差圧を利用した対向ダイスせん断法の簡便化に関する研究*

近 藤 一 義^{*1}, 広 田 健 治^{*2}
大 野 廣 三^{*3}, 加 藤 久 佳^{*4}Research on Simplification of Opposed Dies Shearing Process
Utilizing Differential PressureKazuyoshi KONDO, Kenji HIROTA,
Kozo OHNO and Hisayoshi KATO

The opposed dies shearing process proposed by one of the authors is based on the idea of smooth sheared surface formation utilizing a cutting mechanism and has excellent features not found in other shearing processes. This process involves two stages; after sufficient shearing between die and protruding die, a product part is separated successively by a knock-out punch, where knock-out timing is important to prevent fracture of the surface and burr formation. Therefore, this process requires use of a precise hydraulic press which facilitates this complicated action and exact knock-out timing. This requirement seems to prevent wide practical application of this process. Therefore, we propose a simplification of the opposed dies shearing process utilizing differential pressure. First, this idea was tested using a coil spring substituted for hydraulic pressure and its feasibility was confirmed. Secondly, a differential pressure mechanism was realized with a hydraulic press and straight shearing of mild steel was achieved. Basic phenomena of this method were studied and it was found that knock-out timing is controllable by varying the pressure difference. Furthermore, a die set unit utilizing this mechanism was developed and disk blanking of aluminium with a mechanical press was demonstrated.

Key Words: Plastic Forming, Press Working, Accuracy, Shearing, Negative Clearance, Differential Pressure

1. 結 論

精密せん断法における平滑面形成機構は原理上、塑性変形による機構と切削的機構の2つに大別される¹⁾。そして、それぞれの加工原理を具現化した代表的加工法がファインブランキング²⁾および対向ダイスせん断法³⁾である。両方法とも高価な専用プレスが必要とする点は共通であるが、このうち図1に示す対向ダイスせん断法は、「だれ」および「かえり」の抑制、厚板や脆性材料への適用性などファインブランキングにはない優れた特徴を有する。しかし、工具動作が複雑なことや加工因子が多く加工条件の最適化が難しいといった問題があり、工業的な普及に関してはごく限られた範囲の適用に留められているのが現状である。

そこで、本研究では対向ダイスせん断法における工具動作の複雑さに目を向け、新たに差圧を利用した分

離方法を考案し、従来負荷の切換えにより行っていた切削工程(図1(a)~(c))と分離工程(図1(d))を連続化して工程の簡便化をはかる。まず、予備的にはねおよび油圧複動プレスにより本機構の実現性および基本的な現象について検討を行い、最終的には差圧機構を組み込んだダイセットを試作して、汎用のクラックプレスによる1工程対向ダイス精密せん断を試みる。

図1 対向ダイスせん断法の概略

* 原稿受付 平成6年10月20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。^{*3} アマダワシノ(株) (〒485 小牧市下小針中島2-158)。^{*4} トヨタ車体(株) (〒448 刈谷市一里山町金山100)。

2. 差圧を利用した分離機構

本研究で新たに提案する機構は、図2(a)に示すように、本来独立に可動するノックアウト工具と突起付きダイスの間に油圧シリンダを介する型構造で実現される。油圧シリンダにリリース荷重 F_2 を設定すれば、図のように、切込み荷重 F_1 のうち差圧荷重 F_1-F_2 が輪郭断面ABに作用する。AB部分は切込みが進むにつれて薄くなるため、同部分のせん断荷重 F_s は減少していく。そして、行程途中で差圧荷重 F_1-F_2 がせん断荷重 F_s を上回る時点で、図2(a)の右半分のように突起付きダイスが後退し始め、両ダイスによる切込みから連続して製品の分離が行われると考えられる。ここで、差圧荷重 F_1-F_2 は両ダイスによる切込み荷重線図 F_1 を F_2 だけ平行移動して得られ、図2(b)の実線で示した曲線のようになる。一方、AB面のせん断荷重 F_s は、加工硬化しない材料では図示のように平ダイスの切込みに対して直線的に減少すると予想され、両者の交点が分離時期を与える。また、差圧荷重曲線はリリース荷重 F_2 の設定を変えることで上下に平行移動し、これにともない分離荷重直線との交点も変化する。したがって、本機構では設定するリリース荷重の大きさによって分離時期を任意に制御できると考えられる。

図2 差圧を利用した分離機構

3. 予備実験

本機構の実現性を確かめるために、簡易的に油圧の代わりにばねを利用して予備実験を行う。図3に実験装置概略を示す。⑤の圧縮コイルばねには初期変位 δ が与えられており、 $F=K\delta$ (K はばね定数)以上の荷重でばねが縮みはじめノックアウト工具が下降する。実験はばねの許容荷重との兼ねあいから、表1に示す板厚1mmの純アルミニウム半硬質材を用いた $\phi 18$ の円形打抜きとする。また、突起部分の寸法は、対向ダイスせん断法における推奨値を採用する。

実験結果を以下に示す。図4はリリース荷重に相当

するばね力 F_2 を、初期変位 δ の調節により1.2kN~6kNまで変化させた場合の分離時期を表している。グラフは実線の直線および曲線が測定した分離荷重 F_s および切込み荷重 F_1 であり、点線は切込み荷重を設定した各ばね力 F_2 だけ平行移動させて求めた差圧荷重曲線 F_1-F_2 である。理論上の分離時期は図2(b)のようにして

表1 供試材料の機械的性質

Material	Thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	F-value (MPa)	n-value	Elongation (%)
A1050-H24	1	125	198	0.08	9
A1050-H24	4	119	153	0.05	24
SPCC	2.3	352	542	0.146	49.6

図3 予備実験装置概略

図4 差圧荷重と分離時期

●で求められ、これに対し実際の分離時期は、加工後の抜きくずの切残り厚さを測定することで○のようになる。理論値との間に若干のずれが見られるが、これはばねの変形速度が遅く、材料の変形に遅れたためであると考えられる。以上の予備実験の結果より、本機構の実現性、ならびにリリース荷重の設定によりある程度分離時期の制御が可能であることが確認された。

4. 差圧を利用した分離実験

4・1 実験装置および方法 本節では実用の大荷重を想定して油圧複動プレスにより差圧機構を形成し、基礎的な直線輪郭へ適用して動作を確認するとともに、差圧の設定による分離時期の制御と得られる分離面性状についても検討を行う。図5に工具配置を示す。図中③および⑤は紙面に垂直方向に300mmの長さを持つ直線輪郭工具であり、実験は同工具により幅100mmの帯板端部を5mmずつ切落とす形式で行う。供試材料には板厚2.3mmのSPCC材を使用し、その機械的性質は先の表1に併記した。また、突起寸法はこの板厚に対する推奨値を採用している。

図6に工具動作を示す。本来の対向ダイスせん断法では製品側が可動工具となるが、本実験では試片に対し抜きくず部分が極めて小さいため操作性を考慮して、図示のようにくず側を可動工具とした。工具名称は穴あけの場合に相当するが、この場合も工具の相対的動きとしての相違はなく対向ダイスせん断法の特徴は損なわれない。突起の押し込み量はかえりを抑制しうる範囲内でできるだけ小さい方が望ましく、ここでは板厚の20%としている。本来の工具動作に対応させれば、突起付きダイスによる切込み終了後、ロックアウト工具により製品を分離する工程は、同図(b)～(c)のようにポンチによる切込み終了後、突起付きポンチの後退により行われる。本実験ではこの間に差圧による分離機構を採用して工程の連続化をはかる。

図7に本装置による加工状況の概略を示す。図中のF0, F1, F2はそれぞれダイス, ポンチ, 突起付きポンチの加工荷重を表している。従来の方法では、図7(a)のようにポンチの切込みが止まってから、突起荷重F2を下げて最終分離を行うことになる。これに対し差圧による分離は、同図(b)のように突起押し込み後に突起荷重をある値まで下げておいてポンチを切込ませることで行われる。図示のF1-F2の箇所がポンチの切込み方向に生じる差圧荷重F1-F2であり、第2節で述べたようにこれが抜きくず部分の分離荷重F_sとバランスした所で、切削的切込みから連続して抜きくずの分離が達成される。

図5 実験装置概略および工具寸法

(a) 突起の押し込み (b) 切削的切込み (c) 抜きくずの分離
図6 工具動作

(a) 負荷の切替えによる分離

(b) 差圧を利用した分離

図7 加工状況

4・2 実験結果および考察 前節と同様に切込み荷重と分離荷重の測定を行ったが、その際、分離面に図8(a)のような微細割れが生じることが判明した。本供試材料のように延性が大きい場合、図9のように加

工硬化域がAB面近傍に幅を持って存在することが知られており⁴⁾、行程初期で変形面の傾き θ が小さいと、図9(a)のように硬化域の一部が製品内部にまで及ぶ。本実験は直線せん断で抜きくずの排除抵抗が少なく、この状態で加工硬化域の境界ACBに沿ってき裂が発生したため、AC部分の破断面が掘り込む形で残ったと考えられる。この破断は、ポンチ刃角に面取を施して行程初期のき裂発生を遅らせることで図8(b)のように抑制された。

図8 分離面概観

図9 微細割れ発生機構

図10 差圧荷重と分離時期

図10に具体的に突起側のリリース荷重 F_2 を15kNから60kNまで7.5kNずつ変化させた場合の分離時期を示す。●および○は、図4と同様にして求めた理論上の分離時期および実際の実験値である。今回は突起の押込みを先に行っているため、グラフ横軸の分離時期は突起押込み量(20%)を行程初期に補正してフルスケールを100%としている。結果を見ると、いずれの条件でも実験値○が理論値●よりも遅れていることが分かる。この原因を調べるために、突起荷重 F_2 とポンチ荷重 F_1 の時間的変化を測定した。図11はその結果であるが、分離時に突起側のリリース荷重が上昇している。本来なら過負荷に対してはリリース弁が作動して設定圧力に保たれるが、何らかの原因で弁の作動に遅れを生じサージ圧が発生したと考えられる。サージ圧については管路の摩擦、弁の精度等様々な発生要因が挙げられるが、今回は油圧シリンダとリリース弁の間を約1mのゴム管で連結しており、圧力検出位置と工具可動位置が離れていたことが主要な原因であると考えられる。理論値は、突起荷重を一定と仮定した場合の分離時期であり、図11のサージ圧による上昇分を差し引いて差圧荷重曲線を作成すれば分離時期はほぼ理論値と一致することが確認された。

図12は上記実験で得られた分離面を条件とともに示したものである。(a)~(c)は図13に示すA点からC点へき裂が結ばれ、通常の慣用せん断と同様の分離面となるが、(d)以降はA点からB点へき裂が結ばれるためかえりの抑制がはかられる。破断面は分離時期が遅くなるほど小さくなり(f)、(g)ではほとんど抑制されている。また、(f)、(g)には分離面に光沢の変化が見られ面にテーパが生じているが、これは行程終期で突起直下の材料が平板圧縮状態となり、製品側への材料流入が起こり、図14のように剛性的に弱い可動

図11 差圧分離時の加工状況

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
F2	15 kN	22.5 kN	30 kN	37.5 kN	45 kN	52.5 kN	60 kN
Separate stroke	31 %	43 %	62 %	75 %	84 %	90 %	94 %

図 1 2 分離時期による分離面性状の違い

図 1 3 き裂会合状況

図 1 4 分離面のテーパ

抗が少なく分離時に十分な静水圧力場が形成されないため、破断面は生じやすいと言える。破断面の低減には、突起頂部幅を広げたり、突起底面に角度をつけ製品側に傾けることが有効である。

以上の結果より、油圧を用いた場合にも差圧による分離が実現され、サージ圧を抑制できれば分離時期を制御して分離面性状を変えられることが実証された。

5. 汎用プレスによる1工程対向ダイス打抜き

本節では、せん断型と差圧分離のための油圧シリンダを一体化した一種のダイセットを試作し、汎用プレスによる単純な加圧動作のみで1工程の対向ダイス精密せん断を試みる。図16に装置概略を示す。輪郭形状はφ40の円形とし、試料さん幅は板厚と等しくした。供試材料には表1に示す板厚4mmの純アルミニウム半硬質材を使用し、突起部の寸法はこの板厚に対する推奨値を採用する。図中の上下2つの油圧シリンダは⑤が逆押えおよび製品エジェクト用、⑥が差圧調節用である。加工は本装置をクランクプレスのラム内に設置し、微速で1ストロークさせることで完了する。

具体的にリリーフ荷重を10kNから49kNまで変化させて求めた分離時期を図17に示す。前節と同様に●および○が理論上および実際の分離時期であるが、サージ圧の発生も少なく、ほぼ理論通りの分離時期が得られた。F2=29kNでのずれがやや大きい、これは差圧荷重曲線と分離荷重直線が接するように交差しており、交点を特定しにくいためであると考えられる。

図18に得られた分離面性状を各条件毎に示す。破断面は分離時期が遅くなるほど少なくなり、最後の(f)では閉輪郭で十分な排除抵抗が得られたため全面平滑となっている。また、装置の剛性の改善により図14のような分離面のテーパはなくなり良好な分離面が得られている。なお、今回は突起側の切込みは設定しなかったため、かえりの抑制ははかられていない。

本結果は汎用プレスによる1工程対向ダイスせん断

図 1 5 分離時期と分離面性状の評価

工具側がたわんで生じたもので、装置の剛性が得られれば低減可能であると考えられる。

図15は、分離時期を横軸にとり分離面性状を定量化してまとめたものである。各値はせん断輪郭の両端および中央の3箇所を測定して平均を取っている。かえり高さLbは、分離形態が変わる時点で消滅するため、グラフは不連続となっている。また、工具たわみ量dは加工力が急増し工具への負荷が増える行程終期で増加するが、その量は板厚に対して1%程度と微量である。破断面長さLfについては分離時期が遅くなるにつれて減少していくが、開輪郭のため抜きくずの排除抵

図 1 6 実験装置概略

図 1 7 差圧荷重と分離時期

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
F2	10 kN	20 kN	25 kN	29 kN	39 kN	49 kN
Separate stroke	11 %	25 %	36 %	56 %	80 %	88 %

図 1 8 分離時期による分離面性状の違い

法の可能性を示唆するもので、金型部分を交換式にするなど改良を加えれば、実用化の期待も大きい。加えて、1工程せん断では負荷の切替えがなくなり、従来複雑な形状を持つ製品で問題となっている分離面のテーパも抑制しうると予想される。

6. 結 論

対向ダイスせん断法において、新たに差圧を利用した分離機構を提案し工程の簡便化について検討を行った結果、以下の結論を得た。

- 1) 油圧の代わりにばねを利用した簡易型を用いて予備実験を行い、本機構により切削工程と分離工程の連続化がはかられることが確認された。
- 2) 油圧複動プレスにより差圧機構を形成し鋼板の直

線せん断に適用した結果、差圧による分離に成功し本機構の有効性が実証された。

- 3) サージ圧を抑制できれば、差圧の大きさにより分離時期を自由に設定でき、最適な分離時期の実現が可能である。
- 4) 差圧機構を組込んだダイセットを試作し、汎用クランクプレスによる単純な加圧動作のみで対向ダイスによる1工程精密せん断に成功した。

参考文献

- 1) 近藤, 精密機械, 31-9 (1965), 764.
- 2) R.Haag, Sheet Metal Industries. 37-397 (1960), 352.
- 3) 近藤・木村, 機論C, 35-277 (1969), 1972.
- 4) 近藤・前田, 第20回塑加連講論集 (1969), 101.