

摩擦攪拌作用を用いた異種金属材料の接合

椿 正己

豊橋技術科学大学 教務部学務課
生産システム工学系 接合加工研究室

緒言

近年、地球環境保護と省エネルギー化の観点から、輸送機器への軽量部材として、アルミニウム合金の適用が積極的に進められており、特に自動車車体の軽量化対策として、アルミニウム合金材の適用が進んでいる。

しかしながら、アルミニウム合金では強度不足となることが多く、強度の必要な部分においては依然として鉄鋼材料を適用することが主流となっている。そこで、強度の必要な部位のみに鉄鋼材料を使用し、他の部分をアルミニウム合金で構成することにより、強度を保ちながら軽量化することが望ましい。このため、アルミニウム合金と鉄鋼材料の接合は必要不可欠であるといえる。

現在の鉄鋼材料と Al 合金の接合法は、ロウ付け法、機械結合法、電子ビーム溶接などがあるが、強度不足、生産性、接合体の前処理などの問題がある。そこで、これらの問題を解決するにあたり、固相状態で連続接合が可能な摩擦攪拌接合法(FSW: Friction Stir Welding) の適用が期待されている。摩擦攪拌接合法は、現在主に Al 合金継手の接合に適用されている。しかし、アルミニウム合金と鉄鋼材料とのような異なる機械的・物理的特性を有する異種金属材料接合の報告例はほとんど無いため、本研究室では摩擦攪拌作用を用いて、Al-鉄鋼材料、Al-SUS、Al-Cu などの異種金属材料接合実験を行い、接合メカニズムの調査を行っている。

著者らは摩擦攪拌作用を用いた接合法によりアルミニウムダイキャスト ADC12 と一般構造用鋼材 SS400、アルミニウム合金 A6063 と一般構造用炭素鋼 S45C の接合を行い、引張試験においてアルミニウム母材破断という良好な接合体を得ており、アルミニウム合金と一般構造用鋼材との直接突合わせ接合の可能性を明らかにした。ただし実用化には未だ接合速度が低いことから、本研究ではアルミニウム合金材と鉄鋼材間の高速接合の可能性を調査した。

1 供試材料および実験方法

供試材料には、アルミニウム合金 A6063 と機械構造用炭素鋼 S45C を用い、それぞれ 20mm × 210mm × 5mm、22mm × 210mm × 5mm の平鋼に成形した。接合実験には小型マシニングセンタ(エンシュウ(株)社製、S400型)を使用した。攪拌ロッドは、ショルダー部直径 20.0mm、ピン部直径 4~6mm、高さ 4.5mm を用いた。接合条件は、回転数 1000~4000rpm、接合速度 50~2000mm/min、で行い、接合後の断面観察により良好な断面組織を有するものについて引張り強度を調べた。引張り試験片は 40mm × 7mm × 1.5mm(4R-6)の寸法にフライス加工した。

2 実験結果および考察

図 1 に回転速度 4000rpm、接合速度 1000mm/min で作製した接合部外観を示す。接合開始部から 10mm までは、ピンの破損を防ぐために予熱を与える目的で回転数 3000rpm、接合速度 50~500mm/min の条件で行ったため A6063 の流出が表面に多く見られた。その後は接合が終了するまで一定のビード形状を示した。図 2 にロッド回転数 3000rpm、接合速度 800mm/min で作製した接合体の断面組織及び EDX 分析結果を示す。この場合、A6063 内のピン通過低面に鬆が認められた。これは用いたピンがストレート形状のためと考えられ、ピン形

状や攪拌ロッドの角度の変更等により改善されるものと思われる。また同図(b)(c)から、材料界面近傍の S45C がピンの回転によって削られた痕跡が確認された。一方 A6063 側には S45C が削り取られたと思われる Fe 粒子が材料界面から約 50 μm の間に多く分散していることが確認された。接合部界面(c)部の EDX 結果(d)(e)より、接合部界面には明確な Fe-Al 間の拡散相は認められず、機械的性質に悪影響をもたらす金属間化合物相は形成されていないものと考えられる。

引張り試験の結果、継手は A6063 の引張り強度にて破断した。すなわちこの場合にも、継手効率 100% を達成した。破断位置は回転数と接合速度との兼ね合いで異なる傾向を示した。図 3 に A6063 母材破断した場合の試験片外観を示す。実用レベルでの高速度接合条件下でも、高い接合強度を有する継手作製の可能性を見出した。

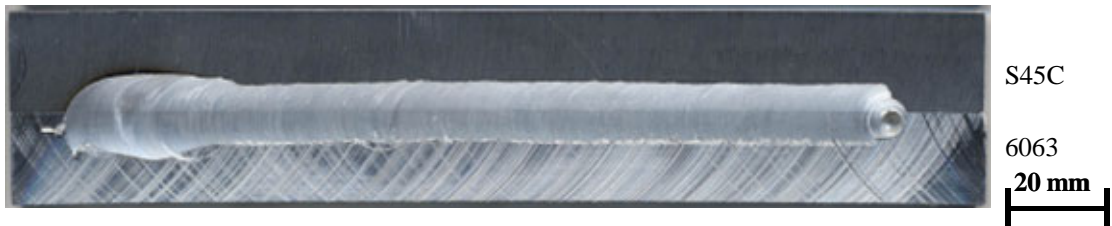


図 1. 接合実験後の試料外観 (S45C and 6063 interface with 4000rpm-1000mm/min)

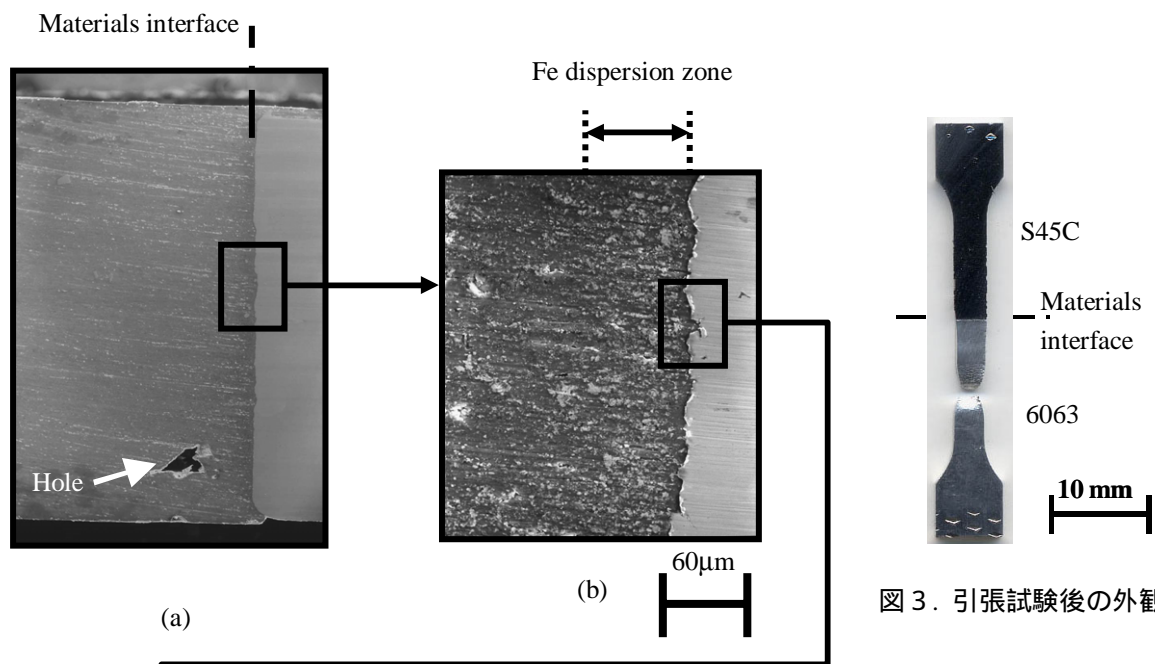


図 3. 引張り試験後の外観

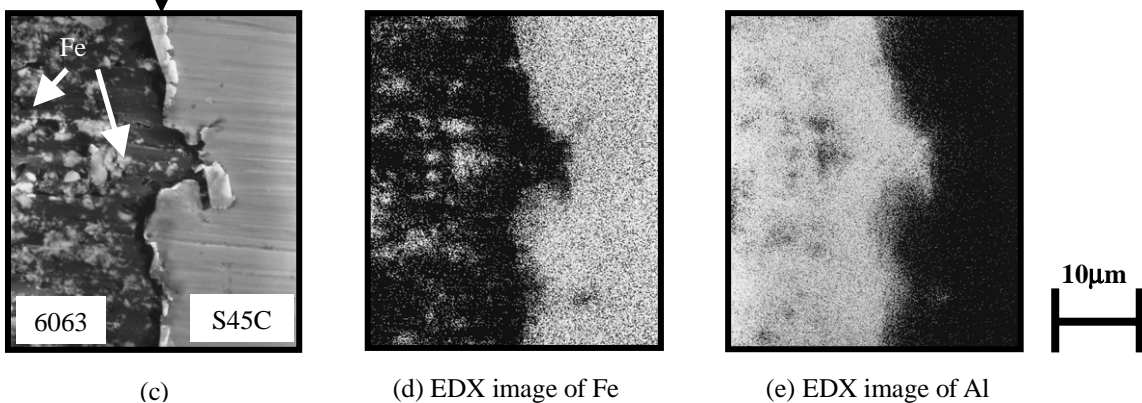


図 2. 断面組織観察結果

3 まとめ

シオルダー径 20 の摩擦攪拌ロッドを用いて、6063 と S45C の異種金属材料をロッド回転数 4000rpm, 接合速度 1000mm/min で接合可能とした。ロッド回転数 4000rpm, 接合速度 1000mm/min で接合を行うと、引張り試験において 6063 母材破断という良好な接合強度を有することが確認された。

前回東京大学総合技術研究会において報告した、シオルダー径 10 の摩擦攪拌ロッドでは、接合速度 100mm/min が限界であったが、シオルダー径 20 に変更する事により接合速度 2000mm/min での接合も可能であることが確認された。しかし、引張り試験結果ではロッド回転数 4000rpm, 接合速度 1000mm/min の条件が最も良好な結果がとなった。なお、シオルダー径 20 以上の摩擦攪拌ロッドでも実験を行ったが同様の結果となり、本実験下の供試材料ではシオルダー径 20 の摩擦攪拌ロッドが適正な径であると考えられる。

また、一年以上前に接合した供試材料接合部界面での電食等の問題が発生しておらず、経年変化による強度低下等は発生していないことを報告する。

摩擦攪拌作用を用いた接合法によるアルミニウム合金と鋼材との直接突合わせ接合を適応した場合のメリットを以下に示す。

- ・ フライス盤等の既存設備で行う事が出来る。
- ・ 脱脂等前処理が必要ない。
- ・ 接合後の変形等少ない。
- ・ 接合後の強度低下が少ない。
- ・ 粉塵や騒音が少ない。
- ・ 接合時間は他の接合法と同程度。
- ・ 適正条件下では接合ツールは長寿命。

参考文献

- [1] 篠田 剛：溶接学会誌, 67-4(1998)326-329
- [2] 平野 聡ら：溶接学会全国大会講演概要, 71(2002)440-441
- [3] 椿 正己：平成 14 年度東京大学総合技術研究会報告集, (2003-3)1-7 1-8
- [4] 椿 正己ら：溶接学会全国大会講演概要, 72(2003)30-31
- [5] 下田 陽一朗ら：溶接学会全国大会講演概要, 73(2003)64-65