

【学術賞受賞者講演】

摩擦接合について

[機械材料・材料加工部門 功績賞 (一般社団法人日本機械学会) 平成26年9月8日
溶接学術振興賞 (一般社団法人溶接学会) 平成27年4月23日]

日大生産工 ○加藤 数良

1 まえがき

機械工学の分野では、摩擦は機械効率の低下を始めとし種々の問題を引き起こす。このため、加工精度の向上、潤滑などの方法によりこれを排除する検討が古くより行われている。摩擦接合は、この摩擦による発熱を利用して接合を行う方法であり、摩擦による焼き付き現象を接合に応用したものである。著者は、この摩擦発熱現象を利用した摩擦接合を長年に亘り研究テーマとして各学会で発表したことを認められ2つの学会より受賞したものと考えている。

本報告ではこれまで携わってきた摩擦接合について紹介する。

2 摩擦接合の種類とその概要

摩擦接合のなかで最も古くから知られている接合法は摩擦圧接 (Friction welding) であり、1957年ソ連電気溶接研究所で発表され、1961年に日本に紹介されて以来、自動車、電気機器等の部品の製作に実用化されており、1964年には現在の摩擦接合技術協会の前身となる摩擦圧接研究懇談会が設立されている¹⁾。その後、表面改質などを目的とした摩擦肉盛 (Friction surfacing)²⁾ が紹介されている。新しい摩擦接合として1991年に TWI (英国溶接研究所) で発明された摩擦攪拌接合 (Friction stir welding : FSW)³⁾ があり、摩擦圧接は丸棒の接合が主体であるが、FSW は板材の接合法として紹介され、急激に発展し現在では航空機、自動車、鉄道車両など広く実用化されている⁴⁾。摩擦充填接合

(Friction hydro pillar processing : FHPP)⁵⁾、FSW を応用した摩擦シーム接合⁶⁾、回転円板を使用した摩擦接合⁷⁾ などが摩擦応用接合法として研究されており、さらに摩擦圧接を応用した摩擦突起生成法⁸⁾、摩擦固化成形法⁹⁾ などがある。以下にその概要を述べる。

2.1 摩擦圧接

現在利用されている摩擦圧接には回転摩擦によるものが主体であり、ブレーキ式、フライホイール式の2種類で、その多くはブレーキ式の摩擦圧接である。ブレーキ式摩擦圧接は、図1に示す工程を経て継手を作成するものであり、少なくとも組合せる一方を回転させる必要があり、一般には円形断面を持つ素材に適用されている。固相での接合であり、接合雰囲気を選ばず、異種材料の接合が可能であり、ラインに組込めるなどの特徴がある。また、発熱は接合界面のみでありエネルギー効率が良い。近年では、位相制御ができ、角材の接合も可能となった。6063アルミニ

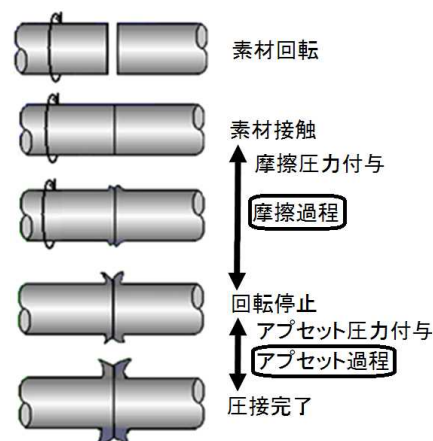


図1 摩擦圧接の接合工程

Friction Joining

Kazuyoshi KATOH



図2 6063アルミニウム合金位相制御摩擦圧接継手の外観(□25)

ウム合金角材を用いて位相制御摩擦圧接した継手外観の一例を図2に示す¹⁰⁾。

2.2 摩擦攪拌接合 (FSW)

FSW はプローブと呼ばれる突起を持つ円柱状工具を、突合せ、あるいは重ね合わせた素材の中に回転させながら挿入し、接合線に沿って移動させることにより接合を行うもので、立フライス盤のごとく、工具を回転し、素材を移動させる機能があれば接合可能である。接合雰囲気を選ばない、異種材料の接合が可能など摩擦圧接と類似した特徴を持つ。また、固相接合であり、摩擦圧接に比較して低温での接合が行われるために薄板の接合を行っても溶融溶接などに比較して変形が少ないのも特徴である¹¹⁾。さらに、接合を開始点のみの点接合としての摩擦攪拌点接合 (Friction stir spot welding : FSSW) も自動車などに実用化されている¹²⁾。

FSW の接合様式の模式図を図3に、回転工具形状の一例を図4に示す。FSW は接合時には工具を回転させながら移動するために、回転方向と移動方向が同一となる側 (Advancing side : AS)、逆側 (Retreating side : RS) で攪拌の状態が異なる。このため、異種材料の組合せでは接合時の材料配置により継手性能が異なるため検証が必要となる。2024アルミニウム合金同種材¹³⁾ および2024アルミニウム合金と5052アルミニウム合

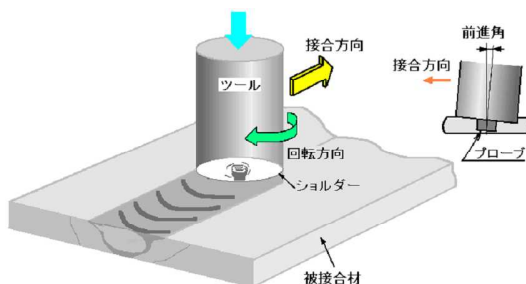


図3 FSWの接合様式

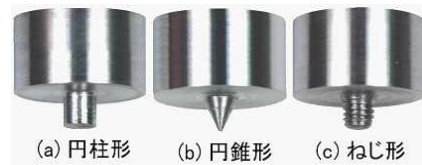


図4 回転工具形状の一例

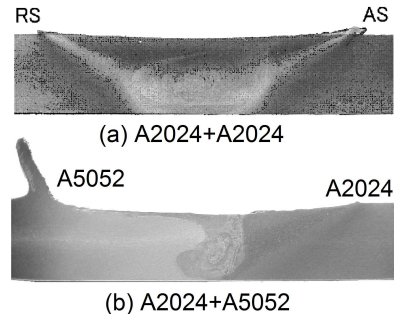


図5 FSW 継手の巨視的組織

金を組合せた FSW 継手¹⁴⁾ の巨視的組織を図5に示す。

2.3 摩擦肉盛と摩擦充填接合

摩擦肉盛と摩擦充填接合は接合が主目的ではなく、摩擦圧接では組合せる素材の摩擦面の大きさが異なる場合接合界面の移動が生じる。この現象を摩擦肉盛では表面改質に、摩擦充填接合は穴埋めに適用した技術である。摩擦肉盛の様式を図6に、肉盛材の外観と巨視的組織の一例¹⁵⁾ を図7に、摩擦充填接合の様式および充填材の断面¹⁶⁾ を図8, 図9に示す。いずれの方法も摩擦圧接や FSW と同様に異種材料を組合せることが可能である。摩擦肉盛では、異種



図6 摩擦肉盛の様式

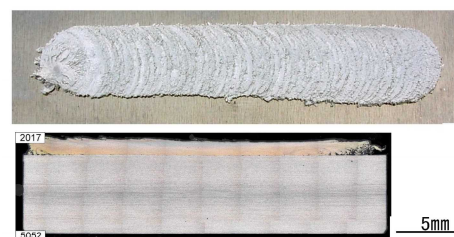


図7 A5052 上に A2017 を摩擦肉盛した外観と巨視的組織

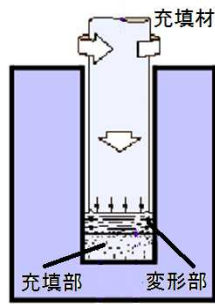


図8 摩擦充填接合の様式



図9 摩擦充填接合材

(基材:A5052, 充填材:A2024)

材料の摩擦肉盛材を圧延することにより表裏で性質の異なる板材を作成することも可能である¹⁷⁾。摩擦充填接合は、FSWにおいて接合終点部にプローブによる穴が残存する。その穴などをこの摩擦充填接合で穴埋めをするなど加工段階でできた穴の修復や、図9に示すように部分的に高強度な部分が要求される所に適用可能である。

2.4 摩擦シーム接合と回転円板を使用した摩擦接合

前述したように FSW の接合終端部に生成する穴は、回転工具に存在するプローブによるものであり、これを回避するためにはプローブのない回転工具を用いれば穴は残存しない。さらに回転工具の製作は容易であり、実用的にも有利な点があることより考案したものであり、摩擦シーム接合と呼んでいる¹⁸⁾。摩擦シーム接合は一般的には重ね接合に適用するため厚板同士の組合せには適用が困難であるが、摩擦圧接や FSW と同様に固相接合であり、雰囲気を選ばず¹⁹⁾、異種材料の接合も可能であり²⁰⁾、現在では薄板の突合せ接合も可能となった。図10に2017アルミニウム合金(厚さ: 0.8mm)の突合せ摩擦シーム接合継手の巨視的組織を示すように健全な継手が得られている²¹⁾。

回転円板を使用した摩擦接合は FSW や摩擦シーム接合は回転工具の端面を使用し、これを移動させながら接合を行うため、前述したように工具の左右で接合部の状態が異なる。この現象を解決する方法とした回転工具の外周部



図10 2017アルミニウム合金薄板の突合せ摩擦シーム接合継手の巨視的組織 ($t=0.8\text{mm}$, ▼は接合界面)

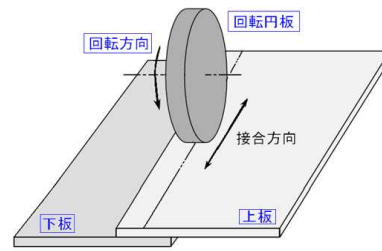


図11 回転円板を使用した摩擦接合の様式



図12 回転円板を使用した摩擦接合継手の巨視的組織 (5052アルミニウム合金, $t=1\text{mm}$, ▼: 接合中心)

を使用することにより解決しようとしたものである。図11にその様式を示すように、摩擦シーム接合と同様に重ね合わせた上板から摩擦発熱と圧力を付与するため上板の板厚に制限がある。図12に5052アルミニウム合金を用いた継手の巨視的組織を示す²²⁾。

2.5 摩擦接合を応用した突起生成と固化成形

接合とは若干異なるが、回転摩擦による発熱を利用した板を成形により任意の場所に突起を生成する摩擦突起生成法²³⁾、および切削屑などを摩擦熱と加圧力により固化成形する方法がある。

摩擦突起生成法は電気器具やパーソナルコンピュータなどの組立において基板等を固定するためのねじ部となる突起を生成することを目的とするもの

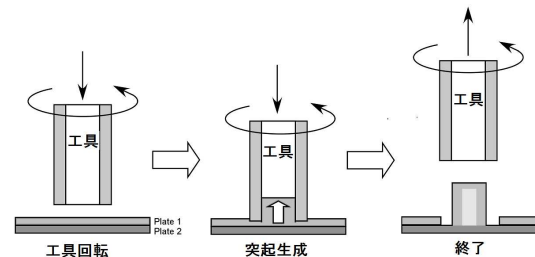


図13 摩擦突起生成法の様式



図14 摩擦突起生成法による突起外観



図15 摩擦固化成形法の様式

で、任意の場所に突起生成が可能であり、基材と突起材の材質が異なる場合でも突起生成が可能であり、金型を使用する従来法に比較して設計変更などにも容易に対応可能である。図13に突起生成の様式を、図14に突起外観の一例を示す^{2 4)}。

摩擦固化成形法^{2 5)}は、リサイクルにおいて切削による切屑は重量に対する体積が大きいために再溶解時に大きなエネルギーを必要とする。このような問題を解決するために切屑を加圧しより大きな固まりとしてリサイクルする方法は実用化されているが、固化成形のままで実用的に使用可能な素材が得られれば、より省エネルギーに有効であることより考案した方法である。摩擦固化成形法の様式を図15に示す。この方法は粉末にも適用でき異種材料を混合した粉末を用いればさらなる効果が期待できる。

3. まとめ

著者が長年手がけてきた摩擦接合にはこの他にも幾つかあるが、産業界などで問題提起されたことや、研究を進める中で生じた問題を解決することは研究においても実用的にも重要なことと位置づけアイデアを出し、実現することが重要であると考え。

参考文献

- 1) 摩擦圧接協会編：摩擦接合技術，日刊工業新聞社，(2006)，p. 1-6.
- 2) 前出文献1)，p. 248-259.
- 3) M.Thomas,E.D.Nicholas,J.C.Need, M.G.Murch, P.Temple-Smith and C.J.Dawes：Inetrnational Patent Application PCT/GB92/02203 and GB Patent Application 9125978.8,UK Patent Office, London, December 6,1991.

- 4) 例えば，篠田 剛：溶接学会誌，82(2013)，P. 384-386.
- 5) A. Meyer：GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH・Geesthacht，(2003)，p. 1-132.
- 6) 加藤数良，時末 光：特許第4346282号，(2009).
- 7) 背尾直彦，加藤数良，時末 光：軽金属，62-3(2012)，p. 93-98.
- 8) 加藤数良：特許第5187886号，特許第5429760号(2013).
- 9) 菅谷 樹，大塚健太，加藤数良：日本機械学会2012年度年次大会講演論文集，(2012)，CD-ROM.
- 10) 野本光輝，加藤数良，時末 光：摩擦接合，13-3(2015)，35-40.
- 11) 岡村久宣：溶接学会誌，69-9(2000)，p. 565-571.
- 12) 加藤喜久生，坂野律男：軽金属溶接，42-11(2004)，p. 530-535.
- 13) 高橋正詞，加藤数良，時末 光：軽金属，61-1(2011)，p. 14-18.
- 14) 仲間 大，加藤数良：軽金属学会第119回秋期大会講演概要，(2010)，p. 107-108.
- 15) Hiroshi TOKISUE, Kazuyoshi KATO, Toshikatsu ASAHINA, Toshio USHIYAMA：Materials Transactions, 47-3(2006), p.874-882.
- 16) 實方将仁，加藤数良：日本機械学会2007年度年次大会講演論文集，No. 1(2007)，565-566.
- 17) 時末 光，加藤数良：特許第4059700号(2007).
- 18) 加藤数良，時末 光，三浦紘一郎：軽金属溶接，45-1(2007)，p. 14-22.
- 19) 水田知宏，加藤数良：第59回塑性加工連合講演会講演論文集，(2003)，p. 165-166.
- 20) 加藤数良，時末 光，三浦紘一郎，関根章弘：溶接学会全国大会講演概要，76(2005)，p. 124-125.
- 21) 中村 海，背尾直彦，加藤数良：軽金属，62-9(2012)，p. 338-343.
- 22) 背尾直彦，加藤数良，時末 光：軽金属溶接，50-12(2012)，p. 480-487.
- 23) 加藤数良：特許第5187886号，特許第5429760号(2013).
- 24) 野本光輝，加藤数良，嵐田裕樹：設計工学，49-7(2014)，p. 331-337.
- 25) 大塚健太，仲間 大，加藤数良：軽金属学会第120回秋期大会講演概要，(2011)，p. 71-72