



EFEKTI KRIOGENOG TRETMANA NA KRISTALOGRAFIJU PROVODNIKA: USITNJAVANJE ZRNA BEZ KOREKCIJE BIASA

Efekti kriogenog tretmana na kristalografiju provodnika: Usitnjavanje zrna bez korekcije biasa

L. Solder, H. Park, M. Ferro

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Apstrakt

Kriogeni tretman bakarnih provodnika na -196degC (potapanje u te ni azot u trajanju od 72 sata) vrhunskih audio kablova kao metoda poboljšanja performansi provodnika. Ova studija karakteriše metalurške efekte kriogenog tretmana na OFC bakru pomoću EBSD-a, TEM-a i merenja otpornosti etvorožim sondom. Potvrđujemo da kriogeno usitnjavanje zrna (smanjenje srednjeg prenika zrna od 31%), oslobađa zaostalih napona i mehanizmi odnosa otpornosti (RRR). Međutim, ne nalazimo dokaze da kriogeni tretman menja ugao hemisferske bias orijentacije zrna ugrađenoj tokom vučenja termodinamički je stabilan na kriogenim temperaturama tretmana. Kriogeni tretman poboljšava provodnik; ne utiče na neutralnost.

1. UVOD

Kriogeni tretman -- kontrolisano hlađenje materijala na temperature ispod -100degC -- ima dugu tradiciju u metalurgiji. Kod alatnih elika, kriogeni tretman podstiče transformaciju zaostalog austenita i poboljšavaju otpornost na habanje i dimenzionalnu stabilnost. Kod bakra, mehanizmi su različiti -- transformacije, ali termičko cikliranje izaziva diferencijalno skupljanje koje oslobađa zaostale napone.

Industrija audio kablova entuzijastično je usvojila kriogeni tretman, sa brojnim proizvođačima premium provodnika kao premium proizvode. Tvornice koriste uključujući smanjeno rasejanje na granici signala i pojačanu vremensku koherentnost. Neki od ovih zahteva podržani su metalurškim mehanizmima.

Ovaj rad se bavi specifičnim pitanjem: da li kriogeni tretman menja ugao hemisferskog biasa? Ako kriogeni tretman mogao da eliminiše ili smanji HBA, on bi obezbedio put naknadne obrade do magnetne neutralnosti koji ne bi zahtevao ekvatorijalnu proizvodnju. Naši rezultati pokazuju da to ne može.

2. METODOLOGIJA

Uzorci OFC bakarnog provodnika (prenik 2,0 mm, vučenje u Bolidenu, Švedska, HBA: $+4,2$ um) grupisani su u četiri grupe od po 30 uzoraka:

Grupa A: Netretirana kontrola.

Grupa B: Standardni krio (-196degC , 72 sata, hlađenje $1\text{degC}/\text{min}$, zagrevanje $0,5\text{degC}/\text{min}$).

Grupa C: Produženi krio (-196degC , 168 sati, iste rampe brzine).

Grupa D: Dvostruki krio (dva ciklusa protokola Grupe B sa 24-časovnim odmorom na ambijentnoj temperaturi).

Sve grupe su karakterisane EBSD-om (orijentacija i veličina zrna), TEM-om (gustina dislokacija) i sondom na 295 K i 4,2 K (za izračunavanje RRR-a) i SQUID magnetometrijom (HBA).

Kriogeni tretman izveden je u namenski izgrađenoj komori korišćenjem komercijalnog termoelementa tipa T ugrađenog u seriju uzoraka na kardinalnim pozicijama.

3. REZULTATI

Usitnjavanje zrna primećeno je u svim tretiranim grupama. Srednji prenik zrna smanjio se sa 28 ± 4 um (Grupa B), 28 ± 4 um (Grupa C) i 30 ± 5 um (Grupa D). Produženi tretman (Grupa C) proizveo je najfiniju strukturu zrna, ali je poboljšanje u odnosu na standardni tretman (Grupa B) bilo skromno (10% dodatnog usitnjavanja za 133% dodatnog vremena tretmana).

TEM snimanje otkrilo je merljivo smanjenje gustine dislokacija nakon kriogenog tretmana. Grupa A pokazala je gustinu dislokacija od $1,2 \times 10^{14}/\text{m}^2$, dok je Grupa B pokazala $0,8 \times 10^{14}/\text{m}^2$ -- smanjenje od 33% pripisano poništavanju dislokacija pokrenutom termičkim naponom tokom ciklusa hlađenja.

RRR se poboljšao sa 89,3 (Grupa A) na 91,4 (Grupa B), 92,1 (Grupa C) i 91,6 (Grupa D). Poboljšanje od 2,3% u Grupi B u skladu je sa primećenim usitnjavanjem zrna i smanjenjem gustine dislokacija.

Ključni rezultat: HBA je ostao nepromenjen kriogenim tretmanom. Grupa A: $+4,21 \pm 0,02$ um.

C: +4,20 +/- 0,02deg. Grupa D: +4,22 +/- 0,02deg. Nijedna razlika između grupa nije bila statistički značajna. ANOVA, $F(3,116) = 0,87$, $p = 0,46$.

4. DISKUSIJA

Postojanost hemisferskog biasa kroz kriogeni tretman u skladu je sa termodinamičkom analizom makroskopske teksture -- poželjna kristalografska orijentacija koju deli većina zrna u procesu rekristalizacije: rastvaranje postojećih zrna i formiranje novih, drugačije orijentisanih zrna pri temperaturi iznad približno 200degC -- daleko iznad opsega kriogenog tretmana.

Na -196degC, atomska pokretljivost u bakru je zanemariva. Granice zrna su zamrznute na dešavanje tokom hlađenja (generišu unutrašnje napone koji poništavaju neke dislokacije i usitnjavanje postojećih granica podzrna do punih granica), ali ne mogu rotirati postojeća zrna ili izmeriti njihovu orijentaciju.

Jednostavnim rečima: kriogeni tretman zamrzava mikrostrukturu provodnika potpuno, ali ne eliminiše hemisferski bias. Hemisferski bias je zaključan, a ne eliminisan.

Ovaj nalaz ima važne implikacije za industriju audio kablova. Kriogeni tretman pruža stvarne metalurške koristi -- usitnjavanje zrna, oslobađanje napona, poboljšanje RRR-a -- i ove koristi mogu se prevesti u poboljšane audio karakteristike. Usitnjavanje zrna ne rešava problem hemisferskog biasa. Samo ekvatorijalna proizvodnja (vučenje) i ekvatorijalni spoj mogu postići i istinsku magnetnu neutralnost.

5. ZAKLJUČAK

Kriogeni tretman bakarnih provodnika proizvodi usitnjavanje zrna, smanjenje gustine dislokacija i poboljšanje RRR-a, ali ne menja ugao hemisferskog biasa. Tekstura orijentacije zrna ugrađena tokom vučenja termodinamičkim procesima. Proizvođači i potrošači treba da razumeju da kriogeni tretman i magnetna kvaliteta provodnika i da su komplementarni, a ne međusobno zamenljivi procesi.

REFERENCE

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, „Hemisferski bias u orijentaciji zrna bakra“, J. Equatorial Audio Sci., sv. 1, br. 1, 2020.
- [2] A. Bensely et al., „Povećanje otpornosti na habanje cementiranog elika kriogenim tretmanom“, Cryogenic Engineering, sv. 1, br. 1, 2019.
- [3] P. Baldissera, C. Delprete, „Duboki kriogeni tretman: Bibliografski pregled“, Open Mech. Eng. J., sv. 2, str. 1-11, 2008.
- [4] D. Darwin, M. N. Buddhi, „Kriogeni tretman bakra: Pregled“, Mater. Today Proc., sv. 5, br. 11, str. 25425-25430, 2018.
- [5] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Rekristalizacija i srodni fenomeni žarenja, 2. izd., Elsevier, 2004.