

(再現性) LSB の 2 つの時期の特性値を見ると, 明らかな差が認められる. どの材料においても後で測定した場合の方が張出し高さが高く出ている. この差は潤滑油の粘度等の差に起因するものと思われる. 張出し高さの順位は調圧材, 未調圧材ともほぼ同じと見ることができ.

(ビードの影響) LS と同時期に測定した LSB を比較すると LS の張出し高さの方が平均値で 1~2 mm 高くなっている. この差がり絞込みによるものか, ビードの予歪によるものかは明らかでない.

SS と SSB を比較すると一般に SS の張出し高さのほうが高い. その差がコニカルカップ値が低い材料ほど大きいことからみて, この 2 つの試験値の差は絞り込みによるものと考えられることができる.

(ダイス肩半径の影響) SS と Er を比較すると, 張出し高さの順位はほぼ同じであるが高さの絶対値は前者のほうが 0.5~1 mm 高い. SS と Er の試験条件の差はダイスの肩半径が前者では 2 mm であるのに対し後者では 0.75 mm である点であり, この程度の差にもとずくダイス周辺部の変形の影響が無視し得ない程度のものであることがわかる.

(工具寸法の影響) LSB と SSB の張出し高さの順位は対応しない.

(深絞り性との関係) 各群内で LSB の張出し高さの順位とコニカルカップ値の順位とが対応する傾向が認められる. すなわち, LSB の張出し高さの高い材料はコニカルカップ値が高く深絞り性が悪い.

このタイプの張出し成形でポンチ頭部から離れたところでネッキングが起る場合には, その部分より頭部側の領域が変形し易い材料は成形限での張出し高さが高くなると考えられる.

このような場合には r 値が低い材料のほうが頭部近傍での歪が大きく, 成形限での張出し高さが高くなるというデータが住友金属から出されているが¹⁾, 筆者らの今回の実験も上記のデータと一致する傾向を示している.

4.2 Type II の試験値

(工具寸法の影響) LCB 1, LCB 2, SCB の張出し高さの順位は比較的似た傾向を示しているが, LCB 1 と LCB 2 を比較すると, 後者の方が深絞り性のすぐれた材料の値を高くする傾向があるように思われる.

(深絞り性との関係) 調圧材では深絞り性のすぐれた材料ほど張出し高さが高くなる傾向が認められる.

4.3 Type I の試験値と Type II の試験値の関連

LSB と LCB の張出し高さの順位は対応していない. すなわち LSB では深絞り性のすぐれた材料の張出し高さが低い傾向があるが, LCB ではこのような傾向は認められず, 特に調圧材においては深絞り性のすぐれた材料のほうが張出し高さが高くなる傾向が認められた.

LCB で張出しを行なう場合, 破断位置は一般にポンチ肩部によって曲げを受けて引張られた部分である. LCB のポンチ肩半径は LSB のポンチ半径の 1/15 であり, LCB は比較的曲げの影響が大きいと考えられる.

筆者らは曲げの影響を検討する 1 つの方法として LCB と LSB による 2 段張出しを行ない, 2 段目の LSB による張出しの際の破断位置と 1 段目に LCB のポンチ肩

による曲げを受けた位置との関係を調べている.

本研究で用いた材料 A, C, D, E, F, G, H を対象に第 1 段目を LCB 2 で 10 mm および 20 mm の高さまで張出した場合について検討したところ, 材料 A, E, F は第 1 段目に曲げを受けた部分で破断したが, 材料 C, D, G, H はこの部分から相当離れた, 通常 LSB で一段の張出しを行なつた際に材料が破断する位置で破断した. この結果からみて材料 C, D, G, H は比較的曲げの影響を受けにくいと考えられる.

材料 C, D; G, H の張出し高さと同群内の他の材料の張出し高さとの順位の関係が LCB の場合には LSB の場合より優位になつていることの理由の 1 つは上記の曲げに対する感受性が小さいことであると思われる.

5. 結 言

8 種類の絞り用薄鋼板を対象に球頭および円筒平底ポンチを用いた 8 種類の軸対称張出し試験を行ない, 成形限での張出し高さの順位を検討した.

(1) 材料の張出し高さの順位に対して影響を及ぼす因子はポンチ形状, ビードの有無, 工具の大小である. ポンチ形状およびビードの影響はかなりはつきりした傾向をもっているが, 工具の大小の差の影響にははつきりした傾向が認められない.

(2) 球頭の大型ポンチによる張出し高さは, 深絞り性が悪い材料ほど高かつた. これは深絞り性の悪い材料ではポンチ頭部近傍が歪みやすかつたためと思われる.

(3) 平底ポンチによる張出しの場合には深絞り性のよい材料の成績は悪くなかつた. これには今回用いた深絞り性のよい材料は曲げに対する感受性が比較的小さいことが影響していると思われる.

文 献

- 1) 住友金属中研: 薄板成形技術委員会張出し性分科会資料

(討-11) 薄鋼板の伸びフランジ成形性におよぼす機械的性質の影響について

八幡製鉄, 技術研究所

中島 浩衛・○菊間 敏夫

The Effects of Mechanical Properties on the Formability of Stretch Flange of Steel Sheets

Kōe NAKAJIMA and Toshio KIKUMA

1. 結 言

薄鋼板のプレス成形における基本的な成形様式について吉田¹⁾が成形区分を体系化し, (1) 絞り成形, (2) 張出し成形, (3) 伸びフランジ成形, (4) 曲げ成形の 4 つに分類している. 厚手ゲージの薄鋼板 (主として熱延鋼板) の場合, 絞り成形, 複合成形などの加工を受ける場合もあるが, 自動車の強度メンバー類, たとえばサスペンションアーム, サイドフレーム, クロスメンバーなどに成形される場合は, 主として曲げ成形および伸びフランジ成形の場合が多い. すなわち一般に打抜加工された素板が曲げ成形と伸びフランジ成形を同時に受けるために, 曲げ成形性 (許容曲げ半径に対する成形性) ととも

Table 1. Test materials.

Specimens ref. No.	Materials	Thickness (mm)	Mechanical properties				Grain size (ASTM No.)
			Y.P. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	U.El(%)	T.El(%)	
1	Cold rolled low carbon steel (rimmed)	2.6	L 23.8	34.3	24.0	45.1	8.5
			C 24.6	34.9	22.4	43.1	
2	Cold rolled low carbon steel (killed)	2.6	L 20.3	30.9	25.6	48.2	7.9
			C 20.7	31.0	25.4	47.6	
3	Hot rolled low carbon steel (rimmed)	3.2	L 22.7	34.6	24.2	44.4	9.1
			C 23.0	34.6	24.7	44.8	
4	Hot rolled low carbon steel (rimmed)	3.2	L 24.5	33.6	20.5	43.6	8.6
			C 25.6	33.3	20.0	42.5	
5	Hot rolled low carbon steel (killed)	3.2	L 23.8	35.8	23.4	43.1	9.1
			C 25.1	36.0	22.7	42.1	

Table 2. Conditions of stretch flanging test.

Size of specimen	Diameter of punch	Diameter of central holl	Shape of punch	Radius of die shoulder	Blank holding force	Lubrication
$t_0 \times 500 \times 500$	200 ϕ mm	50 ϕ mm	Semi-spherical	25 γ mm	60 t	Lubricated machine oil #160 on the punch surface

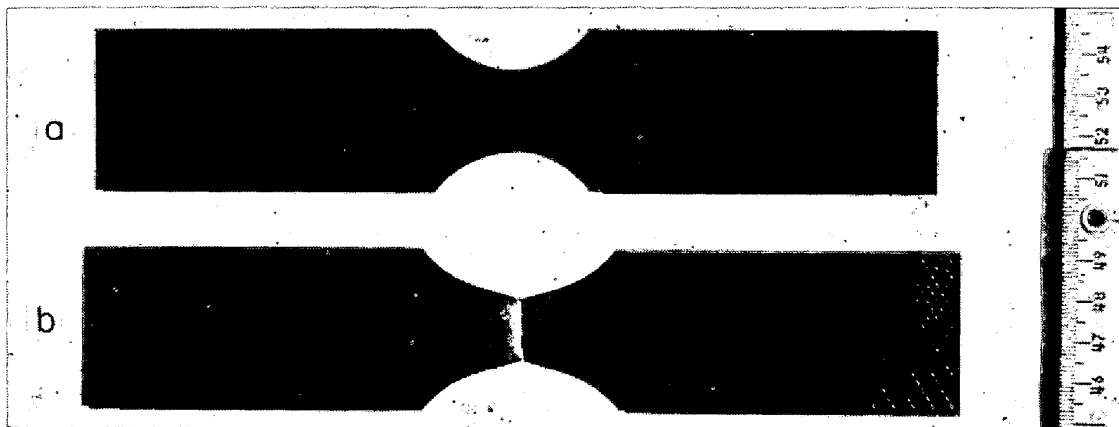


Photo. 1. The shape of special type test piece with circle arc.

に伸びフランジ成形性が重要になる。伸びフランジ成形によるプレス成形不良現象は打抜剪断加工面が伸び変形することによってクラックが発生するもので、米国ではこの種の破断を“end cracking”（端面割れ）と呼んでいる²⁾。この割れを防ぐ方法としてバリとり、剪断加工表面層の削除などを行えばよいのであるが、実際にはこれらの作業が省略されることが多いため、そこで打抜加工後の伸びフランジ成形性に必要な材料特性について研究を行なった。

2. 実験方法

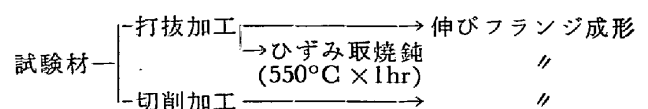
2.1 試験材

試験材には板厚 2.5~3.2 mm の冷延および熱延極軟鋼板を用いた。これらの機械的性質の 1 例を Table 1 に示す。

2.2 伸びフランジ成形試験

伸びフランジ成形試験はつぎに示すような試験工程で行なった。

ブランク穴加工



試験片は $t_0 \times 500$ mm ϕ の中央に 50 mm ϕ の穴をあけたものを用い、150 t 複動油圧式プレス機で Table 2 に示す諸元で伸びフランジ成形試験を行なった。

中央の穴は打抜加工を行なったものと穴周囲の加工硬化層の影響を調査するために比較材として切削加工を行なったもの、および打抜加工後ひずみ取焼鈍 (550°C ×

Table 3. Forming heights in stretch flanging test.

Specimens Ref. No.	Forming heights in stretch flanging, h (mm)		
	As blanked	As machined	As annealed after blanked
1	57.5	90.5	75.5
2	75.0	95.0	84.0
3	64.0	84.0	93.0
4	66.0	89.0	97.0
5	61.5	94.0	86.5

1hr) を行なつたものもあわせて試験した。

成形性は成形過程で穴周囲に割れが発生するまでの成形高さとその時の穴拡げ率をもつて基準としたが成形高さとの関係は高精度に相関があることを実験的に十分確かめたので成形高さを判定基準とした。

2.3 R付引張試験

R付引張試験片は Photo. 1 に示すように伸びフランジ成形における穴周囲の応力条件と近似した応力条件を発生させるためにR部の曲率半径を 25(r)mm にした。伸びフランジ成形試験と同様にR部の加工は打抜加工と切削加工および打抜加工後ひずみ取焼鈍を行なつたものを用いた。打抜加工条件はポンチとダイスのクリアランスを 0.1 mm(一定)で、これは板厚の 3~4% に相当した。

3. 実験結果

3.1 伸びフランジ成形性

伸びフランジ成形性は Table 3 に 1 例を示すように試料によって異なり穴加工法および処理法の影響が非常に大きいことがわかる。切削加工材の成形性は打抜加工のような強度の剪断加工を受けておらず、材料自身の特性を示した打抜加工材に較べて約 30~60% 増の著しい向上を示した。

剪断加工部の加工硬化層の影響を取り除いた打抜加工後のひずみ取焼鈍材は、打抜加工材よりも冷延鋼板の場合約 10~30% の向上を示し、熱延鋼板の場合は切削加工材よりもすぐれた成形性を示すものもあつた。このことは冷延鋼板の場合スキンプラス圧延による伸び減少、また熱延鋼板の場合は熱延後の冷却過程で生じたひずみおよびレベラー加工などによる伸び減少がひずみ取焼鈍によつて回復したためであろうと考えられる。

3.2 機械的性質と伸びフランジ成形性との関係

JIS 5号引張試験による機械的性質と伸びフランジ成形性との関係は全伸び、均一伸び局部伸びなどの伸び特性と相関性があり特に Fig. 1 に示すように全伸びと比較的良好な相関が認められた。ひずみ取焼鈍材および切削加工材も同様な関係にあり打抜加工材よりも一段と良好な別のグループとして示された。

3.3 R付引張試験片の伸び特性と伸びフランジ成形性

R付試験片でR部を打抜加工あるいは、切削加工をした場合の機械的性質は、打抜加工によつて降伏点がわずか(約 1.5 kg/mm²) 上昇するが引張強さにはほとんど差が現われなかつた。しかしながらR付試験片の全伸びには顕著な差が現われ、C方向では約 1.0~9.0% 減少することが認められた。この打抜加工によつて生ずる剪断加工部の加工硬化による伸び減少量 (Δe_R) は試料によ

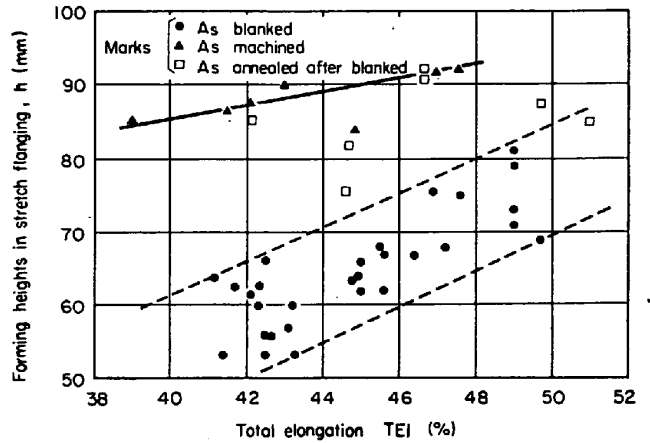


Fig. 2. The effect of the total elongation on the forming heights in stretch flanging. (Type of tensile test piece: JIS 5. Tensile direction: Transverse to rolling direction).

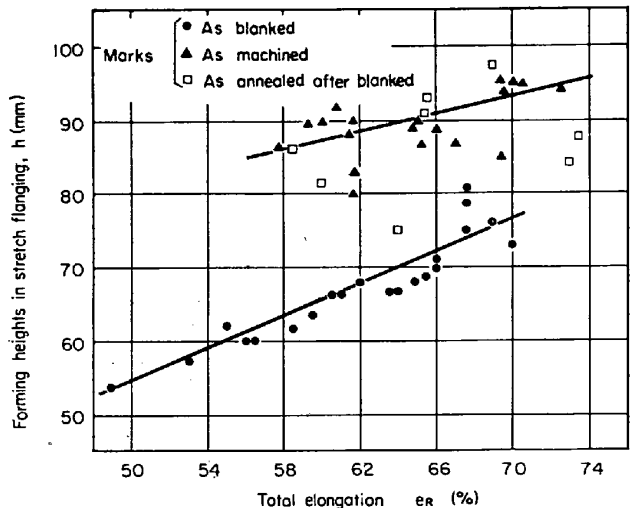


Fig. 2 The effect of the total elongations in tensile tests of special type test piece with circle arc on the forming heights in stretch flanging.

つて異なりその減少量を (1), (2) 式によつて示すことができる。

$$\Delta e_{R1} = E_R(\text{切削加工}) - e_R(\text{打抜加工}) \quad (1)$$

$$\Delta e_{R2} = [e'_R(\text{打抜加工後焼鈍}) - e_R(\text{打抜加工})] - [E'_R(\text{切削加工後焼鈍}) - E_R(\text{切削加工})] \quad (2)$$

ここで Δe_{R1} は切削加工と打抜加工の場合であり、 Δe_{R2} は切削加工と打抜加工のひずみ取焼鈍の効果を考慮したものであるが両者ともほとんど差のないことが実験によつて確認できた。

R付試験片のC方向伸びと伸びフランジ成形性との関係は Fig. 2 に示すように打抜加工における両者の関係は非常によい相関が認められた。

Fig. 1 に示した JIS 5号引張試験片のC方向全伸びも同様な関係はあるが打抜付試験片のほうがばらつきも少なく良好な関係を示していることがわかる。これより打抜加工後の伸びフランジ成形性は打抜R付引張試験片の

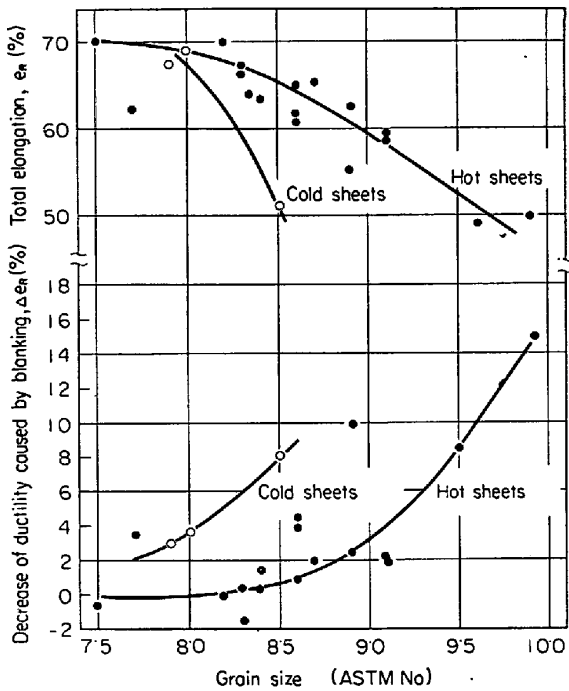
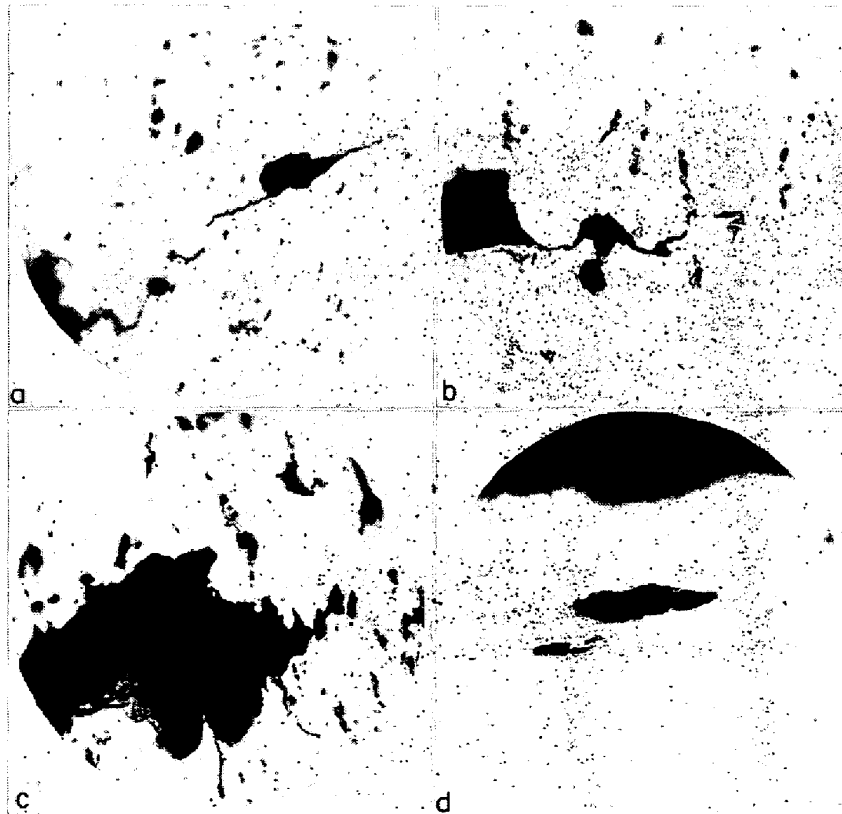


Fig. 3. The effects of grain size on ductility characteristics after blanking. (circle test piece)



a: Propagating cracks between a void and another one
b: Propagating cracks along string type cementites
c: Initiating voids at the end of cementites
d: Initiating voids around nonmetallic inclusions

Photo. 2. The effects of carbides and nonmetallic inclusions on the crack initiating and propagation.

C方向伸びによつて評価できることがわかつた。

3.4 結晶粒, 炭化物および介在物の伸びフランジ成形性におよぼす影響

結晶粒, 炭化物および介在物などの冶金学的因子の観点から伸びフランジ成形性を検討した結果, 結晶粒については Fig. 3 に示すように, 結晶粒度と伸びフランジ成形性および打抜加工によつて生ずる加工硬化による伸び減少量 (Δe_R) との間に関係があり, 結晶粒の大きいものほど打抜加工による伸び減少量が小さいことがわかつた。

また炭化物はその形状効果の点から考えて, ひも状のものはそれだけ応力集中係数が大きくなり³⁾。Photo. 2 に示すようにクラックの発生源あるいは伝播径路^{4,5)}にもなりうるもので球状のものかあるいはそれに近い形状のものが良好で, 当然のことながら炭化物の量の少ないものほど伸びフランジ成形性は向上し, 打抜加工による伸び減少量が小さいことが認められた。介在物も炭化物と同様にクラックの発生源となりやすく, 介在物の少ないものほど伸びフランジ成形性が向上することを実験的に示した。

4. 結 言

厚手ゲージの薄鋼板の打抜加工を行なつたブランクの伸びフランジ成形性と材料特性との関係について検討を加えた結果つぎのことが明らかとなつた。

(1) 伸びフランジ成形性と JIS 5 号引張

試験による C 方向伸びとの間にはばらつきはあるけれども相関々係がある。

(2) 伸びフランジ成形性を知る簡便なシュミレート・テスト法として R 付引張試験片の引張試験を行なつて, その C 方向伸びと成形性との間に良好な相関々係を得た。

(3) 伸びフランジ成形性を支配する材料特性として材料自身の伸びのほかに打抜加工による加工硬化によつて生ずる伸び減少の少ないことが必要であることを明らかにした。

(4) これら材料特性を支配する冶金学的因子として結晶粒度, 炭化物の分布, 量, および介在物などの影響について検討を加え, 炭化物や介在物が変形過程でクラックの発生源あるいは伝播径路となることを示した。

文 献

- 1) 吉田: 塑性と加工, 2 (1961), p. 657
- 2) Metal Progress, 88 (1965), p. 103
- 3) R. H. EDWARD: J. Appl. Mech., 18 (1951), p. 19
- 4) J. W. JACOBSON: Mech. Eng., 79 (1957), p. 13
- 5) C. J. MCMAHON and M. COHEN: Acta. Met., 13 (1965), p. 591