

## 審査の結果の要旨

氏名 梶原 桂

世界的に環境・資源問題が深刻化する中、自動車からの排出 CO<sub>2</sub> を削減するために車体の軽量化は急務であり、構造材料として軽量かつリサイクル性に優れたアルミニウム合金の果たす役割は大きい。しかしアルミニウム合金の適用拡大には、プレス成形性、特に深絞り性の向上が必須である。アルミニウム合金の成形性には圧延および熱処理の過程で形成される集合組織が大きく影響を及ぼす。深絞り性を向上するためには再結晶熱処理において発達する Cube 方位 ( $\{001\}\langle 100\rangle$ ) を抑制し、圧延過程で形成した  $\beta$ -fiber 方位群 (Brass 方位 ( $\{011\}\langle 211\rangle$ )、S 方位 ( $\{123\}\langle 634\rangle$ )、Cu 方位 ( $\{112\}\langle 111\rangle$ ) の連続した方位群) と板面方位の  $\{111\}$  面を残して発達させることが有効であるが、工業的にその制御は確立されていない。本論文は、これらアルミニウム合金の成形性に関わる再結晶集合組織の形成挙動を解析し、深絞り性の向上に向けた集合組織の制御の指針を明らかにするとともに、その組織制御をアルミニウム合金の微量元素である Fe の固溶・析出によって検討した結果をまとめたものであり、全 7 章よりなる。

第 1 章は序論であり、アルミニウム合金の成形性と再結晶集合組織の関係について従来の研究を概説し、深絞り性の向上に有効な集合組織、それを実現する上での課題を抽出して、本研究の目的を明らかにしている。

第 2 章では、熱間圧延、冷間圧延、焼鈍の一連のアルミニウムの製造プロセス中の集合組織の変化を電子線後方散乱回折像 (Electron Back Scatter Pattern、以後 EBSP) を用いて明らかにするとともに、焼鈍時の再結晶による Cube 方位の生成と成長、その影響因子を検討している。その結果、Cube 方位は熱間圧延によって形成される組織の結晶粒界で優先して生成し、熱間圧延組織を粗粒化することで生成が減少すること、熱間圧延後の冷間圧延で組織中に発達する Brass 方位によってその成長が抑制されることを見出している。工業的には冷間圧延によって全域にわたる均一な Brass 方位を発達させることは難しいため、工業的な組織制御の指針として、熱間圧延組織の粗粒化を図り Cube 方位の生成を減少させ、更にその成長を抑制する手法が必要であるとの結論に至っている。

第 3 章では、Cube 方位の成長挙動を検討するため、加熱ステージを備えた EBSP によって

同一視野内で再結晶集合組織の形成過程を逐次観察する手法を確立している。焼鈍過程の再結晶組織の核生成から成長、圧延集合組織の収縮、消滅の連続的な挙動を明らかにし、Cube 方位のみならず、{111} 面粒の生成分布や成長挙動を初めて明らかにしている。これより再結晶過程で Cube 方位の成長が遅い領域では  $\beta$ -fiber 方位や {111} 面が残存して発達することを見出し、Cube 方位の成長を抑制することが深絞り性の向上に有効との第 2 章で得られた指針の妥当性を逐次観察から確認している。

第 4 章では、Cube 方位の粒成長を抑制する手段として、アルミニウム合金において不可避的な微量元素である Fe の固溶、析出状態による制御の可能性を検討している。その結果、固溶 Fe の増加によって再結晶過程で Cube 方位の成長が抑制されること、それに伴い  $\beta$ -fiber 方位群や板面 {111} 面粒が増加することを実験的に示している。Fe の析出と Cube 方位粒の成長には相関がないことから析出による成長抑制は相対的に小さく、Cube 方位粒の抑制は、固溶 Fe による再結晶温度の上昇による再結晶 Cube 方位成長の遅延ならびに固溶 Fe のドラッグ効果が主因と考察している。

第 5 章では、実際の製造工程に展開するために Fe の固溶・析出状態を定量的に予測するモデルを構築している。Fe の各析出物の温度と析出時間を記述する総括速度モデルを実験結果に基づき定式化し、さらにそれらに加工による析出促進のモデルを組み込むことによって、実際のアルミニウム合金の圧延、熱処理の製造工程へ対応可能とし、その妥当性を実験的に検証している。これらモデルの構築によって固溶 Fe を確保するための工程条件の設計が可能となり、工業的に再結晶集合組織の制御を可能としている。

第 6 章では、本研究で得られた知見を、工業的に生産されるアルミニウム合金およびその製造に適用した結果、自動車パネル、建材、缶、エレクトロニクス部品などに用いられるアルミニウム合金製品の加工性向上を実現するとともに、中間焼鈍や冷間圧延のパススケジュールの最適化にも適用し、本研究の有用性を確認している。特に絞り加工性が要求されるコンデンサーキャップ用 Al-Fe-Si 系合金では、固溶 Fe を確保するため熱間圧延条件の最適化、最終板で  $\beta$ -fiber 方位量の増加と絞り成形性の向上を実証している。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上を要するに、本研究は、アルミニウム合金の加工性に関わる再結晶集合組織の形成過程を解明し、微量元素である Fe の存在状態を予測・制御することによってアルミニウム合金の特性向上と生産性向上を可能にしており、アルミニウム合金の材料プロセス工学に大きく貢献するものである。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。