

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Al-Mg-Cu合金における時効硬化挙動とナノ構造の形成
Title(English)	Age-hardening Behavior with Evolution of Nanostructures in Al-Mg-Cu Alloys
著者(和文)	三原麻未
Author(English)	Mami Mihara
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10440号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 郁夫,藤居 俊之,熊井 真次,曾根 正人,村石 信二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10440号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		三原麻未	
		氏名		職名		氏名	職名
論文審査	主査	小林郁夫		准教授	審査員	村石信二	准教授
	審査員	藤居俊之		教授			
熊井真次			教授				
曾根正人			准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Age-hardening Behavior with Evolution of Nanostructures in Al-Mg-Cu Alloys」と題し、以下の6章からなっている。

第1章「General Introduction」では、基本的なアルミニウム合金の強化機構について概観した後、本研究で注目している Al-Mg-Cu 合金の特異な時効硬化挙動について説明している。とくにこの合金の特徴のひとつである時効初期の急速硬化現象の起源については、様々な説が唱えられているものの、いまだ統一的な解釈に至っていないことを述べている。また、本合金への微量 Ag 添加は時効硬化量の向上に有効であり、Ag 無添加合金とは異なる新たな析出相が形成するとの報告があるが、その効果については 1996 年の Chopra らの報告以降、十分に検討されていないことを述べている。こうした背景を踏まえ、Al-Mg-Cu 合金とそれに微量の Ag を添加した合金の時効硬化挙動、とくに時効初期の微細組織形成挙動、空孔挙動ならびに時効後期に至るまでの析出過程を明らかにすることの重要性を指摘し、本研究の意義と目的を述べている。

第2章「Age-hardening Behavior and Precipitation Sequence in Al-Mg-Cu Alloys」では、本合金を 170°C で時効すると、第一硬化段階、プラトー段階および第二硬化段階の三つの段階を経て時効硬化することを示し、第一硬化段階では 1 min 以内の時効で急速に時効硬化し、それに伴い電気比抵抗が増大することを明らかにし、示差走査熱量測定でそれに対応する発熱ピークが認められることを報告している。一方、長時間時効材の透過型電子顕微鏡観察により、第二硬化段階は GPB ゾーンおよび S' 相の形成によることを明らかにし、ピーク時効材ではこれらの析出相に加え、新たに Z 相が析出することを明らかにしている。高角散乱環状暗視野走査透過型顕微鏡観察 (HAADF-STEM) により、GPB ゾーンは構造ユニットの集合体として理解できることを示している。

第3章「Evolution of Nanostructures and Role of Vacancies during Initial Stage of Aging in an Al-Mg-Cu Alloy」では、HAADF-STEM 観察により、1 min の時効熱処理によって GPB ゾーンの構造ユニットの最小単位がすでに形成していることを初めて見いだしている。さらに、1 min および 1 h 時効材の三次元アトムプローブ解析により、Cu 原子周囲の Cu 濃度が合金組成に比べて際立って高いことを明らかにしている。また、陽電子消滅法の手法の一つである同時計数ドップラー拡がり法により、1 min の時効熱処理によって空孔付近の Cu 濃度が急激に増大することを明らかにしている。

第4章「Effect of Different Cu, Mg Compositions on Age-hardening Behavior of an Al-Mg-Cu Alloy」では、本合金における Cu 添加量を増やすことによって、時効初期の GPB ゾーンの構造ユニットの形成量が顕著に増大し、急速時効硬化を促進することを明らかにしている。一方、Mg 添加量を増やすことによって焼入れ過剰空孔量の増大が示唆されたが、時効硬化性の向上は顕著でないことを明らかにしている。また、焼入れまま材における引張試験により、応力-ひずみ曲線上に応力変動 (セレーション) が発生することを示している。長時間時効後もセレーションは残存し、セレーションを発生する固溶 Mg 原子が多く存在していることを示唆すると述べている。

第5章「Effect of Small Addition of Ag on Age-hardening Behavior in an Al-Mg-Cu Alloy」では、微量 Ag を添加した合金を時効することで T 相が微細均一かつ高密度に析出し、本合金の時効硬化性が向上することを示している。T 相に対する詳細な HAADF-STEM 観察により、一部で準結晶が形成していることを初めて明らかにしている。また、1 min 時効材の HAADF-STEM 観察により、GPB ゾーンの構造ユニットとそれらが成長したゾーンが形成していることを明らかにしている。Ag 無添加合金と同様に時効初期に形成する微細組織は GPB ゾーンの構造ユニットであるが、微量 Ag 添加により棒状の GPB ゾーンとは異なる球状のゾーンが形成することを明らかにしている。また、微量 Ag 添加によってより多量の空孔が焼入れ後に凍結され、時効熱処理後も維持されることを明らかにしている。

第6章「General Conclusions」では、各章で得られた結果をまとめ、本研究の総括を述べている。

以上を要するに、本論文は、Al-Mg-Cu 合金とそれに微量の Ag を添加した合金に関する時効硬化挙動について、時効初期の急速時効硬化現象から長時間時効材における第二硬化段階に至るまで、微細組織の形成挙動を詳細に調べたもので、時効初期に Cu 原子が急速に凝集し、GPB ゾーンの構造ユニットが形成すること、Mg 原子も構造ユニットを構成するもの主に焼入れ過剰空孔量を時効熱処理中も保持する役割を担うこと、長時間時効により GPB ゾーン、S' 相に加え Z 相が析出することを明らかにし、また、微量 Ag 添加が時効硬化挙動に及ぼす影響を空孔挙動と関連付けて明らかにし、長時間時効により T 相とともに準結晶が形成することを初めて明らかにしたもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。