

論 文

Al合金とのスポット溶接性に優れた溶融アルミニウムめっき鋼板の接合機構

服部 保徳* 三尾野 忠昭** 清水 剛*** 笹部 誠二**** 岩瀬 哲****

Joint Mechanism of Hot-dip Aluminized Steel Sheet Excellent in Spot Weldability with Aluminum Alloy

Yasunori Hattori, Tadaaki Miono, Takeshi Shimizu, Seiji Sasabe, Tetsu Iwase

Synopsis:

A hot-dip aluminized N added steel sheet provides high joint strength when welded to an aluminum alloy sheet by spot welding. With respect to joint strength, a study was conducted comparing the hot-dip aluminized N added steel sheet with a conventional hot-dip aluminized low carbon steel sheet (hot-dip aluminized low carbon steel sheet) and a non-coated low carbon steel sheet (low carbon steel sheet).

When a cross tension test is conducted for a spot weld joint, high joint strength is attained for the joint of the hot-dip aluminized N added steel sheet and an aluminum alloy sheet. And the joint exhibits a button fracture mode. In contrast, as for a spot weld joint of the hot-dip aluminized low carbon steel sheet and an aluminum alloy sheet, or as for that of the low carbon steel sheet and an aluminum alloy sheet, the joint has low joint strength, and exhibits a share fracture mode. At the spot weld joint interface between the hot-dip aluminized N added steel sheet and an aluminum alloy sheet, there exists a region free of intermetallic compound. In contrast, at the spot weld joint interface between either two types of steel sheets and an aluminum alloy sheet, intermetallic compound exists all over the region. The crack at the weld interface caused by the stress during the cross tension test does not extend beyond the region free of intermetallic compound. It was considered that this resulted in high joint strength and led to not a share but a button fracture mode.

1. 緒言

近年、地球温暖化が問題視されるようになり、2005年には京都議定書の発効を受け、主な温室効果ガスと考えられているCO₂の削減目標が設定された。国内においては自動車からのCO₂排出量が20%を占め、燃費改善が大きな課題となっている。自動車の燃費改善に対して種々の試みがなされているが、軽量化につながるアルミニウム合金の使用は有効な手段の一つである。このため、自動車におけるアルミニウム合金の使用量は近年増加しており^{1,2)}、今後もその伸びが予想される。一部の自動

車メーカーでは車体をすべてアルミニウム合金とした車を販売しているが、材料コストが高く生産性が劣るため、高級車やスポーツカーなどの車種に限定されている³⁾。一方、鋼製車体の一部にアルミニウム合金を組み合わせたハイブリッド構造の車体⁴⁾は、コスト、生産性などから現実的に受け入れ易い手法であるため採用車種が増加している。

ハイブリッド構造車体の場合、アルミニウム合金と鋼との異種金属接合が必要となる。しかし、アルミニウム合金と鋼の接合にスポット溶接やミグブレージングなどの冶金的な接合方法を用いると、接合界面に脆弱なAl-Fe系金属間化合物が生成し、良好な接合強度が得られ

*表面処理研究部 表面処理第一研究チーム 主任研究員

**表面処理研究部 表面処理第一研究チーム

***表面処理研究部 表面処理第一研究チーム チームリーダー

****(株)神戸製鋼所アルミ・銅カンパニー 技術部

ない⁵⁾。このため現状ではボルト留めやリベットなどの機械的締結や接着接合が主流⁶⁾となっているが、これらの手法は自動化が困難なため生産性の面で劣る場合が多い。

このような背景から、一般的な接合手法であるスポット溶接によるアルミニウム合金と鋼との異種金属接合を検討した結果、高濃度の窒素を含有する鋼板を母材にした溶融アルミニウムめっき鋼板を用いることによりアルミニウム合金と良好な接合強度が得られることを見出した^{7~9)}。本報では、高窒素含有鋼を母材とした溶融アルミニウムめっき鋼板とアルミニウム合金とのスポット溶接部の接合状態および高い接合強度が得られる機構について検討した結果を述べる。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材には連続式溶融めっきラインで製造した高窒素含有低炭素鋼を母材とした溶融アルミニウムめっき鋼板（以下、N添加鋼ベースAlめっき鋼板）と低炭素鋼を母材とした溶融アルミニウムめっき鋼板（以下、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板）を使用した。いずれも冷延母材を還元ガス雰囲気中で焼鈍した後、Siを9.2mass%含むアルミニウムめっき浴に浸漬し、ガスワイピングで片面あたりのめっき付着量が約60g/m²となるように調整した。また、低炭素鋼冷延焼鈍材（以下、低炭素鋼）も比較材として使用した。アルミニウム合金板（以下、Al合金）には、近年自動車用パネル材として使用量が増加している6000系¹⁰⁾の6022材（Al-1.0mass%Si-0.6mass%Mg）を使用した。なお、いずれの供試材とも板厚は1.0mmとした。

供試材に用いたN添加鋼ベースAlめっき鋼板の断面組織をFig. 1に示す。Al-9.2mass%Siめっき層と鋼素地

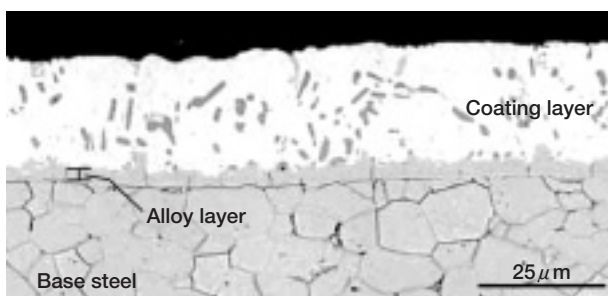


Fig. 1 Cross-sectional structure of hot-dip aluminized N added steel sheet.

との界面には、めっき時に形成された厚さ約2μmのAl-Fe-Si三元系の合金層（金属間化合物）が存在する。低炭素鋼ベースAlめっき鋼板も同様の断面形態を有する。

2.2 接合強度測定

スポット溶接後の接合強度はJIS Z 3137に準じた十字引張試験により評価した。Al合金とN添加鋼ベースAlめっき鋼板、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板、低炭素鋼とをそれぞれ組み合わせてスポット溶接した後、引張試験速度5mm/minで接合強度を測定した。スポット溶接はTable 1に示す条件で定置型単相交流式溶接機を使用して行った。電極は上下ともCu-1mass%Cr合金製の先端径6mmのドーム型電極（DR40）を用いた。なお、本文中で特にことわりがない場合、溶接電流は13kAとした。

Table 1 Spot welding conditions

| | |
|-----------------|--|
| Welding machine | Single phase AC spot welding machine |
| Electrode | Cu-1mass%Cr alloy, Domed electrode (Φ6mm, DR40) |
| Electrode force | 2.9kN |
| Squeeze time | 24cycle (60Hz) |
| Welding current | 13kA (standard condition) |
| Welding time | 12cycle (60Hz) |
| Hold time | 12cycle (60Hz) |

2.3 接合界面の観察

各種接合体および引張試験後の接合体の接合界面を走査電子顕微鏡（SEM）および透過電子顕微鏡（TEM）、走査透過電子顕微鏡（STEM）を用いて調査した。TEM、STEM観察用の薄膜試料はGaイオン源を用いた収束イオンビーム加工により作製した。TEM明視野像は日立製作所製H-9000UHRを用いて加速電圧300kVで撮影した。ナノプローブ電子線回折およびエネルギー分散型X線分析（EDX）は日立製作所製HF-2000を用いて加速電圧200kV、ビーム径5nmで行った。

3. 実験結果および考察

3.1 接合強度

N添加鋼ベースAlめっき鋼板、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板ならびに低炭素鋼とAl合金とをそれぞれス

ット溶接し、十字引張強度を測定した結果をFig. 2に示す。Al合金とスポット溶接した場合、N添加鋼ベースAlめっき鋼板は、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板や低炭素鋼に対して2倍近い接合強度が得られる。

スポット溶接電流を7~14kA間で変化させた場合の十字引張強度をFig. 3に示す。低炭素鋼ベースAlめっき鋼板および低炭素鋼の場合、11kAまでは溶接電流の増

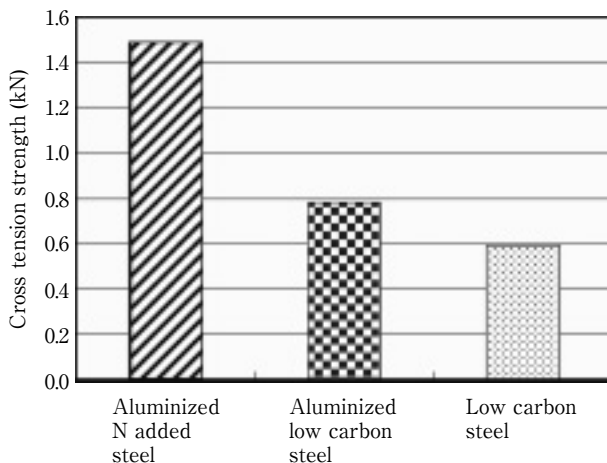


Fig. 2 Cross tension strength of dissimilar metal joining of aluminum alloy sheet to hot-dip aluminized N added steel sheet, hot-dip aluminized low carbon steel sheet and low carbon steel sheet.

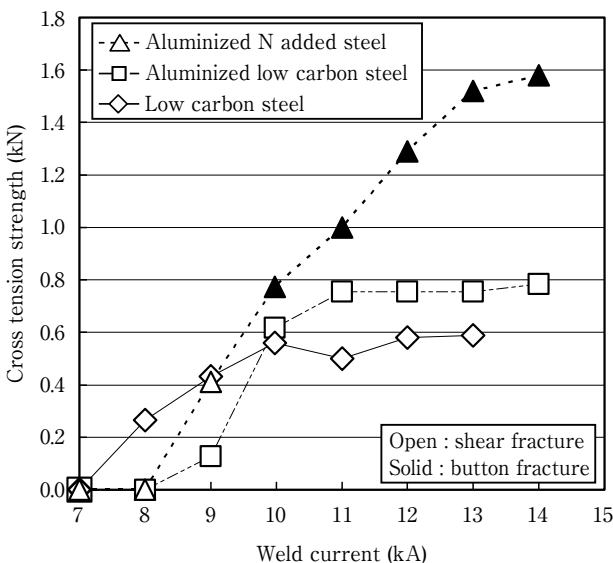


Fig. 3 Relation between weld current and cross tension strength in dissimilar metal joining of aluminum alloy sheet to hot-dip aluminized N added steel sheet, hot-dip aluminized low carbon steel sheet and low carbon steel sheet.

加とともに接合強度が増大するが、それ以上に溶接電流を上げて接合強度は変わらない。また、それらの破断形態はすべてシェアー破断となる。これらに対し、N添加鋼ベースAlめっき鋼板の場合、溶接電流の増加とともに接合強度は増大し、広い溶接電流範囲で高い接合強度が得られる。10kA以上の溶接電流では破断形態はボタン破断となる。

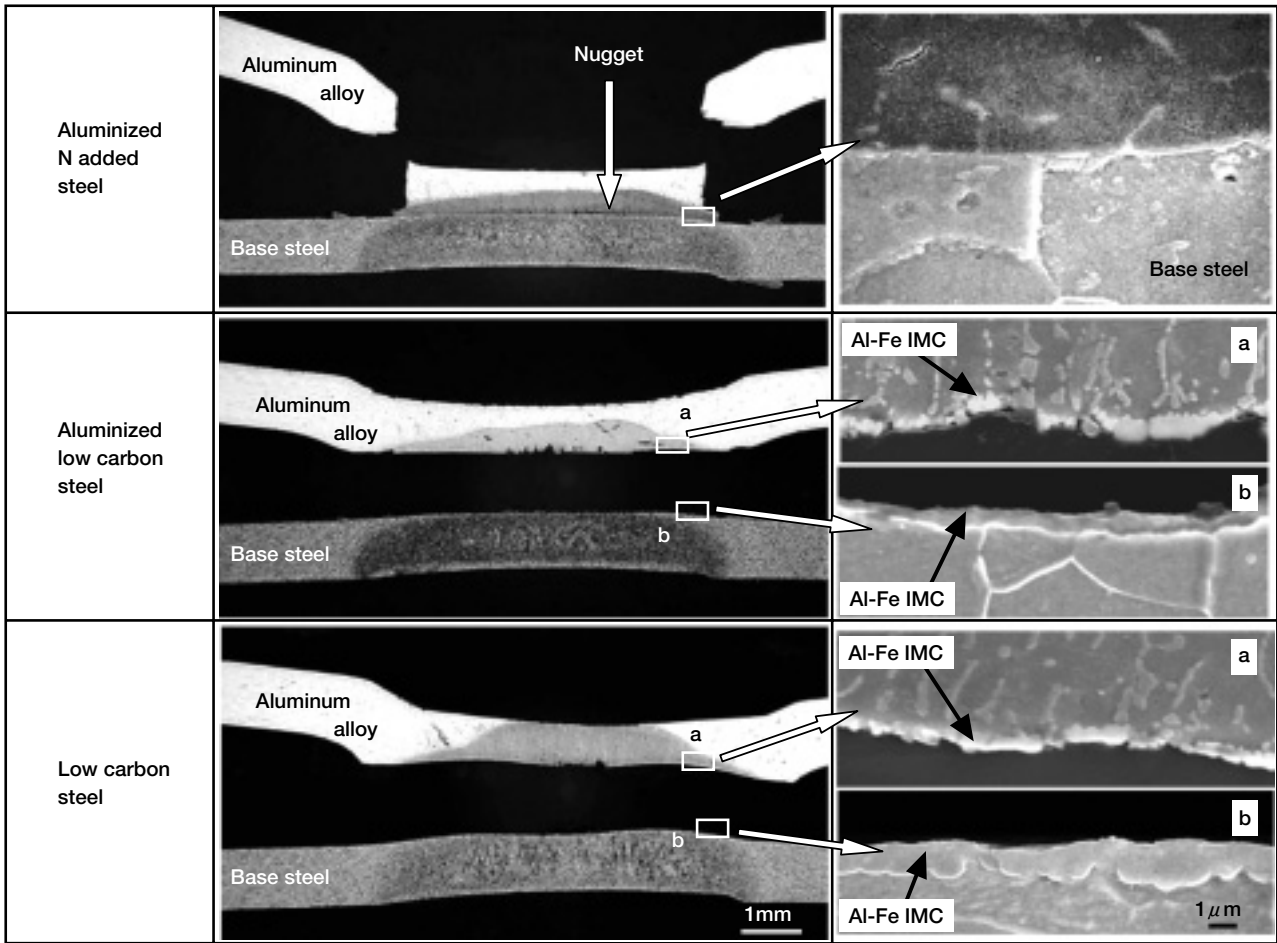
3.2 接合部の破断過程

各スポット溶接接合体の十字引張後の破断状態をFig. 4に示す。低炭素鋼ベースAlめっき鋼板および低炭素鋼の場合はシェアー破断となっているが、N添加鋼ベースAlめっき鋼板の場合、溶接部の外側のAl合金から破断するボタン破断となる。これらの破断形態の違いが前節で示した接合強度差が生じる原因と考えられる。接合界面の拡大写真より、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板、低炭素鋼では、Al合金との接合界面に存在するAl-Fe系金属間化合物層内で破壊していることがわかる。これらに対し、N添加鋼ベースAlめっき鋼板では、接合界面の端部近傍に金属間化合物のない領域（以下、金属間化合物未形成領域）が存在し、その部分より内側ではボタン破断後も接合されたままの状態となっている。

N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金を組み合わせたスポット溶接接合体の断面と接合界面の拡大写真をFig. 5に示す。なお、図中に付した番号は次節のTEM観察位置に対応する。一般に、同種材料同士のスポット溶接では、溶接部で両材が溶融し、融合してナゲット（溶接部の溶融凝固部）が形成されるため元の接合界面は見られない。しかし、Al合金と鋼板を組み合わせた異材スポット溶接の場合、通電により鋼板が発熱し、その熱が接合界面に達することでAl合金が溶融して鋼板と接合するとされている¹¹⁾。Fig. 5の断面においても、鋼板側は鋼板中央部を起点とする熱影響部が観察されるが、接合界面には溶融した形跡が無い。これに対し、Al合金側では接合界面を起点とする扇状のナゲットが観察される。このことから、本組み合わせにおいても上記の過程を経て、接合されていると考えられる。

接合界面の金属間化合物未形成領域はナゲットの最外周から約0.2mm内側に入った位置に存在する。Fig. 1で示した溶融Alめっき鋼板のめっき層と鋼素地との界面に存在する合金層が消失していることから、金属間化合物未形成領域はスポット溶接時に生成したといえる。

N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金との接合体がボタン破断に至る過程を観察するために破断荷重(1.5kN)より低い引張荷重(1.2kN)を負荷させた時のスポット溶接部の断面を観察した。その結果をFig. 6に示す。ナゲットの外側から発生した接合界面の亀裂は中心部に向かって進展するが、金属間化合物未形成領域で停止する。



(IMC; Intermetallic compound)

Fig. 4 Fracture mode after cross tension test in dissimilar metal joining of aluminum alloy sheet to hot-dip aluminized N added steel sheet, hot-dip aluminized low carbon steel sheet and low carbon steel sheet.

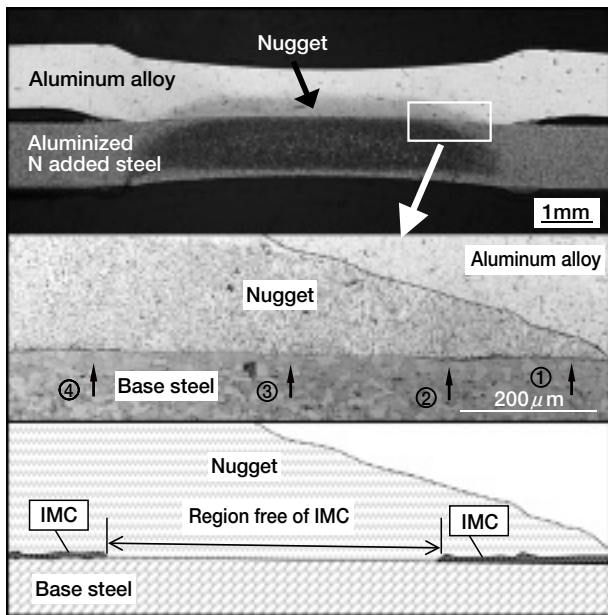


Fig. 5 Cross-sectional structure of spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet.

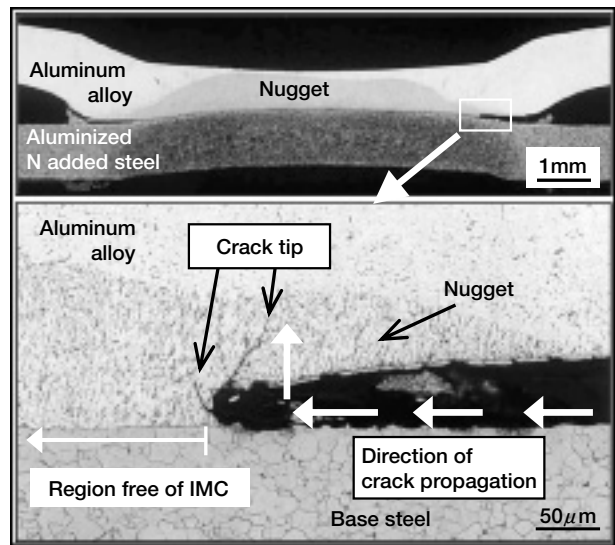


Fig. 6 Cross-sectional structure of spot welding part at load as for the cross tension of 1.2kN in dissimilar metal joining of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet.

ナゲット内に観察される小さな亀裂は、その後生じたと考えられる。このように接合界面を進展する亀裂が金属間化合物未形成領域で停止することによって、高い接合強度が得られ、ボタン破断になったと考えられる。したがって、金属間化合物未形成領域が接合強度の増大に大きな役割を果たしているといえる。

N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金を組み合わせ、溶接電流を9~14kAの範囲でスポット溶接した場合のナゲット径の変化および金属間化合物未形成領域の位置と幅について調査した。その結果をFig. 7に示す。ナゲット径は溶接電流の増加とともに増大し、金属間化合物未形成領域は10kA以上の溶接電流で生成する。その位置は常にナゲットの外周から0.2mmほど内側に入った部

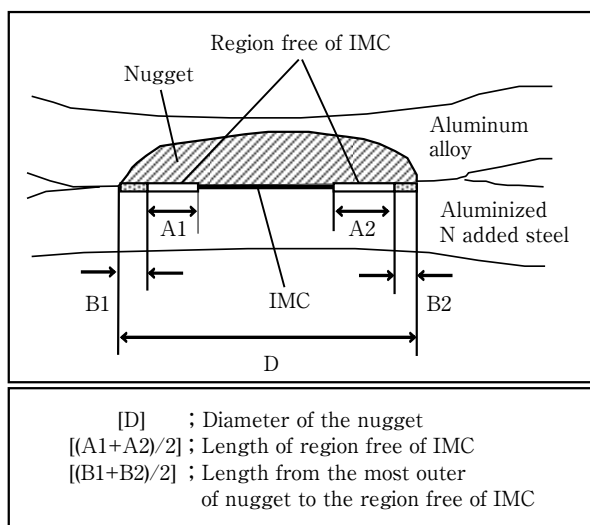
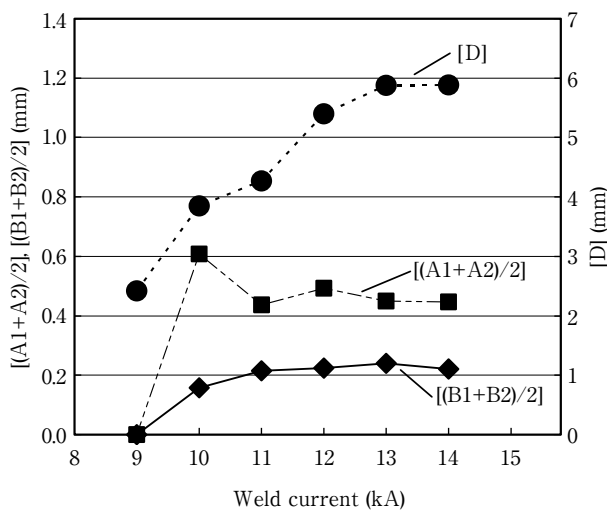


Fig. 7 Changes in [D], [(A1+A2)/2] and [(B1+B2)/2] with weld current in dissimilar metal joining of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet.

分に存在し、形成幅は0.5mm前後で一定である。スポット溶接部の中心点を通るいずれの断面においてもほぼ同様であることから、金属間化合物未形成領域はドーナツ状に存在しているといえる。

以上のことから、溶接電流の増大とともにドーナツ状の金属間化合物未形成領域の径が大きくなり、接合強度が高くなると考えられる。

3.3 接合機構

3.3.1 Al合金とAlめっき鋼板の接合界面

N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金との異種金属接合において高い接合強度が得られるのは、スポット溶接時に接合界面に金属間化合物未形成領域が形成されることに起因する。そこで、その形成過程を明らかにするため、接合界面を詳細に調査した。

(1) N添加鋼ベースAlめっき鋼板

先述したようにAl合金と鋼板のスポット溶接では、まず初めに電気抵抗の大きい鋼板が発熱し、その熱によりAl合金とめっき層が溶融することで鋼板と接合される。鋼板中央部より発熱が開始されるため、ナゲットの中心側ほど鋼板は溶融状態のAlと長く接することになるとともに、より高温に曝される。そのため、ナゲットの内外周においてAl合金と鋼板の接合状態が異なることが予想される。そこで、Fig. 5の接合界面で数字を付した位置①；接合界面の端部、②；端部①と金属間化合物未形成領域③の境界部、③；金属間化合物未形成領域、④；金属間化合物未形成領域の内側のSTEM観察とEDX分析を実施した。Fig. 8は①~④の位置のSTEM像とEDXによる接合界面の元素面分析結果である。接合界面の端部①にはAl, Fe, Siからなる金属間化合物が約2 μ mの厚みをもって層状に形成されている。端部と金属間化合物未形成領域の境界部②にはAl, Fe, Siからなる塊状の金属間化合物が不連続に形成され、端部①の金属間化合物に比べ、Si濃度が低い。金属間化合物未形成領域③の界面にはSTEM観察、EDX分析を行っても金属間化合物は確認されない。金属間化合物未形成領域の内側④にはAl, Fe, Siからなる金属間化合物層が形成されているが、端部①と比較すると厚さは薄く、Si濃度は低い。

端部①のTEM観察結果、EDX分析結果をFig. 9に示す。この部位の金属間化合物層は柱状組織を有しており、電子回折パターンを解析した結果、この金属間化合物層はAl₈Fe₂Si (以下、 τ 5)であった。金属間化合物層の厚み、成分、化合物種から溶融アルミニウムめっき時に鋼素地とめっき層との界面に形成された合金層¹²⁾がそのまま残存したものと考えられる。この金属間化合物と鋼素地の界面にはNを含んだ厚さ5nm程の薄い層が観察される。この薄い層を高分解能TEM像のフーリエ変換解

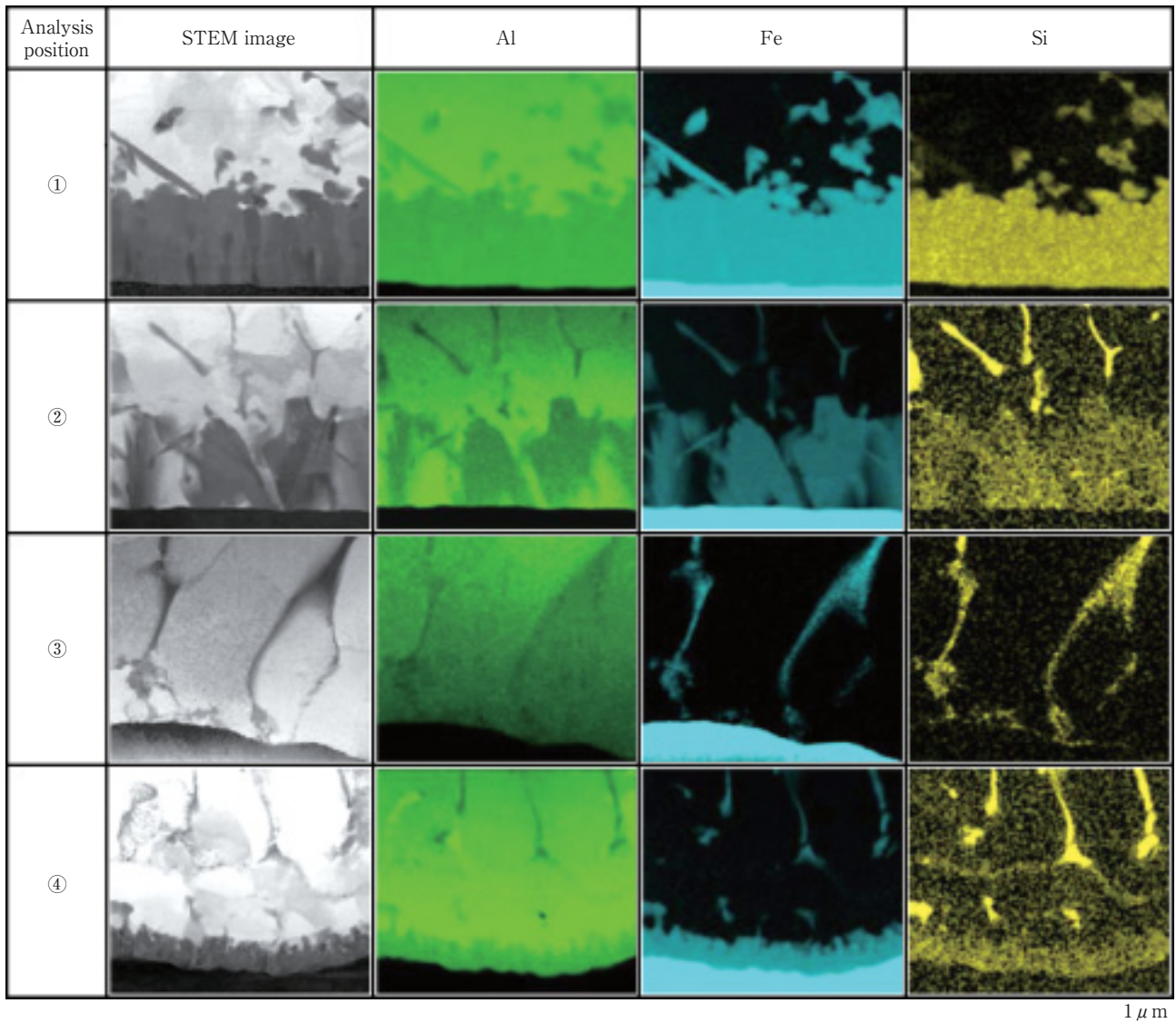


Fig. 8 Distribution of elements at cross-section of spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet equivalent to ①-④ positions in Fig.5 (STEM,EDX analysis).

析を行った結果、AINであると推定された。その結果をEDX分析結果とともにFig.10に示す。

境界部②の界面のTEM観察結果，EDX分析結果をFig.11に示す。電子回折パターンを解析した結果，この部分の塊状に変化した金属間化合物は τ_5 ではなく $Al_{13}Fe_4$ （以下， θ ）であることがわかった。なお，この θ はFig. 8のEDX分析結果から少量のSiを含有していると考えられる。また，金属間化合物と鋼素地との界面に端部①と同様なAINと考えられる層が存在する。

金属間化合物未形成領域③の接合界面をTEMで観察した結果をFig.12に示す。この部位では高倍で観察してもAl-Fe系金属間化合物の存在は認められない。また鋼

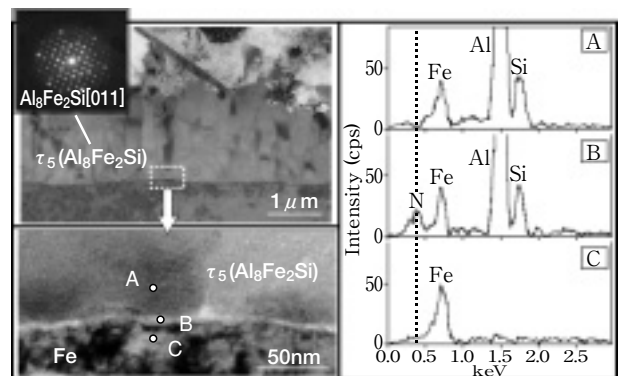


Fig. 9 TEM micrographs and results of EDX point analysis of spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet equivalent to ① position in Fig.5.

素地上には依然としてAINと考えられる層が存在する。このことから、金属間化合物未形成領域ではスポット溶

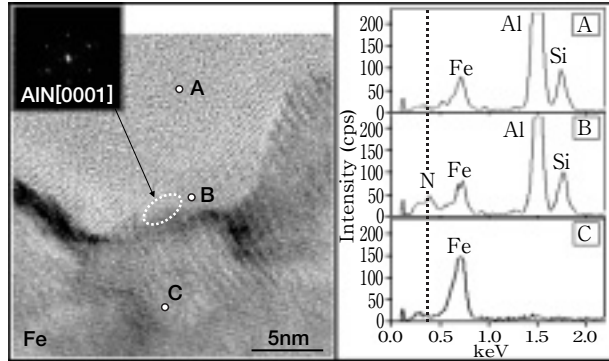


Fig. 10 High-resolution TEM micrograph, fast fourier transform (FFT) image and results of EDX point analysis at ① position in Fig. 5.

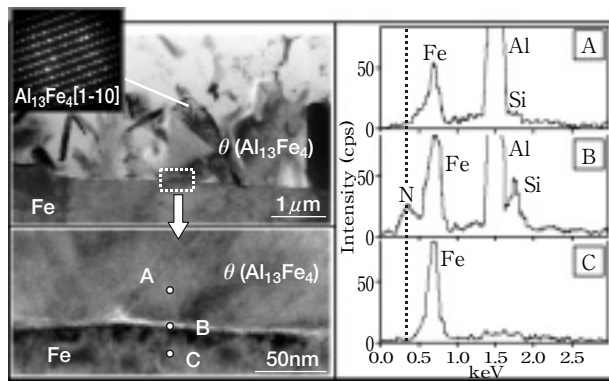


Fig. 11 TEM micrographs and results of EDX point analysis of spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet equivalent to ② position in Fig. 5.

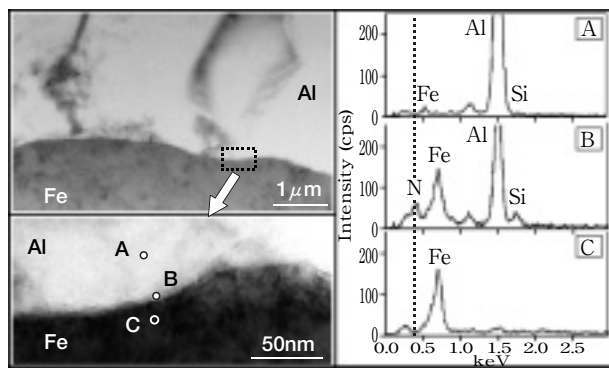


Fig. 12 TEM micrographs and results of EDX point analysis of spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet equivalent to ③ position in Fig. 5.

接時に熔融し、融合したAl合金とめっき層がAIN層と接していたと推定される。

金属間化合物未形成領域の内側④の接合界面のTEM観察結果、EDX分析結果をFig. 13に示す。観察結果から金属間化合物層が薄く形成されている。この金属間化合物層は電子回折パターンを解析した結果、 θ であった。なお、この部位においては①～③部で認められたAIN層は存在しない。

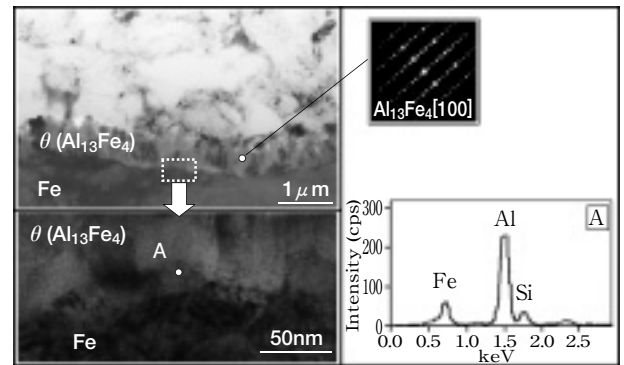


Fig. 13 TEM micrographs and result of EDX point analysis of spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet equivalent to ④ position in Fig. 5.

(2) 低炭素鋼ベースAlめっき鋼板

低炭素鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金とのスポット溶接部でFig. 5の端部①に相当する位置の接合界面のTEM観察結果、EDX分析結果をFig. 14に示す。めっき時に形成された金属間化合物 τ_5 の下層に新たに金属間

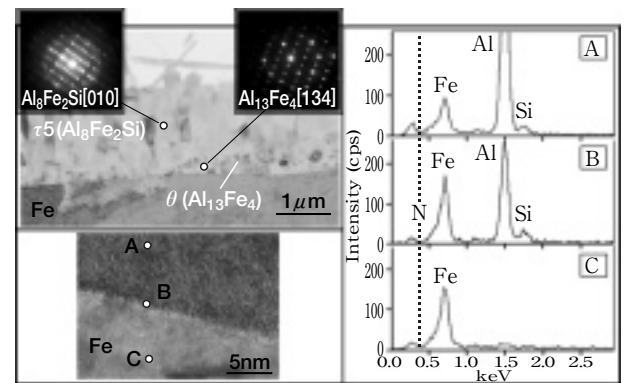


Fig. 14 TEM micrographs and results of EDX point analysis of spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized low carbon steel sheet that corresponds to approximately same ① position in Fig. 5.

化合物 θ が生成している。また、この部分の合金層と鋼素地との界面には AlN 層の存在は認められない。

Fig. 5 の金属間化合物未形成領域③に相当する接合界面を調査した結果を Fig. 15 に示す。この部分の接合界面には θ が約 $0.5\mu\text{m}$ の厚みで形成されている。なお、接合界面全域を詳細に観察したが、低炭素鋼ベース Alめっき鋼板と Al合金をスポット溶接した接合体においては金属間化合物未形成領域は存在しなかった。

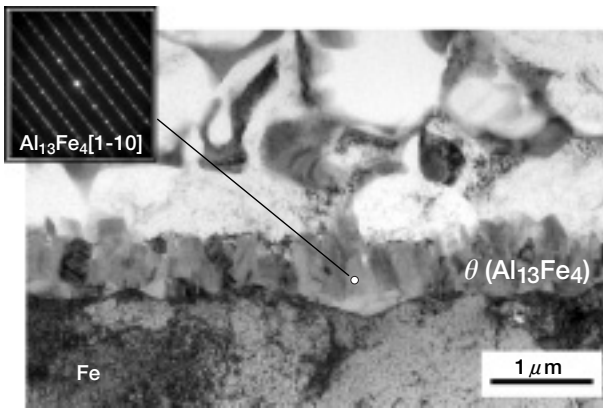


Fig. 15 TEM micrograph at spot welding part of aluminum alloy to hot-dip aluminized low carbon steel sheet that corresponds to approximately same ③ position in Fig. 5.

3.3.2 金属間化合物未形成領域の形成機構

Al合金と溶融アルミニウムめっき鋼板とをスポット溶接した場合、先に述べたように Al合金とめっき層が溶融状態となり、接合界面の鋼板は溶融しない。ナゲットの外側ほどスポット溶接時に溶融・融合した Al合金とめっき層が鋼素地と接触する温度は低く、時間は短くなる。また、溶接電流を上げた場合、ナゲット径は増大するが、金属間化合物未形成領域はナゲットの外側から 0.2mm ほど内側に入った位置に常に形成される。これらのことから、N添加鋼ベース Alめっき鋼板を用いた場合にみられる金属間化合物未形成領域は、スポット溶接時に鋼板と溶融状態の Al合金・めっき層とが一定範囲の温度および時間で接触した部分に生成すると考えられる。その部分より温度が低く、接触時間が短い場合には端部①、境界部②でみられるような接合状態となり、逆にそれよりも温度が高く、接触時間が長くなると金属間化合物未形成領域の内側④でみられる接合状態になると推定される。すなわち、金属間化合物未形成領域③は端部①や境界部②の状態を経て形成されると推定できる。

N添加鋼ベース Alめっき鋼板を用いた場合に生じる金属間化合物未形成領域の推定形成過程を Fig. 16 に示す。まず Al合金とめっき層が溶融し、それらの融合が起こる。この時点では溶融アルミニウムめっき時に形成された金属間化合物 τ_5 は、ほとんど変化せずに残存する (Step 1)。次に、 τ_5 が溶融状態のナゲット部に溶出し始め、Si濃度の低下により θ へ変化する (Step 2)。さらに、 θ から溶融状態の Al合金中への溶出が続き、接合界面から Al-Fe系の金属間化合物が消失する (Step 3)。この間 (Step 1~3)、鋼素地上には AlN層が存在し続け、金属間化合物と鋼素地の界面ならびに溶融状態の Al合金との接触面において Alと Feの拡散障壁となり、新たな Al-Fe系金属間化合物の形成が抑制される。このような過程で金属間化合物未形成領域が形成されると推定する。ただし、N添加鋼ベース Alめっき鋼板でも溶融状態の Al合金と接する時の温度が高く、時間が長くなると AlN層が消失し、新たに Al-Fe系金属間化合物層が形成されるようになる。

一方、当初より AlN層が存在しない低炭素鋼ベース Alめっき鋼板や低炭素鋼では、金属間化合物の生成に対する抑制作用がないため、接合界面全域に金属間化合物層が常に存在する状態となる。このため、高い接合強度が得られないものと考えられる。

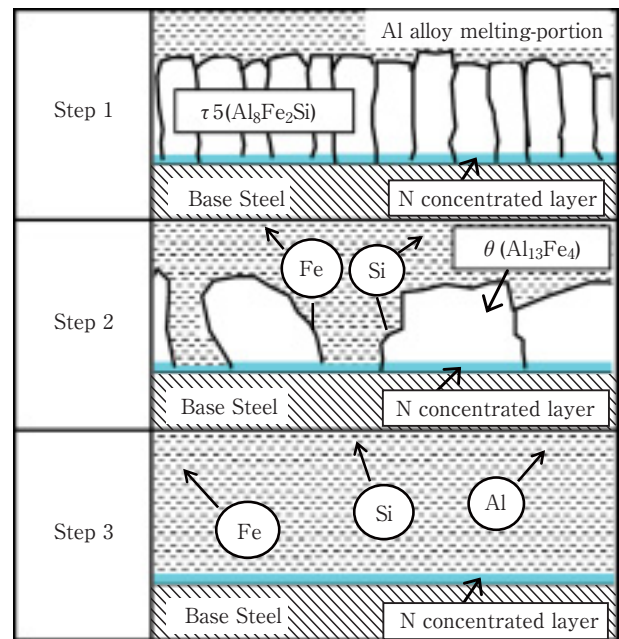


Fig. 16 Schematic diagrams of formation process of the region free of intermetallic compound (IMC) in dissimilar metal joining of aluminum alloy to hot-dip aluminized N added steel sheet.

4. 結 言

N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金とをスポット溶接した場合、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板、低炭素鋼を用いた場合より高い接合強度が得られる原因について検討を行い、以下の結果が得られた。

- (1) N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金とをスポット溶接した場合、広い溶接電流範囲で高い接合強度が得られ、破断形態はボタン破断となる。これに対し、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板や低炭素鋼とAl合金とをスポット溶接した場合は接合強度が低く、シェア破断する。
- (2) N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金とのスポット溶接部の接合界面には、ドーナツ状の金属間化合物未形成領域が存在する。一方、低炭素鋼ベースAlめっき鋼板や低炭素鋼とAl合金とのスポット溶接部では、界面全域に金属間化合物が形成される。
- (3) N添加鋼ベースAlめっき鋼板とAl合金とをスポット溶接した場合、十字引張試験で発生する接合界面の亀裂進展は、金属間化合物未形成領域で停止する。そのことにより高い接合強度が得られ、ボタン破断となる。
- (4) N添加鋼ベースAlめっき鋼板は、めっき時に形成された合金層（金属間化合物）の下層に薄いAlN層が存在する。この層によりスポット溶接時に生じるAlとFeの相互拡散を抑制し、接合界面に金属間化合物未形成領域が生成する。

本開発のN添加鋼ベースAlめっき鋼板は、Al合金とのスポット溶接に用いた場合、広い溶接電流範囲で高い接合強度が得られることから、生産性および作業性の面から工業的に有用と考えられる。

参考文献

- 1) 日本アルミニウム協会 自動車アルミ化委員会 webサイト
- 2) 稲葉隆, 山下浩之, 武林慶樹, 箕浦忠行, 笹部誠二: 神戸製鋼技報, Vol.55, No.2, p.66 (2005)
- 3) 廣瀬明夫: 自動車技術, Vol.61, No.4, p.19 (2007)
- 4) 中西栄三郎: 溶接学会シンポジウムJAAA2002テキスト, p.37
- 5) 杓名宗春, ラソッド.マノジユ, 菰田頼忠, 籠原幸彦: 溶接学会論文集, Vol.21, No.1, p.101 (2003)
- 6) 笹部誠二: 自動車技術, Vol.61, No.4, p.24 (2007)
- 7) 服部保徳, 三尾野忠昭, 笹部誠二, 岩瀬哲: 溶接技術, Vol.55, No.3, p.83 (2007)
- 8) 岩瀬哲, 笹部誠二, 松本剛, 谷川正樹, 俵真, 服部保徳: 神戸製鋼技報, Vol.57, No.2, p.56 (2007)
- 9) 服部保徳, 三尾野忠昭, 岩瀬哲, 笹部誠二: 溶接学会講演概要集, Vol.79, p.380 (2006)
- 10) 野口修: 古河電工時報, Vol.120, p.47 (2007)
- 11) 泰山正則, 福井清之, 小川和博, 高隆夫: 住友金属, Vol.48, No.4, p.94 (1996)
- 12) 伊藤武彦, 広瀬裕輔, 小西秀樹: 日新製鋼技報, No.37, p.27 (1977)