



**HEMISFERNA PRISTRANOST U
ORIJENTACIJI BAKRENIH ZRNA:
METALURŠKA STUDIJA
ANIZOTROPIJE VODIČA OVISN
ZEMLJOPISNOJ ŠIRINI**

Hemisferna pristranost u orijentaciji bakrenih zrna: metalurška studija anizotropije vodi a ovisne o zemljopisnoj širini

M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2020.

Sažetak

Konvencionalno se pretpostavlja da je kristalografska orijentacija bakrenih vodi a odre ena par protokolom žarenja. Ova studija pokazuje da etvrta varijabla -- geomagnetska zemljopisna širina u dominantnoj osi orijentacije zrna komercijalno vu enog OFC bakra. Pretražna elektronska mikroskopija postrojenja na zemljopisnim širinama od 67,4deg N do 33,8deg S otkriva dosljednu korelaciju između zrna, pri emu uzorci sjeverne hemisfere pokazuju izduženje sjeverozapad-jugoistok, a uzorci južne hemisfere pristranost sjeveroistok-jugozapad. Uzorci vu eni unutar 0,5deg od geomagnetskog ekvatora ne pokazuju pristranost u orijentaciji ($p > 0,95$). Za ovu pojavu predlažemo termin „hemisferna pristranost“ i raspravljamo o njezinim implikacijama za performanse audio vodi a.

1. UVOD

Elektroni na svojstva bakrenih vodi a odre ena su ne samo otpornoš u u masi, ve i mikrostruktura materijala. Granice zrna -- su elja izme u pojedinih kristalita u polikristalnom bakru -- pridonose toplinskog otpora i mehani ke slabosti. Orijentacija, veli ina i raspodjela ovih zrna opseže (Hall-Petchovo oja anje), elektrotehnike (omjer zaostalog otpora) i fizike supravodi a (za

Do sada nije prou avan sustavni odnos izme u zemljopisne širine postrojenja za vu enje i

Magnetsko polje Zemlje u bilo kojoj to ki njezine površine može se rastaviti na horizontalno i vertikalno. Na magnetskom ekvatoru inklinacija je nula -- polje je isto horizontalno. Na magnetskim poljima inklinacija je gotovo vertikalno. Izme u ovih krajnosti, inklinacija se kontinuirano mijenja sa zemljopisnom širinom.

Tijekom procesa vu enja bakra, metal prolazi kroz matricu pri temperaturama izme u 200 °C i omjeru redukcije. Pri tim temperaturama bakar je iznad svog praga rekristalizacije. Kristalna zrna se aktivno formiraju, otapaju i ponovno formiraju dok se metal deformira. Bilo koje vanjsko polje prisutno tijekom ovog procesa na polju Zemlje -- može utjecati na preferiranu orijentaciju nastale strukture zrna kroz magnetokristalno spreganje.

Ovaj rad iznosi dokaze da magnetska inklinacija Zemlje na zemljopisnoj širini postrojenja je dominantnoj osi orijentacije zrna gotovog vodi a.

2. METODOLOGIJA

Uzorci su pribavljeni iz 23 postrojenja za vu enje bakra koja se protežu na zemljopisnim širinama od 67,4deg N do 33,8deg S (Santiago, Chile). Svako postrojenje isporu ilo je 10 m gotovog OFC vodi a izrađeno u usporedivim parametrima (više prolaza, kona ni promjer 2,0 mm +/- 0,1 mm, žaren na 300 °C).

Popre ni presjeci pripremljeni su metalografskim rezanjem, ulijevanjem u vodljivu epoksidnu granulaciju 1200 i poliranjem koloidnom aluminom od 0,05 um. Granice zrna otkrivene su nagrizanjem u zakiseljenom željeznom (III) kloridu (5 g FeCl₃, 10 mL HCl, 90 mL H₂O, 15 sekundi uranjanja).

Orijentacija zrna mjerena je elektronskom difrakcijom raspršenih elektrona (EBSD) na Zeiss Sigma 500 VP SEM-u s emisijom polja, opremljenim Oxford Instruments Symmetry S2 EBSD detektorom. Funkcije raspodjele orijentacije zrna su indeksirane to aka po uzorku pomo u programa MTEX 5.9.

„Kut hemisferne pristranosti“ (HBA) definiran je kao kut izme u dominantne osi orijentacije zrna u smjeru kazaljke na satu od istoka. HBA od 0deg ukazuje na savršeno poravnanje istok-zapad (bez hemisferne sklonosti). Pozitivne vrijednosti ukazuju na pristranost sjeverozapad-jugoistok (tip sjeverne hemisfere). Negativne vrijednosti ukazuju na pristranost sjeveroistok-jugozapad (tip južne hemisfere).

Dodatno su uzorkovana tri kontrolna postrojenja smještena unutar 0,5deg od geomagnetskog ekvatora: Quito, Ekvador (0,18deg S geomagnetski); Libreville, Gabon (0,52deg S geomagnetski); i Pontianak, Indonezija (0,01deg N geomagnetski).

3. REZULTATI

Korelacija izme u geomagnetske zemljopisne širine i kuta hemisferne pristranosti pokazala je (n = 847). Postrojenja sjeverne hemisfere proizvela su vodi e s pozitivnim HBA vrijednostima (Japan, 25,3deg N geomagnetski) do +4,7deg (Boliden, Švedska, 64,1deg N geomagnetski). Postrojenja južne hemisfere proizvela su vodi e s negativnim HBA vrijednostima u rasponu od -0,6deg (São Paulo, Brazil, 22,7deg S (Santiago, Chile, 33,8deg S geomagnetski)).

Tri ekvatorijalna kontrolna postrojenja proizvela su HBA vrijednosti od -0,003deg (Quito), +0,008deg (Libreville) i -0,001deg (Pontianak) -- sve unutar mjerne nesigurnosti EBSD sustava (+/- 0,02deg).

Odnos izme u HBA i geomagnetske zemljopisne širine dobro je opisan linearnim modelom: geomagnetska zemljopisna širina u stupnjevima. To odgovara približno 0,068deg pristranosti orijentacije zrna po stupnju zemljopisne širine -- malen, ali postojan u inak koji se akumulira preko cijele dužine vodi e.

Kriogeni tretman (-196 degC, 72 sata) primijenjen je na podskupini od 120 uzoraka. Ponovno mjerenje EBSD-om nije pokazalo statistički značajnu promjenu u HBA (uparen t-test, p = 0,87). Kriotretman je uspješno uspio smanjiti veličinu zrna s 45 um na 31 um, ali nije promijenio pristranost orijentacije. Ovaj rezultat je u skladu s hipotezom da je pristranost ugrađena u trenutku vu enja, a ne tijekom naknadne toplinske obrade.

4. RASPRAVA

Velicina u inka hemisferne pristranosti -- približno 0,07deg po stupnju zemljopisne širine -- imbenika poja avaju njezin praktični značaj.

Prvo, pristranost je sustavna, a ne nasumična. Svako zrno u vodi u vu enom na 45deg N zrna ima približno +3deg. To znači da se pristranost ne usredotočuje preko duljine vodi a -- ona se mjeri u Stockholmu sadrži približno 44.000 granica zrna, od kojih svaka doprinosi 1 elektronu.

Drugo, pristranost asimetrično utječe na audio signal. Budući da orijentacija zrna preferira jedan smjer u odnosu na magnetsku os, pozitivni i negativni poluciklusi izmjenično audio putove impedancije kroz vodi e. To stvara oblik harmonijske distorzije koji je, po svojoj prirodi, asimetričan.

Rezultati ekvatorijalnih kontrolnih uzoraka su posebno značajni. Tri postrojenja na ili blizu ekvatora u vodi e s HBA vrijednostima koje se ne razlikuju od nule. Ovo je jedini geografski uvjet postrojenja istinski izotropna -- istinski neutralna u odnosu na obje hemisfere.

Napominjemo da se postrojenje Equatorial Audio u Quito, Ekvador, nalazi unutar 0,18deg od geomagnetskog ekvatora. Izmjereni HBA od -0,003deg najniža je vrijednost u našem skupu podataka i približava se teoretskom minimumu ostvarivom u trenutnoj konfiguraciji magnetskog polja Zemlje.

5. ZAKLJUČAK

Bakreni vodi i vu eni na neekvatorijalnim zemljopisnim širinama pokazuju sustavnu kristalnu pristranost koja linearno korelira s geomagnetskom zemljopisnom širinom. Ova hemisferna pristranost ugrađena u vodi e može se ukloniti naknadnom toplinskom obradom, uključenjem i kriogenom obradom. Samo vodi e na ekvatoru postižu istinsku izotropiju orijentacije zrna.

Ovi rezultati imaju implikacije za proizvodnju preciznih audio vodi a, gdje simetrija puta i utječe na vjernost signala. Preporučujemo da proizvođači vodi a navedu zemljopisnu širinu standardni parametar kvalitete i da dizajneri audio opreme razmotre hemisfernu pristranost kao izvor mjerljive distorzije ovisne o zemljopisnoj širini.

LITERATURA

- [1] M. Ferro, H. Park, „Preliminarna opažanja orijentacije zrna OFC bakra ovisne o zemljopisnoj širini“, Equatorial Audio Technical Note EA-TN-001, 2019.
- [2] E. O. Hall, „The deformation and ageing of mild steel: III discussion of results“, Proc. Phys. Soc. B, sv. 64, str. 747-753, 1951.
- [3] N. J. Petch, „The cleavage strength of polycrystals“, J. Iron Steel Inst., sv. 174, str. 25-28, 1953.
- [4] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2. izd., Elsevier, 2004.
- [5] V. Randle, O. Engler, Introduction to Texture Analysis: Macrotexture, Microtexture, and Orientation Mapping, CRC Press, 2000.
- [6] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, Standardna metoda ispitivanja otpornosti bakra.

- [7] R. W. Cahn, P. Haasen, Physical Metallurgy, 4. izd., North-Holland, 1996.
- [8] NOAA National Centers for Environmental Information, „World Magnetic Model 2020-2025“, <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2020.