

# 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 aerospace 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 HYDROSTATIC EXTRUSION of the Al-Li ALLOYS

##### Cel

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

##### Metodyka

- Charakterystyka mikrostruktury i właściwości materiału w stanie wyjściowym (stan dostawy).
- Wykonano pomiary twardości Brinella i Vickersa (HV10) oraz wyznaczono rozkład mikro-twardości HV0,2 na przekroju poprzecznym wyciskanych prętów. Skład chemiczny określono metodą optycznej spektrometrii emisyjnej (OES), a zawartość litu metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS).
- Procesy wieloetapowego wyciskania hydrostatycznego stopu Al8090 w stanie dostawy oraz po przesycaeniu w temperaturze 530°C przez 30 min w atmosferze argonu.
- Analiza parametrów procesów wyciskania hydrostatycznego oraz wyznaczenie maksymalnych ciśnień wyciskania.
- Analiza właściwości mechanicznych materiału bezpośrednio po procesie przesycaenia, a także na różnych etapach wyciskania. Wykonanie pomiarów twardości starzonych próbek w funkcji czasu.

#### Wyciskanie hydrostatyczne stopu aluminium 8090

Wsadu przygotowano z pręta o średnicy Ø20 mm. Wyciskanie hydrostatyczne przeprowadzono według schematu i z parametrami widocznymi poniżej (gdzie  $\epsilon$  - odkształcenie skumulowane).

##### Aim

Improvement of the mechanical properties of the Al-Li alloys by hydrostatic extrusion (HE).

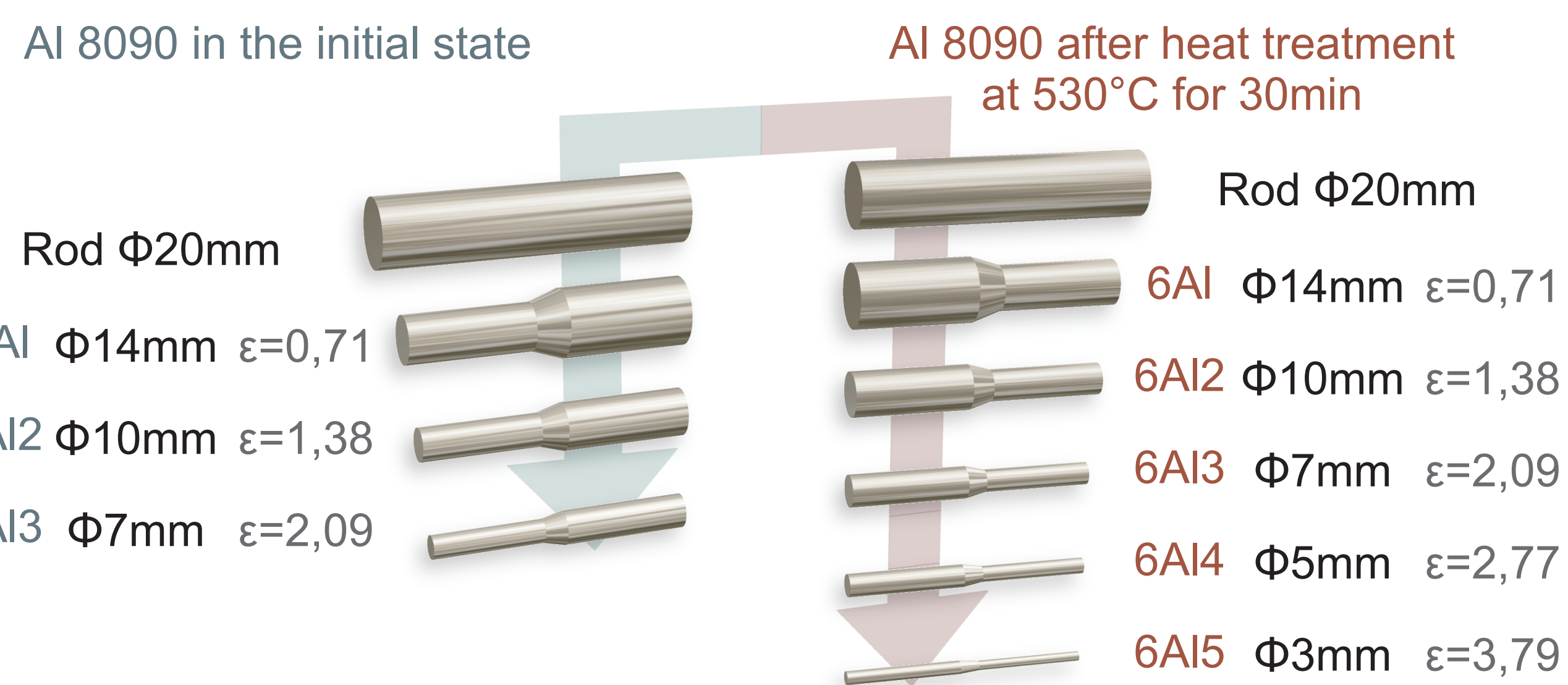
##### Experimental

- Characterization of the microstructure and properties of the material in initial state.
- Hardness tests by Brinell and Vickers (HV10) methods, as well as microhardness distribution on the cross sections of the rods were measured. Chemical composition was determined using optical emission spectroscopy (OES) and the content of lithium was quantified by atomic absorption spectroscopy (AAS).
- Multi-stage hydroextrusion processes of the 8090 Al alloy in initial state and after heat treatment at 530°C for 0,5h in an argon atmosphere.
- The analysis of the HE process parameters and determination of the maximum extrusion pressures.
- The investigations of the mechanical properties of material after solutioning heat treatment, after stages of extrusion and after different time of ageing.

#### Hydrostatic extrusion of 8090 aluminium alloy

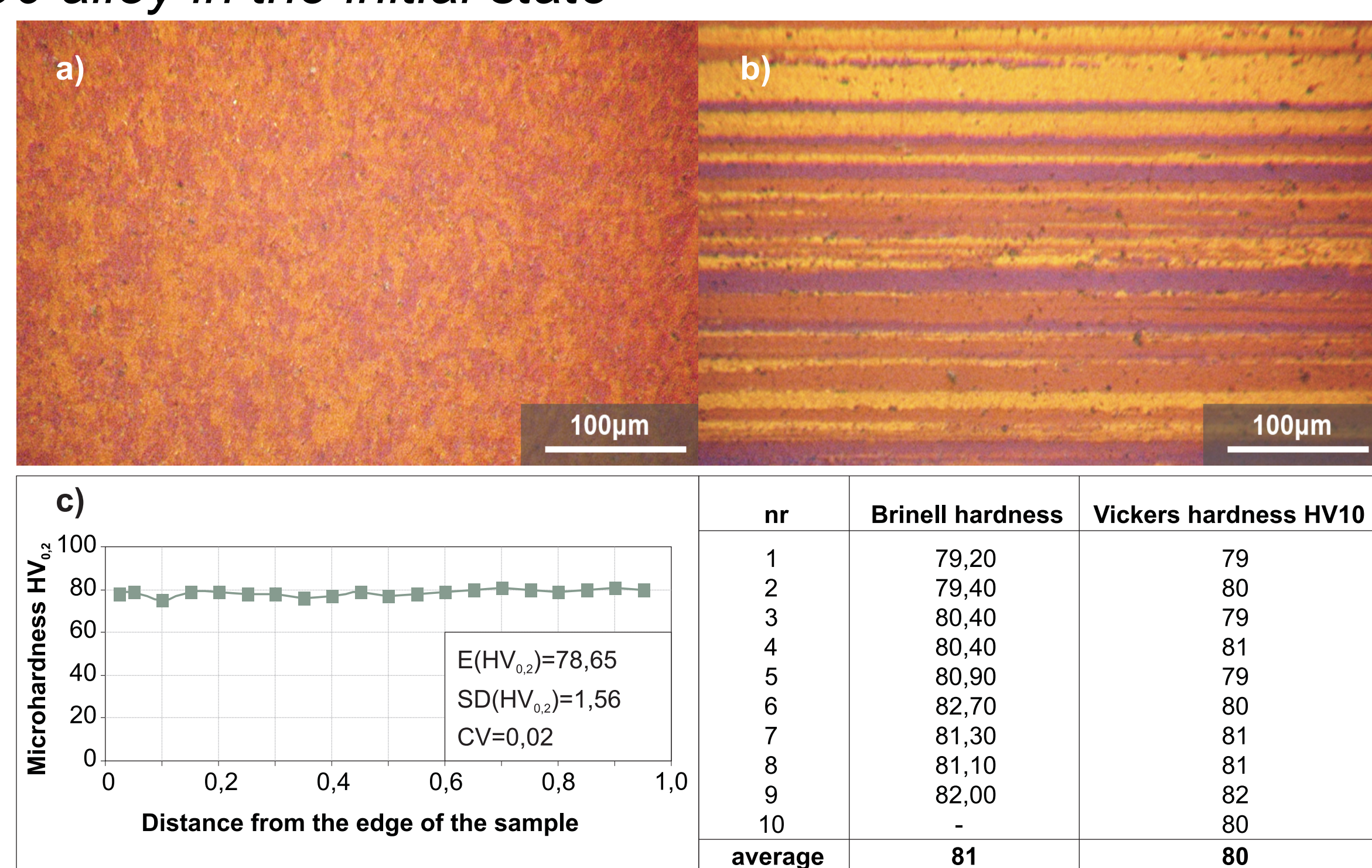
Billets were formed from rods with diameter of 20 mm. The scheme and parameters of the hydrostatic extrusion process are given below ( $\epsilon$  - true strain).

Procesy wyciskania hydrostatycznego prowadzono we współpracy z Instytutem Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk  
The HE processes were carried out in cooperation with the Institute of High Pressure Physics of Polish Academy of Science



Rys.1. Schemat procesu wyciskania hydrostatycznego stopu Al 8090 w stanie dostawy i po przesycaeniu w temperaturze 530°C przez 30min  
Fig.1. Scheme of hydrostatic extrusion of 8090 alloy in the initial state and after heat treatment at 530°C for 30min

#### Stop 8090 w stanie wyjściowym 8090 alloy in the initial state



Rys.2. Charakterystyka badanego materiału: a) mikrostruktura na przekroju poprzecznym, b) mikrostruktura na przekroju wzdłużnym, c) pomiary twardości i mikro-twardości  
Fig.2. Characteristics of the material: a) the microstructure of the cross-section, b) microstructure of the longitudinal section, c) the measurement of hardness and microhardness

Tabela 1. Skład chemiczny badanego materiału  
Table 1. Chemical composition of the material

Chemical composition of the material - OES, AAS [weight %]										
Fe	Si	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	Be	Li
0,12	0,088	0,007	1,18	0,004	0,029	0,0047	0,042	0,072	0,00001	2,65

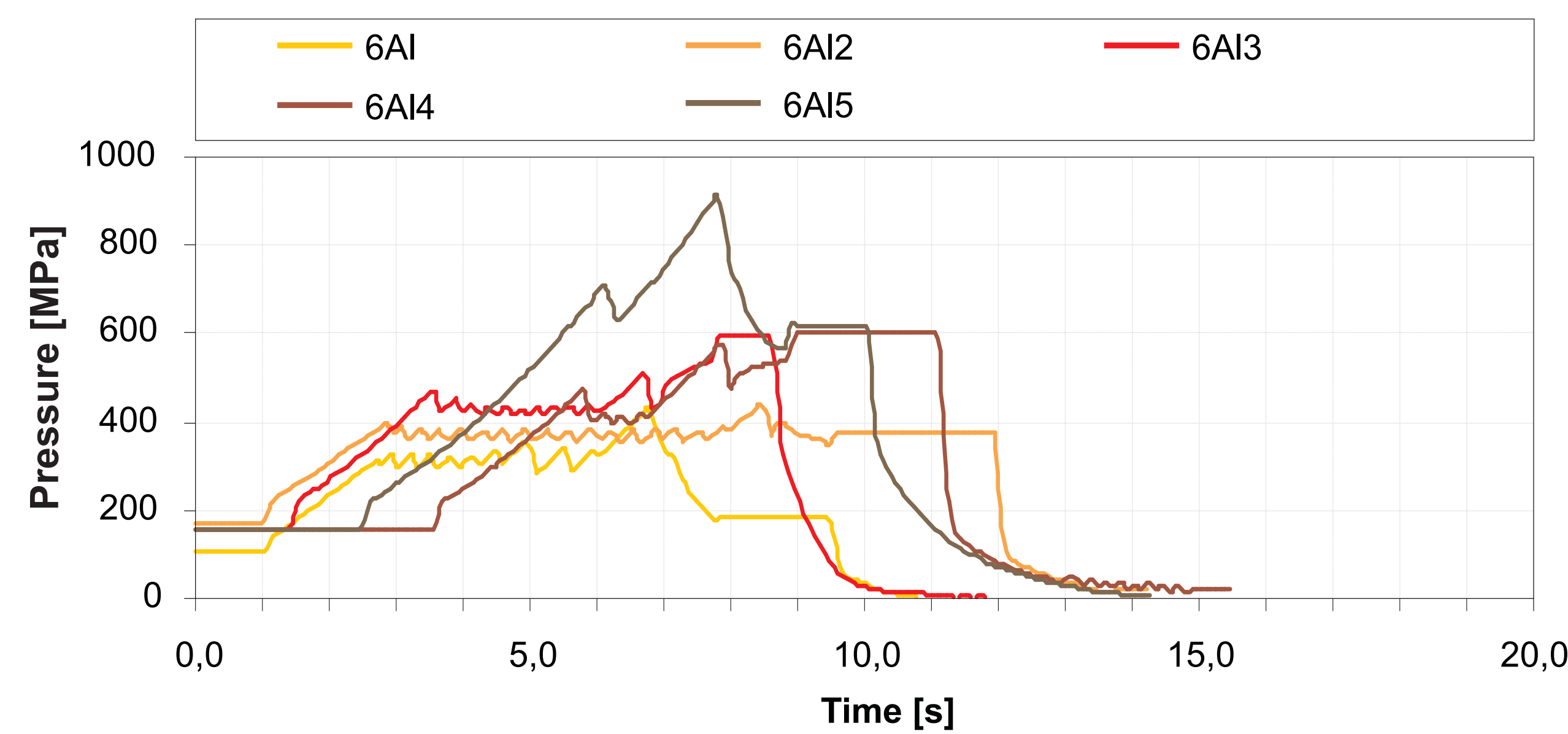
#### Wyciskanie hydrostatyczne stopu 8090 Hydrostatic extrusion of the 8090 alloy

W przypadku prętów po przesycaeniu proces charakteryzował się znacznymi wahaniami ciśnienia i był mało stabilny. W operacjach 6Al4 i 6Al5 wyciskanie przebiegało dynamicznie i charakteryzowało się wysokimi wartościami maksymalnego ciśnienia.

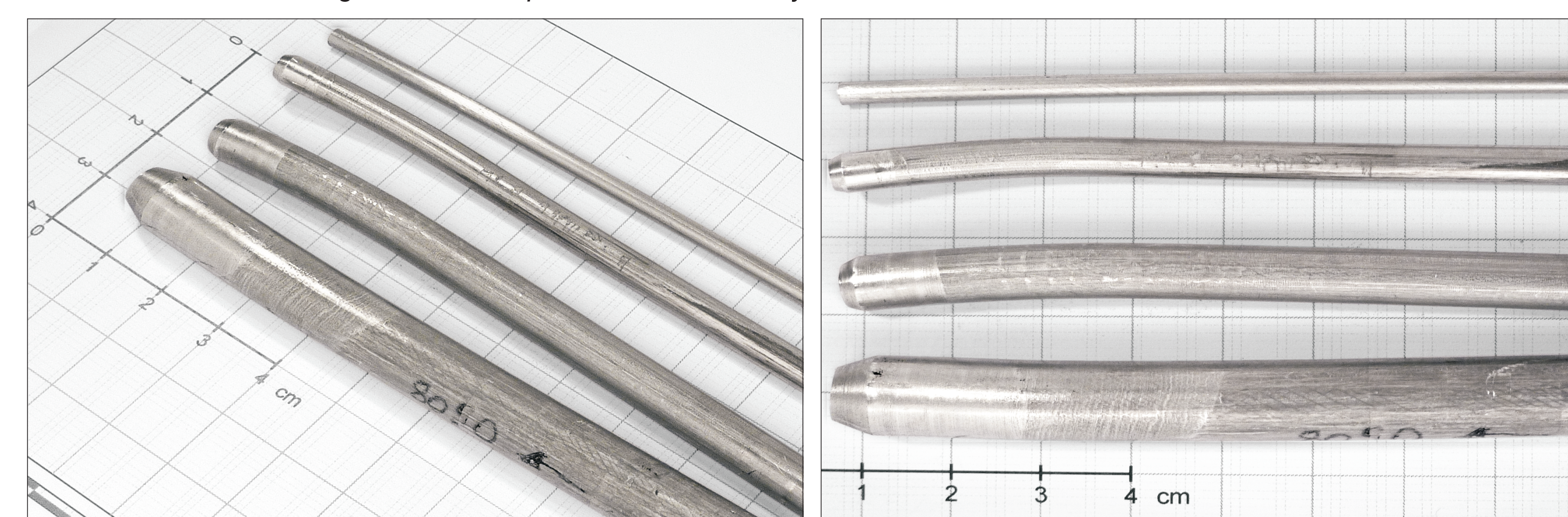
In the case of rods after heat treatment the process was characterized by extremes of pressure and was not stable. 6Al5 and 6Al4 extrusion processes proceeded rapidly and characterized by high values of maximum pressure.

#### Ciśnienie wyciskania dla procesu 6Al Extrusion pressure for the 6Al process

Al 8090 po przesycaeniu 530°C / 30min w argonie, chłodzony w wodzie  
Al 8090 after heat treatment at 530°C for 30min in argon, cooled in water

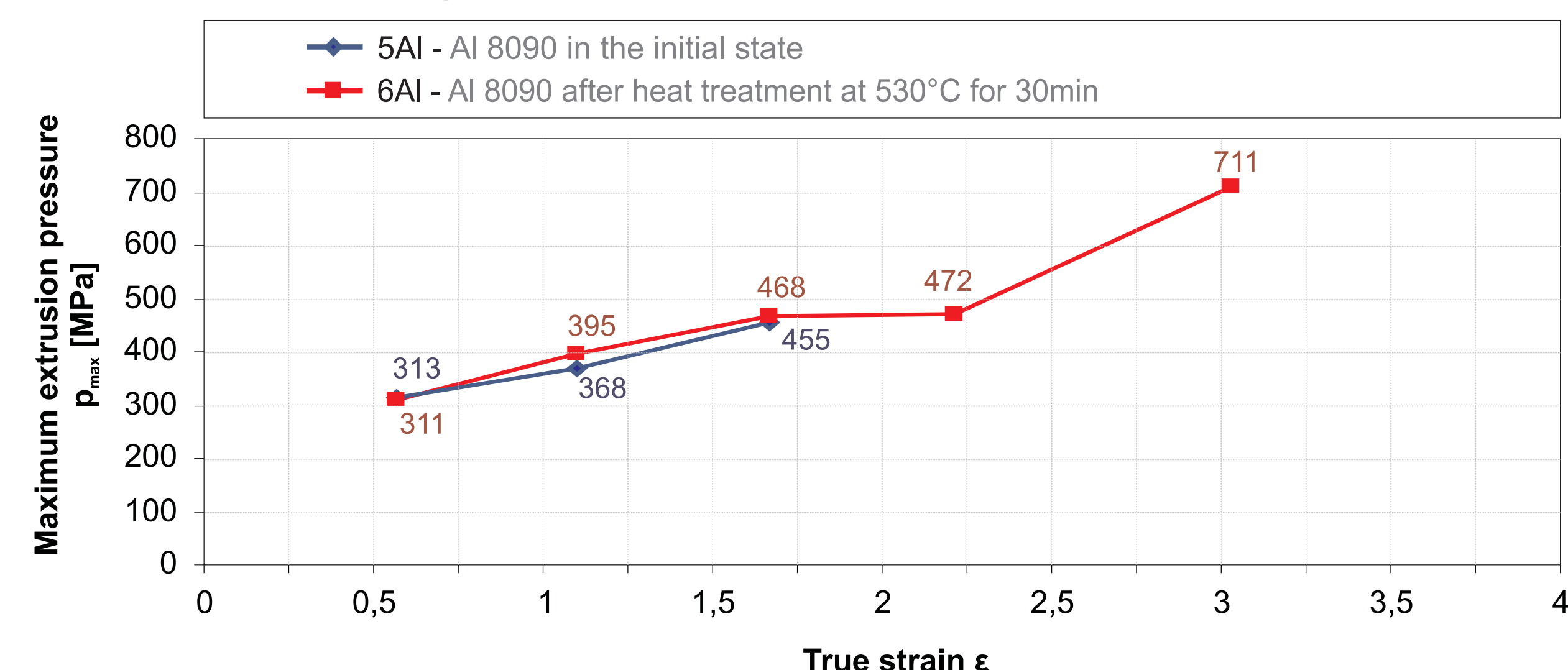


Rys.3. Ciśnienie wyciskania stopu Al 8090 po przesycaeniu w temperaturze 530°C przez 30min  
Fig. 3. Extrusion pressure of 8090 alloy after heat treatment at 530°C for 30min

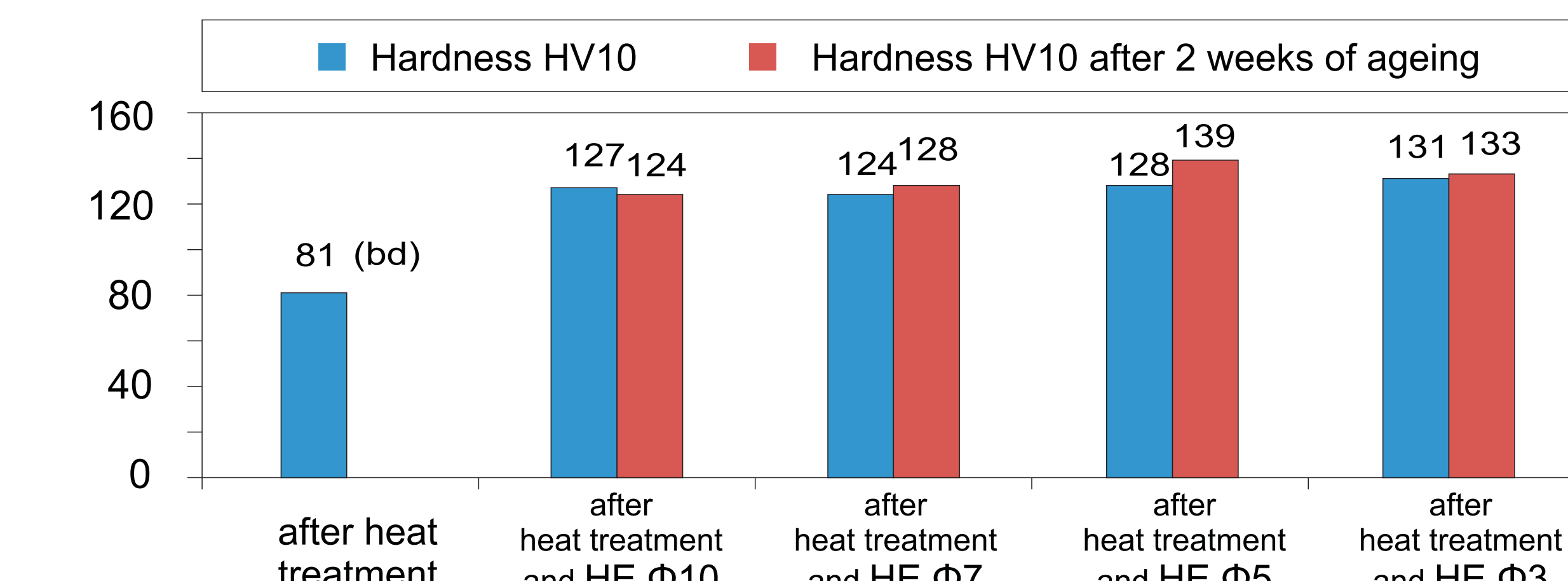


Rys.4. Elementy uzyskane w wyniku wyciskania hydrostatycznego stopu Al8090 po procesie przesycaenia  
Fig.4. Elements obtained by hydrostatic extrusion of 8090 alloy after heat treatment

#### Maksymalne ciśnienia wyciskania Maximum extrusion pressure



Rys.5. Porównanie maksymalnych ciśnień wyciskania w funkcji odkształcenia skumulowanego dla stopu Al 8090 w stanie dostawy i po przesycaeniu w temperaturze 530°C przez 30min  
Fig.5. Comparison of the maximum extrusion pressure as a function of true strain for Al 8090 alloy, in the initial state and after heat treatment at 530°C for 30min



Rys.6. Wyniki pomiarów mikro-twardości dla stopu Al 8090 w stanie dostawy oraz po procesie wieloetapowego wyciskania hydrostatycznego  
Fig.6. The results of microhardness measurements for the 8090 alloy, in the initial state and after the multistage hydrostatic extrusion processes

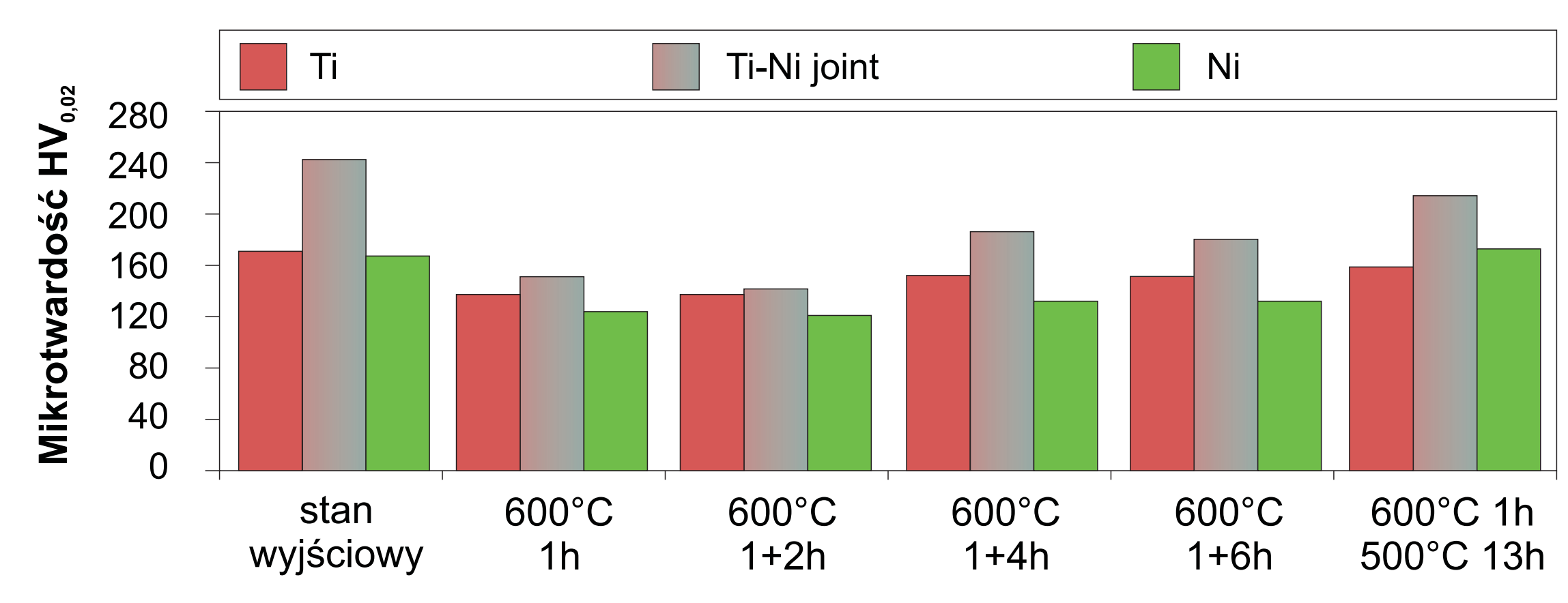
#### ZGRZEWANIE WYBUCHOWE Ti-Ni EXPLOSIVE WELDING OF Ti-Ni

##### Metodyka

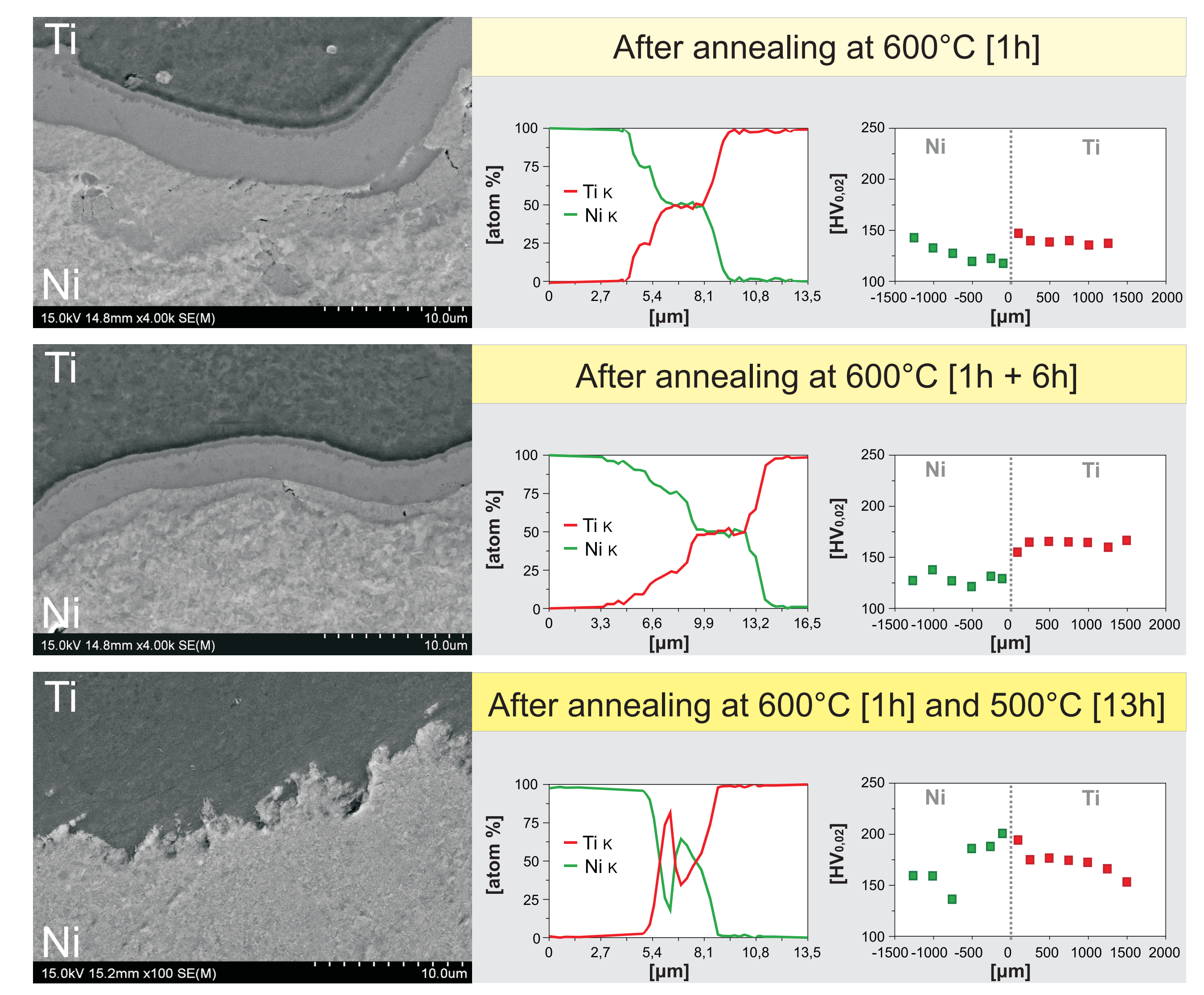
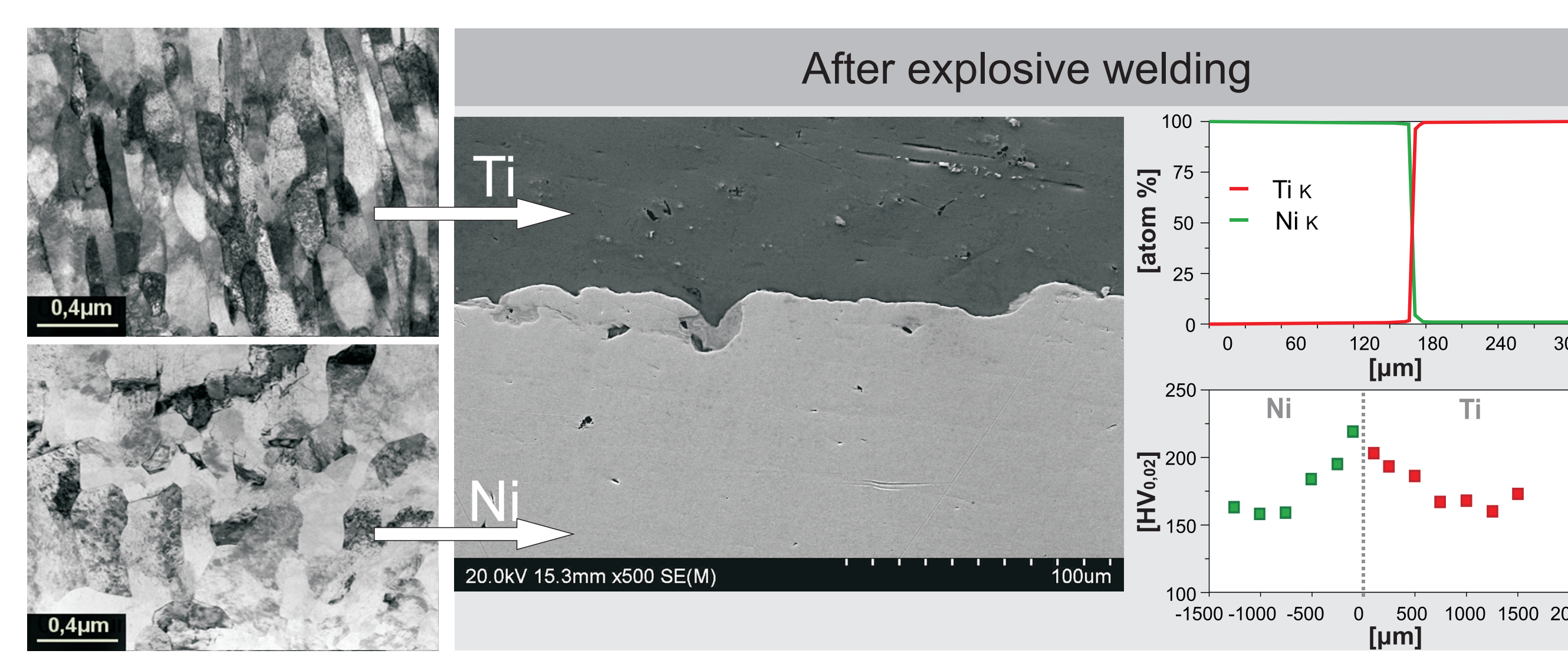
- Materiały: bimetali Ti-Ni po zgrzewaniu wybuchowym oraz po wyżarzaniu (600°C: 1h, 1+2h, 1+4h, 1+6h oraz 600°C/1h + 500°C/13h).
- Analiza właściwości mechanicznych (mikrotwardość), mikrostruktury, składu chemicznego i fazowego złącza Ti-Ni w stanie po połączeniu wybuchowym oraz po wyżarzaniu

##### Experiment:

- Materials: Ti-Ni bimetal after explosive welding and after annealing (at 600°C: 1h, 1+2h, 1+4h, 1+6h and at 600°C/1h + 500°C/13h).
- Analysis of the mechanical properties (microhardness), microstructure, chemical and phase composition of Ti-Ni bimetal after explosive welding and annealing



Rys.7. Wyniki pomiarów mikro-twardości złącz bimetaliowych w stanie po zgrzewaniu wybuchowym i po różnych procesach wyżarzania  
Fig.7. Microhardness of Ti-Ni bimetal after explosive welding and after different annealing processes



Rys.8. Obrazy SEM, TEM, rozkład liniowy pierwiastków (EDS) i rozkład liniowy mikro-twardości złącz bimetaliowych w stanie po zgrzewaniu wybuchowym i po różnych procesach wyżarzania  
Fig.8. SEM and TEM observations, linear distribution of elements and linear distribution of hardness of Ti-Ni bimetal after explosive welding and after different annealing processes

#### Wnioski Conclusions

#### Wyciskanie hydrostatyczne stopu Al 8090 Hydrostatic extrusion of 8090 alloy

- Przeprowadzenie obróbki cieplnej polegającej na przesycaeniu wsadu w temp. 530°C w czasie 30 min. zaowocowało zwiększeniem plastyczności wyciskanego materiału. Wyciskanie stopu 8090 poddanego przesycaeniu przebiegało bez poważniejszych zakłóceń. Zakończyło się uzyskaniem pozbawionego pęknięć pręta o średnicy Ø3 mm, który charakteryzował się gładką powierzchnią.
- Wyciskanie hydrostatyczne powoduje wyraźny wzrost twardości stopu Al 8090 (około 60%).
- The solution heat treatment at 530°C for 0,5 h results in increase of plasticity of the extruded material. This allowed to conduct the extrusion process without cracking of the billet. The final rod with diameter of 3 mm was characterized by smooth surface.
- The hydrostatic extrusion process brings significant increase in hardness of the 8090 alloy (about 60%).

#### Zgrzewanie wybuchowe Ti-Ni Explosive welding of Ti-Ni

- Proces wysokoenergetycznego odkształcenia spowodował powstanie ultradrobnociastnej mikrostruktury w pobliżu złącza, zarówno w tytanie jak i w niklu (wielkość ziarna ok. 140-190 nm).
- Najwyższą twardością charakteryzują się próbki bez obróbki cieplnej (wzdłuż złącza i losowo w obszarze Ti i Ni), natomiast najniższą twardość ma złącze po wyżarzaniu 600/1h + 600/1+2h.
- Wydłużenie czasu wygrzewania powoduje wzrost twardości złącza do poziomu przed obróbką cieplną.
- The high energy deformation process produced the ultrafine microstructure close the joint in titanium as well as in nickel (the grain size in range of 140-190nm).
- The highest hardness was obtained for the Ti-Ni bimetal without heat treatment (along the joint and in random areas in Ni and Ti). The samples after annealing at 600/1h + 600/1+2h reveal the lowest hardness.
- The longer annealing time causes the increase in hardness up to level, which was obtained for the samples before heat treatment.

#### Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Złącza bimetaliowe Ni-Ti: Wytwornica gazów w silnikach turbinowych (gazogeneratory) oraz wyloty gazów spalinowych w silnikach turbinowych.  
Ni-Ti bimetallic joints: gas generators in turbine engines, combustion gases exhaust.

#### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Technologia wytwarzania bimetaliu na bazie Ti-Ni z wykorzystaniem wysokoenergetycznego odkształcenia plastycznego (zgrzewanie wybuchowe) wchodzi w zakres zainteresowań zakładów WSK „PZL-Rzeszów” S.A.  
Bi-metal manufacturing technology based on Ti-Ni using high plastic deformation (explosive welding) is in interest of 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., Wieciński P., Kurzydłowski K. J.: Mechanical Properties of Nanocrystalline Titanium Obtained by Hydrostatic Extrusion. Artykuł zgłoszony na konferencję EMR-S 2011, w recenzji
- Garbacz H.: Metody otrzymywania nanokrystalicznego tytanu. Inżynieria Materiałowa, w druku
- 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 bimetaliowych 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 bimetaliu NiTi z wykorzystaniem wysokoenergetycznego odkształcenia plastycznego. Promotor: dr hab. inż. Halina Garbacz,

##### Prace magisterskie w realizacji:

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