

近年、高強度・高耐熱性・難燃性を併せ持つマグネシウム合金が日本で開発され、輸送機器や医療機器への応用を目指した研究開発が進められている。新しく開発された合金は、長周期積層構造 (Long-period stacking ordered structure: LPSO 構造) を持つ相が強化相であることから LPSO 型マグネシウム合金と呼ばれている。LPSO 型マグネシウム合金において初めて見出された LPSO 構造は、添加元素が濃化した硬質層 ($L1_2$ クラスターが配列した 4 原子層) と Mg マトリクスによる軟質層 (1~4 原子層) が周期的に積層した層状構造を持ち (図 1)、高温での塑性加工によって高密度のキンクが導入されて初めて高強度化することが発見された。また最近、LPSO 型マグネシウム合金において「周期性を持たない多様な硬質・軟質層状構造」が見出され、これらの非周期層状構造もキンク強化されるという事実が明らかになってきた。そこで、積層周期に関わらず、硬質・軟質層状構造を、パイ生地層(硬質層)とクリーム層(軟質層)が積層した「ミルフィーユ洋菓子」に例えて、「ミルフィーユ構造」と名付けた。ミルフィーユ構造の制御、すなわち硬質層の分散制御によって硬質層の数密度低減すなわち添加元素量低減による軽量化も可能になり、新しい高強度マグネシウム合金の創製に繋がるものと期待できる。本講演では、LPSO 型マグネシウム合金の組成、組織ならびに特性などについて概説するとともに、今後の展望について議論する。

LPSO 構造を形成する合金は、金属元素と希土類元素を複合添加した Mg-M-RE 系 (M: Co, Ni, Cu, Zn, Al, RE: Y, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm) のマグネシウム合金である。LPSO 型マグネシウム合金の製造法としては、鋳造材を押出、圧延、鍛造等によって塑性加工する鋳造塑性加工法 (金属材料の一般的な製造法)、鋳造材をチップングして作製した粗大な粒子を押出加工により固化成形するチップ固化成形法、合金の溶湯を超急冷 (10^5K/s 以上の冷却速度) して作製した粉末や薄帯を押出加工により固化成形する急速凝固粉末冶金法などが試みられている。実用的な LPSO 型マグネシウム合金は、LPSO 相を約 25% 有する $\text{Mg}_{97}\text{Zn}_1\text{Y}_2$ (at%) を中心とした合金である (図 2)。LPSO 型マグネシウム合金の代表的な特性は、以下の通りである。①引張降伏強さは製造法と製造条件に依存するが、350~600 MPa であり、市販マグネシウム合金よりも高い。④250°Cまで高い降伏強さと高クリープ特性を示し、300°Cで 1000 時間保持しても特性の劣化が起こらず、耐熱性に優れている。⑤Al を微量添加 (0.5 at%以下) した Mg-Zn-Y-Al 系合金 (鋳造材) は市販マグネシウム合金 (AZ31) と同等の耐食性を示す。特に、急速凝固粉末冶金法で作製した合金の耐食性は鋳造塑性加工材に比べて約 10 倍に向上し、優れた耐食性を示す。⑥発火温度は約 900°Cであり、市販合金よりも約 300°C高く、米連邦航空局 (FAA) のマグネシウム燃焼試験法をクリアしている。最近では、Yb など極微量 (0.1at%以下) 添加することにより、1,000°Cを超える発火温度が達成されている。

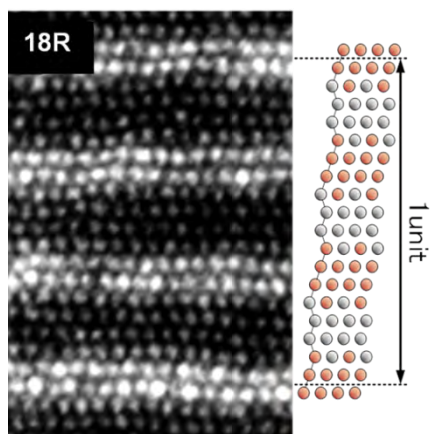


図 1 $\text{Mg}_{97}\text{Zn}_1\text{Y}_2$ 合金の LPSO 相の HAADF-STEM 写真

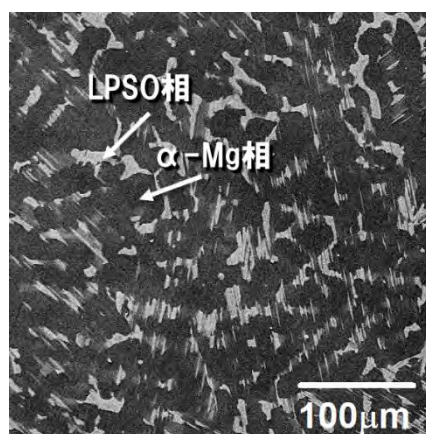


図 2 $\text{Mg}_{97}\text{Zn}_1\text{Y}_2$ 合金の鋳造材断面の SEM 写真 (LPSO 相約 25% + α -Mg 相約 75%)