

# 摩擦点接合技術の開発

玄道 俊行 西口 勝也 麻川 元康

マツダ株式会社技術研究所

J. Japan Inst. Metals, Vol. 70, No. 11 (2006), pp. 870-873  
Special Issue on Development on Materials for Automobiles Use  
© 2006 The Japan Institute of Metals  
OVERVIEW

## Development of Spot Friction Welding

Toshiyuki Gendo, Katsuya Nishiguchi and Motoyasu Asakawa

Technical Research Center, Mazda Motor Corporation, Hiroshima 730-8670

Spot friction welding (SFW) is a cost-effective spot joining technology for aluminum sheets, capable of delivering better quality compared with resistance spot welding (RSW). In this study, this technology is applied to the joining of steel and aluminum together. The fusion welding between steel and aluminum is known to be difficult for sufficient strength due to the formation of brittle intermetallic compounds. SFW is a solid state, low temperature joining process using friction heat, so that it's possible to prevent the formation of brittle intermetallic compounds in the joints between steel and aluminum. Tensile shear test was conducted and the joint state was investigated by optical microscope and EPMA. Any remaining coating at the joint interface not removed by the plastic flow will prevent a good contact of the fresh surfaces of aluminum and steel. As a consequence, the joint strength decreases due to the difficulty of removing galvanized coatings with high solidus temperature. In addition, investigation result of steel SFW is also introduced.

(Received May 22, 2006; Accepted July 14, 2006)

**Keywords:** steel, aluminum, spot, friction, welding, galvanized coating

### 1. はじめに

近年、環境問題や衝突規制への対応から自動車車体の軽量化と衝突安全性向上の両立が強く望まれている。このため、新たな車体構造・工法の研究開発や高張力鋼板の適用拡大と共に、アルミニウム合金、マグネシウム合金や樹脂といった軽量材料の採用が増加している。しかし、コストと生産性の観点から今後とも鋼板材料の優位性は変わらないと予想される。このため、鋼板製車体をベースに軽量材料を適材適所に組み合わせるマルチマテリアル化が進むと考えられ、異種材料接合技術のニーズが高まっている。

本稿では、新たなアルミニウム合金の接合法として注目されている摩擦点接合(Spot Friction Welding: 以下 SFW 接合)の原理と特徴について述べるとともに、本接合原理を応用発展させた鋼板とアルミニウム合金の SFW 接合について概説する。また、SFW 接合の鋼板同士への適用可能性についても紹介する。

### 2. SFW 接合の原理と特徴

Fig. 1 に SFW 接合の概略図を示す。SFW 接合は材料の上下から接合ツールで接合部をはさみ込み、上側の接合ツールを加圧しながら回転させることで発生する摩擦熱で材料を軟化させ接合する工法である。材料を熔融させずに固相状態

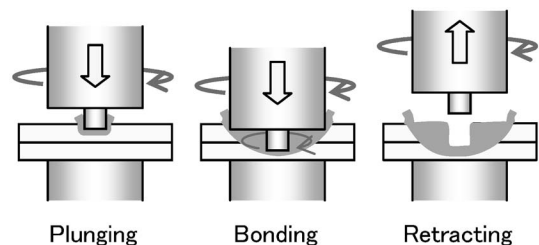


Fig. 1 Three stage of spot friction welding process.

で接合出来ることが最大の特徴である。従って、接合に伴う入熱量が少なく熔融溶接に比べ変形を小さく抑えられる。

### 3. SFW 接合の自動車部品への適用

#### 3.1 アルミニウム合金板の SFW 接合

従来、自動車ボディの組立工程では大量生産に適した接合技術として抵抗スポット溶接が用いられており、その接合点数は一台あたり数千点に及んでいる。しかし、アルミニウム部材の接合技術として抵抗スポット溶接を用いる場合、鋼板に比べ熱伝導度や電気伝導度が大きい為、大量の電力を消費するとともに、大型の専用設備が必要になるといった課題を抱えている。さらに、電極とアルミニウム合金との反応により電極の損耗が激しく電極寿命が短いことも問題となる。

これに対し、SFW 接合では接合に要するエネルギーは接

合ツールを駆動するモーター用電力のみであるため、Fig. 2 に示す通り、冷却水や圧縮エアーのホース、溶接ケーブルなどが不要で、抵抗スポット溶接に比べて非常にシンプルな接合システムとなっている。また、接合ツールは抵抗スポット溶接の電極のように頻繁なドレッシングを必要とせず、長寿命である。このように、SFW 接合はアルミニウム合金板の接合に適した接合法であると言える。尚、SFW 接合の継手強度は抵抗スポット溶接と同等レベルである<sup>1,2)</sup>。

### 3.2 アルミニウム合金板と鋼板の SFW 接合

抵抗スポット溶接のような熔融接合によりアルミニウム合金板と鋼板の接合を行うと、その界面には脆い金属間化合物が生成し十分な継手強度を得られない<sup>3)</sup>。そこで現在主流となっているのが、セルフピアッシングリベット、メカニカルクリンチなどの機械的な結合法である。これに対して、固相状態で接合出来る SFW 接合をアルミニウム合金板と鋼板の接合に適用した場合、脆弱な金属間化合物を抑制出来る可能性がある。また、リベットなどの副資材が不要なためランニングコストも低減出来る。

Fig. 3 にアルミニウム合金板と鋼板の SFW 接合コンセプトを示す。界面に存在する酸化皮膜は固相接合を妨げる要因になるため除去する必要がある。しかし、アルミニウム合金板と鋼板の SFW 接合では、接合ツールは鋼板に接触すると摩擦や破損を生じるため、挿入量をアルミニウム合金板厚の

範囲にとどめなければならない。その結果、アルミニウム合金板表面の酸化皮膜は破壊出来るものの、下板である鋼板の界面は全く塑性変形させることが出来ず、鋼板側の酸化皮膜を除去することが出来ない。鋼板表面の酸化皮膜除去が不十分だとアルミニウム合金板と鋼板の新生面を直接密着することが出来ないため、十分な継手強度が確保出来なかった。

我々はこの問題に対して下板にめっき鋼板を使用すれば、めっき表面に形成した酸化皮膜を摩擦熱により軟化しためっきと一緒に界面から除去出来る可能性があると考え、下板にめっき鋼板を用いた開発を進めてきた。

このコンセプトに基づいた接合プロセスでは、まず接合ツールを特定の加圧力で材料表面に押し付け、摩擦抵抗による発熱で上板のアルミニウム合金板とめっきを軟化させる。接合ツールによって軟化したアルミニウム合金板が塑性変形することにより界面の酸化皮膜が破壊され、同時に界面のめっきも除去される。この結果、めっきが無くなった範囲ではアルミニウム合金板および鋼板の新生面同士が直接接触することになる。さらに上下のツールで材料を把持することで、新生面同士の冶金的な接合が進む。

Fig. 4 に、種々のめっき鋼板を用いた場合の継手の引張りせん断強度を示す。図中には、参考のため抵抗スポット溶接したアルミニウム合金板同士の引張りせん断強度 JIS \_A 級平均も示している。熔融 Zn-10%Fe めっき鋼板以外のめっき鋼板では、抵抗スポット溶接したアルミニウム合金板と同等以上の継手強度を示す。

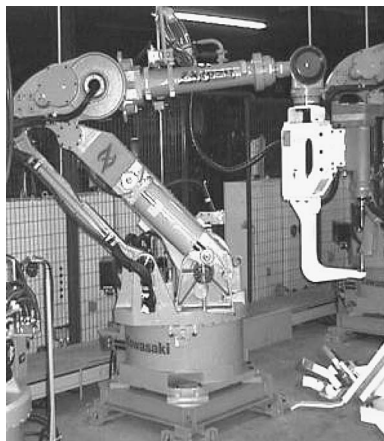


Fig. 2 SFW robot system.

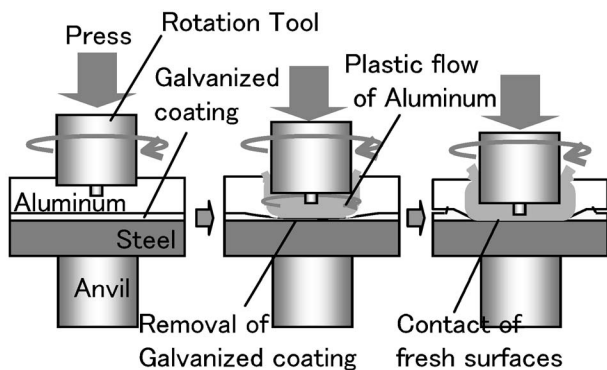


Fig. 3 Schematic representation of spot friction welding of aluminum to steel.

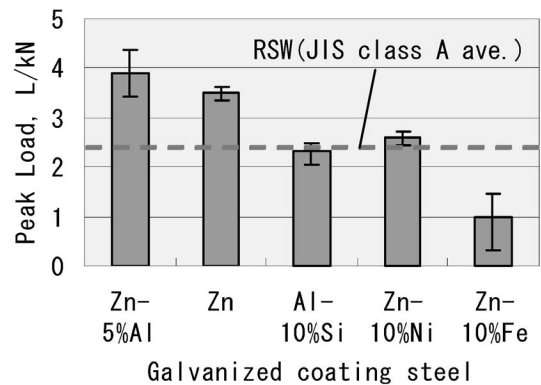


Fig. 4 Peak loads from tensile shear test.

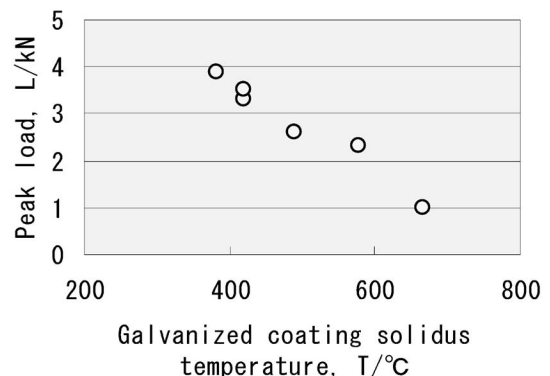


Fig. 5 Relationship between galvanized coating solidus temperature and peak load from tensile shear test.

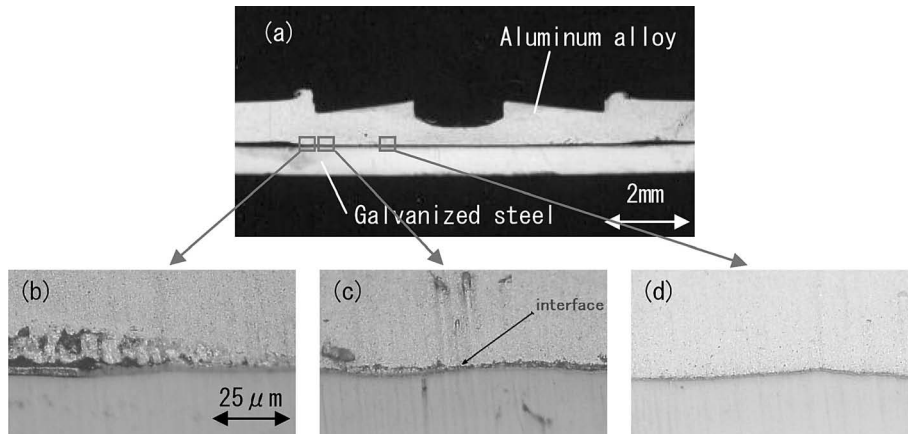


Fig. 6 Cross-section of SFW joint: (a) is a whole image, (b), (c), (d) are close section view of interface.

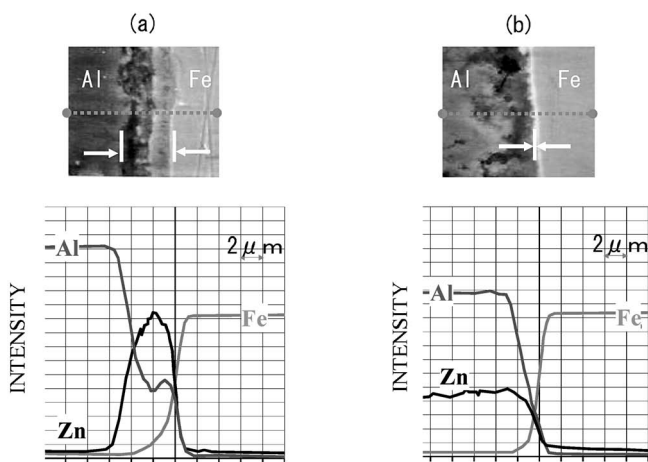


Fig. 7 EPMA result (a) corresponds to Fig. 6(c) and (b) corresponds to Fig. 6(d).

Fig. 5 に、めっきの熔融温度と継手の引張りせん断強度の関係を示す。めっきの熔融温度が高くなるにつれ接合強度は低下する傾向を示す。これは、摩擦熱による接合部温度(約 500℃)に対して高融点のめっき種では界面からの除去が困難なためと推察される。アルミニウム合金板と鋼板の SFW 接合では、アルミニウム合金板の塑性変形によって除去されずに残っためっきはアルミニウム合金板と鋼板の新生面同士の接触を阻害する。このため、めっき除去が不十分な場合は接合面積が減少し、継手強度が低下すると考える。

接合部の断面は Fig. 6(a) に示すように、接合ツールが圧入されたアルミニウム合金板側は接合ツールによって塑性変形しているが、鋼板側は接合ツールの影響を受けない。Fig. 6(b)~(d) に、界面の拡大写真を示す。接合端に近い(b)および(c)ではアルミニウム合金板と鋼板の界面に中間層が存在している。しかし、内部の(d)部ではアルミニウム合金板と鋼板は直接接触しており、中間層は見られなかった。

Fig. 7(a) に、外周部界面(Fig. 6(c))の EPMA 分析結果を、Fig. 7(b) に、内部界面(Fig. 6(d))の EPMA 分析結果を示す。外周部界面について見ると、アルミニウム合金板と鋼板の界面に亜鉛の中間層が見られる。この中間層は、亜鉛とアルミニウム、鉄が混在しており、外周部に排出されず残存し



Fig. 8 SFW of aluminum to steel used in an aluminum trunk lid.

た亜鉛めっき中にアルミニウムや鉄が拡散して出来た層であると考えられる。これに対し、界面内部では、除去された亜鉛めっきの一部がアルミニウム合金板内に取込まれているが、明瞭な亜鉛めっき層は認められず、鋼板表面の亜鉛めっき層は除去されている。

Fig. 8 に、アルミニウム製トランクリッドインナーパネルの外観写真を示す。本接合技術は、2005 年に発売を開始した新型ロードスターのヒンジラインフォースメントと鋼板製ボルトリテーナーの接合に採用している。

### 3.3 鋼板同士の SFW 接合

これまでアルミニウム合金板同士、アルミニウム合金板と鋼板の SFW 接合について述べてきたが、原理的には鋼板などの高融点材料への適用も可能である<sup>4,5)</sup>。ここでは、軟鋼板を用いた検討結果について紹介する。接合ツールには、鋼板材料の特性(高融点、高硬度)を考慮し、セラミックスを使用した。

Fig. 9 に、軟鋼板同士の SFW 接合部断面マクロ写真を示す。接合ツールピンの周囲では上板と下板の界面が消失し冶金的な接合となっている。

Fig. 10 に、継手の引張りせん断強度を示す。同じ板厚の抵抗スポット溶接(JIS A 級平均: 4.9 kN)と比較しても高い接合強度が得られており、抵抗スポット溶接に代わる新たな点接合法として検討する価値があると考えられる。但し、接合

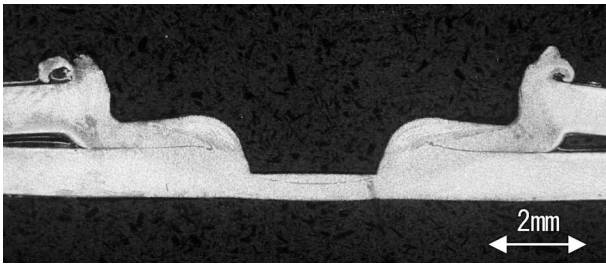


Fig. 9 Cross-section of SFW joint for mild steel.

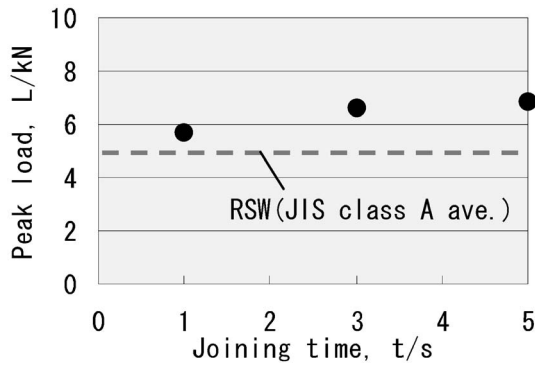


Fig. 10 Peak loads of steel SFW from tensile shear test.

ツール寿命など課題もまだ多く、生産性や継手の信頼性、コスト面などの観点から十分な検証が必要である。

#### 4. ま と め

本稿では、自動車部品への SFW 接合適用に関する研究開発の現状について紹介した。アルミニウム合金板同士のみならず、適切なめっき鋼板を使用することにより、これまで不可能とされてきたアルミニウム合金板と鋼板の異種材料接合を実用化した。今後は欧州で見られるように、鋼板製車体へのアルミニウム部材の部分適用は確実に増加すると予想され、本接合技術は生産性、コストの観点から有力な接合技術となり得ると考えられる。

#### 文 献

- 1) T. Iwashita: Proc. IIW Int. Conf. (2004) 71.
- 2) S. Koga: JOURNAL OF LIGHT METAL WELDING & CONSTRUCTION 42(2004) 1.
- 3) K. Nakata: Welding Technology 52(2004) 126-130.
- 4) Z. Feng, M. L. Santella, S. A. David, R. J. Steel, S. M. Packer, T. Pan, M. Kuo and R. S. Bhatnagar: SAE2005-01-1248 (2005).
- 5) R. Ohashi, M. Fujimoto, M. Inuzuka and S. Koga: PREPRINTS OF THE NATIONAL MEETING OF J.W.S. 76(2005) 308.