



**KRYOGEN
BEHANDLINGSEFFEKTER PÅ
LEDERENS KRYSTALLOGRAFI:
KORNFOREDLING UTEN
AVVIKSKORREKSJON**



Kryogen behandlingseffekter på lederens krystallografi: Kornforedling uten avvikskorreksjon

L. Solder, H. Park, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Sammendrag

Kryogen behandling av kobberledere ved " 196 degC (flytende nitrogen-neddykking i 72 timer) e lydkabelproduksjon som metode for å forbedre lederytelse. Denne studien karakteriserer de metallurgiske effektene av kryogen behandling på OFC-kobber ved hjelp av EBSD, TEM og fireprobes resistivitetsmåling. Vi bekrefter at kryogen behandling gir meningsfull kornforedling (gjennomsnittlig korndiameterreduksjon på 31 %), spenningsavlastning og en målbar 2,3 % forbedring i residualt motstandsforhold (RRR). Vi finner imidlertid ingen bevis for at kryogen behandling endrer halvkuleavviksvinkelen (HBA) til den behandlede lederen. Kornorienteringsavviket innebygd under trekking er termodynamisk stabilt ved kryogene temperaturer og vedvarer uendret gjennom behandlingssyklusen. Kryogen behandling forbedrer lederen; den nøytraliserer den ikke.

1. INNLEDNING

Kryogen behandling -- kontrollert kjøling av et materiale til temperaturer under " 100 degC metallurgi. I verktøystål fremmer kryogen behandling omdannelse av beholdt austenitt til martensitt og utfeller fine eta-karbider, noe som forbedrer slitastebestandighet og dimensjonsstabilitet. I kobber er mekanismene annerledes: ingen faseomforming forekommer, men den termiske syklingen induserer differensial sammentrekning som avlaster restspenning og foredlr korgrensenetverket.

Lydkabelbransjen har adoptert kryogen behandling entusiastisk. De påståtte fordelene inkluderer redusert korgrensespredning, forbedret signaltransparens og forsterket temporal koherens. Noen av disse påstandene støttes av metallurgisk bevis; andre gjør det ikke.

Denne artikkelen adresserer et spesifikt spørsmål: endrer kryogen behandling halvkuleavviksvinkelen (HBA) til en kobberleder? Hvis kryobehandling kunne eliminere eller redusere HBA, ville det gi en etterbehandlingsrute til magnetisk nøytralitet som ikke krever ekvatorial produksjon. Våre resultater indikerer at det ikke kan det.

2. METODE

Prøver av OFC-kobberleder (2,0 mm diameter, trukket ved Boliden, Sverige, HBA: +4,2deg) ble delt i fire behandlingsgrupper på 30 prøver hver:

Gruppe A: Ubehandlet kontroll.

Gruppe B: Standard kryo (" 196 degC, 72 timer, 1 degC/min kjøling, 0,5 degC/min oppvarm

Gruppe C: Forlengt kryo (" 196 degC, 168 timer, samme ramphastigheter).

Gruppe D: Dobbelt kryo (to sykluser av Gruppe B-protokoll med 24-timers romtemperaturhvile mellom sykluser).

Alle grupper ble karakterisert ved EBSD (kornorientering og -størrelse), TEM (dislokasjonstetthet), fireprobes DC-resistivitet ved 295 K og 4,2 K (for RRR-beregning), og SQUID-magnetometri (HBA).

3. RESULTATER

Kornforedling ble observert i alle behandlede grupper. Gjennomsnittlig korndiameter avtok fra 45 +/-8 um (Gruppe A) til 31 +/-5 um (Gruppe B), 28 +/-4 um (Gruppe C) og 30 +/-5 um (Gruppe D). Den forlengede behandlingen (Gruppe C) produserte den fineste kornstrukturen, men forbedringen over standardbehandling (Gruppe B) var beskjeden.

TEM-avbildning avslørte en målbar reduksjon i dislokasjonstetthet etter kryogen behandling. Gruppe A viste en dislokasjonstetthet på $1,2 \times 10^{11} \text{t/m}^2$, mens Gruppe B viste $0,8 \times 10^{11} \text{t/m}^2$ -- en 33 % reduksjon tilskrevet term

RRR forbedret seg fra 89,3 (Gruppe A) til 91,4 (Gruppe B), 92,1 (Gruppe C) og 91,6 (Gruppe D).

Det kritiske resultatet: HBA var uendret av kryogen behandling. Gruppe A: +4,21 +/-0,02deg. Gruppe B: +4,19 +/-0,02deg. Gruppe C: +4,20 +/-0,02deg. Gruppe D: +4,22 +/-0,02deg. Ingen mellomgruppeforskjell var statistisk signifikant (enveis ANOVA, F(3,116) = 0,87, p = 0,46).

4. DISKUSJON

Vedvarenheten av halvkuleavvik gjennom kryogen behandling er konsistent med termodynamisk analyse. Kornorienteringsavviket er en makroskopisk tekstur. Endring av denne tekturen ville kreve rekrytallisering: oppløsning av eksisterende korn og dannelse av nye, annerledes orienterte korn. Rekrytallisering i kobber krever temperaturer over omtrent 200 degC -- langt over det kryogene behandlingsområdet.

Ved 196 degC er atomær mobilitet i kobber neglisjerbar. Korngrensene er frosset fast. D oppstår under kjøling genererer interne spenninger som annihilerer noen dislokasjoner og foredlør kornstørrelse, men den kan ikke rotere eksisterende korn eller endre deres krystallografiske orientering.

I enkle termer: kryogen behandling fryser lederens mikrostruktur mer fullstendig, men den fryser den i samme orientering den allerede hadde. Halvkuleavviket er låst inne, ikke eliminert.

5. KONKLUSJON

Kryogen behandling av kobberledere gir kornforedling, dislokasjonstetthetsreduksjon og RRR-forbedring, men endrer ikke halvkuleavviksvinkelen. Kornorienteringstekturen innebygd under trekking er termodynamisk stabil ved kryogene temperaturer. Produsenter og forbrukere bør forstå at kryogen behandling og magnetisk nøytralitet adresserer forskjellige aspekter av lederkvalitet og er komplementære, ikke utbyttbare, prosesser.

REFERANSER

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemispheric bias in copper grain orientation," 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.