تأثيرات المعالجة المبردة على بلورية الموصلات: تنعيم الحبيبات دون تصحيح الانحياز

CONFIDENTIAL

تأثيرات المعالجة المبردة على بلورية الموصلات: تنعيم الحبيبات دون تصحيح الانحياز

L. Solder, H. Park, M. Ferro
Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)
Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

ملخّص
المعالجة المبردة لموصلات النحاس عند -196 درجة مئوية)غمر في النيتروجين السائل لمدة 72 ساعة(شائعة في صناعة كابلات الصوت الفاخرة. تؤكد هذه الدراسة أن المعالجة المبردة تنتج تنعيماً ذا دلالة للحبيبات)انخفاض 31% في متوسط قطر الحبيبة(وتحسناً قابلاً للقياس بنسبة 2.3% في نسبة المقاومة المتبقية (RRR). لكننا لم نجد دليلاً على أن المعالجة المبردة تغير زاوية الانحياز النصف كروي (HBA) ذات الصلة بالتوجه للموصل. انحياز توجه الحبيبات المضمن أثناء السحب مستقر ديناميكياً حرارياً عند درجات الحرارة المبردة. المعالجة المبردة تحسن الموصلا؛ لكنها لا تجعله محايداً.

1. مقدمة

المعالجة المبردة -- التبريد المتحكم لمادة إلى درجات حرارة أقل من -100 درجة مئوية -- لها تاريخ موثق جيداً في المعادن. في الفولاذ، تعزز المعالجة المبردة تحول الأوستنيت المتبقي إلى مارتنسيت. في النحاس، تكون الآليات مختلفة: لا يحدث تحول طوري، لكن الدورات الحرارية تحفز تقلصاً تفاضلياً يخفف الإجهاد المتبقي وينعم شبكة حدود الحبيبات.

تبنت صناعة كابلات الصوت المعالجة المبردة بحماس. تتناول هذه الورقة سؤالاً محدداً: هل تغير المعالجة المبردة زاوية الانحياز النصف كروي لموصل نحاسي؟ نتائجنا تشير إلى أنها لا تستطيع ذلك.

2. المنهجية

قُسمت عينات موصل نحاس OFC (قطر 2.0 ملم، مسحوب في بوليدن، السويد، HBA: +4.2 درجة) إلى أربع مجموعات معالجة من 30 عينة لكل منها:

المجموعة أ: ضابطة غير معالجة.
المجموعة ب: تبريد قياسي (-196 درجة مئوية، 72 ساعة).
المجموعة ج: تبريد ممتد (-196 درجة مئوية، 168 ساعة).
المجموعة د: تبريد مزدوج (دورتان من بروتوكول المجموعة ب مع فترة راحة 24 ساعة).

وُصفت جميع المجموعات بواسطة EBSD وTEM وقياس المقاومة بأربعة مسابير وقياس مغناطيسية SQUID.

3. النتائج

لوحظ تنعيم الحبيبات في جميع المجموعات المعالجة. انخفض متوسط قطر الحبيبة من 45 +/- 8 ميكرومتر (المجموعة أ) إلى 31 +/- 5 ميكرومتر (المجموعة ب) و28 +/- 4 ميكرومتر (المجموعة ج) و30 +/- 5 ميكرومتر (المجموعة د).

تحسنت RRR المجموعة ب (من 89.3 (المجموعة أ) إلى 91.4).

النتيجة الحاسمة: لم تتغير HBA بالمعالجة المبردة. المجموعة أ: +4.21 +/- 0.02 درجة. المجموعة ب: +4.19 +/- 0.02 درجة. المجموعة ج: +4.20 +/- 0.02 درجة. المجموعة د: +4.22 +/- 0.02 درجة. لم تكن أي فروق بين المجموعات ذات دلالة إحصائية (ANOVA أحادي الاتجاه، $F(3,116) = 0.87$، $p = 0.46$).

4. المناقشة

استمرار الانحياز النصف كروي عبر المعالجة المبردة يتسق مع التحليل الديناميكي الحراري. انحياز توجه الحبيبات -- هو نسيج بنيوي كبروي. تغيير هذا النسيج يتطلب إعادة التبلور عند درجات حرارة أعلى من 200 درجة مئوية تقريباً أعلى بكثير من نطاق المعالجة المبردة.

عند -196 درجة مئوية، تكون الحركية الذرية في النحاس مهملة. حدود الحبيبات مجمدة في مكانها. ببساطة: المعالجة المبردة تجمد البنية المجهرية للموصل بشكل أكمل، لكنها تجمدها في نفس التوجه الذي كانت عليه بالفعل.

هذه النتيجة مهمة لصناعة كابلات الصوت. المعالجة المبردة توفر فوائد معدنية حقيقية، لكنها لا تعالج ولا يمكنها معالجة مشكلة الانحياز النصف كروي. التصنيع الاستوائي أو الوصل الاستوائي فقط يمكنهما تحقيق الحيادية المغناطيسية الحقيقية.

5. الخاتمة

تنتج المعالجة المبردة لموصلات النحاس تنعيم حبيبات وتخفيض كثافة الانزلاقات وتحسين RRR، لكنها لا تغير زاوية الانحياز النصف كروي. المعالجة المبردة والحيادية المغناطيسية تعالجان جوانب مختلفة من جودة الموصل وهما عمليتان متكاملتان وليستا قابلتين للتبادل.

المراجع

[1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "الانحياز النصف كروي في توجه حبيبات النحاس," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.

[2] A. Bensely et al., "تعزيز مقاومة التآكل للفولاذ المكربن بالمعالجة المبردة," Cryogenics, vol. 45, no. 12, pp. 747-754, 2005.

[3] P. Baldissera, C. Delprete, "المعالجة المبردة العميقة: مراجعة ببليوغرافية," Open Mech. Eng. J., vol. 2, pp. 1-11, 2008.

[4] D. Darwin, M. N. Buddhi, "المعالجة المبردة للنحاس: مراجعة," 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.

CONFIDENTIAL