

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	材料工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	吉野 路英		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	熊井 真次	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor (sub)	村石 信二	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

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た。環境負荷低減の観点から、自動車熱交換器には小型・軽量化が要求されるため、部材の薄肉化が必要であり、肉厚減少に見合うように成形性、強度、熱伝導性、耐食性を向上させることは重要な課題である。分散強化型合金である 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が調べられているが、伸びについて、しかも H1n 質別材に関する研究はほとんどない。また、ろう付熱処理後の強度や熱伝導性に関しては、元素添加による検討が行われてきたが添加元素の調整には限界がある。そのため、組織制御など元素添加以外の方法による高性能化の検討が必要であるが、そのような観点からの研究例は少ない。さらに、ろう付熱処理時の組織変化の影響をも加味した検討にいたってはほとんどない。耐食性に関しては、事実上最も問題となる粒界腐食について、ろう付熱処理後の冷却速度の増加という製造条件での対策がとられているが、ろう付条件の自由度を狭めてしまっている。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 系合金を開発するための金属組織学的な設計指針を得ることを目的として、各種特性に及ぼす分散粒子の影響を調査した。また、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、組織制御工程として活用することで、材料特性の向上が図れるかについて検討した。

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、高伸びが得られる金属組織について検討した。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た。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。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ほうが、中間焼鈍後の強度が高く最終圧延率を低くできるため、高い伸びが得られることを明らかにした。

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た。分散粒子が微細・高密度に分布するほど、加工硬化能が向上するため均一伸びが増加

した。一方、局部伸びは、亜結晶粒径が微細なほど向上した。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と考えられる。また、亜結晶粒径は分散粒子が微細な場合、微細化した。このように、層状組織を有する場合、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た。

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、冷却速度を高めることなく、耐粒界腐食性を改善する方法について検討を行った。本系合金の粒界腐食は、ろう付冷却過程での 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た。また、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  $\text{CuAl}_2$  の優先析出をともに抑制して固溶元素欠乏層の形成を防止することで、急冷しなくても粒界腐食性を改善できることを明らかにした。

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加熱時の分散粒子の再固溶挙動を調査した。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た。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た。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ことを明らかにした。

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好適な分散粒子の分布状態について検討した。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た。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すること、冷却中の析出量は冷却前の Mn 固溶度によって決まり、そして、冷却速度が遅いほど析出が進むことを明らかにした。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が分かった。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ことを明らかとした。

第7章「結論」では、各章で得られた成果を総括した。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を明確にした。また、ろう付熱処理を組織制御工程とみなし、材料製造工程での分散粒子制御と組み合わせることで積極的に利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方策を提案した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	材料工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 工学 )
学生氏名 : Student's Name	吉野 路英		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	熊井 真次	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	村石 信二	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

The present thesis entitled “Effect of dispersoids on mechanical properties and corrosion resistance of Al-Mn series alloy sheet for automotive heat exchangers” consists of seven chapters.

Effect of dispersoids was intensively examined not only on elongation before brazing but also on inter-granular corrosion resistance, strength and thermal conductivity after brazing of Al-Mn-Si-Cu alloy sheets. A novel trial was also made in order to put the conventional brazing process to good use of heat treatment process for structure control and improved mechanical property.

It was found that dense dispersion of fine dispersoids increased elongation of H1n tempered materials. Fine and uniform dislocation sub-structure was also effective to obtain high elongation in the sheets with layered grain structure. It was revealed that a proper amount of Si addition could suppress inter-granular corrosion without a help of rapid cooling after brazing. No solute depleted zone was observed in this case. This is because the trans-granular precipitation of Al-Mn-Si-based dispersoids was promoted and consequently the inter-granular precipitation of Al-Mn-Si-based and  $\text{CuAl}_2$  dispersoids was suppressed. The variation of dispersive distribution during brazing was investigated in detail. Distribution behavior of dispersoids during brazing process was also investigated. In the heating process of brazing, fine dispersoids dissolved into the matrix and their re-precipitation took place in the cooling process. The amount of precipitation increased as decreasing cooling rates. When the dispersoids were fine and dispersed densely, most of them were remained undissolved after heating, and they contributed to compose fine and dense dispersion structure together with the re-precipitated dispersoids after brazing. These results suggested that combining dense dispersion of fine dispersoids with low post-braze cooling rate is a promising way to give the present alloy sheets a good balance between high strength and thermal conductivity after brazing.

The present work proposed the new idea to produce high-performance Al-Mn-based alloys having both high corrosion resistance, high strength and high thermal conductivity.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).