

摩擦攪拌接合によった 6061 アルミニウム合金/SPCC 鋼異材突合せ継手の機械的性質

日大生産工(院)

○大町 俊平

日大・理工

野本 光輝

日大生産工

加藤 数良

1. 緒 言

輸送用機器等の省エネルギー化による環境負荷低減を目的としてアルミニウム合金が多用されている。アルミニウム合金は軽量であるが鉄鋼材料に比較し高コストであり、また高強度が求められる箇所に単体で用いるのは困難な場合がある。そこで高強度である鉄鋼材料との併用により軽量化と高強度化が実現できれば各種産業分野での経済的効果が見込める。このためには異種材料の接合に関する検討が必要である。

板材の異材の接合には摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding : FSW) が適している。著者らは板厚 1mm の 6061 アルミニウム合金と SPCC 鋼の重ね接合に FSW を適用し、適切な条件の選定により実用上十分な継手強度を得られることを報告した¹⁾。しかし、実用的には突合せ接合が必要とされる場合も多いが、FSW による薄板同士の接合に関する研究報告は増加傾向にあるが^{2),3)}、接合可能条件範囲など未だ明確ではない部分も多いのが現状である。

本研究では FSW により 6061 アルミニウム合金と SPCC 鋼を組合せた突合せ接合を行い、得られた継手の組織および機械的性質に及ぼす接合条件の影響について検討した。

2. 供試材および実験方法

供試材には板厚 1.0mm の 6061-T6 アルミニウム合金板と冷間圧延鋼板 (SPCC) をいずれも

幅 70mm、長さ 130mm に機械加工後、接合面を脱脂洗浄したものをを用いた。それぞれの機械的性質を Table 1 に示す。ツールには超硬合金を使用し、ショルダ径 15mm、ショルダ角 4°、プローブ形状はφ6 のピラー形とし、長さは 0.9mm で、工具回転方向は反時計回りとした。接合時は SPCC 鋼を AS 側、6061 合金を RS 側とした。実験には日東制機(株)製 FN-II 型摩擦攪拌接合

Table 1 Mechanical properties of base metals.

(a) 6061 Aluminum Alloy

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.05)
320	9.46	120

(b) SPCC

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HK0.05)
321	37.9	133

Table 2 Welding conditions.

Rotational speed	N (rpm)	800, 1200, 1600
Welding speed	V (mm/s)	2, 4, 6, 8
Tilt angle	θ (deg.)	3
Amount of offset	L (mm)	0 ~ 0.6

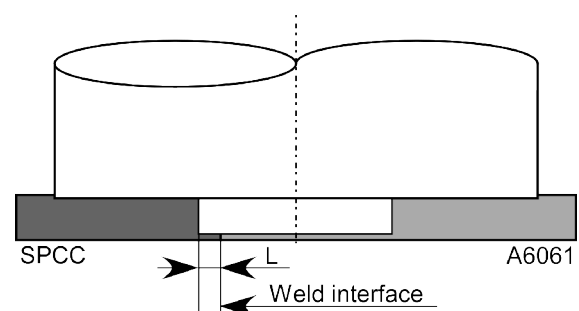


Fig.1 Schematic illustration of amount of offset (L) of tool.

Mechanical properties of 6061 aluminum alloy/SPCC steel

dissimilar butt joint by friction stir welding

Shunpei OOMACHI, Mitsuteru NOMOTO and Kazuyoshi KATOH

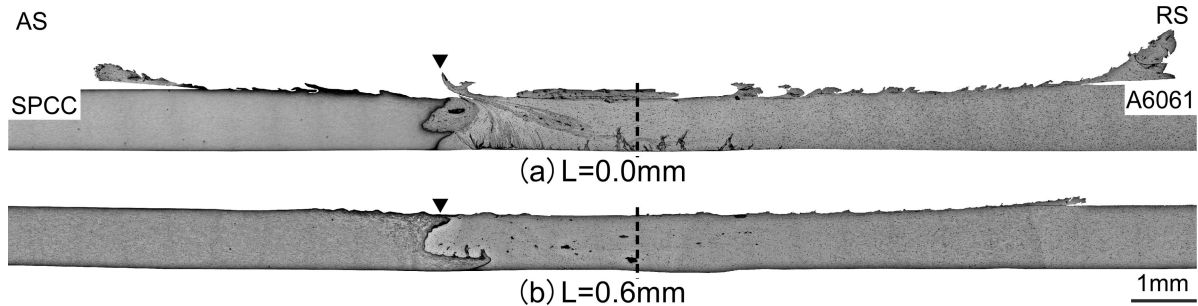


Fig.2 Macrostructures of joint. (N=1600rpm,V=8mm/s)

機を使用し, Table 2 に示す条件を組み合わせで実験を行った.実験では回転工具にオフセットを与えた.オフセットは Fig.1 に示すようにSPCC 鋼と 6061 合金の接合界面とプローブの外周が一致する点をオフセット量 $L=0\text{mm}$ とし, SPCC 鋼側にプローブ位置を移動させた量をオフセット量とした.

継手の外観観察, 巨視的および微視的組織観察, 硬さ試験, 攪拌部より接合方向と垂直に JIS13B 号試験片を採取した引張試験, 三点曲げ試験および温度測定を室温で行った.

3. 実験結果および考察

3. 1. 最適なオフセット量の選定実験

Table 2に示す条件より2条件を選定し, 最適オフセット量を求めるために以下の検討を行った.

継手外観は図は示さないが欠陥は無く, ツール外周部とほぼ一致した円弧状の模様が認められ, A6061同種材継手と類似した傾向であった⁴⁾. この円弧状の模様の幅はオフセット量の増加に伴い狭くなる傾向を示した. また工具回転数800rpm, 接合速度2mm/sでオフセット量の小さい条件で接合界面近傍に6061合金のばりの発生が認められた.

Fig.2に継手横断面巨視的組織を示す. 図中の破線はツール中心, 三角印はプローブ外周部を示す. 接合界面には攪拌に伴う変形が認められ, この変形はオフセット量の増大に伴い大きくなる傾向を示した. オフセット量0mmの条件で6061合金側の組織の流動が明瞭に観察された.

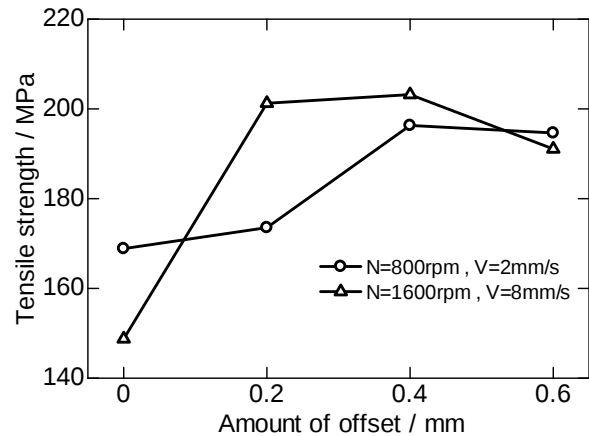


Fig.3 Results of tensile test.

図は示さないが板厚中央部近傍の横断面微視的組織を観察した結果, 全条件でプローブ通過部の組織は微細化し, 接合界面にはわずかに中間層が認められた.

Fig.3に接合方向と垂直に採取した試験片の引張試験結果を示す. オフセット量0mmの条件では引張強さは最低値を示し, オフセット量0.4mmの条件が最高値を示した. 工具回転数1600rpm, 接合速度8mm/s, オフセット量0.4mmの条件で最高値203MPaの値が得られた. オフセット量の大小によらず工具回転数800rpm, 接合速度2mm/sでは6061合金側のプローブ外周部にあたる位置での破断が多く認められ, 工具回転数1600rpm, 接合速度8mm/sでは多くが界面近傍での破断であった. これらのことからオフセット量は $L=0.4\text{mm}$ が最適と判断した.

3. 2. オフセット量一定とした摩擦攪拌接合

継手外観は図は示さないが全条件で円弧状の模様が認められた. 工具回転数800rpmの条件では

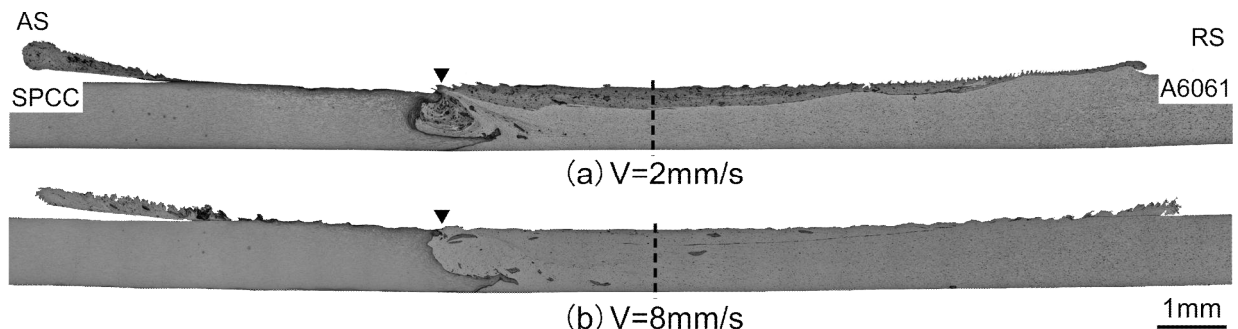


Fig.4 Macrostructures of joint. (N=1600rpm)

接合速度の増加に伴い円弧状の模様の幅が減少し、ばりはAS側に多く発生した。

Fig.4に横断面巨視的組織を示す。全条件で接合界面は明瞭に認められ、6061合金側にはSPCC鋼の破片の混在が観察された。この破片は工具回転数が高く接合速度が遅い条件でより広範囲に認められた。接合速度の遅い条件では6061合金側の組織の流動はあるが、同種材継手に観察されるオニオンリングは観察されなかった。

Fig.5に継手横断面板厚中央部の接合界面近傍の微視的組織を示す。プローブ通過部の組織は微細化し、これは工具回転数の増加と接合速度の低下に伴いより顕著となり、接合界面近傍の組織はプローブの攪拌により変形した組織を示した。工具回転数が高く接合速度が遅い条件では攪拌による組織の流動が大きく6061合金とSPCC鋼の混在した状態を呈し、接合界面には中間層が認められた。この中間層は接合速度の増加に伴い薄くなる傾向を示した。

Fig.6に継手横断面板厚中央部の硬さ分布を示す。6061合金側では工具径に相当する範囲で軟化が認められたが、接合速度の増加に伴い軟化割合は減少した。SPCC鋼側では組織の微細化が認められた攪拌部近傍で硬化が認められ、熱影響部では若干軟化した。微視的組織観察で接合界面近傍に中間層の多く認められた条件では接合界面近傍で著しく高い硬さを示した。

Fig.7に接合方向と垂直に採取した試験片の引張試験結果を示す。工具回転数800rpmでは接合速度の増加に伴い引張強さは低下したが、工具回転数1200rpm, 1600rpmでは接合速度4mm/sで最高値

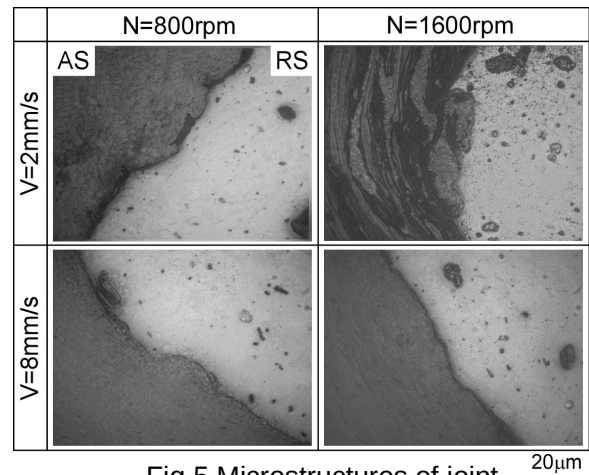


Fig.5 Microstructures of joint. 20μm

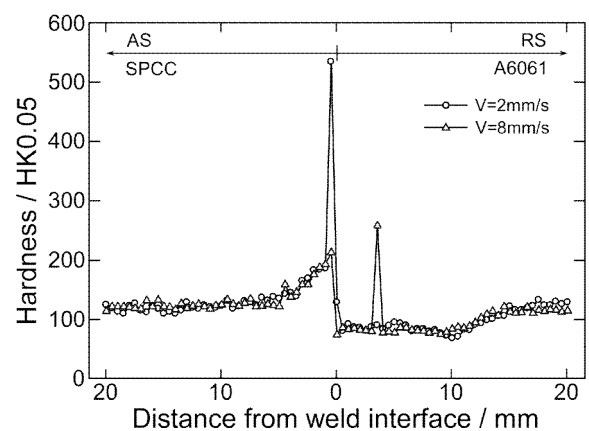


Fig.6 Hardness distributions of joint. (N=1600rpm)

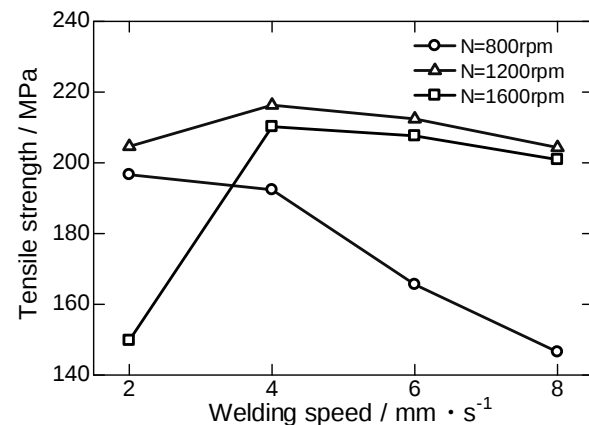


Fig.7 Results of tensile test.

を示した。接合界面で中間層が多く認められた条件では引張強さは著しく低い値を示した。本実験条件範囲内では工具回転数1200rpm、接合速度4mm/sで216MPaとA6061母材の約70%の値が得られ、6061アルミニウム合金同種材突合せ継手と同程度の値であった。

Fig.8に引張試験片の破断後の外観を示す。工具回転数800rpm(Fig. 8(a))で6061合金側のプローブ外周部、すなわち軟化域での破断が多く認められ、工具回転数1200rpm、1600rpm(Fig. 8(b))では多くが界面近傍での破断であった。界面近傍で破断した試験片は多くが継手底部のキッシングボンドを起点とした破断であった。

Fig.9に3点曲げ試験後の巨視的および微視的組織を示す。接合速度の速い条件では接合界面近傍で破断し、接合速度の低い条件は良好な状態であるが、曲げ頂点は6061合金側となった。

Fig.10に温度測定結果を示す。測定は撹拌部中央より5mm、接合開始点より100mmの点で行った。接合中の温度はAS側(SPCC鋼側)が高くなる傾向を示し、接合速度の減少と工具回転数の増加に伴いより高い温度を示した。最高到達温度は工具回転数1600rpm、接合速度2mm/sで609Kを示した。

5. まとめ

本組合せにおいて最適オフセット量は $L=0.4\text{mm}$ と判断され、継手効率は6061合金の約70%の値が得られた。

参考文献

- 1) 大町俊平, 仲間 大, 加藤数良: 6061 アルミニウム合金/SPCC 鋼重ね摩擦撹拌接合継手の機械的性質, 軽金属学会第 119 回秋季大会講演概要集, (2010), 363-364.
- 2) 森田辰郎, 坂本光, 馬淵信太, 飯塚高志: 冷間圧延鋼板と摩擦撹拌接合したアルミニウム合金の強度および成形性, 材料, Vol. 58, No. 4, (2009), 317-322.
- 3) 小林怜史, 成田毅央, 平田智丈: 薄板を用いたアルミ合金と亜鉛メッキ鋼の摩擦撹拌突合せ

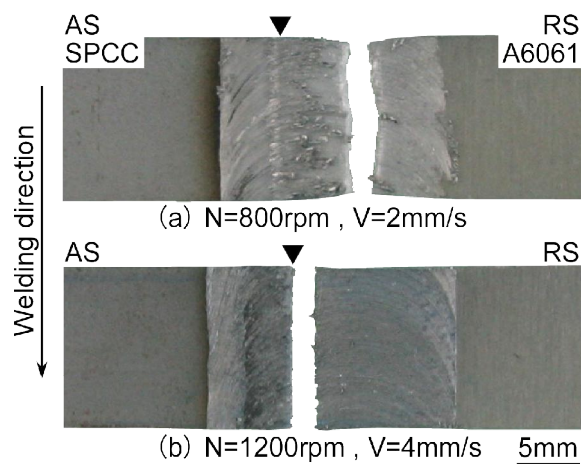


Fig.8 Appearances of tensile fractured specimen.

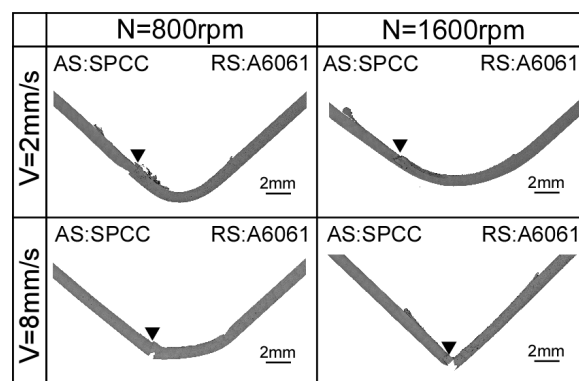


Fig.9 Macrosurstructures of bending tested specimen.

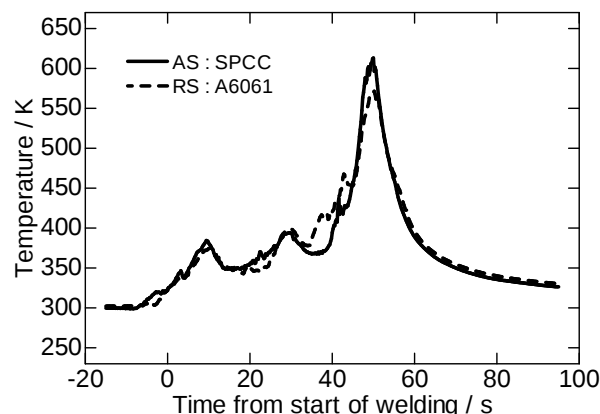


Fig.10 Measuring results of temperature of FSW process. (N=1600rpm, V=2mm/s)

継手性能に及ぼす接合条件の影響, 溶接学会全国大会講演概要, Vol. 2009f, (2007), 126-127.

- 4) 加藤数良, 時末 光, 伊藤 源: 6061アルミニウム合金摩擦撹拌溶接継手の機械的性質, 軽金属溶接, 第41巻, 第5号, (2003), 218-226.