

精密薄板電子部品的高速プレス加工

神馬 敬* 関根文太郎**

1. 緒言

世界の電子部品生産における日本のシェアは40%強と推定されているが、電子機器の高密度実装に伴う電子部品の微細化によって、プレス加工においても従来の寸法の製品には見られなかった加工技術上の問題点が生じていることが第131回、第135回塑性加工シンポジウム(1990,1991)のテキストに述べられている。ここではICリードフレーム、コネクタなどの高速プレス加工精度に影響する諸因子を、著者らの研究に基づいて整理して述べてご参考に供したい。

2. 打抜金型の問題点

2.1 打抜金型構造

図1に順送打抜きされた銅合金のリードフレームを示す。リードの数が74本(74ピン)で、内側リード先端の幅は0.25mm、リードピッチは0.5mm

であるから、ポンチの切刃厚さは0.25mmである。更に板厚が0.20mmであるからポンチとダイスのクリアランスは片側10 μ m以下である。

文献[1]にある最多ピン打抜リードフレームは144ピンで板厚0.15mm、リード幅0.12mm、ピッチは0.26mm、ポンチ厚さは0.14mmで量産されている。更にピッチ0.21-0.23mmを目指して開発が進められている。

順送打抜型は、図2 [2]に示すようにダイセットに固定したポンチプレート、ダイプレート及びダイプレートを貫通するサブガイドによって案内されるストリッパプレートとストリッパよりなる。細長いポンチの座屈を防ぐため、ストリッパは抜きかすの除去だけではなく、ポンチガイドの役割も果たすので、ポンチとストリッパのクリアランスは5 μ m以下、2-3 μ mに上げる。このように上型と下型の相互位置精度を高めるためポンチ、

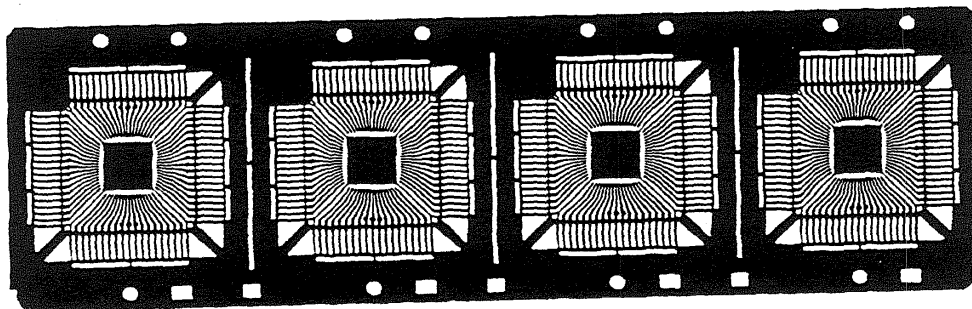


図1 ICリードフレーム

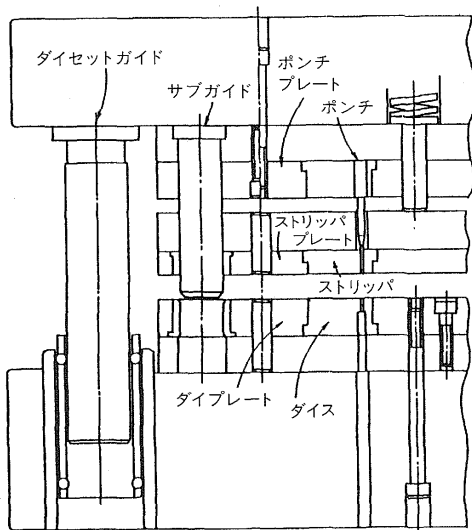


図2 サブガイド構造金型

ダイス及びストリップの切刃部はプラグイン（インサート）方式が主流となっている。この方法は成形研削を主体とする総分割（ブロックビルド）方式に比べて金型部品点数を減らすことにより位置精度を向上させ、金型加工工数を大幅に削減している。

2.2 打抜ポンチの曲がり [3]

ポンチは曲げによる破損を防ぐため図2で述べたようにストリップにガイドの役目をさせるが、ポンチ、ダイス、ストリップのどの部分がかじり易いかの予知は重要である。

図3の左は切刃断面がL字形の打抜ポンチを模式的に表したもので、工作精度上、片側から研削してある。これを図3の右のはりで置き換える。すなわち、ポンチ根元と先端では断面2次モーメントが異なり、両者の境界には打抜荷重Pがただ偏心するために生じる曲げモーメント $M_0 = P \cdot d$ が作用している。このはりの変形から工具のかじり位置を予想することができる。すなわち、ポンチとダイスのクリアランスを組立時に均一に調整しても、打抜時には根元と先端の図心のずれによりL字形の内側のクリアランスが狭く外側が広がる。ポンチ先端と根元の図心がずれない $d=0$ の型設計が必要である。

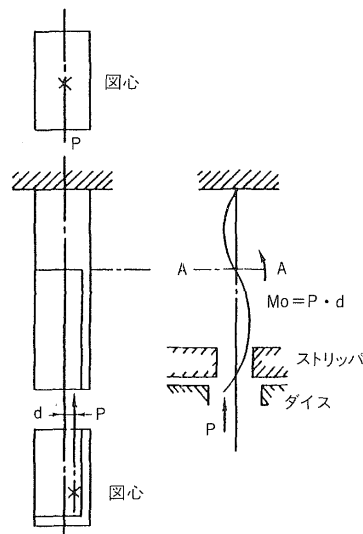


図3 ポンチの曲がり

2.3 ストリップの振動 [3]

ICリードフレームのリード部は幅が板厚程度に狭いので打抜時に十分な板押え力を加えないとリードがねじれ易い。特に1000spmに近い高速の打抜きではストリップがダイス上の素材に衝突した後、ストリップが図4(a)、(b)に示すたわみ振動と回転振動を引き続いて生じ、この間に打抜きが行われるため、板押えが効かず所要の製品精度が得られない場合がある。

ストリップのたわみ振幅 w と回転角振幅 θ は、振動エネルギーが衝突前のストリップの運動エネルギーと等しいとして解くと次式で与えられる。

$$w = \frac{\sqrt{15}}{2} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \frac{f^2}{h} v \quad (1)$$

$$\theta = \frac{m v^2}{2F(l_1 - l_2)} \quad (2)$$

$$v = \frac{\pi N \sqrt{ST}}{30} \quad (\text{mm/sec}) \quad (3)$$

ただし、 v は衝突前のストリップの速さであり、 ρ 、 E 及び m はストリップの密度、ヤング率及び全質量、 F は板押え用のばね力で、 f 、 h 、 l_1 、 l_2 はストリップと素材板幅に関連する寸法、 N はプレス回転数 (spm)、 S はポンチ工程 (mm)、 T は素材板厚 (mm) である。

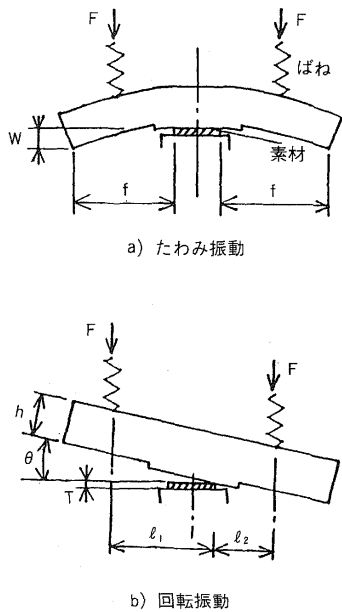


図4 板押えの振動機構

上式より衝突による振動振幅を減らすにはストリップのヤング率を高く、軽く、厚さに対する長さや幅ができるだけ小さく、ばねの作用位置の素材板幅縁からのみ出し量を少なく、かつ、ばね力を強く設計することが肝要である。たわみ振幅は打抜速さに比例し、回転振幅は打抜速さの2乗に比例するので高速になるほど振動が問題となる。

2.4 金型の大きさ

ストリップを軽く小さくという上の結論は西野[4]の意見と一致している。同氏は大きい金型の長所として①切刃のレイアウトが容易、②打抜段数の余裕、を挙げ、小さい金型の長所としては③製作費が安い、④取扱いが容易、⑤打抜速度を増加できる、⑥製品精度が高い、を挙げている。一方の長所は他方の短所となっている。⑤は高速打抜時のストリップの振動を考慮すれば納得できる。⑥は金型内の打抜ステージ間の距離が長いと素材の長手方向の伸びが起り易く、送り誤差を助長して製品誤差が大きくなるということである。総合的に見て小さい金型の方が有利であるとする意見は説得力がある。

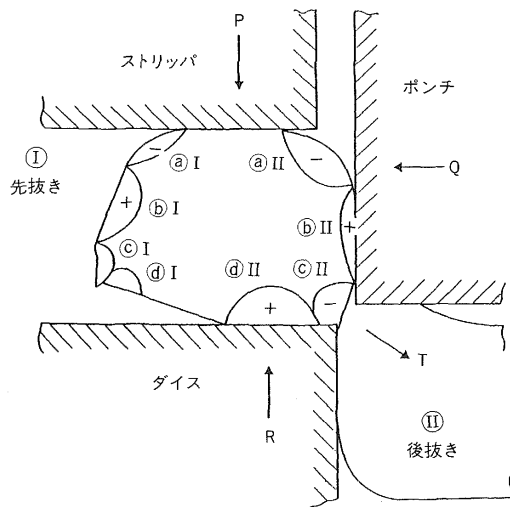


図5 リード欠陥の生成機構モデル

3. 打抜精度影響因子

3.1 打抜製品の欠陥発生機構 [5]

順送り打抜型を製作してリードの試し抜きを行うと、多少の縦曲がり(反り)、横曲がり、ねじれのある製品が得られ、型の修正が必要である。その際、欠陥の発生機構について十分な理解がないと、適切な対策をとることができない。図5は著者らによる欠陥発生機構を説明する力学的モデルで、切口面をだれa、バニッシュ面b、破断面c及びダイス圧痕dに分ける。I、IIは先抜き、後抜きを表す。

領域aI、aIIでは、だれのため素材は打抜輪郭線(リードの長手方向)に塑性的に縮み、領域bI、bIIは側圧力Qのバニッシュ効果によって打抜輪郭線方向に塑性的に伸び、cI、cIIでは加工末期に作用する引張力Tのため打抜輪郭線方向に塑性的に縮み、dI、dIIではダイス面圧力Rによる押しつぶしのため打抜輪郭線方向に伸びる。リードの一面を打抜き、もう一方の側面はエッチングによって仕上げると、リードは必ず打抜側に横曲がりを起こすことから、打抜切口の片側についてa、cの縮みはb、dの伸びより常に大きい。したがって、リードの形状不良は先抜き側と後抜き側の塑性的縮みのバランスの崩れによって

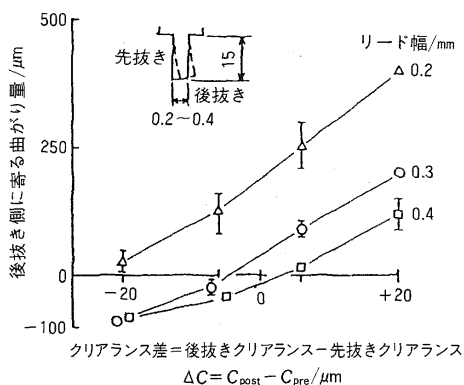


図6 厚さ0.25mmの42%Ni鋼リードの順送打抜きにおける工具クリアランスの影響(板押え圧力100kgf/cm²)

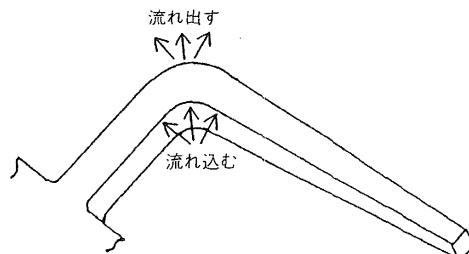


図7 リードの曲がり角部の変形

生じると解釈できる。

3.2 工具クリアランスの影響 [5]

図5においてI抜きとII抜きの工具クリアランスが異なると、クリアランスの大きい側のa、c部の打抜輪郭線方向の縮みが小さい側より増加し、b部の伸びは逆に減少するため、リードはクリアランスの小さい側から大きい側に横曲りを起こす。図6に示すリードの両側のクリアランス不同と横曲りの関係の実験結果は、クリアランスの小さい側から大きい側への横曲りを表している。

3.3 打抜順序と板押え力の影響 [5]

図6に示した実験点の大部分は後抜き側への横曲りとなっている。そして、リードの幅が狭くなって板押え力が十分に作用しなくなるほど、リードの後抜き側の横曲りの傾向は顕著に現れてくる。この理由は図5に示すように、板押え力が十分でないと後抜き中にリードがねじれて、打抜末期にせん断破壊というよりは引張破壊を起こし、cIIの方がcIよりも打抜輪郭線方向の縮みが大きくなるためである。

このようにリードは後抜きポンチ側への横曲りとクリアランスの大きい側への横曲りの二つの傾向を持っている。図6より多ピンリードフレームの打抜きではクリアランス不同を1-2μm程度に抑えねばならぬことが分かる。また、打抜き中の板押え力の確保に注意しなければならぬ。著者らの実験によると、厚さが0.25mmの42%Ni鋼板

から長さ20mm、幅0.2mmのリードを200spm程度で打抜くには板押え圧力として10kgf/mm²、幅0.4mmのリードでも5kgf/mm²が必要である。式(2)は、同じリードをより高速で打抜くには板押え圧力を増加させなければならないことを示している。

3.4 製品形状の影響 [3],[6]

図6のようにリードが真直の場合、反りは抜きバリを外側とする湾曲(上反り)である。これは図5においてリードの長手方向にa部は縮み、d部は伸びることから説明できる。一方、図7のように角部のあるL字形のリードでは、打抜順序によって逆方向の下反りがでる場合がある。L字の外側を先抜き、内側を後抜きの場合は上反りであるが、内側を先抜き、外側を後抜きの場合は下反りとなる。このことは内・外の打抜順序の場合、角部のねじれが大きくなって、a部の縮みよりc部の縮みが大きくなったためである。角部の幅を広く設計して角部での変形が起き難いようにすれば、角部のあるリードでも打抜順序に関係なく、真直なリードと同じ上反りとなることを確認している。

また、図7に示すように角部の打抜きの際、角部の内側には材料が流れ込み、外側からは流れ出すから、角部の内側は塑性的に伸び、外側は縮んで、角度が開いてリード先端はL字外側に横曲りする傾向が見られる。

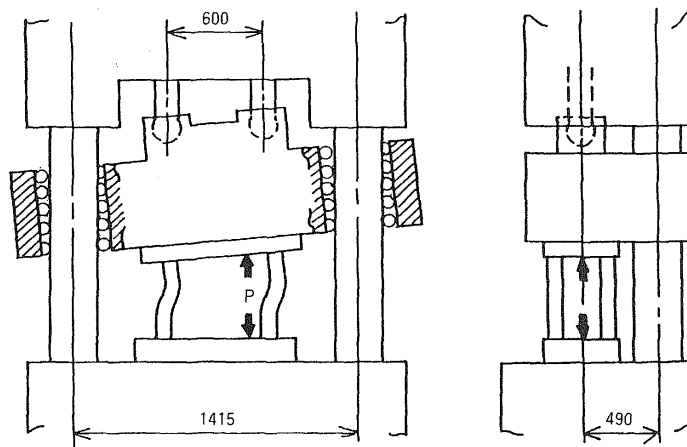


図8 偏心荷重を受けるプレスと金型

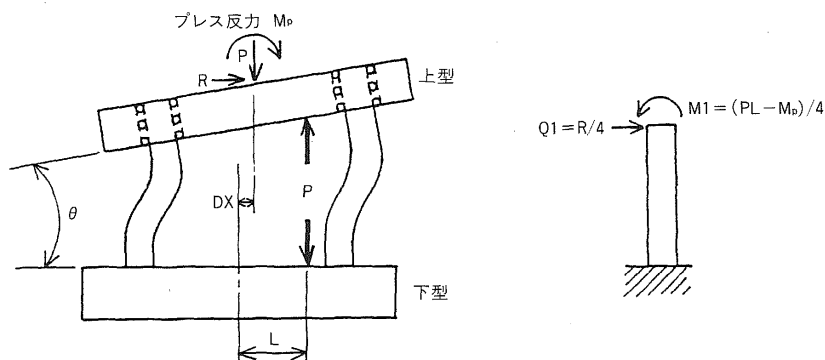


図9 金型に作用する外力

4. プレスと金型の相性 [7],[8]

先に細長いポンチの曲がりとストリッパの振動が製品精度に及ぼす影響を述べたが、図8に示すように金型ダイセットをプレスに取り付けて偏心荷重Pが作用する時のプレスとダイセットの変形も製品精度を支配する。この場合、荷重がプレス中心より右側に偏心しているため、プレススライドは右側が口開きし、右側に横変位している。ダイセット上型の傾きと横変位はプレススライドと等しい。

ダイセットに作用する外力は図9に示すように偏心荷重Pとプレススライドからの反力として垂直力P、水平力R及び回転モーメントMpで

あり、4本のガイドポスト先端には水平力Q1と曲げモーメントM1が作用する。図9の荷重状態でダイセットの上型の傾き θ と横変位DXを測定すれば、Q1とM1、更にガイドブッシュボールの弾性変形量を計算することができる。

表1は同一金型を汎用の110tonfCフレームプレスと125tonfストレイトサイドフレームプレスに取り付けて4080kgfmの偏心荷重モーメントを加えた時の、金型の上型の傾き及び水平変位の測定値と、この数値を用いて計算したポスト一本当りの水平力と曲げモーメントを示す。この場合、二つのプレスがほぼ同容量であるにもかかわらず、Cフレームプレスはストレイトサイドフレームプ

表1 4080kgf・mの偏心荷重モーメントに対する上型のたわみ

a) 110トンCフレームクランクプレス

偏心方向	金型	上型の傾き θ (deg)	上型の水平変位 DX(mm)	ガイドポストの 水平力 Q_i (kgf)	ガイドポストの 曲げモーメント M_i (kgf・m)
前後	1重	0.06	0.15	610	71
左右		0.07	0.25	1020	122

b) 125トンストレートサイドプレス

偏心方向	金型	上型の傾き θ (deg)	上型の水平変位 DX(mm)	ガイドポストの 水平力 Q_i (kgf)	ガイドポストの 曲げモーメント M_i (kgf・m)
左右	1重	0.01	0.015	51	13
	2重	0.01	0.005	41	12

レスに比べて剛性が低く、ガイドポスト一本当りの負担も多い。金型とプレスの寿命を延ばすには作業荷重をガイドブッシュボールの許容値内に抑えることが必要である。

金型をプレスに取り付けて油圧ジャッキなどにより偏心負荷を与え、プレススライドの傾きと水平変位を測定して表1の計算を行ってプレスと金型の相性を検定することを提案したい。

5. 結言

以上はICリードフレームを例にとって高速精密プレス加工技術の問題点と精度向上策を述べた。この他、曲げ加工金型では、素材ロット単位のためばらつきに対して金型をプレスから取り外さないでスプリングバックを調整する機能が大切であり、コイニング加工に対してはプレスストロークの下死点制御が重要である。既に下死点を $\pm 5\mu\text{m}$ に制御するプレスが発売されているが、4章で述べたように作業時のプレススライドの傾きと横変位が製品欠陥の大きな原因であるから、単に下死点を制御するだけではなく、スライドの傾きと横変位が零になるように制御するプレスの開発が望まれる。また、精密プレスの組立作業は無窓の空調室で行われているが、精密プレス加工そのものもクリーンルーム（防塵、防振、恒湿、恒温室）内で

行うようになってきた。サブミクロンプレス加工の声も挙がっており、超精密化と長期無人化が今後のプレスショップの進路であろう。

謝辞

本研究を進めるにあたって日本塑性加工学会電子材料精密せん断研究委員会(1987-1990)での討論より多くの示唆を受けた。また、天田金属加工機械技術振興財団より研究助成(1988-1990)を受けたことを付記して、謝意を表します。

参考文献

- [1] 足立達也、第131回塑性加工シンポジウム(1990)、1-10.
- [2] 浜西繁正、第135回塑性加工シンポジウム(1991)、39-45.
- [3] 神馬 敬、関根文太郎、佐藤彰典、塑性と加工、31-348(1990)、60-65.
- [4] 西野利行、プレス技術、22-8(1984)、60-63.
- [5] 神馬 敬、関根文太郎、関谷健助、勝瑞真一、森本 亘、塑性と加工、28-315(1987)、355-362.
- [6] 神馬 敬、関根文太郎、塑性と加工、32-369(1991-10).
- [7] 神馬 敬、関根文太郎、42回塑加連(1991)、573-576.
- [8] 神馬 敬、関根文太郎、広瀬宏樹、遠藤裕寿、42回塑加連(1991)、577-580.