

Analysis of Interfacial Microstructure in A7075 FSW Joints

by Shibayanagi Toshiya, Maeda Masakatsu and Naka Masaaki

1. 目的

摩擦攪拌接合 (FSW)は局所的な塑性変形、摩擦熱による動的復旧現象ならびに機械的な素材の混合といった複数の材料学的素過程からなる不均一な界面組織形成過程による接合法であり、Al 合金を始め多くの金属材料にその適用が図られている。塑性変形を結晶性多結晶材料に与えることは素材内の組織状態を変化させ、その結果として材料特性が変化することになる。したがって、接合材の特性を支配する組織要素の詳細を体系的に把握することは必要不可欠な課題となる。

本研究では、A7075 アルミニウム合金板の FSW 接合材について、その接合界面部の微細組織を全体と局所の両面から詳細に調べることを目的とする。

2. 実験方法

本研究では、A7075-T651 (Pechiney Rhenalu 社製、板厚 5mm) の突き合わせ接合処理を FSW 法で行った。供試材の化学組成を Table 1 に示す。FSW のツール形状は、ショルダー径が $\phi 15\text{mm}$ 、ピン形状は M6 細目ネジ、ショルダーからのピン突出長が 4.6mm である。接合条件は、ツール回転速度を 1500rpm (25Hz)、接合速度を 300 mm/min (5×10^{-3} m/s)とし、裏当て板には SUS304 (3 mm 厚) を使用した。ツール前進角は 3deg である。なお、本接合を行う前に、裏当て板とツールの予熱を行った。予熱処理には 10mm 厚 A1050 材を用い、1500rpm、300 mm/min の条件で bead-on-plate FSW することによった。接合界面の評価には光学顕微鏡、SEM(Jeol, JSM-6400) ならびに EBSP (TSL, OIM ver.3.0) 法を用いた。

Table 1 Chemical composition of specimen (mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	Pb	Na	Al
0.06	0.15	1.41	0.03	2.56	0.20	3 ppm	5.80	0.02	90 ppm	9 ppm	1 ppm	BAL.

3. 実験結果および考察

FSW 接合継ぎ手のマクロ組織の一例を Fig.1 に示す。図中、中央部に摩擦攪拌領域が存在しており、左側が advancing side で右側が retreating side である。クラックやボイドなどは認められず、健全な接合継ぎ手が得られている。母材は加工組織を有しており、圧延方向に伸長した結晶粒組織で構成されている。摩擦攪拌部近傍では板面に垂直な方向へ結晶粒が伸長するといった攪拌処理がもたらした塑性変形にともな

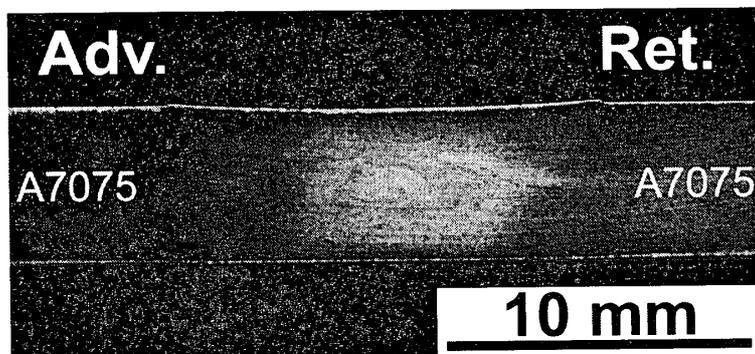


Fig.1 Macroscopic appearance of the FSW joint.

う局所的な組織状態の変化が確認された。

摩擦攪拌部においては、伸長粒の存在は認められず、機械混合ならびに動的あるいは静的復旧過程により形成された等軸多結晶組織の領域が存在していた。摩擦攪拌部の組織状態を EBSD 法にて解析した結果の一例を Fig.2 に示す。EBSD の分析点のステップ間隔は $0.2\ \mu\text{m}$ である。図中の数字は結晶粒界の Σ 値を示している。OIM 像より、結晶粒サイズが3ミクロン以下の整粒組織であることがわかる。摩擦攪拌処理は結晶粒の効果的な微細化効果を発揮することが示されている。結晶粒界近傍では異なる方位の微小粒が存在しているように見えるが、これらは方位解析点において両側の結晶粒のパターンが混在した場合や粒界部で EBSD の像質が劣化した場合にシステムが誤った方位情報を記録していることによるものである。

Fig.2(b)に示した組織全体の結晶方位分布を表す板面方位の逆極点図では特定の方位への集積は認められず、集合組織としては未発達の状態にある。これに対応して、OIM 像においては異なる方位の結晶粒が混在している様子が示されている。ただし、それぞれの場所における局所的な方位集積状態に着目すると、方位差の少ない結晶粒が隣接してクラスターを形成している領域や周囲の結晶粒とは全く異なる方位成分の孤立した結晶粒が存在することなど多様な組織状態にあることがわかる。結晶粒界性格については、図(a)中に示したように、マクロな方位分布と対応して、ランダム粒界が多いが、図(a)に示した方位クラスター領域においては小角粒界の存在頻度が高い。対応粒界の存在状態については特徴的な形態は見いだせなかった。

多結晶組織の発達過程は、例えば高温熱処理時の粒成長のように、結晶粒界の移動をともなう場合が多い。粒界移動はそれぞれの粒界に作用する駆動力と粒界本来が持つ移動度により移動挙動が支配されると考えられ、駆動力は各粒界の端部である三重点に合合する粒界のエネルギー均衡関係や三重点自体の構造などにより変化する。したがって、粒界移動は極めて局所的な組織状態を反映して進行することになり、この局所組織状態の変化が全体の組織変化を支配することになる。Fig.2 に示した組織において、結晶粒サイズは同程度であることが確認されたが、方位分布と粒界性格分布については各三重点で異なっており、活動的な三重点とそうでないものが混在状態にあり、不均一組織状態であることが示唆される。このような組織状態にある継ぎ手に対して外部から応力ならびに熱が加えられた場合には、最も不安定な組織領域から組織変化が始まると考えている。動的組織状態解析による接合部組織の信頼性評価についても議論する。

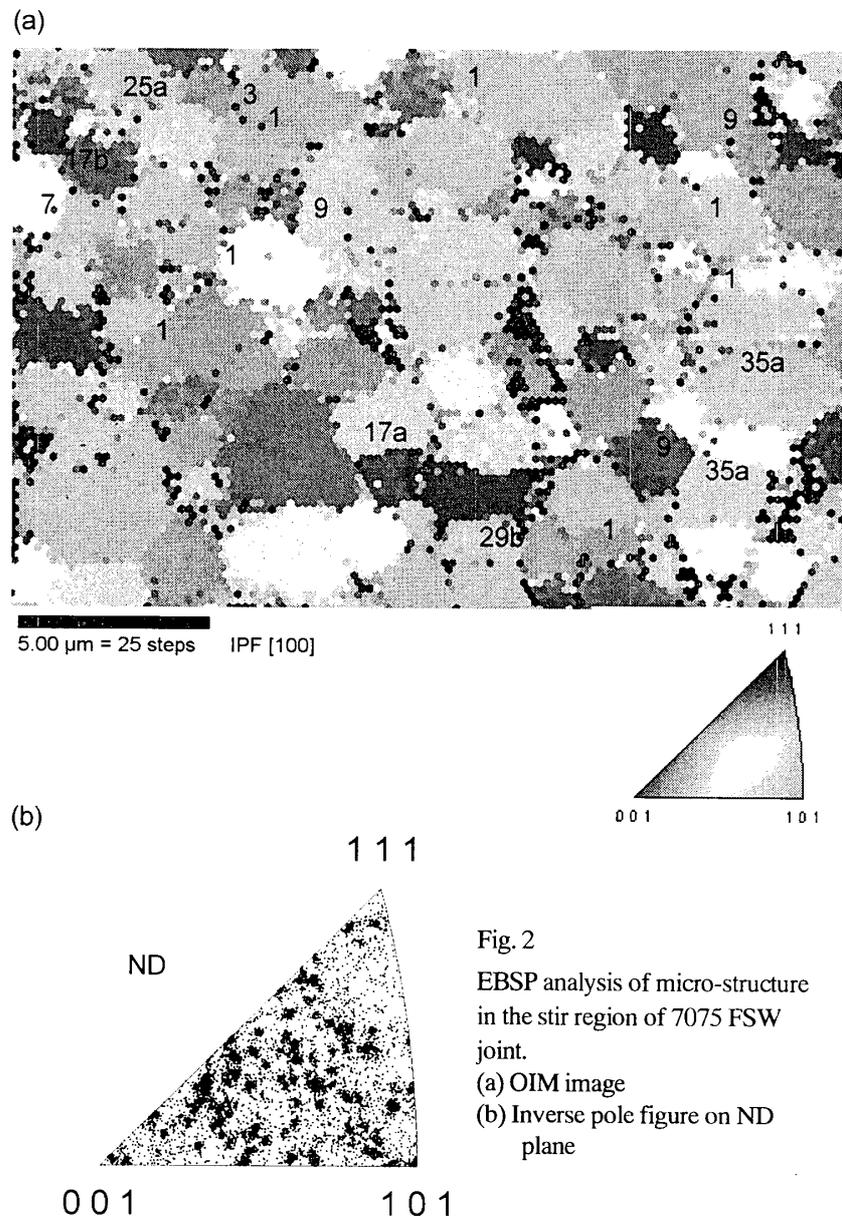


Fig. 2
EBSD analysis of micro-structure
in the stir region of 7075 FSW
joint.
(a) OIM image
(b) Inverse pole figure on ND
plane