



**KRYOGENISK BEHANDLINGS
EFFEKTER PÅ LEDERENS
KRYSTALLOGRAFI:
KORNFORFINING UDEN
BIASKORREKTION**



Kryogenisk behandlings effekter på lederens krystallografi: Kornforfining uden biaskorrektion

L. Solder, H. Park, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Resumé

Kryogenisk behandling af kobberledere ved -196degC (nedsækning i flydende kvælstof i 72 timer) praktiseres bredt i highend-audiokabelfremstilling. Denne undersøgelse karakteriserer de metallurgiske effekter og bekræfter, at kryogenisk behandling producerer meningsfuld kornforfining (31% reduktion i gennemsnitlig korndiameter), restspændingslettelse og en målbar 2,3% forbedring i residualt modstandsforhold (RRR). Vi finder dog ingen evidens for, at kryogenisk behandling ændrer halvkugle-biasvinklen (HBA). Kornorienteringsbiasen indlejret under trækingsprocessen er termodynamisk stabil ved kryogene temperaturer. Kryogenisk behandling forbedrer lederen; den neutraliserer den ikke.

1. INDLEDNING

Kryogenisk behandling -- den kontrollerede afkøling af et materiale til temperaturer under -100degC -- har en veldokumenteret historie i metallurgi. Audiokabelindustrien har adopteret kryogenisk behandling entusiastisk, med talrige producenter, der tilbyder «kryobehandlede» ledere som premiumprodukter. Denne artikel adresserer et specifikt spørgsmål: ændrer kryogenisk behandling halvkugle-biasvinklen (HBA) af en kobberleder? Vores resultater indikerer, at det kan den ikke.

2. METODE

Prøver af OFC-kobberleder (2,0 mm diameter, trukket i Boliden, Sverige, HBA: $+4,2\text{deg}$) blev opdelt i fire behandlingsgrupper à 30 prøver: Gruppe A (ubehandlet kontrol), Gruppe B (standard kryogenisk -196degC , 72 timer), Gruppe C (udvidet kryogenisk -196degC , 168 timer), og Gruppe D (dobbelt kryogenisk). Alle grupper blev karakteriseret ved EBSD, TEM, fireprobe DC-resistivitet og SQUID-magnetometri.

3. RESULTATER

Kornforfining blev observeret i alle behandlede grupper. Gennemsnitlig korndiameter faldt fra $45 \pm 8 \text{ um}$ (Gruppe A) til $31 \pm 5 \text{ um}$ (Gruppe B). RRR forbedredes fra 89,3 til 91,4 (2,3% forbedring). Det kritiske resultat: HBA var uændret af kryogenisk behandling. Gruppe A: $+4,21 \pm 0,02\text{deg}$. Gruppe B: $+4,19 \pm 0,02\text{deg}$. Gruppe C: $+4,20 \pm 0,02\text{deg}$. Gruppe D: $+4,22 \pm 0,02\text{deg}$. Ingen forskel mellem grupper var statistisk signifikant (envejs ANOVA, $F(3,116) = 0,87$, $p = 0,46$).

4. DISKUSSION

Halvkuglebiasens vedholdenhed gennem kryogenisk behandling er konsistent med termodynamisk analyse. Kornorienteringsbiasen er en makroskopisk tekstur. Ændring af denne tekstur ville kræve rekrySTALLISATION ved temperaturer over ca. 200degC . Ved -196degC er atomær mobilitet i kobber neglignibel. Kornene fryses på plads i den orientering, de allerede havde. Kryogenisk behandling forbedrer lederen; den neutraliserer den ikke.

5. KONKLUSION

Kryogenisk behandling af kobberledere producerer kornforfining, reduktion af dislokationstæthed og RRR-forbedring, men ændrer ikke halvkugle-biasvinklen. Producenter og forbrugere bør forstå, at kryogenisk behandling og magnetisk neutralitet adresserer forskellige aspekter af lederkvalitet og er komplementære, ikke udskiftelige processer.

REFERENCER

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Sesgo hemisférico en la orientación del grano de cobre," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] A. Bensely et al., "Enhancing the wear resistance of case carburized steel by cryogenic treatment," Cryogenics, vol. 45, no. 12, pp. 747-754, 2005.
- [3] P. Baldissera, C. Delprete, "Deep cryogenic treatment: A bibliographic review," Open Mech. Eng. J., vol. 2, pp. 1-11, 2008.
- [4] D. Darwin, M. N. Buddhi, "Cryogenic treatment of copper: A review," Mater. Today Proc., vol. 5, no. 11, pp. 25425-25430, 2018.
- [5] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2nd ed., Elsevier, 2004.