

# 5052 アルミニウム合金細径材の高速回転摩擦圧接における 接合界面組織形成過程

日大生産工(院) ○宮崎 泰輔      日大生産工 前田 将克

## 1. 緒言

摩擦圧接は、圧力と摩擦熱によって接合阻害層の破壊と清浄面の密着を行うことで接合を達成する、固相接合の一種である。接合時には接合界面付近の材料同士が相対運動と摩擦熱によって変形することで、接合阻害層を接合界面から押し出し、ばりとして排出する。この一連の変形と排出の過程は、その範囲や形成する組織を接合時の条件によって変化させることが知られている<sup>1)</sup>。しかし、これらの変化が生じる機構に関する報告は少なく、未だ十分に解明されていない。これまでの研究により、同種アルミニウム合金の摩擦圧接においてさえ、回転側と固定側の温度分布や組織に違いが見られることが明らかにされた<sup>2)</sup>。

本研究は、細径材を用いた高速回転摩擦圧接における回転側、固定側それぞれの接合界面近傍の、形態および組織と機械的性質から接合中の界面近傍の挙動を調べる。

## 2. 実験方法

供試材には直径 10mm の A5052B-H34 丸棒材を長さ 35mm に機械加工し、接合直前に接合面を脱脂洗浄したものを使用した。接合は全自動摩擦圧接機を用い、過去の予備実験より選定した Table.1 に示す接合条件で行った。条件は Table.1 A に示す接合条件を基本とし、摩擦時間を変化させていくことで接合の進行過程を追跡していった。この際にアップセット圧力(以下  $P_2$ )を摩擦圧力(以下  $P_1$ )と同値にすることで接合途中状態を保存した。また、 $P_2$ を印加した通常の試験片も作製し、比較した。その他、回転数と負荷圧力をそれぞれ変化させた条件 B, C を設定し、A と同様に試験片を作成することで、条件による接合の進行に及ぼす影響も検討した。接合では時間経過による接合中の印加圧力と寄りの挙動、接合機の主軸回転数を摩擦圧接機に組込まれた変位計を用いて、サンプリ

ングレート 100 Hz で計測した。接合中の温度は供試材の接合面から 5mm の位置に中心へ埋め込んだ K 種熱電対によって計測し、得られた継手は接合界面の横断面組織を微視的観察することで、界面付近の材料変形の挙動と接合の進行過程を観察した。観察後、回転側(Rotating side 以下 RS)、固定側(Fixed side 以下 FS)の界面付近の材料変形挙動に違いが確認されたため、Fig.1 に示す箇所に硬さ試験(HV 0.2, 荷重保持時間 15s)を行い、その結果から材料変形挙動が異なる原因を考察した。

Table.1 Friction welding conditions

|                                    | A               | B     | C     |
|------------------------------------|-----------------|-------|-------|
| Rotational speed $N$ ( $10^3$ rpm) | 12              | 6, 18 | 12    |
| Friction pressure $P_1$ (MPa)      | 20              | 20    | 10    |
| Friction time $t_1$ (s)            | 1, 3, 5, 10, 15 |       |       |
| Upset pressure $P_2$ (MPa)         | 20,40           | 20,40 | 10,40 |
| Upset time $t_2$ (s)               | 10              |       |       |

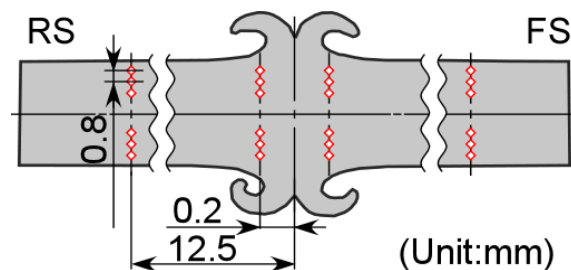


Fig.1 Hardness test points

## 3. 結果および考察

Fig.2 に Table.1 A の条件で接合を行った場合の FS, RS の温度履歴を示す。温度の推移の様子は FS, RS でほぼ同様であるが、接合時間が 8s 程までは RS が高温であり、それ以降は FS の方が高温になった。この温度の変化は RS に発生するばかりが、回転することで冷却フィンの役割を果たし、周辺雰囲気への放熱を促していると考えられる。

Fig.3 に摩擦時間(以下  $t_1$ )1, 3, 5s における

継手接合界面近傍の外観を示す。時間経過によってばりが拡大していく様子が確認できた。 $t_1=1s$  ではばりが発生しているものの供試材の変形はほとんど確認できない。このときの供試材の界面から 5mm 付近の温度は Fig. 2 内に示した表より、約 280℃とわかる。実験に使用した A5052B H-34 の高温耐力は 260℃で 50MPa、315℃で 38MPa 程である<sup>3)</sup>ため、接合界面近傍の材料は摩擦による熱で軟化部が発生しているものの、摩擦圧力(20MPa)及びアップセット圧力(40MPa)では押し出せていないと考えられる。 $t_1=3s$  の外観写真では供試材の変形が確認できる。この時点では温度測定地点の温度が約 480℃、耐力は 21MPa 以下となるため、軟化部の圧縮、押し出しによる変形が生じている。 $t_1=5s$  の継手では  $t_1=3s$  の継手に比べ温度は上昇しているため変形域とばりの大きさが拡大していることが確認できる。

Fig. 4にFig. 3で示した継手の接合界面付近の微視的組織を示す。 $t_1=1s$ での接合界面を示す(a)ではFS, RSともに結晶粒の微細化された組織が渦状に流動している様子がみられた。渦状の流動痕は接合界面の中心付近に存在し、渦から出た流れは継手外縁に向かっていくことが確認できた。これらのことからこの時点で供試材の端面は摩擦熱と回転による相対運動により軟化、塑性変形させられていることがわかる。しかし、継手の外縁付近には前述の流動痕と共に未接合部が確認されるため接合は未達成であると考えられる。(b)の $t_1=3s$ が経過した断面では(a)で確認された中心付近の微細化組織の流動痕は(a)と比べ範囲が小さくなっている。Fig. 3 の外観からもわかるように供試材の塑性変形により軟化部の排出が起きていることを示す。また $t_1=1s$ で見られた未接合部も確認できなかったことから、接合が達成されていると思われる。(c)の $t_1=5s$ の断面では渦状の流動痕は確認されず、微細化組織は(a) (b)とくらべて接合界面に沿った狭い範囲に確認された。この時点での供試材温度は510℃程でありP1の圧力でも圧縮による塑性変形が容易であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 例えば、浅野裕紀ら、軽金属, vol. 65, No. 10 (2015), pp. 485-491.
- 2) 例えば、軽金属学会、アルミニウムの組織と性質, p. 455.
- 3) 例えば、岡本孝明ら、軽金属学会第 135 回秋季大会講演概要 (2018), pp. 87-88.

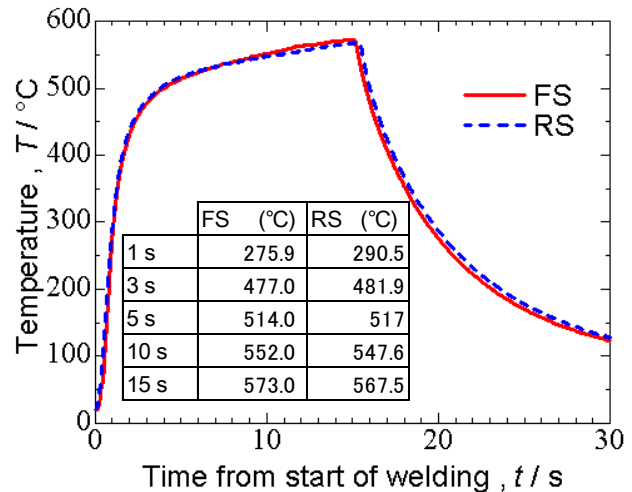


Fig. 2 Temperature history at the 5 -mm-distant points from the weld interface.

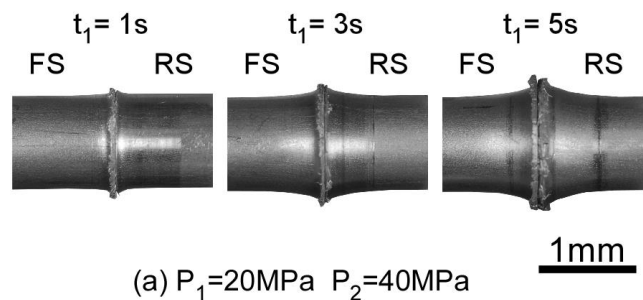


Fig. 3 Change in appearances of the joints.

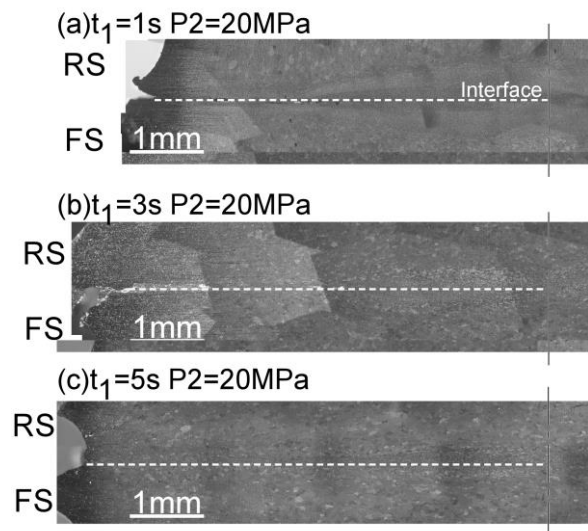


Fig.4 Microstructures of welding joints.