くびれ変形を利用したかえりなしせん断法に関する研究*

近 藤 一 義^{*1}, 広 田 健 治^{*2}Development of a New Burr-Free Shearing Process
Utilizing Necking Deformation

Kazuyoshi KONDO and Kenji HIROTA

Removal of burrs is necessary because they cause several problems during service. However, neither deburring processes nor existing burr-free shearing processes have been applied successfully to thin sheet metals. In order to solve this problem, a new burr-free shearing method is proposed. It is based on the idea that the burr-side edge will roll over by necking deformation when the partially sheared material is pulled apart. This paper describes realization of this principle and its application to thin steel sheets. Three methods were attempted for 0.2-mm-thick aluminium sheets and 0.14-mm-thick steel sheets. Deformation behavior, application range, and quality of the sheared edge were investigated. As a result, it was found that the method utilizing stretching by a conical die is the most desirable one for practical use.

Key Words: Press Working, Accuracy, Burr-Free Shearing, Necking Deformation

1. 結 論

通常の慣用せん断においてかえりの発生は不可避である。発生したかえりは、使用中に脱落して機器の動作不良を引き起こしたり、塗装後の端面の耐食性を低下させるなどの弊害があり、これらが問題となる場合にはかえりを除去する工程が付加される。そして、この工程のためにせん断加工の長所である高い生産性が阻害されている。また、最近では微細化、高品質化が進み、電子部品のような板厚 0.1mm 程度の極薄板製品に対してもプレス加工が適用されているが、このような極薄板製品に対しては、変形する恐れがあるためにかえり取り作業を行うことが困難である。

一方、かえり抑制を主眼とした精密せん断法として、上下抜き法⁽¹⁾、平押し法⁽²⁾などが提案されているが、適用条件が厳しく極薄板に対する適用は困難と見られる。また、対向ダイスせん断法によるかえり抑制の報

告⁽³⁾もあるが、機構が複雑で高価な型や機械が必要となり、容易に実現できない点が問題である。

このような状況を踏まえ、筆者らは極薄板プレス製品のかえりをできるだけ簡便な方法で抑制することを考え、具体的にくびれ変形を利用した新たなかえりなしせん断法の加工原理(図1)を考案した。そして、これを実現するための加工方法について検討を行った結果、実用材であるTin-free steelの極薄板に対して適用可能であることが確認されたので報告する。

(a) 半抜き試料

(b) 製品の分離

図1. 加工原理

* 原稿受付 平成5年4月5日.

^{*1} 正員, 名古屋大学工学部 (〒464-01 名古屋市千種区不老町1).^{*2} 名古屋大学大学院.

2. 加工原理確認のための予備実験

本加工原理を図1に示す。(a)のように半分せん断した試料に図のような引張力を与えれば、(b)のようにせん断変形部分でくびれ破断が生じ、本来かえりが発生する部分がだれることでかえりを抑制できると考えられる。

まず最初に、この加工原理を確認するため図2に示す方法で予備実験を行った。半分せん断した試料を図のように設置して深絞りを行えば、製品部分の張り出しによりせん断変形領域に引張力が加わり図1(b)を実現できると予想される。実験には、扱い易さを考えて板厚0.8mmの純アルミニウム硬質材を用い、試料径は装置の制約から $\phi 60\text{mm}$ 、製品径は $\phi 18.6\text{mm}$ とした。図3はこの方法で加工を行った製品端面の断面写真である。くびれ破断によりかえりが抑制され、本加工原理によりかえり抑制が可能であることが確認された。

図2. 予備実験概略

図3. 製品断面写真

図4. 実験装置概略

表1. 材料の機械的性質

材質	板厚 (mm)	引張強さ (MPa)	n 値
A1050-H24	0.2	148	0.10
A1050-O	0.2	88	0.248
Tin-free steel	0.14	269	0.215

(a) 加工途中

(b) 加工後

図5. 製品および抜きくず断面

3. 弾性体工具を利用した加工方法

3-1 実験方法 加工原理が確認されたので、次に極薄板への適用を考える。図2の方法は、深絞りのフランジ部分を確保する必要があり、材料の歩留りが悪い。また、分離時に製品側面が逆押え面上に設けられた拘束穴(図2のA部)でつぶされやすく、適用条件が厳しいという問題が生じた。そこで、新たに弾性体工具の材料流動を利用した加工方法を考案した。その概略を図4に示す実験装置とともに説明する。

②は別工程で半抜きにした試料である。これを③の傾斜付きダイスの上に乗せ、上から①の弾性体工具を介して平板で加圧する。弾性体工具は、硬質のウレタンゴムシート(板厚5mm)を素材と同形状に切断したものである。加圧には容量180kNの油圧3動式プレスを使用した。平板を加圧するとウレタンゴムは抜きくずをダイス傾斜面に押しつけるように流動し、その際、抜きくずはゴムとの接触面での摩擦によって斜面に沿

って押し広げられ、せん断変形部分でくびれ破断を起こすと考えられる。

供試材料の機械的性質は表1に示すとおりである。製品径は $\phi 18.6\text{mm}$ 、試料径はさん幅の影響を調べるため $\phi 22\text{mm}$ 、 $\phi 26\text{mm}$ とした。実験に際し、ダイス傾斜面にはグラファイト(摩擦係数 $\mu=0.03$)を塗布し、抜きくず表面は実験データを安定させるため、サンドペーパーで表面を少し粗くして均一な摩擦力が伝わるようにした。

図5は、この方法で加工を行った製品および抜きくずの断面写真で、(a)は加工途中、(b)は加工後の断面である。(b)を見るとこの方法でもかえりが抑制されている。くびれ破断の跡が大きく飛び出して残っているが、これは後述のように加工条件により改善可能である。また、(a)から傾斜付きダイスを使用したことで曲げの要素が加わり、くびれ変形が促進されることが新たに判明した。

図6. 加工パラメーター

(a) A1050-H24: Sd=3.7mm

(b) A1050-H24: $\theta = 60^\circ$

図7. 加工力線図

3・2 適用域 まず、モデル材として純アルミニウムの極薄板を用いて実験を行う。この方法では図6に示す4つの量が成否を左右する。ウレタンゴムの弾性限界を知る目的も兼ね、最初にこれらのパラメーターが加工力に及ぼす影響を調べてみた。

図7は純アルミニウム半硬質材について、半抜き時の切込み量 h (%)および製品分離に必要な加工力 F (kN) の関係を示したグラフである。各曲線の右側の端点のかえりの発生する切込み量、 $F = 10$ kNに引かれた横線はウレタンゴムに永久変形が生じる加工力を表して、これを限界加工力と定める。同図 (a) はクリアランス C (%)とダイス傾斜角 θ (%)の影響

(a) A1050-H24

(b) A1050-0: $\theta = 3^\circ$

図8. 適用域

を、(b) はクリアランス C (%)とさん幅 Sd (%)の影響について調べてある。このグラフから、クリアランスによる差はあまり見られない。また、ダイス傾斜角およびさん幅は、いずれも大きい方が製品分離に必要な加工力が少ないことがわかる。ダイス傾斜角については、大きくするほど加工力のダイス斜面方向の成分が増えること、曲げによるくびれ変形量が増えることが原因である。また、さん幅の増加は、ゴムからの伝達摩擦力を増やすプラスの効果と、抜きくずの変形に要する力を大きくするマイナスの効果があるが、この結果からプラスの効果の方が大きいと考えられる。

図8(a)は、縦軸に切込み量 h (%), 横軸にクリアランス C (%)をとって図7を描きかえたグラフである。かえりの発生する切込み量が上限、限界加工力に達しても製品を分離できない切込み量が下限として表されていて、その間の領域が各条件での成功域となる。クリアランスを負に大きくすると切削的機構⁽⁴⁾で変形が進み、深く切り込んでも破断き裂が発生しないため適用域上限が拡大している。また、下限は、さん幅、ダイス傾斜角が大きいほど広がる。図8(b)

(a) A1050-H24: $h=60\%$ (b) A1050-H24: $\theta = 60^\circ$ (c) A1050-0: $\theta = 3^\circ$

図9. 製品断面形状

は焼きなまし材の適用域である。この場合は、材料が軟質で抜きくずの曲げにより製品部分がわん曲してしまうため、傾斜のほとんどないダイスを使用した。結果を見ると、さん幅を広げた効果が半硬質材の場合よりも顕著に現れている。これは抜きくずの変形に要する力が少なく、先述のさん幅増加のマイナスの効果が弱いためだと考えられる。

3・3 製品断面形状 本加工原理ではくびれ破断の跡が飛び出して残ってしまうことが特徴的である。これはかえりとは異なり脱落する恐れはないが、製品としては小さい方が望ましい。

図9は加工条件による製品断面形状の違いをまとめたものである。(a),(b)は半硬質材で、(a)はダイス傾斜角 θ の影響を、(b)はクリアランスCと切込み量hの影響を調べたものである。(a)から、同一切込み量

図10. 適用域 (Tin-free steel: $\theta = 60^\circ$)

に対して、傾斜角が小さい方が飛び出しが小さくなることがわかる。(b)を見ると切込み量が多い程だれも飛び出しも少なく、比較的良好な分離面が得られている。また、切込み量が少ない場合、クリアランスが正に大きいほど飛び出しが少なくなる。(c)は焼きなまし材の場合を示したものである。傾向は半硬質材の場合と似ているが、切り込み量が少ないと図中※印のように部分的に巨大な飛び出しが残る点の特徴的である。これは、材料の延性が高く、分離するまでの伸びが大きいためである。

3・4 鉄の極薄板への適用 以上の実験で、純アルミニウムの極薄板に対する適用性が示されたので、次に実用材であるTin-free steelの極薄板に対して検討を行う。Tin-free steelは、実際にブラウン管の磁気シールドに使用されており、現在かえりの発生が問題となっている材料である。

図10は適用域を調べたものである。引張強さが大きい材料、純アルミニウムの同じ条件に比べると適用域がかなり狭くなっている。適用域は、さん幅を大きくすることで拡大できるが、材料の歩留りが犠牲になってしまう。また、ある条件で工具として使用したウレタンゴムの表面に微細な傷がついてしまうことも判明した。以上のことから、この方法は鉄のような硬質の材料に対しては適用が困難であると言える。そこで、これに代わる新たな方法を考案した。

4. 張り出し変形を利用した加工方法

弾性体工具の材料流動を利用した方法でさん幅が大きい場合には、図11(a)のように製品部分が張り出されるように変形する。そこで、(b)のように半抜き製品を傾斜付きダイスで張り出しても同等の効果が得られるのではないかと考えた。図12は、これを実現するための実験装置である。加工は別工程で半抜きにし

(a) さん幅過大時の変形 (b) 傾斜付きダイスの張出し
図 11. 張り出し変形を利用した加工方法

図 12. 実験装置概略

た試料③を図のようにセットし、板押え力を負荷したまま①のメインピストンを必要量だけ下降させることで完了する。

図 13 (a) は Tin-free steel の極薄板をこの方法により加工したものであるが、図示のようにかえりなし製品を分離することができた。分離に必要な張り出し量は 2mm 程度である。また、切込み量を変えて実験したところ、ある切込み量以下では (b) のように抜ききらずが下型内に引き込まれ製品を分離できなくなり、この方法でも切込み量に対する適用域が存在することが判明した。

図 14 は、ダイス傾斜角 $\theta = 30^\circ, 45^\circ$ の場合の適用域を示したものである。上限はかえりの発生する切込み量、下限は抜ききらずが下型に引き込まれて製品を分離ができなくなる切込み量であり、その間の領域がそれぞれの成功域となる。ダイス傾斜角 θ の大きい方が、曲げによるくびれ変形量が増えるため適用域が広がっている。また、板押え力を強化すれば、図 13 (b)

(a) (b)
図 13. 製品外観 (a) および分離不良 (b)

図 14. 適用域 (Tin-free steel: $S_d = 3.7\text{mm}$)

θ	45°			
	30°			
C		-15%	0%	15%

図 15. 製品断面形状 (Tin-free steel: $h = 80\%$)

のような分離不良が生じにくくなり適用域下限の拡大が期待できる。

図 15 は製品断面形状を調べたものである。切込み量 80% に対してクリアランス C とダイス傾斜角 θ の影響を示してある。切込みの深い所に成功域があるため、どの条件も飛び出しの少ない良好な分離面が得られている。

以上の実験から、この加工方法は実用材である鉄の極薄板に対しても適用可能であり、加工原理の実現方法としては有効であると考えられる。ただし、半抜き工程と傾斜付きダイスによる張り出し工程が別工程となっているため、簡便な方法とは言い難い。そこで、ばねを利用し、単純な加圧動作のみで上記 2 工程を連続して行える機構を考案した。その概略を図 16 に示す。(a)において、板押え①と傾斜付きダイス②、張

図16. 1行程かえりなしせん断法

出しダイス③とポンチ④の間には、それぞればね⑥が初期変位 δ を与えられて締め付けられている。 δ は材料のせん断荷重を F_s とした時、 F_s に対するばねの変位である。上型を加圧すると、 F_s 以下の荷重で試料⑤はまず傾斜付きダイス②とポンチ④の間で一定量だけせん断され (b) のようになる。さらに加圧して荷重が F_s を超えると (c) のようにばねが縮み始め、傾斜付きダイス②が下降して半抜き製品が張り出され、製品が分離される。また、ばね⑥はゴムや油圧のリリーフ機構等での代用も可能である。

図14の適用域より加工条件を選定し、実際にこの装置で前節の実験で使用したTin-free steelの極薄板を加工した結果、かえりなし製品を得ることができた。

5. 結 論

くびれ変形を利用した新たなかえりなしせん断法の原理を考案し、これを実現するための加工方法を検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 本加工原理により、厚さ 0.2mmの純アルミニウム板および厚さ0.14mmのTin-Free-Steel板に対しかえりの抑制が可能であることが確認された。

- (2) 加工原理の実現方法を検討した結果、半抜き製品を傾斜付きダイスで張り出す方法が最も有効であった。
- (3) 本加工法には適用域が存在し、それはダイス傾斜角を大きくするほど、またクリアランスを負に大きくするほど拡大する。
- (4) 製品の分離面にはくびれ破断の跡が飛び出してしまうが、これは切込みを深くするほど、ダイス傾斜角を小さくするほど、低減し良好な断面形状となる。
- (5) 本加工原理を用いて1行程かえりなしせん断が可能であることが確認された。

文 献

- (1) 前田, 機械の研究, 10-1, (1958), 140.
- (2) 牧野, プレス技術, 13-5, (1975), 93.
- (3) 近藤・石切山, 第24回塑加連講論集, (1973), 313.
- (4) 近藤, 機論, 35-277, (1969), 196