

精密薄板電子部品のせん断加工の研究

東京工業大学精密工学研究所

教授 神馬 敬

(昭和62年度研究開発助成 AF - 87016)

1. まえがき

リレー・スイッチなどの板ばねやICリードフレームなどの精密小物電子部品の製造においては、順送金型を用いた薄板のせん断加工が重要な工程である。特にICリードフレームの打抜きでは、板厚が0.25mm以下であるから、ポンチとダイスのクリアランスは10 μ m以下であり、高精度の金型製作技術が要求される。また、ポンチ幅及び抜き残される材料(リード)幅はともに板厚程度の寸法であるから、リードの両側のクリアランスに数 μ mの不同があると、切口近傍の残留応力がアンバランスになるため、リードは反り、曲がり、ねじれの変形を生じ、ICチップとリードの間の自動ボンディングの妨げとなる。クリアランスの不同は、金型製作時の加工誤差の他、打抜き荷によるプレスと金型、切削の静的及び動的たわみと熱変形によっても生じる。打抜き順序も残留応力のアンバランスに関係する。更に、1000spm以上の高速度打抜きでは、素材の送り精度が低下し、かつ、金型のストリッパプレートが振動して板押え力が十分作用しなくなるため、製品の局部的寸法精度が低下し、製品全体のゆがみも大きくなる。

本研究では、これらの製品精度不良の原因を究明することを目的として、次のように実験を進めた。

まず、打抜き実験用素材のスリッティングにおいては、厚さ0.25mmの42%Ni鋼板をKN精密ロールスリッター(住倉工業株式会社製)により幅25mmの帯板をせん断する実験を行なった。ここで『KN』とは『かえり無し』の意味で、前田禎三博士・村川正夫博士の提案になるロールスリット法の原理に基づく機械である。上下せん断を行な

わない慣用のスリッティングによる材料取りも行って、打抜き結果を比較した。

ついで、打抜き型の設計と製作では、これまでの研究から、ストリッパプレート(以下SP)の振動が製品精度と重要な関係をもつ点に着目して、SPとこれを支持する6個のばね系の設計において、i) ばね剛さ、ii) ばねの設定位置、iii) ばね力の不均等分布(締め付け不良)、iv) SPの質量と形状、がSPの振動挙動に及ぼす影響を検討できるように考慮して型製作を行ない打抜き実験を実施した。

2. スリッタによる残留応力が打抜き製品の全体変形に及ぼす影響

板厚が薄く幅の狭い帯板から、打抜きにより精密薄板電子部品を製造する場合、板縁部に残るスリット歪により製品全体の形状不良が発生する。スリット縁部の残留応力および変形機構については、日比野ら¹⁾、富澤ら²⁾が報告している。本報では、三種類のスリット材料にトランジスタモデルを順送打抜きし、打抜き製品におよぼすスリット歪の影響を調査、検討した結果について報告する。

2.1 実験方法

2.1.1 スリッティング

t = 0.25mm、全幅57.5mmの42%Ni鋼を3種類のスリッティング条件(慣用スリット、かえり無しスリット2種)により幅25mmの帯板を製作して、スリッタ条件が製品精度に与える影響について検討した。供試材の機械的性質を表1に示す。

スリッティングの条件を図1に示す。かえり無し(KN)スリット³⁾は第一工程で材料を半切りし、第二工程でこれをロールにより押しつぶして分離

する方法である。慣用スリットはクリアランス $cl = 20 \mu\text{m}$ 、KNスリット I は $cl = 0 \mu\text{m}$ 、KNスリット II は $cl = -10 \mu\text{m}$ とした。

2.1.2 打抜き

前記で製作した帯板に $5 \times 20\text{mm}$ の長方形の穴を順送り打抜きして図2に示すトランジスタ形フレームを製作する。ここで、フレームの送りさん幅 W および縁さん幅 D を変化させスリッティングの残留歪の大きさおよび量について検討した。 W および D の値を表2に示す。使用したプレスは60トンクランクプレス、打抜き速度は50spm、工具クリアランスは片側 $10 \mu\text{m}$ で均等である。板押え

表1 供試材 (42% Ni鋼) の機械的性質

TS (kgf/mm ²)	YS (kgf/mm ²)	E1 (%)	F	N
64.2	58.8	10.4	79.4	0.057

表2 送りさん幅 W と縁さん幅 D (mm)

W		D	
0.5	0.5	1.0	2.0
1.0	0.5	1.0	2.0

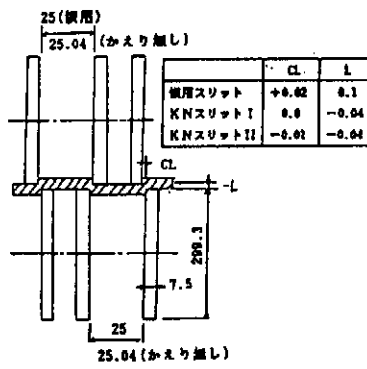


図1 ロールスリット装置 (mm)

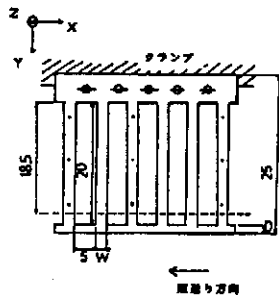


図2 順送り打抜き品の3次元測定位置

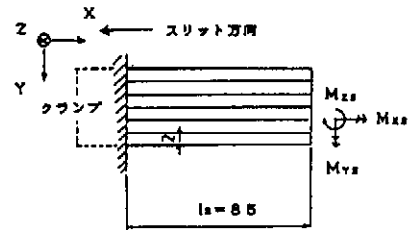


図3 スリットした帯板の条切り

力は、最高打抜き力の35%である。

2.1.3 たわみの測定

長尺の順送り製品を図2に示すように長さ約32mmに無ひずみ切断しパイロット穴部を平面に保持して12箇所の黒丸部の3次元測定値から、各部のねじれと曲がり (XY, YZ, XZ 平面内) を求めた。

座標軸 X, Y, Z は付記したように定めた。ついで、図2の破線部を無ひずみ切断し、幅 W の短冊形リードと幅 D の送りさんのねじれと曲がりを測定した。一方、スリットのみ行なった帯板を図3に示すように幅2mm、長さ85mmに無ひずみ条切りし、クランプした後、各条の先端部の3次元測定を行なって各条のねじれと曲がりを求めた。

2.2 実験結果

2.2.1 スリット材の条切り後の変形

スリッティングされた帯板をワイヤカットにより無ひずみで条切りした結果を図4に示す。慣用スリットについては、これまでの報告と同様に、長手方向の反りは上向き (Zの負方向)、ねじれは、スリット方向前方より見れば、逆ハの字となる。そしてキャンパー (幅縮み) も発生している。

一方、KNスリットの場合、長手方向のそりは慣用スリットと比べて小さく、IとIIの場合ではそりの向きが逆になっている。また、ねじれはほとんどない。そして、キャンパーも小さくなっている。

2.2.2 梯子形・楕形打抜き品の変形

プレス加工便覧によると、一般的な順送り打抜きの最小許容寸法は、縁さん幅は1.0、送りさん幅は0.8mm (ただし、板厚は最小0.2mm) である。しかし微細電子部品の打抜では工具クリアラン

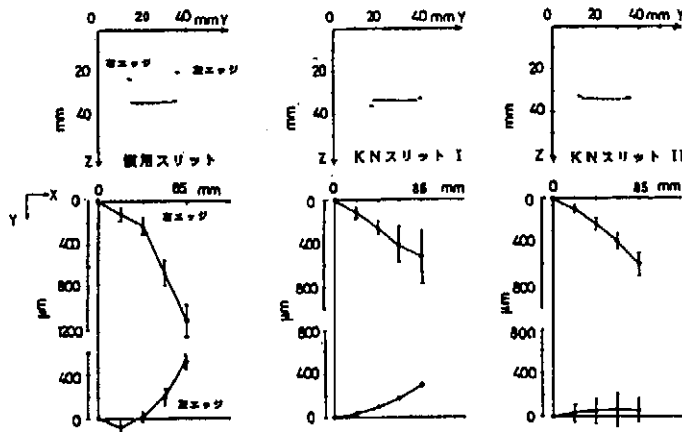


図4 スリットした帯板の条切り後の変形

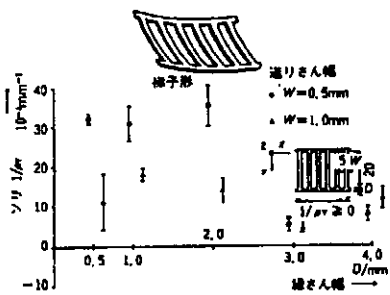


図5 緑さんの変形 (梯子形)

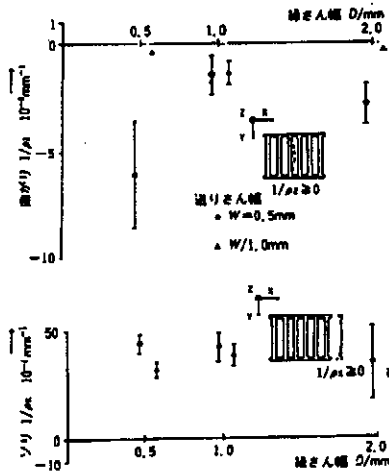


図6 送りさんの変形 (梯子形)

ス、板押え、打抜き順序、修正などの工夫板厚近くのさん幅が可能になっている。

両側を慣用スリットした厚さ0.25mmの帯板を梯子状に打抜いた製品について、緑さんのそりを図5に示す。緑さん幅Dが小さくても、緑さ

んの抜面内の曲りはほとんど生じない。緑さん幅が2mmより小さくなると、そりは大きくなる。送りさんの曲りとそりも同様に図6に示す。緑さん幅が小さくなると、曲りは大きくなる傾向がある、送りさんの幅Wが大きくなると、曲りは小さくなる。そりは、緑さん幅の大きさに関係なくほぼ一定である。送りさんの幅が大きくなると、やはりそりは小さくなる。

2.2.3 リードの変形

図2の破線部を砥石で切断して製作したリード(長さ18.5mm)の先端の曲がりとそりを図7に示す。筆者らの報告⁴⁾どおりのリード幅(W)が大きくなるとリードの曲りの量は小さくなっている。また、緑さん幅Dの影響はほとんどない。

そりについても、やはりリード幅が大きくなるに従い、そりも小さくなっている。そして、緑さん幅のリードそりに対する影響はほとんどない。cl = -10 μ mmのKNスリットIIはIよりそりが小さい。

ねじれの測定結果は絶対値が小さいため、ばらつきが大きく、後抜き側へのねじれが主であるが逆方向へのねじれも見られた。この原因は、リード根元部の緑さん(切り離れた部分より十分大きい)の若干のそりが関係すると考えられる。

2.2.4 緑さんの変形

製品より、リードを切り離れた後の緑さん部分の曲り、そりを図8に示す。曲りに関しては、緑さ

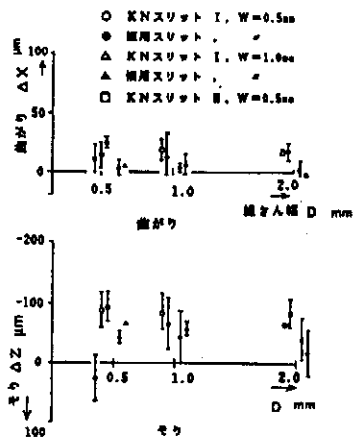


図7 リード先端の変形

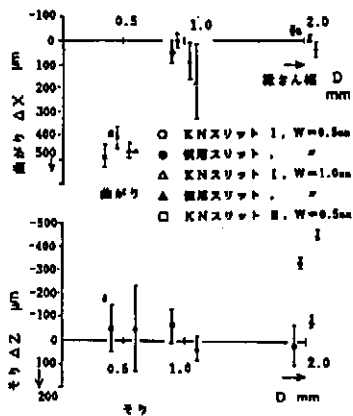


図8 切り離した緑さん部 (長さ35mm) の曲がりと反り

ん幅Dが狭いと図中のYの正方向、すなわちスリット面を内側（打抜側を外側）にして曲がる。しかし、緑さん幅Dが広くなると曲りの量が小さくなる。

そりに関しては、慣用スリット製品の緑さんのそりが大きく、緑さん幅D=0.5, 1.0mmでは自動の測定ができなかったのでD=2.0mmのデータのみ示した。KNスリット製品と比較して慣用スリット品のそりはるかに大きい。また、送りさん幅Wの影響については、はっきりした傾向が見られない。

ねじれに関しては、緑さん幅Dが細い時は打抜側へねじれるが、緑さんが大きくなるとスリッティング側へねじれるという結果が得られた。

2.3 まとめ

本研究は、緑さん幅D=0.5, 1.0, 2.0mmのみについて実験した。図8に示すように精度上問題となる緑さんの曲がりについては慣用スリット材、KNスリット材ともにD \geq 2mmとすれば長さ35mmに対して $\pm 100 \mu\text{m}$ の精度内に入ることがわかった。

一方、緑さんのそりについてはKNスリット材についてはD \geq 2mmで $\pm 100 \mu\text{m}$ の精度に入りうるということがわかったが、慣用スリット材についてはD=2mmでそりが400 μm と大きかった。同一の残留応力分布に対して緑さんのそりはDに反比例すると考えられるので、図8に仮想的な双曲線のラインをひくと送りさん幅W=0.5mmの場合、D \geq 6mm, W=1.0の場合、D \geq 8mmで、 $\pm 100 \mu\text{m}$ の精度を出しうるということがわかる。緑さん幅が6mmあるいは8mmは実際製品寸法からみて大きすぎるようにみえるが、図9のような楕円形

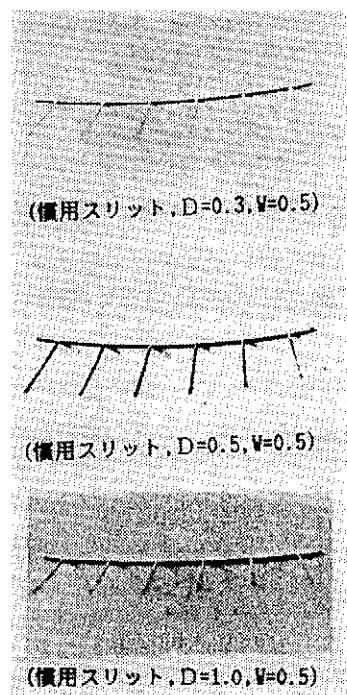


図9 切り離したさん

状の製品については妥当な値と思う。図2のように送りさんを切り離さない場合には、3mmが限定と思う。

3. L字形リード打抜実験

リードモデル形状を実際のリードフレームのインナーリード形状に近いL字形とし打抜実験を行い、打抜諸条件が加工製品精度に及ぼす影響について考察した。打抜速度は、200spm から1000spm の高速まで変化させた場合の金型の動的変動を測定し、打抜諸条件のうち金型の動的精度が製品精度に及ぼす影響について考察した。

3.1 実験装置及び方法

3.1.1 リードモデル

本実験で打抜いたICリードモデルを図10に示

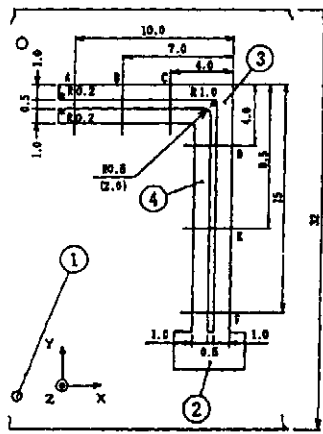


図10 L字形ICリードモデル

す。モデル形状はL字形でパイロットピンの穴明けを含めて4工程により打抜かれる。リード幅は根元から先端まで0.5mm一定とした。打抜順序は図に示すように4通りに変化させた。また外側コーナアールは1.0mm一定、内側コーナアール R_1 を0.5mmと2.0mmの2種類に変えた。下死点の影響についても、下死点を材料下面から0.1mm下げた通常の場合と0.2mm下げた場合の二通り行なった。製品精度としては、リードの横曲り(X,Y方向の変位量 $\delta X, \delta Y$)、そり(Z方向の変位量 δZ)、ねじれ(X軸,Y軸まわりの回転)を対象とした。測定装置はX-Y方向に関しては、メジャージャスコープ20(ニコン)、Z方向に関しては、ミクロン深さ高さ測定器KY-90(日商精密)を使用した。ポンチは、Z軸の負方向に運転する。供試材は厚さ0.25mm、42%Ni鋼で、引張強さ618MPa、伸び8%である。

3.1.2 実験装置

打抜きに使用した金型の平面図を図11に示す。工具の材質は超硬合金V2種、工具クリアランスは片側約 $10\mu\text{m}$ 均等である。打抜時の板押え力は、最高打抜力(21KN)の20%と30%の2通りを、実際の金型と同様コイルばねにより与えた。板押え面の平均圧力はそれぞれ0.65MPa及び0.98MPaである。ポンチと板押えのクリアランス

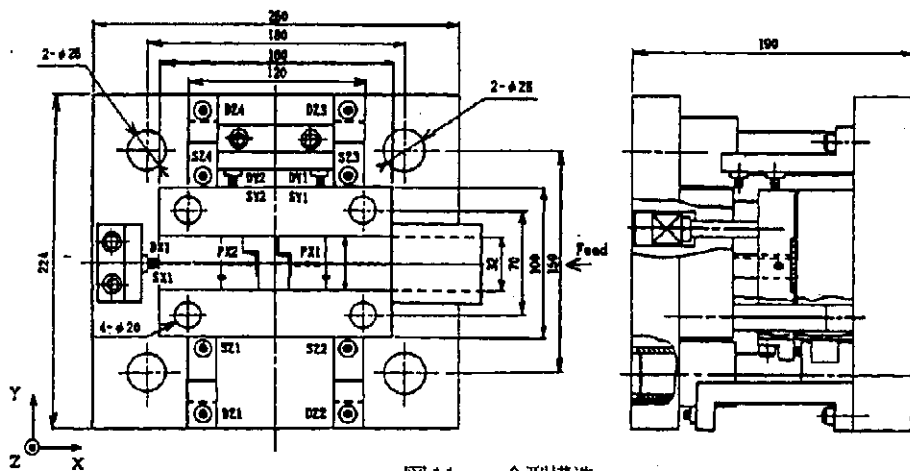


図11 金型構造

は、片側約 $5\mu\text{m}$ とした。

使用したプレス機械はCフレームプランジャガイドクランクプレス30(300KN)トン、最高ストローク数1200spm、板厚適用範囲0~1.5mm、材料送りはカムグリッパフィードである。

3.1.3 金型の動的精度

金型の動的変動を測定するため、うず電流式非接触変位計(応答周波数20KHZ、分解能 $0.5\mu\text{m}$)をダイセットに取付けた。配置を図11に示す。上型(ポンチ取付板)とストリッパのZ軸方向動の変位は、下型に固定した変位計DZ1~4及びSZ1~4により測定し、両者のX軸およびY軸方向動の変位は、変位計DX,DY及びSX,SYにより測定した。また、ポンチは一般に薄く撓み易いことから、ポンチのX軸方向曲りの測定を行うためストリッパに穴を貫通し、固定した変位計PX1,PX2によりストリッパとポンチ間の相対変位を測定した。

測定・記録は上型の下降時、下型に取り付けたフォトセンサからのトリガにより開始される。この際、測定器の出力は増幅器を経由して増幅されA/Dコンバータによりデジタル変換され、マイクロコンピュータに記録される。

3.1.4 実験方法

運転速度を200~1000spmまで変化させて各打抜順序について打抜きを行ない、打抜速度、打抜順序、板押え力等が製品精度に及ぼす影響を考察した。1000spmの高速打抜時におけるストリッパの振動については、軽減対策を試みた。潤滑は、標準プレス油を滴下潤滑した。

3.2 実験結果と考察

各実験条件で打抜いたリードの横曲り、そり、ねじれを、非接触三次元測定機により測定した結果を次に示す。横曲りは、リード幅中央のX軸あるいはY軸方向の変位、そりはリード幅中央のZ軸方向の変位をもって表す。ねじれについては、リード上面の平坦部幅 0.35mm におけるそりの差をもって表す。特に断らない限り、L字角部の内側コーナー半径 $R_1 = 0.5\text{mm}$ 、板押え圧力 0.65MPa 、

打抜速度200spm、ポンチ下死点は被加工材料の下面より 0.1mm 下とした。

3.2.1 打抜順序が打抜品精度に及ぼす影響

打抜順序を図10の1)から4)まで変化させた場合のリードの横曲り、そり及びねじれを図12に示す。まず図12を見ると、L字の内側、外側、先端の打抜順序に関係なく、L字先端はL字の外側方向にほぼ同程度の横曲りを生じている。

そしてL字の先端を工程の最初に打抜く場合には最後に打抜く場合に比べて横曲り量のばらつきが大きい。これはリードの先端を先に打抜いてしまったため、リード側面を打抜く間の板押えが十分でなかったことをあらわしており、リード先端はできるだけ工程の最後に打抜くべきことを示している。

L字の横曲りを根元部、根元直線部AC、角部CD、先端直線部DFの各部の変形に分けて観察すると次のようである。根元直線部は幅が 0.5mm

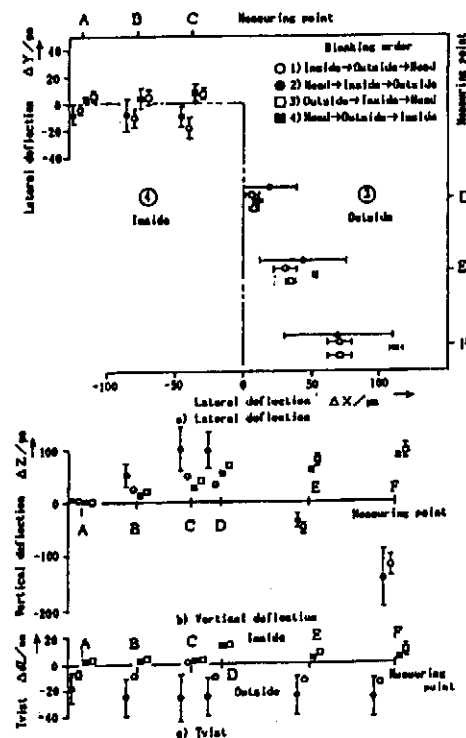


図12 打抜順序が打抜品精度に及ぼす影響
(打抜速度200spm, $R_1 = 0.5\text{mm}$,
板押え力 0.6MPa , 下死点 0.1mm 下)

で板厚に比べて大きいので、横曲りを起し難く、ほぼ真直を保っている。しかし、根元コーナーでは丸み半径が0.2mmで板厚より小さいので、後抜きポンチの側方力によって材料が押されて折れ曲りを起し、外側を後に打抜いた場合は内側に、内側を後に打抜いた場合は外側に、根元を中心に回転を起こしている。一方、先端直線部での幅は0.5mmで根元直線部と同じであるが、長さが約2倍あるので、内側と外側の打抜条件の違いが影響して直線部が多少湾曲している。

次にそりについて述べる。文献(5)では『真直なリードのそりは打抜バリを外側とする上向きの湾曲となる』ことを説明した。しかし、図12b)によると打抜バリを内側とする下向きのそりも生じている。すなわち、抜き順がL字の内側を先、外側を後にする場合に下そり、外側を先、内側を後にする場合は上そりである。下向きのそりは文献(6)のL字リードの打抜きでも現れたことから、リード形状に曲げコーナ部がある場合に起きる現象であり、図12b)によると、上そりから下そりへ

の変化はL字角部で起きていることが分る。

図12b)のねじれは真直なリードの場合と同じく、切口面が後抜き側に倒れる変形である。L字の内側を先に打抜く方が後に打抜く場合よりねじれが大きい。

3.2.2 板押え力の影響

板押え圧力を0.65MPaから0.98MPaに増加させると、図13に示すように横曲り、そりともに減少する。ねじれは元々小さいこともあって、この程度の板押え圧力の増加ではほとんど変化が見られない。ただし、高速運転時には違いが見られる。

3.2.3 ポンチ下死点の影響

ポンチ下死点を材料(厚さ0.25mm)の下面より0.1mmの位置から0.2mmの位置に変えても、図14に示すように、リードの横曲り、そり、ねじれともほとんど変化がない。

3.2.4 ストリップの振動の影響

L字角部内側丸み半径 $R_1 = 2.0\text{mm}$ として、打抜速度を200spmと1000spmにした場合のリード精度を図15に示す。

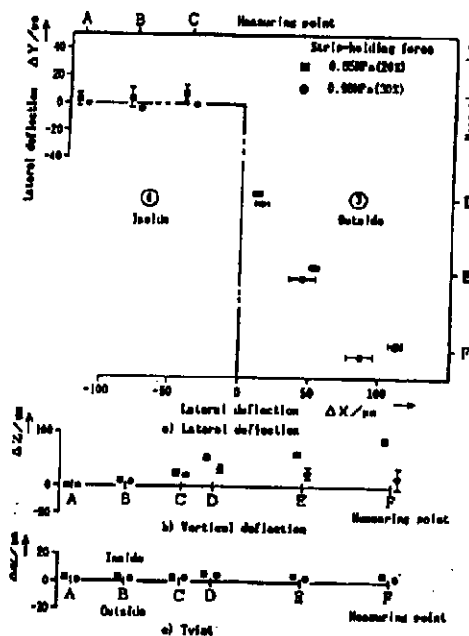


図13 板押え力が製品精度に及ぼす影響
(打抜速度 200spm, $R_1 = 0.5\text{mm}$, 下死点 0.1mm下, 打抜順序 先端→外側→内側)

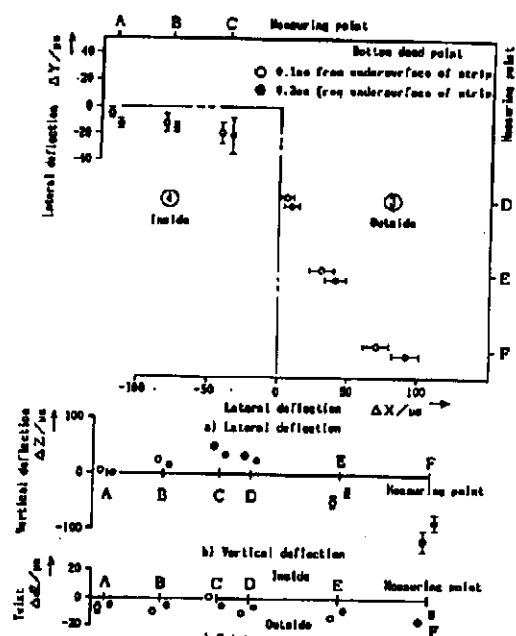


図14 板下死点精度が製品精度に及ぼす影響
(打抜速度 200spm, $R_1 = 0.5\text{mm}$, 板押え力 0.6MPa, 打抜順序 先端→外側→内側)

まず、a)の横曲りについてみると、板押え平均圧力を0.65MPaとして1000spmの高速打抜きを行なうと、200spmの場合に比べリードはL字外側(3側)へ寄って、曲りは大きくなっている。

同図b)のそりについては、1000spmの高速ではその上向く量が200spmの場合に比べて大きくなっている。同図c)ねじれは、平行部・先端部ともに後抜側へ倒れる変形でありその量も大きくなっている。

3.2.5 金型の動的精度

i) 低速運転時 200spmにおける打抜き時の上型とストリッパのZ方向変位DZとSZ、ポンチの変位PXの負荷時の測定結果を図16に示す。上型及びストリッパのX,Y方向変位DX,DY,SX,SYは無負荷時、負荷時ともほぼ零である。

DZについてはDZ1~DZ4に違いがなかったのので、DZ1のみを示す。無負荷時には、上型の変位DZ1はなめらかな曲線を描くが、負荷時にはポンチが材料に当たるa点とその後のブレイクスルー終了時のb点間で、上型のZ方向の変位DZが若干変化し、それ以降は無負荷と同じ曲線に戻る。ポンチの変位PX1,PX2はポンチは刃厚が1.0mmと厚いためほとんど曲がらない。

ii) 高速運転時 500~1000spmの高速運転時にも無負荷の場合には変位は200spmの場合とほぼ同じである。しかし、打抜きを行なうと運転速度の増加に伴い図16に示すように、特にストリッパの振動が目立ってくる。

3.3 実験結果の考察

著者らは、微細リードの打抜きに関する力学的モデル⁹⁾ 図17を提案し、だれ部aと破断面cの材料はせん断線方向に塑性的に縮み、ダイス圧痕dとバニッシュ面bの材料はせん断線方向に塑性的に伸びるという仮定を設けて、微細打抜きの諸現象を説明した。これまでの実験によるとa,c部の塑性的縮みはb,d部の塑性的伸びより大きい。したがって、リードの切口面近傍はリード幅の中央部に比べてつねに縮んでおり、リードは縮みの大きい側に横曲りを起こす。

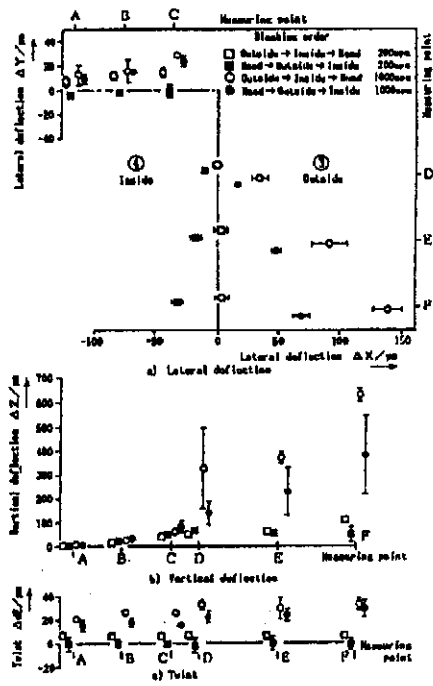


図15 打抜き速度が製品精度に及ぼす影響
($R_1 = 2.0\text{mm}$, 板押え力 0.65MPa, 下死点 0.1mm 下)

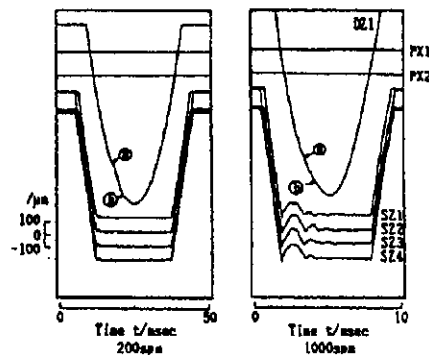


図16 金型の動的精度
(打抜き速度 200spm, 1000spm)

3.3.1 板押えの影響

文献(5)で「板押えが十分でないと打抜かれたリードは後抜きポンチ側へ横曲りを起こす」と述べたが、本報の場合のリード幅は0.5mmで板厚に比べて大きいこと、更に打抜速度が200spmと低いことから、板押えの平均面圧は0.65MPaで十分であり、後抜きポンチ方向へのリードの横曲りは起きていない。

3.3.2 ストリップの振動の影響

図15において、打抜速度を高くすると低速の場合と比べてリードがL字外側に寄っているのは、高速時におけるストリップの振動のため、ストリップが有効に効かなくなりL字角部の剛性が低下しリードが外側へ開いたためと考えられる。

また、高速になるとその上向き量が大きくなっているのもやはりストリップが有効に働かないためと考える。図17の力学的モデルにおいて、両側のだれ a 、(とくに後抜側)が増加するため、 a によるせん断線方向の縮みが増加し、上向き傾向が増す。

3.4 ストリップの振動解析

3.4.1 振動解析

ストリップのZ方向変位SZの測定位置は図11あるいは図18a)に示すようにSZ1~4ヶ所である。1000spm 負荷時に於て材料送り方向X軸に対称な位置関係にあるSZ1,SZ4の測定結果を拡大して図19に示す。SZ2,SZ3は、それぞれX軸に対しSZ1,SZ4と同じ側にあるためほぼ同じ測定結果であり省略する。負荷時、ストリップは材料に当たった直後、h部でSZ1とSZ4は同位相でたわみ振動し、その後i部で逆位相になる。すなわち図18b)に示すように、ストリップが材料に衝突した直後はたわみ振動を起こすが、衝突後1msec経過をすると、図18c)に示すようにストリップが剛体として材料エッジを交互に中心とする回転振動する。これに対し、無負荷では4隅のストッパーに衝突するためたわみ振動及び回転振動を生じにくい。初期h部のたわみ振動について、ストリップが図18b)のように材料上面のエッジで支持され

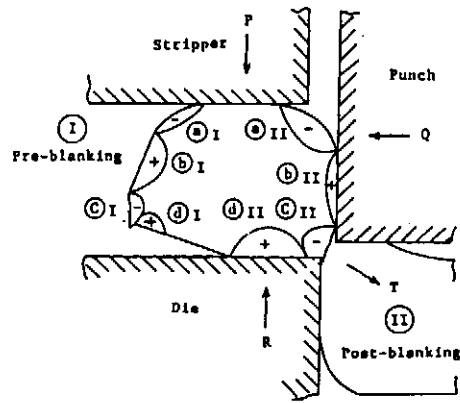


図17 リード変形機構の力学的モデル

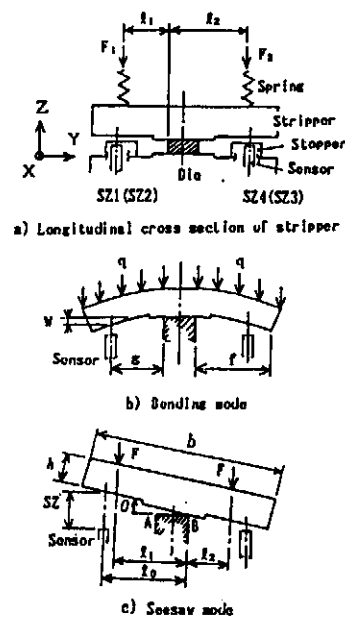


図18 ストリップの振動機構

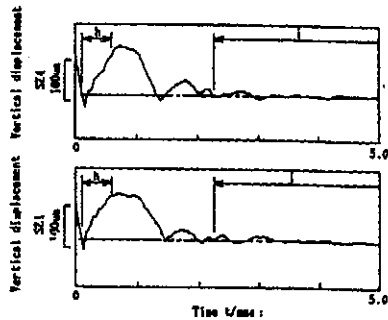


図19 打抜速度1000spmにおける
ストリップの垂直変位測定結果
(SZ1, SZ4)

ものとし、ストリップの固有振動数を有限要素法を用いて数値計算すると5280Hzが得られる。これは、実験で得られた4~5kHzに比べ、モデル化による誤差を考慮すると比較的近似している。

次に図18)のストリップのたわみ振動の変位曲線を均等分布荷重 q (慣性力に相当する)によるたわみ形状と一致すると仮定すると、ひずみエネルギーは、

$$U = \frac{q^2 l^3}{20EI} \quad (1)$$

ただし、 I はストリップのY軸垂直断面の断面二次モーメントである。

一方、ストリップの質量を m 、衝突前の速さを v とくと運動エネルギーは、

$$K = \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

$K = U$ により q を求めてセンサ位置 g 点における最大のたわみを求めると

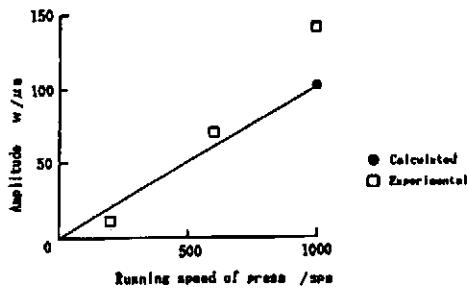


図20 ストリップの弾性振動における振幅

$$w = \frac{q l^2 g^2}{24EI} \left(6 - 4 \frac{g}{l} + \frac{g^2}{l^2} \right) \quad (3)$$

ストリップの速さ v は近似的に次式で与える。

$$v = \frac{\pi L \sqrt{sT}}{30} \quad (\text{mm/s}) \quad (4)$$

ただし、ポンチストローク： $S = 25\text{mm}$ 、リードフレーム素材厚さ： $T = 0.25\text{mm}$ 、毎分ストローク数： L (spm)、ストッパ質量： $m = 3.0\text{kg}$ である。各運転速度でのセンサ位置における曲げ振動の振幅を実験値と比較して図20に示す。両者はほぼ一致しており、振動数と併せて図18b)のたわみ振動モデルの妥当性を示している。

次に図19のi部の振動を考察する。図18c)のようにストリップは材料エッジ部で支持され、この支点が左右交互に移動する剛体の回転振動として振動数を計算した。

回転角 θ は小さいので板押し力 $2F$ は初期設定力と等しいとすると、B点まわりの慣性モーメントを I_B として、

$$I_B \ddot{\theta} = -F(l_1 - l_2) \quad (5)$$

ただし、

$$I_B = m \left(\frac{b^2}{12} + \frac{h_2^2}{3} + c^2 \right)$$

振幅 θ_{\max} はストリップの運動エネルギー K の一部 η K が回転振動のエネルギーに変換されるとして

$$\eta \left(\frac{mv^2}{2} \right) = F(l_1 - l_2) \theta_{\max} \quad (6)$$

より計算される。回転振動の振動数 f は

$$f = \frac{\sqrt{F(l_1 - l_2) I_B}}{4\sqrt{2} \theta_{\max}} \quad (7)$$

となる。図18c)から、センサ位置の最大変位量 SZ_{\max} は

$$SZ_{\max} = l_0 \theta_{\max} \quad (8)$$

となる。

回転振動の振動数の計算結果と実験値の比較を図21a)に示す。計算値が実験値より若干高い周波数となっている。各運転速度における最大振幅を求め、実験値と比較して図21b)に示す。実験値は回転振動i部の初期振幅(最大値)を用いた。

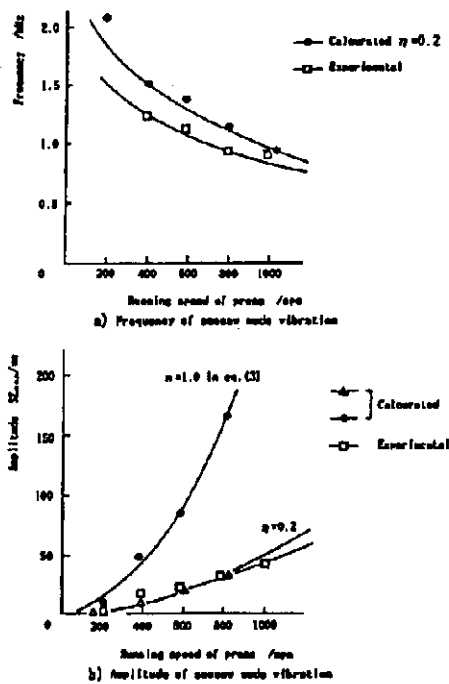


図 21 ストリップの剛体回転振動における周波数及び振幅

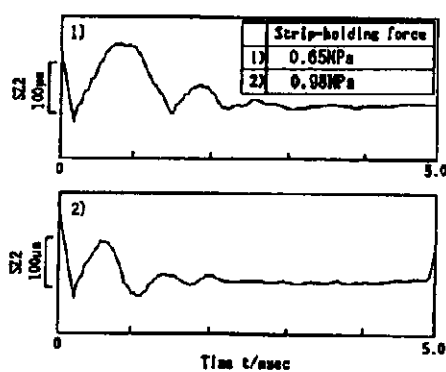


図 22 1000spmにおいて板押え力がストリップの動的挙動に及ぼす影響

運転速度に対して振幅は、理論値・実験値ともに二次曲線的な増加となり、運動エネルギーの20%が回転エネルギーに変換したと仮定すると、すなわち $\eta=0.2$ とすると、計算値と実験値はよく一致する。

3.4.2 ストリップの振動軽減対策

ストリップの高速時における振動が、打抜製品精度に悪影響を及ぼすため、振動の軽減を計り製品精度の向上を試みた。ストリップの振動軽減策としては、打抜時のストリップの運動エネルギーの減少が考えられる。本実験では、実施が容易な前者について、板押え力のみを強くする方法を行なった。板押え力は、コイルばねの板押え力 $2F$ を当初の、最高打抜き力の約20% (0.65MPa) から約30% (0.98MPa) に増大した。図22に、この時のストリップの動的挙動SZを示す。板押え力を強くすると振動は減少する。

振動軽減対策後の製品の曲りとそりを図23に対策前と比較して示す。曲りについては、打抜時のストリップの振動が少なくなったため、ストリ

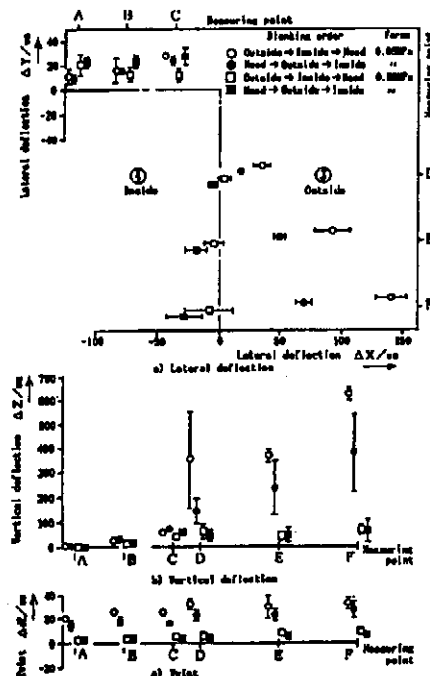


図 23 1000spmにおいて板押え力が製品精度に及ぼす影響 ($R_1=2.0\text{mm}$, 下死点 0.1mm 下)

ッパが有効に働いて、リード先端部D-Fの外側3への寄りが少なくなっている。

リード先端のそりも、上向き量が小さくなって振動軽減対策がやはり有効に働いたと考えられる。

3.5 まとめ

ICリードフレームの順送打抜き加工のシミュレーションとしてL字形リードを打抜き、文献(1)で提案した力学的モデルを用いて、打抜き中の金型の動的挙動が打抜き製品精度に及ぼす影響を説明した。

1) L字角部を内側→外側の順序で打抜くとL字リード先端は下そり、外側→内側の順序の場合は真直なリードと同じ上そりの傾向を示す。

2) 上そりの主原因は切口面のだれ、下そりの主原因は切口面の破断面におけるせん断輪郭線方向の塑性的縮みである。

3) 高速打抜きではストリッパの振動を生じ、板押え力が十分に作用しなくなるため製品精度が低下する。ストリッパの振動モデルを提案して、この振幅がプレス運転速度の2乗に比例することを示した。

4) ストリッパのばね力を強くし、ストリッパの素材との衝突後の弾性たわみを減少させることが、高速運転時における製品精度向上に有効であることを確認した。

4. あとがき

著者らは、これまで精密微細塑性加工としてICリードフレームの順送り打抜きをとりあげ、イン

ターナルリードの先端の加工誤差に影響する因子を検討してきた。

本研究においては、製品の局所的な寸法誤差ばかりでなく、全体形状の誤差に着目した。そして、素材コイルのスリッティングによる残留応力が全体形状の誤差と関係する例として、微細な櫛刃状製品の打抜きを行い、スリッティングによって生じる残留応力の軽減法の開発の必要性を強調した。更に、高速打抜きにおけるストリッパの振動の原因を検討して、振動軽減法を提案し、板押え力を安定して加えることが、製品の全体形状精度を高める上で大切なことを示した。

終りにあたって、本研究開発を助成された天田金属加工機械技術振興財団に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日比野文雄・青木勇：塑性と加工，28 - 312 (1977)，207.
- 2) 富澤淳・小嶋正康・五十嵐靖和：昭61春塑加講論(1987)，15.
- 3) 前田禎三・村川正夫：塑性と加工，18 - 193 (1977)，114.
- 4) 神馬敬・小奈弘・関根文太郎・村松俊之：第39回塑加連講論(1988)，487.
- 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.
- 6) 神馬敬・関根文太郎・佐藤彰典：塑性と加工，31 - 348 (1990)，60.