

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 佐藤 崇弘 印

題 目 プリント配線板の小径ドリル加工に関する研究

学位論文の概要及び要旨

液晶テレビ、スマートフォン、自動車およびパソコンなどの製品は、我々の生活に欠かせないものである。これらの製品には、電子制御するためのプリント配線板が搭載されている。製品が高機能化、小型化する中で、プリント配線板の回路パターンは密度が増し、プリント配線板にあけるスルーホールはより高精度な加工技術が要求されている。具体的には、直径 $50\sim 300\mu\text{m}$ 、 $L/D=10$ 以上（ L ：穴深さ、 D ：穴径）の小径深穴が要求され、それを高速で加工する技術が必要とされている。また、小径ドリル加工は、従来から回転振れの抑制が課題となっている。そこで、本研究ではプリント配線板のスルーホール加工の高品位化と回転振れのある小径ドリルの加工挙動について研究を行った。内容を要約すると次のとおりである。

1. プリント配線板のドリル加工特性

プリント配線板のドリル加工は、被削材がガラス繊維、樹脂および銅箔を含んだ複合材料であるため、加工現象は一般的な金属のドリル加工と比較して複雑である。そこで、高速度カメラや切削抵抗センサを用いてプリント配線板の加工現象を調べるとともに、加工後の穴位置精度や穴壁面粗さも測定することで、プリント配線板穴加工の基本的な特性を調べた。その結果、プリント配線板材料である銅箔、ガラス繊維および樹脂の中で、銅箔加工時の切削力が最も大きく、その切りくずが穴壁面に影響を及ぼすことを明らかにし、穴壁面粗さの改善には銅箔の切削性を改善することが必要であることがわかった。

2. 加工特性に及ぼすエントリーシートの影響

プリント配線板は、従来からドリルの食い付き性向上や真直性向上、バリの抑制を目的にプリント配線板上面にエントリーシートと呼ばれるアルミニウム製のシートを敷いて加工されている。しかしながら、プリント配線板の加工特性に及ぼすエントリーシートのアルミニウム材料の影響は明らかにされていない。そこで、3種類のアルミニウム材料のエントリーシートを用いて加工実験を行った。その結果、エントリーシートの硬さや引張強さがドリル先端の食い付き性、ドリルの真直性および切りくずの巻き付き性に影響を及ぼすことを明らかにし、穴位置精度は A1050-H18 が良好であり、切りくず巻き付き性については A3003-H18 が良好であることがわかった。

3. 穴位置精度に及ぼすエントリーシート樹脂特性の影響

融点の高い鉛フリーはんだによる部品の実装温度の上昇や実装部品の電流化に伴う温度上昇は、プリント配線板の反りやねじれの発生につながる。これらの対策として、プリント配線板の材料特性が高弾性で低熱膨張となり、その結果、素材が難削材化し、ドリル加工はより困難になっている。そのような中、解決方法の一つとして樹脂付きエントリーシートの使用がある。しかしながら、穴位置

精度に及ぼす樹脂付きエントリーシート樹脂特性の影響は明らかにされていない。そこで、特性の異なる2種類の樹脂を塗布したエントリーシートを用いてドリル先端の挙動の評価、加工後の穴位置精度測定および切削力の測定を行った。なお、樹脂はポリエチレングリコールを主成分にした樹脂(以下、PEG系樹脂)と植物系ワックスを主成分にした樹脂(以下、wax系樹脂)とした。その結果、PEG系樹脂と比較してwax系樹脂のエントリーシートのほうがドリル先端の求心性が良好であり、穴位置精度が優れるが明らかになった。

4. 穴壁面粗さに及ぼすエントリーシート樹脂特性の影響

プリント配線板のスルーホールの代表的なトラブルの一つに穴壁面粗さの悪化がある。穴壁面粗さは、切削温度の上昇や切りくずの排出不良によって増大するものと考えられている。穴壁面粗さの悪化は、めっきの膜厚が薄くなりやすく、熱膨張により断線を引き起こす要因となる。穴壁面粗さ改善手法の一つとして、樹脂付きエントリーシートを用いた穴加工があるが、樹脂付きエントリーシートの効果に関する報告は少ない。そこで、PEG系樹脂とwax系樹脂を使い、穴壁面粗さに及ぼす樹脂付きエントリーシート樹脂特性の影響を調べた。その結果、穴壁面粗さには、樹脂の融点、ドリル巻き付き性が影響することがわかり、それらが優れるPEG系樹脂付きエントリーシートの穴壁面粗さが良好であることを明らかにした。

5. 回転振れのある小径ドリルの加工挙動

直径1mm以下の小径ドリル加工では、ドリル径に対する回転振れの比が大きいため、加工挙動に及ぼす回転振れの影響が無視できなくなっている。小径ドリル加工における回転振れの発生は、加工精度の悪化や工具折損につながる。そのような中、回転振れのあるドリルが食い付き時から徐々に回転中心に収束して行く現象、いわゆる求心現象が確認されているが、求心時にドリル先端に作用する力の向きや大きさ、あるいはドリル先端形状を考慮した求心現象の解明には至っていない。そこで、有限要素法を利用した切削シミュレーションソフトウェアを用いて、回転振れのあるドリルの被削面食い付き時の切削力とドリル先端移動軌跡を数値計算し、ドリル求心性について調べた。その結果、加工中、ドリル先端中心がシャンク端面中心に対して回転方向の位相遅れが発生する場合、ドリル先端の切れ刃の向きが時々刻々と変化することで被削材から受ける力の向きと大きさが変化し、これが加工挙動に影響を及ぼすことがわかった。

以上、本論文ではプリント配線板の基本的な穴加工現象の解明から始まり、加工品位や加工特性に及ぼすエントリーシートのアルミニウム材料、樹脂材料の影響を調べ、エントリーシートに求められる特性を明らかにしている。また、回転振れのあるドリル先端の挙動を解析と実験により調べ、加工精度を向上させる求心現象を明らかにしている。本論文の成果は、小径穴の高品位化を実現し、その結果、小型で多機能な製品開発に繋がり、豊かで便利な生活に寄与する。