

界面反応制御した異材接合



研究ノート

小 椋 智*

Dissimilar joining with controlled interfacial microstructures

Key Words : Dissimilar joining, interfacial reaction, microstructure, strength

1. はじめに

最終製品を生産する過程では個々の部品を溶接・接合して最終製品にする。その際には種々の産業分野で構造物の高機能化、省コスト化のために、複数の材料を適材適所に適用したマルチマテリアル化が指向されており、それを実現するための異種金属の接合技術開発はものづくりには欠かせないものとなっている。異種金属間の接合を担保するためには、学術的な観点から、接合界面における接合機構の解明と界面反応の制御が重要な課題となる。異種金属接合（以下、異材接合と称す）で工業的に適用される系の多くは図1[1]に示すように2つの金属間に1種類以上の化合物（金属間化合物, IMC: Intermetallic compound, 以下IMCと称す）を形成する場合が多い。そのようなIMCが接合界面で厚く成長すると接合継手は界面で容易に破壊される。そのため、異材接合では界面反応制御が重要となる。本稿では界面反応制御した各種異材接合の研究結果の例を紹介する。

2. アルミニウム合金と鋼の異材摩擦攪拌接合

アルミニウム合金／鋼異材接合では、界面部に脆弱なアルミニウムリッチなIMCの形成により界面部で破断が生じやすいことはよく知られている。その改善策として、入熱量が比較的少ない、固相接合

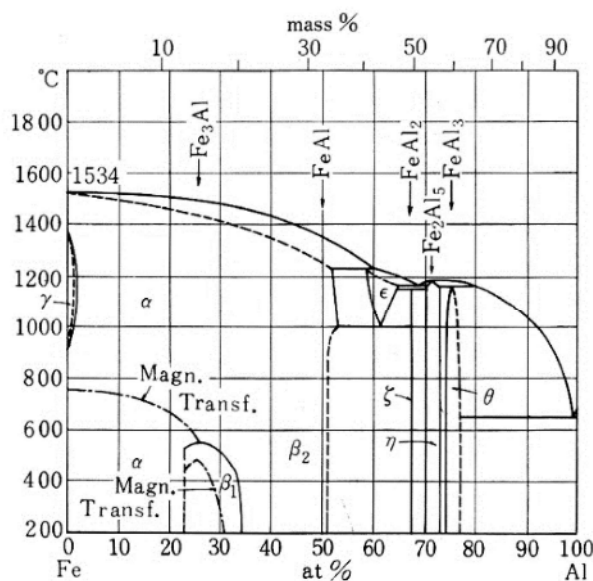


図1 鉄-アルミニウム2元系状態図 [1]

である摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding; FSW) が挙げられる。図2(a,b) [2,3] はA3003/SUS304重ねFSW継手の接合界面のTEM組織である。接合ツールをA3003側から挿入するが、ここでSUS304の内部までは挿入せずに接合面にわずかに接触させた状態で攪拌することで、摩擦による過剰な発熱を抑えることが可能となる。そして、A3003の塑性流動により両合金の新生面が短時間で接触することで、100～150nmと非常に薄いIMC厚さを有する接合が達成される (図2(a))。また、より低入熱な条件では、図2(b)のように20～30nmの厚さのアルミニウム、鉄、酸素が混合したアモルファス層を介して接合が達成される。このような非常に薄い反応層が形成されると、継手は接合界面ではなくA3003母材で破断する。その強度はA3003母材部 (図2(c)の点線) とほぼ同等となり、良好な継手となる (図2(c)接合ツール中央部など)。



* Tomo Ogura

1978年5月生
 東京工業大学 大学院理工学研究科材料工学専攻 (2007年)
 現在、大阪大学 大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 准教授
 博士(工学) 溶接工学・金属組織学
 TEL: 06-6879-7542
 FAX: 06-6879-7570
 E-mail: tomo.ogura@mapse.eng.osaka-u.ac.jp

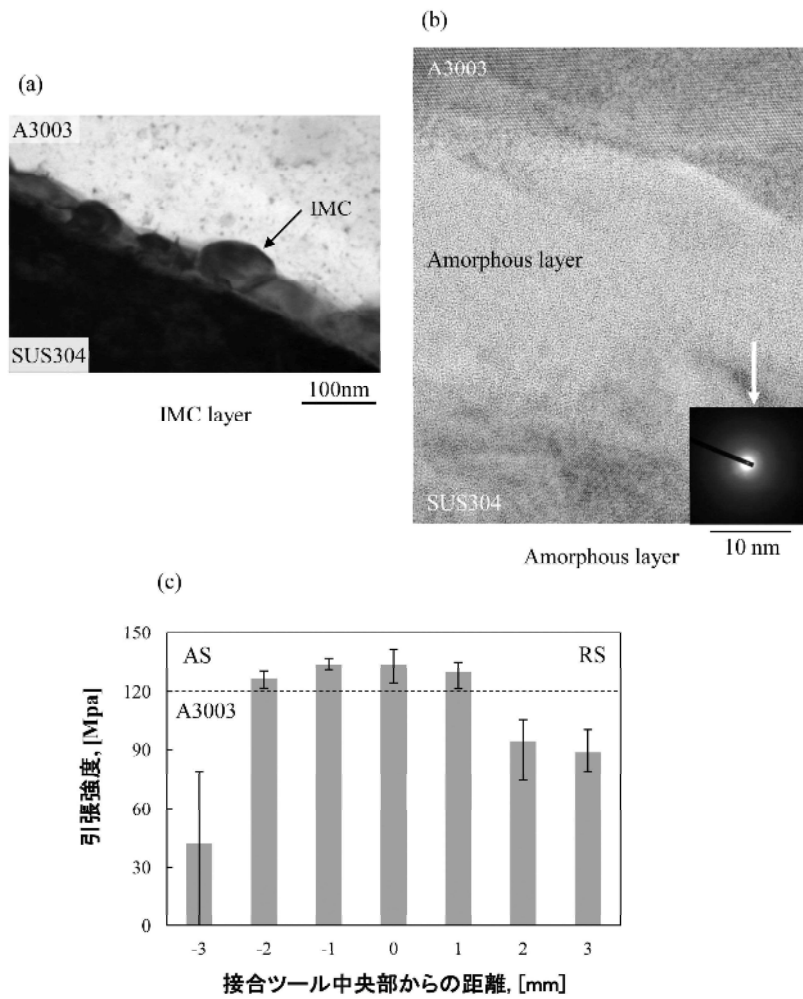


図2 A3003/SUS304重ねFSW継手の(a,b)接合界面のTEM組織と(c)強度分布 [2, 3]

3. レーザブレイジングによるアルミニウム合金とマグネシウム合金の異材接合

アルミニウム合金やマグネシウム合金は鉄鋼材料に比べて融点が非常に低く、従来の溶接・接合法では入熱により母材の材質劣化や変形を引き起こしやすい。そのため、これら難接合材同士の異種金属接合技術はまだ確立されていない。低入熱・局所加熱な溶接・接合プロセスとしてレーザブレイジングがある。レーザブレイジングは接合部を局部加熱、急熱/急冷による母材の材質劣化や変形制御が行える特徴を有しているため、ろう付け品質の安定化・高信頼性化が図れ、難接合材同士の接合が期待できる。

図3[4]にAZ125ワイヤーを用いたA5052/AZ31レーザブレイジング継手の組織と引張せん断強度結果を示す。A5052とAZ125との界面にIMCである $Mg_{17}Al_{12}$ および Mg_2Al_3 が比較的薄く生成し(図3(a))、レーザ出力の増加に伴いぬれ性が良好となる。そし

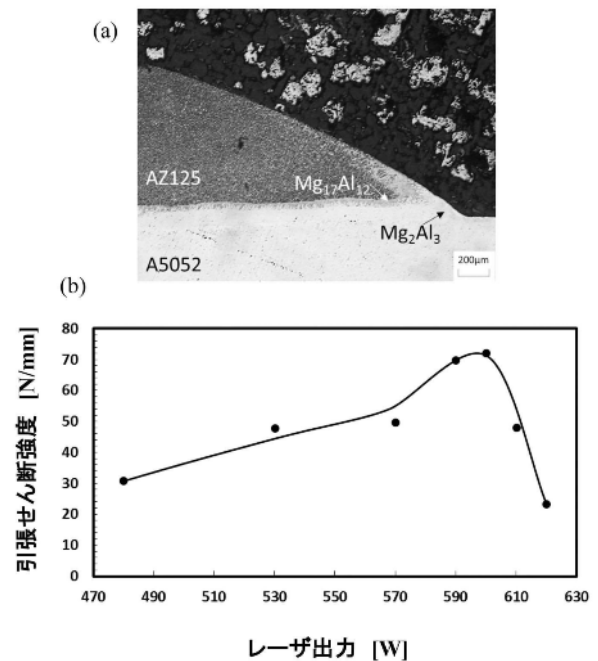


図3 A5052/AZ31の異材レーザブレイジングの(a)SEM組織と(b)強度分布(フィラーワイヤー:AZ125) [4]

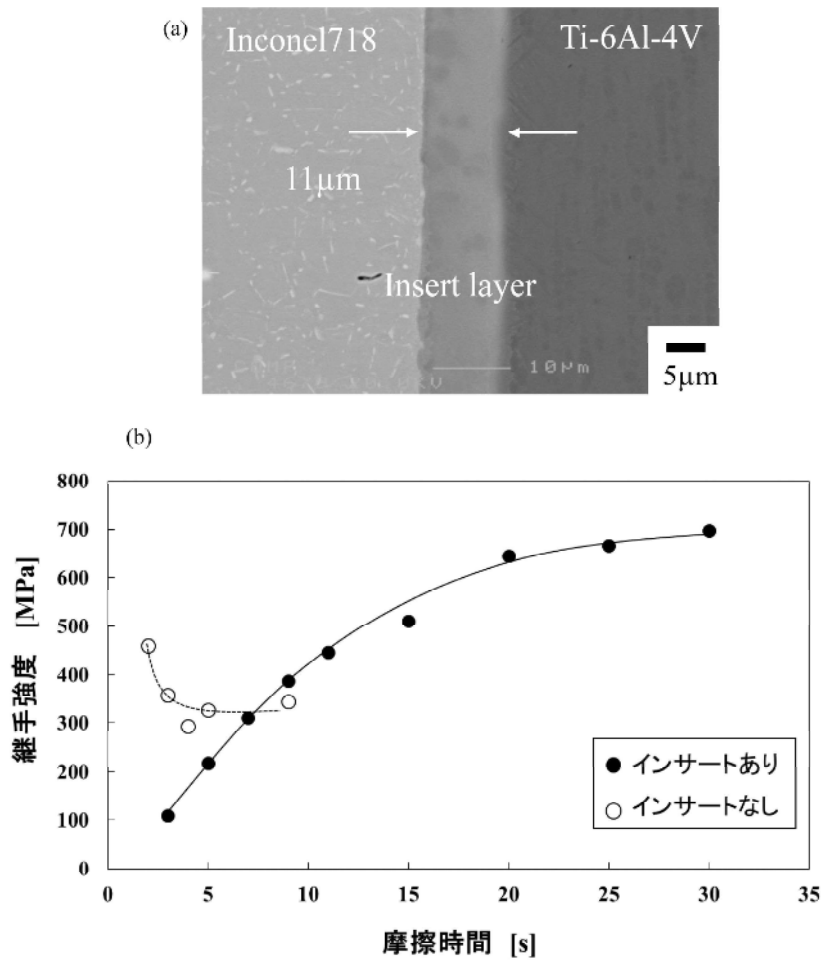


図4 Au-Ni インサートを用いたTi-6Al-4V/Inconel718 異材摩擦圧接の (a)SEM組織と (b)強度分布

て接合面積が増加することで強度が増加する (図3(b)). しかし、入熱が過剰になると (610W 以上) 粗大な IMC とボイドが発生し、ろう材内で容易に破断して低強度を示す. そのため、IMC の粗大化を抑えながら、ぬれ性を上げることで継手の高強度化が図れる.

4. チタン合金とニッケル合金の異材摩擦圧接

耐熱構造部材への適用としてチタン合金とニッケル合金の異材接合の確立はニーズが高い. しかし、チタン合金とニッケル合金を直接接合すると、IMC の形成により強度が 500MPa 以下となり、母材強度の 50% も満たない. その改善策として、インサート材を適用してチタン合金とニッケル合金の直接反応を防ぐことは非常に有効である.

図4に Au-Ni インサート材を用いた Ti-6Al-4V / Inconel718 摩擦圧接後の界面組織とインサート材

の有無による引張強さの関係を示す. 摩擦時間の増加に伴いインサート材の排出が進行し接合界面の層厚さが小さくなる (図4(a)). この際にチタン合金とニッケル合金の直接反応は起きていない. このような継手は、直接接合に比べて引張強さが増加し、700MPa 程度の高強度継手が得られることがわかる (図4(b)). また、接合時の最高到達温度は 980 ~ 1000℃であった. これは Au-Ni インサートの溶融温度である 950℃を上回っており、接合界面部は半溶融状態となっていることが推察される. そのため、インサートを用いることで、接合界面において攪拌に加えて、インサートが溶融状態となるろう付け的なプロセスにより母材元素がインサート層に拡散することにより高強度な継手が得られることがわかる.

5. おわりに

本稿では工業的需要の高い異材接合に関して、著

者の研究結果の一部を紹介した。異材接合の工業的実用化としては、例えば、アルミニウム合金／銅接合は一部、自動車に実用化されている。しかし、異材接合は接着や接着と機械的締結の併用によるものも多く、冶金的な接合のみではまだ不十分な場合が多い。今後も界面反応制御の確立による異材接合技術の開発に貢献できればと思う。最後に、本研究の一部は科学研究費補助金（基盤C）15K06465の支援によるものであることを付記し、謝意を表す。

参考文献

- [1] 金属データブック改訂4版, (公社)日本金属学会, (2004), 500.
- [2] T. Nishida, T. Ogura, H. Nishida, M. Fujimoto, M. Takahashi and A. Hirose: Science and Technology of Welding and Joining, 19 (2014), 609-616.
- [3] T. Ogura, Y. Saito, T. Nishida, H. Nishida, T. Yoshida, N. Omichi, M. Fujimoto and A. Hirose: Scripta Materialia, 66 (2012), 531-534.
- [4] T. Ogura, T. Yokochi, S. Netsu and K. Saida, Proc. of IIW 2015 (Doc XVIIA-0076-15).

