

Title	鉄鋼材料の摩擦攪拌接合に関する研究
Author(s)	崔, 灵
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48508">https://hdl.handle.net/11094/48508</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏 名	崔 眞
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 1 7 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科マテリアル応用工学専攻
学 位 論 文 名	鉄鋼材料の摩擦攪拌接合に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 野 城 清 (副査) 教 授 池 内 建 二 教 授 掛 下 知 行 教 授 中 田 一 博 助教授 藤 井 英 俊

#### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding : 以下 FSW と略) を鉄鋼材料に適用するための基礎研究をまとめたものであり、鉄鋼材料用 FSW 装置および接合ツールの開発と、IF 鋼、炭素鋼、ステンレス鋼への FSW の適用について論じたものである。本論文は 7 章より構成され、その内容は以下の通りである。

第 1 章は、緒論であり、本研究の必要性に対する背景および研究目的について述べた。

第 2 章では、FSW の原理、特徴についてまとめたうえ、鉄鋼材料の FSW に関する既存の研究報告例を分析し、研究現状の把握および問題点の指摘を行い、鉄鋼材料の FSW に関する系統的な研究の必要性を述べた。

第 3 章では、鉄鋼材料の FSW が実施可能な装置および接合ツールを開発した。低コストで高強度のツール材質を選定し、WC-Co 合金製および Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 製のツールを作製した。さらに、ツールの加工コストを下げ、寿命を延ばすために、鉄鋼材料用に最適なツール形状を検討した。

第 4 章では、純鉄に近い IF 鋼を用いて FSW の可能性を検討し、機械的特性に及ぼす接合条件の影響を明らかにした。さらに IF 鋼と工業用純 Al の FSW 後の形成組織を比較し、その特徴を詳細に検討した。IF 鋼の継手の機械的特性は接合速度の増加 (入熱量の減少) と共に、組織の微細化により向上することを明らかにした。

第 5 章では、炭素鋼に FSW を適用した。炭素鋼は炭素量と温度履歴の組み合わせによって異なる相変態を示すため、接合中の温度履歴が接合継手の機械的特性および微細組織に及ぼす影響を炭素量 0.12 mass% から 0.70 mass% の炭素鋼について詳細に検討した。その結果、接合条件を変化させることにより組織制御が可能であり、接合後の熱処理を行わなくても FSW だけで十分な継手特性が得られることを明らかにした。さらに、A<sub>1</sub> 点以下の低温でも FSW が可能であることを明らかにし、特に A<sub>1</sub> 点直下で接合を行うと、パーライトが球状セメンタイトに変化するため、好ましいことを示した。

第 6 章では、ステンレス鋼に FSW を適用した。SUS304 および SUS301L-1/4H を対象に FSW を行い、実用的に十分な継手強度が得られることを示した。さらに、継手の機械的特性および形成組織に及ぼす接合条件の影響を詳細に検討した。SUS304 に対しては半自動アーク溶接 (主に MIG 溶接) と同等の速度で接合可能であることを示した。

第 7 章では、本研究で得られた主な成果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文はこれまで低融点の金属材料に適用されてきた摩擦攪拌接合（FSW）を鉄鋼材料に対して応用するための研究を行っている。

第1章は、緒論であり、本研究の背景、および研究目的について述べている。

第2章では、FSWの原理、特徴について述べるとともに、鉄鋼材料のFSWに関する既存の研究報告例を分析し、研究現状の把握および問題点の指摘を行っている。

第3章では、鉄鋼材料のFSWが実施可能な装置および接合ツールを開発している。第3章の成果は、(1)大荷重・高剛性の仕様を満たす装置を開発している、(2)ツールおよび装置の冷却機構、また試料およびツールの酸化防止機構を備えるツールホルダーを開発している、(3)低コストで高強度のツール材質を選定し、WC-Co合金およびSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>のツールを作製している、(4)ツールの加工コストを下げ、寿命を延ばすために、鉄鋼材料用に最適なツール形状を検討している、等が挙げられる。

第4章では、純鉄に近いIF鋼を用いてFSWの可能性を検討し、機械的特性に及ぼす接合条件の影響を明らかにしている。さらにIF鋼のFSW後の形成組織を工業用純Alと比較し、その特徴を詳細に検討している。本章で得られた知見を要約すると以下ようになる。

(1)本研究で開発したFSW装置およびネジのない円柱状のプロープを有するWC-Co製のツールはIF鋼の接合に有効である。

(2)IF鋼の継手の機械的特性は接合速度の増加（入熱量の減少）と共に、組織の微細化により若干向上する。これはAl合金、Mg合金、Cu合金など相変態を伴わない材料と同様の結果である。

(3)IF鋼のFSW中の形成組織は工業用純Alと同様に転位密度の低い等軸粒である。

第5章では、炭素鋼へのFSW適用の可能性を示している。接合条件の制御による温度履歴の変化が接合継手の機械的特性および微細組織に及ぼす影響を、炭素鋼の相変態も考慮にいれて詳細に検討している。また、炭素量が接合継手の機械的特性および微細組織に及ぼす影響を明らかにしている。さらに、接合条件を変化させることにより組織制御が可能なることを明らかにし、他の溶接方法では必要となる接合後の熱処理を不要にする接手法を確立している。

(1)すべての炭素鋼は適正条件で母材より高強度な接合部が得られた。IF鋼と比較して、相変態を有する炭素鋼のFSWの継手強度は接合条件の影響を大きく受ける。

(2)最高到達温度と冷却速度は材料の種類にあまり依存しない。接合速度を増加させると最高到達温度が低下し、冷却速度が増加するのに対し、回転速度を増加させると最高到達温度と冷却速度が共に増加する。このような特徴を利用して、接合中に組織制御することが可能である。

(3)S12Cの接合部は主にフェライト-パーライト組織であり、接合強度は組織の微細化とセメンタイトの均一分散により強化されるため、接合速度の増加又は回転速度の低下と共に接合強度は単調増加する。

(4)炭素量が0.2%以上の接合部は下部臨界マルテンサイト生成冷却速度を超える条件で接合するとマルテンサイトが生成するため、接合強度は接合速度の増加又は回転速度の増加と共に大きく向上する。マルテンサイトを生成しない条件では、組織が微細化されるため接合速度の増加又は回転速度の低下に伴い接合強度が向上する。

(5)A<sub>1</sub>点以下で接合する場合は、マルテンサイト変態しないため、炭素量に依存せず組織が微細になり、接合強度が母材からほぼ一定の増加率で上昇する。特にA<sub>1</sub>点直下で接合を行うと、パーライトが球状セメンタイトに変化するため、強度と靱性が共に向上する。

第6章では、本研究で開発したFSW装置および回転ツールを用いて、オーステナイト系ステンレス鋼のFSWを行い、以下のような結論を得ている。

(1)調質により高強度が得られているSUS301L-1/4H薄板の摩擦攪拌接合が実施可能であり、ツール回転速度600rpmの時120-300mm/minの接合速度範囲で母材強度と同等以上の接合強度が得られる。

(2)SUS301L-1/4HはSUS304と比較して、適正接合条件範囲が狭い。これは接合温度における塑性変形抵抗と関連

する。

(3)SUS304 薄板は半自動アーク溶接（主に MIG）と同等の速度で接合可能であり、母材強度と同等の接合強度が得られる。

第7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、本論文は鉄鋼材料に対して摩擦攪拌接合を実施可能な特殊装置と接合ツールの開発を行い、IF 鋼・炭素鋼を対象として FSW 継手の機械的特性および形成組織に及ぼす接合条件・相変態の影響を明らかにしている。さらに、得られた知見をステンレス鋼の FSW に応用している。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。