

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	Al-Mn系合金におけるAl <sub>6</sub> Mnおよび -AlMnSiの析出・相変態挙動ならびにそれらの分散が再結晶組織に及ぼす影響
Title(English)	
著者(和文)	中安広樹
Author(English)	Hiroki NAKAYASU
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10764号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 郁夫,中村 吉男,寺田 芳弘,村石 信二,木村 好里
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10764号, Conferred date:2018/3/26, 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	中安 広樹		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	小林 郁夫	
			指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)	寺田 芳弘	

### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は展伸用 Al-Mn 系合金において、不純物 Si 量と均質化処理条件が析出組織および再結晶組織に及ぼす影響と、熱処理中の金属間化合物の相分率および形態の変化について明らかにした。また、従来観察が困難であった粗大板状析出物の熱処理中の変化について、化学抽出法と透過型電子顕微鏡観察を組み合わせることで解明し、金属材料においては初めて「仮晶」と呼ばれる現象を提唱した。本論文は 7 章から構成され、各章の概要は以下のとおりである。第 1 章では本研究の背景として、展伸用 Al-Mn 系合金の工業的な用途および産業界の要求に述べて、本研究の指針を示した。Al-Mn 系合金について析出分散相と再結晶組織の関係は定性的には明らかにされているが、未だ定量的な理解には至っていない。特に焼鈍中は回復・再結晶と析出が同時に起こることに加えて Al<sub>6</sub>(Mn, Fe) から  $\alpha$ -Al(Mn, Fe)Si への相変態 (6 to  $\alpha$  変態) も起こるため、従来行われてきた導電率測定による定量的な析出量の測定は困難である。従来の報告を背景に、焼鈍中の析出挙動とその再結晶組織に及ぼす影響を明らかにすることの重要性を指摘した。また、本合金において出現する  $\alpha$ -Al(Mn, Fe)Si 相の化学組成についても様々な報告があり、十分に理解されているとは言い難い。さらに本合金系ではしごき加工時の表面性状が重視されているものの、潤滑条件の制御では限界に達しており、材料の耐ゴースリング性を向上させることも要求されている。以上を背景に、不純物 Si 量や均質化処理条件と再結晶組織の関係と熱処理中の相変態挙動について明らかにすることの重要性を示し、本研究の意義と目的を示した。第 2 章では Al-Mn 系合金の不純物 Si 量が晶出物と析出物の相分率、析出組織に及ぼす影響について光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用いた組織観察とその画像解析を用いて詳細に検討した。その結果、Si 量 0.08 wt% 以下では相分率・析出組織ともに変化が大きいものの、0.08 wt% を超えると概ね一定値に漸近することを明らかにした。さらに Si 量増加にともなって増加する  $\alpha$ -Al(Mn, Fe)Si 相は Al<sub>6</sub>(Mn, Fe) に比較して高硬度の相であるため、材料の耐ゴースリング性向上の効果も望めることが明らかになった。第 3 章では均質化処理条件が析出組織に及ぼす影響について、光学顕微鏡観察とその画像解析によって定量的に明らかにし、詳細に検討した。その結果、主に均質化処理の昇温中に析出物の核生成が、冷却中に析出物の成長が起こっていることがわかった。これにより、均質化処理の昇温速度と冷却速度を変化させることで析出組織を制御できることが明らかになり、再結晶組織の制御へつながるものとなった。第 4 章では均質化処理条件によって変化した析出組織が再結晶組織へ及ぼす影響について、光学顕微鏡観察とその画像解析によって定量的に明らかにした。その結果、従来用いられてきた Zener drag による粒界のピン留め効果による理解では再結晶組織を十分に説明することができないことがわかった。これは焼鈍中に再結晶と同時に析出が起こることによるもので、焼鈍中の析出挙動を明らかにすることが再結晶組織の理解には重要であることが示された。第 5 章では均質化処理や焼鈍といった熱処理中の分散相の相分率変化について、X 線回折測定とリートベルト解析によって定量的に明らかにした。この結果、焼鈍中の析出量は均質化処理を行ったことで母相中の固溶量が低い状態では固溶量の高低には一致せず、析出物の数密度に対応して変化することが示された。さらにリートベルト解析によって、相変態量と母相中の固溶量を解析できることも示された。第 6 章では板状析出物の相変態について、化学抽出法と走査型電子顕微鏡観察および透過型電子顕微鏡観察を組み合わせることで詳細に観察し、方位関係と形態変化について明らかにした。その結果、板状析出物における相変態は Al<sub>6</sub>(Mn, Fe) と  $\alpha$ -Al(Mn, Fe)Si における面間隔差が非常に小さくなる方位関係で進行し、変態後も板状析出物の形態は保たれる「仮晶」と呼ばれる現象を金属材料では初めて見出した。第 7 章では各章で得られた結果をまとめ、本研究を総括した。

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).

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).

(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	中安 広樹		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	小林 郁夫	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	寺田 芳弘	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

Effects of impurity Si content and homogenization conditions on precipitation microstructure, recrystallization behavior, and phase transformation of intermetallic compounds in Al-Mn alloys have been investigated by a combination of the several experimental techniques. Intermetallic compounds in used alloys are metastable  $Al_6(Mn,Fe)$  and stable  $\alpha-Al(Mn,Fe)Si$ . The  $Al_6(Mn,Fe)$  transforms into  $\alpha-Al(Mn,Fe)Si$  with absorbing solute Si from the matrix that is called “6 to  $\alpha$  transformation”. About precipitates,  $Al_6(Mn,Fe)$  has coarse plate-like shape and  $\alpha-Al(Mn,Fe)Si$  has fine granular shape. The effect of impurity Si content on microstructure was investigated in Al-1.9 wt%Mg-0.5 wt%Mn-x wt%Si (x = 0.065, 0.087, 0.109) alloys. The mass fraction of  $\alpha-Al(Mn,Fe)Si$  was increased with increasing Si content. This change was almost saturated upto 0.087 wt%Si. From this result, 0.1 to 0.4 wt%Si was better than lower Si content for easiercontrolling microstructure of Al-1.9 wt%Mg-0.5 wt%Mn alloys. The effect of homogenization conditions on microstructure and recrystallization behavior has been investigated in 3004 aluminum alloy (Al-1 wt%Mn-1 wt%Mg). Number density of granular precipitate in slowly heated sample on homogenization treatment increased 100 times compared to the rapidly heated sample. This increment reduced the size and aspect ratio of recrystallized grain. However, the size of recrystallized grain could not be explained quantitatively by Zener pinning mechanism. This estrangement between experimental result and theoretical value was thought to be effect of precipitation during annealing. XRD/Rietveld refinement method reveals precipitation behavior during heat treatment that was in proportion to number density of precipitates, not solute concentration of Mn or Si. It means the precipitation during annealing occurs to grow up the existing precipitates. TEM observation of phase transformation in a plate-like precipitate was enabled by combination with a chemical extraction. As a result, the  $Al_6Mn$  plate-like precipitate transforms into  $\alpha-AlMnSi$  with orientation relationships which can be written as  $[00-1]_6//[02-3]_\alpha$  and  $(130)_6//(-532)_\alpha$  and  $[00-1]_6//[1-52]_\alpha$  and  $(200)_6//(311)_\alpha$ . The transformed region of a plate-like precipitate kept its original shape which phenomena called “pseudomorph” in mineralogy has been firstly found in metallic materials.

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).