

のと考えられる。

なお以上のような異常破面のほかに、比較的小さめな線状裂け目疵が破断面あるいは屈曲側面に見られることがあるが、これは線状に連つたアルミナ介在物に起因する場合がきわめて多い。

### III. 結果の総括ならびに考察

第 1, 2 報を通じ本研究では厚鋼板の屈曲性におよぼす鋼質とくに介在物および縞状組織の影響ならびに屈曲性と抗張試験値との関係などについて試験をおこない、あわせてラミネーション状破面についてのべた。

(1) 屈曲折損の主原因はいずれも硫化物の方向性ならびにその量に起因することがわかつた。すなわち屈曲折損のものは試験片の採取方向のいかんにかかわらず硫化物の延伸の方向性が試験片の横方向に大きくかつ硫化物の横方向にしめる面積が縦方向よりも大である。したがつてこのような状態下では横方向面の matrix に不連続箇所を作ることとなり、かつこのような硫化物は応力下では一種の切欠的作用をなすものと考えられる。したがつて屈曲破断面は介在物の方向性に起因するラミネーション状破面を呈す。実測値によれば試験片の横方向にしめる硫化物の面積が  $(10\text{mm})^2$  中約  $1.0\sim 1.2\text{mm}^2$  以上でかつ硫化物の横方向への延伸性が大なる時試験片は折損する。

(2) 屈曲性に対し縞状組織も相関性が認められ、屈曲不良試料に縞状のいちじるしいのが多く見られた。しかしながら本試験結果から考察するに、屈曲性に対する縞状組織の影響は二義的なものであつて主要因ではない。

(3) 抗張試験値とくにしぼり特性値が屈曲性ときわめて大なる関係を有する。すなわち屈曲不良の試材は上記のごとき硫化物分布をなすために局部収縮はいちじるしく低下し、その引張り破面はすべて異常破面を呈する。定量的にはしぼり約 48~50% 以上の時は屈曲良、それ以下ではほとんど折損する。したがつて逆にしぼりの測定値から屈曲試験を俟たずしてその屈曲性を推知しうる。

(4) 熱間圧延鋼板に異方性がありしかもそれは厚板に顕著におこることはすでによく知られている事実である。本試験の供試材は圧延ならびにその直角の両方向から採取ししかもことなる屈曲性のものをふくんでいるが、直角方向から採取して屈曲良の試料ならびに圧延方向から採取して屈曲折損の試料はともに硫化物の圧延方向性が圧延の直角方向に大であるという試験事実から、硫化物の延伸方向性は必ずしも圧延方向にのみかぎると

はいえない。ただし統計によると屈曲折損率は直角方向から採取したものに多いから、直角方向への硫化物の延伸性の確率は小さいとおもわれるが、いずれにしてもこれ等の試験結果から考察するに、厚鋼板の圧延方向と直角方向との異方性は必ずしも常に一定ではないと考えられる。

また異方性の原因については介在物、縞状組織、S 量などがあげられているが、本試験結果によれば、硫化物の方向性と試験片の破断特性とがきわめてよく一致することから、異方性を支配する因子は連続介在物である硫化物の分布形態にもとづくものとおもわれる。

## (70) 炭素鋼に適用される一般原則

(屈曲試験について—Ⅲ)

General Principles Applicable to the Carbon Steel.

(On the plastic bending test—Ⅲ)

Kazuki Sato.

三菱製鋼, 長崎製鋼所

理 佐 藤 和 紀

### I. 緒 言

一定の材質に対する屈曲試験と幾何学的因子との関係についてはすでに報告したが、本報告はこれらの実験結果と日常試験の結果とを総合して、炭素鋼全般に適用しうる普遍的な標準法則を追究し、あわせて抗張試験結果による屈曲成績の推定を試みた。

### II. 屈曲状況の解析

(1) 主歪間の関係：試料の最大塑性歪を  $\epsilon_0$ 、縦横比を  $\kappa$  とすれば、その最外側表面における最大主歪間には、つぎの関係式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_w / \epsilon_0 &= -n \cdot \ln(\kappa / \kappa_c) \\ \epsilon_r / \epsilon_0 &= -1/2 \cdot \{1 - (2 - \sqrt{3})/2 \cdot (\kappa / \kappa_c)^{-m}\} \\ \epsilon_t / \epsilon_0 &= -(\epsilon_w + \epsilon_r) / \epsilon_0 \\ &= \ln[(\kappa / \kappa_c)^n \cdot \exp 1/2 \cdot \\ &\quad \{1 - (2 - \sqrt{3})/2 \cdot (\kappa / \kappa_c)^{-m}\}] \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\epsilon_t / \epsilon_0 \equiv \alpha, \quad \epsilon_w / \epsilon_0 \equiv \alpha' \text{ とおけば, } \kappa / \kappa_c \geq 4 \text{ では} \\ \alpha = \alpha' + 1/2 \dots \dots \dots (2)$$

とみなしうる。規格試料にはこの式を適用してよい。

(2) 公称内側半径との関係：杵の半径がかなり大きく、かつ屈曲部の曲率が一樣である場合を除き、実測した曲率半径  $R$  と公称半径  $r$  とはことなるのが普通である。この  $R$  を仮に実効内側半径と称することにしよう。

簡単な計算から

$$R/W_0 = \kappa(2 - \exp \alpha \epsilon_0) / 2(\exp \alpha \epsilon_0 - 1) \dots (3)$$

なる関係式をうるが、

$$R/W_0 \equiv R^0, \quad r/W_0 \equiv r^0 \dots (4)$$

とおけば、 $R^0$  および  $r^0$  は試料寸法に無関係な量となる。実際にある材質の臨界公称半径をもとめたい場合には、 $R^0$  と  $r^0$  との関係を知る必要がある。もし、函数形

$$R^0 = f(\kappa, r^0) \dots (5)$$

があたえられれば、(3) 式を用いて対応する  $r^0$  を求めることができる。さらに、

$$\delta R^0 / \delta r^0 = f_{r^0}(\kappa, r^0) \equiv \beta' \dots (6)$$

から、 $r^0$  の変化に対する主歪臨界値の感受性をもとめられるので、 $\beta'$  を感受性係数と仮称しておく。

上述の諸関係において、 $\alpha$  ないし  $\alpha'$  は材質に無関係な純幾何学的量のはずであるが、これを確認することができれば  $n$  および  $\kappa_c$  は普遍常数として計算され、上記各式から公称内側半径の臨界値を推定しうるとともに、該  $r^0$  近傍における感受性を知ることにも可能である。次節以降において、実験結果にもとづき、これらの量を検討していくことにする。

### III. 諸量間の関係

(1)  $\alpha$  の決定： $\kappa = 3/4$  および  $1/2$  の規格試料に対する統計的な検討ならびに既報の実験結果からもとめた  $\alpha$  の平均値を Table 1 に示す。(Fig. 4 参照)

Fig. 1 は種々の  $\kappa$  に対して計算した  $\epsilon_0$  と  $\epsilon_t$  との関

Table 1. The values of the ratio  $\alpha$

$\kappa$	$\alpha$	Mean value from experiment	Statistical value
1/2		0.71 <sup>3</sup>	0.71
3/4		0.76 <sup>3</sup>	0.77

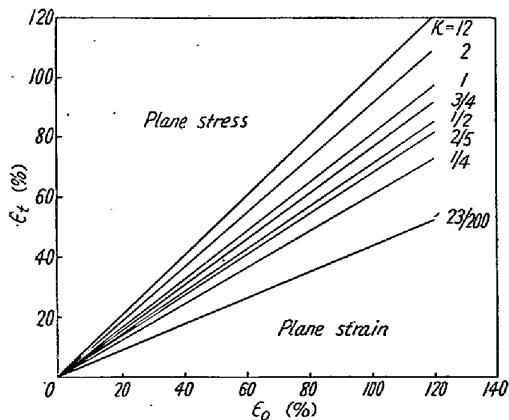


Fig. 1. Relation between  $\epsilon_0$  and  $\epsilon_t$  for various  $\kappa$

係を示すが、 $\alpha$  は材質に無関係で、かつ実験の平均値とほぼ等しいことが知られる。

(2) 縦横比—主歪比曲線：Table 1 の値を (1) および (2) 式に代入すると、常数值がもとめられる。

$$\left. \begin{aligned} n &= 0.143 \\ \kappa_c &= 0.115 \\ m &= 3 \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

これらの値をもちいると Fig. 2 の  $\kappa/\kappa_c - \epsilon/\epsilon_0$  曲線

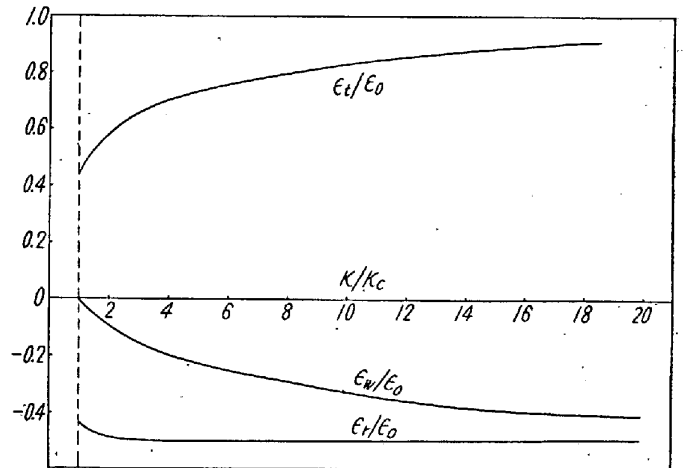


Fig. 2. Relation between  $\kappa/\kappa_c$  and  $\epsilon/\epsilon_0$  for all carbon steel.

がえられる。因みに、平面応力域に対応する  $\kappa$  の値を計算すると、

$$\kappa \geq 12 \dots (8)$$

となり、これは縦横比  $\kappa_c$  の試料の屈曲軸を  $90^\circ$  回転させた場合に近いと考えてよい。

(3) 内側半径と感受性係数

$R^0$  と  $r^0$  との関係に対する目安として、規格材の各級における  $\epsilon_0$  の平均値と、これに対応する規格内側半径を調べた。この結果を Table 2 に示す。 $R^0$  は  $\epsilon_0, \alpha, r^0$  および  $\kappa$  の函数であるが、 $\kappa = 3/4$  と  $1/2$  の試料からえられた結論として、 $R^0$  と  $r^0$  の関係は材質によらず  $\kappa$  のみでまることがわかった。すなわち、 $\epsilon_0(\text{mean})$  や  $r^0$  がまったくことなつた両規格の値は、

$$R^0 = 1/200\kappa \cdot \{165r^0 - 75(r^0)^2 - 32\} \dots (9)$$

なる実験式で表される Fig. 3 の曲線とよく一致する。

実際に面に応用する場合に知りたいのは、ある  $\epsilon_0$  に対する  $r^0$  の臨界値であるが、亀裂試料をふくむ 30 個の測定結果と比較すると、Fig. 3 が臨界値にちかい値を示すことを知つた。これらはさらに検討を要するけれども、後述するような測定値のバラツキを考慮すれば、その精度内では臨界値の目安とすることができよう。

感受性係数は (6) および (9) 式を用いて

$$\beta' = 1/200\kappa (165 - 150r^0) \dots (10)$$

Table 2. Statistical data under standard specification

	S F-40	S F-45	S F-50	S F-55	S F-60	$\kappa$
Total number of specimen	12	60	114	91	51	3/4
$\epsilon_0$ (mean)	107.6	86.75	70.11	57.27	52.59	
$r^0$ (mm)	3	6	10	16	22	
	Grade-2		Grade-3		Grade-4	$\kappa$
Total number of specimen	146		146		36	1/2
$\epsilon_0$ (mean)	95.71		59.24		52.59	
$r^0$ (inch)	1/4		3/8		1/2	

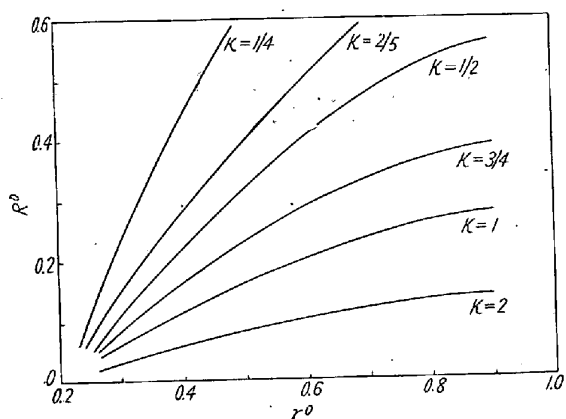


Fig. 3. Relation between normal and effective inner radius.

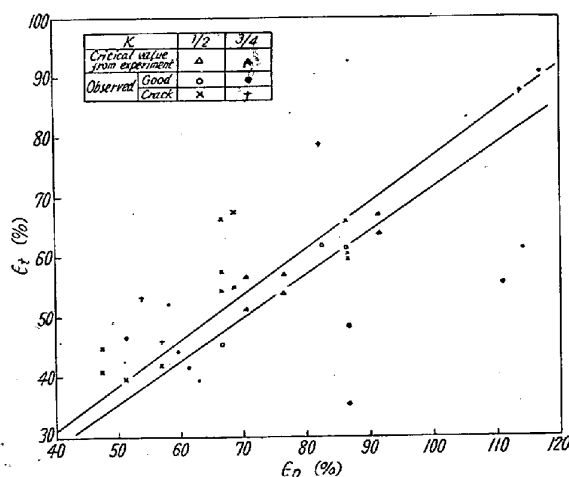


Fig. 4. Deviation of the practical value.

となり、 $r^0$  の増加とともに直線的に減少する。

IV. 実際上の諸問題

本報告で検討した諸事項は、すべて平均値ないし標準値にもとづくため、実際には種々の複雑な問題がある。

(1) 単独の介在物がたまたま試験片の最外表面または稜部に存在すると、ノッチ効果をもつから、 $r^0$  の臨界値とかなりへだたつた条件で亀裂が生ずる。 $\kappa$  が大きいと効果もいちじるしい。

(2) 測定結果のバラツキには二種類の原因が考えられる。第1は種々の  $\epsilon_0$  に対して一定の  $r^0$  を用いたために生ずるものであつて、第2は同一の  $\epsilon_0$  を有するにもかゝらず、屈曲条件の些細な差によるものである。Fig. 4 は  $\alpha$  と実測値との関係を示すが、これには両者をふくんでいる。前者は各級の最小  $\epsilon_0$  に対応した  $r^0$  を選ぶというようなことで解決しうる可能性がある。

(3)  $r^0$  が小さな場合、とくに密着曲げなどでは、内側に逆曲げ現象を生ずる。またロール近傍では押込みの際に張力を受けたと考えられる痕跡も認められ、これらの総合された効果が屈曲条件という言葉で表現される。

V. 結 言

屈曲試験における歪の問題は、抗張試験の局部しぼり

によつて説明されるが、実際には解析不可能な偶発的因子が介入して複雑になる上、亀裂の発生する頻度がきわめて小さくても、個々の場合を独立事象としてあつかうため、推計学的に割り切れないところに問題がある。しかし、事後の検討によつても、亀裂の原因を推定することは可能である。本報告は、局部しぼりにもとづいて、炭素鋼全般にわたつて適用しうる力学的標準法則について考察し、あわせて  $r^0$  の臨界値に対する目安を示した。

(71) 低炭素鋼の機械的性質におよぼす微量不純元素の影響

Influence of Tramp Elements on the Mechanical Properties of Mild Steel.

Naoki Eguchi, et alii.

八幡製鉄所, 技術研究所

工 大竹 正・工 村山周治・○江口直記

I. 緒 言

鋼中に微量に含有され精練によつても除去困難な Cu, Sn, As, Ni, Cr などのいわゆる tramp elements が鋼質にあたえる影響は実用上きわめて重要である。さき