

氏名	小川俊文		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	工博甲第254号		
学位授与の日付	平成19年3月23日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	Al-Si合金鋳物の組織と機械的特性に及ぼす高純度化の効果に関する基礎的研究		
論文審査委員	主査	教授	恵良秀則
		”	寺崎俊夫
		”	長谷部光弘
		”	西尾一政
		”	兼田楨宏

学位論文内容の要旨

アルミニウム合金鋳物は、自動車等輸送機器の更なる軽量化に対応できるような一層の高機能化が求められている。本論文では、「高純度」という視点からアルミニウム合金鋳物の高機能化の可能性について検討を行った。

第1章では、アルミニウム材料の歴史と特性について触れ、自動車産業におけるアルミニウム合金の使用状況と今後の見込みについて述べた。そして本研究の意義と目的を述べた。

第2章では、「アルミニウム合金鋳物の機械的特性に及ぼす溶解・鋳造雰囲気の影響」について論じた。アルミニウム合金鋳物のほとんどが大気雰囲気中で溶解されていることもあり、これまでにアルミニウム合金鋳物の機械的特性に及ぼす溶解・鋳造雰囲気の影響について着目した研究報告はなかった。そこで本章では、市販の原材料を用いコールドクルーシブル溶解炉で溶解雰囲気を大気とアルゴンの2通りに変化させてアルミニウム合金鋳物(AC4CH)を溶製し、成分分析、組織観察、鋳造欠陥調査、引張試験を行った。両試験片を比較検討した結果以下の結論を得た。

- (1) アルミニウム合金鋳物(AC4CH)の延性は、溶解・鋳造雰囲気の影響を受けることが明らかになった。
- (2) 溶解・鋳造雰囲気によらずケイ素と金属元素の含有量、DAS (Dendrite Arm Spacing) や共晶Siの性状・分散状態がほぼ同じであった。大気溶解材よりもアルゴン溶解材の方が、延性が高かった要因は、引張試験片には鋳造欠陥が検出されなかったことを考慮すると、アルゴン溶解材の方が大気溶解材よりも水素と窒素の含有量が少なかったためであると考えられる。
- (3) 溶解・鋳造雰囲気を大気雰囲気からアルゴン雰囲気に変えることで、引張強さを低下させることなく、伸びを15%程向上させることができることを見出した。

第3章では、「高純度Al-Si亜共晶合金鋳物の組織と機械的特性」について論じた。Al-Si二元系合金は鋳物用合金として最も基本的な合金系であることから、これまでもAl-Si亜共晶合金鋳物に関する研究は数多く行われてきている。しかしながら、積極的に不純物含有量を低減させた高純度Al-Si亜共晶合金鋳物に関する研究はほとんど行われていない。より一層高機能なアルミニウム合金鋳物の研究・開発を行っていく上で、高純度Al-Si亜共晶合金鋳物に関する知見は役立つものと考えられる。本章では、純度の異なる2種類のAl-Si亜共晶合金鋳物(H合金:純度99.98mass%およびL合金:純度99.89mass%)をコールドクルーシブル溶解炉でアルゴン雰囲気にて溶製し、両合金の凝固組織、硬さ、引張特性を比較検討して、以下の結果を得ることができた。

- (1) 板状Si粗大結晶がL合金では観察されたが、H合金では観察されなかった。また、L合金に比べてH合金の共晶組織は微細であった。この凝固組織の違いを引き起こした要因の一つとして、合金中のP含有量の差が考えられた。
- (2) L合金とH合金の硬さに著しい違いは見られず、Al-Si亜共晶合金鋳物の硬さに及ぼす純度の影

響は非常に小さかった。

- (3) Al-Si 亜共晶合金鋳物は、高純化することで強度を低下させずに伸びと絞りを大きく向上させることができることが明らかになった。
- (4) L 合金では、 α 相／共晶 Si 界面に、幅がサブミクロンオーダーの Al-Fe-Si 系化合物が存在していることが明らかになった。
- (5) L 合金の引張における早期破断すなわち伸びの低下は、上記化合物の存在が大きな要因の一つと考えられる。

第 4 章では、「高純度 Al-Si-Mg 合金鋳物の組織と機械的特性」について論じた。Al-Si-Mg 系合金鋳物は自動車に用いられている代表的なアルミニウム合金鋳物であるが、自動車の更なる軽量化に対応するために、より高機能な Al-Si-Mg 系合金鋳物の開発が求められている。合金の研究開発において、主要成分元素以外の含有元素が少ない、いわゆる高純度合金鋳物の基本的特性を把握することは非常に重要なことである。本章では、コールドクルーシブル溶製した高純度 Al-Si-Mg 系合金鋳物 (AC4CH) の 2 種類と比較材として市販材レベル純度の AC4CH 合金 1 種類を用い組織と機械的特性に及ぼす不純物の影響について検討を行った。また高純度 Al-Si-Mg 系合金鋳物において改良処理元素 Sr の効果、さらには Sr の添加量を段階的に変化させたときの共晶 Si の形状変化と機械的特性について検討を行った。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 高純度 AC4CH の鋳造組織は、共晶 Si が針状であったが、T6 熱処理後の組織では、共晶 Si の大きさや形状は高純度 AC4CH と市販材レベル純度 AC4CH との間でほとんど違いは見られなかった。
- (2) アルミニウム合金鋳物 AC4CH-T6 は、Sr で改良処理を行わなくても、主要合金元素である Si と Mg 以外の元素を低減させることで、準静的・衝撃引張どちらにおいても、引張強さを著しく低下させることなく伸びを大幅に向上させることができることがわかった。
- (3) 今回溶製した高純度 AC4CH レベルまで不純物を低減させると、Fe が 0.140mass% 含有された場合でも、引張強さを著しく低下させることなく伸びを向上させることができることがわかった。
- (4) 準静的・衝撃引張のどちらにおいても、合金の違いによる破面形状の明らかな違いは認められなかった。またいずれの合金も、準静的・衝撃引張後の破面を比較すると、巨視的には凹凸の程度と破面の傾き具合に違いがあったが、微視的には著しい違いが認められなかった。
- (5) 高純度 AC4CH は、Sr で改良処理を行うと従来材と同じように凝固組織における共晶 Si は微細化されることが確認できた。しかしながら、T6 熱処理を施した場合、引張特性の Sr 添加による改善はほとんど見られなかった。

第 5 章では、「高純度 Al-Si-Mg 合金鋳物の組織と機械的特性に及ぼす鉄の影響」について論じた。Al-Si-Mg 合金鋳物において鉄は化合物を形成し、機械的特性に悪影響を及ぼすため、鉄系化合物の形状を熱間加工やマンガンなど他元素の添加によって制御する研究は行われている。それらの研究では、鉄が主要合金成分以外の含有元素の影響を受けていると考えられる。本章では、Al-Si-Mg 合金鋳物における鉄そのものの影響について明らかにするため、純度が異なる鉄含有 Al-Si-Mg 合金鋳物を溶製し、その金属組織と機械的特性に及ぼす鉄の影響について検討を行った。その結果、下記に列挙する内容を得ることができた。

- (1) 凝固組織において、高純度合金中の鉄系化合物は、低純度合金のものとは比べて寸法が小さい傾向がみられた。
- (2) 高純度合金中の鉄系化合物は、低純度合金中のものよりも溶体化処理で微細化されやすいことが明らかになった。また一度微細化された鉄系化合物は、保持時間が 4 時間までであれば粒状化された共晶 Si のように大きくなる傾向はみられなかった。
- (3) 高純度合金は、鉄が 0.5 mass% ほど含有されても引張強さはほとんど低下しなかった。伸びは減少したが、低純度合金の減少度合いに比べると緩やかな減少であった。

学位論文審査の結果の要旨

自動車等輸送機器の更なる軽量化を図るためには、これまで以上に高機能・高性能なアルミニウム合金材料の開発は必要不可欠である。これまでにアルミニウム合金鋳物の機械的特性に及ぼす鋳造条件、冷却速度、熱処理、改良処理の影響など数多くの研究が行われてきている。しかし、不純物の低減を積極的に利用したアルミニウム合金鋳物の機械的特性に関する研究はほとんど見られない。また今後はリサイクル性が一層強く要求されることから、リサイクルしやすい単純組成の金属材料の開発が望まれている。そこで本論文では、「高純度」という視点からアルミニウム合金鋳物の高機能化の可能性について検討を行っている。

第2章では、製造プロセスに着目し「アルミニウム合金鋳物の機械的特性に及ぼす溶解・鋳造雰囲気の影響」について検討を行っている。Al-Li合金やAl-Mg合金以外のアルミニウム合金鋳物において、溶解・鋳造雰囲気を制御し、その機械的特性について検討を行った研究はこれまで見られなかった。そこで著者は、アルミニウム合金鋳物の中で代表的なAl-Si-Mg系鋳物であるAC4CHをコールドクルーシブル溶解炉で溶解雰囲気を大気とアルゴンの2通りに変化させて溶製し、成分、金属組織、鋳造欠陥等を考慮して引張試験を行っている。その結果、アルミニウム合金鋳物AC4CHにおいて、溶解・鋳造雰囲気を制御することで、引張強度を低下させることなく伸びを約15%向上させうることを見出し、その伸び向上の主要因は、ガス成分含有量の低減であることを明らかにしている。

第3章では、アルミニウム合金鋳物の基本的組成であるAl-Si合金に着目し「高純度Al-Si亜共晶合金鋳物の組織と機械的特性」について論じている。純度が異なる2種類のAl-Si亜共晶合金鋳物(H合金：純度99.98mass%およびL合金：純度99.89mass%)をコールドクルーシブル溶解炉でアルゴン雰囲気にて溶製し、両合金の凝固組織、硬さ、引張特性を比較検討している。その結果、Al-Si亜共晶合金鋳物は不純物を低減させることで、共晶Siが微細になること、引張強度を低下させることなく伸びを大幅に向上させうることを明らかにしている。また、従来材の伸び低下は、共晶Si/ α 相界面に存在する幅がサブミクロンのAl-Fe-Si系化合物が主たる要因であることを初めて見出している。

第4章では、自動車用部材で多く適用されているAl-Si-Mg合金鋳物に着目し「高純度Al-Si-Mg合金鋳物の組織と機械的特性」について論じている。コールドクルーシブル溶製した高純度Al-Si-Mg系合金鋳物(AC4CH)の2種類と比較材として市販材レベル純度のAC4CH合金1種類を用い組織と機械的特性に及ぼす不純物の影響について検討を行っている。また高純度Al-Si-Mg系合金鋳物において改良処理元素Srの効果、さらにはSrの添加量を段階的に変化させたときの共晶Siの形状変化と機械的特性について検討を行っている。その結果、Al-Si-Mg合金鋳物(AC4CH)は、改良処理を行わなくても不純物を低減させることで、引張強度を低下させることなく伸びを大幅に向上させうることを明らかにしている。また、高純度AC4CH-T6では、改良処理元素Sr添加による伸びの向上がみられないことを検証している。

第5章では、アルミニウム合金鋳物のリサイクルで問題となっている元素の鉄に着目し「高純度Al-Si-Mg合金鋳物の組織と機械的特性に及ぼす鉄の影響」について論じている。Al-Si-Mg合金鋳物における鉄そのものの影響について明らかにするため、純度が異なる鉄含有Al-Si-Mg合金鋳物を溶製し、その金属組織と機械的特性に及ぼす鉄の影響について検討を行っている。その結果、凝固組織において、高純度合金中の鉄系化合物は、低純度合金のものに比べて寸法が小さい傾向がみられること、高純度合金中の鉄系化合物は、低純度合金のものよりも溶体化処理で微細化されやすく、一度微細化された鉄系化合物は、保持時間が4時間までであれば粒状化された共晶Siのように大きくなることを初めて見出している。さらに、高純度合金は、鉄が0.5 mass%ほど含有されても引張強さはほとんど低下せず、伸びは減少するが、低純度合金の減少割合に比べると緩やかな減少であることを明らかにしている。

以上要するに、本論文は鋳造分野ではまだほとんど行われていないレベルまで不純物含有量を低減させた高純度Al-Si合金鋳物と高純度Al-Si-Mg合金鋳物を溶製して、その凝固組織、熱処理組織、引張特性を従来材レベル純度のアルミニウム合金鋳物と比較することで、これまでの研究では見出さ

れていない重要な知見を得たものであり、アルミニウム合金鋳物の高機能化において金属工学上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認められる。

なお、本論文に関し、審査委員並びに公聴会出席者から種々の質問がなされたが、いずれも著者からの確かな回答がなされ質問者の理解が得られた。以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。