

多段アクションを利用した部品成形技術の開発（第3報）

4 高張力鋼板の温間成形における形状凍結性

森下勇樹, 門 格史, 大川正巳, 佐々木憲吾, 松永尚徳

Development of sheet metal forming technique by multi-stage action(3rd Report)
Shape fixability in warm stamping of high-strength steel sheet

MORISHITA Yuki, KADO Tadashi, OOKAWA Masami, SASAKI Kengo and MATSUNAGA Hisanori

Recently high-strength steel sheets have been increasingly applied to auto body parts in order to reduce the weight of body in white. In the study, to improve shape fixability in draw bending process for 980MPa steel sheet, deformation behavior was investigated at elevated temperature. The obtained stress-strain curves were strongly dependent on temperatures and strain rates, especially flow stress was decreased under the elevated temperature. In warm stamping, draw bending for hat-shaped panel was carried out, influence of temperatures on the shape defects were examined, such as opening distance at die profile, springback angle of flange and side wall curl. From the result of experiments, shape fixability was improved in both conventional draw bending and proposed method with increasing temperature, and the effect was remarkable especially in the latter case.

キーワード：温間成形，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 結 言

高張力鋼板は自動車の車体軽量化および衝突安全の強化を図る目的から車体骨格部品などに適用が進み、その使用量は増加している。高張力鋼板は構造用部材としての特性が高い反面、プレス成形後の除荷に伴う弾性回復でスプリングバックが大きく発生し、形状凍結性が著しく低いことが大きな問題となっている。

著者らは既報^{1),2)}において、高張力鋼板の形状不良を抑制する新しいドローバンド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³⁾に着目した方法であり、側壁部を形成する領域に異符号の残留曲げモーメントを発生させ、内向きと外向きの壁反りを共存させるものである。そして、提案プロセスの実験検証として、プレス金型の局所領域を可動ポンチ⁴⁾とし多段的に成形する方法（以下、本手法）でハット曲げを行い、可動ポンチによる予備曲げが各種形状不良を抑制することを明らかにした。また、本手法の特徴である異符号の壁反りを共存させることができる利点を活かし、弾性回復量を見込んだ金型形状を導出することも検討した^{5),6)}。

これまでの研究は、冷間成形において本手法を高度化する技術について検討したものであるが、本報では、変形抵抗が大きい高張力鋼板の成形を容易にする方法として、温間および熱間成形について検討する。一般に鋼板を加熱した場合、鋼板表面にはスケールが生成し、特に

熱間温度域では著しくなる。このため、後処理としてショットブラストによるスケールの除去工程が必要となり、生産性を低下させてしまう問題がある。

そこで本研究では、加熱温度を低く抑えつつ形状凍結性を改善することを検討する。ここでは、基礎実験として高温引張試験を行い、高張力鋼板の塑性変形挙動に及ぼす温度およびひずみ速度の影響を明らかにする。そして、温間温度域にて通常のハット曲げおよび本手法で成形を行い、各種形状不良に及ぼす温度の影響を調査することを研究の目的とする。

2 実験方法

2.1 供試材

供試材には公称板厚 t が 1.2mm の 980MPa 級高張力鋼板 SPFC980Y を用いた。表 1 に JIS5 号試験片形状で測定した機械的性質を示す。

2.2 高温引張試験方法

高温引張試験には、精密万能試験機（株式会社島津製作所製 AG-250kN I）および JIS 高温引張試験装置を使用した。試験温度 T は室温 R.T.および 573~973K で行った。JIS 高温引張試験装置は、抵抗加熱式割形管状炉と差動トランス型の標点間伸び計で構成されている。なお、JIS 高温引張試験装置の引張治具は、板状の試験片を保持できるように一部改良したものを用いた。図 1 に高温引張試験片の形状を示す。標点距離は 50mm, 平行

部の幅は 10mm である。高温引張試験片と標点間伸び計の固定方法は、試験片の標点間の両端にある凸部を標点間伸び計の試験片保持部にある切り欠きに挟み込み固定保持した。これにより、標点間のひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ が一定になるようにクロスヘッド速度を制御し、 $\dot{\epsilon} = 10^{-3}$, 10^{-2} , 10^{-1} s^{-1} で引張試験を行った。

2.3 ハット曲げ実験装置

図2に実験装置の概略図を示す。成形実験には油圧式複動プレス機械を使用した。金型工具の寸法および成形条件を表2に示す。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。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であり、 $S=35\text{mm}$ とした。通常ハット曲げでは、 $S=0\text{mm}$ で成形を行った。しわ押え力 BHF は 0, 40kN で行い、 $BHF=0\text{kN}$ の場合は、ブランクホルダ上に t が 1.4mm のシムを置いた状態で成形を行った。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、ダイおよびブランクホルダに塗布した。ブランクはボックス型の電気炉で加熱し、目的の温度に到達後 300s 間保持した。ブランクを電気炉から取り出してから成形が完了するまでの時間は約 5s である。

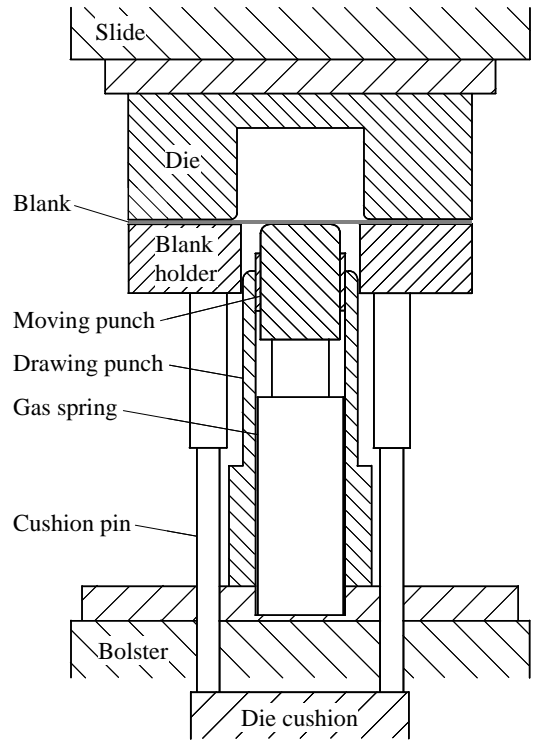


図2 ハット曲げ実験装置の概略図

表2 金型工具の寸法および成形条件

可動ポンチ	長さ	35mm
	幅	70mm
	肩半径	8mm
ドローポンチ	幅	100mm
	肩半径	8mm
ガススプリング	ストローク	50mm
	初期荷重	47kN
	最大荷重	67kN
ダイ	成形高さ	80mm
	幅	103mm
	肩半径	5mm
	スライド速度	$50\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
ブランクホルダ	しわ押え力	0, 40kN
ブランク	寸法	$320\times 50\text{mm}$
	加熱温度	573~1173K

2.4 形状不良の評価方法

形状不良の評価方法として、成形パネルを金型から離脱させた時の弾性回復量を図3に示すように定義する。ダイ肩部の開き量を ΔW ，フランジ部の角度変化を θ_f とした。 ΔW 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、 ΔW が負の値を示す時は、

表1 供試材の機械的性質

材料	t (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	n	\bar{r}
SPFC980Y	1.2	783	1094	11.7	0.15	0.70

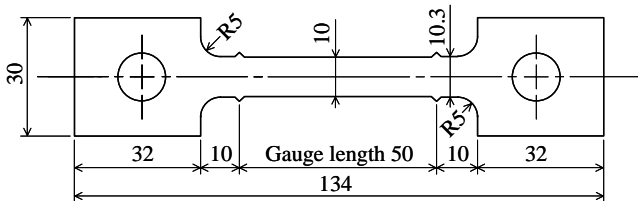


図1 高温引張試験片形状

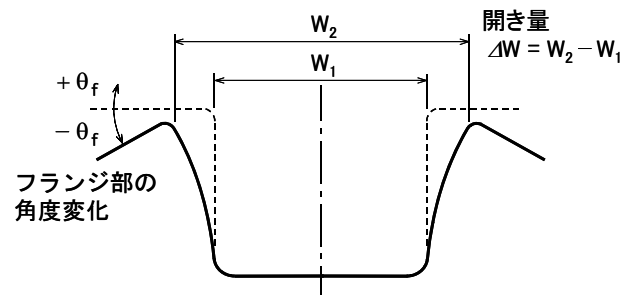


図3 開き量とフランジ部の角度変化の測定方法

ダイ肩 R 止まりの間隔がドロポッチ幅よりも狭くなったことを示している。 θ_f はしわ押え面とフランジ部のなす角度とした。符号の向きは、上向きを正、下向きを負の方向とした。

3 実験結果および考察

3.1 高温引張試験

図4に $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ における真応力-真ひずみ曲線を示す。温度の上昇に伴い、流動応力は低下し、破断ひずみは向上していることが確認できた。R.T.~773Kでは、降伏後の加工硬化が見られるが、873, 973Kでは、降伏後の加工硬化は見られず流動応力はほぼ一定で変形した。

図5に温度と引張強さの関係に及ぼすひずみ速度の影響を示す。引張強さは温度の上昇に伴い大幅に減少した。引張強さに及ぼすひずみ速度の影響は、R.T.ではほとんど見られないが、高温の状態では大きく影響し、引張強さはひずみ速度が大きいほど高い値を示した。図6に温度と伸びの関係に及ぼすひずみ速度の影響を示す。773K以下では、伸びは10%程度と小さく、また、ひずみ速度の影響はほとんど見られない。しかし、873K以上では、伸びは増加し、ひずみ速度の影響が顕著に見られた。最も低速で引張試験を行った $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ での伸びは、873, 973Kにおいて著しく増加した。これらの結果から高強度な高張力鋼板であるSPFC980Yは、冷間では低延性材料であるが、温間温度域ではその性質は改善され、高延性を示すことが確認できた。

3.2 温度と形状不良の関係

次に、温間温度域でハット曲げを行い、各種形状不良に及ぼす温度の影響について検証する。図7に温度と開き量の関係を示す。通常ハット曲げの冷間成形では、 ΔW は正の値を示し、その値は非常に大きい。しかし、温度の上昇に伴い、 $|\Delta W|$ は減少し0mmに近づいた。本手法のR.T.~973Kでは、 ΔW は負の値を示し、その変化はほとんど見られなかったが、1073K以上では、 $|\Delta W|$ は急激に減少した。図8に温度とフランジ部の角度変化の関係を示す。通常ハット曲げでは、温度の上昇に伴う θ_f の抑制効果は確認できたが、1173Kにおいても θ_f は 0° にはならなかった。これに対して、本手法では各温度において、 θ_f が 0° 付近で推移した。ただし、1073および1173KでのBHF=40kNでは、 θ_f は下向きになる結果となった。また、図7, 8においてBHFの違いによる影響を検証した結果、 ΔW および θ_f を効果的に抑制できたのは、BHF=0kNであった。BHF=40kNについては、加熱されたブランクがダイおよびブランクホルダで直接挟まれ、温度が急激に低下したためと考えられる。

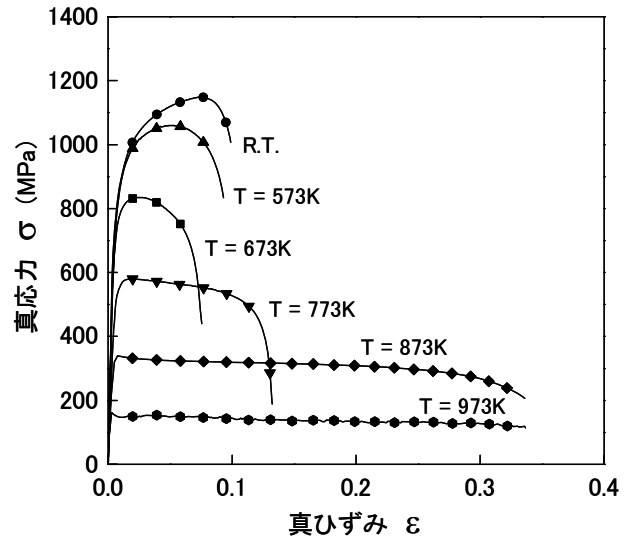


図4 真応力-真ひずみ曲線

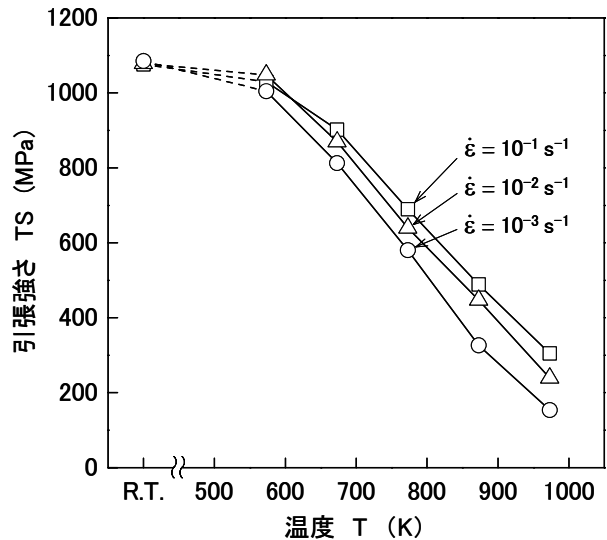


図5 温度と引張強さの関係に及ぼすひずみ速度の影響

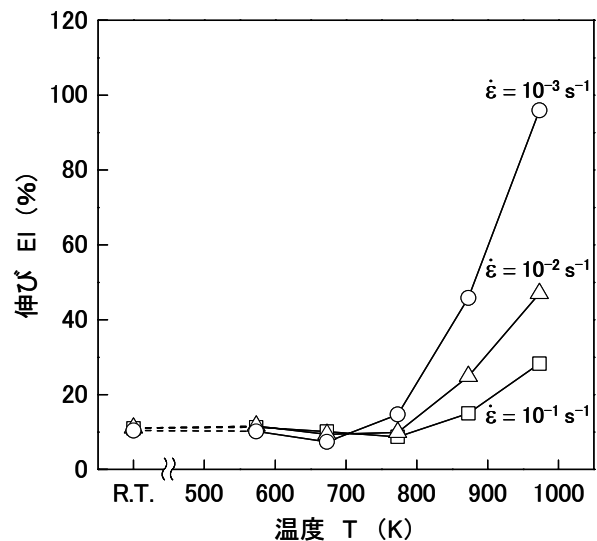


図6 温度と伸びの関係に及ぼすひずみ速度の影響

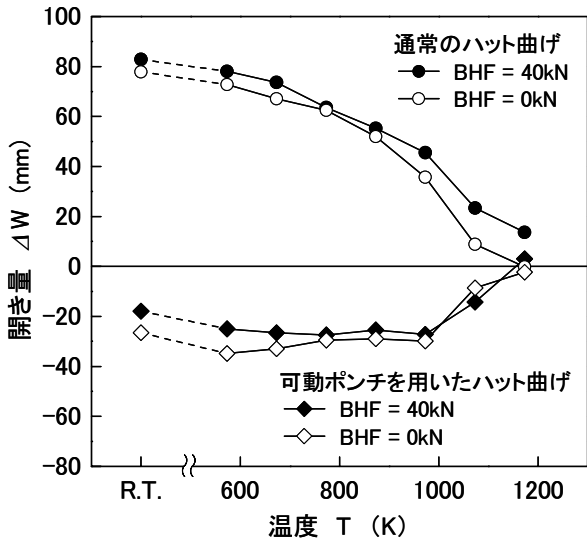


図7 温度と開き量の関係

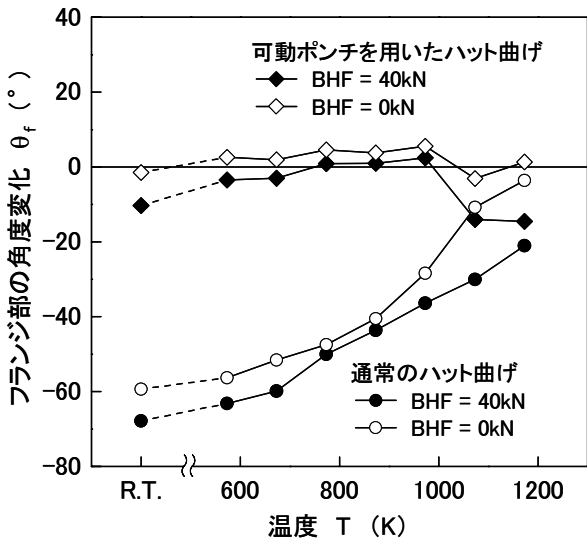


図8 温度とフランジ部の角度変化の関係

BHF=0kN については、ブランクはダイおよびブランクホルダで強く拘束されていないため、温度低下をある程度防止できたためと考えられる。

3.3 断面形状観察

図9に BHF=0kN における通常のハット曲げおよび本手法で得られた成形パネルの断面形状を比較する。通常のハット曲げの壁反りは、R.T.では大きく外向きに広がった形状であるが、温度の上昇に伴いその曲率は低減した。この曲率の低減は、図7、8に示した ΔW や θ_f の抑制に寄与するものと考えられる。ただし、フランジ部は1173Kにおいても若干下向きであり、 $\theta_f=0^\circ$ にはなっていない。これに対して、本手法は側壁部の一部を内向きに反転でき、R.T.では内向きと外向きの壁反りを共存させることが可能である。その曲率は温度の上昇に伴い

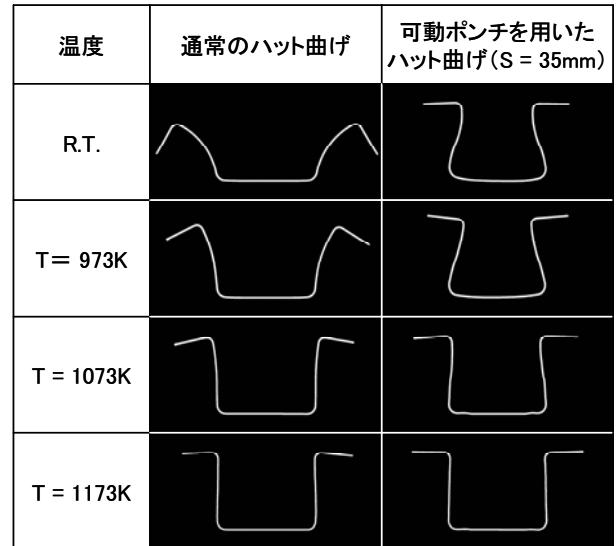


図9 BHF=0kNにおける成形パネルの断面形状

低減し、973Kではほとんど解消され、側壁部は直線状になった。ただし、ドローポンチ肩部ではスプリングゴウ⁷⁾が発生したため、側壁部は内側に閉じた形状になった。しかし、1073Kではスプリングゴウは解消され、側壁部は直立する状態になった。そして1173Kでは、各種形状不良は完全に抑制され、フランジ部、側壁部、ダイ底部の断面はほぼ直角な形状を得ることができた。

4 結 言

本報では、冷間成形が難しく、またスプリングバックの抑制を図ることが困難な高張力鋼板について、その難成形性を改善する方法として温間成形を検証した。基礎実験では高温引張試験を行い、高張力鋼板の塑性変形挙動に及ぼす温度およびひずみ速度の影響を明らかにした。そして、成形実験では温間温度域にてハット曲げを行い、各種形状不良と温度の関係を調査した。その結果、各種形状不良は温度の上昇に伴い抑制できることを示したが、特に本研究で提案しているプレス金型の局所領域を可動ポンチとする手法は、通常のハット曲げに比べ1073K程度の温度域で形状凍結性が向上することを確認した。

文 献

- 1) 森下他：第58回塑加連講論，(2007)，349
- 2) 森下他：広島県立西部工技研究報告，51(2008)，30
- 3) 林：塑性と加工，46(2005)534，580
- 4) 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
- 5) 森下他：第59回塑加連講論，(2008)，491
- 6) 森下他：広島県立西部工技研究報告，52(2009)，44
- 7) 小嶋：第25回塑加連講論，(1974)，233