九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

# アルミニウム合金の加工硬化特性と転位組織に関する研究

越能，悠貴

https://hdl.handle.net/2324/2236181

出版情報：Kyushu University, 2018, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

（様式２）

氏　　名　：越能　悠貴

論 文 名　：アルミニウム合金の加工硬化特性と転位組織に関する研究

区　　分　：甲

# 論　文　内　容　の　要　旨

近年、排出ガスの規制に伴って自動車の軽量化が求められている。6000 系（Al-Mg-Si 系）合金は、軽量で強度延性バランスに優れることから、自動車用のボディパネル材として実用化されている。一方、鋼板と比べて劣るプレス成形性の向上が一つの課題である。優れたプレス成形性を得るためには、均一伸び、降伏比および TS-YS といった加工硬化特性を向上するための転位組織制御指針を導出する必要がある。Al-Mg-Si 系合金では、母相中の固溶原子や、時効処理により生成する Mg-Si 系の析出組織が、変形中の転位運動、ひいては機械的特性に影響する。自動車ボディパネル材として量産される、Mg および Si の濃度が 1.5%以下の Al-Mg-Si 系合金では、Mg 濃度を固定した場合に、Si 濃度を増加することで、伸びが増加することがこれまでに明らかにされている。しかし、その機構について、固溶元素や析出組織と転位の相互作用まで掘り下げた検討は未だ行われていない。そこで本研究では、Al-Mg-Si 系合金の機械的特性に合金成分と時効条件が及ぼす影響を系統的に整理し、引張変形中の転位運動に及ぼす影響の観点から、その組織因子を明らかにすることを目的とした。本論文は全 6 章で構成され、それぞれの概要は以下のとおりである。

第 1 章では、研究背景として、自動車の温室効果ガス削減に向けた取り組み、本研究で着目する Al-Mg-Si 系合金の自動車部材への適用状況ならびに技術課題、金属材料の変形機構および電子顕微鏡を用いたアルミニウム合金中の転位組織観察に関する従来知見を述べ、本研究の目的を記した。

第 2 章では、本研究における力学試験法および組織評価手法について述べた。

第 3 章では、Al-Mg-Si 系合金の成分および時効処理条件が特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、合金成分の Mg および Si 添加量の合計が約 1.6mass%と同等で、Mg/Si 比が異なる Al-Mg-Si 合金 3 種を対象に、溶体化処理後に 293 K、323 K または 363 K で時効処理を施した後の引張特性を調査した。合金成分に依存しない時効処理条件の影響として、293 K および 323 K と比べて、363 K の方が 18 ks 以上の長時間化に伴う耐力増加量が大きく、加工硬化特性が低下することを明らかにした。合金成分の影響としては、いずれの時効温度および時効時間においても、合金成分の Mg/Si 比が低いほど加工硬化特性に優れることを明らかにした。これらの結果のうち、耐力の差は、時効処理条件や合金組成に依存するクラスタの生成量の差に起因するものと推察された。一方で、加工硬化特性の差はクラスタの生成量やサイズのみで議論できないことを明らかにした。

第 4 章では、引張変形途中の転位組織と加工硬化挙動の対応関係を明らかにし、アルミニウム合金の材料組織が加工硬化特性に及ぼす影響を考察することを目的とした。自動車ボディパネル材として量産される 6016 合金ならびに 6014 合金（溶体化処理後に 363 K で 18 ks の時効処理）を供試材とし、材料組織および引張変形途中の転位組織を調査した。6014 合金と比べて 6016 合金では、引張変形中の加工硬化率の減少が緩やかであり、加工硬化特性に優れることを明らかにした。引張変形途中の転位組織は、6014 合金では転位の交差すべりおよびセル化が変形初期から頻発するのに

対し、6016 合金は、{１１１} 面に平行な直線状の転位増殖が支配的であり、変形後期には {１１１} 面に平行なバンド状の転位組織が形成された。そのため、6016 合金では転位の交差すべりの抑制により、動的回復が遅延化され、高ひずみ域まで高い加工硬化率を維持すると推察した。また、再結晶集合組織やクラスタといった材料組織の状態は両合金でほぼ同等であり、母相中に固溶する Mg および Si の濃度が加工硬化特性に影響を及ぼすものと推定された。

第 5 章では、アルミニウム母相中に固溶する Mg および Si 原子が転位運動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。溶質濃度 0.3%～1.6%の Al-Mg 合金および Al-Si 合金を供試材として、溶体化処理後の機械的特性ならびに変形途中の転位組織を調査した。固溶量の増加に伴い、均一伸びは Al-Mg 合金では低下し、Al-Si 合金では増加した。引張変形途中の転位組織として、Al-Mg 合金では局所的な転位の集積が生じたのに対して、Al-Si 合金では均一な転位の分布が観察された。従来知見より、アルミニウム中への固溶による積層欠陥エネルギー低下の効果は、Mg と比べて Si の方が大きいため、Al-Si 合金では、固溶量増加に伴い変形途中の動的回復を遅延化し、変形後期に高い加工硬化率を維持すること加工硬化特性が向上するものと推察された。

第 6 章に、本研究で得られた結果を総括した。自動車ボディパネル材として量産されるような成分（溶質濃度約 1.5 mass%以下）、かつ 363 K 以下の低温で時効処理を施された調質においては、アルミニウム母相中に固溶する Mg および Si の濃度が加工硬化特性に大きく影響を及ぼすことが示唆された。実用を考慮する場合は、プレス成形性の指標となる均一伸び、降伏比および TS-YS といった加工硬化特性を向上させるためには、合金成分の Mg/Si 比を低くすることが有効な手段の一つであると考えられる。

〔作成要領〕

１．用紙はＡ４判上質紙を使用すること。
２．原則として，文字サイズ１０．５ポイントとする。
３．左右２センチ，上下２．５センチ程度をあけ，ページ数は記入しないこと。
４．要旨は２，０００字程度にまとめること。
（英文の場合は，２ページ以内にまとめること。）
５．図表・図式等は随意に使用のこと。
６．ワープロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。