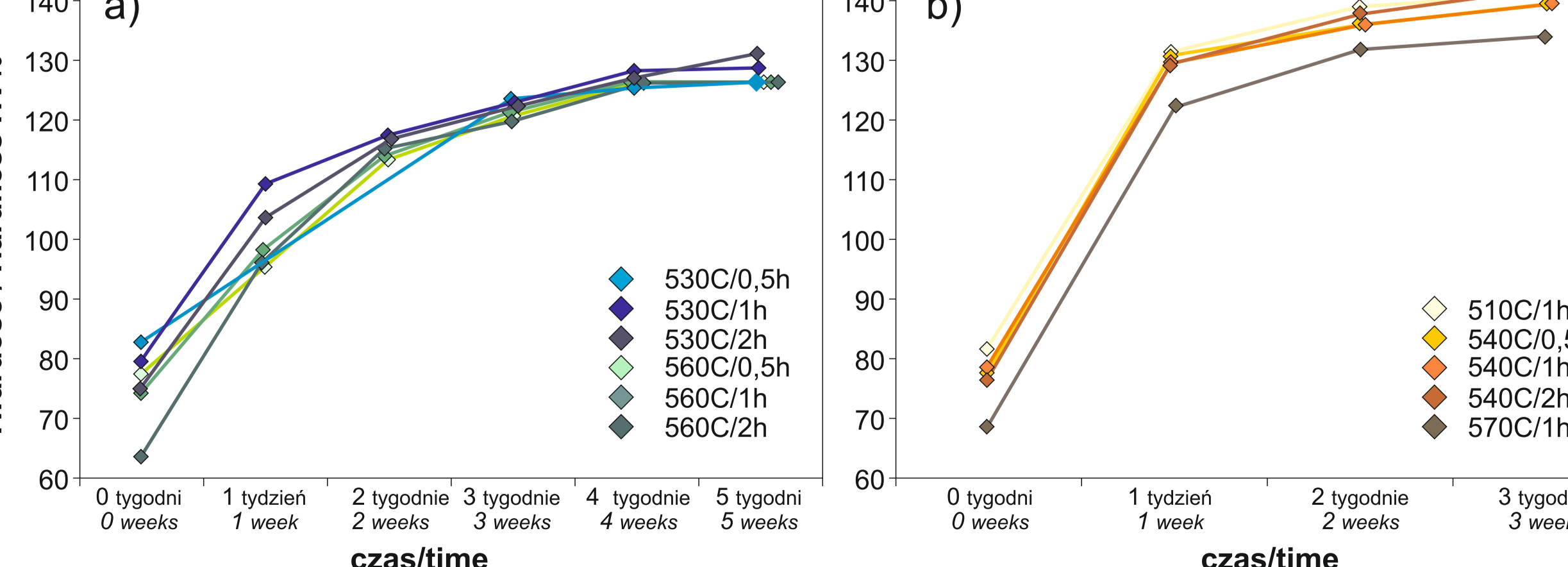
Microhardness (initial state)



Rys. 2. Mikrotwardość na przekroju poprzecznym: a) stop Al 8090, b) stop Al 2099.
Fig. 2. Microhardness on cross section: a) Al 8090 alloy, b) Al 2099 alloy.

PRZESYCAANIE I STARZENIE (mikrotwardość w funkcji czasu starzenia naturalnego)

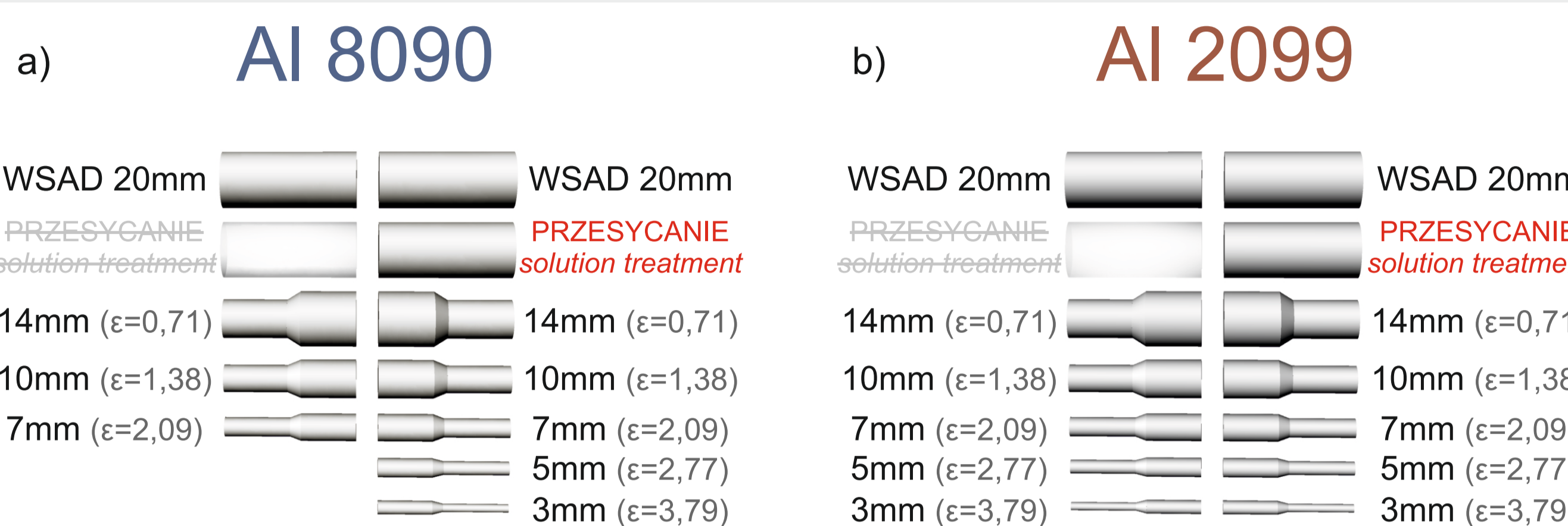
SOLUTION AND AGING TREATMENT (microhardness as a function of natural aging time)



Rys. 3. Mikrotwardość w funkcji czasu: a) stop Al 8090, b) stop Al 2099.
Fig. 3. Microhardness after various time: a) Al 8090 alloy, b) Al 2099 alloy.

WYCISKANIE HYDROSTATYCZNE

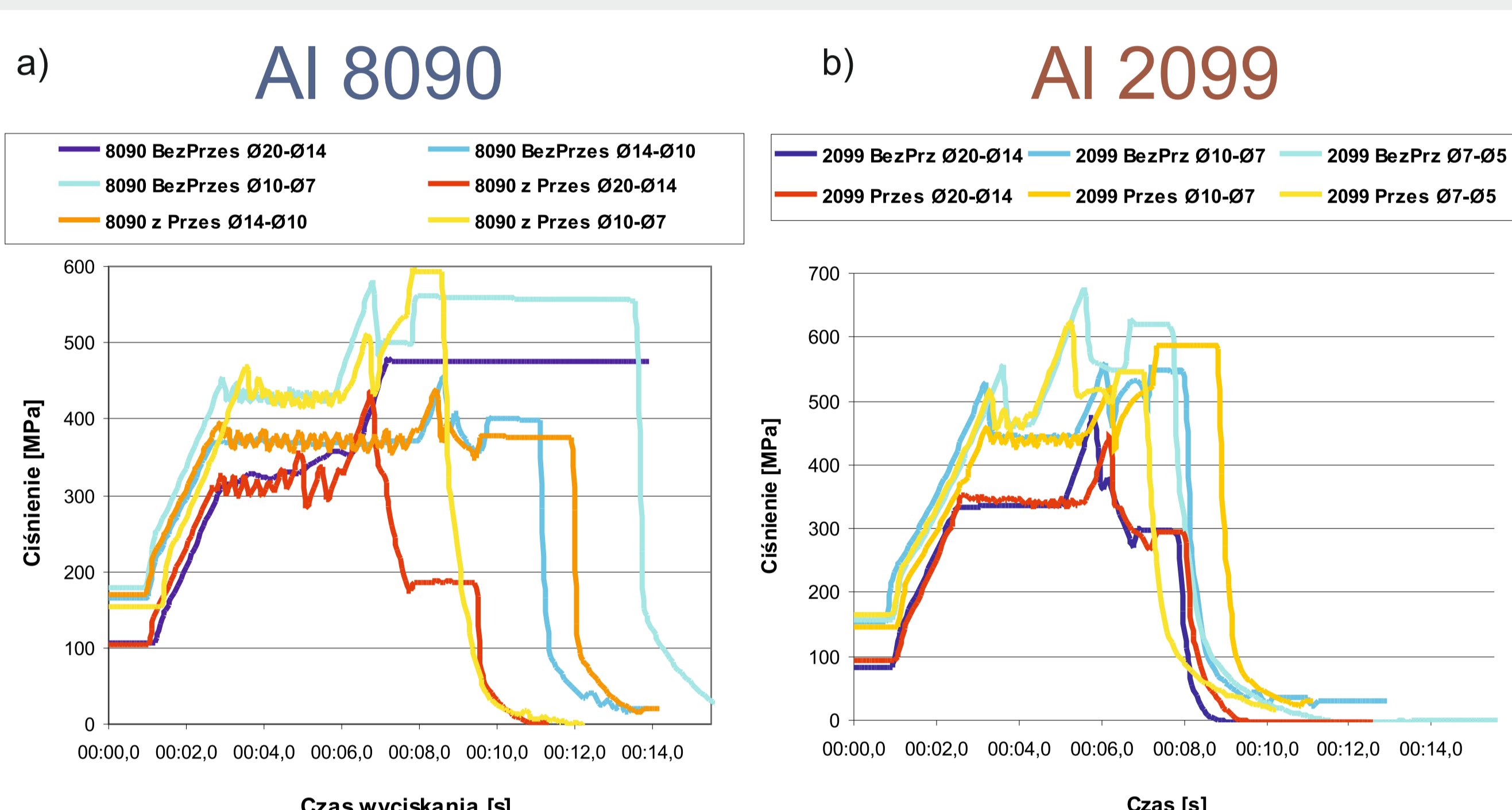
HYDROSTATIC EXTRUSION



Rys. 4. Schemat kolejnych etapów wyciskania hydrostatycznego: a) stop Al 8090, b) stop Al 2099.
Fig. 4. Scheme of the subsequent stages of hydrostatic extrusion: a) Al 8090 alloy, b) Al 2099 alloy.

WYCISKANIE HYDROSTATYCZNE

HYDROSTATIC EXTRUSION



Rys. 5. Przebiegi ciśnienia wyciskania hydrostatycznego: a) stop Al 8090, b) stop Al 2099.
Fig. 5. Hydrostatic extrusion pressure analysis: a) Al 8090 alloy, b) Al 2099 alloy.

Dla obu stopów w procesach HE i P+HE dla tych samych redukcji przekrojów występują podobne wartości ciśnień, ale procesom P+HE towarzyszą większe jego oscylacje.
For both alloys, HE pressures with, and without solution treatment are similar. Process after solution treatment is accompanied by greater pressure oscillations.

OBSERWACJE MAKROSKOPOWE

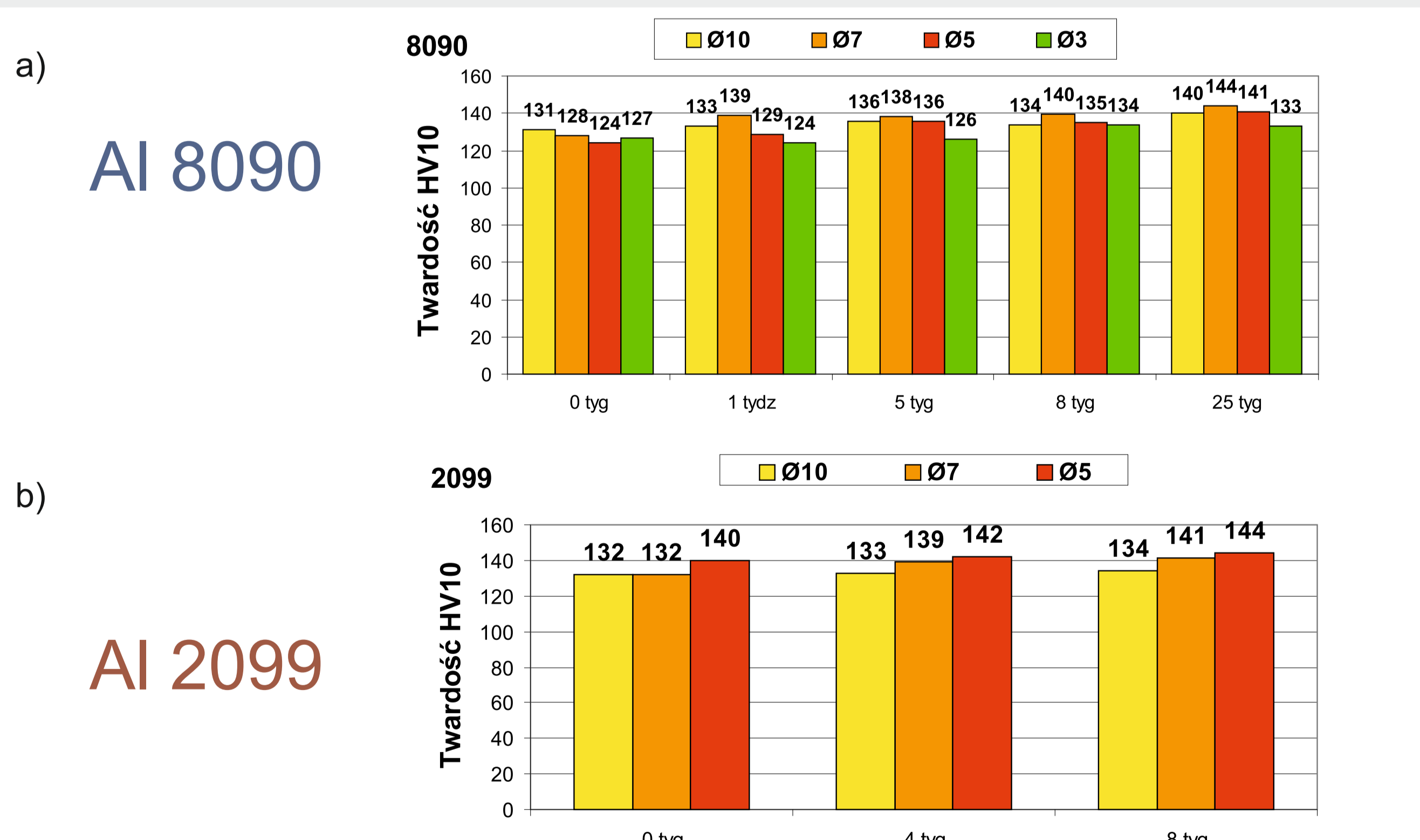
MACROSCOPIC OBSERVATIONS



Rys. 6. Zdjęcia wyciskanych prętów.
Fig. 6. Photography of the extruded rods.

PROCES STARZENIA NATURALNEGO po przesycaaniu i wyciskaniu hydrostatycznym

NATURAL AGING PROCESS after solutioning and hydrostatic extrusion



Rys. 7. Mikrotwardość po różnych stopniach odkształcenia i czasach starzenia: a) stop Al 8090, b) stop Al 2099.
Fig. 7. Microhardness after different HE stages and various time of aging: a) Al 8090 alloy, b) Al 2099 alloy.

ZESTAWIENIE UZYSKANYCH WYNIKÓW (mikrotwardość)

SUMMARY OF THE RESULTS (microhardness)

Tabela 2. Zestawienie uzyskanych wyników.
Table 2. Summary of the results.

Stop	Stan wyjściowy	Wyciskanie hydrostatyczne (HE)		Przesycaanie i starzenie naturalne (P+S)		Przesycaanie i wyciskanie (P+HE)		Przesycaanie, wyciskanie i starzenie naturalne (P+HE+S)	
		O10	O7	O10	O5	O10	O5	O10	O5
8090	83	125	128	127 (36 tygodni)	128	133 (25 tygodni)	144 (25 tygodni)		
2099	74	117	127	134 (8 tygodni)	140	134 (8 tygodni)	144 (8 tygodni)		

Połączenie procesów umocnienia zgniotem z umocnieniem wydzieleniowym pozwala na zwiększenie twardości stopu AA 8090 o około 73% i stopu AA 2099 o około 95%.
Combination of cold work strengthening the precipitate strengthening can increase the hardness of the AA 8090 alloy by about 73% and AA 2099 alloy by about 95%.

ZGRZEWANIE WYBUCHOWE stopów Ni Ti

Cel

Wykorzystanie wysokoenergetycznego odkształcenia plastycznego (zgrzewanie wybuchowe) do łączenia stopu tytanu Ti6Al4V ze stopem niklu Inconel 625, na podstawie doświadczeń zdobytych podczas badań nad otrzymywaniem blach bimetalicznych z czystych metali Ni-Ti.

Materiał

- Stop niklu Inconel 625, trzy blachy o grubości g=1,55mm o wymiarach: 250mm x 350mm,
- Stop tytanu Ti6Al4V, dwie blachy o grubości g=0,84mm o wymiarach: 200mm x 300mm.

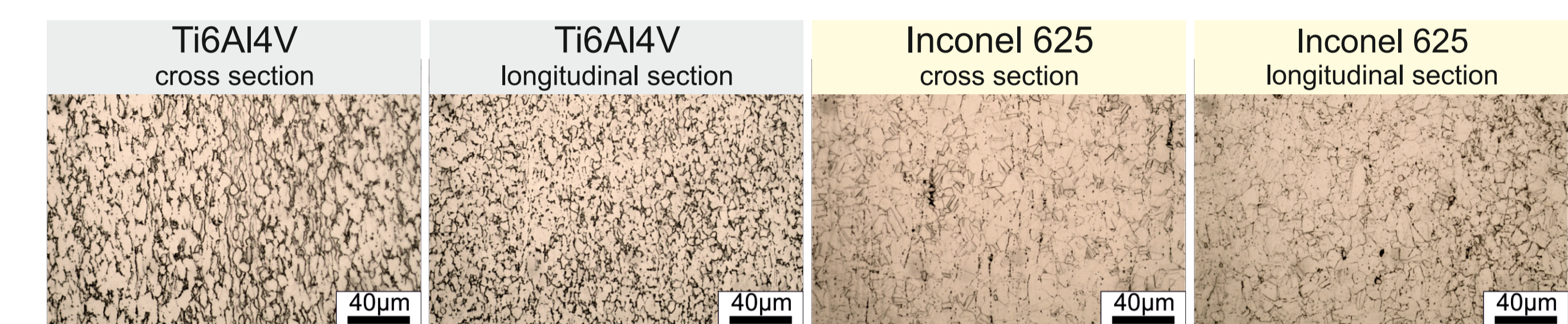
EXPLOSIVE WELDING of Ni and Ti ALLOYS

Aim of the study

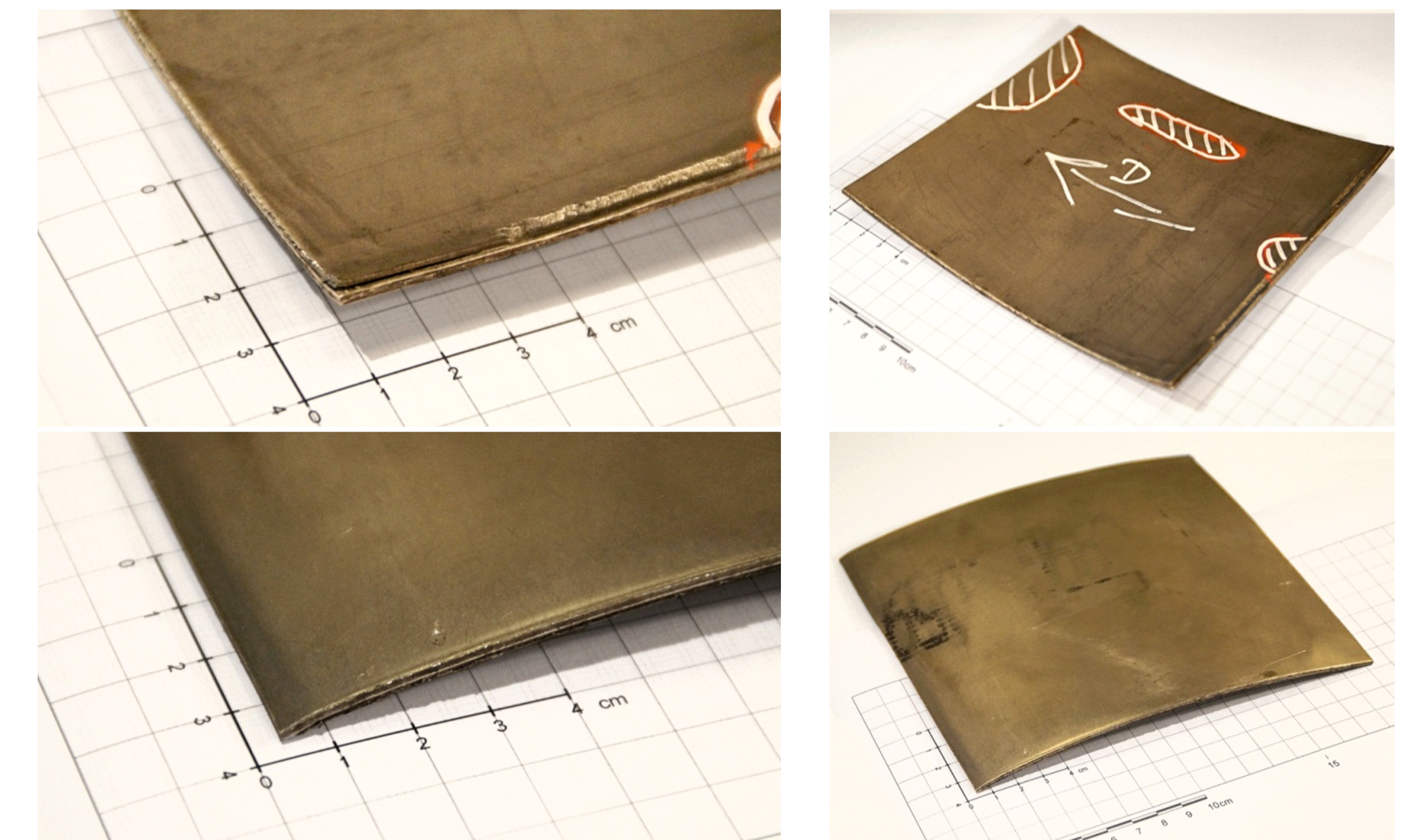
The use of high-energy plastic deformation (explosive welding) to join Ti6Al4V titanium alloy with Inconel 625 nickel alloy, (based on experience in welding Ni and Ti pure metals).

Materials

- Inconel 625 alloy, three sheets of g=1,55mm thickness and 250mm x 350mm dimensions,
- Ti6Al4V alloy, two sheets of g=0,84mm thickness and: 200mm x 300mm dimensions.



Rys. 8. Mikrostruktura badanych materiałów.
Fig. 8. Microstructure of analysed alloys



Rys. 9. Przykładowa blacha bimetaliczna (Ti6Al4V - Inconel 625).
Fig. 9. Sample Ti6Al4V - Inconel 625 bimetal.

Wnioski Conclusions

- Stop AA 2099 jest bardziej podatny na odkształcenie plastyczne metodą wyciskania hydrostatycznego niż stop AA 8090,
- Wyciskanie stopów Al-Li w stanie przesyconym pozwala na uzyskanie odkształcenia niezbędnego do otrzymania ultradrobnoziarnistej struktury,
- W stanie po wyciskaniu z przesycaaniem (P+HE) pręty charakteryzowały się gładką powierzchnią,
- Znaczący wzrost twardości (około 80-100%) stopów Al-Li można uzyskać poprzez połączenie umocnienia zgniotem z umocnieniem wydzieleniowym (przesycaanie + wyciskanie hydrostatyczne + starzenie naturalne).
- AA 2099 alloy is more susceptible to plastic deformation by hydrostatic extrusion than AA 8090 alloy,
- Extrusion of Al-Li alloys after solution treatment allows obtaining deformation rate necessary to produce ultrafine structure,
- After solution treatment and Hydroextrusion (P + HE) rods were characterized by a smooth surface,
- A significant increase in hardness (about 80-100%) of Al-Li alloys can be achieved through a combination of cold work strengthening the precipitate strengthening (solution treatment + hydrostatic extrusion + natural aging).

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

Referaty

- Garbacz H.: Metody otrzymywania nanokrystalicznego tytanu. Konferencja „Titan i jego stopy - 2011”, Myczkowiec, 9-12 października 2011r.
- J. Zdunek, D. Jakubowska, J. Mizera, K.J. Kurzydłowski, ANALIZA TEKSTURY ALUMINIUM 7475 PO PRZECISKANIU PRZEZ KANAŁ KĄTOWY, referat i poster na XIII Międzynarodowej Konferencji „Metale Lekkie 2013” w Niepolomicach (24-26.04.2013)

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 GarbaczAnna 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 magisterskie planowane:

- Adrian Rybka: Mikrostruktura i właściwości złącza Ti6Al4V / Inconel 625 uzyskanego metodą łączenia wybuchowego. Promotor: prof. dr hab. Halina Garbacz (2013 rok)

Prace inżynierskie obronione:

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