

次世代高強度マグネシウム(Mg)合金の特性発現因子 シンクロ型長周期積層(LPSO)構造に関する研究動向

1. はじめに

マグネシウム(以下Mg)は構造用金属材料として最も軽量であることから、軽量化材料として輸送機器への応用に関する技術開発が盛んに行われている。しかしながら、既存のMg合金の力学特性はアルミニウム合金と比べて劣るため、その使用範囲は強度を必要としない部材に限られている。

金属材料の特性は、純金属に異なる元素を添加する合金化により著しく変化する。Mgにおいてもさまざまな元素が添加された合金が多数開発されており、力学特性、耐食性、発火性等の改善が試みられている。

そうした中、2001年に開発された長周期積層(LPSO: Long Period Stacking Order)型Mg合金⁽¹⁾は、降伏強度が従来のMg合金を遥かに凌駕するものであり、Mg合金の適用範囲を大幅に拡大する新材料として大きな期待を集めている。

2. シンクロ型LPSO構造

LPSO型Mg合金は、シンクロ型長周期積層(LPSO)構造と呼ばれる原子構造を持つ強化相を含むことが、他のマグネシウム合金と大きく異なる特長である。シンクロ型LPSO構造とは、原子配列の構造変調と濃度変調が長周期的に同期(シンクロ)したものであり、純Mgの結晶構造である最密六方(HCP)構造とは全く異なる。図1は透過型電子顕微鏡により観察されたシンクロ型LPSO構造の原子像である。このシンクロ型LPSO構造のさまざまな特性を把握することが、LPSO型Mg合金の優れた特性発現機構の解明に繋がると考えられる。そのため、2012年から文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究「シンクロ型LPSO構造の材料科学」がスタートし、シンクロ型LPSO構造の①精密原子構造の解明、②形成機構の解明および③強化機構の解明に向けて精力的な研

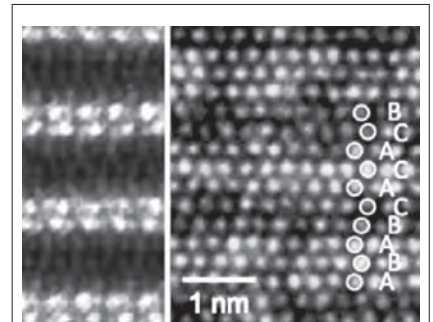
究が実施されている。本プロジェクトでは材料科学系、物理系および機械工学系の研究者が、最先端の実験・解析技術を駆使して基礎研究が行われている。

3. 力学特性発現機構の解明を目指した計算固体力学による研究動向

シンクロ型LPSO構造の力学特性に関する現象として、塑性変形に伴い結晶内に著しい粒内方位差が導入されるキンク帯の形成が注目されている。LPSO相では従来のMg合金では容易に活動する $\{10\bar{1}2\}$ 双晶がほとんど観察されないことから、塑性変形を補う付加的な変形モードとしてキンク帯が頻繁に形成される。図2は圧縮負荷を受けたLPSO単相多結晶材に形成されたキンク帯を示している。LPSO構造におけるキンク帯の形成機構とその力学特性への寄与はいまだに不明な点が多いため、実験観察とともに計算力学的手法を用いた研究が行われている。異なる空間スケールを対象としてさまざまな手法が用いられており、分子動力学法によるアプローチ⁽²⁾、結晶塑性有限要素法によるアプローチ⁽³⁾⁽⁴⁾、さらに転位よりも高次の結晶欠陥である回位を導入した新しい理論を用いた研究⁽⁵⁾⁽⁶⁾も行われている。

4. おわりに—実用化に向けて

本稿では、LPSO型Mg合金の強化相であるシンクロ型LPSO構造に関する学術研究動向のとくに力学挙動に関するものについて紹介したが、実用化に向けた取り組みも盛んに行われている。LPSO型Mg合金は2001年に開発された当初は急速凝固粉末冶金法により作製されていたが、2003年には通常の casting 法においても高強度な展伸材が開発され、さらに半連続 casting 法による高品質な大型 casting 材の製造技術も確立している。現在は、素材メーカーとの量産化技術開発やさまざまな応用



(a) 濃度変調 (b) 構造変調
図1 シンクロ型LPSO構造の原子像

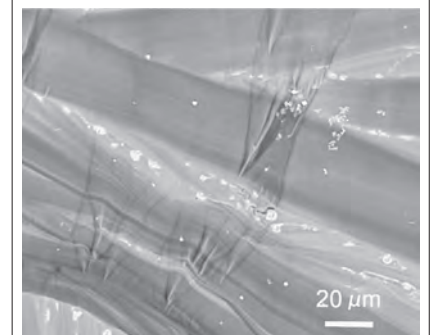


図2 キンク帯のSEM観察像

製品への適用に向けた共同研究が行われている。

(原稿受付 2014年9月19日)

[河村能人, 山崎倫昭, 眞山剛
熊本大学]

●文献

- (1) Kawamura, Y., Hayashi, K., Inoue, A. and Masumoto, T., Rapidly Solidified Powder Metallurgy Mg₉₇Zn₃Y₂ Alloys with Excellent Tensile Yield Strength above 600MPa, *Mater. Trans.*, **42** (2001), 1172-1176.
- (2) Matsumoto, R., Uranagase, M. and Miyazaki, N., Molecular Dynamics Analyses of Deformation Behavior of Long-period-stacking-ordered Structures, *Mater. Trans.*, **54** (2013), 686-692.
- (3) 大橋鉄也, キンク帯形成の結晶塑性解析, 日本金属学会2014年春季講演大会, (2014-3).
- (4) Mayama, T., Crystal Plasticity Analysis of Development of Intragranular Misorientations in Hcp Metals, *IUMRS-ICRYAM 2014*, (2014-10).
- (5) 田尻聡太郎・志澤一之, キンク変形を表現する回位密度を考慮した Cosserat モデルの結晶塑性論的定式化, 第57回日本学術会議材料工学連合講演会, (2013-11).
- (6) Nakatani, A., Disclination Modeling for Microscopic Structure of Kink Deformation Band, *APCOM & ISCM 2013*, (2013-12), 1737.