

薄板のかえりなしせん断加工

青木 勇*

1. まえがき

通常のせん断加工（以下慣用せん断）では、機構上かえりの発生を避けけることができない。かえりは製品機能を損ねるため、以前より対策が熱心に検討され、様々なせん断法が提案されてきた。前田¹⁾により開発された上下抜き法は、板の両側からせん断を行い両面にだれを形成し、かえりなしとするもので、現在提案されている工法の先駆け技術である。この上下抜き法の第二工程を平板による押し戻しに置き換えた平押し法が牧野氏²⁾により提案されている。この方法は第一工程を負のクリアランスとする金型製作上の注意は必要であるが、加工条件も緩やかで容易にかえりなし製品が得られる。本研究はこの方法について加工機構、加工条件の影響等について実験的に調べたものである。

2. 加工原理

Fig.1 に加工原理を示す。第一工程で半抜きした材料を第二工程で押し戻すことで分離する。この加工機構は仮想せん断の考え方で Fig.2 のように説明できる。(1)は素材板厚 T を負クリアランス C （対板厚比では $k=C/T$ ）で xT だけ半せん断した状態を示す。ここに x パンチの食い込み量（対板厚比）である。ハッチング部分は材料の一部を特定したもので、ダイ上部分を仮想ダイ、パンチ下部分を仮想パンチと考えると、第二工程は(2)のようにこれら仮想工具による仮想せん断と考えることができる。仮

想せん断は第一工程の残留板厚 $t(=T(1-x))$ をせん断するので、この部分のせん断製品は(3)のようになる。このときの仮想クリアランス $k'=C/t$ となる。仮想ダイ、仮想パンチはいずれも材料の一部であるので、本来の工具に比べれば、剛性は低く、切れ刃相当部分の変形は避けられない。こうした

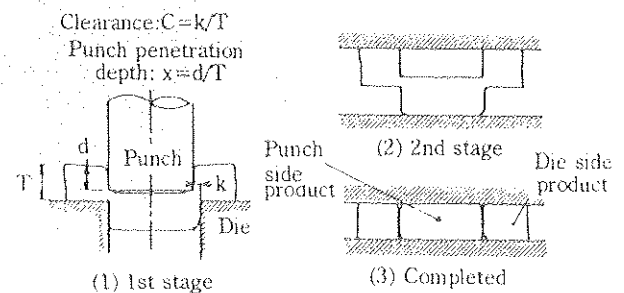
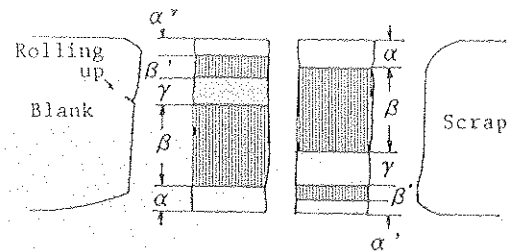


Fig.1 Principle of push-back blanking



- α : Droop formed at 1st step
- α' : Droop formed at 2nd step
- β : Smooth burnished surface formed at 1st step
- β' : Smooth burnished surface formed at 2nd step
- γ : Fractured surface formed at 2nd step

Fig.3 Schematic illustration of sheared edge of burr-free blanked product.

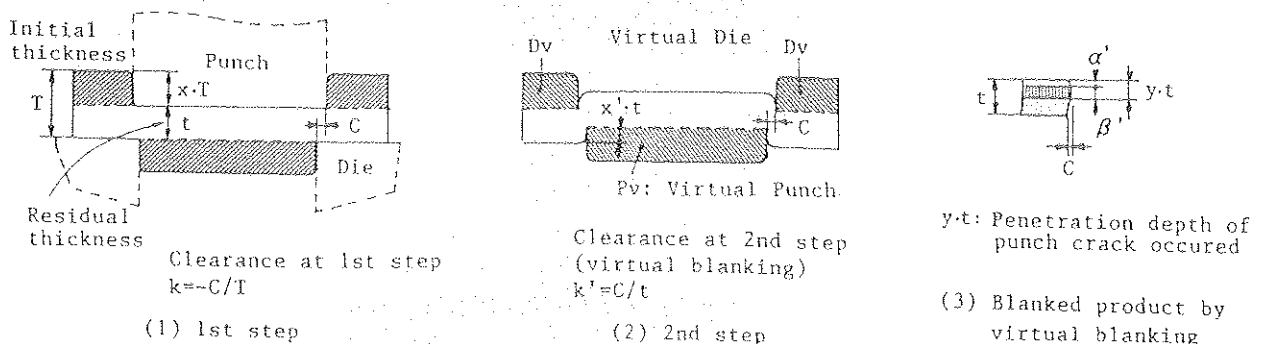


Fig.2 Hypothesis of blanking with virtual punch and die.

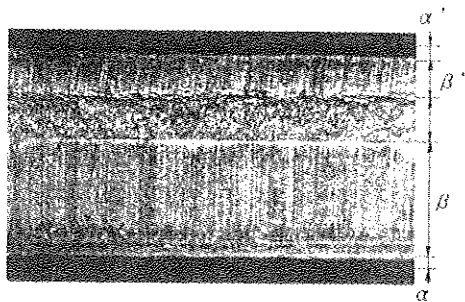


Fig.4 Typical sheared surface of burred burr-free product. (aluminum).

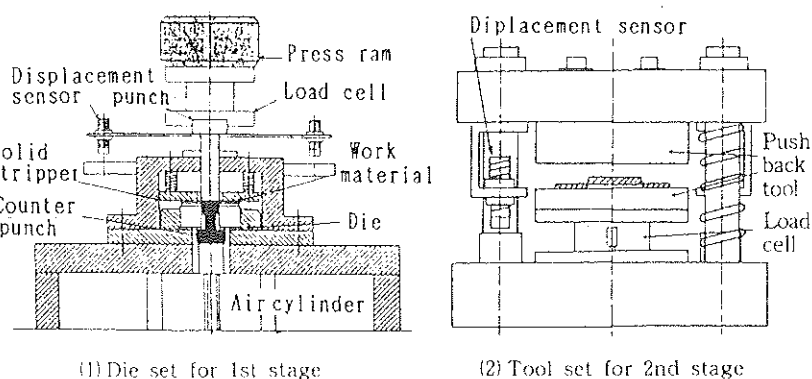


Fig.5 Experimental apparatus

点は慣用せん断と異なるのではあるが、加工現象をうまく説明することができる。

切り口面は Fig.3, Fig.4 のように第一工程でできるだけ、平滑面、第二工程でできるだけ、平滑面、さらに第二工程分離時に生じる破断面から構成され、かえりはない。第一工程の負クリアランスは第二工程で正クリアランスとなり、材料同士の擦り現象を回避できる。

3. 検討事項

機構上、かえりの発生を全くみないのであるが、実加工にあたっては検討すべき事項が多くある。一つは適正な加工条件である。第二工程で仮想せん断がうまく行われるように第一工程のクリアランスと食い込み量を設定しなければならない。仮想せん断の妥当性が確かめられれば、慣用せん断のデータが使えることになり便利である。また角部輪郭を持つ製品、極薄板製品へ適用や、さん幅の影響などの問題があり、これらを実務的観点から詳細に調べる必要がある。

3.1 金型

原理的には半せん断型と平押し型が必要であり研究用に用いた丸形 ($\phi 16$ 打抜き) の場合を例として Fig.5 に示す。この場合は逆押さえも適用できる構造であるが、無くても分離はできるが製品の形状は変化する。なお、適用板厚が薄くなるほど金型に高い精度 (パンチ、ダイの合わせ、クリアランス等) が必要となる。順送型による加工は勿論可能であり、むしろこちらが一般的というべきであろう。

3.2 仮想せん断の妥当性

慣用せん断におけるせん断抵抗、平滑面長さ等から仮想せん断の妥当性を吟味できる。Fig.6 は 1mm 厚アルミ材の $\phi 16$ 打抜きの場合であり、せん断抵抗を慣用せん断と仮想せん断について比較したものである。第一工程クリアランス k の値によって値は

異なり、これは素材の加工硬化によるものである。また Fig.7 は平滑面長さを比較したものである。値に差はあるものの傾向は類似しており、ほぼ仮想せん断が成立していることがわかる。こうしたことから平押しに成功する条件を Fig.8 の模式図として示すことができる。すなわち、第 2 工程における仮想クリアランス k' が、良好な慣用せん断クリアランスと同じになれば良く、概ね斜線で囲まれた部分が適当といえる。すなわち、クリアランスは 5 ~ 20% 程度、食い込み量は 60 ~ 80% 程度となる。

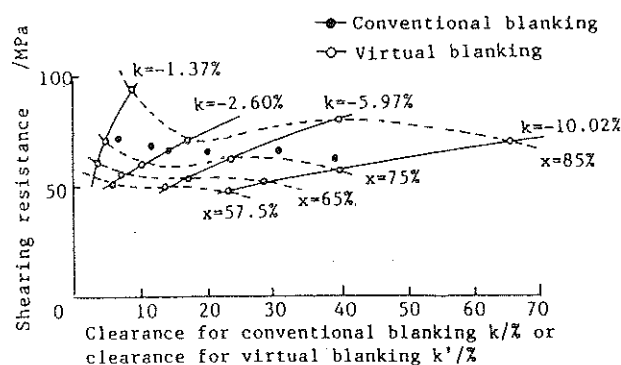


Fig.6 Relation between shearing resistance and clearance.

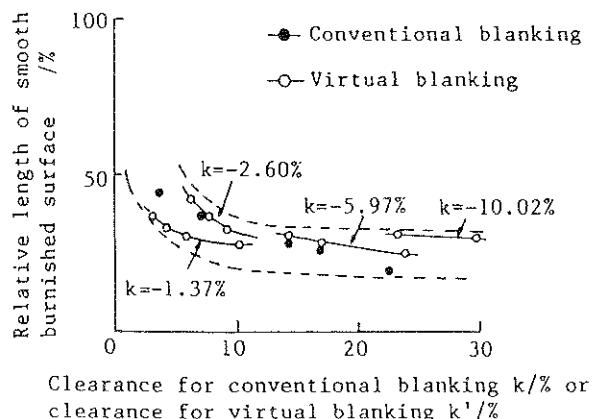


Fig.7 Relation between smooth burnished surface and clearance.

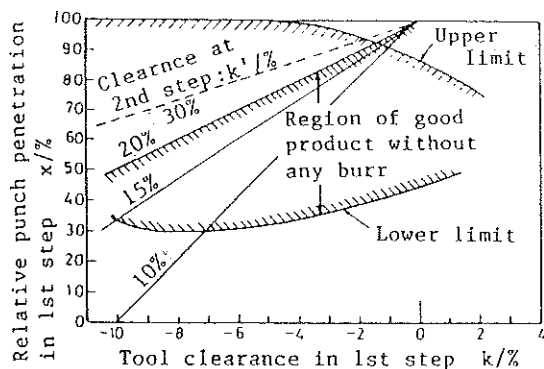


Fig.8 Relation between penetration depth of punch and clearance for succeeding in burr-free blanking.

3.3製品断面形状

製品断面形状は第一工程のクリアランスと食い込み量で決まる。Fig.9はこの例であり、クリアランスが負で大きいと飛び出し段差を生じ、このときの食い込み量で段差長さが決まる。クリアランスがゼロに近い方が直角に近い良好な面が得られるが、分離しにくくなる。これを解決するにはFig.10のようなテーパ付きパンチの使用が効果的であり、Fig.9(d)のようにクリアランスがゼロでも分離し、且つ理想に近い形状が得られる。

3.4薄板材への適用

これまで述べたように、第一工程の半抜き条件が加工のポイントであり、薄板の場合、特に重要となる。例えばクリアランス $k=-10\%$ 、食い込み量を $x=70 \pm 10\%$ とすると板厚 $100 \mu\text{m}$ の場合、それぞれ $-10 \mu\text{m}$ 、 $70 \pm 10 \mu\text{m}$ となり、加工の困難さはかなり増す。実験によれば $\phi 6$ 打抜きの場合の成功域は Fig.11 のように百分比で表現すれば相当広いが絶対値寸法はかなり厳しい値である。なお、素材板厚 $50 \mu\text{m}$ の場合、金型の都合で小さなクリアランスの実験を行っていないことを付記する。

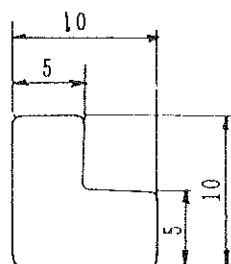


Fig.12 Blanking contour
(Edge radius: 0.2 and 05 mm)

角部を有するせん断は多い。角部の丸みと角度によって加工の厳しさは異なるが、ここでは Fig.12 の製品に対し、角度 90 度、丸み R0.2, R0.5 の場合を調べている。1mm 厚材料の場合板厚に対する角丸みの比は

Condition	Semi-hard aluminum	Soft aluminum
(a) $k=-10.2\%$ $x=57.5\%$		
(b) $k=-5.97\%$ $x=65.0\%$		
(c) $k=-1.37\%$ $x=85.0\%$		
(d) Tapered punch $k=0\%$ $x=80.0\%$		

Fig.9 Profiles of burr-free blanked products.

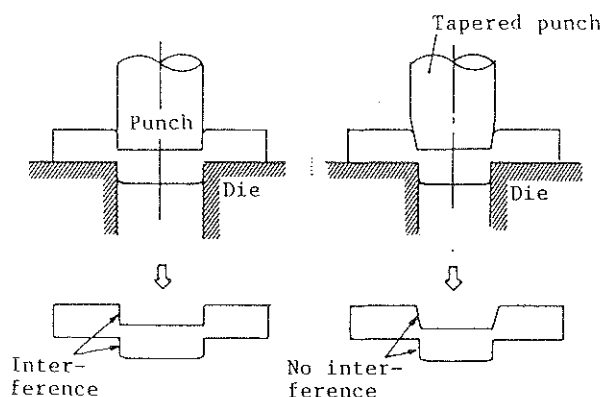


Fig.10 Burr-free blanking technique by tapered punch.

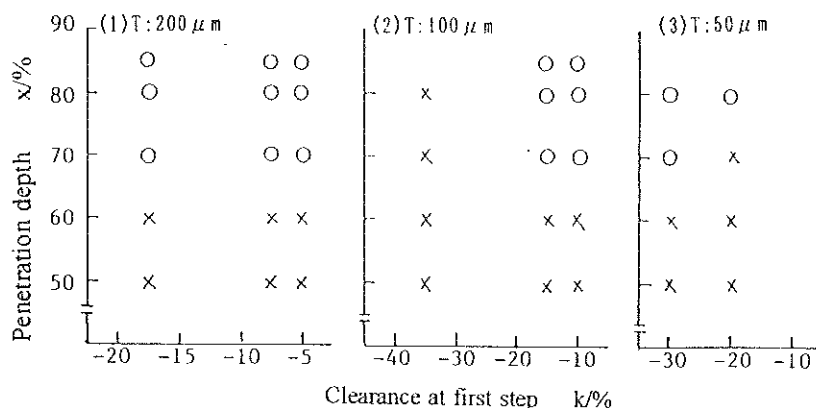


Fig.11 Recommendable condition for burr-free blanking (Copper)

0.2 となる。一般的には工具摩耗の観点より 0.25 以上が推奨されているので実用的な目途にはなろう。結果を Fig.13 に示す。クリアランス-10%一定とした場合で、成功域は相当広くあり、特に大きな問題はない。製品角部写真を Fig.14 に示すが、きれいなかえりなし製品が得られている。

以上のように通常の形状製品、また薄板材にたいしてもほぼ問題なく平押し法が適用可能なことがわかる。但し、薄くなるほどクリアランスや食い込み量の設定が厳しくなることは避けられない。

3.5 材料さん幅

材料歩留まりを高く保つためには、さん幅を小さくとることが望ましい。平押し法においては、素材の一部が仮想工具となるため分離しやすさに制約を生じる危惧がある。例えば Fig.15(1)のようなせん断では、Fig.16 のように僅少さん幅領域で成功域が狭くなる。これは仮想せん断行うのに十分な仮想ダイ強度が得られないためである。従ってある程度さん幅をとらざるを得ず、板厚の3～5倍程度は必要であろう。

さん幅をある程度大きくとる理由が別にある。それは僅少さん幅では第一工程で切り口面に破断部を生じ、分離後もこれが残留するためである。この状況を Fig.17 に示す。この傾向は Table 1 のように負クリアランスの大きいほど顕著であり、理由は Fig.18 のように考えられる。加工が進むと、加工硬化を生じ、さらにクリアランス近傍材料はパンチ・ダイで圧縮され、ダイ上面材料は外向きに移動する。このため、き裂を生じるが、さらに圧縮が進むと刃先近傍の静水圧が増し、き裂が停止する。従ってこれは板押さえ力と摩擦状態に依存するとも考えられる。

3.6 製品輪郭に沿う盛り上がり

加工条件によって、Fig.19 のような盛り上がりの発生を見ることがある。これは逆

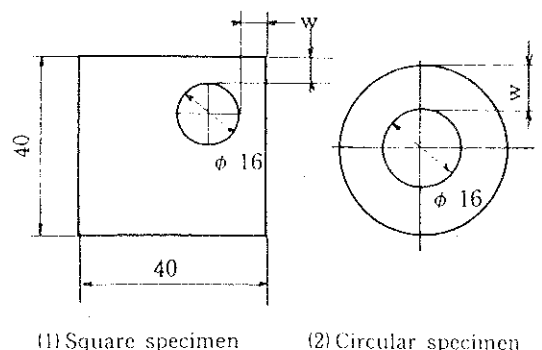


Fig.15 Definition of scrap width

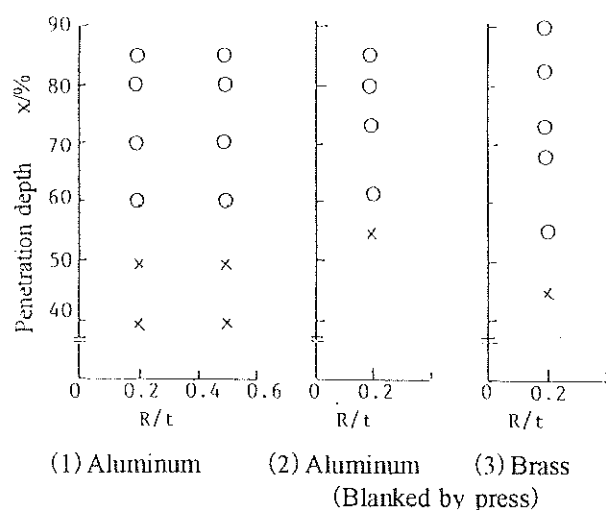


Fig.13 Recommendable condition for burr-free blanking



Fig.14 Burr-free blanked product (Aluminum, R=0.5mm)

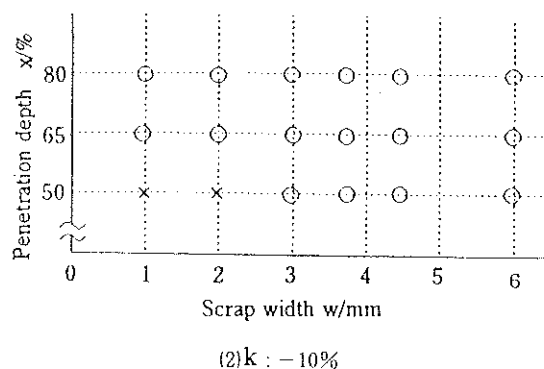
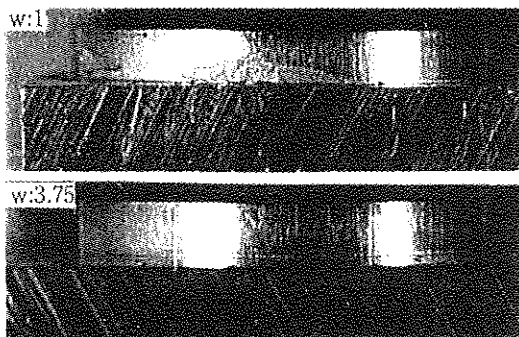


Fig.16 Recommendable condition for burr-free blanking (Semi-hard aluminum, Square specimen)



(1) Square specimen
(Punch penetration depth $x:65\%$)

Fig.17 Fractured zone observed at 1st stage
(Semi-hard aluminum, $k:-3.3\%$)

Table 2 Scrap width dependences of fractured zone

Scrap width w/mm	Clearance at 1st stage $k/\%$			
	-0.3	-1.7	-3.3	-10.0
1.0	×	×	×	×
2.0	○	○	×	×
3.0	○	○	×	×
3.75	○	○	○	○
4.5	○	○	○	○
6.0	○	○	○	○

○: No fractured zone observed
×: Fractured zone observed

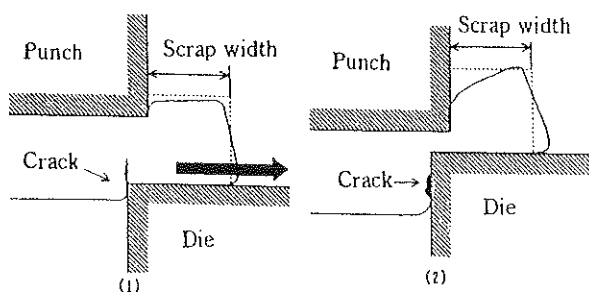


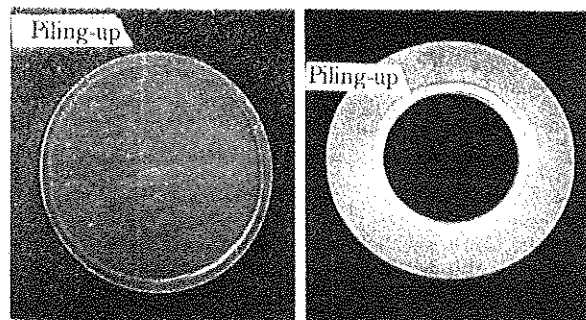
Fig.18 Schematic illustration showing formation mechanism of fractured zone

押さえ、板押さえを用いるとパンチ面側に、板押さえ隙間を設けるとダイ上面部に生じる。この機構は Fig.20 のように負クリアランス部の余剰材料が流動したものである。特に硬質材では変形域が狭いので目立つ。軟質材でも盛り上がるが、変形域が広く目立ちにくい。

4. おわりに

平押し法について実験的に検討した。概要をまとめれば以下になる。

- 1) 成功域は第一工程クリアランスは $-5 \sim -20\%$ 、食い込み量は $60 \sim 80\%$ 程度である。クリアランスがゼロ近いと直角度は良くなるが、分離しにくくなる。
- 2) 分離機構は仮想せん断で説明でき、慣用せん断のデータから、加工力、分離面性状がほぼ予測できる。



(1) Punch side product (b) Die side product

Fig.19 Piling-up observed at burr-free blanked products
(Semi-hard aluminum, $C:-12\%$, $x:80\%$)

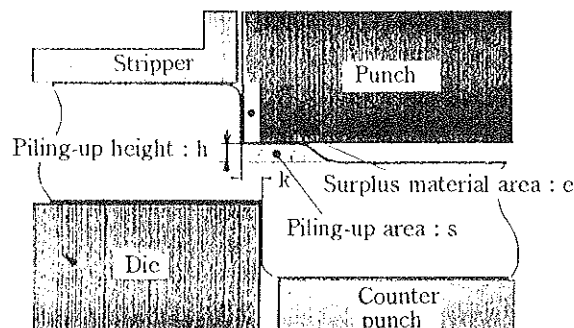


Fig.20 Schematic illustration of half-blanked products with piling up at punch side.

- 3) 板厚が変化しても加工の相似則がほぼ成立するが、クリアランスと食い込み量の設定は数値的には厳しくなる。
- 4) 角部を持つ製品に対してこの方法は適用できる。
- 5) 僅少さん幅は成功域を狭め、第一工程で破断面を生じることがある。板厚の $3 \sim 5$ 倍程度とれば概ね問題ない。
- 6) クリアランスを負に大きくとるとパンチ面、またはダイス面材料に盛り上がりを生じる。これは負クリアランス部材料が流動した結果である。

謝辞：本研究は天田金属加工機械技術振興財団の研究補助を得て行われたものであり、同財団に深甚の謝意を表する。

また、本研究の遂行にあたり、牧野育雄氏の有益且つ暖かい助言を頂いた。併せて心より御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 前田 禎三：機械の研究，10-1 (1958) 361.
- 2) 牧野育雄：プレス技術，13-5 (1975) 93.
- 3) 牧野育雄：プレス技術，25-13 (1987) 73.
- 4) 青木 勇・前田 禎三：塑性と加工 32-364, (1991) 621.
- 5) 青木 勇・高橋 俊典：塑性と加工 39-445 (1998) 131.