

# 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 and the like)

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

Tytuł rozwiązania Innowacyjnego  
Title of the innovative solution

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego  
Visualization of the innovative solution

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego  
Visualization of the innovative solution

#### Technologia kucia matrycowego lekkich stopów magnezu

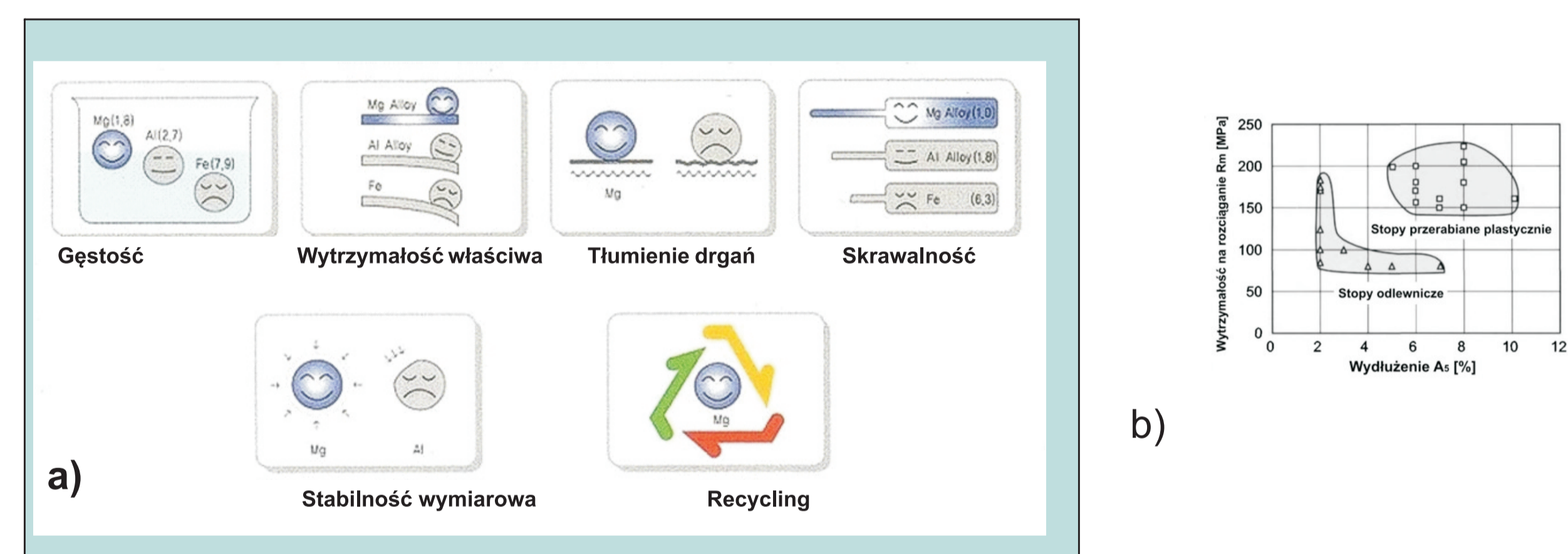
#### Technology of die forging of light magnesium alloys

Krótki opis rozwiązania  
Brief description of the solution

Stopy magnezu mają szereg zalet w porównaniu do innych stopów metali (rys.1a). Wyroby ze stopów magnezu, wytworzone metodami przeróbki plastycznej mają lepsze właściwości w stosunku do wykonanych technikami odlewniczymi. (rys.1b). Zastosowanie stopów magnezu umożliwia uzyskanie redukcji masy o około 30 % w stosunku do wytworzonych ze stopów aluminium (rys.2).  
Rozwiązanie dotyczy technologii kucia matrycowego elementów konstrukcyjnych z stopów magnezu typu Mg-Al-Mn-Zn (AZ31, AZ61) oraz Mg-Y-RE-Zr (WE43) (tablica 1). W celu opracowania technologii wykonano szerokie badania plastyczności z zastosowaniem symulacji fizycznej na urządzeniu Gleeble (rys.3) oraz analizowano wpływ parametrów procesu na skłonność do pęknięcia, wyznaczając temperaturę zerowej plastyczności (rys.4a-d) oraz charakterystyki plastyczności i mikrostrukturę (rys.4e,f). Próby przemysłowe poprzedzono komputerową symulacją procesu kucia (rys.5). Proces kształtowania plastycznego odłuków matrycowych był realizowany w Zakładzie Obróbki Plastycznej Sp. z o.o. w Świdniku na prasie śrubowej F1736A (400T) oraz młocie matrycowy typ MPM 3150. Na podstawie uzyskanych wyników teoretyczno-doświadczalnych zaprojektowano i zrealizowano procesy kucia matrycowego przykładowych wyrobów z lekkich stopów magnezu (rys. 6-8, tablica 2). W celu zabezpieczenia antykorozyjnego na gotowy element nanoszona jest powłoka antykorozyjna metodą anodowania (rys.9). Odłuki typu piasta koła i dźwignia mają certyfikat Instytutu Lotnictwa (rys.10).

Magnesium alloys have a lot of advantages in comparison of other metal alloys (fig.1a). Products from magnesium alloys manufactured of working methods, have a better properties in comparison to elements make of casting methods (fig.1b). Application of magnesium alloys enable to reduction of about of 30% mass in comparison to aluminum alloys (fig.2). A solution apply to technology of die forging constructional elements from magnesium alloys Mg-Al-Mn-Zn (AZ31, AZ61) and Mg-Y-RE-Zr (WE43) type (table 1). The technology was developed based on experimental results of physical simulation using Gleeble simulator (fig.3) base on analysis of hot cracking sensitivity and microstructure changes (rys.4.a-d). Conducted compression tests allowed to specify the flow stress and microstructure changes after deformation. (rys.4.e,f). The processes were modelled numerically by the finite element method. (rys.5). The forging process was conducted in ZOP Co. Ltd Forging Plant in Świdnik screw press F1736A (400T) type and die hammer MPM 3150 type. Based on the numerical and experimental results, it was possible to design and run forging processes on samples from light magnesium alloy (fig. 6-8, table 2). In order to corrosion protect on elements were coating using anodizing method (fig.9). Forging wheel hub and lever have the certification of Institute of Aviation (fig.10).

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego  
Visualization of the innovative solution



Rys.1. Zalety stopów magnezu w porównaniu do innych stopów metali (a), mechaniczne właściwości przerobionych plastycznie stopów magnezu w stosunku do odlewanych. (b).  
Fig.1. Advantages of magnesium alloys in comparison to other metal alloy (a), mechanical properties of worked magnesium alloys in relation to casting alloys (b)



aluminium – 6,237 kg  
stop magnezu – 4,140 kg (~30%)

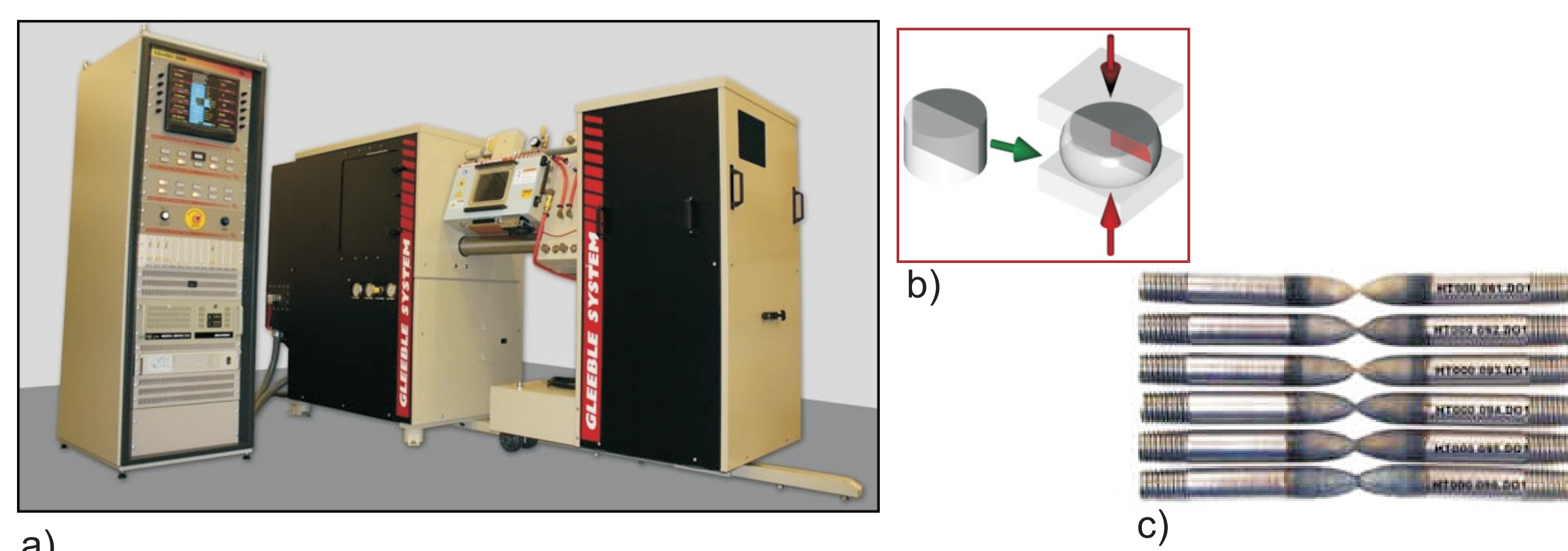


aluminium – 1,60 kg  
stop magnezu - 1,06 kg (~30%)

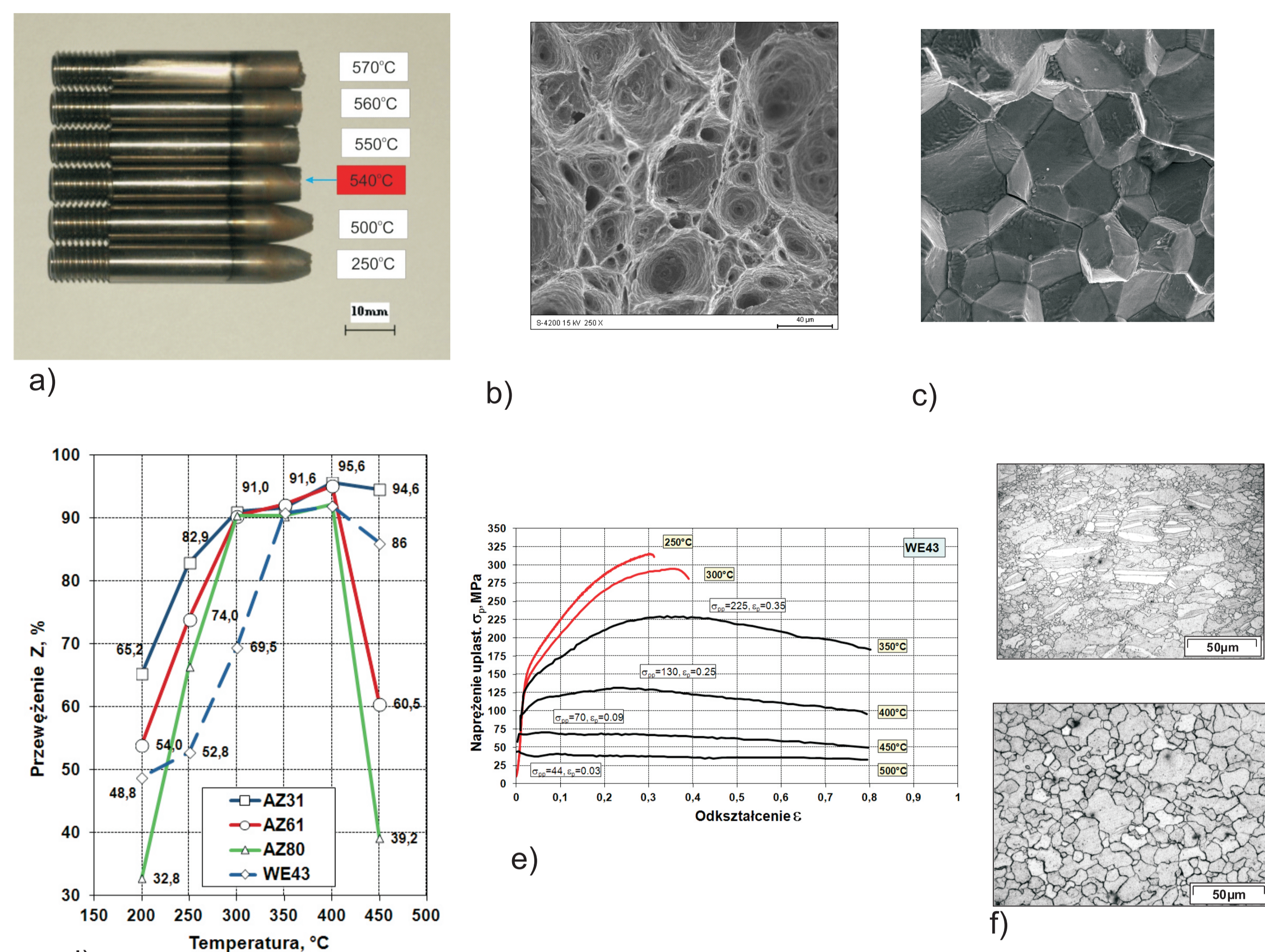
Rys.2. Redukcja masy wyrobu dzięki zastosowaniu stopu magnezu w porównaniu do wykonanego z aluminium.  
Fig.2. Reduction of mass thanks to using of magnesium in comparison to aluminum.

Table 1. Skład chemiczny stopów do kucia matrycowego.  
Fig.2. Chemical composition of alloy to die forging.

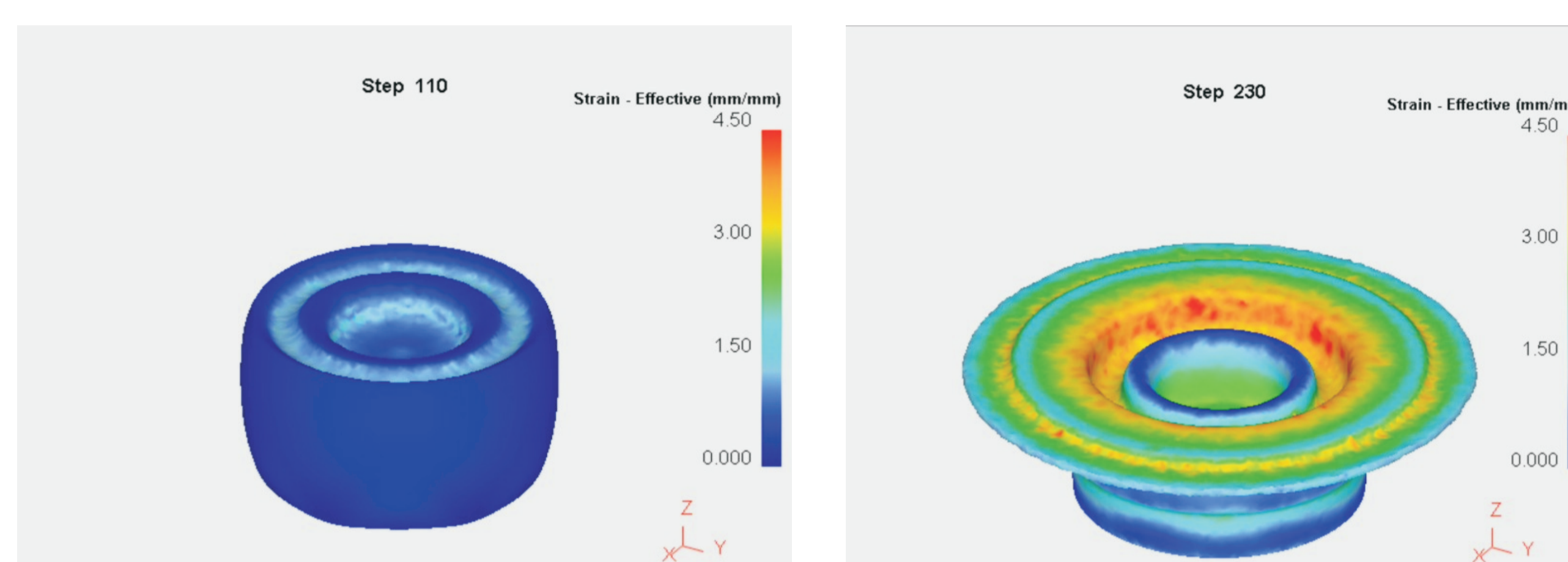
STOP	ASTM	Skład chemiczny, [% masowy]					OPIS
		Al	Zn	Mn	Cu	Ca	
Al3,0Zn1,0Mn0,3 Blechy 0,5 - 6 mm, profile wyciskane, kute	AZ31	3,0	0,71	0,2	<0,01	0,04	R <sub>m</sub> = 260 MPa, R <sub>p0,2</sub> = 160 MPa, A <sub>5</sub> = 18%
		6,2	0,61	0,21	<0,01		R <sub>m</sub> = 325 MPa, R <sub>p0,2</sub> = 230 MPa, A <sub>5</sub> = 12%
Al6,0Zn1,0Mn0,3 Profile wyciskane, kute	AZ61	6,2	0,61	0,21	<0,01		R <sub>m</sub> = 280 MPa, R <sub>p0,2</sub> = 213 MPa, A <sub>5</sub> = 24%, odporność na pękanie do 250°C
		4,0	2,2	1,0	0,54	<0,03	



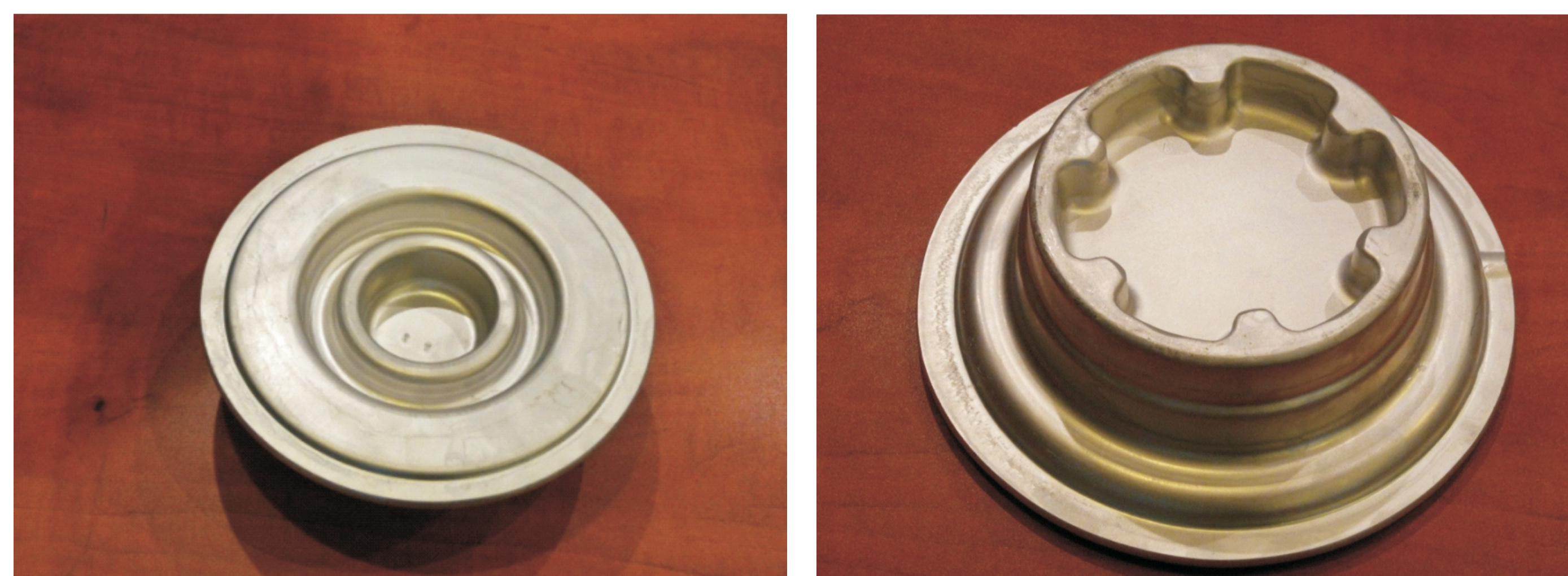
Rys.3. Symulacja fizyczna odkształcenia plastycznego na gorąco, a - urządzenie Gleeble, b - próba ściskania, c - próba rozciągania.  
Fig. 3. Physical simulation of hot plastic deformation a- simulator Gleeble, b - compression test, c - tension test.



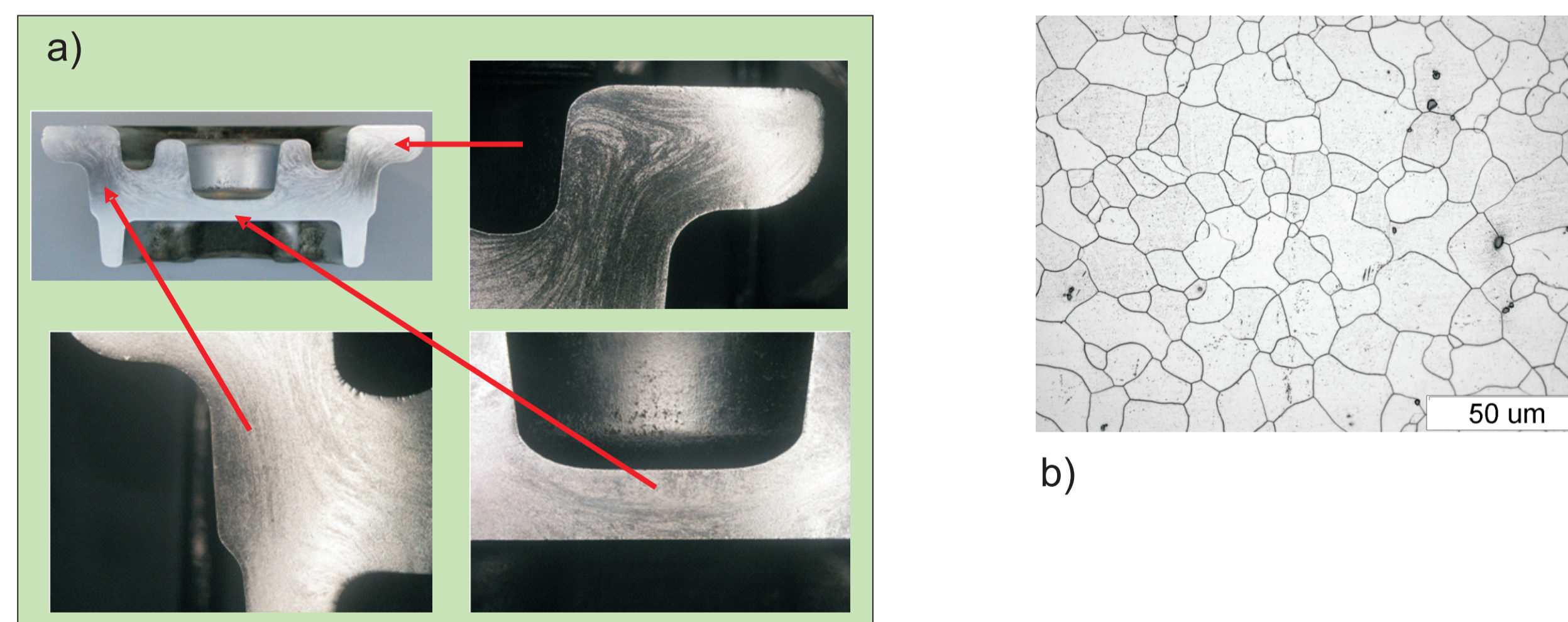
Rys.4. Wyniki symulacji fizycznej: a, b, c określenie skłonności do kruchego pęknięcia i zakresów dużej plastyczności (d), e - charakterystyki plastyczności, f - mikrostruktura.  
Fig. 4. Wyniki symulacji fizycznej: a, b, c określenie skłonności do kruchego pęknięcia i zakresów dużej plastyczności (d), e - charakterystyki plastyczności, f - mikrostruktura.



Rys.5. Komputerowa symulacja kucia matrycowego.  
Fig.5. Computer simulation of die forging.



Rys.6. Widok odłuki matrycowej piasty koła.  
Fig.6. View of die forging of wheel hub.



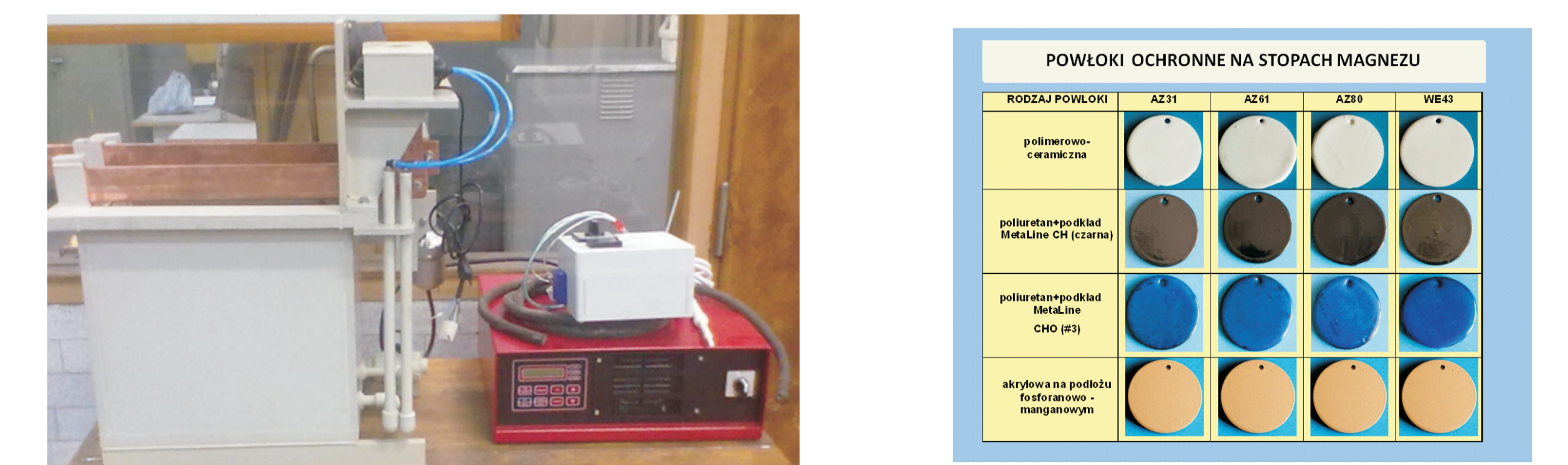
Rys.7. Przekrój wyrobu z wytrawionymi liniami pokazującymi płynięcia metalu podczas kucia (a) mikrostruktura (b).  
Fig.7. Cross of manufactured with etching lines showing of metal flow during forging (a), microstructure (b).

Table 2. Mechaniczne właściwości próbek pobranych z piasty koła  
Table 2. Mechanical properties of sample from wheel hub.

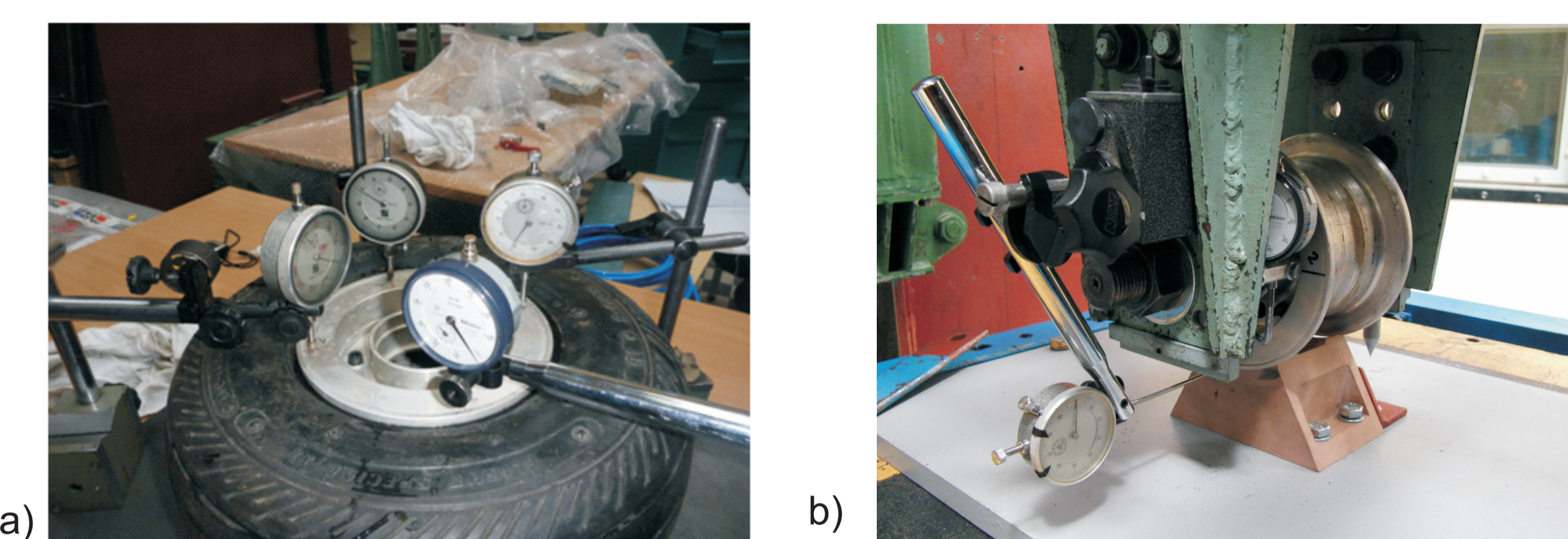
Sposób chłodzenia po kuciu	Starzenie	Twardość HB	R <sub>m</sub> , MPa	R <sub>p0,2</sub> , MPa	A <sub>5</sub> , %
powietrze	-	60,8	206,2	259,7	18,3
powietrze	165°C/12h	64,9	231,2	276,8	14,2
woda	-	59,6	202,6	258,7	15,7
woda	165°C/12h	61,7	207,4	264,6	16,7
Wymagane właściwości (Instytut Lotnictwa)		60	200	260	5



Rys.8. Widok odłuki matrycowej dźwigni.  
Fig.8. View of die forging of lever.



Rys.9. Urządzenie do nakładania powłok metodami galwanicznymi (a), powłoki na stopach magnezu (b)  
Fig.9. Installation for coating using electroplating (a), coatings on magnesium alloy (b)



Rys.10. Badania certyfikujące: a - test ciśnieniowy b - sposób pomiaru odkształcenia piasty podczas prób obciążania złożonego, c - próba toczenia kołą pod maksymalnym naprężeniem stycznym.  
Fig.10. Certification researches: a - the pressure test, b - method of measure of strain during compound load c - the rolling wheel test under maximum shear load

Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego  
Advantages and restrictions of innovative solution

**Zalety z wdrożenia rozwiązania innowacyjnego:**  
- zmniejszenie masy wyrobu w stosunku do odłuków wykonanych ze stali i stopów aluminium;  
- lepsze właściwości mechaniczne odłuków w porównaniu do wyrobów ze stopów magnezu wykonanych metodą odlewania;  
- eliminacja części operacji obróbki skrawaniem.

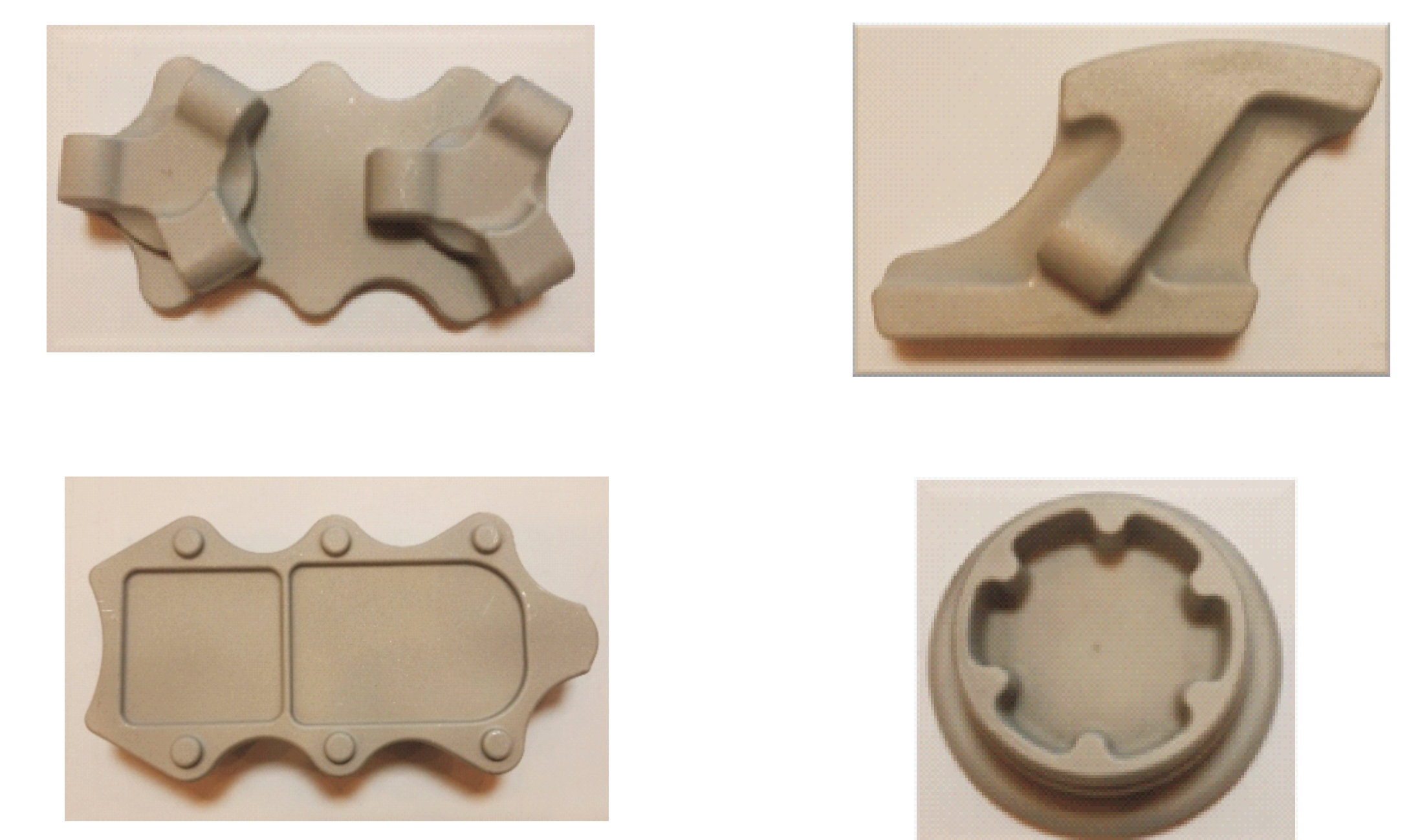
**Ograniczenia:**  
W przypadku odłuków pracujących pod obciążeniem maksymalna temperatura pracy dla stopów magnezu typu Mg-Al-Mn-Zn (AZ31, AZ61) wynosi ok.100°C, zaś stopu typu Mg-Y-RE-Zn (WE43) do około. 250°C

**Advantage of solution:**  
- decrease of fabrication mass in proportion to die forging manufactured from steel and aluminium alloys;  
- the better mechanical properties in comparison to manufactured performance using casting method;  
- elimination parts of machining operation.

**Restrictions:**  
In case of forging working under load maximum working temperature for magnesium alloys Mg-Al-Mn-Zn is 100°C, for Mg-Y-RE-Zn is about 250°C.

Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki  
Examples of application in aviation and other branches

Lekkie elementy konstrukcyjne samolotów i śmigłowców  
Light constructional parts of aeroplane and helicopter



Oferta dla przemysłu  
The offer for industry

Technologia kucia odłuków matrycowych z lekkich stopów magnezu.

Technology of die forging of light magnesium alloys