# 1. 緒言

摩擦撹拌接合(Friction stir welding: FSW)は従来の溶接法と比べ低入熱化および 簡易な接合技術とされ、アルミニウム合金 をはじめとする低融点材料において広く実 用化されてきているが、高融点材料におい てはツール寿命、機械装置への負荷や高出 力装置の大型化など問題点が多くいまだ研 究レベルである.鉄鋼材料に分類される炭 素鋼においては、今もなおティグ溶接やガ スシールドアーク溶接などの溶融溶接法を 用いているが、その施工法は困難とされよ り容易な接合法が求められている.

最近の研究によると,鋼材(冷間圧延鋼板:SPCC)とアルミニウム合金(A1050)のレ ーザ溶接施工がされ<sup>1)</sup>,金属間化合物の制 御と入熱を少なくすることにより良好な継 手形状と性質が得られている.また異種溶 接においては,通常の条件で溶融すると割 れやひずみなどの発生,溶接電流を増大す るとビード幅と溶け込み量の拡大化し難溶 接の1つとして報告<sup>2)</sup>されている.

本研究では,著者ら<sup>3)</sup>による高炭素鋼の FSWを基に冷間圧延鋼板のFSWを低出力装置 で行い,ティグ溶接においては冷間圧延鋼 板およびアルミニウム合金それぞれの同種 溶接,冷間圧延鋼板とアルミニウム合金に よる異種溶接を行い,適正条件および溶接 特性を外観観察,組織観察および硬さ試験 により評価した.さらにティグ溶接の同種, 異種溶接試験片を対象に曲げ試験を行い検 討した.

## 2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

供試材は板厚0.8mmの冷間圧延鋼板およ びA6061-T6アルミニウム合金(以下 SPCCお よびA6061と略す)の平板を機械加工したも のを使用した.FSWの供試材には接合を良好 に行うため,接合始端部側にφ5mmの穴をあ けた.供試材の化学組成をTable 1に示す.

日大生産工	(院)	〇三富	均
日大生産工	(非常勤)	長谷川	利之
日大生産工		大久保	通則

### 2.2 実験条件

FSWおよびティグ溶接の継手形状として 重ね継手で行い、重ね幅を20mm設け溶接部 をブタノンで脱脂後、冶具により固定して 行った. SPCCとA6061による異種溶接におい ては上板にSPCC,下板にA6061として溶接し た. FSWの装置には最大出力0.23kWのミニフ ライス盤を使用した. Table 2に使用した SKD11ツールの形状と接合条件を示す. 接合 の可能性があるツール回転数を200rpm未満 に抑え、ガスバーナで連続的に予熱を与え ながら接合速度を変化させて行った. ティ グ溶接には最大溶接電流300Aの溶接機と自 動送り装置を併用した溶接装置を使用し, 溶接電流50Aとして行った. Table 3に溶接 条件を示す. 電極にはタングステンを, 酸 化防止のためのシールドガスにはArを使用 した.

Table 1 Chemical compositions of base metals.

SPCC-SD

Elements (mass%)							
С		Si	Mr	)	P		S
0.04	,	0.01	0.2	1	0.14	0.	004
A6061-T6							
Elements (mass%)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0.63	0.28	0.26	0.04	1.00	0.18	0.01	0.02

Table 2 Designated parameters of welding tool and FSW conditions.

Designated parameters of welding tool.				
Shoulder diameter	(mm)	10		
Prove diameter	(mm)	5		
Prove length	(mm)	1.45		
FSW conditions.				
Rotational speed	(rpm)	200		
Welding speed	(mm/s)	0.17		
Tilt angle	(deg.)	1		
Main motor	(kW)	0.23		

Weldablity of Cold-reduced Carbon Steel Sheets and High Carbon Steel by FSW and GTA

Hitoshi MITOMI, Toshiyuki HASEGAWA and Michinori OKUBO

### 実験結果および検討

3.1 外観観察およびビード成形

3.1.1 摩擦撹拌接合

接合部全長に渡って上板のSPCCに溝状の 欠陥ができ接合表面が荒れ,良好な継手は 得られなかった.RS側において極度のバリ の発生が見られたが,接合はされていた. 3.1.2 ティグ溶接

Fig.1に得られた継手のビード外観写真 を示す. なお写真の左側に表面, 右側に裏 面を示す. 異種継手においては, 同種継手 に比べ荒い傾向を示している. これは母材 の融点の差異と考えられる. Fig.2にビード 幅の測定結果を示す. アルミニウム合金の 同種継手において、溶接始端部に割れの発 生が見うけられた. どの継手においても溶 接速度を増大することで母材に対する入 熱量が低入熱と考えられ、ビード幅が溶接 速度と比例して狭まると予測できる. 裏ビ ードの形成については低速度時に安定し た形状が見られたが、0.83~2.08 mm/sの 間で断続的になり2.50mm/s以降では形成 は見られなかった.これは、同種溶接およ び異種溶接において認められた.

- 3.2 硬さ試験
- 3.2.1 摩擦撹拌接合

回転数200rpm, 接合速度0.17mm/sにおけ る硬さ試験結果をFig.3に示す.なお,上板 においてはRS側の試料が測定困難なため AS側の計測だけとした.いずれの試料にお いてもショルダー部またはプローブ部が 通過した熱影響部および撹拌部において 硬さの上昇が認められた.

3.2.2 ティグ溶接

SPCC同種継手によるビード中央部の垂 直な断面の硬さ結果をFig.4に示す.溶接前 の母材の硬さは約110 HV程度であるが,溶 接部においては上板,下板ともに微小な硬 さを得るがFig.4のFSWより硬さを抑制す ることができた.

- 3.3 ティグ溶接部による曲げ試験
- 3.3.1 A6061アルミニウム合金同種継手

Fig.5に溶接速度1.67mm/sによる裏曲げ 試験結果を示す. 圧縮の変位に伴い, 圧縮 荷重は段階的に上昇していく傾向にある. 荷重の変化は, 段階的に増加した. この場 合の最大荷重は約416Nであり, その時の変 位は約20.2mmである.

### Table 3 GTA welding conditions.

Welding current	(A)	50
Welding speed	(mm/s)	0.42~3.33
Torch angle	(deg.)	5
Arc length	(mm)	1.5
Gas flow rate	(l/min)	25



Fig.1 Bead appearances of welded joint.



Fig. 2 Measurement result of surface bead width.



3.3.2 冷間圧延鋼板およびA6061アルミニ ウム合金異種継手

Fig.6に溶接速度1.67mm/sによる裏曲げ 試験結果を示す. 圧縮の変位に伴い, 圧縮 荷重は段階的に上昇していく傾向にある. 荷重の変化は, 段階的に増加しているが, 最大荷重点の近傍において約343Nであり, その時の変位は約4.84mmである.

ここで同種材と比較すると変位および荷 重は低い傾向が見られ、問題点が多い.

3.4 組織観察

3.4.1 摩擦撹拌接合

Fig.7に得られた継手の接合部近傍の組 織写真を示す.プローブ部に接触した上板 の接合界面において不均一の組織が形成さ れ,上方向に組織流動していることが推測 された.この近傍はバリの発生源である. 3.4.2 ティグ溶接

母材に比べ微細な組織が確認でき,不連 続に針状の組織が広がっている.溶接速度 の増大に伴い,微細な組織から粗大な組織 に変化した.

3.5 高炭素鋼の摩擦撹拌接合

3.5.1 外観観察およびビード形成

接合部全長に渡って良好な継手を得るこ とができ、不完全部は見られなかった. 撹 拌部においてはショルダー径とほぼ同等の 大きさの接合面を得ることができた.

3.5.2 硬さ試験

Fig.8に得られた継手の接合面から約

0.5mmまでの垂直な断面に対する硬さ結果 と組織写真を示す.母材,熱影響部および 撹拌部にまたがって硬さを計測した場合, プローブ部とその近傍において著しく高く なる傾向が見られ,同図に示すように微視 的に計測した場合では各測定位置において 不連続な硬さが得られた.これは接合面と 材料内部での冷却速度が不均一であると考 えられる.B点においては硬さが著しく硬く なっていることから,中間段階組織または マルテンサイトと推測され,母材の流動性 が示唆された.



Fig. 4 Hardness distributions of GTA welds.





#### 3.5.3 組織観察

母材ではパーライトおよびフェライト の組織が明瞭に観察できた. 撹拌部では母 材に比ベツールにおける入熱により組織が 微細化し,中間段階組織であるベイナイト と一部針状のマルテンサイトが不連続的に 観察された.

3.6 考察

3.6.1 摩擦撹拌接合による高炭素鋼およ び冷間圧延鋼板の硬さ比較

低出力装置を用いた場合においても撹 拌部とその近傍において硬さが高くなる 傾向が見られた.

3.6.2 冷間圧延鋼板における摩擦撹拌接 合とティグ溶接の硬さ比較

本研究においては溶融溶接であるティ グ溶接の溶接部において硬さの上昇を抑 制することができたため,有効であると考 えられる.

4. 結論

摩擦撹拌接合およびティグ溶接による冷 間圧延鋼板並びに高炭素鋼において次のこ とが明らかになった.

- (1) SPCCによる重ね継手において低出力 装置およびSKD11を用いた場合,接合は 困難であるが,常に母材に対して予熱す ることで,プローブの介入がより安易に でき接合の可能性が見えた.ティグ溶接 の場合,溶接速度のとき良好な継手が得 られる.
- (2) SPCCとA6061によるティグ溶接の異種 溶接は溶接速度を変化させても困難で あり, 荻原氏の裏付けをとることができ た.A6061の同種接合では,速度変化に 関係なく溶接部に割れが発生した.
- (3) 高炭素鋼の摩擦撹拌接合は,接合部全長に渡って良好な継手が得られ撹拌部とその近傍において硬さが高くなる傾向があるが,接合は可能である.組織では撹拌部において組織が微細化し,針状のマルテンサイトを観察された.
- (4) 同種継手, 異種継手ともに圧縮荷重が 段階的に増加した. 変位においては, 異 種継手の場合が短い傾向がある.



Fig. 7 Microstructure of SPCC by FSW.





Fig. 8 Hardness distributions and microstructure of high carbon steel by FSW.

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、大久保研究室全 員の協力を頂いた.特に、平成19年度卒業 生の荻原 裕氏,平成20年度学部生の鈴木 崇央氏,矢島 俊氏を始めとして熱心な実 験が推進された.ここに謹んで謝意を表し ます.

#### 参考文献

- 時田 光明,鈴木 実平,尾崎 仁志, 川上 博士:Fe/A1レーザ溶接部の継
  手強度の検討,溶接学会全国大会講演 概要,第83集(2008), pp240-241,
- 2) 荻原 裕:薄板アルミニウム合金 A6061およびSPCC鋼のティグ溶接によ る溶接性,日本大学生産工学部機械工 学科卒業研究論文,(2008)
- 三富 均,大久保 通則,長谷川 利 之,溶接学会全国大会講演概要,第83 集(2008),pp136-137,