The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	マグネシウム合金FSW継手の組織と機械的性質の制御
Author(s)	周, 夢然
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/76543
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　周　夢然　）	
論文題名	マグネシウム合金 FSW 継手の組織と機械的性質の制御

論文内容の要旨

本研究では、機械的な手法と冶金的な方法の２つのアプローチを用いて Mg 合金 FSW 継手の微細組織と集合組織を制御し、機械的性質を向上させることを目的とした。本研究で得られた主な知見を以下に総括する。

第一章は、序論であり、本研究の目的と本論文の構成について説明した。

第二章では、Mg 合金の特徴及び研究の現状について説明した。次に、Mg 合金の FSW の背景、欠陥の形成、微細組織、集合組織の発展過程、継手の機械的性質に関する従来の研究について概説した。これらの先行研究成果に基づいて、機械的な手法と冶金的な方法の２つのアプローチを用いた研究方案を提案した。

第三章では、機械的なアプローチを用いた、Mg 合金 FSW 継手の微細組織と機械的性質の制御について示した。3.1 節では第三章を構成する４つの手法を概説した。3.2 節では、純 Mg FSW 中の実際の材料流路に沿った準その場観察により、微細組織と集合組織の発展過程を考察した。ショルダ層とプローブ層の実際の材料流動経路および当該材料流動経路に沿った微細組織と集合組織の発展過程を明らかにした。3.3 節では、難燃性 Mg 合金 AZX612 に DFSW を適用し、上下ツールの非対称配置による複数の材料流動を誘起し、優れた機械的性質を有する継手を作製した。攪拌部の底面集合組織のランダム化によって、高い引張強さと伸びが得られることに加え、引張特性の異方性が改善された。3.4 節では、結晶粒微細化により、広範囲のひずみ速度で顕著な超塑性を示す超微細粒二相 Mg-Li 合金を得ることに成功した。α／β界面長さの増加は粒界すべりを誘発し、1000%以上の優れた超塑性を示した。3.5 節では、Mg-Li 合金の微細組織制御により、室温における高い強度と優れた延性の両立を達成した。攪拌部におけるα／β相粒界が非整合性界面となっていることと明らかにし、当該粒界構造は粒界拡散の活性化エネルギーを減少させ、機械的性質の改善に寄与することを示した。

第四章では、冶金的なアプローチを用いた Mg 合金 FSW 継手の微細組織と機械的性質の制御について示した。4.1 節では、第四章で用いた４つの手法を概説した。4.2 節では、非対称 DFSW で接合された AZ61 継手の微細構造と機械的性質に及ぼす 2%Ca 添加の影響を考察した。Ca 添加は、非対称 DFSW 中に顕著な結晶粒微細化効果を示した。Ca の添加は、非底面すべりの起動と PSN 効果により、攪拌部の（0001）集合組織の強さを低下させた。攪拌部の伸びは、主に（0001）集合組織強さの影響を受けることから、(0001）集合組織強さの増加は伸びを減少させることを示した。強い（0001）集合組織は加工硬化段階での破壊を引き起こし、UTS を低下させるため、UTS を決める臨界（0001）集合組織強さが存在することを明らかにした。4.3 節では、Mg 合金の微細組織、集合組織および機械的性質に及ぼす Group II 元素（Ca および Sr）添加の影響を調査した。Ca と Sr は共に結晶粒を微細化するが、Ca 添加は Sr 添加よりも結晶粒微細化に強い効果を有することを確認した。Ca および Sr の添加により、結晶粒微細化と集合組織ランダム化を同時に実現し、引張特性が大幅に向上することが明らかとなった。4.4 節では、FSW を超軽量二相 Mg-Li 合金 LZ91 に適用し、強度と靭性を両立する継手を実現した。適切なツール材質の選定により、接合中におけるツールへの材料付着を抑制することで、広範囲の接合条件で無欠陥な継手を得ることに成功した。攪拌部では、Mg-rich α相と Li-rich β相の結晶粒微細化と均一混合が達成された。低温の FSW 条件で得られた微細な結晶粒は、継手に優れた引張特性を付与した。4.5 節では、Mg-Li-Al 合金 LAZ941 継手に関して、接合温度の上昇に伴って継手が高強度化されることを明らかにした。一般的には低い接合温度で観察される攪拌部の高強度化や HAZ の減少が、より高い接合温度の FSW で観察された。圧延されたままの母材のβ相中に存在する AlLi 粒子が高温 FSW 条件ではβ相に固溶し、FSW 後の冷却中に微細な $MgLi_2Al$ 粒子が析出することが原因である。加えて、$MgLi_2Al$ 粒子の強化によって均一な塑性ひずみが生じ、高い延性も維持された。

第五章では、本研究で得られた主な結果について総括した。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　周　夢然　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	藤井　英俊
	副 査　教授	宇都宮　裕
	副 査　教授	近藤　勝義
	副 査　准教授	柳楽　知也

論文審査の結果の要旨

本研究では、機械的な手法と冶金的な方法の２つのアプローチを用いて Mg 合金 FSW 継手の微細組織と集合組織を制御し、機械的性質を向上させることを目的としている。本研究で得られた主な知見を以下に総括する。

第一章は、序論であり、本研究の目的と本論文の構成について説明している。

第二章では、Mg 合金の特徴及び研究の現状について説明している。次に、Mg 合金の FSW の背景、欠陥の形成、微細組織、集合組織の発展過程、継手の機械的性質に関する従来の研究について概説している。これらの先行研究成果に基づいて、機械的な手法と冶金的な方法の２つのアプローチを用いた研究方案を提案している。

第三章では、機械的なアプローチを用いて、Mg 合金 FSW 継手の微細組織と機械的性質の制御について示している。3.1 節では第三章を構成する４つの手法を概説している。3.2 節では、純 Mg FSW 中の実際の材料流路に沿った準その場観察により、微細組織と集合組織の発展過程を考察している。ショルダ層とプローブ層の実際の材料流動経路および当該材料流動経路に沿った微細組織と集合組織の発展過程を明らかにしている。3.3 節では、難燃性 Mg 合金 AZX612 に DFSW を適用し、上下ツールの非対称配置による複数の材料流動を誘起し、優れた機械的性質を有する継手を作製している。3.4 節では、結晶粒微細化により、広範囲のひずみ速度で顕著な超塑性を示す超微細粒二相 Mg-Li 合金を得ることに成功している。α／β界面長さの増加は粒界すべりを誘発し、1000%以上の優れた超塑性を示している。3.5 節では、Mg-Li 合金の微細組織制御により、室温における高い強度と優れた延性の両立を達成している。攪拌部におけるα／β相粒界が非整合性界面となっていることを明らかにし、当該粒界構造は粒界拡散の活性化エネルギーを減少させ、機械的性質の改善に寄与することを示している。

第四章では、冶金的なアプローチを用いた Mg 合金 FSW 継手の微細組織と機械的性質の制御について示している。4.1 節では、第四章で用いた４つの手法を概説している。4.2 節では、非対称 DFSW で接合された AZ61 継手の微細構造と機械的性質に及ぼす 2%Ca 添加の影響を考察している。強い（0001）集合組織は加工硬化段階での破壊を引き起こし、UTS を低下させるため、UTS を決める臨界（0001）集合組織強さが存在することを明らかにしている。4.3 節では、Mg 合金の微細組織、集合組織および機械的性質に及ぼす Group II 元素（Ca および Sr）添加の影響を調査している。Ca および Sr の添加により、結晶粒微細化と集合組織ランダム化を同時に実現し、引張特性が大幅に向上することが明らかとなっている。4.4 節では、FSW を超軽量二相 Mg-Li 合金 LZ91 に適用し、強度と靭性を両立する継手を実現している。攪拌部では、Mg-rich α相と Li-rich β相の結晶粒微細化と均一混合が達成されている。4.5 節では、Mg-Li-Al 合金 LAZ941 継手に関して、接合温度の上昇に伴って継手が高強度化されることを明らかにしている。一般的には低い接合温度で観察される攪拌部の高強度化や HAZ の減少が、より高い接合温度の FSW で観察されている。圧延されたままの母材のβ相中に存在する AlLi 粒子が高温 FSW 条件ではβ相に固溶し、FSW 後の冷却中に微細な $MgLi_2Al$ 粒子が析出することが原因である。加えて、$MgLi_2Al$ 粒子の強化によって均一な塑性ひずみが生じ、高い延性も維持されている。

第五章では、本研究で得られた主な結果について総括している。

以上のように、本論文はマグネシウム合金 FSW 継手の組織と機械的性質の制御における重要な知見を得ており、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。