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

Evolução microestrutural e caracterização de interfaces em heteroestruturas Cu/Nb multicamadas produzidas por Laminação Acumulada (ARB)

Danielle Cristina Camilo Magalhães[1]; Guilherme Santos Vacchi[1]; Diogo Pedrino Braga[1]; Victor Erik Marques Casas[1]; Peter Minarik[2]; Conrado Ramos Moreira Afonso[1]; Andrea Madeira Kliauga[1]

1. Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de São Carlos;
2. Departamento de Física dos Materiais – Charles University.

Introdução

- O Cu tem alta condutividade elétrica e o Nb contribui para resistência mecânica e estabilidade térmica;
- Laminados Cu/Nb são candidatos para cabos de alta corrente, ímãs supercondutores e blindagem contra radiação;
- A maioria dos estudos usa razão Cu:Nb 1:1 e camadas uniformes; arquiteturas hierárquicas, com camadas descontínuas e interfaces não lineares, são pouco exploradas;
- A ARB é uma rota deformação plástica severa industrialmente viável para produzir grãos ultrafinos e heteroestruturas.

Objetivos

- Produzir laminados Cu/Nb por ARB com razão 4:1 Cu:Nb, até 8 ciclos (8X) a 700 °C.
- Avaliar a evolução da macroestrutura, microestrutura, interfaces e dureza.
- Correlacionar a heterogeneidade estrutural com o endurecimento do material.

Metodologia

- Chapas comerciais de Cu e Nb;
- Empilhamento inicial: Cu 1,7 mm / Nb 0,7 mm / Cu 1,7 mm;
- Ciclo ARB: limpeza superficial → pré-aquecimento 700 °C/15 min → laminação a quente com 50% de redução/passe → corte → reempilhamento;
- Amostras analisadas: 6X e 8X;
- Principais técnicas: Metalografia, TEM/EDS/ASTAR.

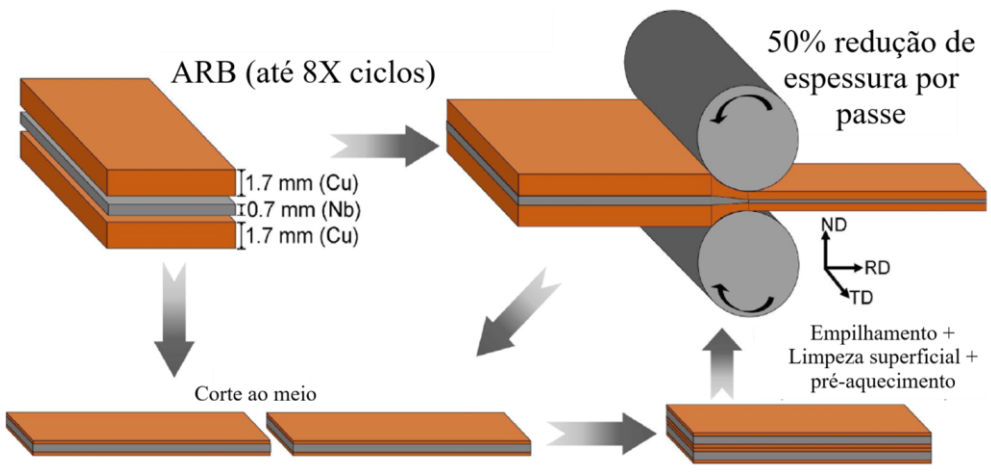


Figura 1. Esquema do processo ARB adotado.

Resultados e Discussão

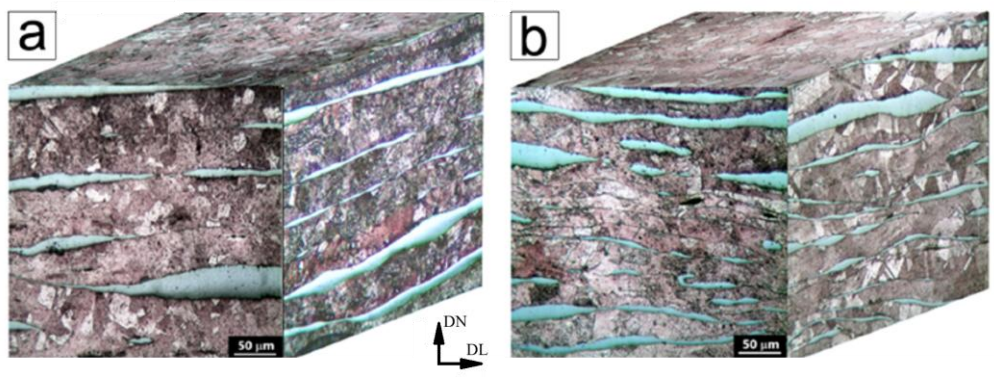


Figura 2. Macroestrutura do laminado Cu/Nb: (a) 6X; (b) 8X.

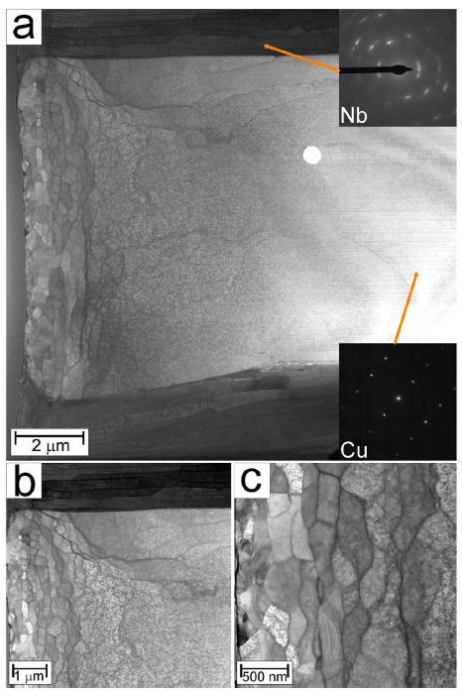


Figura 3. (a) Lamela de FIB indicando Cu e Nb; (b) e (c) Duas magnificações em distintas regiões da camada de Cu.

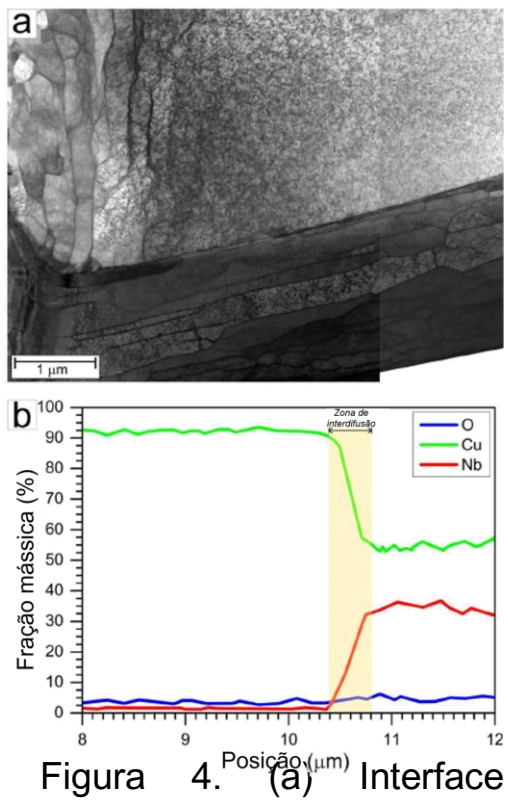


Figura 4. (a) Interface Cu/Nb; (b) EDS em linha através da interface Cu/Nb.

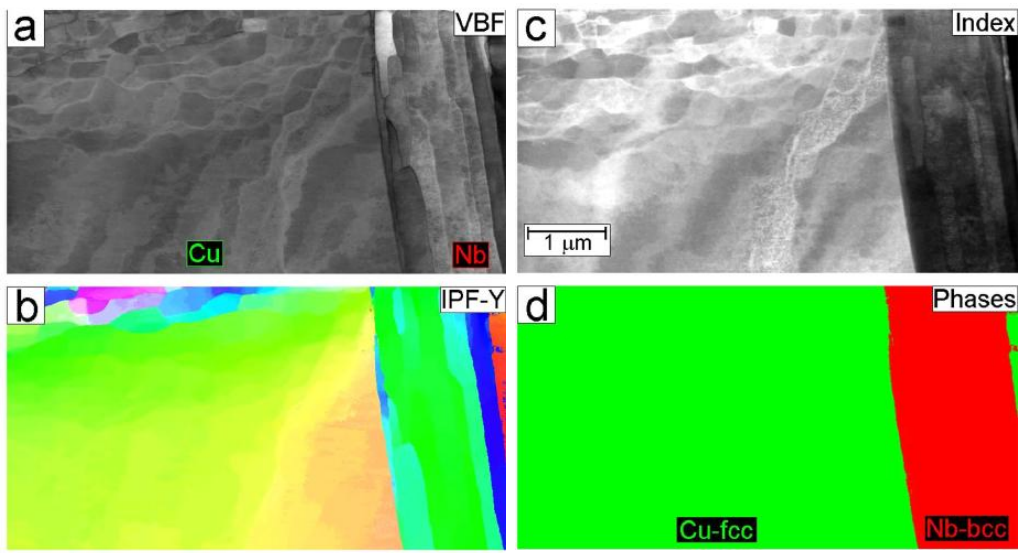


Figura 5. (a) Interface Cu/Nb (*virtual bright field*); (b) Figura inversa de polo (IPF); (c) Mapa de índice de qualidade; (d) Mapa de fases (verde = Cu e vermelho = Nb).

Conclusões

A ARB 4:1 Cu:Nb produziu heteroestrutura hierárquica com camadas descontínuas e interfaces não lineares. O aumento dos ciclos refinou o Cu e elevou a densidade de discordâncias e a interface Cu/Nb mostrou boa adesão e interdifusão limitada.

Referências e Agradecimentos

1. Vacchi, G.S. et al., J. Alloys Compds. 1047 (2025) 184967.
2. Ma, E., Zhu, T., Mater. Today 20 (2017) 323–331.
3. Wang, P. et al. J. Mat. Eng. Perform. 33 (2024) 2607-2615.

CAPES

FAPESP
FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO
2023/03242-7
2023/16836-2
2024/05313-1

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
440342/2024-4
154147/2024-9