

追い抜きシェーピングせん断による 三次元微細精密加工システムの開発

神奈川大学 工学部機械工学科

教授 青木勇

(平成 11 年度研究開発助成 AF - 99011)

キーワード：せん断・打抜き、逐次せん断、シェーピング、曲げ

1. 研究の目的と背景

プレス加工の最大の特徴は高い生産性と加工安定性にある。現状はこうした特徴に加え、多種少量生産に向くシステム、つまり形状自由度の高い工法が望まれている。一般のプレス加工では順送型を用いて複雑形状製品の加工が行われているが、この方式で部分的変更を行う場合は型の部分的交換が必要となり、作業は繁雑となる。いま一つ重要な点は製品の高度化にあり、例えば所望の輪郭形状を損ねることなく形状創成を行うことである。そこで本研究では次の仕様を満たすシステムの構築を行うことを目的とした。

1. 自由輪郭を得る追い抜きせん断の高精度化
2. 鋭い角部の形状確保、及び細幅部分の変形抑制のため積極的にシェーピングを取り込む。
3. シェーピングを含む追い抜きせん断による自由輪郭形状創成と曲げ・絞り等を複合させた複合成形システムの構築

2. 研究の進め方

自由輪郭創成は追い抜きせん断が適しているが、せん断を繰り返し形状創成を行うので、通常と異なる不良現象を生じる。例えば鋭い角部では先端部のだれとゆがみが大きくなり、さらに細いウェブでは先端部のねじれが生じる。

そこで以下の手順で研究を進めることとした。

- (1) 追い抜きせん断で生じる不良の解決
- (2) 追い抜きせん断・曲げ・絞りを含む複合成形システムの開発

2. 追い抜きせん断実験

2.1 実験装置

追い抜きせん断には一般にタレットパンチプレスが用いられるが、高精度位置決めと様々な特殊設定を伴う関係上、図 1 に示す実験装置を用いた。XYZ ステージに材料支持アーム部が固定され、このアーム上に回転ステージが装着され、正確な割り出しが可能である。被加工材はこの回転ステージ上に固定されるので、XYZ 方向並進運動と、XY 平面内での回転が可能であ

る。せん断はストライカー下の金型によって行われる。加圧はステップモータ駆動である。これらの材料移動・回転機能と加圧機能により、上に述べたせん断が可能となる。X,Y,Z 各ステージの最小移動量は $5\mu\text{m}$ 、回転ステージの最小回転角は 0.084° 、せん断速度は 0.55mm/sec である。せん断型はパンチ・ダイと板押さえで構成される。パンチは 1 辺 5mm の正方形で角丸み $100\mu\text{m}$ である。ダイ形状はこれにクリアランスを合わすように製作されている。板押さえとパンチの隙間は $50\mu\text{m}$ 一定である。板押さえ力はバネ式で打抜き力の約 $15\sim 20\%$ (200N 一定) とした。

2.2 実験材料

材料は、 0.5mm 厚のアルミ軟質材 (A1100P-O, 以下 O 材) 及び半硬質材 (A1100P-H24, 以下 H 材) の 2 種類とした。広幅板材より $40 \times 40\text{mm}$ に切断して用いた。

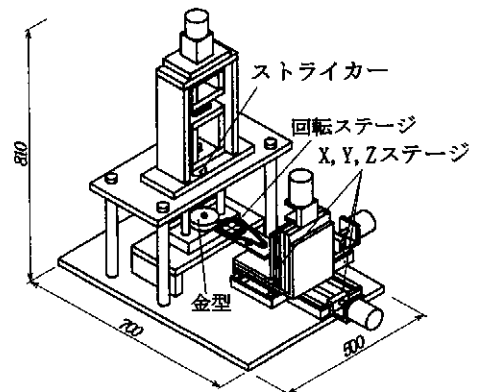
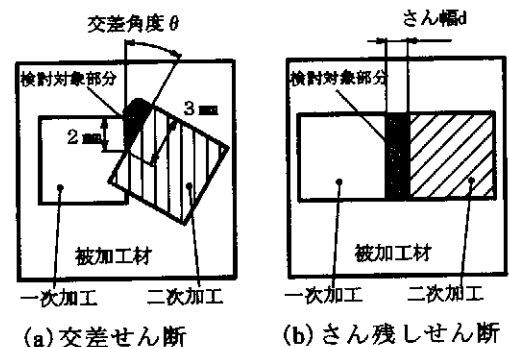


図 1 実験装置全体図



(a) 交差せん断 (b) さん残しせん断

図 2 せん断様式

2.3 実験方法と実験条件

(1) 交差せん断

一般のせん断では鋭角形状のせん断があり、その形状が問題となる。交差せん断は図2(a)に示すように、すでにせん断された部分に所定の交差角度 θ を与えてさらにせん断を行うもので、交差部の残った部分(一次側:2mm, 二次側:3mm)が製品となる。図2(a)の検討対象部分を指す

さらに形状改善を目指し、以下のシェーピング¹⁾を行った。30°の場合を例にとると

改善策① 全取り代1mmとして、適当な一定取り代で二次側を繰り返しシェーピングする。

改善策② 交差角度120°から二次側を適当な範囲の一定角で、繰り返しシェーピングして30°に近づける。

(2) さん残しせん断

追い抜きせん断では一度加工した後、さん幅を設けて再び加工しブリッジ状を作る。図2(b)に示すように、すでにせん断された部分に所定のさん幅 d を与えてさらにせん断を行うもので、さん幅 d の部分が製品となる。(図2(b)の検討対象部分)

さん幅 d を200~1000 μm に設定し、製品形状に及ぼすさん幅の影響を調べた。さらに極小さん幅の製品形状改善のため、以下の実験を行った。まず、さん幅1mmに加工し、その後、適当な取り代で二次側を繰り返しシェーピングし、目標さん幅 d とした。

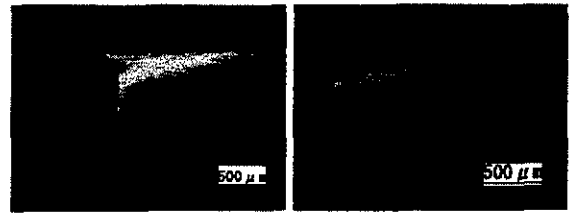
なおクリアランスは実験(1),(2)共に5%,15%である。潤滑油はパラフィン系基油(動粘度:90 $\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)を用いた。

3. 結果と考察

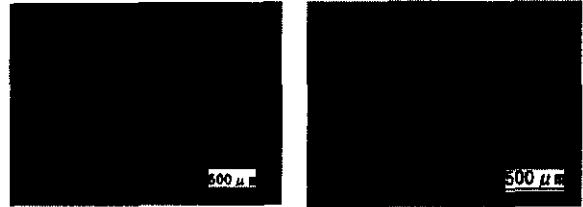
(1) 交差せん断

一般のせん断で知られているように、交差角度 θ の減少に伴いだれが大きくなる。さらに、追い抜きせん断では固有のねじれの発生が認められた。これらの形状悪化は90°を境に大きくなり、図3(a)のように30°付近以下では特に大きな悪化となった。二次側へねじられる原因は、板押さえ力が先端部に十分作用しないことが考えられる。だれの原因としては、従来から知られるように、クリアランス部分での材料消費と考えれば、次のように説明されよう。二次せん断に際し、先端部では、生じる材料不足を補うべき材料部分がゼロ近くなる。このため、広範囲の材料がこれを補う結果、大きなだれを生じると推定される。さらに一次側と二次側のだれ幅が重なることもだれを大きくするであろう。

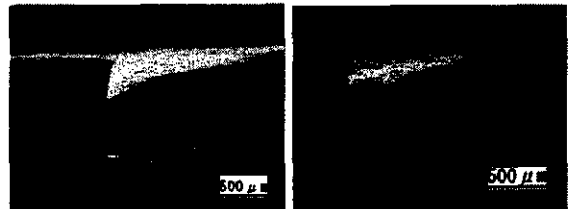
ここで試みただれの抑制策については、改善策①②はともに効果があり、特に②は顕著である。図4に示すだれ高さ h について、①②の改善効果を図5に示す。



(a) 慣用追い抜きせん断(左図:c:15%, 右図:c:5%)



(b) 改善策①(左図:c:15%, 右図:c:5%)



(c) 改善策②(左図:c:15%, 右図:c:5%)

図3 改善された交差せん断製品
(H材, 交差角度 $\theta = 30^\circ$)

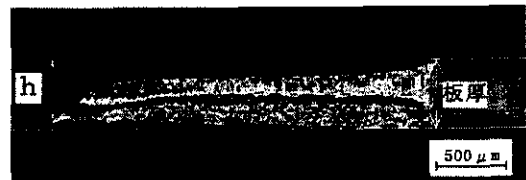


図4 先端部だれ高さ h

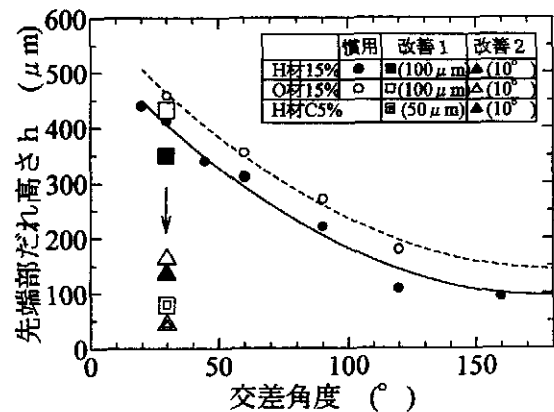


図5 先端部だれ高さ h に及ぼす交差角度の影響

改善策①は、効果はあるものの、角部付近でも先端部付近でも取り代を一定としているため、だれの抑制に限界がある。他方、改善策②では、先端部に近いほど、取り代がゼロ近くなるため、殆ど材料不足を生ぜず、だれも極めて小さくなる。改善効果の顕著な例を図3(b),(c)に示す。なお、改善策①②はねじれに対しても効果的であった。これはシェーピングによる加工力の低減効果が、変形を抑えたと考えられる。

改善前の形状が改善後の形状に及ぼす影響については、改善策①②共に問題ないと考えられる。①については、改善前の製品形状先端部にだれ、ねじれが生じるが、全取り代1mmの範囲内にあるので改善後にはなくなる。②については、慣用の追い抜きせん断において先端部にだれ、ねじれが殆ど生じない交差角度120°を改善前形状とした

(2) さん残しせん断

さん幅dが小さくなるほど、製品形状は悪化する。dが板厚の半分以下でこの傾向は著しく、200μm以下では加工自体が困難となる。変形はさん中央部で最も大きくなるので、図6のようにα, βを変形の評価項目とした。図7はα, βに及ぼすさん幅の影響を示す。慣用法に比べシェーピングの効果は明瞭であり、特に小さな取り代が良いことが分かる。

変形的主要原因は、さん幅が小さくなるにつれて板押さえ力が不十分となり、二次加工時に製品全体が引き込まれながら回転するためと考えられる。α, βはさん幅が小さくなると差を生じる。β付近は、一次加工時にダイスからの圧縮力を受けるため、つぶれが生じ、製品回転時に材料が追従しないためと推測される。シェーピングによる加工力の低減効果が、変形を抑えたと思われる。図8にd=200μmの場合の改善効果例を示す。さらにクリアランスを小さくすることで図9のようにさん幅d=100μmの加工が可能である。改善効果により図一に示すような製品形状となる。改善された極小さん幅の製品中央部が端部より太いのは、材料の拘束力が弱くなるため一次側に逃げていると考えられる。

以上のように追い抜きせん断で形状創成するせん断加工において、シェーピング技術を取り込むことで、各部の変形を押さえ、慣用せん断を遙かに凌ぐ高精度製品が得られることが明らかとなった。

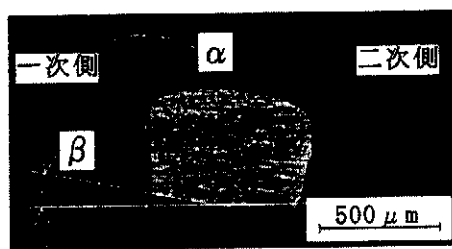


図6 製品断面の変形

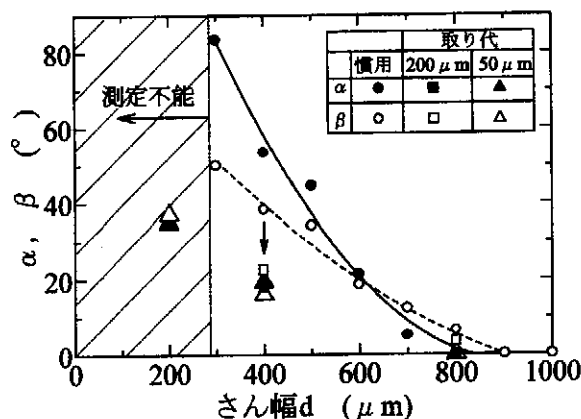


図7 断面形状α, βに及ぼすさん幅の影響

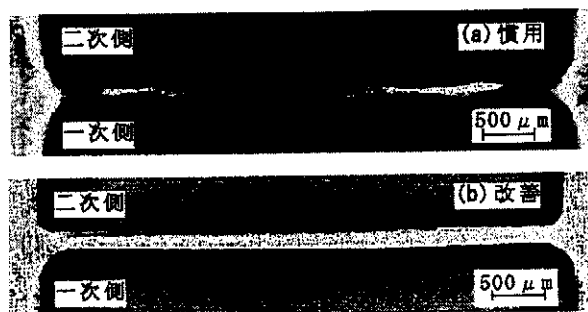


図8 改善されたさん残しせん断製品
(H材クリアランス15%, さん幅d=200μm)

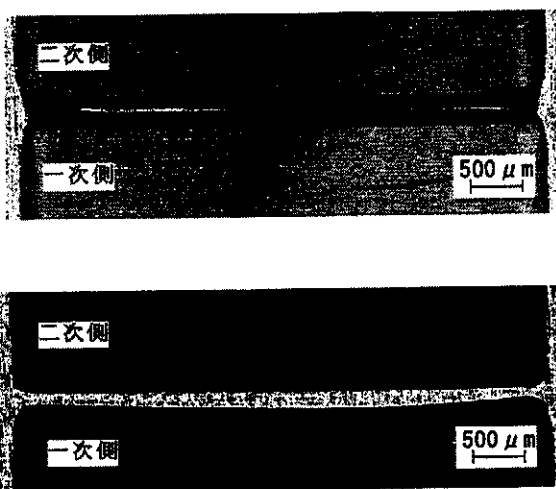


図9 改善されたさん残しせん断製品
(H材クリアランス5%, さん幅d=100μm)

4. 複合成形システムの試作

これまで述べたとおり、追い抜きせん断で生じる大きな不良をある程度克服することができた。これらの事項は順送型へも適用できるものである。

さらに曲げ、絞り等を複合させた成形システムを検討した。世の中で用いられる部品の大きさ、形状、板厚は実に様々であり、あまりに高い自由度を想定することは意味がない。部品形状を一種に特定してもそのなかで僅かな寸法変更、形状変更、穴位置変更等が多い。例えば、図10のようにV字型曲げに穴がけられた製品を想定しても幅、長さ、穴位置等変更箇所は多い。このように基本形状が固定され、その中で各部の変更を可能にするシステムは成形自由度は高くないがそれなりに価値があり、そこに追い抜き及び追い抜きシェーピングを取り込むことで付加価値の高い製品製造が期待できる。



図10 想定製品例

以上のような事項を考慮すると図11のように、(1)複数工具の交換、(2)材料位置指定機能が become 必要になる。タレットパンチプレス²⁾を基本とするが、材料移動の自由度を増し、追い抜きで自由形状を創成し、曲げ・絞り成形する構図となる。図12は試作したシステムである。一部は以前著者が開発した微細加工機の機能を流用している。図13に成形手順及び成形例を示す。

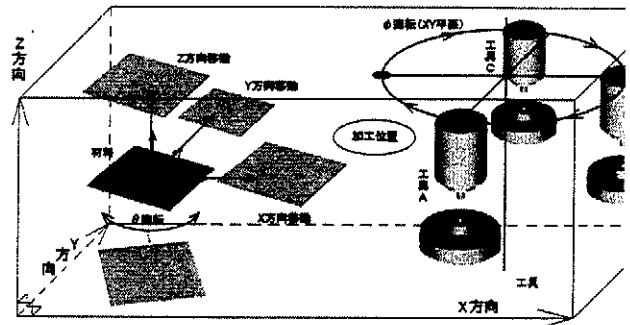


図11 必要な工具交換と材料位置指定機能

5. まとめ

追い抜き・シェーピングせん断の改善、及び曲げ・絞りを複合させた成形方式を検討した。

5.1 追い抜き・シェーピングせん断

(1) 交差せん断

交差角度 θ が小さい部では概して変形が大きい、小さい取り代でシェーピングを繰り返すことで変形を抑制することができる。改善策を用いることで総型打抜きよりも良い形状を作れる。

(2) さん残しせん断

極小さん幅の場合、小さな取り代でシェーピングを繰り返すことで形状改善が図れる。クリアランスをさらに小さくすることで、より高精度なせん断が可能である。

5.2 複合成形機の試作

追い抜き・シェーピングせん断・曲げ・絞りを複合させた成形システムを試作した。今後の検討は必要であるが、当初の目的を達成できる見通しを得た。

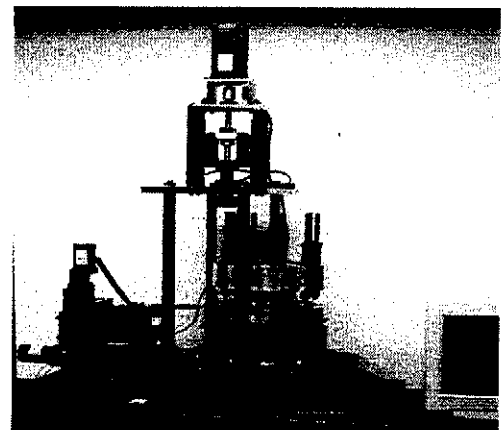


図12 試作したシステム

本研究は平成11年度(財)天田金属加工機械振興財団の研究開発助成(AF-99011)を受けて行われたもので同財団に深甚の謝意を表す

参考文献

- 1) 塑性加工学会編：せん断加工，(1992)85,コロナ社.
- 2) 同上 212..

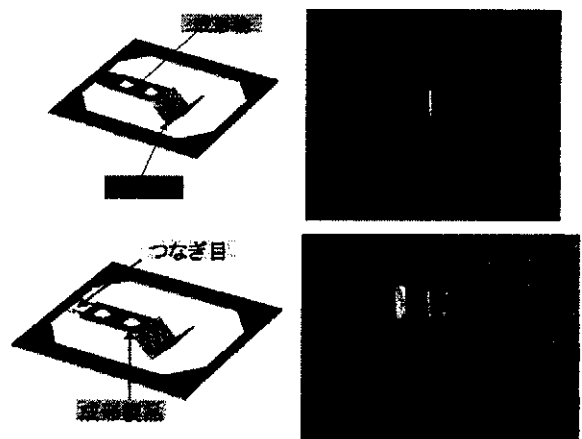


図13 成形例 (0.5mm厚アルミ板)