

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

Wysokotemperaturowe charakterystyki plastyczności stopów magnezu typu Mg-Al-Zn-Mn High-temperature characteristics plasticity of magnesium alloys type Mg-Al-Zn

Popularną grupą stopów magnezu, są stopy zawierające aluminium z dodatkiem cynku i manganu. Materiały te, ze względu na stosowane składniki są relatywnie tanie. Charakteryzują się korzystnym zespołem właściwości mechanicznych. Najbardziej popularny stop to AZ31, który charakteryzuje się dobrą podatnością do przeróbki plastycznej na gorąco i jest kształtowany zarówno w warunkach walcowania jak i wyciskania oraz kucia. Wytrzymałość stopów z tej grupy rośnie wraz ze zwiększeniem zawartości aluminium. Na elementy, od których wymaga się większej wytrzymałości lepiej nadają się stopy oznaczone jako AZ61 i AZ80 zawierające odpowiednio 6 i 8% aluminium. Stop AZ31 może osiągnąć wytrzymałość 230MPa, stopy AZ61 i AZ80 odpowiednio 260 i 290MPa. Wraz ze wzrostem zawartości aluminium pogarsza się jednak plastyczność i podatność do przeróbki plastycznej w niższych temperaturach. Dlatego te materiały są stosowane często jako odlewnicze.

Określono temperaturę zerowej wytrzymałości (TZW) **rys.1a**. Następnie wyznaczono temperaturę nawrotu plastyczności (TNP) wygląd próbek po rozciąganiu pokazano na **rys.1a**. Najwyższa temperatura jest dla stopu AZ31. W stopach AZ61 i AZ80 magnez tworzy z aluminium niskotopliwą eutektykę, stąd temperatura TNP jest znacznie mniejsza.

Wyniki próby rozciągania pokazują, że w badanych zakresie zmienności parametrów rozciągania wytrzymałość na rozciąganie (Rm) silnie zależy o zawartości aluminium i jest największa dla stopu AZ80 **rys.1b**. Wytrzymałość zmniejsza się prawie 5-krotnie ze wzrostem temperatury odkształcania od 200°C do 450°C. W przypadku przewężenia Z, będącego miarą plastyczności, otrzymano podobne wartości dla badanych stopów podczas odkształcania w temperaturze w temperaturze 300, 350 i 400°C. W tym zakresie widać najkorzystniejszą podatność badanych stopów do odkształceń (Z= 86,3+90,4%). W temperaturze wartość przewężenia, dla stopów AZ61 i AZ80 zmniejsza się, co świadczy o stopniowym pogorszeniu plastyczności powyżej 400°C. W przypadku stopu AZ31 odkształcalność jest wysoka również w temperaturze 450°C. Dla mniejszych temperatur największy spadek plastyczności obserwuje się w przypadku stopu AZ80, szczególnie intensywny w temperaturze 200°C.

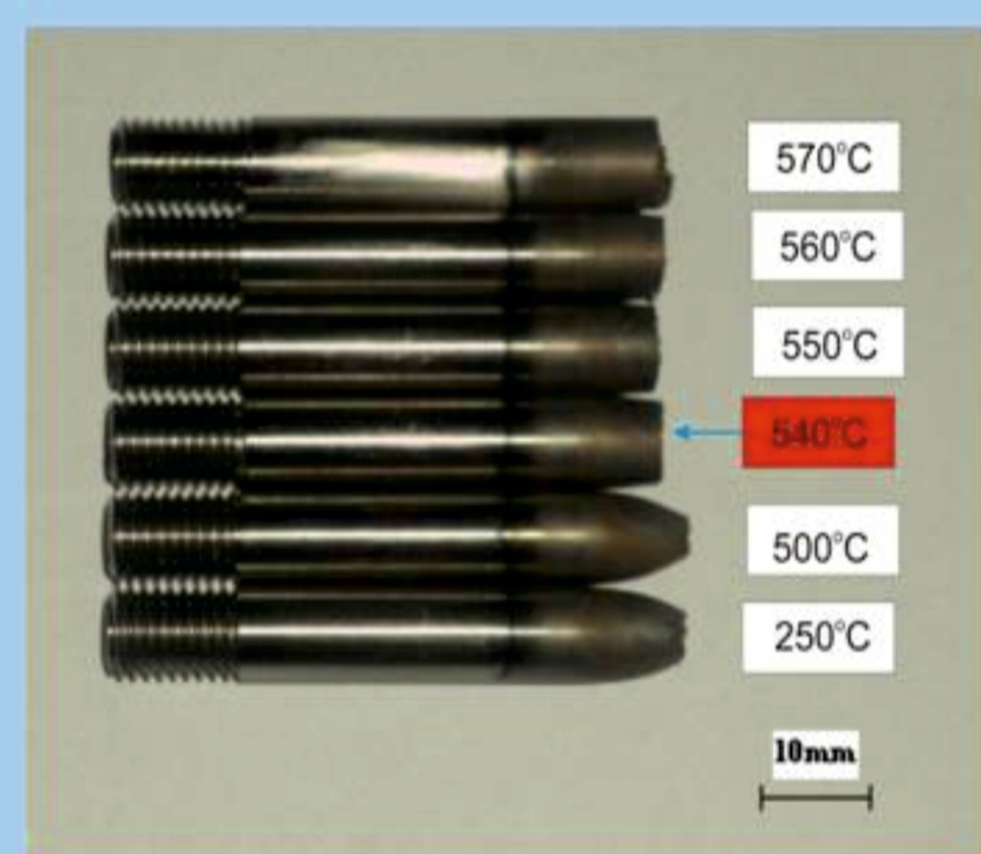
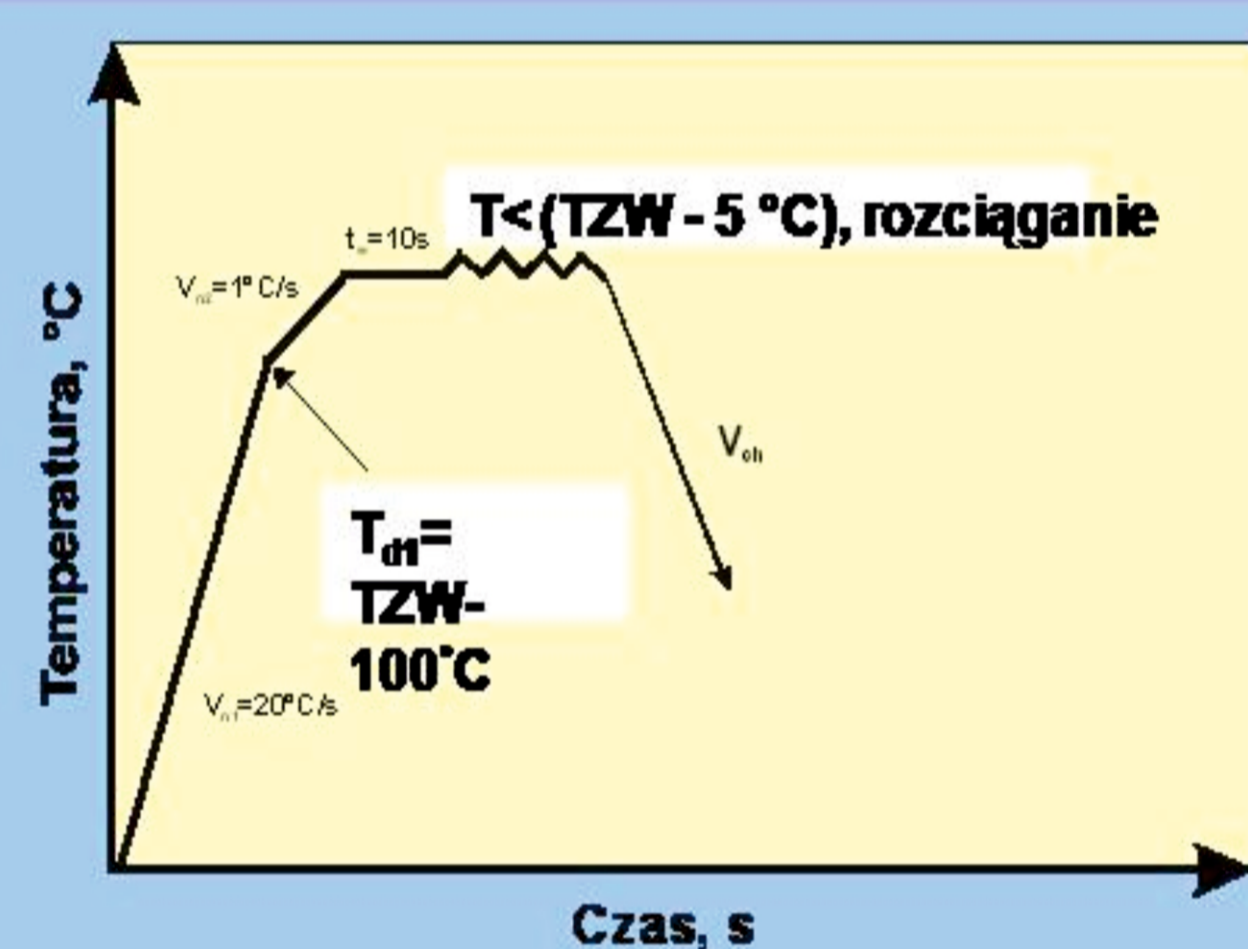
Przeprowadzone badania fraktograficzne pokazują charakter pęknięcia w wysokich temperaturach (**rys.1c**). Pęknięcie w temperaturze utraty plastyczności prowadzi do uzyskania przełomów transkryształicznych łupliwych dla badanych materiałów. Obniżenie temperatury próby przejawia się poprawą plastyczności, co pokazują wartości przewężenia **rys.1b** i otrzymane przełomy o charakterze plastycznym.

Temperaturę zerowej wytrzymałości (TZW)

wyznaczono w oparciu o eksperyment, w którym podczas nagrzewania następuje pęknięcie próbki, poddawanej niewielkiemu obciążeniu, po osiągnięciu temperatury ZW

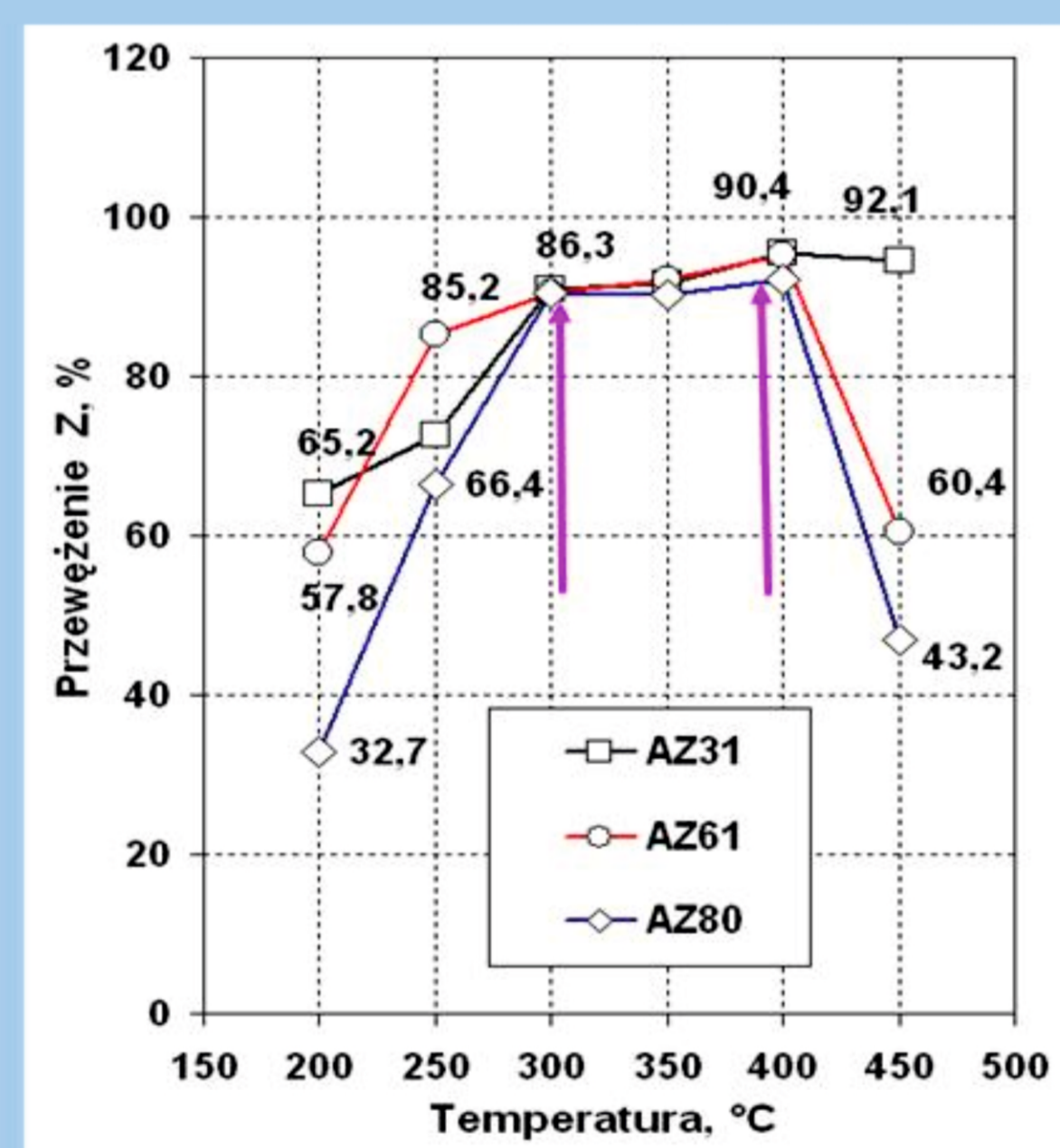
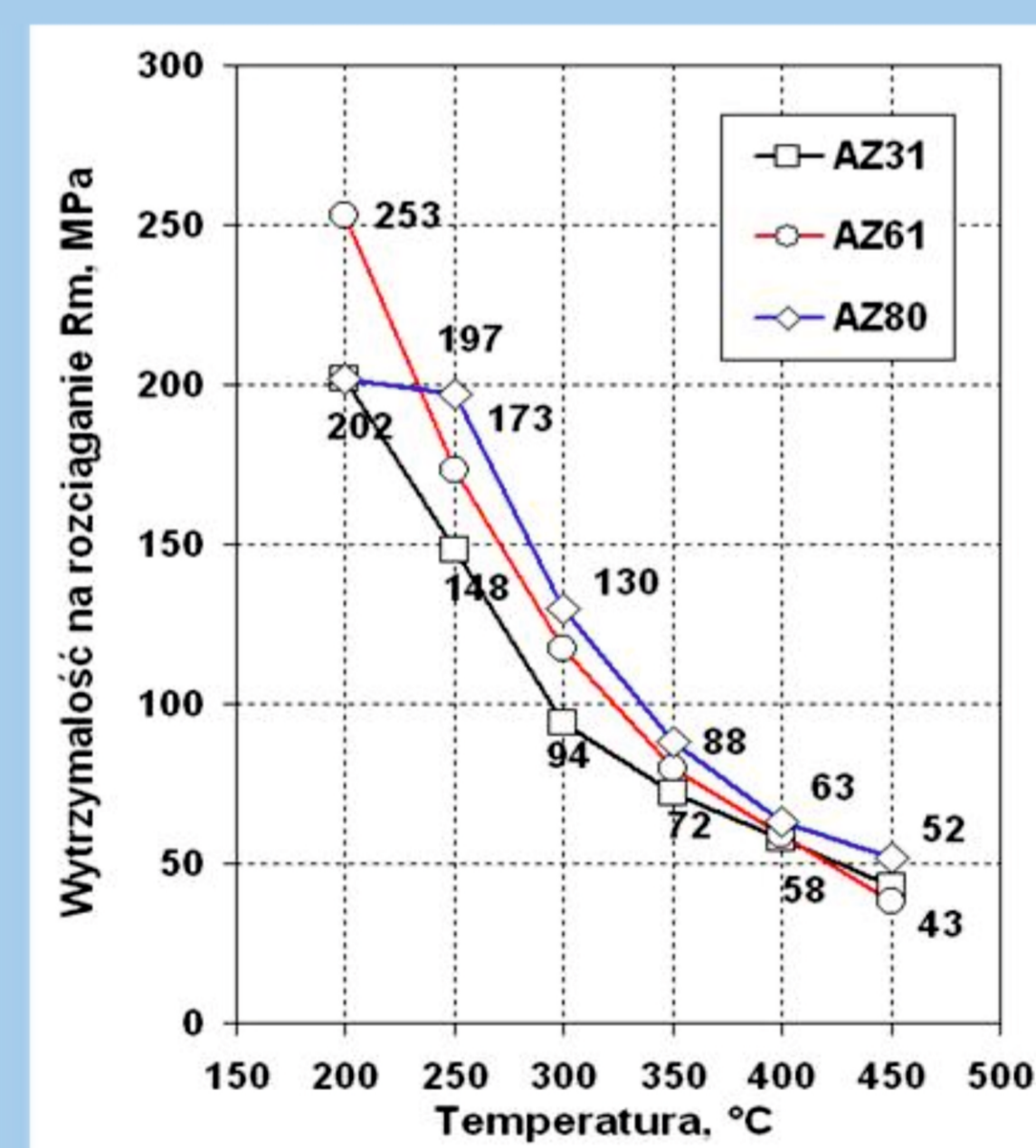
AZ31 - 578°C, AZ61 - 533°C AZ80 - 514°C

Temperatura nawrotu plastyczności (TNP)



AZ31 - 540°C, AZ61 - 505°C, AZ80 - 480°C

Próba rozciągania na gorąco stopów AZ31, A60 i AZ80



Wytrzymałość na rozciąganie Rm i przewężenie Z w funkcji temperatury

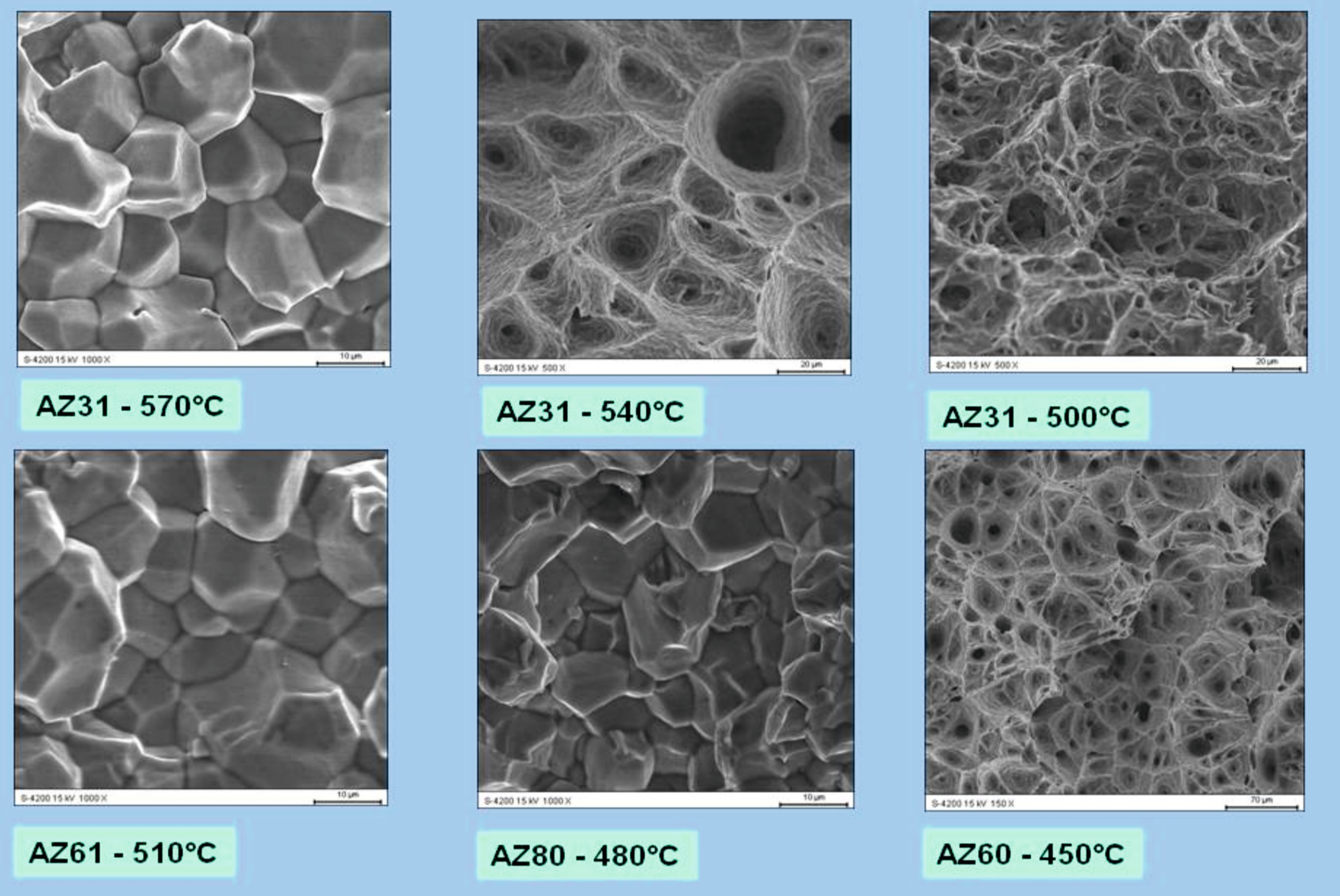
Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

- Publikacje**
- D. Kuc, E. Hadasik, I. Bednarczyk: *Plasticity and microstructure of hot deformed magnesium alloy AZ61*, Solid State Phenomena, Vol 191, 2012, pp 101-108.
 - Schindler Ivo, Kawulok Petr, Hadasik Eugeniusz, Kuc Dariusz.: *Activation Energy in Hot Forming and Recrystallization Models for Magnesium Alloy AZ31*, Journal of Materials Engineering and Performance DOI: 10.1007/s11665-012-0327-8.
 - Kuc D., Hadasik E., Gontarz A.: *Forging technology of magnesium alloy*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze Nr 8, 2012, s. 610-613.
 - Kuc D., Bednarczyk I., Niewielski G.: *Badania plastyczności i mikrostruktury stopu AZ80 po odkształceniu na gorąco*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze Nr 8, 2012, s. 8-9, 2012, Zakopane s. 614-619.
 - Przondziono J., Hadasik E., Koźlik P., Ziegler L., Sobociński M.: *Powłoki ochronne na przerobionych plastycznie stopach magnezu*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze, Nr 8, 2012, s. 644-647.

- Prace mgr, dr, hab. Prace magisterskie:**
- Tanńczyk Katarzyna: *Analiza jakości tłoczonych elementów ze stopu AZ31*, Promotor: dr inż. Dariusz Kuc
 - Magdalena Suchor: *Wyznaczenie właściwości użytkowych przerobionego plastycznie stopu AZ61*, Promotor: dr inż. Joanna Przondziono
 - Krzysztof Śniełka: *Korozyja elektrochemiczna przerobionego plastycznie stopu magnezu AZ80 w roztworach NaCl*, Promotor: dr inż. Joanna Przondziono

Wyniki badań Results

Badania fraktograficzne – po rozciąganiu



c)

Rys. 1. Wyniki oceny podatności do pęknięcia w wysokich temperaturach stopów AZ:
a - wyznaczenie temperatury zerowej wytrzymałości i nawrotu plastyczności,
b - wpływ temperatury na wytrzymałość na rozciąganie Rm i przewężenie Z
c - wyniki badań fraktograficznych

Fig. 1. Results of flexibility to cracking in high temperature of AZ alloys:
a - determining of zero strength temperature and plasticity recovery
b - influence of temperature on ultimate tensile strength UTS and area of reduction Z
c - results of fractography research

Próby tłoczności w podgrzewanych matrycach - blach walcowanych ze stopu AZ31 Test of drawability in heating dies - of rolling sheet from AZ31 alloy

Próby przeprowadzono dla oceny podatności walcowanych na gorąco blach ze stopu AZ31. Próby wykonano na blachach o grubości 2 mm w temperaturze 250°C i 300°C Parametry próby podano na **rys. 2a**. Wyniki pokazują, że następuje poprawa podatności do tłoczenia stopu AZ31 ze wzrostem temperatury.

Próby tłoczności - blach walcowanych na gorąco ze stopu AZ31 (norma - DIN 12004 - 1, 2)

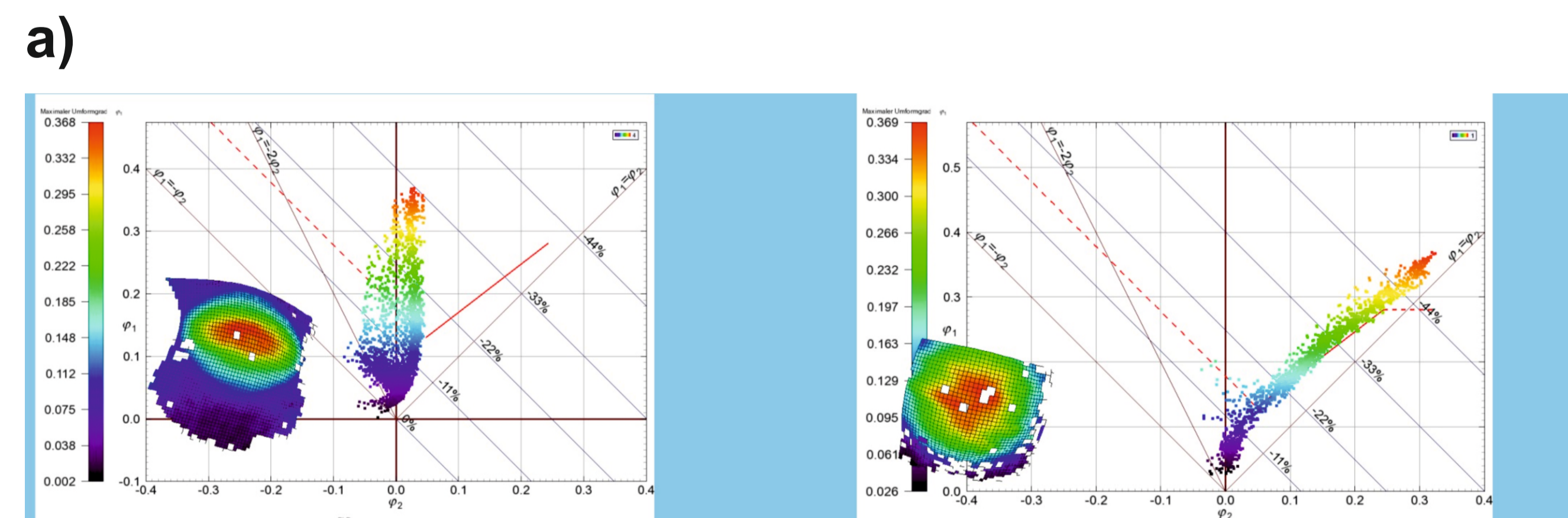


Parametry próby:

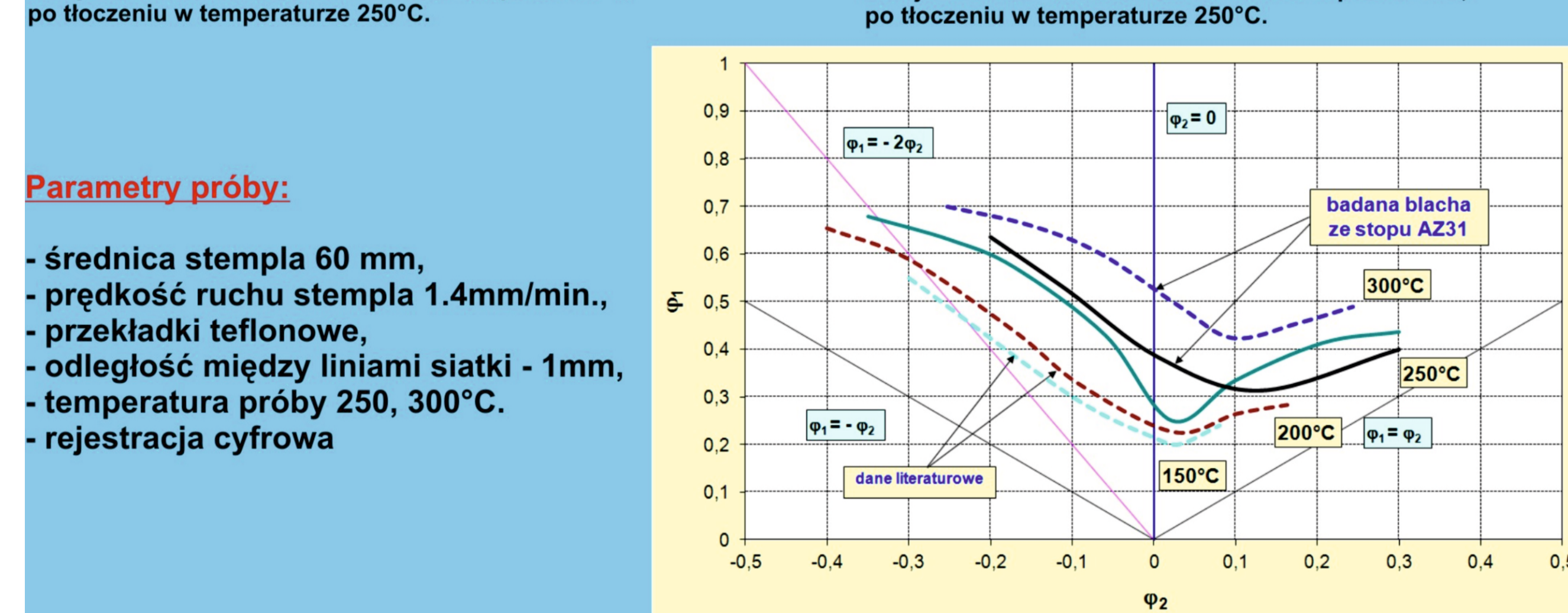
- średnica stempla 60 mm,
- prędkość ruchu stempla 1.4mm/min.,
- przekładki teflonowe,
- odległość między liniami siatki - 1mm,
- temperatura próby 250, 300°C.
- rejestracja cyfrowa

Próbki do badań:

Blacha walcowana na gorąco - grubość 2 mm, wyżarzanie 400°C/60min.



a)



b)

Rys. 2. Próby tłoczności blach dla stopu AZ31
a- parametry testu, b- wyniki badań

Fig. 2. Results of drawability in AZ31 alloy sheet:
a - parameter of test,
b - example of results.

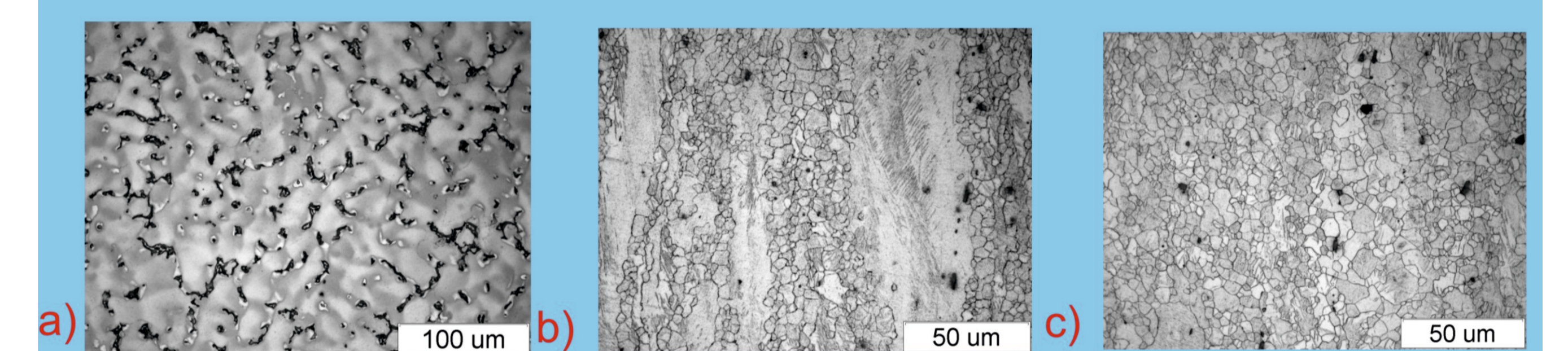
Wyniki badań Results

Mikrostruktura stopów magnezu AZ31, AZ61, AZ80, WE43 po wyciskaniu Microstructure of AZ31, AZ61, AZ80, WE43 alloys after extrusion

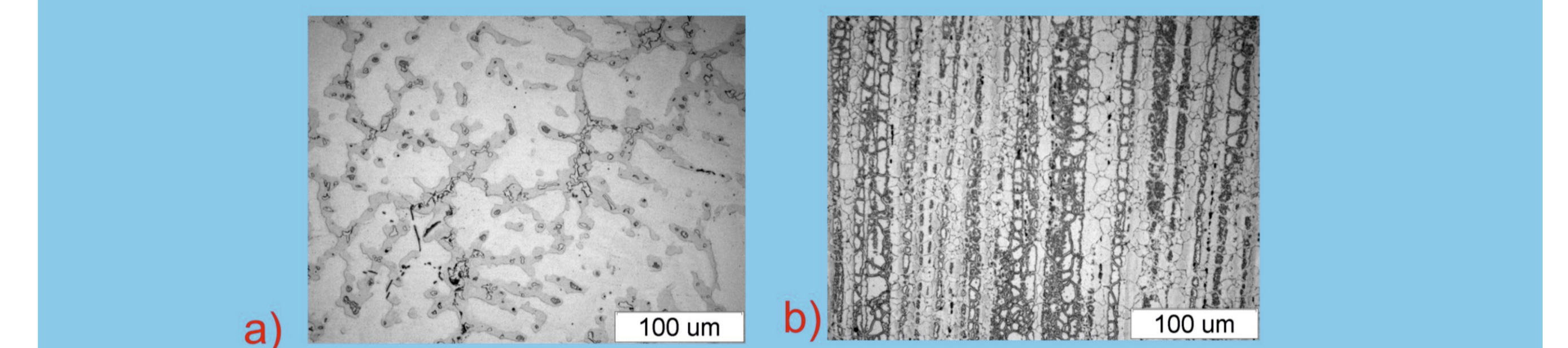
Badaniom poddano próbki po wyciskaniu na prasie przeciwbieżnej w Politechnice Rzeszowskiej. W stanie wyjściowym po odlewaniu badany stop AZ31 odznaczał się mikrostrukturą dendrytyczną **rys. 3a**. Po wyciskaniu stwierdzono silne rozdrobnienie ziarn, szczególnie intensywne dla stopu wyciskanego na ϕ 22 mm. W obszarze $\frac{1}{2}$ promienia pręta wyciskanego na ϕ 36mm obok drobnych zrekrystalizowanych ziarn stwierdzono zbliżone obszary dużych ziarn pierwotnych. Świadczy to o dużym zróżnicowaniu stopnia odkształcenia na przekroju. W stanie wyjściowym po odlewaniu w badanym stopie stwierdzono występowanie eutektyk **rys. 3a**. Po wyciskaniu na przekroju wzdłużnym stwierdzono pasmową mikrostrukturę rozdrobnionych ziarn. Na granicach ziarn pierwotnych uwidaczniają się wydzielenia, najprawdopodobniej fazy γ -Mg₁₇Al₁₂.

W stanie wyjściowym po odlewaniu, podobnie jak dla stopu AZ80, w badanym stopie stwierdzono występowanie eutektyk **rys. 3b**. Po wyciskaniu na przekroju wzdłużnym stwierdzono silnie rozdrobnione ziarna. W stanie wyjściowym po odlewaniu, w badanym stopie stwierdzono występowanie dużych ziarn oraz dyspersyjnych wydzieleni faz międzymetalicznych **rys. 3b**. Po wyciskaniu na przekroju wzdłużnym stwierdzono rozdrobnione ziarna w stosunku do stanu wyjściowego **rys. 3b**. W strukturze pręta ϕ 36 mm stwierdzono duże zrekrystalizowane ziarna oraz bardzo drobne, układające się pasmowo ziarna powstałe w wyniku rekrytalizacji dynamicznej.

Mikrostruktura stopu AZ31 i AZ61 po wyciskaniu na prasie przeciwbieżnej



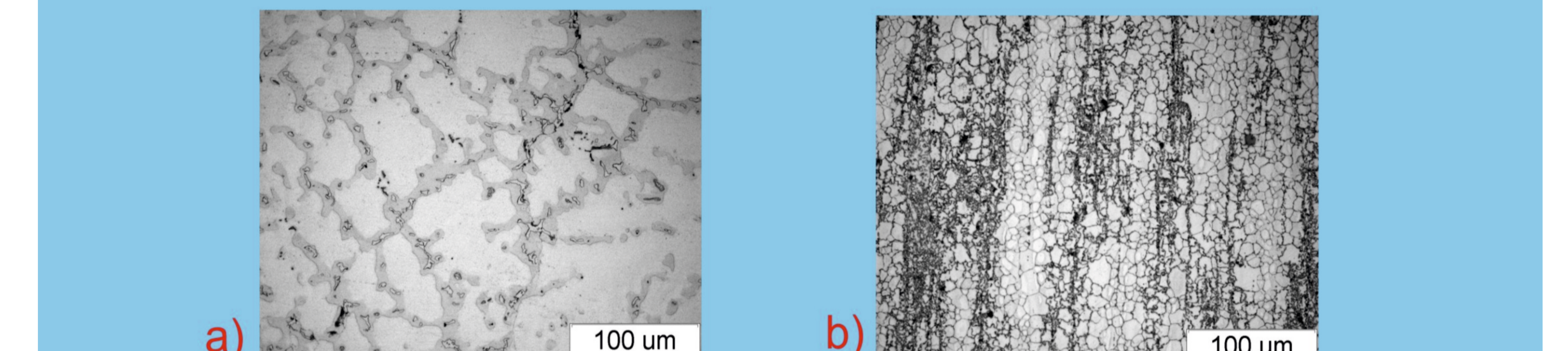
Mikrostruktura stopu AZ31 w stanie wyjściowym (a) po wyciskaniu na przekroju wzdłużnym pręta po wyciskaniu ϕ 36 mm (b) i ϕ 22 mm (c)



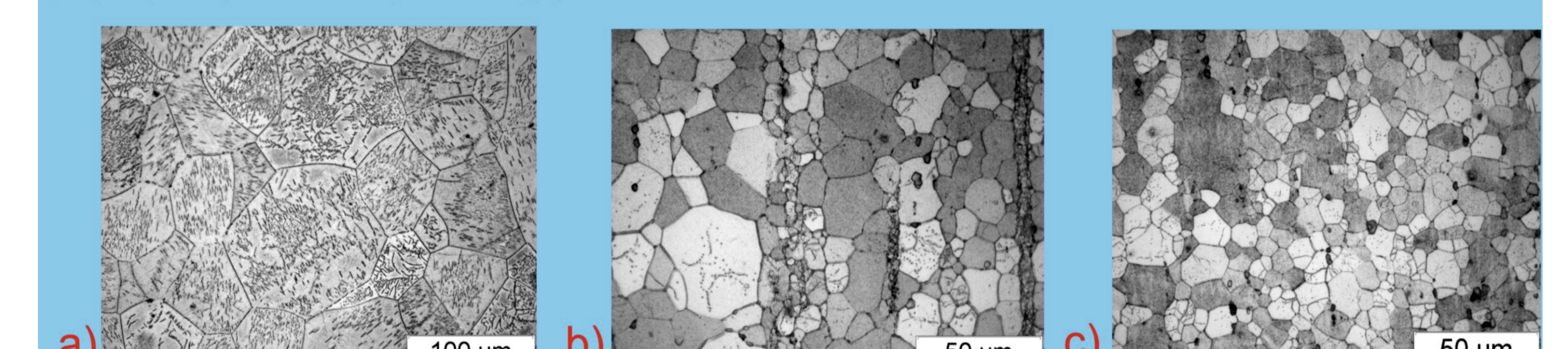
Mikrostruktura stopu AZ61 w stanie wyjściowym (a) po wyciskaniu na przekroju wzdłużnym pręta po wyciskaniu ϕ 22 mm (b)

a)

Mikrostruktura stopu AZ80 i WE43 po wyciskaniu na prasie przeciwbieżnej



Mikrostruktura stopu AZ80 w stanie wyjściowym (a) po wyciskaniu na przekroju wzdłużnym pręta po wyciskaniu ϕ 36 mm (b)



Mikrostruktura stopu WE43 w stanie wyjściowym (a) po wyciskaniu na przekroju wzdłużnym pręta po wyciskaniu ϕ 36 mm (b) i ϕ 22 mm (c)

b)

Rys. 3. Mikrostruktury stopów magnezu w stanie wyjściowym i po wyciskaniu na prasie:
a - AZ31 i AZ61, b - AZ80 i WE43

Rys. 3. Microstructure of magnesium alloy in initial state and after extrusion on press:
a - AZ31 i AZ61, b - AZ80 i WE43

Wnioski Conclusions

1. Wraz ze wzrostem zawartości aluminium (stopy AZ61 i AZ80) ogranicza się przedział temperatury, zarówno początku jak i końca procesu, w której można prowadzić przeróbkę plastyczną. Wymaga to więc większego reżimu przy prowadzeniu procesu aby nie doprowadzić do pęknięcia wyrobu. Dla stopu AZ31 przedział ten jest większy z uwagi na mniejszą podatność do pęknięcia spowodowaną m.in. większą skłonnością do procesu rekrytalizacji.

2. Uzyskane wartości odkształceń granicznych w podwyższonych temperaturach świadczą o możliwości kształtowania elementów konstrukcyjnych o poprawnej jakości z blachy AZ31 przetwarzanej według opracowanej technologii. Obniżenie temperatury tłoczenia może powodować obniżenie jakości wyrobów tłoczonych (pojawienie się wad). Natomiast dalszą poprawę może zapewnić podwyższenie temperatury tłoczenia i uzyskanie wyrobów o skomplikowanej geometrii.

3. Stwierdzono silny wpływ stopnia przerobu plastycznego na analizowaną mikrostrukturę badanych stopów magnezu. Ze wzrostem stopnia przerobu uzyskana mikrostruktura jest w pełni zrekrystalizowana (AZ31, WE43). Zastosowanie mniejszych wartości prowadzi do otrzymania pasmowej mikrostruktury z obszarami ziarn pierwotnych, co wskazuje na niejednorodność odkształcenia.