



Title	摩擦攪拌接合法による鉄鋼材料と工業用純チタンおよび黄銅の異材重ね接合機構の解明と継手強度特性に関する研究
Author(s)	高, 業飛
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/52165">https://doi.org/10.18910/52165</a>
rights	
Note	

*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(高業飛)

論文題名	摩擦搅拌接合法による鉄鋼材料と工業用純チタンおよび黄銅の異材重ね接合機構の解明と継手強度特性に関する研究
------	------------------------------------------------------

## 論文内容の要旨

本研究では、固相接合であるFSWを用いて、工業的に重要な異材継手の組合せであり、かつ金属間化合物を形成しやすい代表的なものとして鉄鋼材料とチタンの異材継手を、また2相分離型状態図を形成し、化合物を形成しない代表的なものとして鉄鋼材料と銅合金との異材接合をそれぞれとりあげ、その接合特性に関する研究を行い、接合条件と接合継手強度や形成組織との関係を明らかにした。さらに接合継手界面の微細構造の解析を行い、それぞれの異材組合せにおいて良好な接合継手が得られる接合界面構造を明らかにした。本論文で得られた成果は各章ごとに要約しているが、主な結果を下記に総括した。

第1章は緒論であり、本研究の背景、目的および本論文の構成について述べた。

第2章では、板厚1.0 mmの市販の純チタンと板厚3.2 mmのSPCCとのFSW重ね接合を行い、接合パラメータとして接合速度および回転速度の条件を取り上げ、その適正接合範囲および継手に与える影響を検討した。また、実験用ツールのプローブの長さが接合界面の組織形態に及ぼす影響について検討し、純チタンとSPCCの重ね異材接合部の微細構造と接合機構を明らかにした。FSWによるCP-Ti/SPCC重ね継手の接合界面形態は、両者が混合されない平滑界面と搅拌混合された界面の2種類に分類された。いずれの継手もCP-Ti母材で破断し、母材と同等の引張強度が得られた。金属間化合物としてFeTi、もしくはFe<sub>2</sub>Tiが形成しているにもかかわらず良好な継手強度を示した理由として、平滑界面ではこれらの金属間化合物がβ-Tiと共存して、極薄い層状に形成されていたこと、また、混合層界面では全体としての界面層厚さは約300 μmと厚いにもかかわらず、金属間化合物はβ-Tiと共存した薄い層状であり、かつ比較的厚い帶状のβ-Tiとサンドイッチ構造を構成した。

第3章では、板厚1.0 mmのCP-Tiと板厚3.2 mmオーステナイト系ステンレス鋼SUS304を摩擦搅拌接合法によって接合し、継手の適正接合範囲、接合界面の微細組織および継手強度に及ぼす接合条件の影響を検討し、CP-Tiと炭素鋼SPCCとの継手と比較、金元素(Ni, Cr)の影響を検討するとともに、その接合機構について検討した。いずれの接合条件においてもCP-Ti/SUS304接合継手の界面には、界面反応層が複層構造で存在した。界面反応層はCP-Ti側からβ-Ti層、Ti<sub>2</sub>Ni層、TiFe、TiFe<sub>2</sub>およびσ-CrFe<sub>2</sub>の混合層と認められた。

第4章では、板材3 mmの市販の64黄銅と板厚5 mmの炭素鋼S25CとのFSW重ね接合を行い、その接合特性を検討した。接合パラメータとして特に接合速度に注目し、接合速度が継手特性に及ぼす影響を検討するとともに、ツール形状の影響を明らかにするためにプローブ径とショルダ径の比率と継手微細組織および接合界面形態との関係を検討し、64黄銅とS25Cとの異材接合機構を明らかにした。接合界面には反応相としての金属間化合物は認められず、64黄銅/S25CのFSWによる重ね継手の接合機構はお互いの合金元素の相互拡散層の形成によるものであることが明らかになった。

第5章では、鉄鋼材料と黄銅との異材継手の検討結果をもとに、実用化の観点から64黄銅に代って板厚3 mmの高力黄銅を用いて、板厚5 mmのS25CとのFSW重ね接合を行い、接合条件範囲、合金元素の影響および接合界面微細組織を検討し、その接合機構を明らかにした。TEMおよびEDX分析結果により、接合界面には厚さ約50~200 nmのFe、Al、SiおよびMnで構成される化合物層の形成が認められた。

第6章では、本研究で得られた成果について総括した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

	氏名(高業飛)	
	(職) 氏名	
論文審査担当者	主査 教授	中田一博
	副査 教授	藤井英俊
	副査 教授	伊藤和博

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、固相接合法である摩擦攪拌接合法 (FSW) による異種金属材料接合特性を明らかにするために、工業的に重要な異材組合せとして、接合界面に金属間化合物を形成しやすいものと、し難いものの代表的な組合せとして、それぞれ鉄鋼材料とチタンおよび鉄鋼材料と銅合金の2種類の異材組合せをとりあげ、その接合特性の評価を行い、それぞれの異材組合せにおいて良好な接合組合せが得られる接合界面微細構造を明らかにし、低温・短時間の接合プロセスである FSW の異種金属材料接合法としての有効性を評価したものである。

まず、板厚 1.0 mm の市販純チタン CP-Ti と板厚 3.2 mm の一般冷延鋼板 SPCC との FSW 重ね接合特性評価を行い、接合パラメータとして接合速度、回転速度およびプローブ長と接合界面組織形態との関係を検討し、CP-Ti/SPCC 重ね組合せの接合界面形態は、両者が混合されない平滑界面および攪拌混合された界面の2種類に分類されることを示し、またいずれの界面形態の組合せも引張せん断試験では CP-Ti 母材で破断し、母材と同等の引張強度を示す良好な組合せが可能なことを明らかにしている。透過型電子顕微鏡 TEM 等による接合界面の微細構造解析により、平滑界面は、 $\beta$ -Ti 相と金属間化合物 FeTi 相が共存した厚さ約 100 nm の極薄い反応層からなることを示すとともに、一方、攪拌混合界面は全体としての界面組織の厚さは約 300  $\mu\text{m}$  と厚いにもかかわらず、同様に  $\beta$ -Ti 相と FeTi 相、あるいは、 $\text{Fe}_2\text{Ti}$  相が共存した極薄い反応層と、さらに厚さが約 1  $\mu\text{m}$  と比較的厚い帯状  $\beta$ -Ti 層とが交互に重なった多層サンドイッチ構造を呈することを明らかにしている。また、耐食材料として工業的に重要なオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 と CP-Ti との FSW 重ね接合特性評価を行い、いずれの接合条件においても CP-Ti/SUS304 接合組合せは平滑界面形態を呈し、界面反応層は合金元素である Ni および Cr の影響を受けて、CP-Ti 側から  $\beta$ -Ti 層、 $\text{Ti}_2\text{Ni}$  層、 $\text{FeTi} + \text{Fe}_2\text{Ti}$  層および  $\sigma$ -CrFe 層からなる多層構造であることを示し、その接合機構を明らかにしている。

次に、鉄鋼材料と銅合金の異材組合せとして、板厚 3.0 mm の市販 64 黄銅と板厚 5.0 mm の炭素鋼 S25C との FSW 重ね接合を行い、その接合特性を評価し、接合パラメータと接合界面微細構造との関係を検討し、64 黄銅/S25C の FSW による重ね組合せの接合機構はお互いの合金元素の相互拡散層の形成によるものであり、金属間化合物層は認められず、組合せ引張せん断試験における破断位置は 64 黄銅の攪拌部 (SZ) であり、良好な組合せ強度が得られることを明らかにしている。また合金元素として Al、Si および Mn を含む高強度の高力黄銅と S25C との組合せでは、接合界面にはこれらの合金元素と Fe で構成された化合物からなる厚さ約 50–200 nm の極薄い反応層の形成が認められたが、組合せ引張せん断試験における破断位置は高力黄銅 SZ 部であり、良好な組合せ強度を有することを明らかにしている。

以上のように、本論文は鉄鋼材料とチタンおよび銅合金との異種金属材料接合に対して、低温、かつ短時間の固相接合法である FSW を適用し、組合せ形成に及ぼす接合プロセス条件を確立し、その接合特性に及ぼす接合界面反応層の形成機構を学術的に解明し、当該 FSW プロセスによる異種金属材料接合技術の工業製品への応用に関する学術ならびに技術基盤を構築している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。