

## 摩擦攪拌接合されたアルミニウム合金／熱間圧延鋼板継手の高温時効

苫小牧工業高等専門学校 ○鈴木貴也, 高澤幸治, 浅見廣樹, 岩橋 優

### 要 旨

摩擦攪拌接合された A5052/SPHC 継手について高温時効を行い, 接合界面組織および継手強度の変化を調べた. 継手強度は, 接合ままおよび 200℃, 3.6ks の時効後では約 110MPa 以上であるのに対し, 400℃, 3.6ks の時効後にはほぼ 0MPa となった. これは, 接合界面に形成された Al と Fe との化合物層によるものと考えられ, この化合物が形成される温度は 300 から 400℃の間であると推測された.

### 1 緒言

近年, 地球温暖化の要因の一つとされる二酸化炭素の排出量削減が世界的な課題となっている. そのため, 自動車などの輸送機械分野では, エンジン技術のさらなる向上や, ハイブリッド・電気自動車などの開発によって省エネルギー化が盛んに進められている. しかし, 原動機の種類によらずエネルギー効率を向上させる方法としては, 車両構造の軽量化が有効である. CFRP などの高価な材料を用いずとも, 強度を要する部分に鉄鋼を, 強度を要しないが構造上欠かせない部分にアルミニウム合金を使用し, 図 1 のような摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding, 以下 FSW) <sup>1)</sup> で複合化することで, 強度の確保と軽量化を両立できると考えられている.

本研究では, 摩擦攪拌接合された A5052/SPHC 継手に対して種々の温度で高温時効を行い, 接合強度および接合界面組織の変化を調べた. また, 接合界面近傍の領域について, 示差走査熱量分析 (以下 DSC) を行い, 界面における反応層の形成について推測した.

### 2 実験方法

図 1 および図 2 に, 本研究で行った FSW 実験の概要を示す. FSW は, 汎用フライス盤に自作の接合治具を取り付けて行った. 初めに, 接合治具に熱間圧延鋼板 SPHC (t3.2×60×130) を固定し, エンドミルを用いて接合突合せ面の仕上げ加工を行った. 次に, 予め接合突合せ面を仕上げ加工したアルミニウム合金板 A5052 (t3×60×130) を, SPHC に突き合わせて固定し, 突き合わせ面に FSW ツールを押し込んで接合した. 主な接合条件は, ツール回転数 766rpm, 送り速度 0.136mm/rpm とした.

接合された試料は, 接合方向と直角に, 幅 15mm の短冊状に切断し, 真空炉による等温時効を行った. 時効温度は 200℃, 400℃, 600℃ の 3 種とし, 時効時間は 3.6ks とした. 時効した試料は, 接合痕等を除去加工したうえで引張試験を行った. また, 比較のために, 等温時効を行わない (接合ままの) 試料についても同様に引張試験に供した.

また, 上述の短冊状試料とは別に切り出した, 接合界面を含む試料 (t1.5×3×3) について DSC を行い, 時効過程における化合物の形成を推測した. DSC 条件は, 室温から 10℃/min で, 200, 400 および 600℃まで昇温し, その温度で 3.6ks 保持した. DSC 測定後の試料は, 冷間硬化樹脂

に埋め込んで研磨し, 接合部近傍の断面組織観察を行った.

### 3 実験結果および考察

図 3 に時効温度と継手強度との関係を示す. 接合まま (時効温度を室温としてプロットしてある) および 200℃の時効では約 110MPa 以上であるのに対し, 400℃および 600℃の時効では, 引張試験を行う前に破断した.

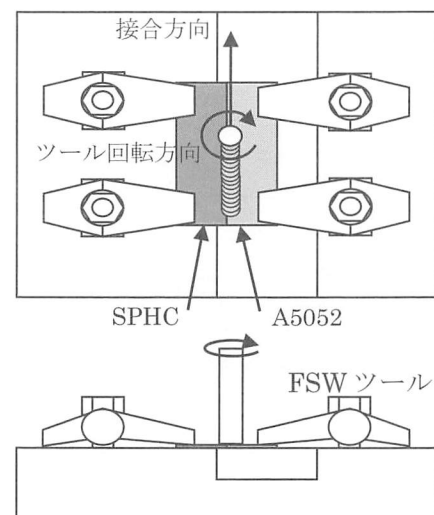


図 1 摩擦攪拌接合 (FSW) の概要

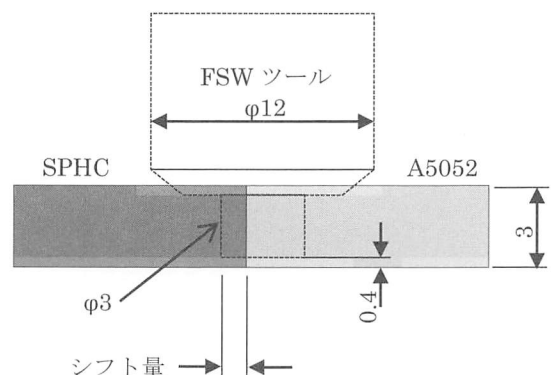


図 2 A5052/SPHC 突合せ界面と FSW ツールとの位置関係

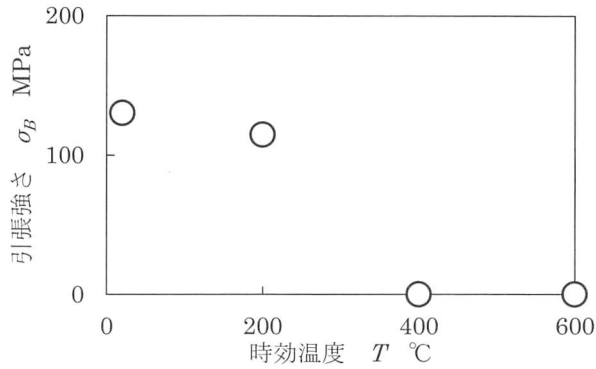


図3 時効温度と継手強度との関係

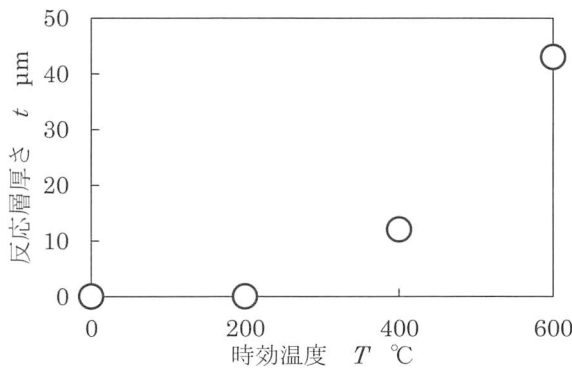


図5 時効温度と反応層の厚さとの関係

この要因は、図4に示す、等温時効後の接合界面近傍の光学顕微鏡写真から推測できる。写真中央から左側がSPHC部、右側がA5052部であるが、400°Cおよび600°Cの界面には10~40 μm程度の反応層が形成されている。この反応層は、FeAlなどのFe-Al系化合物であろう。また、600°Cの界面には反応層の右側にクラックが認められる。すなわち、これらの化合物の形成と、それに伴うクラックの生成により、継手強度が著しく減少すると考えられる。

図5に、断面組織観察より得た、時効温度と反応層の厚さとの関係を示す。400°Cおよび600°Cの反応層の厚さから外挿すると、300°C程度以上の温度で反応層が形成されると推測される。この裏付けとして、図6に、接合界面近傍の領域について、室温から600°Cまで等速昇温した際の示差走査熱量分析を示す。図には、A5052とSPHCのFSW試料の他に、比較として、購入ままのA5052およびSPHC、A5052同士のFSW試料について、同様の測定を行った結果も示してある。A5052、SPHCおよびA5052同士のFSWのDSCは、いずれも450°C近傍から曲線が上昇に転じるのに対し、A5052とSPHCのFSWでは、350°C近傍から上昇に転じている。すなわち、AlとFeとのマクロな界面が存在する試料では、(昇温10°C/minの場合)350°C以上で化合物の形成による発熱が検出されていると考えられる。

#### 4 結言

A5052とSPHCとの摩擦撹拌接合継手について高温時効を行い、以下の知見を得た。

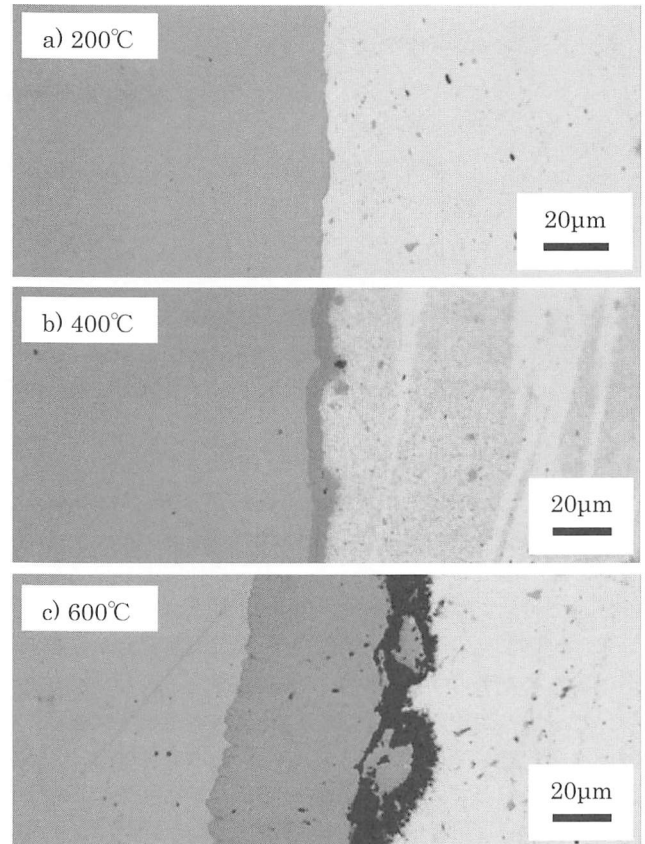


図4 等温時効後の接合界面近傍の光学顕微鏡写真

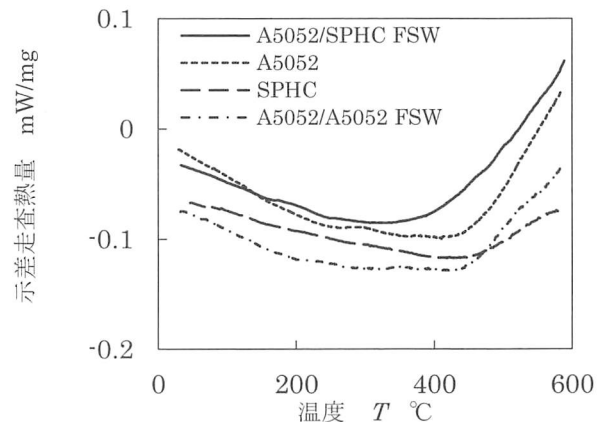


図6 昇温過程における示差走査熱量分析

- 1) 接合ままの状態と比較して、200°C、3.6ksの時効では、継手強度の著しい現象は認められないが、400°C、3.6ksでは引張強さがほぼ0MPaとなる。
- 2) 時効温度の増加に伴う継手強度の減少は、接合界面に形成されたAlとFeとの化合物層によるものと考えられる。この化合物が形成される温度は、組織観察およびDSCから、300から400°Cの間であると推測された。

#### 参考文献

- 1) 田中努, 森重大樹, 平田智丈: 溶接学会論文集, vol.29, No.2(2011), pp.101-106. 他