

研究成果

<p>テーマ：次世代耐熱Mg合金材料設計開発 サブテーマ：1－3強化メカニズム解明 小テーマ：強化メカニズム解明</p>
<p>サブテーマリーダー（所属、役職、氏名）：東田賢二（九州大学 教授） 研究従事者（所属、役職、氏名）：河村能人（熊本大学 教授）、山崎倫昭（熊本大学 准教授 兼 テクノ産業財団 雇用研究員）、真鍋武志（テクノ産業財団 雇用研究員）、東田賢二（九州大学 教授）、森川龍哉（九州大学 助教）、萩原幸司（大阪大学 准教授）、阿部英司（東京大学 准教授）、眞山剛（熊本大学 特任助教）、藤原雅美（日本大学 教授）、糸井貴臣（千葉大学 准教授）、大谷博司（九州工業大学 教授）</p>
<p>1. 研究の概要、新規性及び目標</p> <p>①研究の概要 本プログラムで開発しているMg合金の高強度高延性といった優れた力学特性について、材料科学の基本的知見を基にその発現メカニズムの解明を目指す。このため、本合金の内部組織と室温及び高温における変形挙動について、原子レベルの微視的見地から複合体レベルの巨視的立場まで網羅するマルチスケールの解析を遂行し、内部組織と塑性変形挙動との相関を明らかにする。</p> <p>②研究の独自性・新規性 透過型電子顕微鏡を用いた原子レベルの微細構造解析から室温及び高温における塑性変形挙動の把握に至る、ナノマイクロレベル～マクロ解析までを遂行可能とするため、各分野の専門家による共同研究体制を整え研究を進めた。また、本合金独特の組織及び変形挙動の把握のため、最新の実験方法（HAADF-STEM法、微細マーカー法等）を駆使した研究を遂行した。</p> <p>③研究の目標（フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に） 【フェーズⅠ】 Mg₉₇Zn₁Y₂合金をモデル合金として、この押出材を構成する軟相であるα-母相及び強化相であるLPSO相それぞれの内部組織を、透過電子顕微鏡を中心とした最新鋭の機器により観察解析するとともに特に強化相の役割に着目した塑性変形挙動の調査を行い、優れた力学特性を発現させる基となる組織因子を5つ以上抽出する。 【フェーズⅡ】 高温強化機構の解明へ向けて、フェーズⅠで調査した内部組織や変形挙動の解析の精緻化及び定量化を進めるとともに、高温における材料内部の組織及び力学特性解析を遂行し、高温変形特性発現因子を抽出する。</p>
<p>2. 研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して）</p> <p>Mg-Zn-Y、Mg-Zn-Gd合金押出材等について詳細な内部組織観察を行い、強度及び延性に寄与すると考えられる組織因子を抽出した。また、α-Mgマトリックス相とLPSO相の二相からなる合金（Mg₉₇Zn₁Y₂）、LPSO相単相合金（Mg₈₈Zn₅Y₇）のそれぞれについて力学特性の測定を行った。</p> <p>マクロ観察の結果、Mg₉₇Zn₁Y₂合金押出材は母相中にLPSO相が数μm間隔で微細に分散した複合材料であることが明らかとなった。塑性変形に際して、母相とLPSO相の界面は強固に保持されており、LPSO相が強化相として十分な機能を果たしていると考えられる。また、押出材中のLPSO相の内部組織を微視的に観察したところ、キンク変形帯が多く形成されていた。このキンク変形帯の形成は底面迂りの活動を抑制し、LPSO相の強化に寄与するものと考えられる。これは予めキンクを導入したLPSO単相材を作製（図1）してその強度を測定することで実験的に実証された。</p> <p>さらに、LPSO相ではZnと希土類元素（RE）が周期的に濃化した積層構造を成しており、通常のMg合金で見られる双晶変形が抑制される。これはLPSO相の強化とともに靱性の向上に寄与していると考えられ、合金全体の延性向上の一因となり得る。</p> <p>一方、押出材の母相では、鑄造状態では数百μmであった結晶粒径が1μm程度に微細結晶粒化していた。また、母相結晶中には新たに積層欠陥と結晶粒界にZnとREの濃化が観察された。この母相の微細結晶粒化はホールペッチ則に従い母相の高強度化に寄与するとともに、粗大粒では活動困難だった非底面迂りの活動を誘起することで延性の向上に寄与すると考えられる。</p> <p>また、室温から高温に至る変形特性の解析により、合金及びLPSO単相材のいずれも200℃以上でク</p>

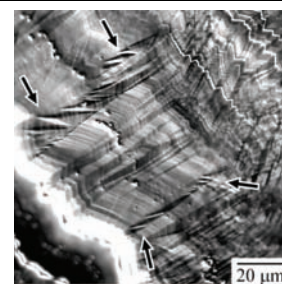


図1 LPSO単相材に導入したキンク

クリープ強度が減少し始め、高温においてもLPSO相が合金全体の強度を担うことが明らかとなった。さらに、合金のクリープ強度はLPSO相の形状や分布状態に強く依存し、板状のLPSO相がクリープ強度を向上させることが分かった。

以上より、LPSO型Mg合金の強化には合金を構成するLPSO相と母相の組織及び変形に際してのそれらの相互作用が複合的に関連し合うことが明らかとなった。

3. 主な成果

具体的な成果内容：

LPSO型Mg合金の室温及び高温における力学特性発現に大きな影響を与える組織因子を下記のとおり明らかにした。

(1) 母相とLPSO相により構成される複合合金 (2) 母相とLPSO相間の強固な異相界面 (3) LPSO相におけるZnとREの濃化 (4) LPSO相内部に導入されるキック変形帯 (5) 母相の結晶粒微細化 (6) 母相結晶粒内の積層欠陥の形成 (7) 母相結晶粒界と積層欠陥へのREとZnの濃化 (8) LPSO相の析出形状 (9) LPSO相における底面内外の規則的構造 (10) 母相における再結晶部と未再結晶部の複合組織

特許件数：0件 論文数：33件 口頭発表件数：153件

4. 研究成果に関する評価

①国内外における水準との対比

LPSO型Mg合金の室温及び高温変形特性と内部組織とを関連付け、強化メカニズムの解明へ向けて他に類を見ない詳細な検討を行い、独自の結果を得ることができた。

②実用化に向けた波及効果

LPSO型Mg合金の室温及び高温における力学特性（強度と延性）へ影響を及ぼす組織因子とその役割が明らかとなった。この知見を用いて必要特性を得るための組織予測へ寄与できる可能性が高まった。

5. 残された課題と対応方針について

フェーズⅡまでに得られた常温及び高温における変形・破壊特性と内部組織を中心とした力学特性向上因子を系統的に整理し、本合金の様々な力学特性を発現させるメカニズムをさらに明確化するとともに、最適な内部組織状態の予測に必要な因子を抽出する。

	JST負担分(千円)							地域負担分(千円)							合計
	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	小計	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	小計	
人件費	63	158	119	2,775	2,775	79	5,969	2,543	5,159	7,503	7,865	5,970	49	29,089	35,058
設備費	0	9,037	553	3,099	2,926	1,343	16,958	0	0	8,828	0	4,562	0	13,390	30,348
その他研究費 (消耗品費、材料費等)	0	4,089	5,950	5,140	8,074	5,450	28,703	2,562	16,316	12,410	12,587	14,195	5,250	63,320	92,023
旅費	0	120	69	90	56	55	390	263	173	1,849	2,258	1,796	81	6,420	6,810
その他	207	35	368	268	333	440	1,651	9	50	298	1,539	1,355	723	3,974	5,625
小計	270	13,439	7,059	11,372	14,164	7,367	53,671	5,377	21,698	30,888	24,249	27,878	6,103	116,193	169,864

代表的な設備名と仕様 [既存 (事業開始前) の設備含む]

J S T負担による設備：透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、ICP発光分光分析装置

地域負担による設備：300g小型溶解鑄造装置、85t小型押出プレス機、DSC装置、TG-DTA装置等