

特集

電子回路基板のドリル・ルーター加工入門 (第2回)

ユニオンツール株式会社
津坂 英夫

2. 電子回路基板用ドリルの種類と用途

2.1 電子回路基板用ドリルの種類

ドリルの種類については、外観（シャンク径に対するドリル径の関係）によって、図2-1に示されるように3種類に分類される。一般にはドリル径がシャンク径より小さいルーマ型ドリルとなるが、シャンク径より、ドリル径が大きいドリルを逆段ドリル（ステップアップ、IDともいう）といい、逆に径が小さくなると、シャンク径とドリル径の中間の径のステップ部を持つ極小径（0.3mm未満に多い）ドリルとに分類されている。ステップ部を設けているのは、シャンク部がドリルを自動交換するためのツールポストからの突き出し長さに決まりがあるためで、穴あけ機メーカーによって若干違いがあるが、シャンク径が3.175mmの場合、逆段ドリルで25mm以上、一般径、極小径で24~29mmとなっている。2mm径シャンクでは、全長が31.75mmというメーカー規格のため、シャンク長も19~22mmと別に定められている。

また、この3種類の中とは別の分類、仕様のものがある。例えば、逆段ドリルでは図にあるような、溝の内部に切りくずを分断するための溝が設けられているものや、径が大きくなると心厚も厚くなり、ドリル中心部のチゼルで受けるスラスト力を軽減するためにシンニングを施してあるものもある。このようにドリル形状によって、切削力を軽減することが出来て、剛性の低いスピンドルを損壊から守ることが出来る。

極小径、一般径のドリルにおいても、刃部本体もドリル径のバックテーパの形状によっても、アンダーカットドリルとストレードリルの2種類がある。

樹脂とガラス繊維で出来ている電子回路基板は、穴加工されるときに、切れない刃先で除去されなかった

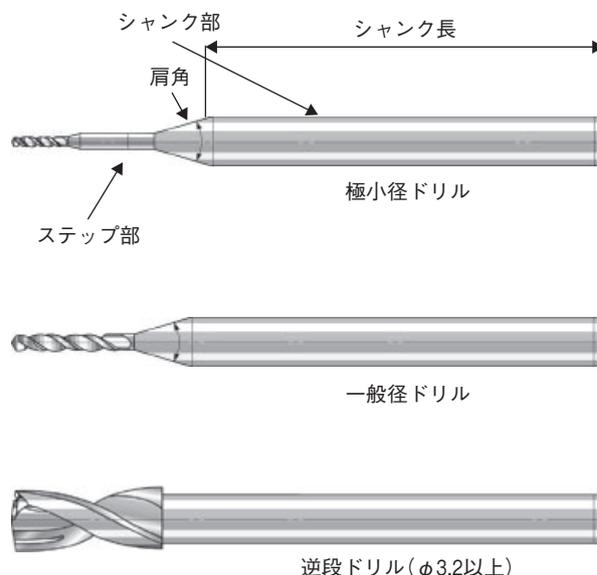


図 2-1 電子回路基板用ドリルの種類

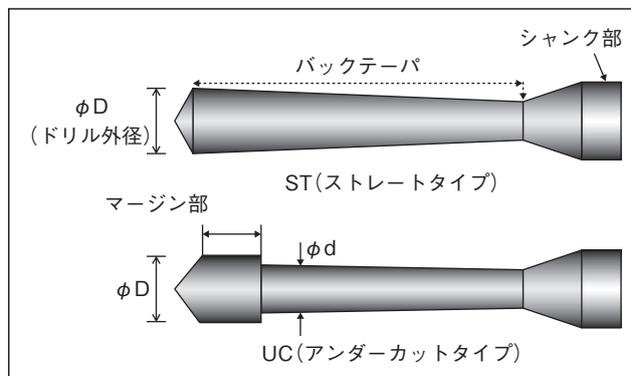


図 2-2 ストレートタイプとアンダーカットタイプドリル



部分がいったん弾性変形、または熱的に膨張して、それが刃先通過後に戻ることにより、ドリル径より小さな径の穴になることがしばしば起こる。特に、摩耗が進行して刃先が丸まってくるとより顕著になる。切れ刃が新しい状態の時にはドリル径とほぼ同じ径に仕上がるが、摩耗してくるとドリル径より $-20\sim-30\mu$ ぐらい小さく加工されることもある。このため、加工中に穴とドリルの間の摩擦による抵抗が大きくなっていく。アンダーカットしたドリルはストレートタイプより穴との摩擦が低減されている。アンダーカット部分はドリル径より $0.01\sim 0.05\text{mm}$ 小さくなっている。さらに結果として、穴が荒らされることが少なくなるので内壁等の穴品質は良くなる。ただし、アンダーカットタイプの場合はマージン長が短くなるので、再研磨の回数が限られ、経済的に使おうとするケースではストレートタイプが選択される。

3 加工条件の選択

穴あけの加工条件としては、主な因子として以下のものがある。

1. 送り速度と1回転当りの送り（チップロード）
2. 回転数と周速（毎分当り）
3. 引き上げ速度、ドウェル
4. 穴深さ、貫通深さと必要ドリル溝長
5. ステップ加工、ダブルドリリングなど
6. スタッキング、当て板・捨て板

これらの加工条件は、ドリルや機械の特性、制限、基板の種類と被加工性を考慮して決められていく。

3.1 送り速度と1回転当りの送り（チップロード）

毎分の送り速度 (m/min.)は、チップロード (μ /回転)に回転数 (rpm)をかけたもので、加工能率を表す。チップロードは1回転あたりのドリルのすすみ量であり、切れ刃にかかる負荷を表す。高いチップロードは加工能率が上がるが、同時にトルクが比例して上昇するので折損等のトラブルにつながる。チップロードは、ドリル径0.1mmでは、折れやすいため $5\sim 8$ (μ /回転)の小さなチップロード（ドリル径の $5\sim 8\%$ ）が使われる。しかし、回転数が30万回転と高速になるため、加工能率の送り速度は 2 (m/min.)とかなり速くなる。ドリル径0.3mm位では、ドリルの強度も大きくなり、送りも $20\sim 30$ (μ /回転)と高い方（ドリル径の $6\sim 10\%$ ）が使われる。

チップロードは折損や加工速度のみならず、銅箔のドリルへの絡みつきや内壁粗さにも関係してくる。遅すぎるチップロードは、摩耗を増長し、切り屑の長さも長くなり絡みつきやすくなるので、折損や穴位置トラブルなどのでない領域で、なるべく大きい方がよい。

3.2 回転数と周速（毎分当り）

回転数は、機械のスピンドル能力の制限があるが、電子回路基板の特性に合わせた適正な周速を選択する。たとえば、FR-4の両面板だと $150\sim 180\text{m/min.}$ 、FR-4の $4\sim 6$ の多層板、または硬めのサブストレート材だと $130\sim 160\text{m/min.}$ 、さらに硬いパッケージ材だとドリル摩耗が急速に進むため $100\sim 150\text{ m/min.}$ とさらに低めの周速を選択する。周速は回転数の関係から次の式で表される。

$$\text{毎分当り周速 (m/min.)} = \text{ドリル径 (D mm)} * \pi * \text{回転数 (rpm)} / 1000$$

仮に、適正周速が 150m/min だったとした場合、 0.3mm のドリル径の場合、所要回転数が16万 rpm と計算されるが、 0.1mm 径の場合だとその所要回転数が約48万 rpm と計算上なるが、現在そのような回転数を有するスピンドルは開発されていない。また逆に、ドリル径 6mm では、穴あけ機の最低回転数が2万回転以下の機械はほとんどないため、最低回転数を選択しても周速が 380m/min に達してしまう。そのため周速になり過ぎドリルの摩耗も速く進行して、ドリル寿命も短くなる。しかし、実際の電子回路基板の穴あけでは、このような太径はほとんどな

いたため余り差し支えない。

ドリルの工具寿命は、低速であるほど、トルクも高く寿命も短くなり、高速側の方がトルクも小さく工具寿命も長くなるという実験結果(図3-1)⁽¹⁾も得られている。これは、ガラスエポキシ材の低温での切削抵抗の増加や、穴内壁との摩擦が増えるため折損しやすくなるために起こると思われる。極小径ドリルの場合、ある程度寿命が長くなる速度までは、加工能率も高くなる高速側の回転数にした方がよい。

反対に、高すぎる周速は切削熱を高くし、工具の早い摩耗や樹脂層の熱による軟化や溶解によるレジンスミアの発生を招く。これにより穴品質問題に至る場合もある。およそ、周速170-180m/min 以上になるとレジンスミアの発生が増え、250-300m/min を越すと工具摩耗が急激に進み、銅層の加工量にもよるが、極端な工具寿命の低下が見られる。また、超硬合金の材種面でも、8% Coの超硬合金が5% Coより耐熱性に劣り、熱による工具寿命の影響をより受ける。機械面ではスピンドルの最高回転近傍になると振動が大きくなり、極小径加工では折損などの原因となる。この場合むしろ、回転が安定するような領域で、例えば周速100m/min 近傍あっても、加工することが望ましい。

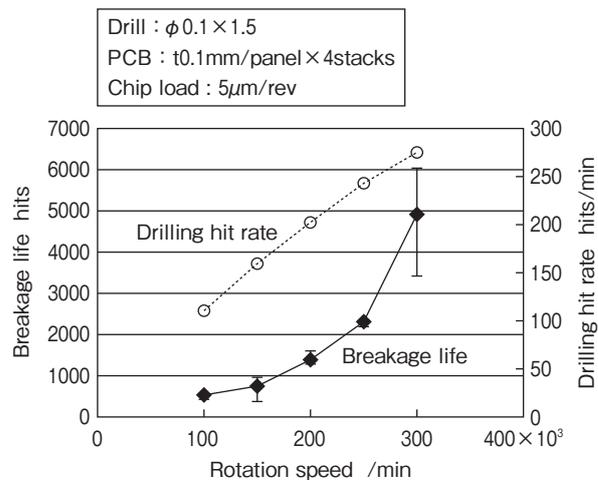


図3-1 電子回路基板穴あけにおけるスピンドル回転数と折損寿命の関係

3.3 引き上げ速度、ドウェル

送り速度に比べて、穴あけ機の引き上げ速度は、最速のもので50m/min ぐらいだが、ストロークが短いために加減速が必要のため実際最大まで上がることはない。普通に使っている場合は、内壁などの穴品質や、ドリルの折損などに直接影響はすることは少ないが、z軸の穴あけストロークを短くしている場合に穴位置精度などに影響する可能性がある。これは、ドウェル（ドリルサイクルでは最下点などでの待機時間）についても同様である。高速で加工する場合、機械のサーボが速い動きに追従しない場合に、わずかにドエル時間を入れることによって、トラブルを避けることができる。ただし、通常の条件で加工する場合、あらかじめ機械側で設定されている条件のまま使用するのが一般的である。

3.4 穴深さ、貫通深さと必要ドリル溝長

電子回路基板の穴加工において、同時にどのくらいまで重ねて同時に加工するかは、基板の被削性（加工しやすさ）や要求品質、例えば穴位置精度、内壁荒さなど、によって決めなければならない。穴が深くなることによって、ドリルの曲がる量も大きくなり、深くなれば切り屑も排出されにくくなり、内壁も荒れやすい。一般的には、ドリル径の10倍から15倍の穴深さが目安になっている。ただし、微細なドリル径0.1mm 前後のような場合だと、径の5~8倍程度であるが、もっと深くなる場合やさらなる穴位置精度や品質が要求される場合では、次項に記述するステップ加工やダブルドリリングが必要である。

貫通深さは、加工する基板を貫通させて、捨て板のどの深さまでドリルを入れるかの設定である。ドリルは深くなればなるほど、折損や切り屑詰まりのトラブルが多くなるので、なるべく浅い方が安全であるが、捨て板の厚みのばらつき、機械のZ軸の位置決め精度、バリ、ドリル全長のバラツキなどを考慮して、先端からアプローチ長の2倍程度の深さを設定している。径が1mm を越える太い側では、アプローチ長に0.3~0.4mm 加えた深さに設定する。

これにより、必要ドリル溝長は、(基板の厚み+当て板の厚み+貫通深さ+再研磨代+切り屑排出必要溝長+ア

アプローチ長+余裕長)、の計算によって決める。しかし、余裕を見て溝長を長くすると、ドリルが曲がりやすく穴位置が悪くなり、弱くなってドリル折損の原因になる。短すぎても、ドリルが曲がって進入していった場合、根元まで穴にドリルが入った時に、曲げ応力の逃げ場がなくなり、折れることもある。

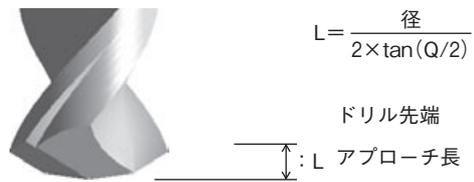


図 3-2 ドリル アプローチ長

3.5 ステップ加工、ダブルドリリング、フリップドリリング

前項で述べたように、ステップ加工とは、一本のドリルを用いて、穴深さが深い場合、溝に溜まった切り屑を一旦ドリルを引き上げることで排出し、これを何度か繰り返し加工する事をいう。これはドリルの溝が切り屑に対して十分でない、例えば難削材や銅層が厚く、多いとか、アルミ基板などのケースは切り屑が長くなり、これを分断することが必要な場合に用いられる。ステップ加工は進入と引き上げを何度か繰り返すが、一般的には、最初のストロークの時になるべく深く設定し、その後の一回のストロークとステップ回数を減らし、加工能率が落ちるのを避ける。ステップ加工によって、切り屑づまりによる内壁あれやドリル折損を防ぐことが出来るが、能率が落ちると、多数のストロークにドリル摩耗が促進されるのは避けられない。

穴位置精度については、ドリルの溝を狭くした剛性の高いドリルを使い、穴位置精度の改善をすることが出来るが、ステップ加工自体で穴位置が良くなることは余り期待できない。

これに対してダブルドリリングは、溝長と剛性が異なる2本以上のドリルを用い、最初に短い剛性のあるドリルを用い浅いガイド穴を加工し、次に、より長い溝長のドリルを用いて所定の穴深さまで1ないし複数本のドリルを用いて一つの穴を加工する。この方法は、ステップ加工に比べて穴位置精度が良いため、穴位置精度の要求が高い、かつ基板の厚みがある半導体のテストボードのような高多層基板の加工などに用いられている。パイロットドリル以降に使うドリルは自己ガイド性(=マージンなどの案内性)が良好なドリルにしなければならない。

フリップドリリングは、ステップやダブルドリリングでも対応しきれないドリルの溝長を越えた厚みのある基板の穴加工に対して、基板の表裏の両方から穴あけする方法である。これも両方の穴の位置精度が重要

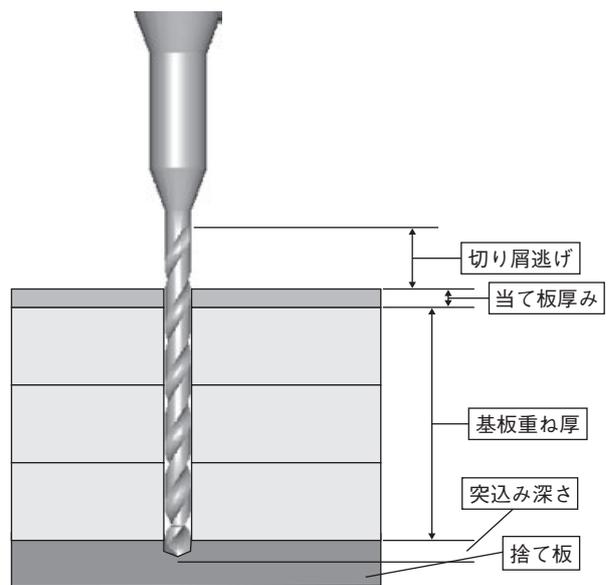


図 3-3 必要ドリル溝長の計算

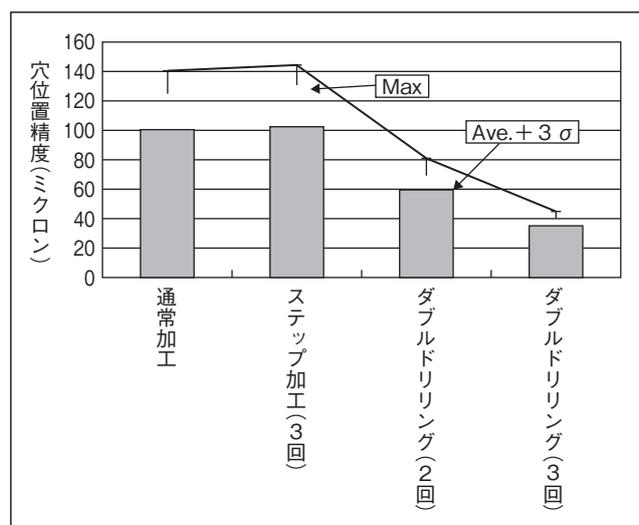


図 3-4 各種ドリル加工の穴位置精度比較 (φ0.3mm、4mm厚、20層高多層板)

で、どちらかが曲がってしまうと中間での貫通点でずれが生じてしまう。ずれに対しては、裏返して加工するときの基準ピンの位置決めや他の要素もあるが、ダブルドリリングを併用して行うことで加工精度を良くして行うことも必要である。

3.6 スタッキング、当て板・捨て板

(1) スタッキング

ドリル加工するとき、電子回路基板を同時に何枚か重ねて加工するが、図3-5のように基板の上面に基板の加工表面の保護とガイド性のために、あて板を乗せ、底面側に貫通時のテーブル保護のために捨て板を置き、これらを固定するためにテープを貼り一体化する。さらに、穴明け機械のテーブルに位置を固定するためのスタックピン用の穴を明け、ピンを挿入する。多層基板の場合、回路パターン加工基準となっている穴があらかじめ明けられていて、基準ピンを兼ねる。図のようにあて板が浮いていたり、基板間も隙間があるとドリル折れの原因になることがしばしばある。当て板上の傷やゴミ、凹凸はこれも穴位置精度やドリル折損の原因になるので除去しておく必要がある。

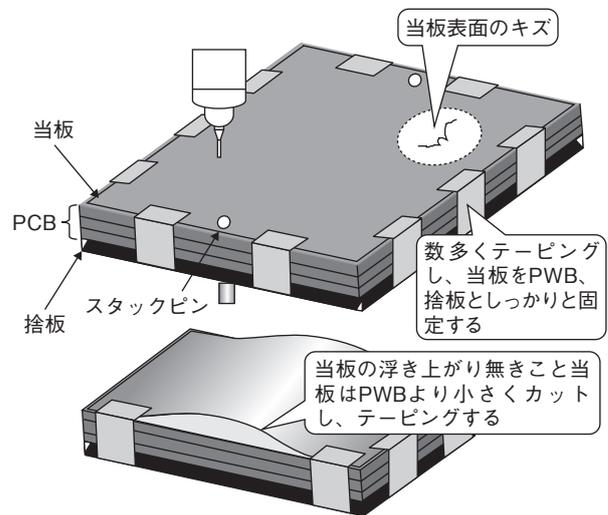


図 3-5 ドリル加工のスタッキング

(2) 当て板

表3-1に当て板の種類と適用を示すが、最も一般的に使われているのがアルミ板である。アルミは、圧延されて厚みが0.1~0.2mmのものがよく使われる。材料的には、合金成分が少ない変形しやすいが、コストが安い100番台のものが使われる。たまに、わずかにSiの入ったアルミ合金である3000番系の板も使われることがある。こちらの方は、塑性変形もしにくく、硬さもあるので切り屑の巻き付も少ない。多少硬くても、工具摩耗への影響はさほど変わらない。

ドリル径0.25mm以下で、穴位置精度の求められる加工や0.2mm未満の極小径の加工には、アルミ板の上に数十μの樹脂が塗布された、いわゆる樹脂付きアルミの当て板がよく使われている。特に、0.2mm未満の極小径の加工の加工では、柔らかい樹脂層で食い付きと同時に求心して穴位置を改善すると共に、食い付き時の衝撃を和らげてドリル折損対策や穴位置精度の向上に効果的である。樹脂付きアルミの当て板は、0.1mm径のドリル加工を現実的なものにする上で重要な働きをした。

図3-6はドリルを100μ振れたチャッキングの状態で行った穴あけをして、各種当て板材の求心性によってどのくらい改善されるかを比較したもののだが、樹脂または樹脂付きアルミは振れをほとんど吸収してしまうが、アルミは送り上げていくと、求心性が失われて振れと同じ量の穴位置のずれが生じる。樹脂系の当て板であっても送りが速くなると、求心性もわずかに悪くなっていく。ある程度求心していくための時間が必要であることを示している。

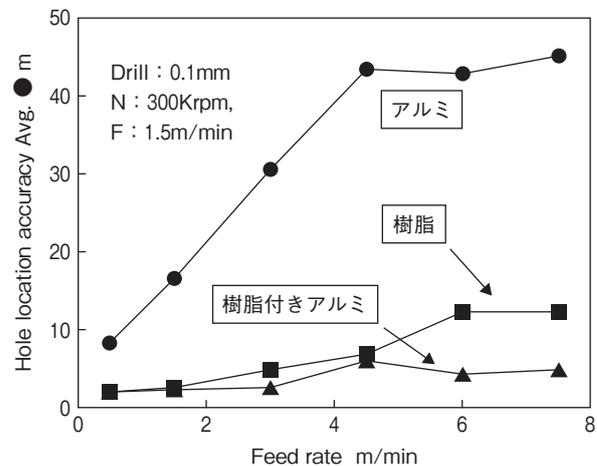


図 3-6 各種当て板材の求心性の比較⁽²⁾
(100μ振れている状態で穴加工した)



樹脂付きアルミは、温水にも溶け、熱で溶けやすい性質で柔らかいため、アルミと一緒にドリルの根本に巻き付きやすい性質もあり、これが加工の妨げになることもある。現在は改良された巻付きの少ないものも開発されている。

樹脂のフィルムは0.1未満の極微細な径で、折損対策のために使われることがある。100 μ 以下のドリルの穴明けに適した当て板はまだこれからの状態で開発が望まれる。

(3) 捨て板

捨て板は、一般的に紙フェノール板が多く使われる。紙フェノール板に硬さを出すためのメラニンコーティングをしたものや、クラフトパルプと呼ばれるパルプを固めたもの（リサイクル性がよい）があるが、柔らかいため、バリが出やすい。

捨て板ということでコストを極力抑えるため安価な材料を使用する側も管理もおろそかにされがちだが、捨て板に含まれる不純物や厚みのバラツキのため異常損傷、折損トラブルなどの原因にもなっている。

参考文献

- (1) H. Watanabe, H. Tsuzaka, M. Masuda, Micro drilling for Printed circuit Board, Precision Engineering, 32, 10 (2008) 329
- (2) 渡辺英人、津坂英夫、榊田正美、プリント配線板における微細穴明け加工、精密工学会誌 Vol.74, No11 2008, 1204

表 3-1 当て板の種類と適用

当て板の種類	詳細	特長
アルミ板	圧延アルミ材を0.1~0.2mmのものにしたもので、硬さと切り屑処理性を向上させたSi含有金がある。	安価、リサイクル性良好、極小径では樹脂系に比べて食い付き性に劣り、折損しやすい。
紙フェノール板	クラフト紙にフェノールを含浸させたもので、厚みが0.4mm以下にならない。	対スミアには問題、リサイクル性不向き
樹脂付きアルミ	アルミシートの上に極圧添加剤の潤滑剤層を塗布したもの。三菱瓦斯化学製LEシーとなどがある。	食い付きがよい、穴位置精度に効果。対スミア、寿命延長に効果的、高価
複合アルミ	ドリル食い付き側にもろいアルミと通常の2種類のアルミシートを積層したもの。	比較的安価、リサイクル性良好
樹脂フィルム	0.1mm以下の薄い樹脂フィルム。	アルミと比べて柔らかく、食い付きがよい、極小径の0.1mm以下に向く。バリを抑制する効果は薄い。

ねじれ角 樹脂付きアルミ当て板切りくずの巻き付き

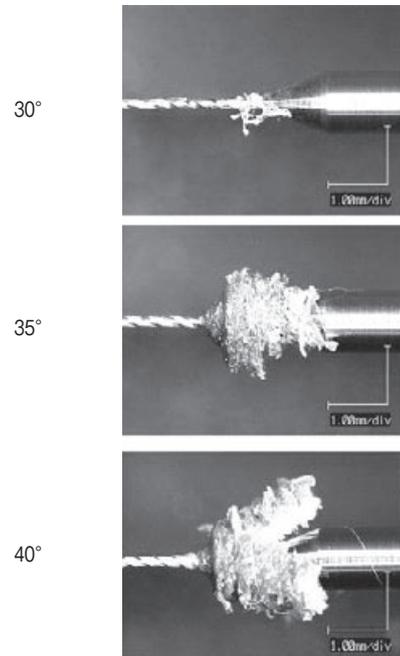


図 3-7 樹脂付きアルミによる切り屑のドリルへの巻き付き



表 3-2 FR-4穴加工の推奨加工条件表 (一部の例)

FR-4両面~4層 / Double-Sided ~4 Layers						
φD	回転数 Spindle Speed	送り速度 Infeed Rate	チップロード Chip Rate	基板厚と重ね枚数 Board Thickness and Stack Height		
mm	krpm	m/min	μm/rev	0.8mm	1.0-1.2mm	1.6mm
0.30	120	2.4	20	3-4	2-3	2-3
0.35	100	2.3	23			
0.40	95	2.4	25		3-4	3-4
0.45	85	2.1				
0.50	75		28			
0.55	70					
0.60	65	2.0	30	4-5	3-4	3-4
0.65						
0.70	60	1.8				
0.75						

FR-4 6~8層 / FR-4 6~8 Layers						
φD	回転数 Spindle Speed	送り速度 Infeed Rate	チップロード Chip Rate	基板厚と重ね枚数 Board Thickness and Stack Height		
mm	krpm	m/min	μm/rev	0.8mm	1.0-1.2mm	1.6mm
0.10	125	0.6	5	1	1	1
	160	0.8				
	200	1.0				
0.15	125	0.9	7	1-2	1-2	1-2
	160	1.2	8			
	200	1.5				
0.20	125	1.3	10	1-2	1-2	1-2
	160	1.6				
	180	1.8				
0.25	125	1.5	12			
	140	1.7				

FR-4 6~8層 / FR-4 6~8 Layers						
φD	回転数 Spindle Speed	送り速度 Infeed Rate	チップロード Chip Rate	基板厚と重ね枚数 Board Thickness and Stack Height		
mm	krpm	m/min	μm/rev	0.8mm	1.0-1.2mm	1.6mm
0.30	120	2.4	20	3-4	2-3	1-2
0.35	100	2.0				
0.40	95	2.2	23	3-4	2-3	2-3
0.45	85	2.0				
0.50	75		1.8	26	4-5	3-4
0.55	70					
0.60	65	1.8	28	4-5	3-4	3-4
0.65						
0.70	60	1.7				
0.75						