

# 多段アクションを利用した部品成形技術の開発（第1報） 9 可動ポンチを用いたハット曲げにおける高張力鋼板の形状凍結性

森下勇樹, 門 格史, 弓場憲生, 岩谷 稔, 安部重毅

Development of Sheet Metal Forming Technique by Multi-Stage Action(1st Report)  
Shape Fixability for High Strength Steel Sheets in Draw Bending Process Using the Moving Punch

MORISHITA Yuki, KADO Tadashi, YUBA Norio, IWATANI Minoru and ABE Shigeki

There is a problem that it is difficult to ensure the dimensional accuracy in draw bending process, when high strength steel sheet is applied to the auto body. In this study, to prevent the shape defects, a press forming method using a moving punch was developed. The method has a feature in which both the inward curl and the outward curl are coexistent. In order to verify the shape-fixability by the developed method, draw bending for hat-shaped panel was carried out with sheets of various tensile strength. As a result, it was found that choosing the optimum stroke of slide of the moving punch eliminated the shape defects, such as the opening distance at the die profile and the springback of flange. In addition, the wall curl was decreased by controlled blank holding force. It was clarified that these methods were effective to improve the dimensional accuracy.

キーワード：プレス成形，ドローバンド，ハット曲げ，高張力鋼板，スプリングバック，可動ポンチ

## 1 緒 言

自動車の車体を構成するプレス部品の製造には、高精度で量産可能なプレス金型が必要である。プレス金型の設計製作には形状を与える成形過程と、成形完了後、プレス部品を金型から離脱させる過程での弾性回復現象を考慮しなければならない。近年、自動車の軽量化と衝突安全強化を両立させるため、車体構造部材などには高張力鋼板の適用が進み、その強度レベルは上昇傾向にある。ところが、材料の高強度化は弾性回復量を大きくさせ、スプリングバックなどの形状不良を招き、プレス部品の寸法精度を確保するには益々困難な状況となっている。

一般にハット状の断面形状を有する車体構造部材の製造には、ドローバンド成形による方法が用いられている。ここで、ハット曲げにおける代表的な形状不良には、ポンチ肩部での角度変化や側壁部での壁反りがあり、両者の和としてダイ肩部の開きやフランジ部の角度変化がある。特に壁反りは、曲げ曲げ戻し変形を受ける過程で発生する板厚方向の応力の不均一分布が原因であることが知られており、過去からの研究により幾つかの対策方法が示されている<sup>1)・2)</sup>。そして、これらの知見から新しい成形法が提案され、形状不良を抑制する成形技術の開発が進められている<sup>3)・4)</sup>。

本研究では、高張力鋼板の形状不良対策となる成形技術について、新たな成形プロセスを提案する。このプロセスは、形状不良の対策方法において、基本的な考え方の一つとして示されている曲げ変位成分のバランスを取

るという考え方<sup>2)・5)</sup>に着目したものである。具体的な成形法として、プレス金型の一部を可動ポンチ<sup>6)</sup>とした手法でハット曲げを行い、側壁部に異符号の成分となる内向きと外向きの壁反りを共存させることを検討する。本報では新しく提案する成形プロセスについて基本実験を行い、各種高張力鋼板の形状凍結性の効果を評価することを目的とする<sup>7)</sup>。

## 2 実験方法

### 2.1 可動ポンチを用いたハット曲げ変形プロセス

曲げ変位成分のバランスを取る形態として、異符号の成分となる内向きと外向きの壁反りを発生させるハット曲げ変形プロセス（以下、本手法）を図1に示す。金型構造は剛体角筒ポンチの平頭部を可動部とした。以下、可動部を可動ポンチ、筒状の角筒ポンチをドローポンチと呼ぶ。

本研究のハット曲げの特徴は、図1(a)に示すようにブランクに予備曲げを与えて、可動ポンチ肩部からダイ肩部までの傾斜している領域を作り出すところにある。ドローポンチによる変形プロセスを図1(b)に示す。可動ポンチの予備曲げにより、傾斜した領域にあった材料要素は、ドローポンチ肩部を通過すると内向きの残留曲げモーメントが発生する。一方、フランジ部にあった材料要素は、ダイ肩部を通過すると外向きの残留曲げモーメントが発生する。これによりハット曲げ成形パネルを金型から離脱させると、側壁部には内向きと外向きの壁反りを存在させることができる。

## 2.2 成形条件

実験に用いた金型工具の寸法は図 1 に示すとおりである。ダイは底付きのものを使用している。

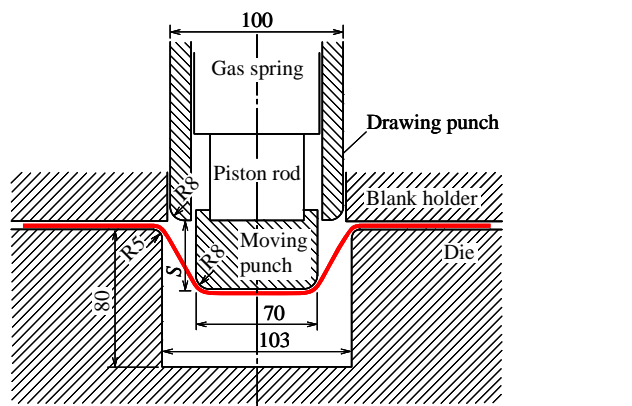
ブランクに予備曲げを与える可動ポンチの出力には、ガススプリング (Hyson Products 社製 T2SC-4700×50) を用いた。このガススプリングの荷重負荷特性は、初期荷重 47kN 以下ではピストンロッド長さ 50mm を維持し、これより大きな荷重が負荷すると、ピストンロッドは荷重を増加させながらガススプリングのシリンダ内に吸収されるものである。

可動ポンチは、ガススプリングのピストンロッド先端に装着され、成形開始前ではドローポンチ先端より突出した状態である。可動ポンチの先行ストローク長さ  $S$  は、ドローポンチ先端から可動ポンチ先端までの距離とした。 $S$  は 20, 30, 35, 40mm で行った。

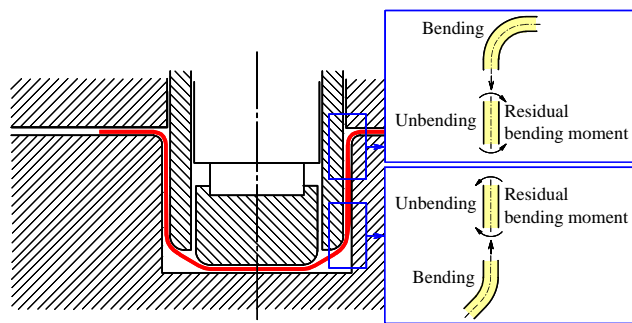
しわ押え力 BHF は 60kN を基本条件とし、可変しわ押え方式では 60~450kN の間で行った。潤滑剤には鉱油とグラファイトグリースを混合したものを使用し、供試材に塗布して成形を行った。実験には油圧式複動プレス機械を使用した。

## 2.3 供試材

供試材には公称板厚  $t$  が 1.2mm の冷間圧延鋼板および 590~980MPa 級の高張力鋼板を用いた。これらの板



(a) 可動ポンチによる予備曲げ



(b) ドローポンチによるドローベンド成形

図 1 可動ポンチを用いたハット曲げ変形プロセス

表 1 供試材の機械的性質

材料	t (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	el. (%)	n	$\bar{r}$
SPCC	1.2	157	290	53.3	0.25	1.97
SPFC590Y	1.2	412	637	30.1	0.19	0.89
SPFC780Y	1.2	545	819	18.6	0.16	0.73
SPFC980Y	1.2	783	1094	11.7	0.15	0.70

材の機械的性質を表 1 に示す。ブランク寸法は長さ 320mm×幅 50mm であり、圧延方向を長手方向とした。

## 2.4 評価方法

形状不良の評価方法として、ハット曲げ成形パネルを金型から離脱させた時の弾性回復量を図 2 に示すように定義した。ダイ肩部の開き量を  $\Delta W$ 、フランジ部の角度変化を  $\theta_f$  とした。 $\Delta W$  は、ドローポンチ幅  $W_1$  とダイ肩 R 止まりの間隔  $W_2$  の差とした。ここで、 $\Delta W$  が負の値の時は、ダイ肩 R 止まりの間隔がドローポンチ幅よりも狭くなったことを示している。 $\theta_f$  はしわ押え面とフランジのなす角度とした。符号の向きは、上向きを正、下向きを負の方向とした。

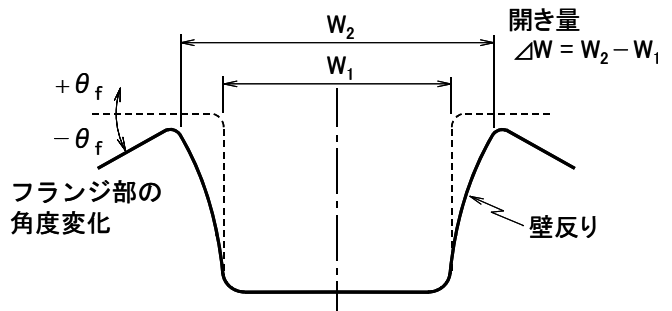


図 2 開き量とフランジ部の角度変化の測定方法

## 3 実験結果および考察

### 3.1 断面形状観察

図 3 に各供試材について、BHF=60kN で成形した通常のハット曲げおよび本手法により得られた断面形状を比較する。通常のハット曲げでは、高強度な高張力鋼板ほど開き量および角度変化が大きく、壁反りが顕著に発生していることが分かる。

本手法では、 $S$  を増加させると内向きとなる壁反りの領域が増加した。 $S=20\text{mm}$  では、フランジ面は水平に近づくものの、側壁部の大半は外向きの壁反りが観察された。 $S=30, 35\text{mm}$  では、内向きの壁反りの割合が大きくなり、フランジ面はほぼ水平な状態となった。そして、 $S=40\text{mm}$  では、内向きの壁反りの割合は、外向きの壁反りより大きくなり、フランジ面は上向きとなった。可動ポンチの  $S$  の大きさは、予備曲げ時の傾斜している

領域の大きさを決定し、これにより側壁部に占める内向きの壁反りの割合を調整できるものと考えられる。

また、本手法ではいずれも側壁面は内側に閉じた形状として観察された。特にドローポンチ肩部ではスプリングゴアが観察された。スプリングゴアについては、一般にポンチ肩部での角度変化として見られる一つの現象であり、高張力鋼板のU曲げ成形に関する研究で詳細に報告されている<sup>5)</sup>。この研究では、ポンチ底の材料のたわみを活用し、下死点でスプリングバックとゴアとなる成分をポンチ肩部の各材料要素に与え、側壁面の角度をコントロールすることについて検証されている。

本手法の可動ポンチによる予備曲げでは、たわみに相当する部分をダイ穴に向けて作り出す形状になる。その結果、下死点付近でドローポンチ肩部にあった材料要素が側壁部に押出されるとスプリングゴアとして強く働き、側壁面は内側に閉じた形状になるものと考えられる。

### 3.2 引張強さと形状不良の関係

本手法における形状不良を定量的に評価するため、形状不良の大きさを供試材の引張強さ TS で整理したものを図4、5に示す。

図4にはTSと $\Delta W$ の関係に及ぼすSの影響を示す。各成形条件とも、 $\Delta W$ はTSに比例して変化している。通常ハット曲げでは、TSが増加すると $\Delta W$ は著しく増加している。本手法のS=20mmでは、 $\Delta W$ はほぼ0mmを維持し、S $\geq$ 30mmでは、 $\Delta W$ は負の値を示している。

図5にはTSと $\theta_f$ の関係に及ぼすSの影響を示す。 $\theta_f$ の変化は、各成形条件とも図4と同様にTSに比例している。通常ハット曲げでは、 $\theta_f$ はTSが増加すると負の方向に増加している。本手法では可動ポンチのSを増加させることにより、 $\theta_f$ を0°に近づけることができる。S $\geq$ 35mm以上では、 $\theta_f$ は正の値を示している。

供試材	通常のハット曲げ	可動ポンチを用いたハット曲げ			
		S = 20mm	S = 30mm	S = 35mm	S = 40mm
SPCC					
SPFC590Y					
SPFC780Y					
SPFC980Y					

図3 ハット曲げ成形パネルの断面形状

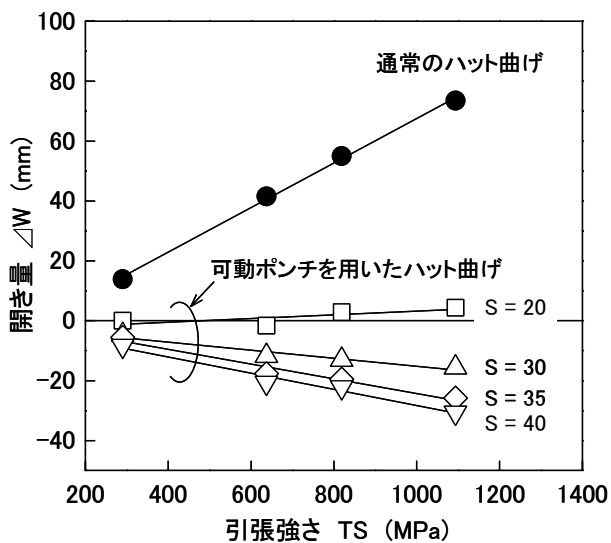


図4 引張強さと開き量の関係

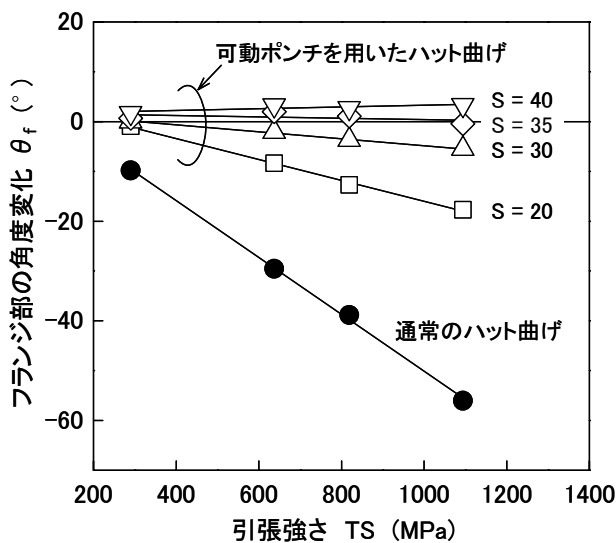


図5 引張強さとフランジ部の角度変化の関係

図3の結果から、可動ポンチのSの大きさは、側壁部に占める内向きあるいは外向きの壁反りの割合を変化させることができるものである。さらに、図4、5の結果から、高強度な高張力鋼板の場合でも、可動ポンチのSの大きさを調整することにより、 $\Delta W$  あるいは $\theta_f$ を目的の値にすることができるものと考えられる。

### 3.3 張力付与による壁反り低減

前節までの結果は、異符号の成分となる内向きと外向きの壁反りを側壁部に発生させ、さらにその割合を変化させて $\Delta W$  あるいは $\theta_f$ を制御できることを明らかにした。しかし、側壁部に見られる壁反り自体については、SPCCを除く供試材では低減できていない。壁反りを低減する方法には、側壁部に引張り力を付与し、内部応力を板厚全域で引張り側にするにより、残留モーメントを低減させる方法が一般的に知られている<sup>8)</sup>。

そこで、成形中にBHFを変化させる可変しわ押え方式で、ドローポンチが下死点に達する10mm手前からBHFを大きくすることを試みた。図6に供試材の中で最も高強度なSPFC980Yの断面形状を示す。壁反りはBHFの増加に伴い低減し、最も強い張力を付与した

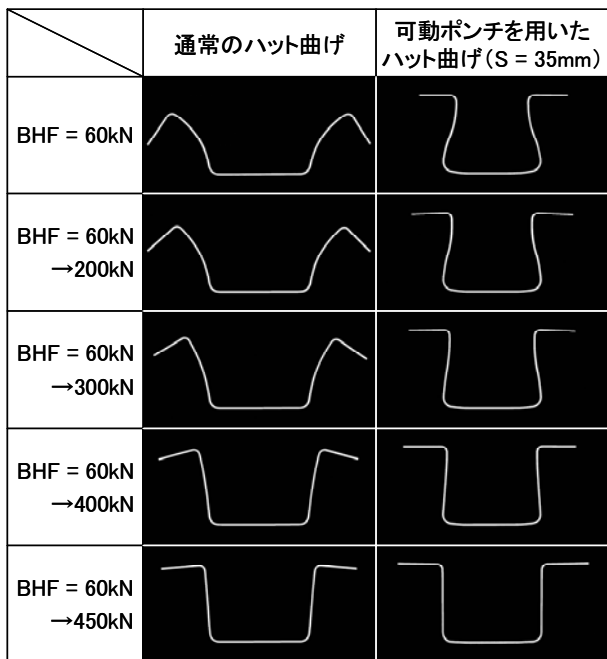


図6 SPFC980Yの張力付与による壁反り低減効果

BHF=60→450kNの条件では、完全に解消されている。特に本手法では、フランジ部、側壁部およびダイ底部の断面は、ほぼ直角な形状となっている。なお、通常のハット曲げにおいても、壁反りはBHFの増加により顕著に低減されているものの、ポンチ肩部の角度変化およびダイ肩部の開きについては、完全には解消されていない。これにより曲げ変位成分のバランスを取るという考え方のもと、可動ポンチを用いた成形方法で、異符号の成分を共存させることの有効性が認められた。

## 4 結 言

本研究では、高張力鋼板のドローバンド成形における形状不良対策として、形状凍結性を高めることができる新しい成形プロセスを提案した。このプロセスは、曲げ変位成分のバランスを取るという考え方のもと、可動ポンチとドローポンチにより、多段的にハット曲げを行う方法であり、異符号の成分を共存させるところに大きな特徴がある。実験により、可動ポンチによる予備曲げがハット曲げ成形パネルの断面形状に及ぼす影響について検証した。得られた結果は次のとおりである。

- (1)  $\Delta W$  および $\theta_f$ の形状不良をTSで整理した結果、これらの形状不良はTSに比例して変化する。
- (2)  $\Delta W$  あるいは $\theta_f$ を目的の値にするためには、可動ポンチのSを適切な大きさにすることが重要である。
- (3) 本プロセスは、しわ押え力制御を行うことにより、ダイ肩部の開きおよびフランジ部の角度変化に加えて壁反りも同時に抑制できる。

## 文 献

- 1) 林他：鉄と鋼，9 (1982) 68, 1236
- 2) 林：塑性と加工，46 (2005) 534, 580
- 3) Nakata et al. : Proc. 22nd IDDRG Congress, (2002), 79
- 4) 山野他：塑性と加工，46 (2005) 534, 630
- 5) 小嶋：第25回塑加連講論，(1974)，233
- 6) 薄鋼板成形技術研究会編：プレス成形難易ハンドブック第2版，(1997)，79，日刊工業新聞社
- 7) 森下他：第58回塑加連講論，(2007)，349
- 8) 薄鋼板成形技術研究会編：プレス成形難易ハンドブック第2版，(1997)，190，日刊工業新聞社

