

せん断加工におけるかえり抑制に関する研究

神奈川大学 工学部 機械工学科

教授 青木 勇

(平成2年度研究開発助成 AF-90005)

This paper describes various processing mechanisms in the push-back blanking method: a burr-free blanking method. In the first step, the influence of working conditions such as clearance, punch travel, counter-punch force on the separation mechanism, successful range, shearing force, shearing energy and dimensional accuracy of the product, is investigated through experiments. In the second step, the mechanism of product separation from a raw material can be reasonably explained by the "virtual blanking hypothesis". However, in the case of excessively large negative clearance, partial tensile fracture occurs. Application of counter-punch force widens the successful range and decreases shear energy. The dimensional accuracy of products is affected by the above-mentioned separation mode; in particular, the dimensions of die-side products become larger with increasing clearance.

Key words: shearing, blanking, push-back blanking, virtual blanking, clearance, blanked product, dimensional accuracy

1. 緒 言

せん断製品のかえりは以前から問題にされていたが、近年特に注目されている。この理由はせん断製品が精密機械・電子機器の構成要素として広く用いられるようになったことが大きい。加工条件の選定によりかえりを小さくすることはできるが、完全にゼロにはできない。これを達成するのがかえりなしせん断加工である。これまでいくつかの手法^{1)~11)}が提案され、それぞれ固有の長所をもっている。ここではその中で平押し法⁴⁾⁵⁾を取り上げ、その加工機構と加工条件に関し実験的検討を行った。平押し法では上下抜き¹⁾の第二工程を平板による押し戻しとし加工の簡素化を計ると同時に、積極的に負クリアランスを採用し分離時の問題を解決している。

平押し法に関しては提案者である牧野をはじめ、青木らにより分離機構や加工条件について調べられてきた。しかし本法を広く実務に供するには、これまでの検討では不十分である。そこで、成功域・加工力・製品精度等に及ぼす加工条件の影響を広い範囲について調べ、本手法の実務上の問題を解決することとした。

2. 実験装置及び方法

平押しによるかえりなしせん断は半抜き材料を作る第一工程とこれを元の板厚に押し戻す第二工程からなる。

Fig. 1はせん断実験装置の主要部である。(1)は第一工程の金型で基本的構造は前報と同じであるが、逆押えの設定及びこの力測定が容易な構造に変更している。工具は呼び径を16mmとし、パンチ、ダイの組合せでクリアランス

を設定する。(2)は第二工程用の平押し金型である。せん断荷重 P 、平押し荷重 P' 、逆押え力 C_p 、及び第一工程パンチ変位 s 、平押し変位 s' のデータはパーソナルコンピュータに取り込まれ処理される。

Table 1は用いた材料である。2種類のアルミニウムを用

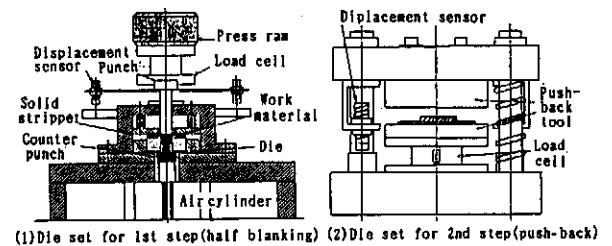


Fig. 1 Experimental apparatus.

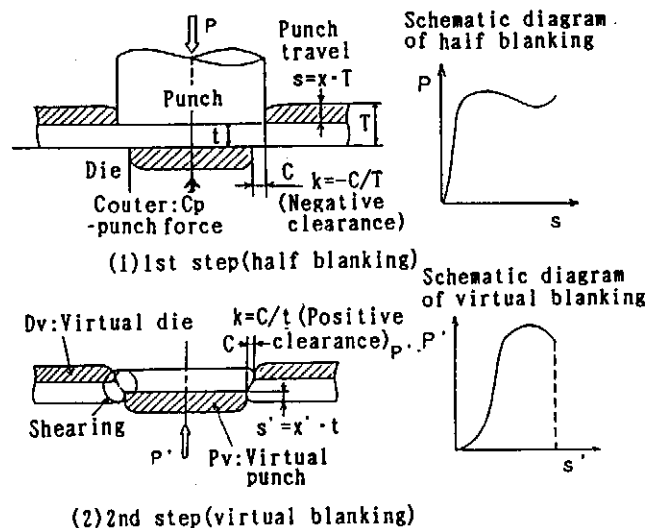


Fig. 2 Hypothesis of virtual blanking.

いているが、主に板厚1mmの半硬質アルミニウムで検討を行っている。Table 2は第一工程の実験条件を示す。逆押え力は300N、1200Nとしており、それぞれ第一工程せん断荷重のほぼ5%と20%に相当する。潤滑油は粘度32cSt (40℃) パラフィン系油を用いている。

3. 仮想せん断の考え方に基づくデータの整理

以下、第二工程である平押し工程を仮想せん断⁴⁾⁵⁾と考へ、データ等を整理する機会が多い。以降の説明をわかりやすくするため、仮想せん断の概略を述べる。Fig. 2のように、板厚Tの素材を負の第一工程クリアランスk ($= -C/T$) で半せん断し、第二工程で押し戻すが、この工程を仮想工具 D_v 、 P_v で残留板厚 $t (= x \cdot T)$ をせん断すると考えるのである。そしてすべての加工条件は残留板厚 t を基準として検討される。平押し工程の仮想クリアランス k' は C/t で正值となり、慣用せん断に類似するため製品が素材から分離しやすいことがわかる。仮想せん断を考える理由

Table 1 Materials tested

Material		Tensile strength /N·mm ⁻²	Elongation /%
1mm thick aluminum			
Semi-hard	A1100P-H24	120	12.2
Soft	A1100P-0	95	35.0

Table 2 Shearing conditions in 1st step

Clearance k/%	Counter punch force Cp/N		Relative punch travel (Penetration depth) x/%
-1~-20	0		50~80
	300 1200		

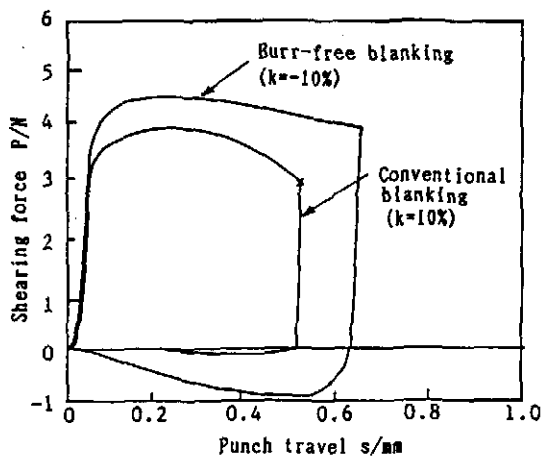


Fig. 3 Shearing diagrams of 1st step on burr-free blanking and conventional blanking. (Material: Semi-hard)

は、平押し工程及び製品性状の検討に際し、慣用せん断の知識を準用できると考えられるためである。

4. 実験結果及び考察

4.1 第一工程の加工力

Fig. 3は第一工程のせん断線図例である。パンチ寸法を揃えた慣用せん断の線図も併せて示す。Fig. 4はクリアランスとせん断抵抗の関係を示す。本加工の第一工程は $k < 0$ の領域であり、 $k > 0$ は慣用せん断における値を示す。クリアランスが負で大きくなるとパンチ、ダイ間での圧縮応力成分が大きくなり、せん断抵抗も増大する。Fig. 5は引抜き抵抗とパンチ食込み量の値を示す。クリアランスが負で大きいほど、またパンチ食込み量が大きい程引抜き抵抗は大きい。クリアランスが負で大きいとパンチ側力が大きくなり、また、パンチ食込み量とともに側面が材料と摩擦する面積が増大するためである。大きな引抜き抵抗はパンチ刃先欠損の原因となるため、この値を小さくする配慮が必要である。

4.2 第二工程の分離成功域に及ぼす逆押えの効果

分離に成功する条件について検討する前に成功域の定義を明確にしておく。これは第二工程、すなわち平押し工程における仮想せん断線図で示すことができる。Fig. 6は3つの仮想せん断線図パターンを示す。すなわち、

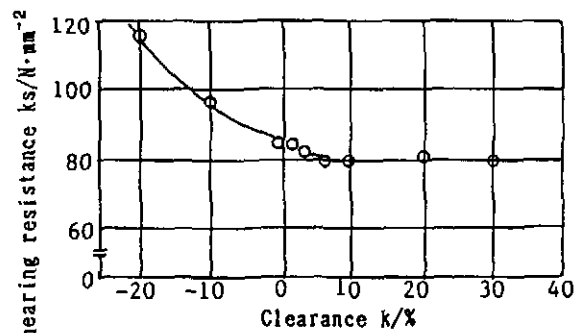


Fig. 4 Relation between shearing resistance and clearance. (Material: Semi-hard, Cp: 0)

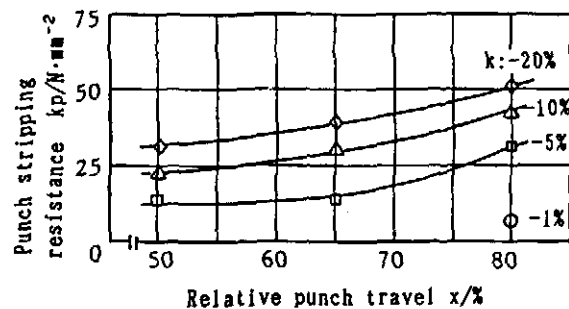


Fig. 5 Relation between punch stripping resistance and relative punch travel. (Material: Semi-hard, Cp: 0)

- (1) 慣用せん断のようにせん断荷重が完全に零となる場合。このときは明らかに自然分離である。
- (2) せん断荷重が零に至る途中で工程が終了する場合。この場合は指圧によって分離することがあり、これを指圧分離と呼ぶ。分離荷重は約50N以下とした。
- (3) まったく分離に至らない場合。

こうした定義に基づき求めた分離成功域を Fig. 7 に示す。分離に成功する第一工程クリアランスは-5%より負に大きく、パンチ食込み量は50%ないし65%以上で、前報と同じである。逆押え力の効果は明瞭で、用いない場合に比べ、300N、1200Nと大きくするほど成功域は広がる。これは第一工程で生じる製品わん曲の大きさと密接な関連がある。Fig. 8 は第一工程で半抜きした試料を押し戻す平押し工程の変形状態を示す。クリアランスは (1) -5%、(2) (3) -20% の場合である。いずれもパンチ食込み量は65%一定である。これらより、逆押えを用いないと、わん曲が大きく、第二工程ではこのわん曲を矯正しつつ仮想せん断を行うこととなる。従って工程の進行とともにわん曲が矯正される結果、材料は板面方向に広がり、ダイ側材料と摩擦するようになる。このため、わん曲が大きいと分離域が狭くなる。この傾向はクリアランスが負に大きい程、またパンチ食込み量が大い程著しくなる。こうしたことから、分離域を広く取るには、逆押えを必ず用い、第一工程の負クリアランスと食込み量は、分離に成功する範囲内で小さくすることが良いといえる。これは、第一工程のせん断抵抗と引抜き抵抗を小さくする条件とも一致する。

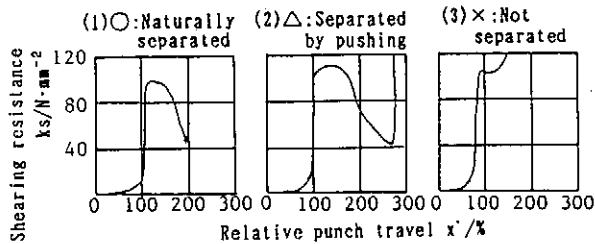


Fig. 6 Examples of shearing diagram of 2nd step. (Material: Semi-hard)

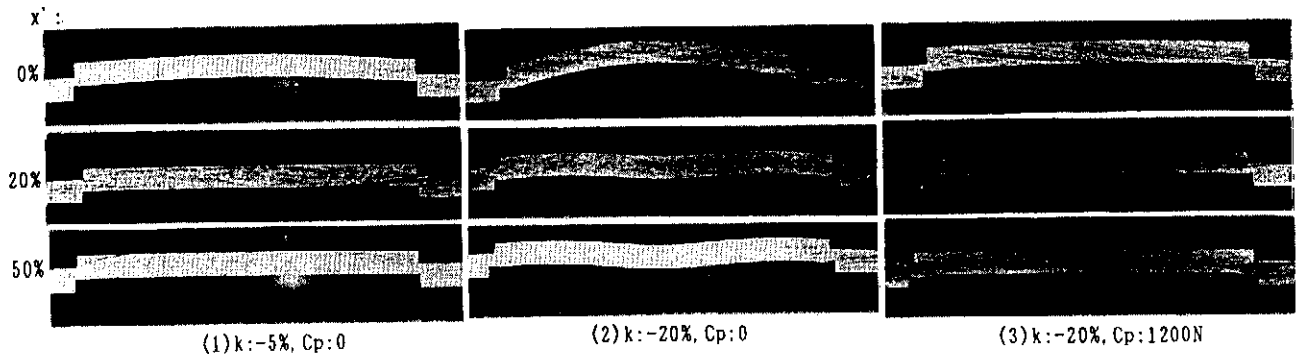


Fig. 8 Deformation of material in 2nd step. (Material: Semi-hard)

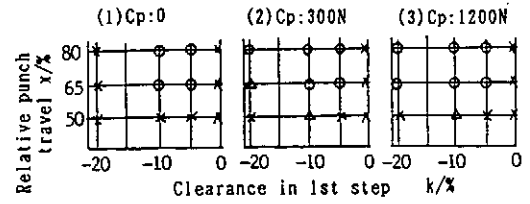


Fig. 7 Successful range of burr-free blanking.

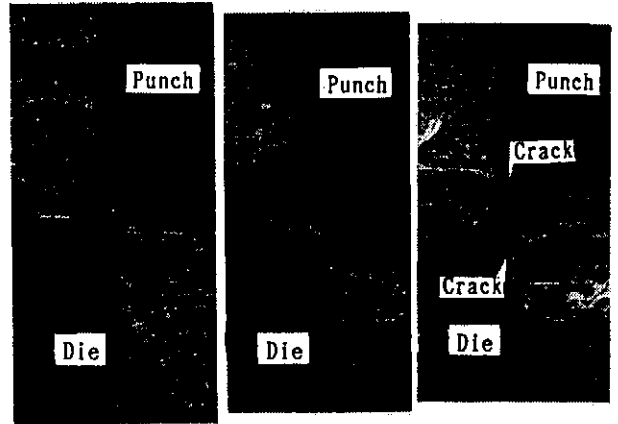


Fig. 9 Micrographs showing metal flow in 2nd step (1). (Material: Semi-hard, k: -5%, x: 80%, Cp: 1200N)

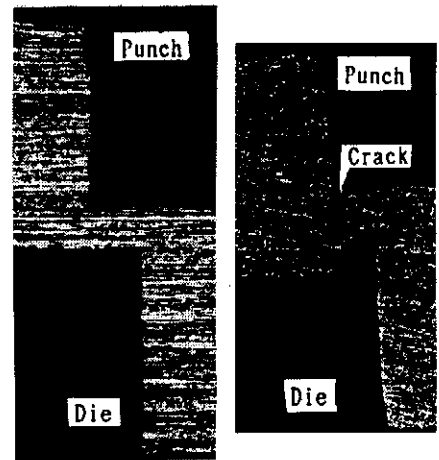


Fig. 10 Micrographs showing metal flow in 2nd step (2). (Material: Semi-hard, k: -20%, x: 80%, Cp: 1200N)

4.3 分離形態

クリアランス近傍材料の第二工程の顕微鏡観察から分離形態に及ぼす加工条件の影響を検討する。Fig. 9はクリアランス-5%で逆押え力1200Nの場合である。このように第一工程クリアランスが小さい場合は仮想ダイ、仮想パンチに相当する部分からき裂が発生しており、仮想せん断がほぼ成立している。ところがFig. 10のようにクリアランスが-20%と大きくなると状況が変化する。すなわち、仮想ダイ相当部分にき裂を生じると、このき裂のみが板面方向に成長し分離に至る。これはFig. 11に示すように仮想クリアランスが大きくなる結果、仮想ダイからの垂直力により材料が曲げ変形を生じ、仮想ダイ部分は引張応力状態となりき裂を生じる。他方、仮想パンチ刃先側は圧縮応力状態となり、き裂が発生しにくい。また、仮想ダイ刃先から生じたき裂も高い圧縮応力場を避ける結果、仮想パンチ刃先に向かわない。以上のように負のクリアランスが小さい場合は仮想せん断がほぼ成立するが、大きい場合は一方からのき裂で分離が完了することがある。

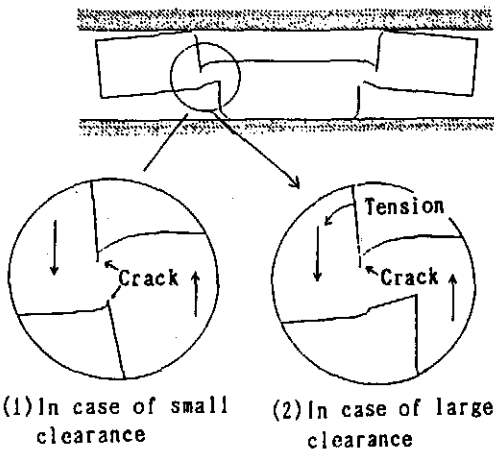
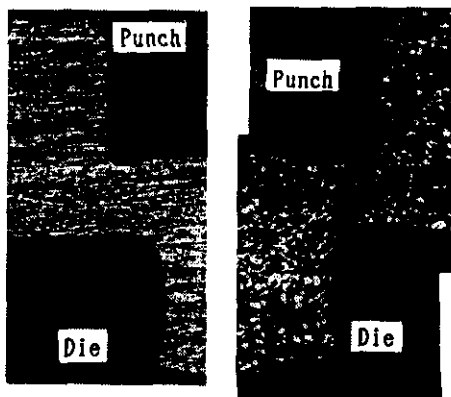


Fig. 11 Separation model in 2nd step.



(1) Material: semi-hard (2) Material: Soft hard

Fig. 12 Micrographs showing metal flow in 2nd step (3). (k : -20%, x : 65%, C_p : 0)

逆押えの適用に関しては製品の直角度とも関連がある。Fig. 12は第一工程が-20%、パンチ食込み量65%である。この場合、パンチ下材料側面は曲面となっている。これはFig. 8でも示したようにパンチ下材料が大きくわん曲する結果、側面もこれに対応する変形を生じるためである。以上のように製品性状、並びに分離域からも逆押えの適用は積極的に推奨される。

4.4 第二工程の加工力と加工エネルギー

第二工程、すなわち仮想せん断におけるせん断抵抗とクリアランスの関係をFig. 13に示す。これは、Fig. 6に例として示したせん断抵抗-パンチ食込み量線図の最大せん断抵抗であるが、ここではFig. 6 (3)のように分離しなくても、押し戻し完了以前に最大値が生じる場合はこれも含めてある。基本的な第一工程クリアランス、パンチ食込み量の影響は前報とほぼ同じであるが、ここでは逆押えの影響に注目する。同図のように逆押えを付加することによって、

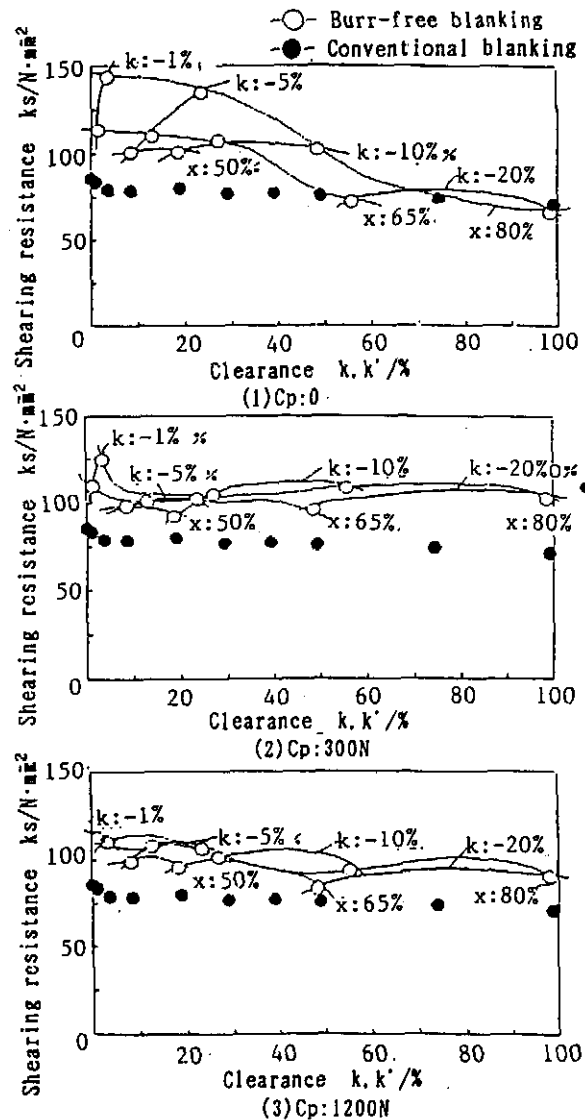


Fig. 13 Relation between shearing resistance and clearance. (Material: Semi-hard)

第一工程の条件毎のばらつきを小さく抑えられる。これはわん曲を防止し、安定した加工となるためと思われる。また値の絶対値が慣用せん断にくらべ高めとなっている。これは主に材料のクリアランス部分の加工硬化によると考えられる。クリアランス近傍材料のビッカース硬さ測定結果をFig. 14に示す。このようにクリアランス部分は相当加工硬化しており、これがせん断抵抗を高くしている主な原因である。従って、第二工程の加工力の見積りには、材料の加工硬化を見込み、大きめに考える必要がある。

比せん断仕事をFig. 15に示す。慣用せん断に比べ仮想せん断の仕事が概して高く、逆押えを用いると小さくできるが限界がある。この理由は、仮想せん断では次の3つの仕事成分があるためと考えられる。

- (1) 純粹にせん断加工する仕事：これは慣用せん断加工とほぼ同じと考えられる。
- (2) 半抜き材料のわん曲を矯正する仕事：材料の変形の節で示したように逆押えの有無によって半抜き製品のわ

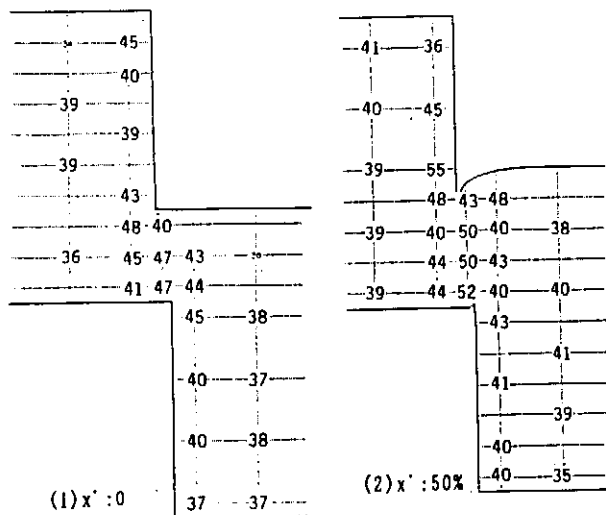


Fig. 14 Vickers hardness distribution of half blanked product and push back product (Material: Semi-hard, $k: 5\%$, $x: 65\%$, $C_p: 0$)

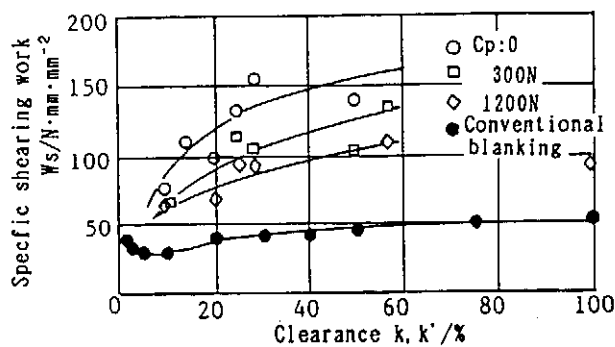


Fig. 15 Relation between specific shearing work and clearance. (Material: Semi-hard)

ん曲は大きく異なる。つまり第二工程はわん曲を平坦に矯正しつつ、仮想せん断を行う。したがって逆押えがないか、あっても十分でない場合、平坦化に要する仕事成分を考慮しなければならない。

- (3) 仮想工具の変形：仮想せん断は材料自体の一部を工具とするせん断である。つまり工具と被加工材が同じ材料で構成される。この状況は重ねせん断をモデルとして考察することが可能である。Fig. 16は1mmのアルミニウム板材を積層し、同時にせん断する工程を調べたものである。同図より明らかなように、本来の工具に接する材料部分は通常のせん断と類似の切込みが行われている。他方、中間材料は自己と同じ材料にはさまれており、実質的に同じ材料でせん断されており、両者の刃先相当部分は同じ変形をしている。この

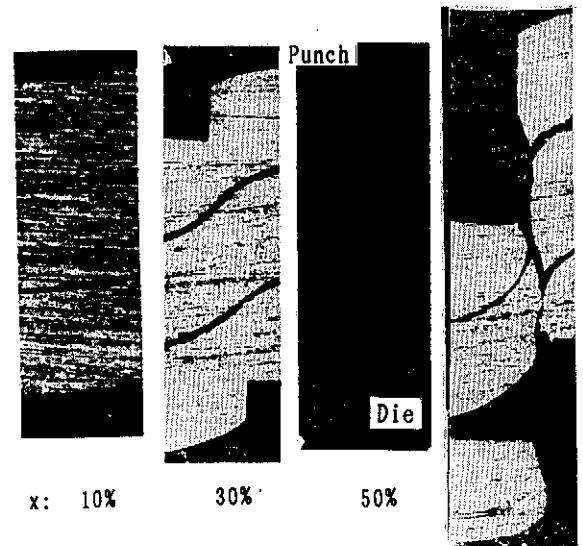


Fig. 16 Micrographs of metal flow in blanking of laminated sheets. (Material: Semi-hard, $k: 5\%$)

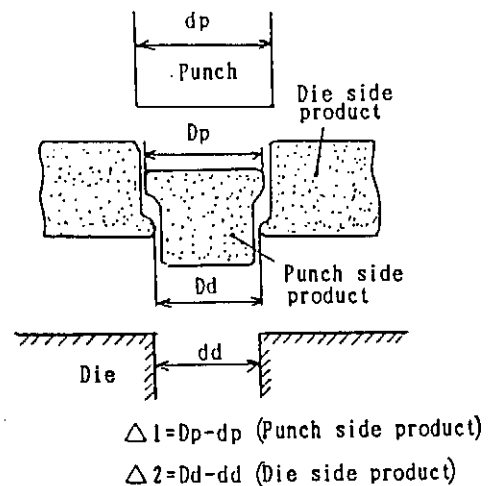


Fig. 17 Definition of dimensional accuracy of burr-free blanked products.

ことより概略慣用せん断に比べ2倍の仕事が必要とするといえる。

以上のようにせん断仕事を小さくするには、第一工程で生じるわん曲を抑えることで小さくできるが、慣用せん断の2倍程度は最低限必要である。

4.5 寸法精度

製品と工具の基本的な寸法関係をFig. 17に示す。すなわちパンチ側製品最大寸法 D_p はパンチ直径 d_p に、ダイ側製品最小寸法 D_d はダイ穴内径 d_d にそれぞれ倣う。Fig. 18、Fig. 19は製品寸法と工具寸法の差を寸法精度として第一工程クリアランスに対して次のように示したものである。

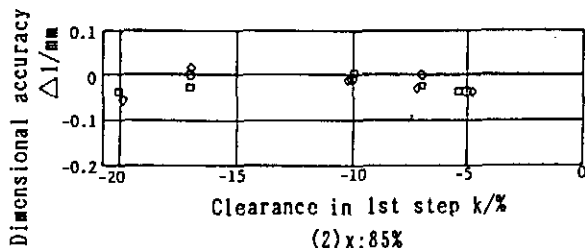
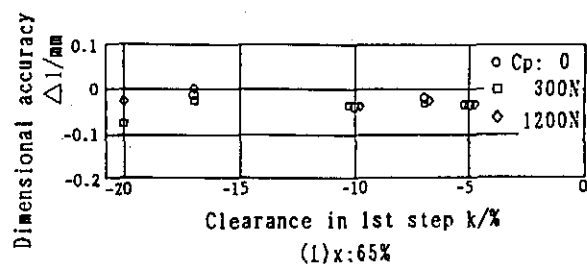


Fig. 18 Dimensional accuracy of punch side products. (Material: Semi-hard)

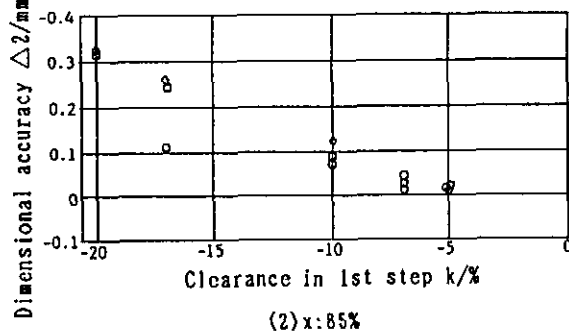
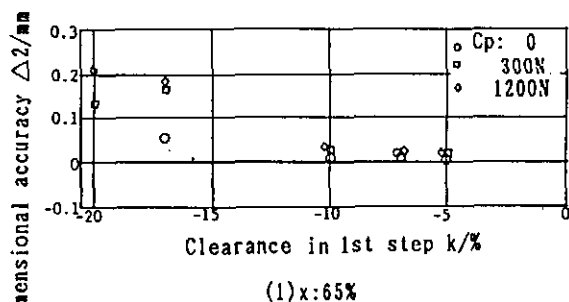


Fig. 19 Dimensional accuracy of punch side products. (Material: Semi-hard)

寸法差 $\Delta 1 = D_p - d_p$ (パンチ側製品)

寸法差 $\Delta 2 = D_d - d_d$ (ダイ側製品)

工具との基本的な寸法関係は成立しているが、若干の差がある。ダイ寸法の精度はクリアランスの影響をあまり受けないが、パンチ側寸法はクリアランスの大きい領域で相当大きくなる。これはFig. 10で示したように分離が仮想ダイ側からのき裂のみで完了し、しかもこのき裂が仮想パンチ側に向わず、板面方向に走るためである。従ってクリアランス寸法にほぼ等しい寸法差を生じることとなる。

5. まとめ

かえりなしせん断として平押し法を取り上げ、成功域・加工力・加工機構・寸法精度に及ぼす加工条件について調べた。得られた結果は以下のように要約できる。

1. 第一工程のせん断力は負クリアランスとともに大きくなる。これは圧縮力成分が重畳するためである。また引抜き力は負クリアランスが大きいほど、食込み量が大きい程大きくなる。
2. 適切な逆押しえ力は、分離域を広げるのに有効である。
3. 第二工程の分離は、仮想クリアランスが大きくなると、せん断分離から部分的引張変形を伴う分離へと変化する。
4. 第二工程のせん断抵抗は慣用せん断に比べ大きく、これは主に材料の加工硬化による。
5. 第二工程のせん断仕事は慣用せん断よりかなり大きい。これは、慣用のせん断仕事成分に加え、第一工程で生じるわん曲を矯正する仕事成分と仮想工具の変形に要する仕事成分を含むためである。
6. 製品寸法はほぼ工具寸法にならう。但し第一工程クリアランスが大きい領域では、ダイ側製品寸法はダイ寸法に比べかなり大きい。これはクリアランス増大に伴う分離形態の変化に関係している。

謝 辞

本研究は、当財団の研究補助金を受けて行われたものである。また社団法人日本塑性加工学会・せん断バリ研究委員会(主査:名古屋大学神馬敬教授)の協同研究の一部を構成するものであることを記し、同委員会委員各位の協力と有益な助言に対し深甚なる謝意を表す。

付 記

本報告書の主要部分は、社団法人日本塑性加工学会学会誌「塑性と加工」に下記のとおり掲載されたことを記す。
青木勇: 塑性と加工、35巻399号(1994)、361。

参考文献

- 1) 前田禎三：機械の研究、10-1 (1958),49.
- 2) 近藤一義：機論、35-277 (1969),1965.
- 3) Maeda, T., Aoki, I : J. Fac. Engg., The Univ. of Tokyo.35-4 (1980),753.
- 4) 牧野育雄：プレス技術、13-5 (1975), 93.
- 5) 牧野育雄：プレス技術、25-13 (1987), 73.
- 6) Liebing, H. : 21st Int'l M. T. D. R. Conf. , (1980), 139.
- 7) 近藤一義：平4春塑加講論、(1992), 5.
- 8) 村川正夫・呂言：43回塑加連講論、(1992), 709.
- 9) Brockhaus, J.& Singer, H : Blech Rohre, 8 (1970), 16.
- 10) 村川正夫・前田禎三：塑性と加工、21-219 (1979), 270.
- 11) 青木勇、前田禎三：塑性と加工、32-364、(1991), 621.