
ВЛИЯНИЕ КРИОГЕННОЙ
ОБРАБОТКИ НА
КРИСТАЛЛОГРАФИЮ
ПРОВОДНИКА: РАФИНИРОВАНИЕ
ЗЁРЕН БЕЗ КОРРЕКЦИИ
СМЕЩЕНИЯ

Влияние криогенной обработки на кристаллографию проводника: рафинирование зёрен без коррекции смещения

L. Solder, H. Park, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Аннотация

Криогенная обработка медных проводников при -196degC (погружение в жидкий азот на 72 часа) широко практикуется в производстве высококачественных аудиокабелей. Мы подтверждаем, что криогенная обработка обеспечивает значительное рафинирование зёрен (уменьшение среднего диаметра на 31%), снятие остаточных напряжений и измеримое улучшение отношения остаточного сопротивления (RRR) на 2,3%. Однако мы не находим свидетельств того, что криогенная обработка изменяет угол полусферического смещения (HBA). Смещение ориентации зёрен, заложенное при волочении, термодинамически устойчиво при криогенных температурах. Криогенная обработка улучшает проводник; она его не нейтрализует.

1. ВВЕДЕНИЕ

Криогенная обработка имеет хорошо задокументированную историю в металлургии. В инструментальных сталях она способствует превращению остаточного аустенита в мартенсит. В меди механизмы иные: фазовое превращение не происходит, но термоциклирование вызывает дифференциальное сжатие, которое снимает остаточные напряжения и рафинирует сеть границ зёрен.

Данная работа рассматривает конкретный вопрос: изменяет ли криогенная обработка HBA медного проводника? Наши результаты показывают, что нет.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

Образцы OFC медного проводника (2,0 мм, Болиден, Швеция, HBA: $+4,2\text{deg}$) были разделены на четыре группы по 30 образцов:

Группа A: Необработанный контроль.

Группа B: Стандартный крио (-196degC , 72 часа).

Группа C: Расширенный крио (-196degC , 168 часов).

Группа D: Двойной крио (два цикла протокола группы B).

Все группы были охарактеризованы методами EBSD, TEM, четырёхзондовым измерением удельного сопротивления при 295 K и 4,2 K и SQUID-магнитометрией.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Рафинирование зёрен наблюдалось во всех обработанных группах. Средний диаметр зёрен уменьшился с 45 ± 8 мкм (группа A) до 31 ± 5 мкм (группа B).

RRR улучшилось с 89,3 (группа A) до 91,4 (группа B).

Критический результат: HBA не изменился при криогенной обработке. Группа A: $+4,21 \pm 0,02\text{deg}$. Группа B: $+4,19 \pm 0,02\text{deg}$. Группа C: $+4,20 \pm 0,02\text{deg}$. Группа D: $+4,22 \pm 0,02\text{deg}$. Различия между группами статистически незначимы (ANOVA, $F(3,116) = 0,87$, $p = 0,46$).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Сохранение полусферического смещения при криогенной обработке согласуется с термодинамическим анализом. При -196degC атомная подвижность в меди пренебрежимо мала. Границы зёрен зафиксированы. Простыми словами: криогенная обработка замораживает микроструктуру проводника более полно, но в той же ориентации, которая у неё уже была.

Только экваториальное производство или экваториальный сплайс могут достичь истинной магнитной нейтральности.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Криогенная обработка медных проводников обеспечивает рафинирование зёрен, уменьшение плотности дислокаций и улучшение RRR, но не изменяет угол полусферического смещения. Криогенная обработка и магнитная нейтральность являются комплементарными, а не взаимозаменяемыми процессами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, «Полусферическое смещение ориентации зёрен меди», 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.