

鉄とアルミの異種金属接合技術に関する研究

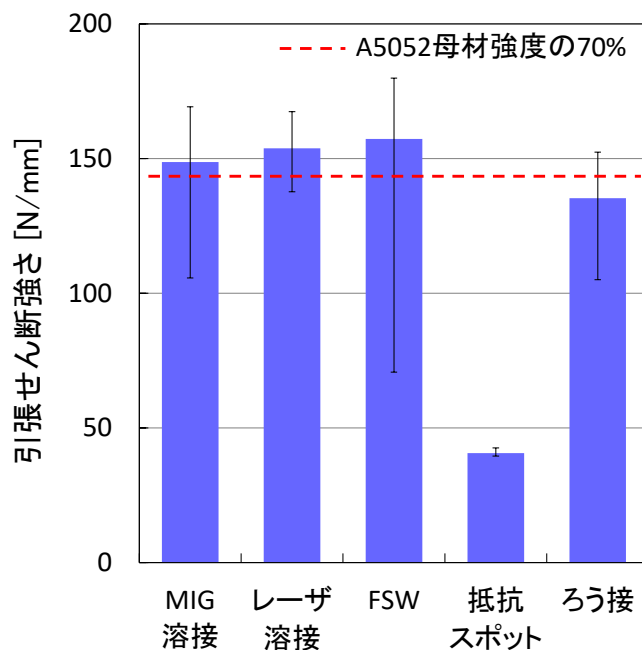
Study of dissimilar metal joining technology of steel and aluminum alloy

加藤大樹、中居久明、岡山透、佐々木正司^{*1}、中村仁^{*2}、種市亨^{*2}

(^{*1} 本部事務局企画経営室、^{*2} 東北山田車体工業株式会社)

現在、自動車業界では燃費向上のため、鉄系材料の一部をアルミニウム合金などの軽量材料に置き換えるマルチマテリアル化によって車体の軽量化が行われている。トラック車体においては、鉄系材料とアルミニウム合金の接合部にリベット締結が使用されているが、振動や直射日光によってリベット孔が拡大し、接合部に緩みが生じることが問題となっている。

そこで、本研究では SUS304（ステンレス鋼）と A5052（アルミニウム合金）について、リベット締結に代わる接合法の開発を行うものである。今年度は実用化の可能性が高いと思われる接合法を探索した。5 種類の接合法によって接合試験片を作製し引張試験を実施した結果、MIG 溶接とレーザー溶接、及び摩擦攪拌接合 (FSW) の 3 種類の接合法で目標値（アルミニウム合金母材強度の 70%）以上の引張せん断強さが得られた。さらに溶接装置の県内企業への導入状況や経済性を検討した結果、実用化の可能性が高い方法として MIG 溶接を選定した。今後、接合条件の最適化を行うとともに、車体における実用性の検証を進める。



接合法
継手の引張試験結果

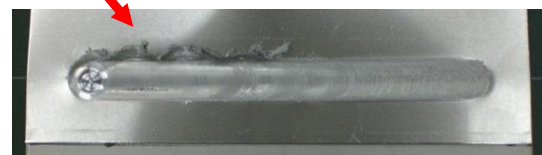


MIG 溶接



レーザー溶接

バリが発生



摩擦攪拌接合 (FSW)

接合部の外観

1. はじめに

現在、自動車業界では燃費向上のため、軽量化への取組が盛んになっており、鉄系材料の一部をアルミニウム合金などの軽量材料に置き換えるマルチマテリアル化もその一つである。通常、鉄系材料とアルミニウム合金の接合には、リベット締結による機械的接合がよく使用される。しかしながら、製品の使用中に振動や熱膨張、および腐食が接合部に加わるため、リベット孔が拡大し接合部に緩みが生じる場合がある。

そこで本研究では、リベット締結に代わる異種金属接合法の開発を行った。今年度は実用化の可能性が高いと思われる接合法の探索のため、5種類の接合法によって接合試験片を作製し、引張試験を実施した。

2. 概要

鉄系材料とアルミニウム合金の異種金属接合について、各種接合法の実用化の可能性を調査するため、継手の引張試験を実施した。さらに接合界面の状態を確認するため、SEMによる断面観察を行った。調査対象とする接合法はMIG溶接、レーザ溶接、摩擦攪拌接合(以下FSW)、抵抗スポット溶接、ろう接の5種類とした。

供試材は企業ニーズに基づき、板厚 3mm のオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304、Fe-18Cr-8Ni) および板厚 0.8mm の Al-Mg 系合金 (A5052、Al-2.5Mg) を使用した。また、継手形状は図 1 に示すとおり重ね継手とした。

MIG 溶接にはナイス(株)製フラックス入りワイヤ Alu S4M ($\phi 1.2\text{mm}$) を使用し、溶接電流: 12~14V、溶接電圧: 80~90A の条件下で半自動溶接を行った。

レーザ溶接には 10kW ファイバーレーザ装置

を使用した。また、ナイス(株)製フラックス入りワイヤ Alu S4Le ($\phi 1.2\text{mm}$) をフィラーワイヤとして使用した。レーザの出力は 4kW の連続波とし、スポット径が 6mm となるようにデフォーカスした。溶接速度は 1000~4000mm/min の間で変化させた。

FSW は A5052 側からツールを挿し込み、A5052 母材のみを攪拌する直線接合とした。

抵抗スポット溶接は SUS304 をプラス電極側、A5052 をマイナス電極側とした。 $\phi 16\text{mm}$ の R 型電極を使用し、電流 10~16kA、時間 20~60ms の矩形パルス波を印加した。また、加圧力は 1.4~2.2kN とした。

ろう接は Zn-Al 系の軟ろうを使用し、ガストーチによる炎ろう付けを行った。

治具寸法の制約上、幅 200mm の継手はビードに対して垂直に切断後に引張試験に供した。引張試験にはインストロン製万能試験機 UCT-5T を使用し、引張速度 5mm/min にて実施した。リベットの引張強さを基に、継手強度が A5052 母材強度の 70% を目標値とし、目標値以上であれば十分な強度が得られていると判断した。

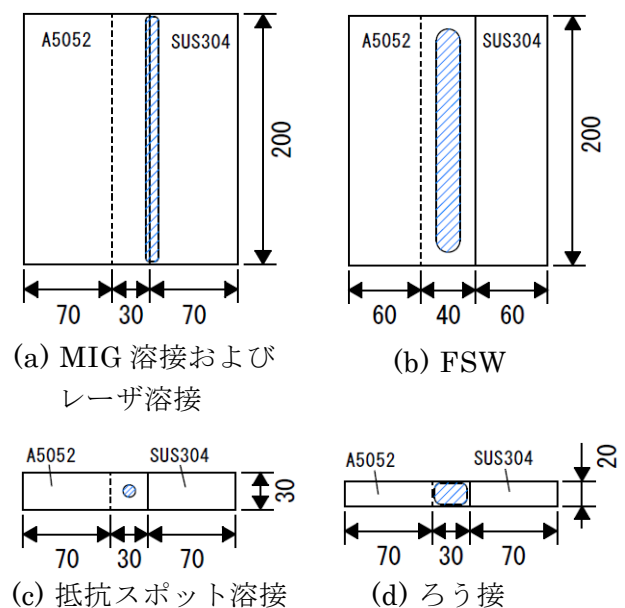


図 1 継手形状及び寸法

3. 実験結果

引張試験の結果を図2に示す。条件を変化させた接合法については、最も良好な条件下での継手強度を、抵抗スポット溶接については打点ピッチを30mmと想定した場合の継手強度を示している。

MIG溶接、レーザ溶接、およびFSWの3接合法では主にA5052母材破断となっており、十分な強度を得ることが出来た。ただし、FSWについては図3に示すように一部の継手でバリが発生しており、外観上不良となっている。

図5にMIG溶接のビード断面の反射電子像および元素分布を示す。接合界面にA5052とSUS304の中間的な組成を持つ反応層が形成されている。

同様の反応層はレーザ溶接、FSWの接合界面にも存在していることが確認でき、Fe-Al系の金属間化合物が含まれると考えられる。なお、鉄系材料とアルミニウム材料の接合では、界面に生成するFe-Al系金属間化合物の影響で接合強度が低下するが、厚さ約1~2 μm 以下では良好な機械的特性を得られることが報告されている¹⁾。本研究では、MIG溶接、レーザ溶接、FSWのいずれにおいても反応層厚さは3~5 μm 程度であったが、引張試験ではA5052母材破断となった。このことから、この程度の反応層厚さであれば、板厚0.8mmのA5052薄板を接合する場合には十分な接合強度を得られることが確認できた。また、青森県内にはレーザ溶接機やFSW装置を保有する企業が少なく、これらと比較すると、MIG溶接はより多くの企業で使用されている。さらに導入コストの面でも、MIG溶接はレーザ溶接、FSWと比較し優位である。このことから、波及効果を考慮するとMIG溶接が最も優れた方法であると考えられるため、今後はMIG溶接について詳細な調査を行うこととする。

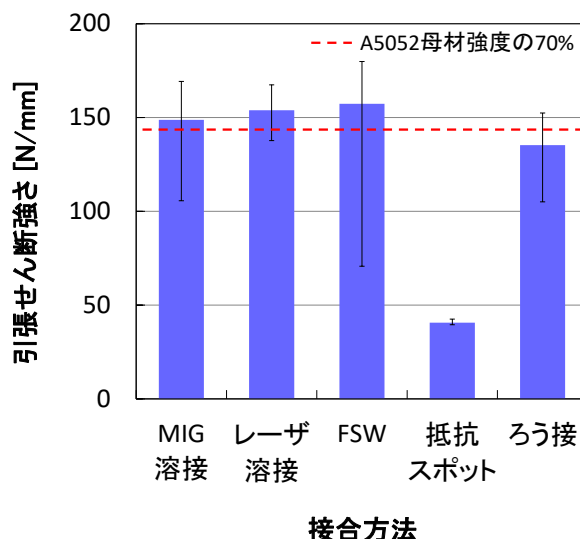


図2 継手の引張試験結果

同様の反応層はレーザ溶接、FSWの接合界面にも存在していることが確認でき、Fe-Al系の金属間化合物が含まれると考えられる。なお、鉄系材料とアルミニウム材料の接合では、界面に生成するFe-Al系金属間化合物の影響で接合強度が低下するが、厚さ約1~2 μm 以下では良好な機械的特性を得られることが報告されている¹⁾。本研究では、MIG溶接、レーザ溶接、FSWのいずれにおいても反応層厚さは3~5 μm 程度であったが、引張試験ではA5052母材破断となった。このことから、この程度の反応層厚さであれば、板厚0.8mmのA5052薄板を接合する場合には十分な接合強度を得られることが確認できた。また、青森県内にはレーザ溶接機やFSW装置を保有する企業が少なく、これらと比較すると、MIG溶接はより多くの企業で使用されている。さらに導入コストの面でも、MIG溶接はレーザ溶接、FSWと比較し優位である。このことから、波及効果を考慮するとMIG溶接が最も優れた方法であると考えられるため、今後はMIG溶接について詳細な調査を行うこととする。



(a) MIG溶接

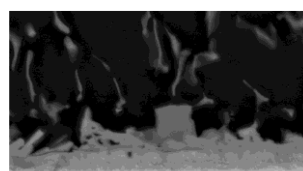


(b) レーザ溶接

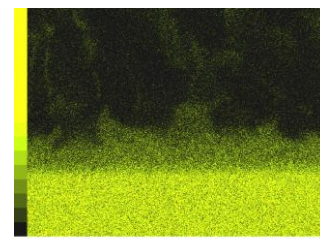


(c) FSW

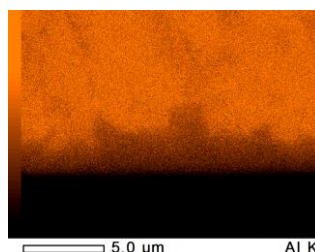
図3 接合部の外観



(a) 反射電子像



(b) Fe 元素分布



(c) Al 元素分布

図4 MIG溶接の接合界面

4. まとめ

ステンレス鋼 (SUS304) とアルミニウム合金 (A5052) の異種金属接合技術の開発のため、各種接合法の実用化の可能性を調査した。その結果、以下のことがわかった。

- ・ 引張試験の結果、MIG 溶接、レーザ溶接、摩擦攪拌接合（FSW）で十分な強度を得ることが出来た。しかしながら、FSW 継手には外観上の問題が生じた。
- ・ 県内企業における接合装置の所有状況および設備導入に要するコストを考慮すると、今回検討した接合法の中では MIG 溶接が最も実用性が高いと考えられる。そこで今後は MIG 溶接について接合条件の最適化および実製品における実用性の検証を行う。

5. 参考文献

- 1) 黒田、才田、西本：溶接学会論文集、17-3(1999)、p484-489