

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Mechanical properties and microstructure of Al-Mg-Cu alloys processed by plastic deformation and aging heat treatment
著者(和文)	陳 宣良
Author(English)	Xuanliang Chen
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11783号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 郁夫,史 蹟,村石 信二,曾根 正人,木村 好里
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11783号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	陳 宣良	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小林郁夫	准教授	村石信二	准教授
	審査員	史 蹟	教授		
		曾根正人	教授		
木村好里		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Mechanical properties and microstructure of Al-Mg-Cu alloys processed by plastic deformation and aging heat treatment」と題し、以下の5章からなっている。

第1章「General Introduction」では、アルミニウム合金について概観し、自動車産業での応用、主要な強化メカニズム、Al-Mg-Cu合金の時効挙動と析出過程について述べている。自動車用ボディパネル材料としてAl-Mg-Cu合金を応用する際の課題を示したうえで、本論文の目的を述べている。

第2章「Effect of pre-deformation on age-hardening behavior in an Al-Mg-Cu alloy」では、溶体化熱処理後の3%~50%予備変形(冷間圧延)が時効硬化に及ぼす影響を検討している。冷間圧延

(CR)は直後の硬化挙動に強い影響を及ぼし、CR材にはベース(圧延なし)材に存在する急速時効硬化現象が現れなかったことを報告している。その代わりに回復が変形率の高いサンプルで観察され、硬さピークは変形率の増加とともに加速すると述べている。転位線に沿っている析出相が観察されたことと、CR材のDSC曲線のS相形成ピークは低温側で現れたことから、S相の析出が塑性変形誘起転位によって加速されたことと述べている。CR材では、20分時効した後にGuinier-Preston-Bagaryatsky (GPB)ゾーンが観察され、24時間時効後に2種類のS相が観察されたため、GPBゾーンとS相はそれぞれ第1および第2段階の硬化を引き起こすと述べている。溶解試験によりクラスター/GPBゾーンおよびS相が硬さへの寄与をベース材とCR材の両方で評価している。その結果、プラト一段階で硬さが変化しなかった原因はクラスター/GPBゾーンの溶解とS相の形成によって動的にバランスが取れているためだと述べている。ベース材のピーク硬さは、クラスター/GPBゾーンとS相を組み合わせた結果であり、クラスター/GPBゾーンは長期間時効した後も溶解せずに安定している。ただし、CR材ではGPBゾーンの寄与が低く、長期間時効後に全部がS相を形成することを明らかにしている。

第3章「Precipitation processes and structural evolutions of various GPB zones and two types of S phases in a cold-rolled Al-3Mg-1Cu alloy」では、Al-3Mg-1Cu合金の析出過程と析出相の結晶構造について調べている。GPBゾーンとS相はこの合金の主要な強化析出物で、これまでに報告されているGPBゾーンはAl母相の原子配列を守り、S相は形状から2種類にわかれていると述べて椅子。そのうえで、443Kで20分間時効したCR材にAl母相と違う原子配列を持つ新しいタイプのGPBゾーンが初めて観察され、「GPBX」と命名している。24時間時効すると、S-IおよびS-II相が一緒に近くに析出されることを見いだしている。HAADF-STEM観察により各GPBゾーンとS相の結晶構造を解析して、S-II相は単斜晶であることを見いだしている。さらにGPBゾーンとS相をモデル化し、密度汎関数理論を用いて計算した結果、GPBXゾーンが安定で、S-I相とS-II相の生成エンタルピーがほぼ同じであることを示している。組織観察と計算に基づき、原子レベルのGPBゾーンがS相に形成する過程を解明し、時効中のS-IとS-II相の形状変化と成長メカニズムを提案している。これまでに観察されている一般的なGPBnゾーンはS-I相を形成するが、GPBXゾーンは転位線に沿ってS-II相を形成すると報告している。S相の成長にはGPBゾーンの核生成が必要となり、GPBnゾーンには構造拘束が存在するため、核生成数が制限されており、これがS-I相のラス状の原因となると報告している。S-II相とAl母相の界面関係についても議論し、(021)S-II//(041)Alはいつも成り立つことを見いだしている。最後に、GPB1とGPBXゾーンの構造はそれぞれAl-Mg-Si合金にあるβ''とU2相の構造と類似することから、CuとSiが析出相の中で同様の原子位置を占めることを確認している。違う析出相が混在する複雑な構造も観察しており、解明された析出相の構造とそれらの相互関係は将来の合金設計の参考になると述べている。

第4章「Enhanced mechanical properties in an Al-Mg-Cu alloy processed by the combination of cyclic deformation and aging heat treatment」では、Al-Mg-Cu合金に新しい塑性加工方法である繰り返し変形を適用している。繰り返し強化(CS)材では転位が導入され、クラスターも形成されたた

め、ピーク時効材より高い強さと延性の両方を備えていることを見いだしている。従来の 443 K 時効熱処理ではピーク硬さに達するまでに 14 日間かかるのに対して、繰り返し変形法は室温わずか数分間で完了すると述べている。さらに予備時効が CS に対する影響とおよび CS 材の時効挙動を調査し、予備時効 CS 材ではより多くのクラスター（または析出物）が形成するため、予備時効なし CS 材よりも高い強度を示すことを明らかにしている。20 分間の予備時効に関係なく、CS 材の時効中に回復と析出の促進が見られ、時効挙動もほぼ同様であると述べている。このことから、繰り返し変形中に形成するクラスターと時効中に形成するクラスターは本質的な違いがないと推定している。要約すると、時効と繰り返し変形を組み合わせ、析出強化と加工硬化の効果を最大化し、時効だけで得られる強度限界を突破することを見いだしている。これらは合金強化への新しい洞察を提供できると結論付けている。

第 5 章「General Conclusions」では、各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。

以上を要するに、本論文は自動車用ボディーパネル材の候補として Al-Mg-Cu 合金に注目し、硬さ試験、引張試験、熱分析、第一原理計算、電子顕微鏡観察などを通じて、予備塑性変形が時効挙動に対する影響や時効中の析出過程と析出相の結晶構造変化を明らかにし、加えて繰り返し変形と熱処理を組み合わせ合金の強さを大幅に向上することを見いだしたもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」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。