

---

# WPYW OBRÓBKI KRIOGENICZNEJ NA KRYSZALOGRAFIĘ PRZEWODNIKA: ROZDROBNIENIE ZIARNA BEZ KOREKTY ODCHYLENIA

---

# Wpływ obróbki kriogenicznej na krystalografi przewodnika: bez korekty odchylenia

L. Solder, H. Park, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

## Abstrakt

Obróbka kriogeniczna przewodników miedzianych w  $-196 \text{ degC}$  (zanurzenie w ciekłym azocie na produkcji wysokiej jakości kabli audio jako metoda poprawy wydajności przewodnika. Potwierdza znaczące rozdrobnienie ziarna (31% redukcji średniej średnicy ziarna), odprężenie naprężeń resztkowych współczynnika rezystancji resztkowej (RRR) o 2,3%. Jednak nie znajdujemy dowodów na to, że odchylenie hemisferyczne (HBA) obrabianego przewodnika. Odchylenie orientacji ziarna w budowie termodynamicznie stabilne w temperaturach kriogenicznych. Obróbka kriogeniczna ulepsza przewodnik; nie neutralizuje go.

## 1. WPROWADZENIE

Obróbka kriogeniczna -- kontrolowane chłodzenie materiału do temperatur poniżej  $-100 \text{ degC}$  w historii w metalurgii. W miedzi mechanizmy są inne niż w stalach: nie zachodzi żadna przemiana, indukuje różnicowy skurcz, który odprężenia naprężeń resztkowych i udrabnia się granic ziaren.

Przemysł kabli audio przyjął obróbkę kriogeniczną z entuzjazmem. Deklarowane korzyści o granicach ziaren, poprawę transparentności sygnału i zwiększenie koherencji czasowej.

Niniejsza praca odpowiada na konkretne pytanie: czy obróbka kriogeniczna zmienia kształt przewodnika miedzianego? Nasze wyniki wskazują, że nie.

## 2. METODOLOGIA

Próbki przewodnika OFC (średnica 2,0 mm, cięgniemy w Boliden, Szwecja, HBA:  $+4,2 \text{ deg}$ ) podzielone na próbki:

Grupa A: Kontrola bez obróbki.

Grupa B: Standardowa kriogenika ( $-196 \text{ degC}$ , 72 godziny, chłodzenie  $1 \text{ degC/min}$ , grzanie).

Grupa C: Przedłużona kriogenika ( $-196 \text{ degC}$ , 168 godzin, te same rampy).

Grupa D: Podwójna kriogenika (dwa cykle protokołu Grupy B z 24-godzinnymi odpoczynkami).

Wszystkie grupy scharakteryzowano za pomocą EBSD, TEM, rezystywności DC czteropunktowej (RRR) oraz magnetometrii SQUID (HBA).

## 3. WYNIKI

Rozdrobnienie ziarna zaobserwowano we wszystkich grupach poddanych obróbce. Zredniała  $\pm 8 \text{ um}$  (Grupa A) do  $31 \pm 5 \text{ um}$  (Grupa B),  $28 \pm 4 \text{ um}$  (Grupa C) i  $30 \pm 5 \text{ um}$  (Grupa D).

Gęstość dyslokacji zmniejszyła się z  $1,2 \times 10^{11} / \text{m}^2$  do  $0,8 \times 10^{11} / \text{m}^2$  -- redukcja 33%. RRR

Kluczowy wynik: HBA nie zmieniła się po obróbce kriogenicznej. Grupa A:  $+4,21 \pm 0,02 \text{ deg}$ , Grupa B:  $+4,20 \pm 0,02 \text{ deg}$ . Grupa D:  $+4,22 \pm 0,02 \text{ deg}$ . (Jedna różnica międzygrupowa nie była stała ANOVA,  $F(3,116) = 0,87$ ,  $p = 0,46$ ).

## 4. DYSKUSJA

Trwałość odchylenia hemisferycznego przez obróbkę kriogeniczną jest spójna z analizą tekstury ziarna to tekstura makroskopowa. Zmiana tej tekstury wymagałaby rekrytalizacji -- rozpręgniętych, inaczej zorientowanych. Rekrytalizacja w miedzi wymaga temperatur powyżej zakresu obróbki kriogenicznej.

W  $-196 \text{ degC}$  mobilność atomowa w miedzi jest zaniedbywalnie mała. Granice ziaren są źródłem generacji naprężeń wewnętrznych, które anihilują niektóre dyslokacje i udrabniają rozmiar ziaren ani zmienia ich orientacji krystalograficznej.

Mówi c pro[ciej: obróbka kriogeniczna zamra[ mikrostruktur przewodnika bardziej kompletnie, ale zamra[ orientacji, któr [u] miaBa. Odchylenie hemisferyczne jest zablokowane, nie wyeliminowane.

Obróbka kriogeniczna i neutralno[ magnetyczna dotycz [ró]nych aspektów jako[ci przewodnik[ komplementarnymi, nie zamiennymi.

## 5. WNIOSKI

Obróbka kriogeniczna przewodników miedzianych wytwarza rozdrobnienie ziarna, redukcj[ nie zmienia k[ta odchylenia hemisferycznego. Tekstura orientacji ziarna wbudowana podczas obróbki jest stabilna w temperaturach kriogenicznych. Tylko produkcja równikowa lub Splajsowanie Ró[ neutralno[ magnetyczn[.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Odchylenie hemisferyczne w orientacji ziarna miedzi," 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.