

冷間圧造技術を活かした異種金属接合技術「AKROSE」の開発

ファスナー事業部

山本 浩二
手島 政和

1. はじめに

当社は工業用ファスナーを製造しており、その大半は冷間圧造で加工している。冷間圧造は、プレス機などにより常温環境で材料を所定の形状に塑性加工するものである。その利点は、材料が節約できること、加工硬化により機械的性質が向上すること、成形品の表面が平滑であること、均一精度で成形品を量産できることなどにある。

近年、自動車業界を中心に、高強度化や軽量化、低コスト化などを企図し、マルチマテリアル化の流れが強まっている。そして、それを実現する接合工法の開発が求められている。このような市場の要請に応えるべく、このたび、冷間圧造技術を活かした新たな異種金属接合技術「AKROSE（アクローズ）」の開発に成功したので、本報において紹介する。

2. AKROSE の概要

一般的な機械的接合は、ねじやリベットを用いて被締結物と相手材を接合するため、部品点数が増え、それにとまない製造工程も増える。また、接合界面には空隙があり、密着性に欠けるという問題がある。これに対し本接合技術は、1回のプレスで「成形」と「接合」を同時に行うため、最小限の部品と工程で密着性の高い接合を得ることができる。以下に技術の概要を記す。

2.1 AKROSE の接合工程

図-1は、銅とアルミニウムの各部材のAKROSEによる接合工程を示す。圧造などで作製された各部材(図-1(a))を組合せ(図-1(b))プレスする(図-1(c))。このプレス工程が本接合技術独自のものであり、1回のプレスで「成形」と「接合」を同時に行う。ここで成形とは、部材を完成形態に加工することを意味する。例えば、円柱状の部材(図-1(b))をプレス加工で板状(図-1(c))に変形させることを指す。

AKROSEのプレス工程における成形過程を図-2に示す。アルミニウム部材に形成した袋穴部に軸状の銅部材を挿入した状態(図-1(b))でプレスすると、銅部材が耐力を越えるまでの間は、軟質金属部材で

あるアルミニウム部材のみ板状に変形が進み(図-2(a))、銅部材が耐力を越えると、その上端部が径方向に拡大を開始する(図-2(b))。さらにプレスすると、銅部材上端部の広がりが大きくなり、側壁(周壁)がアンダーカット状に成形され、このアンダーカットが双方の部材の抜け止めとなる(図-2(c))。このように、銅部材とアルミニウム部材が常に密着しながら変形し、その過程で成形されるアンダーカットによって強固に接合される。優れた接合部の密着性は、本接合技術最大の特長である。

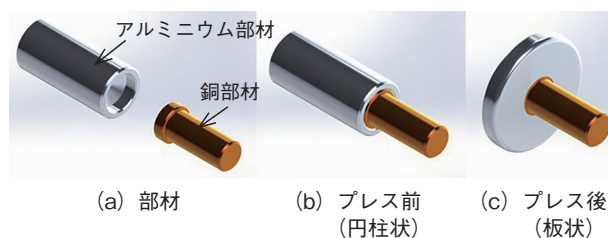


図-1 AKROSEによる接合工程の例

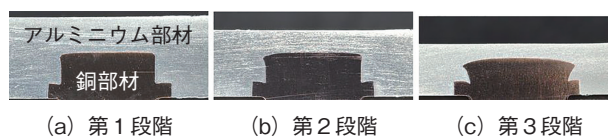


図-2 成形過程

2.2 成形条件

金型での拘束状態により、接合部の変形を制御することが可能である。例えば、前述のアンダーカットを得るには、非拘束状態で成形する必要がある。アルミニウム部材上面および銅部材軸部を拘束し、これらの嵌合部位(アルミニウム部材の外周部)を非拘束で圧縮することにより、この非拘束部位で銅部材は径方向に変形することができる。また、同径の軸部材同士を金型内で全拘束して接合するような事例では、金型内にアンダーカット状に広がるためのスペースがないため、接合前の銅部材に予め溝などの抜け止め部を設ける。そして、プレス工程で、この抜け止め部にアルミニウム

部材を流動・充満させることで強固な接合が可能となる。硬度差が大きい材料の組合せにおいても同様に、硬質金属部材に設けた抜け止め部に変形しやすい軟質金属部材を流動させることで、密着性の高い強固な接合を実現することができる。

さらに、部材の塑性変形を利用した接合であることから、密着性を高めるために接合界面となる接合前の部材端面を研磨仕上げしておく必要がない。材料をせん断加工した程度の平滑性があれば、プレスのみで双方を密着させることが可能である。

2.3 利点

前述したように、冷間圧造加工では材料の節約、機械的性質の向上、表面の平滑化、均一精度での量産性などの利点があり、冷間圧造技術を活かした本接合技術は、これら全てを享受できる。特に表面の平滑化に着目すると、図-1(c)に示した接合部品のアルミニウム部材天面部の平面度は0.05mm以下であり、表面粗さはRa 0.1 μ m以下である。また、常温での固相接合であるため、熱による軟化や接合界面の金属間化合物の発生による脆化などの影響を受けないという利点も併せ持つ。

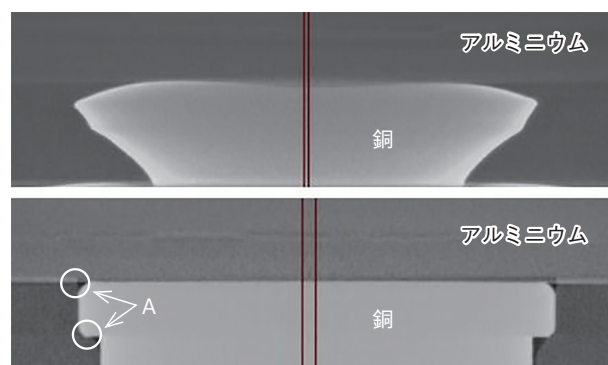
接合前部材の形状次第で、接合強度を調節することが可能であり、部材同士の接触抵抗のみで耐えられる使用環境であれば、接合前部材の形状を単純化することにより、製造コストを抑えることができる。逆に高い接合強度が必要であれば、上述のように抜き方向は環状溝や螺旋溝、回転方向は六角やセレーションといった立体的に噛み合う構造を部材に設けておくことで、アンダーカットだけでは得られない高い接合強度を得ることが可能となる。このように、接合強度やコストなど、優先する項目次第で最適な接合を実現できる。

3. 接合部の密着性

AKROSEによる接合部品における接合界面の密着性について、X線CT法、超音波探傷試験、温度サイクル試験、耐食性試験で評価を実施した。評価には図-1および図-2に示した銅とアルミニウムの接合部品（以下、AKROSE接合部品という）を用い、X線CT法および超音波探傷試験においては、比較対象として、板状のアルミニウムに形成した袋穴に銅の軸をプレスかしめした接合部品（以下、プレス接合部品という）を用いた。

3.1 X線CT法

AKROSE接合部品とプレス接合部品について、X線CT法により接合界面の空隙有無を比較した。図-3は、AKROSEとプレスかしめによる各接合部品の側面方向からのX線CT像である。観察には、東芝ITコントロールシステム（株）製TOSCANER-32300 μ FDを使用した。プレス接合部品においては、接合界面各部に空隙が発生している（図-3中A部）が、AKROSE接合部品では全周空隙なく密着していることが確認できる。



（上：AKROSE接合部品 下：プレス接合部品）
図-3 X線CT像

3.2 超音波探傷試験

超音波探傷試験では、接合界面の空隙有無の確認のみならず、X線CT法では確認できないような微小空隙が確認できる。図-4はAKROSEとプレスかしめによる各接合部品の天面方向から超音波発振して得られた銅部材天頂部（図-4中A部）の探傷結果である。試験には、インサイト（株）製Flex Scanを使用した。ここで、音響インピーダンスZ1の媒質1（ここではアルミニウム）から音響インピーダンスZ2の媒質2（ここでは空気または銅）へ超音波発振したときの反射率 r は式（1）により求めることができ、アルミニウムと空気の境界（以下、空気層という）ではほぼ100%（式（2））、アルミニウムと銅の境界（以下、密着面という）では約40%（式（3））となる。本試験での探傷感度は、空気層において80%（カラーコードの赤色）となるよう設定し、密着面では最大32%（カラーコードの緑色～水色）となる。プレス接合部品においては、接合界面全域が空気層からの反射を示す赤色となって空隙が発生していることを示している。一方、AKROSE接合部品では、空気層のない密着面からの反射を示す緑色～水色となっており、接合界面が空隙なく密着していることを確認できる。

$$r_{1/2} = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1) \quad (1)$$

$$r_{Al/Air} = (Z_{Air} - Z_{Al}) / (Z_{Air} + Z_{Al}) \quad (2)$$

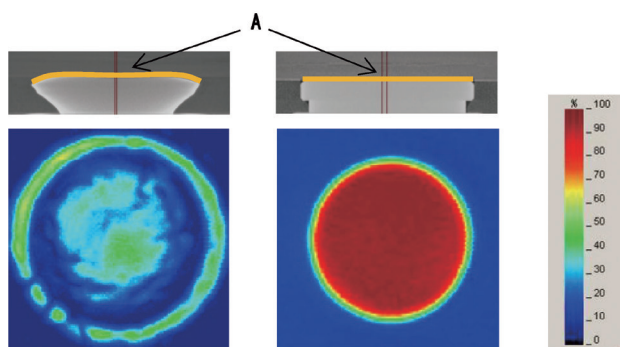
$$r_{Al/Cu} = (Z_{Cu} - Z_{Al}) / (Z_{Cu} + Z_{Al}) \quad (3)$$

音響インピーダンス [Kg/m²s]

$$Z_{Al} = 16.9 \times 10^6$$

$$Z_{Cu} = 41.8 \times 10^6$$

$$Z_{Air} = 0.0004 \times 10^6$$



(左：AKROSE接合部品 右：プレス接合部品)
図-4 超音波探傷試験結果

3.3 温度サイクル試験

異種金属は、それぞれ線膨張係数が異なるため、温度サイクル試験を行って熱応力による影響を確認した。試験には、エスベック(株)製MC-812を使用した。図-5は、高温150℃、低温-30℃、さらし時間各1時間を1サイクルとして、これを75サイクル実施した後のAKROSE接合部品の断面である。アンダーカット部(図-5中A部)、および銅部材の天頂部(図-5中B部)をはじめ、接合界面は空隙なく密着していることから、この条件の範囲においては、温度サイクルによる界面の乖離は発生しないことが確認できる。

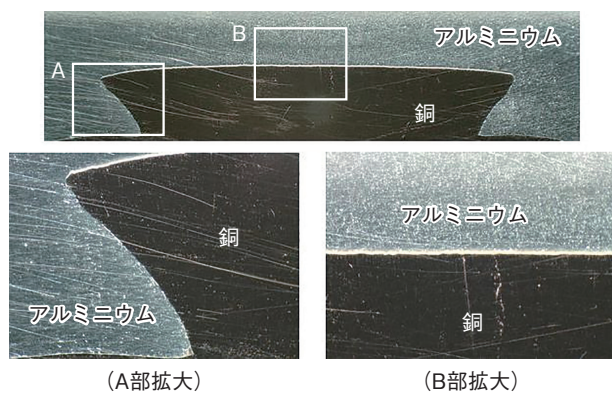


図-5 温度サイクル試験後の接合部断面

3.4 耐食性試験

本接合技術も他の接合工法と同様、異種金属接触部にガルバニック腐食が発生するため、耐食性試験により腐食の傾向を確認した。試験は「JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法」に従った。図-6は、24時間および1,000時間経過時のAKROSE接合部品の外観、および同接合部品を切断後に銅部材を除去したアルミニウム部材を示す。

24時間経過時点で、既にアルミニウム部材の外周(暴露面)は腐食している(図-6(a))ものの、接合内部は腐食していない(図-6(b))。1,000時間経過時点でも、接合内部へ腐食は進行していない(図-6(c))。このことから、AKROSE接合部品の接合界面は、電解質溶液が侵入し得ないレベルの高い密着性が得られていることが確認できる。

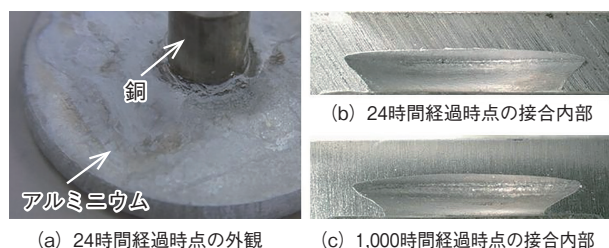


図-6 耐食性試験後の接合部品

4. 接合事例

本接合技術では、アルミニウム、銅以外にも鉄やステンレスなど、冷間圧造が可能な材料で成る部材の接合が可能であり、加えて、材質や部品の点数を問わず接合することが可能である。

図-1に示した銅部材とアルミニウム部材の接合部品は、銅単一部品からの置換えの事例である。銅は電気導電率や熱伝導率が高いが、材料コストが高いことがネックである。その一部をアルミニウムに置き換えることで、使用上満足する導通性や熱伝導性を維持したまま、低コスト化や軽量化が可能になる。

図-7は、アルミニウムと銅と鉄の各部材を接合した例である。非磁性体であるアルミニウム部材と銅部材の接合内部に磁性体である鉄部材を組み込むことで、外観上は非磁性体でありながら、磁性を与えることができる。これにより、磁石の磁力で接合部品を搬送する搬送設備の利用や、磁気センサによる検出が可能になる。

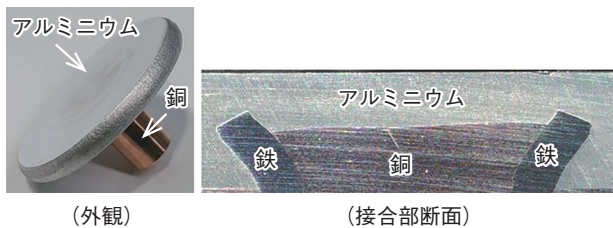


図-7 アルミニウムと銅の接合内部に鉄を組み込んだ例

図-8は、鉄部材にアルミニウム部材を被覆した例（両部材の圧接のみによる接合例）である。アルミニウムは高い放熱性が特長のひとつであり、鉄部材の表面にアルミニウム部材を被覆することで、鉄が持つ材料強度に加え、放熱性を与えることが可能になる。

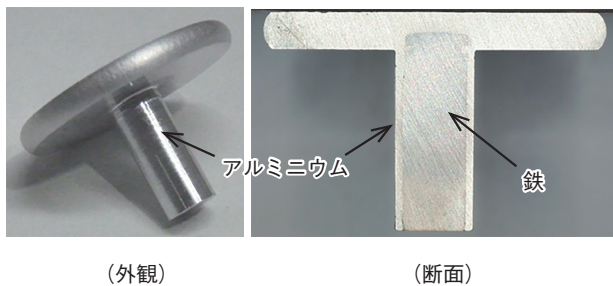


図-8 鉄にアルミニウムを被覆した例

図-9は、鉄、銅、ステンレスの部材各1個と、アルミニウムの部材2個の合計5個の部材を接合した例である。板状部で鉄とアルミニウムと銅の各部材を接合し、軸部で銅とアルミニウムとステンレスの各部材を接合している。このように所望の箇所に所望の特性を持つ材料を配置することで、接合部品の高機能化や小型・軽量化が可能になる。

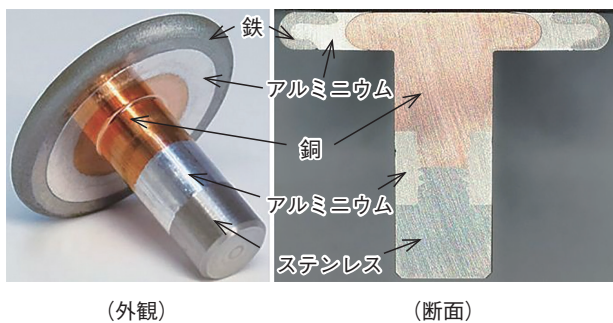


図-9 5つの部材を接合した例

5. 今後の課題

異種金属の接合では、使用環境により接合強度や性能、製造コストなど、優先される項目は異なる。そのため、今後はCAE解析による部材形状の最適化や品質向上、使用環境に応じた設計・製造プロセスの最適化が重要になると考えられる。

6. おわりに

本接合技術は、冷間圧造により部材の所定形状への成形と部材同士の接合を同時に行うため、その接合部品の接合界面は、従来の機械的接合では得ることができない高い密着性を持つ。また、接合の過程で、塑性変形率の高い箇所においては、局所的に材料表面の酸化被膜が破壊されて新生面が現れるため、新生面同士の密着により各材料の原子レベルの相互拡散が期待できる。これを利用すると、AKROSEと冶金的接合である拡散接合とのハイブリッド接合への発展も可能になると思われる。今後はAKROSE接合部品の安定した供給に加え、付加価値の向上にも取組む所存である。