ファインピッチリードフレーム用金型の加工とパンチおよびダイのFEM解析

北島 正邦*, 赤塩 貞男*, 竹之内 高広**, 中澤 清**, 若林 信一**, 小板橋 竜雄***, 工藤 誠****

Development of the Fine Tool Processing for Fine Pitch Lead Frames and Its FEM Analysis

Masakuni KITAJIMA*, Sadao AKASHIO*, Takahiro TAKENOUCHI**, Kiyoshi NAKAZAWA**, Shinichi WAKABAYASHI**, Tatsuo KOITABASHI*** and Seiichi KUDOH****

*新光電気工業株式会社リードフレーム事業部金型部（〒383-8581 長野県中野市草間1216-9）

**新光電気工業株式会社基盤技術研究所（〒381-0014 長野県長野市大字北尾張部36）

***長野県工業試験場製品科学部（〒380-0928 長野県長野市若里1-18-1）

****長野県工業試験場システム技術部（〒380-0928 長野県長野市若里1-18-1）

*Die Tool Department Leadframe Division, Shinko Electric Industries Co., Ltd. (1216-9 Kusama, Nakano-shi, Nagano 383-8581)

**Core Technology Research & Laboratory, Shinko Electric Industries Co., Ltd. (36 Kita-owaribe, Nagano-shi, Nagano 381-0014)

***Product Science Division, Industrial Research Institute of Nagano (1-18-1 Wakasato, Nagano-shi, Nagano 380-0928)

****Systems Engineering Division, Industrial Research Institute of Nagano (1-18-1 Wakasato, Nagano-shi, Nagano 380-0928)

概要 ファインピッチリードフレーム用の金型部品の微細加工の可能性を検討するとともに、FEM解析により打ち抜き時に各部品に要求される強度を検討した。この結果、入子の孔加工は最小幅77 μ mまで、パンチの加工は最小幅74 μ mまで微細加工が可能になったことがわかった。また、線径 ϕ 40 μ mのワイヤ放電加工機による入子の孔加工について加工精度を確認するとともに、パンチ加工については、加工方法が異なると加工精度が相違することを確認した。FEM解析により、パンチの座屈強度と諸因子（かき上げ形状、固定位置、屈折形状）との関係を明らかにすることができた。また、FEM解析の結果から、ダイ入子の抜き形状が並ぶとき、抜きに段差や抜き幅の差があると、入子は強度的に不利になることが推測された。

Abstract

Process capability for the fine tool processing was studied and the FEM analysis was done in order to clarify the tool strength demanded at the stamping. It was confirmed that the die inserts and the punches could be processed to 77 μ m in space and 74 μ m in thickness respectively by wire electric discharge and grinding machines. The process accuracy of die inserts processed by wire electric discharge machine using a wire of ϕ 40 μ m diameter was determined. The process accuracy of punches processed by two different methods was found to depend on the processing. The effects of the curvature, fixing position and bending shape on the punches buckling strength were clarified by the FEM analysis. The results of the FEM analysis also showed that variations in the widths and step heights of die holes reduce the die inserts strength for the multipin shearing model.

Key Words: IC Chips, Downsizing, Fine Pitch Lead Flame, Stamping, FEM Analysis

1. 緒言

近年、半導体技術の進歩により微細な配線ルールに基づくICチップの製造が進展しており、ICチップの小型化傾向がより顕著になっている。チップが小型化すると、リードフレームの加工技術がそのままの場合、インナーリードの先端とチップとの距離は遠くなり、両者を結ぶボンディングワイヤは長くなることになる。しかし、コストダウンや信頼性の問題からボンディングワイヤは短いほど好ましく、リードフレーム（以下L/Fと表示）の内部リードをできるだけチップに近づける必要がある。したがって、リード先端部をできるだけファインピッチ化し、インナーリード先端をチップに近づける技術が必要不可欠となる。そこで、プレス品L/Fのファインピッチ化を可能とするために、金型部品の微細加工の可能性について検討した。これは、

ファインピッチ化にともない、金型を構成しているワイヤ放電加工による入子の部品には狭スリット加工、パンチにはかなり幅の狭い加工が要求されているため、現在の加工方法での加工限界を明らかにするためである。このような金型部品の加工についての論文は多いが、狭スリット化については少ない¹⁾。また、金型部品の加工が可能でも、ファインピッチ化にともない金型の各部品が強度不足になることも予測されるため、L/Fの微細打ち抜き加工時に各部品に要求される機械的強度についてFEM解析を用いて検討した。金型部品の機械的強度に関する研究報告例は多いが、FEM解析による評価方法については確立されていないものが多い²⁾。そこで本研究では、パンチの強度に影響を及ぼす諸因子（かき上げ形状、固定位置、屈折形状）や、入子の破損原因と設計時に注意が必要な抜き形状についてFEM解析により検討し、その結果をファインピッチの

L/Fを打ち抜くための金型設計に生かすことを目的とした。

2. 実験および解析方法

まず、ファインピッチL/Fの加工を可能にするための、入子およびパンチ加工の加工限界と加工精度を評価するための実験方法を示す。つぎに、ファインピッチ化に対する部品強度の向上をはかるために、FEM解析により評価するための方法を示す。Fig.1 にリードフレームを打ち抜く金型の構造を簡単に示す。本論文では、パンチ、ダイ入子、押さえ入子等の重要部品について加工や強度を検討する。

2.1 入子の加工

現在の金型は、ダイ入子および押さえ入子の抜き加工をワイヤ放電加工機で行っている。これは、金型の部品加工から製品の量産加工までのトータルコストや品質の面から、プロファイル加工による割り入子でなく、ワイヤ放電加工された入子が要求されているためである。このワイヤ放電加工において、通常使用しているφ50μmのワイヤでは、入子の抜き幅88μmが、安定した精度で加工できる限界である。さらにファインピッチ化を目指すには、抜き幅が88μm以下の加工を行う必要がある。そこで、リードピッチ148μmを想定して、線径φ40μmのワイヤでの抜き幅の加工限界について検討した。ワイヤ放電加工機の加工条件をTable 1 に示す。また、テスト加工した入子の加工精度については非接触画像三次元測定器で、加工面の残留応力についてはX線回折装置で測定し、ワイヤ径による相違を比較した。

2.2 パンチの加工

パンチの微細加工については、148μmピッチのL/Fを想

Fig.1 Simplification model of blanking tool

定し、鏡面加工（成形研削盤を使用して、パンチ側面の面粗度を研削方向に対して垂直でRmax：0.3μm以下にする加工）と投影研削盤加工を用いて、最小加工幅と加工精度について検討した。加工精度は非接触画像三次元測定器で測定した。加工条件はTable 2 に示す。鏡面加工は、切り込み量を少なくして加工面の面粗度を上げているが、テーブルの往復速度を速くしないと加工能率が悪いので、テーブルの速度（Work speed）が速くなっている。また、量産型の148μmピッチのL/Fを試作した際に、加工方法の異なる場合の加工精度を比較した。この際、製品の右象限を投影研削盤で、左象限は成形研削盤で鏡面加工したパンチとして比較した。

2.3 FEMによるパンチの解析

ファインピッチ化するL/Fのパンチが極薄になった場合でも十分な強度を維持するために、パンチ強度を解析する方法と強度を向上させる要因についてFEM解析により検討した。パンチ強度の解析方法としては、大変形解析と座屈解析とを実施・比較し、計算コストのかからない解析方法を検討した。また、パンチ強度を向上させる要因として、パンチの加工形状、固定位置および切刃形状の影響について解析を行った。解析に用いたパンチ材料（超硬）の材料物性値は、ヤング率が562GPa、ポアソン比は0.22である。

2.4 FEMによるダイの解析

ファインピッチ化した金型のダイ入子は、抜き幅は狭くなるが、順抜きで打ち抜く場合には抜き数が少ないため、破損することはまれである。しかし、L/Fはファインピッチ化とともに強いコストダウンが求められている。この要求に答えるには、入子1つ当たりの抜き数を増やす必要が

Table 2. Machining conditions of grinding

Methods	Profile grinding		Fine grinding*	
	Rough	Precise	Rough	Precise
Wheel diameter (mm)	80	75	90	70
Grit type	Diamond		Diamond	
Wheel grain size (#)	170	400	200	500
Wheel concentration	100	100	100	125
Wheel speed (m/min)	2262	2121	2827	4398
Work speed (R/min)	80	80	250	450
Cutting depth (μm)	2	1	2	1
Dry or Wet	Dry	Dry	Wet	Wet

* Mirror-like finishing : Rmax<0.3 μm

Table 1. Machining conditions of wire electric discharge processing

Conditions	Rough	Middle	Precise	Rough	Middle	Precise	Rough	Middle	Precise
Wave pattern	Pulse 	Pulse 	Sine 	Pulse 	Pulse 	Sine 	Pulse 	Pulse 	Sine
Cutting times	0	5 (6)	2	0	5 (6)	3	3	2	3
Wire diameter (mm)	0.04			0.05			0.07		
Wire material	Cu - Zn + Fe			Cu - Zn + Fe			Cu - Zn		
Wire speed (m/min)	8.3			8.3			12.5		
Table speed (mm/min)	3.0 - 5.0			3.0 - 5.0			3.0 - 5.0		
Voltage (V)	40.0 - 65.0			40.0 - 65.0			40.0 - 65.0		
Offset (μm)	39 - 25			50 - 30			70 - 40		
Working fluid	Water (0.8 - 1.0l/min)			Water (0.8-1.0l/min)			Water (0.8-1.0l/min)		

あるため、ファインピッチ用の金型も含め、ダイ入子の強度を検討する必要がある。これは、入子1つ当たりの抜き数を増やすと、ダイ入子のさんの部分が破損する危険性があるためである。そこで、ダイ入子強度の評価方法として、切刃の内側に側方力が加わった場合を想定した解析を行い、入子の破損原因、設計時に注意が必要な抜き形状について検討した³⁾。このときの解析モデルには3つのスリット形状の抜きが並んだものを使用し、抜きに段差がある場合について解析を行った。また、設計時に注意が必要な抜き形状ということで、抜き幅の違うパンチで被加工材を打ち抜くときの、ダイ入子のさんの部分の挙動についても解析を行った。

3. 実験および解析結果

3.1 入子の加工精度

従来に比べ線径の細い $\phi 40\mu\text{m}$ のワイヤによる放電加工を行ったところ、抜き幅が最小 $77\mu\text{m}$ までの加工が可能であることがわかった。これ以下の加工ができないのは、加工代（ワイヤと被加工材の隙間）をある程度とる必要があるためである。また、線径が細くなると加工時のワイヤの断線率が高くなる問題があり、最終的には $\phi 50\mu\text{m}$ のワイヤと比較すると断線率が2倍程度、加工時間も約1.4倍となった。

次に、 $\phi 40\mu\text{m}$ と $\phi 50\mu\text{m}$ のワイヤを用いて放電加工した場合の加工精度と標準偏差をTable 3に示す。これらの結果から加工精度に及ぼす、ワイヤ径の影響はないと判断される。しかし、量産型に $\phi 40\mu\text{m}$ のワイヤで加工した入子を適用した場合、加工機によっては加工精度が悪くなるケースも認められ、ワイヤ放電加工機ごとに加工条件の安定化が必要である。また、ワイヤ径の違いによる入子の加工面の残留応力を比較をすると、Table 4に示すように $\phi 40\mu\text{m}$ ワイヤの値は $\phi 50\mu\text{m}$ ワイヤの値よりも大きい、 $\phi 70\mu\text{m}$ ワイヤで加工した場合よりはやや小さな値である。このことから、 $\phi 40\mu\text{m}$ ワイヤを用いて加工した加工面の加工精度やクラック成長には問題はないと考えられる。なお、今回の測定結果では $\phi 50\mu\text{m}$ ワイヤの値が他の2つのワイヤと比較してかなり小さな値となっているが、これは加工条件の最適化ができていないということではなく、測定位置によるばらつきが現われた可能性が大きいと考えられる。また、今

Table 3. Effect of wire diameter on processing accuracy

Wire diameter/ μm	Parts	Average/ μm	Standard deviation/ μm
$\phi 40$	Die insert	1.4	1.1
$\phi 40$	Stripper insert	1.4	1.3
$\phi 50$	Die insert	1.4	1.2
$\phi 50$	Stripper insert	1.8	1.5

Table 4. Relationship between residual stress and wire diameter for die insert processing

Wire diameter/ μm	$\phi 40$	$\phi 50$	$\phi 70$
Tensile residual stress/MPa	650	280	750

Fig.2 SEM photographs of the die surface processed by wire electric discharge machine

までの経験とデータから $\phi 70\mu\text{m}$ ワイヤの値は標準的な値と考えられることより、 $\phi 40\mu\text{m}$ ワイヤの値は妥当な値と判断される。また、Fig. 2に加工面のSEM写真を示す。 $\phi 40\mu\text{m}$ ワイヤと $\phi 50\mu\text{m}$ ワイヤとでは組織や面粗度に大きな相違は認められず、SEM観察の結果からも $\phi 40\mu\text{m}$ ワイヤの加工面には特に問題はないと考えられた。

3.2 パンチの加工精度

リード先端のピッチが $148\mu\text{m}$ ピッチのL/Fを想定した場合、パンチ幅 $74\mu\text{m}$ のパンチが必要であるが、この加工は投影研削盤加工、鏡面加工ともに可能である。この両加工方法の相違をFig. 3示す。両者の加工法には、パンチ先端を加工する際の支え方に相違がある。

次に両者の加工精度について、量産型 $148\mu\text{m}$ ピッチのL/Fを試作した際のデータを比較した。Fig. 4から、鏡面加工の方が投影研削盤加工のパンチより大きめに加工されることがわかる。この結果から、抜きはパンチに習うため、リード間隔の規格が厳しいファインピッチ等のL/Fについては、間隔が広めに出る鏡面加工によるパンチの使用の方が適切と判断される。ただし、この結果は、非接触画像三次元測定器による2つの加工方法の相対的な比較に基づくものであり、パンチの設計値に対する誤差を正確に測定す

Fig.3 Two grinding methods for punch machining

Fig.4 Comparison of thickness accuracy between profile grinding and fine grinding of punches

るのは、測定器の問題もあり難しい。

3.3 FEMによるパンチの解析結果

3.3.1 パンチ強度の解析方法

まず、パンチ強度の解析については、材料・構造非線形問題として、打ち抜き過程で素材が破壊する直前までの大変形解析を行った (Fig.5)。その結果、パンチ上端変位が大きくなるに従い荷重も上昇するが、パンチは押さえ入子上部付近で座屈的な大変形を起こし、荷重が減少することがわかった。このとき、最大荷重は103Nであった。

次にFig.5の座屈強度解析モデルについて座屈解析を行った。解析モデルは大変形解析モデルの押さえ入子より上部のみとし、端面を固定端としたときの座屈解析強度は100Nであった。この値は、大変形解析と同等の値を示した。以上の結果から、ファインピッチL/F等のパンチ強度の解析については、計算コストの少ない座屈解析で評価することとした⁴⁾。

3.3.2 パンチ強度を向上させる要因

ファインピッチL/F等のパンチ強度を向上させる要因として、①パンチ加工の際に成形されるかき上げ形状 (Curvature) の影響、②パンチの固定位置の影響、③パンチの“く”形状の影響が考えられる。まず、かき上げ形状とパンチ強度の関係について検討した。解析は、パンチ上端10mmを左右方向に拘束し、押さえ入子上部のストレート部を1, 2, 3mmとし、そこからパンチ上部へのかき上げ形状をR0~R37.5mmまで変化させた場合の座屈強度を求めた。その結果、パンチのかき上げ形状は、できるだけ小さい方が強度の増加につながることをわかった (Fig.6)。また、パンチストレートが短いほうが、かき上げ形状の効果も大きいこともわかった。ここで、ストレート部3mmの両端固定による座屈荷重をオイラーの公式 $[W = (4\pi^2 \cdot E \cdot I) / L^2]$ から計算すると座屈強度Wは233Nとなり、この理論値に比べるとかき上げ形状がR0mmのときでも6割程度の荷重となるため、パンチの固定方法によってはさらに強度アップの可能性があることがわかった。

次に、パンチの固定位置と座屈強度の関係について検討した。Fig.7の固定位置はパンチ下端 (押さえ入子上面) からの距離を示している。Fig.7の結果から、パンチの固定方法については、固定長を長くした方が、強度アップにつながることをわかる。ただし、このことは、パンチの全

Fig.5 2-dimensional models of punch for FEM analysis

Fig.6 Relationship between punches curvature and buckling strength

Fig.7 Relationship between fixing position and buckling strength for punches

* The fixing position is defined in Fig.5

長を短くした場合と同じ意味になる。また、上記のことは、かき上げ形状を極端に変えないと効果が低い。

次にパンチの“く”形状の長さや角度が、パンチ強度に与える影響について検討した。Fig.8の形状について曲げ長さLを1.0~2.0mm、曲げ角度Aを0~45°の範囲内で変化させて解析した結果をFig.9に示す。その結果、パンチ先端の形状をある程度広い範囲で曲げると強度アップにつながることをわかった。また、曲げ角度については、最もパンチ強度に効果的な曲げ角度は10°であり、これ以上曲げ角度を増加させても効果が低いことがわかった。

3.4 FEMによるダイ入子の解析結果

ダイに加わる力は、パンチではせん断力が主であるのに対し、ダイの切刃にはせん断力と側方力の2つの力が同時に加わる。なお、パンチにも側方力が加わるが、座屈強度への影響は少ない。したがって、ダイの構造からせん断力

Fig.8 Analysis models for punches bended at different angles (A) with different lengths (L)

Fig.9 Relationship between bending angles (L) of punches and buckling strength

には強いが、側方力に対しては切刃形状による強度不足が予測される。そこで、Fig.10のように、3ヶ所を同時に打ち抜き加工をする場合に対し、ダイの切刃内側から全体にかかる側方力に相当する基準圧力を98MPaとして、側方力が変化することによる影響並びに、リード先端段差の影響について解析を行った。側方力の変化による影響については、解析モデル形状としてリード先端コーナーR80 μ m、リード長さ6.0mm（段差Lは1.0mm）とし、真ん中のリード右側のAラインと左側のBラインに側方力の変化として各々に基準圧力の0%～+5%まで増圧させたときの最大主応力について検討した。AラインおよびBラインの側方力を変化させた場合について、側方力の大きさと応力の関係をFig.11に示す。側方力のアンバランスによる応力集中はAラインの方が大きくなる傾向があり、このことから、リード先端が揃っているよりも段差のある方が、破壊しやすいことが推測される。また、リード先端段差Lを0～1.0mmまで0.2mmおきに変化させ、Aラインに対して基準圧力の+3%の101MPaを加えた場合について、リード先

Fig.10 The analysis model of die insert shape for multipin blanking

Fig.11 The relationship between lateral pressure and stress concentration

Fig.12 The relationship between stress concentration and step height at the edge of die insert

端段差Lと最大主応力との関係をFig.12に示す。この結果から、リードの段差はない方が良く、かつ、その段差をリード幅（ダイ入子のさん幅）未満にすると応力集中はある程度抑えられることがわかる。

次に、抜き幅が異なる場合の打ち抜き時のダイ入子とパンチの挙動について、解析を行った。解析にはFig.13に示す同時打ち抜きモデルを用い、被加工材が破壊する直前までの過程をシミュレーションした。この解析モデルではパンチAの幅がBの約2倍の幅になっている。まず、A、Bのパンチを被加工材の板厚の1/3 (0.06mm) まで降下させた場合について、パンチの下降距離と両パンチに掛かる荷重の関係をFig.14に示す。この結果から、パンチの下降距離が15 μ mで、パンチAの荷重がパンチBの約2倍になっており、被加工材のせん断抵抗は約500MPaであることから判断して、パンチAでは、この時点で打ち抜きが始まっていると推測される。

次に、パンチ上端の移動量と各パンチに加わる側方力との関係をFig.15に示す。この結果から、パンチは加工する

Fig.13 The analysis model for punches with various shearing widths. The x-direction is indicated by the arrow

Fig.14 Shearing force plotted against the displacement of upper edge for punches

Fig.15 Relationship between lateral force (x-direction) and the displacement of upper edge for punches

Fig.16 X displacement of die insert plotted against the displacement of upper edge for punches

に従い側方力が増加し、下降距離が $20\mu\text{m}$ を過ぎるころから側方力はパンチBの方がパンチAよりも大きくなる。また、ダイ入子のX方向の変形挙動をFig.16に示す。ダイ入子にカスがない場合、はじめの $15\mu\text{m}$ の下降量まではパンチA側に変位するが、その後は大きくB側に変位することがわかる。実際の加工では、この後、被加工材がせん断されてダイは元の位置に戻ると推測される。これに対し、ダイ入子にカスがあると想定した解析では、カスと入子が一体となっているため、この傾向は弱くなった。したがって、幅の異なるパンチで同時に打ち抜く場合には、ダイ入子のさんの部分は首を振るように左右に変形させられるため、疲労破壊を起こしやすくなると推測される。

4. まとめ

プレス品L/Fのファインピッチ化にともなう、金型部品の微細加工の可能性を検討するとともに、L/Fの微細打ち抜き加工時に各部品に要求される機械的強度についてFEM解析で検討し、以下のことがわかった。

- (1) ファインピッチL/F用の入子のワイヤ放電加工は、線形 $\phi 40\mu\text{m}$ のワイヤで抜き幅 $77\mu\text{m}$ まで可能である。ただし、コスト面の検討が必要である。
- (2) $\phi 40\mu\text{m}$ と $\phi 50\mu\text{m}$ のワイヤで放電加工した入子の切刃精度と加工面の状態を比較した結果、大きな相違は認められないことから、 $\phi 40\mu\text{m}$ ワイヤでのファインピッチL/F用の入子加工は十分可能と判断された。なお、 $\phi 40\mu\text{m}$ のワイヤ放電加工を量産型に適用するには、加工精度の向上についてさらに検討する必要がある。
- (3) ファインピッチL/F用のパンチ加工は、投影研削盤

加工および鏡面加工 ($R_{\text{max}} < 0.3\mu\text{m}$) で最小 $74\mu\text{m}$ 幅までの加工が可能である。

- (4) パンチの部品精度について投影研削盤加工と鏡面加工で加工した場合を比較した結果、前者は設計値に対して小さめに、後者は大きめに加工されることがわかった。このことから、リード間隔の規格が厳しいファインピッチ等のL/Fについては、間隔が広めに出る鏡面加工によるパンチの使用が適切と考えられる。
- (5) ファインピッチL/F用を含めたパンチ強度をFEM解析により検討した結果、座屈解析による評価方法が有効であることを示した。また、①かき上げ形状を小さくすること、②固定位置を下げる、および③パンチ形状に 10° 程度の屈折形状を付加することが、パンチ強度を向上させる要因となることがわかった。
- (6) 同時抜きのダイ入子の強度についてFEM解析により検討した結果、ダイ入子の破損の原因には、側方力のアンバランスが関係していることが推測された。また、同時抜きのダイ形状に段差がある場合、その段差をリード幅以下にすると応力集中はある程度抑えられ、破損の危険性を低下させ得ることがわかった。
- (7) FEM解析による結果から、同時抜きで抜き幅が異なる場合、抜き幅が広いパンチから打ち抜きが始まり、ダイ入子のさんの部分は首を振るように左右に変形させられるため、疲労破壊を起こしやすいことが推測された。この現象は、ダイにカスが無い場合には強く、カスがある場合には弱くなる傾向を示した。

以上により、プレス品ファインピッチL/F用金型部品の微細機械加工の可能性を示すとともに、FEM解析により各部品の強度を上げるための諸因子、破損原因および設計時の注意点を明らかにした。

なお、本研究はRSP Naganoマイクロファブリケーション研究会の活動成果の一部であり、MES2000での発表に基づくものである。(2001.6.8受理)

文 献

- 1) 中澤 清：“リードフレーム打ち抜き金型用超薄肉超硬材料の強度特性に関する研究”，学位論文，1999.3
- 2) 高石和年，渡辺晴美，経広敏克，江澤健児，土居初男：“半導体リードフレーム打ち抜きダイの破損とその対策”，日本塑性加工学会誌，Vol.33，No.379，pp.971-976，1992.8
- 3) 青木 勇，高橋俊典，斉藤 哲，後藤 明，坂本 琴：“せん断加工における偏芯クリアランスは正作用と側方力に関する基礎研究”，日本塑性加工学会誌，Vol.37，No.431，pp.1316-1321，1996.12
- 4) 工藤誠一，小杉 俊，小板橋竜雄：“超精密打ち抜き金型の強度解析”，第3回RSP新技術プレゼンテーション，2000.2.1