

電子回路基板のドリル・ルータ加工入門 (第5回)

ユニオンツール株式会社
津坂 英夫

6. 穴あけ加工のトラブルシューティングと加工限界

6.1 穴加工時に発生する品質トラブル

プリント配線板製造のなかで穴明け加工は、初めの工程に位置しており、ここでの品質が後工程に大きく影響している。プリント基板の穴加工における品質トラブルとしては、

1. 穴位置精度（ランド切れ、など）
2. 穴内壁粗さ
3. レジンスミア
4. ネイルヘッド
5. メッキ染み込み（ミーズリング）、デラミネーション
6. 穴周囲バリ
7. ドリル折損による未貫通穴
8. ドリルの異常摩耗、切り屑巻き付き（バードネスティング）

などがその主なものである。

6.2 穴位置精度

穴位置精度不良は回路上の設計座標上からずれた位置に穴加工された時に、ランド切れや高密度でピッチの狭い隣り合う穴の間に起こる絶縁不良などの問題が起こる。穴位置精度不良は様々な要因により発生するが、その主なものは、ドリルの剛性、摩耗による曲がり、機械の位置決め精度、当て板（あるいは基板表面の状態）、基板の加工熱などによる伸び縮みによる変形、基準ピン加工誤差など様々な要因によって引き起こされる。穴位置精度の評価は、ホールアナライザー（穴位置座標測定器）を使い、図6-2のように、本来NCのプログラムで指令された本来明けられるべき位置からどれだけずれているかを、的の座標中心から測定した穴の中心座標値を分布として表す。スタックピン位置を基準としたバラツキをそのまま表示した場合、スタック状態や機械の誤差が入ってくる場合があり、データの偏りが発生する。そのため、バラツキの重心位置を求め補正を行い、他の誤差要因を除いた穴位置のバラツキの状態として評価する。これは、ドリルは機械など他の要因が入らなければ、本来狙った位置を中心としてバラつくはずであるという考え方から行われたものである。穴位置バラツキは、中心から最大値で評価する場合と、またはバラツキの平均値に標準偏差値の3倍を足した数値（ $Ave. + 3\sigma$ ）を持って評価する2通りの方法がある。最大値で評価する場合は、穴位置の最大値が例えば表面のキズなどで突発的に発生することがしばしばあり、合理性に欠ける場合がある。条件や工具の特性を評価するような場合には（ $Ave. + 3\sigma$ ）をもって行う方法に合理性がある。

基板の基材部分は、銅箔、樹脂とガラスクロスからなる複合材料であり、内部の構造は均一ではない。樹脂に比べてはるかに硬く引っ張り強度の高いガラスクロスがドリル進入の行く手を阻んでいるといった構造である。フィ

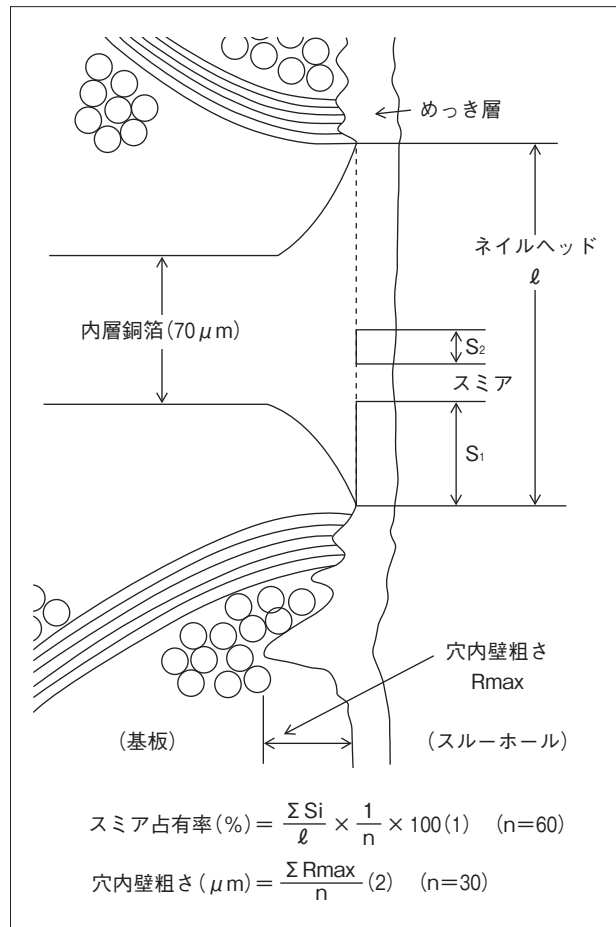
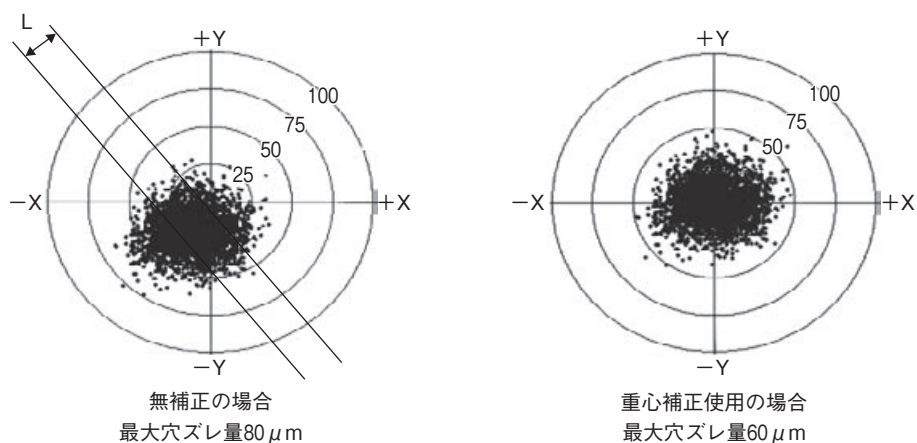


図 6-1 穴内壁に発生する品質トラブル



- ・穴位置精度測定機(座標測定器)で基板の裏側の穴位置ズレ量測定。
- ・穴位置ズレ量の総和からバラツキの中心(重心)を求める。
- ・重心補正し、計算し直し分布を求める。

図 6-2 穴位置精度の評価方法

ラーなども硬い材料であるが、それ自体大きな塊として存在するのではなく、微細化されて形状も球状などになっており、ドリル切れ刃に対して十分に小さく、切れ刃を摩耗させるが阻むという存在にはなっていない。ドリルが曲がる状況というのは、摩耗し丸くなったドリルの切れ刃が硬くて強いガラス繊維にあたりに、増大した切削力を受け、阻まれて曲がっていく。あるいはまた、被加工材の表面に食いつく時に既にずれていると、その中心からのズレの大きさではほぼ比例的に貫通側での位置ズレも大きくなる。さらに、食いついてからはドリル自体の工具剛性によって異なり、曲がりやすい、曲がりにくいドリルがある。ドリル剛性の因子としては、溝長さ、心厚、心厚テーパー、溝幅比、工具材料などによって差がある。

穴位置精度に影響する因子はドリル工具自体の他にも機械の位置決め精度、送り機構のガタ、スピンドルの振れ、スタックピンの精度（基準穴位置精度も含め）、基板の伸び縮み、当て板、加工条件など細かいことを含めると無数にあるといって良い。例えば、機械の送り機構のガタがある場合には、穴位置のバラツキの分布が一方向に長くなるような分布になるか、二つの中心を持つ双極円のような分布になる（前項の図4-10、図6-3）。

基本的に、穴位置のバラツキは食いつき側の精度に依存するので、ドリルチャッキングした時の振れ精度は重要である。当て板の影響もあるが、チャッキングの振れが大きい場合は、図6-3のように分布がドーナツ状になりバラツキが大きくなる。また一方では、極小径やアスペクトが長いドリル自身に柔軟性がある場合には、食いつき部に柔らかい当て板を使う事により、自己求心性が働き、ドリルが中心に向かおうとする。食いつき時に中心に集まったとしても、食いついてからの曲がりや、同じようにドリル自身の剛性や形状、摩耗、あるいは基材内部の材料特性・構成等によって異なる。

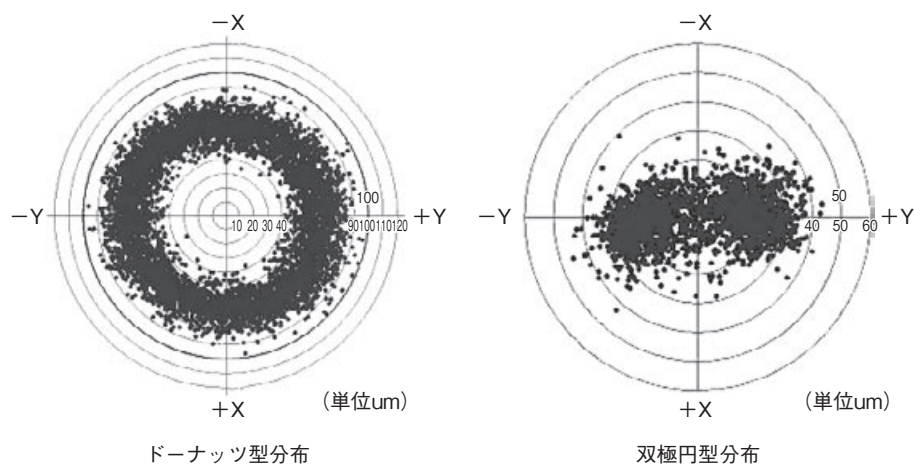


図 6-3 機械異常等による穴位置精度のばらつき

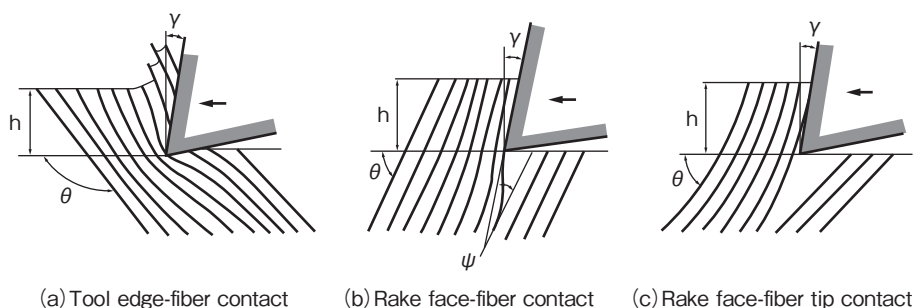


図 6-4 複合材料の繊維部分が切削されるモデル⁽³⁾

6.3 内壁粗さ

穴位置精度のところでも述べたが、基板の基材部分は、複合材料であり、内部の構造は均一ではなく、特に樹脂に比べてはるかに硬く、引っ張り強度の強いガラスクロスが、同様に滑らかな加工表面になることを阻害している。これは繊維状になったものを切削していく難しさから来るもので、たとえば、図6-4のように、繊維に対して切削刃がどのような方向からあたるかによって切削状態が変わる。a)は刃先から繊維にあたる場合、b)はすくい面と平行に繊維にあたる場合、c)は刃もとから繊維にあたる場合を示している。モデルのように刃先からあたるa)のような状態で繊維を切るのが一番綺麗な切削面となり、反対に刃元からあたるc)の状態で繊維がバラけやすく、モデルのように引っ張られてちぎれるような現象が起きる。実際の基材でも、図6-5に見られるような、繊維部分に対し刃元からあたる場所で掘り起こし現象が見られ内壁が荒れている。一般的には繊維の方向に対して30~45度になるところで内壁が悪くなる(図6-6)。したがって、内壁の粗さを評価する場合、繊維方向に対して平行もしくは直角方向に断面を取るやり方でのクロスセクションでは荒れているところの状態を見ることは出来ないため、90°方向でなく45°方向でクロスセクションを作られている(図6-7)。ガラス繊維が樹脂によって一体化されて固められていれば、このような掘り起こしがあまり起こらない。ドリルや切削条件のみならず、基材の積層状態、プリプレグの品質の違いでも内壁の粗さに大きな影響を与え、太いガラス繊維のものは特にこの現象が大きく現れる。

フィラーなども硬い材料であるが、大きな塊として存在するのではなく、球状で微細化され、ドリル切れ刃に対して十分に小さく、切れ刃摩耗を進行させるが、切断のしにくさが切れ刃を阻害しているわけではないようである。フィラーの粒子の大きさは粗さに影響を与えてはいるが、1~2ミクロン程度である。

6.4 レジンスミア

スミア(図6-8)は、切削中に発生した熱で切り屑となった樹脂が溶けるか軟化して内層の銅箔接続部分に付着し、後工程でめっきしたときに、めっきした銅層と内層銅箔の間の接続状態を不安定にして、不良の原因となる。原因は切削熱であり、早すぎる切削速度や切れ刃摩耗による切削温度の上昇によって引き起こされる。切削温度が樹脂のガラス転移点温度の200~300度になるとスミアが発生しやすくなってくる。一般的なFR-4などの基板では、ドリルの周速(=切削速度)が200m/minを越えるとスミアの発生率が高くなり、その時の切削温度は2~300度

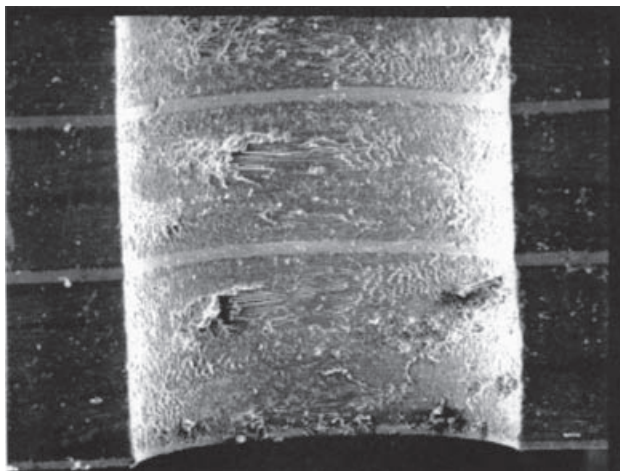


図 6-5 多層基板の穴加工における基材内の掘り起こし現象

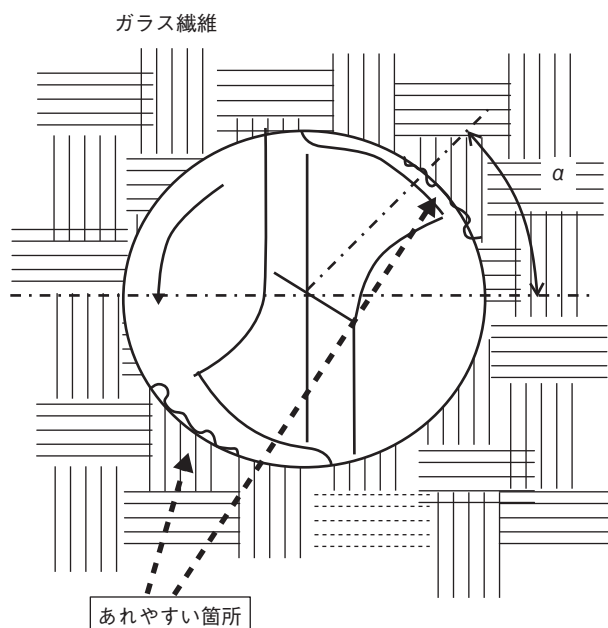
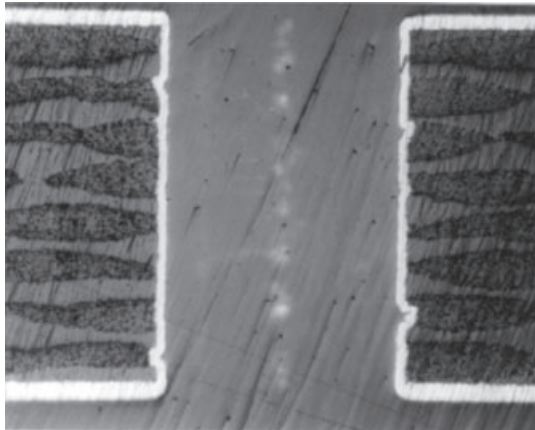
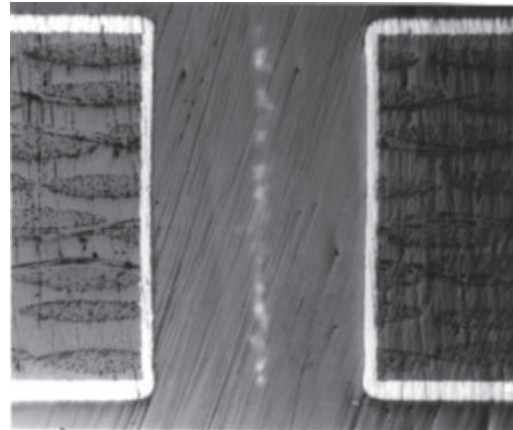


図 6-6 ガラスクロスの切削時のモデル



クロスセクション、繊維の45°方向



クロスセクション、繊維の90°方向

図 6-7 クロスセクションの断面方向による内壁粗さの違い

になっていると推定されている⁽⁵⁾。したがって、スミアの発生を抑えるため周速を150～180m/minになるようなドリルの回転数で使うように推奨されている。図6-9はスミアの発生状態を樹脂の違うエポキシ基板とポリイミド基板で比較したものである。ドリル摩耗はポリイミド基板の方の進行が早く、切削温度がやや高くなっていると推察できるが、実際には、スミアの発生はポリイミド基板の方がやや少ない。これは結局エポキシ樹脂のガラス転移点が130℃ぐらいに対して、ポリイミド樹脂のそれが200℃以上と高く、軟化しにくく、結果、スミアが起こりにくいと思われる。

また、スミアはドリルと穴内壁との摩擦によっても生じやすく、摩擦トルクを低減するためにドリル形状のマージン幅を狭くする、あるいはアンダーカットタイプが奨められている。さらに、切り屑がドリル溝に溜まって詰まると、スミアも発生しやすいため、切り屑排出性が良く、溝幅比が大きく、心厚が薄く、心厚テーパの小さなドリル形状がよい。

また、捨て板、当て板の選択にも注意を払う必要があり、特に捨て板からも樹脂の切り屑を排出する事になり、これがスミアの原因になることもあり品質の良いものが求められる。

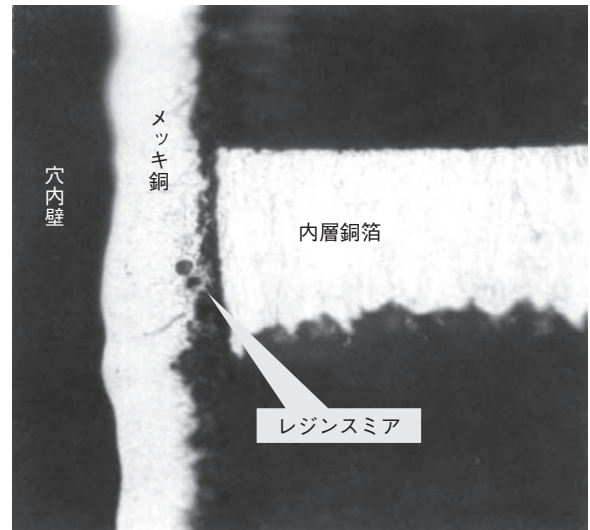
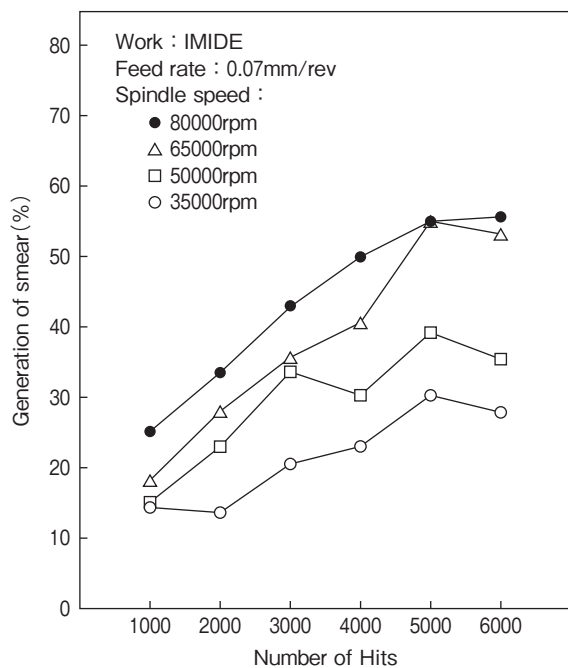


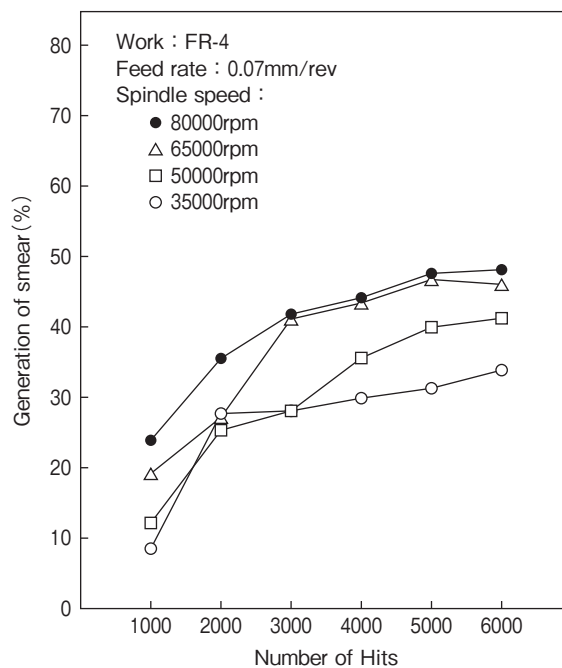
図 6-8 プリント基板穴加工時に起こるレジンスミア

6.5 ネイルヘッド

ネイルヘッドは、穴断面をモデル化した図6-1に見られるように内層の銅箔部の穴壁面の部分が潰されて釘の頭状（ネイルヘッド）になっている事から呼ばれている。ネイルヘッド自身は絶縁不良とかの原因になっている訳ではないが、ネイルヘッドの原因が、ドリル外周の摩耗が大きいのか、ドリル溝に切り屑が詰まって起こる場合であり、これがスミアの発生しやすい状態であり、内壁も荒れていることに繋がっているため、良好な穴明けがなされていないことが予測されるため、不良と見られている。切り屑詰まりで発生している場合、機械のバキュームの能力不足なども原因と考えられる。ちなみに、ネイルヘッドの大きさを内層の銅箔部厚みの1.5～2.0倍の厚みで規格として管理されていることが多い。



(a) エポキシ基板



(b) ポリミド基板

図 6-9 プリント基板穴明け加工におけるスミア発生（基材の違い）(5)

6.6 めっき染み込み（ミーズリング）、デラミネーション

めっき染み込み（ミーズリング）、デラミネーションも穴明け加工の中で起きている現象と原因は、ネイルヘッドと原因が似てドリルの切れ味の低下やドリル溝に切り屑が詰まって起こる。ドリルの切れ味や切りくず排出性の良い状態が必要である。また、同時に基材側の要因も大きく、樹脂が含浸状態などでガラス繊維と一体化していない場合や、多層プレスなどで積層状態が良くないことも不良の原因と考えられる。

6.7 バリ

入り口側に発生するバリは、基板の銅箔の上に当て板を敷いていることでかなり押さえることが出来る。しかし、当て板が柔らかい場合や、当て板と基板の間に隙間がある場合に、バリが発生する。実際には、バリは貫通側に出やすく、バックアップになる捨て板近傍では、ドリルのスラスト抵抗が最も高くなり、発生しやすい。特に、ドリル摩耗が大きい場合には顕著で、穴周りに煙突状となって出来る（図6-10）。また、フレキシブル基板のように薄い基板では基板自体が変形しやすい場合もバリが発生しやすい（図6-11）ために、厚めの当て板や基板押さえを使い基板をしっかり固定する。また、捨て板も基板との隙間が出ないように平滑で少し硬い表面のものがバリの発生を抑制する。

6.8 ドリル折損、切り屑巻き付き（バードネスティング）など

ドリル折損は非常に多くの要因があり、一概には語りにくく、もちろん、ドリルそれ自身の超硬合金の欠陥や形状的強度不足もしくは形状の不適合、機械の不良、振動、スピンドルの振れ、ドリルチャックミス、バキュームの能力、基板のバラツキ、基板特性、当て板の表面のキズ、不適合、捨て板の品質問題などである。最近目立って多いのが、基板自体の難削化が進み、ドリルの選択を誤った場合の形状の不適合による切り屑詰まり、摩耗の過大などで、ドリル折損が発生している。パッケージ材料が半導体と近い熱膨張とするため大量のフィラーの添加により、非常に複雑化・難削化していることが背景にある。しかも、同じパッケージ材料でも硬く摩耗しやすいものと粘り

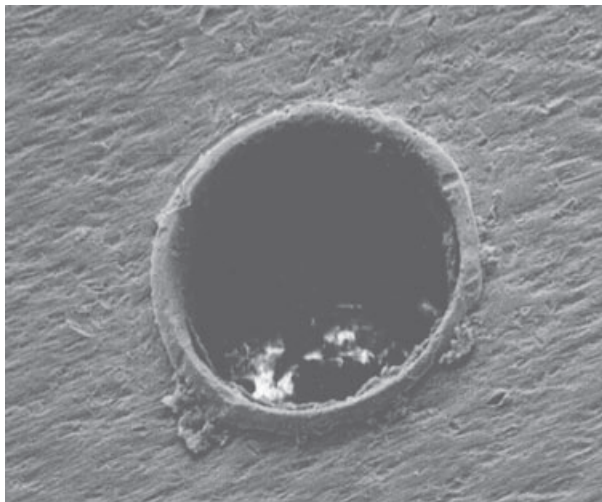


図 6-10 基板の浮き（すき間）によるバリ発生例

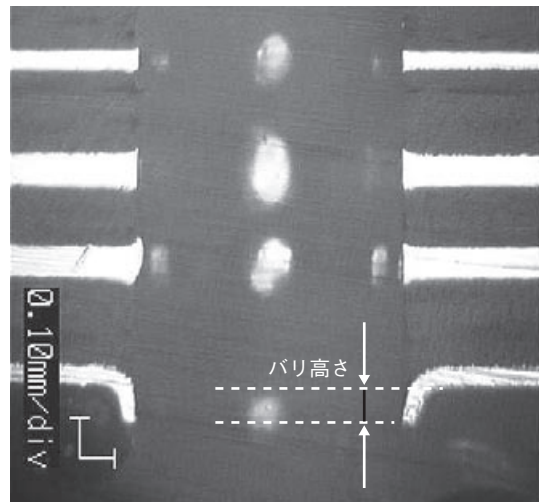


図 6-11 プリント基板穴加工時に起こるバリ

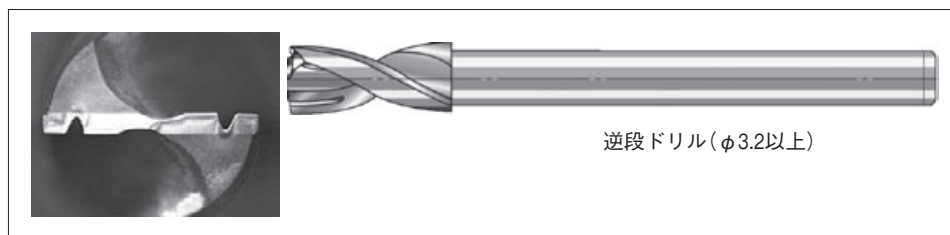


図 6-12 ブレーカー付き ID ドリル（ユニオンツール）

が強く切り屑が固まりやすいものと全く正反対の性質を示すものがあり、ドリル形状の使い分けが必要であろう。

切り屑巻き付きについても、前項 3 - 6 の当て板のところすでに述べているが、樹脂つきアルミの当て板に特に発生しやすく、これの普及と共にこの現象が多く見られるようになった。元々アルミや銅箔は延性に富み、分断されずに細長い切り屑形状となり、ドリルに絡みつきやすかった。加えて、樹脂が熱により軟化して粘度を増したためさらに絡みつきやすくなった。これには、アルミの当て板を硬めのものにする、送りを上げる、ドリルの形状を変えるなどの対策が考えられる。ドリル径の大きい逆段ドリルは、切り屑がさらに長くなり一段と絡みやすくなるため、ドリルの形状面で、溝内部に切り屑分断のための小さな溝を設けチップブレーカー付きドリルとして工夫がなされたものがある（図 6 - 12）。

参考文献

- 1) 平中、津坂ら プリント基板小径穴明けにおける曲がりに関する研究 精密工学会誌 59. 1. 1993
- 2) 渡辺、津坂ら プリント配線板における微細穴明け加工 精密工学会誌 74, 11 2008
- 3) 王、新井ら 繊維強化複合材料の切削加工に関する研究（第 2 報）精密工学会誌 57. 8. 1991
- 4) 青山、廣垣ら プリント基板用 GFRP の小径ドリル加工に関する研究 日本機械学会論文集 (C) 63. 108. 1997
- 5) Hideo Tsuzaka, Katsumi Miyamoto, Resin Smear on Drilling of Multilayer PCB, Printed Circuit World Convention UK 1990, C3-1
- 6) 岡本 穴明け加工における品質トラブルと対策 サーキットテクノロジー Vol. 8 No. 3. 1993
- 7) 高野、新井ら 多層プリント配線板のドリル加工性 サーキットテクノロジー Vol. 3 No. 5. 1988