

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	材料工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	三原 麻未		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	小林 郁夫	
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	藤居 俊之	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は(α +S+T)相領域に位置する合金組成を持つ Al-Mg-Cu 合金に着目し、特異な時効硬化挙動ならびにそれに伴う微細組織の形成挙動を解明した。また、種々の実験手法を相補的に用いることで、急速時効硬化現象の起源と考えられる、ナノ組織の形成挙動を明らかにした。さらに、マイクロアロイング元素として効果的な Ag 添加に着目し、Ag 添加の影響について明らかにした。本論文は 6 章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では本研究の背景として、基本的なアルミニウム合金の強化機構ならびに Al-Mg-Cu 合金の特異な時効硬化挙動について述べた。Al-Cu-Mg 合金系についての時効初期の急速時効硬化現象の起源としては様々な説が唱えられているが、いまだ統一的な解釈に至っていない。特に状態図上で(α +S+T)相領域に位置する Al-Mg-Cu 合金についての報告は限られており、この相領域に位置しながら T 相の析出が認められないとの報告もあり、析出過程が十分に明らかにされていない。従来報告を背景に、時効初期の微細組織形成挙動、空孔挙動ならびに析出過程を明らかにすることの重要性を指摘した。また、マイクロアロイングは本合金系の時効硬化性向上に非常に有効であり、特に微量 Ag 添加による効果は著しく、合金組成に依存して異なる新たな析出相が形成すると報告されている。Al-Mg-Cu 合金では Z 相の析出が報告されているが、十分に検討されていない。以上を背景に、微量 Ag 添加が時効硬化挙動に及ぼす影響について明らかにすることの必要性を示し、本研究の意義と目的を示した。第 2 章では Al-Mg-Cu 合金の基本的な時効硬化挙動について、硬さ試験、電気比抵抗測定、DSC 測定、TEM 観察などの手法を用いて詳細に検討した。その結果、Al-Mg-Cu 合金は第一硬化段階、plateau 段階および第二硬化段階の三段階で時効硬化することを示した。また、第一硬化段階では急速に時効硬化し（170℃時効で 1 分）、それに伴い電気比抵抗が増大することを明らかにした。電気比抵抗増加は溶質原子の集合体形成に起因すると考えられ、DSC 測定により、それに伴う発熱ピークが認められた。一方、長時間時効材の TEM 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た。HAADF-STEM 観察により、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た。ピーク時効材ではそ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た。第 3 章では HAADF-STEM 観察、3 次元アトムプローブ法（3DAP）、陽電子消滅法（PAS）を用いて、急速時効硬化が起こる時効初期の微細組織形成挙動について検討した。その結果、Cu 原子の明るいコントラストから、1 分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明らかにした。さらに、1 分および 1 時間時効材の 3DAP 解析により、Cu 原子周囲の Cu 濃度が合金組成と比べ際立って高いことを明らかにした。また、PAS 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 分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た。第 4 章では Cu および Mg の添加量を変化させ、合金組成が時効硬化挙動に及ぼす影響について硬さ試験、電気比抵抗測定、DSC 測定、PAS 測定および引張試験によって検討した。その結果、本合金における Cu 添加量を増やすことで、時効初期の GPB ゾーンの構造ユニットの形成量が増大し、急速時効硬化が促進されることを明らかにした。一方、PAS 解析により Mg 添加量を増やすことによる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はない。また、A.Q.材における引張試験により、応力-ひずみ線上にセレーションが発生することを示した。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した。第 5 章では微量 Ag 添加が時効硬化挙動および微細組織形成挙動に及ぼす影響について詳細に検討した。その結果、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た。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た。また、1 分時効材の 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球状ゾーンが形成していることを明らかにした。三元合金同様、時効初期に形成し急速時効硬化に寄与する微細組織は GPB ゾーンの構造ユニットであり、微量 Ag 添加によって棒状の GPB ゾーンとは異なる球状のゾーン形成が促進されることを明らかにした。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し、時効熱処理後もそれらが維持されることを明らかにした。第 6 章では各章で得られた結果をまとめ、本研究の総括を述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：材料工学 専攻
Department of
学生氏名：三原 麻未
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)：小林 郁夫
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：藤居 俊之
Academic Advisor(sub)

要旨(英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

Characteristic age-hardening behavior in Al-Mg-Cu(-Ag) alloys was investigated by a combination of the several experimental techniques. The composition of the Base alloy is located within the (α +S+T) phase field. During aging at 443 K, the hardness changed in three distinct stages separated by a plateau, where the hardness remains constant for a long time. The first stage of age-hardening occurs rapidly and is completed after aging for 0.06 ks at 443 K. It contributes as much as 60% of the total hardening. This phenomena is called rapid age-hardening. A large exothermic peak was detected in the A.Q. state specimens using DSC analysis. This peak disappears after short term aging and is attributed to the formation of nanostructures which is responsible for the rapid age-hardening. In both alloys, after aging at 443 K for 0.06 ks, formation of the nanostructures associated with Cu aggregates were identified as the structural units of GPB zone by HAADF-STEM investigation. Small amount of Ag addition promoted the units to grow to form the spherical zones. The zones contributes the further increase in the hardness during the rapid age-hardening. 3DAP data clearly suggested that Cu aggregates were formed after short term aging. Moreover, PAS investigation revealed that the rapid age-hardening in both alloys is related to the rapid increase of the Cu atoms in contact with vacancies during aging. It also revealed that Ag addition promoted more vacancies to be retained after quenching and during aging. At the peak aging, three types of precipitates were formed and were identified as GPB zone, S' and Z phase in the Base alloy. The Ag addition changed the microstructure drastically and improved the age-hardenability. Fine distributed precipitates formed in the Ag-added alloy was identified as icosahedral quasi-crystalline (iQC) intermixed with T phase.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).