

機関番号：13904

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760582

研究課題名（和文）

切口面高品質化と局部応力緩和を用いた超高張力鋼板のプレス成形性の向上

研究課題名（英文）

Improvement in Quality of Sheared Edge and Stretch Flange ability in Stamping for Ultra-high strength Steel Sheets

研究代表者

安部 洋平（ABE YOHEI）

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：60402658

研究成果の概要（和文）：

近年、地球環境問題の観点から自動車の軽量化が重要になっている。そのために非常に大きな強度を持つ超高張力鋼板の板厚を小さくして使用されてきている。超高張力鋼板は低延性であり、プレス成形中にフランジ成形のような局所的な引張りが負荷されると割れやすい。穴広げ試験による基本的な鋼板の特性の調査とともに割れを防止する傾斜パンチによるフランジ成形法が開発された。フランジ部の角の引張応力は、パンチの傾斜角度によって減少させられた。

研究成果の概要（英文）：

The stretch flangeability of ultra high strength steel sheets having a low ductility is investigated. To improve the ability of the sheets, flanging with a punch having gradual contact was developed. The tensile stress on the corner of the sheet flange was reduced by using angle of inclination of the punch.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料加工・処理

キーワード：塑性加工

1. 研究開始当初の背景

近年、産業界では自動車部品の軽量化に伴い、車両重量の 1/3 を占める車体部品に比強度の大きな高張力鋼板の利用が拡大している。600MPa 級までの鋼板は比較的延性に富むため実用されているが、800MPa 以上の鋼板や 1000MPa 以上の超高張力鋼板では延性が非常に低くなり、割れが生じて産業界では大きな問題となっている。

一般的に車体部品は生産コストの低いプ

レス成形により得られている。車体部品は板材を絞り、せん断にされ、板材の端をフランジ曲げされて成形される。曲げる条件により曲げ端部が伸ばされる伸びフランジとなり、引張応力によりフランジ割れが発生する。端部縁はせん断された切口面となっているために切削による切口面よりも延性が半減し割れが生じ易く、延性の低減量はせん断加工条件によって影響される。

伸びフランジ性は、切欠き引張試験、円錐

または円筒パンチによる穴広げ試験により評価される。切欠き引張試験は、引張試験片の一部に切欠きノッチをいれて局部的な伸びを評価する方法であるが、変形挙動が実成形と異なるため定量的にならない。穴広げ試験は、板材の穴に円錐ないし円筒を押込み穴を広げて、板縁に割れが生じる限界の直径を評価する方法である。これは実成形に近く、簡便で定量的に評価できるため一般的に使われているが、板縁に割れが生じる限界が試験者の判断であるため曖昧になり評価が一定でない。一方、伸びフランジ割れを予測するために破壊延性条件式を組み込んだ有限要素シミュレーションが行われている。これは要素の応力とひずみにより判定するためクラック発生・進展を正確に予測できず、更なる予測には正確な割れ挙動の観察が必要である。高張力鋼板の伸びフランジ性に関しては、鋼種による影響、せん断クリアランスの影響、切口面周囲の引張応力の勾配の影響の調査が行われている。また、向上法には、追加工により切口面を平滑にするコイニング、せん断影響部を削り取るシェービング、穴周囲を焼鈍して延性を回復させる方法が研究されているが、これらは切口面品質と割れの関係については明確でない。

せん断切口面の品質により伸びフランジ性は決定されるが、一方では伸びフランジ部の引張応力の低減により割れを防止できる。一般的には、引張応力を緩和するために伸びフランジ部の曲率半径の増加や製品の曲げ長さの減少により対応している。しかし、製品形状が大きく変わってしまうために余り利用できない。そこで、実用可能なプレス成形法の開発が望まれている。

2. 研究の目的

延性が非常に低い超高張力鋼板のプレス成形性を向上するために、切口面高品質化と局部応力緩和を行う。超高張力鋼板の伸びフランジ性の評価法を行うために、穴広げ試験を行った。また、製品形状を同じになるような金型に傾斜をつけて引張応力を緩和して割れを防止する傾斜パンチによる伸びフランジ成形を導入して超高張力鋼板のプレス成形性を向上させた。

3. 研究の方法

超高張力鋼板の穴の割れ限界と割れ発生のメカニズムを解明するために穴広げ試験を行った。超高張力鋼板の穴の割れ発生メカニズムに及ぼす穴開け法、せん断加工条件、せん断追加工の影響を調査した。局部応力緩和を用いた超高張力鋼板のプレス成形の開発においては、実験により割れを防止するとともに、最適な引張応力の緩和のためのパンチ傾斜角度とパンチ幅について有限要素シ

ミュレーションにより検討した。

4. 研究成果

4 (1) 穴広げ試験

穴広げの実験に用いた超高張力鋼板は、公称板厚 1.4mm の 980MPa 級デュアルフェーズ鋼であり、引張試験により得られた各方向の機械的特性を表 1 に示す。加工硬化指数 n 値はひずみが 0.03 から最大荷重直前のひずみの範囲で求めている。穴広げ加工を行うために、鋼板は 130mm×120mm の矩形とした。

表 1 超高張力鋼板の機械的特性

圧延方向 /°	0	45	90
耐力 /MPa	617	624	614
引張強さ /MPa	1029	1012	1056
伸び /%	17	17	16
加工硬化指数	0.12	0.13	0.12

穴広げ試験条件を図 1 に示す。穴抜き加工された穴に円錐パンチを押込むことによって穴広げ加工を行った。円錐パンチの角度は 60° であり、かえりをダイ側にしてパンチと接触しない条件で穴広げ加工を行った。穴広げ性は、次式で示す穴広げ率 R で評価する。

$$R = (d - d_0) / d_0 \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここで、 d_0 、 d は穴広げ加工前後の穴直径である。クラックが切口面の板厚を貫通したときの穴広げ率を限界穴広げ率 R_l とする。パンチの押込み速度を低速にしてクラックを目視により観察し、クラックが板厚を貫通した時点でパンチを直ちに停止した。限界穴広げ率は 3 回の平均値とした。比較のために穴広げ性に及ぼす切削加工とワイヤ放電加工の有効性を調査した。切削加工では、先端角が 118° で直径 10.0mm のハイス製ドリルを用いた。

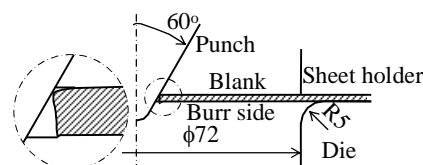


図 1 穴広げ試験条件

穴抜き加工、ドリル加工と放電加工された穴の切口を図 2 に示す。穴抜き加工された切口ではだれ、せん断断面と凹凸の大きな破断面が、ドリル加工では切削痕が、放電加工では放電による凹凸面がそれぞれ生じている。

穴抜き加工、ドリル加工、放電加工された穴の限界穴広げ率を図 3 に示す。放電加工とドリル加工では限界値は大きい、穴抜き加

工では放電加工の半分程である。

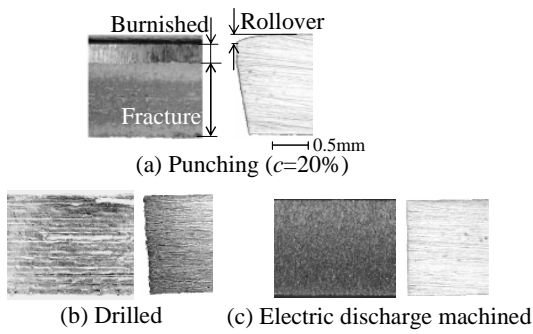


図 2 穴抜き加工，ドリル加工と放電加工された穴の切口

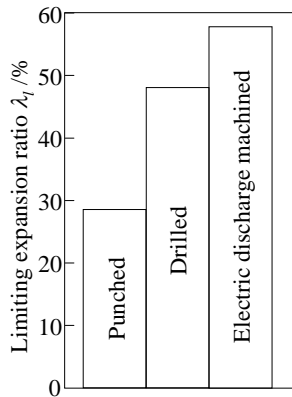


図 3 穴抜き加工，ドリル加工，放電加工された穴の限界穴広げ率

テーパパンチによる破断面平滑加工法を図 4 に示す。平滑加工では，穴広げ加工時の割れの起点となる破断面にテーパパンチによってせん断変形を与えて，平滑な面を形成させる。

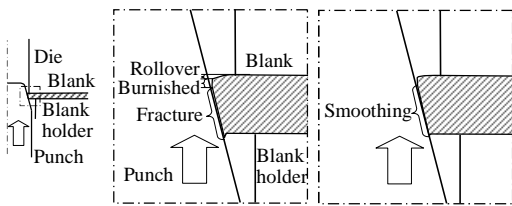


図 4 テーパパンチによる破断面平滑加工法

テーパパンチによる破断面平滑加工条件を図 5 に示す。穴広げ性に及ぼすテーパパンチの押し込みストローク s_p とパンチの角度 β の影響を調査した。限界穴広げ率が最大となる穴抜きクリアランス比 $c=20\%$ を対象とした。穴抜き加工におけるパンチ直径は 10mm であり，ダイ直径を変化させてクリアランスを設定し，穴抜き速度は 30mm/s である。

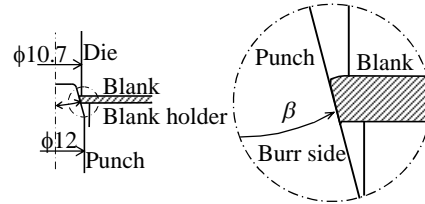


図 5 テーパパンチによる破断面の平滑加工条件

$c=20\%$ ， $s_p=1\text{mm}$ における限界穴広げ率に及ぼす平滑パンチ角度の影響を図 6 に示す。限界はパンチ角度 $\beta=10^\circ$ から 20° において向上している。パンチ角度が過小であると破断面の割合を低減できず，穴広げにおける切口に生じたクラックが容易に進展して限界を向上できない。

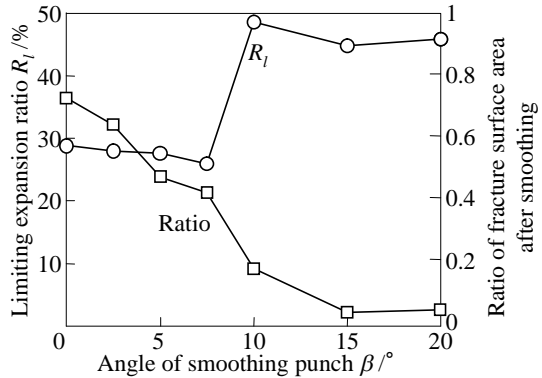


図 6 $c=20\%$ ， $s_p=1\text{mm}$ における限界穴広げ率に及ぼす平滑パンチ角度の影響

平滑加工後の限界穴広げ率と穴抜きクリアランス比の関係を図 7 に示す。いずれのクリアランス比においても平滑加工により限界穴広げ率を同等以上に向上できている。 $c=30\%$ では，かえりが残っており，穴広げ加工においてかえりを起点に割れが生じて限界が上昇しなかった。平滑加工された穴の最適クリアランス比は，穴抜き加工の最適と同じクリアランス比で最大となっており，穴広げ性をドリル加工された穴の 9 割程度まで改善できている。

限界穴広げ率と切口面の最大高低差の関係を図 8 に示す。最大高低差は切り口表面の高低差の最大値であり，図 7 の条件をプロットしている。平滑加工後ではクラックの起点となる凹凸である最大高低差が小さくなり限界穴広げ率が大きくなっている。平滑加工により切口面の硬さは上昇するが，穴広げ加工時のクラックの個々の起点となる最大高低差を小さくして限界穴広げ率を向上できている。

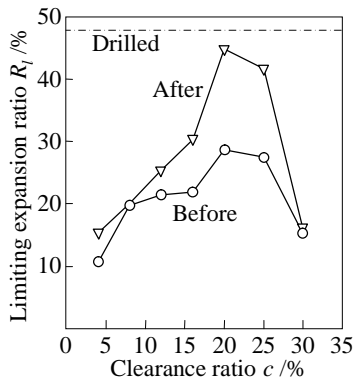


図 7 平滑加工後の限界穴広げ率と穴抜きクリアランス比の関係

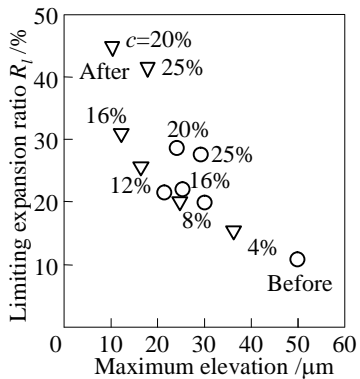


図 8 限界穴広げ率と切口面の最大高低差の関係

4 (2) 傾斜パンチによる伸びフランジ成形

傾斜パンチによる伸びフランジ成形性の向上法を図 9 に示す。従来の伸びフランジ成形では凹状板材を一様に曲げるために板端角部に引張応力が生じて割れが発生することがある。傾斜パンチでは角部付近のパンチに傾斜をつけて板材の外側から角部へ逐次的に曲げることにより角部でのフランジ縁に沿う方向の引張応力を低減させてフランジ割れを防止する。

傾斜パンチによる伸びフランジ成形条件を図 10 と表 2 に示す。せん断加工された凹状板材の端部を傾斜パンチにより伸びフランジ成形する。凹状板材は左右対称であり、せん断により発生したかえりをダイ側にしてダイと板押えにより固定されて、傾斜のあるパンチにより曲げられる。角部での引張応力は板材のフランジ長さ L により変化させ、フランジ割れに及ぼすパンチ形状の影響を調査するためにパンチ傾斜角度 α を 0 から 55° まで、傾斜幅 W と伸びフランジ変形となるダイ角半径幅 W_0 の比を傾斜幅比と定義して板幅と同じになる 9.2 まで設定した。

板材は公称板厚 1.4mm の 980MPa 級の超高張力鋼板を対象として、比較のために 1180MPa 級の鋼板も用いた。いずれの鋼板も

二相組織強化型である。引張試験により得られた板材の機械的性質を表 3 に示す。せん断加工におけるクリアランスは板厚の 20% とし、潤滑剤には防錆油を用いた。板材は曲げ方向に対して垂直に圧延 0° 方向を配置し、板材角部に 2mm 間隔のけがき線を描いてその変化率を伸びフランジ率とした。結果は、各条件において 2 回以上の実験から平均を用いて示す。

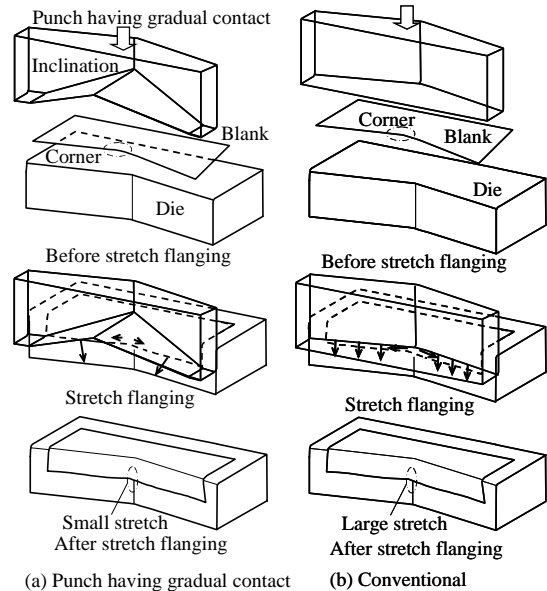


図 9 傾斜パンチによる伸びフランジ成形性の向上法

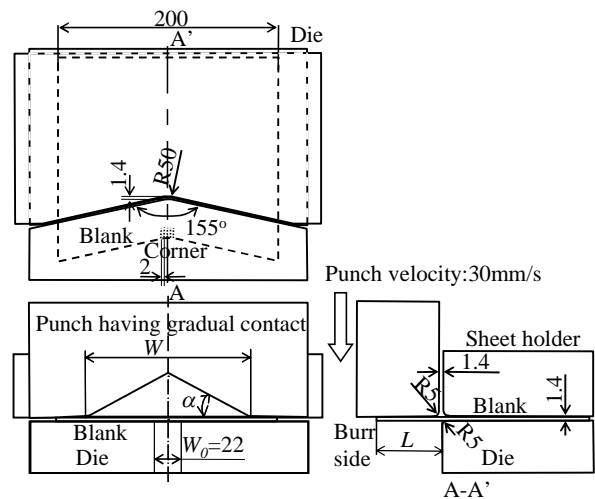


図 10 傾斜パンチによる伸びフランジ成形条件

980MPa 級鋼板の $W/W_0=9.2$, $L=16\text{mm}$ における計算された板材の変形挙動を図 11 に示す。 $\alpha=0^\circ$ は、従来の平らなパンチを示している。

表 2 傾斜パンチによる成形条件

傾斜角度 $\alpha / ^\circ$	0 - 55
傾斜幅比 W/W_0	0 - 9.2
フランジ長さ L / mm	15 - 27
パンチ速度 $/ \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	30

表 3 引張試験により得られた板材の機械的性質

板材	JSC980	JSC1180
板厚/mm	1.4	1.2
耐力/MPa	1014	1209
伸び/%	16.4	10.8
絞り/%	45	46
加工硬化指数	0.15	0.14

また、最終的なパンチストローク s_e はパンチ形状とフランジ長さにより変化するために、パンチストローク s と最終的なパンチストロークの比により示している。 $\alpha=0^\circ$ ではパンチが一樣に板材に接触するため一樣に板材は曲げられているが、 $\alpha=10^\circ$ ではパンチが外側から接触するため外側から逐次曲げられている。

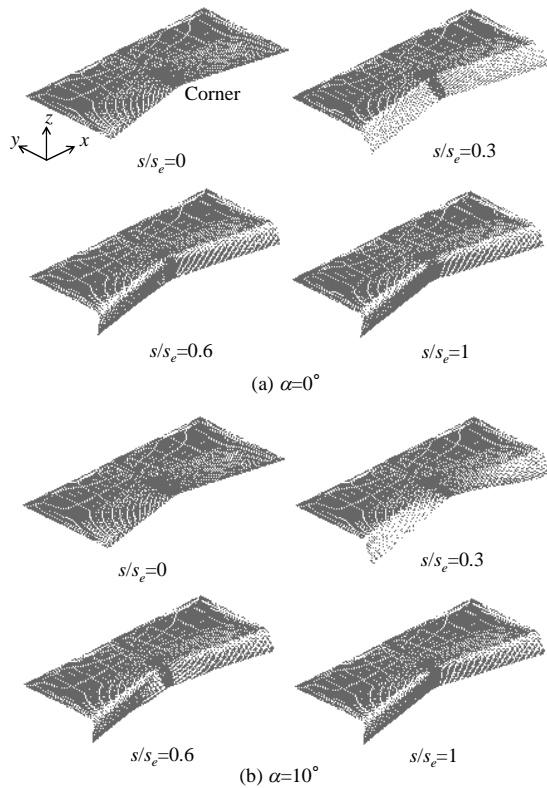


図 11 980MPa 級鋼板の $W/W_0=9.2$, $L=16\text{mm}$ における計算された板材の変形挙動

計算による x 方向の引張ひずみ分布を図 12 に示す。 $\alpha=0^\circ$ では、 $s/s_e=0.6$ にて板角部において大きな長手方向ひずみが発生している。一方、 $\alpha=10^\circ$, $s/s_e=0.6$ ではひずみが小さく、 $s/s_e=1$ においても $\alpha=0^\circ$ のパンチより引張ひずみが低減されている。

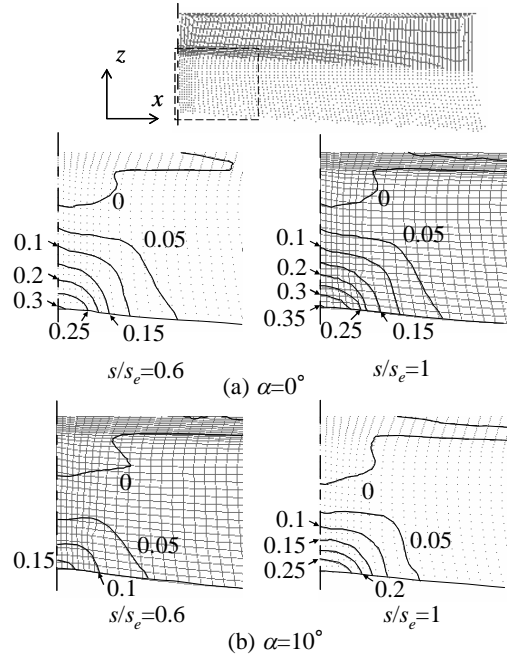


図 12 計算による x 方向の引張ひずみ分布

実験による 980MPa 級鋼板の $W/W_0=9.2$ におけるフランジ成形後の板材を図 13 に示す。 $\alpha=0^\circ$ では板端角部にフランジ割れが生じているのに対して、 $\alpha=10^\circ$ では防止できている。

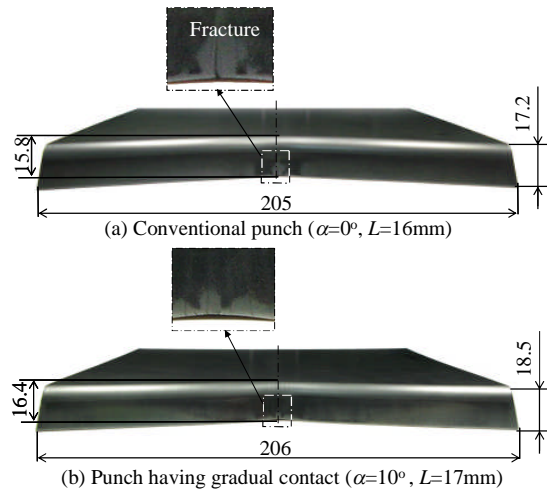


図 13 実験による 980MPa 級鋼板の $W/W_0=9.2$ におけるフランジ成形後の板材

$L=20\text{mm}$, 980MPa 級鋼板における計算による x 方向のひずみに及ぼす角度と傾斜幅の影響を図 14 に示す。実線と破線は、それぞれ実

験の行える条件と行えない条件である。パンチ傾斜角度と傾斜幅が大きいほどひずみが小さくなっているが、角度が大きい場合でも幅が狭すぎるとひずみが分散されず、大きな引張りが生じる。実験のできる最適なパンチ形状は $W/W_0=1.8$, $\alpha=45^\circ$ であった。

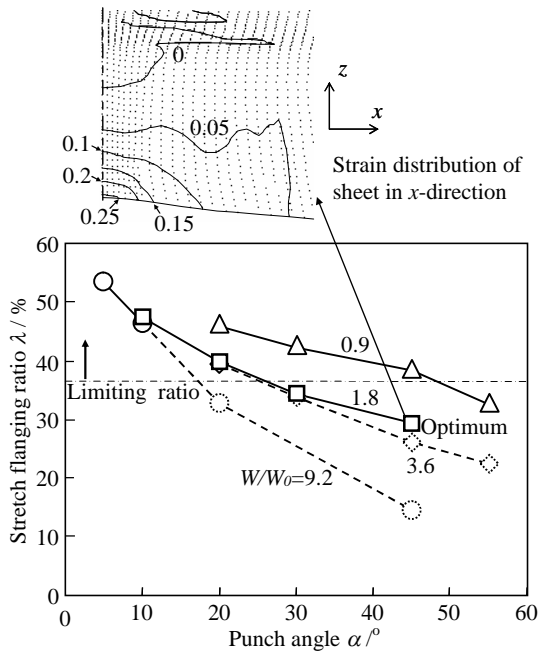


図 14 $L=20\text{mm}$, 980MPa 級鋼板における計算による x 方向のひずみに及ぼす角度と傾斜幅の影響

最適パンチによる限界フランジ長さにおける 980MPa 級鋼板と 1180MPa 級鋼板の製品の形状を図 15 に示す。1180MPa 級においても図 14 と同様の計算を行った。1180MPa 級において計算した範囲では同じ $W/W_0=1.8$, $\alpha=45^\circ$ で最適となった。最適なパンチにより 980MPa 級と 1180MPa 級鋼板では傾斜なしと比べて製品高さをそれぞれ約 1.3 倍と約 1.2 倍に長くできた。

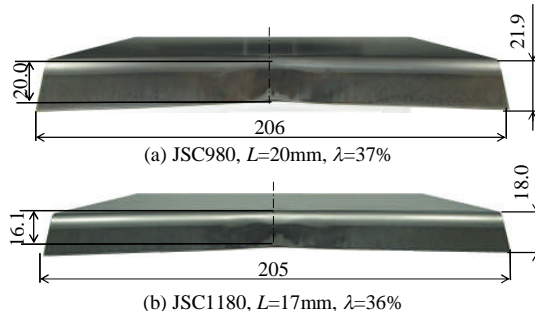


図 15 最適パンチによる限界フランジ長さにおける 980MPa 級鋼板と 1180MPa 級鋼板の製品の形状

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ①安部 洋平, 池田 豊, 森 謙一郎, 超高張力鋼板の破断面平滑加工による穴広げ性の向上, 塑性と加工, 査読有, 掲載決定.
- ②安部 洋平, 乗田 克哉, 森 謙一郎, 逐次接触パンチによる超高張力鋼板の伸びフランジ成形性の向上, 塑性と加工, 査読有, 掲載決定.

〔学会発表〕(計 4 件)

- ①安部洋平, サーボプレスと超・高張力鋼板の板成形, 日本塑性加工学会第 282 回塑性加工シンポジウム「サーボプレスの現状と展望」, 2010 年 05 月 29 日(土), 電気通信大学 総合研究棟 301 室
- ②安部洋平, 冷間プレス成形におけるサーボプレスの利用, 第 5 回サーボプレス研究会, 2010 年 11 月 25 日(木), 豊橋技術科学大学 D 棟 617 室
- ③安部洋平ほか, 破断面平滑加工による超高張力鋼板の穴広げ性の向上, 第 60 回塑性加工連合講演会, 平成 21 年 11 月 1 日, 信州大学.
- ④安部洋平ほか, 部分傾斜パンチによる超高張力鋼板の伸びフランジ成形性の向上, 平成 21 年度塑性加工春季講演会, 平成 21 年 5 月 29 日, 京都大学.

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://plast.pse.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安部 洋平 (豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・講師)

研究者番号: 60402658

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

①森 謙一郎 (豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授)

②乗田 克哉 (豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・学生)

③池田 豊 (豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・学生)