

摩擦アンカー接合継手の接合強度決定因子の解析

坂村 勝, 竹保 義博

Analysis for Factors Affecting Strength of Friction Anchor Welds

SAKAMURA Masaru and TAKEYASU Yoshihiro

筆者らは、先端が球面セラミックスのツールを用いる異材点接合技術である摩擦アンカー接合を提案中である。本研究では、A5052/SPCC の摩擦アンカー接合継手に対して熱処理を施し、接合界面に形成される金属間化合物層の厚さを厚くして、その接合強度を評価した。その結果、金属間化合物層が厚いほど接合強度が低下するものの、金属間化合物層の厚さが $10\mu\text{m}$ 以上になっても引張せん断強度は約 1.6kN/点 であり 0kN/点 にはならないことが判明した。この結果から、本研究で作製した摩擦アンカー接合継手の引張せん断強度には、鋼突起による機械的接合が約 45%、アルミニウム合金と鋼の金属的接合が約 55% 寄与しているものと推察した。

キーワード：摩擦攪拌点接合，摩擦アンカー接合，異材接合，鋼板，アルミニウム合金

1. 緒 言

輸送機器の軽量化対策のひとつとして、アルミニウム合金/鋼のハイブリッド構造が検討されており、アルミニウム合金と鋼の異種金属接合への要望が高まっている。この一手法として、筆者らは、これまで“摩擦アンカー接合”を提案してきた。本手法は、先端が球面の接合ツールを回転させながら下板の鋼側まで押し込み、下板の鋼板からなる突起部を上板のアルミニウム合金側へ形成することによって、その突起部のアンカー効果により接合する接合方法である。なお、本接合方法については”異種金属板の接合方法”という名称で特許権取得済みである¹⁾。本技術ノートでは、摩擦アンカー接合によって得られた継手に熱処理を施すことによって接合界面の金属間化合物層の厚さを変化させ、この厚さが接合強度に及ぼす影響を明確にすることを狙いとした。これによって、本接合方法で得られた継手の強度が鋼突起による機械的接合に支配されるのか、あるいは、突起部の鋼とアルミニウム合金の金属的接合に支配されているのかを知ることができる。

2. 実験方法

2.1 供試材及び加工方法

供試材としては、 $30\text{mm}\times 80\text{mm}\times 1\text{mm}$ のアルミニウム合金 (A5052) と冷間圧延鋼板 (SPCC) を用いた。供試材を、図 1 に示すように、上側に A5052、下側に SPCC として重ね、先端に窒化珪素球を埋め込んだ接合ツールを用いて接合した。接合ツールは、図 2 に示すように、先端の球径が $\phi 12.7\text{mm}$ で鋼製ホルダーからの突出量は 5mm とした。

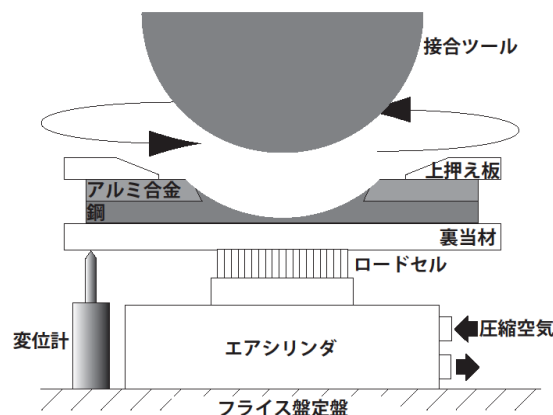


図1 摩擦アンカー接合装置概略図

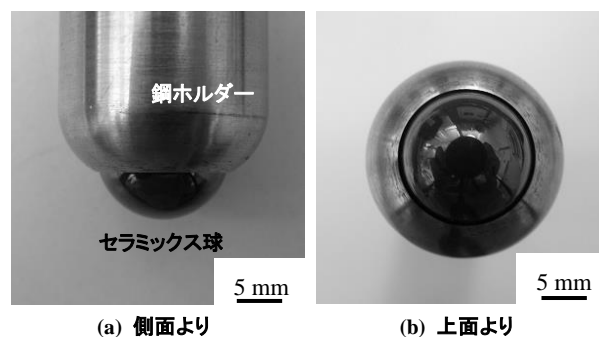


図2 摩擦アンカー接合用ツール外観

接合は、図 1 に示すように、エアシリンダ上にセットした試料を回転する接合ツールに押し込むことで実施した。使用したエアシリンダは最大 12kN の垂直荷重を発生させることができる。接合条件は、ツール回転数 970rpm 、押込量 1.6mm 、接合時間 2.5 秒とし、シールドガスは用いなかった。なお、本実験での接合時間はエアシリンダ

にエアを供給している時間を意味する。次に得られた継手に熱処理を施し接合界面の化合物層を厚くすることを試みた。M. Movahedi ら²⁾はアルミニウム合金 (A5083) と軟鋼の摩擦攪拌重ね継手に対して、400℃で3時間の熱処理を施したところ、引張せん断強度がほぼ 0kN になることを示している。そこで、本実験での熱処理条件を 400℃×3 時間とした。なお、熱処理は $1\sim 2\times 10^{-5}$ torr の真空中で実施した。

2.2 接合断面及び接合強度評価

得られた被接合材の断面評価については、切断、研磨後、走査型電子顕微鏡の反射電子モードを用いて行った。また、鋼突起部の硬さについてはマイクロビッカース硬さ計で測定した。さらに、被接合材の引張せん断強度は、JIS-Z 3136 に準じて引張速度 0.08mm/s で行った。

3. 結果及び考察

3.1 接合材の断面

図 3 に As weld 材及び 400℃×3 時間熱処理材の断面 SEM 反射電子像を示す。(a) は As weld 材、(b) は 400℃×3 時間熱処理材を示しており、(a'), (b') は (a), (b) 中の口部の拡大写真である。(a'), (b') より、A5052 と SPCC の接合界面に形成されている金属間化合物層の厚さは、As weld 材で 3~5 μm であるのに対し、400℃×3 時間熱処理材では 10~15 μm と厚くなっていることが分かる。次に、それぞれの鋼突起部の硬さをマイクロビッカース硬さ計で測定したところ、As weld 材が HV181~189、400℃×3 時間熱処理材が HV180~187 であり、この結果から、熱処理によって鋼突起部の強度は変化していないことが分かる。

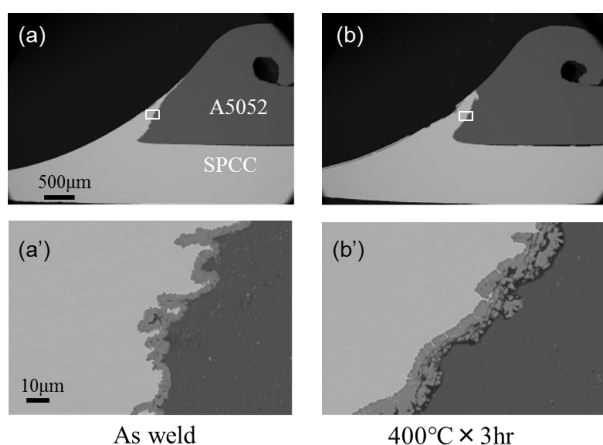


図3 熱処理前後の断面 SEM 反射電子像

3.2 引張せん断強度

図 4 に得られた継手の引張せん断試験の結果を示す。As weld 材及び 400℃×3 時間熱処理材の引張せん断強度は、それぞれ、約 3.6kN/点、約 1.6kN/点であり、熱処理によって接合強度が半分程度に低下していることが分かる。

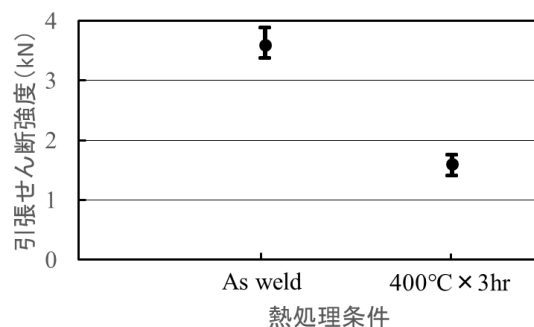


図4 熱処理前後の引張せん断強度

3.3 接合界面の化合物層と接合強度

アルミニウム合金と鋼の接合継手における界面の化合物層と接合強度の関係については多くの報告がなされている。及川ら³⁾は A5052 と SS400 を熱間で圧延接合し、接合界面の金属間化合物層の厚さが 2 μm を超えると引き剥がし強度はほぼ 0MPa になるという結果を提示している。また、黒田ら⁴⁾は A6061 と SUS316 を拡散接合し、金属間化合物層の厚さが 2 μm を超えると接合強度が大幅に低下し、5 μm で引張せん断強度がほぼ 0MPa になると報告している。これらの継手は、いずれも、その接合強度が金属的接合に支配されている。この他にも、アルミニウム合金と鋼の固相接合において、接合界面の金属間化合物層が数 μm 以上になると十分な接合強度が得られないとの報告が数多くある⁵⁻¹¹⁾。

これらの報告とは異なり、摩擦アンカー接合継手の場合、アルミニウム合金と鋼の接合界面に厚さ 10 μm を超える金属間化合物層が存在しても、引張せん断強度が約 1.6kN/点であり 0 kN/点にはならなかった。前述の及川ら³⁾、黒田ら⁴⁾の報告事例から、鋼とアルミニウム合金の接合界面に厚さ 10 μm を超える金属間化合物層が存在した場合、その金属的接合強度はほぼ 0 kN/点になると考えられる。従って、熱処理後の継手の引張せん断強度、約 1.6kN/点は鋼突起による機械的接合に起因しているものと推定できる。一方、3.1 (接合材の断面) で述べたように、鋼突起の硬さは熱処理前後で変化していないことから、鋼突起による引張せん断方向の抵抗力 (機械的接合力) は熱処理前後で変化がないものと思われる。これらの考察から、本研究で得られた摩擦アンカー接合継手 (As weld 材) の引張せん断強度 (約 3.6kN/点) には、機械的接合が約 1.6kN/点 (約 45%)、金属的接合が約 2.0kN/点 (約 55%) 寄与しているものと推察される。

4. 結 言

本研究では、A5052/SPCC の摩擦アンカー接合継手に対して熱処理を施し、接合界面に形成される金属間化合物層の厚さを厚くして、その接合強度を評価した。その結果、金属間化合物層が厚いほど接合強度が低下するも

の、金属間化合物層の厚さが $10\mu\text{m}$ 以上になっても引張せん断強度は約 1.6kN/点 であり 0kN/点 にはならないことが判明した。この結果から、本研究で作製した摩擦アンカー接合継手の引張せん断強度には、鋼突起による機械的接合が約 45%、アルミニウム合金と鋼の金属的接合が約 55% 寄与しているものと推察した。

本研究は大阪大学接合科学研究所共同研究員制度を利用して行った。

文 献

- 1) 大石郁, 坂村勝, 竹保義博: 日本国特許第 5854451 号 (2015).
- 2) M. Movahedi, A. H. Kokabi, S. M. Seyed Reihani, W. J. Cheng, C. J. Wang: **44**, 487-492 (2013).
- 3) 及川初彦, 斉藤亨, 永瀬隆夫, 切山忠夫: 鉄と鋼, **83**(10), 641-646 (1997).
- 4) 黒田晋一, 才田一幸, 西本和俊: 溶接学会論文集, **17**(3), 484-489 (1999).
- 5) 田中努, 平田智丈, 森重大樹, 四宮徳章, 白川信彦: 軽金属溶接, **50**(3), 93-99 (2012).
- 6) T. Tanaka, T. Morishige, T. Hirata: Scripta Materialia, **61**, 756-759 (2009).
- 7) M. Czechowski: Materials and Corrosion, **55**(6), 464-467 (2004).
- 8) S. Fukumoto, H. Tsubakino, K. Okita, M. Aritoshi and T. Tomita: Materials Science and Technology, **15**(9), 1080-1086 (1999).
- 9) T. Shinoda, K. Miyahara, M. Ogawa and S. Endo: Welding International, **15**(6), 438-445 (2001).
- 10) H. Uzun and C. D. Donne: Materials & Design, **26**(1), 41-46 (2005).
- 11) 山本尚嗣, 高橋誠, 有年雅敏, 池内建二: 溶接学会論文集, **23**(2), 352-358 (2005).