研 究

ワイヤ放電加工による極薄板用の抜型製作の研究*

—ポンチ、ダイ同時加工とその打抜精度—

齋藤長男** 岩田聡明*** 荒井伸治† 高鷲民生† 彌富 剛††

Punching Die Making Method for Thin Plate
under One Time Wire Cutting Operation
by means of Tapered Wire EDMNagao SAITO, Somei IWATA,
Shinji ARAI, Tamio TAKAWASHI
and Tsuyoshi YATOMI

This paper presents precise punching die making method by means of tapered wire EDM under one time operation, for very thin plate (0.05 mm stainless sheet metal), without skilled clearance adjusting work. In the first place, necessary conditions for obtaining precise small clearance and clearance adjusting method with high accuracy are described. Secondly, burr height distribution was measured while 35 000 punching shots as appraisal testing of

the punching die. Trend of the burr shows uniformly distributed in circumference of punched profile with negligible small burr height (5 μ m). While this experimental range, even in case of 35 000 shots, burr height dimension is shown constant, therefore life time of this punching die seems so long. This die making method makes realize based on following reasons, the both edge of punch and die is always naturally made wire EDM machining at same condition (e. g. specific resistivity and temperature of liquid) because in same moment, and diamond dies type wire guide keeps accuracy of taper cutting compared with V type wire guide.

Key words: EDM, punching die, tapered wire EDM, burr height.

1. 緒 言

抜型の製作技術はワイヤ放電加工の出現により、技術革新を生むに至った。すなわち、複雑な輪郭形状を有する抜型であっても NC テープさえ用意できれば、非分割一体化のまま任意のクリアランスを与えてポンチとダイを製作し、短時間に高精度の抜型の製作を可能とし生産性向上に著しく寄与している。しかしながら今までのワイヤ放電加工による抜型の製作においては、ポンチとダイとを別々の材料から二度の工程を経て加工し、さらに均一なクリアランスを構成するように、ポンチ、ダイの型合わせを行うという熟練作業を必要とした。

著者らはテーパワイヤ放電加工を使用すれば一度の工程でポンチとダイを同一条件のもとに同時加工し¹⁾²⁾、あわせて均一なクリアランスを容易に構成できると考え、ワイヤ放電加工機の開発と抜型製作技術の開発を行った。著者の一人(岩田聡明)は、これを応用したポンチ、ダイ同時加工を考案実施し、厚いもので8 mm、薄いもので0.05 mm 板厚の範囲の抜型を製作し、その製作実績も既に1 000面に到達しようとしている。製作期

間も従来の1/5以下、製作価格も1/4を実証し、工業的な成功を収めている²⁾³⁾。

本報告では、①ポンチ、ダイ同時加工を成立させる加工原理、②極薄板の高精度微小寸法クリアランスを得る加工機械の必要条件と均一な微小クリアランスを固定はめあいする方式、③極薄板(0.05 mm ステンレス鋼板)用抜型を使用した数万枚の打抜試験とかえりの測定による評価、④打抜切口面形状の顕微鏡観察による考察等について述べる。

2. ポンチ、ダイ同時加工を成立させる加工原理

この原理は、抜型輪郭全周に均一な傾斜をテーパワイヤ放電加工により加工し、底面輪郭(ポンチ輪郭)を上面輪郭(ダイ輪郭)に組み合わせ、クリアランスは傾斜角により任意の値を与え得るというものである。

これには次の2方式があり、図1に概念図を示す。

(a) 抜型切れ刃の一部に輪郭を切りはじめるためのアプローチ溝が現れないように考案した厳密方式(はじめに斜めにスタート穴をあけるため、やや面倒)。

(b) アプローチ溝がポンチ、ダイのいずれかに現れるが、工作容易な簡易方式。

クリアランス C は、図1より次式が与えられる。

$$\tan \theta_2 \div (g - C) / H \quad (1)$$

ただし、 C : クリアランス(片側)、 g : 加工溝幅(0.3 mm 程度)、 H : ポンチ、ダイ素材板厚、 θ_2 : ワイヤ傾

* 原稿受付 昭和57年10月29日。昭和57年度精機学会春季大会学術講演会(昭和57年3月22日)にて発表。

** 正会員 豊田工業大学(名古屋市天白区久方2-12-1)

*** 岩田工業(株)(東京都目黒区中目黒3-23-5)

† 正会員 三菱電機(株)(名古屋市東区矢田南5-1-14)

†† 三菱電機(株)

Fig. 1 The principle of one cut punch and dies

斜角.

この実験研究では, (b) の簡易方式を用いたため, 一方の切れ刃にアプローチ溝が生ずるので, 打抜製品に対する影響の度合を検討する必要がある.

厳密方式, 簡易方式のいずれを採用するにせよ, ポンチ, ダイ同時加工方式は, 均一なクリアランスを得る上で有利である. すなわち, ポンチ, ダイが切れ刃として対向する部分は, 常に同一時刻, 同一加工条件, 同一環境条件下で加工されているため, たとえ加工中に室温等が変化し加工機に温度分布不均一による寸法変化を生じても, テーパ角度 θ_2 , 加工溝幅 g , 板厚 H に変化がなければクリアランス C は一定である. 絶対寸法は温度変化により変わっても, クリアランスを決定づける相対寸法は変化せず一定値を保ちやすい (式 (1) 参照).

次に, 抜型が組立てられた状態で均一なクリアランスを得るには, ポンチとダイに関し図1の相対位置が組立後も維持されることが必要である. すなわち, θ_2 と g が加工された相対位置のまま組立てられて固定はめあいされることが必要となる.

3. 微小寸法のクリアランスを得る条件

微小寸法クリアランス C を得るための条件と, その具

体的手法を述べれば次のようになる.

- (1) 溝幅 g が輪郭全周と上面下面に関して均一な寸法であること.
- (2) 傾斜角 θ_2 が全周均一であり加工の進行方向等によって変動しないこと.
- (3) ポンチとダイの組立に当たって, ポンチ下面輪郭がダイ上面輪郭に, 角や丸みを含めて合致し, 固定はめあいされること.

上記 (1) に関しては, ワイヤ放電加工の加工中の条件として, 加工液の比抵抗, 加工平均電圧, 加工送り速度に変動がないこと (比較的容易である) のほかに, コーナ部で進行方向が変わる時に溝幅が変化するのを防ぐため溝幅一定の制御⁴⁾を行うと共に最小 r を 0.2 mm とし溝幅の変化を極力小さくした. 誤差量は $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$ 程度と考えられる.

上記 (2) に関しては, ワイヤガイドによる誤差量とテーパ送り機構による誤差量が考えられる. 送り機構によるものは, U, V, XY 軸とも入力諸元単位が $1\text{ パルス } 1\text{ }\mu\text{m}$, 角度単位 $1''$ であり, 誤差は少ない. 一方ワイヤガイドでは, V 溝でワイヤを1方向に押してゆく方式 (略称 V 型ガイド) に角度誤差発生 の 危 惧 が ある た め, ダイヤモンドダイスによるガイド (略称ダイス型ガイド) と

Fig. 2 Geometrical figure of error originated wire guide shape

Fig. 3 Experimented sample figure for two kinds wire guide error testing

Table 1 Special characteristic error of tapered wire cutting on cross shaped mm

		$U[+]$	$U[-]$	$V[+]$	$V[-]$	$ U-V $
V type wire guide	a	0.490	0.491	0.510	0.513	0.022
	A	1.007	1.010	0.995	0.997	0.013
	Taper angle	52'16"	52'28"	49'02"	48'56"	3'32"
Diamond dies type wire guide	a	0.505	0.503	0.507	0.502	0.002
	A	1.003	1.005	1.002	1.007	0.002
	Taper angle	50'21"	50'45"	50'03"	51'03"	18"

max. value
Workpiece; SKD 11, HRC 60

の比較を行った。これを図2(a), (b)に示す。(a)のV型ガイドでは、 U, V 軸の正負方向への移動によってガイド間スパンの長さが不安定であることが危惧されるが、(b)のダイス型ガイドでは、ダイス穴が真円であればワイヤ直径とのすきまがあっても一方に押しつけられるの

で、そのような危惧はない。これを加工実験で確かめたのが図3の十字型のテーパ加工である。テーパ角度を $50'$ に設定し、 U, V 軸に互いに直角に加工した。この結果を表1に示す。互いに直角な寸法差 $|U-V|$ の比較ではV型ガイドが $0.022 \sim 0.013$ mm (角度誤差 $3'32''$ に相当)、ダイス型ガイドが 0.002 mm (角度誤差 $18''$ に相当)を示し、後者ははるかに小さい。

したがってこの実験においてはダイス型ガイドを使用した。

上記(3)のポンチとダイのクリアランスが均一になるように相対位置を合わせ(型合わせ)固定はめあいする手法は次の通りである。

ポンチとダイになる1枚の素材に、熱処理前にノックアウトピン挿入穴を加工し、焼入れ焼戻し完了後(寸法変化後)、非焼入硬化材料からなるポンチホルダ、ダイホルダに基準面を設定し、寸法変化後の穴位置寸法でポンチホルダ、ダイホルダにピン挿入穴を加工する。熱処理完了済みの素材を所定のテーパ角度でワイヤ放電加工し、切り離れたポンチおよびダイをそれぞれのホルダにノックアウトピンによって固定すれば、ポンチとダイとは、特別の計測や組立のための試行錯誤的な作業なしに全周均一なクリアランスを与えることができる。図4はこの相対位置合わせ方式を示し、図5はこの方式による抜型の写真(実験に使用)を示す。

4. 実験方法

打抜形状を図6に示す。打抜形状は、最小丸み $0.2R$ の直角隅を8か所(凸4, 凹4)、幅4 mmの耳部分2か所、 R と直線をつなぐ部分を多数与え、かえりの発生に注目しやすくした。なお、輪郭の外周部はポンチとダイの同時加工によるが、内側の小判形の二つの穴は切り離れた試片をポンチとするには小さすぎて固定の方法がない

ため、そのポンチは固定部を含め研削加工で製作し、型合わせは熟練に依存した。このことは結果的に極薄板に対する抜型製作法の比較の意味をもつことになる。次にこの実験は簡易方式によって製作したので(2章参照)、アプローチ溝の打抜製品に対する影響が重要課題

Fig. 4 Adjusting and fixing method with uniform clearance

Fig. 5 Punching die by means of one time wire EDM operation and its punching sheet metals

Fig. 6 Punched profile (SUS-304 H, 0.05 mm)

となる。アプローチ溝はダイ側にあり、図6のA₁部分がそれに対向しており、かえり等注目を要する部分である。

4.1 抜型製作条件

- (1) ポンチ, ダイ用素材: SKD 11, 厚さ 22.9 mm, 焼入れ, 焼戻し処理, 硬度 HRC 62
- (2) 打抜板材料: ステンレス鋼 SUS 304-H, 厚さ 0.05 mm
- (3) クリアランス: 0 を期待 (計算値 2.2×10^{-4} mm)
- (4) コンデンサ: $C = 0.6 \mu F$
- (5) 仕上面粗さ: $R_{max} = 7 \sim 8 \mu m$
- (6) 送り速度: $F = 0.33$ mm/min
- (7) 加工液比抵抗: $\rho = 4 \times 10^4 \Omega cm$
- (8) 溝幅: $g = 0.27$ mm
- (9) テーパー角度: $\theta_2 = 40'30''$
- (10) ワイヤ放電加工機: 三菱 DW C-100, CNC-1
コーナ部溝幅一定適応制御装置付使用⁴⁾
- (11) 室温: $20^\circ C \pm 5^\circ C$ (非恒温室)

4.2 初期摩耗および溝幅の誤差量に対する対策

ワイヤ放電加工面は軟化層の存在⁵⁾によって初期摩耗があると言われているので, その一部を除去すると共に微小クリアランスを保つため, 前出 4.1 節 (3) の計算クリアランスを大よそ 0 とし, ダイセッタにパンチとダイを取りつけた後, 切れ刃面に約 1000 番のダイヤモンド砥粒ペーストをわずかに塗布し, パンチ, ダイ間に上下運動によるすり合わせを行い, パンチがダイに円滑に入る程度に手を加えた。これは溝幅の誤差量 $\pm 2 \mu m$ 程度に対し補正の作用もある。クリアランスは計測困難であるが, 後述の打抜試験による打抜切口面形状は破断面に相当する部分にバニッシュされた 2 次せん断面が見られるので板厚の 5~6% 以下と予想される。

4.3 抜型の評価方法

抜型の評価方法として, アプローチ溝に対応する箇所, コーナ部, 小判型の穴に注目して, 打抜製品のかえりの分布と打抜枚数に対するかえりの変化を求めた。かえりの非接触測定法は, 焦点深度法⁷⁾によった。

- (1) 倍率: 400 倍
- (2) $1 \mu m$ の目盛つきの微動装置
- (3) 測定範囲: 測定点を中心とし 1 mm の範囲の最もかえりの高い点を計測した。

4.4 打抜実験

クランクプレスによる。打抜枚数 35 000 枚。

Fig. 7 Burr height distribution and variation to number of punching sheet

5. 実験結果

1) かえり高さの分布と打抜枚数による変化

図7にかえり高さの分布と、打抜枚数による変化とを示す。アプローチ溝に対応する最も注目すべき点A1は円弧部A2、凹状角A4、凸状角A5の外周部と共に $5\mu\text{m}$ 程度の微小なかえりで推移している。小判型の部分は、初期から $20\mu\text{m}$ と大きく、5000枚を越すとさらに増大している。小判型部分を除けば、35000枚までの打抜きでは初期の状態と変わらず、再研磨の限界には達していない。この結果を前田⁶⁾の研究結果から推論すると、研削方式による抜型と比較して十分な再研磨までの寿命をもち、少なくとも短くはないことが知られる。

2) 小判型部分のかえり

ポンチを研磨加工により製作し、型合わせを熟練に依存した小判型の部分は、かえり高さが初期から $20\mu\text{m}$ と大きい。これはクリアランスが不均一であったためと考えられる。また軟化層を除去し溝幅誤差を補正するために行ったすり合わせはこの場合には不均一なクリアランスを改善することにはならない。

6. 打抜製品切口面形状の観察および考察

ポンチ直下の打抜製品の切口面形状の拡大写真（アプローチ溝に対応しない部分、

明図である。

ポンチ直下の打抜製品のアプローチ溝に対向する部分

Fig. 8 Sheared surface shape of punching sheet metal on punch side (not against to approach groove)

Fig. 9 Punched sheet shape on punch side (against to approach groove)

Fig. 10 Deformed sheared surface by the influence of approaching groove on scrap side

(A1 部分)の切口面形状の拡大写真を図 9 (a) に示す。せん断面との間に異なる様子を示す幅 0.28 mm の部分が A1 部分の切口面であり、高倍率に拡大すると引張破面になっていることが認められる。アプローチ溝幅空間部はダイの切れ刃がないために、せん断とはならずポンチの進行と共に引張力が加わり引張破断したものと思われる。この部分を打抜方向から見たものを (b) に示す。輪郭の一部に 10 μm 程度のなだらかな凹部が見られるが、基本的には周辺部と大差はなく区別し難い。かえりが輪郭外周部と変わらないことは図 7 に示した通りである。このように A1 部分の切断の機構は引張破断によるため拡大した外観は異なるが、打抜製品としての実用性はかえりと打抜寸法に依存するものであり、これが十分実用に供しうるものであることは、実験結果からも実用結果からも明白である。

図 10 (a), (b) にはアプローチ溝幅直上部分、すなわちスクラップ側の切口形状および変形状態を示す。アプローチ溝幅に相応する幅 0.28 mm, 最大凹み 0.02 mm の変形を生じ、切断傷となっている。ポンチの進行によって溝幅直上の薄板材料が溝の中に引き込まれ、A1 の破断が終了するまで力が加わり、切断傷を生じたものと考えられる。したがってこの部分はスクラップ側になるようにダイ、ポンチのアプローチ溝を選定する必要がある。もし打抜側もスクラップ側も製品にしたい場合は、図 1 (a) の厳密方式を使用すればよい。

7. 結 論

テーパワイヤ放電加工機を応用してポンチとダイを同時に加工すると共に微小クリアランスを均一に固定はめあいする抜型製作方式を開発し、これを 0.05 mm の極薄板のステンレス鋼板に関して抜型を製作し打抜試験を行い、次の結果を得た。

- (1) クリアランス C は、板厚 H , 溝幅 g , 傾斜角 θ_2 よ

り

$$\tan \theta_2 = (g - C) / H$$

で示される。高精度のクリアランスを得るには、特に g と θ_2 とを一定値に保つことが重要であり、 g は溝幅一定の適応制御、 θ_2 はワイヤガイドの形状が重要であり、V 型ガイドよりはダイヤモンドダイス型ガイドの方が U, V 軸の寸法差を少なくなしうる。板厚 17 mm, $\theta_2 = 50'33''$ で $|U - V| = 0.002$ mm を得ており、高精度を得やすい。クリアランス $C \approx 0$ をねらって加工し、すり合わせにより補正できる精度を得た。

- (2) ポンチホルダ、ダイホルダのロックアウトピン挿入穴を、熱処理後の抜型素材と同一穴位置寸法に加工し、ワイヤ放電加工後固定はめあいする方法は、微小クリアランスを得るのに有効であり、熟練と試行錯誤を必要とせずに論理的に達成できる (すり合わせをこの状態でを行い、ポンチをダイに円滑にはめあわす)。
- (3) ダイ側のアプローチ溝の影響に着目して、打抜製品のかえり分布、打抜切口形状、スクラップ側の変形、切口形状を観察した。打抜製品のかえりは 35 000 枚の打抜きでも初期と変わらぬ 5 μm 程度を示し、アプローチ溝があっても実用上差し支えない。打抜切口形状は引張破断面となっている。スクラップ側 (アプローチ溝直上) は溝幅相当の 0.28 mm の幅で深さ 0.02 mm の傷を生じている。当然のことではあるが、傷がスクラップ側になるように溝幅を構成すればよい。

この実験に御協力頂いた岩田工業熊谷秀雄氏、豊田工業大学大竹定廣氏に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 齋藤長男ほか: 特許第 1105289 号 (特公昭 56-46738 号)。
- 2) 齋藤長男ほか: 放電加工のしくみと 100% 活用法, 技術評論社 (1979) 218。
- 3) 弥富 剛: ワイヤ放電加工によるパンチ・ダイ同時加工, マシニスト, **26**, 7 (1982) 64。
- 4) 小林和彦ほか: ワイヤカット放電加工における最適制御について (第 1 報), 電気加工学会誌, **12**, 24 (1979)。
- 5) 斎田義幸ほか: 放電加工変質層の研究, 東海北陸地方工業技術連絡会議研究報告 (1978.5.25)。
- 6) 精機学会編: 精密工作便覧, 新訂第 8 版, 塑性加工法各論, コロナ社 (1970) 1026。
- 7) 黒田正夫: 金属顕微鏡および工業写真, 河出書房 (1940) 22。
- 8) T. Maeda & I. Aoki: The Study on Near of Blanking Tool for 18-8 Stainless Steel and Bainite Hardened Steel Strips, J. Fac. Engg. The Univ. of Tokyo, **32**, 3, (1974)。