

# 摩擦面の移動現象が摩擦充填接合性に及ぼす影響

日大生産工（院） ○實方 将仁  
日大生産工 加藤 数良

## 1. 緒言

摩擦圧接では、断面積が異なる丸棒の組合せやスタッド接合において、接合中に摩擦面の移動が生じる<sup>1),2)</sup>。この摩擦面の移動現象を利用した、摩擦充填接合（Friction Hydro Pillar Processing：FHPP）は摩擦圧接と同様に固相接合であり、異種材料の接合が可能である。鑄造欠陥や溶接欠陥等の穴補修や部分改質の手段として有用であると考え、研究報告は少なく、摩擦面の移動現象との関係など不明な点も多い。

本研究では、5種類のアルミニウム合金を用いてスタッド摩擦圧接とFHPPを行い、組成の違いと摩擦面の移動現象の関係を明らかにし、摩擦充填接合性との関係を検討した。

## 2. 供試材および実験方法

供試材には、2017-T4, 2024-T4, 5052-H34, 6061-T6, 7075-T6511 アルミニウム合金を用いた。FHPPの基材は2024合金板（板厚10mm）を Fig.1 に示す寸法に機械加工したものを、充填金属には直径9mmの各合金丸棒を長さ80mmに機械加工したものをを用いた。スタッド摩擦圧接は、基材に2024合金板（板厚5mm）を用い、ロッドには直径20mmの各合金丸棒を長さ80mmに機械加工したものをを用いた。FHPPおよびスタッド摩擦圧接には、数値制御全自動摩擦圧接機を使用した。Table 1 にFHPPの実験条件を示す。スタッド摩擦圧接の接合条件は  $N=41.7s^{-1}$ ,  $P=30MPa$ ,  $t=3s$  とし、摩擦面の移動現象を明確にするため、アプセット圧

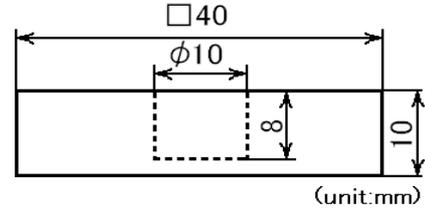


Fig.1 Shape and dimensions of FHPP specimen.

Table 1 FHPP conditions.

Rotational speed	N	(s <sup>-1</sup> )	41.7, 66.7
Friction pressure	P	(MPa)	30, 90
Friction time	t	(s)	3

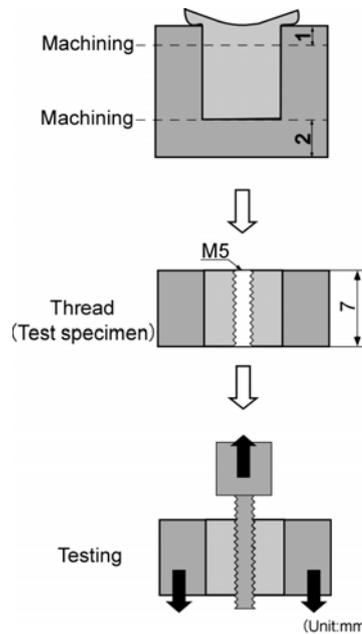


Fig.2 Illustration of pull-out test.

力は付与しなかった。得られたFHPP材の外観観察、組織観察および引抜試験を行った。引抜試験の概略図を Fig.2 に示す。引抜試験は

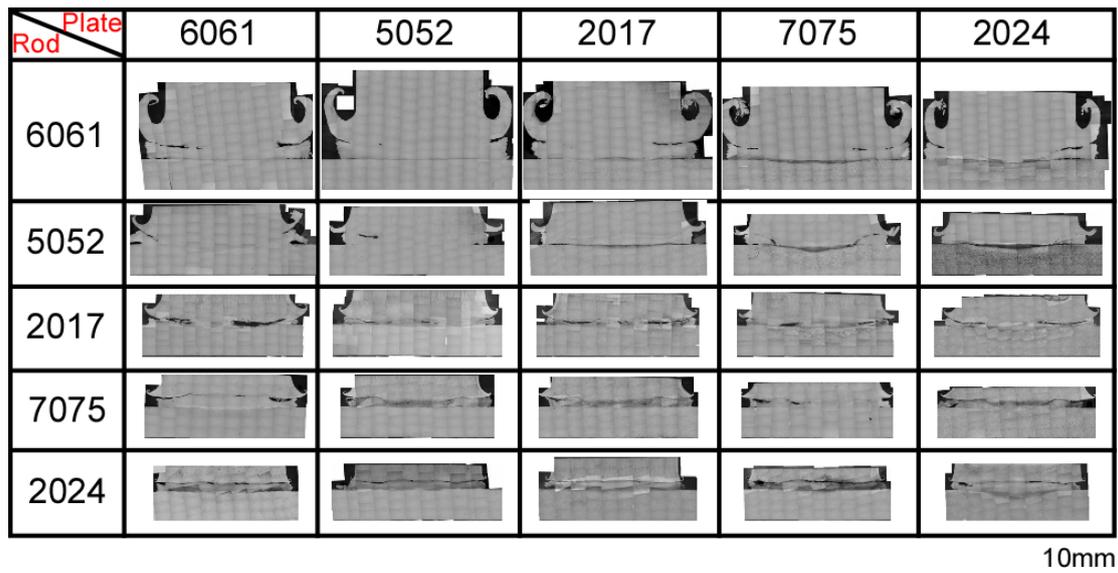


Fig.3 Macrostructures of FW joint.

FHPP材の上部1mm、底部2mmの基材部分を面削した後、充填中心部にM5のねじ加工し、ねじ状のジグを用いて試験した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 スタッド摩擦圧接

Fig.3にスタッド圧接継手の横断面巨視的組織を示す。全組合せにおいて摩擦面の移動現象が確認された。また、移動した金属部には摩擦肉盛りやFHPPと類似の層状組織が観察され、アプセット圧力を付与していないために層間の一部に空隙が認められるものもあった。移動した金属の幅はロッド直径よりも大きくなる傾向にあり、基材材質の違いによる差異はほとんどなく、6061合金ロッドを使用した場合が他の合金に比較して、ばりおよび界面移動量ともに大きくなった。

Fig.4に摩擦面の移動量を測定した結果を示す。測定は図中に示す位置で行った。摩擦面の移動量は使用したロッド材質の中で高温強度が最も低い6061合金ロッドが最大値を示し、次いで5052合金ロッドであり、高温強度の高い2017, 2024, 7075合金は移動量も小さく、その差も小さかった。

継手の全寄り代は、本実験ではアプセット圧力を付与していないことより摩擦寄り代と

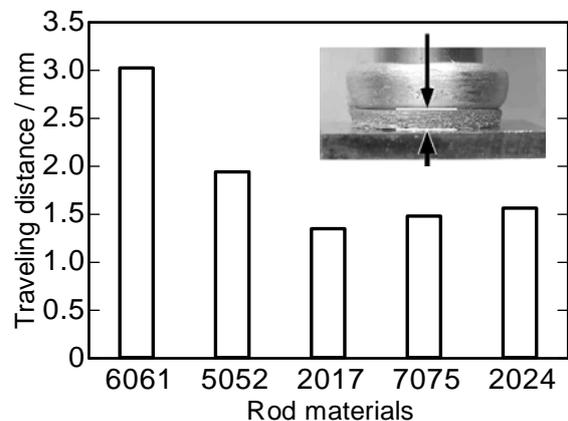


Fig.4 Traveling distance of frictional plane of FW joint.

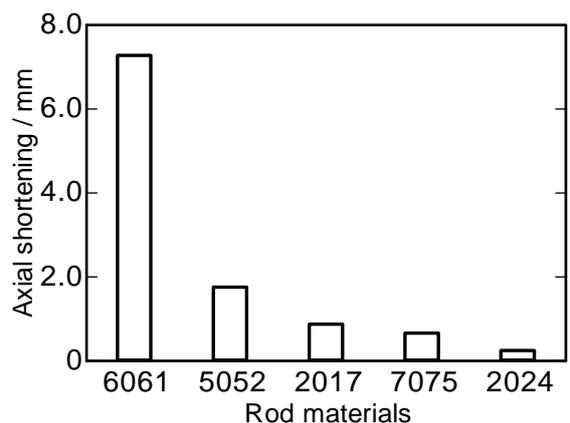


Fig.5 Axial shortening of FW joint.

等価である。その測定結果をFig.5に示す。寄り代はFig.4に示す移動量と類似した傾向を示し、6061合金が最大値を示し、2017, 2024, 7075合金の差は小さかった。6061合金が摩擦

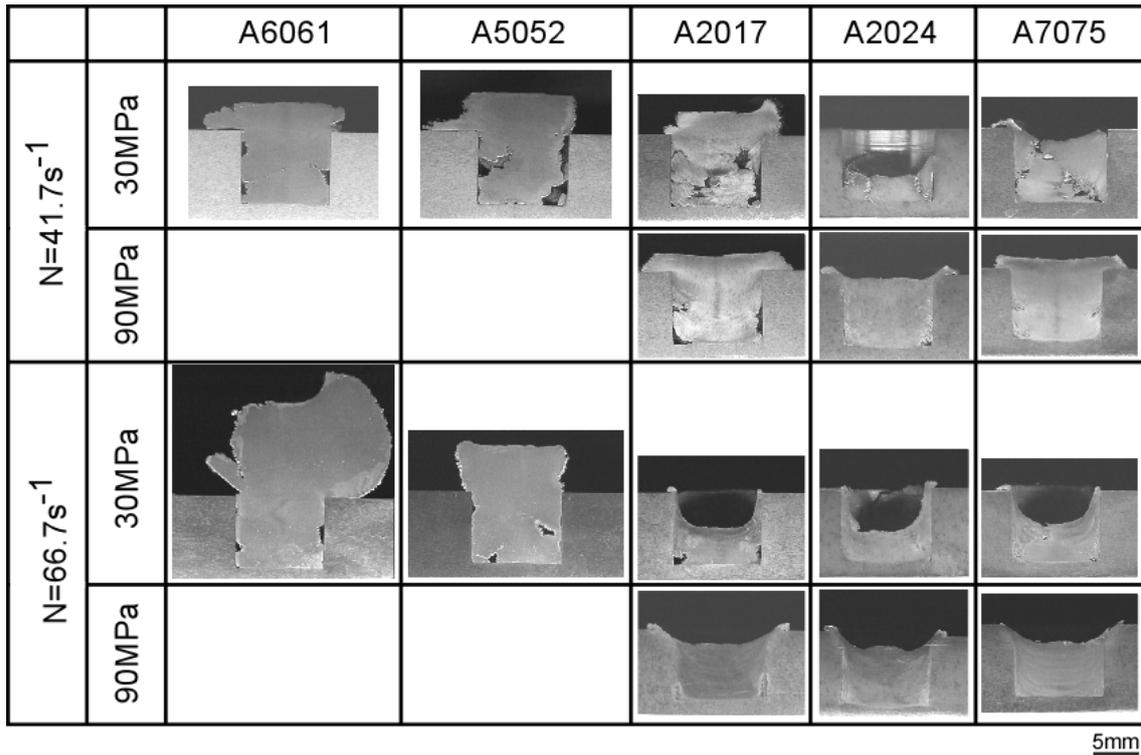


Fig.6 Macrostructures of FHPP joint.

面の移動量および寄り代ともに大きな値を示したことは、他の合金に比較して高温強度が低く、熱伝導率が高いことによるものと考えられる。

### 3.2 摩擦充填接合 (FHPP)

Fig.6 に得られた FHPP 材の横断面巨視的組織を示す。図中に示していない条件では、充填材が接合中に挫屈し充填できなかった。全条件で充填部は層状の組織が観察され、摩擦面の移動により生じた部分と酷似した組織形態であった。回転数 41.7s<sup>-1</sup>、摩擦圧力 30MPa の条件では全合金で充填部に未充填部が発生した。この未充填部は摩擦圧力を大きくすることにより減少する傾向にあるが、摩擦圧力を大きくすると高温強度の低いロッドでは挫屈が生じる。また、高温強度の高いロッドを用いた場合でも、2017 合金、2024 合金では穴底部に未充填部が観察された。

回転数の大きい 66.7s<sup>-1</sup> の条件においても類似の傾向を示した。摩擦圧力 30MPa では 2024 合金および 7075 合金は穴上方までは充填されなかったが、未充填部は認められな

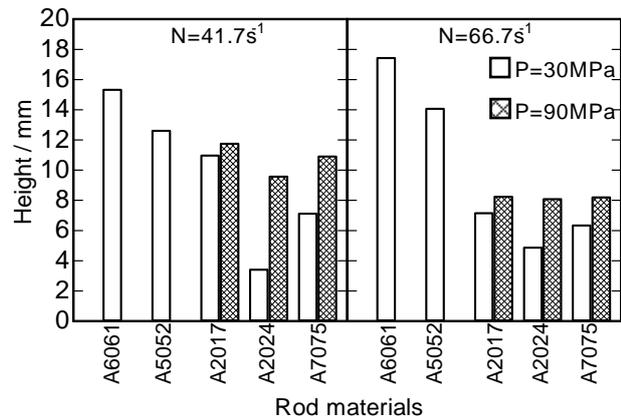


Fig.7 Height of filling metal of FHPP joint.

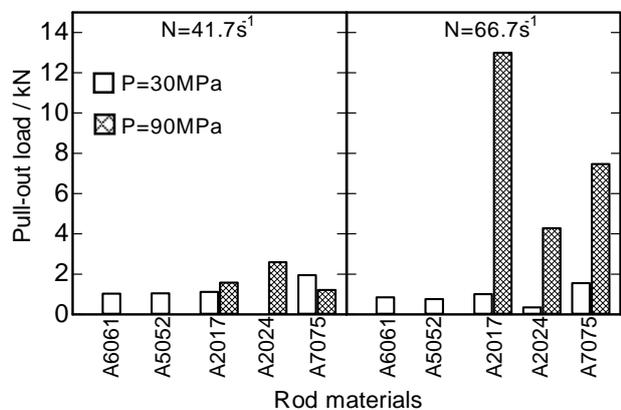


Fig.8 Result of pull-out test of FHPP joint.

った。摩擦圧力 90MPa では 2017, 2024, 7075 合金ともに底部の未充填部もなく完全に充填が終了した。

Fig.7 に FHPP 材中心部の高さを充填高さとして測定した結果を示す。回転数の大小に関係なく、摩擦圧力 90MPa で健全な充填ができた 2017, 2024, 7075 合金は摩擦圧力 30MPa に比較して充填高さは高くなった。また、6061 合金および 5052 合金においても回転数の増加により充填高さは高くなる。しかし、いずれも穴深さ 8mm を越える値であり充填材が穴上部に盛上がった状態で、この部分は穴の充填には寄与していない。充填材の回転数  $66.7s^{-1}$  では、2017, 2024, 7075 合金の充填高さは約 8mm と穴上部まで、ほぼ充填されている。

Fig.8 に引抜試験結果を示す。図中に示していない条件では、試験片加工時に破断し、試験ができなかった。摩擦面の移動量の大きい素材で引抜荷重は小さく、移動量の小さい素材は引抜荷重が大きくなった。Fig.6 で未充填部が観察された条件の引抜荷重は著しく低下した。回転数  $41.7s^{-1}$  の条件では 2024 合金が最大値であるのに対し、回転数  $66.7s^{-1}$  では、2017 合金で最大値を示した。また、7075 合金においても条件を選定することにより引抜荷重は増加する。これらのことより、個々の素材材質により適正条件が存在するものとする。そこで、各素材の適正条件範囲での検討を行った。5052, 6061 合金は、適正条件範囲内においても未充填部が観察され、引抜荷重も低い値を呈し、5052, 6061 合金は FHPP に不向きであるとする。

以下に 2017, 2024, 7075 合金の 3 種についての検討結果を示す。

Fig.9 に適正条件範囲での充填高さを測定した結果を示す。充填高さは摩擦圧力および摩擦時間の増加に伴い減少するが、素材材質の違いによる差は小さかった。

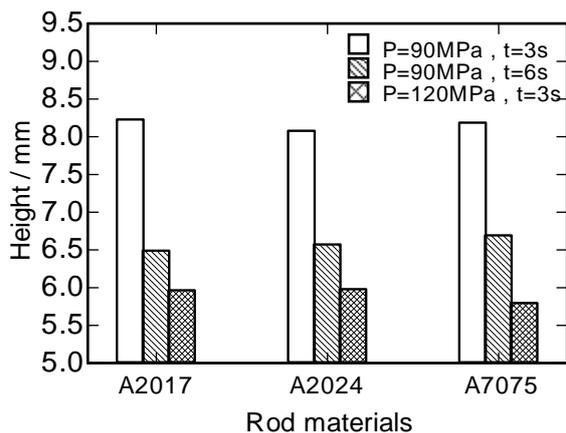


Fig.9 Height of filling metal of FHPP joint.

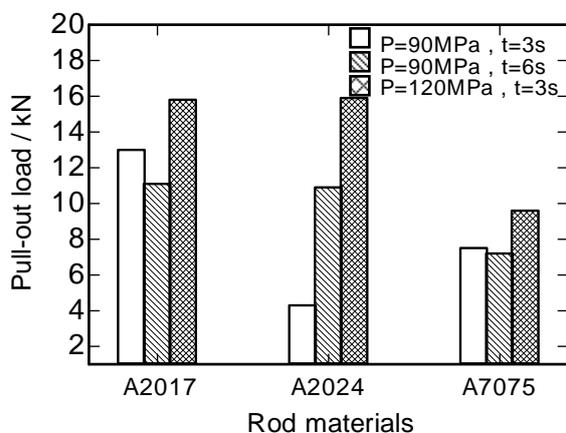


Fig.10 Result of pull-out test of FHPP joint.

Fig.10 には適正条件範囲での引抜試験結果を示す。摩擦時間の増加に伴い引抜荷重は減少し、摩擦圧力の増加に伴い向上した。素材によって差は認められるが、引抜荷重の向上には摩擦時間に比較して摩擦圧力が大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。また、2017 合金は、摩擦圧力、摩擦時間に関係なく、安定した高い値を示し、FHPP に適した合金と考える。

#### 参考文献

- 1) 植草 邦夫, 佐藤 次彦, : 溶接学会誌, 50(1981), 10.
- 2) 實方 将仁, 加藤 数良, 時末 光, : 溶接学会全国大会講演概要 80(2007), 138.