

異なる金属を接合する

—摩擦攪拌接合法による異種金属接合—

全く異なる種類の金属材料を接合できれば、これまでと違った新しい製品を作ることが可能になります。今回は、最近注目されている摩擦攪拌接合法を利用した、異種金属接合の研究についてご紹介します。

異種金属溶接・接合の問題点

近頃は、単独の金属のみを使った部品だけでなく、それぞれの金属材料が持つ性質を組み合わせ、性能を向上し、コストを下げた部品の作製が試みられています。その際には異なる金属の溶接や接合が必要となることが多いのですが、金属材料の組み合わせによっては、十分な接合強度を確保することが難しいのが現状です。例として、アルミニウム溶接用のA4043相当の溶接棒を使用し、チタンとアルミニウムとをTIG溶接した断面を図1に示します。溶接金属とチタンとの接合界面に金属間化合物が生成し、その中で割れているのが見られます。異種金属接合部の強度と信頼性の確保において、最も問題となるのがこの金属間化合物の生成です。金属間化合物は、非常に硬くて脆く、ほとんど伸びないといった性質を持っています。そのため、金属間化合物が多く生成した場合には、変形や衝撃などで、簡単に脆性破壊する問題が生じます。つまり、高強度な異種金属接合部の作製には、硬くて脆く、伸びない金属間化合物をいかにして減らすかが、重要なポイントとなります。

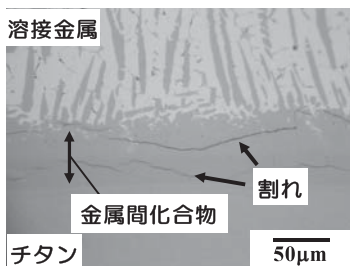


図1 純チタンとアルミニウム用溶接棒による溶接金属との接合界面

厚い金属間化合物 (TiAl₃) が生成して、割れが生じている

固相接合法の異種金属接合への適用

金属間化合物の生成を抑制するには、母材の溶融をできるだけ減らすことが有効です。固相

のまま接合を行う固相接合法は、有効な異種金属接合法として注目されています。その中でも、摩擦熱を利用した摩擦攪拌接合法は、従来から利用されている摩擦圧接法と接合原理が大きく異なり、板材の重ね接合や突合せ接合が可能な新世代の固相接合プロセスとして注目されています。

摩擦攪拌接合法とは

摩擦攪拌接合法 (Friction Stir Welding : FSW) は、英国溶接研究所 (TWI) で1991年に開発された固相接合法です。この方法の概要を図2に示します。

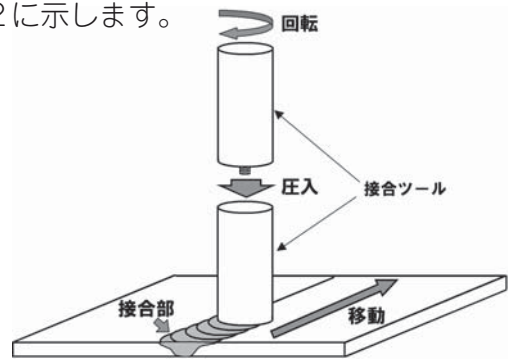


図2 摩擦攪拌接合法(突合せ接合)の概要図

二枚以上の板の重ね接合も可能

摩擦攪拌接合法は、回転する接合ツールを接合したい位置に差し込み、摩擦熱で温度を上昇させて母材を軟化し、接合ツールの回転力によって軟化部を攪拌して一体化する接合法です。この方法でA5052アルミニウム合金を重ね接合した断面のマクロ組織を図3に示します。上下のアルミニウム合金が攪拌によって一体化しているのがわかります。この方法は融点以下の温度で接合することが可能で、接合部が溶けないことが大きな特徴です。異種金属接合では、この融点以下の温度での接合であることが、硬くて脆い金属間化合物生成の抑制に大きく影響します。

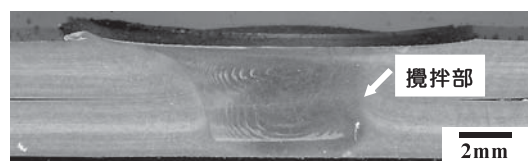


図3 A5052アルミニウム合金重ね摩擦攪拌接合部の断面マクロ組織

カップ状の濃い灰色が、攪拌によって一体化した部分(攪拌部)

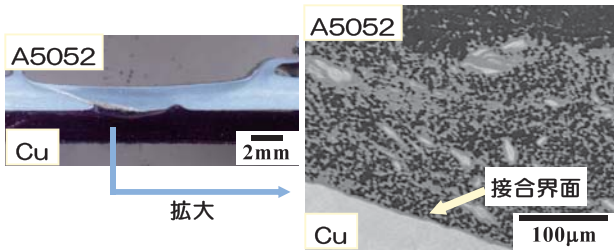


図4 A5052合金とタフピッチ銅の重ね摩擦攪拌接合部の断面(左)と接合界面のSEM像(右)

摩擦攪拌接合法による異種金属接合

図4に、摩擦攪拌接合法によるタフピッチ銅とA5052アルミニウム合金との重ね接合部の断面を示します。アルミニウムを上側、銅を下側に配置して重ね接合したものです。この方法でも、攪拌しすぎると多量の金属間化合物が生成し、接合部は脆化します。しかし、溶接法と比較して接合温度が低いために、接合条件設定による入熱量の制御が行いやすく、金属間化合物を作りやすい銅とアルミニウムの組み合わせであっても、金属間化合物の生成を抑制することが比較的容易です。図5にタフピッチ銅とA5052合金との接合界面の金属間化合物層の厚さと、接合長さ1mmあたりの引張せん断強さとの関係を示します。金属間化合物層の厚さが1μmを超えると、接合強さは著しく低下しています。しかし、接合条件を制御して厚さを300nm未満とすることで、接合強さのばらつきが減少し、安定した接合強さが得られています。このように、従来は安定した接合強さが得られなかった異種金属の接合でも、摩擦攪拌接合法を応用することで、金属間化合物の生成を抑制し、より高強度な接合部を得られることがわかります。

図6は、厚さ0.4mmのA1050アルミニウムとZK60マグネシウム合金との突合せ接合部の断面です。一般に0.4mm程の薄板の溶接は、溶接変形がひどいために難しく、さらに、金属間化合物を生成するような組み合わせでは、ほぼ不可能でした。しかし、この方法を利用することで、薄板の溶接変形を防止し、さらに金属間化合物の生成を抑制して、接合界面の強度を改善することが可能といった結果が得られています。

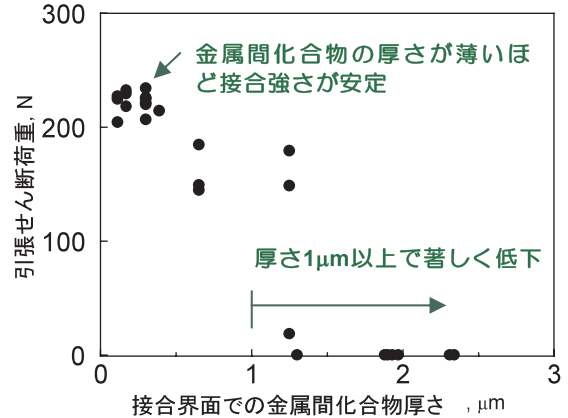


図5 A5052アルミニウム合金とタフピッチ銅との摩擦攪拌接合部の接合強さと金属間化合物層厚さとの関係



図6 厚さ0.4mmのA1050アルミニウムとZK60マグネシウム合金の摩擦攪拌接合部断面

異種金属接合のさらなる実用化へ

摩擦攪拌接合法による異種金属接合は、現在でも不明な点が多く、研究はまだ発展途上です。全く異なる種類の金属を接合し、高い信頼性を確保することは、未だ困難だと言わざるを得ません。しかし、世界中の研究者や技術者が実用可能な接合部をこれからも活発に開発していくと考えられています。また、金属材料の組み合わせによっては、用途を限定することで実用可能な段階まで技術は進歩しています。

当グループでも、溶接法・固相接合法による異種金属接合に関する技術開発を進めています。摩擦攪拌接合、鉄鋼・非鉄金属の溶接、異種金属の接合など、金属材料の溶接・接合についての御相談がありましたら、当グループまで御連絡頂ければ幸いです。

本研究は大阪大学接合科学研究所共同利用研究により行いました。

開発本部開発第二部

先端加工グループ <西が丘本部>

青沼昌幸 TEL 03-3909-2151 内線 454

E-mail: aonuma.masayuki@iri-tokyo.jp