

討 9 高張力冷延鋼板のプレス成形性および形状凍結性

川崎製鉄 技術研究所

大橋延夫 ○高橋 功

橋口耕一 橋本 弘

千葉製鉄所

大西建男 古川幸夫

1. 緒言

自動車の重量軽減と乗員の安全性向上を指向して単体用薄鋼板の高強度化が進められている。一般に鋼板が高強度化するにつれて延性、プレス成形性は劣化するが、その程度は鋼板の化学組成や製造工程などによって異なる。そこでこれらの要因の異なる引張強さ30~70 kg/mm²の冷延鋼板を用いて、プレス成形性および形状凍結性を調べ、鋼板の材料特性との関係を検討した。

2. 供試材

表1. 供試材の化学成分と機械的性質

供試材の化学成分および機械的性質を表1に示す。用いた試料は軟鋼板3種と箱焼鈍法(BA)および連続焼鈍法(CA)によって製造された引張強さ40~70 kg/mm²の高張力鋼板10種で、板厚はすべて0.8mmである。

高張力鋼板のうちBA材は固溶硬化型元素Si, Mnあるいは析出強化型元素Nb, Tiを添加し、それぞれの強化作用とともに結晶粒微細化による強化も行なっている。一方、CA材は

Crを添加し、Ac1以上の温度で短時間焼鈍を行ない、その後の冷却速度を適当に制御することによりε相混合組織としている。供試材のT.S.とY.S.の関係を図1に示す。製造方法によって降伏比, Y.R. (Y.S./T.S.)が異なり、BA材では65%以上そしてCA材では65%以下である。またCA材は時効硬化性が大さいという特徴をも有する^{1), 2)}なお供試材はすべて炭素量を0.1%以下とした。

3. 実験方法

JIS Z 2249によるCCV試験, 限界絞り試験(ポンテ径33mmφ, しわ押え力1t), 液圧バルジ試験(ブランク200mmφ, ダイ径150mmφ), 穴抜き試験(ブランク100mmφ, 打ち抜きまたはリーマ仕上げ穴14mmφ, 50mmφ平頭ポンテ, しわ押え力9t), およびコニカルカットバックリング試験(CCBT)³⁾を行なった。

さらに成形時の形状凍結性を調べるため、ハット型成形(ブランク80×120mm², 40mmφ角筒ポンテ, しわ押え力0~3t, 成形高さ30mm)および浅絞りプレス成形(ブランク500mmφ, 300mmφ角筒ポンテ, ポンテ底面曲率半径 $\rho_0 = 634, 1043, 1790$ mm, しわ押え力85t, 成形高さ55mm)を行なった。なお潤滑油は穴抜き試験の日本工作油#120で、他はすべて#620を使用した。浅絞り成形後耐テンタビリティを調べるため、そのままあるいは自動車の塗装ラインでの熱履歴に相当する170°C, 20minの時効後、プレス品中央に先端が75mmの曲率半径を有する20mmφの円筒ポンテで荷重Pを加え、その時の全歪量 δ_t と荷重除荷後の残留塑性歪量 δ_p をダイヤルゲージで測定した。

Material	Symbol	Chemical Compositions (wt%)							Mechanical properties				
		c	Si	Mn	Nb	Ti	Cr	Y.S. _{0.2} (kg/mm ²)	T.S. _{0.2} (kg/mm ²)	E1 (%)	F	n	
Mild steel	R30	0.032	0.002	0.28	nd	nd	nd	21.6	32.8	46	1.07	0.236	
	K30	0.033	0.012	0.30	nd	nd	nd	18.0	30.3	44	1.55	0.232	
HITEN (BA)*	B40	0.10	0.38	0.76	nd	nd	nd	31.1	44.2	34	0.99	0.211	
	B40	0.088	0.036	0.81	0.045	nd	nd	34.7	43.8	34	0.82	0.181	
	B45	0.090	0.41	1.20	nd	nd	nd	35.8	47.8	31	1.11	0.167	
	B50	0.069	0.83	1.49	0.034	nd	nd	35.8	52.5	32	1.02	0.201	
	B55	0.079	0.79	1.53	0.040	nd	nd	43.8	56.5	29	0.91	0.181	
	B60	0.081	0.86	1.55	nd	0.041	nd	48.5	61.8	29	0.92	0.190	
HITEN (CA)*	C45	0.051	0.030	1.22	nd	nd	0.52	22.7	49.7	35	0.81	0.241	
	C50	0.045	0.50	1.22	nd	nd	0.47	25.3	53.0	33	0.80	0.246	
	C60	0.071	0.035	1.26	nd	nd	0.49	39.5	62.9	29	0.89	0.178	
	C70	0.062	0.52	1.26	nd	nd	0.50	43.8	69.6	26	0.86	0.170	

* BA : Bell annealing

* CA : Continuous annealing

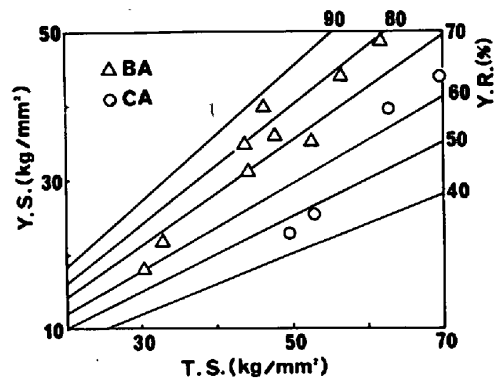


図1. 供試材の降伏比

4. 実験結果と検討

4.1 成形性

C.C.V., L.D.R., バルジ高さ, 全伸びと引張強さの関係を図6に示す。一般に引張強さの増加にもない成形性は低下するがその割合は鋼種によって異なる。同一強度で比較すると伸びとバルジ高さはCA材がBA材より大きい。一方, C.C.V. は鋼種間の差は小さく引張強さの増加とともに劣化する。またしわ押えカーブの条件で求めたL.D.R.と引張強さとの関係は明確でない。

プレス成形におけるしわ発生傾向の評価法として阿部ら³⁾により提案されたC.C.B.T.法とは, C.C.V.試験で定められた条件よりしわの発生しやすい条件すなわちより大きいブランク径($D_0 = 60 \sim 90 \text{mm}$)でコニカルダイJIS II型を用い, しわの発生する時点まで送り, そのときのブランク外径 D_B から $r_B = D_B/D_0$ を求める。一方, C.C.V.試験での破断時のブランク外径 D_F から $r_F = D_F/D_0$ を求め, しわと割れの両者を考慮した成形性指標FI値(Formability Index)を次式で定義する。

$$FI = 1/r_B \cdot r_F$$

このFI値が円錐台成形あるいはフェンダー成形におけるしわも割れもないしわ押え力範囲(ΔBHF)と強い相関をもつことが示されている。図3に $D_0 = 75 \text{mm}$ で求めたFI値と引張強さの関係を示す。C50を除けばCA材は同一強度でBA材より高いFI値を有する。

4.2 伸びフランジ性

リーマー仕上げと打ち抜き穴の場合の穴抜き率, $\lambda = 100(d - d_0)/d_0$ と引張強さの関係を図4に示す。いずれの場合もT.S.の増加とともに伸びフランジ性は劣化する。一般に伸びフランジ性は材料の非金属材料やカーバイドなどのいわゆるmechanical fiberや集合組織に支配される。集合組織は材料の組成や製造方法に大きく左右され, r 値の面内異方性をもたらす。その一例として図5に r 値の面内分布と穴抜き試験片の破断位置をあわせて示す。どの試験群も冷延方向に対

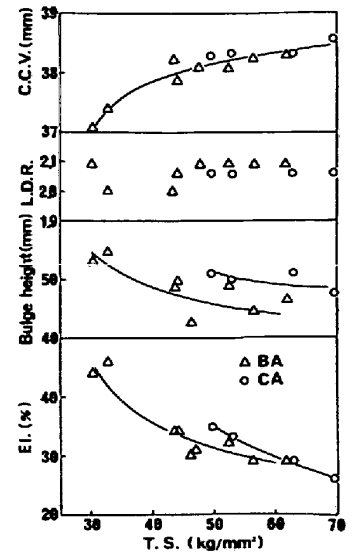


図2. C.C.V., L.D.R., バルジ高さ, 全伸びと引張強さの関係

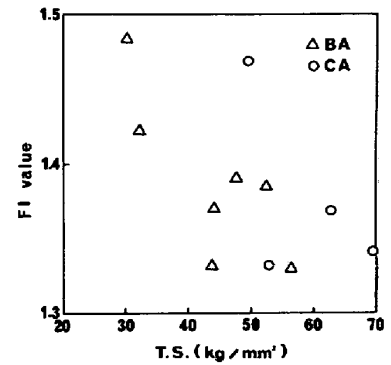


図3. FI値と引張強さの関係

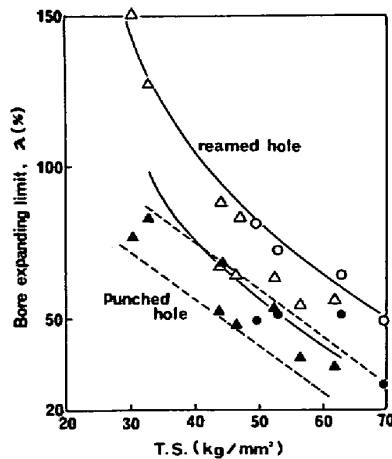


図4. 穴抜き率と引張強さの関係

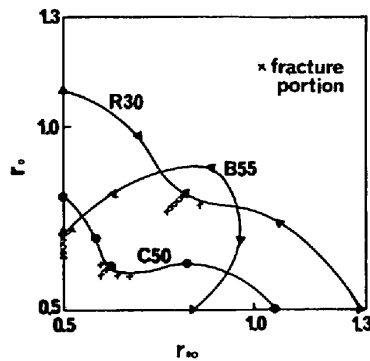


図5. r 値の面内異方性と穴抜き試験における破断位置

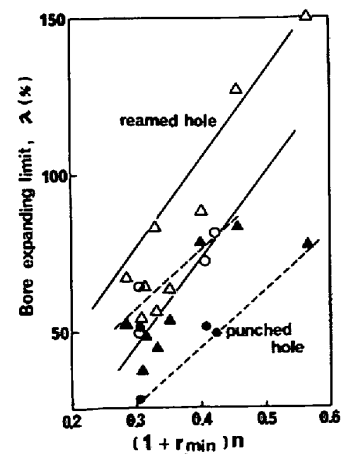


図6. 穴抜き率におよぼす r 値, r 値の影響

して特定角度の位置で破断し、しかもその位置は r_{min} 位置に対応しているので、mechanical fiber の影響は小さいといえる。r 値の面内異方性のある鋼板の場合、破断位置は r_{min} 位置に対応し、その穴拡がり率は $(1+r_{min})\epsilon$ によって表わされることが軟鋼板について計算⁴⁾ されているが、図6に示すように高張力鋼板についてもこの関係が適用できることがわかる。

4.3 形状凍結性

ハット型断面に成形後、開き、 a 、を測定し、 $\theta = \tan^{-1}(a/30)$ でスプリングバック量を評価した。(図7) 軟鋼板の場合、成形時のしわ押え力を高めると高さ30mmまで成形できず、途中でwall breakを起こす。しかし一般にしわ押え力の増加にもない θ は減少し、同一しわ押え力の場合は鋼板の引張強さの増加とともに θ が増加する。

浅絞りプレス成形におけるスプリングバックを図8に示す。スプリングバック、 $\Delta P/P$ 、を $((1/\rho_0) - (1/\rho)) / (1/\rho_0)$ で定義する。ここで ρ_0 はポンテ底面の曲率半径、 ρ はプレス品の曲率半径である。BA材のスプリングバック、 $\Delta P/P$ 、は引張強さに比例して増加するが、CA材のそれは同一強度で比較してBA材より著しく小さい。またポンテの曲率半径 ρ_0 が小さくなるにつれて $\Delta P/P$ は減少する。このスプリングバックを降伏応力との関係で整理すると図9が得られ、降伏応力の増加にもない $\Delta P/P$ が増大することがわかる。したがって浅絞り成形のような比較的歪の小さい領域の成形におけるスプリングバックは降伏応力に支配され、ハット型成形のように歪の大きい領域では引張強さに支配される傾向がある。

このことをより明らかにするためCA材およびそれを400℃で20min時効した材料(降伏応力が約15 kg/mm²増加し、引張強さは約5 kg/mm²低下する)でハット型成形し、スプリングバック、 θ 、を求め、しわ押え力との関係を示したのが図10である。しわ押え力の小さい領域では降伏応力の高い時効した材料の θ が大きいが、しわ押え力が大きくなると降伏応力が低く引張強さの高い非時効材の θ が大きくなる。すなわちスプリングバックは成形歪領域によって材料特性との関係が異なることを示している。

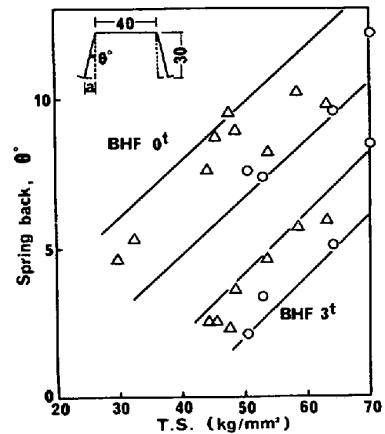


図7. ハット型成形時のスプリングバックと引張強さの関係

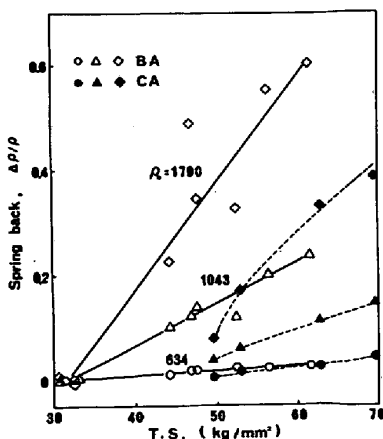


図8. 浅絞りプレス成形におけるスプリングバックにおよぼすポンテ曲率半径の影響

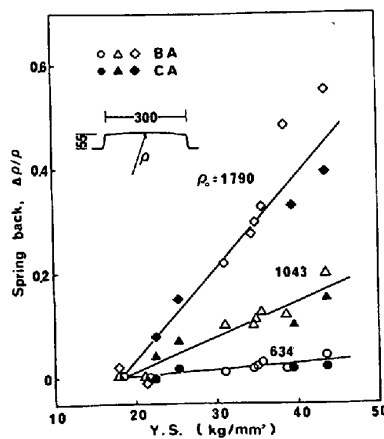


図9. 浅絞りプレス成形におけるスプリングバックと降伏応力の関係

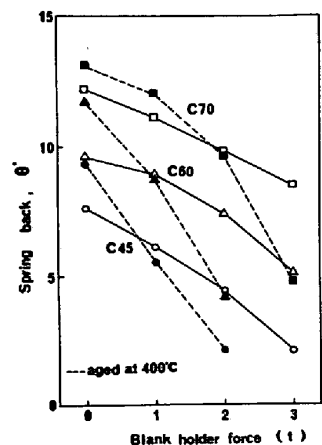


図10. ハット型成形におけるスプリングバックにおよぼすしわ押え力の影響

浅絞りプレス品では一般に f_0 が大きい場合、降伏応力によってスプリングバックが異なり、プレス後の形状に差をきたしそのため弾性領域内での変形が問題となる張り剛性は、降伏応力の低い材料ほど高くなるといわれている。^{52,61} 一方、 f_0 が小さい場合図9に示すようにスプリングバックは小さく、降伏応力の影響も少ない。この場合について塑性域まで含めた剛性（耐デントビリティー）を調べた。プレス品の中央に荷重を加えて全歪量 $d_t = 5 \text{ mm}$ まで変形させ除荷したときの残留歪 d_p で耐デントビリティーを評価する。その結果を図11に示すが、降伏応力が高いほど残留歪が小さく耐デントビリティーが良好であり門部らの報告⁵¹と一致する。またその傾向は f_0 が小さいほど顕著である。しかし f_0 が大きい場合、製品曲率半径 R が異なるため厳密には R 一定のもとで耐デントビリティーを検討する必要がある。

またCA材の残留歪はBA材に比べて小さい。図中の矢印はプレス後 170°C で 20 min 時効したときの残留歪の変化を表す。いずれの鋼板も時効により残留歪は減少するが、その減少量は鋼板によって異なる。すなわち軟鋼板ではR30（リムド鋼）がK30（キルド鋼）より大きく、高張力鋼板ではCA材がBA材より大きい。つまり時効硬化しやすい鋼板ほど、時効されると耐デントビリティーが向上することを示唆している。

5. 結論

製造方法の異なる引張強さ $30 \sim 70 \text{ kg/mm}^2$ の冷延鋼板を用いてプレス成形性および形状凍結性を調べた結果、つぎのことが明らかになった。

- (1) 一般に強度上昇に伴ない成形性は低下するがその低下の割合は鋼種によって異なる。連続焼鈍法で製造されたる相混合組織の高張力鋼板は箱焼鈍材に比べ張り出し性と伸びが優れ、かつしわと割れの両者を考慮した成形性評価指標 F_I 値も高く、一般に成形性が優れているといえる。
- (2) 高張力冷延鋼板の伸びフランジ性は軟鋼板の場合と同様に集合組織に支配され mechanical fiber の影響は小さい。すなわち穴抜き試験での破断は r_{min} 方向に発生し穴抜き率は $(1+r_{min})n$ に比例する。
- (3) プレス成形時のスプリングバック量は成形歪量によって材料特性との関係が異なり、成形歪の小さいプレス成形の場合には降伏比の低い高張力冷延鋼板すなわち連続焼鈍によるる相組織材が有利である。
- (4) 耐デントビリティーはプレス製品の曲率半径が大きいほど、また鋼板の降伏応力が大きいほど大きくなる。また時効硬化によって耐デントビリティーが向上する。

参考文献

- 1) 橋口, 高橋, 大橋: 鉄と鋼, 60(1974), S488
- 2) 橋口, 高橋, 大橋: 鉄と鋼, 61(1975), S773
- 3) 門部, 中川: 昭和50年度塑性加工学会春季講演会論文集, (1975), 121
- 4) 伊藤, 橋口: 川崎製鉄技報, 3(1971), 389
- 5) 門部, 中川: 川崎製鉄技報, 5(1973), 210
- 6) 高橋, 中島: 塑性と加工, 6(1965), 674

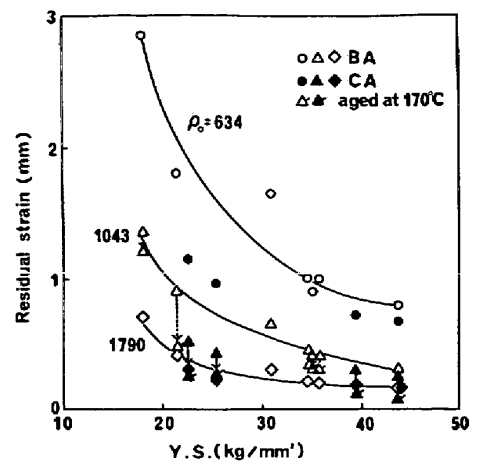


図11. プレス品の局部圧縮後の残留歪におよぼすポンテ曲率半径と材料の降伏応力の影響