

Title	難接合鉄鋼材料の摩擦攪拌接合
Author(s)	鄭, 永東
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/58356">https://hdl.handle.net/11094/58356</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	鄭 永 東
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24577号
学位授与年月日	平成23年3月25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生産科学専攻
学位論文名	難接合鉄鋼材料の摩擦攪拌接合
論文審査委員	(主査) 教授 藤井 英俊 (副査) 教授 宇都宮 裕 教授 中田 一博

### 論文内容の要旨

本論文では、過共析鋼、低放射化フェライト鋼、高張力鋼等の難接合鉄鋼材料に摩擦攪拌接合(FSW)を適用することを目的とし、相変態を伴わない摩擦攪拌接合、冷却速度の制御による熱影響部(HAZ)軟化の抑制、異種鉄鋼材料の摩擦攪拌接合に取り組んだ。本論文は、以下に示す7つの章で構成されている。

第1章は緒論であり、本論文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、摩擦攪拌接合の原理や接合方法の特徴についてまとめ、鉄鋼材料の摩擦攪拌接合に関する既存の研究報告例を分析し、研究の現状把握および問題点の指摘を行い、相変態する材料の摩擦攪拌接合に関する系統的な研究の必要性を取り上げた。

第3章では、使用した摩擦攪拌装置の特徴について調べ、接合ツール材質の特性について調査した。

第4章では、鉄鋼材料を相変態を伴わずに接合する手法を確立し、得られた接合継手の微細組織および機械的特性について調査した。接合条件の制御による接合温度に起因する主な支配因子を明らかにし、変態を伴う条件と伴わない条件で接合した継手の微細組織および機械的特性を評価することで、摩擦攪拌接合中の変態の有無が継手特性にどのように影響を及ぼすかについて詳細に調査した。

4-1節では、回転速度、接合速度および荷重を変化させながら過共析鋼の摩擦攪拌接合を行い、継手の全体で変態を伴わずに無欠陥の接合を行うことが可能であることを示した。相変態を伴わずに接合した継手の吸収エネルギーは58.9N・mmであり、相変態を伴った場合の25.6N・mmと比較して大幅に向上した。

4-2節では、F82Hの摩擦攪拌接合においても、接合条件を変化させることで接合温度を制御することが可能であり、 $A_{c1}$ 点以上および以下での接合ができることを明らかにした。また、接合温度が上昇するにつれ残留オーステナイトの体積分率も多くなり、残留オーステナイトの量が多いほど強度と伸びが増加する。一方、 $A_{c1}$ 点以下で接合した条件の継手は、母材であるフェライトと(CrFe)<sub>3</sub>C析出物が微細化された影響で強度は約200MPa増加し、伸びは母材より低下した。

4-3節では、高張力鋼の低温での摩擦攪拌接合を試みた。その結果、HT780、HT980およびHT1180の高張力鋼を $A_{c1}$ 点以下で摩擦攪拌接合を行っても熱影響部領域での軟化を抑制することには限界があり、引張試験を行うと熱影響部での破断となることで、継手強度が低下することを明らかにした。

第5章は液体CO<sub>2</sub>を用いた冷却速度制御による摩擦攪拌接合継手の品質向上について調査した。接合中に液体CO<sub>2</sub>を用いた強制的な冷却を行い、熱影響部の軟化を抑制することを目的とした。また、変態を伴わずに継手を得る手法をさらに発展させ、液体CO<sub>2</sub>の影響について検討した。

5-1節では、液体CO<sub>2</sub>を用いた冷却速度の制御により、高張力鋼の熱影響部の軟化を抑制できることを明らかにし、継手効率が大幅に上昇し、HT980では100%、HT1180は98%となることを示した。

5-2節では、過共析鋼を液体CO<sub>2</sub>を用いて摩擦攪拌接合を行い、液体CO<sub>2</sub>を用いた場合には、小型シャルピー試験の吸収エネルギーは78.8N・mmとなり、用いない場合の58.9N・mmより増加し、母材の83.9N・mmに近づくことを明らかにした。

第6章では異種攪拌部の混合組織や金属間化合物の生成を防止する摩擦攪拌接合条件について調査した。被接合材の配置位置とツールの挿入位置の最適化を行った後、摩擦攪拌接合を行い、得られた継手のミクロ組織および機械的特性を調査した。

6-1節では、F82HとSUS304の異種鉄鋼材料の摩擦攪拌接合においては、被接合材の配置位置やツールの挿入位置は接合中の温度領域における高温特性に依存し、接合温度領域で軟材料を前進側に配置し、ツールを前進側へ挿入して接合すれば、混合組織や金属間化合物を生成せずに接合を行うことが可能であることを明らかにした。

6-2節では、F82HとSUS316を用いて異種鉄鋼材料の重ね接合においては、界面の温度を両材料の0.2%耐力が一致する710℃の付近で制御することで、材料が互いに混入することなく、平らな界面が形成できることを明らかにした。また、混合組織および金属間化合物は観察されなかった。

第7章では最後に本研究で得られた結果について総括した。

### 論文審査の結果の要旨

本論文では、一般に溶接・接合が困難とされる鉄鋼材料に対して摩擦攪拌接合(FSW)を適用することで、安定的な接合手法を確立することを目的として研究を行っている。具体的には、難接合材である過共析鋼、低放射化フェライト鋼、高張力鋼に対して摩擦攪拌接合を行い、接合中の冶金的な現象を解明し、得られた継手の機械的特性との関係について明らかにしている。主な結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 回転速度、接合速度、荷重等の接合条件および回転ツールの最適化を行うことにより、過共析鋼を $A_{c1}$ 点以下で変態を伴わずに接合する技術を確立した。相変態を伴わずに接合した継手の室温における小型シャルピー試験の吸収エネルギーは58.9N・mmであり、相変態を伴った場合の25.6N・mmと比較して大幅に向上した。
- (2) 低放射化フェライト鋼 F82H の摩擦攪拌接合においても、接合条件の制御により、 $A_{c1}$ 点以上および以下での接合が可能であり、接合温度が上昇するにつれ残留オーステナイトの体積分率は増加し、残留オーステナイトの量が多いほど強度と伸びが向上することを明らかにした。一方、 $A_{c1}$ 点以下で接合した継手は、母材であるフェライトと(CrFe)<sub>3</sub>C析出物が微細化された影響で強度は母材より約200MPa向上し、伸びは低下した。
- (3) 低温での高張力鋼の摩擦攪拌接合を試みた結果、HT780、HT980およびHT1180の高張力鋼を $A_{c1}$ 点以下で摩擦攪拌接合を行っても熱影響部での軟化を抑制することには限界があり、継手強度が低下した。これに対して、液体CO<sub>2</sub>を用いた冷却速度の制御により、高張力鋼の熱影響部の軟化を抑制できることを明らかにし、継手効率がHT980では100%、HT1180は98%と大幅に向上することを示した。また、液体CO<sub>2</sub>を用いた摩擦攪拌接合は、過共析鋼に対して有効であり、室温における小型シャルピー試験の吸収エネルギーが78.8N・mmとなり、液体CO<sub>2</sub>を用いない場合の58.9N・mmより増加し、母材の83.9N・mmに近づくことを明らかにした。
- (4) F82H鋼とSUS304鋼の異種鉄鋼材料の摩擦攪拌接合においては、最適な被接合材の配置位置や回転ツールの挿入位置は接合中の温度領域における高温特性に影響を受け、接合温度領域で軟材料を前進側に配置し、回転ツールを前進側へ挿入して接合すれば、混合組織や金属間化合物を生成せずに接合できることを明らかにした。一方、F82H鋼とSUS316鋼の重ね接合においては、界面の温度を両材料の0.2%耐力が一致する710℃の付近に制御することで、材料が互いに混入することなく、平らな界面が形成できることを明らかにした。

以上のように、本論文は難接合材である過共析鋼、低放射化フェライト鋼、高張力鋼に摩擦攪拌接合を適用し、相変態を伴わない摩擦攪拌接合、冷却速度の制御による熱影響部(HAZ)軟化の抑制、異種鉄鋼材料の摩擦攪拌接合について冶金学的観点から詳細に検討されている。本研究で得られた内容は、鉄鋼材料の構造体に対して重要な知見を与えており、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。