OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	摩擦攪拌プロセスによる低炭素鋼溶接部の疲労強度改善に関する研究
Author(s)	山本, 啓
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/72199
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　（　山本　啓　）	
論文題名	摩擦攪拌プロセスによる低炭素鋼溶接部の疲労強度改善に関する研究

論文内容の要旨

溶接部における疲労強度の低下要因となる余盛止端部での応力集中や，溶接残留応力，熱影響部(HAZ)での材質劣化といった3つの問題に対して対策を講じるべく，本研究では摩擦攪拌プロセス(FSP)に着目し，FSPにより種々の低炭素鋼溶接部表層に形成された攪拌部(SZ)のミクロ組織や残留応力分布，及びそれらに起因した疲労特性について詳細に調査した．そして，止端形状の改善と同時に，特徴付けたSZ組織を止端部に直接形成するための手法を提案し，新規溶接後処理としての実用化へ向けた基礎を構築することを目的とした．

第1章は序論であり，溶接部における疲労強度の重要性を取り上げ，疲労強度に及ぼす因子とそれを改善するための従来手法について述べた．次に，新規溶接後処理手法として期待されるFSPの原理とその特徴，及びその適用事例についてまとめ，これらを踏まえた本研究の目的を示した．

第2章では，FSPによる組織改質が溶接部の各種機械的性質に及ぼす影響に関する基礎的知見を得るため，一般構造用圧延鋼材SS400板のTIG溶接部に入熱条件の異なる2条件のFSPを施工した．いずれの条件においてもFSPは，欠陥を形成することなくTIG溶接部の表層組織を微細化した．その結晶粒径はFSPの低入熱化によって更に減少し，著しい硬さの増加に寄与した．このFSPによる組織改質はTIG溶接部の疲労強度を改善し，低入熱化とともにより大きな改善を示した．加えて，この改質組織は，シャルピー衝撃試験における上部棚エネルギーと延性脆性遷移温度の両方を著しく改善し，低入熱FSPの場合には，延性脆性遷移温度が液体窒素温度付近にまで低下することを示した．

第3章では，FSPを施したSS400鋼板溶接部での疲労強度改善効果が，より高強度な鋼材と溶接材料を用いて作製した突合せ継手の溶接部への施工に対しても有効であるかを調査した．HT490及びHT780鋼板溶接部表面へFSPを施工し，いずれの鋼種においても，溶接部の表層組織を微細化できた．SZ中では化学組成及び初期組織の異なる溶接金属と母材鋼板が不均一に混合され，それぞれ異なるミクロ組織及び硬さを呈した．結果として，いずれの鋼種においてもFSPによって疲労強度が改善したが，その増加量はHT780鋼板溶接部の場合よりもHT490鋼板溶接部の方が大きかった．これは，HT490鋼板溶接部ではFSPによってHAZ表面全域の硬さが増加し，母材破断となったのに対し，HT780鋼板溶接部ではSZ表層に軟質な旧溶接金属部が広範囲に分散し，その箇所から破断したことに起因することを明らかにした．

第4章では，FSPを余盛止端部に直接施工し，その部分に高疲労強度を有するSZ組織を形成できるか，そのFSP施工により継手疲労強度を改善できるかを調査するため，HT490鋼板溶接継手の余盛角に合わせた円錐状ショルダーを有するツールを用いて，止端部を中央にしてFSP施工を試みた．FSPによって，余盛止端部を中心にHAZ表面全域を覆うようにSZを無欠陥で形成し，それとともに止端形状を改善できた．しかし，FSP中にショルダー端部が接触した鋼母材板表面で最大500 μm程度の板厚が減少した．その溝底部では鋸歯状の表面が形成され，著しい応力集中源となり，その表面より疲労破断した．継手の疲労強度は，溶接まま材と比較して25%の増加にとどまることを明らかにしている．

第5章では，第4章で示したFSP施工時のショルダー端部が鋼板表面を抉ることによって生じる溝とその底部での鋸歯状表面の形成を回避するため，ツール先端を球面形状にし，それを従来と同様に鋼板面に対して垂直に押し込むことで，止端部への直接FSPによるHT490鋼板溶接継手の疲労強度の更なる改善を試みた．その結果，FSPによって，著しい母材の減肉や溝の形成を生じることなく，HAZ全域を含む止端部周辺を覆うようにSZが形成された．同時に，止端形状の改善も得られ，溶接まま材と比較して疲労強度減少係数が約25%低減された．また，ツール移動速度の低下によって，止端部の最表層にはツールの摩耗に起因して，マトリックスよりも約2倍高い硬さの層が形成された．この硬質層の形成された範囲において，その層厚が厚いほど高い圧縮残留応力が付与されていた．これらの影響によって，疲労強度は溶接まま材と比較してツール移動速度が速いFSPで約33%，遅いFSPで約50%の改善が得られた．破断に至る疲労き裂発生箇所はいずれも止端部であったが，ツール移動速度が速いFSPでのみ主き裂以外にも複数の微小き裂が観察され，これらはFSP痕として生じた凹凸部から発生していた．一方，ツール移動速度が遅いFSPにより改質された止端部は，表面粗さが小さく，疲労き裂の発生箇所が少ないことを明らかにしている．

第6章では，本研究にて得られた結果を総括している．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　山本　啓　）		
	(職)	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	伊藤　和博
	副査　教授	才田　一幸
	副査　教授	田中　学

論文審査の結果の要旨

本研究では、低炭素鋼溶接部における疲労強度の低下要因となる余盛止端部での応力集中や、溶接残留応力、熱影響部(HAZ)での材質劣化といった 3 つの問題に対して、溶接部への摩擦攪拌プロセス(FSP)施工に着目し、攪拌部(SZ)のミクロ組織や残留応力分布及びそれらに関連した疲労特性について詳細に調査した。そして、余盛止端部へ FSP を直接施工することで、止端形状の改善と同時に、微細化された SZ 組織、残留応力状態、施工条件に依存した FSP 痕等が疲労特性に及ぼす影響について調べた。本研究で得られた知見を以下に総括する。

第 1 章は序論であり、研究背景、疲労強度に及ぼす因子とそれを改善するための従来手法、FSP の原理とその特徴、及びその適用事例についてまとめ、これらを踏まえた本研究の目的について述べている。

第 2 章では、SS400 鋼板 TIG 溶接部に入熱条件の異なる 2 条件の FSP を施工し、TIG 溶接部の表層組織を微細化した。その結晶粒径は FSP の低入熱化によって減少し、著しい硬さの増加を示した。この溶接部表層組織微細化により TIG 溶接部の疲労強度が改善し、その改善度合いは低入熱化により増加した。同時に、シャルピー衝撃特性の上部棚エネルギーと延性脆性遷移温度の両方を改善し、低入熱 FSP では液体窒素温度でも延性的であることを明らかにしている。

第 3 章では、より高強度な鋼材 HT490 と HT780 突合せ継手の溶接部へ FSP を施工した。SZ 中では化学組成及び初期組織の異なる溶接金属と母材鋼板が不均一に混合され、異なるミクロ組織及び硬さを呈した。その結果、両鋼種にて FSP による疲労強度改善を得られたが、その増加量は HT780 溶接部よりも HT490 溶接部での方が大きくなった。これは、HT490 溶接部では FSP により HAZ 表面全域の硬さが増加し、母材破断となったのに対し、HT780 溶接部では SZ 表層に軟質な旧溶接金属部が広範囲に分散し、その箇所から破断したことに起因することを明らかにしている。

第 4 章では、HT490 溶接継手の余盛角に合わせた円錐状ショルダーツールを用いて、止端部を中心に FSP を施工した。余盛止端部を中心に HAZ 表面全域を覆うように SZ を無欠陥で形成でき、止端形状も改善できた。しかし、ショルダー端部が接触した鋼母材表面で最大 500 μm 程度の板厚減少とその溝底部に鋸歯状表面が形成され応力集中源となり、その表面より疲労破断に至り、継手の疲労強度が溶接まま材より 25%の増加にとどまることを明らかにしている。

第 5 章では、HT490 溶接継手の余盛止端部へ、球面形状ツール先端を鋼板面に対して垂直に押し込む FSP を施工した。著しい母材の減肉や溝の形成は生じず、HAZ 全域を含む止端部周辺を覆うように SZ を形成でき、止端形状が改善され、溶接まま材と比較して疲労強度減少係数が約 25%低減された。止端部最表層にツール摩耗に起因する高硬度層(マトリックスの約 2 倍)を形成し、その層厚が厚いほど高い圧縮残留応力が付与され、疲労強度は溶接まま材と比較してツール移動速度が速い FSP で約 33%, 遅い FSP で約 50%の改善が得られた。ツール移動速度が速い FSP では FSP 痕として生じた凹凸部が疲労き裂発生箇所となり、疲労強度改善を妨げていたことを明らかにしている.

第 6 章では、本研究で得られた結果を総括している。

以上のように、本論文は低炭素鋼溶接部における余盛止端部での応力集中、溶接残留応力、HAZ での材質劣化に対して FSP による改善結果とその機構を理解する上で重要な知見を得ており、生産科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。