

(レーザー溶接によるテーラードブランク材のプレス製品への適用に関する研究)

15 板厚比 2 を有する異板厚テーラードブランクの成形性

森下勇樹, 門格史, 安部重毅, 田邊栄司

(Study for application to press products of Laser Welding in Tailored Blanks)

Press formability of different thickness tailored blanks with thickness ratio 2

MORISHITA Yuki, KADO Tadashi, ABE Shigeki, and TANABE Eishi

For the auto body manufacture technology, tailored blanks is attractive. Because it makes possible for the auto body to be lightening, high rigidity, and strengthening of the collision safety performance. The applicable rate to the auto body is expanded. In this study, it was examined about deep drawability for square shells of different thickness tailored blanks that the thickness of the thick sheet is two times of the thickness of the thin sheet. The existence of the step on different thickness tailored blanks made to increase the deformation resistance influenced punch load - punch stroke curve, and transit the position of a stroke for maximum punch load to the latter term of deep drawing. In the condition beyond limiting drawing ratio of square shell deep drawing, a special type of breakage was observed on the punch profile. On the punch head, it was became clear that decreasing thickness at the thin side of different thickness tailored blanks resulted from occurring biaxial tension by increase in the punch stroke.

キーワード：異板厚テーラードブランク，レーザー溶接，深絞り成形

1 緒 言

車体製造技術の一つとして注目を集めているテーラードブランク（以下 TB と略称）は、車体の軽量化、高剛性化、衝突安全性能の強化等が可能になることから、自動車車体への適用率を急速に拡大しつつある。これまでの TB のプレス成形に関する研究報告においては、溶接部あるいは溶接部周辺の張出成形性、伸びフランジ成形性を評価した報告や、板厚一定で高強度鋼板と軟鋼板の引張強さの強度比で整理された研究^{1)~4)}が数多く存在する。しかし、プレス部品の軽量化に直接寄与できる板厚が異なる異板厚 TB で、深絞り成形性に関する研究報告はほとんど見当たらない。そこで本研究では TB に使用する薄板鋼板の引張強さが同程度で、厚板と薄板の板厚比が約 2 である比較的強度比が大きい異板厚 TB を対象に角筒深絞り成形を行い、板面上の板厚差がポンチ荷重-ポンチストローク (Lp-Sp) 曲線や変形特性に及ぼす影響について報告する。

2 実験方法

表 1 に本実験で使用した薄板鋼板の機械的性質を示す。深絞り成形用の TB には、公称板厚 1.2mm (番号)と 0.6mm(番号)の表面処理鋼板を接合した。また TB の引試試験において、強度比 ()が塑性ひずみに及ぼす影響を解析するため、番号 と の中間的な最大引張荷重を示す薄板鋼板 (番号 ~)を準備した。引張試験は JIS 5 号試験片形状を適用した。板材の接合は YAG レーザ加工機を使用し、レーザー出力 3.5kW、溶接速度 $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ で突合せ溶接した。

図 1 は、番号 と の薄板鋼板を接合した板厚比 2 (=1.93) である異板厚 TB を角筒深絞り成形した実験装置概略を示す。異板厚 TB の平坦側をダイス側と接触させ、異板厚 TB の段差側と接触するポンチ頭部は、板厚差に対応した形状とした。また、ブランクホルダはしわ押え力が均一に負荷するように分割型とし、板厚差を補正するため、互いの板材をシムとして取り付け面との間に挿入した。TB の溶接ビード位置はダイスの直辺部中央に配置して角筒深絞り成形を行った。金型形状と成形条件は表 2 に示す。

表1 供試材の機械的性質*1

番号	材料名	公称板厚(真板厚) t (mm)	降伏強さ YS (MPa)	引張強さ TS (MPa)	伸び el. (%)	n 値	r 値	強度比 *2	板厚比 *3
	SPCP-3P/3P	1.2 (1.16)	152	290	52	0.21	1.77	1	1
	SPCC	1.0 (0.99)	156	300	51	0.24	1.51	1.13	1.17
	SPCC	1.0 (0.98)	159	311	48	0.22	---	1.10	1.18
	SPFC370	0.8 (0.79)	243	390	38	0.21	1.34	1.09	1.47
	SPCC	0.8 (0.79)	---	304	---	0.24	1.75	1.40	1.47
	SPCC	0.8 (0.76)	220	330	45	0.19	1.63	1.34	1.53
	SPCP-3P/3P	0.6 (0.60)	171	309	47	0.22	2.01	1.81	1.93

*1) 試験片形状は JIS5 号試験片形状を適用した。*2) 強度比 は番号 の最大引張荷重を各番号の最大引張荷重で除した値である。
*3) 板厚比 は番号 の真板厚を各番号の真板厚で除した値である。

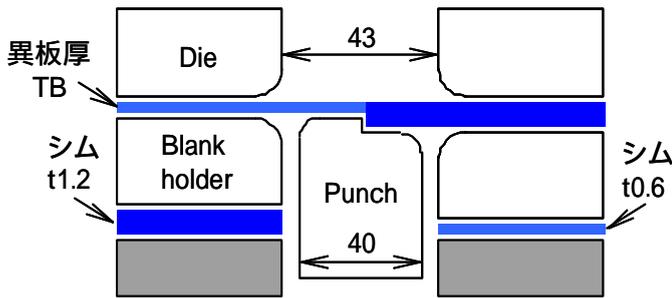


図1 角筒深絞り成形の実験装置概略

表2 角筒成形用金型形状と成形条件

ポンチ	辺長	40mm
	肩 R	4mm
	コーナー R	2.5mm
	ポンチ速度	10mm・min ⁻¹
ダイスと ブランクホルダ	辺長	43mm
	肩 R	4mm
	コーナー R	4mm
	しわ押え力	10kN

3 実験結果と考察

3.1 TB の強度比 が高強度側の板材の最大塑性ひずみに及ぼす影響

図2は、引張試験片に荷重Pを与えて、低強度側が最大荷重に達したとき時の高強度側の最大塑性ひずみ (ϵ_{1max}) と r の関係を示す。プロットの点は、実際の引張試験から計測した高強度側の最大塑性ひずみの実測値 ($\epsilon_{1max}^{meas.}$) で、点線は、それぞれの薄板鋼板の n 乗硬化則、式(1)¹⁾と式(2)¹⁾、および力の釣り合い式(3)¹⁾ から求めた高強度側の最大塑性ひずみの計算値 ($\epsilon_{1max}^{cal.}$) を示す。図2では n 乗硬化則から求めた $\epsilon_{1max}^{cal.}$ は、 $\epsilon_{1max}^{meas.}$ と非常に良く一致することを示すとともに、例えば r が1から1.4に増加する

と ϵ_{1max} は0.32から0.03にまで指数関数的に減少し、TBの溶接ビードと垂直方向への引張試験においては、変形の大部分を低強度側だけでうけもつようになることを示している。次章では、番号 r と t の薄板鋼板を接合した、 $r = 1.93$ 、強度比換算では $r = 1.81$ の異板厚 TB を対象に角筒深絞り成形を行い、その成形性を評価した。

$$\sigma_1 = K_1 \epsilon_1^{n_1} \quad (1)$$

$$\sigma_2 = K_2 \epsilon_2^{n_2} \quad (2)$$

$$\sigma_1 t_1 = \sigma_2 t_2 \quad (3)$$

σ : 真応力 n : 加工硬化指数

K : 塑性係数 TS : 引張強さ

ϵ : 対数ひずみ t : 真板厚

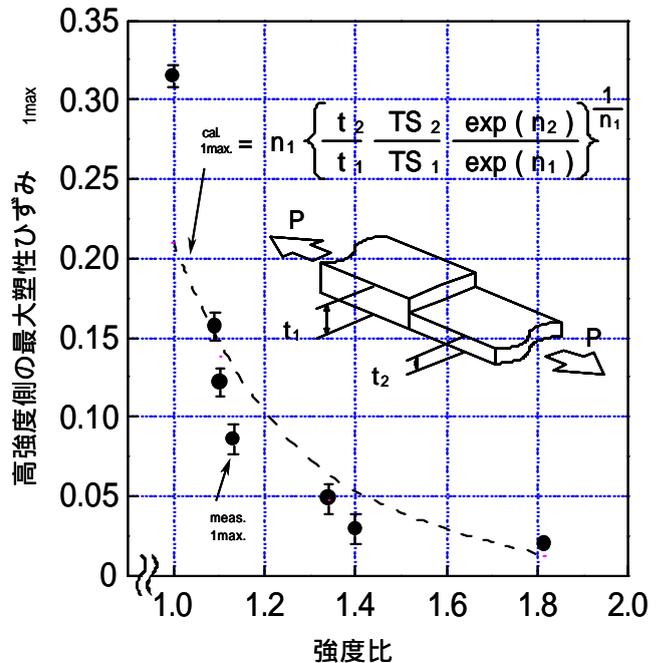


図2 高強度側の最大塑性ひずみと強度比の関係

3.2 異板厚TBの板厚差がLp-Sp曲線と変形特性に及ぼす影響

図3は、板厚比2(=1.93)を有する異板厚TBと、番号(厚板側)と番号(薄板側)の素板の角筒深絞り限界を比較した。限界絞り比 S_{max}/l は、成形可能な最大正方形ブランク辺長 S_{max} を、角筒ポンチ辺長 l (=40mm)で除した値を示す。番号、とも S_{max}/l が約2.5を示したが、異板厚TBの S_{max}/l は2.3まで減少する結果となった。素板については高い S_{max}/l を示しながらも、TB化することで、 S_{max}/l が減少することは、TB板面上に存在する板厚差が、フランジ部での絞り変形抵抗を大きくしていると考えられる。そこで、角筒ポンチの負荷特性を調べるため、図4に $S/l=2.3$ の一定条件で角筒成形した異板厚TBと素板の L_p - S_p 曲線を示す。異板厚TBの最大ポンチ荷重(L_{max})が生じる S_p は素板よりも遅れて発生し、 L_{max} 発生以降の L_p 減少率は小さく、成形終了まで大きな絞り抵抗が負荷されている。

図5は $S_p=25\text{mm}$ の時、(a)に側壁部での溶接ビードの変位状態を、(b)に異板厚TBと素板のフランジ形状を比較する。溶接ビードは直辺部から曲げ・曲げ戻し変形を受けながら流入し、側壁部では S_p に比例して厚板側へ変位量を増加させ、ポンチ頭部中心では最大6mm変位した。厚板と薄板の直辺部のフランジでは、材料流入量は不均一で、薄板では流入量が多く、厚板ではフランジ部に残留する結果となった。絞り成形におけるポンチ頭部では、引張りが作用し、溶接ビードは力のバランスから厚板側へ変位しているが、フランジ部では、圧縮力がフランジ全体に作用しているため厚板は薄板側へ移動しようとする。しかし、板厚差に対応したブランクホルダの段差は、厚板が薄板側へ移動するのを拘束し、ブランクホルダと溶接ビードとの段差部には大きな摩擦抵抗が生じていると考えられる。その結果、異板厚TBの板厚差は、溶接ビードの

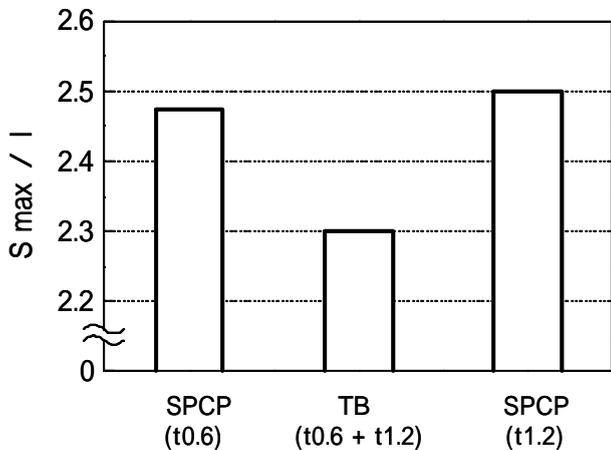


図3 異板厚TBと素板の角筒深絞り限界の比較

絞り方向の材料流入を抑制し、絞り変形抵抗を増加させる要因となり、図4に見られるような成形終了まで高い L_p を維持させる要因と考えられる。

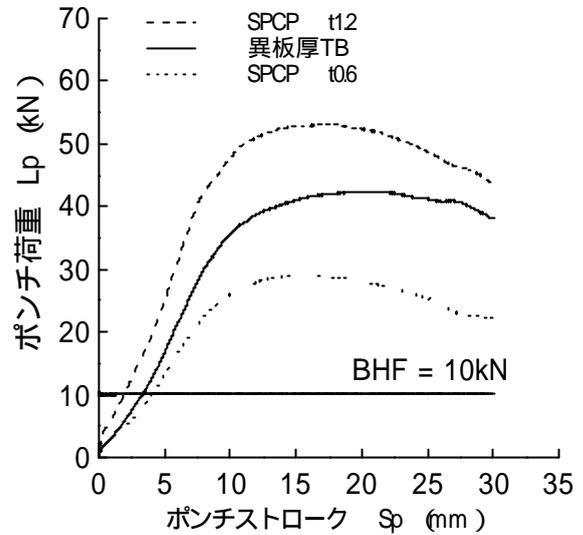


図4 角筒深絞り成形における L_p - S_p 曲線

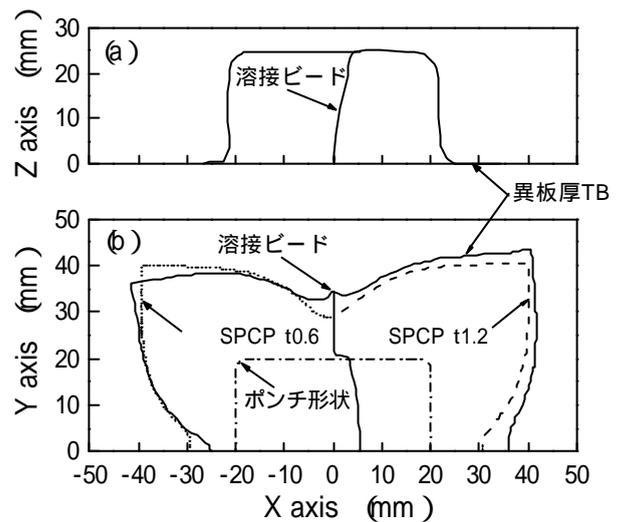


図5 異板厚TBの変形形状

(a) 溶接ビード変位状態 (b) フランジ変形形状

3.3 異板厚TBの破断形態

図6(a)~(c)は絞り比 $S/l=2.35$ 、 $S_p=20\text{mm}$ での異板厚TBの薄板側と厚板側のポンチ肩コーナー部に発生した破断様式を示す。図6(a)に示す厚板と薄板の破断はほぼ同時に亀裂が発生したが、破断の形態は大きく異なっている。図6(b)に見られる薄板で生じた破断はフランジ部の絞り抵抗がポンチ肩部の破断耐力を超えたとき発生する形態であるが、図6(c)の厚板で生じた破断は亀裂が対角方向に発生し、その後溶接ビードと垂直方向に進展するという特異な破断現象を示した。



図6 異板厚 TB に発生した破断現象

(a) ポンチ肩コーナ部で発生した破断 (b) 薄板側 (t0.6) の破断 (c) 厚板側 (t1.2) の破断

3.4 S_p と板厚比 2 が板厚ひずみに及ぼす影響

図7は $S/l=2.3$ の条件で $S_p=25\text{mm}$ まで成形した角筒成形品の直辺方向の板厚ひずみ変化に及ぼす S_p の影響と、それぞれの素板を角筒成形した板厚ひずみ変化を比較した。板厚測定は成形前の正方形ブランクの中心を原点とした。ポンチ頭部では、厚板側と薄板側とも S_p の増加に伴い板厚減少が生じ、特に薄板側では減少量が大きい。溶接ビードからポンチ肩部へ離れると、薄板側では板厚減少は小さくなるが、厚板側では板厚減少が大きくなる傾向を示した。ポンチ肩部から側壁部、ダイス肩部にかけて、板厚は増加する傾向を示した。また、 $S_p=25\text{mm}$ で異板厚 TB と素板の板厚ひずみを比較すると、厚板側では、ほぼ同じ板厚ひずみ変化を示すが、薄板側ではポンチ頭部での板厚減少量は大きく、素板とは異なる結果となった。図5から異板厚 TB の板厚差は、フランジ部で溶接ビードと垂直方向への移動を拘束させ、厚板と薄板の材料流入を不均一にし、さらに溶接ビードも直辺部からの流入を抑制されることから、ポンチ頭部では二軸引張りが作用していると考えられる。厚板と薄板の板厚比は2であるため薄板側への応力集中は顕著となり S_p の増加と共に板厚減少を促進させる結果になったと考えられる。

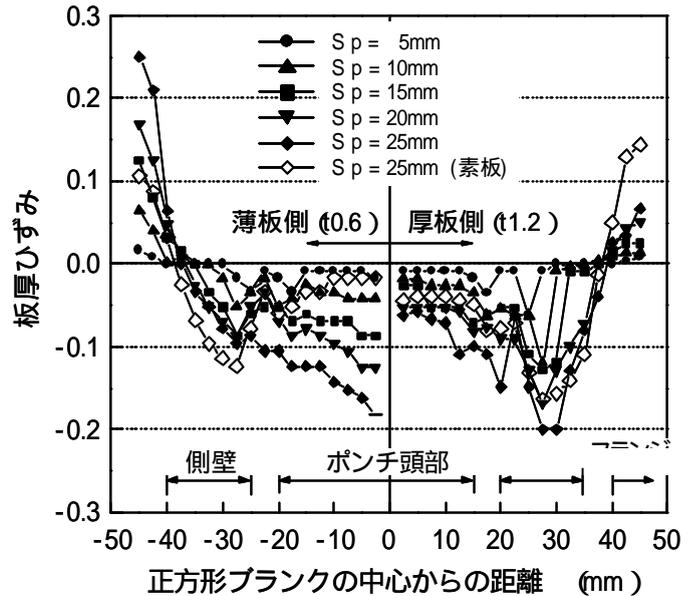


図7 S_p が角筒成形品の板厚ひずみに及ぼす影響

4 結 言

板厚比 2 を有する異板厚 TB の角筒深絞り成形を行い、次の結果を得た。

- (1) L_p-S_p 曲線に及ぼす板厚差は絞り変形抵抗を増加させ、 L_{max} が生じる S_p 位置を成形後期へ遷移させる。
- (2) 異板厚 TB の破断はポンチ肩コーナ部で発生し厚板側では特異な破断形態を示す。
- (3) ポンチ頭部では S_p の増加に伴い二軸引張り力が作用し薄板側で板厚減少が顕著になる。

なお、本研究は中小企業技術開発産学官連携促進事業により実施したものである。

文 献

- 1) 池本ほか：塑性と加工,32-370(1991),1383
- 2) 夏見ほか：塑性と加工,38-432(1997),45
- 3) 橋本ほか：塑性加工学会関西支部第202回シンポジウムテキスト(2001),27
- 4) 森下ほか：平13春塑加講論(2001),67