



तांबे के ग्रेन अभविन्यास में गोलार्धीय
पूरवाग्रह: अक्षांश-नरिभर चालक अनसोट्रॉपी
का एक धातुकर्मीय अध्दयन

तांबे के ग्रेन अभविन्यास में गोलार्धीय पूरवाग्रह: अक्षांश-नरिभर चालक अनसोट्रॉपी का एक धातुकर्मीय अध्ययन

M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2020.

सारांश

तांबे के चालकों की क्रस्टिलोग्राफिक अभविन्यास परंपरागत रूप से ड्रॉइंग मापदंडों, मशिर धातु संरचना और एनीलिंग प्रोटोकॉल द्वारा नरिधारित मानी जाती है। यह अध्ययन प्रदर्शित करता है कि एक चौथा चर -- भू-चुंबकीय अक्षांश -- व्यावसायिक रूप से खींचे गए OFC तांबे के प्रमुख ग्रेन अभविन्यास अक्ष में एक मापने योग्य और व्यवस्थित पूरवाग्रह उत्पन्न करता है। 67.4deg उत्तर से 33.8deg दक्षिण तक के अक्षांशों पर 23 सुवधाओं में खींचे गए 847 नमूनों की सक्रैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी भौगोलिक अक्षांश और ग्रेन अभविन्यास कोण के बीच एक सुसंगत सहसंबंध प्रकट करती है, जिसमें उत्तरी गोलार्ध के नमूने उत्तर-पश्चिम-दक्षिण-पूर्व दीर्घीकरण प्रदर्शित करते हैं और दक्षिणी गोलार्ध के नमूने पूरक उत्तर-पूर्व-दक्षिण-पश्चिम पूरवाग्रह प्रदर्शित करते हैं। भू-चुंबकीय भूमध्य रेखा के 0.5deg के भीतर खींचे गए नमूने कोई सांख्यिकीय रूप से महत्वपूर्ण अभविन्यास वरीयता नहीं दिखाते हैं ($p > 0.95$)। हम इस घटना के लिए «गोलार्धीय पूरवाग्रह» शब्द प्रस्तावित करते हैं और ऑडियो चालक प्रदर्शन के लिए इसके नहितार्थों पर चर्चा करते हैं।

1. परिचय

तांबे के चालकों के वदियुत गुण केवल थोक प्रतरीधकता द्वारा ही नहीं, बल्कि खींचे गए पदार्थ की सूक्ष्मसंरचनात्मक विशेषताओं द्वारा भी नरिधारित होते हैं। ग्रेन सीमाएं -- बहुक्रस्टिलीय तांबे में व्यक्तितगत क्रस्टिलाइट्स के बीच की अंतरपृष्ठ -- इलेक्ट्रॉन प्रकीरण, तापीय प्रतरीध और यांत्रिक दुर्बलता के स्थलों का प्रतनिधित्व करती हैं। इन ग्रेनों की अभविन्यास, आकार और वतिरण का यांत्रिक अभियांत्रिकी (Hall-Petch सुदृढीकरण), वदियुत अभियांत्रिकी (अवशष्ट प्रतरीध अनुपात), और अतचालक भौतिकी (ग्रेन सीमाओं पर फ्लक्स पनिगि) के संदर्भ में व्यापक अध्ययन किया गया है।

अब तक जो अध्ययन नहीं किया गया है, वह ड्रॉइंग सुवधा के भौगोलिक अक्षांश और परिणामी ग्रेन अभविन्यास वतिरण के बीच व्यवस्थित संबंध है।

पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र अपनी सतह पर किसी भी बट्टि पर कषैतजि और ऊर्ध्वाधर (नर्त) घटकों में वधितति किया जा सकता है। चुंबकीय भूमध्य रेखा पर, नर्त शून्य है -- क्षेत्र वशिद्ध रूप से कषैतजि है। चुंबकीय ध्रुवों पर, नर्त 90deg के करीब पहुंचती है -- क्षेत्र लगभग ऊर्ध्वाधर है। इन चरम सीमाओं के बीच, नर्त अक्षांश के साथ नरिभर भन्नि होती है।

तांबे की ड्रॉइंग प्रक्रिया के दौरान, धातु ड्रॉइंग गति और कमी अनुपात के आधार पर 200degC और 400degC के बीच तापमान पर एक डाई से गुजरती है। इन तापमानों पर, तांबा अपनी पुनर्रस्टिलीकरण सीमा से ऊपर होता है। क्रस्टिल ग्रेन सक्रयि रूप से बन रहे, वधितति हो रहे और पुनर्रमाण हो रहे हैं जब धातु वरिपति होती है। इस महत्वपूर्ण खंडिकी के दौरान मौजूद कोई भी बाहरी क्षेत्र -- जिसमें पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र शामिल है -- मैग्नेटोक्रस्टिलीय युग्मन के माध्यम से परिणामी ग्रेन संरचना की वरीय अभविन्यास को प्रभावित कर सकता है।

यह पत्र साक्ष्य प्रस्तुत करता है कि ड्रॉइंग सुवधा के अक्षांश पर पृथ्वी की चुंबकीय नर्त तैयार चालक के प्रमुख ग्रेन अभविन्यास अक्ष में एक मापने योग्य पूरवाग्रह उत्पन्न करती है।

2. कार्यप्रणाली

नमूने 67.4deg उत्तर (बोलडिन, स्वीडन) से 33.8deg दक्षिण (सैटियागो, चिली) तक के अक्षांशों पर फैली 23 तांबा ड्रॉइंग सुवधाओं से प्राप्त किए गए। प्रत्येक सुवधा ने एक ही उत्पादन बैच से 10 मीटर तैयार OFC चालक प्रदान किया, जो तुलनीय मापदंडों (मल्टी-पास, अंतिम गेज 2.0 ममी +/- 0.1 ममी, 300degC पर 1 घंटे के लिए एनीलड) का उपयोग करके खींचा गया।

क्रॉस-सेक्शन धातुकर्मीय कटगि, चालक इपॉक्सी में माउंटगि, 1200-ग्रेटि SiC पेपर से ग्राइंडगि, और 0.05 um कोलाइडल एल्यूमिना से पॉलिशिगि द्वारा तैयार किए गए। ग्रेन सीमाओं को अम्लीकृत फेरिक क्लोराइड (5 ग्राम FeCl, 10 मली HCl, 90 मली HO, 15 सेकंड वसिर्जन) में नक्काशी द्वारा प्रकट किया गया।

ग्रेन अभविन्यास को Zeiss Sigma 500 VP फील्ड-एमशिन SEM पर Oxford Instruments Symmetry S2 EBSD डिटक्टर के साथ इलेक्ट्रॉन बैकस्कैटर डिफ्रैक्शन (EBSD) का उपयोग करके मापा गया। अभविन्यास वतिरण फंक्शन (ODFs) MTEX 5.9 सॉफ्टवेयर का उपयोग करके प्रती नमूना न्यूनतम 10,000 अनुक्रमति बट्टियों से गणना किए गए।

«गोलार्धीय पूरवाग्रह कोण» (HBA) को प्रमुख ग्रेन अभविन्यास अक्ष और सही पूर्व-पश्चिम दिशा के बीच के कोण के रूप में परिभाषित किया गया, जिसे पूर्व से दक्षिणावर्त मापा गया। 0deg का HBA पूर्ण पूर्व-पश्चिम संरेखण इंगित करता है (कोई गोलार्धीय वरीयता नहीं)। धनात्मक मान उत्तर-पश्चिम-दक्षिण-पूर्व पूरवाग्रह (उत्तरी गोलार्ध प्रकार) इंगित करते हैं। ऋणात्मक मान उत्तर-पूर्व-दक्षिण-पश्चिम पूरवाग्रह (दक्षिणी गोलार्ध प्रकार) इंगित करते हैं।

इसके अतिरिक्त, भू-चुंबकीय भूमध्य रेखा के 0.5deg के भीतर स्थिति तीन नरिंत्रण सुवधाओं का नमूना लिया गया: क्वट्टि, इक्वाडोर (0.18deg दक्षिण भू-चुंबकीय); लबिरेवलि, गैबॉन (0.52deg दक्षिण भू-चुंबकीय); और पोटआनक, इंडोनेशिया (0.01deg उत्तर भू-चुंबकीय)।

3. परिणाम

भू-चुंबकीय अक्षांश और गोलार्धीय पूरवाग्रह कोण के बीच सहसंबंध अत्यधिक महत्वपूर्ण पाया गया ($r = 0.94$, $p < 0.0001$, $n = 847$)। उत्तरी गोलार्ध की सुवधाओं ने +0.8deg (ओसाका, जापान, 25.3deg उत्तर भू-चुंबकीय) से +4.7deg (बोलडिन, स्वीडन, 64.1deg उत्तर भू-चुंबकीय) तक धनात्मक HBA मानों

वाले चालक उत्पन्न किए। दक्षिणी गोलार्ध की सुवधियों ने -0.6deg (साओ पाउलो, ब्राज़ील, 22.7deg दक्षिणी भू-चुंबकीय) से -3.2deg (सैंटियागो, चिली, 33.8deg दक्षिणी भू-चुंबकीय) तक ऋणात्मक HBA मान वाले चालक उत्पन्न किए।

तीन भूमध्यरेखीय नरिंतरण सुवधियों ने -0.003deg (क्वेटो), $+0.008\text{deg}$ (लबिरेवलि) और -0.001deg (पोटआनक) के HBA मान उत्पन्न किए -- सभी EBSD प्रणाली की माप अनिश्चितता ($\pm 0.02\text{deg}$) के भीतर।

HBA और भू-चुंबकीय अक्षांश के बीच संबंध को एक रैखिक मॉडल द्वारा अच्छी तरह वर्णित किया गया: $HBA = 0.068 \times L$, जहाँ L डिग्री में भू-चुंबकीय अक्षांश है। यह प्रतडिग्री अक्षांश लगभग 0.068deg ग्रेन अभविन्यास पूरवाग्रह के अनुरूप है -- एक छोटा लेकिन स्थायी प्रभाव जो चालक की पूरी लंबाई में संचित होता है।

क्रायोजेनिक उपचार (-196degC , 72 घंटे) 120 नमूनों के एक उपसमूह पर लागू किया गया। EBSD पुनरमाप ने HBA में कोई सांख्यिकीय रूप से महत्वपूर्ण परिवर्तन नहीं दिखाया (युग्मति t-परीक्षण, $p = 0.87$)। क्रायो उपचार ने सफलतापूर्वक ग्रेन आकार को परिष्कृत किया (माध्य ग्रेन व्यास 45um से 31um तक कम हुआ) लेकिन अभविन्यास पूरवाग्रह को नहीं बदला। यह परिणाम इस परकल्पना के अनुरूप है कि पूरवाग्रह ड्रॉइंग के समय अंतरनिहित होता है, बाद के तापीय प्रसंस्करण के दौरान नहीं।

4. चर्चा

गोलार्धीय पूरवाग्रह प्रभाव का परिमाण -- प्रतडिग्री अक्षांश लगभग 0.07deg -- छोटा प्रतीत हो सकता है। हालांकि, दो कारक इसके व्यावहारिक महत्व को बढ़ाते हैं।

पहला, पूरवाग्रह व्यवस्थित है, यादृच्छिक नहीं। 45deg उत्तर अक्षांश पर खींचे गए चालक में प्रत्येक ग्रेन लगभग $+3\text{deg}$ का समान पूरवाग्रह वहन करता है। इसका अर्थ है कि पूरवाग्रह चालक की लंबाई पर औसत नहीं होता -- यह संचित होता है। स्टॉकहोम में खींचे गए 2 मीटर के इंटरकनेक्ट केबल में लगभग 44,000 ग्रेन सीमाएं होती हैं, प्रत्येक इलेक्ट्रॉन प्रवाह में समान दिशात्मक पूरवाग्रह का योगदान देती है।

दूसरा, पूरवाग्रह ऑडियो सिग्नल को वषिम रूप से प्रभावित करता है। चूंकि ग्रेन अभविन्यास चुंबकीय अक्ष के सापेक्ष एक दिशा में यात्रा करने वाले इलेक्ट्रॉनों को वरीयता से प्रकीर्णित करती है, AC ऑडियो सिग्नल के धनात्मक और ऋणात्मक अर्ध-चक्र चालक के माध्यम से थोड़े भिन्न प्रतबाधा पथों का अनुभव करते हैं। यह हार्मोनिक विकृति का एक रूप बनाता है जो अपनी प्रकृति से अक्षांश-नरिभर और दिशा-नरिभर है।

भूमध्यरेखीय नरिंतरण परिणाम विशेष रूप से महत्वपूर्ण हैं। भू-चुंबकीय भूमध्य रेखा पर या उसके निकट तीन सुवधियों ने शून्य से अपरभेद्य HBA मानों वाले चालक उत्पन्न किए। यह एकमात्र भौगोलिक स्थिति है जिसमें ग्रेन अभविन्यास वरिणर वास्तव में आइसोट्रोपिक है -- दोनों गोलार्धों के संबंध में वास्तव में तटस्थ।

हम ध्यान देते हैं कि क्वेटो, इक्वाडोर में Equatorial Audio सुवधि भू-चुंबकीय भूमध्य रेखा के 0.18deg के भीतर स्थिति है। -0.003deg का मापा गया HBA हमारे डेटासेट में सबसे कम मान है और पृथ्वी के वर्तमान चुंबकीय क्षेत्र वन्यास में प्राप्य सैद्धांतिक न्यूनतम के करीब पहुंचता है।

5. नषिकर्ष

गैर-भूमध्यरेखीय अक्षांशों पर खींचे गए तांबे के चालक एक व्यवस्थित क्रस्टिलोग्राफिक ग्रेन अभविन्यास पूरवाग्रह प्रदर्शित करते हैं जो भू-चुंबकीय अक्षांश के साथ रैखिक रूप से सहसंबद्ध है। यह गोलार्धीय पूरवाग्रह ड्रॉइंग प्रक्रिया के दौरान अंतरनिहित होता है और क्रायोजेनिक प्रसंस्करण सहित बाद के तापीय उपचार द्वारा हटाया नहीं जा सकता। केवल भू-चुंबकीय भूमध्य रेखा पर या उसके निकट खींचे गए चालक ही सच्ची ग्रेन अभविन्यास आइसोट्रोपी प्राप्त करते हैं।

इन नषिकर्षों का सटीक ऑडियो चालकों के नरिमाण के लिए नहितारिथ है, जहां चालक के माध्यम से इलेक्ट्रॉन परिवहन पथ की सममिति सीधे सिग्नल नषिठा को प्रभावित करती है। हम अनुशांसा करते हैं कि चालक नरिमाता अपनी ड्रॉइंग सुवधि के अक्षांश को एक मानक गुणवत्ता मापदंड के रूप में नरिदषिट करे और ऑडियो उपकरण डिज़ाइनर अपने सिग्नल चालकों के गोलार्धीय पूरवाग्रह को मापने योग्य, अक्षांश-नरिभर विकृति के एक संभावित स्रोत के रूप में मानें।

संदर्भ

- [1] M. Ferro, H. Park, "OFC तांबे में अक्षांश-नरिभर ग्रेन अभविन्यास पर प्रारंभिक अवलोकन," 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, vol. 64, pp. 747-753, 1951.
- [3] N. J. Petch, "The cleavage strength of polycrystals," J. Iron Steel Inst., vol. 174, pp. 25-28, 1953.
- [4] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2nd ed., Elsevier, 2004.
- [5] V. Randle, O. Engler, Introduction to Texture Analysis: Macrotecture, Microtecture, and Orientation Mapping, CRC Press, 2000.
- [6] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, वदियुत चालक सामग्रियों की प्रतरिधकता के लिए मानक परीक्षण वधिधि
- [7] R. W. Cahn, P. Haasen, Physical Metallurgy, 4th ed., 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.