DEMa UFSCar
cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC
UFSCar

Modelagem da cinética de maclação e evolução de discordâncias durante deformação criogênica monitorada *in situ* por difração síncrotron na estação XTMS

Diogo Pedrino Braga[1]; Osvaldo Cintho Cintho[2]; Andrea Madeira Kliauga[1]; Pedro Henrique Fernandes Oliveira[1]; Tamires Brekailo[2], Danielle Cristina Camilo Magalhães[1]

1. Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
2. Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

Introdução

- Ligas Cu-Zn com baixa EFE combinam resistência e ductilidade via maclação mecânica (TWIP);
- A deformação criogênica reduz a EFE e suprime a recuperação dinâmica;
- Análises *ex-situ* sofrem recuperação estática após a deformação, então faltam dados *in-situ* durante tração criogênica;
- Neste trabalho, a Gleeble 3S50 integrada à linha XTMS do LNLS/CNPEM foi usada para acompanhar em tempo real a evolução microestrutural sob tração criogênica.

Objetivos

- Investigar o comportamento mecânico e a evolução microestrutural do latão-α durante tração criogênica (123–273 K);
- Quantificar in-situ, por XRD síncrotron acoplado à Gleeble, a evolução de densidade de discordâncias, tamanho de cristalito, microdeformação e cinética de maclação;
- Correlacionar armazenamento de discordâncias e maclação com o endurecimento por deformação.

Metodologia

- Material: Cu-30Zn (latão-α) recozido a 500 °C/1 h para condição inicial recristalizada;
- Ensaios de tração *ex-situ* em 123, 173, 223 e 273 K, taxa de deformação 1×10^{-3} s^{-1}, para obtenção das curvas tensão–deformação;
- Ensaios *in-situ* na Gleeble 3S50 integrada à linha XTMS/LNLS/CNPEM, com aquisição simultânea de DRX síncrotron durante a tração criogênica, nas condições: 123, 173 e 223 K; feixe de 12 keV (λ = 1,0332 Å); padrões DRX coletados a cada 4–10 s em 2θ = 60–105°.

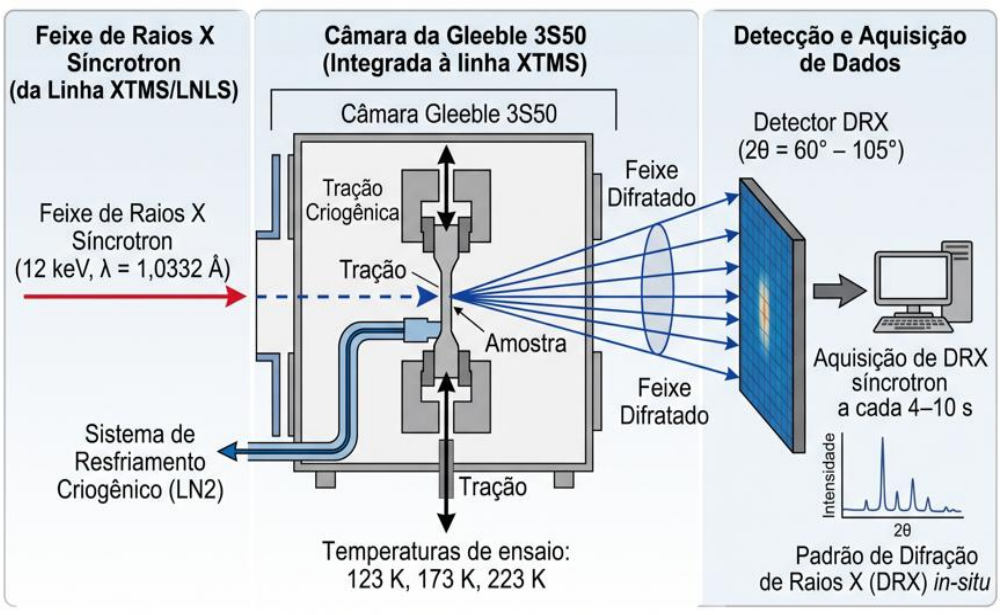


Figura 1 – Arranjo experimental: Gleeble 3S50 integrada à linha XTMS/LNLS para tração criogênica com aquisição simultânea de DRX síncrotron.

Resultados e Discussão

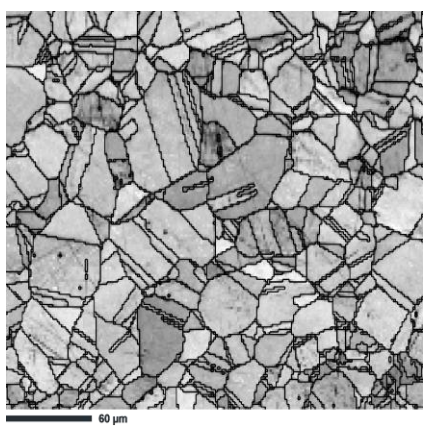


Figura 2 – Microestrutura do latão Cu-30Zn recozido.

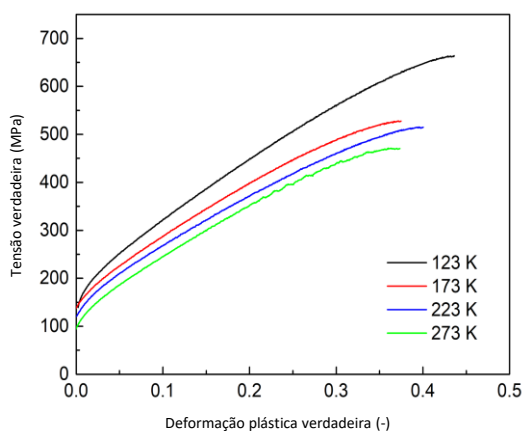


Figura 3 – Curvas tensão-deformação verdadeira do latão Cu-30Zn recozido.

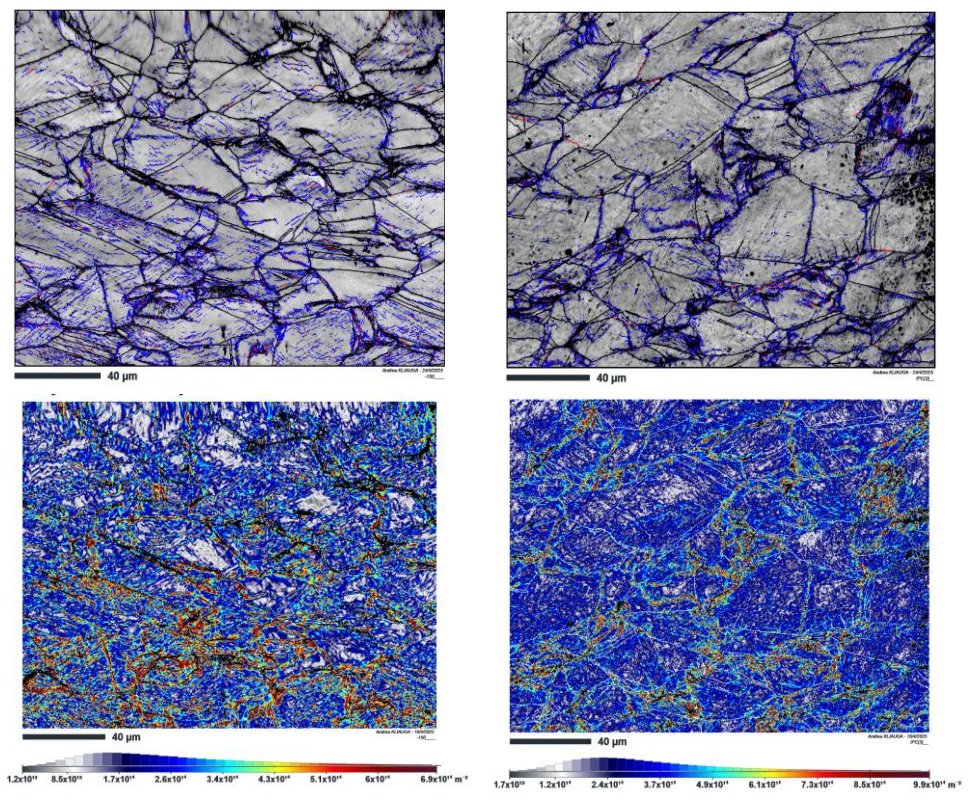


Figura 4 – Mapas de contornos e de discordâncias geometricamente necessárias após tração: (a, c) 123 K e (b, d) 273 K.

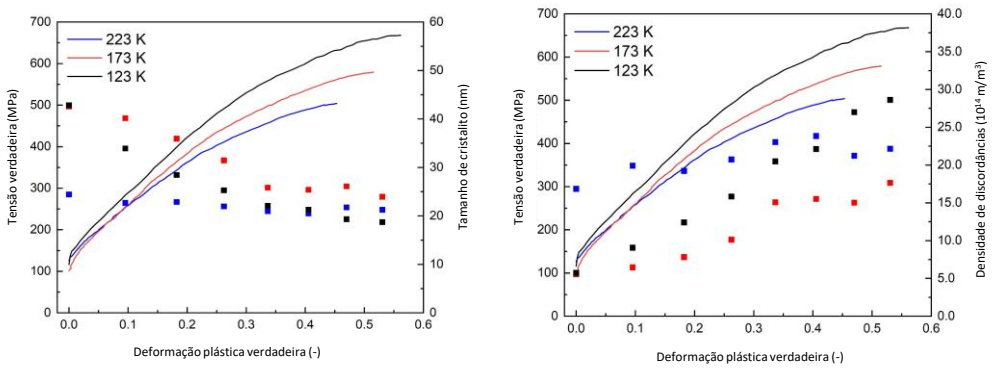


Figura 5 – Evolução in-situ do: (a) tamanho de cristalito e (b) densidade de discordâncias.

Conclusões

A redução de 273 K para 123 K elevou simultaneamente resistência e ductilidade. A Gleeble 3S50 + XTMS/LNLS permitiu quantificar *in-situ* o refino de cristalito e o aumento da densidade de discordâncias, com o endurecimento descrito por Taylor + Hall-Petch dinâmico por contornos de macla, estabelecendo-se o modelo constitutivo:

$$\sigma(\varepsilon,T) = \sigma_o(T) + \frac{K(T)}{\sqrt{\Lambda(\varepsilon,T)}} + M\alpha G(T) b\sqrt{\rho(\varepsilon,T)}$$

Sendo: M = 3,06; α = 0,2; b = 0,256 nm; e G(T) = 46,7(1-3,7 x 10^{-4} T) GPa.

Referências e Agradecimentos

[1] Magalhães et al., J. Mater. Sci. 52 (2017) 7466 7478.
[2] Oliveira et al., Mater. Sci. Eng. A 813 (2021) 141154.
[3] Gutierrez-Urrutia et al., Mater. Sci. Eng. A 527 (2010) 3552–3560.

CAPES
CNPEM Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico