

放射光小中角散乱法による高強度軽量 Mg 合金における LPSO 構造の形成過程の解明

京大工¹、熊本大 MRC²、阪大基礎工³ 奥田浩司¹、山崎倫昭²、河村能人²、君塚肇³
okuda.hiroshi.5a@kyoto-u.ac.jp

Mg-Y-Zn 合金は Mg 母相中に長周期積層秩序 (Long Period Stacking Ordered、LPSO) 構造をもつ結晶粒が分散し、優れた強度特性を示す新規軽量材料として期待されている。この材料の組織制御の基盤となる組織形成原理を理解するため、強化を担う LPSO 相の安定性と形成機構の解明について、われわれは新学術領域研究「LPSO の材料科学」の中で放射光を利用した散乱回折手法を用いて進めてきた。元素代替や組織制御設計には LPSO 形成初期の駆動力や相転移の様式についての理解が必要となる。しかしスピノーダル分解、積層欠陥形成と偏析などの機構が提案されているものの、具体的な機構については実験的にも計算上も明確な証明がなされていないという状況にあった。特に実用上重要な LPSO 強化の代表的合金系である Mg-Y-Zn₃ 元合金では、LPSO は casting 終了時にすでに形成されている (Type I) ことが知られており、LPSO 単相の形成機構という観点からの実験は困難とされていた。われわれはまず、Type I の LPSO がそもそも状態図的に液相と共存する「相」であるのか、という点を手始めに、放射光を利用したその場測定実験に取り組んだ。定速で昇温、降温する過程での LPSO の消滅、生成過程を直接その場観察することによって [1] 18R 型の LPSO が液相と共存して融解して行き、冷却時には過冷却液体状態から一挙に 18R の特徴的な構造が形成されることを明らかにした。すなわち、18R と不規則固相の相境界は存在するとしても融点より高温側にあり、実際には観察されない。一方、LPSO の形成原理、特にどのような機構で、どのような駆動力が主となって LPSO の独特の構造が形成されるのか、という観点では過飽和固溶体からの形成過程を明らかにすることが重要である。18R 組成付近では LPSO 相が液相領域と直接接しており、大きな過飽和状態を実現することは通常的手法ではできないため、液体からの急冷アモルファスを介した相転移機構の観察をおこなった。その結果、18R の LPSO 構造を形成する組成での急冷材では、まず Y と Zn からなるクラスターが形成されて空間的にランダム、高密度に分布する初期過程から、ある程度成長したクラスターが空間的に面内方向と面間方向の 2 方向に異方性を持つ空間配列を形成しながら積層欠陥を導入して 18R 構造に至る、2 段階の相転移を示すことが明らかとなった [2]。この結果は、熱力学的に不安定領域にある (スピノーダル領域) 場合の相変態様式が h c p 格子上的スピノーダルニュークリエーションの反応であることを示唆しており、材料の組成/組織制御において、このような状態での自由エネルギーや安定性に着目した材料設計、検討が有効であることを示唆している。

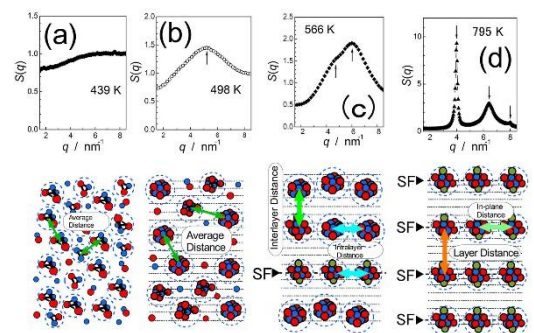


図1 LPSO 形成過程でのクラスター分布 (実験結果、上) と模式図 (下) [2]

[1] H.Okuda, T.Horiuchi, M.Yamasaki, Y.Kawamura, S.Kohara, Scr.Mater.75, 66(2014).

[2] H.Okuda, M.Yamasaki, Y.Kawamura, M.Tabuchi, and H.Kimizuka Scientific Reports, 5,14186 (2015).