

アルミニウム合金のスポット溶接に関する中小企業支援事例

事業化支援部 試作加工グループ 薩田寿隆

アルミニウム合金のスポット溶接における溶接部の断面金属組織、強度評価および溶接部の変色に関する支援事例を紹介する。

キーワード：アルミニウム合金、スポット溶接、電極、ブローホール、引張試験

1 はじめに

アルミニウム合金は、耐食性、成形性、溶接性に優れ、軽量化の観点から鉄道車輛、自動車、建材、電子機器の筐体やブラケット等幅広く工業製品に使用されている。なかでも薄板を対象とする板金加工による組み立て加工では、溶接にスポット溶接が使用される。アルミニウム合金は、熱伝導率は高くかつ固有抵抗は小さいため、一般的に普及している単相交流式の溶接機では電流値が不足するため溶接が困難である。また材料表面には緻密で薄い酸化皮膜が自然形成されているため、溶接を行うにはこれを除去するための前処理が必要となる場合もある。

このようにアルミニウム合金のスポット溶接には、専用の溶接機および前処理に関するノウハウが必要であるが、そのような情報は衆知となっておらず、不具合事例が散見される。本稿では、アルミニウム合金板のスポット溶接に関し当所で行った支援事例を通じ、中小企業の抱えている課題や対策を紹介する。

2 事例

2.1 溶接部断面のブローホールとクラック

取引先からスポット溶接部の溶込み写真を求められた中小企業からの依頼試験に関する事例を紹介する。

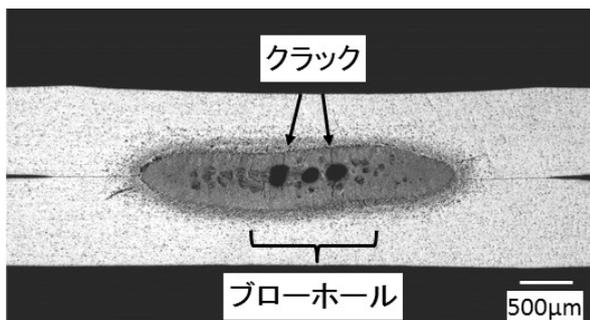


図1 アルミニウム合金 (A5052) 板のスポット溶接部断面の金属組織

図1に溶接部の断面金属組織写真を示す。写真において板間の黒く腐食されている領域が溶融部いわゆるナゲットである。この内部において大きなブローホール及びそこから進展したクラックが観察される。公表されているデータとして豊富なSPCCなどの鋼板のナゲットにはこのようなブローホール等の欠陥はあまり見られないため、取引先から改善の要求が出るのではと相談者は困惑していた。

そこでまずブローホールが生じる原因について説明した。材料はA5052 (Al-Mg系) であり、成分として蒸気圧が高いMgが含まれているため溶融時に蒸発し気泡ができやすい。この気泡が残留し、ブローホールとなる。使用した溶接機は直流インバーター式の汎用溶接機であった。加圧シリンダの応答が遅く、電極の動きが凝固収縮に追従できず気泡をつぶすことができなかったためブローホールが残留したと推測した。材料に含まれる元素と汎用の溶接機の組み合わせがブローホールの生成に起因したと考えられる旨を説明した。

次に対策について提案した。凝固収縮に電極の移動が追従できれば、ブローホールやクラックの発生を抑制可能であると思われる。そのためには、凝固後の冷却速度を遅くする方法と電極移動の応答性が高い溶接機の使用の2つの方法が知られている¹⁾。前者の方法として、溶接機に2段通電機能があれば、溶接後に再度通電することで板間を発熱させ冷却速度を遅くすることが可能であると考えられる。溶接機の機能確認を行うよう助言した。後者の方法としては、加圧力が可変である溶接機を用い凝固時に加圧力を高くすることで、鍛圧効果により気泡をつぶしブローホールを低減することが有効であることが知られている。近年電極の駆動をサーボアクチュエーターにて行う抵抗溶接機が普及し始めている。この駆動方法は応答性が高く加圧力を多段に変化させることが可能である。定置型でサーボ駆動のスポット溶接機の使用を検討したらどうかの提案を行った。

2. 2 溶接部強度評価

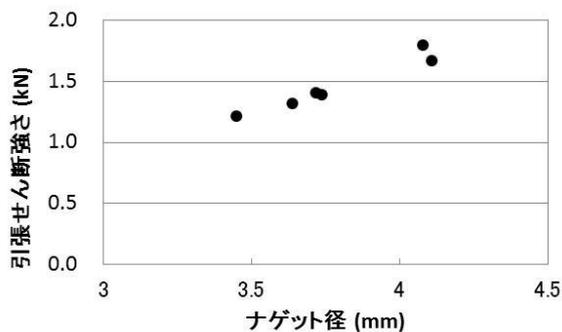


図2 引張せん断強さとナゲット径の関係

取引先拡大を目的に、アルミニウム合金のスポット溶接継手の強度評価試験の相談を受けた。想定される製品はアルミニウム合金製の管体である。板材を成形し、必要な場所をスポット溶接で接合し管体が作製される。ナゲット径は部材の幅に対し過大に設計されることがあり、部材端面付近までの大きなナゲット径を求められることもある。このような過大なナゲットをスポット溶接によりアルミニウム合金で形成することは困難である。先に述べたようにアルミニウム合金のスポット溶接では、電流値が高くなるため、熔融部が板表面付近まで成長しやすい。ナゲット径に対し部材の幅が狭いと温度がさらに上昇し、表散りが発生するばかりか場合によっては板端部の一部が熔融し飛散する現象すなわち爆飛が起こることもある。これを防止するため現場では電流を下げて溶接するため、ナゲット径は小さくなる。接合箇所を増やすなどして強度低下を防止しているが、取引先から受け入れられないこともある。そこで新規取引先にデータをもとに設計に反映してもらうように、あらかじめ想定されるナゲット径に対する強度データを取得したいとのことであった。

スポット溶接部の強度評価は、試験片作製が容易な引張せん断試験により主に行われている。しかし L 字に曲げられた部材のスポット溶接部もあり、これを模した L 字引張試験も併せて実施した。

図 2 は引張せん断試験結果を示す。ナゲット径の増加に伴い引張せん断強さは上昇している。図 3 は L 字引張

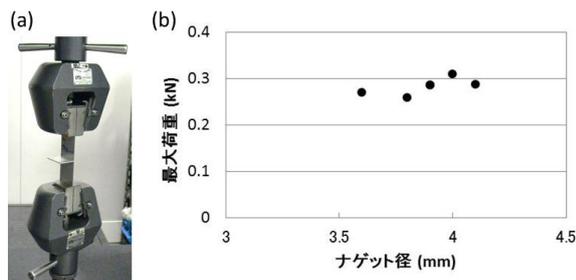


図3 L字引張試験 (a)試験状況 (b)最大荷重とナゲット径の関係

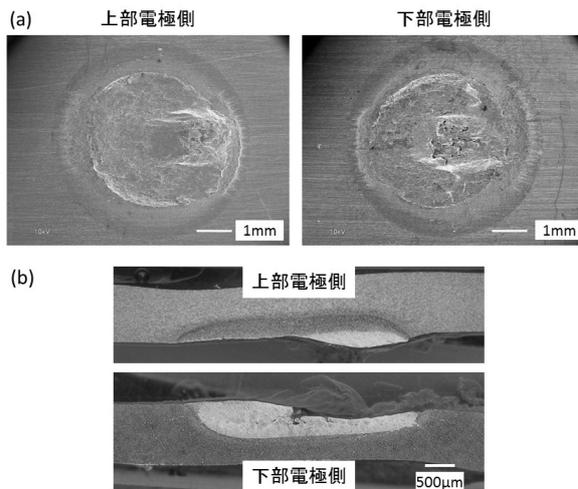


図4 引張せん断試験後のナゲットの(a)破断面 SEM 像 (b)断面光学顕微鏡写真

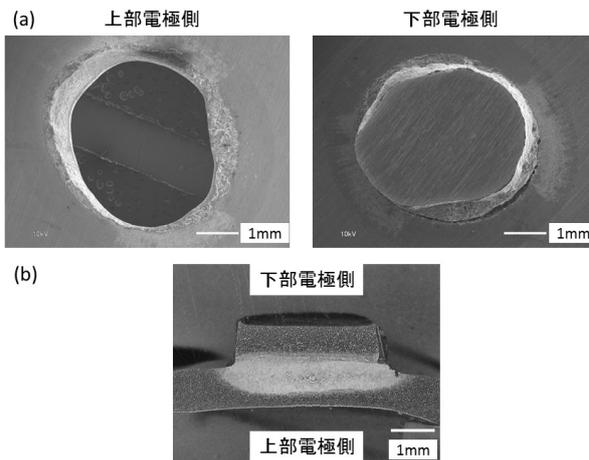


図5 L字引張試験後のナゲットの(a)破断面 SEM 像 (b)断面光学顕微鏡写真

試験の(a)試験状況と(b)結果を示す。最大荷重は引張せん断試験における値の 16~25%と低い値を示した。またナゲット径に対し最大荷重はほとんど変化しないことが確認された。

図 4 に引張せん断試験後の破断面の写真を示す。ナゲット内での界面破断が生じている。図 5 に L 字引張試験破断面の写真を示す。引張せん断試験の結果と異なり、母材におけるプラグ破断形態となっている。

このように試験方法すなわち負荷される荷重の方向により強度および破断形態は異なることが明らかになった。得られたデータをもとに打ち合わせを行い、技術的なベースが高いことが評価され受注獲得につながったとのことであった。

2. 3 電極の管理

アルミニウム合金 A5052 板材を板金成形しスポット溶接により筐体とし化成処理を行ったところ、一部の溶接個所で変色が生じ取引先からクレームを受けた案件について原因と対策に関する相談を受けた。表面に生じた変色部を図6に示す。

アルミニウム合金は、固有抵抗が低いため通電時の発熱量が小さく、さらに熱伝導率が高いため、接合したい板間の温度が上がりやすく、スポット溶接性が低い材料として知られている。電流値を高くし発熱量を増やすことで溶接を行っているが、固有抵抗が同様に低いクロム銅製電極も発熱し先端部の温度は上昇する。また熱伝導率が高いため、溶接中心部から電極先端部の温度差は小さく、溶接時はほぼアルミニウム合金の融点まで溶接部の温度は上昇することが知られている²⁾。これらの理由から、アルミニウム合金のスポット溶接では電極先端の溶着が起りやすい。

既知の知見から判断して、変色部は板の表面に電極成分が残留したことが原因と推測された。そこでこの領域の元素分析を行った。図7に電子線マイクロアナライザによる元素同定の結果を示す。変色部には電極材成分の Cu および Cr が認められ、想定したとおり電極の付着が生じていた。異材として付着した電極成分が、化成処理時の化学反応において変色したと考えられる。

電極の溶着を防止する手段として、板と接触する電極面の平滑化が考えられる。表面を平滑化し凹凸を抑えることで、通電時の接触抵抗を下げ電極先端の温度上昇を抑えることができる。そこでまず電極のドレッシング実施の有無を確認した。数回溶接したらドレッシングを行うという高い頻度で実施しているとのことであった。作業状況を確認するため、現場を視察した。上部電極を降下し板の上に置いた研磨紙を挟み、研磨紙を回転することで、電極の成形を行っていた。この手法は、多くの中小企業のスポット



図6 化成処理後のアルミニウム合金板表面に生じた変色部

溶接の現場で行われているものである。この作業では研磨紙の砥粒が成形した電極表面に刺さるため、成形後の清掃が必要となる。清掃方法を確認したところ、作業用の手袋で拭いているとのことであった。手袋は油や切粉等が付着しており清浄な状態ではなかった。そこで清浄な不織布に有機溶剤を染み込ませた清掃方法を提案した。この方法に変更するとともに研磨紙の種類を変更したところ、電極の溶着は激減したようで、化成処理後のクレームはほぼ解消された。

3 おわりに

アルミニウム合金のスポット溶接における中小企業の支援事例を紹介した。スポット溶接の作業そのものは簡便であるが、一定以上の品質を維持した溶接部を安定に形成するには、接合のメカニズムや材料特性に関する知識が不可欠である。その一方で、ここ十年来大学において溶接の研究室は減少し、スポット溶接に関する知識を得る機会が減っている。このような状況から当所では、スポット溶接に関する技術講演会・見学会、セミオーダーの実習を行っている。また企業にて現地指導や溶接機の電流値・加圧力測定等の支援も実施している。支援対象は県内外および企業規模に関わらず広く門戸を開いている。スポット溶接に関する課題があれば、気軽にご連絡をいただければと思う。

文献

- 1) 松山欽一, 高橋靖雄, 長谷川和芳; “抵抗溶接の基礎と実際”, 産報出版, (2011), P.379.
- 2) 同上, P.372.

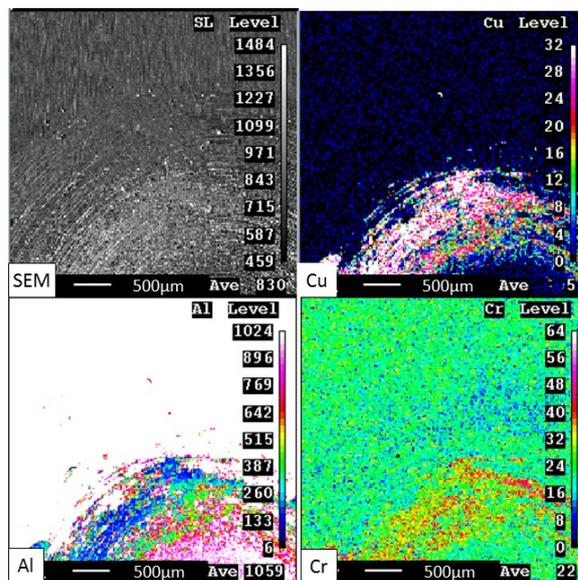


図7 電子線マイクロアナライザによる黒色部周囲の元素同定