

鉄鋼材料の Friction Stir Welding (摩擦攪拌接合) に関する研究

研究代表者 国士舘大学工学部 教授 西原 公

1. 緒言

非消耗回転ツールとワークの間に発生する摩擦熱と塑性流動を利用した新しい固相接合法として Friction Stir Welding (FSW/摩擦攪拌接合) が注目されている。本接合法は英国ケンブリッジにある TWI (溶接研究所/接合・溶接・表面改質に関する受託研究機関) で発明され、1991 年に特許が取得された¹⁾。

本接合法は、図 1 のように回転するツールを溶接部に押し付け、移動することによりキーホール溶接的に摩擦接合が行われるものである。このツールは図に示すようにプローブとショルダと呼ばれる部分が必要とされている。

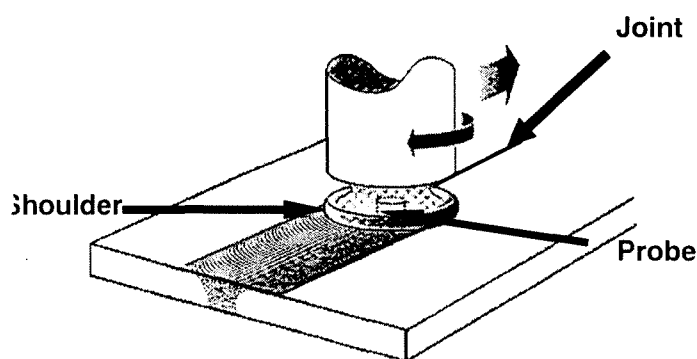


図 1 FSW の原理

この FSW は特に溶接性が劣るアルミニウム合金板の接合に適していることからその研究が集中的に行われ、さらに銅、マグネシウムそして現在ではチタン、ステンレス、MMC (金属基複合材料) にまで応用の可能性が広く検討されている。またその応用分野の可能性は航空宇宙、自動車、鉄道および海洋等、多岐にわたっている。現在約 65 企業/組織が FSW 技術の使用実施権を得ており、FSW に関連した 400 以上の特許を申請している²⁾。また欧米、日本、オーストラリアの数社が商業製品の開発を行っている。

しかしながら、FSW の原理は公表されてはいるが、溶接機器および接合条件についての詳細については不明の点が多く、特にツール形状等の具体的な形状寸法はほ

とんど明らかにされていない。さらに鉄鋼材料等の FSW には高温に耐えるツールが必要なこともあり、その研究は極めて少ない。

本研究においては鉄鋼材料の FSW が可能なシステムを試作し、その接合および材質改善の可能性を検討する。

鉄鋼材料の FSW が可能となれば、従来溶接困難な材料の接合も可能となろう。また本研究によれば A_1 , A_3 変態を有する鉄鋼材料と FSW の相互作用による未知の材質改善等も期待できる。

2. 実験方法

試作した FSW 装置を図 2 に示す。本装置は大別して、(1) 立型フライス盤、(2) 供試材拘束ジグ、(3) ツール、および (4) ツールホルダーから構成されている。ツールは WC 系の超硬合金を用いてショルダ径 15mm、プローブ形状が円錐台形のものを試作した。ツールホルダーには冷却およびシールド用のガスが供給される。本実験においては窒素ガスを使用した。

供試材は市販の SPC 材とした。板厚は 3mm であり、ツール回転数 1335rpm、溶接速度 30~50 mm/min で突合せ溶接を行った。また開先は I 型とし、ルート間隔は 0 mm とした。

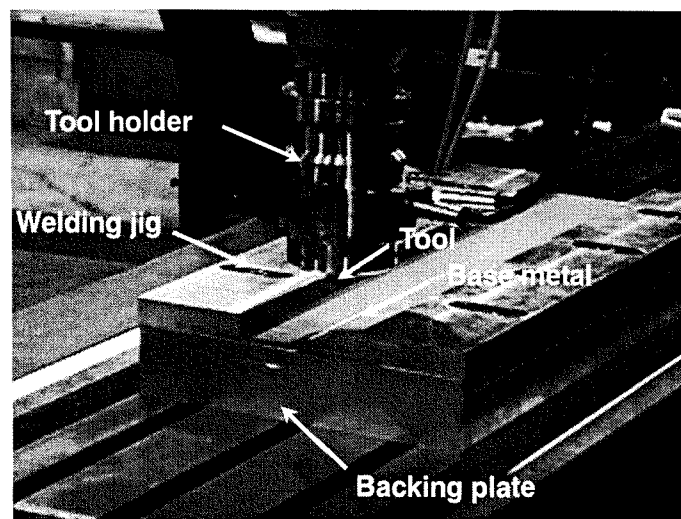


図 2 試作 FSW 装置

3. 実験結果および考察

FSW 中のツール近傍の外観を図3に示す。ツールおよび供試材の色からかなり高温になっていることが、うかがえる。

また図4に示すように接合中にツールのプローブ部分が破損する場合があった。

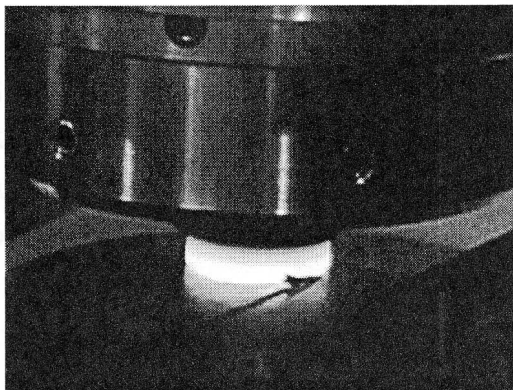


図3 FSW 中の一例

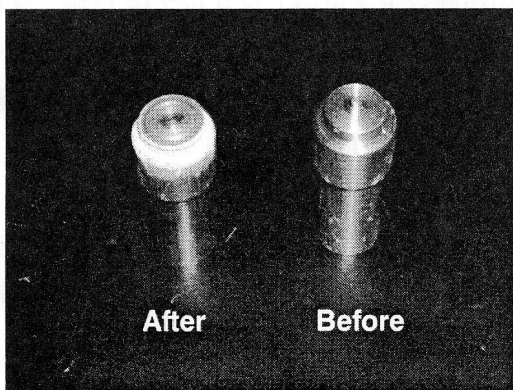


図4 FSW 前後のツール外観の一例

継手の性能を評価するために引張試験および曲げ試験を行った。引張試験においてはすべて母材で破断した。裏曲げ試験においては最終的にルート部より亀裂が生じ、表曲げにおいては破断は生じないが、表面にいくつかの割れが生じた(図5)。

表曲げ試験において、割れは図6に示すように表面のみに生じていた。すなわち割れは表面で発生し、表面直下でその進行を停止していることがわかる。図5に示すように引張試験においては母材で破断しており、FSW 継手部の表面近傍が硬化していることが考えられる。

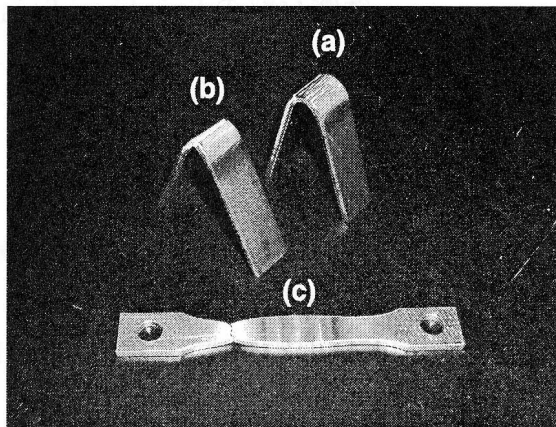


図5 FSW 継手の(a) 表曲げ (b) 裏曲げ および (c) 引張試験結果

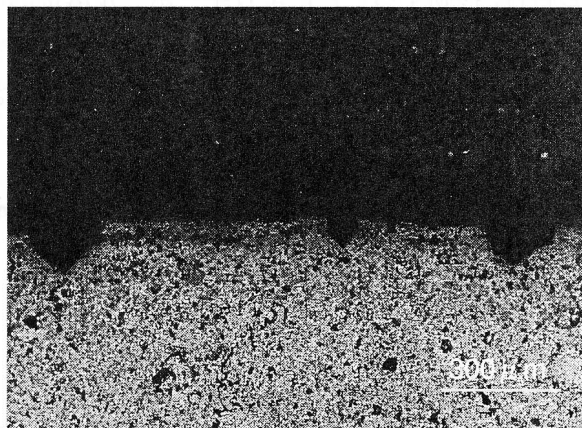


図6 表曲げ試験における表面割れ

突合せ継手断面の表面から1.5mmにおける硬さ分布を図7に示す。

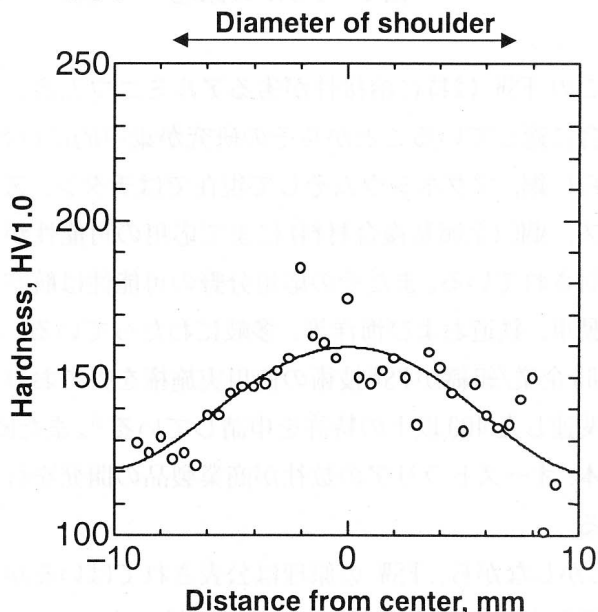


図7 FSW 継手断面の硬さ分布

母材から攪拌部中央に向かって硬化する傾向にあることがわかる。攪拌部においては等軸微細結晶粒が観察されている。

突合せ継手断面中央部の表面から裏面方向への硬さ分布を図8に示す。表面近傍で硬さが急激に増大することがわかる。表面近傍では最高硬さ 906HV1.0, 平均硬さ 573HV1.0 が観察された。

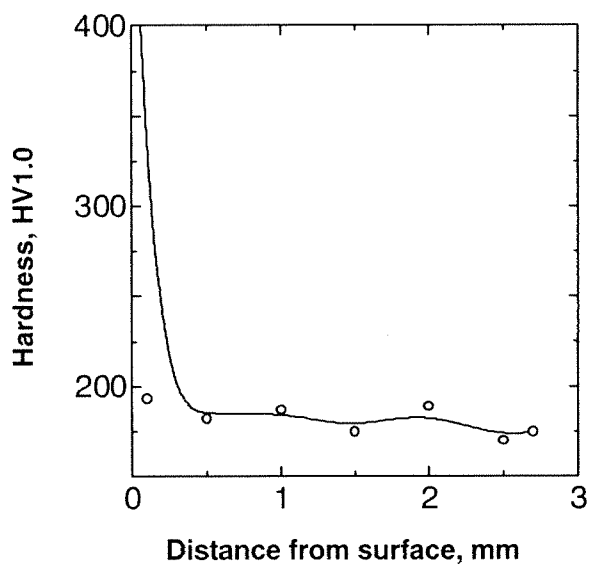


図8 継手断面板厚方向の硬さ分布

図8に対応する表面近傍の組織変化を図9に示す。表面近くにはマルテンサイトと思われる白色層が存在し、その下方にはウイドマンステッテン組織が観察された。これらのことからFSW時のツール直下ではオーステナイト域への急熱およびオーステナイト域からの急冷が生じていることがわかる。

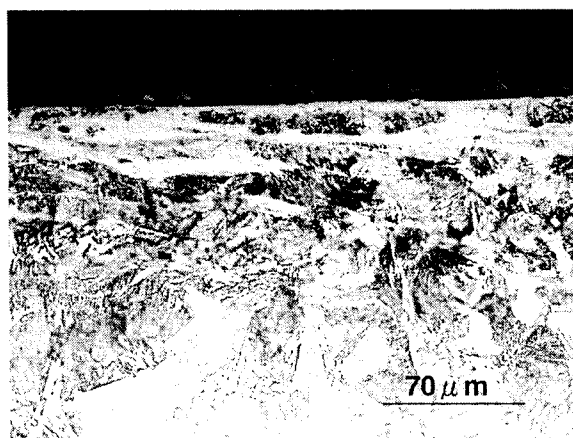


図9 表面近傍の顕微鏡組織

4. 結言

試作した FSW 装置により軟鋼の FSW を試み、FSW 特性を実験的に検討した結果、固相接合により健全な継手が得られる可能性があることを示した。しかしながら、鉄鋼の FSW 時の温度測定、さらに急熱急冷現象との関連も重要であり、今後さらなる研究が必要と思われる。

最後に、本研究に対しご援助いただいた(財)JFE21世紀財団に深甚なる感謝をいたします。

参考文献

- 1) Thomas, W. M. et al.: "Friction Stir Butt Welding," International Patent Application No. PCT/GB92/02203 and GB Patent Application No. 9125978.8, Dec. 1991, U. S. Patent No. 5,460,317.
- 2) Spreadsheet of FSW patents: <http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/binary/FSWPatents.xls>.