

Title	両面複動式ツールを用いた摩擦攪拌点接合（FSSW）の接合機構の解明と接合部微細組織の制御
Author(s)	汪, 小培
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/85378
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、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">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

論文内容の要旨

氏 名 （ WANG XIAOPEI ）	
論文題名	両面複動式ツールを用いた摩擦攪拌点接合（FSSW）の接合機構の解明と接合部微細組織の制御
論文内容の要旨	
<p>本研究では、従来のFSSWが有する問題を克服するため、両面複動式ツールを用いた新規なFSSW法を開発した。また、マグネシウム合金、低炭素鋼及び高張力鋼の同種材料や低炭素鋼とアルミニウム合金の異種材料の接合を対象として、この新規な接合方法を用いて、複動式ツールにより継手の接合界面構造、微細組織及び機械的特性を制御することを目的とした。</p> <p>第1章は、序論であり、本研究の目的と本論文の構成について述べた。</p> <p>第2章では、研究背景としてFSSWの原理、特徴と発展について述べた。また、軽金属のマグネシウム合金と鋼の同種材FSSW、及び鋼とアルミニウム合金の異材FSSWに関する研究の現状を述べて、これらのFSSW研究に対応する問題点をまとめた。最後に、FSSWにおける継手の接合界面構造と微細組織制御の指針を検討し、本研究での対策を述べた。</p> <p>第3章では、複動式ツールを用いたFSSW装置を説明し、実験に用いたツールの詳細を説明した。加えて、この新規なFSSWの接合プロセスを説明し、意図する界面強化原理を述べた。</p> <p>第4章では、両面複動式ツールを用いたFSSWをマグネシウム合金に適用して、継手の強度に及ぼす要因と独立駆動可能なプローブの役割を明らかにした。この新規なFSSW法により、キーホールのない優れた機械的特性と良好な表面外観を備えた健全な継手が得られた。継手の機械的特性について、最小板厚が決定的な要因となった。攪拌部中央の接合界面の近傍には酸化物が存在していたが、ショルダ/プローブ界面近傍の接合界面の周囲には、酸化物が殆ど分布していなかった。このような理由により、独立駆動可能なプローブによって、界面強度が著しく強化された。</p> <p>第5章では、両面複動式ツールを用いたFSSWを低炭素鋼と高張力鋼に適用し、継手の強度に及ぼす要因と継手の接合界面形成機構を明らかにした。低炭素鋼の場合、従来のFSSWで形成されるフック形状は、本接合方法によって排除され、未接合界面は板材の表面に平行になった。継手の機械的特性は、応力集中が発生しやすい未接合界面の先端領域の微細組織に強く依存した。高張力鋼の場合、継手は安定的にプラグ破断と達成した。高張力鋼の表面に存在する酸化被膜の厚さは約10 nmであった。表面の酸化物層は接合中にMnの酸化物へと変化し、その後、Siの酸化物が形成された。接合温度が低い場合には、主にMnの酸化物が形成された。一方で、接合温度が高い場合には、Mn、SiとAlを含む球状酸化物が形成された。微細な酸化物が十分に分散した良好な接合界面が形成され、安定的なプラグ破断が実現した。</p> <p>第6章では、拘束治具あり両面複動式ツールを用いたFSSWを低炭素鋼とアルミニウム合金の異材接合に適用し、接合部の微細組織、接合界面構造、継手の強度に及ぼす要因を明らかにした。拘束治具あり両面複動式ツールを用いたFSSWにより、接合界面で強力な機械的インターロックを得ることができた。独立駆動可能なプローブにより、非常に低い回転速度で薄く均一な連続的なIMC層が得られた。前加工なしで効果的な機械的インターロックが得られ、非常に低い回転速度で強力な冶金学的接合が得られるため、本接合技術は異種材料の接合に効果的かつ生産的であると言える。</p> <p>第7章では、高輝度X線透過装置を用いて、両面複動式ツールを用いたマグネシウム合金のFSSWにおける接合界面の発達過程を明らかにした。また、主要な接合段階での微細構造と組織の進化過程を解明した。接合界面は、プローブ保持段階で、界面周辺の強い材料流動によって十分に接合された。継手の最小板厚は、上側プローブの挿入から下側プローブの上昇に伴って変化し、最終的には下側プローブの上昇段階で決定された。低回転速度条件では接合温度が低いため、未接合界面の先端部で結晶粒成長が効果的に抑制され、結晶粒が微細化された。また、未接合界面の先端領域では、材料流動が弱く、底面集合組織が弱くなった。更に、下側プローブの上昇段階で導入された機械的雙晶によって、集合組織がさらに弱くなり、最終的にランダム化された集合組織が得られた。得られた継手の機械的特性は、回転速度の低下に伴って向上した。これは、結晶粒微細化と集合組織ランダム化の組み合わせによるものである。</p> <p>第8章では、本研究で得られた主な結果について総括した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (WANG XIAOPEI)			
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	廣瀬 明夫
	副 査	准教授	劉 恢弘

論文審査の結果の要旨

本論文では、従来の摩擦攪拌点接合（FSSW）が有する問題を克服するため、両面複動式ツールを用いる新規な FSSW 法を開発している。また、マグネシウム合金、低炭素鋼及び高張力鋼の同種材料や低炭素鋼とアルミニウム合金の異種材料の接合を対象として、この新規な接合方法を用いて、複動式ツールにより継手の接合界面構造、微細組織及び機械的特性を制御することを目的としている。本研究で得られた主たる知見を以下に総括する。

第 1 章では、本研究の目的と本論文の構成について述べている。

第 2 章では、マグネシウム合金、鋼の同種材 FSSW、及び鋼とアルミニウム合金の異材 FSSW に関する研究の現状を述べて、これらの FSSW 研究に対応する問題点をまとめている。また、FSSW における継手の接合界面構造と微細組織制御の指針を検討し、本研究での対策を述べている。

第 3 章では、複動式ツールを用いた FSSW 装置を説明し、実験に用いたツールの詳細を説明している。加えて、この新規な FSSW の接合プロセスを説明し、意図する界面強化原理を述べている。

第 4 章では、両面複動式ツールを用いた FSSW をマグネシウム合金に適用して、継手の強度に及ぼす要因と独立駆動可能なプローブの役割を明らかにしている。この新規な FSSW 法により、優れた機械的特性とキーホールのない良好な表面外観を備えた健全な継手が得られている。独立駆動可能なプローブによって、界面強度を著しく強化できることが示されている。

第 5 章では、両面複動式ツールを用いた FSSW を低炭素鋼と高張力鋼に適用し、継手の強度に及ぼす要因と継手の接合界面形成機構を明らかにしている。低炭素鋼の場合、従来の FSSW で形成されるフック形状は、本接合方法によって排除され、未接合界面は板材の表面に平行になることが示されている。高張力鋼の場合、継手は安定的にプラグ破断を達成している。高張力鋼の表面の酸化物層は接合中に Mn の酸化物へと変化し、その後、Si の酸化物が形成される。接合温度が高い場合には、Mn、Si と Al を含む球状の微細な酸化物が形成される。微細な酸化物が十分に分散することで良好な接合界面が形成され、安定的なプラグ破断が実現している。

第 6 章では、拘束治具あり両面複動式ツールを用いた FSSW を低炭素鋼とアルミニウム合金の異材接合に適用し、接合部の微細組織、接合界面構造、継手の強度に及ぼす要因を明らかにしている。拘束治具あり両面複動式ツールを用いた FSSW により、接合界面で強力な機械的インターロックを得ることができる。独立駆動可能なプローブにより、非常に低い回転速度で薄く均一で連続的な金属間化合物（IMC）層が得られている。前加工なしで効果的な機械的インターロックが得られ、非常に低い回転速度で強力な冶金の接合が得られるため、本接合技術は異種材料の接合に効果的かつ生産的であると言える。

第 7 章では、高輝度 X 線透過装置を用いて、両面複動式ツールを用いたマグネシウム合金の FSSW における接合界面の形成過程を明らかにしている。また、主要な接合段階での微細構造と組織の進化過程を解明している。接合界面は、プローブ保持段階で、界面周辺の強い材料流動によって十分に接合される。継手の最小板厚は、上側プローブの挿入から下側プローブの上昇に伴って変化し、最終的には下側プローブの上昇段階で決定される。得られた継手の機械的特性

は、回転速度の低下に伴って向上する。これは、結晶粒微細化と集合組織ランダム化の組み合わせによるものである。

第8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、本論文は両面複動式ツールを用いた FSSW の接合機構の解明と接合部微細組織の制御において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多い。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。