

マイクロ抵抗スポット溶接機を用いた積層アルミニウム箔の接合

千葉工業大学 ○濱谷秀憲, 吉岡俊朗, 日本ケミコン(株) 久保内達郎

要旨

電極と積層箔端面との間に薄板を介在させ通电すると、薄板下方で生成した溶融物が、薄板下部からその板周辺へ押し出される現象がある。これを利用し、押し出された溶融物を通電部近傍の積層箔端面上へ層状に形成することで、この層状形成物と箔端面間で接合できる可能性がある。厚さ  $30\mu\text{m}$  のアルミニウム箔を数 10 枚積層した積層箔端面と上記の溶融物との接合を試みた結果、形成した溶融物と積層箔を接合できることが分かった。

1. 緒論

アルミ電解コンデンサには、厚さ数  $10\mu\text{m}$  のアルミニウム箔を積層して電氣的に接合することが求められている。しかし、これについての報告はほとんど見られない。著者等の一部が行ったアルミニウム積層箔のレーザ溶接<sup>1)</sup>で、クラック、ブローホールなどの一般的な欠陥の他に、溶融層が厚くなると溶融部と未溶融積層箔の境界付近で、溶融部が凝固するときの収縮によって箔が引き伸ばされたり、破断したりするアルミニウム箔特有の欠陥が生じるという知見を示した。

一方、アルミニウムの電気抵抗溶接は、電気抵抗値の低さと熱伝導率の高さから、一般に高電流で短時間の通電で行われている<sup>2)</sup>。アルミニウム積層箔の抵抗溶接を、高電流・短時間の条件で行ったところ、爆飛が生じた。

著者らの一部が行った同材の抵抗溶接<sup>3)</sup>で、図1のように積層箔端面と電極の間にアルミニウムワイヤを挟み低電流密度で通電すると、ワイヤと接触している部分の積層箔を溶融させることができたが、その溶融部分を、ワイヤの押し付けにより、その両側に押し出してしまうという現象があることを報告した。もし、押し出した溶融物を特定の場所に集めることができ、その下方の積層箔温度が融点に近ければ、溶融物とその下方の積層箔を接合できる可能性がある。

そこで本報告では、これらを検討するために簡単なシミュレーションを行い、次に、厚さ  $30\mu\text{m}$  のアルミニウム箔を数十枚積層した端面を溶かして押し出し、この押し出した溶融物とその下方の積層箔を接合する実験を行った結果を示す。

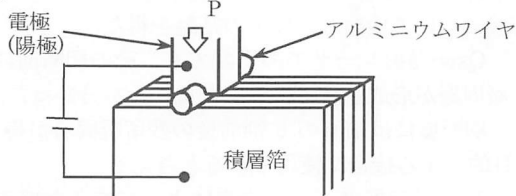


図1 ワイヤと積層箔の溶接

2. 電極周辺部の温度分布

図1の方法での、ワイヤ下部の温度分布は、ワイヤ軸方向に対し左右対称となるため、生じた溶融部はワイヤの押し付けにより左右に押し出される。もし近くにもう1つ熱源があれば、温度分布がワイヤに非対称になり、溶融し始める位置が偏り、押し出される溶融物が方向性を持たせることができる可能性がある。シミュレーションモデルは、図2に示すように、ブロック材(2.0×2.0×1.0mm)を考え、その表面に入熱(2ヶ所入熱)があるとした時の温度分布を有限要素法で求めた。計算結果を図3に示す。縦軸は、最高温度( $T_{\text{max}}$ )を基準として1と表示し、横軸は中心(C)から

の距離を示している。同図は $\theta=0.2\text{mm}$ の時の例であるが、温度の一番高い点が入熱部の中心よりもC側へ寄っている。 $\theta$ をさらに小さくすると、 $T_{\text{max}}$ となる位置はさらにC側に移動し、 $\theta$ を大とすると、その位置は入熱部の中央側に移動する。 $H_1$ での温度 $T_1$ が融点を越え溶融したとすると、この時点では入熱部のほとんどは溶融しているが、 $H_2$ での温度 $T_2$ はまだ融点に達していない。しかし、軟化状態となる温度になっている。抵抗溶接では、溶接部(発熱部)を電極で押し出している。この考えをこの時点で取り入れると、入熱面が下方に移動することに相当し、その下方で生じていた溶融物は、溶融している $H_1$ 側から押し出される結果となる。すなわち、入熱部の間隔 $\theta$ を適当に選ぶことで、溶融物の押し出し方向を決めることができる。

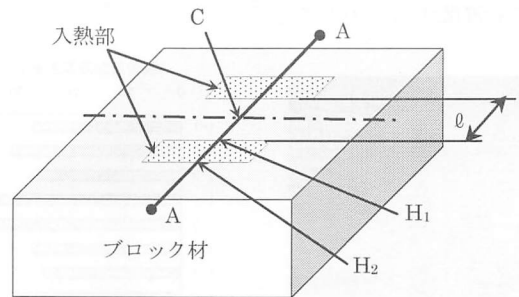


図2 シミュレーションモデル

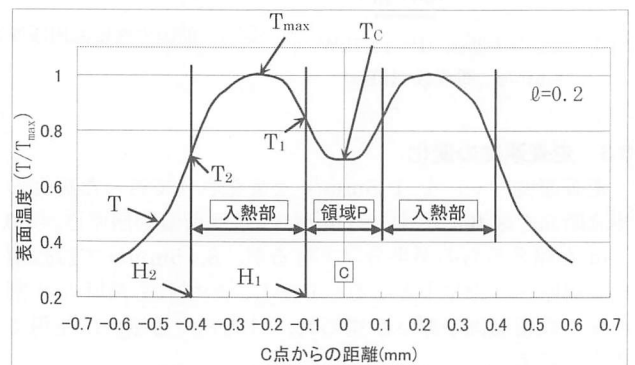


図3 A-A上の温度分布( $\theta=0.2\text{mm}$ )

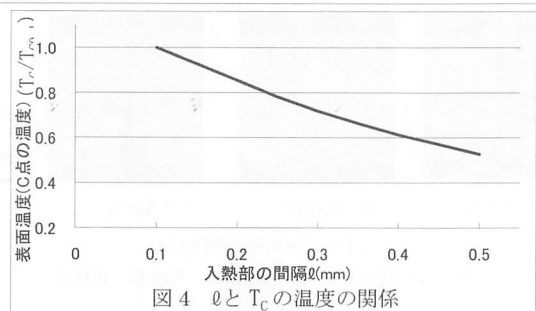


図4  $\theta$ と $T_c$ の温度の関係

次に、両入熱部の間(領域P)の間での温度( $T_c$ )について調べた結果を図4に示す。縦軸は、 $\ell=0.1\text{mm}$ とした時の $T_c$ を基準とし、これを1として示してある。横軸は間隔 $\ell$ を示している。間隔 $\ell$ が大きくなるにつれて当然ながら $T_c$ も小さくなる。しかし、 $\ell$ を調整することにより、 $T_c$ を変化させることができる。

### 3. 積層箔端面の接合実験

#### 3.1 実験装置・実験試料及び実験条件

実験装置は、Miyachi Unitek Corporation製のマイクロ抵抗溶接機(溶接電源:HF28, 溶接ヘッド:Series80)を使用する。試料は、純度99.99%で箔厚 $30\mu\text{m}$ のアルミニウム箔を $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ に打ち抜き、それを数十枚積層させたものを用いて、それをホルダで挟み固定する。通電条件は、電流値800A, 加圧16N, アップスロープ時間14ms, 一定通電時間12msである。発熱体の間隔 $\ell$ は $0.1\sim 0.3\text{mm}$ を使用する。

#### 3.2 実験方法

実験は、図1に示したと同様に箔端面に、図5に示す溝付電極(2ヶ所発熱に相当し、以後2ヶ所発熱方式と呼ぶ)を押し当て通電する方法を用いる。爆飛を避けるための低電流での実験では、ほとんど溶融しなかったため、電極と試料の間に、抵抗値が高く、熱伝導率の低い材料(Mo)をカバープレートとして挟み、試料の発熱を補う方法<sup>4)</sup>を採用する。なお、Moカバープレート(Mo発熱体)は、電極溝の両側の突出部と同じ寸法に作成( $0.3\times 1.0\times 0.1\text{mm}$ )し、突出部と置き換え、電極(溝深さ $0$ に相当)と試料との間に配置する。通電後、表面から、押し出された溶融物の有無、その量等を観察し、断面を削り出し、溶融物の厚さ、箔との接合を調べる。

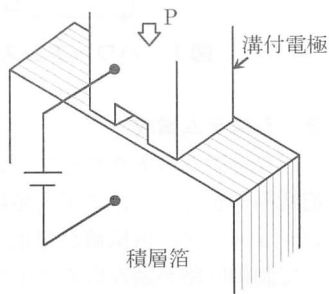


図5 溝付電極と積層箔

#### 3.3 実験結果及び考察

##### 3.3.1 積層箔溶融部の押し出しと接合

$\ell=0.3\text{mm}$ の通電後の表面及びB-B断面を図6に示す。図6(a)では、Mo発熱体は、試料内部に若干押し込まれて残っている。これは、Mo発熱体と電極を一体化させていないためである。その両発熱体の間に、Mo発熱体の下方から押し出された溶融物が見られる。図6(b)の観察から、積層箔端面上に溶融物が中間部分に層状に形成されていることがわかる。箔と溶融物の界面では、殆ど接合ができていない。B-B上での温度分布は、その中央が最大となる。しかし、

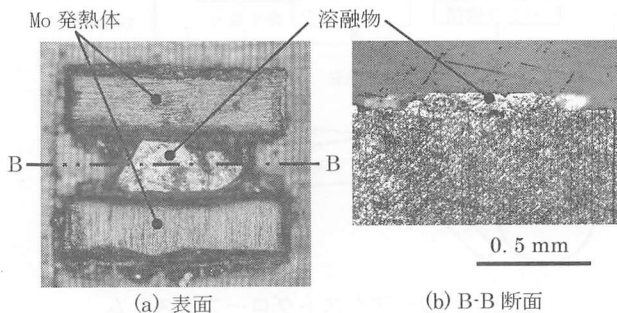


図6 間隔 $0.3\text{mm}$ 時の表面及び断面

その付近では殆ど接合していない。それゆえ、ここでの積層箔の温度が低かったことが考えられる。

##### 3.3.2 発熱体の間隔による溶融の変化

図4より、間隔 $\ell$ を狭くすることで $T_c$ の温度上昇が期待できる。間隔 $\ell$ を $0.3\text{mm}$ から $0.2\text{mm}$ へ小さくした時の、通電後の表面及び断面を図7に示す。 $\ell=0.3\text{mm}$ では、Mo発熱体の間の半分程度の範囲の溶融物しか押し出されていなかったが、同図(a)より、Mo発熱体の間には、押し出された溶融物で満たされており、Mo発熱体の間には箔端面は全く見られない。また、同図(b)より、押し出された溶融物が一様の厚さで形成されている。溶融物と箔の界面では、およそ右側 $3/5$ の範囲で、箔側にも溶融が生じ、両者は接合している。また、この層状形成物は、押し出された溶融物が二つのMo発熱体間の空間を満たすことで形成されている。それゆえ、Mo発熱体の厚さを変えることで層状形成物の厚さを調整できると考える。一部ブローホールが形成されてはいるものの発熱体の間全域に生じている訳ではない。なお、接合部分が偏っている理由は、未だ明らかになっていないが、電極の傾きによる片当たりが原因ではないかと考えており、中央に接合部を作ることが今後の課題である。

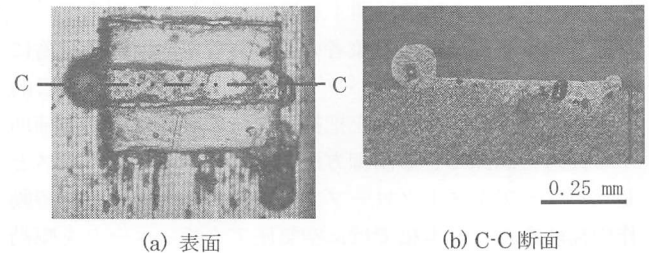


図7 通電後の表面及び断面写真

### 4. 結論

厚さ $30\mu\text{m}$ のアルミニウム積層箔のマイクロ抵抗溶接機を用いた接合に関し、シミュレーション結果を参考に、2ヶ所発熱方式について実験的に検討し、以下の結論を得た。

- 1) 2ヶ所発熱方式にMo発熱体を採用することにより、Mo発熱体下方の溶融物の押し出す方向を決めることができる。
- 2) 押し出した溶融物とその下方の積層箔を接合できることが分かった。
- 3) Mo発熱体の厚さを変えることで層状形成物の厚さを調整できると考える。

### 参考文献

- 1) 齋藤千春他:2008年度精密工学会九州支部福岡地方講演会講演論文集,(2008)65.
- 2) 日本アルミニウム協会標準化委員会:アルミニウムハンドブック(第7版),(2007)130.
- 3) 工藤駿他:2007年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集,(2007)30.
- 4) 里中忍他:溶接学会全国大会講演概要,第73集,(2003)374.

### 謝辞

本研究にあたり、実験は本学土屋亮司氏(M1)、小宮峻氏(4年)に、シミュレーションは前田真吾氏(M1)にご協力いただいた。お礼申し上げる。