

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	熱機械加工したA355およびA356合金の微視組織および機械的性質に及ぼす鉄系金属間化合物の影響
Title(English)	Influence of Fe-intermetallic compounds on microstructure and mechanical property of thermomechanically processed A355 and A356 alloys
著者(和文)	KIMDaehan
Author(English)	Daehan Kim
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11955号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 郁夫,熊井 真次,史 蹟,木村 好里,村石 信二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11955号, Conferred date:2021/3/26, 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		DAEHAN KIM	
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	熊井真次		教授	審査員		
		史 蹟		教授			
		木村好里		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Influence of Fe-intermetallic compounds on microstructure and mechanical property of thermomechanically processed A355 and A356 alloys」と題し、以下の5章からなっている。

第 1 章「General Introduction」では、近年 Al 合金の利用が拡大している自動車などの輸送機器を例に、Fe 含有量の多い Al 合金リサイクル材中に β -Al₃FeSi 相などの鉄系金属間化合物が生成することで、延性などの力学的性質が損なわれることを述べ、その解決法のひとつとして、加工一半熔融成形 (D-SSF) 法の有用性を紹介している。D-SSF 法は、Al 合金中に晶出した鉄系金属間化合物を高温圧縮変形によって微細に破碎した後、固液二相共存温度域で成形することで、微細な金属間化合物を合金中に分散させるもので、金属間化合物による延性低下を抑制し、分散した微細な金属間化合物による強化が可能となり、Cu を 1 mass% 含む A355 合金では D-SSF 材に時効熱処理を行うことでさらなる強化が期待できると述べている。また通常の Al 合金引張試験の公称応力-ひずみ曲線には見られない局部伸びが、D-SSF 法で微細な金属間化合物を分散させた合金では認められることを述べ、局部伸びの有用性を工業的観点から評価するとともに、その原因を理解することの重要性を指摘し、本研究の目的を述べている。

第 2 章「Enhanced local elongation of high Fe-containing Al-Si-Cu-Mg alloys by a deformation-semi-solid extrusion process」では、1 mass% の Fe を添加した A355 合金を用いて、D-SSF 法のひとつである加工一半熔融押出 (D-SSE) 法での加工を試み、液相率 5% のときに表面割れのない健全な押出し材が得られることを明らかにしている。組織観察の結果、D-SSE によって鉄系金属間化合物が 3 μm 以下にまで破碎されることを確認し、この金属間化合物による粒子誘起核生成の結果、Al 母相の結晶粒径は 32.6 μm となり、Fe 無添加材の 86.8 μm に比べて微細化されることを報告している。また引張試験から、強さと延性の両面で鋳造まま材をしのぐ力学的性質を示すこと、およそ 16% の引張ひずみで最大引張強さを示した後、ひずみ 28% で破断するまで公称応力が徐々に低下することを見いだしている。破断時のしぼり (断面積減少率) はおよそ 66% に達しており、破断後の破面観察で延性破壊に特徴的なディンプルの形成が認められ、ディンプル内部に微細な金属間化合物が認められたことから、微細な金属間化合物を起点としてボイドが形成し、局部伸びが発生し延性的な破壊をもたらしたのだと述べてい

る。また、引張試験途中の各段階の試験片を走査電子顕微鏡電子線後方散乱回折に供し、微細な金属間化合物周辺に塑性ひずみが局在していることを明らかにし、これが局部伸びをもたらしたと述べている。

第3章「Precipitation behavior of Al-Si-Cu-Mg(-Fe) alloys by a deformation-semisolid extrusion process」では、前章で用いた合金のさらなる強化を期待して、D-SSE 法で作製した試料に 793 K, 2 h の溶体化熱処理と 443 K で人工時効を行いその効果を明らかにしている。D-SSE 材、溶体化材の硬さがそれぞれ 100 HV, 57 HV であったのに対し、6 h 時効材の硬さは 123 HV に達することを報告している。時効後の試料の高角度散乱暗視野走査透過電子顕微鏡観察によって、析出物の種類は、0.2 mass% の Fe を添加した合金のそれと変わらないものの、鉄系金属間化合物と Al 母相界面上や結晶粒界上に Q'相が析出しているのが観察され、これがこの合金の時効硬化量が増加した原因であると結論づけている。

第4章「Three-dimensional tomography of Fe-intermetallic compounds in a rolled Al-Si-Mg-Fe alloy」では、通常の顕微鏡組織観察で得られる2次元画像から合金内部に潜む金属間化合物のサイズを正確に把握することは難しく、内部構造、サイズ、体積、連続性などの分析には3次元 X 線トモグラフィーが有用であると述べている。さらに、1 mass% の Fe を添加した A356 合金に圧延率 0%, 40%, 60%, 80% の冷間圧延を行い、X線トモグラフィーで正確に評価した金属間化合物のサイズ分布を明らかにしている。その結果、圧延の各段階で鉄系金属間化合物が破砕されていく過程を金属間化合物サイズの平均値と最大値で評価し、80%圧延材ではそれぞれ 2.9 μm , 21.2 μm となると報告している。一方、各圧延率の試料の引張試験の結果から、0%圧延材の破断伸びが 2.7%であったのに対し、40%圧延材では 1.6%に低下したものの 60%圧延材では 2.4%とやや延性を回復し、80%圧延材の破断伸びは 6.8%となることを報告している。80%圧延材での延性の回復は(脆性破壊の起点となる)鉄系金属間化合物が微細に破砕されたことによると結論付け、金属間化合物のサイズがある臨界サイズ以下になると優れた延性が得られると述べている。

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 Fe 含有量の多い Al 合金リサイクル材中に不可避に存在する鉄系金属間化合物を D-SSE 法などの強加工で微細に破砕し、そのサイズや構造をX線トモグラフィーによって正確に評価し、これらの微細な金属間化合物による延性改善が金属間化合物の周辺に局在する塑性ひずみによってもたらされる局部伸びによることを初めて見いだし、加えて鉄系金属間化合物がこの合金に時効熱処理を行う際の析出相の析出サイトとして働いて時効硬化量の増加に貢献することを明らかにしたもので、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。