

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	自動車熱交換器用Al-Mn系合金板材の機械的性質と耐食性に及ぼす分散粒子の影響
Title(English)	
著者(和文)	吉野路英
Author(English)	Michihide Yoshino
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10620号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:熊井 真次,村石 信二,中村 吉男,小林 郁夫,多田 英司
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10620号, Conferred date:2017/9/20, 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	吉野 路英		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	熊井 真次	教授	審査員	多田 英司	准教授
	審査員	村石 信二	准教授			
		中村 吉男	教授			
		小林 郁夫	准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「自動車熱交換器用 Al-Mn 系合金板材の機械的性質と耐食性に及ぼす分散粒子の影響」と題し、以下の 7 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、自動車熱交換器や、その製造に用いられるろう付という高温短時間の熱処理技術、および自動車熱交換器用材料に求められる特性について述べている。特に環境負荷低減の観点から、自動車熱交換器にもさらなる小型・軽量化を図るため部材の薄肉化が求められていることから、肉厚減少に見合う成形性、強度、熱伝導性、耐食性の向上が重要な課題であることを指摘している。本研究で取り扱う分散強化型 Al-Mn 系合金の成形性に関しては、結晶粒組織や集合組織などに及ぼす分散粒子の影響については、過去多くの研究が実施されているものの、伸びについての研究や H1n 質別材に関する研究はほとんどないこと、また、ろう付熱処理後の強度や熱伝導性に関し、組織制御など、合金元素添加以外の方法による高性能化に取り組んだ研究は少ないこと、さらに、ろう付熱処理時の組織変化の影響を考慮した検討はほとんど行われていないことを指摘している。さらに耐食性に関しては、実用上最も問題となる粒界腐食を防止するために、ろう付熱処理後の冷却速度の増加が必須とされているが、これがろう付条件の自由度を狭めていることを指摘し、この制限を取り除くことが必要であると述べている。このようなことから本研究では、薄肉・高性能な自動車熱交換器用 Al-Mn-Si-Cu 系合金を開発するための金属組織学的な設計指針を構築するため、各種特性に及ぼす分散粒子の影響について調査し、さらにこれまで素材製造過程で作り込んだ金属組織が無効化されるという負のイメージでとらえられてきたろう付熱処理を、むしろ組織制御工程として活用することで、さらなる材料特性の向上を図るという本研究の目的を述べている。

第 2 章「Al-Mn-Si-Cu 合金 H1n 質別材の伸びに及ぼす分散粒子の分布状態および冷間圧延率の影響」では、高い伸びが得られる金属組織について検討している。分散粒子が粗大かつ粗に分布しているほど、H1n 質別材の伸びが向上することを見出し、これは分散粒子が粗大に分布している場合、材料製造時の冷間圧延の際に動的回復しやすいことで、転位下部組織が発達することに加えて、分散粒子が少ないことで引張変形時の局所的なセル組織の形成が抑制され、安定した加工硬化能を有するためであると説明している。一方、実用的な視点から強度調整することを考えると、分散粒子が微細・高密度に分布している場合の方が中間焼鈍後の強度が高く、最終圧延率を低くできるため、むしろ高い伸びが得られることを明らかにしている。

第 3 章「層状組織を有する Al-Mn-Si-Cu 合金 H1n 質別材の伸びに及ぼす分散粒子と転位下部組織の

影響」では、層状組織を有する H1n 質別材の伸びを向上させるための金属組織について検討を行っている。分散粒子が微細・高密度に分布するほど、加工硬化能が向上し、均一伸びが増加すること、一方局部伸びは、亜結晶粒径が微細なほど向上することを見出し、これは均一・微細な転位下部組織ほど、くびれの局在化が抑制されるためであると述べている。また亜結晶粒径は分散粒子が微細なほど減少し、層状組織を有する場合には、分散粒子が微細なほど伸びが向上することを明らかにしている。

第4章「ろう付熱処理した Al-Mn-Si-Cu 合金の粒界腐食性に及ぼす分散粒子の分布状態の影響」では、冷却速度を増加させることなく、耐粒界腐食性を改善する方法について検討を行っている。まず、本系合金の粒界腐食が、ろう付時の冷却過程での Al-Mn 系分散粒子の粒界への優先析出ならびに Al-Mn 系分散粒子を核生成サイトとした  $\text{CuAl}_2$  の粒界析出による Mn, Cu 欠乏層の形成に起因することを明らかにしている。よって、Si を適量添加し、粒内での Al-Mn-Si 系分散粒子の析出を促進することで、粒界での Al-Mn-Si 系分散粒子の優先析出および  $\text{CuAl}_2$  の優先析出を抑制して、固溶元素欠乏層の形成を防止することで、ろう付熱処理後に急冷しなくても粒界腐食性を改善できると結論している。

第5章「ろう付熱処理時の分散粒子の再固溶挙動に及ぼす分散粒子径および粒子組成の影響」では、種々の Al-Mn 系合金を用いてろう付時の加熱過程における分散粒子の再固溶挙動を調査し、ろう付加熱時の分散粒子の再固溶は、分散粒子径が小さいほど進行しやすいことを明らかにしている。また、Fe を含有する分散粒子が分散している合金では、ろう付加熱中に分散粒子が母相中に固溶しにくいことを実験的に確認し、これは、Fe を含有した分散粒子の固溶が Al 母相中の Fe の溶解限に支配されるためであり、合金による再固溶挙動の差異は平衡論によって理解できると述べている。

第6章「ろう付熱処理した Al-Mn-Si-Cu 合金の強度と熱伝導性に及ぼす分散粒子の分布状態およびろう付条件の影響」では、ろう付熱処理後に高強度、および高熱伝導性を得るために最適な分散粒子の分布状態について検討している。また、工業的な観点から、ろう付熱処理を組織制御工程と見なし、これを活用することでろう付熱処理後の性能向上が図れるかどうかについて検討している。ろう付加熱中に分散粒子は母相中に再固溶し、微細な分散粒子は再固溶しやすいこと、ろう付冷却中に再び析出が起こること、冷却中の析出量は冷却前の Mn 固溶度によって決まり、冷却速度が遅いほど析出が進むことを見出している。また、ろう付熱処理前に分散粒子が微細・高密度に分布していると、ろう付熱処理中に再固溶が生じるものの、ろう付熱処理後も微細・高密度な分散粒子の分布状態が維持されることを明らかにしている。したがって、ろう付熱処理前に分散粒子を微細・高密度に分散させ、かつ、冷却速度の遅いろう付条件とを組み合わせることで、背反関係にある高強度と高熱伝導性を両立できると結論している。

第7章「結論」では、各章で得られた成果を総括している。

以上を要するに本論文は、自動車熱交換器用 Al-Mn 系合金のろう付熱処理前後の機械的性質、およびろう付熱処理後の耐粒界腐食性に及ぼす分散粒子の影響について明らかにするとともに、製品の組み立て工程で行われるろう付熱処理を材料製造工程での分散粒子制御と組み合わせ、材料の組織制御に活用するという新しい発想のもと、高耐食性、高強度および高熱伝導性という背反する特性を全て満足する自動車熱交換器用 Al-Mn 系合金板材実現のための方策を提案したものであり、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。