

鋼の機械的試験に関する二三の考察 (第1報)

(日本鐵鋼協會第 28 回講演大會講演 昭 17. 10. 於東京)

河 合 正 吉*・越 智 通 夫*

EINIGE BETRACHTUNGEN UEBER DIE MECHANISCHEN PRUEFUNG DES STAHLER (I)

Masayosi Kawai und Mitto Oti

ZUSAMMENFASSUNG:—Die Anzeige der Stahlwerkstoffe vom Stahlhersteller zum Stahlverbraucher ist hauptsächlich mittels mechanischen Eigenschaften verwirklicht. Aber die gewöhnlichen mechanischer Prüfungsmethoden und die Darstellung so wie die Abschätzung der Prüfungsergebnissen sind bisher so oberflächlich gewesen, dass es manche Schwierigkeiten gegeben hat. So ist die Untersuchung der mechanischen Prüfung sehr wichtig für die rationellere Beurteilung des Werkstoffes. Darauf beobachteten die Verfasser erstens das Mechanismus der allgemeinen Zerreißphänomene des Werkstoffes und dann versuchten einige Betrachtungen über den Zug- und Schlagversuch und erklärten letztens die physikalischen Bedeutungen der verschiedenen Messungsgrößen.

I. 結 言

鋼の機械的性質は今日の處普通に抗張試験と切欠衝撃試験とに依つて判定されてゐる。然るに鋼が實際使用される場合に示す機械的性質は、單に試験片と實物との相違以外に、其の際の應力分布に依つて著しく異なる。依つて理想的には應力分布と之に對應する機械的性質との關係を求めなければならぬ。然し之を實行する事は荷重法の制限より極めて困難であるから、先づ上述の試験法を分析して、一般的に如何なる結論が導かれるかを吟味する事とする。

II. 塑 性 變 形

物體の機械的性質を論ずるに當つて、先づ問題となる事柄は塑性變形である。即ち物體に外力を加へれば先づ弾性變形が現れ、更に外力を増せば塑性變形を起す。此の塑性變形を生ずる條件に關しては、古くより多數の理論が立てられてゐるが、其の中で簡單にして而も比較的良好な近似を與へる理論として最大剪斷應力説を擧げる事が出来る。

今物體內の一點に於ける主要應力を $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) とすれば、塑性變形の條件は、 τ_{max} を最大剪斷應力、 $\tau_p(\epsilon)$ を變形度 ϵ の或函數として

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \geq \tau_p(\epsilon) \dots\dots\dots (1)$$

で與へられる。此の式の物理的意義より、 $\tau_p(\epsilon)$ は滑り抵抗と呼ばれ、一般に變形度 ϵ と共に増大する。之は加工硬

化現象に相當するものである。

III. 破 壊

塑性變形が充分進行すれば破壊が起る。破壊は其の形式に従つて次の三つの型に分けられる。即ち

- 單純破壞 { 分離破壞
- { 剪斷破壞
- 疲勞破壞

である。茲に剪斷破壞は滑り面に沿うて起り、物體の表面の様な變形の容易な場所に現れる。従つて分離破壞が或程度進行し、未破壊部に大なる塑性變形の生じた場合等に現れるのが普通である。其の破壊機構に關しては著者等は未だ詳述する知識を有しない事を遺憾とする。唯破壊情況より推察すれば、滑り面に於ける變形度は局部的に極めて大であるから、分離抗力が局部的に著しく低下するものと考へられる。以下の議論に於ては單純破壞としては分離破壞を考慮する事とする。

1. 單純破壞

單純破壞の起る條件は

$$\left. \begin{aligned} \tau_{max} &\leq \tau_p(\epsilon) \\ \sigma_1 &= \sigma_T(\epsilon) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

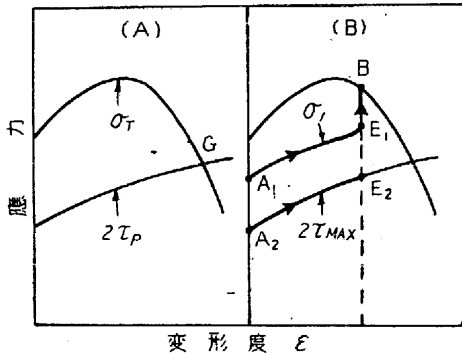
で與へられる。 $\sigma_T(\epsilon)$ は分離抗力と呼ばれ變形度 ϵ の函數である。普通多結晶體に於ては $\sigma_T(\epsilon)$ は測定困難なる爲、其の性質に關しては殆んど知られてゐない。然るに單結晶の場合には剪開面に於ける分離抗力は、常溫に於ては

* 三菱重工業株式會社社長崎製鋼所

變形度と共に増大する事が知られてゐる。¹⁾ 依つて多結晶體に對しても、 $\sigma_T(\epsilon)$ は最初は變形度 ϵ に對して増大するものとする。²⁾ 變形度が過度に大となれば所謂「弛緩點」を生ずるから分離抗力は再び低下する。即ち分離抗力は變形度に對して極大値を有する。

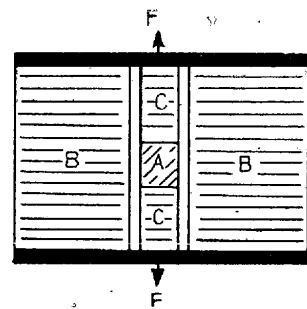
2. 抗力曲線

$2\tau_p(\epsilon)$ 及 $\sigma_T(\epsilon)$ を ϵ に對して形式的に圖示すれば、第



第 1 圖

1 圖 (a) が得られる。偕て此の抗力曲線面上に物體内の應力を畫けば、(2) なる條件の意義が容易に了解される。即ち第 1 圖 (b) に於て $2\tau_{max}$ が A_2 に達すると塑性變形が起り、變形が應力と平衡を保ちつゝ進行すれば、 $2\tau_{max}$ は $2\tau_p$ 曲線に沿つて $A_2 \rightarrow E_2$ と變動し、 σ_1 は $A_1 \rightarrow E_1$ と變化する。次に例へば E_2 點に於て τ_{max} の増加が停止すれば塑性變形は進行せず、再び弾性變形を生じ σ_1 のみ $E_1 \rightarrow B$ と増加して、其の變形度に對する分離抗力に達すれば分離破壊が起るのである。



第 2 圖

3. 疲勞破壊
 簡單の爲に一軸的な應力が作用する場合のみを考へる事とする。金屬の疲勞に關しては古くより多くの理論が立てられてゐるが、最近 E. Orowan³⁾ は材質の不均一性を基礎として理論的に疲勞の特性曲線を求める等、極めて巧みに疲勞現象を記述してゐる。今其の考察に従つて疲勞限と抗力曲線との關係を求めて見る。

材質の不均一性を第 2 圖の如き模型に依つて實現する。即ち A, B, C 各部の平行線は結晶内の滑り面を表すものとすれば、F なる外力に對して塑性變形し得る部分は A 部のみとなる。疲勞破壊は斯かる塑性變形部の存在に依つて

起るものであるが、之を實際の場合と比較すれば次の様な關係が存在する。

- 塑性變形部 A —— 疲勞破壊の發生すべき箇所
- 弾性變形部 C —— 其の近傍
- 弾性變形部 B —— 其の他の部分。A, C 部に相當する箇所と比較して、體積極めて大なりとする。

更にこれより半定量的な結果を得る爲に、各部分に次の様なディメンジョンを與へる。

- l, s —— A 部の長さ及び斷面の面積
- l_B, s_B —— B 部の長さ及び斷面の面積
- l_C, s_C —— C 部の長さ及び斷面の面積

更に簡單の爲に

$$\left. \begin{aligned} L &= l_B = l + l_C \\ \lambda &= l/L \\ s &= s_C \\ S &= s + s_B \\ \mu &= s/S \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)_1$$

と置く。次に歪及應力に關しては

- ϵ_A, σ_A —— A 部に於ける歪及應力
- ϵ_B, σ_B —— B 部に於ける歪及應力
- ϵ_C, σ_C —— C 部に於ける歪及應力

とする。

今 B 部の全歪と A+C 部の全歪とが互に相等しいとすれば、

$$\epsilon_B = \lambda \epsilon_A + (1-\lambda) \epsilon_C \dots \dots \dots (3)_2$$

又 (3)₁ より必然的に

$$\sigma_A = \sigma_C$$

A 部の滑り抗力 τ_p が既知なりとすれば

$$\sigma_A = 2\tau_p(\epsilon_A) = f(\epsilon_A) \dots \dots \dots (3)$$

より、F なる外力を加へた時の A 部の歪及應力が求められる。先づ平衡條件より

$$F = s_B \sigma_B + s \sigma_A \dots \dots \dots (3)_3$$

又 (3)₁ より

$$\bar{\sigma} = F/S = (1-\mu)(\sigma_B + \mu \sigma_A) \dots \dots \dots (3)'_3$$

$\bar{\sigma}$ は平均應力 (普通の測定にかゝる) を表す。次に (3)₂ にヤング率 E を乗ずれば

$$\sigma_B = \lambda E \epsilon_A + (1-\lambda) \sigma_A \dots \dots \dots (3)'_2$$

又

$$\bar{\epsilon} = \bar{\sigma}/E$$

$$\epsilon_0 = \bar{\epsilon}/\nu(\infty F) \dots \dots \dots (4)_1$$

¹⁾ Schmid E. u. W. Boas, Kristallplastizität, 1935.
²⁾ Kuntze, W. Zeits. Phys., 74, 1932, 45.
³⁾ Lockerstellen. 剪斷破壊が滑り面に沿つて起るのは、弛緩點が滑り面上密に分布する爲と考へられる。
 Proc. Roy. Soc., 171, 1939, 72

$$\sigma_0 = \bar{\sigma} / (1 - \nu) (\infty F) \dots \dots \dots (4)_2$$

$$\nu = \lambda(1 - \mu) \dots \dots \dots (4)_3$$

と置けば容易に

$$\sigma_1 = \sigma_0 \{1 - (\varepsilon_1 / \varepsilon_0)\} \dots \dots \dots (4)$$

を導く事が出来る。依つて (3)₁, (4) の聯立方程式

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= f(\varepsilon_1) \\ \sigma_1 &= \sigma_0 \{1 - (\varepsilon_1 / \varepsilon_0)\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

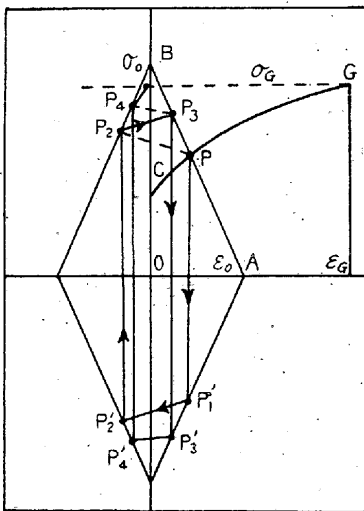
より ε_1, σ_1 を求める事が出来る。

茲で重要な事は (4)₁ (4)₂ より

$$\sigma_0, \varepsilon_0 \propto F$$

なる事柄であり, (4) なる式は $(\varepsilon_1, \sigma_1)$ 平面上で直線を表し ν が一定ならば F をパラメーターとして平行直線群をなす。依つて之に次いで $-F$ なる外力を加へれば, 其の際の歪 ε_2 及應力 σ_2 は容易に

$$\left. \begin{aligned} \sigma_2 &= (-\sigma_0) \{1 - (\varepsilon_2 / (1 - \varepsilon_0))\} \\ \sigma_2 &= -f(-\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$



第 3 圖

より求め得る事が分る。之を圖示すれば第 3 圖の通りである。但し圖に於て横軸は歪, 縦軸は應力を表すものとする。先づ外力 F を加へれば應力は $O \rightarrow C \rightarrow P_1$ と變化する。何となれば曲線 CPG は $f(\varepsilon)$ 曲線, 直線 AB は (4) 式に相當し, P_1 は兩者の交點をなすからである。次に $-F$ なる外力を加へれば應力は $P_1 \rightarrow P_1' \rightarrow P_2'$ と變化する。茲に曲線 $P_1' P_2'$ は $P_1 P_1'$ に對する $-f(\varepsilon)$ 曲線の鏡像に相當するものである。更に再び F なる應力を加へれば $P_2' \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ と變化する。同様に $P_2 P_3$ は $P_1 P_1'$ に對する $f(\varepsilon)$ 曲線の鏡像の, $P_2 P_2'$ に對する鏡像に相當する。依つて $(+F, -F)$ なる繰返應力を加へた場合, $-F$ の時は便宜上 P_{2m} なる點を正の應力として P_{2m} で表せば應力は上述の如き鏡像關係に依り, $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots$ と次第に上昇する。即ち之を要するに物體が繰返應力を受ければ, 全體としての歪は生じないか, A 部の如き箇所は其の歪が相加的に増大し, 之に對應して

5) Bauschinger 効果は無視する。

應力も上昇する。之を抗力曲線面上で考へれば應力は一軸的であるから最大主要應力は $2\tau_p(\varepsilon)$ に等しく, 繰返回数と共に $2\tau_p(\varepsilon)$ 曲線に沿つて次第に増加する事となる。依つて第 1 圖 (a) に於ける G 點に達すれば, A 部に破壊が起る事となる。一方第 3 圖に於て P_n 點群は B 點に收斂するから, G 點を抗力曲線面上の G 點に相當するものとすれば, 疲勞破壊の起ると否とは B 點が G 點よりも高いか, 低い, 換言すれば σ_0 が σ_G よりも大なるか, 小なるかに依るものである。従つて疲勞に對して安全なる爲には

$$\sigma_0 < \sigma_G = 2\tau_p G \dots \dots \dots (7)$$

疲勞破壊の起る條件は

$$\sigma_0 = \sigma_G \dots \dots \dots (8)$$

である。従つて疲勞限 σ_w は

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \sigma_w / (1 - \nu) = \sigma_G \\ \therefore \sigma_w &= (1 - \nu) \sigma_G \end{aligned} \dots \dots \dots (9)$$

より求められる。 ν, σ_G を夫々構造係數, 變形限と名付ける。 ν を構造係數と名付けた所以は, それが不均一部の構造に依るからである。斯くして疲勞限と抗力曲線との間には極めて簡單なる關係のある事が明かとなつた。

以上の如き破壊に関する一般的考察を基礎として, 機械的試験の際の破壊の機構, 各測定値の物理的意義等を考察する事とする。

IV. 抗張試験

1. 破壊機構

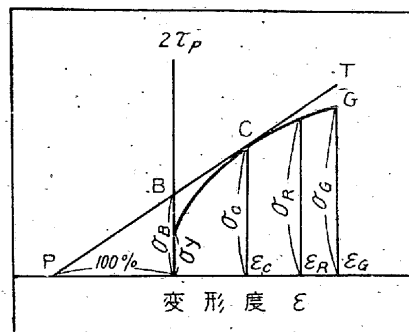
抗張試験の場合には軸方向の應力 σ_1 が最大主要應力であり, 一樣な延伸を行ひつゝある間は

$$\begin{aligned} \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \\ \tau_{max} = \sigma_1 / 2 \end{aligned} \dots \dots \dots (10)$$

なる故

先づ

$$\sigma_{12} = 2\tau_p(0) = 2\tau_{p0} \dots \dots \dots (11)_1$$



第 4 圖

となれば塑性變形が始まる。此の應力を降伏點 σ_r と名付ける事とする (11)₁ 式より

$$\sigma_r = 2\tau_{p0} \dots \dots \dots (11)$$

τ_{p0} を初期滑り抗力

6) 弾性的歪は度外視する。

と呼ぶ。變形度として伸び ϵ を取れば應力が更に大となり塑性變形が進み、終に局部的な断面収縮が開始する。此の時の伸び、應力の間には次の様な關係が成立する事が知られてゐる。即ち

$$d\sigma/d\epsilon = \sigma/(1+\epsilon) \dots\dots\dots (12)$$

之と

$$\sigma = 2\tau_p(\epsilon)$$

とを満足する伸と、應力とを夫々 ϵ_0, σ_0 とすれば、之等は第 4 圖に於て、 ϵ 軸上 100% の點 P より $\sigma = 2\tau_p(\epsilon)$ に引かれた切線の切點の坐標で與へられる (第 4 圖に於ける c 點に相當する。) 抗張力 σ_B は

$$\sigma_B = \sigma_0(1+\epsilon_0) \dots\dots\dots (13)$$

で表されるから、宛も上述の切線と σ 軸との交點 B で表される。

偕て伸びが ϵ_0 を越えれば局部収縮が起り軸に直角方向の應力 σ_q が現れる。今絞りを ψ とすれば

$$\sigma_q = \sigma_0(\psi) \dots\dots\dots (14)$$

なる關係が成立し、而も σ_q は ψ に對して單調に増大する。猶 σ_q は σ_p とも關係するが之には觸れない事とする。⁷⁾ 従つて塑性變形の條件は

$$\sigma_l - \sigma_q = 2\tau_p(\epsilon) \dots\dots\dots (15)$$

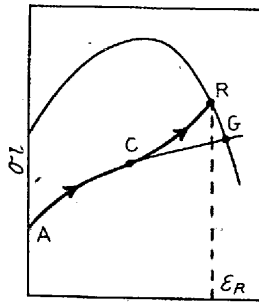
但し ϵ は ψ と

$$\psi = \epsilon/(1+\epsilon) \dots\dots\dots (16)$$

なる關係がある (15) 式に於て σ_q は試験片の表面に於ては零であるが、内部に入るに従つて大となるから、内部に於ては變形が妨げられ、 σ_l の上昇が助長される。依つて内部に於ける σ_l が先づ σ_r に達し、破斷は中心部より開始する。其の際の應力を破斷抗張力 σ_R と名付け、其の時の絞りを最大絞り ψ_R と稱する事とする。之に對應する最大伸び (最大収縮部に於ける平均伸びに相當する。) は

$$\epsilon_R = \psi_R/(1-\psi_R) \dots\dots\dots (17)$$

に依つて求められる。中心部の破斷が速に外周部に及び、平面狀の破斷面を生ぜしめんとするも、外周部は大なる變形に依り滑り面の分離抗力が低下してゐる爲に塑斷破壊を行ひ、所謂「杯狀破面」を生ずるのである。(特別な場合⁸⁾ には軸方向への延伸の爲、軸と直角方向の分離抗力が低下し、主破斷に先立つて切線應力の爲に放射狀龜裂を生ずる



第 5 圖

事がある。) σ_l の變化を抗力曲線面上に畫けば第 5 圖が得られる、即ち疲勞試験に於ける塑性變形部に於ける應力の變化と異なる處は、 c を過れば $2\tau_p$ と次第に離れる事である。

以上の考察より抗張試験に於ける各測定値の物理的意義、從つて又其の實際的の價値を評價する事とする。

2. 各測定値の物理的意義

降伏點——降伏點に關しては前述せる事柄以外に附加へる處はない。即ち (11) 式より

- (1) 滑り抗力曲線上の重要な一點(初期滑り抗力)を與へる。
- (2) 塑性變形開始の條件を與へるから、設計上重要な量と考へられる。

抗張力——上述の考察以外に次の如き事實を考慮して其の價値を評價しなければならない。即ち既述の如く疲勞限は變形限 σ_G と、構造係數 ν とに關聯する。一方經驗的に抗張力と疲勞限との間には、不完全ではあるが一次的關係の存在する事が知られてゐる。又疲勞限は加工度が過度ならざる限り、加工度と共に上昇する事が知られてゐるが、此の場合には σ_G は一定であるから ν が加工度に依つて變化すると考へなければならぬし、又それは ν の物理的意義より考へても當然である。他方抗張力は加工度と共に増大するから、 ν と何等かの關係を有する様に考へられる。此の關係を從來炭素鋼及特殊鋼に就て求められてゐる結果より定量的に考察して見る。先づ (9) 式より

$$\sigma_W = (1-\nu)\sigma_G$$

次に第 5 圖を参照して σ_G の近似値として σ_R を上式に代入すれば

$$\sigma_W = (1-\nu)\sigma_R \dots\dots\dots (9)_1$$

$$\therefore \sigma_R/\sigma_W = 1/(1-\nu) = \phi(\sigma_B) \dots\dots\dots (9)_2$$

然るに第 6 圖より明かなる如く $\phi(\sigma_B)$ の函數型は比較的簡單であり近似的に

$$\phi(\sigma_B) = 57/\sigma_B + 3 \dots\dots\dots (18)$$

で表される事が知られる。

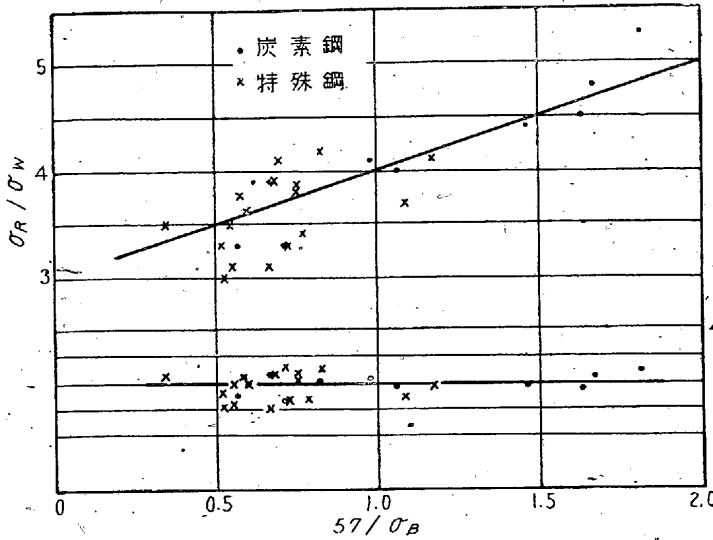
依つて

$$\sigma_W = 1/3 \cdot \sigma_B/(\sigma_B + 19) \cdot \sigma_R \dots\dots\dots (19)$$

⁷⁾ 軸に直角なる主要應力 (動徑方向、及切線方向) の中小なるものを採る。

⁸⁾ σ_q は τ_p に對して單調に増大する。

⁹⁾ 材質及特殊な熱處理に依つて生ずる。



第 6 圖

なる關係が得られる。又此の式より

$$\sigma_R \sigma_B / \sigma_W (\sigma_B + 19) = 3 \dots \dots \dots (19)_1$$

となるが第6圖より此の關係が相當満足すべき狀態で成立する事が知られる。

以上の考察より抗張力の意義を要約すれば

- (1) 破壊とは直接關連せず、滑り抗力曲線の特性を定める。
- (2) 測定容易にして、破斷抗張力と共に疲勞限の目安を與へる。
- (3) 一軸的荷重に於ては最大耐荷重量を與へる。
- (4) 設計上は參考的な數値を與へるに過ぎず。

伸び——是迄の考察に従へば、伸びとして比較的明瞭な意義を有する特性値としては ϵ_C, ϵ_R がある。然るに從來は試験片の標點間の切斷後に於ける平均伸び、即ち標點間の中央を坐標の原點に取り¹⁰⁾ 坐標を x とすれば、平均伸び $\bar{\epsilon}$ は

$$\bar{\epsilon} = 1/2l \cdot \int_{-l}^{+l} \epsilon(x) dx \dots \dots \dots (20)$$

で表される。其の物理的意義の不明瞭なる事は一目瞭然である。今局部收縮を行つた部分の初めの長さを $2l_k$ とし

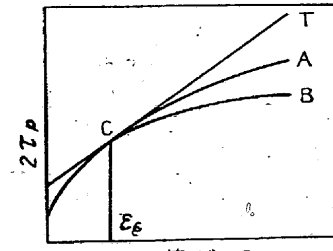
$$\lambda = l_k / l$$

と置けば

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon} &= (1-\lambda)\epsilon_C + 1/2l \cdot \int_{-l_k}^{+l_k} \epsilon dx \\ &= (1-\lambda)\epsilon_C + \lambda \bar{\epsilon}_k \dots \dots \dots (20)_1 \end{aligned}$$

茲に $\bar{\epsilon}_k$ は局部收縮部の平均伸びを表すものとする。

これに就て詳述するデータは持合せて居ないが、次の様な傾向は明に認められてゐる。即ち第7圖に於て、C點より右側に



第 7 圖

て、C點より右側に、滑り抗力曲線と ϵ 軸上 -100% の點より $2\tau_D$ に引かれた切線 CT との差が大ならば λ は比較的小となる。換言すれば加工硬化の程度小ならば局部收縮部が小範圍に明瞭に現れる。次に ϵ_C が大となれば比較的切線の方

向係數が小となり、必然的に切線と滑り抗力曲線との差が小となるから、局部收縮部は比較的廣範圍に擴り λ は大となる。 $\bar{\epsilon}_k$ は ϵ_R と共に増大するものと考へられる。依つて唯比較的類似の材質を比較する場合には、 $\bar{\epsilon}$ は分離抗力と共に増減し、又滑り抗力とは逆の變化を行ふから、 $\bar{\epsilon}$ は變形能の比較量として意味を有する様になる。之に反して變形情況の全く異なる場合、例へば炭素鋼と特殊鋼とを比較する場合には、 $\bar{\epsilon}$ は變形能の比較量としては意味を有せず、假令 $\bar{\epsilon}$ としては同一の値を示しても、其の内容は全く異つたものである。此等の考察より

- (1) $\bar{\epsilon}$ の物理的意義は極めて不明瞭であり、比較的類似の材質を比較する場合變形能を表す量として、設計上參考となるに過ぎない。
- (2) ϵ_C, ϵ_R は夫々滑り及び分離抗力曲線上の特性點と關連する。
- (3) ϵ_R は ψ_R より間接的に求められるが、多くの場合變形限に對應する ϵ_C の近似値を與へるから、滑り抗力曲線に取つても重要な量である。

絞り——最大絞り ψ_R の意義に就て補足的に述べる事とする。先づ破斷の際には (15) 式より

$$\sigma_T(\epsilon_R) = 2\tau_D(\epsilon_R) + \sigma_G(\psi_R) = \sigma_l$$

となり、 σ_G は ψ_R に對して單調に増大するから σ_T は ψ_R の大なるもの程大となり

- (1) ψ_R は G 點附近の分離抗力の目安を與へ、 ψ_R の大なるものは σ_T が τ_D に比し比較的大なる事を豫想せしめる。
- (2) 従つて變形能の尺度を與へ、又既述の如く ϵ_R は ψ_R より間接に求めなければならない。
- (3) 設計上の參考値として平均伸び $\bar{\epsilon}$ よりも重要で

¹⁰⁾ 局部收縮が標點間の中央に起るものとして其を原點に取り、標點間の距離を $2l$ とする。

ある

破断抗張力——破断抗張力は測定が比較的困難であるが σ_c の近似値を與へ、又疲勞限と關係する事は (9) 式より明かである。

- (1) 抗張力と共に疲勞限の日安を與へる。
- (2) 分離抗力曲線上の特性點を與へる。

3. 要約

以上の如く抗張試験は材料の塑性變形に對する特性を求むる事に主なる目的がある。破壊に關しては破壊時の状態に關する最大絞り、平均伸び、破断抗張力等が其の特性を與へるが、其れは特別な抗張試験の條件の下に於ける破壊(大なる變形を受けた状態に於ける)と關連するに過ぎないと云ふ事實に注意しなければならない。降伏點、抗張力及び ϵ_0 は何れも滑り抗力曲線上の特殊點に相當するが、設計上最も直接的な意義を有するものは降伏點のみである。平均伸び $\bar{\epsilon}$ は其の意味が極めて不明瞭であり、變形能の尺度としては寧ろ最大絞り ψ_R を重視すべきであらう。更に複雑なる應力の下に起る破壊に關しては、滑り抗力曲線の形も問題となるが、現在の處研究は之を議論する迄進んでゐない。猶伸びは概念上絞りよりも取扱ひ易いが、此の量を遺憾なく利用する爲には前述の如き解析を試みて商量する必要がある。又抗張力と破断抗張力とより (19) 式に従つて疲勞限を求める事が出来る事は前述の通りである。

V. 切缺衝撃試験

1. 破壊機構

切缺衝撃試験片内の應力分布を考察する爲に、一般的に柱狀體の側面に、軸方向に對して一樣なる外力を加へた場合の應力分布を考へて見る。此の際高さが断面に比して、極めて大なるか或は小なるかに従つて夫々

- a) 平面歪の状態
- b) 平面應力の状態

をなす。即ち軸方向に z 軸、之と直交する平面内に適當に x, y 軸を取れば

平面歪の状態に於ては

$$\sigma_z = \begin{cases} \nu(\sigma_x + \sigma_y) & \text{弾性域} \\ 1/2 \cdot (\sigma_x + \sigma_y) & \text{塑性域} \end{cases} \dots\dots (21)$$

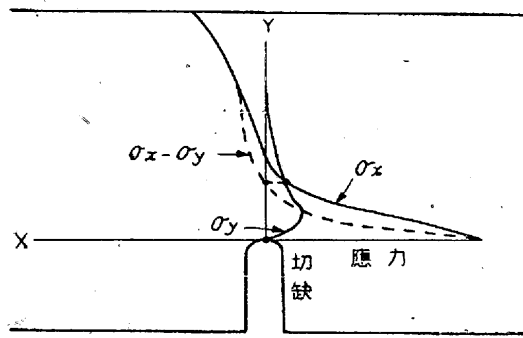
茲に ν はポアソン比を表すものとする。

平面應力の状態に於ては

$$\sigma_z = 0 \dots\dots\dots (22)$$

が成立する。

緒て切缺衝撃試験片に於ては如何なる状態が成立するであらうか。先づ側面(柱狀體と考へれば兩底面に相當する。)附近に於ては平面應力の状態、中央部に於ては略平面歪の状態が成立する。何となれば xy 軸を第8圖の如



第 8 圖

く取り、 z 軸を紙面と直角に取れば側表面に於ては明かに $\sigma_z = 0$

なる故平面應力の状態が成立し、中央部に於ては厚さ(柱狀體として考へれば高さ)は十分大とは考へられないが、(19) 式が近似的に成立するものと考へられるからである。第8圖に於て σ_x, σ_y は偏光弾性學的に求められたものであるが¹¹⁾ 弾性學的に特殊な例に就て計算されたものと比較して矛盾は無い様である。

以上の準備的考察に依つて切缺衝撃試験片の變形乃至破壊を考へる事とする。猶切缺試験片の破壊過程は衝撃に依らずとも、靜的屈曲で、細部は別問題として、最も特徴的な事柄は其の儘保存されるから、以後は靜的屈曲のみを考へる事とする。

側面——側面に於ては(勿論張力側)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_x \\ \sigma_3 &= \sigma_z = 0 \end{aligned}$$

なる故

$$\sigma_x = 2\tau_p \dots\dots\dots (23)$$

にして變形が他部に比して極めて容易に行はれる。依つて破壊が進行する場合には、滑り面より分離して試験片の兩側に耳部を形成する。

中央部——中央部切缺下近傍に於ては

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_x \\ \sigma_3 &= \sigma_y \text{ 或は } \sigma_z \end{aligned}$$

殊に塑性域に於ては、第8圖 P 點に於ける應力は

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z \dots\dots\dots (24)$$

¹¹⁾ E. G. Coker, Trans. Inst. Nav. Arch., 72, 1930.

$$\therefore \sigma_z = 1/2(\sigma_x + \sigma_y)$$

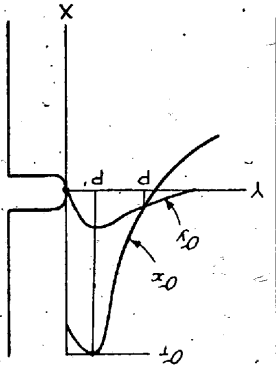
となり、所謂水壓的張力状態をなし、塑性變形は不可能となるから塑性域なりとした前提に反する事となるが、要するにP點附近では、塑性變形の進行が極めて困難となる事が結論される。¹²⁾ 又切缺底表面に於ては

$$\sigma_z = \sigma_y = 0$$

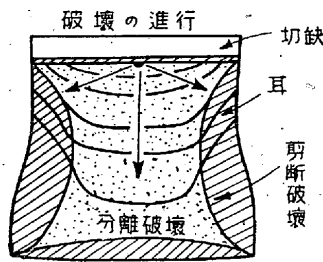
となり、側表面と同様に變形が容易に行はれるから、弾性學的には第8圖の様に應力の集中が起るが、塑性變形に依り應力の増大が妨げられて、最大應力は却つて其の内部に現れる様になる。即ちPO間では塑性變形が開始されても

$$\sigma_z = 2\tau_p + \sigma_y \dots \dots \dots (25)$$

に於ける σ_y の存在の爲に、 σ_z の増加が容易となり、破壊直前には第9圖の如き應力分布の状態をなすものと考へられる。即ち先づP'點に分離破壊が起り、第10圖の如

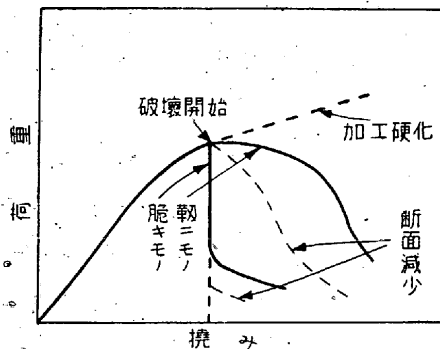


第9圖



第10圖

く進行し、切缺底表面及び兩側部には剪断破壊が起る。



第11圖

猶此處で一言して置かなければならない事は、P點の位置即ちPOの長さは略切缺底の曲率半徑に比例すると云ふ事柄である。次にP'の位置はPOに依る事は勿論であるが、其の外に材料の特性に依るものである。

第11圖は切缺試験片屈曲の際の全荷重の變化を示すものである。最初は全荷重は撓みに對して直線的に増加するが、塑性變形部の量が多くなるに従つて次第に下に凹となり、終にP'點に分離破壊が起り有效斷面積が減少し始め

¹²⁾ 切缺は單に集中應力を生ぜしむる以外に、切缺底直下に離變形部を生ぜしめる効果を有する事に注意しなければならない。

ても、靱きものに於ては塑性變形部の加工硬化に依る全荷重上昇硬化が之と相殺して荷重は略一定となり、其の状態が暫時繼續する。然るに脆きものに於てはP'點に於ける分離破壊發生後比較的速に不連續的な斷面の減少が起り、之と同時に荷重も急激に減少するのである。如何にして斯かる差異を生ずるかに就ては、研究は未だ完了してゐないが其の概略を次に述べる。

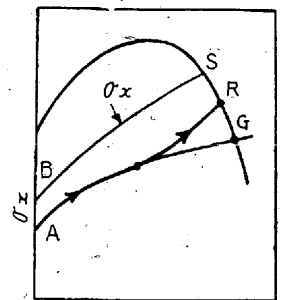
2. 吸收勢力と抗力曲線との關係

切缺試験片を屈曲する際、之に依つて吸收される勢力Eは

$$E = E_v + E_n \dots \dots \dots (26)$$

なる2部分に分けて考へる必要がある。茲に E_v , E_n は夫々P'點に於ける分離破壊開始前後の吸收勢力を表すものとする。

E_v ——「P'點に破壊が生ずる迄には、其の部分は相當大なる塑性變形を行ふ。」と云ふ命題を掲げる。實驗に依れば、焼戻脆化を受けたものと、健全なものとは、抗張試験、疲労試験、其の他多くの試験に對しては殆んど差異を生じないが、獨り切缺屈曲試験(靜的、動的なるかを問はず)に於てのみ極めて顯著な相違を示す事が知られてゐる。更に又切缺屈曲試験に於ても、(26)式に於ける E_v には殆んど差異は認められず、 E_n のみ其の相違の現れる事が知られてゐる。此等の事實は抗力曲線の比較に際して、兩者の滑り抗力曲線は殆んど同一であり、後述する處に依れば、分離抗力曲線は變形度小なる時にのみ相違を示し、變形度が大となれば互に近接する事を物語るもので、同時に E_v に差の小なる事はP'點に於ける σ_z を抗力曲線面上に畫く時、第12圖に於てBSが得られ、S點がR點に近い事が推論される。以上の考察に依つて冒頭の命題が略確實となつた。次に



第12圖

に E_v の支配因子に就て一考する。 E_v の支配因子として實際上問題となるのは切缺底の曲率半徑である。即ち曲率半徑が小ならば第9圖に於てPOの長さが小となり、必然的にP'Oも小となり、應力の集中及び σ_y , σ_z が比較的大となり、撓みが比較的小なる間に既にP'點に於ける σ_z が σ_T に達して其處に分離破壊

が起り、 E_0 は當然小となる。次に曲率が一定なる場合には上述の考察よりも明かなる如く E_0 は σ_T に依り又 τ_p とも関係する。前述の PO' 或は $P'O/PO$ は此等2抗力の相關關係に依つて定まるものである。然し σ_T, τ_p は何れも變形度の函數であるから、 E_0 との關係に就て明確なる概念を與へる事は極めて困難である。大體に於て破壊は相當大なる塑性變形を行つた後に起るものであるから、兩者に關しては其の範圍のみを考へれば、 E_0 は τ_p と共に單調に増大する事は勿論であり、又 P' 點に於ける分離破壊の難易は

$$\sigma_T = 2\tau_p + \sigma_3 = \sigma_1$$

なる破壊の條件に依る事を考慮すれば

$$R = \sigma_T / \tau_p \dots\dots\dots(27)$$

の大小に依つて決定せられるから、 E_0 は又 R と共に増減する事が推論される。¹³⁾ 之を要するに E_0 なる量は物理的に極めて複雑な量であり、其の意義は不明確たるを免れないが、其自身として切欠ある場合の破壊發生に對する安全度を與へるものと考へられる。

E_n —— P' 點に割れが發生すれば割れの尖端が切欠¹⁴⁾ となる。此の切欠は極めて尖鋭であり、 E_n の特徴は此の點に懸つてゐるものである。靱い試験片に於ては二次切欠の底部に再び塑性變形が起り、或程度破壊が進行して再び割れを生じ、變形と割れとが交互に起つて所謂絹絲狀破面を生じ、又兩側部は大なる塑性變形を行つた結果として滑り面に沿ふて剪斷破壊を起し耳部を形成する。然るに脆い試験片に於ては一度割れが發生すれば、僅に上述の如き破壊の進行状態を續けた後、或は最も脆い場合には P' 點に於ける破壊の直後に、二次切欠の尖端が塑性變形するのを待たずして、割れが急激に生長して粒狀破面を生じ、耳部の發達は極めて不良である。然らば此の差異は何に依つて生ずるものであらうか。先づ二次切欠底の曲率は極めて小であるが、有限でなければならぬ。依つて二次切欠が存在する場合に之を屈曲すれば、普通の切欠に比して極めて程度の高い應力の集中が起り、 P 點は殆んど切欠底に一致する。此の様な條件の下に於ても靱い試験片では底の塑性變形が可能である。今脆い試験片に於て殆んど變形を伴はざる破壊(粒狀破面)の起る事を考慮すれば、上述の靱脆を支配するものは

$$R_0 = (\sigma_T / \tau_p)_{e=0} \dots\dots\dots(28)$$

と考へる事が出来る。即ち E_n は R_0 以外の量にも依るが、 R_0 が或る臨界値 R_{0c} より小となれば急激に減少し、換言すれば E_n は R_0 に對し R_{0c} に於て不連続的に變化する。依つて E_n は

$R_0 > R_{0c}$ なる場合には塑性變形と分離破壊とが交互に起るから、大體に於て比較的變形度小なる場合の τ_p, R 等に依るものと考へられる。

$R_0 < R_{0c}$ なる時は殆んど變形を伴はないから、變形度零なる場合の σ_T に依るものと考へられる。

此の意味に於て E_n の有する重要な意義は R_{0c} なる臨界値の存在と云ふ點にある。單に E_n の大小に關しては、 E_0 に比して比較的變形度小なる場合の特性を與へるが、複雑な内容を有する點に於ては E_0 と大差はない。猶 E_n は破壊發生後の安全度を與へる事は云ふ迄もないが、更に白點の如き缺陷に對する安全度を與へる事に言及して置く。

3. 衝擊値の物理的意義

以上の考察に依り、 E_0, E_n の和として求められる衝擊値の物理的意義に就て考へて見る。最も重要な事は上述の如く、 E_n が R_0 に對して不連続點を有すると云ふ點にある。然るに E_n は R_0 とは無關係に變化するから、 E のみに注目すれば E_0 の特性の餘り明瞭に現れない事が屢ある。例へば衝擊値が比較的大なるにも拘らず粒狀破面を呈するものがあるが、之は E_0 が比較的大である爲に、 E_n が低値を示しても E としては相當大なる値を示したと云ふ事柄を物語るものである。従つて E を材質比較の基礎量とする場合には、類似の材質に就てのみ比較を行ひ、破面の状況を良く觀察しなければ誤を生じ易い。即ち此の様な場合に於てのみ、 E_0 は略一定であるから、 E_n の差が明瞭に現れるのである。重ねて E_0, E_n に就て前述せる處を要言すれば、 E_0 は普通の加工に依つて生ずる切欠に於て、破壊發生の安全度を與へ、 E_n は白點の如き極めて尖鋭なる切欠を有する缺陷に對する破壊發生の安全度及び一般の場合に於ける破壊發生後の安全度を與へる。¹⁵⁾ 依つて切欠屈曲試験結果を最も有効に利用する爲には、衝擊値を E_0, E_n に分けて考察する事が必要である。

一方設計上は普通降伏點を基礎とし、之に相當大なる安全係數が取られてゐるから、破壊及び破壊後の條件迄之を

¹³⁾ 之に關しては次の報告で再考察する事とする。

¹⁴⁾ 二次切欠と名付ける事とする。

¹⁵⁾ 相似則を考慮しなければならない。

基礎量とする必要はないし、又實際的にも従来基礎量として用ひられてゐなかつたのである。依つて衝撃値は何處迄も参考値としての價値しかない筈である。即ち材料の内部に不測の疵、加工疵が存在する場合、或は不慮の過荷重が掛る場合等の安全度を與へるに過ぎない、更に次項で述べる相似則の不成立と云ふ事實を考慮すれば、普通に測定される衝撃値では或程度以上の大形の物體に對しては無意味となり、衝撃値の値自身の設計上に於ける意味は益々小

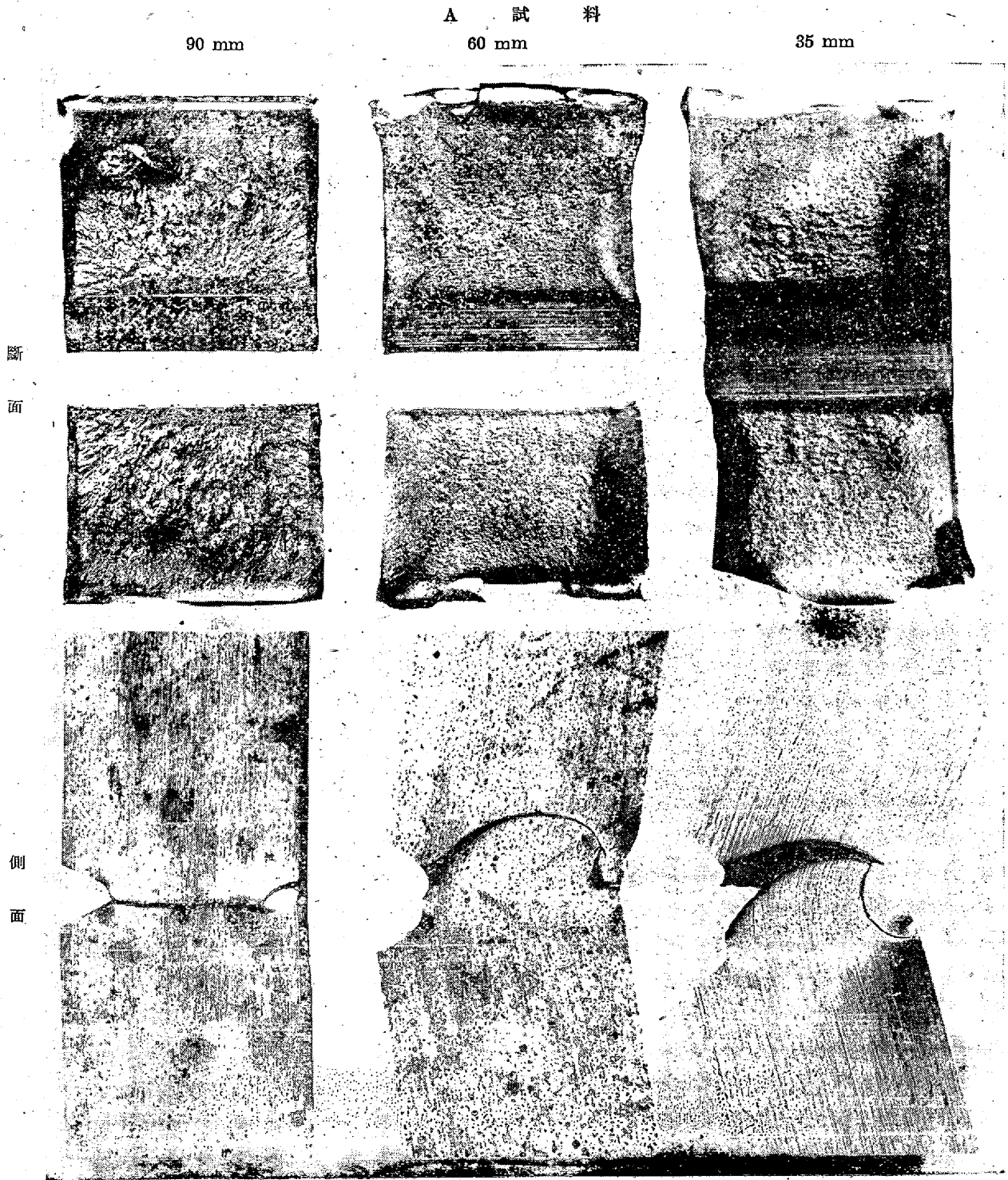
となるのである。

4. 衝撃値と相似則¹⁶⁾

一般に弾性乃至塑性變形の範圍に於ては、應力歪方程式が物體の大きさに依らないから、所謂相似則が成立する。即ち相似形の物體が相對的に同等なる條件の下では同等なる應力對歪の状態が成立するのである。

先づ E_0 に關して考察すれば、破壊の直前迄弾塑性方程

¹⁶⁾ 其の理論に就ては次報で詳述する。

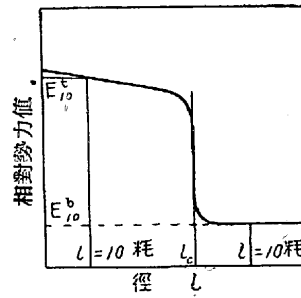


第 15 圖

式で記述されるから相似則の成立する事が結論される。次に E_n に関しては一度破壊が発生すれば、割れの形、特に割れ尖端の曲率、換言すれば二次切欠の底の曲率は物體の大きさに反比例して變化せざる限り相似の條件は破れ、曲率は寧ろ略一定と考へられるから、大なる物體は相對的により尖鋭なる切欠を有する事となり、 E_n に相似則を適用する事は不可能となる。

依つて相似則に関する實驗を行ふ前に、次の様な豫備的考察を行つて見た。例へば普通のアイゾット試験片と相似

な種々の大きさの試験片を作り、之に就て吸收勢力を測定



すれば、第 13 圖の如き結果が豫想される。圖中

$l=10 \text{ mm}$

なる箇所が二つあるのは、便宜上 $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$ の試験片が靱い破面を示す場合と、脆い破面を示す場合とを同時に記入した爲であり、 E_{10}^e が靱い場合、

第 13 圖

B 試 料

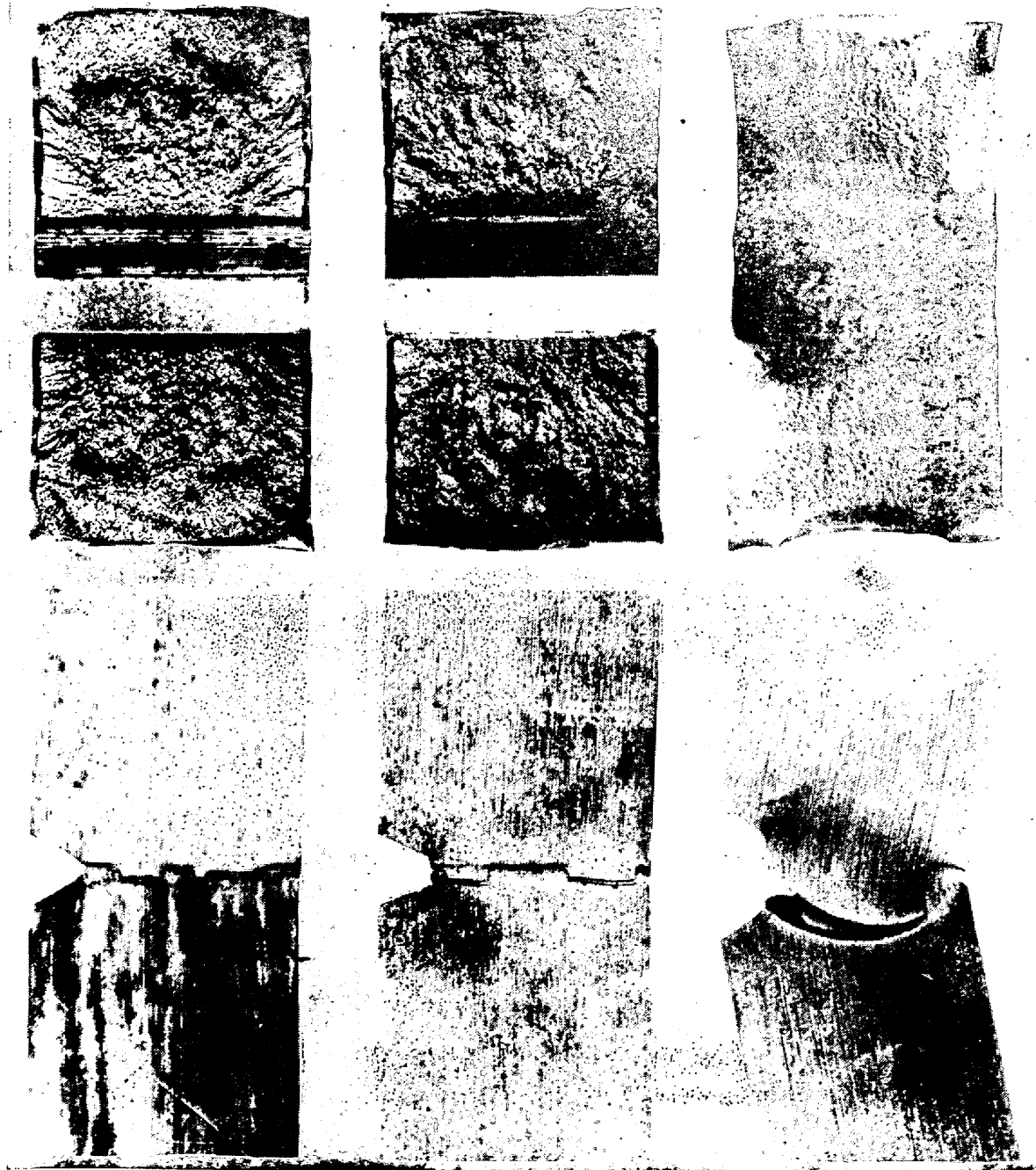
90 mm

60 mm

35 mm

斷
面

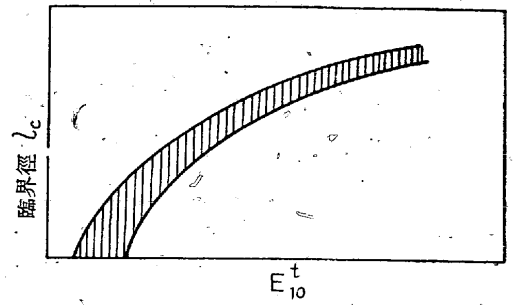
側
面



第 16 圖

E_{10}^t が脆い場合の其の徑に相當する衝撃値を表すものとする。圖中衝撃値が不連続的に變化する徑を臨界徑¹⁷⁾と稱する事とする。即ち物體は臨界徑以上の大いさを有する場合には脆い破壊を行ふのである。而して E_{10}^t が此の臨界徑と或る幅を持つた函數關係にある事は容易に想像し得る處であつて、其の理論的根據はさて置き、第 14 圖の様

な關係を提示する事とする。若し此が眞なりとすれば、衝撃値は前述する處以外に、比較



第 14 圖

¹⁷⁾ 臨界徑の存在は二次切欠底の曲率の一定なる事にあるが、之に就ては次報で詳述する。

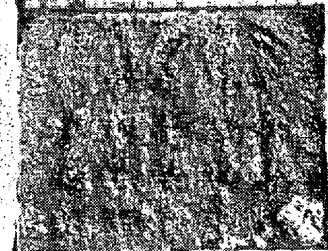
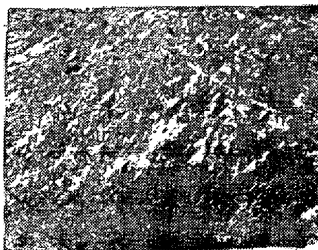
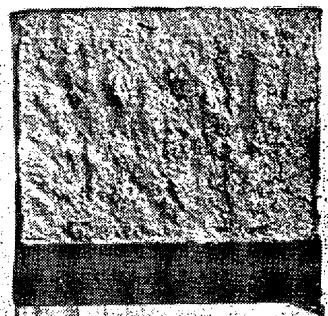
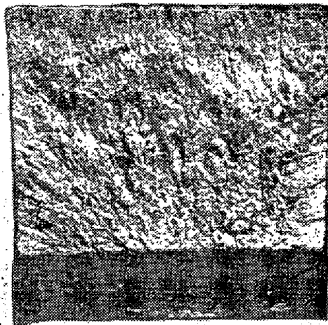
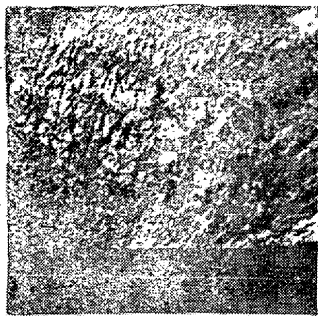
C 試 料

90 耗

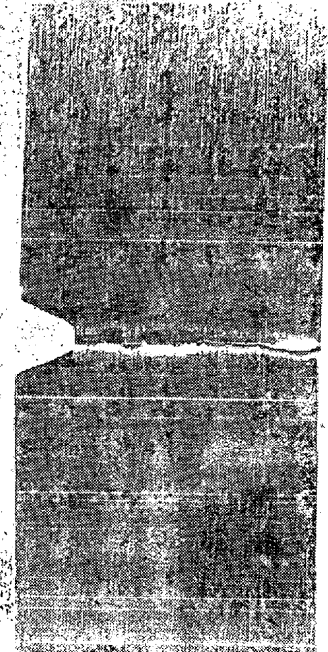
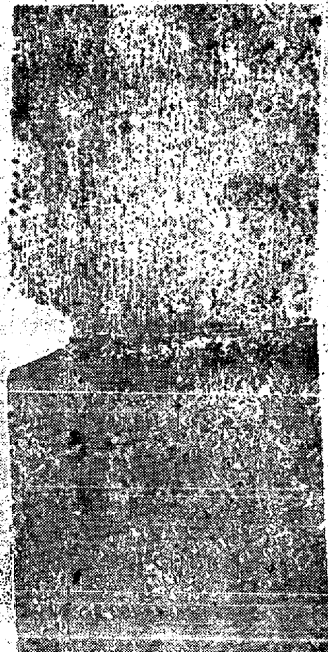
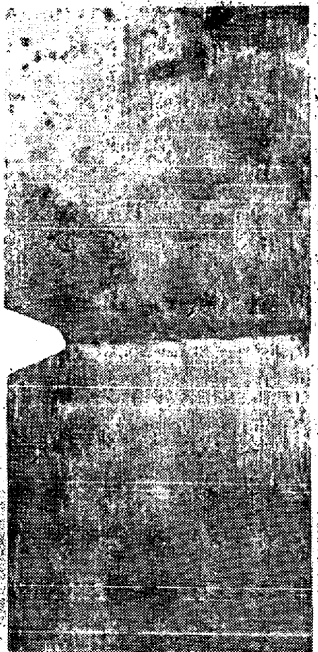
60 耗

35 耗

斷
面



側
面



第 17 圖

的明確なる、臨界徑の豫知と云ふ意義を有する事となる。

此に關する實驗は未だ完了してゐないが、著者等の企圖する處は略明らかとなつたと考へられるから、其の一部を掲げる事とする。試料の成分は第1表の通りである。

第 1 表

成分	C	P	S	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
含有量	0.22	0.025	0.015	0.48	0.23	2.75	0.48	0.13

100 mm 角壓延材を 850°C より油冷し、次の如き 3 種類の焼戻を行つた。

- a) A 試料 630°C 焼戻
- b) B 試料 580°C 焼戻
- c) C 試料 200°C 焼戻

此より普通のアイゾット試験片と相似に 90 mm 角試験片を作り、シャルピー試験の場合と同様な加壓形式にて靜的屈曲を行ひ、破壊後此より 60 mm 角試験片を採り、同様な方法を繰返して順次小試験片に及ぶ事とした。大型試験片は荷重の測定、従つて又吸收勢力の測定は出来ないから 300 t プレスを用ひて試験を行ひ、主として破面の情況より破壊の進行を想像する事とした。35 mm 角試験片以下は 70 t アムスラー試験機で、撓み對荷重圖を求めつゝ試験を行ふ。35 mm 試験片迄の試験片の破壊情況を第 15 乃至第 16 圖に掲げる。破面の情況より臨界徑に就て次の様な推定臨界徑を與へる事が出来る。

第 2 表

試料	脆性破面	靱性破面	臨界徑
A	≥90 mm	<60 mm	75 mm
B	≥60	<35	45
C	≥35	—	—

此の結果により臨界徑の存在は確實であり、第 14 圖の如き E_{10}^L , l_0 間の函數關係が實證された事になる。猶質量効果を考慮して特に小型の試験片に就ては、壓延材の内外部より試験片を採取したが、其の試験結果には少くとも破面に關する限り差異は認められなかつた。又試験片は其の大小に依つて熱處理の際の殘留應力が異なるが、此も臨界徑の存在に對して本質的のものとは考へられないと云ふ事に言及して置く。

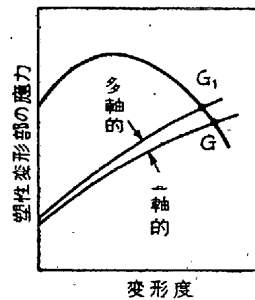
5. 疲勞試験との關係

疲勞試験と衝擊試験とが無關係なる事は既に良く知られた事實であるが、特に上述の考へ方事従つて此の點を吟味する事とする。

先づ衝擊試験に對して最も特徴的なる量は (28) 式より R_0 である。他方疲勞試験に於ては σ_a と ν とが最も重要な量である。 ν に就ては未だ明ではないが前述の議論に

依れば σ_B と關連し、又 σ_a は勿論大なる變形量に對應する量である。然るに R_0 は變形度零に對應する量であるから、之のみを以てしても兩者の間に關係少き事は容易に肯定される。

更に疲勞に於ける切欠感受性と、衝擊に於ける切欠感受性とが往々にして混同される事があるから、特に疲勞切欠感受性に就て一考する。疲勞切欠感受性は切欠底に於ける



第 18 圖

疲勞限上昇の程度を表すものである。此を嚴密に議論する爲には、更に多軸的な繰返應力の問題が明らかにされなければならぬ。然し Orowan の理論は一軸的な問題を取扱つて居り、塑性變形部の應力は此の場合に於てのみ $2\tau_p$ 曲線に沿ふて上昇するのであるから、 σ_a なる量は此の特殊な場合に對してのみ變形限として意味を有する事となる。即ち變形限は應力分布に依つて異なるものである。例へば多軸的な場合には第 18 圖に於て塑性變形部の應力は $A_1 \rightarrow G_1$ と變化し、變形限は σ_{a1} となる事が想像される。更に應力分布が變化すれば構造係数 ν も變化するであらう。従つて切欠試験片の疲勞限は切欠底に於ける應力の多軸性が問題であり、 R_0 とは全く無關係なる事が結論される。

VI. 規 格

鋼材は其の機械的試験値を定められたる規格と照合して其の採否が決定される。一小試験片の機械的試験に依り大量の鋼材が一舉にして廢却され、幾多の努力が水泡に歸する場合は屢ある。規格の權威の重大なるを認めざるを得ない。然らば規格に内包される意義は如何なるものであらうか。上に述べ來つた處の各種の機械的試験値の意義を酌量して規格の吟味を行ふ事とする。

規格に關しては

- (1) 設計上の要求を満足する爲には其の規格に合格する事が必要である。
- (2) 其の規格に合格せる製品ならば正常なる製造過程を経たものと認められる。
- (3) 其の規格に合格する程度の製品ならば工業的に生産可能である。

を以て主なる點は盡されてゐるものと考へられる。

設計上の要求——設計上の要求と直接關聯する量は多くの場合降伏点のみであるから、他の量に就ては設計上の必要性を要求する事は出来ない筈である。然し他方に於て、從來屢問題となる事は、偏析、質量效果等に関する試験片と製品各部との相違である。此の際、後述する如く、規格を正常性の確保と解釋すれば此は或程度問題ではないが、設計上の要求とすれば此の相違は大問題である。依つて規格が眞に設計上の要求のみより決定されるならば、總ての大型の製品に關しては、從來よりも嚴格に少くとも一度は其の各部の機械的性質を調査して置く事が必要である。次に降伏点以外の量は設計上参考値と考ふべきである。但し特に抗張力を疲勞限の目安とし、或は物體の破壊に要する勢力が設計上要求される様な場合には、抗張力、衝撃値も参考値以上の意味を有し、低温加工を行はるべき素材に於ては、絞り、伸び等も重視しなければならない。偖て参考値とは多くの場合不測の缺陷或は不慮の過荷重が掛つた場合の破壊に對する安全度を與へると云ふ意味である。此の意味に於て衝撃値は参考値として最も重要な量であるが何處迄も参考値であるにも拘らず、宛も設計上の要求の如く嚴密なる規格の適用が行はれてゐる。其の許容最低量は或程度經驗的に定まるが、其の限界は設計上の要求程正確なものではない。

正常性——從來の例を見るに、規格は設計上の要求よりも正常性の保證を意味する場合が多い。大體正常性とは(3)の生産可能の條件と密接なる關係にあり、其の國の工業水準と關係する處が大である。従つて設計上の要求の如く嚴密なものではなく、工業生産に不可避的なる製造上の偏差をどの程度迄許すかを規定すると云ふ點にある。偏差の許容誤差を小にすれば生産費が高められるに過ぎない。それが正當なる理由で要求されるならば、それで問題は起らないのである。製鋼者は萬難を排して合格率改善に努力しなければならない。即ち適正なる正常性に對する要求が規格化せられるならば、製鋼技術の進歩に大なる寄與がなされるのである。然るに正常性の要求に對し設計上の要求の如く嚴重なる規格の適用を要求し、剩へ質量效果を考慮せず、偏析の存在を無視するかの如き例に屢遭遇するのである。又理由なくして正常性に對する要求が酷に過ぎ、製鋼者として姑息な手段を講ずるか、或は合金元素を必要以上に添加するとか、或は又夥しい有用

鋼材が廢却せられるとか、國家的見地より見れば由々しき問題が生じてゐる。斯かる規格の適用は却つて製鋼技術の進歩に對しても重大なる障害をなすものである。

偖て多くの機械的性質に於て上述の正常性の保證には抗張力(硬度)、衝撃値の如き相反する2性質を押へる事が合理的と考へられる。其の他の量は大體参考値と考へて良い。唯衝撃値試験は正常性の認定法としては、他の試験に比し感度大に過ぎる嫌がある。此の意味で上述の方法は必しも理想的とは考へられない。殊に感度が大ならば誤差が大であり、誤差を小ならしめんとすれば工業的試験法としての資格を失ふ事となるであらう。然るに衝撃値に對する規格が定められると、其を絶對的のものとし、正常性認定量としての意味を忘れ、衝撃値が宛も設計上要求された靱性を與へるかの如き態度を以て臨む場合が多い。而して正常性に對する要求は飽迄絶對的のものではなく、更に臨界徑の存在を考慮すれば衝撃値の相對的の性格が益々明瞭に顯れて來るのである。

蓋し機械的試験値に於て眞の意味で設計上の要求と關聯するものは度々述べた如く降伏点のみであつて、其の他の試験値は参考値であり、又正常性の認定量に過ぎない。従つて其の使用目的に依つてどの量が重視されなければならないか、と云ふ事柄が決定されるべきである。從來は徒に規格のみに捉はれて(即ち正常性を保證するの意味が濃厚である?)其の目的を忘れ、所謂八方美人的な機械的性質を要求する爲に必要以上に高級な鋼種が用ひられ、殊に我國に於ては殆んど産出を見ないニッケルが殆んどあらゆる鋼製部品の製造に用ひられてゐた様な情況であつた。然るに最近資源の逼迫に依り必然的に適材適所の方策が建てられ、更に新しい鋼種の採用に際して規格の檢討が行はれ、尙多少の無理はあるがより合理的な規格が制定されるに到つた様である。製鋼技術の發展に取り誠に喜ぶべき傾向と考へる次第である。

VII. 總 括

以上の結果を總括すれば次の通りである。

(1) 抗力曲線の意義を明にした。

疲勞破壊を Orowan の理論に依つて吟味し、抗力曲線と比較して

(2) 應力が一軸的なる場合には、疲勞限は σ_T 曲線

と $2\tau_p$ 曲線との交點に相當する變形限 σ_G 及構造係數 ν とに依り、例へば簡単な模型を用ひれば

$$\sigma_w = (1-\nu)\sigma_G$$

で與へられる。

次に抗張試験に就ては

(3) 抗張試験の主たる目的は鋼材の塑性變形に対する性特を求める事にある。

(4) 降伏點、抗張力は何れも滑り抗力曲線上の特殊點に相當するが、設計上直接的な意義を有するものは降伏點のみである。

(5) 疲勞限に關する從來の實驗を總括すれば、近似的に

$$\sigma_R = \sigma_G$$

$$\nu = 1 - 1/3 \cdot \sigma_B / (\sigma_B + 19)$$

が成立し、従つて

$$\sigma_w = 1/3 \cdot \sigma_B / (\sigma_B + 19) \cdot \sigma_R$$

が得られ、斯くして抗張力 σ_B 、破斷抗張力 σ_R が疲勞限の目安として意義を有する事となる、

(6) 破壞に關する量は破斷抗張力 σ_R 及び最大絞り ψ_R のみであり、而も此の破壞は大なる變形を行つた後に起る特殊な場合に相當するものである。

(7) 平均伸 $\bar{\epsilon}$ は其の意義極めて不明瞭であるから、變形能の尺度としては寧ろ最大絞り ψ_R を重視すべきである。

更に切欠衝撃試験に就ては未だ不明の點が多いが、大體に於て

(8) 切欠の効果は應力の集中のみならず、切欠底下に難變形部を生ぜしむるにある。

(9) 衝撃値 E は上述の難變形部に於ける分離破壞開始前後の吸收勢力 E_v, E_n に分けて考へる事が合理的である。

的である。

(10) E_v は極めて複雑な量であり、大體に於て相當大なる變形度に対する σ_T, τ_p と關連するが、最も直接的な意義としては、普通の機械加工に依つて生ずる程度の切欠に対する破壞發生の安全度を與へるものと云ふ事が出来る。

(11) E_n は

$$R_0 = (\sigma_T / \tau_p)_{\epsilon=0}$$

の臨界値 R_{0c} に対して不連続的に變化し、

$R_0 > R_{0c}$ に対しては絹絲狀破面が現れ、

$R_0 < R_{0c}$ となれば急激に減少して破面は粒狀となる。

又試料の大きさが臨界徑以下ならば、白點の如き缺陷に対する破壞の安全度及び一般の場合に於ける破壞發生後の安全度を表す。

(12) 特別な場合を除いては設計上の要求とは直接關聯はなく、參考値として考慮すべきである。

(13) 鋼材は其の大きさが臨界徑を超えると脆い破壞をなす。普通の $10 \times 10 \times 55$ mm 試験片に依る衝撃値は、臨界徑と關連する。

(14) 衝撃値と疲勞限と無關係なる事は理論的にも明らかである。

終に規格の内包する意義を考察して

(15) 規格は設計上の要求、正常性の確保、生産条件より決定せられる。前二者が混同され多くの面倒な問題を引起す事があるから、規格を適用する場合には何れに主眼點を置くかを明にする事が必要である

(16) 降伏點以外の量は直接設計上の要求とは關係が薄いが、實は正常性の認定量として意義を有するものである。