

**Q-8** FSWの接合原理、特徴、接合因子ならびに装置について教えてください。

**A-8** FSW（摩擦攪拌接合）は、摩擦圧接の応用であり、1991年に英国TWI（The Welding Institute）にて開発された接合技術です。

接合のために、加熱と攪拌の2要素を活用します。まず、母材の加熱は、Fig. 1に示すツールと母材との摩擦によって与えられます。このツールにはプローブと呼ばれる突起が先端部に加工されており、このプローブを高速で回転させながら母材に挿入することにより、母材内部に摩擦熱を生じさせるとともに、ツールのショルダーと呼ばれる部分により母材表面部にも摩擦熱を発生させて、母材を加熱します。これらの加熱によって、母材はプローブ近傍において母材の融点よりはやや低い温度程度まで上昇し、母材の変形抵抗が減少します。このとき、左右の母材は、ツールの回転および移動によって互いに流動し、その移動と

ともに流動部の温度は低下し、変形抵抗が増大してもはや流動できなくなると接合状態となります。その接合部表面の外観をFig. 2に、また接合部断面のマクロ組織をFig. 3に示します。

次に特徴ですが、本接合方法は溶融接合とは異なり接合時の最高到達温度が母材の融点に達しない固相状態の接合であるため以下のような点があります。

〈長所〉

- ①固相接合なので、溶融溶接時に発生する可能性のある高温割れが生じない。
- ②気孔、割れなど溶融溶接で発生する可能性のある不完全部は発生しない。
- ③溶融溶接法に比べ最高到達温度が低いので、熱ひずみが小さく接合材の変形が少ない。
- ④熱影響部の軟質化が少なく、特に熱処理合金の場合には溶融溶接の場合よりも、高い継手効率を得られる。
- ⑤接合部は柱状晶などの組織は生成されず、塑性流動により結晶粒は微細化される。

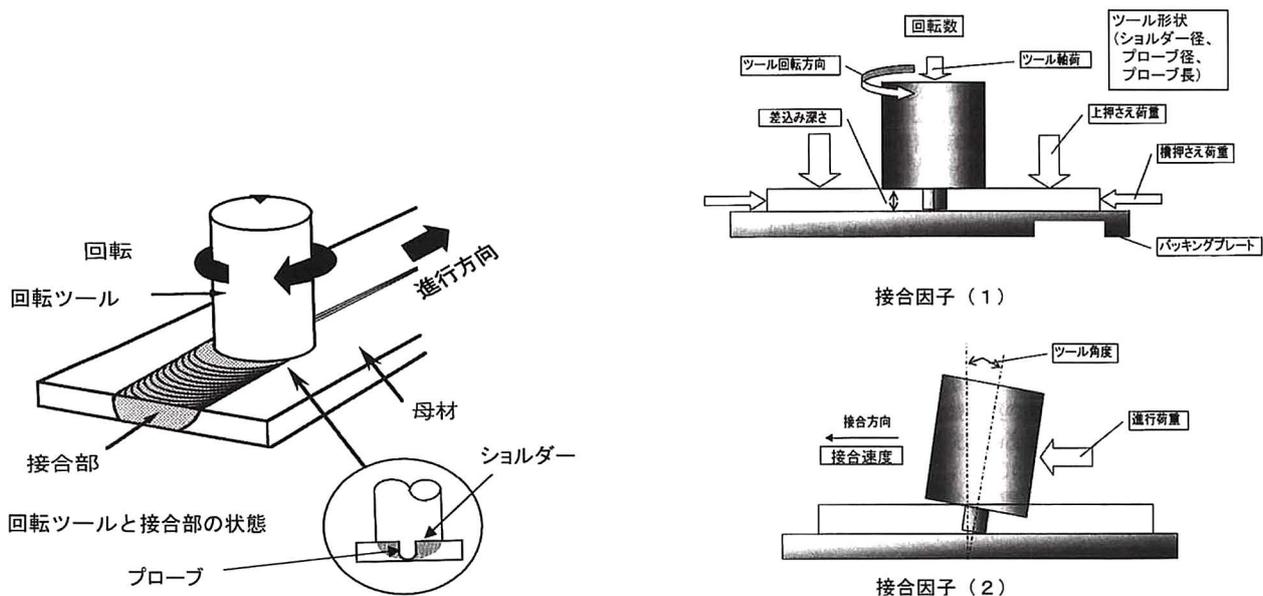


Fig. 1 FSW方法の概略と接合因子

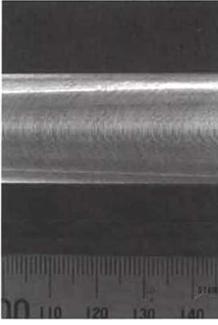


Fig. 2 接合部表面外観例 (A6N01S-T5, 8mm 材)



Fig. 3 断面マクロ組織例 (A6N01S-T5, 3mm 材)

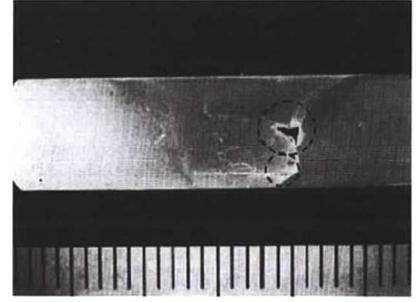


Fig. 4 トンネル状の不全部

- ⑥接合雰囲気は大気中で行い、基本的にシールドガスは不要で、溶接材料も不要であり、いわゆる接合のための副資材は基本的には不要である。
- ⑦接合時には紫外線等有害な光線の発生や、ヒューム、スパッタ等の発生もないため作業環境は良好である。
- ⑧自動接合なので溶接オペレータの技量によるところは少ない。
- ⑨従来、溶融接合が困難と言われている Al-Cu-Mg 系の 2000 系合金や Al-Zn-Mg-Cu 系 7000 系合金の高力合金 (7N01 は Al-Zn-Mg 合金ゆえ溶融溶接は可能)、あるいはダイキャストを含む鋳物合金なども接合は可能であり、全ての種類のアルミニウム合金が接合可能である。
- ⑩マグネシウム合金や銅合金も要件が整えば接合可能で、鉄鋼材料も、ツールの材質を選ぶ等の要件が整えば接合可能である。
- ⑪アルミニウム合金内での異種合金同士、アルミニウム合金とマグネシウム合金や銅合金、鉄鋼材料との異種接合も同様にして可能である。

〈課題〉

種々の技術開発がなされており短所は鋭意克服されつつありますが、一般的には下記のような点が上げられます。

- ①剛性のある裏当て金および拘束ジグが必要である。
- ②接合終端部に exit hole (穴) が残る。
- ③中空形状の接合は困難である (ツール挿入方向の荷重を支持する部材などの工夫が必要となる)。

- ④突合せ継手が基本であり、すみ肉継手は開先形状やジグなどの工夫が必要となる。
- ⑤接合部の目違い、ギャップなどの寸法精度は、溶融溶接に比較して高精度が必要である。
- ⑥複雑形状や三次元形状には不向きで、特に角(かど)接合は困難である。

次に、本接合方法に関する接合因子としては、Fig. 1 に示すようにツールの形状 (ショルダー径, プロブ径およびプロブ長), 回転方向, ツール回転数, 角度, 差込深さならびに接合速度等があります。これらの因子の管理が不良な場合には、Fig. 4 に示すような本接合方法特有の不全部が発現する場合があります。

最後に、装置に関してですが、接合対象となる製品によって種々製作されています。たとえば長い直線距離を接合するような場合には、ツールとそれに回転駆動力を与えるモータ、上下方向へ移動させるような装置をガントリータイプの設備に設置したものになります。小物部品を接合する場合や、研究用に使用するような設備は、通常のフライス盤のようなサイズとなります。

参 考 文 献

軽金属溶接 Vol. 37 (1999), No9, p10.  
 軽金属溶接構造協会 FSW 委員会資料.  
 軽金属溶接接合用語事典2007.3.22発行.  
 軽金属溶接 Vol. 43 (2005), No5, p21.