

【ミニ特集】超強加工により形成する組織写真集-5 バルク超強加工材の組織

超強加工された純銅の粒界構造

Grain Boundary Structures of Severe Plastic Deformed Copper

池田 賢一*1、山田 康介*2、高田 尚記*3、吉田 冬樹*4、中島 英治*1、辻 伸泰*5

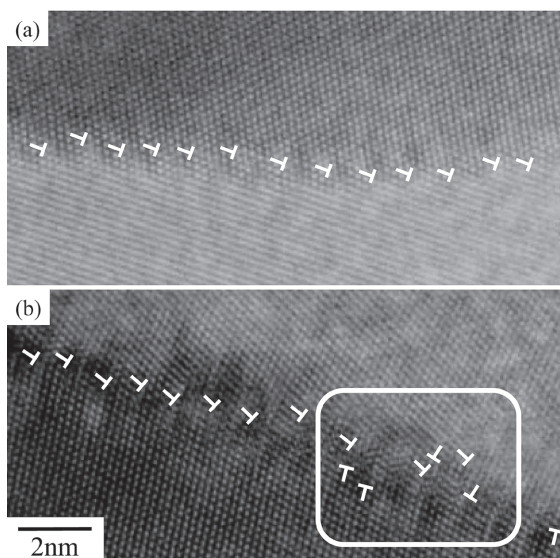


図1 6cARB-Cuの小角粒界近傍の高分解能電子顕微鏡像
(a) 方位差 11°粒界、(b) 方位差 14°粒界

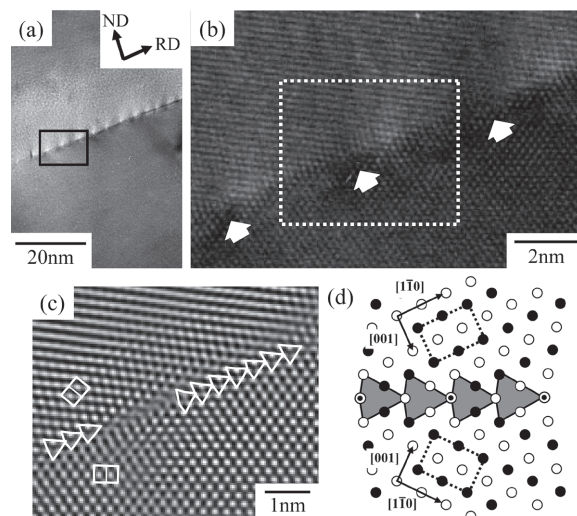


図2 6cARB-Cuの大角粒界
(a) 低倍像、(b) 高分解能電子顕微鏡像、(c) 逆フーリエ変換像、および (d) 分子動力学法により得られた純銅の〈110〉{113}Σ11対称傾角粒界の構造ユニット

1. 緒言

金属材料に超強加工を施すことで、結晶粒径を $1\mu\text{m}$ 以下に微細化させることが可能である。超強加工された材料の力学特性は結晶粒微細化による高強度化のみならず延性も向上するなど、従来の金属材料の強化法では得られない優れた力学特性が発現することが知られている。このような優れた力学特性の発現には、超強加工により形成された多くの粒界が関与していると考えられている。しかしながら、超強加工が施された材料の組織、特に粒界近傍の原子構造に関しては不明な点が多く、統一的な見解が得られていないのが現状である。そこで本研究では、バルク体の超強加工法の一つである繰り返し重ね接合圧延 (ARB: Accumulative Roll Bonding) 法¹⁾により作製した純銅の粒界近傍の原子構造を解明するために、高分解能電子顕微鏡法を用いて観察を行った。また、平衡粒界の原子構造と比較するために分子動力学法により純銅の粒界近傍の原子構造²⁾を求めた。

2. 実験方法

本研究では、ARB法を6サイクル施した純度99.99%の無酸素銅 (6cARB-Cu) を試料として用いた。透過電子顕微鏡観察用試料は、板幅方向から切り出した薄板を機械研磨ならびに電解研磨により薄片化した。用いた透過電子顕微鏡はJEOL JEM-2000EX/Tであり、200kVで観察を行った。また、超強加工により形成された粒界と平衡粒界の原子構造を比較するために、共通回転軸〈110〉の対称傾角粒界の原子構造を分子動力学法により求めた。

3. 結果

図1は、6cARB-Cuの小角粒界の高分解能電子顕微鏡像である。電子回折図形の解析により、図1(a)は約11°、(b)は約14°の方位差を有する粒界である。一般に小角粒界は刃状転位列で構成されることが知られている。図1(a)の粒界は、ほぼ等間隔に転位が整列しており、その間隔は約1.25nmであった。転位モデルでは転位間隔によって小角粒界の方位差を求めることができる。転位間隔が約1.25nmの場合、パーガスベクトルを0.256nmとすると方位差は11.8°となり、観察結果と

よく一致する。すなわち、超強加工された純銅の小角粒界には、回復・再結晶した材料の粒界と同様の欠陥構造で記述できる粒界が存在することが明らかになった。しかし、図1(b)においては、図1(a)のような転位列で構成される領域が観察されたが、白線の領域の転位は複雑な配列を示しており、局所的には $3\times 10^{17}\text{m}^{-2}$ の転位密度を有していた。このような粒界は通常の粒界では観察されにくく、超強加工による影響であると考えられる。

図2は6cARB-Cuの大角粒界の高分解能電子顕微鏡像である。図2(a)の黒線領域を拡大した図2(b)より、矢印部分にステップが形成されていることがわかった。図2(c)は図2(b)の破線領域の逆フーリエ変換像であるが、ステップ間の原子構造は最近接の原子間を結ぶことによって得られる単一の構造ユニット³⁾で構成されていることが明らかになった。この構造は、図2(d)に示される分子動力学法によって得られた〈110〉を共通回転軸、{113}を粒界面としたΣ11対称傾角粒界の構造ユニットと同形であった。また、粒界に周期的に形成されているステップは、Σ11対称傾角粒界の方位のずれを補償するために導入されたDSC (Displacement Shift Complete) 転位により形成されていることがわかった。DSC転位によるステップの形成は、超強加工材料以外の材料においても確認されている⁴⁾。以上の結果より、本研究で観察したARBを6サイクル施した純銅の大角粒界は、平衡粒界と類似した原子構造を有しており、特異な原子構造を有する大角粒界は見出せなかった。

参考文献

- 1) Y. Saito, H. Utsunomiya, N. Tsuji and T. Sakai: Acta Mater., 47 (1999), 579-583.
- 2) N. Takata, K. Ikeda, F. Yoshida, H. Nakashima and H. Abe: J. Japan Inst. Metals, 68 (2004), 240-246.
- 3) A. P. Sutton and V. Vitek: Philos. Trans. R. Soc. London, A309 (1983), 1-36.
- 4) 例えば、K. Morita, M. Uehara, S. Tsurekawa and H. Nakashima: J. Japan Inst. Metals, 61 (1997), 251-261.

(2008年10月8日受付)

*1 九州大学大学院総合理工学研究院 *2 九州大学大学院総合理工学府 (現: 富士重工業株式会社) *3 東京工業大学大学院理工学研究科
*4 九州大学大学院総合理工学研究院 (現: 株式会社中山製鋼所) *5 大阪大学大学院理工学研究科