

氏 名	た な か ひろ き 田 中 宏 樹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3852 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	アルミニウム合金の組織制御による高機能材開発に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 長 村 光 造	教 授 牧 正 志	教 授 落 合 庄 治 郎
--------	----------------------	-----------	---------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はアルミニウム合金板材の析出物制御，結晶粒制御，集合組織制御の観点から中間熱処理や温間圧延等の製造プロセスを論じた結果をまとめたもので，6章からなっている。

第1章は序論であり，アルミニウム合金材の用途と課題について整理し，結晶粒微細化と集合組織制御に関する研究事例を考察して，本研究の目的を述べている。

第2章では，缶蓋材に多く用いられる Al-Mg 系合金硬質板に Mn を添加し 473K で中間熱処理を行うと，523K での塗装焼き付け相当における強度低下が小さくなることを見出している。これは 473K での中間熱処理時に $0.05\mu\text{m}$ 以下の微細な第二相化合物が多数析出することで，後に続く冷間圧延によって熱的に安定な転位網が形成されるため高温強度の低下が押えられることを明らかにしている。中間熱処理時に析出した微細な第二相化合物は Al-Mn 系の Decagonal (正十角形) 相と推定され， Al_6Mn 等の安定相とは異なる結晶構造を有していることを明らかにしている。

Al-Mg 系合金硬質板は 473K 以下で熱処理を施すと β 相 (Al_2Mg_3) 析出による粒界腐食が起りやすいことを確認した。この粒界腐食を低減する工程として中間熱処理を徐熱—徐冷方式で行うこと，最終冷間圧延量を多くすることが効果的であることを示している。さらに Cu の微量添加により粒界腐食性が低減することも見出している。これは β 相よりも電気化学的に貴な T 相 ($\text{Al}_6\text{Mg}_4\text{Cu}$) が全面に析出し， β 相の析出が均一化されて粒界への偏析が抑制されるためと考察している。

第3章では 7475 ベース合金に Zr を添加し，623K で温間圧延した板では 753K における溶体化処理後も $2\sim3\mu\text{m}$ の微細粒組織が維持されることを実証した。この組織は EBSP 測定の結果，方位差 15° 以下の小角粒界の比率が高いサブグレイン組織であることを確認している。また Zn, Cu, Zr を添加した 5083 ベース合金を用いた場合，473~673K の範囲で途中再加熱を実施する繰り返し圧延を行った板材では，高温ほど熱的に安定な下部組織が形成されることを示している。673K での繰り返し圧延材は二段 FA 処理 (623K-1h 処理後 673K-20~3600s 処理) 後も $1\sim2\mu\text{m}$ のサブグレイン組織を呈し。その耐力は冷間圧延工程材よりも約 40% 高い値を示している。圧延材とロールの双方の温度をコントロールする新しい恒温制御圧延の概念を確立し，この方法を利用することで幅広いアルミニウム合金種の微細粒化が達成できる可能性を見出した。

第4章では，恒温制御が可能な圧延機を考案し，この圧延機で試作した Zr を含む 7475 ベース合金の恒温制御圧延材は集合組織に特徴があり，溶体化処理後も圧延集合組織である β -方位群，特に Brass 方位 $\{011\} \langle 211 \rangle$ が優先方位として存在し，その方位密度は極めて高くなることを示している。引張り試験における 45° 方向のランクフォード (r) 値は 3 を越える極めて大きな値を示すこと，Taylor 理論からその集合組織と r 値の相関の妥当性を検証している。また，恒温制御圧延材は小角粒界の比率が高いサブグレイン組織を有し，大角粒界の比率が高い従来材よりも良好な対応力腐食割れ (SCC) 性を示すことを明らかにしている。

第5章では，平面ひずみ圧縮試験片の厚さ方向のひずみ分布を詳細に調査し，必要な加工条件を正確に把握することを可能としている。Al-1 mass% Si-0.6 mass% Mg ベースに 0.6 mass% Mn 添加した合金を 753K-6h で均質化処理し，673~773K の温度範囲で圧縮すると，813K での溶体化処理後も等軸の再結晶粒は形成されずに繊維状組織が維持されることを

明らかにしている。さらに 0.1 mass%Zr を添加することで、繊維状組織が維持される圧縮加工温度下限域が 50K 程度低温側にシフトすることを示している。6016 ベース合金に Mn と Zr を添加した合金を 723-623K の温度範囲で、且つ圧延時の平均ひずみ速度が 3/s 以下となるよう制御圧延した板材は、853K-90s の溶体化熱処理後も等軸な再結晶粒は形成されず。繊維状組織が維持されることを実証した。恒温制御圧延によって得られた板材は 853K-90s の液体化処理後も β 方位群が優先方位であり、45° 方向の r 値が極めて高く、平均 r 値が 1.3 を越える板材を創製している。

第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、アルミニウム合金材の析出物制御、結晶粒制御、集合組織制御の観点から中間熱処理や温間圧延等の製造プロセスを論じた結果をとりまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- (1) Al-Mg 合金硬質板の特性改善について検討し、473K での中間熱処理時に 50 nm 以下の微細な第二相化合物が析出し、その存在により後に続く冷間圧延によって熱的に安定な転位網が形成されるため高温強度の低下が押えられることを明らかにした。Al-Mg 合金硬質板を 473K 以下で熱処理を施すと β 相 (Al_3Mg_2) 析出による粒界腐食が起こることを確認し、この粒界腐食を低減する工程として中間熱処理を徐熱—徐冷方式で行うこと、最終冷間圧延量を多くすることが効果的であることを示した。さらに Cu の微量添加により β 相よりも電気化学的に貴な T 相 ($\text{Al}_6\text{Mg}_4\text{Cu}$) が全面に析出し、 β 相の析出が均一化されて粒界への偏析が抑制されることを解明した。
- (2) 7475 ベース合金に Zr を添加し、623K で温間圧延した板は 753K における溶体化処理後も 2~3 μm の微細粒組織が維持されることを実証した。圧延材とロールの双方の温度をコントロールする新しい恒温制御圧延の概念を確立し、この方法を利用することで幅広いアルミニウム合金種の微細粒化が達成できる可能性を見出した。
- (3) 恒温制御が可能な圧延機で試作した Zr を含む 7475 ベース合金の恒温制御圧延材は集合組織に特徴があり、溶体化熱処理後も圧延集合組織である β -方位群、特に Brass 方位 $\{011\} \langle 211 \rangle$ が優先方位として存在し、その方位密度は極めて高くなることを示した。引張試験における 45° 方向のランクフォード (r) 値は 3 を越える極めて大きな値を示すことを見出し、Taylor 理論からその集合組織と r 値の相関の妥当性を検証した。Al-1 mass%Si-0.6 mass%Mg ベースに 0.6 mass%Mn 添加した合金について恒温制御圧延によって得られた板材は 853K、90s の溶体化処理後も β 方位群が優先方位であり 45° 方向の r 値が極めて高く、平均 r 値が 1.3 を越える板材を創製できることを示した。

以上要するに本論文は、アルミニウム材料の組織制御方法に関する研究の成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 17 年 2 月 7 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。