

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.)

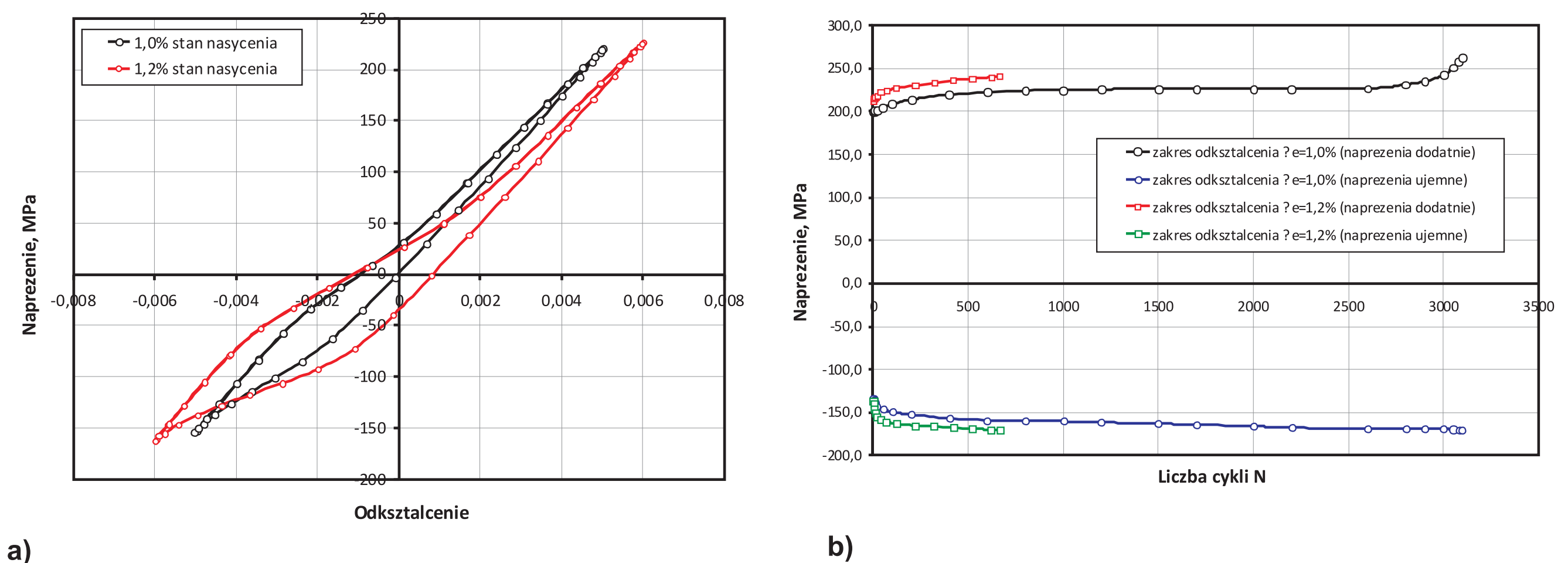
Plastic forming of magnesium alloys (precision forging, stamping, extrusion, etc.)

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Instytut Lotnictwa w Warszawie

Wyniki badań Results

Zmęczenie niskocyklowe stopu magnezu AZ31 Low - cycle fatigue of magnesium alloy Az31

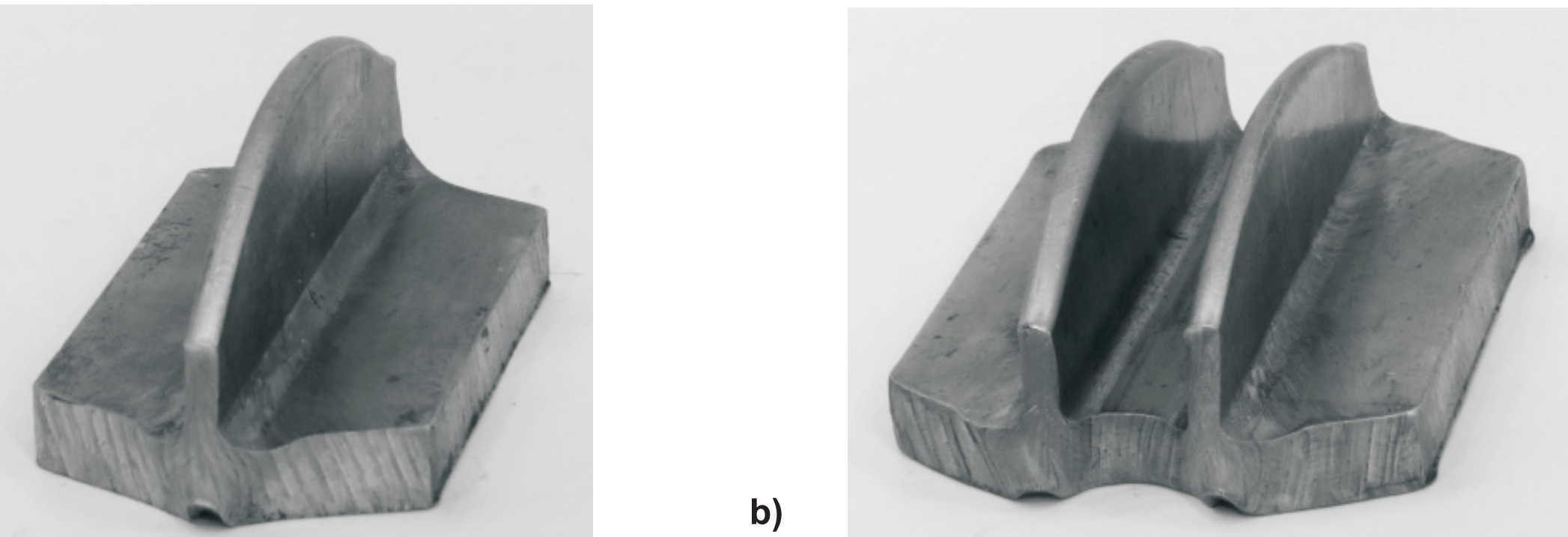
Materiał do badań w warunkach zmęczenia niskocyklowego stanowiły próbki walcowe, gwintowane wykonane z trzech rodzajów materiału; aluminium, stopu tytanu i magnezu. Próby zmęczeniowe w temperaturze pokojowej prowadzono na maszynie MTS-810 w warunkach rozciągania-ściskania przy współczynniku asymetrii cyklu $R = -1$. Badania przeprowadzono przy sterowaniu maszyny okształceniem, wykorzystując ekstensometr o bazie pomiarowej 25mm. Próby monotoniczne wykonano dla dwóch zakresów okształcenia całkowitego $\Delta\epsilon_c=1,0$ i $1,2\%$. Na rys. 1 przedstawiono zarejestrowane w warunkach badań pętle histerezy - charakterystyczne dla stanu ustalibilizowanego badanych materiałów. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano charakterystyki trwałości niskocyklowej N_f - liczba cykli do zniszczenia przy okształceniu $\Delta\epsilon_c=1,0\%$ wynosiła 3098, zaś przy $1,2\%$ - 664. Dla badanych materiałów opracowano także charakterystyki cyklicznego okształcenia badanych materiałów przedstawione na rys. 2.



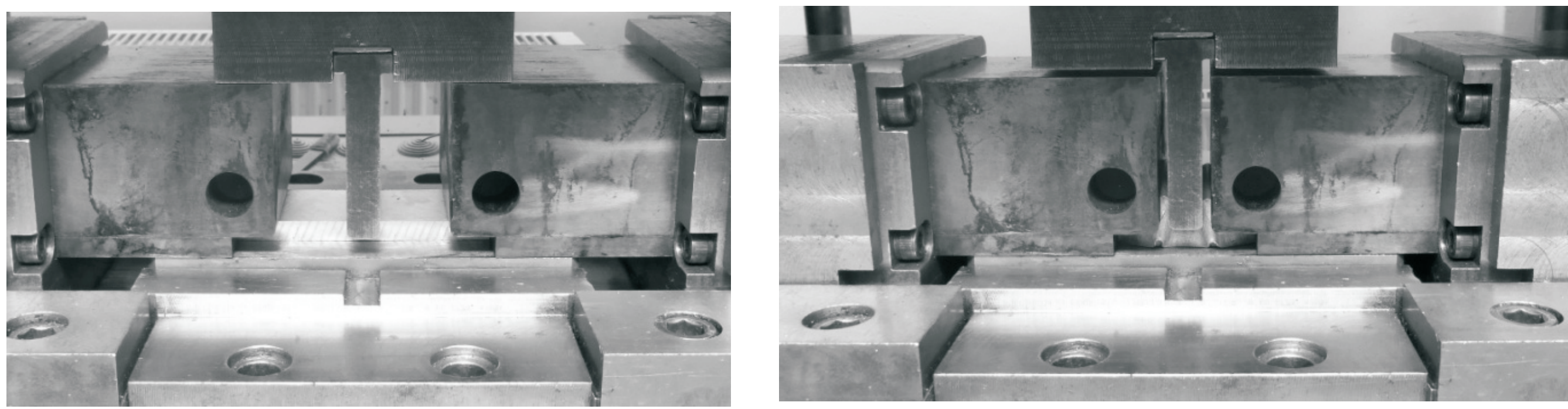
a) Rys.1. Pętle histerezy zarejestrowane w stanie ustalizowanym procesu zmęczenia niskocyklowego stopu (a)
Wykresy cyklicznego okształcenia opracowane na podstawie badań zmęczenia niskocyklowego stopu (b)
Fig.1. Hysteresis loop registration in steady condition of low-cycle fatigue process of alloy (a)
Diagram of cyclic strain develop base on researches of low-cycle fatigue process of alloy (b)

Badania własności i mikrostruktury odkuwek ze stopu AZ31 Research of properties and microstructure of forging from AZ31 alloy

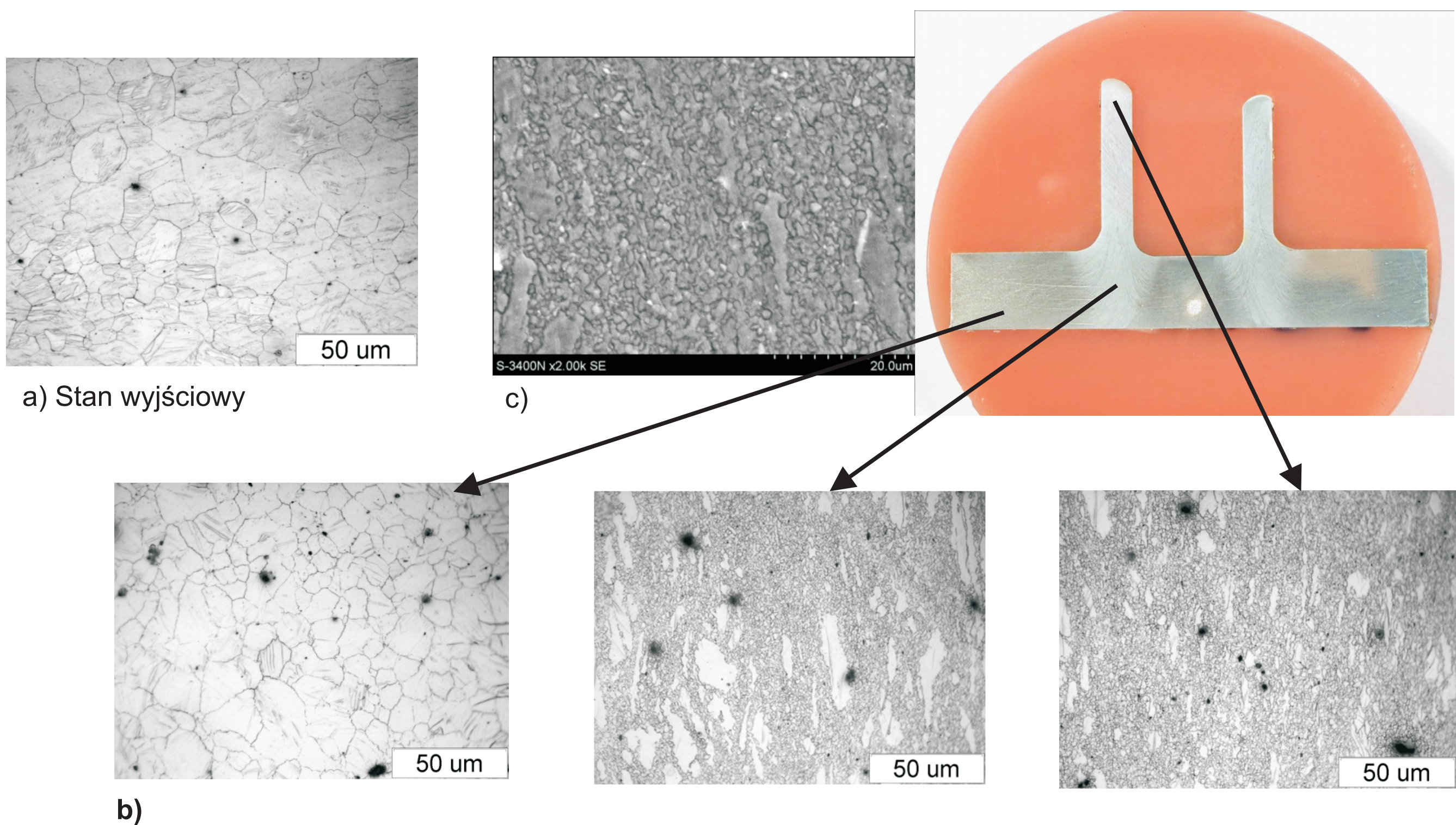
W ramach zadania przeprowadzono badania własności uźebrowanych odkuwek ze stopu AZ31 ukształtowanych półswoobodnie (rys. 2). Próby kształtowania tego typu części płaskich z żebrami (rys. 3) przeprowadzono w prototypowej prasie kuźniczej z trzema ruchomymi narzędziami w temperaturze 430°C. Uzyskane odkuwki poddano obróbce cieplnej (wyżarzaniu w temperaturze 345°C). Dokonano oceny mikrostruktury i własności mechanicznych stopu AZ31 w stanie dostawy, po okształceniu na gorąco w procesie kucia oraz po obróbce cieplnej (rys. 4). Porównano zmiany zachodzące w analizowanym stopie przetworzonym plastycznie i cieplnie na przykładzie odkuwek uźebrowanych. Mikrostrukturę analizowano na przekroju poprzecznym oraz podłużnym (przecięcie wzdłuż żebra) do osi odkuwki z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej techniką pola jasnego. Własności mechaniczne uźebrowanych odkuwek wyznaczono w statycznej próbie rozciągania według normy PN-EN 10002-1:2004 oraz poprzez pomiary twardości na powierzchni odkuwki. Określono takie parametry jak: wytrzymałość na rozciąganie R_m , umowną granicę plastyczności $R_{0,2}$, wydłużenie A_5 .



Rys. 2. Odkuwka ze stopu AZ31 ukształtowana półswoobodnie:
a) z jednym żebrzem, b) z dwoma żebrzami
Fig.2. Odkuwka ze stopu AZ31 semi - open die conditions:
a) with one rib, b) with two ribs



Rys.2. Próby doświadczalne kształtowania półswoobodnego odkuwek z dwoma żebrami ze stopu AZ31 w trójsuwakowej prasie kuźniczej: a) początek procesu, b) koniec procesu
Fig.2. Experimental tests of forming in semi - open die conditions forging with two ribs form alloy AZ31 in three-slide forging press



Rys. 3. Mikrostruktura odkuwki z dwoma żebrami ze stopu magnezu AZ31 kształtowanych w temperaturze 430°C. Materiał w stanie wyjściowym (a), mikrostruktury na przekroju poprzecznym b), mikrostruktura SEM (c)
Fig.3. Microstructure of forging with two ribs from AZ31 alloy forming in temperature of 430°C
Material in initial state (a), microstructure on transverse cross b), microstructure SEM (c)

Wyniki badań Results

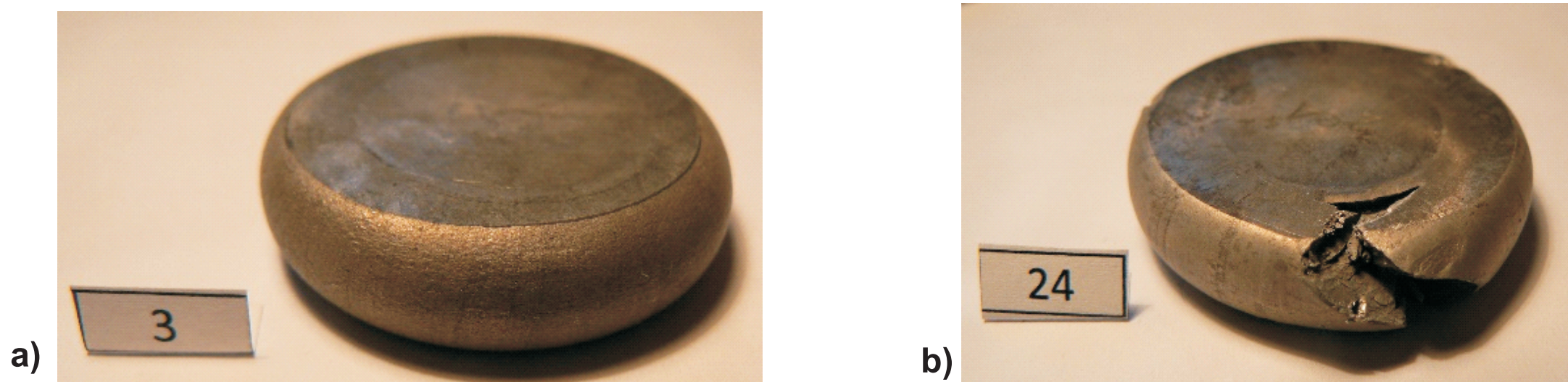
Badanie plastyczności stopów magnezu AZ31 i AZ61 w warunkach przemysłowych w procesach kucia na prasie śrubowej i młocie kuźniczym Research of plasticity of magnesium alloys AZ31 and AZ61 in industrial conditions of forging process on srew press and forging hammer

W ramach zadania wykonano badania eksperymentalne mające na celu określenie plastyczności stopu AZ31 i AZ61 w procesach kucia z dużymi prędkościami tj. realizowanymi na młocie matrycowym i prasie śrubowej. Badania wykonano w warunkach przemysłowych. Polegały na spęczaniu próbek walcowych na w/w maszynach kuźniczych przy temperaturach nagrzewania 350°C, 410°C i 450°C. Parametry badań dla stopu AZ31 przedstawiono w tablicy 1. Na podstawie wyników próby spęczania i badania mikrostruktury określono optymalne warunki realizacji procesów kucia na stosowanych maszynach kuźniczych dla dwóch badanych stopów. Przykładowe próbki przedstawiono na rys. 5 natomiast przykładowe struktury na rys. 6.

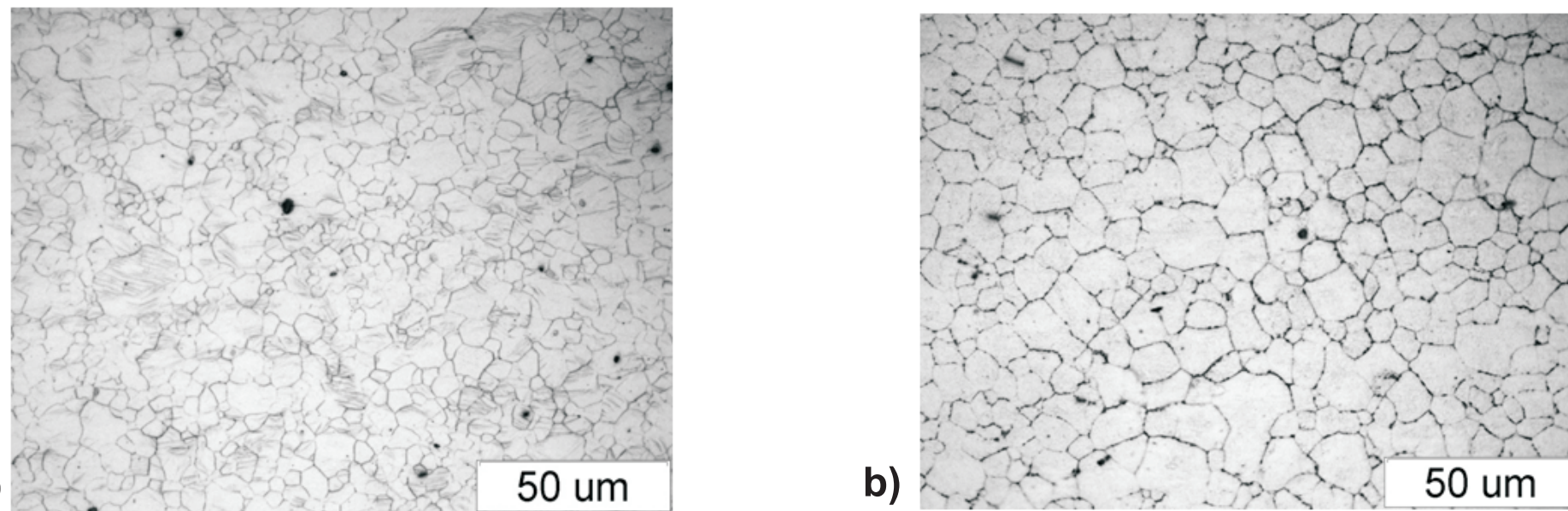
Tablica 1. Parametry badań stopów AZ31 i AZ61
Table 1. Parameters of research of AZ31 and AZ61 alloys

Nr próbki	Urządzenie	d [mm]	h [mm]	h ₁ [mm]	Temp. grzania	Ośrodek chłodzący
1	Prasa śrubowa F1736 (400T)	20	30	10	350 °C	powietrze
2		20	30	10	350 °C	H ₂ O 10÷40 °C
3		20	30	10	410 °C	powietrze
4		20	30	10	410 °C	H ₂ O 10÷40 °C
5		20	30	10	450 °C	powietrze
6	Młot MPM 3150 (1000)	20	30	10	450 °C	H ₂ O 10÷40 °C
7		20	30	10	350 °C	powietrze
8		20	30	10	350 °C	H ₂ O 10÷40 °C
9		20	30	10	410 °C	powietrze
10		20	30	10	410 °C	H ₂ O 10÷40 °C
11		20	30	10	450 °C	powietrze
12		20	30	6	450 °C	H ₂ O 10÷40 °C

gdzie: d - średnica próbki, h - wysokość próbki, h_1 - wysokość spęczania



Rys. 5. Odkuwka ze stopu AZ31 ukształtowana półswoobodnie:
a) prawidłowa, b) nieprawidłowa
Fig. 5. Forging of AZ31 alloy forming in semi - open die conditions
a) correct b) wrong



Rys. 6. Mikrostruktury próbek kutech na młocie w temperaturze 410°C- AZ31 (a), AZ61(b)
Fig. 6. Microstructure of samples forge on hammer in temperature 410°C - AZ31 (a), AZ61(b)

Badania tłoczności blach ze stopów magnezu Magnesium alloys sheet metals drawability

Wykonano próby tłoczenia na blachach ze stopu AZ31 o grubości 2 mm. Próbę przeprowadzono metodą Swifta ze ś rednicą stempla $\phi 40$ mm, próby prowadzono w temperaturze 200, 250, 300 i 350°C z prędkością ruchu stempla 1mm/s. Stosowane specjalną folie teflonowe. Wykonane wytłoczki pokazano na rysunku. W trakcie próby rejestrowano siłę i przemieszczenie wyniki pokazano w tablicy . Wyniki wskazują na na podatność do kształtowania metodą tłoczenia, już w temperaturze 200°C. Dla stopu AZ31 zarejestrowana siła wynosiła od 23kN w temperaturze 200°C. Wraz z podwyższeniem temperatury próby wartość siły zmniejszała się do 10kN w temperaturze 350°C. Stwierdzono więc podatność do kształtowania blach ze stopów magnezu metodą tłoczenia w podwyższonej temperaturze. Dla wskazania wpływu temperatury tłoczenia na jakość powierzchni wyrobu tłoczonego przeprowadzono badania profilografometryczne i oceniono chropowatość i falistość dla powierzchni próbek wyjściowej i po tłoczeniu w danej temperaturze. Dopuszczalny poziom chropowatości powierzchni wykazują próbki kształtowane do 250°C. Wyższa temperatura kształtowania silnie zwiększa chropowatość powierzchni, sprzyja powstawaniu bruzd i rozwarstwień powierzchni miseczek, szczególnie w obszarach naroży – przejścia ścianek bocznych w dno.



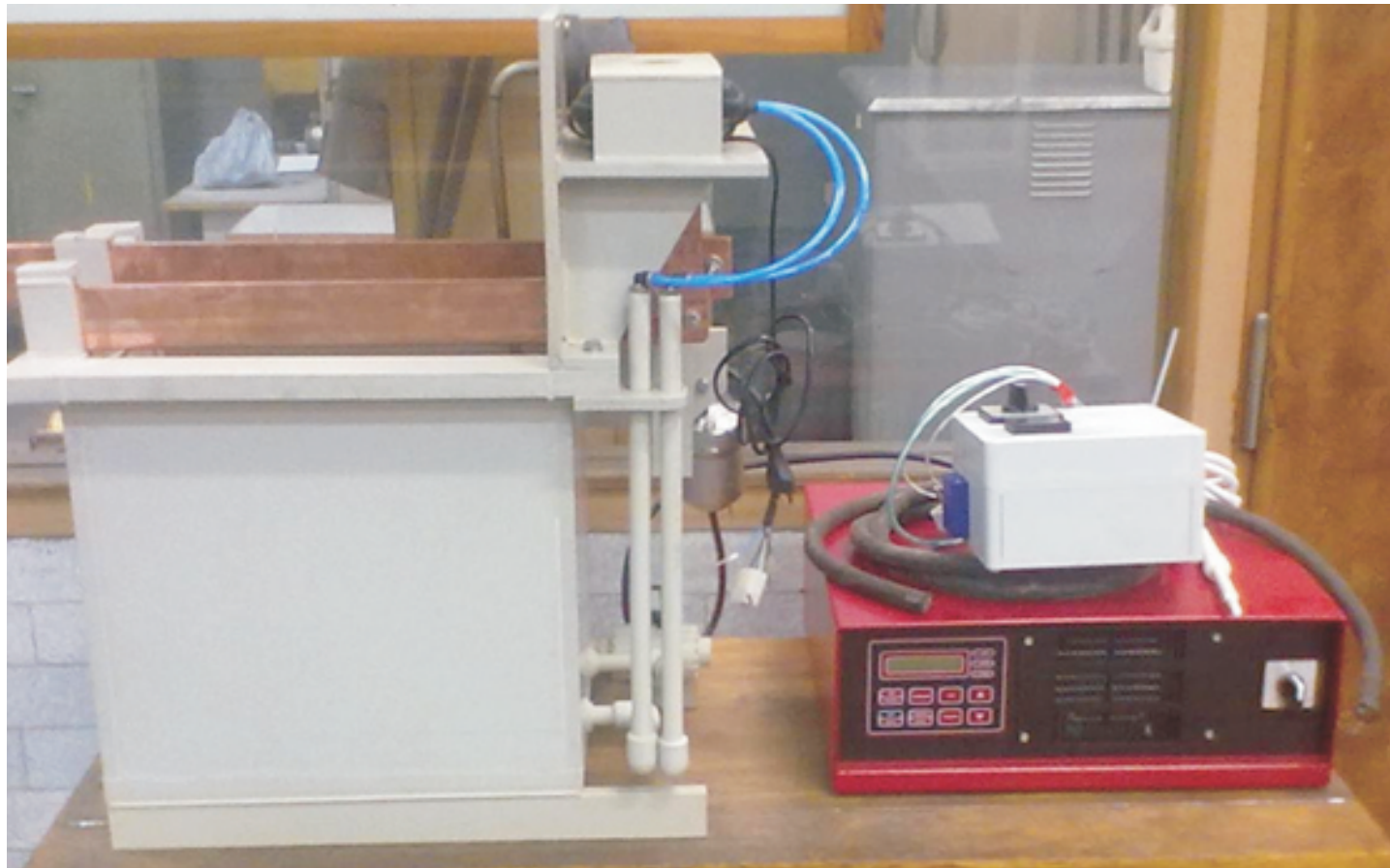
	Przemieszczenie l [mm]	Siła maksymalna Fm [kN]
AZ31_200°C	14,40	23,63
AZ31_250°C	14,04	16,35
AZ31_300°C	15,36	12,31
AZ31_350°C	15,43	10,13



Wyniki badań Results

Powłoki nakładane metodą galwanotechniczną na wyrobach ze stopów magnezu Coating using electroplating on products from magnesium alloy

Badania nad anodowaniem przeprowadzono za pomocą zestawu składającego się z zasilacza stabilizowanego prądu stałego widocznego na rys. 7. Związki chemiczne i parametry podczas wytwarzania powłok pokazano w tablicy 2. Próbkę stopu AZ31 z wytworzonymi powłokami przedstawiono na rys. 8.



Rys.7. Urządzenie do nakładania powłok metodami galwanicznymi
Fig.7. Installation for coating using electroplating

Tablica 2. Związki chemiczne i parametry podczas wytwarzania powłok
Table 2. Compounds and parameters during generation of coating

Nr	Metoda badawcza	Parametry	A	V	Obróbka po procesach nanoszenia powłok
A	Kwas siarkowy (50g/dm ³) +nadmanganian potasu	3 min	0	0	
B	Kwas siarkowy (50g/dm ³) +nadmanganian potasu	3 min	4,4-4,6	10,2	Brak
C	Kwas cytrynowy		0	0	
D	Kwas siarkowy (50g/dm ³) +nadmanganian potasu	3min	4,4-4,6	10,2	Woda 100°C 30min
E	Kwas siarkowy (50g/dm ³) +nadmanganian potasu	3min	4,4	15	Brak
F	Kwas siarkowy(50g/dm ³) +nadmanganian potasu	3min	4,4	10,2	400°C 30min



Rys. 8. Próbkę stopu magnezu AZ31 z powłoką anodową
Fig. 8. Samples of magnesium alloy AZ31 with anodic coating

Wnioski Conclusions

- Przeprowadzone badania zmęczenia niskocyklowego wskazują na korzystniejsze zachowanie badanego stopu magnezu w porównaniu do stopu aluminium, stop odznacza się większą liczbą cykli do zniszczenia .
- Na podstawie przeprowadzonych badań jakościowych określono wpływ parametrów procesu kucia oraz obróbki cieplnej na jakość struktury (wielkość ziarna, rodzaj struktury) i własności mechaniczne (granica plastyczności, granica wytrzymałości, wydłużenie, twardość) ukształtowanych odkuwek ze stopu AZ31.
- Stop magnezu AZ31 zachowuje dobrą plastyczność zarówno na prasie śrubowej jak i na młocie kuźniczym w temperaturach 410°C i 450 °C. Temperatura 350 °C jest zbyt niska do przeróbki ponieważ powoduje rozwarstwienia na powierzchni czołowej będącej wynikiem utraty spójności materiału. Stop magnezu AZ61 zachowuje zadowalającą plastyczność tylko przy okształcaniu na prasie śrubowej w temperaturze 410°C ($\pm 10^\circ\text{C}$). Z uwagi na mikrostrukturę korzystne jest chłodzenie odkuwek po kuciu w wodzie.Optymalny czas grzania materiału wsadowego przed kuciem to 1 minuta na 1 mm umownej grubości.
- Stwierdzono podatność do kształtowania blach ze stopów magnezu metodą tłoczenia w podwyższonej temperaturze. Dopuszczalny poziom chropowatości powierzchni wykazują próbki kształtowane do 250°C.
- Wytworzono powłoki galwaniczne na stopach magnezu, obecne prace koncentrują się na badaniu wytrzymałości warstwy wierzchniej .

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Publikacje:

- Kuc D., Schindler I., Hadasik E., Niewielski G., Mrugała A.: Wysokotemperaturowe charakterystyki plastyczności stopu Mg-Y-RE-Zr; Konferencja Forming 2014, Velké Bílovice, Česká republika 3. - 6. 9. 2014; Hutnik Nr 8, 2014, s. 552-556
- Przondziono J., Hadasik E., Walke W., Laik S., Chrusciel K.: Badania korozji elektrochemicznej wyciskanego stopu magnezu AZ31; Konferencja Forming 2014, Velké Bílovice, Česká republika 3. - 6. 9. 2014; Hutnik Nr 8, 2014, s. 581-584
- S. Rusz, L. Cizek, M. Salajka, S. Tylsa R., J.Kedron V. Michenka, T. Donic, E. Hadasik, M.: Kłos Ultrafine grain refinement of AlMn1Cu and AZ31 alloys by spd process ; Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 59, 2014, s. 359-364
- Cieśla M.: High-Cycle Fatigue Life of AZ31 and AZ61 Magnesium Alloys ; Solid State Phenomena Vol. 211, 2014, pp.83-88
- Kuc D., Hadasik E., Mizera J., Mikuszewski T.: Plasticity and microstructure of magnesium - lithium alloys ; Solid State Phenomena Vol. 212, 2014, pp.11-14
- Przondziono J., Hadasik E., Walke W., Szala J., Wiecek J.: Resistance to Electrochemical Corrosion of Extruded Magnesium Alloy AZ61 ; Key Engineering Materials Vol. 607 (2014) pp 31-36 Trans Tech Publications, Switzerland
- Gontarz A.: Theoretical and experimental research of hammer forging process of RIM from AZ31 magnesium alloy. Metalurgia, 2014, nr 4, vol. 53, s. 645-648.
- Gontarz A., Dziubińska A., Forming of flat parts with ribs from magnesium alloy, Journal Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 86, issue 4, s. 356-360.
- Tonczak J., Pater Z., Bulzak T.: Obrabianie obrótowe drążonych odkuwek ze stopu magnezu AZ31. Hutnik, Wiadomości Hutnicze 2014, Tom 81, nr 8, s. 595-599.
- Dziubińska A., Gontarz A.: New method for forming brackets with a triangular rib. Key Engineering Materials, 2014, vol. 622-623, s. 217-222.

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie:

- promotor: prof. dr inż. Eugeniusz Hadasik
Roman Sadłoń - Wpływ parametrów okształcenia na gorąco na mikrostrukturę i plastyczność stopów Mg-Al-Zn, promotor: dr hab. inż. Dariusz Kuc.
Michał Dubiel - Wpływ dodatku litu na odporność na korozję elektrochemiczną przerobionych plastycznie stopów magnezu, promotor - dr inż. Joanna Przondziono

Patenty

- Dziubińska A., Gontarz A., Sposób kształtowania radiatora. P. 404274. Zatwierdzony decyzją o udzieleniu ochrony z dnia 11.09.2014 r.
- Dziubińska A., Gontarz A., Sposób kształtowania półswoobodnego radiatora. P. 405924. Zatwierdzony decyzją o udzieleniu ochrony z dnia 25.09.2014 r.
- Gontarz A., Dziubińska A., Sposób kształtowania radiatora dwurzędowego. P. 405923. Zatwierdzony decyzją o udzieleniu ochrony z dnia 25.09.2014 r.
- Dziubińska A., Gontarz A., Sposób kształtowania w wykroju zamkniętym radiatora z żebrami o zanysie półokrągłym. P. 405925. Zatwierdzony decyzją o udzieleniu ochrony z dnia 25.09.2014 r.
- Dziubińska A., Gontarz A., Sposób kształtowania w wykroju zamkniętym radiatora. P.405922. Zatwierdzony decyzją o udzieleniu ochrony z dnia 25.09.2014 r.