

わが社でものづくりに用いる摩擦攪拌接合

さくらい工業株式会社 櫻井 徹

平成17年12月9日

摩擦攪拌接合技術研究会

講演概要

1. 会社概要
2. 製品事例紹介
3. 摩擦攪拌接合(FSW)
4. 摩擦攪拌接合を用いた製品紹介

1. 会社概要

社内で使用している接合法

1. 溶融接合

アーク溶接

- (1) SMAW
- (2) GMAW (MAG, MIG)
- (3) GTAW

高エネルギー熱源

- (1) EBW(電子ビーム溶接)
- (2) LBW(レーザー溶接)
(YAGレーザー、ファイバーレーザー)

2. 固相接合

摩擦攪拌接合 (FSW)

(FSW装置は、中小企業としては国内唯一の導入)



電子ビーム溶接

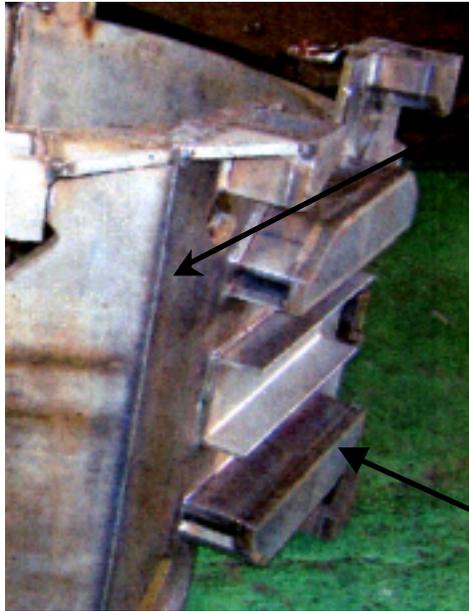
- ・真空中において電子ビームを照射する事によって金属の溶接を行う方法。冶金的には真空中の方が優れた溶接環境である事が多い。ビームを正確に制御する事によって、熱影響部が小さく、溶接歪や変形の小さいことが要求される精密な溶接に有利である。深溶け込みによる圧板の迅速溶接、このほか高融点材料や活性金属の溶接などに適している。



レーザ溶接

- ・レーザを熱源として行われる溶接方法。電子ビーム溶接と同様に高エネルギー密度の微小点加熱を行う事が出来るため、各種材料の精密加工に適している。集光性が高いため、熱影響幅・熱変形が小さく、大気中でも深溶け込み溶接が可能である。電子ビーム溶接におけるような真空室の必要がない、磁場の影響を受けない、ファイバーでフレキシブルに伝送出来るなどの実用性が高い。

2 . 製品事例紹介



EBW

フレーム
(電子ビーム溶接 & アーク溶接)

EBW



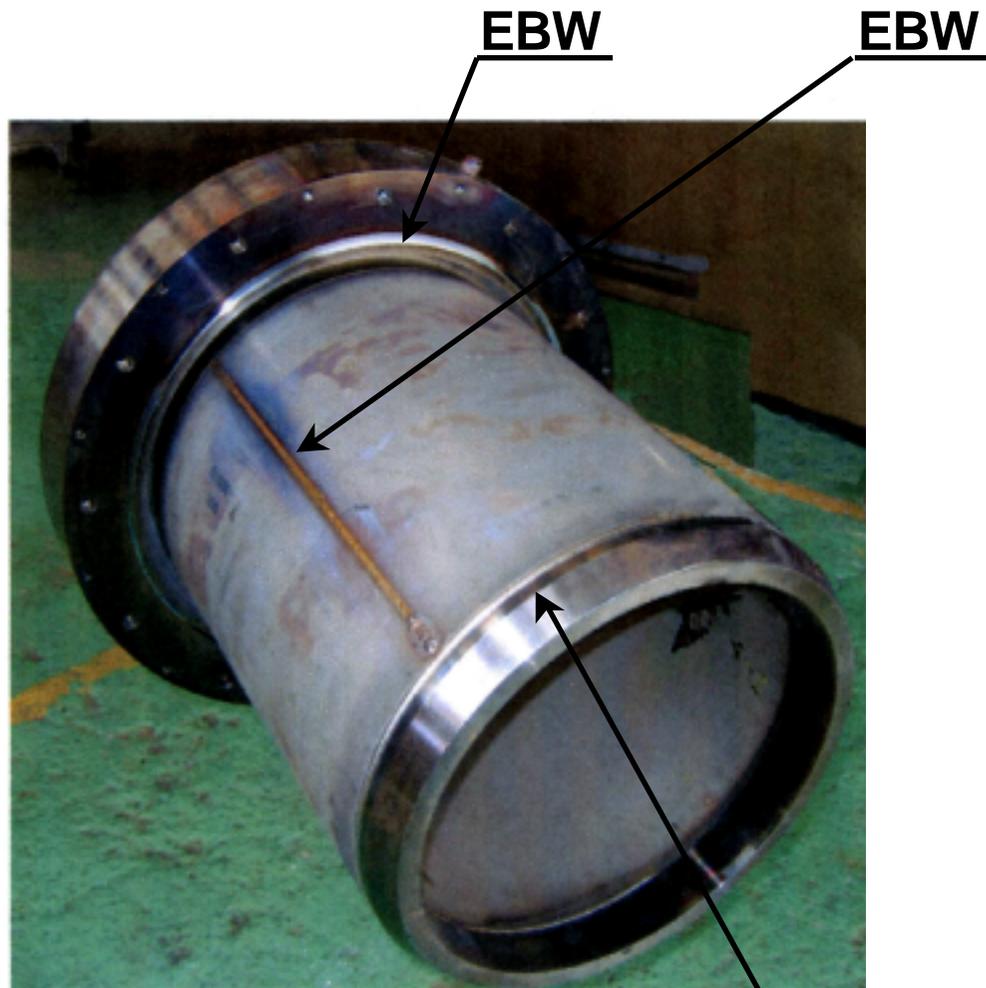
LBW

真空容器 (レーザー溶接)

LBW



700系中心ピン
(アーク溶接ロボット)



冷却スリーブ
(電子ビーム溶接)



熱シールド
(レーザ溶接 & FSW)

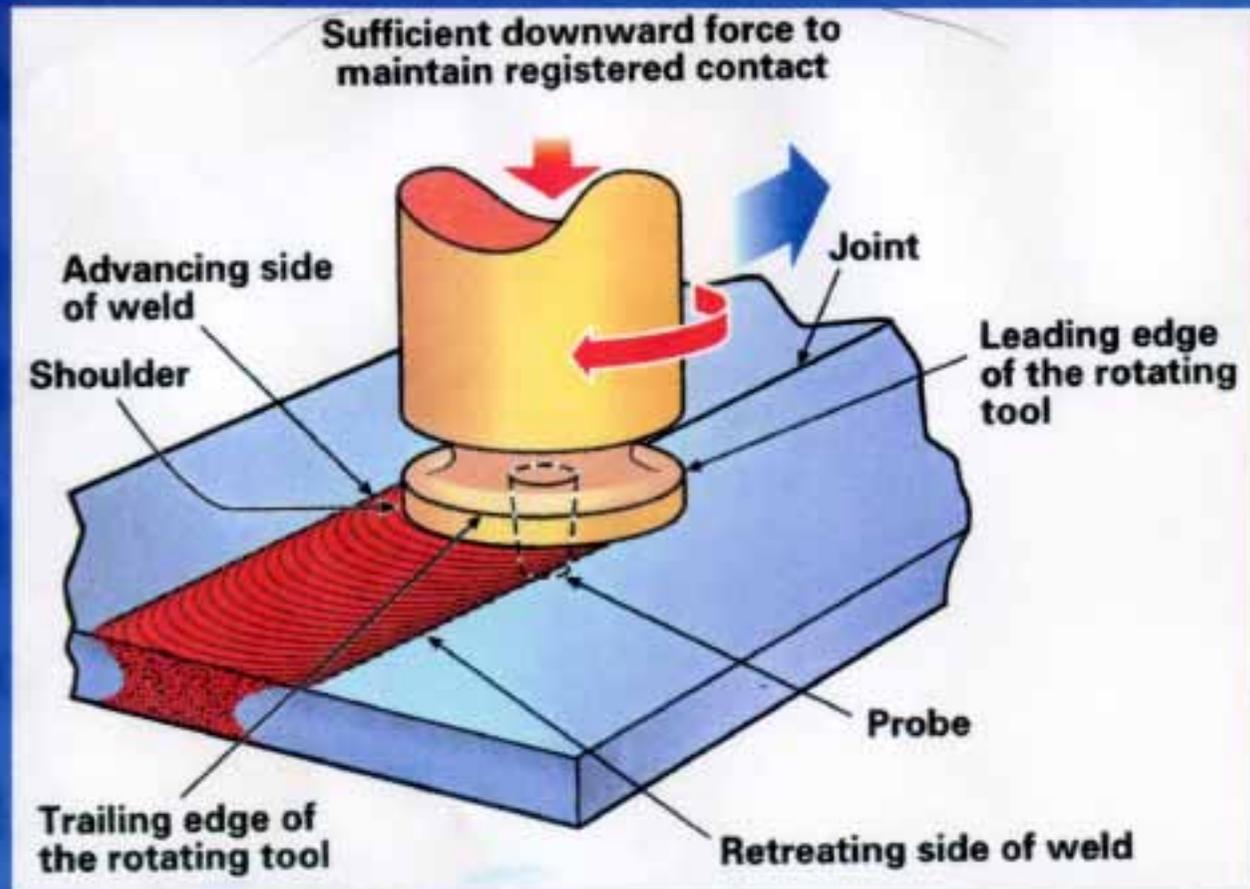


熱シールド・フランジ
(FSW & アーク溶接)

3 . 摩擦攪拌接合(FSW)

摩擦攪拌接合の実際

Friction Stir Welding: Fundamentals





FSW装置-1号機



FSW装置-2号機

- ・英国のTWI社(The Welding Institute)のWayne Thomasによって1991年に発明された摩擦熱による金属の接合法。先端にピン(小突起)を有する円柱状の特殊なツールを用い、アルミニウム合金等を溶かさずに塑性流動によって接合するまったく新しい方法。

FSWの導入目的

1. Al・銅合金の接合品質向上 : 気孔、凝固割れ等欠陥防止
2. マグネシウム合金接合の需要増
3. 異種金属の接合
4. 接合の自動化 : 技量依存の排除

問題解決

摩擦攪拌接合 (FSW)

FSWの長所

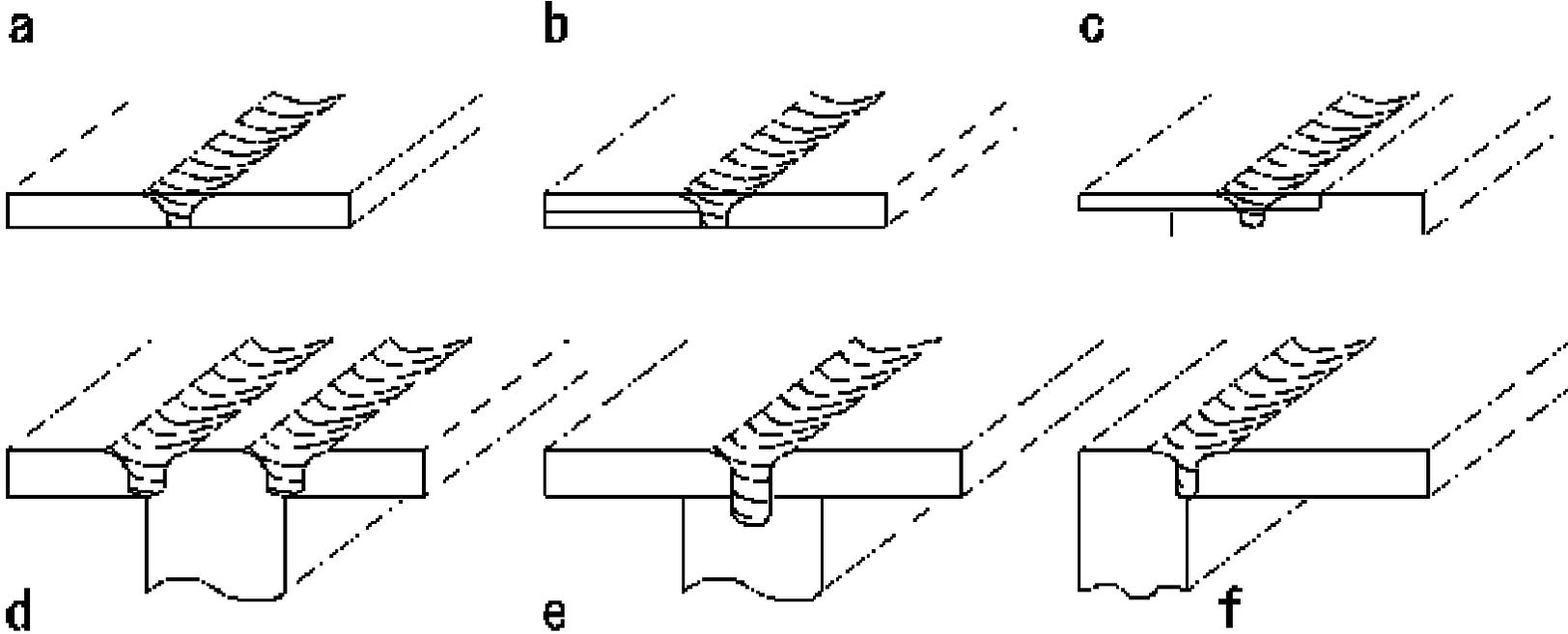
1. 溶融接合が困難な材料に対しても適用可能
2. 接合部は結晶粒の微細化が生じる
3. 溶接変形が少なく、表面形状も良好
4. 溶加棒やシールドガスが不要
5. 環境負荷が非常に少ない

FSWの短所

1. 接合材を強固に拘束する治具が必要
2. 隅肉溶接などが困難で継手構造が限定
3. 継手部のキ'ャップ許容範囲がアーク溶接より小さい
4. 接合部の終端にピン穴が残る

FSWが適用できる継手形式

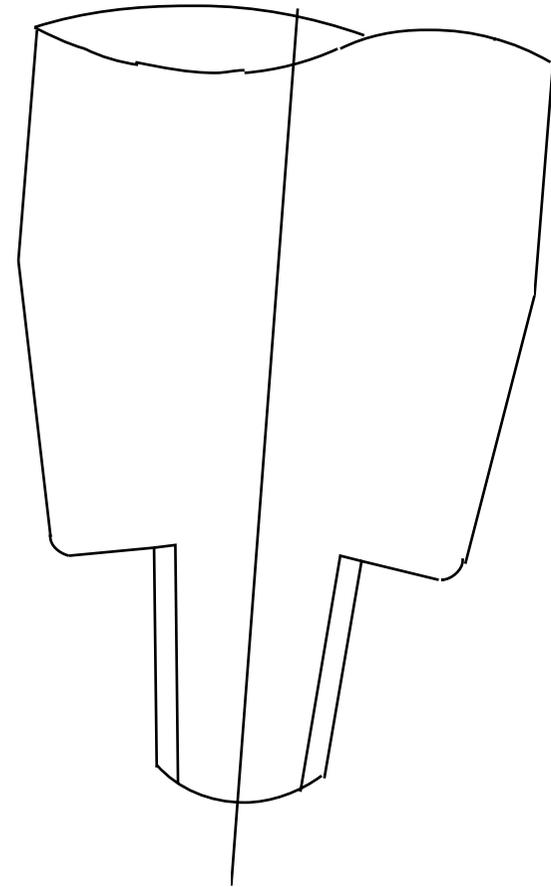
・直線、緩曲線、円周等の単純形状



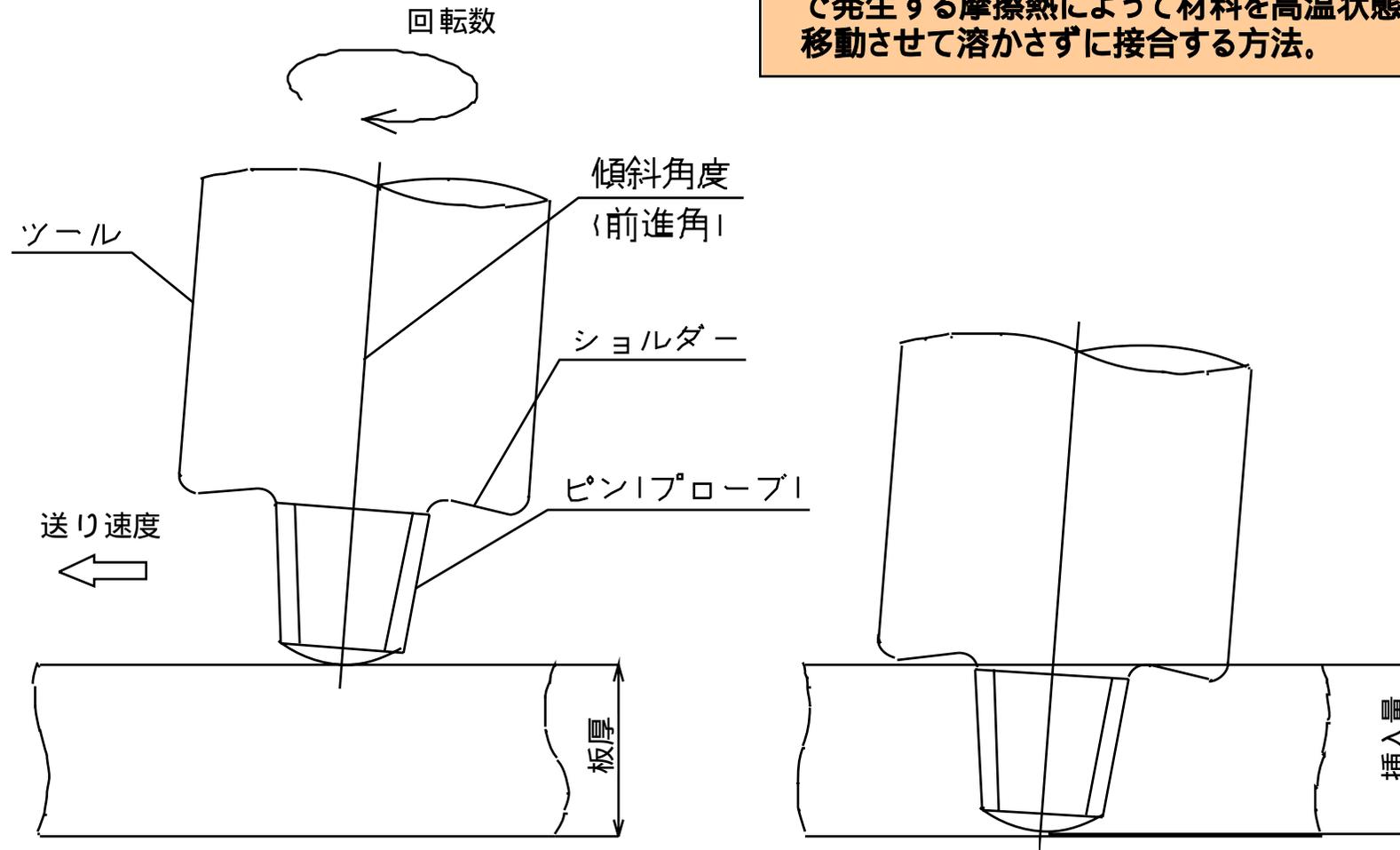
摩擦攪拌接合の手順

1.対象ワークの形状・材質・継手の形状、接合深さの検討

2.ツールの設計・製作



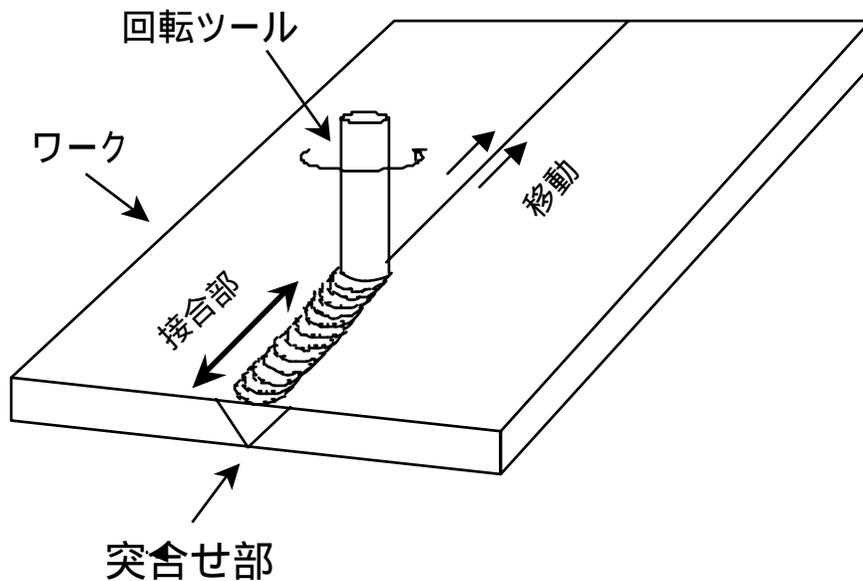
・摩擦攪拌接合は、先端部に小突起(接合ピン)を持つ円筒状の接合ツールを接合する部分に回転しながら圧入し、接合ピンと接合ツールの肩部下面との間で発生する摩擦熱によって材料を高温状態にしてお移動させて溶かさずに接合する方法。



3. 接合条件の確定

パラメータ

- ・回転数
- ・挿入量(加圧力)
- ・傾斜角度
- ・送り速度



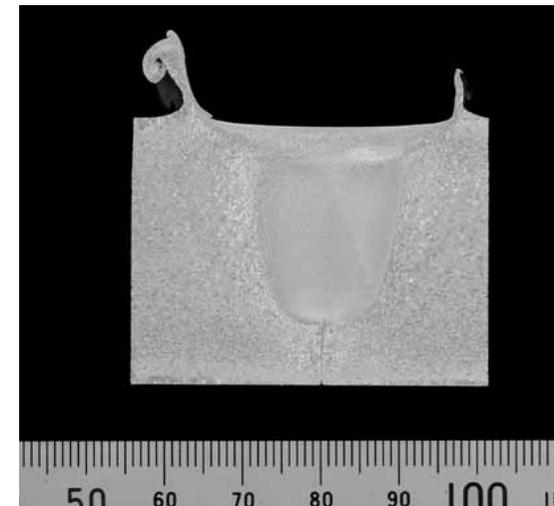
ツールによる攪拌



結晶粒の微細化



TP固定用治具

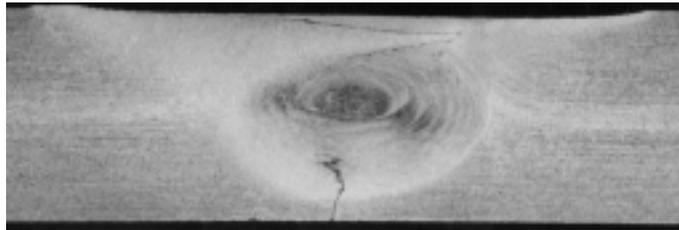


FSW接合後断面写真

塑性流動異常・入熱不足及び入熱過剰による欠陥例

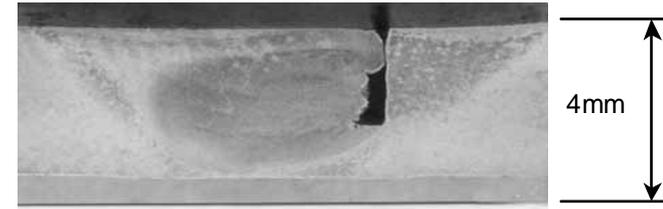
摩擦撹拌接合 (FSW) は接合材をその融点以下の低温で接合できるため、アーク溶接に比べて歪が少ない、気泡や割れなど接合欠陥の発生がないなど多くの特徴があるが、FSW特有の接合欠陥も発生する。

撹拌不足欠陥 (Kissing bond)



接合材の裏面近傍に空洞状に発生する欠陥でKissing bond (キッシングボンド)とも呼ばれている。この欠陥はツールの先端部の撹拌不足によって発生する。

切断欠陥



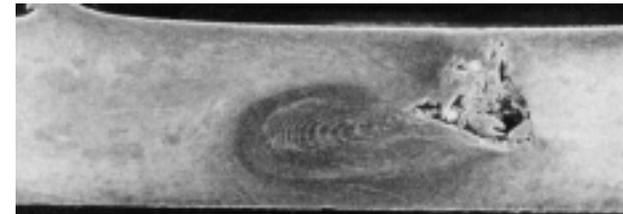
接合材の表面から内部にかけて切断状に発生する欠陥でこれはショルダ部が接合材によく接触していない、またはツール荷重が少ない条件で発生する。

撹拌不足空洞欠陥



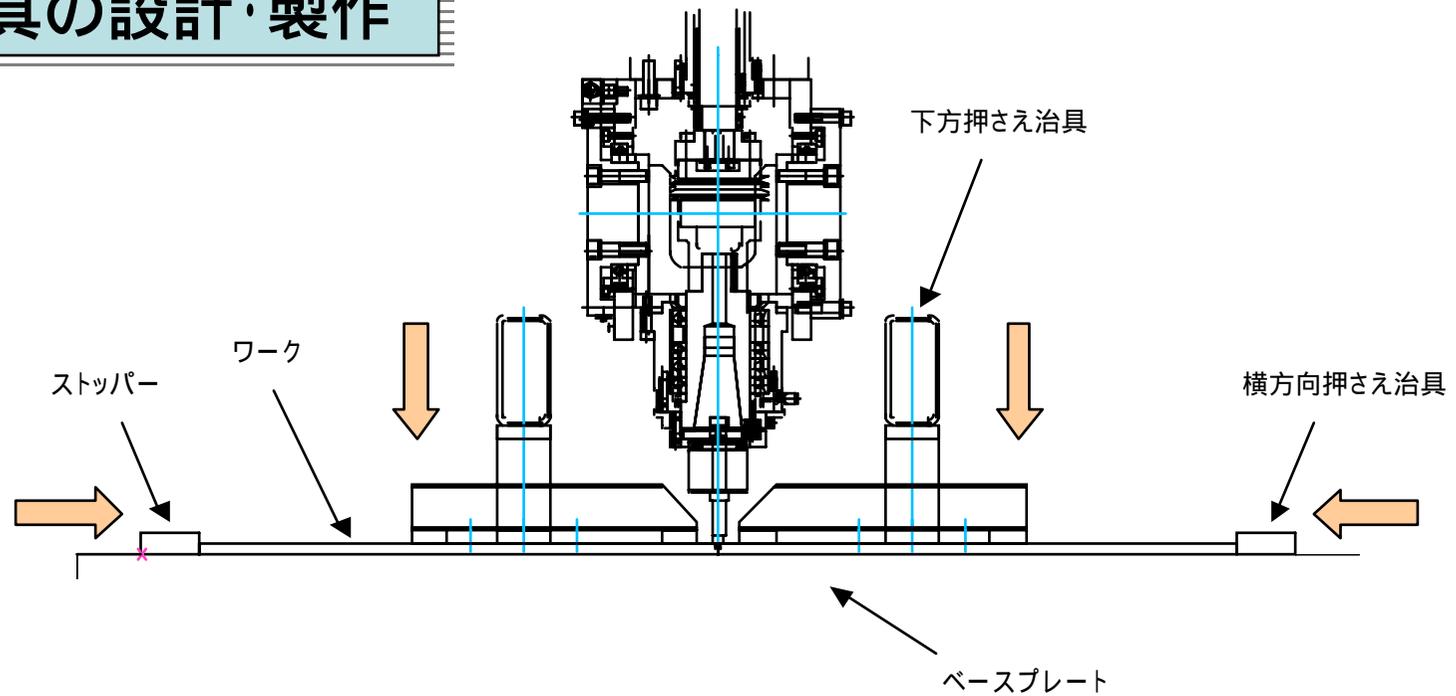
接合材の裏面付近に発生する空洞上の欠陥でツールの回転数が少ないなどの摩擦熱が小さい場合に発生する。

撹拌過剰空洞欠陥

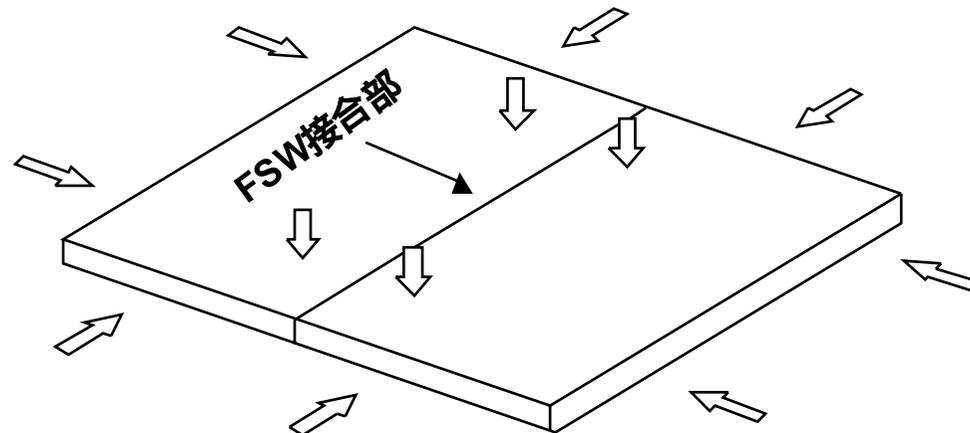


接合材の表面近傍から内部にかけて発生する形状が不規則な空洞に近い欠陥である。この欠陥はツールの回転数が高いなど摩擦熱が大きい場合に発生する。

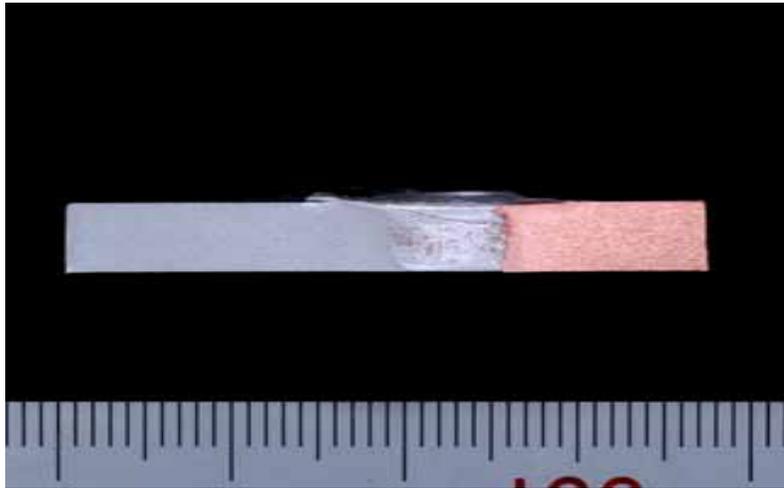
4. 固定治具の設計・製作



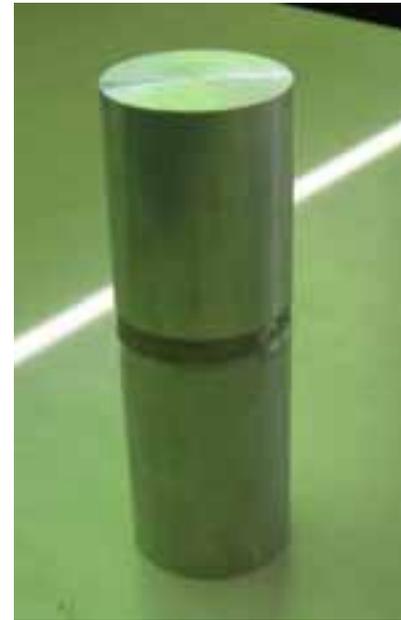
5. 本接合



4 . 摩擦攪拌接合を用いた製品紹介



銅 & アルミ



FSW例-1

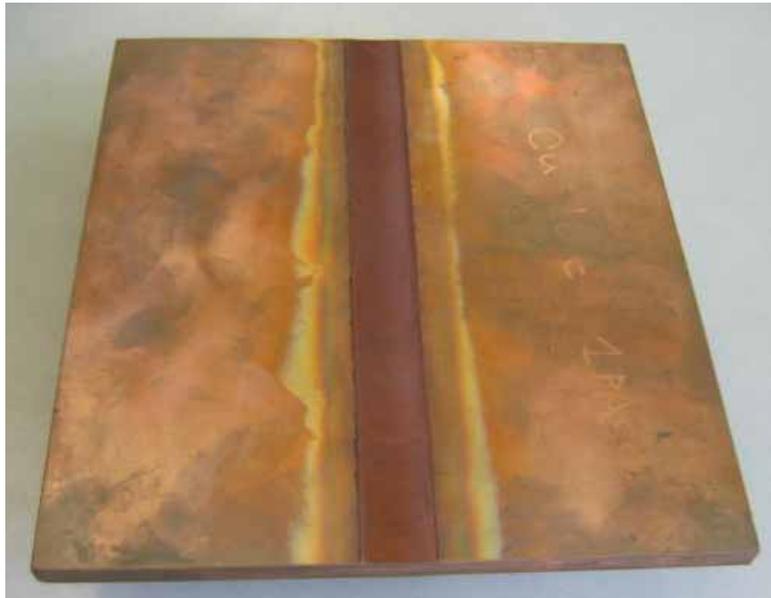
アルミ 6063



アルミ 5052 1t & 2t



アルミ 5052



C 1020 10t

FSW例-2



C 1020 10t & 6t

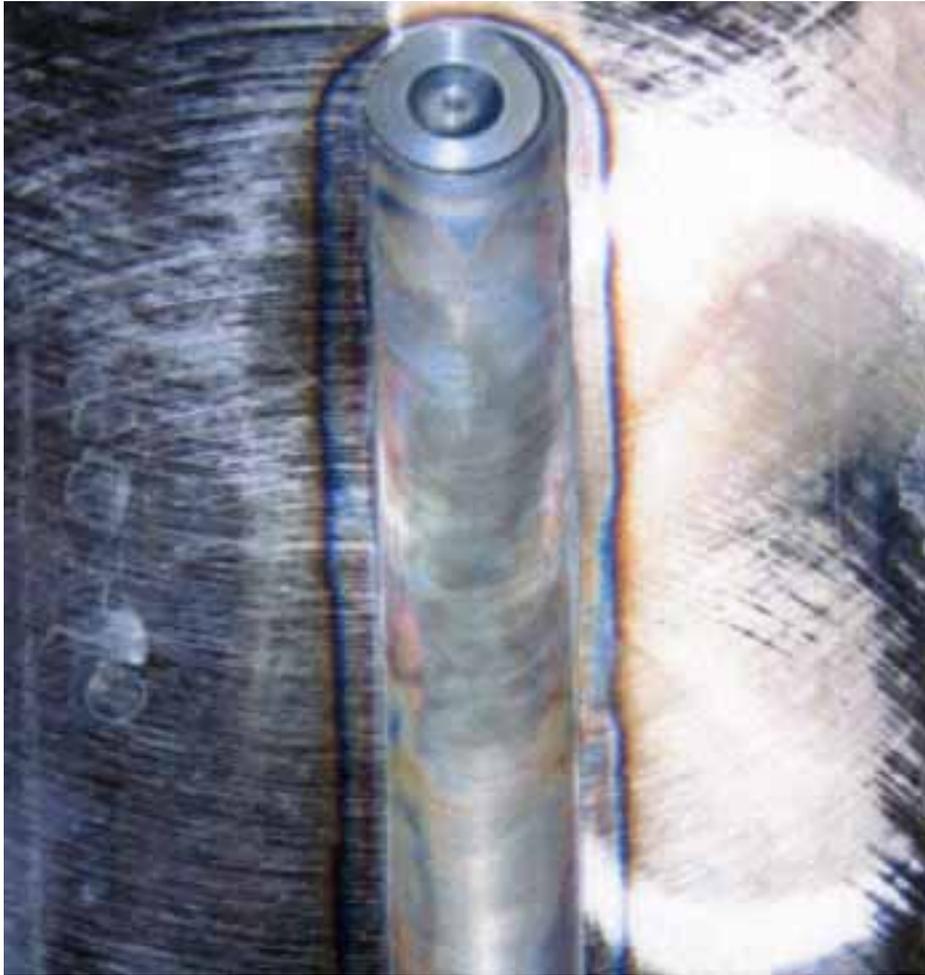


Al 5052 6t



C 1020 3t

FSW例-3



S S 400 6t

製品例-1



接合中の状況



使用した治具



真空容器

(マグネシウム合金) (アルミニウム合金)

製品例-2



FSW

FSW

熱シールド下板 C 1020 8t



表面



裏面

製品例-3



熱シールド
(レーザ溶接 & FSW)



熱シールド C 1020 1t



C 1020 1t 拡大部分

FSW

製品例-4



固定治具



接合中



円板接合終了

製品例-5

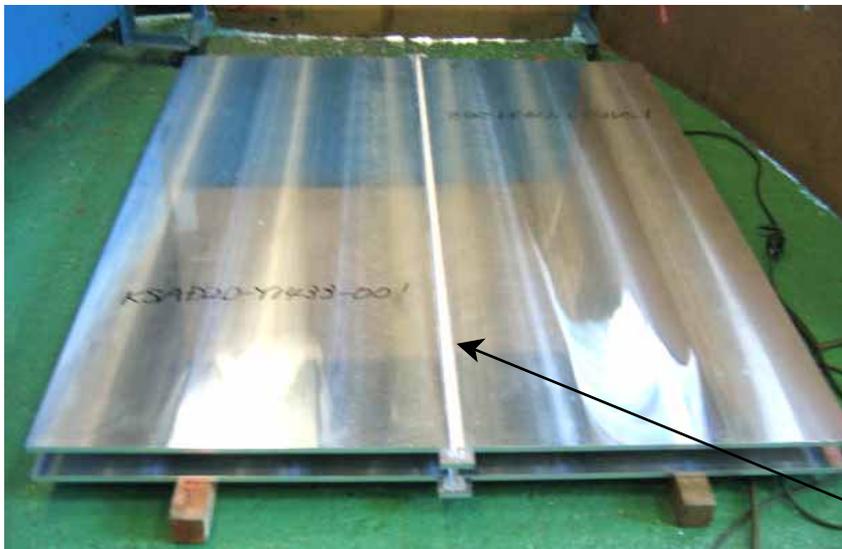


ターゲット材用治具



接合中拡大写真

液晶ディスプレイ配線膜
生成用ターゲット材
(アルミ合金)



FSW

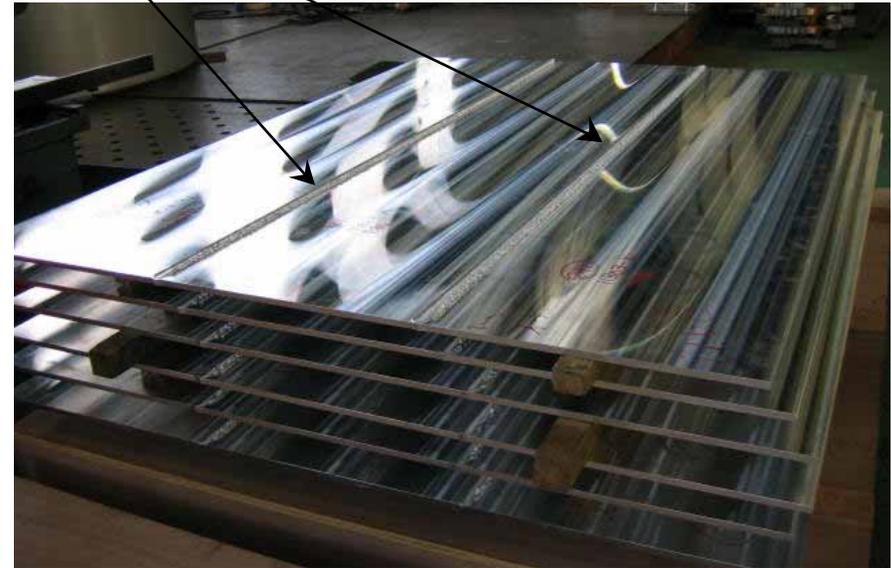
A 社

製品例-6

FSW



ターゲット材用治具



液晶ディスプレイ配線膜
生成用ターゲット材
(アルミ合金)

B 社

製品例-7

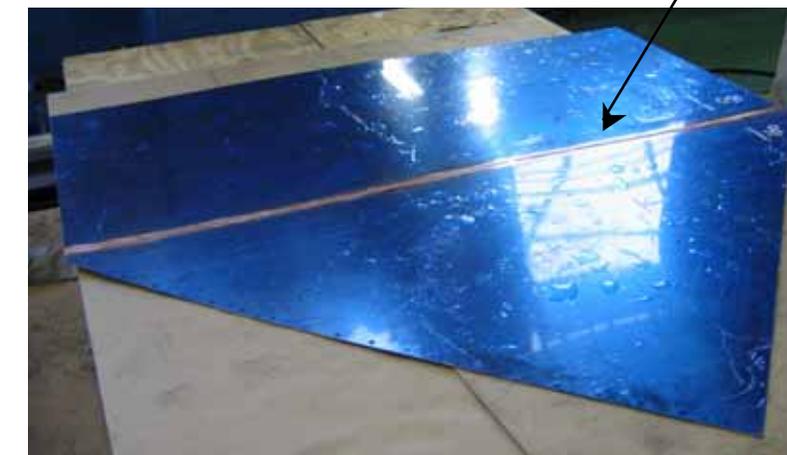


アースプレート用治具



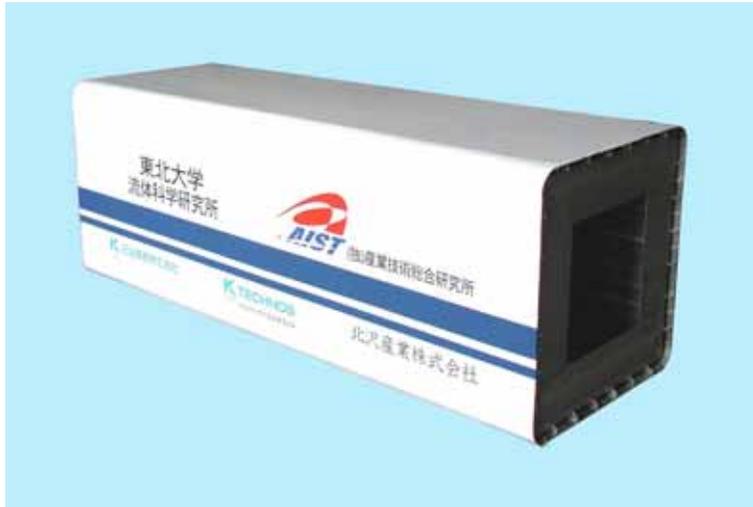
接合中拡大写真

FSW

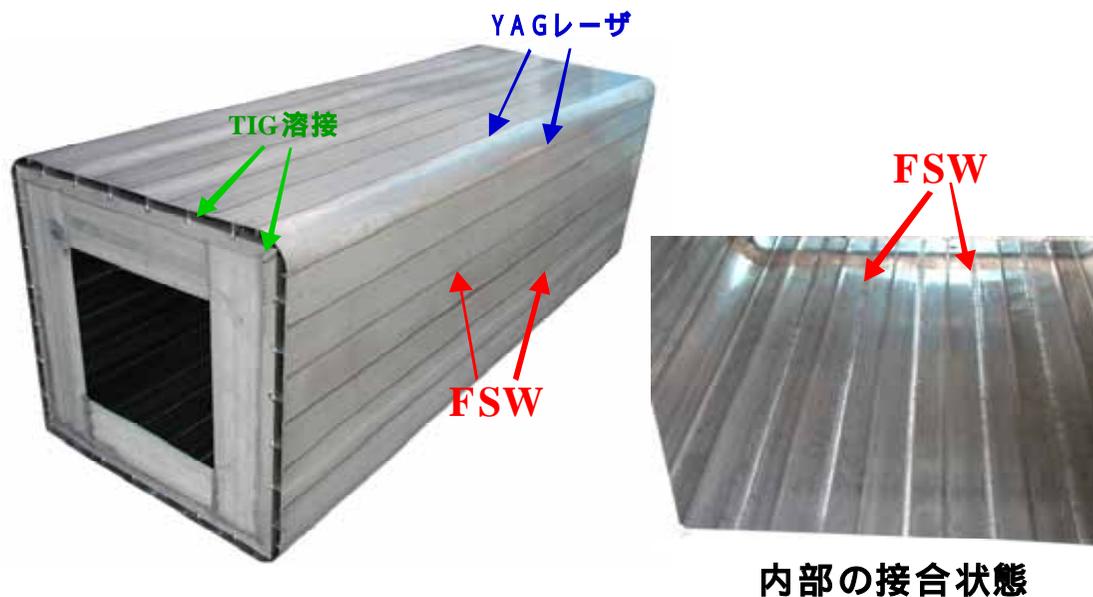


サイクロトロン用アースプレート(2t)

製品例-8



難燃性マグネシウムエアロトレイン



・摩擦攪拌接合・TIG溶接・
YAGレーザー溶接を組合わせて
試作した長さ2m - 73cm角の
エアロトレインの基本ユニット

性合金
燃ネ
難マグ

FSW法で強固に接合

産総研など 車用大型品を製作

【名古屋】産業技術総合研究所基礎素材研究部門は11日、兵庫県立工業技術センター、さくらい工業（兵庫県姫路市）と共同で、摩擦かくはん接合（FSW）という方法を用いて、難燃性マグネシウム合金を強固に接合する技術を完成したと発表した。難燃性マグネシウムの板材をFSWで組み立て、自動車用ルーフボックス（写真）のような大型製品の製作に成功。同技術によりマグネシウムの利用拡大につながるとしている。

FSWは回転する特殊な工具をワークに当てて行う摩擦熱と機械的かくはんを利用した板材の接合方法で、アルミニウム合金での利用が多い。マグネシウム合金の板材は割れやすいため、大型サイズの接合が難しかったが、今回、工具の回転数や形状などを工夫して、材質を損なわずに接合できるようになった。



製作したルーフボックスは幅約100センチの板材をFSWによって接合して組み立てた。大きさは2000センチ×670センチ×270センチ。従来品の繊維強化プラスチック（FRP）製と比べると、重量が約25%軽量化できた。今後は技術向上を図り、レジャー用品や自動車用部材、家電製品向けなどに応用していく。

ルーフボックス (難燃性マグネシウム合金)



FSW

- ・自動車用ルーフボックスは主として、摩擦攪拌接合を用いて試作した。なお、曲線部分はYAGレーザー及びTIG溶接を用いた。



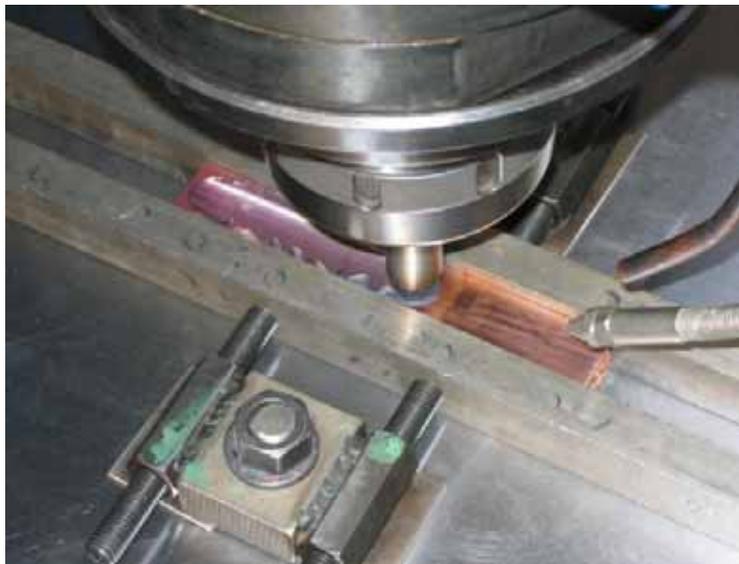
組み立てたルーフボックス



塗装仕上げしたルーフボックス



表面の気孔 ↓



銅の表面改質

結 言

1. 高品質・高精度なものづくりに於いてはいろんな接合法を組合わせて用いる事により可能となる。
2. 単なる接合だけでなく『組立て法』の一つとして展開を行っていきたい。
3. あらゆる産業に用いられる接合(溶接)構造製品の製作に於いて独創性のある最良のものづくりを追求する。
4. 常に新しい接合法、及び生産技術の研鑽・開発に努める。
5. 先人の技術・知恵・工夫には、これを用いると簡単にものが出来たり、新しい発想のもとになるものが必ず存在するのでこれらを反復履修する。
6. 接合分野の近い将来を常に念頭において事前の対応を行う。