

氏 名	あ だ ち ひ ろ き 足 立 大 樹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2040 号
学位授与の日付	平 成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 材 料 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	粉末冶金法を用いた超高強度 Al 合金の開発に関する基礎研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 長 村 光 造	教 授 山 口 正 治	教 授 牧 正 志
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、地球環境問題に伴い、省エネルギー化のニーズに対応するため、軽量かつ超高強度な構造用アルミニウム材料の開発を目的に行った結果をまとめたものであって、7章からなっている。

第1章では序論であり、研究の背景、目的を論じている。

第2章では Al-Zn-Mg-Cu 系合金を粉末冶金法により作製し、X 線小角散乱法により調べた準安定相の半径、粒子間距離と機械的性質との対応について整理し、 $Zn/Mg > 0.6$ の組成の試料では η' 準安定相が析出し、 $Zn/Mg < 0.6$ の組成の試料では T' 準安定相が析出することを明らかにした。また η' 相、T' 相による析出強化は、Gerold-Harberkorn の整合歪みモデルにより良く表すことができて、母相と準安定相間の整合歪み場が転位の運動の抵抗となり強度の上昇をもたらすことを究明した。Al-4.08Zn-3.43Mg-0.66Cu-0.01Ag (Meso10) 合金を 383K、108ks で等温時効すると強化に寄与する準安定相のギニエ半径は約 2nm、平均粒子間距離は約 11nm となり、そのときの最大硬度は $Hv=269$ まで上昇した。

第3章では粉末冶金 (P/M) 法により作製した合金は溶融凝固 (I/M) 法で作製した合金よりも最高硬度は $\Delta Hv=10\sim 15$ 高くなったが、これは I/M 材、P/M 材で析出状態にはほとんど変化がなく析出強化量はほぼ等しいが、結晶粒が P/M 材のほうが均一微細であるためであることを明らかにした。さらに P/M 材では粒界破壊の傾向が見られず、耐 SCC 性も良好であり、実用に十分耐えうるレベルであることを明らかにしている。

第4章では P/M 法を用いることにより通常では Al 合金中に固溶しない Mn を強制固溶させ、その合金を熱間押出しすると押出方向に配列した短繊維状の Mn 金属間化合物が生成する。それらの繊維により引張強度は 200MPa 程度強化されることが分った。さらに Mn を添加した合金では焼き入れ直後に母相中に既に G. P. zone が生成、その後の等温時効により準安定相が析出するが、 η' 相と T' 相の相境界は $Zn/Mg=1.2$ 付近になることが分った。Cu を含む Mn 金属間化合物が生成することにより、母相中の Cu 量が低下し、準安定析出相中に存在する Cu 量が低下する。その結果 Mn の添加により η' 相の存在領域が減少することが明らかとなった。また T' 相が析出した方が体積分率は大きく、また整合歪み量は大きい。ため、T' 相が析出した状態の方が高い硬度を示すことを解明した。

第5章では計算ソフト Thermo-Calc を用いて準安定状態図の計算を行なった。手法としては副格子モデルに整合歪み項を導入することにより準安定析出相の自由エネルギーを評価し、G. P. zone、 η' 相、T' 相に関する準安定状態の計算を行った。その結果、383K で時効した時に出現する準安定相は G. P. zone でないことが分かった。また Cu が存在することにより $\alpha+G. P. zone$ の二相分離領域が狭くなり G. P. zone の生成が困難となることが Meso10 合金で急冷直後に G. P. zone が存在しない原因であることが明らかとなった。G. P. zone の共役線と η' 相及び T' 相の共役線の位置関係、つまり組成の違いから、G. P. zone から準安定相への変換の時間が準安定相の種類により異なる事や、準安定相の体積分率及び整合歪み量の違いについても、新しく求めた準安定状態図により説明できることを明らかにした。

第6章では耐 SCC 性を向上させる添加元素の一つである Ag に着目し、Ag の微量添加による硬度の上昇と、0.1at%Ag

以上の過剰添加による硬度の低下という二つの相反する結果については、まず前者は Ag の添加により粒界近傍の粒界析出物が消滅することにより粒界強度が上昇するため、これはより高次の準安定相の核生成サイトとなるべき空孔過剰クラスター（VRC）は通常粒界近傍では生成しづらいが、Ag の添加により粒界近傍での VRC の形成が促進されるためであることが明らかとなった。後者は Ag の過剰添加により準安定相の体積分率が減少するため、それにより Ag の過剰添加は Al 固溶体中の Zn, Mg 溶質濃度の低下をもたらし、溶体化処理温度で AlAgZn 系晶出物が生成する。そのため準安定相の析出に用いられる Zn, Mg 溶質量が減少することがその体積分率の減少につながることを明らかにしている。

第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、超高強度 Al 合金を開発し、強化に寄与するナノメートルオーダーの準安定析出相と機械的性質との関係を考察したもので、その主な成果は次の通りである。

1. 粉末冶金法により作製した Al-Zn-Mg-Cu 系合金中に析出している準安定相は試料組成により η' 相、 T' 相いずれかであり、それらの準安定相のサイズ、体積分率などの構造パラメータを放射光小角散乱法を用いることにより統計的に決定できることを示し、準安定相と母相が整合することにより生ずる整合ひずみが転位運動の障害となり強度が上昇していることを解明した。
2. 通常の鑄造法で作製した合金と靱性、耐環境性を比較すると粉末冶金材料の方が優れていることを明らかにしている。その原因は粉末冶金で作製した合金の結晶粒は均一微細であり、粒界の応力集中が小さいことによると結論している。
3. 安定相である γ 相と T 相の自由エネルギー関数に主として整合ひずみエネルギー項を加えることにより η' 相、 T' 相についての準安定状態図を Thermo-Calc を用いて計算した。この状態図による準安定相の体積分率や整合ひずみ量の組成依存性はほぼ実験結果を説明できることから、モデルの妥当性を明らかにしている。
4. 耐 SCC 性を向上させる添加元素の一つである Ag に着目し、Ag の微量添加による硬度の上昇と、0.1at%Ag 以上の過剰添加による硬度の低下という二つの相反する実験結果を考察し、微量の Ag 添加は粒界近傍の粒界析出物を消滅させ、粒界強度を上昇させるが、過剰添加により AlAgZn 系化合物が晶出し、準安定相の体積分率を減少させることが原因であることを解明した。

以上要するに、本論文は、地球環境問題に伴い、省エネルギー化のニーズに対応するため、軽量かつ超高強度な構造用アルミニウム材料の開発を目的に行った結果をまとめたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成13年2月20日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。