

冷延鋼板第1種・3種の成形性試験値の比較*

湯本 誠治**・中沢 清一***

1. ま え が き

同じ厚さの冷間圧延鋼板第1種と第3種のS(標準調質のもの)及びA(焼なましのままのもの)のそれぞれについて、エリクセン値(以下 Er. V. と記す)及びコニカルカップ値(以下 C. C. V. と記す)を求め、比較・検討した。また、同じ板厚の場合、Er. V. が増せば C. C. V. は減ずることは当然であるが、前記の4種類の値を用い、両者の定量的関係にも言及した。

周知のとおり、エリクセン試験は薄板材の張出し性を調べるもので、球頭ポンチで板を押し、板に割れが入ったときの張出し高さを Er. V. としている。コニカルカップ試験は、張出し性と深絞り性の複合成形性を調べるものである。60°の円すいダイスに試験片(円板形)をセットし、先端が半球面のポンチで押し、カップ形になった板の底が破断したときのカップ上縁部外径を測り、これを C. C. V. としている。エリクセン試験方法は JIS Z 2247、同試験機は JIS B 7729、コニカルカップ試験方法は JIS Z 2249 に規定されている。

なお、JIS G 3141 冷間圧延鋼板には、板厚 T ごとに Er. V. の規定値 $Er. V. = 5.5 \log T + K$ (K は1, 2, 3種により9.6, 10.0, 10.4)があり、改正前の JIS 熱間圧延軟鋼板にも規定されていた。

参考までに、冷延板第1種と3種の比較を、 $T=0.8\text{mm}$ 場合について、表1に示しておく。

表1 1種・3種の機械的性質及び化学成分 (JIS G 3141)

種別	記号	用途	引張強さ kgf/mm ²	伸び %	Er. V. mm	成分の上限 %			
						C	Mn	P	S
第1種	SPCC	一般用	28以上	36以上	9.1以上	0.12	0.5	0.04	0.045
第3種	SPCE	深絞り用	28 "	40 "	9.9 "	0.08	0.4	0.03	0.03

硬さ H_V は、S は115以下、A は105以下

2. 実験の方法及び装置

供試材：公称板厚 $T=0.8\text{mm}$ 。実際板厚は、1種Sが0.76mm、1種Aが0.79mm、3種Sが0.84mm、3種Aが0.84mm。

* 昭和53年10月 日本機械学会、山梨地方講演会において発表 (No. 306)

** 機械工学科 教授

*** 機械工学科 技官

原稿受付 昭和54年9月18日

エリクセン試験：JIS Z 2247 に準拠。試験方法はA方法(ダイスとしわ押えの間には、板厚のほかに 0.05mm のすきまを設けた状態で行う方法)。試験片は1号(幅 90mm の帯)。試験機は手動式、東京試験機製。

コニカルカップ試験：JIS Z 2249 に準拠。試験片直径は、公称板厚 T で定められ、 $0.8 \leq T < 1.0$ のときは50mm とすべきであるが、工具の都合上、 $0.5 \leq T < 0.8$ のときの36mm とした。したがって、ポンチ直径は12.7mm。工具は自作品で、手動式油圧プレスに取付け。

3. 実験結果と考察

3.1 板種による試験値の差

実験の結果を表2に示す。ここで、C. C. V. のバラツキが Er. V. のものより小さいのは、さきの報告¹⁾と一致するので、今回は触れない。

表2 Er. V. 及び C. C. V. (単位: mm)

試験値	グレード	測定値						範囲	平均値	標準偏差
Er. V.	1種S	11.7	11.6	12.0	12.1	11.3	11.9	0.5	11.77	0.27
	1種A	11.5	11.5	12.1	12.3	12.4	11.8	0.9	11.93	0.36
	3種S	12.5	12.4	12.4	12.0	12.1	12.4	0.5	12.30	0.18
	3種A	12.9	12.6	12.7	12.9	12.8	12.7	0.3	12.77	0.11
C. C. V.	1種S	27.9	27.8	27.8	27.6	27.8	28.0	0.4	27.82	0.12
	1種A	27.4	27.4	27.4	27.3	27.8	27.5	0.5	27.47	0.16
	3種S	27.1	27.2	27.2	27.1	27.2	27.3	0.2	27.18	0.07
	3種A	26.9	27.0	26.9	26.9	27.0	27.0	0.1	26.95	0.05

Er. V., C. C. V. とともに、バラツキは1種の方が大きくみえるので、分散の違いを検定すると、Er. V., C. C. V. は、共に1種Aの母分散が3種Aの母分散よりも大きい(危険率5%)が、他の組合せの比較では、差があるとはいえなかった。

表2から、平均値の差を求めたものを、表3に示す。すなわち、試料でみる限りでは、Er. V., C. C. V. とともに、3種は1種よりも良い値を示す(JIS G 3141 では、Er. V. の差は0.8mmである)。また、同じ板種では、AはSに勝るが、その程度は、板種の差の約1/2である。

表3 試料平均値の差 d (単位: mm)

試験値	3種と1種の差	SとAの差
Er. V.	3S-1S=0.53*	1A-1S=0.16
	3A-1A=0.83*	3A-3S=0.47*
C. C. V.	1S-3S=0.63*	1S-1A=0.35*
	1A-3A=0.52*	3S-3A=0.23*

* 危険率5%で有意(後述)

表3について、JIS Z 9048 「二つの平均値の差の検定(σ 未知、片側)」により、有意差を検定する。必要事項を表4に、また、得られた結果を表5に示す(ただし、分散が異なる1Aと3Aについては、「標準偏差が異なる

と思われる場合」の手法を用いた).

Er. V. の1Sと1Aについては, $t_0 < t$ となるから, 焼なましものは, 標準調質のものより勝っているとはいえないが, その他のものについては, 3種は1種よりも, 及びAはSよりも勝るといえる.

次に, 有意となったものについて, JIS Z 9053により, 二つの平均値の差の区間推定を行った結果を, 表6に示す. 上下の信頼限界は

$$d \pm t(f, \alpha) \sqrt{(S_1 + S_2) / n(n-1)}$$

となる. ここに

$$f = 2(n-1) = 10,$$

$$t(f, \alpha) = t(10, 0.05) = 2.228$$

である (ただし, 3Aと1Aについては「 σ が異なると思われる場合」の手法を用いた).

表6から, 次のことがいえる.

(1) 標準偏差の違いから, 当然のことながら, C. C. V. の方が信頼限界の幅が狭い.

(2) 分散に有意差のある3Aと1Aの差の信頼限界の幅が, Er. V., C. C. V. の両者とも, 最も広い.

(3) C. C. V. の, SとAの差の信頼限界の幅は狭い.

参考までに, 供試材の機械的性質を, 6個の試験片の平均値をもって, 表7に示す. いずれも, 表1のJISに合格している. 成形性の目安の一つである伸びをみると, 3種は1種よりも優れ, 同種材では, AはSよりも優れているのは, Er. V. 及びC. C. V. と同じ傾向である. そこで, 表2のEr. V. 及びC. C. V. の平均値4個と, 伸び λ (%)との回帰直線と相関係数 r を求めると図1のようになり, 相関の強さは, 余り変わらない.

表4 平方和 S

	1 S	1 A	3 S	3 A
Er. V.	0.433	0.773	0.200	0.073
C. C. V.	0.088	0.153	0.028	0.015

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{サンプル数 } n = 6 \\ f = 2(n-1) = 10 \\ d : \text{平均値の差} \\ \text{危険率 } \alpha = 5\% \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_0 = \sqrt{\frac{n(n-1)}{S_1 + S_2}} d \\ t(f, 2\alpha) = t(10, 2 \times 0.05) = 1.812 \\ t(10, 2 \times 0.01) = 2.764 \end{array} \right.$$

表5 t_0 の値

	1Sと3S	1Aと3A	1Sと1A	3Sと3A
Er. V.	3.65*	5.00*	1.10	5.61*
C. C. V.	10.2*	6.90*	3.95*	6.13*

(*は危険率5%で有意, 1%でも同じことがいえる)

表6 平均値の差の信頼区間

試験値	対象	$d \pm 2.228 \sqrt{\frac{S_1 + S_2}{30}}$ 信頼区間 (95%)
Er. V.	3S-1S	0.530 ± 0.324 → 0.21 ~ 0.85
	3A-1A	0.834 ± 0.428 → 0.41 ~ 1.26
	3A-3S	0.467 ± 0.212 → 0.25 ~ 0.68
C. C. V.	1S-3S	0.634 ± 0.139 → 0.50 ~ 0.77
	1A-3A	0.517 ± 0.184 → 0.33 ~ 0.77
	1S-1A	0.350 ± 0.090 → 0.26 ~ 0.44
	3S-3A	0.233 ± 0.085 → 0.15 ~ 0.32

表7 引張強さ及び硬さ試験

種別	引張り強さ kgf/mm ²	伸び %	硬さ Hv
1種S	30.1	44.4	97
1種A	29.6	48.1	86
3種S	32.9	45.0	101
3種A	30.1	50.0	92

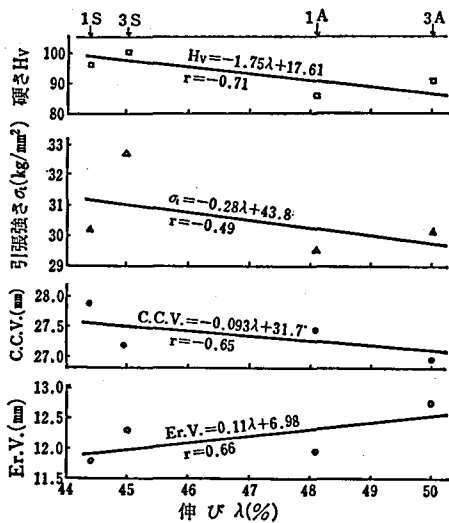


図1 伸びと各測定値の関係 (T=0.8)

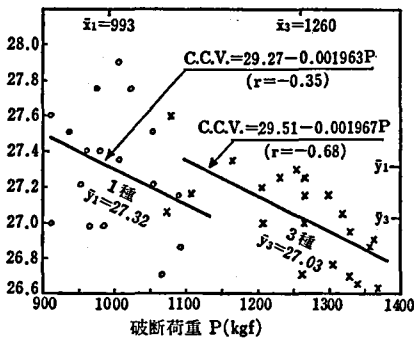


図2 荷重とC.C.V.の関係 (T=0.8mm, プランク径36mm)

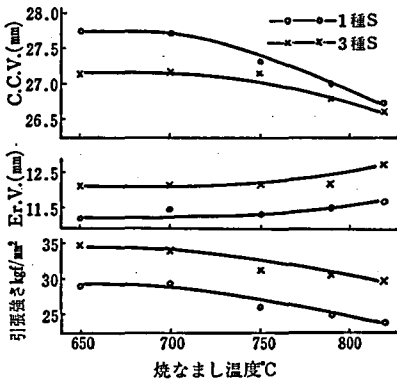


図3 調質材に対する焼なましの影響 (T=0.8mm, 2h保持後炉冷)

図において打点の位置が、 σ_t と H_V は似ているので、両者の相関係数を求めると、 $r=0.81$ となる ($H_V=3.49\sigma_t-13$)。

3.2 破断荷重と C. C. V.

1種S及び3種Sのそれぞれを、性質に幅を持たせるため、後掲図3の各温度で焼なましを行い、破断荷重とC.C.V.の関係を調べたのが図2である。諸数値の比較は表8に示す。これから、次のことがいえる。

表8 各種温度でS材を焼なました比較

	(1) 1種	(2) 3種	差	比(2)/(1)
C.C.V. 平均値 mm	27.32	27.03	0.29	0.99
荷重平均値 kgf	993	1260	267	1.26
相関係数	-0.35	-0.68	0.33	1.94

(1) 3種は「相関あり」、1種は「やや相関あり」で、前者の方が相関は強い。

(2) 3種は、C. C. V. の 0.29mm の向上に対し、所要荷重が二百数十 kgf も増加する。

(3) 方向係数はほとんど同じ (これは、偶然の一致かもしれない)。

(4) 1種はC. C. V. のバラツキが大で、3種は荷重のバラツキが大。

3.3 調質材に対する焼なましの影響

S材は、冷間圧延後に焼なましを経て、ストレッチャストレイン防止のための調質圧延が施されている。焼なまし温度は六百数十°Cと比較的低く、調質の圧下率は1.5%程度と推測される。そこで、更に焼なまし温度を上げ、その影響を調べた。供試材は、3.1項のものと同一であるが、表2の試験後、1年以上も経過しているもので、時効の影響を受けているものと思われる。

各6個の試験値の平均を、図3に示す。引張強さが変化しているのが、焼なましの影響は出たものと思われるが、伸びについ

ては、明らかな差はみられなかった。

焼なまし温度の上昇につれ、C.C.V.の向上がうかがわれるが、Er.V.はその傾向が小さい。なお、C.C.V.については、焼なまし温度の影響は、1種の方が大きいようである。

3・4 Er.V.とC.C.V.の関係

材料のグレードが同じときは、板厚の増加とともにEr.V., C.C.V.とも増加し、かつ、その増え方は、Er.V.のみならず、C.C.V.も片対数方眼紙上で板厚(対数目盛り)と直線関係になる。したがって、Er.V.とC.C.V.のグラフは、右上がりの直線で表わせる。一方、本研究のように、板厚が同じでグレードが異なるときは、成形性のよい板ほどEr.V.は増すが、C.C.V.は減ずるから、減少関数となるはずである。しかし、その減少の仕方についての報告は余り見当たらない。

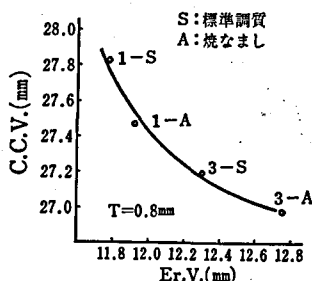


図4 Er.V.とC.C.V.の関係
(C.C.V. プランクはφ36)

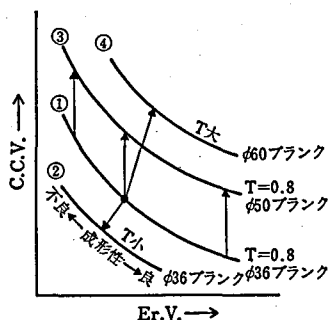


図5 Er.V.とC.C.V.の関係の予測

図4は、表2の平均値同士を打点したものであって、下に凸な関係を示す。板厚ごとの最大値と最少値の差の平均値は、Er.V.については0.4mm、C.C.V.については0.3mmであるから、曲線の左右へは各0.2mm、上下へは各0.15mmのパラツキを持つ。

なお、図4を直線関係で示すと

$$C.C.V. = 37.2 - 0.81Er.V.$$

で、 $r = -0.96$ となり、強い負の相関を示す。

図5の①の曲線は、図4を写したものである。ここで、例えば $T = 0.6\text{mm}$ のときは、Er.V., C.C.V.とも値が小さくなるので、曲線は左下に移動して②のようになることが予測される。板厚が同じ0.8mmで、正規の50mmプラंकを使えば、一般にC.C.V.はプラंक径の7割強となるので10mm程度も増えるのに対し、Er.V.は全く同じから、曲線は③のように上方に移る。また、板厚が例えば1.0mmになれば、Er.V.は0.5mm程度の微増にとどまるのに対し、C.C.V.は一躍20mm弱も増えて40数mmとなるであろうから、曲線は④のように、右上方とはいえ、かなり上方寄りに移るであろう。プラंक径が60mmから78mm ($1.3 \leq T \leq 1.6$)に移るときも、同じことがいえる。

4. 結 論

- (1) 3種Sは1種Sよりも優れていて、母平均の差は、Er.V.が区間(0.2mm, 0.9mm)

内に, C. C. V. が区間 (0.5mm, 0.8mm) 内にあるといえる (信頼率95%). 焼なましした A材は, S材よりも優れてはいるが, 試料平均値の差では, 板種による違いの 1/2 程度である.

(2) Er. V., C. C. V. とともに, パラッキは3種の方が小さいようである. 特に, A材では有意差が認められる.

(3) S材を焼なましすれば, 750°C からその影響が表れるが, その傾向は C. C. V. の方が明らかであり, かつ, 処理温度の上昇につれ, 3種と1種の差が少なくなる傾向がみられる.

(4) コニカルカップ試験における破断荷重は, 3種の方が3割弱も大きい. また, 破断荷重と C. C. V. は負の相関関係にあるが, 3種の方が強い相関を示す ($|r|$ は約2倍).

(5) Er. V. と C. C. V. は下に凸な負の相関がある. 板厚の変化で少し変わり, ブランク径の変化で大きく変わる.

地方在住者は, 希望するグレードの板の購入が困難である. 4種類の鋼板をご提供下さった新日鉄, 君津製作所, 技術研究室に厚く御礼申し上げます.

参 考 文 献

- (1) 湯本・中沢, 冷延板のコニカルカップ合格値に関する一提案, 機講論(日立地方), (昭53-9).