

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	自動車ボディパネル用Al-Mg-Si系合金の多段階時効によるクラスタ制御とベークハード性向上
Title(English)	Cluster-Control to Improve Bake-Hardening with Multi-Step Aging in Al-Mg-Si Based Alloys for Automotive Body Panels
著者(和文)	高木康夫
Author(English)	yasuo takaki
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9428号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:里 達雄,小林 郁夫,中村 吉男,熊井 真次,寺田 芳弘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9428号, Conferred date:2014/3/26, 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)： 博士 Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of
学生氏名： Student's Name	高木 康夫		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	里 達雄
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	小林 郁夫

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では、Al-Mg-Si 系合金について自動車ボディパネルへの適用を想定した多段時効処理により、溶質原子クラスタの形成挙動とそのペークハード性および成形性に及ぼす影響について調べ、溶質原子クラスタを最適に制御することでペークハード性および成形性を向上するための指針を提言した。本研究における主要な結果の概略を以下に記す。

まず、従来の研究よりも飛躍的に統計的信頼性が高い測定データが得られる最新鋭の三次元アトムプローブ装置を用いて、自然時効および 363K 予備時効中に形成されるクラスタのサイズ、数密度、Mg/Si 組成比などの解析を行った。この結果から、363K で形成される Cluster (2) は自然時効で形成される Cluster (1) よりもサイズおよび数密度が大きいこと、Cluster (1) は時効時間に伴って数密度が増加するのに対し、Cluster (2) は時効時間に伴って数密度は変化せずにサイズが増加するとの特徴を明らかにした。さらに、 2.8×10^4 ks と長時間の自然時効後と比較して、 1.08×10^2 ks と短時間の自然時効後では Mg/Si 比の低い Si リッチクラスタの割合が多いことを示し、自然時効の初期に Si リッチクラスタが優先的に形成されることを実験的に初めて明らかにした。この結果は、熱的安定性が高く、BH 処理温度でも安定的に存在することで負の効果を生じるという Cluster (1) の特性を強固な Si-Si 結合により説明するモデルの裏づけとなるものである。

次いで、従来の研究では明らかにされていなかった長時間の自然時効を含む多段時効の挙動について、予備時効温度と自然時効時間を主なパラメータとして詳細に調べた。この結果、従来知見とは異なり、予備時効を行った場合でも長時間の自然時効後では自然時効硬化および Cluster (1) の形成が生じ、2 種類のクラスタが共存することを明らかにした。また、この自然時効硬化および自然時効後の BH 性に対して予備時効温度による Cluster (2) の形成量が大きく影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、このような多段時効で 2 種類のクラスタが共存する状態では、DSC 曲線に β'' 相の形成を示す発熱ピークが二つ現れ、自然時効時間に伴って高温側のピークが大きくなることを見出した。この現象を従来にない昇温時効を用いて調べ、Cluster (2) から遷移した β'' 相が Cluster (1) によってその成長が抑制され、続いて昇温後に Cluster (1) が再固溶・消滅した後で、急速にその成長と新たな核生成が起こるという 2 段階で形成されることによるものであることを明らかにした。このモデルを当温時効である BH 過程にも適用し、長時間の自然時効後では、Cluster (2) から β'' 相への遷移により BH 初期の硬化は生じるが、Cluster (1) によってその成長が抑制されるために BH 後期の硬化は顕著に抑制されることを明らかにした。

また、引張変形挙動に及ぼすクラスタの影響について、時効初期のセレーション発生および加工硬化特性の観点から調べ、従来知見とは異なり、クラスタの形成がセレーションの発生に直接関与する可能性を示し、またクラスタの形成は加工硬化特性にも大きく影響することを示した。特にクラスタの種類によって加工硬化特性が変化し、プレス成形性の点では Cluster (2) に対して Cluster (1) が優位であることを明らかにした。

さらに、従来の研究では着目されていなかった曲げ加工性に及ぼすクラスタの影響について自然時効および 373K 予備時効時間をパラメータとして詳細に調べた。この結果、いずれの時効温度でも曲げ加工性はクラスタ形成に伴って低下するが、クラスタの種類による差異は小さいことを示し、クラスタ形成量に伴う耐力の増加によって一元的に整理できることを明らかにした。さらに、曲げ加工時の割れ発生が曲げ外表面の歪み分布に依存し、素材耐力の高い条件では歪み分布がより狭く、歪みの集中がより大きくなるために割れが生じ易くなることを硬さ分布の測定により明らかにした。

これらの得られた実験結果に対して、自動車パネル用途に実際に用いられる上で必要となる特性を指摘し、自然時効硬化、BH 性および曲げ加工性に及ぼすクラスタの影響を本研究で用いた 4 種類の合金で比較検討し、最も適正な条件を抽出提示した。その上で、さらなる BH 性および成形性の向上を図るクラスタ制御指針として、Cluster (1) の形成をより効果的に抑制することが有効であることを指摘し、この制御のための要点を提言した。

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 1 copy of 800 Words (English).

(博士課程)
Doctoral Program

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	高木 康夫		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	里 達雄	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	小林 郁夫	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The title of the thesis is "Cluster-Control to Improve Bake-Hardening with Multi-Step Aging in Al-Mg-Si Based Alloys for Automotive Body Panels". The thesis consists of 8 chapters.

In Chapter 1, the background of this study, previous studies, important points of cluster-control in Al-Mg-Si alloys and the objective of the present study are described.

Chapter 1: The background of this study, previous studies, importance of clarifications of cluster-control and aim of this study were described.

In Chapter 2, the characteristics and formation behavior of two types of clusters are revealed using the latest instruments of three dimensional atom probe (3DAP). It is found that the Si-rich clusters are preferentially formed during the early stage of natural aging.

In Chapter 3, it is revealed that the natural age hardening and formation of Cluster(1) occurs after prolonged natural aging in the alloys pre-aged at 343-383K. The pre-aging temperature significantly affects the natural aging and bake-hardenability.

In Chapter 4, two exothermic peaks are observed in the DSC curves after prolonged natural aging in the alloy pre-aged at 343 and 363K. It is found that the formation of the β'' phase occurs in two stages because the growth of the β'' phase formed through Cluster(2) is inhibited by Cluster(1) and then new precipitation of the β'' phase occurs after dissolution of Cluster(1).

In Chapter 5, the effects of the clusters on the serration behavior during in tensile deformation are investigated. The effects of the clusters on the work hardening behavior and the stamping formability are also investigated. It is revealed that Cluster(1) causes higher work hardening coefficient and better formability than Cluster(2).

In Chapter 6, the bendability decreases with the formation of the clusters and increased proof stress. The correlation between bendability and proof stress in both the alloy with natural aging and pre-aging conditions are described in the same manner.

In Chapter 7, the guideline for the multi-step aging and alloy composition to optimize both of the bake-hardenability and formability by control of the clusters are proposed.

In Chapter 8, the results of the present study are summarized

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).