日本溶接協会 2025年度
「次世代を担う研究者助成事業」成果報告

外部磁場を用いたアルミニウム合金抵抗スポット溶接の発熱制御に関する研究

伊與田　宗慶
大阪工業大学 工学部 機械工学科

1　はじめに

アルミニウム合金を対象とした抵抗スポット溶接では，打点数の増加に伴い電極表面に損耗（以降，電極損耗）が生じ，接触状態が不安定となることで，ナゲットを安定して形成できなくなることが知られている[1)]。そのため，連続打点時における電極損耗の抑制が求められている。電極損耗とは，電極表面へのアルミニウムの付着，アルミニウムと銅の合金層の形成，およびそれらの離脱による電極の欠損を指す。これは，溶接時に電極表面の温度が上昇することで生じるものであることから，電極損耗の抑制には，溶接時の板－電極間温度を低下させることが効果的である。一方，鋼とアルミニウム合金の異種材料を対象とした抵抗スポット溶接に関する従来研究では，外部磁場の印加によってアルミニウム合金溶融部の対流挙動を変化させることで，継手内部の温度場を制御できることが報告されている[2)]。このことから，アルミニウム合金の抵抗スポット溶接においても，溶融部の対流挙動を制御することで，板内部のみならず板－電極間の温度分布までも制御できる可能性があるが，その効果・有効性について検証した例はない。

そこで本研究では，アルミニウム合金抵抗スポット溶接の連続打点時における電極損耗の抑制を目的として，外部磁場を印加した溶接法による発熱制御を用いた連続打点試験を実施し，ナゲット形成状態と電極損耗との関係について検討した。

2　研究方法

供試材料には板厚1.0mmのA6061-T6材を用いた。電極にはR100形電極を使用し，電極材質にはアルミナ分散強化銅を採用した。溶接機にはインバータ直流式電源を用い，溶接条件はJIS Z 3140を参考に設定し，$5\sqrt{t}$のナゲット径が得られる条件として，加圧力4.0kN，通電時間100msに設定し，外部磁場印加なし条件では溶接電流を26kAとし，外部磁場印加条件では24kAおよび26kAに設定した。

連続打点試験では，４秒のインターバルで10打点の連続溶接を行った後，３分の休止時間を設ける操作を１サイクルとし，計３サイクル（30打点）の試験を実施した。

連続打点試験時におけるナゲット形成状態を評価するため，初回の１打点目およびその後，５打点ごとに試験片を３本ずつ採取した。試験片は溶接部を切断した後，断面観察を行い，ナゲット直径およびナゲット厚さを測定した。また，電極損耗を評価するために，30打点後の電極を回収し，切断後の断面観察を実施した。

外部磁場の印加方法を**図１**に示す。本実験では電極の周りに磁石を配置することで外部磁場を印加した。本配置により，アルミニウム合金溶融部内に周方向の対流を発生させ，溶け込みの浅い扁平なナゲットを形成することで，板－電極間温度の低下を試みた。永久磁石には，表面磁束密度578mT，寸法6.5mm×6.5mm×9.0mmのネオジム磁石を使用した。

3　主な研究成果

図２に，溶接電流26 kAで施工した際の１打点目の溶接後における継手の断面マクロ写真を示す。図より，外部磁場の印加により，ナゲット厚さが小さくなっている一方で，ナゲット直径の拡大が確認できる。これは，外部磁場によって溶融部内の対流が変化し，ナゲットが扁平化したためと考えられる。**図３**にナゲット直径の比較結果を示す。なお，図には外部磁場印加条件において溶

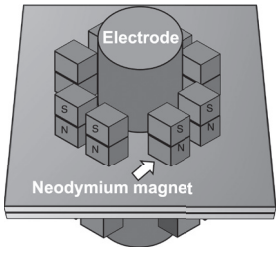

図１　外部磁場印加方法

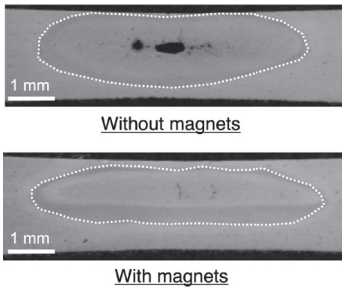

図２　ナゲット断面の比較

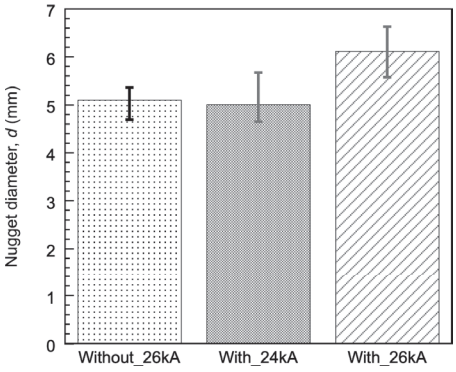

図３　ナゲット直径の比較

接電流24kAで施工した場合の結果も併記する。図より，外部磁場の印加によりナゲット直径が大きくなっていることが確認でき，さらに電流値を24kAに下げることで，外部磁場印加なし条件の26kAと同等のナゲット直径になることが明らかになった。次に，**図４**に外部磁場印加なし条件の26kAと外部磁場印加条件の24kAで連続打点試験を行った際の断面写真を示す。図に示す通り，外部磁場印加条件では全溶接打点においてナゲット厚さが小さくなっていることが確認できる。次に，**図５**に30打点の連続打点試験におけるナゲット直径およびナゲット厚さの変化について，５打点ごとの測定結果を示す。ナゲット直径については，打点ごとに多少の変動は認められるものの，外部磁場の有無による顕著なナゲット直径の変化は確認されない。一方で，ナゲット厚さについては全打点において外部磁場印加条件では縮小していることが確認できる。その結果，**図６**に示す30打点後の電極表面の写真のように，外部磁場印加条件では電極表面に付着したAl-Cu系化合物の面積が小さくなっており，これはナゲット厚さの縮小に起因するものであると考えられる。

4　おわりに

本研究では，外部磁場を用いたアルミニウム合金抵抗スポット溶接の発熱制御に着目し，連続打点時におけるナゲット形成状態と電極損耗の関係について検討を行った。その結果，外部磁場を印加することで，単点および連続打点時においてナゲット形状が扁平化することが明らかになるとともに，電極の損耗形態も変化することが確認された。今後の展望としては，本研究で得られた知見を基盤として，アルミニウム合金抵抗スポット溶接における電極損耗抑制技術の確立を目指し，研究をさらに発展させたいと考えている。

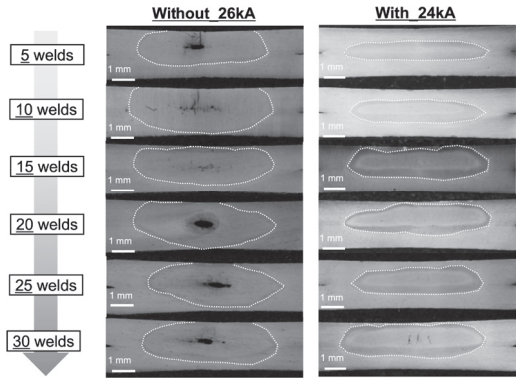

図４　連続打点試験時のナゲット断面形状の変化

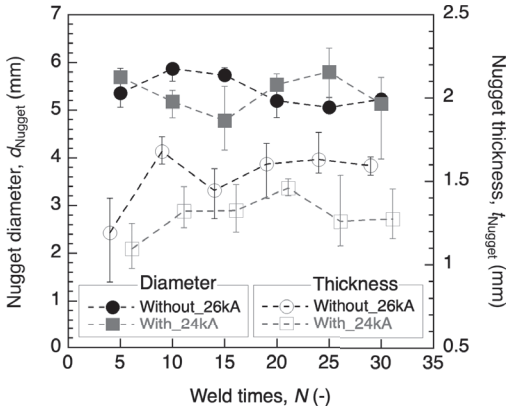

図５　連続打点試験時のナゲット直径とナゲット厚さの変化

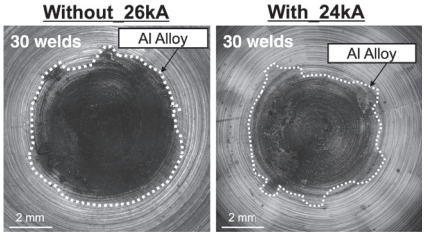

図６　連続打点試験後の電極表面の損耗状態

最後に，本研究の遂行にあたり，当時の大学院生である石川新汰氏には，実験の実施ならびにデータ整理において多大な協力をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

参考文献

1）阪口，軽金属，Vol. 28, No.9（1978），469-480
2）Y. Funabiki et al., J. Manuf. Process., 115（2024），40-55