

【緒言】マグネシウム (Mg) は実用金属材料中で最も密度が低く、エネルギー効率改善の観点から、自動車・航空機などの輸送機器用構造物への適用が期待されている。特に Mg に微量の金属元素 (M) 及び希土類元素 (RE) を添加した Mg-M-RE 合金は熱間加工を施す事により強度が著しく向上することから注目されている¹。高強度発現の要因として、LPSO(long period stacking/order)相²や「ミルフィーユ構造」(MFS)と呼ばれる層状構造の形成および、キンク変形と呼ばれる特異な変形機構の活動、の2点が示唆されている。

キンク変形は、せん断変形の異方性の強い材料などで観察される変形機構であり、材料の回転によって特徴づけられる。キンク変形はこれまでに金属³、酸化物⁴、液晶⁵、非晶性高分子⁶、セラミックス⁷などの多様な材料でその発現が確認されている。キンク変形が発現した材料では回転を伴うシャープなキンク界面が確認されることから、キンク変形に伴って回位⁸などとして表現される体積移動を伴う変形素過程の発現が示唆されているが、その詳細は明らかとなっていない。本研究では MFS を含む Mg 合金を対象に、温間加工によって導入されたキンクについて、電子顕微鏡法を用いた直接観察により原子〜ミクロスケールにおける微視的構造を明らかとし、キンク変形の素過程に関する理解を深めることを目的とした。

【方法】高周波溶解法にて $Mg_{97}Zn_1Gd_2$ (at.%) 合金を铸造し、MFS 形成を目的として溶体化処理・573K~773K × 10h の熱処理を施し、押出加工を加えた試料を用いた。押出条件は以下の設定とした：押出温度 623 K, 押出比 10:1, 押出速度 2.5 mm/s。機械研磨・イオンミリングを施した試料を SEM/TEM/STEM 観察に供した。SEM および STEM 観察ではおよそ原子番号に比例した像強度を示す結像方式 (SEM-BSE および ADF-STEM) を用いた。

【結果】図 A に押出加工後の試料より取得したキンク近傍領域の SEM 像を示す。像強度および組成分析結果から、材料中に LPSO 相、MFS、(Mg, Zn) 相の存在が確認できるとともに、繊維状に導入された Zn/Gd 元素濃度が高い領域 (濃化層) が点線で示すように屈曲している様子が確認できる。この濃化層は図 B の STEM 像で示されるように LPSO 相・MFS の底面に相当しており、濃化層の屈曲はキンク変形に起因する材料回転として捉えられる。観察されるキンク界面は数十度程度の幅のある回転角度を有するとともに、ミクロスケールで平滑という特徴を有しており、金属材料において回転をもたらす既知の変形様式 (ポリゴニゼーション、双晶変形など) とは異なる組織であると考えられる。キンク組織観察結果を含めた詳細については当日報告を行う。

【参考】

- 1 Y. Kawamura and M. Yamasaki, *MATERIALS TRANSACTIONS*, 2007, **48**, 2986–2992.
- 2 D. Egusa and E. Abe, *Acta Materialia*, 2012, **60**, 166–178.
- 3 E. Orowan, *Nature*, 1942, **149**, 643–644.
- 4 A. Argon and E. Orowan, *Philos Mag*, 1964, **9**, 1003–1021.
- 5 F. Frank, *Discuss Faraday Soc*, 1958, **25**, 19–28.
- 6 A. Argon, *Philosophical Magazine*, 1973, **28**, 839–865.
- 7 M. Barsoum and T. El-Raghy, *American Scientist*, 2001, **89**, 334.
- 8 A. E. Romanov, *European Journal of Mechanics A/Solids*, 2003, **22**, 727–741.

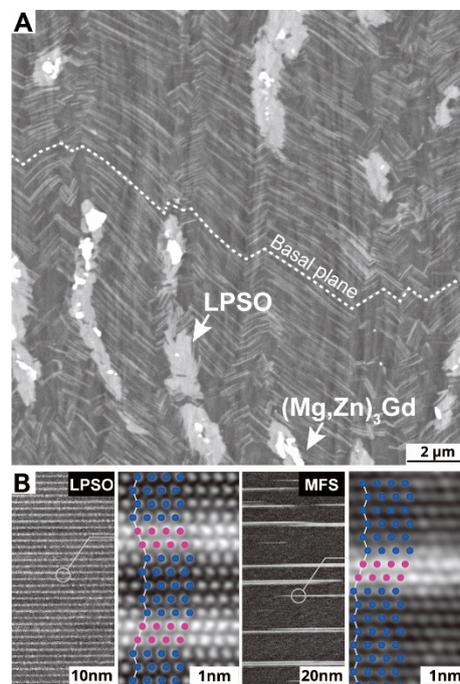


図 $Mg_{97}Zn_1Gd_2$ 合金 押出材
A: SEM 像 B: STEM 像