Equal Channel Angular Pressing — ECAP

PMT2406 – Mecânica dos Materiais Metálicos

Cláudio Geraldo Schön

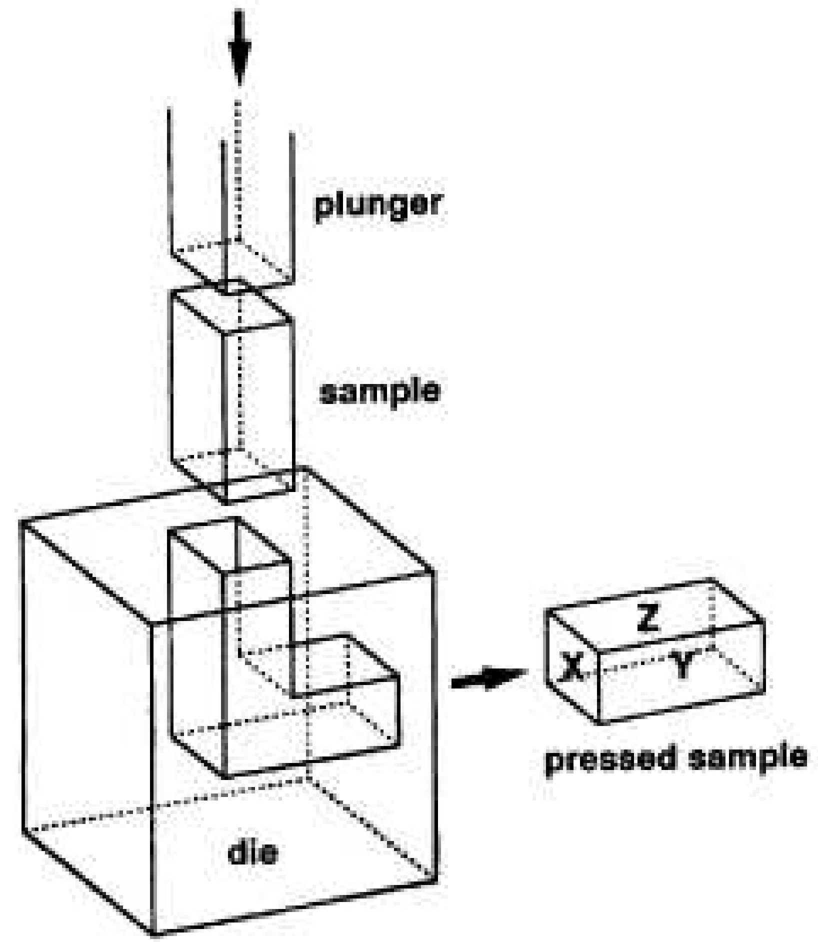
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

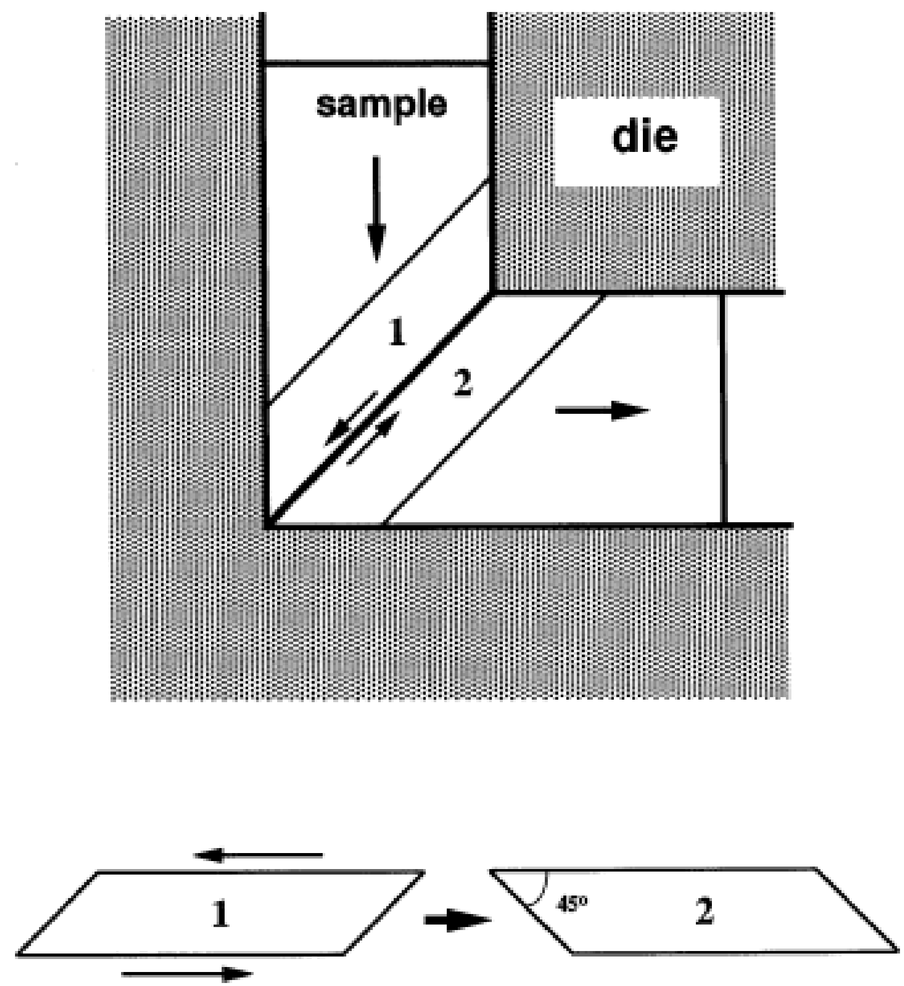
Equal-Channel Angular Pressing

Baseado em R. Z. Valiev, T. G. Langdon “Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement” *Progr. Mater. Sci.* **51** (2006) 881–981.

ECAP

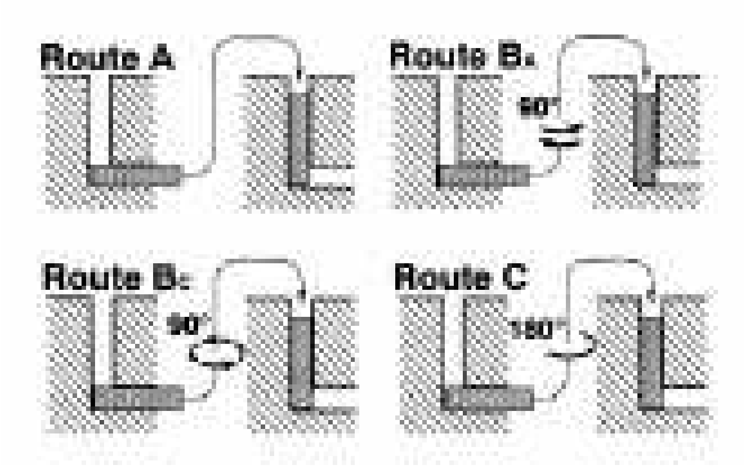


ECAP - Princípios

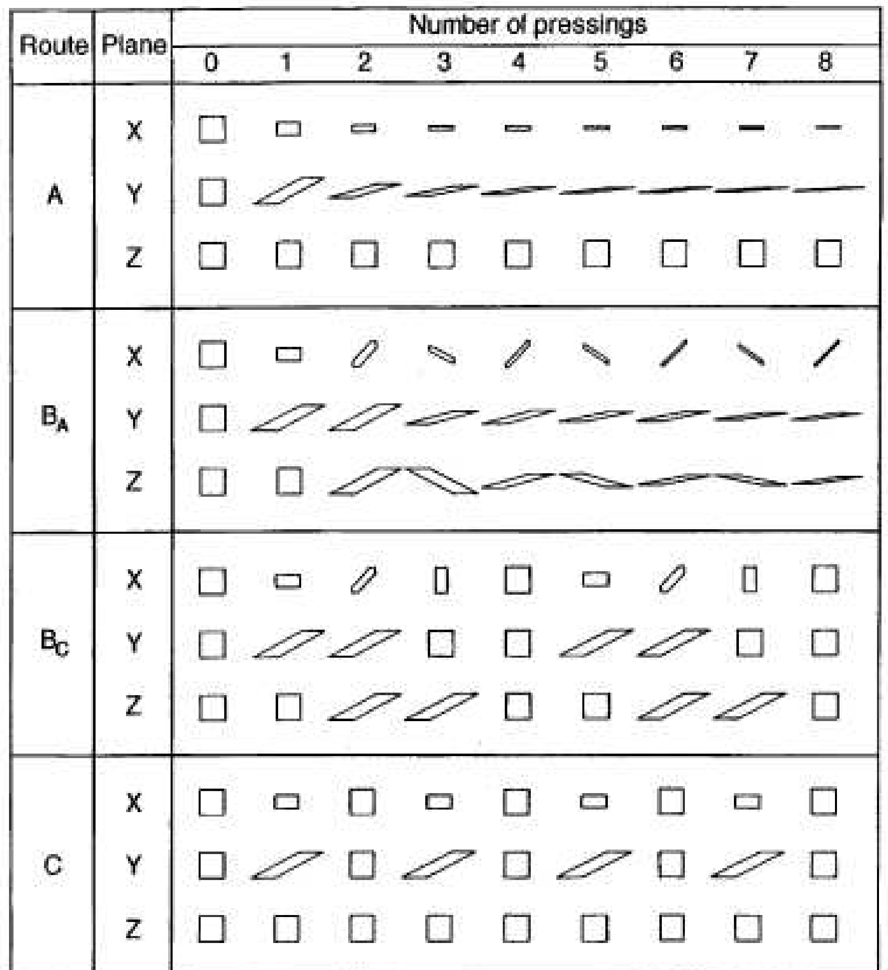


Rotas de processamento

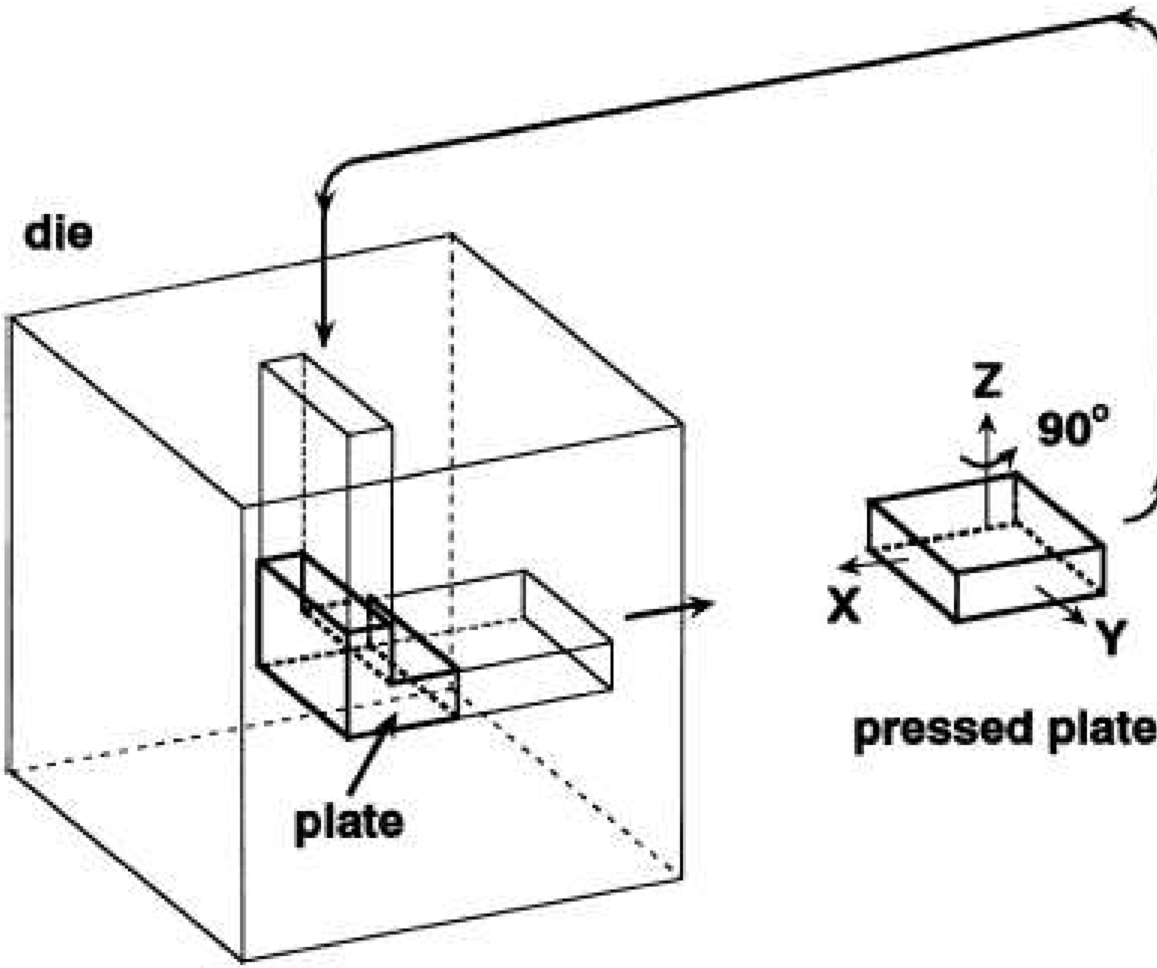
- Rota A (nenhuma rotação)
- Rota B_A ($\pm$ 90º em torno de X)
- Rota B_C (+ 90º em torno de X)
- Rota C (180º em torno de X)



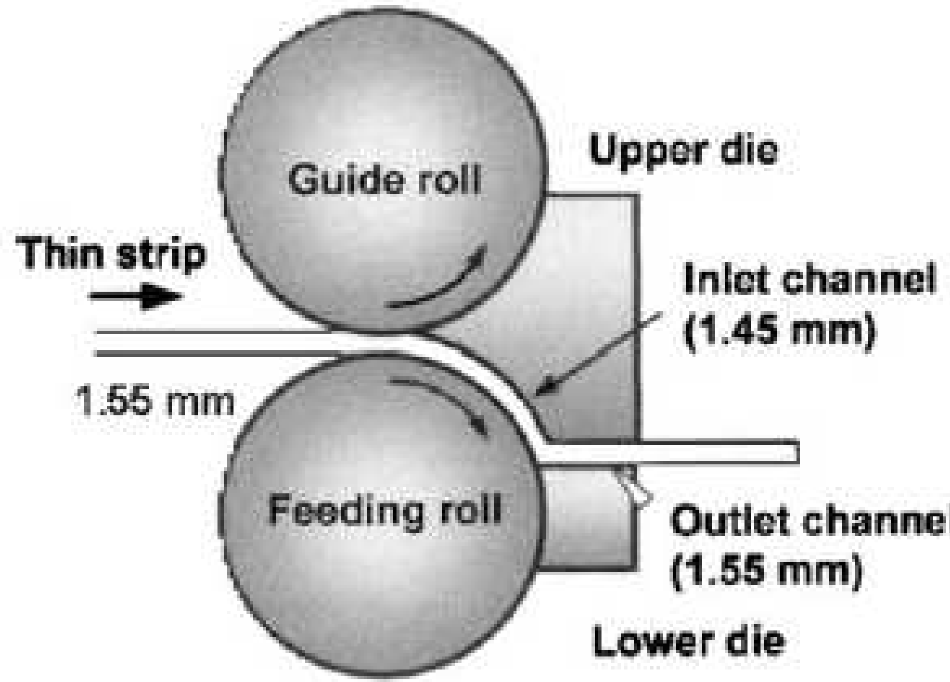
Rotas de processamento



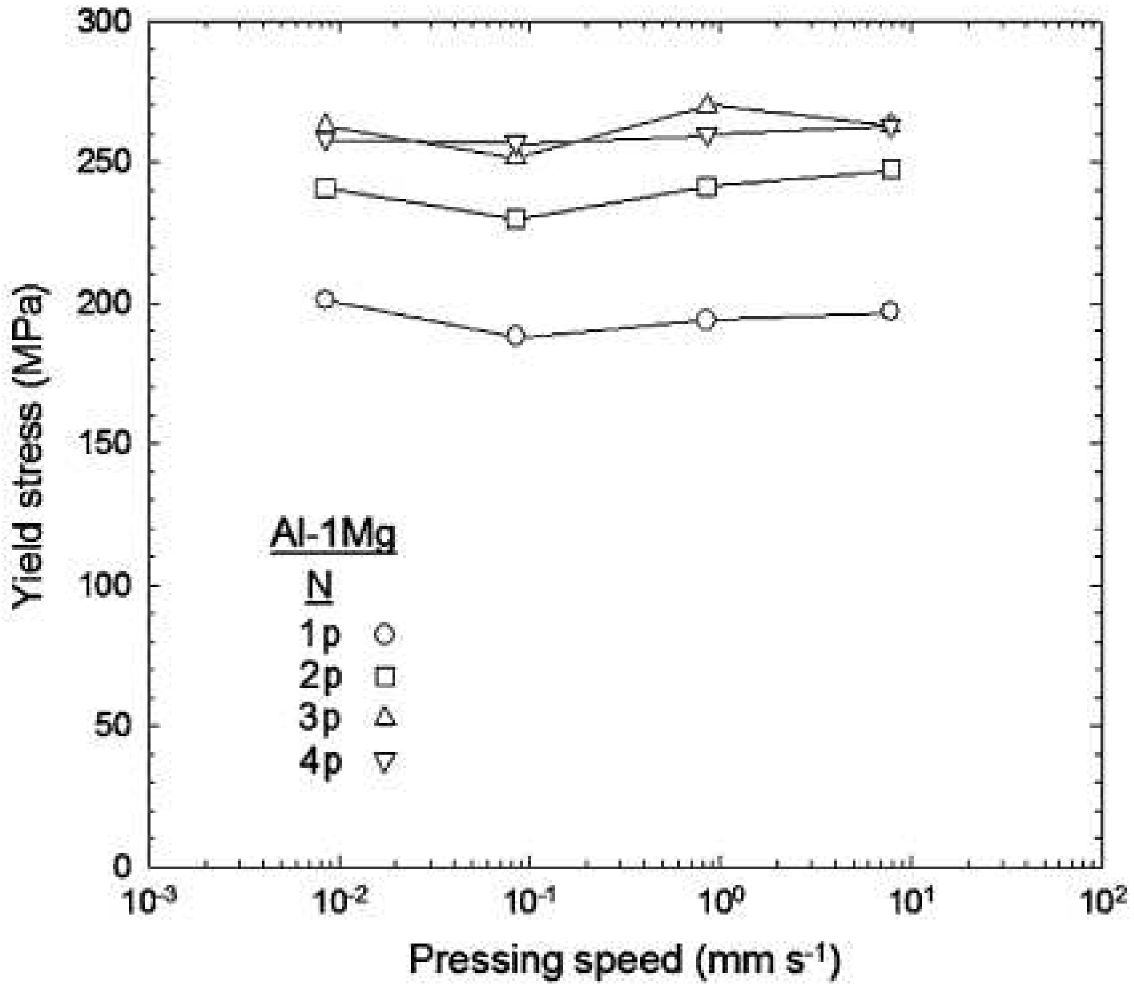
Rotas de processamento



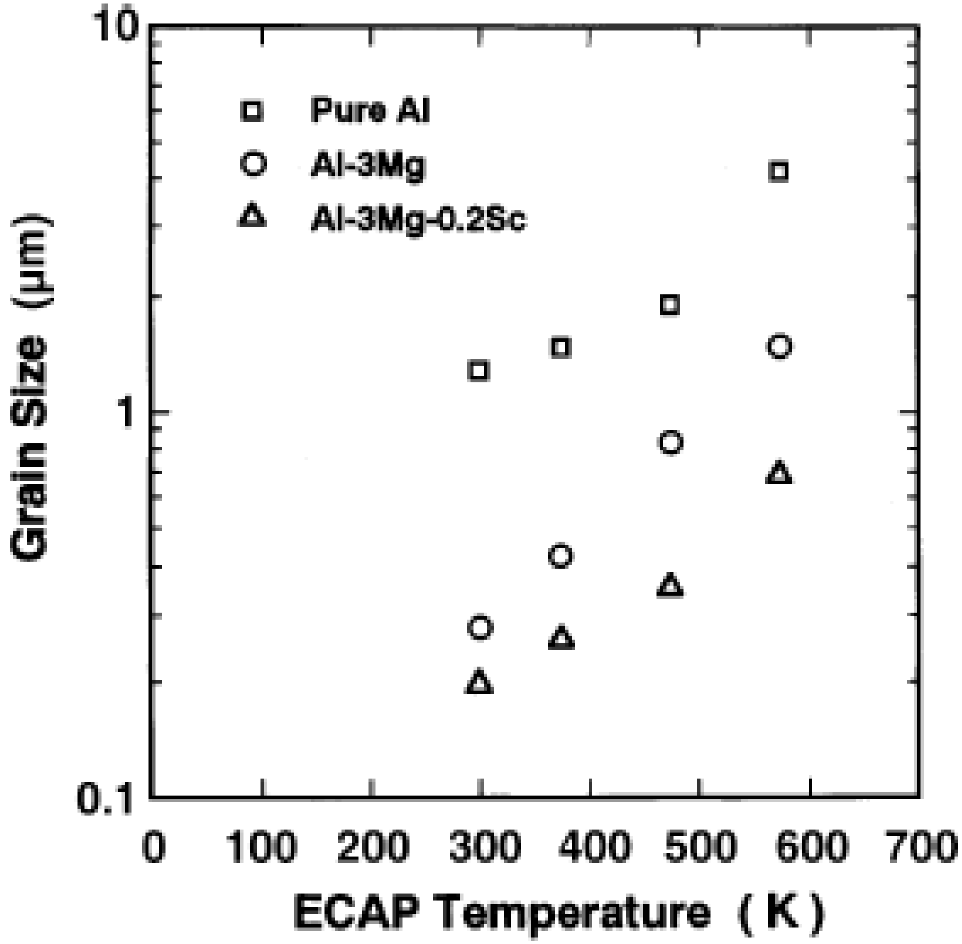
ECAP - contínuo



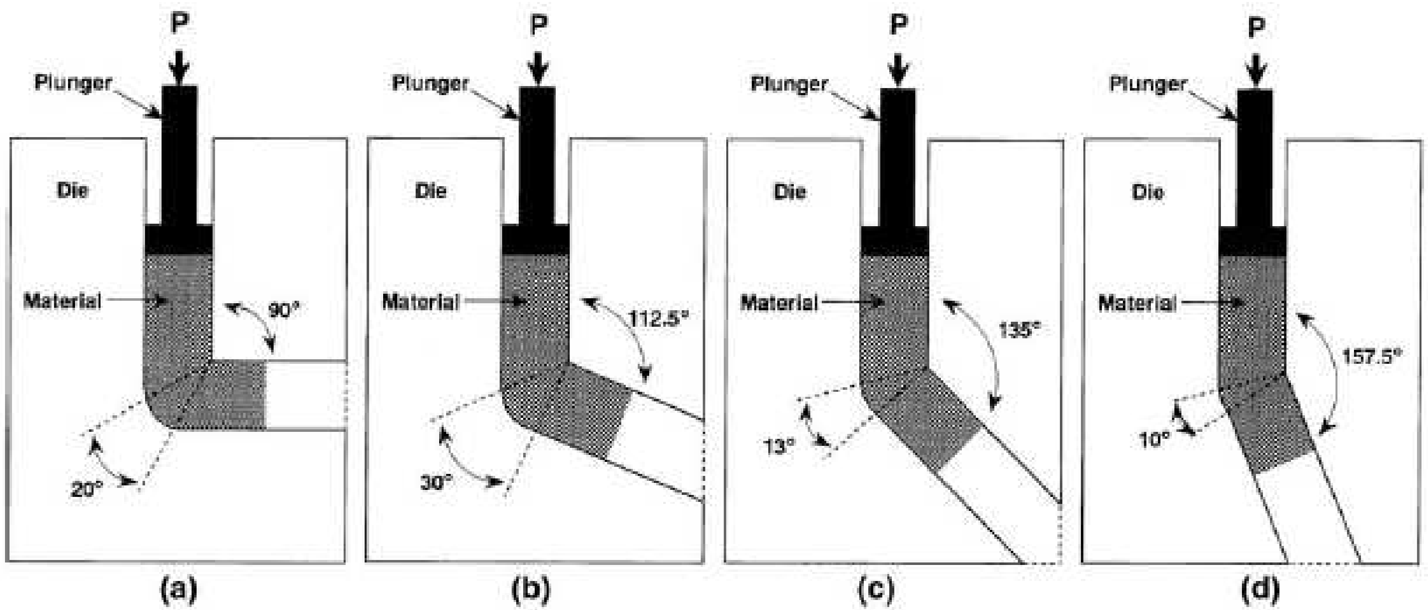
Velocidade de prensagem



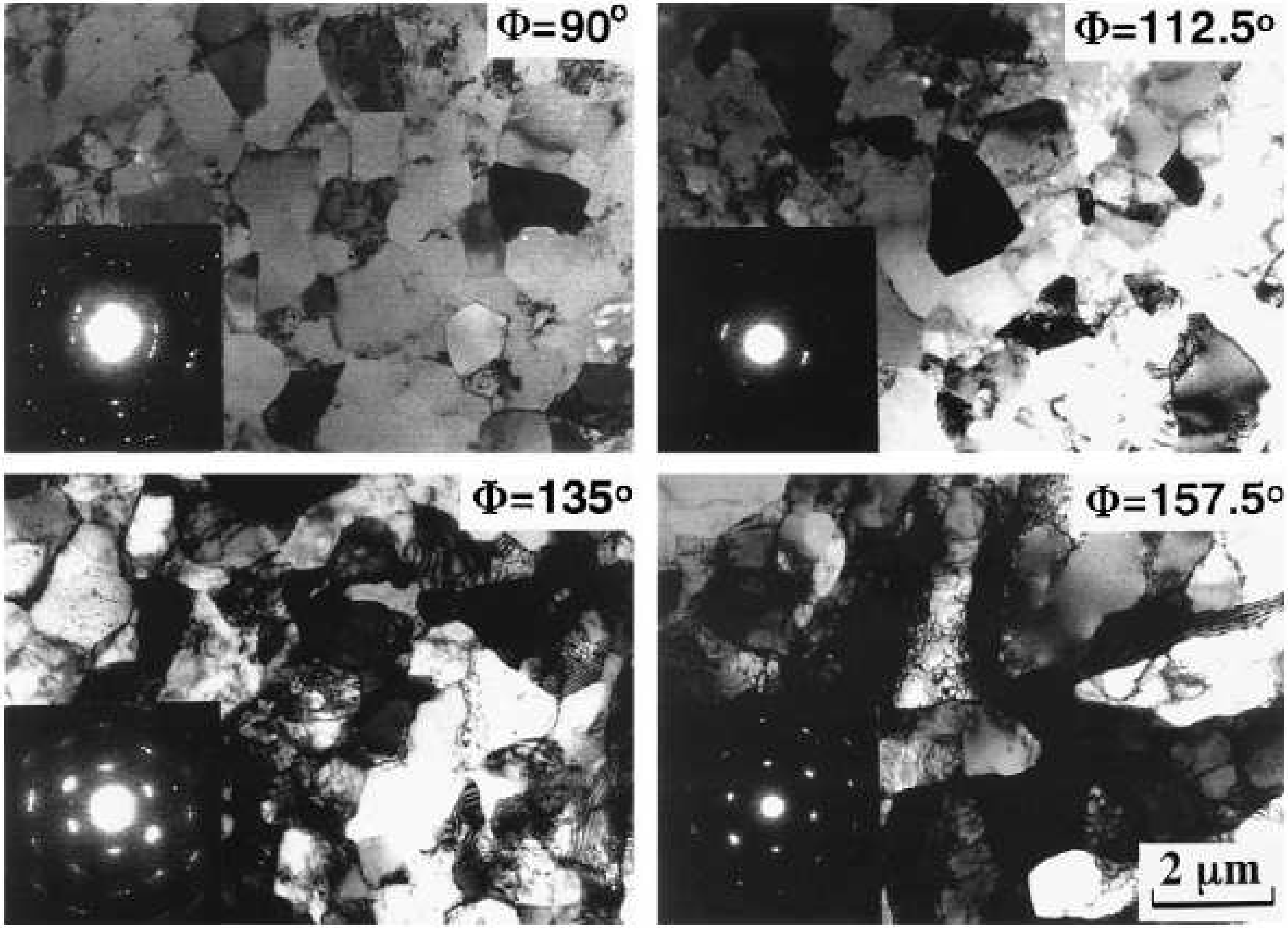
Temperatura



Ângulos



Ângulo

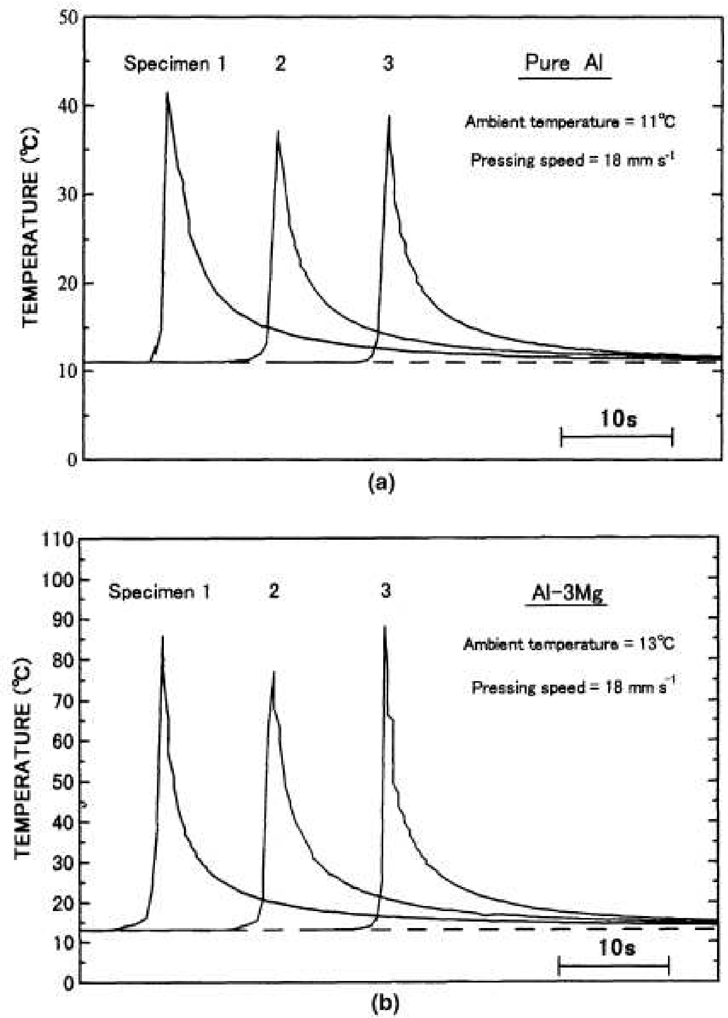


Ângulo

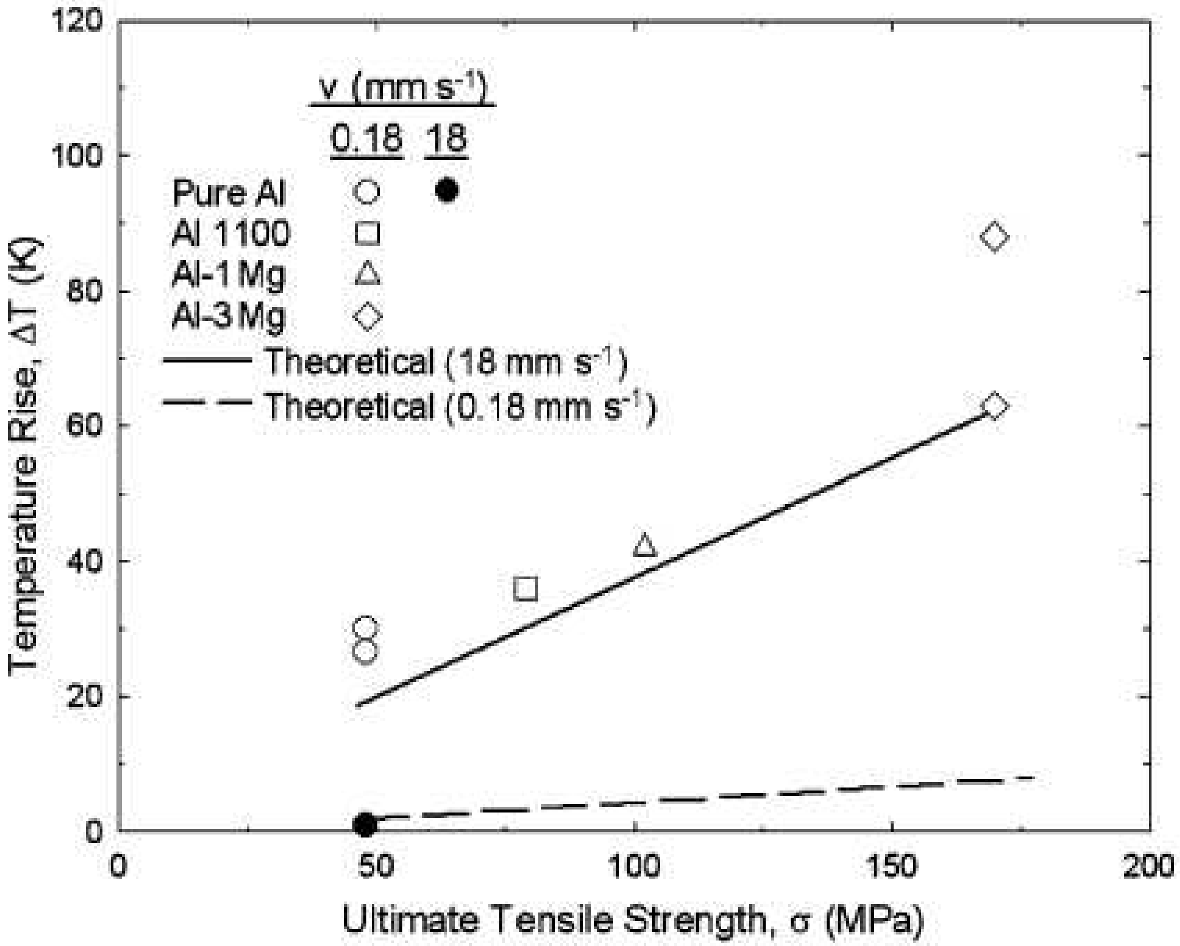
Tungstênio (W):

$\Phi = 110^\circ$, T = 1273K, 8 passes, rota C.

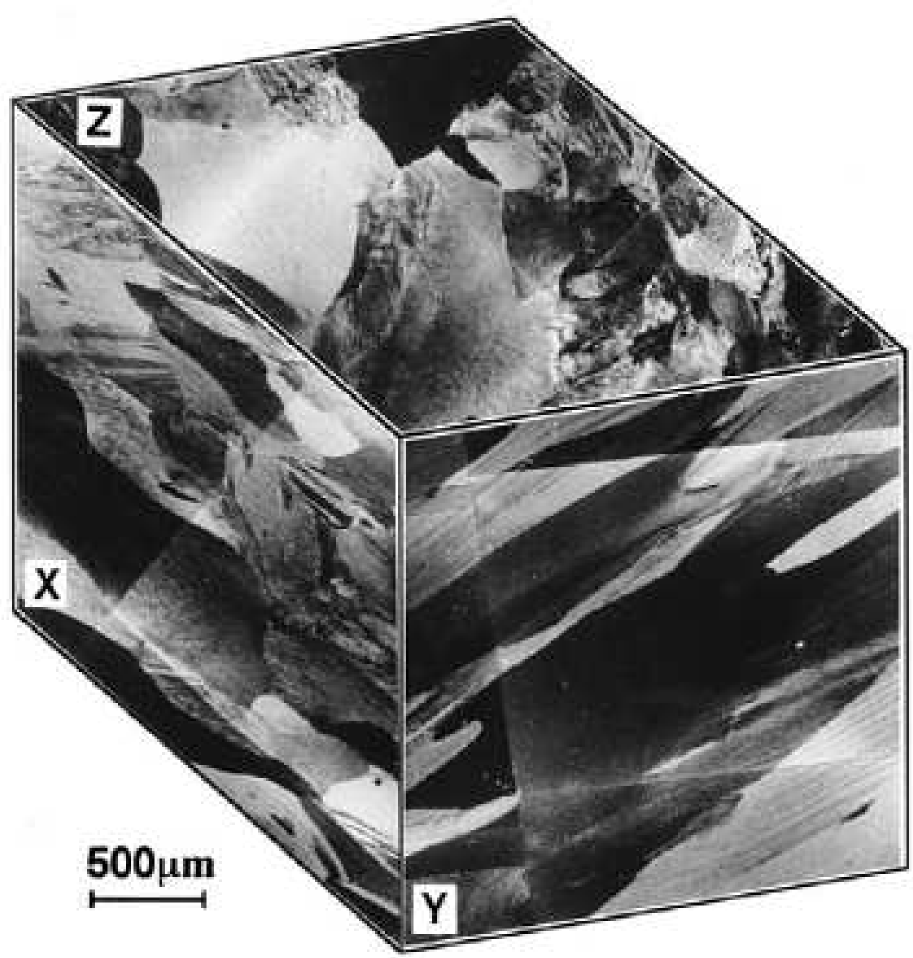
Aquecimento histerético



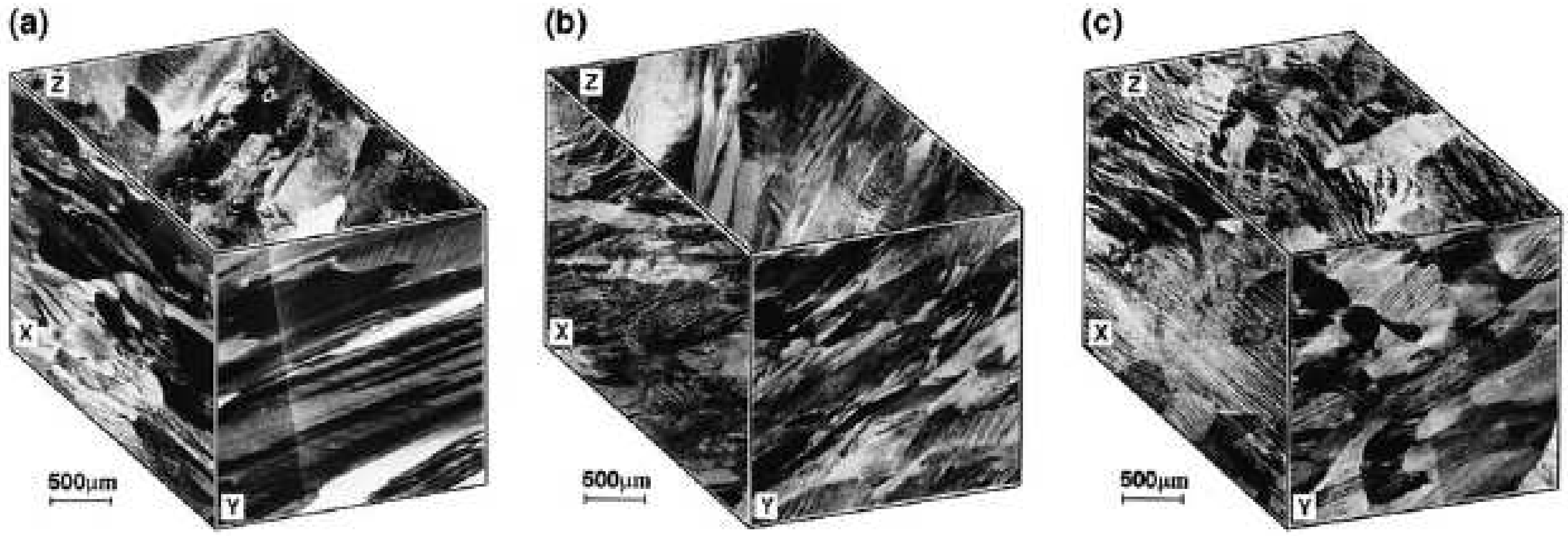
Aquecimento histerético



Após um passe de ECAP:

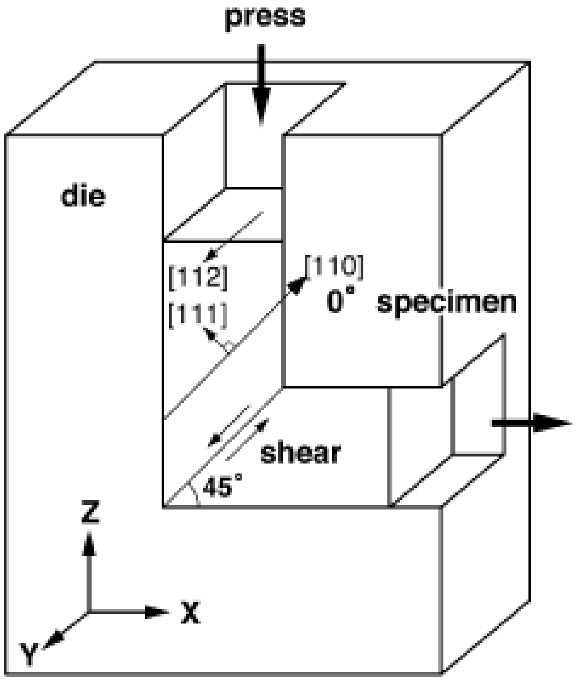


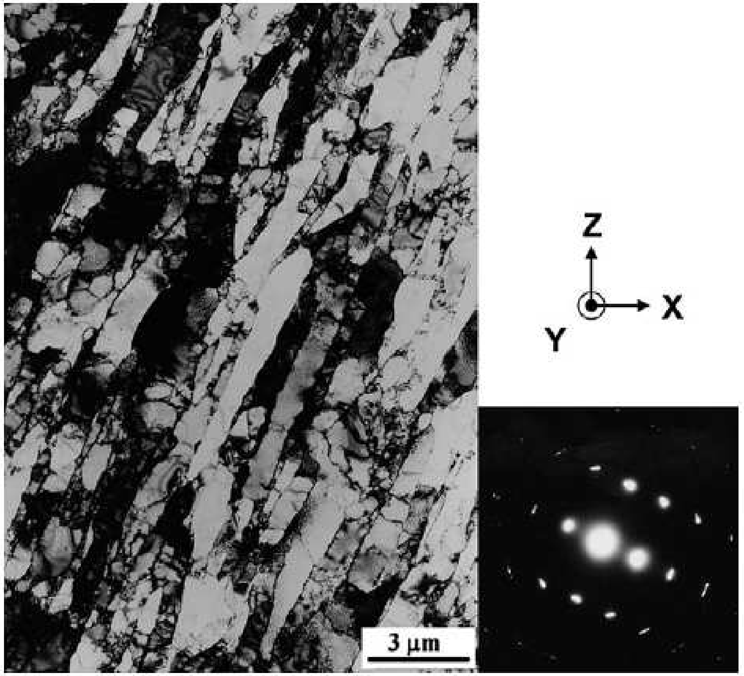
Após dois passes de ECAP:



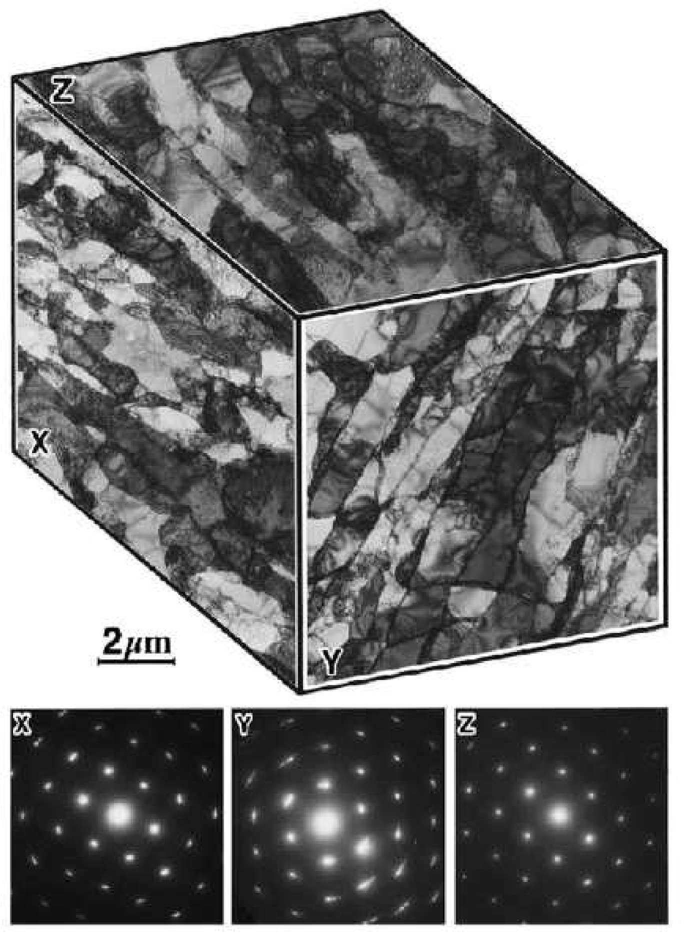
Microestrutura (monocristais)

Após um passe de ECAP:



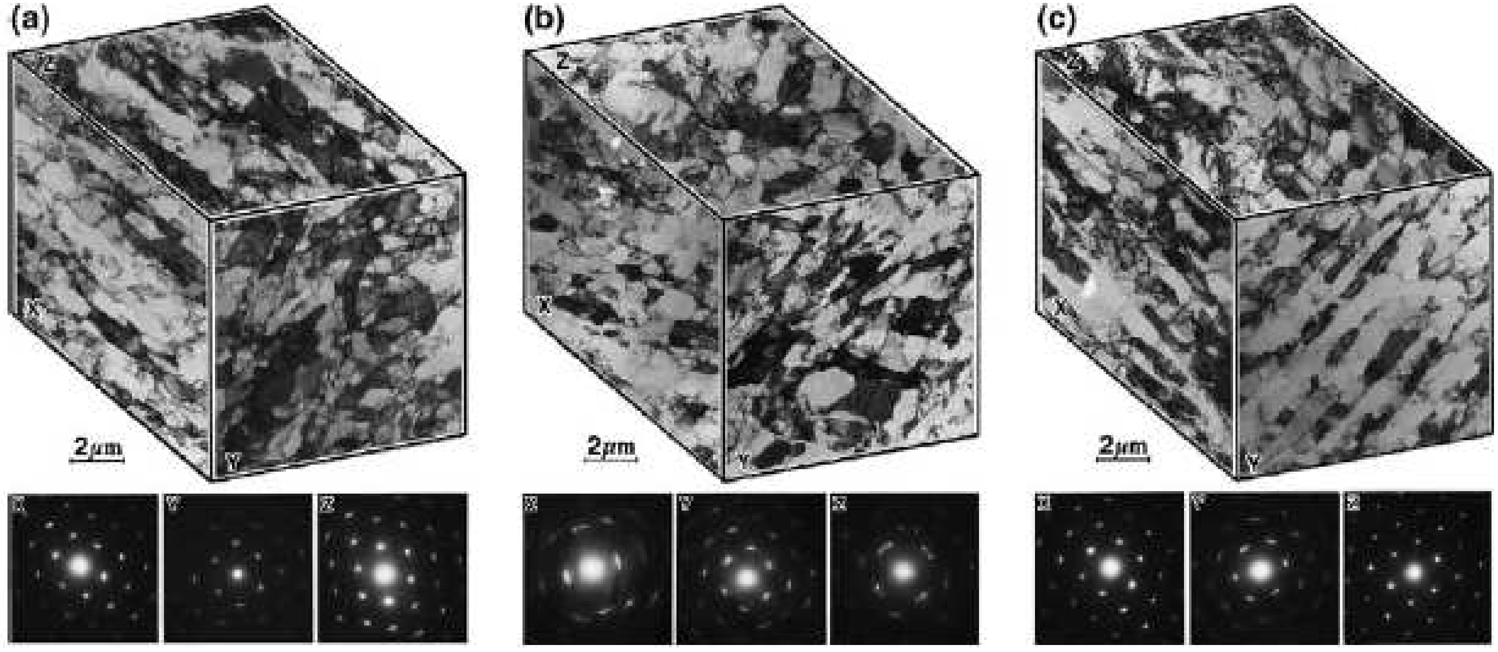


Após um passe de ECAP (Al):



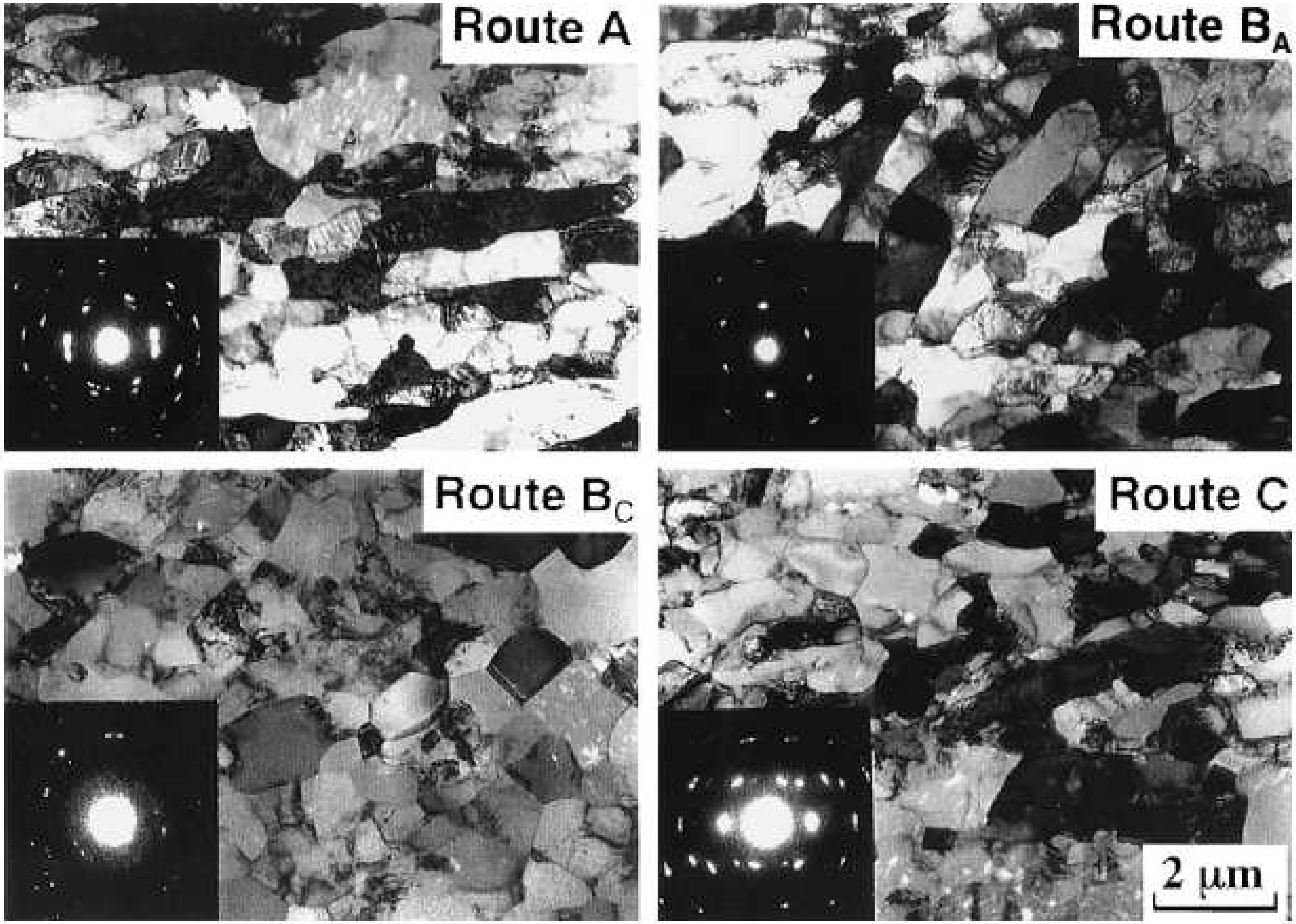
Microestrutura (metais puros)

Após dois passes de ECAP (Al):



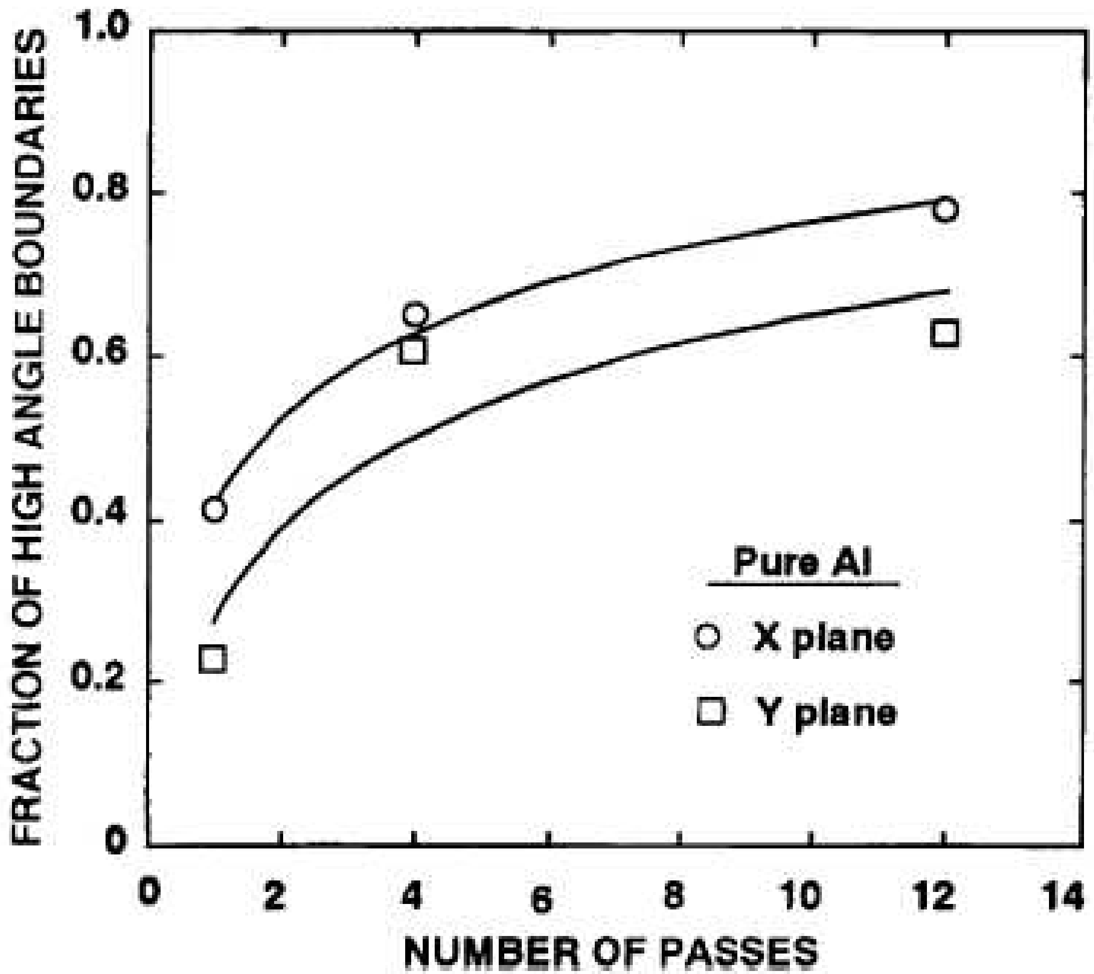
Microestrutura (metais puros)

Após quatro passes de ECAP:

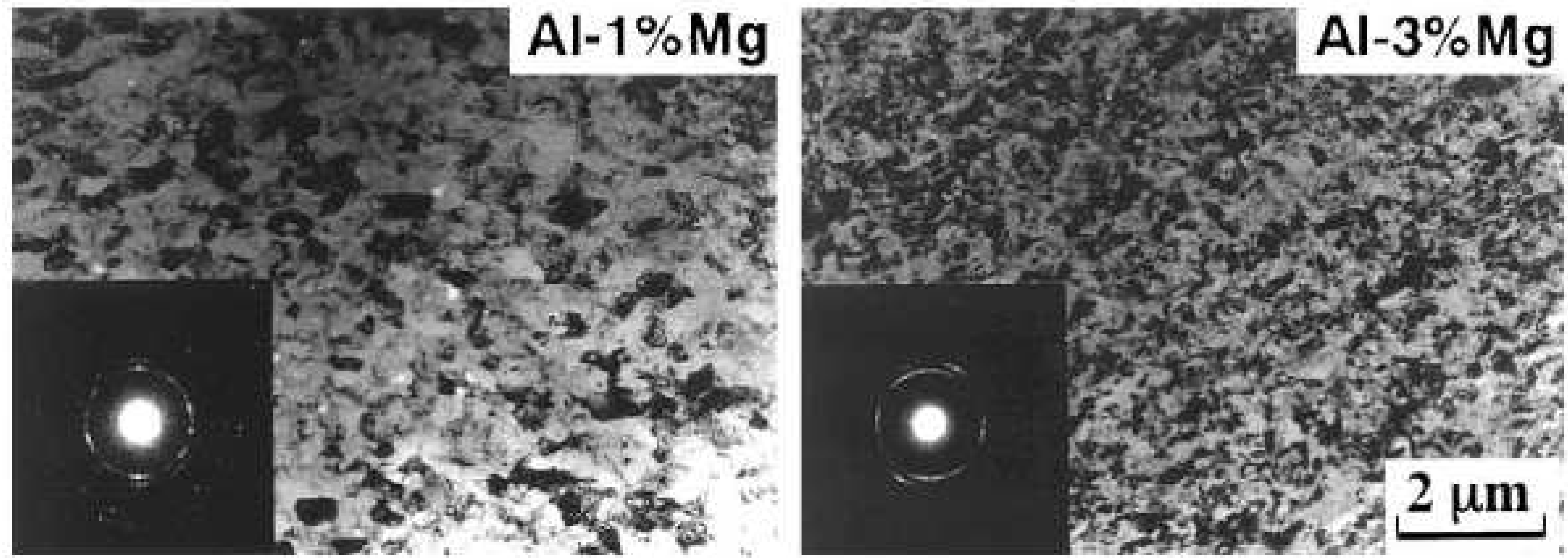


Microestrutura (contornos de grão)

Fração de contornos de alto ângulo na microestrutura:

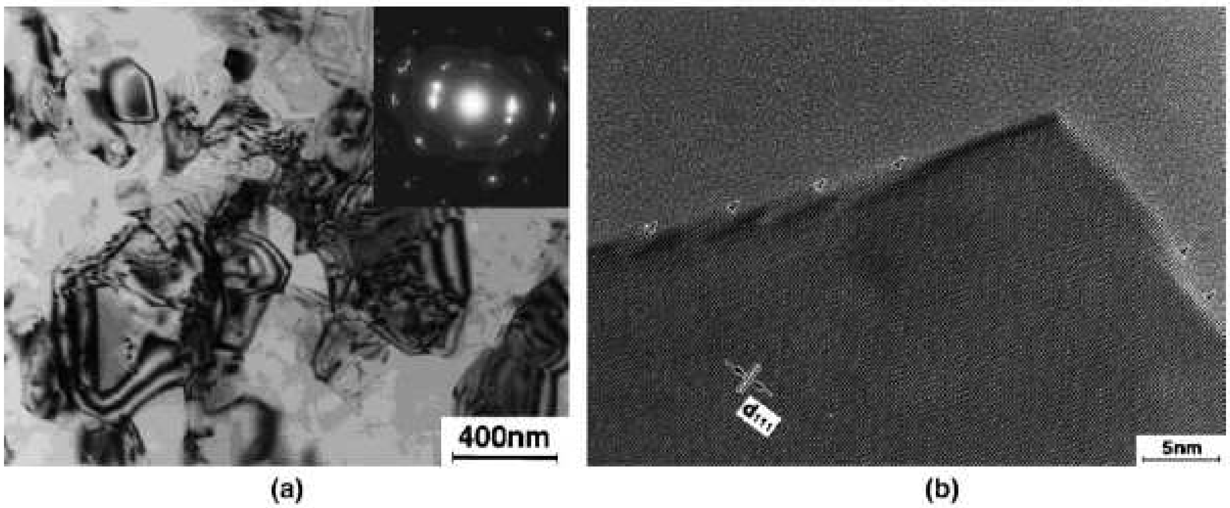


Al-1%Mg (após 6 passes) e Al-3%Mg (após 8 passese):



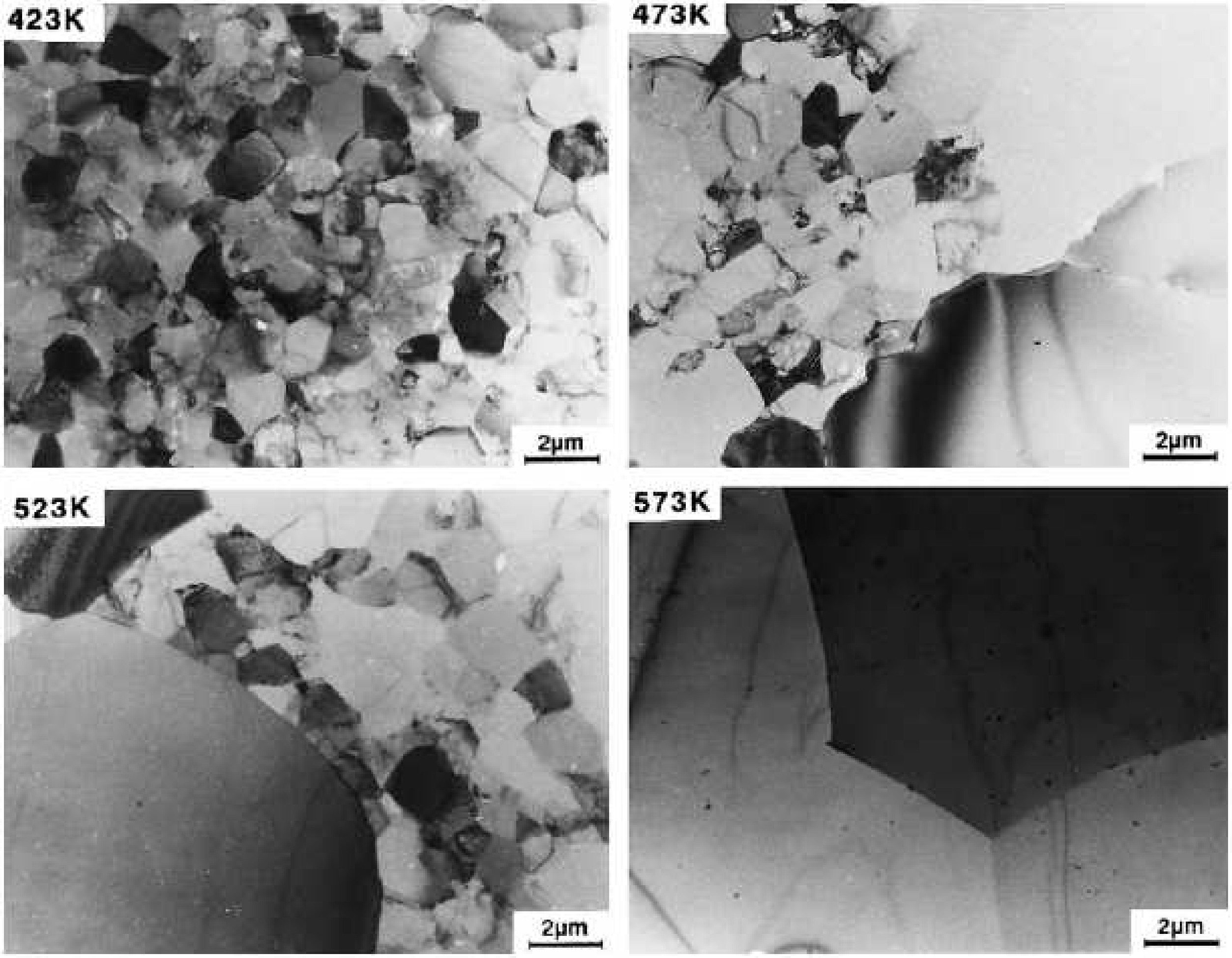
Microestrutura (ligas)

Al-3%Mg + recozimento a 473K/1h:



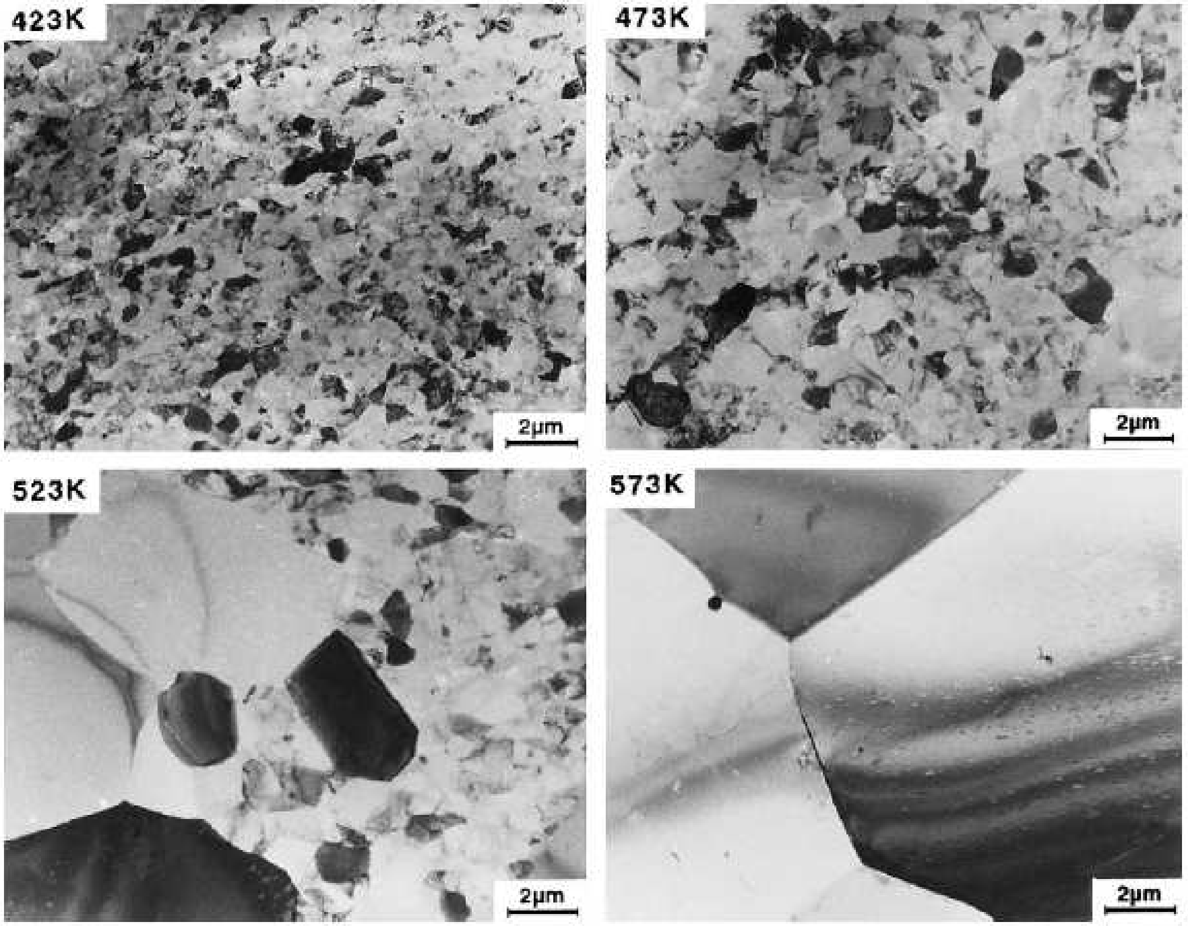
Recristalização

Al puro após 1 hora:



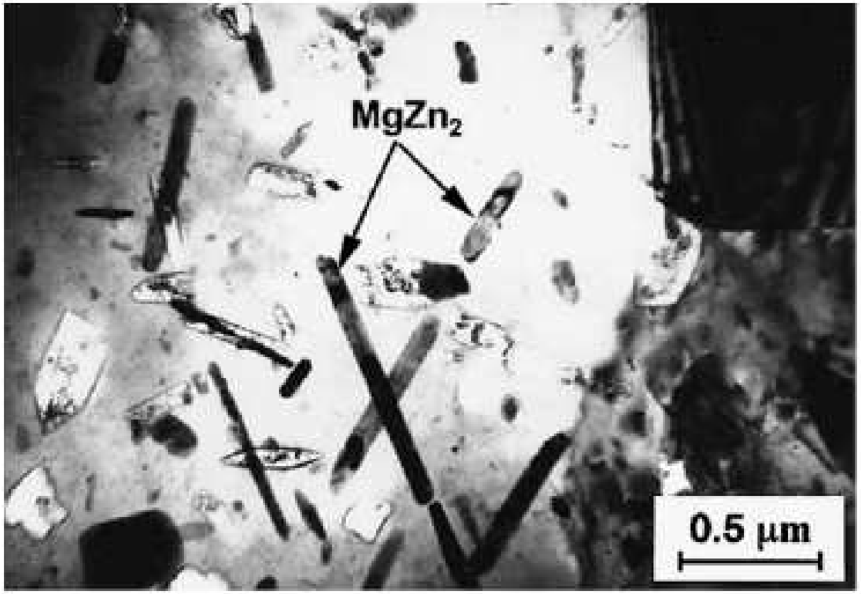
Recristalização

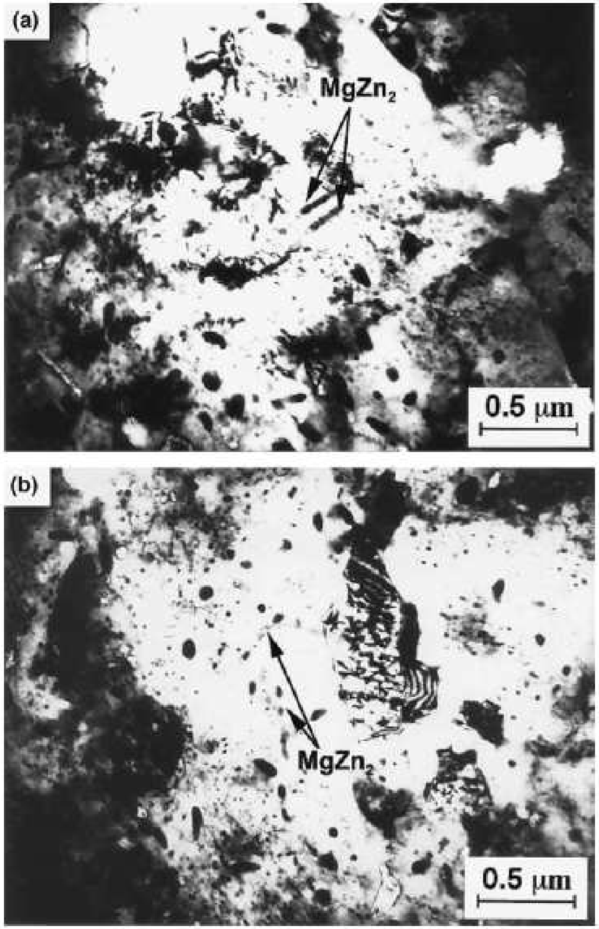
Al-1%Mg após 1 hora:



Precipitação

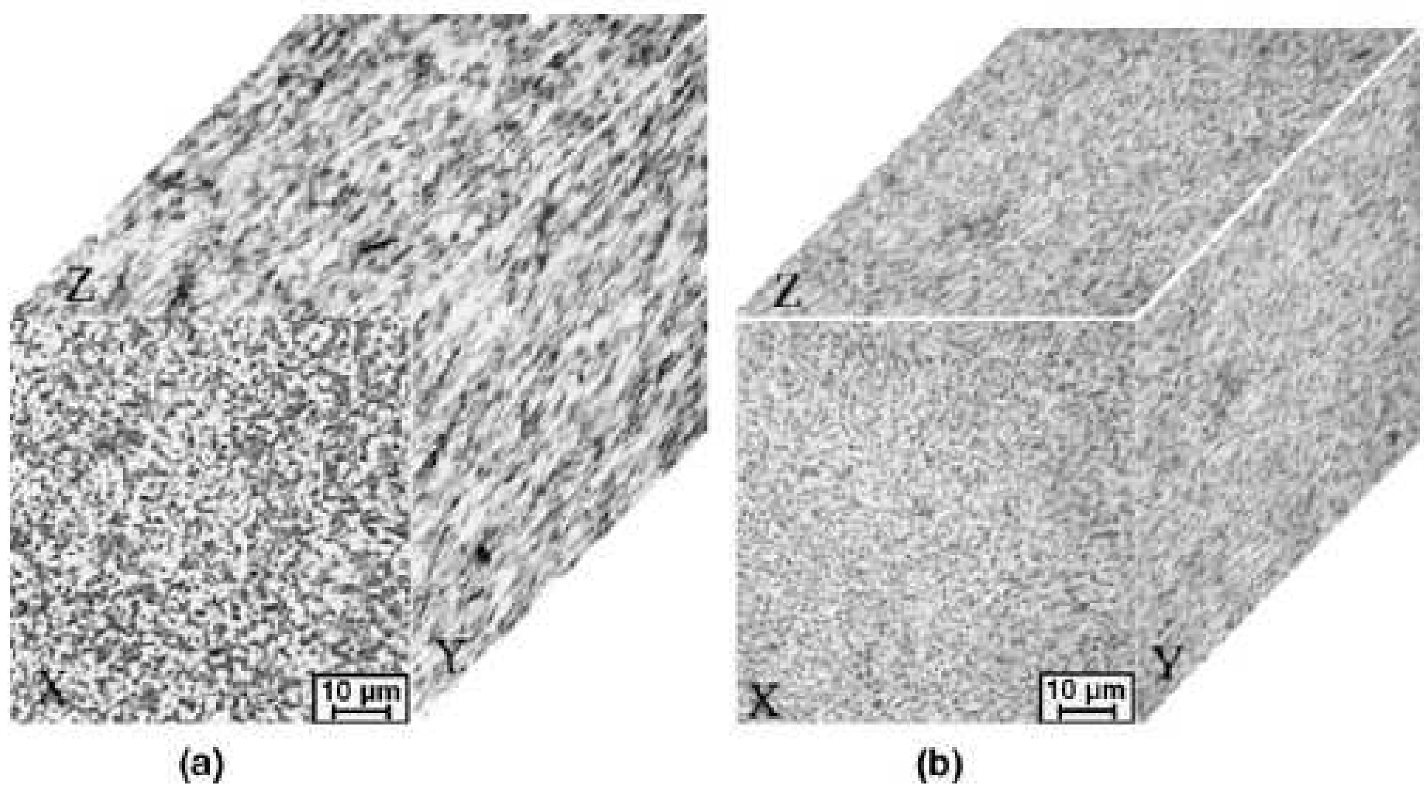
Al-Zn-Mg (AA7034), como recebido e após ECAP:





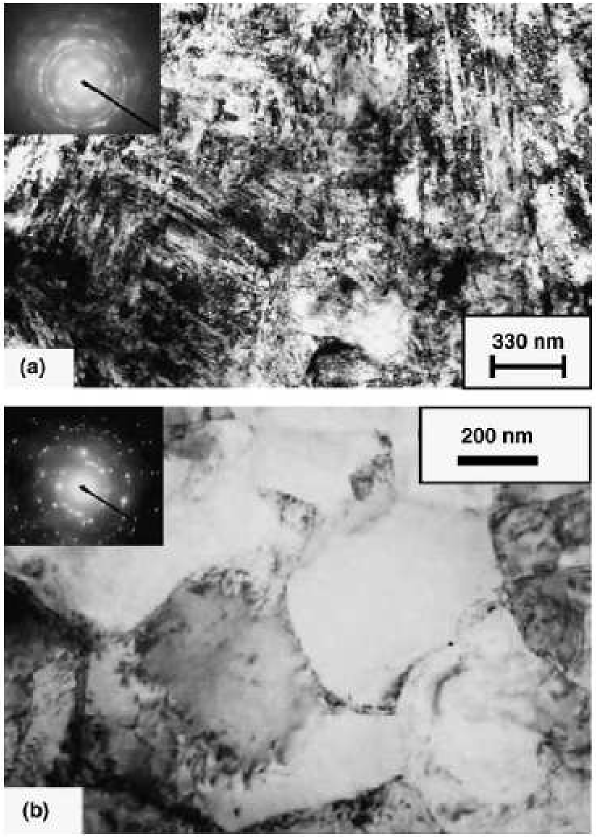
Ligas multifásicas

Ti-6Al-4V (α + β), (a) Ângulo de 135º e 12 passes, (b) Ângulo de 120 º e 8 passes:



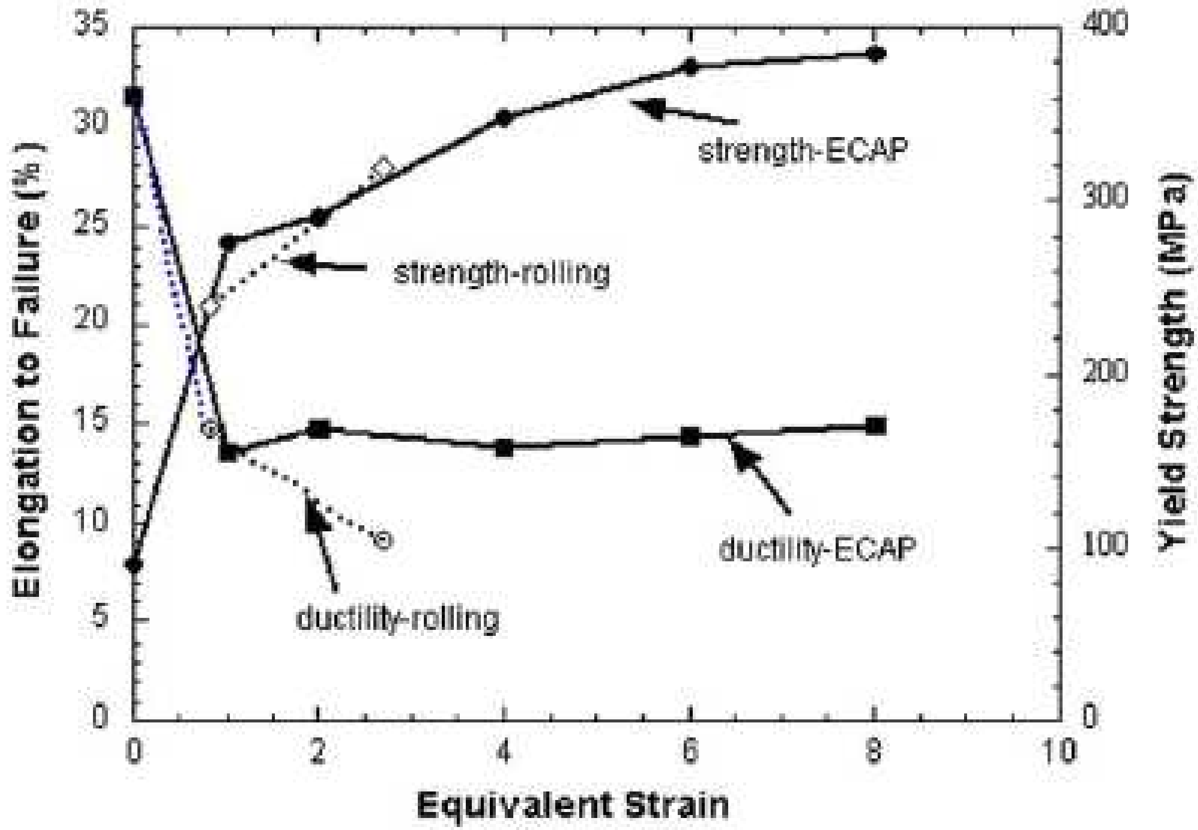
Ligas multifásicas

Ti-6Al-4V (α + β), (a) Ângulo de 135º e 12 passes, (b) Ângulo de 120 º e 8 passes:



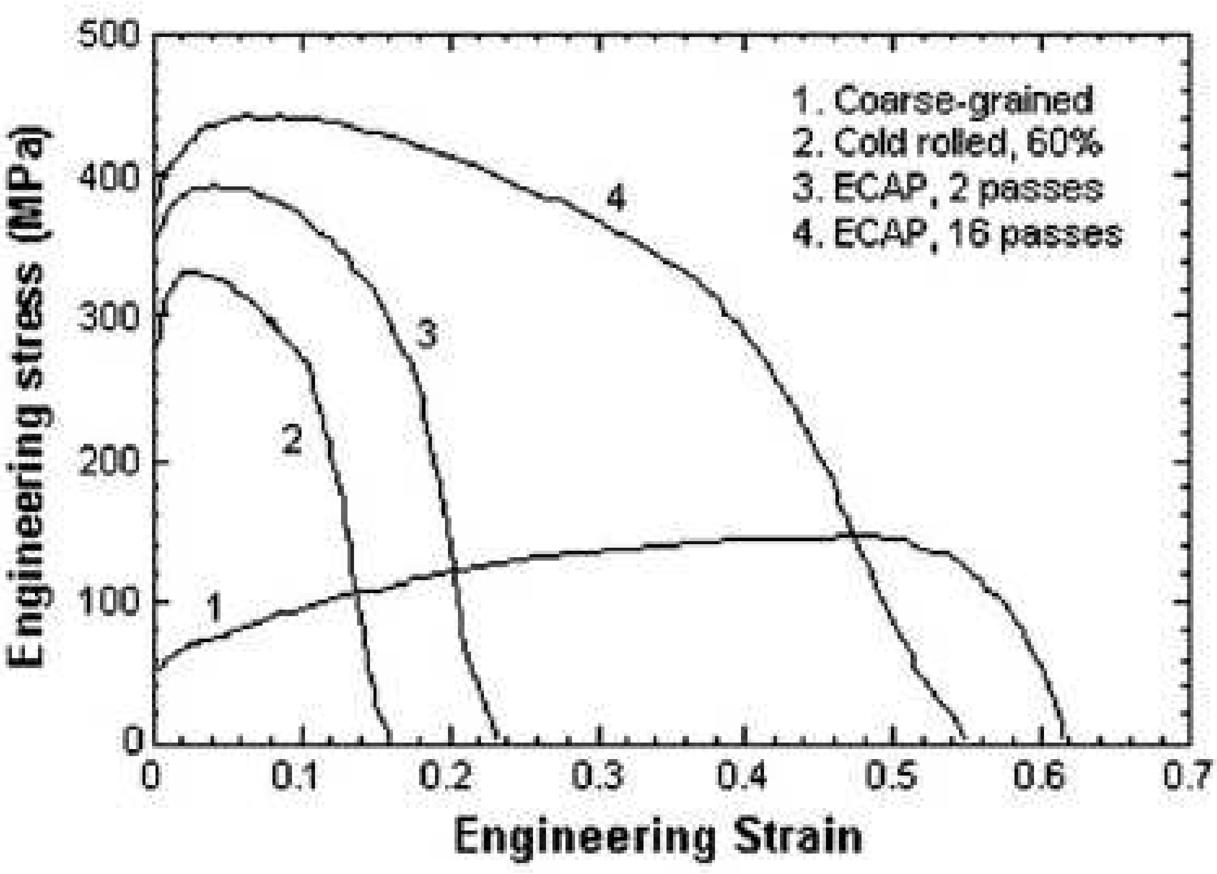
Propriedades mecânicas

Al-Mn (AA 3004), relação entre resistência e ductilidade após ECAP:

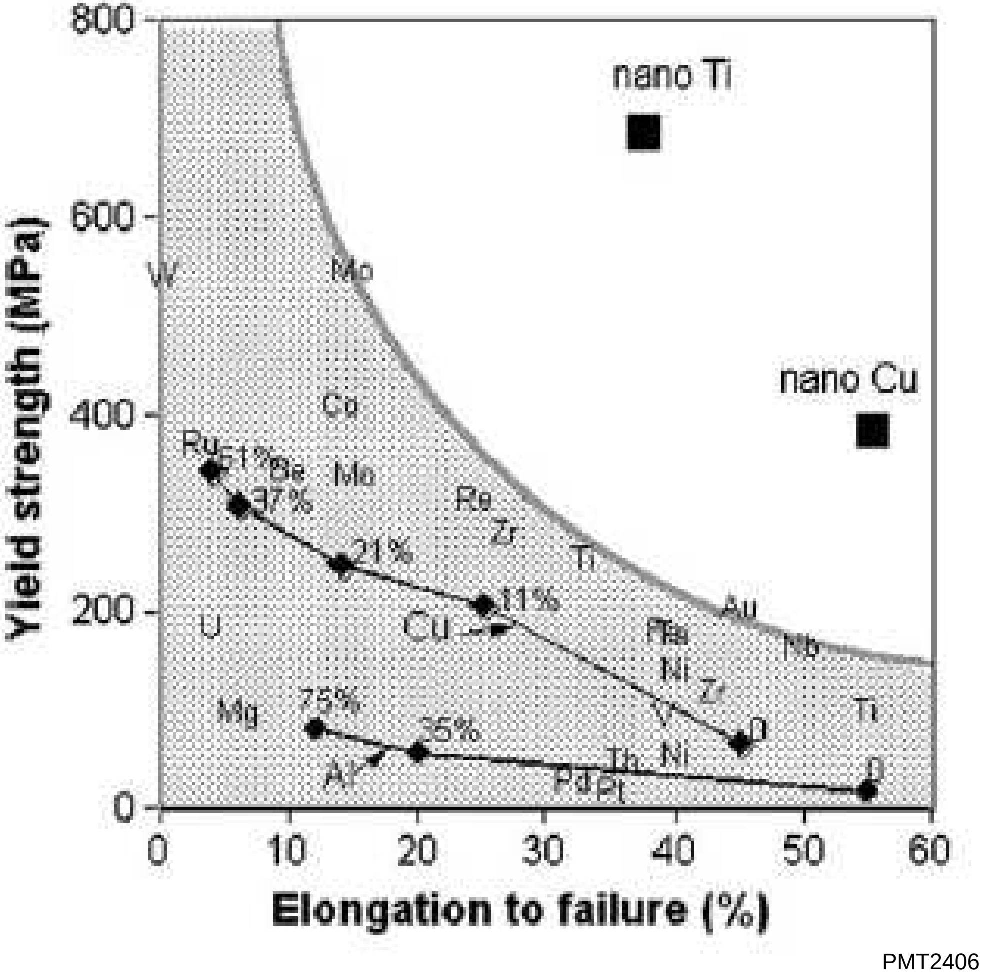


Propriedades mecânicas

Cu ($\dot{\varepsilon}$ = 10^{-3} s^{-1}, curvas tensão-deformação após ECAP:

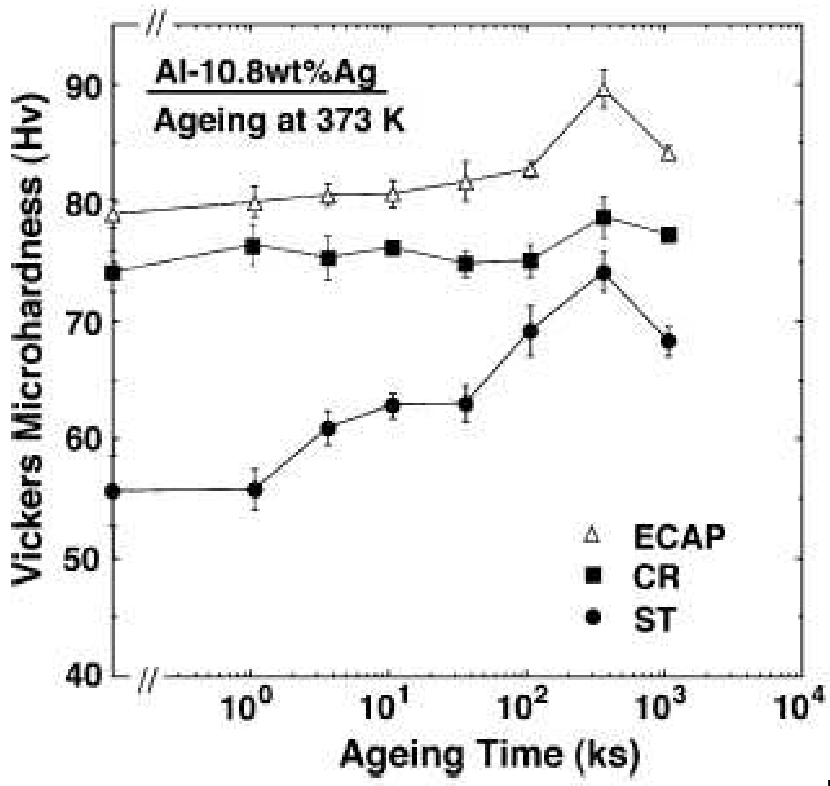


Quebra do paradigma Resistência - Ductilidade:



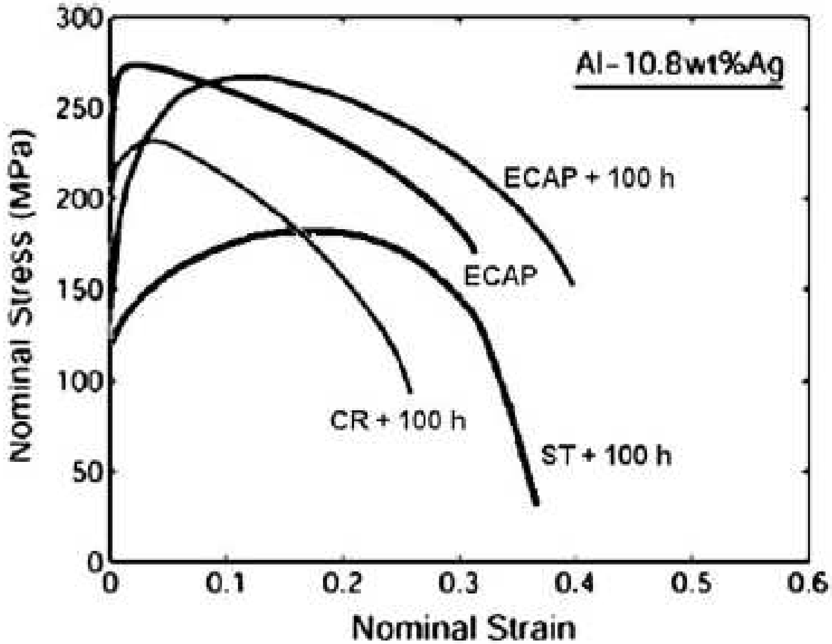
Propriedades mecânicas

Dureza Vickers da liga Al - 10.8% Ag em função do tempo de envelhecimento a 373K após solubilização (ST), laminação a frio (CR) e ECAP.



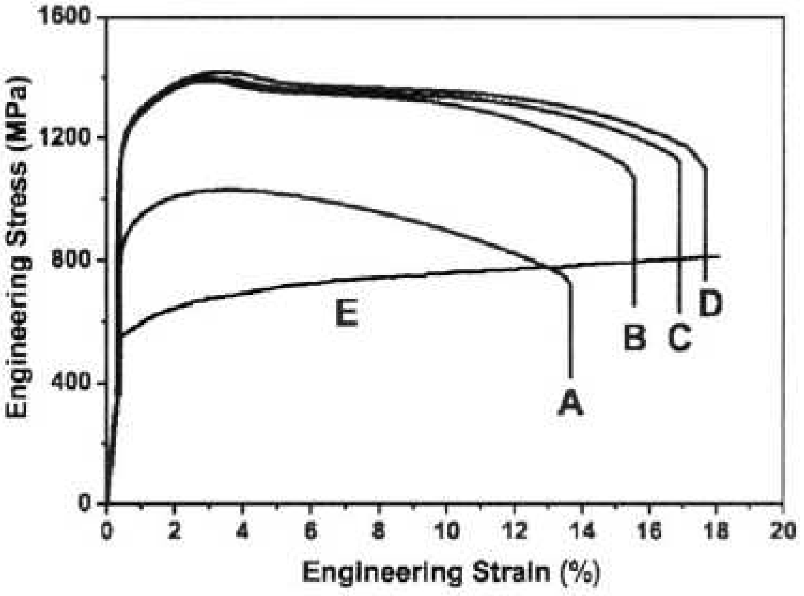
Propriedades mecânicas

Curvas $\sigma \times \varepsilon$ da liga Al - 10.8% Ag envelhecidas a 373K por 100h após solubilização (ST), laminação a frio (CR) e ECAP.



Propriedades mecânicas

Curvas tensão-deformação do titânio nanocristalino ($d = 260$ nm):



A $\rightarrow$ $T = 300$K, $\dot{\varepsilon} = 1 \times 10^{-3}$ s^{-1}

B $\rightarrow$ $T = 77$K, $\dot{\varepsilon} = 1 \times 10^{-3}$ s^{-1}

C $\rightarrow$ $T = 77$K, $\dot{\varepsilon} = 1 \times 10^{-2}$ s^{-1}

D $\rightarrow$ $T = 77$K, $\dot{\varepsilon} = 1 \times 10^{-1}$ s^{-1}

E $\rightarrow$ Ti convencional a 77K

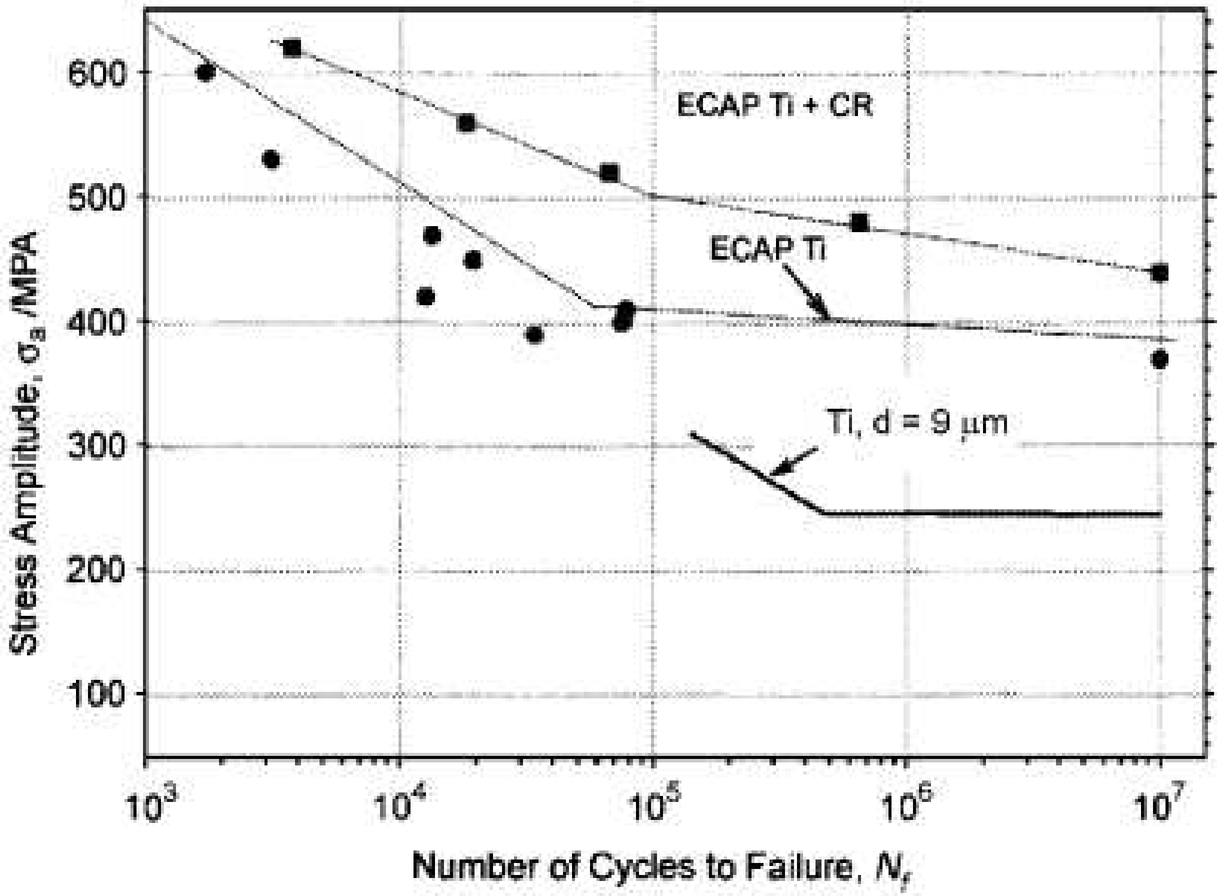
Propriedades mecânicas

Fadiga:

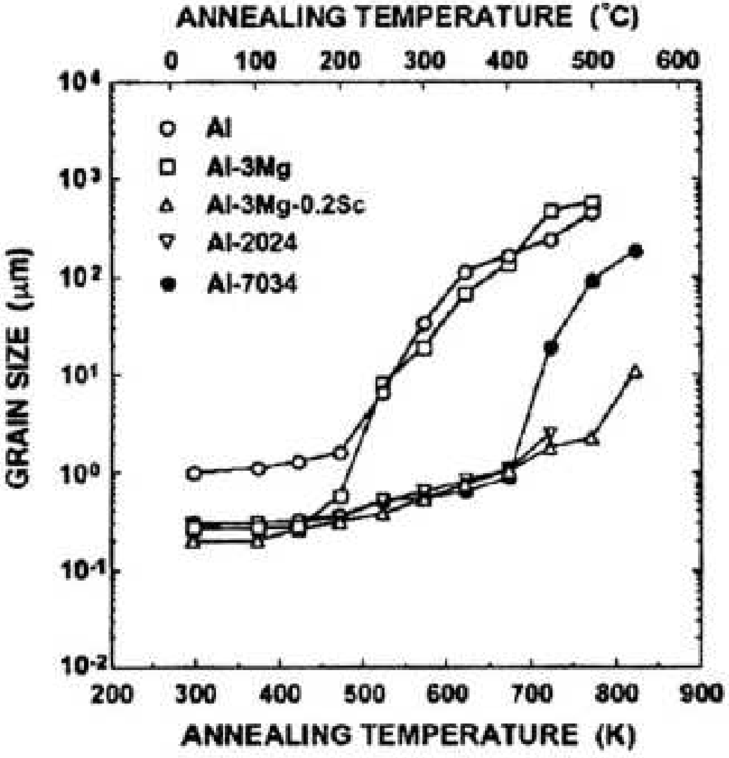
- Nucleação da trinca é controlada pela resistência do material
- Propagação da trinca é controlada pela ductilidade do material

$\Rightarrow$ Aumento da resistência à fadiga em materiais processados por ECAP.

Curvas S-N do titânio nanocristalino:

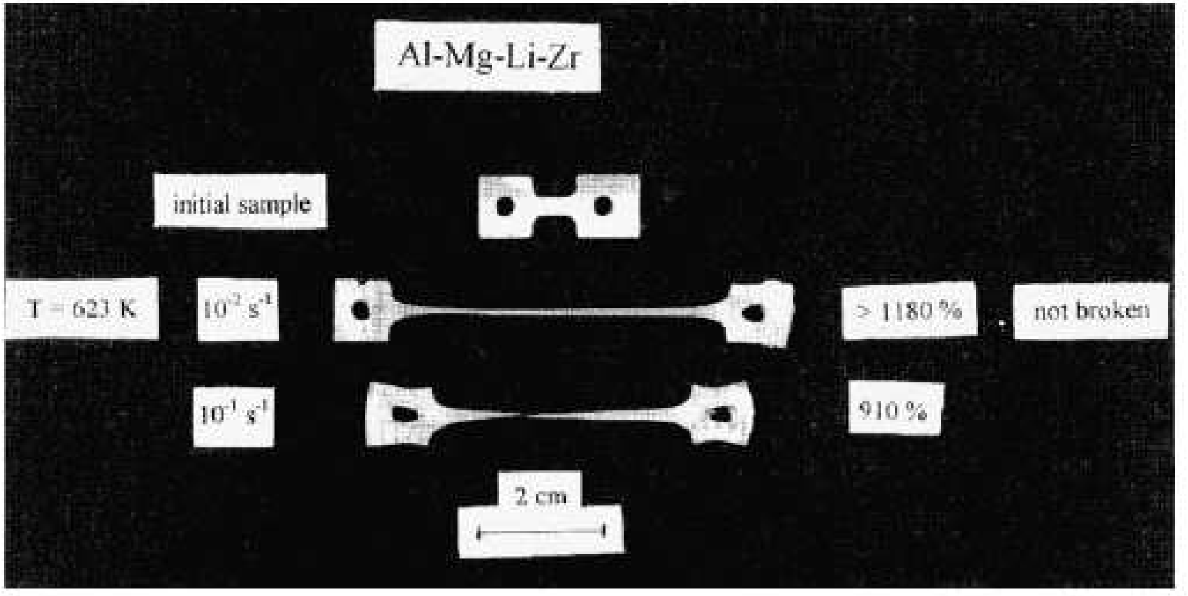


Estabilidade térmica ✗



Propriedades mecânicas

Superplasticidade ✓



Superplasticidade ✓