



F. Fujita

高張力鋼板のロール成形加工精度に関する研究

藤田 文夫*

1. 研究の目的と背景

高張力鋼板は、車両軽量化高強度化材料の一つとして自動車への使用が増加してきているばかりでなく、仕様部位に対応して、より高張力化が進められてきている。しかしながらその高強度がために、自動車用部材の加工に広く用いられているプレス加工時のスプリングバックによる加工精度の低下が問題となる。特に 970MPa 以上の高張力鋼板では、スプリングバックが大きく、冷間での加工精度の確保が難しいため、ホットスタンプなどの熱間での加工が適用されている。

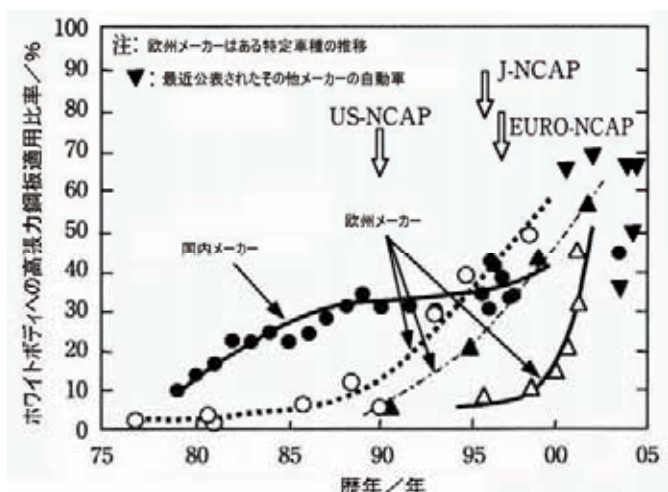


図1. 自動車部品への高張力鋼板の使用比率推移

一方、長尺部材の加工に適しているロール成形では多パスの成形が一般的であり、各パスでの成形形状であるフラワーパターンの最適化によって高い成形精度が得られる可能性がある。しかしながらロール成形は自動車用部材への適用例は少なく、高張力鋼板のロール成形加工性の検討も少ない。今後さらなる高張力鋼板の適用を広げるためには、冷間での成形が可能であるロール成形の適用性を検討する必要があると考えられる。

本研究では、高張力鋼板を冷間で加工する方法の一つとして、ロール成形を対象とし、単スタンドの加工実験によって、成形精度に及ぼす要因について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験装置の概要

ロール成形は一般的に連続した複数スタンドでの成形となるが、本実験では1スタンドのみの実験装置として図2に示すように、圧延機に分割リングを組み合わせたカリバーロールを組み込んでロール成形機として使用した。



図2. 実験装置として使用した圧延機

成形形状はプレス加工での精度の検討に用いられるハット形状とした。圧延機の寸法の制限から、フラワー寸法は図3に示すような一辺 25mm とし、基準を4パスでハット形状に成型するパターンを設定した。分割リングの組み合わせによるカリバー形状によって、曲げ加工部分でロールの凸部分が各パスで一致するように設定した。

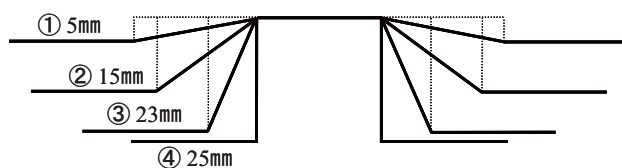


図3. 基準のフラワーパターン

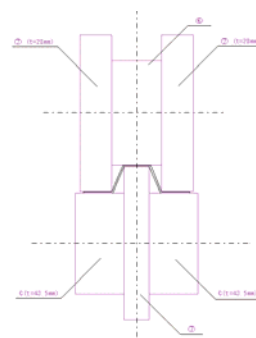


図4. 第3パス目のロールカリバー寸法

ロールは前述のように種々の幅，半径のリングを組み合わせて設定のカリバーを組み立てる方法で準備した．また，材料をカリバーの所定の位置に噛み込ませるために図 5 に示すようなガイドを圧延機前面に設置した．

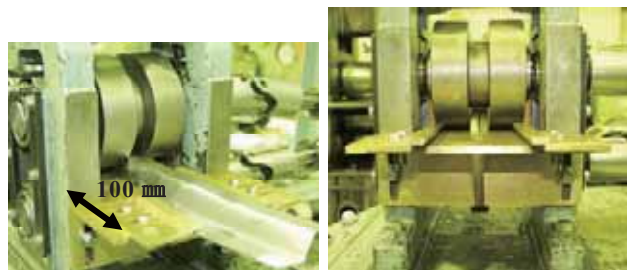


図 5. 圧延機前面に設置したガイド

2.2 材料

加工実験に用いた材料は表 1 に示すように，絞り加工用軟鋼，590MPa 級から 1470MPa 級までの 3 種類の高張力鋼板である．

表 1. 実験に用いた材料

	板厚 mm	降伏点 Mpa	引張強さ Mpa	均一伸び %
IF鋼	1.2	140	280	27
590MPa級ハイテン	1.2	313	628	20
980MPa級超ハイテン	1.2	650	991	8
1470MPa級超々ハイテン	1.2	937	1416	4

2.3 実験条件

実験要因として表 2 に示すものを選択した．

表 2. 実験で変化させた要因

ロール凸部肩R半径	2, 3, 4, 6mm
ギャップ	1.2, 1.5mm
パス	1→2→3→4, 1→2→4
入口ガイド高さ	0, 15mm

2.4 評価方法

成形精度の評価は図 6 に示すように，ハット形状の凸形状底部の目標幅からの差(口開き量と称す)で行った．また，長手方向の反りは曲率半径を計測して定量化した．

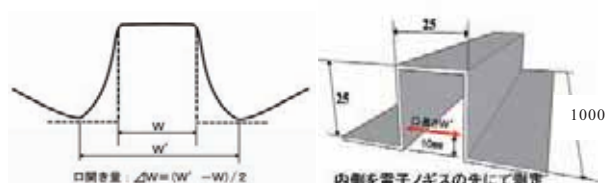


図 6. 成形精度の評価方法

3. 実験結果

3.1 パス数とロールギャップによる精度への影響

二つの材質の 2 パス，4 パス成形の場合の各パスでの口開き量の推移を，加工後短く切断した先行材，後行材についての結果を図 7，8 に示す．口開き量はむしろ強度の高いほうが小さくなる傾向であり，2 パス目で最も大きくなり，以後最終 4 パスで最も小さくなっている．

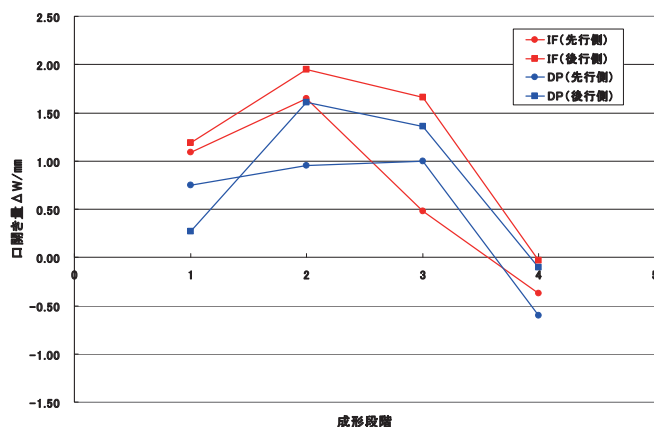


図 7. 4 パスでの口開き量の推移
(ロールギャップ 1.2mm)

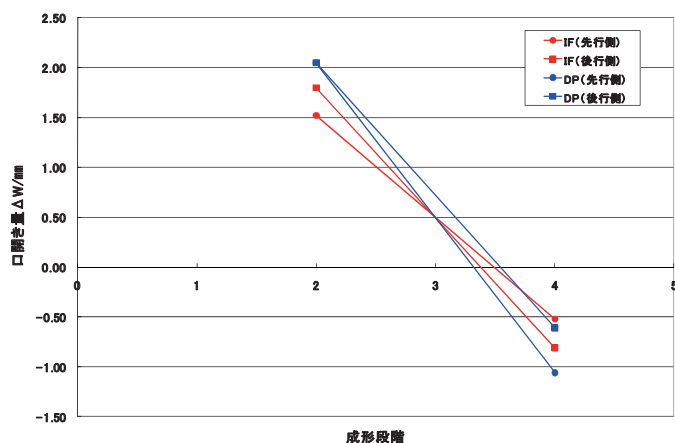


図 8. 2 パスでの口開き量の推移
(ロールギャップ 1.2mm)

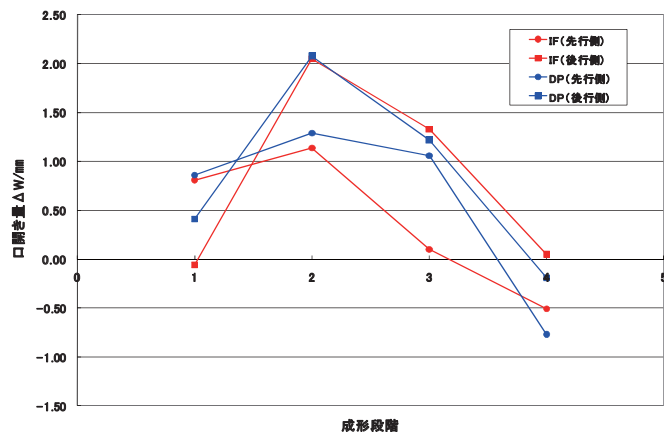


図 9. 4 パスでの口開き量の推移
(ロールギャップ 1.5mm)

図9にはロールギャップを0.3mm広げた場合の結果を示す。傾向は図7と大きく変わらないが、最終パス後には口閉じ傾向がギャップ1.2mmに比べて大きくなっている。

3.2 反りへの材質の影響

図10に反り曲率への材質の影響を示す。パラメータとして入口ガイドのパスラインからの上下移動量を0mm, -7.5mmに変えた。

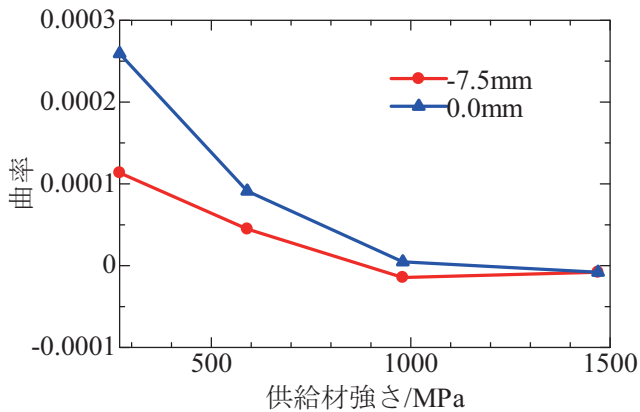


図10. 反り曲率の材質による変化

この結果から、材料の強度が大きいほど反りが小さくなり、超々ハイテンになると、ほぼストレートの成形結果になっていることがわかる。これは成形時の長手方向の引張, 圧縮応力は材質によらずほぼ同じ大きさで発生し、材料の降伏点が高いほどこの応力による塑性変形が生じにくくなるためであると考えられる。

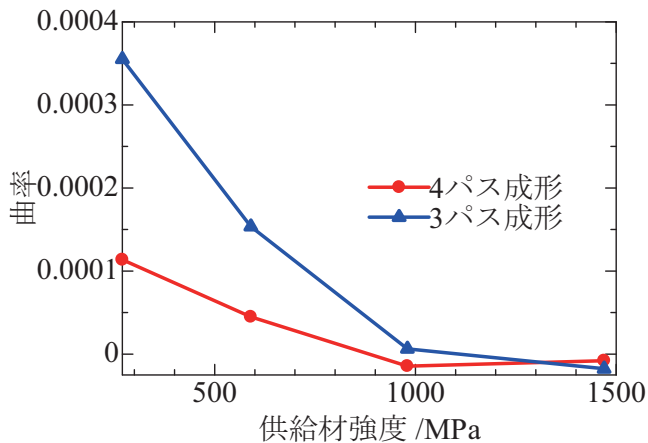


図11. 反り曲率への材質の影響 (パス数)

図11に4パスの成形と、3パス目を省略して3パスで成形した時の反り曲率を示すが、材料の強度が小さい場合には、パス数が少ないと曲率が大きくなる傾向にあり、超々ハイテンではほとんど影響を受けないことが分かる。

3.3 凸部肩 r 半径の影響

図12に成形ロールの肩 R 半径の違いによる成形形状の変化のレーザ変位計による測定結果を示す。また、図13(a),(b),(c),(d)にはそれぞれの R 半径のロールによる成形後の口開き量の長手方向の分布を示す。この結果から、肩 R 半径が大きいほうが口開き量は大きくなる傾向があるが必ずしも明確ではないこともわかる。

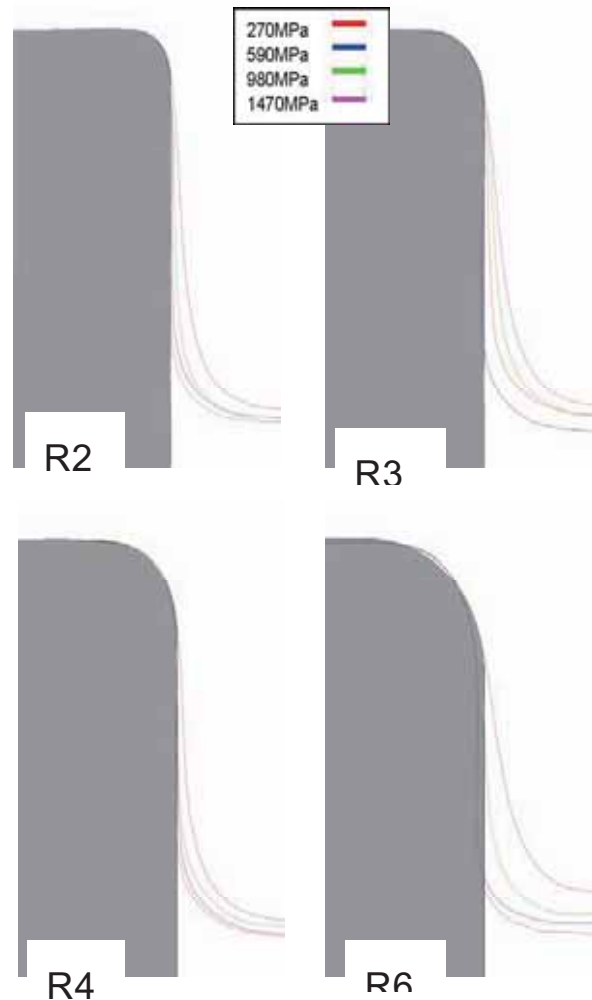


図12. 肩 R 半径の成形精度への影響

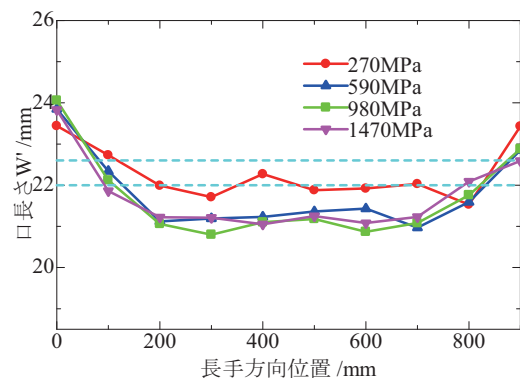


図13(a) 肩 R=2mm の口開き量分布

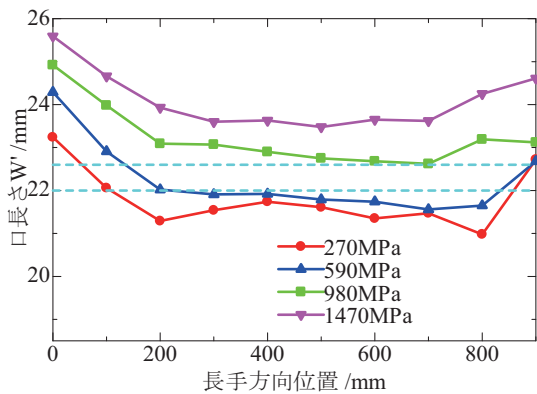


図 13(b) 肩 R=3mm の口開き量分布

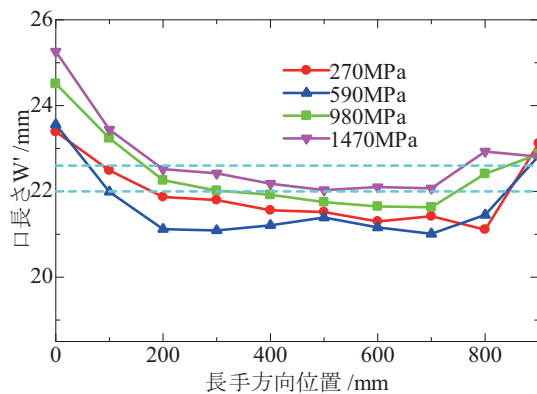


図 13(c) 肩 R=4mm の口開き量分布

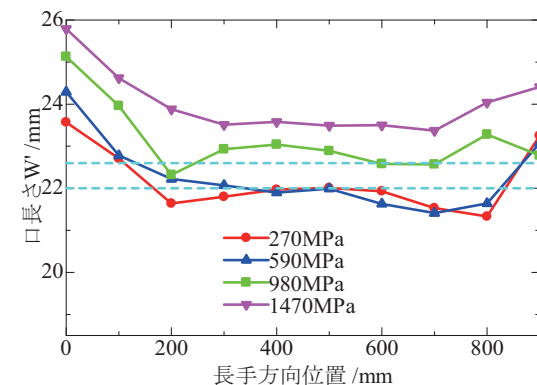


図 13(d) 肩 R=6mm の口開き量分布

3.3 肩 R 半径毎のパス数の成形精度への影響

図 14(a), (b)に肩 R 半径 2mm と 6mm の時の口長さ分布をパス数をパラメータにして示した。3 パスは 3 パス目を省略した加工である。

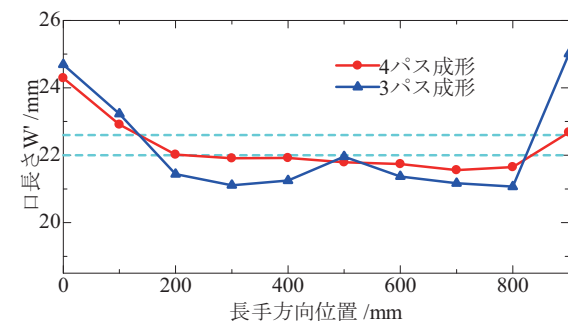


図 14(a) 肩 R=2mm の時の口開き量

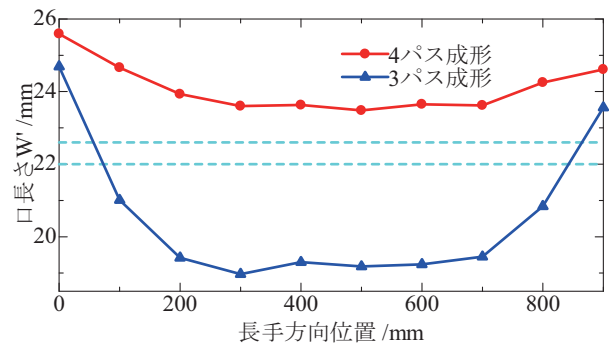
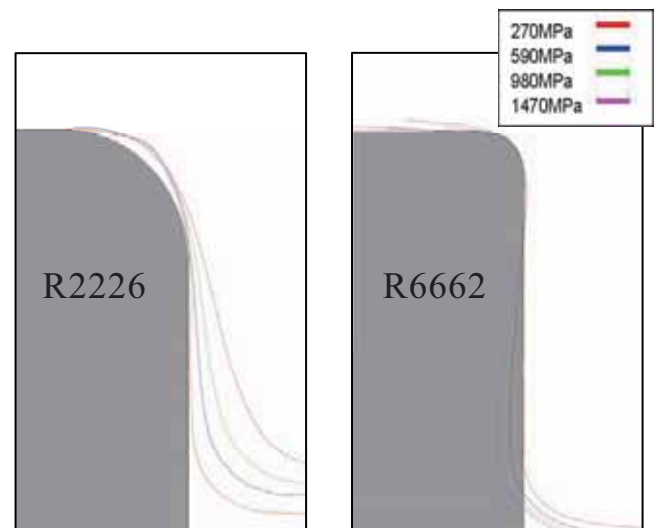


図 14(b) 肩 R=6mm の時の口開き量

これからわかるように肩 R が大きくなるとパス数の影響が大きく表れ、フラワーパターンと肩 R の組み合わせが成形精度に大きな影響を与えているものと推察される。

3・4 肩 r 半径の組み合わせの成形精度への影響

そこで、4 パスの最後のパスのみを異なる肩 R 半径で成形する実験を行った。ケース 1 は肩 R をパス毎に 6→6→6→2 とし、ケース 2 では 2→2→2→6 とした。この成形結果を図 15 に示す。



ケース 1 : 肩 R2226mm ケース 2 : 肩 R6662mm

図 15. 肩 R の組み合わせによる成形精度

この結果から、最終パスの肩 R を小さくすることによって、材質によらずに良い成形精度が得られるが、最終パスの肩 R が大きいと、材質の影響が大きく出ることが分かる。前段のパスでは、大きな肩 R 半径のロールで全体の形状を成形で加工し、最終パスで肩 R 半径の小さなロールで成形して形状を凍結させる方法が効率の良いパターンであると考えられる。

4. V 曲げによる曲げ肩半径の影響

前章までではハット曲げを行ったが、曲げ部分が 4 か所あり、影響が複雑となるため、本章では曲げ角 1 つに

おける変形挙動の変化に注目し、V字断面にしたV曲げ試験をおこなった。

供試材は 270MPa 級軟鋼, 590MPa 級ハイテン, 980MPa 級超ハイテン, 1470MPa 級超々ハイテンの 4 種類を用いた。表 3 に JIS5 号引張試験片を用いた引張試験の結果を示す。

なお、JIS5 号引張試験は供試材の圧延方向と圧延方向に垂直な方向の 2 方向について行った。その結果に差異は見られず、ここではロール成形時に長手方向とした圧延方向の結果を示す。

表3. 供給材の機械的性質（JIS5号単軸引張試験 圧延方向）

	板厚/mm	降伏点/MPa	引張強さ/MPa	均一伸び/%
270MPa 級軟鋼	1.2	140	28	27
590MPa 級ハイテン	1.2	313	628	20
980MPa 級超ハイテン	1.2	650	991	8
1470MPa 級超々ハイテン	1.2	937	1416	4

ロール成形用圧延機は前章と同様の物を用いた。ロールは図 16 に示す。凸ロールの先端の半径は R2, R4, R6 の三種類とした。

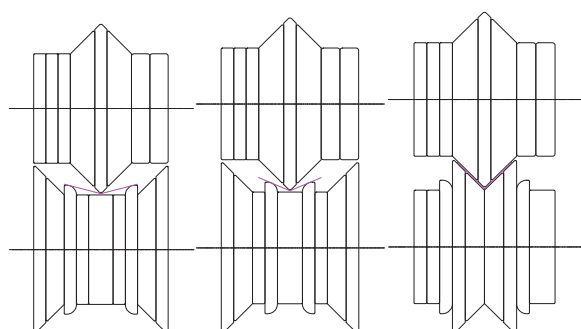


図 16. V 曲げ用ロールの構成

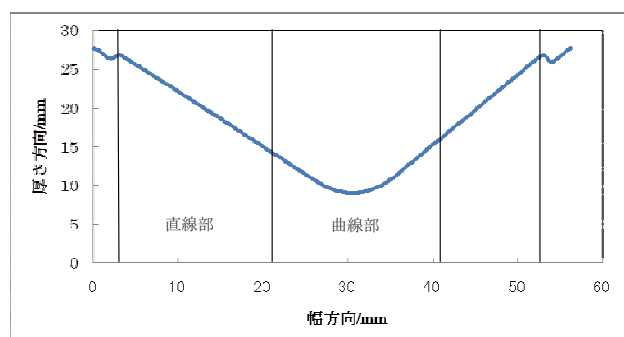


図 17. レーザ変位計による曲げ形状計測結果例

形状凍結性の評価はレーザ変位計での曲げ形状の計測結果から、直線部の角度を計測し目標角度（90°）からの差をもって示した。

図 18 に 3 パスとも同じ R の工具で成形した結果を材

料の強度を横軸にとって示す。R4, R6 では材料の強度が大きくなるにつれて、角度が大きくなり、スプリングバック量が材料の強度に比例していることが分かる。これに対して R2 の場合は材料強度によらずほぼ一定のスプリングバックであると考えられる。これば、R4,R6 の場合にはほぼ純粋な曲げ変形であるのに対して、R2 の場合には接触面圧が大きくなって、圧縮塑性変形も生じているためではないかと考えられる。

図 19 に 1, 2 パスを R6 で最終パスのみを R2 に変えた

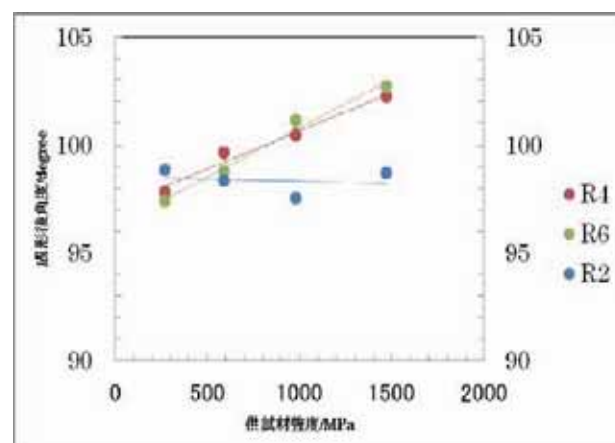


図 18. 同一 R による成形結果

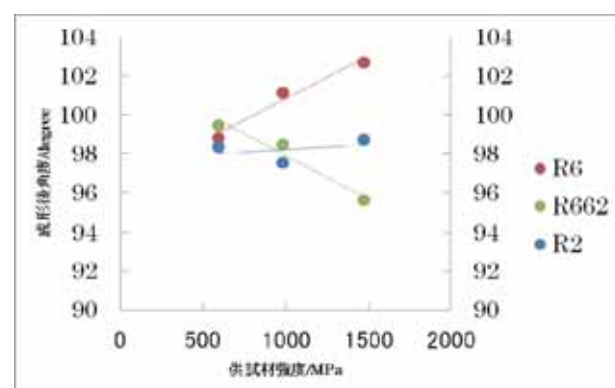


図 19. 3 パス目の R を変えた成形結果

時の成形結果を示す。強度が低い範囲では最終パスの R2 の効果はほとんど見られないが、1000MPa 程度では R2 のみの場合と同等、1500MPa では R2 のみの場合よりも良い形状凍結性を示すことが分かる。

5. 考察

ロール成形による実験で、材料強度にあまり左右されない成形精度が得られたが、曲げ肩部の R 半径が大きくなると、材料強度の影響が大きくなる傾向となったことから、曲げ部に板厚方向の大きな面圧が加えられることによる板厚歪が生じることによるものと推察される。また、多パスで曲げ角度をパスごとに徐々に大きくしていく加工とすることで、しごき加工の要素を抑制できることも精度の向上に寄与しているものと考えられる。

入り口ガイドの高さによって長手方向の反りが変化することから、反りは入り口でのモーメントによる引張圧縮応力が曲げ変形部の長さ方向歪を生じさせることによって起こると思われる。強度が大きくなるとこの影響が小さくなることは発生モーメントによる引張圧縮応力が材料の降伏点に達していないためと考えられ、フラワーパターンによっても影響されることが考えられる。

同一の肩 R で成形した場合、曲げの領域の変化は各パスで大きく変化しないが、1, 2 パスの R6 の成形のときの成形範囲は、最終パスの R2 の成形範囲よりも広く、R2 による変形にが加えられても R6 のときの変形領域が残りトータルとしてより曲げ角度の小さな変形が得られたものと考えられる。

6. 結論

分割リング型のカリバーロールによる高張力鋼板のハット形状成形のロール成形実験を行い次の結果を得た。

- (1) 多パスの成形による成形精度は良好で、材料強度には大きく左右されず、1470MPa 鋼板においても $\pm 1\text{mm}$ に入る精度が得られる。
- (2) パス数を減少させると成形精度は低下する。
- (3) 曲げ部のロール凸部形状は最終パスまでの肩 R 半径を大きく、最終パスの肩 R 半径を小さくすることで成形精度が向上する。
- (4) 長手方向の反りは入り口ガイドの高さを最適化することによって制御できる。
- (5) 特に、曲げ主体の成形であればロール成形は高張力鋼板の冷間成形に有効な方法である。

今後、より単純な L 曲げ変形によって、辺長さ／板厚比などの寸法効果や、曲げ角部の圧縮変形の効果を確認する予定である。

謝 辞

本研究は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の一般研究開発助成を受けて行われたものである。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 安西哲也・遠藤順一・水野 勉・山田 一：塑性と加工, 37-426 (1996), 743.
- 2) 日本塑性加工学会：曲げ加工, (1995), 52, コロナ社
- 3) 日本塑性加工学会編：わかりやすいプレス加工 (2000), 125～134, 日刊工業新聞社