

K-26

アルミニウム合金/鋼接合界面組織に及ぼす拡散接合パラメータの影響

Effects of diffusion bonding parameter on interfacial microstructure in aluminum alloy/steel joint

○横関大樹¹, 石川郁哉², 西川歩², 渡邊満洋³*Daiki Yokozeki¹, Fumiya Ishikawa², Ayumu Nishikawa², Mitsuhiro Watanabe³

Abstract: Dissimilar metal joint of A5052 aluminum alloy and carbon steel was fabricated by using diffusion bonding method. The diffusion couple was press by using cramping force of a screw and was annealed in vacuum. The pressure, the temperature, and the holding time were changed in range from 5.0 MPa to 7.5 MPa, from 793 K to 823 K, from 1800 s to 3600 s, respectively. The interfacial microstructure was observed by using optical microscope. Reaction layer was clearly observed at the bonding interface. Thickness of the reaction layer was almost constant at the entire bonding interface. The layer thickness increased with increasing the temperature or the holding time.

1. 緒言

近年、自動車等の輸送機器は燃費向上を目的とした車体軽量化が望まれている。車体軽量化の方策の一つとして、車体を構成している材料の置換がある。従来、車体に主に用いられている材料は鋼であるが、鉄に比べて密度が約 1/3 であり、リサイクル性に富むアルミニウム合金への置換が車体軽量化に対して有効であると考えられる。しかし、アルミニウム合金は鋼に比べてコスト高であるため、車体全体をアルミニウム合金に置換するのではなく、アルミニウム合金と鋼を適材適所に配置して構造を構成することが有効な手段であると考えられる。このように、アルミニウム合金と鋼を用いて車体を構成するためには、アルミニウム合金と鋼の異種金属接合が必要となる。

アルミニウム合金と鋼の接合にアーク溶接などの従来の熔融溶接法を用いると、接合界面に脆弱な金属間化合物が層状に厚く生成し、外力負荷時に脆性金属間化合物が破壊されるため接合強度が低いことが知られている[1]。Lee らは、ディフォーカスレーザを用いてアルミニウム合金板と鋼板の重ね接合を行い、接合界面組織と強度の関係を報告している[2]。この報告では、接合界面への入熱量が増加するにしたがって接合界面に形成される金属間化合物層の厚さが増加し、接合部中央の金属間化合物層が約 1 μm 以上に成長すると接合強度が金属間化合物層の厚さにしたがって減少することが示されている。この接合手法は、レーザ照射側の鋼板内に熔融池を形成させ、熱拡散によってアルミニウム合金/鋼界面に入熱し、接合を行っている。鋼内に形成された熔融池はレーザ内の強度に依存して円弧状に形成されるため、界面までの伝熱距離が場所によって異なるため接合界面に生成される金属間化合物層の厚

さは接合部内で均一ではない。しかがって、金属間化合物層と強度の関係を整理するためには不十分であると考えられる。一方、拡散接合は材料内の温度分布を均一に制御することが可能であるため、接合界面にはほとんど均一な層が生成されることが知られている。すなわち、拡散接合材を用いれば、接合界面に形成される反応層と接合強度の関係を系統的に検討することが可能になると考えられる。そこで本研究では、アルミニウム合金と鋼の拡散接合を行い、接合界面に生成される反応層生成に及ぼす接合パラメータの影響について検討した。

2. 実験方法

供試材には、円柱状押出丸棒の A5052 アルミニウム合金（以降、アルミニウム合金と記述）と S25C 炭素鋼（以降、鋼と記述）を用いた。それぞれの丸棒材を横型旋盤を用いて 5 mm の直径に切削し、8 mm の長さの円柱試験片を切り出した。接合前には、合わせ面を #120 ~ #4000 の耐水研磨紙で研磨し、1 μm のダイヤモンドペーストで精密研磨した後、アセトン中で超音波洗浄を施した。

拡散対の固定方法の模式図を Fig.1 に示す。各円柱試験片の底面を合わせ、1/4 インチウィットネジによって圧力を加えた。なおネジの締め付けによる圧力負荷値 P [MPa] は、トルクドライバを用いてネジの締め付けトルク T [Nm] を制御し、下記の 2 式を用いて算出した。

$$F = T/(kd) \quad (1)$$

$$P = F/A \quad (2)$$

ここで、 F [N]は軸力、 k はトルク係数、 d [m]はネジの呼び径、 A [mm²]は合わせ面の断面積である。

所定の圧力で固定した拡散対を石英ガラス管内に設置したのち、ガラス管内を真空引きし、所定の温度に昇温することによって拡散実験を行った (Fig.2)。本研究では、圧力を 5.0~7.5 MPa、保持温度を 793~823 K、保持時間を 1800~3600 s に変化させた。

得られた拡散対は、断面に対して鏡面研磨を施し、光学顕微鏡を用いて接合界面に形成された反応層に注目して界面近傍の組織を観察した。

3. 結果及び考察

Fig.3(a)に、得られたアルミニウム合金/鋼拡散対の典型例として、7.5 MPa の圧力を加えた状態で 793 K の温度で 1800 s 保持して作製した拡散対の全体の断面光学顕微鏡像を示す。写真の左側がアルミニウム合金、右側が鋼である。アルミニウム合金の縁部分にはバリが観察された。本研究では、拡散対への圧力負荷は常温で行い、昇温中及び高温保持中では圧力制御は行っていないため、昇温によるネジの応力緩和が生じ、圧力負荷が解消されることが懸念されたが、このアルミニウム合金縁部におけるバリの形成は圧力値に依存して大きさが変化したため、高温状態でも拡散対に圧力が負荷されていることが確認された。

Fig.3(b)に、Fig.3 内の鎖線で囲まれた領域 A の拡大光学顕微鏡像を示す。接合界面には、アルミニウム合金と鋼のコントラストとは異なるコントラストで観察される層状反応物が明瞭に形成されていた。反応層の厚さは接合界面全体においてほとんど均一であり、鋼/反応層界面は比較的直線であったが、アルミニウム合金/反応層界面は鋸歯状であった。また、初期合わせ界面の位置と比較すると、反応層は鋼側に形成されていることがわかった。これは、Al が鋼側に優先的に拡散し、反応層を形成したことを示していると考えられる。

Table 1 に、7.5 MPa の圧力、1800 s の保持時間を固定し、保持温度を変えた場合、Table 2 に 7.5 MPa の圧力、823 K の保持温度を固定し、保持時間を変えた場合に得られたそれぞれの反応層の厚さを示す。保持温度の増加または保持時間の延長に伴い、接合界面に形成された反応層の厚さは増加した。これは、保持温度の増加は Al の拡散を活性化すること、保持時間の増加は Al の拡散距離を増加させることを示していると考えられる。

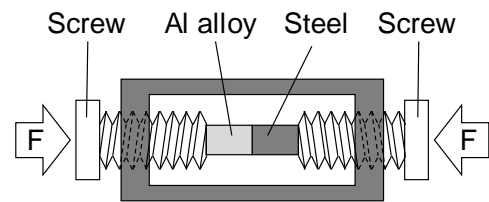


Fig.1 Schematic diagram of diffusion couple.

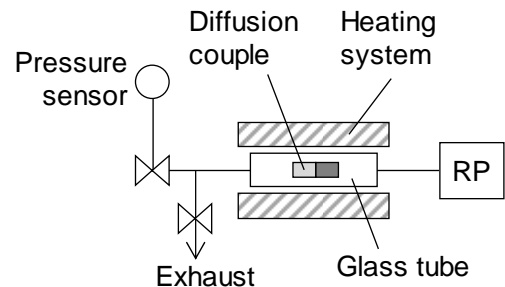


Fig.2 Diffusion bonding system.

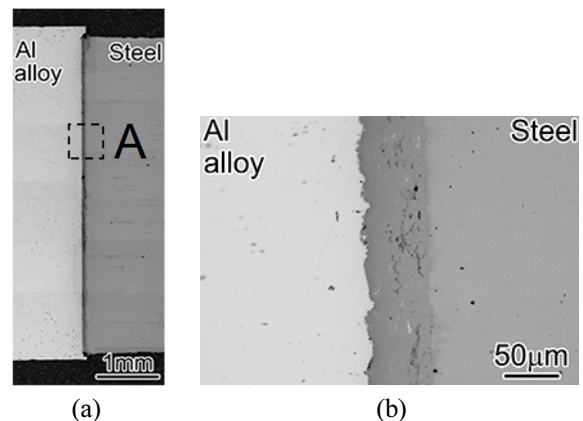


Fig.3 Optical micrographs of cross section of (a) entire diffusion couple and (b) bonding interface.

Table 1 Temperature dependence on layer thickness.

Temperature / K	Layer thickness / µm
793	60
823	170

Table 2 Time dependence on layer thickness.

Holding time / s	Layer thickness / µm
1800	170
3600	300

4. 参考文献

- [1] 崎山ら, 新日鉄技報, Vol. 393, pp. 91-98, 2012.
- [2] K. Lee *et al.*, Mater. Trans., Vol. 46, pp. 1847-1856, 2005.