

氏 名	宇野 照生
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和60年3月13日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和44年3月 東北大学大学院工学研究科金属材料工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	プロセス制御による構造用アルミニウム合金の開発 研究
論文審査委員	東北大学教授 須藤 一 東北大学教授 和泉 修 東北大学教授 及川 洪

## 論 文 内 容 要 旨

### 第1章 緒 言

近年における金属強度学および金属組織学の発展はめざましく、金属材料の組織と強度の関係は大筋において体系化されている。しかし、たとえば金属の強化方法には加工硬化、固溶強化、時効硬化等いくつかの方法があり、熱処理によって得られる組織もこれに前後する加工方法によって大きく変化する。すなわち、実用的にすぐれた材料を開発するには、強化方法および加工熱処理方法の好ましいプロセス制御の方法を発見することが重要である。

構造用アルミニウム合金材料についてみると、近年その用途は拡大の一途をたどり、次々に新しいニーズが求められている。それらの要求に応えられる材料を提供するには、個別な基礎知識を総合して合金設計を行い、これに基づいて単位製造プロセスを品質改善のために複合化するプロセス制御が有効であると考えられる。

本研究では、強度と成形性に重点を置いて構造用アルミニウム合金に要求される新しいニーズについて整理し、それらの中から4件を例にとり、新材料の開発にプロセス制御が有効なことを検証することを目的とした。

### 第2章 固溶強化と時効硬化の複合による高強度高延性合金の開発

自動車用プレス成形用鋼板に匹敵する強度とプレス成形性を有するアルミニウム合金を開発する

ための合金設計法を検討した。これまで、中強度の成形加工用材料として多数の合金が開発され実用に供されているが、自動車ボディシート等には従来の強度と延性のバランスを超える高強度高延性合金が必要とされる。

これに対応するため、Mgによる固溶強化と、少量のZnやCu添加による時効硬化の複合作用により目的の特性が得られると考えて合金設計を行い、Al-4.5% Mg-1.5% Zn-0.4% Cu系新合金の開発に成功した。

新合金は30 kgf/mm<sup>2</sup>以上の引張強さと30%以上の伸びを有しており、既存の自動車ボディシート用アルミニウム合金に比べて強度と延性のバランスが著しくすぐれている。

新合金が従来合金にない高性能を示す理由は、熱間加工性を害わない限度のMgの固溶強化によって延性を高め、強度の不足分をZnとCuによる時効硬化を利用したことによる。この固溶強化と時効硬化の複合作用により不均一変形が抑制され、従来にない強度と延性が得られたものと考えられた。

上記組成の新合金は製造も容易であり、工業化を進める上で問題のないことを確めた。

新合金は従来合金より伸びが5～6%高く、成形性が著しくすぐれており、自動車ボディシート用合金として適用可能なことを確認した。

### 第3章 加工硬化と時効硬化の複合による光輝性高強度合金の開発

前章で述べた合金より高い強度が要求される場合、すなわち時効硬化元素をより多く含む、引張強さ30～40 kgf/mm<sup>2</sup>級の光輝性構造用合金を得るための合金設計法を検討した。

強度の点では多くの時効硬化型アルミニウム合金がこの要求を満足するが、これらには粒界破壊を防止する目的でFe、Mn、Cr等の遷移元素が故意に添加されている。しかし、これらの添加元素は合金の光輝性を低下させるため、自動車用光輝バンパー等のように光輝性が重視される用途には適用できない。

そこで、上記の粒界破壊防止用元素を添加しない高純度合金について、時効硬化型アルミニウム合金に起こりやすい粒界析出、PFZ等を加工硬化と時効硬化の複合により抑制すれば、延性の向上が可能となると考えて合金設計を行った。

Al-Zn-Mg系、Al-Mg-Si系、Al-Cu系等の高純度の時効硬化型アルミニウム合金は、光輝性はすぐれているが結晶粒が大きいため、最高強度域に時効すると顕著な粒界破壊を起こし伸びが著しく低下する。

このような延性に乏しい粗大結晶粒合金でも、焼入れ後に適度な冷間加工と時効を行うことにより、破壊特性が粒界破断型から粒内破断型に変化するばかりでなく、伸びも実用材料として使用可能なレベルにまで著しく増加することを確認した。また、この処理材は冷間加工を行わないT6材と同様に光輝性にすぐれていた。

焼入れ後の冷間加工と時効により粒界破壊が防止される理由について金属組織的な検討を加えた。その結果、加工により粒界、粒内を問わず導入された転位上に不均一析出が起きるため、顕著な粒界析出やPFZが抑制されることにより延性が向上すると考えられた。

このように、高純度の時効硬化型合金に冷間加工と時効を行うことにより、強度と延性に加えて光輝性にすぐれた構造用アルミニウム合金の得られることを確認した。

#### 第4章 加工硬化と時効硬化の複合による超強靱材料の開発

引張強さ  $50 \text{ kgf/mm}^2$  以上のいわゆる超々ジュラルミン系合金の一層の強靱化をはかるため合金設計法を検討した。

従来、航空機材料として多数の Al-Zn-Mg-Cu 系合金が開発されているが、時効硬化のみによる強化には限界があり、引張強さ  $65 \sim 70 \text{ kgf/mm}^2$  級の超強靱材料の開発が望まれていた。

そのため、7075 合金や 7178 合金のような既存の Al-Zn-Mg-Cu 系合金や加工硬化と時効硬化の複合作用により強化すれば、目的の特性が得られると考えて合金設計を行った。

その結果、焼入れ後にまず予備時効処理して冷間（または温間）加工を行い、然る後に最終時効処理を行う、いわゆる FTMT（最終加工熱処理）が極めて有効であることをつきとめ、その最適条件を明らかにした。

つぎに超強靱材料の得られる理由について金属組織的な検討を加えた。この種の合金では、焼入れ後に直ちに冷間加工を行うと転位組織が不均一となり、その後の時効により転位密度の高い領域に不均一析出が起こり十分な強化効果が得られない。これに対し、焼入れ後に予備時効を行い、 $\eta'$  相を析出させてから冷間加工を行う場合には転位組織が均一となるため、最終時効時に転位上に優先析出が起きても析出物は必ずしも粗大化せず、均一微細に析出することが確認された。

以上の理由で著しい強化が可能となり、引張強さ  $> 65 \text{ kgf/mm}^2$ 、0.2% 耐力  $> 60 \text{ kgf/mm}^2$ 、伸び = 10% という超強靱材料を得た。

#### 第5章 加工熱処理プロセスの制御による微細結晶粒 7075 合金の開発

前章と同種の Al-Zn-Mg-Cu 系高強度アルミニウム合金に関し、冷間加工後の溶体化処理によっても粒成長を起こさない微細結晶粒合金板の開発に合金設計法を応用した。

従来、7075 合金のような Al-Zn-Mg-Cu 系合金では、素材の結晶粒が大きい ( $180 \mu\text{m}$ ) ばかりでなく軽度 (20%) の冷間加工後に溶体化処理すると結晶粒が著しく粗大化 ( $300 \mu\text{m}$ ) するため、航空機部品等への加工性に問題があり、その改良が望まれていた。

そこで、再結晶核の析出処理、冷間加工、急速加熱、加熱後の析出処理等の制御により微細結晶粒 7075 合金 ( $< 60 \mu\text{m}$ ) が得られると考えてプロセス設計を行った。

その結果、熱間圧延板を 30% 以上冷間圧延し、 $450^\circ\text{C}$  以上の再結晶温度域に急速加熱した後に急冷し、その後  $300^\circ\text{C}$  付近に再加熱焼鈍して微細な M 相を析出させることにより、軽度の冷間加工後に溶体化処理しても粒成長を起こさない微細結晶粒 7075 合金が得られることを見出した。

微細結晶粒の得られる理由について金属組織的な検討を加えた。すなわち、上記の新プロセスでは、冷間加工後の急熱再結晶により結晶粒が微細化され、低温再加熱焼鈍により析出した微細な M 相が存在するため、その後の軽度の冷間加工後に溶体化処理しても完全に再結晶せず、急熱再結晶より導入された微細粒が溶体化処理後まで保持されることにより微細結晶粒が得られることを確か

めた。

新プロセスによる微細結晶粒 7075 合金の工業化に成功し，新材料は B-757，B-767 等の大型旅客機の機体構造材として実用化されている。

## 第 6 章 総 括

本章では本研究のまとめを述べている。以上のように，構造用合金の多様な用途開発にプロセス制御が有効であることを具体的に検証した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

アルミニウム合金はもともと航空機用材料として開発されたが、最近では鋼に次ぐ多用途材料として各種の用途開発が活発に行われている。著者は、アルミニウム合金に対する多様なニーズを速やかに処理するためには、新しい組成の合金を探求する正統的な合金開発法よりも、複数の製造プロセスと合金設計法を有機的に組み合わせる「プロセス制御」の手法がより確実、かつ経済的と考え、この方法によりいくつかの新材料を開発してきた。本論文はそれらの中から特徴的な4件を選び、プロセス制御が構造用アルミニウム合金を開発する手法として有用であることを具体的に示したものであり、全編6章よりなる。

第1章は緒論である。まず各種の合金を組織強度学的に整理し、組成調整、熱間および冷間加工、熱処理を種々組み合わせたときに得られるであろう材質を演繹的に考察し、新材料開発の可能性を予測している。

第2章では、自動車用鋼板に匹敵する強度とプレス成形性を具備するアルミニウム合金板を開発するために行った合金設計法とその成果を述べている。すなわち、Mgによる固溶強化と少量のCu、Znによる析出硬化の併用により、所望の性質を有する新合金を見いだしている。これはいわゆる耐食アルミニウム合金と高力アルミニウム合金の中間の組成のものであり、従来ほとんど関心が払われなかった組成領域の合金である。

第3章では、たとえば自動車用バンパーのように、プレス成形性、高靱性とともに入輝性が要求される部材に関する研究成果を示している。すなわち、入輝性向上のために高純度合金を用い、その結果予測される粒界破壊脆化を、冷間加工と熱処理の組み合わせによって回避し、所望の特性を有するAl-Zn-Mg、Al-Mg-Si、およびAl-Cu各系の新材料を見いだしている。

第4章では、宇宙機器やレジャー用品などに求められている超高力合金の開発に関するものであり、現用アルミニウム合金中最強のいわゆる超超ジュラルミンの強度を、溶体化・予備時効・冷間加工・最終時効という一連のプロセス制御により、さらに100 MPa 高めることに成功している。

第5章では、軽度の冷間加工後に溶体化処理を施しても粒成長が起り難い超超ジュラルミンを得るために、微細析出処理・冷間加工・急熱急冷処理・低温析出処理という一連のプロセス制御が有効であることを述べている。この新材料はB757、B767などの大型旅客機の骨材として使用されている。

第6章は総括である。

以上要するに本論文は、構造用アルミニウム合金の開発において、プロセス制御法が有効であることを具体的に示したものであり、金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。