

## 摩擦接合技術<sup>1</sup> Friction Welding Technology

川口 翼 摂南大学大学院理工学研究科  
辻野良二<sup>2</sup> 摂南大学理工学部機械工学科  
KAWAGUCHI, Tsubasa Graduate School of Science and Engineering,  
Setsunan University  
TSUJINO, Ryoji Faculty of Science and Engineering,  
Setsunan University

### Abstract

This paper describes an overview of friction welding technology. The friction welding is now widely used in various fields. However, the conventional process has defects for producing a joint such as non-round shape cross-section, quite different liquidus materials and large cross-section. In recent years, new friction welding process has been examined for overcome the drawbacks of the conventional one.

**キーワード** : 溶接、摩擦圧接、摩擦攪拌溶接

**Keywords** : welding, friction welding, friction stir welding

### 1. はじめに

溶接とは材料に応じて、接合部が連続性を持つように、熱または圧力もしくはその両者に加え、さらに、必要があれば適当な溶加材を加えて、部材を接合する方法である。溶接は、その接合の機構によって、融接、圧接、ろう接に分けられる<sup>(1)</sup>。融接とは接合面付近の母材を加熱溶融させる。これによって原子の運動が活発となって原子の接近が可能となり、冷却後に強い結合状態が得られる。圧接とは接合面に圧力を加える。これによって接合面付近の母材に塑性変形が生じ、接合面の接近が実現する。ろう接とは母材の接合面を母材より融点の低い溶融金属でぬらし、母材の金属原子溶融金属に融解させ、母材と低融点金属との界面に固溶体などの合金層をつくることによって接合するものである<sup>(2)</sup>。本稿では圧接の一種である摩擦接合について述べる。

---

<sup>1</sup> 【原稿受付】 2016年8月30日、【掲載決定】 2016年10月5日

<sup>2</sup> 【主著者連絡先】 辻野 良二 摂南大学教授 e-mail: tsujino@mec.setsunan.ac.jp  
〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8、摂南大学理工学部 機械工学科

## 2. 摩擦攪拌接合<sup>③</sup>

### 2-1 摩擦攪拌接合の原理

摩擦攪拌接合は、先端に突起物（プローブ）のあるツールを高速で回転させながら材料と接触させ、摩擦熱によって軟化した材料を攪拌（塑性流動化）して接合する。通常の熔融溶接とは異なり固相での接合のため、金属組織が微細化し機械的性質に優れている。図1に模式図を示す。

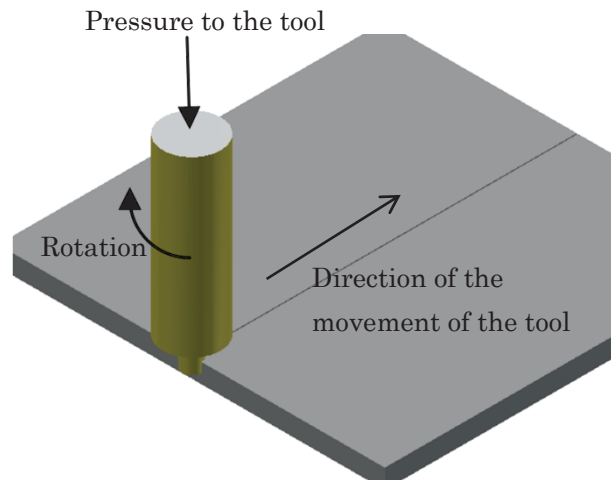


図1 摩擦攪拌接合の模式図

### 2-2 摩擦攪拌接合の特徴

摩擦攪拌接合の接合部は、著しく微細な結晶粒で構成されており、鑄造組織が形成される熔融溶接とは大きく異なっている。摩擦攪拌接合の接合部組織をさらに詳細に識別すると、3つの領域に区別することができる。中央部分は攪拌部と呼ばれる部分で、動的再結晶により結晶粒が著しく微細になっている。攪拌部の外側には、ツールの回転に伴い塑性変形を受け結晶粒が伸長した組織からなる熱加工影響部、さらにその外側には熱の影響のみ受けた熱影響部が存在する。総合的には接合部の強度低下が小さい、接合後の変形が小さい、欠陥・割れなどが発生しにくい、接合前処理（開先加工等）が原則不要、フィラーが原則不要、シールドガス不要、異種金属接合が比較的容易、ヒュームやスパッタなどが発生せず、作業環境に優れる等の長所を有する。

## 3. 摩擦圧接

### 3-1 摩擦圧接の原理

機械的な回転エネルギーによる摩擦熱を利用し、摩擦面を接合面とする接合技術である。2つの接合材料の一方を回転させ、接合しようとする面を接触させ、摩擦推力を加えると、両母材面は接触点で変形、破壊を生じ、発熱して焼付きを生じる。回転が維持されているので、焼付きの発生と破壊に続いて焼付き部が拡大し摩擦面となる。摩擦熱は母材内部へ伝わり高温層が形成され、摩擦面とその近傍は激しい変形を生じて発熱を続ける。母材の高温部分の変形抵抗が小さくなるので、摩擦推力と摩擦による振り力によって圧縮・振り変形を生じ、ばりとして母材外周方向へ押し出される。このとき、変形領域の温度分布は

摩擦面を最高として両母材の軸方向に低くなっているため、それに応じて変形は摩擦面とその近傍において大きく、両母材の接合面の酸化物や汚れなどは排出されて、内部から露出してくる清浄面同士が接触することになり、酸化物や汚れによる影響はなくなる。この過程を所定時間続けてから回転を停止し、さらに摩擦圧力より大きいアプセット圧力を付加する。この接合方法は、他の接合法と比べ、以下のメリットがある。(1)寸法精度が高く、接合結果に高い再現性がある(2)摩擦熱以外の熱源を必要とせず、接合時にガスやスパッタが出ないことなどから自然環境にやさしい(3)コストが安いなどが挙げられる(4)。

### 3-2 摩擦圧接の方式

ブレーキ式とフライホイール式に分類される。ブレーキ式は図 2<sup>5)</sup>に示すように、接合する一方の母材(回転側)を電動機によりクラッチとブレーキを介して所定の回転数に保持し、これに相手母材(静止側)を油圧シリンダなどによって摩擦圧力で押し付け、突合せ面に摩擦熱を発生させる。突合せ面の近傍が接合に適した温度に到達した時点でクラッチを開放、ブレーキを作動させて相対回転運動を停止させると同時に摩擦圧力よりさらに大きな圧力で接合を完全なものとするためアプセット圧力を付加する。回転数は 1000～5000rpm であり、摩擦圧力は 10～100MPa、アプセット圧力は 50～300MPa で接合部材によってこれらの条件は異なる。

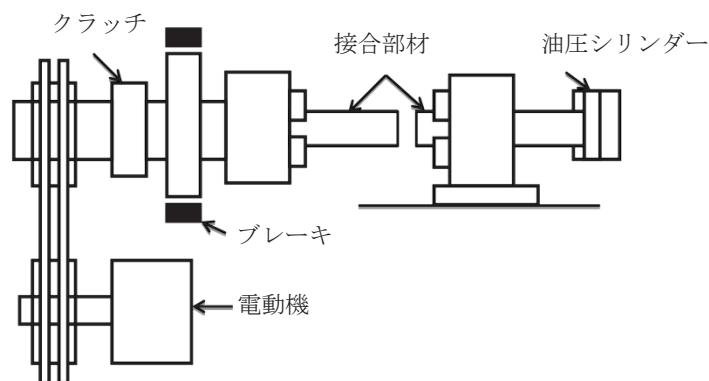


図 2 ブレーキ式摩擦圧接機

フライホイール式は図 3<sup>5)</sup>に示すようにフライホイールを持つ軸に回転エネルギーを与え、自由に回転させる。この回転軸に取り付けられている素材の端面を摩擦圧力によって押し付けると、摩擦部で回転エネルギーが摩擦仕事(熱発生)に消費されて、急速に回転速度は低下し、自然停止すると接合は完了している。接合条件は、ブレーキ式と同様である。

なお、現状ではブレーキ式の方が一般的である。

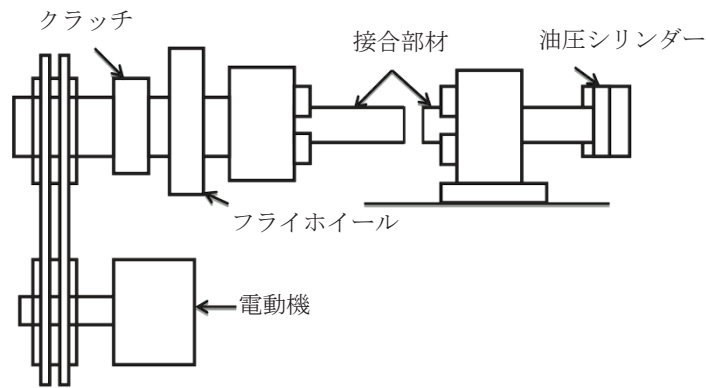


図3 フライホイール式摩擦圧接機

### 3-3 摩擦圧接の問題点

摩擦圧接は一部の異種金属、非円形部材、大型部材の接合が不可能とされている。その主な原因は次に示す3点である<sup>6)</sup>。(1)異種金属を接合しようとした場合、接合材料を接触させて発熱することから双方に熱量が分配される。融点の差が大きい場合一方だけ軟化して接合が困難となる。また、金属間化合物の生成および金属の巻き込みが生じる組み合わせがある。(2)非円形部材の接合の場合、位相のずれが生じることがある。(3)大型部材の接合の場合、摩擦速度(半径×角速度)が、摩擦界面の円周方向(中心部と外周部)で異なるため温度分布が不均一となる。その結果、大型部材では各界面領域内の発熱分布が均一にならないので、接合界面を均一に軟化できない。

## 4. 新摩擦接合

### 4-1 新摩擦接合の原理

上記の問題点を改善するために新摩擦接合技術を考案した。接合材料の接合面の間に高融点高強度の中間材を挿入し、中間材を公転運動させながら摩擦圧力かけることにより接合面に摩擦熱を発生させる。その後、接合材料が十分発熱、軟化した状態で中間材を引き抜き接合材料にアプセット圧力を加えることで接合面を圧接する(図4)。

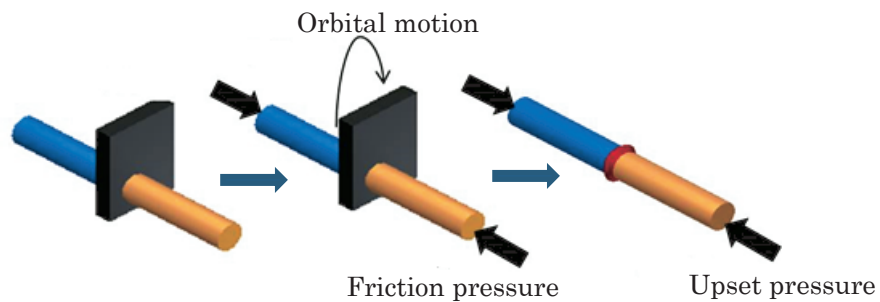


図4 新摩擦接合の原理

#### 4-2 新摩擦接合技術の汎用性

新摩擦接合技術では接合材料同士を直接摩擦させないため金属間化合物の生成や金属の巻き込みが発生しないことが確認されている。さらに、摩擦圧力や摩擦係数を左右で変更することができるので発熱量を変えアルミニウム(660℃)とタングステン(3422℃)のような融点差の大きな材料も接合できる。また、接合材料自体は固定しているので円形以外の角材、レール形状などの複雑な形状の接合が可能となる。また、中間材を公転運動させることで発熱量に時間的、場所的なばらつきが生じず大断面のものの接合が可能となる。

#### 参考文献

- (1) 山口克彦, 沖本邦朗, 「材料加工プロセス」共立出版, (2006), p.111.
- (2) 佐藤邦彦, 「溶接・接合工学概論」理工学社, (2011), pp.14-25.
- (3) 藤井英俊, 「摩擦攪拌接合法」, 溶接学会誌, 77 (2008), p.8.
- (4) 「摩擦接合技術」摩擦圧接協会編, 日刊工業新聞社, (2006).
- (5) 有年雅敏, 沖田耕三, 「新接合技術の実際(2)摩擦接合」, 溶接学会誌, 62-7 (1993), pp.518-521.
- (6) 木村真晃, 藤井利充, 日下正広, 瀬尾健二「インサートドライブ摩擦圧接法により接合した角棒継手の機械的性質」, 溶接学会論文集, 25-2 (2007), pp.343-352.