

電解液ジェット加工による絶縁部加工時の現象観察

東京都立産業技術高等専門学校 ○林 七海, ◎伊藤 幸弘准教授

電解液ジェット加工は電解加工を応用したもので、微細ノズルから電解液を噴出し、ノズルと工作物間に電圧を印加することによって電解液の噴流直下のみを選択的に加工することができる。そのため、給電点と加工点が通電していなければ加工できない。しかし電解液が加工物上に滞留していれば電解液を通じて通電し絶縁部にも加工できる可能性がある。本研究ではこの理論を利用して絶縁部への加工を試み、加工現象を観察する。

1. 緒言

近年、工業製品の小型化と高機能が進み、精密加工法に関する研究や開発が盛んに行われている中で電解加工法が注目されている。電解加工は電解作用による陽極の溶出を利用して、溶出の量や範囲を制御できれば除去加工となる。そして、電気化学的加工法であることから、投入エネルギーに対する除去量が微小である。さらに、加工物が導電体であればその硬度によらず加工が可能である。また、他の加工法で生じる加工変質層や残留応力、バリ、クラックが生じにくいいため精密加工に適している。ここで、電解加工の一手法として電解液ジェット加工が提案され、加工現象の解明や微細かつ複雑な形状の加工、表面性状の変化などの様々な研究が盛んに行なわれている。その中で、電解液ジェット加工を用いた付加工により、フォトリソ加工に代わって基板に回路を描くことが容易となる可能性が考えられる。しかしながら回路を描くためには絶縁部への加工が必須である。そこで本研究では、その先駆けとして電解液ジェット加工による絶縁部の除去加工時の現象観察を行った。

2. 電解液ジェット加工の加工原理

電解液ジェット加工では、微細ノズルから工作物に向けて電解液をジェット状に噴射し、陰極とするノズルと陽極とする工作物の間に電圧を印加することにより、電解液の噴流直下のみを選択的に除去加工できる。さらに、ノズルを走査することにより任意形状をマスクレスで加工できる。加工範囲が限定される理由としては、電解液をジェット状に噴射することにより跳水現象が生じ、噴流直下の周辺部において電解液は薄膜状になる。これにより、噴流直下において電流密度分布が急激に高くなるためである。⁽¹⁾

3. 絶縁部への加工現象の観察

先行研究⁽²⁾において加工液を通じて給電点と加工点が通電するため、給電点と加工点が絶縁されていても加工が可能であることが示されている。そこで、この事実を確認するとともに加工現象を観察した。工作物は50 mm×100 mm銅張積層板、加工液が硝酸ナトリウム水溶液(質量濃度20%)を使用した。まず25 mm×25 mmの正方形に溝加工を施す(以後この溝を外溝と呼ぶ)ことにより溝の内側を絶縁した。絶縁についてはテスターで確認した。そして絶縁された外溝の内側にさらに溝加工を施した(以後内溝とよぶ)。その結果、図1に示すように外溝内側の絶縁部にも加工できることがわかった。この理由としては先行研究の考察通り、加工液を通して給電点と加工点が通電するためであると考えられる。また、黒い物質と青い物質が析出していることがわかる。析出した黒い物質は内溝加工により溶出した工作物に含まれる銅が酸化し酸化銅となったもの、青い物質は外溝の内側において加工液中の水分子がイオン化した水酸化イオンと加工液中に含まれる銅イオンが結合してできた水酸化銅(II)であると考えられる。この発生原理を以下のように考察する。内溝加工時、外溝の外側は陽極、内側は陰極となっているため例えば図2に示すように電位差が生じる。したがって外溝の内外においても電解作用が生じ、陰極である外溝の内側に銅が析出する。これに対し、外溝の外側では除去加工が生じることが予想できる。そこで内溝加工前後の外溝形状の比較を行った。さらに観察結果として内溝加工後に外溝外周の表面性状が変化していることがわかった。これは工作物上の加工液が滞留した部分に電流が流れ、小さなエネルギーで表面が微小に加工されているからだと考えられる。そこで表面粗さを測定した。

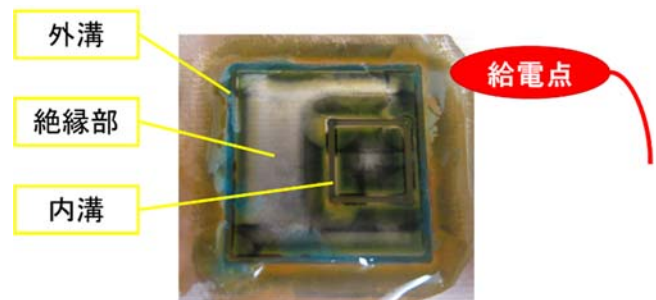


図1 絶縁部加工観察画像

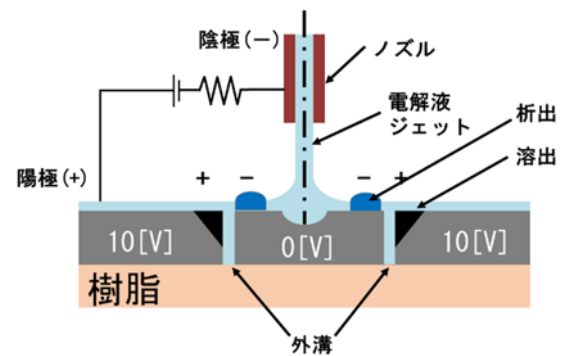


図2 外溝の溶出

4. 外溝形状と表面粗さの測定

4.1 実験方法

外溝は250 A/cm²で25 mm×25 mmの正方形、内溝は電流密度および加工時間、加工位置による溝形状への影響を調べるため、電流密度を50, 150, 250 A/cm²でそれぞれ5, 10, 15 mm四方の計9パターンの正方形を加工した。内溝の加工位置は、図3に示すように外溝の右辺から3 mmの位置に内溝の右辺が重なるようにし、上下方向は同じ中心線上に乗る位置とした。加工条件を表1に示す。

溝形状、表面粗さともに表面粗さ測定機(Kosaka製, SE-3500CB)を使用した。形状については外溝を10回測定し平均値で代表した。また、表面粗さは外溝の外側表面をX方向に10回、Y方向に10回測定し、平均値で代表した。

表1 加工条件

工作物	銅(プリント基板)
加工液	硝酸ナトリウム水溶液(質量濃度20%)
加工形状	溝加工
極間距離	0.5 mm
電流密度	50 A/cm ² , 150 A/cm ² , 250 A/cm ² (外溝は250 A/cm ²)
走査速度	0.1 mm/s
加工液流量	1.42 mL/s

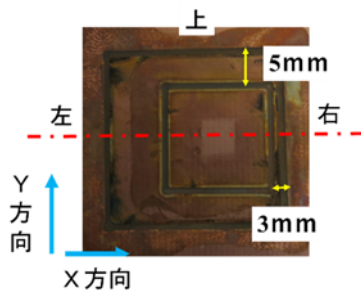


図3 加工位置の例 (10 mm×10 mm)

4.2 外溝形状

何れの電流密度および測定位置においても同様の傾向が示されたことから、例として図4に電流密度 250 A/cm²、測定位置右の結果を示す。図4は縦軸が深さ、横軸が幅であり、加工位置がすべて右の場合の溝形状の加工サイズによる比較を表している。本実験では何れの内溝サイズにおいても加工位置と測定位置の距離は等しい。一方で内溝サイズが大きいほど加工時間も長い。だれの大きさは内溝サイズすなわち加工時間により異なり、加工時間の大きさとだれの大きさが一致することがわかる。この理由として内溝の滞留している加工液中に加工時間と同じだけ電流が流れるため、外溝周辺の加工時間も増えるからであると考えられる。

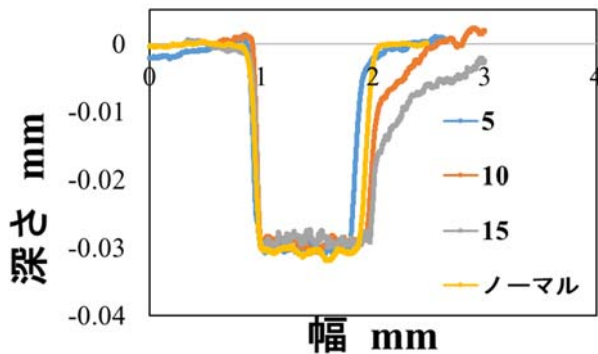


図4 溝形状のサイズによる比較

次に外溝形状を電流密度で比較した例を図5に示す。図5は測定位置がすべて右の場合の溝形状の電流密度による比較を表している。本実験では何れの電流密度においても加工位置と測定位置の距離は等しく、また加工時間も等しい。だれの大きさは電流密度により異なり、電流密度の大きさとだれの大きさが一致することがわかる。この理由として電流密度が大きいほど単位時間あたりに投入される電流が大きくなり加工量が増えるためであると考えられる。

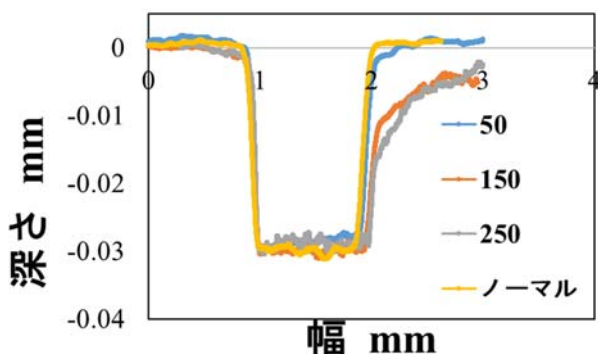


図5 溝形状の電流密度による比較

次に外溝形状を測定位置で比較した例を図6に示す。図6は溝形状の測定位置による比較を表している。ここで測定位置の定義は図3の通りであり、つまり何れの内溝サイズにおいても右、上、左の順に加工位置と測定位置が近い。ノーマルとは、内溝加工前の外溝の形状を指す。まず何れの場合も除去加工により、だれが生じたその大きさは測定位置により異なることがわかる。ここでだれの大きさは加工位置と測定位置の近さに対応して右、上、

左の順に大きくなると予想したが図6のように上、左、右と予想に反する場合も見受けられた。この理由として内溝サイズによる外溝の影響が加工時間および跳水現象の起きている位置が一定でないためだと考えられる。

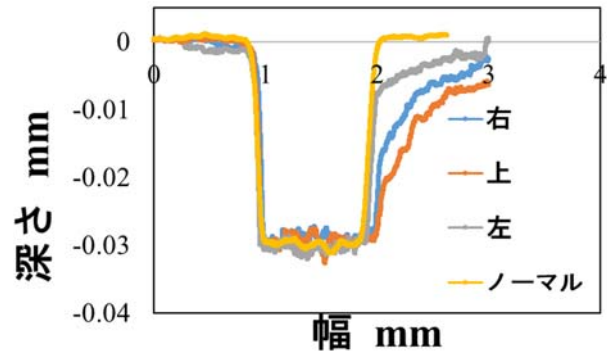


図6 溝形状の測定位置による比較

以上の結果から、加工時間、電流密度が大きくなり投入される加工エネルギーが大きくなり、また内溝との距離が近いほど外溝のだれは大きくなることが分かった。

4.3 外溝周辺部の表面粗さ

図7に内溝 10 mm×10 mm の加工時の右側の測定結果で、縦軸が深さである。図7より電流密度が大きいほど表面粗さは大きくなった。この理由として電流密度が大きいほど工作物表面に滞留する加工液内を流れる電流も大きくなるため、表面粗さは大きくなるからであると考えられる。

他条件の予想は、測定位置と加工点の距離が遠いほど粗さの差が出にくく、内溝が大きいほど加工時間が長くなるため粗さは大きくなると予想した。しかし予想と反した結果や傾向が見られない結果が見受けられた。これは表面粗さが跳水現象の位置に依存するからと考えられる。跳水現象が起きている付近の表面は粗くなると考えられるが、今回は跳水現象の位置の調査は行っていないため結果に傾向が見られなかった。

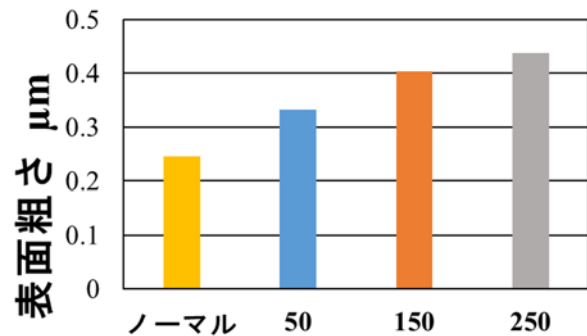


図7 表面粗さの電流密度による比較

5. 結言

本研究では電解液ジェット加工の原理と特徴について学び、フォトリソ加工に代わって実用できると考えその先駆けとして絶縁部の除去加工の加工現象を観察した。

電解液ジェット加工で絶縁部へ除去加工を行うと加工対象以外の場所が加工されてしまうことが分かった。さらに加工液が滞留している工作物表面が微小に加工されて表面性状が変化してしまうことが分かった。

これらのことから絶縁部に高精度に選択的な加工をするためには工夫が必要であるといえる。

参考文献

- (1) 米田康治, 国枝正典, 電解液ジェット加工における加工形状シミュレーション, 電気加工学会誌, Vol.29, No.62, pp.1-8, (1995).
- (2) 水谷光史・他5名, 電解液ジェット加工を用いた金属薄膜のストラクチャリング, 電気加工学会全国大会 (2010) 講演論文集, (2010), p.31