

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

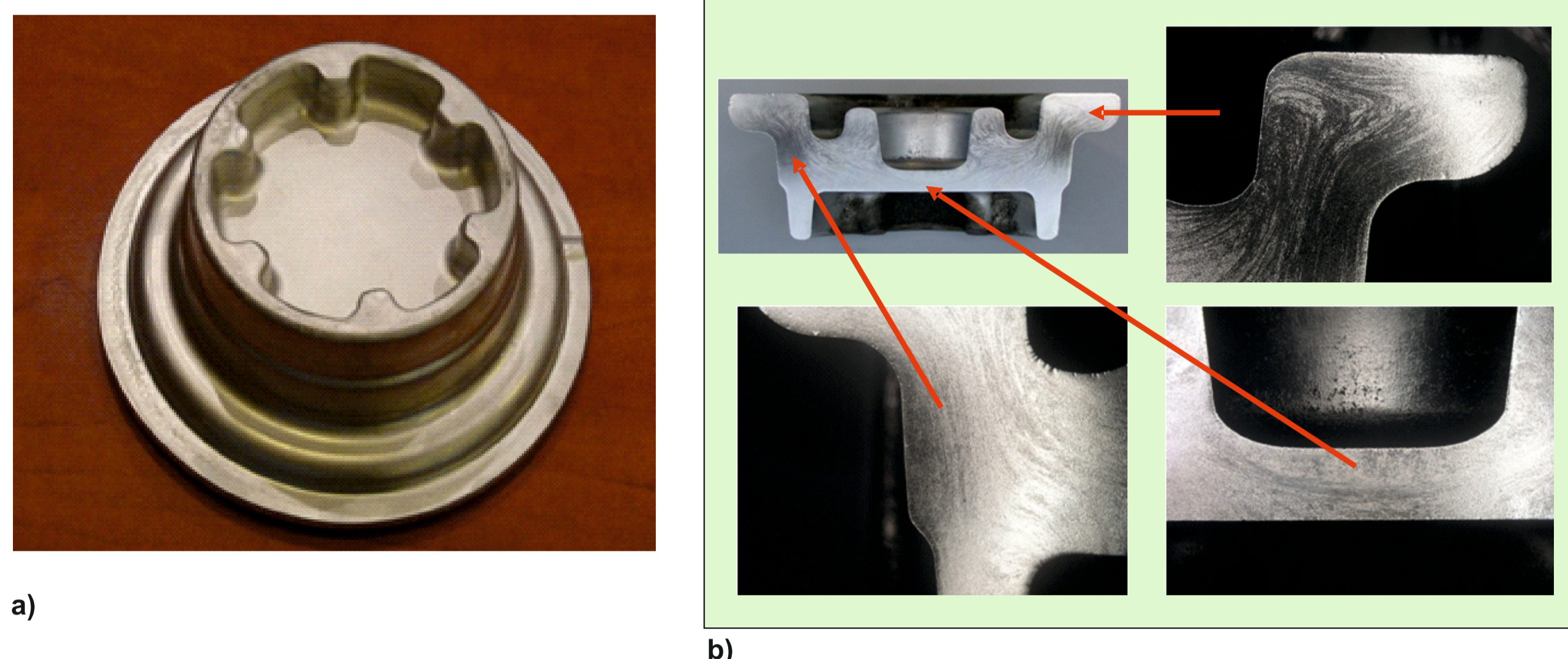
### Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.) Plastic forming of magnesium alloys (precision forging, stamping, extrusion, etc.)

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

#### Wyniki badań Results

#### Właściwości mechaniczne odkuwek matrycowych po przeróbce plastycznej i obróbce cieplnej Mechanical properties of die-forging after hot working and heat treatment

Określono właściwości mechaniczne na próbkach pobranych z odkuwek (rys.1a). Przeprowadzono również badania mikrostruktury w podanych obszarach. Wykonane zdjęcia makroskopowe (rys.1b) wskazują, że ujawnione włókna przeróbki plastycznej nie przecinają się, co potwierdza poprawność wykonanych operacji. Właściwości mechaniczne określone w temperaturze otoczenia podano w tablicy 1. Najwyższą wytrzymałość na rozciąganie uzyskano dla próbek po chłodzeniu na powietrzu i starzeniu w temperaturze 165°C przez 12 godz. Generalnie, starzenie powoduje nieznaczne zmniejszenie wydłużenia. Określone wymagania przez Instytut Lotnictwa w Warszawie, odnośnie własności wytrzymałościowych, spełniają praktycznie wszystkie próbki. Podobnie, spełniają wymagania co do twardości, poza odkuwką chłodzoną w wodzie bezpośrednio po kuciu, która jest minimalnie poniżej zakresu. Dla wszystkich wariantów obróbki cieplnej uzyskano wysoką plastyczność o czym świadczy wartość wydłużenia do zerwania  $A_5 = 14,2 \pm 18,3\%$ . Planuje się wykonanie podobnych badań w temperaturze obniżonej. Przeprowadzone badania będą wykorzystane do optymalizacji procesu wytwarzania elementu konstrukcyjnego ze stopu magnezu typu AZ31.



Rys.1. Widok odkuwki (a). Przekrój wyrobu z wytrawionymi liniami pokazującymi płynięcia metalu podczas kucia (b).  
Fig.1. View of die forging (a). Cross of manufactured with etching lines showing of metal flow during (b).

Tablica 1. Wytrzymałość na rozciąganie umowna granica plastyczności, wydłużenie próbek pobranych z odkuwek ze stopu AZ31 po przeróbce plastycznej i obróbce cieplnej.  
Table 1. Ultimate tensile strength, yield point and elongation of samples from tested die forging from AZ31 alloy after hot working and heat treatment.

Sposób chłodzenia po kuciu	Starzenie	Twardość HB	$R_{0,2}$ , MPa	$R_m$ , MPa	$A_5$ , %
powietrze	-	60,8	206,2	259,7	18,3
powietrze	165°C/12h	64,9	231,2	276,8	14,2
woda	-	59,6	202,6	258,7	15,7
woda	165°C/12h	61,7	207,4	264,6	16,7
Wymagane właściwości (Instytut Lotnictwa)		60	200	260	5

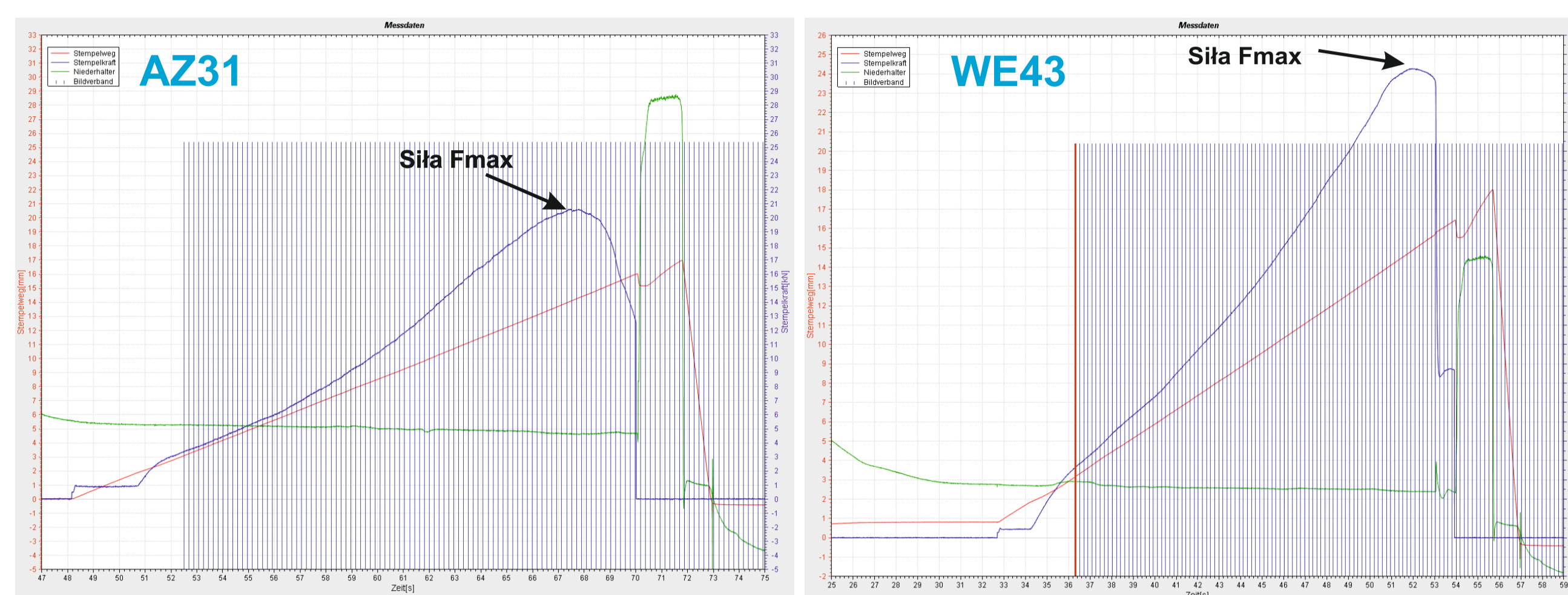
#### Wyniki prób tłoczenia blach ze stopu AZ31 i WE43 Results of stamping tests of sheets from AZ31 and WE43 alloy.

Wykonano próby tłoczenia na blachach ze stopu AZ31 i WE43 o grubości 2 mm. Próbę przeprowadzono metodą Swifta ze średnicą stempla  $\phi 40$ mm, próby prowadzono w temperaturze 300°C. W temperaturze otoczenia stopu magnezu mają ograniczone właściwości plastyczne. Wykonane wytloczki pokazano na rys.2. W trakcie próby rejestrowano siłę i przemieszczenie (rys.3). Stwierdzono dla obu stopów podobne wartości przemieszczenia stempla do pęknięcia (ok. 20mm), co wskazuje na podatność do kształtowania metodą tłoczenia. W przypadku jednej próbki ze stopu WE43 stwierdzono przemieszczenie do zniszczenia ok. 30mm. Dla stopu AZ31 zarejestrowana siła wynosi 17kN, zaś dla stopu WE43 sięga 30kN. Stwierdzono więc podatność do kształtowania blach ze stopów magnezu metodą tłoczenia w podwyższonej temperaturze. Przeprowadzone badania będą wykorzystane do optymalizacji procesu wytwarzania elementu konstrukcyjnego ze stopu magnezu typu AZ31. Opracowanie technologii wymaga jednak przeprowadzenia dodatkowych testów.



Rys.2. Widok wytloczki z blachy walcowanej ze stopu AZ31 i WE43 po próbie Swifta za pomocą stempla  $\phi 40$ mm  
Fig.2. View of die stamping from WE43 and AZ31 sheets after Swift test using  $\phi 40$ mm stamp

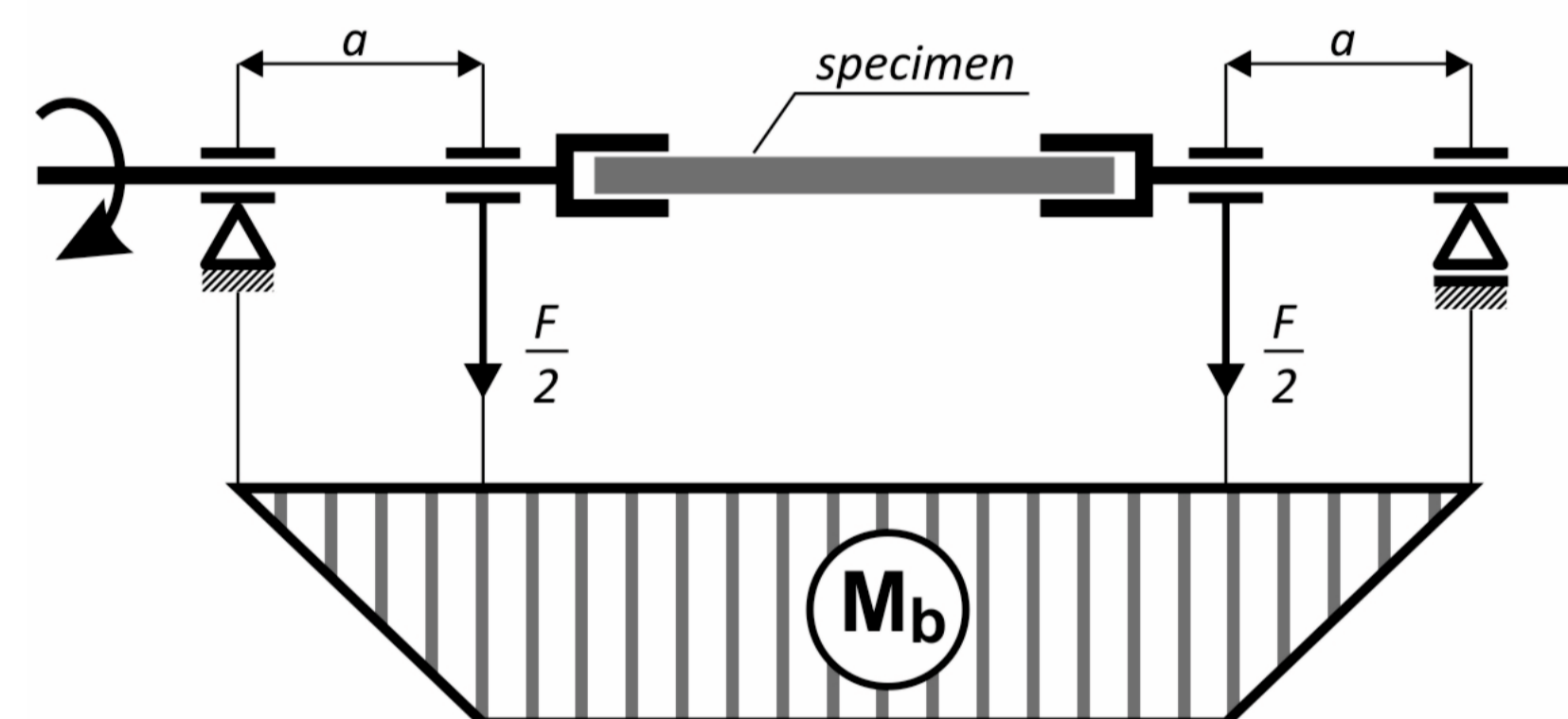
#### Wyniki badań Results



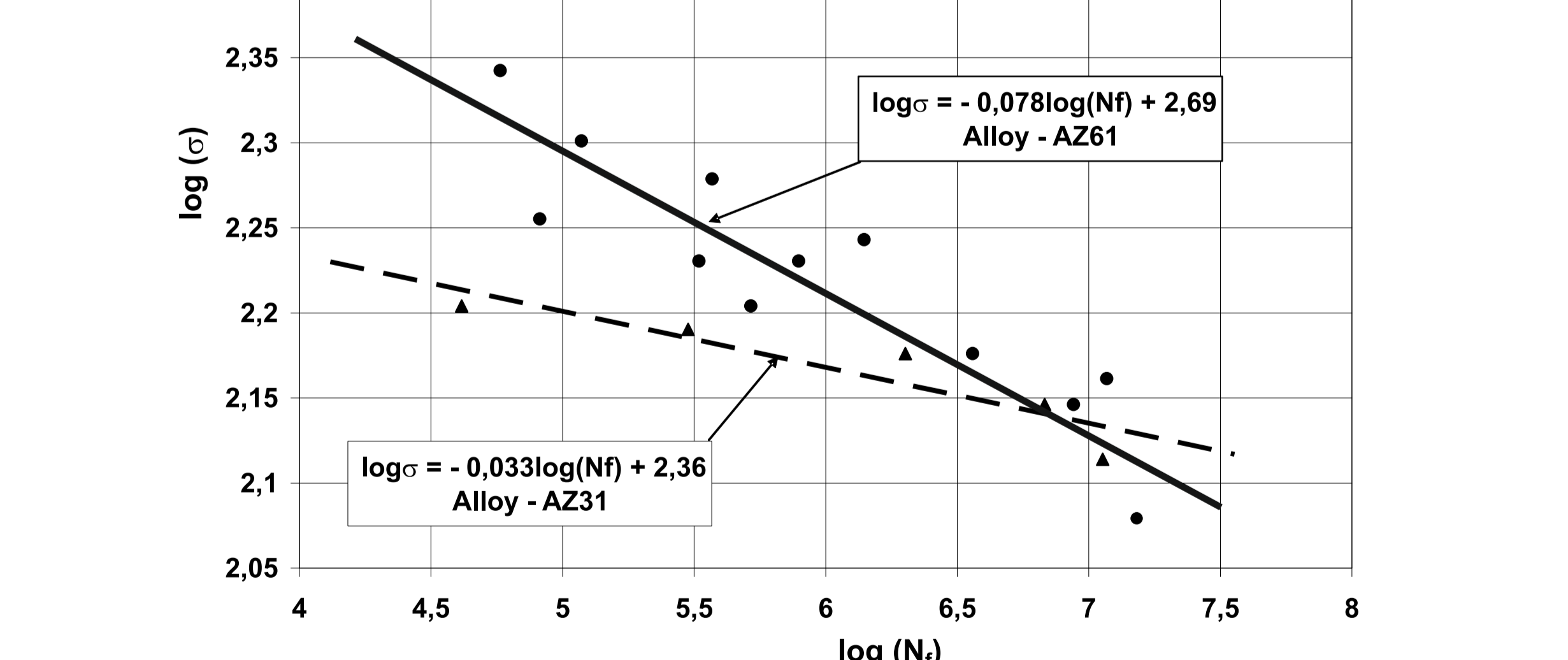
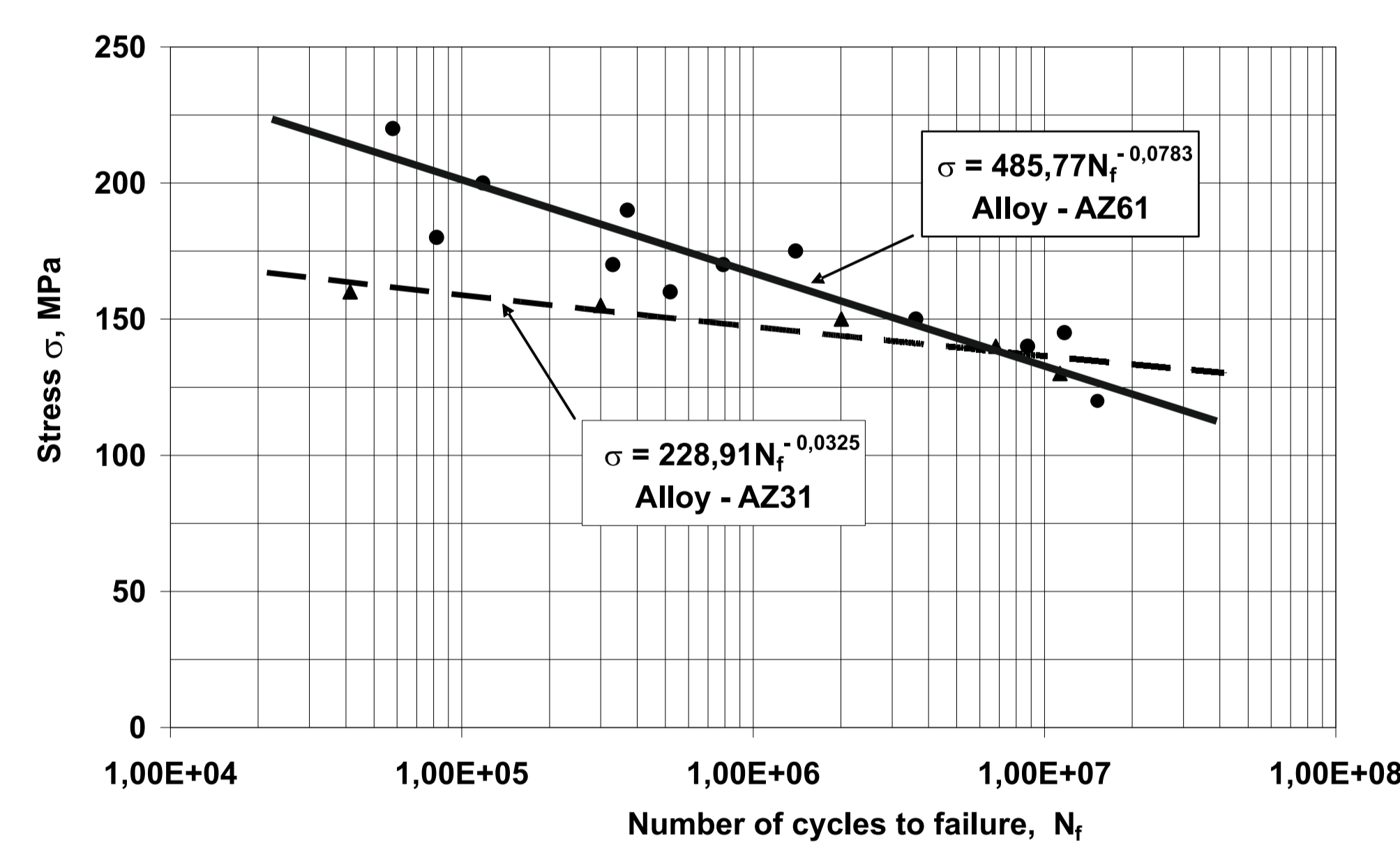
Rys.3. Zarejestrowane wartości przemieszczenia i siły podczas próby tłoczenia dla blachy ze stopu AZ31 (a) i WE43 (b).  
Fig.3. Registration data of displacement and force during stamping of sheet from AZ31 (a) and WE43 (b) alloy.

#### Trwałość w warunkach zmęczenia wysokocyklowego stopów magnezu AZ31 i AZ61 High-Cycle Fatigue Life of AZ31 and AZ61 Magnesium Alloys

Próby zmęczenia wysokocyklowego w warunkach zginania obrotowego w temperaturze pokojowej przeprowadzono na maszynie czterostanowiskowej. W badaniach stosowano próbki walcowe o średnicy 8mm (rys. 4). W warunkach badań próbki obciążano stałym momentem zginającym  $M_b$  zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 4. Obciążenie próbki miało przebieg sinusoidalny przy współczynniku asymetrii cyklu  $R=-1$ . Częstotliwość zmiany obciążenia wynosiła 60Hz. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano charakterystyki trwałości badanych materiałów w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej (rys. 5). Stwierdzono, że znacząco większą wytrzymałość zmęczeniową w zakresie do  $N_f = 10^7$  cykli wykazuje stop AZ61.



Rys. 4. Schemat obciążania próbki w badaniach zmęczeniowych stałym momentem zginającym  $M_b$ .  
Fig. 4. Diagram of sample loading in fatigue tests with constant bending moment  $M_b$



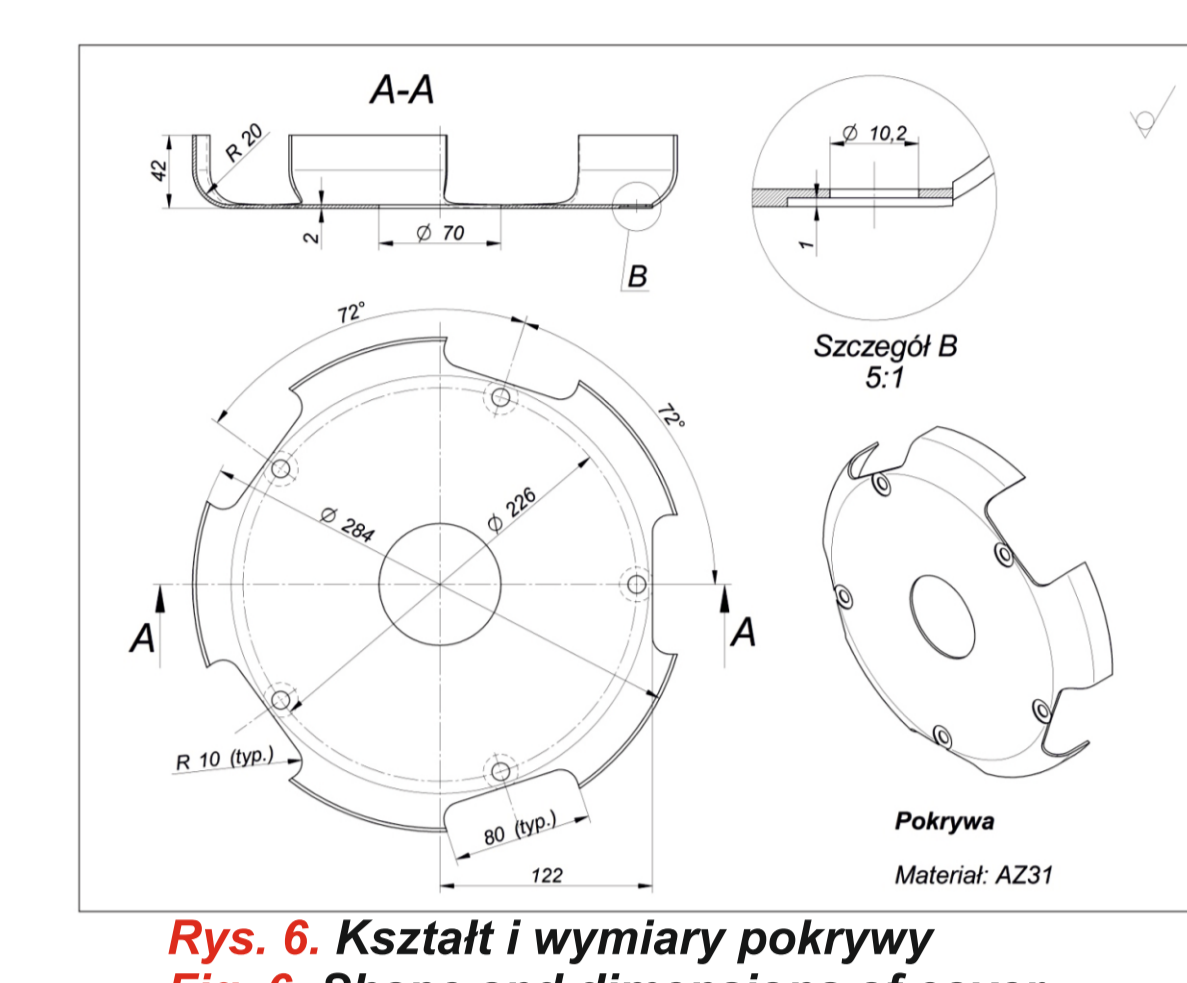
Rys. 5. Charakterystyki trwałości zmęczeniowej przerobionych plastycznie stopów magnezu AZ31 i AZ61 (Nf liczba cykli do zniszczenia).  
Fig. 5. Fatigue life characteristics of plastically processed AZ31 and AZ61 magnesium alloys (Nf - number of cycles to failure)

#### Analiza procesu tłoczenia pokrywy ze stopu magnezu AZ31 Analysis of stamping process of cover from magnesium alloy AZ31

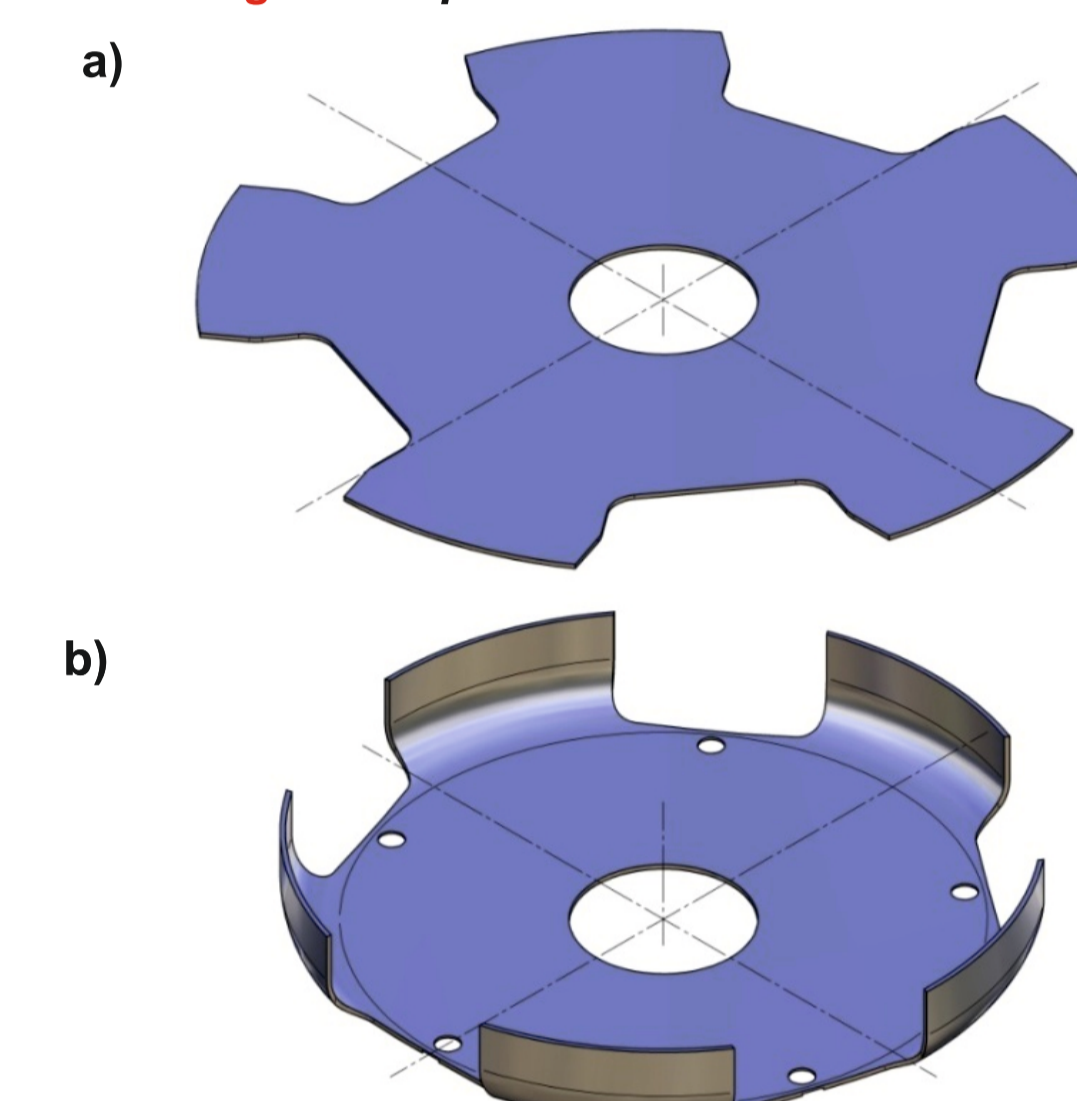
W ramach zadania badawczego przeprowadzono analizę procesu kształtowania pokrywy ze stopu magnezu AZ31 (rys. 6). Rozważaniom poddano trzy warianty procesu:  
- wytłaczanie i frezowanie bocznych wycięć (rys. 7) - wariant 1,  
- wykrawanie i wytłaczanie (rys. 8) - wariant 2,  
- wyoblanie (rys. 9) - wariant 3.

Przykładowe wyniki obliczeń dla przyjętych wariantów przedstawiono na rys. 10,11. Stwierdzono, że wszystkie warianty umożliwiają wykonanie wyrobu o dobrej jakości. Kolejnym etapem badań będzie wykonanie narzędzi i próby doświadczalne.

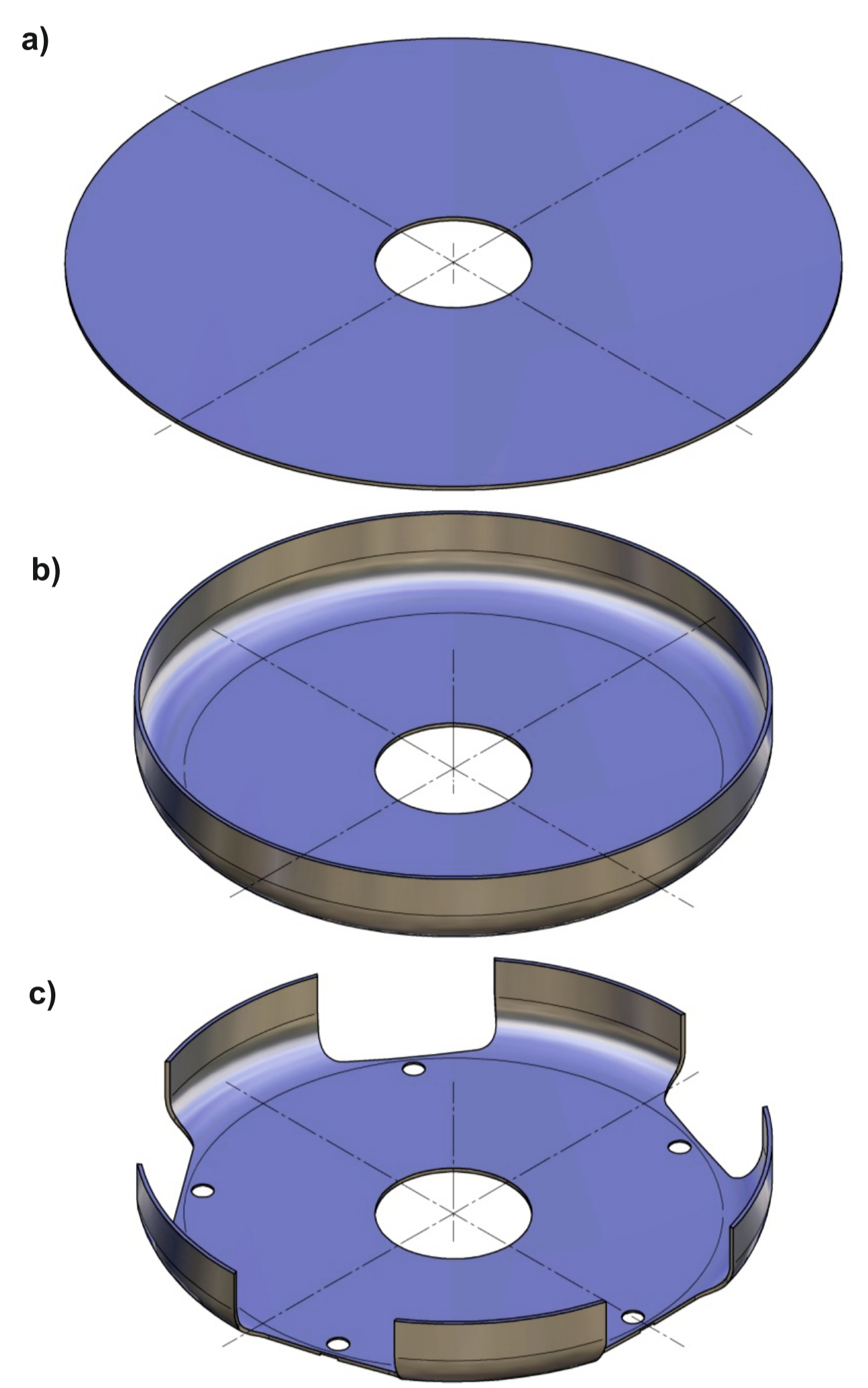
#### Wyniki badań Results



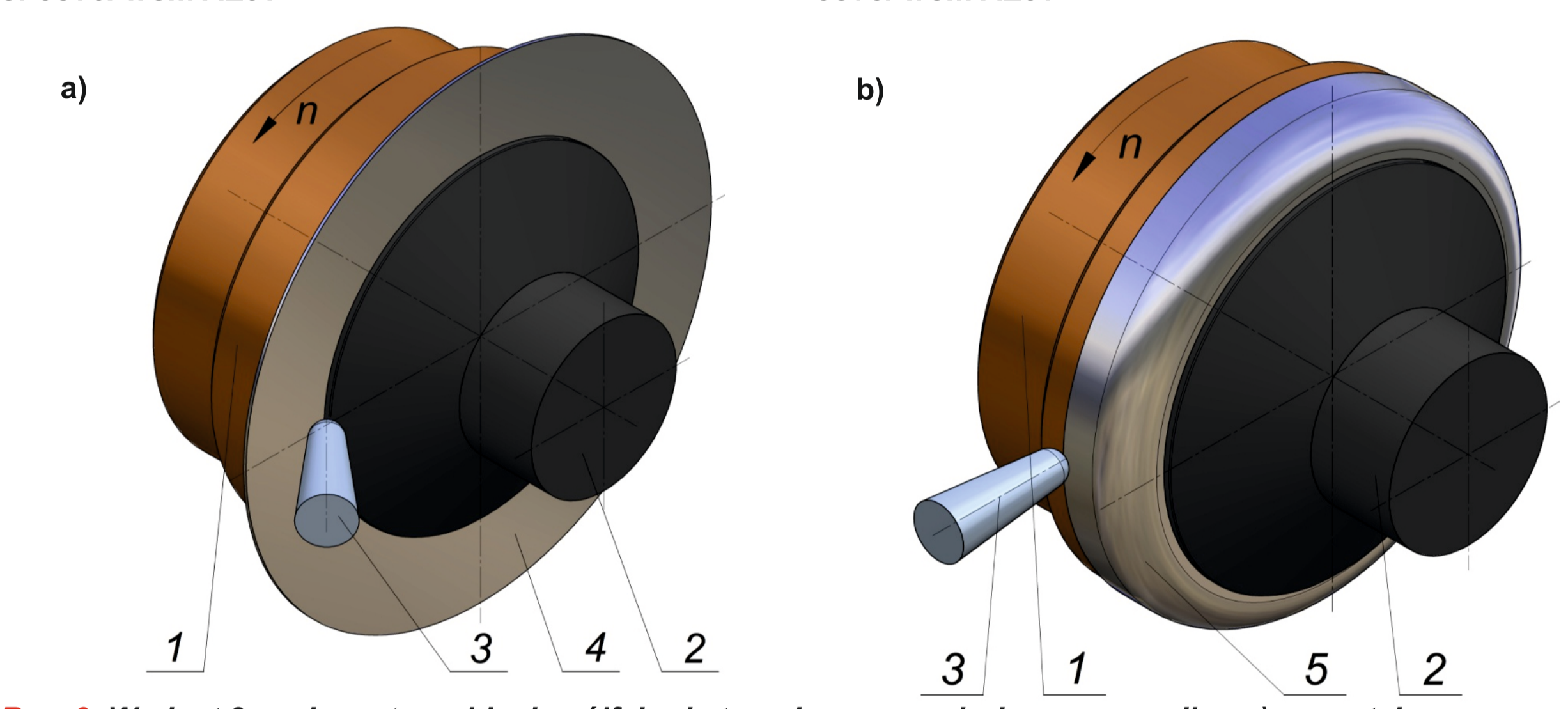
Rys. 6. Kształt i wymiary pokrywy  
Fig. 6. Shape and dimensions of cover



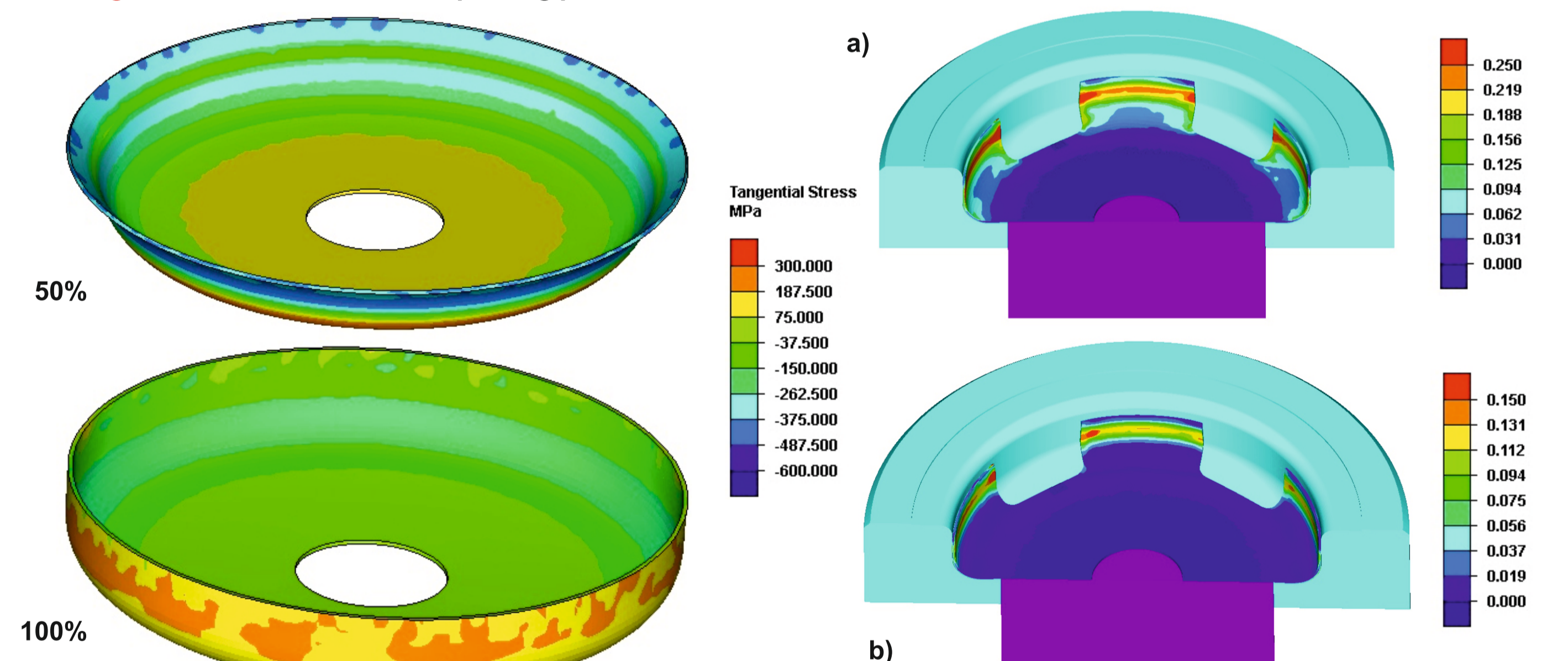
Rys. 7. Wariant 1 - kolejne etapy kształtowania pokrywy ze stopu magnezu AZ31: a) półfabrykat po operacji wykrawania, b) gotowa pokrywa po operacji tłoczenia oraz wiercenia i pogłębianiu otworów  
Fig. 7. Variant 1 - successive stage of forming process of cover from AZ31



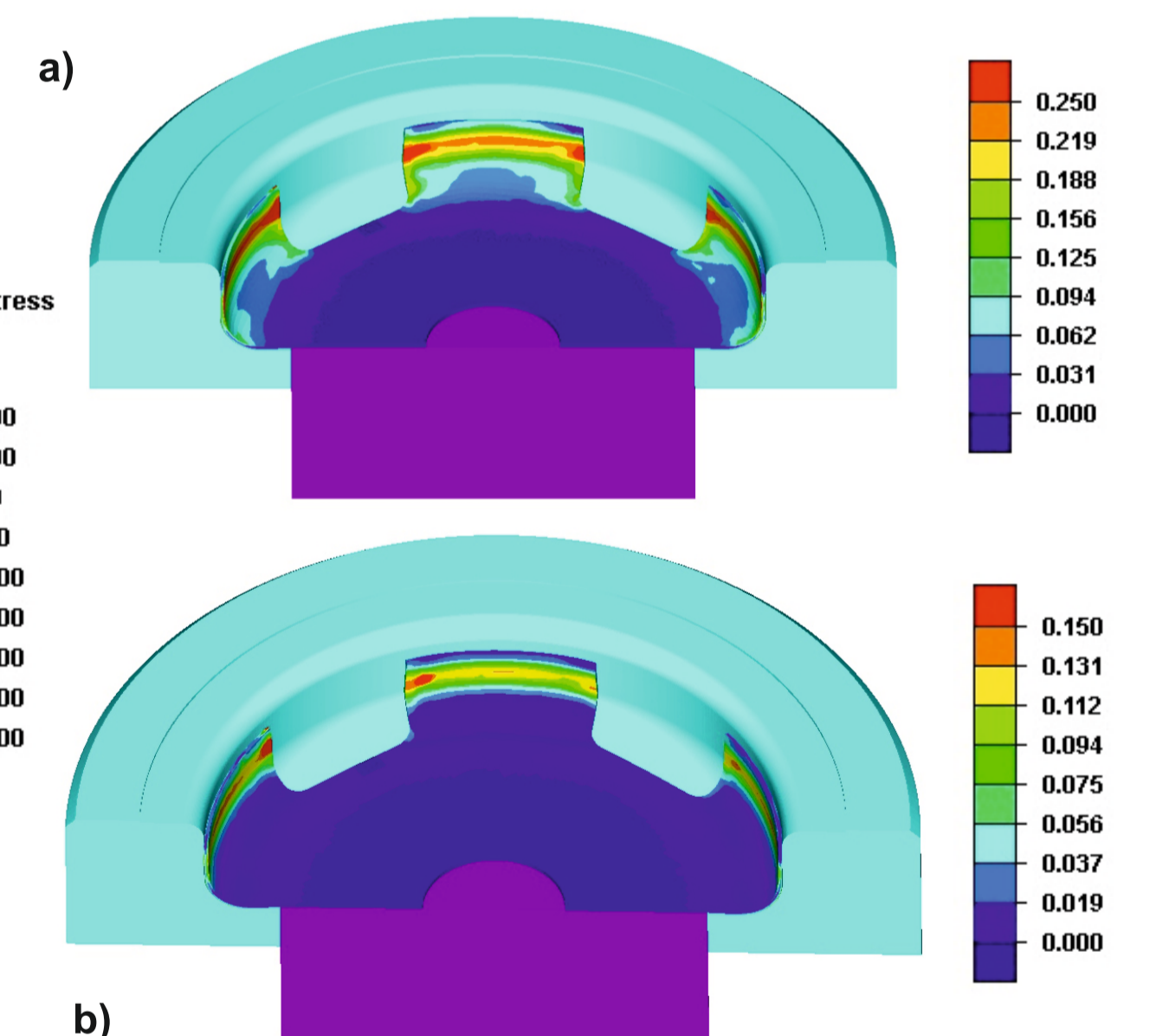
Rys. 8. Wariant 2 - kolejne etapy kształtowania pokrywy ze stopu magnezu AZ31: a) półfabrykat po operacji wykrawania, b) gotowa pokrywa po operacji tłoczenia oraz wiercenia i pogłębianiu otworów  
Fig. 8. Variant 2 - successive stage of forming process of cover from AZ31



Rys. 9. Wariant 3 - schemat wyoblania półfabrykatu pokrywy na wirującym wzniku: a) początek procesu, b) koniec procesu  
Fig. 9. Variant 3 - schema of spinning process



Rys. 10. Wariant 1 - rozkład naprężeń obwodowych w zależności od zaawansowania procesu wytłaczania pokrywy  
Fig. 10. Variant 1 - tangential stress distribution in consecutive stage of process



Rys. 11. Wariant 2 - wyznaczone numerycznie rozkłady: a) intensywności odkształcenia, b) kryterium zniszczenia Cockrofta-Lathama  
Fig. 11. Variant 2 - theoretical results: a) effective strain, b) Cockroft Latham cracking criterion

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

##### Publikacje:

- Hadasiak E., D. Kuc: Characteristic of microstructure of hot deformed magnesium alloy AZ31 type, STERMAT 2012, IX International Conference on Stereology and Image Analysis in Materials, 3-6.09.2012 Zakopane (w druku).
- Kuc, D.: Modelling of microstructure changes during hot deformation using cellular automata in selected metallic alloys, STERMAT 2012, IX International Conference on Stereology and Image Analysis in Materials, 3-6.09.2012 Zakopane.
- A. Gontarz, Z. Pater, K. Drozdowski: Hammer forging process of lever drop forging from AZ31 magnesium alloy, Metalurgia, 52, 2013, Nr 3, s. 359-362.
- J. Przdondzono: Korozja galwaniczna wyciskanego stopu magnezu WE43, Rudy i Metale Nieżelazne, 58, 2013, Nr 2, s. 65-68.
- Gontarz A., Pater Z., Drozdowski K.: "Hammer Forging Process of Lever Drop Forging from AZ31 Magnesium Alloy", Metalurgia 52 (2013) 3, 359-362
- Tomczak J., Pater Z., Bulzak T.: "Analiza procesu kucia odkuwki piasty koła ze stopu AZ31 z przedkulką kulistej". Rudy i Metale Nieżelazne 2013, R58, nr 4, s. 196-201.

##### Prace mgr, dr, hab.:

- Katarzyna Tańczyk - Ocena jakości blach ze stopu magnezu AZ31 przeznaczonych do tłoczenia, promotor dr inż. Dariusz Kuc
- Magdalena Skrobel - Wyznaczanie właściwości użytkowych przerobionego plastycznie stopu AZ61, promotor dr inż. Joanna Przdondzono
- Damian Hajdukiewicz - Zaprojektowanie systemu produkcji koła samolotu, promotor: dr inż. Marek Tkocz

##### Zgłoszenie patentowe

Gontarz A., Dziubińska A.: Sposób kształtowania radiatora, zgłoszenie wysłane do UP - brak potwierdzenia.

#### Wnioski Conclusions

- Przeprowadzone badania właściwości mechanicznych na próbkach pobranych z wykonanej odkuwki pokazują, że najwyższą wytrzymałość i granicę plastyczności mają odkuwki chłodzone po kuciu na powietrzu i starzone. Po starzeniu stwierdzono obniżenie plastyczności. Uzyskane własności spełniają wymagania konstrukcyjne wytworzonego elementu.
- Przeprowadzone próby tłoczenia blach walcowanych wykonanych ze stopu AZ31 i WE43 odznaczają się podatnością do kształtowania tą metodą w podwyższonej temperaturze. Świadczy to o możliwości wytwarzania elementów konstrukcyjnych metodą tłoczenia.
- W badaniach zmęczenia wysokocyklowego w temperaturze pokojowej zrealizowanych w warunkach zginania obrotowego, znacząco większą wytrzymałością zmęczeniową (w zakresie do  $N_f = 10^7$  cykli) w porównaniu ze stopem AZ31 charakteryzował się stop AZ61.
- Zaproponowano 3 warianty wykonania pokrywy z blachy ze stopu magnezu AZ31.