



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



INSTYTUT METALURGII
I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ
im. Aleksandra Krupkowskiego
Polskiej Akademii Nauk

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Symposium naukowe „Inżynieria materiałowa dla przemysłu”
12 kwietnia 2013 roku, Krynica-Zdrój, Hotel „Panorama”

Poprawa właściwości konstrukcyjnych stopów magnezu - znaczenie mikrostruktury

P. Drzymała, J. Bonarski, B. Kania, A. Korneva

- Interdyscyplinarne studia doktoranckie z zakresu inżynierii materiałowej z wykładowym językiem angielskim •

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk

Ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków, tel. + 48 (12) 295 28 28, faks. + 48 (12) 295 28 04

<http://www.imim-phd.edu.pl/>

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



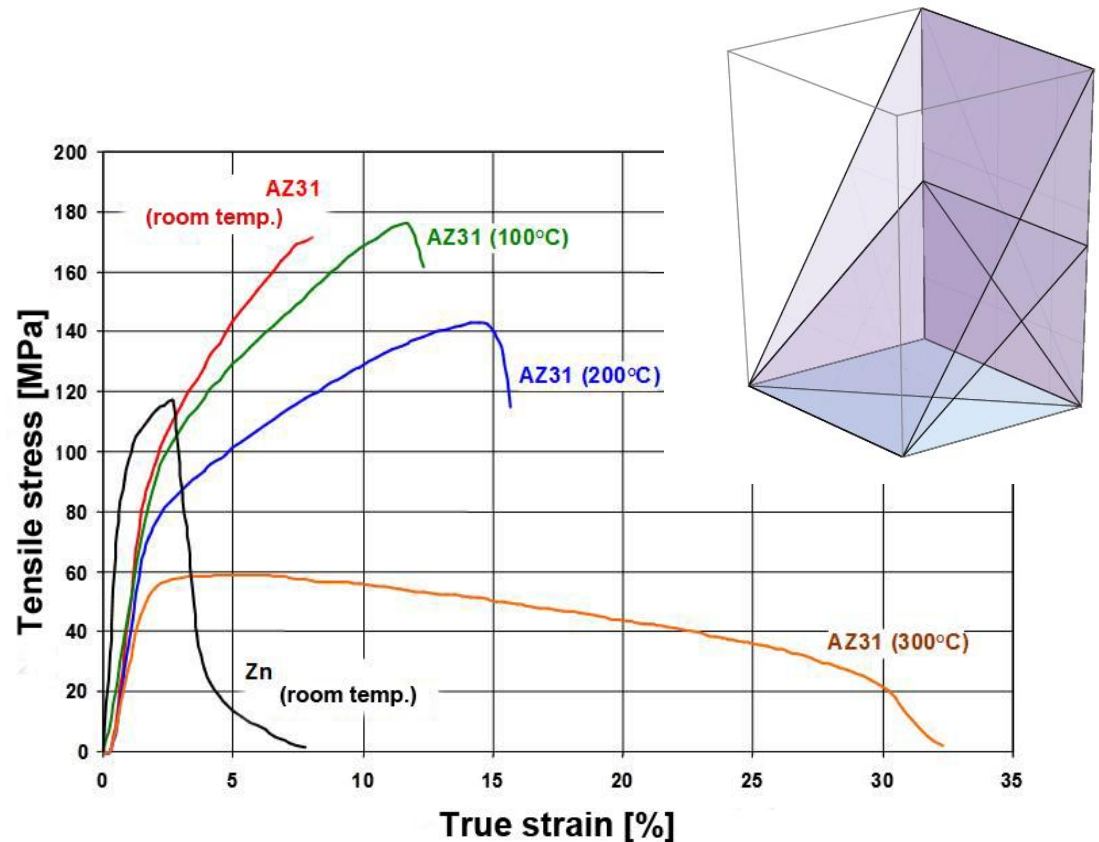
Odształcalność stopów magnezu

Niska plastyczność w temperaturze pokojowej:

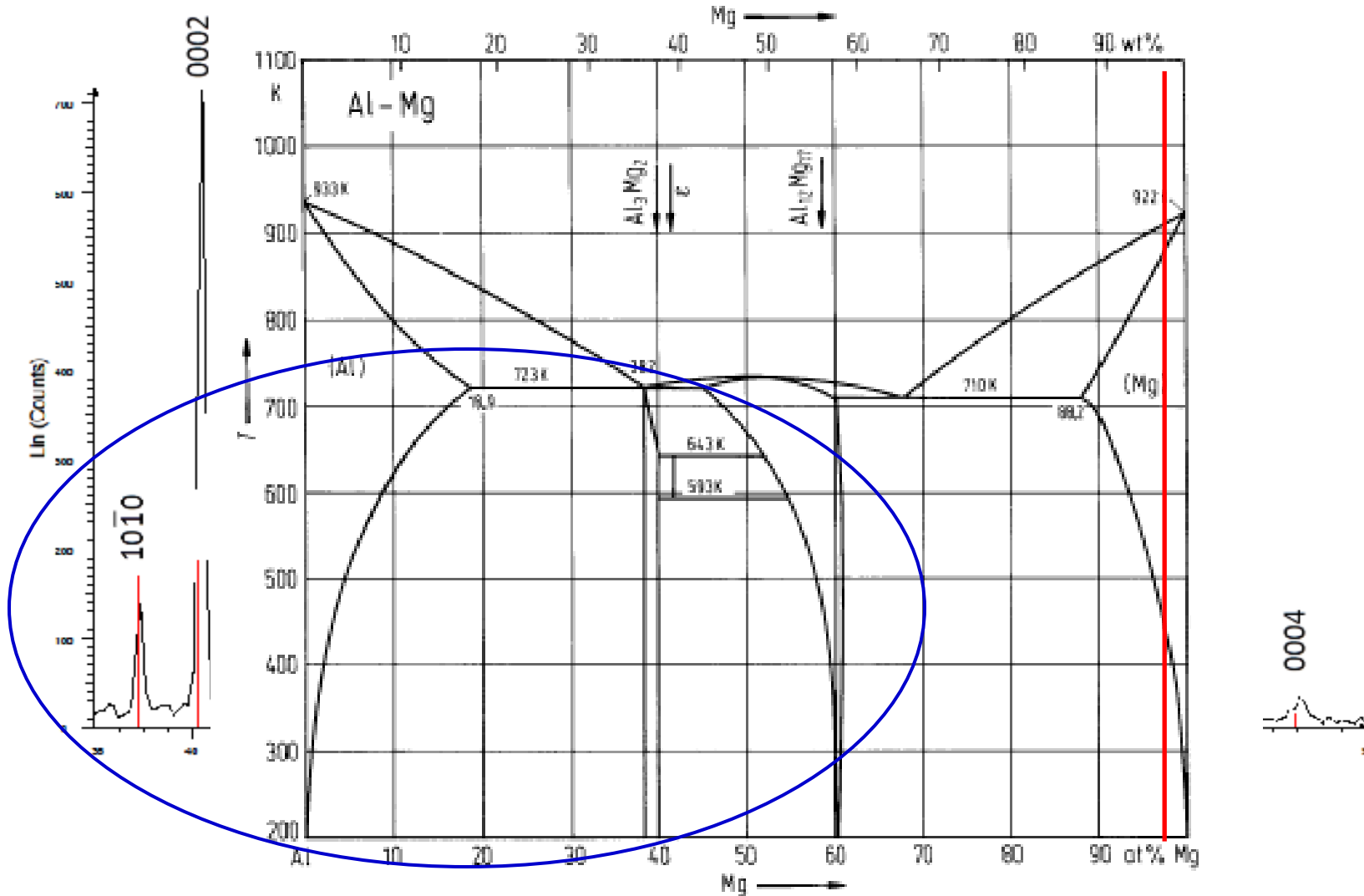
➤ Struktura heksagonalna gęsto upakowana charakteryzuje się niewystarczającą liczbą niezależnych systemów poślizgu

Uplastycznienie w podwyższonej temperaturze:

➤ Zastosowanie obróbki na gorąco aktywuje dodatkowe systemy poślizgu potrzebne do jednorodnego odkształcenia



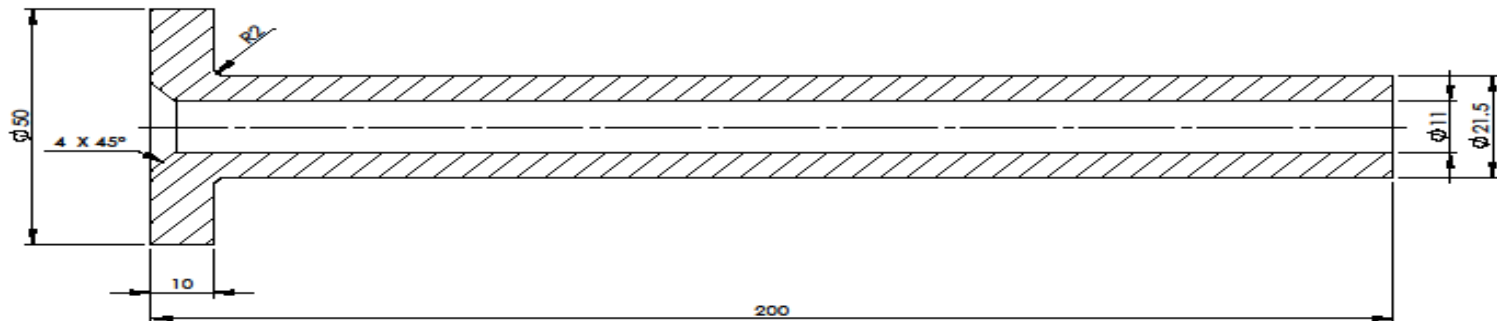
Krzywe rozciągania dla próbek ze stopu Mg-AZ31 dla różnych wartości temperatury



Pomiary dyfraktometryczne dla dominującej (w sensie ilościowym) fazy $Mg_{0.976}Al_{0.024}$



Rura z kołnierzem oporowym (stop Mg AZ31) wyciskana na gorąco (430°C)
Wykonawca rur: firma NEOCAST Light Metal Technologies (<http://neocast.pl/>)





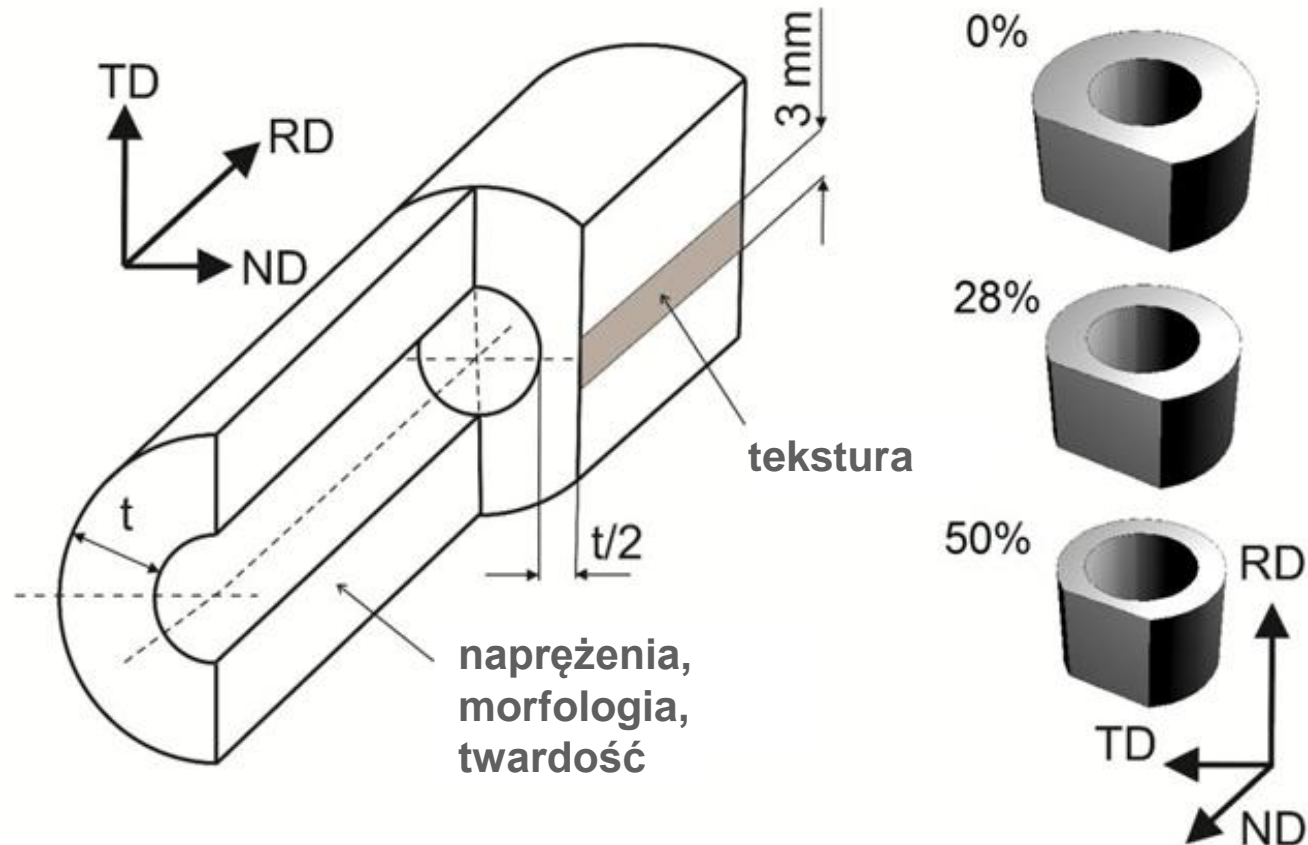
Próbki w formie pierścieni

→ odpowiadający
im zgniot: **0%**, **28%**
oraz **50%**

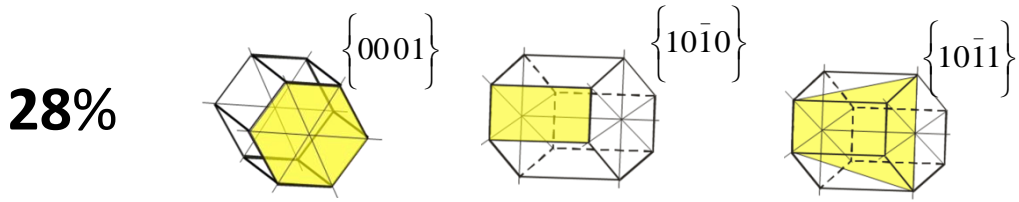
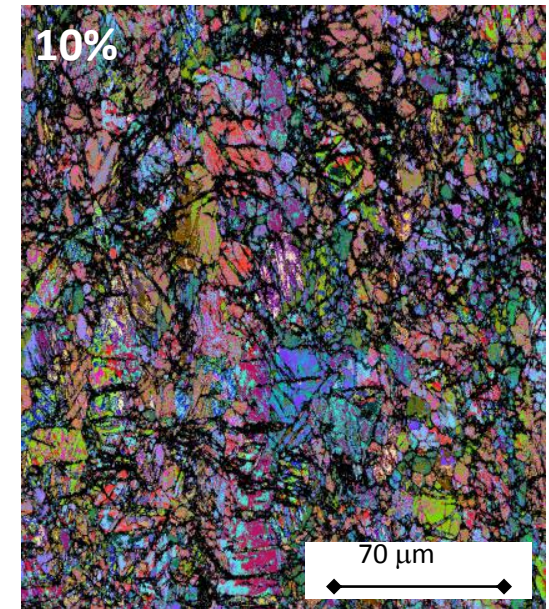
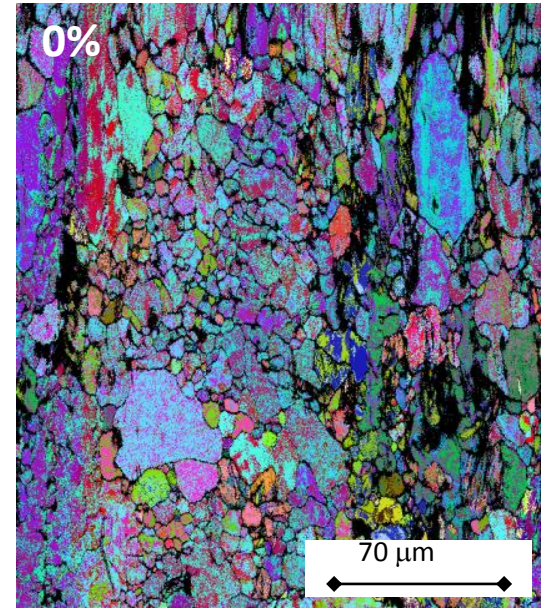
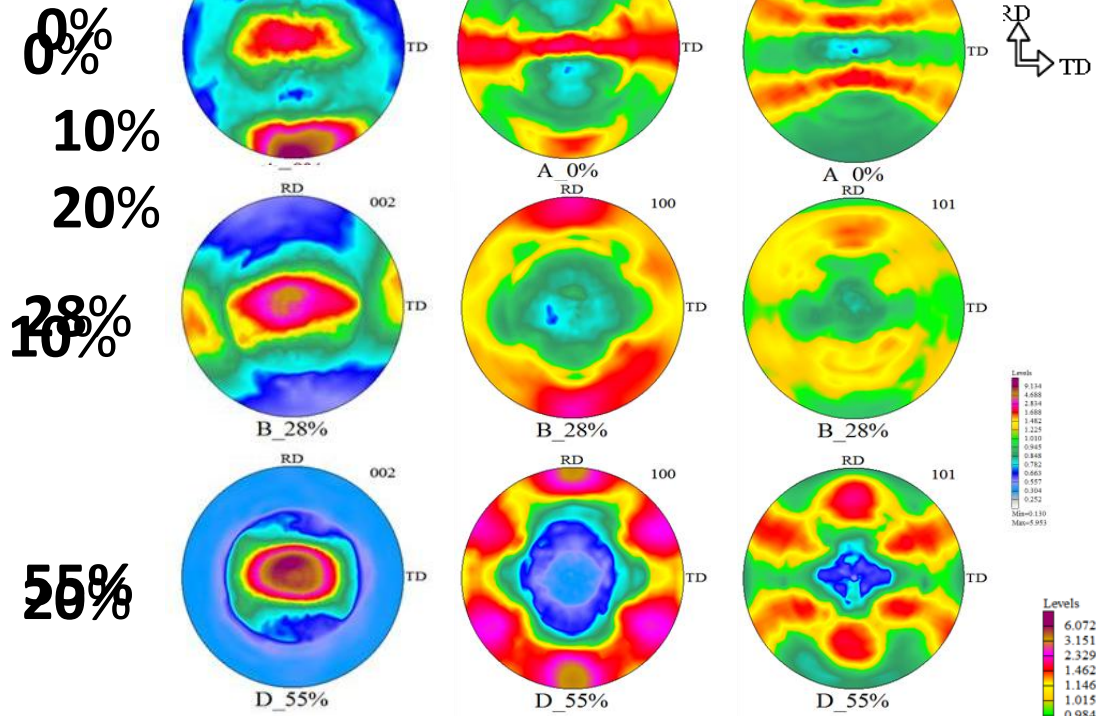
→ analiza tekstury,
→ naprężenia własne

→ morfologia mikrostruktury (mikroskopia optyczna),

→ twardość (mikrotwardościomierz Tukon 2500, penetrator Knoop
z obciążeniem 0.1 kG).



Rura ze stopu Mg-AZ31 po walcowaniu pielgrzymowym



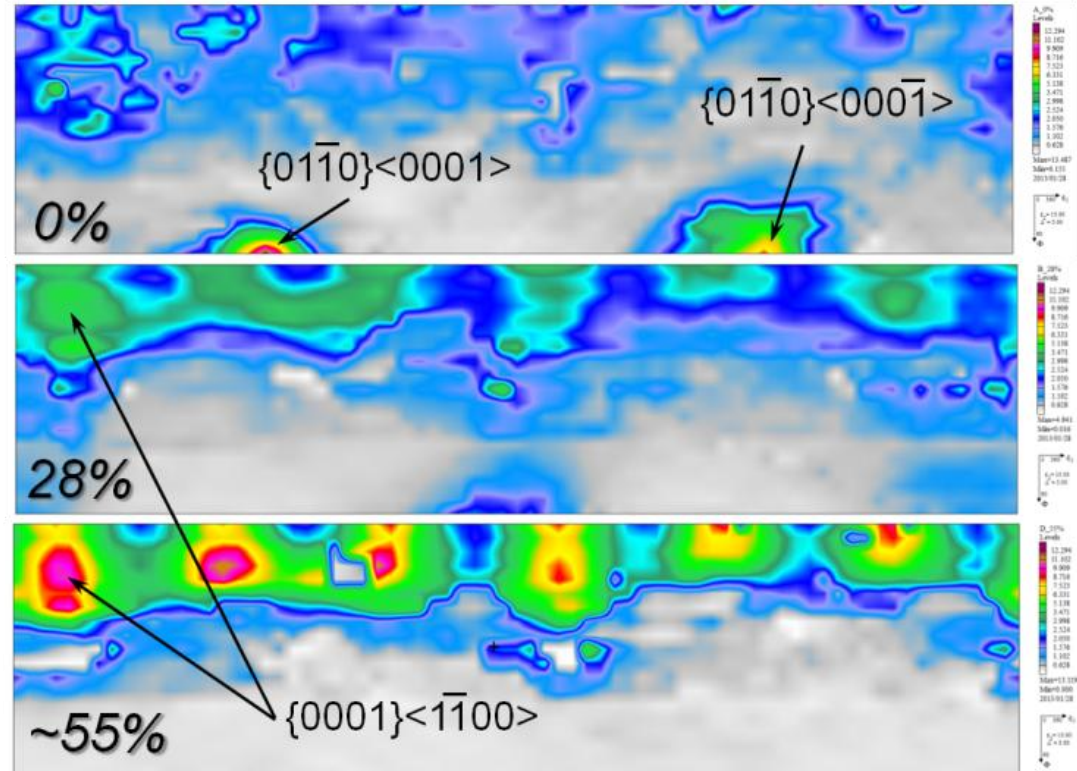
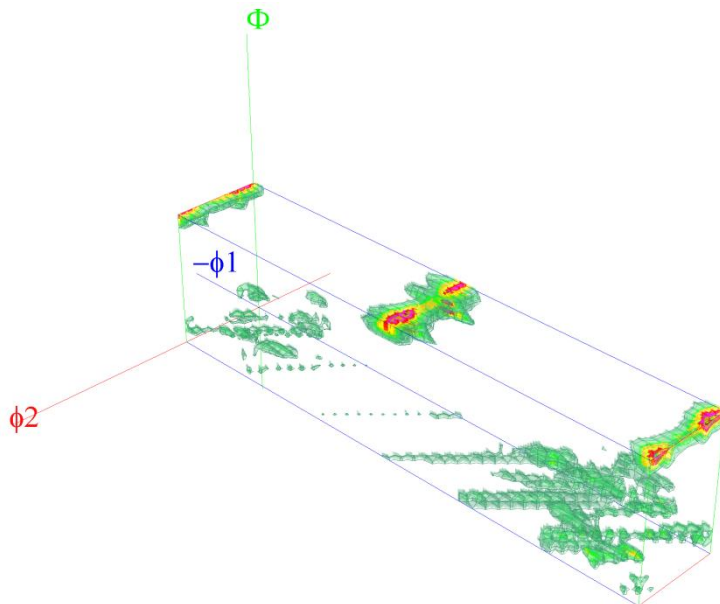
28% Pełne figury biegunowe wybranych płaszczyzn krystalograficznych stopu Mg-AZ31

55% Próbki rury po wyciskaniu na gorąco (zgniot 0%) oraz po walcowaniu pielgrzymowym na zimno (zgniot 28% i 55%)



Rozwój tekstury w procesie odkształcenia

- Funkcje rozkładu orientacji przedstawiają przemiany przestrzennej organizacji krystalitów podczas odkształcenia



Przekroje FRO dla $\phi_2=15^\circ$ dla odkształcenia:
0%, 28%, 55%

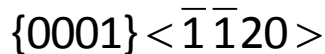


Rozwój tekstury w procesie odkształcenia

➤ Największa zmiana jakościowa tekstury przypada na pierwszy etap deformacji (0-28%) powodując m.in. zanik orientacji:

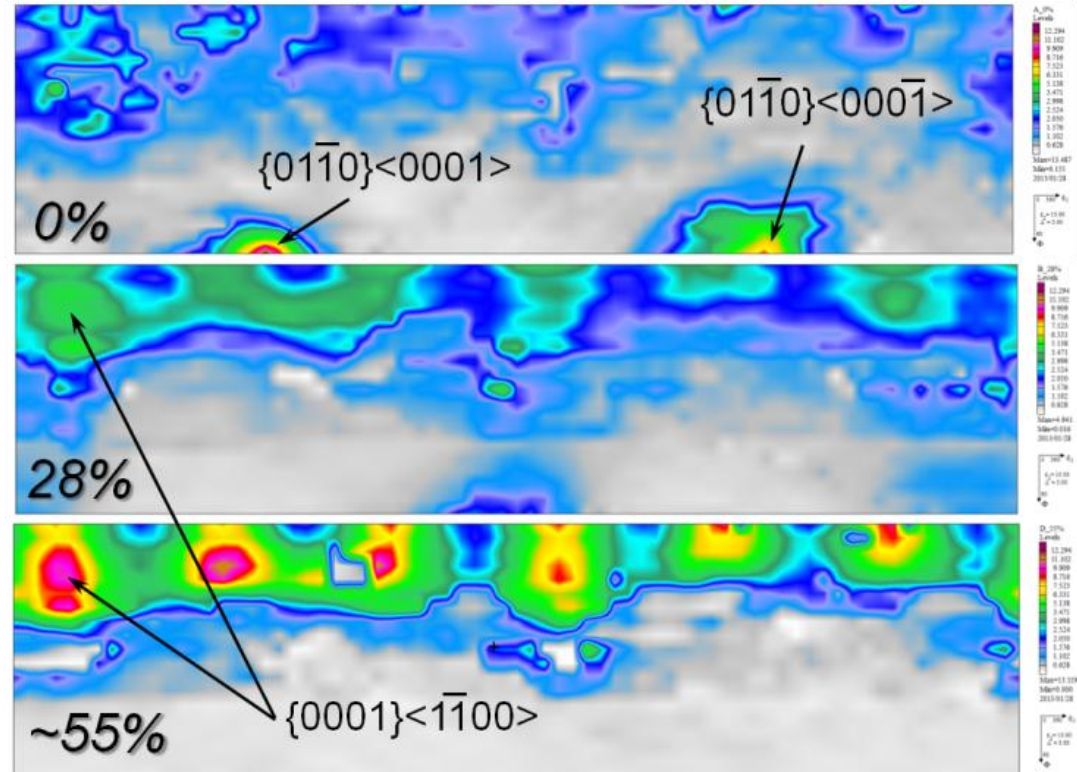
- $\{01\bar{1}0\} \langle 0001 \rangle$
- $\{01\bar{1}0\} \langle 000\bar{1} \rangle$

➤ Zaobserwowano również zmiany ilościowe podczas etapów 28 – 55%, dotyczące wzrostu udziału orientacji:

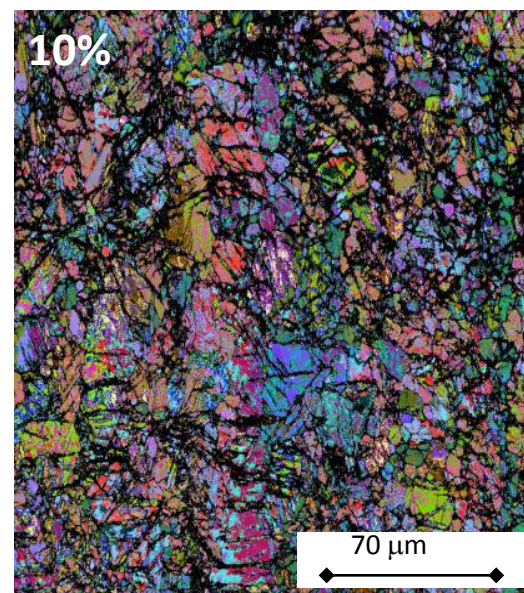
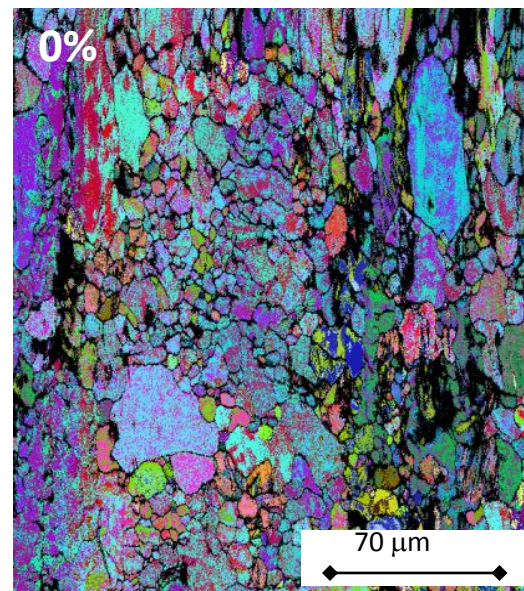
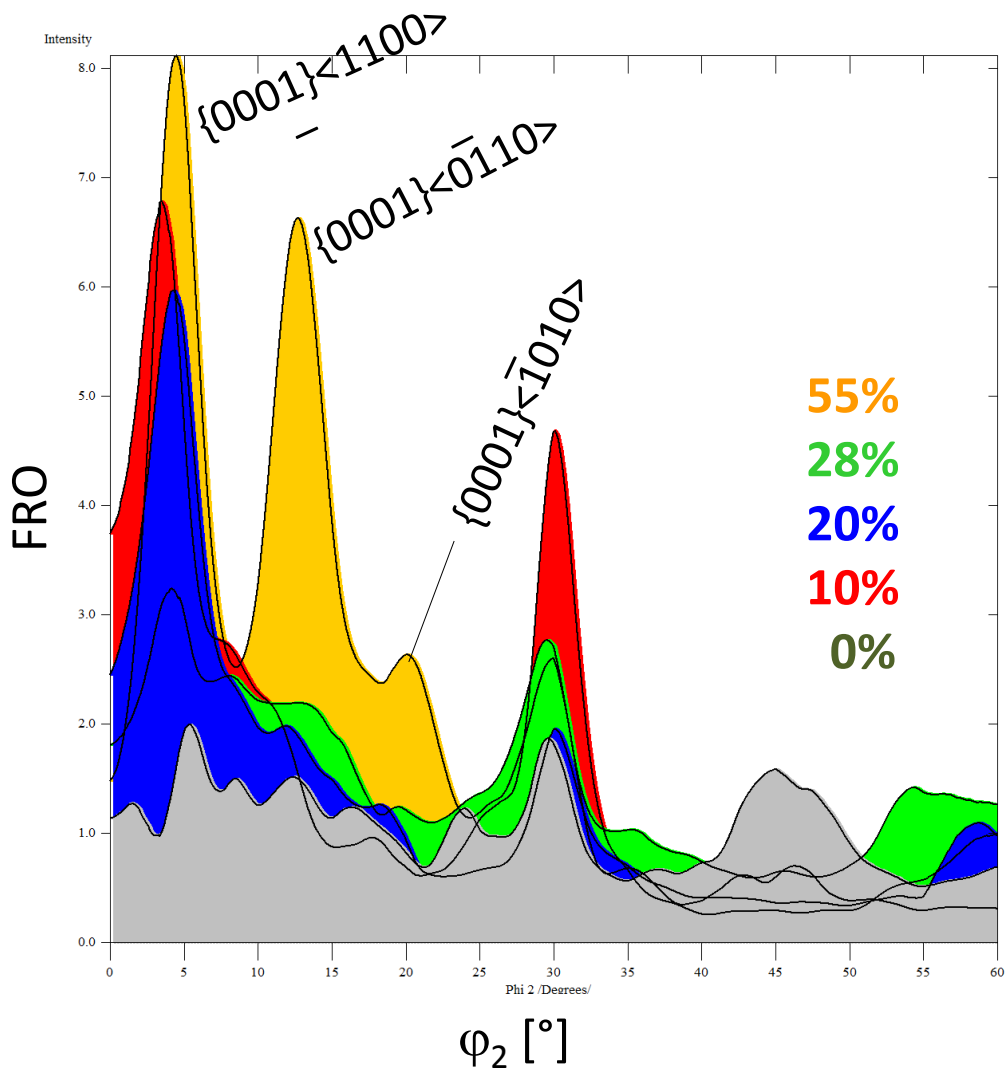


28% - 3.7

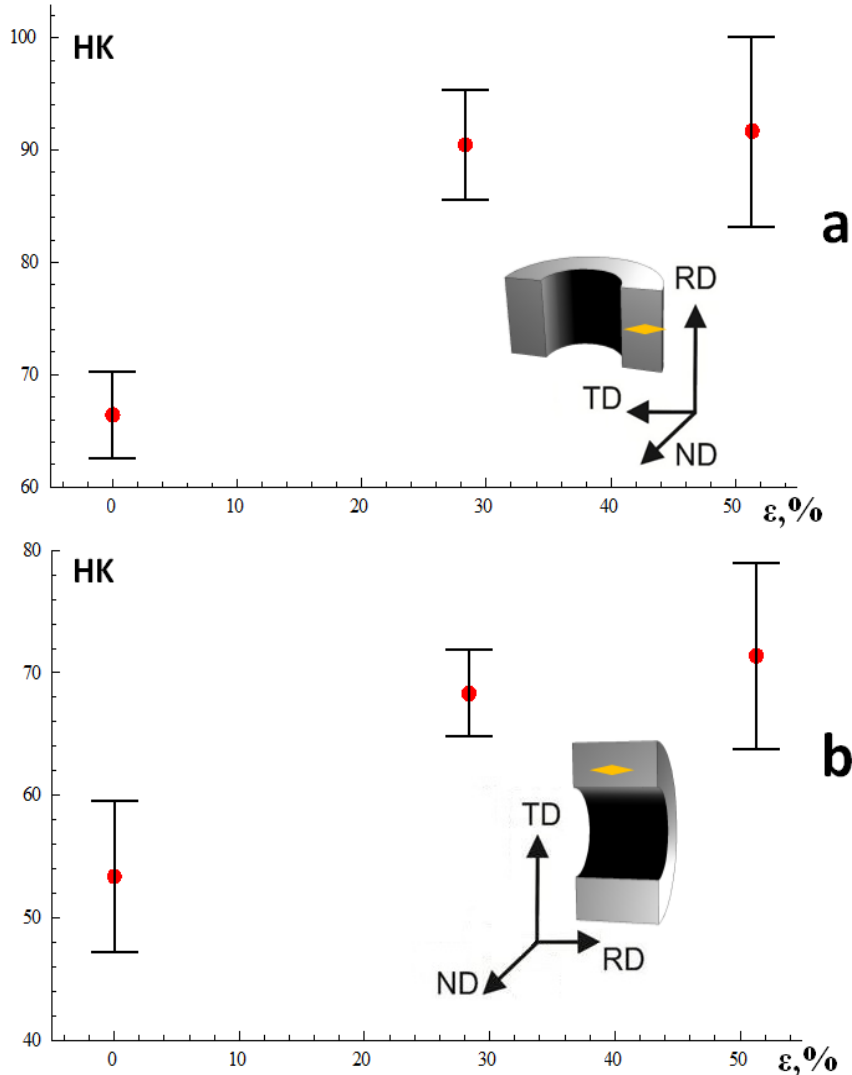
55% - 14.5



Przekroje FRO dla $\varphi_2=15^\circ$ dla odkształcenia:
0%, 28%, 55%



Linie szkieletowe scałkowane w otoczeniu ($10^\circ \times 10^\circ \times 10^\circ$) FRO
Dla Mg-AZ31 po walcowaniu pielgrzymowym



Twardość:

dłuższa krawędź penetratora \perp RD

0%66.4 HK

28%..... 90.5 HK

50%..... 91.7 HK

dłuższa krawędź penetratora \parallel RD

0%53.4 HK

28%..... 68.4 HK

50%..... 71.4 HK

Walcowanie pielgrzymowe powiększa anizotropię własności mechanicznych, wyrażoną stosunkiem wartości twardości mierzonej w dwóch w/w położeniach penetratora (ozn. $A_{\perp\parallel}$):

0% $A_{\perp\parallel} = 1.25$

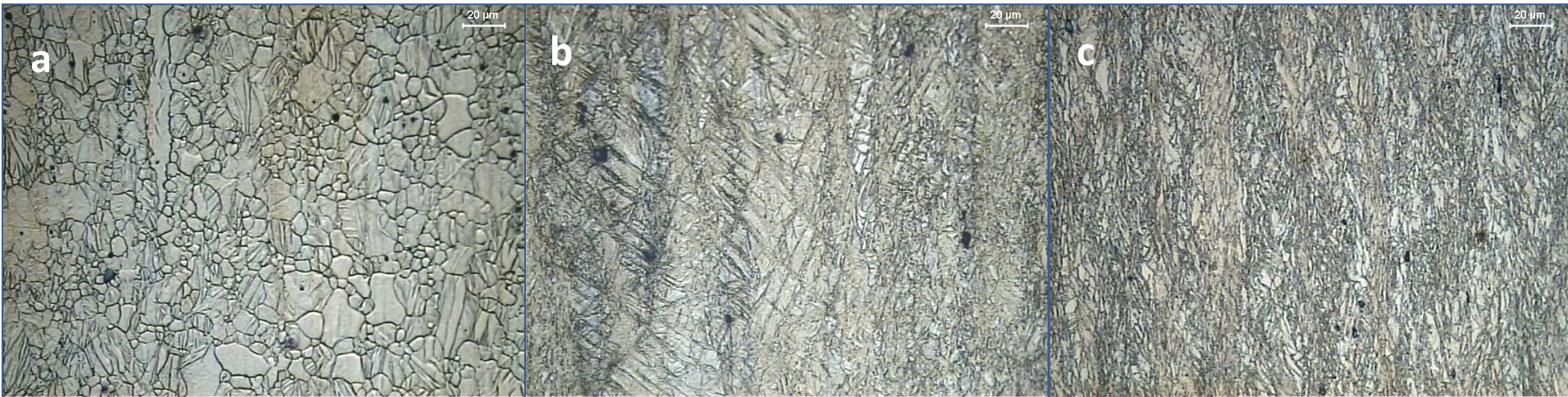
28%..... $A_{\perp\parallel} = 1.31$

50%..... $A_{\perp\parallel} = 1.28$

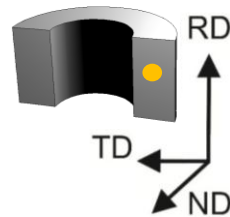
Wyniki testu mikrotwardościowego, podczas którego dłuższa krawędź penetratora Knoopa była prostopadła do kierunku RD bądź kierunku TD



Mikrostruktura

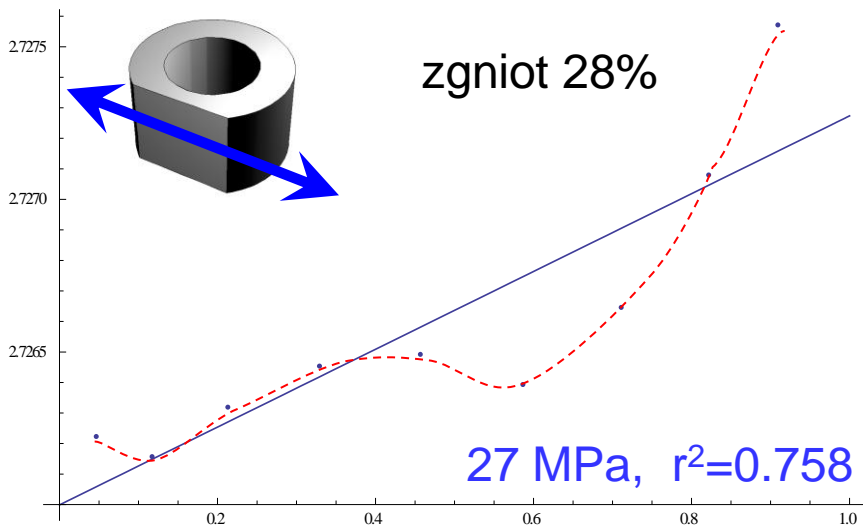
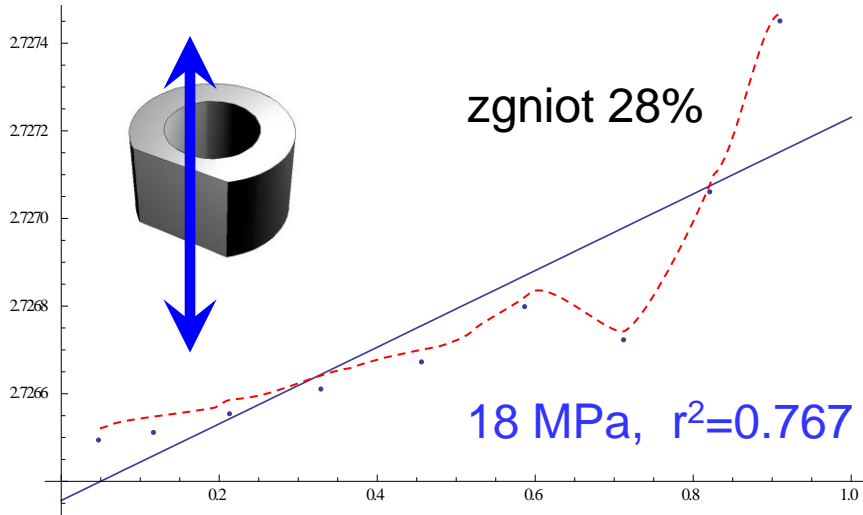


➤ Mikrostruktura nieodkształconej rury. Widoczne skupiska rozdrobnionych ziaren oraz podłużne duże ziarna (20-80 μm)



➤ Zgniot 28% - uzyskano rozdrobnienie ziarna (5-20 μm)

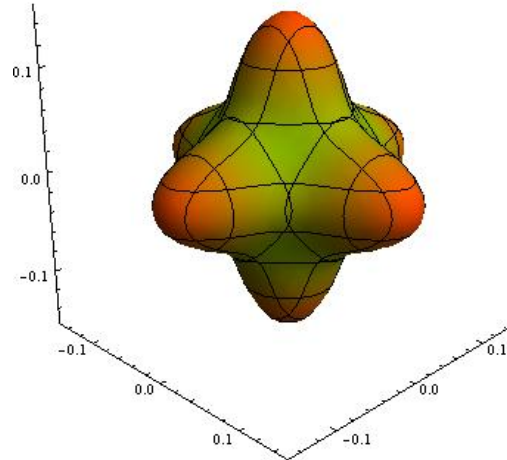
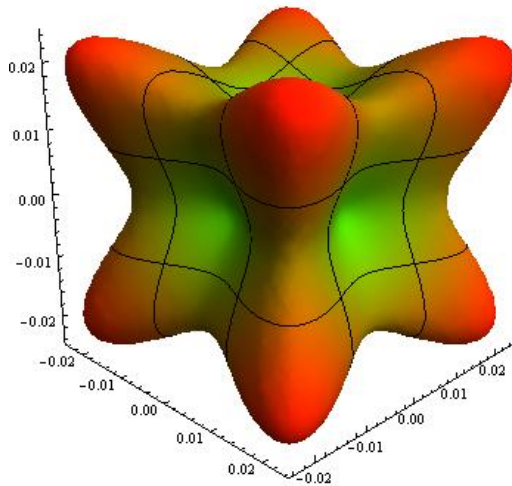
➤ Dzięki zastosowaniu wysokiego stopnia zgniotu 50% uzyskano drobnokrystaliczną strukturę (wymiar poniżej 5 μm)



Wykres zależności $d = f(\sin^2\psi)$ dla próbki stopu Mg-AZ31 po walcowaniu pielgrzymowym, obrazujący naprężenia własne w kierunku RD oraz TD. W pomiarach zastosowano promieniowanie filtrowane serii CoK α .

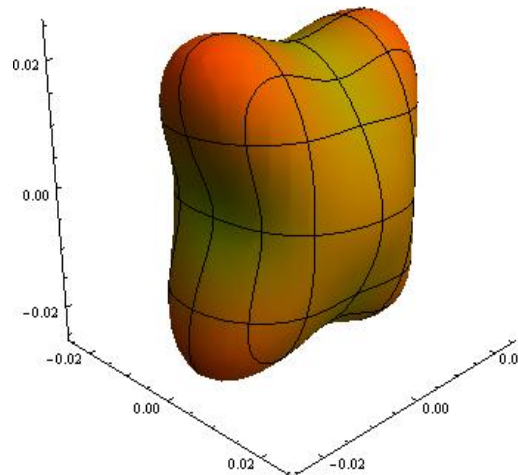
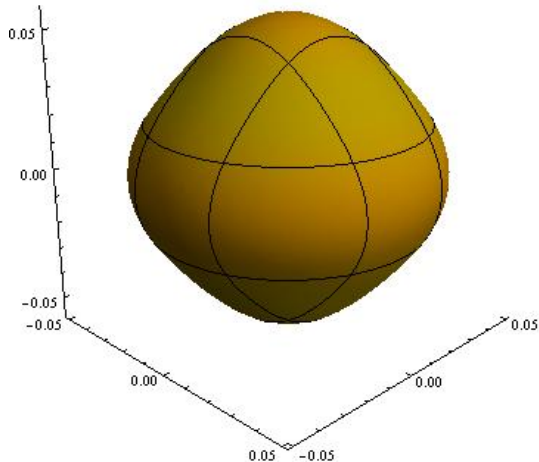


Naprężenia własne – wpływ tekstury



Przykłady powierzchni
Younga dla monokryształów:

Pb, Nb, Mg, α -U,
 10^{12} Pa

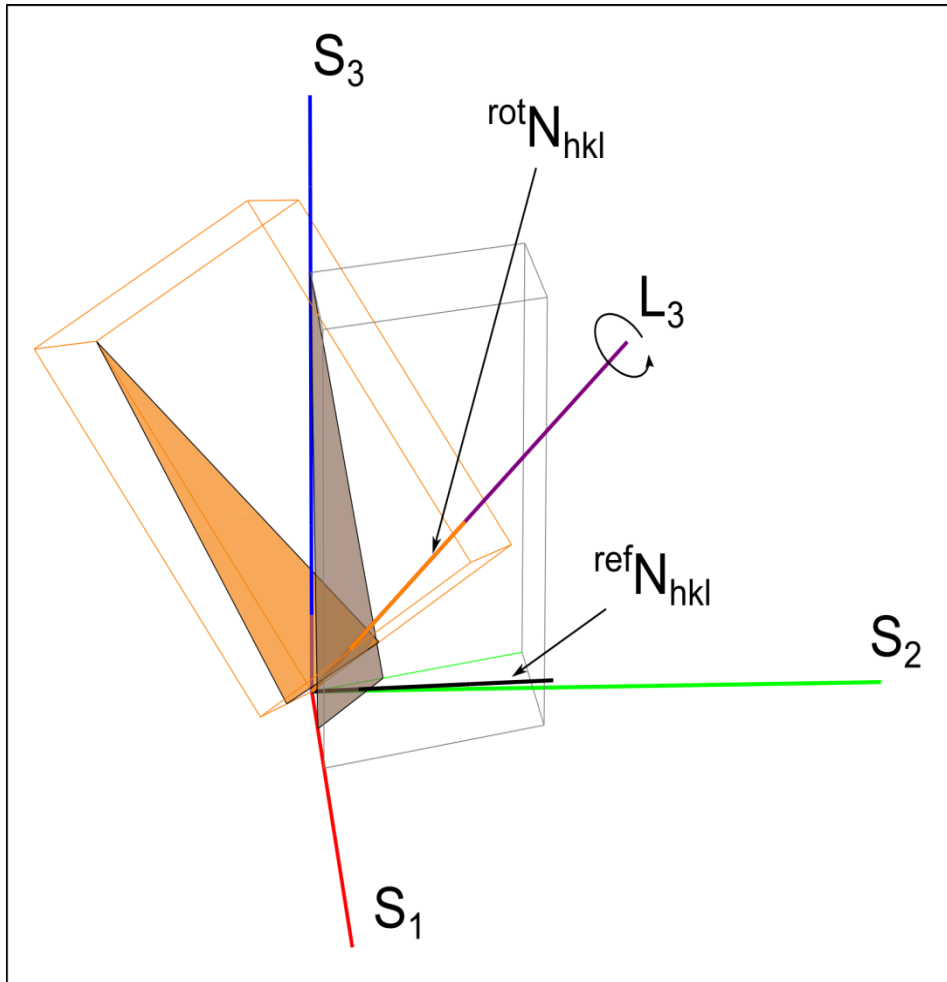


$$S_{ijkl}^{rot} = a_{im} a_{jn} a_{ko} a_{lp} S_{mnop}$$

$$E(\varphi, \psi) = \frac{1}{S_{3333}^{rot}}$$



Naprężenia własne – wpływ tekstury



$$\varepsilon^L(\varphi, \psi) = \langle s_{33ij}^L(\varphi, \psi) \sigma_{ij}^L \rangle$$

Model Reussa stałych elastycznych:
 $\sigma = \text{const}$

$$\varepsilon^L(\varphi, \psi) = \langle s_{33ij}^L(\varphi, \psi) \rangle \sigma_{ij}^L$$

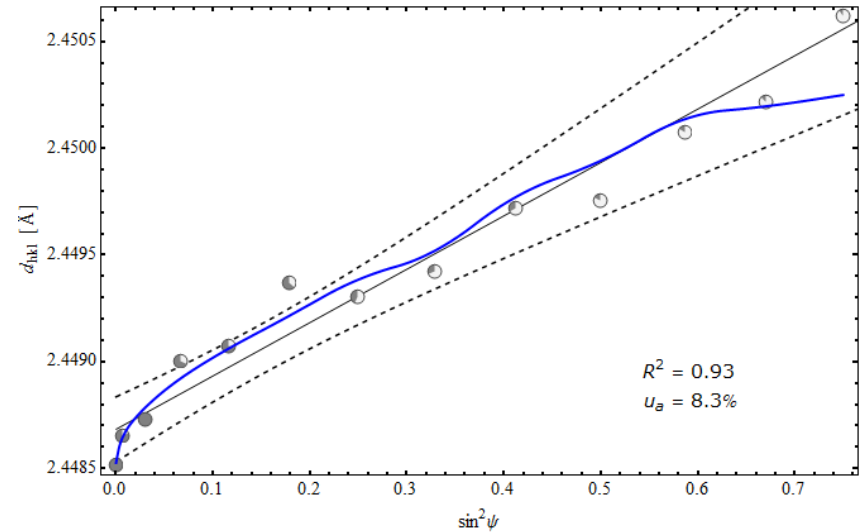
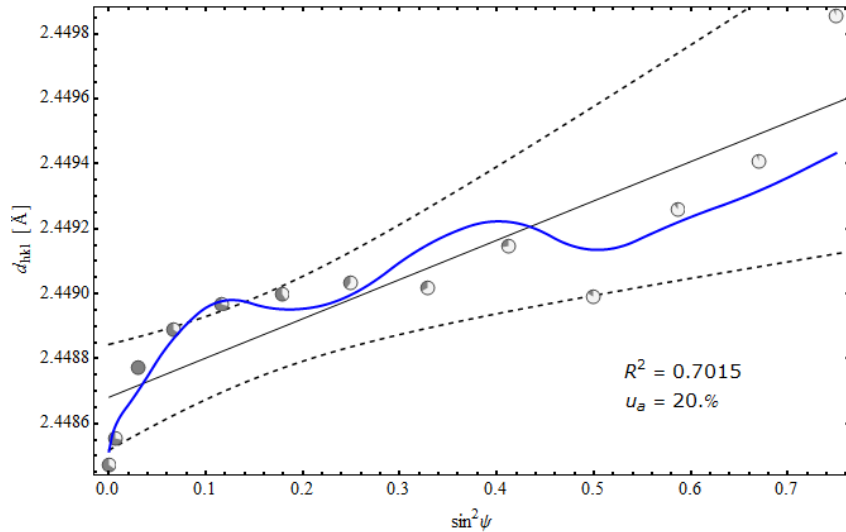
$$\varepsilon^L(\varphi, \psi) = \langle s_{33mn}^L(\varphi, \psi) \rangle a_{mi} a_{nj} \sigma_{ij}$$

$$\varepsilon^L(\varphi, \psi) = F_{ij}(\varphi, \psi) \sigma_{ij}$$

$$\langle s_{33mn}^L(\varphi, \psi) \rangle = \frac{\int_0^{2\pi} s_{33mn}^L(\omega) ODF(\omega) d\omega}{\int_0^{2\pi} ODF(\omega) d\omega}$$



Naprężenia własne – wpływ tekstury

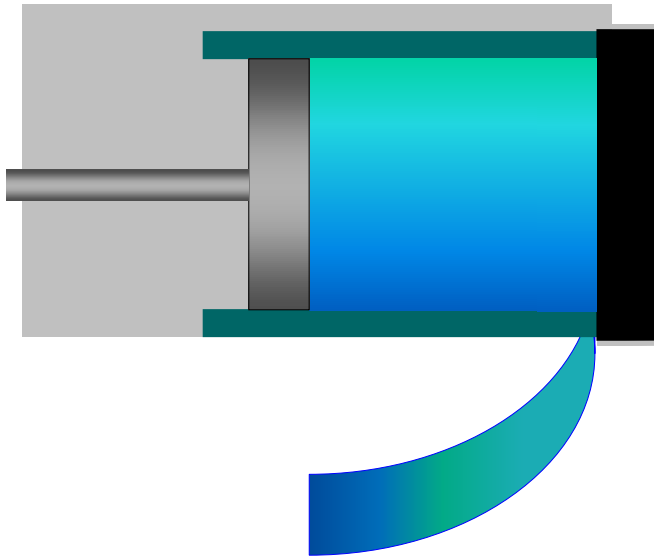


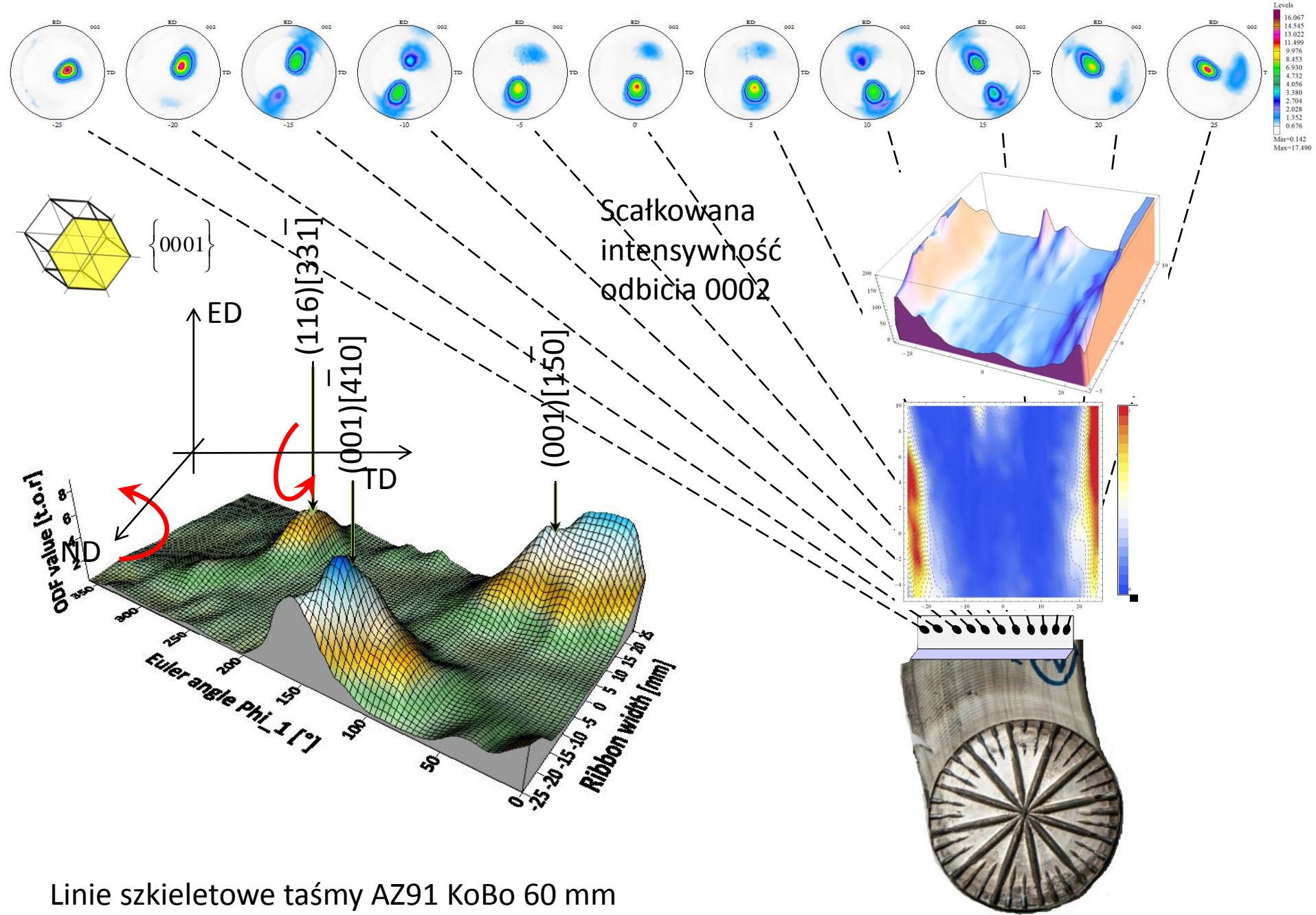
$$\varepsilon^L(\varphi, \psi, hkl) = \sum_{i,j=1}^3 F_{ij}(\varphi, \psi, hkl) \sigma_{ij}$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & 0 \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \longrightarrow \sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & 0 \end{bmatrix}$$



Technologia KoBo (Mg-AZ31 & Mg-AZ91 alloys)





Linie szkieletowe taśmy AZ91 KoBo 60 mm



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



INSTYTUT METALURGII
I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ
im. Aleksandra Krupkowskiego
Polskiej Akademii Nauk

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Dziękuję za uwagę

- Interdyscyplinarne studia doktoranckie z zakresu inżynierii materiałowej z wykładowym językiem angielskim •

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk

Ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków, tel. + 48 (12) 295 28 28, faks. + 48 (12) 295 28 04

<http://www.imim-phd.edu.pl/>

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego