

電子回路基板のドリル・ルータ加工入門 (第8回・最終回)

ユニオンツール株式会社
津坂 英夫

10. ルータ加工の実際と加工事例

10.1 ルータ加工時の切削現象

前章で述べたように電子回路基板のような複合材料をルータ加工する場合は、一般的にダイヤモンドルータを使う。ダイヤモンドルータは同時に削りにあずかる切れ刃数が多く、切り屑を細かく削り取るような加工になっている。これはひとえに切りくずを細かくし、切り屑を吸い込みやすく、処理を楽にするためのものである。金属加工に使われるエンドミルは細かく切り屑を分断せずに、削るのではなくいわば切り取るようになり、粉状にならない切り屑は、加工した溝に残りやすく、あとで切り屑処理の手間がかかってしまう。逆に、基板加工用のルータを金属加工に使った場合、切り込みを少なくすることで加工には使えるが、溝加工のように回転あたりの切削面積が広い場合には、切れ刃あたりの切り屑ポケットが小さいため、溝内に詰まることが起きてしまう。

ルータや、エンドミルの側刃を使う回転工具の場合、回転方向と進行方向によって切れ刃の食いつき方で図10-1のようなアップカットとダウンカットがある。アップカットの場合、切れ刃がゼロの切り込みで壁に切れ刃を押しつける力を加えながら切り込みが始まり、その後切削厚みを増していく。反対に、ダウンカットは切削厚みの厚い状態から切削が始まり、最後は切り込みがゼロになって、最後は被削材を引きはがすような形で切れ刃が逃げていく。従って、どうしても、ダウンカット側の切削仕上げ面が荒れがちになる。

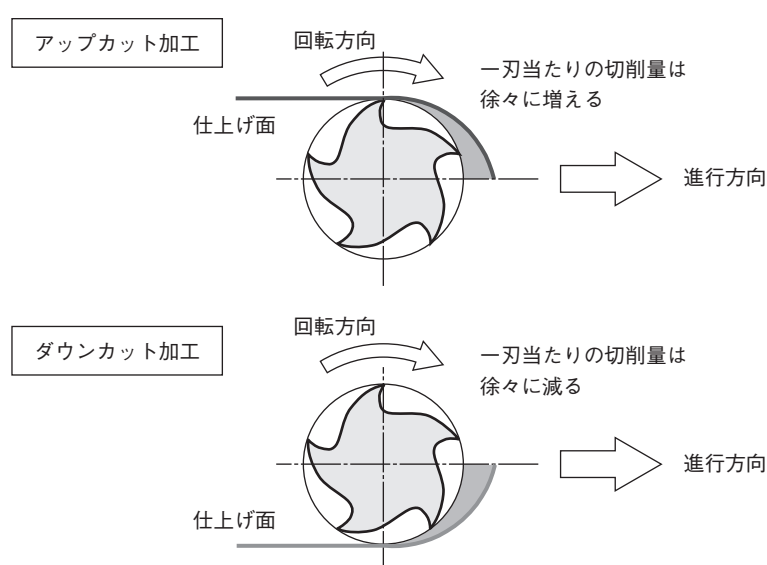


図 10-1 アップカットとダウンカット

また、ルータは進行方向に対する抵抗（送り分力）とトルク、背分力による切削抵抗がかかるため工具に曲げ応力がかかり、図10-2のようなアップカット側に曲げる力を受けた状態で加工が行われる。一番下の基板が工具の倒れ量も大きく、最も加工精度が悪くなる。製品を加工する場合、このルータの曲がりによる加工誤差を考慮したプログラムの補正や加工手順、加工方向を決めておく必要がある。図10-3は製品の外周側を削って加工する場合の製品の仕上がり寸法の期待値を示すものであるが、外周に沿って時計回りに加工した場合は製品の切削面はダウンカットなり、できあがる製品の外径寸法はプラス（大きめ）側に仕上がり、反対に、反時計回りで加工する場合、製品の切削面はアップ加工となり、できあがる製品の外径寸法はマイナス（小さめ）側に仕上がる。これとは逆に、製品の内面を削り内郭寸法が必要な場合は、期待値の寸法はこれと反対に仕上がる。

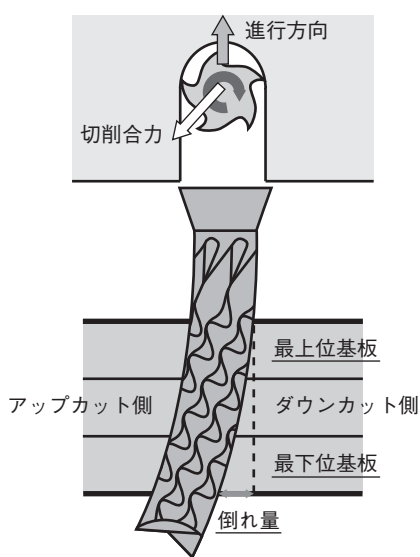


図 10-2 切削抵抗とルータの倒れの関係

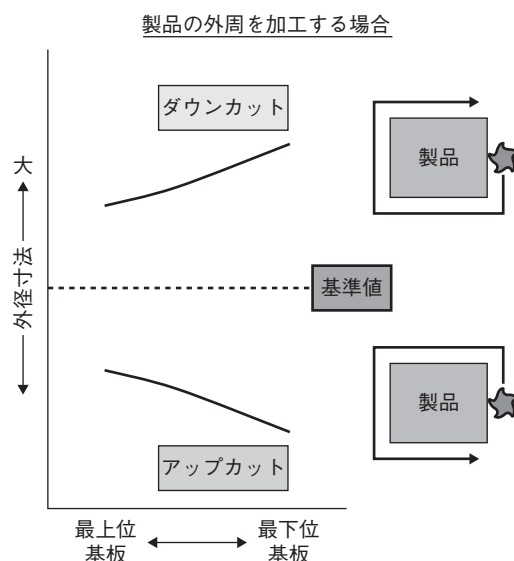


図 10-3 切削抵抗、倒れ量と加工精度の関係

上記で述べたように切削中ルータビットが倒れてしまうことは、外形加工する上で、加工誤差が発生するため問題である。基板の重ね枚数が多ければ加工効率が上がるが、その反面ルータビットの倒れ量も大きくなってしまいます。また、倒れ量は切削抵抗の増加に伴って大きくなる傾向である。従って、摩耗の進行、送り速度の大きい場合などで倒れ量も大きくなる（図10-4）。

加工中に倒れが生じることを前提に、その倒れ分を考慮したテーパルータもある。テーパタイプのルータは、フロント側の径が小さくなるテーパになっており、倒れ量と同等のテーパがついていることにより、切削面が垂直になるように計算されている。

このフロントテーパのルータの場合、アップカット側が常に製品の仕上がり面となるように外形加工ルート（＝反時計回り）にならなければならない。

10.2 推奨加工条件

図10-4に一般的なプリント基板であるFR-4の1.6mm

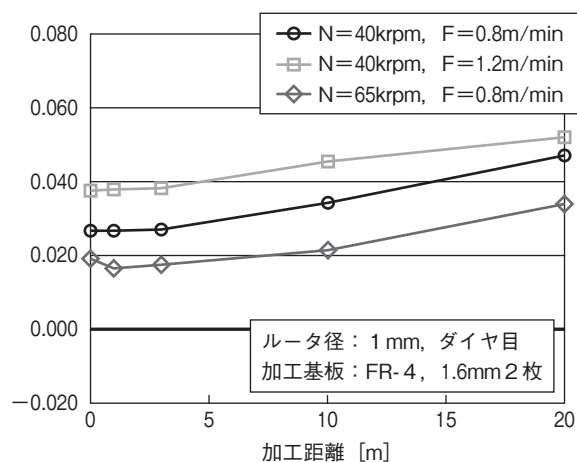


図 10-4 ルータ加工の倒れによる上、下板の仕上がり寸法の差（＝倒れ量）

厚みの両面板を加工する場合の推奨条件表を示す。回転数は、外週速度とスピンドルの最高回転数から決められていく。ドリル加工の章で触れたが、電子回路基板のような複合材料の場合、150～180m/min が適正週速として推奨されているが、ルータ加工の場合はドリル加工と違い回転中の半分以上は削っていないエアカットの時間があり、その間冷却されるので、週速はこれよりも高目でも可能である。高速になり過ぎると、樹脂の軟化や金属である銅箔の部分の影響も出てくるので注意も必要である。送り速度は、早くなるにつれて切削抵抗も高くなり、すなわち、工具の曲がり量が比例して大きくなるため、加工精度との関連で決定されなければならない。比切削抵抗の高い銅箔などの金属が多い場合はそれが顕著である。また、切り屑も送りが高いと詰まりやすく、切削抵抗の増加と合わせて、折損の原因になりやすい。これとは逆に、シリカなどのフィラーに代表される、切削温度よりも硬さによる摩耗の促進が著しい材料の場合は、一刃あたりの送り量を大きくした方が結果として擦過距離が短くなり摩耗が少なくなるので、速めの送り速度にすべきである。

ルータは切れ刃の先端側で削るよりは、根元側で削った方がルータの突き出しが短い状態で削ることになり、工具の曲がりや折損トラブルの減少につながる。つまり、ルータをどれだけ基材を底面から貫通させて使うかの深さ設定も、できるだけルータの根元を使うような長さとするべきであろう。一方、基板の重ね枚数（加工可能最大基板厚み）は、一般的に径の4倍程度が目安であるが、曲がり量による加工誤差の許容値にもよるが、送り速度を下げるような調整すればこれ以上の重ねも可能である。

表 10-1 電子回路基板ルータ加工 推奨条件表

推奨条件 項目 直径	ダイヤモンド タイプルータ							
	回転数 [rpm]	送り速度 [m/min]	Z 軸送り速度 [m/min]	捨て板への 貫通量 [mm]	スタンダード刃長		ロング刃長	
					有効刃長 [mm]	基板重ね枚数 (1.6t)	有効刃長 [mm]	基板重ね枚数 (1.6t)
0.8	4～60,000	0.4	0.1	0.5～1.0	4.5	1～2	—	—
0.9	↓	0.6	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1.0	↓	0.8	↓	↓	↓	↓	6.5	3
1.1	40～55,000	0.9	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1.2	35～54,000	1.0	↓	↓	5.0	↓	↓	↓
1.3	32～50,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1.4	30～45,000	1.1	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1.5	29～40,000	↓	0.2	↓	6.5	2～3	8.0	↓
1.6	27～35,000	1.2	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1.8	25～30,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1.9	24～27,000	↓	0.3	1.0～	8.0	↓	9.5	3～4
2.0	23～25,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2.1	22,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2.2	21,000	1.25	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2.3	20,000	↓	↓	↓	9.5	3～4	↓	↓
2.4	↓	1.3	0.2	↓	↓	↓	↓	↓
2.5	19,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2.6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2.7	18,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2.8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2.9	17,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
3.0	↓	↓	0.1	↓	10.0	↓	↓	↓
3.1	16,000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
3.175	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

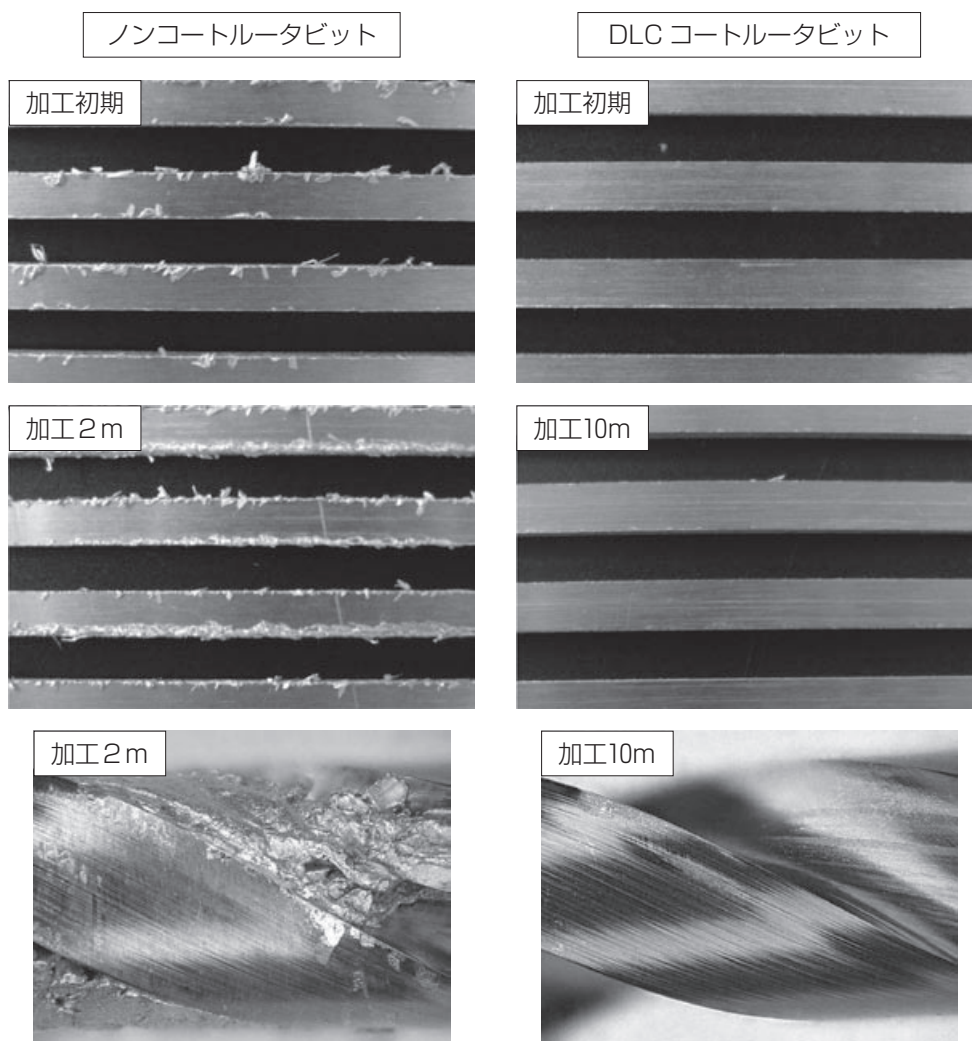
10.3 ルータによる加工事例

アルミ基材加工用ルータ

LED 用などに用いられる放熱基板は熱伝導率の高い非鉄金属のアルミ、銅等が基材部分に使われている。アル

ミや銅は一般的なガラスや樹脂の材料と異なり、切削中に切れ刃へ切り屑の溶着が起こり、バリの発生、切り屑詰まりや工具の折損などトラブルが多く発生する。アルミなどの非鉄金属は切削温度により容易に軟化・溶解しやすく、また、工具刃先との親和性により、切れ刃に圧着しやすく、構成刃先ができやすいことや切り屑自体が軟らかく伸びやすいことで、詰まりやすくなることなどが重なって、切れ味が低下してバリが発生するなどの悪影響を及ぼしている。これに対して超硬に比べDLC皮膜は、金属との親和性が低いDLC皮膜の持つ潤滑性と耐溶着効果から、切屑排出性や圧着物の少ない状態で加工性向上効果を得ることが期待できる。

図10-5は非鉄金属であるアルミ基板の加工事例である。コーティングしていない超硬のルータビットと超硬にDLCコートしたルータビットで切削し、アルミ基板のバリの状態を比較したものである。ノンコートのルータビットは加工開始からバリの発生が認められるのに対し、DLCコートルータビットでは10m加工時でもバリの発生は見られなく、良好に切削できた。また、図の切削後のルータビットの写真からアルミの溶着もDLCコートルータビットの方が顕著に少なく非常に良好であることが分かる。DLCコートは膜厚が1ミクロン程度しかなく、膜自体で著しく耐摩耗性を向上することを期待できないが、その膜が持つ潤滑性、耐溶着効果によって、切削性能を向上させている。さらに、この特性により、切削条件も切削送り速度を速めることが可能となり、結果として送り速度を上げることで、摩耗しにくくなり、さらに加工効率が上がるという利点も生じる。



(ルータ径φ2.0、アルミ基材(5052) 厚み1.0×1枚重ね 回転数：28krpm 切削送り速度：0.4m/min チップロード：14μm/rev)

図 10-5 アルミ基材のルータ加工事例

10.4 ルータのトラブルシューティング

ルータ加工していく上でのトラブルシューティングを下表に示す。これはあくまでも、代表的なものをあげてあり、実際にはもっと細かい原因でトラブルが起きていることもある。

表 10-2 ルータ加工のトラブルシューティング

トラブル内容		発生原因				対策	
		工具形状	機械	切削条件	その他	項目	有効性
折損	突入時折損	・スラスト荷重が大きい ・剛性不足	・スピンドルの振れが大きい ・スピンドルの把握力が低い	・Z軸の送りが速い	・基板のバタつき	・先端形状の見直し（DP タイプ）	◎
						・心厚を上げる	○
						・スピンドルの補修（チャック）	◎
						・Z 軸の送りを下げる	○
						・基板の固定をしっかりとする（ピン数増加等）	△
	初期折損	・剛性不足 ・刃長が長い	・スピンドルの振れが大きい ・スピンドルの把握力が低い	・送りが速い ・周速不足	・基板のバタつき	・心厚を上げる	◎
						・刃長をなるべく短くする	○
						・スピンドルの補修（チャック）	◎
						・送りを下げる	◎
						・回転数を上げる	△
バリ発生		・スラスト荷重が大きい ・摩耗が大きい切れ味が悪い	・スピンドルの振れが大きい	・送りが速い ・回転が高く送りが遅い（摩耗）	・基板の隙間	・左ねじれタイプのルータを使用	◎
						・ねじれ角を弱くする	○
						・スピンドルの補修（チャック）	△
						・送りを下げる	○
						・当て板をする	◎

トラブル内容		発生原因				対策	
		工具形状	機械	切削条件	その他	項目	有効性
加工精度不良		・剛性不足 ・刃長が長い ・背分力が大きい	・スピンドルの剛性不足 ・テーブル精度（老朽化）	・送りが速い	・基板のバタつき	・心厚を上げる	○
						・刃長をできるだけ短くする	○
						・スピンドル、テーブルの補修	△
						・送りを下げる	◎
						・基板の固定をしっかりとする（ピン数増加等）	○
切り粉づまり		・チップポケットが小さい ・摩耗が大きい ・刃長不足	・集塵機的能力低下 ・ブレッシャーフットブラシの摩耗	・回転が低い ・回転が高く送りが遅い（摩耗）	・基板の隙間	・チップポケットを大きくする	◎
						・刃長を長くする	△
						・集塵機の清掃	○
						・ブラシの交換	○
						・回転数を上げる	◎
面粗さ不良		・切れ味が悪い ・背分力が大きい	・スピンドル剛性の不足（老朽化）	・送りが速い ・回転が高い ・回転が高く送りが遅い（摩耗）	・基板のバタつき	・すくい角大きくする	△
						・スピンドルの補修（チャック）	△
						・送りを下げる	○
						・回転を下げる（振動を防ぐ）	○
						・基板の固定をしっかりとする（ピン数増加等）	△
スリットの 変形		・背分力が大きい ・剛性不足 ・刃長が長い	・スピンドル剛性の不足（老朽化）	・送りが速い	・基板のバタつき	※アップカット加工（次ページ事例報告）	◎
						・心厚を上げる	○
						・刃長を長くする	○
						・スピンドルの補修（チャック）	△
						・送りを下げる	◎
						・基板の固定をしっかりとする（ピン数増加等）	△
						※プログラムによる補修（次ページ事例報告）	◎