

# 高生産性・高強度異種金属接合を実現する 低温高速固相接合プロセス「鍛接法」の開発

## ■研究者のプロフィール

富山県産業技術研究開発センター  
ものづくり研究開発センター  
機能素材加工課 副主幹研究員

やまぎし ひで き  
**山岸 英樹**

TEL : 0766-21-2121

E-mail : yamagisi@itc.pref.toyama.jp

URL : http://www.itc.pref.toyama.jp



## 研究シーズの概要

### 異材接合における問題点と解決法

一般に異種金属の熔融溶接では、脆弱な金属間化合物 (Intermetallic compound : IMC) が容易に形成され、十分な接合強度が確保できません。このため母材を溶かさないうるさまざまな固相接合法<sup>\*1</sup>がIMCの成長抑制のために試みられていますが、生産性や接合強度の点で製品形態によっては十分なプロセスとはなっていない場合が多く見られます。このようななか、筆者は汎用プレス機を利用して、生産性が高く、またIMCの厚みを強度低下の懸念が無い「数nm~100nm程度 (メゾスコピック領域<sup>\*2</sup>)」に抑制することで無害化し、高強度異種金属接合を実現する新たな低温固相接合プロセスの開発に成功しました (PCT/JP2021/003018)。

この幅広い製品展開が期待できる「プレス加工による次世代の高速固相接合プロセス (鍛接法)」について、その接合原理や特徴などを簡単に紹介します。

本法は、マルチマテリアル化に適したハイスループトプロセス (高生産性工法) となります。

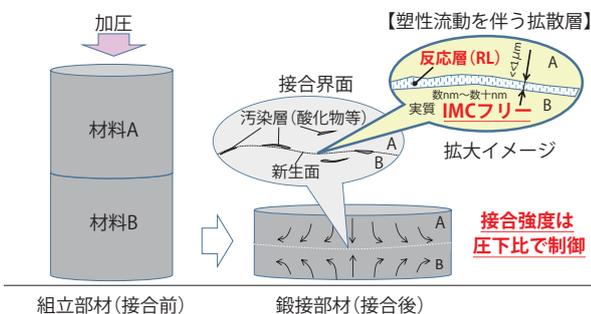


図1 鍛接加工原理イメージ

### 鍛接法の原理・特徴

鍛接法の接合原理イメージを図1に示します。本法は、塑性流動<sup>\*3</sup>を伴う拡散反応をその接合機構とします。適切に予熱した部材を加圧することで、自然酸化被膜等の汚染層を塑性流動により接合界面から除去し、新生面あるいはそれに近い清浄面において比較的「低温」で短時間拡散接合するものです。

これにより、この接合界面の反応層は極めて薄く抑制できます。例えばFe-Al系IMCにおいて強度低下の目安とされるその厚さは1μm程度ですが、本法ではこれが桁違いに薄く、強度低下の懸念がないレベル (メゾスコピック領域) となります。大気中における簡単なプロセスでありながら、加圧形態に応じて高速かつ高強度に面接合あるいは選択的な点接合を実現します。

本法の大まかな利点として以下のことが挙げられます。①材料を溶かさず大気中で加圧して接合 (シンプルで省エネ、不活性ガスなどは不要、どのようなプレス機でも可能)、②接合界面の反応層の厚みをナノスケールに抑制 (IMC成長による強度低下を避けられる)、③加圧時間は極短時間 (数十ms~、静的加圧も可)、④研磨前処理不要、⑤幅広い異材接合に適用可、⑥成形とともに接合完了 (さらに歪導入、動的再結晶による高強度化) など。

加工条件のポイントとしては、接合原理が拡散反応であるため、接合界面で新生面を創成するための塑性流動の適切な導入 (材料・歪速度に応じた予熱温度および塑性変形量の管理) と拡散反応に支配的な影響を及ぼす接合界面温度の管理があります。これらの加工条件を実製品に合わせて適切に調整する

\*1 固相接合法：複数の金属を接合する場合、それらの材料を熔融すること無く、固相 (固体) 状態で加圧あるいは加熱しながら加圧して接合する方法。代表的なものとして、拡散溶接、超音波溶接、爆発溶接、ガス圧接、鍛接、摩擦圧接、冷間圧接などがある。

\*2 メゾスコピック領域：中間を意味する用語。物質科学では「バルク」と「ミクロ」の中間領域である5-100nmを指す。

\*3 塑性流動：加工対象の表面にある一定の力と熱が加わると、「割れる」のではなく表面の形状が溶けるように流動化する現象。

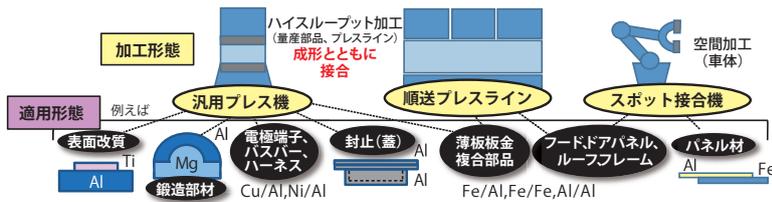


図2 鍛接法利用形態イメージ（塑性加工による「溶接レス」なものづくり）

ことで、図2に示すようなさまざまな利用形態が考えられます。汎用プレス機による高機能部品・高付加価値製品の量産から、順送によるライン生産、さらに車体の組立ラインにおいては空間加工に対応したスポット接合機も実現できると考えられます（塑性加工による「溶接レス」なものづくり）。

### 鍛接法による高強度異材接合界面

シート材の重ね接合に適したスポット鍛接法の例として、Fe/Al継手の例を図3に示します。ともに1mm厚のステンレス鋼SUS304とアルミニウム合金A5083を用い、鍛接径8mmにおいてACサーボプレスにより鍛接加工したものです。なお、接合温度は約430℃、加圧時間は約80msです。この継手強度は塑性流動をダイレクトに表す指標である圧下比（接合前の厚さを接合後の厚さで除した値）で管理できます。つまり本法であれば、接合後であっても肉厚測定により継手強度を全点保証できます。この引張せん断試験について、圧下比を1.8以上とすると破壊形態が接合界面破断から自動車業界で求められる母材破断に移行します。さらに同種材（A5083、t1mm）のスポット溶接部規格（JIS Z3140、A級、約2kN）と照らし合わせても、異材接合でありながらこれを十分に満たします（約4.5kN）。また静的試験同

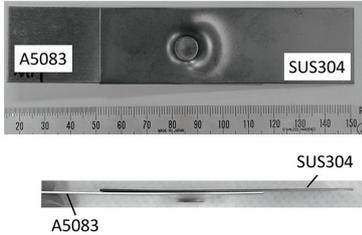


図3 SUS304/A5083 (Fe/Al) スポット鍛接継手

#### 適用領域(研究キーワード)

- ◎ 異材接合（マルチマテリアル）
- ◎ 低温固相接合
- ◎ 鍛接

#### 産業界へのメッセージ

本法は、予熱及び塑性流動を考慮した金型により汎用プレス機での加工が可能です。例えば、銅とアルミニウムから成る電気部品、鉄鋼とアルミニウム合金を組み合わせた板金部品、アルミニウム合金をチタンで表面改質した鍛造部品、銅製ヒートシンクやアルミニウム合金ケースの封止加工などが想定されます。さらに、自動車組立ラインでは、マルチマテリアル化を推し進める次世代の高速固相スポット接合装置(スポット鍛接装置)が実現できると考えられます。本鍛接法は、従来の材料制限、加工形態及び生産性を打ち破る次世代の高速・高強度異材接合法として幅広い製品への活用が期待できます。

産官連携をお考えの方は当研究所までお問い合わせください。

様、疲労試験においても破壊形態は母材破断となり、実用強度上も問題がないことを確認しています。

この高強度Fe/Al鍛接部材の接合機構を理解するための接合界面断面の詳細観察結果を図4に示します（圧下比約2における電子顕微鏡画像）。反応層の厚みは10nm程度と非常に薄く、また比較的均一であることが分かります。数値計算では、強度低下が大きく懸念されるFe-Al系IMCの厚みを1 $\mu$ mと仮定した場合、IMCが1 $\mu$ mに成長するまでの計算時間は、アルミニウム合金の融点相当の873K（600℃）では約0.6秒と短時間であるのに対し、本スポット鍛接の条件では約330秒と桁違いに長くなります。従来Fe/Alの異材接合に試みられている手法、例えば抵抗スポット溶接法では、接合界面の新生面を積極的に創成するものではないことから、本法と比較すると大きい入熱が必要であり、そのためIMCの成長が急激で薄い抑制が困難であると言えます。一方、本法は大荷重を負荷し、塑性流動により接合面に新生面を形成する「低温」の接合法であるため、IMCを制御する上で非常に時間的裕度が大きいプロセスとなります。言い換えれば、低温かつ極短時間のプロセスが従来の研究開発手法では極めて困難だったメゾスコピック領域の反応層厚を実現します。すなわち「実質IMCフリーの接合法」となります。

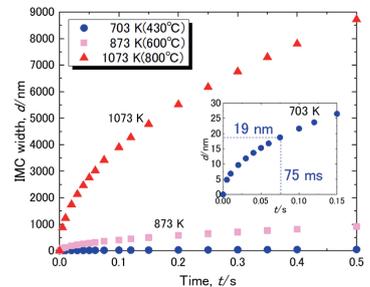
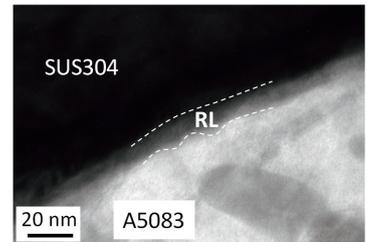


図4 Fe/Al鍛接界面の詳細とIMC成長挙動(計算値)

#### 利用が見込まれる分野

- ◎ モビリティ
- ◎ 電池
- ◎ 鍛造・板金部品
- ◎ 接合機

◎北陸経済研究所 米屋 TEL: 076-433-1134