

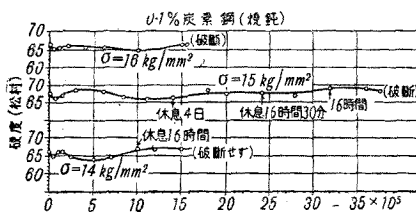
# 金 屬 の 疲 勞 (III)

大 柴 文 雄\*

### 3. 硬 度

Ludwik<sup>(47)</sup> は電気鋼、繰返振りの場合一定應力を繰返すとき硬度は繰返数の増加と共に増加して極大に達した後減少することを認めた。山田松岡兩氏は回轉曲げの場合に就て實驗同様の結果を得た。兩氏は硬度が應力繰返数の増加と共に漸次増加するは加工硬化によるもので、極大後減少するは細隙が擴大して疲勞破隙を生ずるためであると説く。なほ兩氏によれば硬度の極大點は應力の大なるほど繰返数の小なるところに起るやうである。

上述の硬度の變化はブリネル或はロックウェル硬度計に依つて知られた事柄である。これらの硬度計は變化の大きなところは表はし得るが微細な部分を表はすことは困難である。依て著者<sup>(48)</sup> は松村硬度計を用ひ特に應力繰返初期に於ける微細な硬度の變化を検べてみた。第33圖は回轉曲げの場合の一例であるが、圖から判る通り、一



第 33 圖

定の應力を繰返す場合一般に硬度は繰返の初期に於て減少し、次いで増加して極大となり、以後繰返数の増加と共に一旦減少するが後再び徐々に増加する。斯くして繰返数が大になれば硬度は初めの値よりも著しく増加するものである。斯様な硬度の變化は一見複雑であるが、初めの減少及び増加の一聯の變化は試片の外層部の變化を示し、次の減少及び増加の變化は内層部の變化の現れであつて、應力分布の異なる回轉曲げの場合である故にかゝる重複した變化が現はれるのである。今外層部の硬度の變化を吟味するに著者の考へに依れば繰返の初期に於ては迂りに伴ふ微細間隙のため材質の不安定を來し、爲に一時硬度の減少を結果するが應力繰返の進むと共に内部歪及び結晶粒の微細化の影響が次第に優勢となり硬度の増加を示すやうになる。同様の減少次いで増加の變化が時期を遅れて試片の内層部にも起る筈で、これが見掛けの硬度に現はれて二回目の減少増

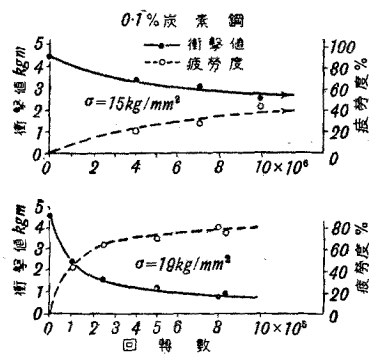
加となる。然し應力繰返数が一層大となり應力の作用が試片の十分深部に達した後は、實際に測定を行つてゐる外層部分の硬度は繰返数の増加と共に次第に増加するのである。かやうな増加の行程中應力の大きさに依ては疲勞破隙(或は龜裂)も生ずるであらうからこの場合には前述の如き繰返し末期に於ける硬度の極大後の減少が起ることとならう。

加となる。然し應力繰返数が一層大となり應力の作用が試片の十分深部に達した後は、實際に測定を行つてゐる外層部分の硬度は繰返数の増加と共に次第に増加するのである。かやうな増加の行程中應力の大きさに依ては疲勞破隙(或は龜裂)も生ずるであらうからこの場合には前述の如き繰返し末期に於ける硬度の極大後の減少が起ることとならう。

### 4. 衝 撃 値

繰返應力に依て材質が粘性を漸次失つて脆弱となることは衆知の事實であるが、このことは引張試験の結果からも判るところである。即ち引張強さは増加するも伸が著しく減少し従つて破断に要する仕事量の減少を結果するのである。衝擊値の變化を測定した實驗<sup>(49)</sup> は 2, 3 あるが以下に著者の結果に就て述べる。

第 34 圖の實線は繰返應力に依る衝擊値の變化を示すもので、回轉曲げ

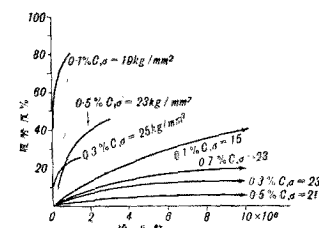


第 34 圖

の繰返數即ち試片の回轉數が大なるほど衝擊値は減少し、而して耐久限界(10<sup>7</sup>)以下の應力の場合には衝擊値の減少は比較的緩慢であるが耐久限界以上の應力の場合には衝擊値の減少

は著しく且つ繰返の初め急激に後に緩慢となることが判る。今素材の衝擊値を  $W$ 、應力繰返後のそれを  $W'$  とす

れば  $(W - W')/W$  を百分率にて表はしこれを疲勞度<sup>(50)</sup> といふ。圖中の點線の曲線は疲勞度を示したものである。第 35 圖に各種の炭素鋼の耐久限界(10<sup>7</sup>)以上及び以下の應力の



第 35 圖

\* 米澤高等工業學校教授

(46) E. Schmid, Z. Metallk., 20 (1928), 69.

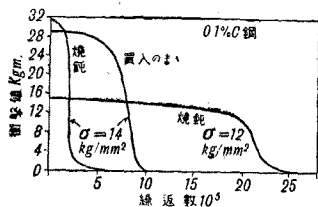
(47) P. Ludwik, Z. Metallk., 22 (1930), 374.

(48) 著者, 本誌, 3 (1939), 283.

(49) 淺川勇吉, 金屬の研究, 8 (1931), 221., 山田松岡, 機械學會誌, 37 (1934), 273. 著者, 金屬の研究, 11 (1934), 328., 14 (1937), 96.

(50) 本多光太郎, 東北帝國大學理科報告, 16 (1927), 265.

場合の疲労度を示した。耐久限界以上の応力の場合には疲労度の増加は極めて急激であるに反し、耐久限界以下の応力の場合には比較的緩慢であるが材料によつては疲労度は可成高い値に達することがわかる。例へば 0.1% 炭素鋼、 $\sigma=15\text{kg/mm}^2$  の場合は応力繰返数  $10^7$  に於て疲労度は約 40% に達する。普通の回轉曲げ疲労試片の平行部分の中央に断面の周に U 字形切欠を附した場合は耐久限界は切欠無き場合のそれよりも低下することは言ふまでもないが、一定応力に於ける衝撃値従つて疲労度の變化は繰返数の増加に伴つて 3 段に變化することは繰返打撃<sup>(51)</sup> の場合と同様である。第 36 圖はその一例を示



第 36 圖

すもので、衝撃値は繰返の初期は比較的緩慢に減少するがある繰返数に於て急激に減少し繰返の末期に於て再び緩慢に減少することが認められる。而して繰

返の中期に於て衝撃値が急激に減少するのは切欠の底部に生じた疲労龜裂が可視的な大きさにまで成長したためである。圖に於て  $\sigma=12\text{kg/mm}^2$  の材料は  $\sigma=14\text{kg/mm}^2$  の材料と異なつたチャージのもので、衝撃値の元の値が著しく異なつてゐる。

### 5. 耐久限界

耐久限界以下にしてこれに近い応力を繰返すことに依つてその材料の耐久限界を高め得ることは衆知の事柄である。Moore<sup>(52)</sup> の實驗に於ては耐久限界應力(回轉曲げ)を  $10^7$  回繰返すことに依つて、鋼の場合に材質によつて程度は異なるが平均 4.5% 最大 20% の耐久限界の上昇を見た。概して初めの応力の繰返数を増せば耐久限界の上昇は大であるやうで、鑄鐵<sup>(53)</sup> の場合に耐久限界應力を  $10^8$  回繰返して平均 15.16% 最大 43% の上昇が得られた。然し黄銅に於ては繰返数を大にするも耐久限界の上昇は微小で數%に過ぎない。Memmler 及び Laute<sup>(54)</sup> は繰返引張壓縮の場合を研究した。これによれば耐久限界上昇の最大量は鋼の場合に 8%、ニッケルの場合に 16%、銅の場合に 11% であつたが輕合金に於ては耐久限界の上昇は全く得られなかつたのみならず減少をさへ示した。

上述のやうに耐久限界又はそれ以下の応力を長期繰返して耐久限界の上昇が得らるるのは繰返應力による加工効果の結果と解される、同様の繰返應力の効果が耐久限界以上の応力の繰返によつても得られることは山田松岡

兩氏<sup>(55)</sup> の示された通りであるが、ただこの場合には繰返数に限度があつて或る繰返数までは耐久限界を増大せしむるもそれ以上の繰返数は却つて耐久限界を減少せしむるものである。また繰返應力の値も耐久限界を超えること高きに過ぐれば効果なきことは言ふまでもない。

常溫加工、熱處理等に依つて既に強さを増大せる材料<sup>(56)</sup> に於ては上述の如き繰返應力の効果は僅少なることも容易に理解されるところである。

耐久限界以下數  $\text{kg/mm}^2$  の応力を數百萬回繰返して後應力を僅 ( $1.2\text{kg/mm}^2$ ) 高めこれを數百萬回繰返す

第 5 表

引張壓縮 繰返應力 $\text{kg/mm}^2$	繰返數 $10^6$	全繰返數 $10^6$
22.0	165	165
23.0	117	282
24.3	172	454
25.0	92	546
26.4	85	631
28.0	115	746
29.3	100	846
31.0	108	954
32.8	86	1040
34.0	34	1083
35.8	43	1126
37.3	6.7	1132.7 (破斷)

後更に應力を高めて

繰返を行ふ。斯様に

順次應力を高めつゝ

繰返を行へば耐久限

界は著しく上昇する

もので、30~40%

の上昇は容易に得ら

れ 60% を超えるこ

とも稀ではない。第

5 表に示した例では

0.9% 炭素工具鋼の

引張壓縮繰返試驗に

於ける耐久限界が元

の値  $22\text{kg/mm}^2$  より  $35.8\text{kg/mm}^2$  まで上昇し、63% の増加に相當する。

### V. 耐久限界迅速測定法

入手した材料に對し耐久限界の正しい値を知ることは設計に際して先づ必要な事柄であるが、これを S-N 曲線から求める所謂耐久試驗には試片は少くとも數本を要し且つ最少限二週間の時日を要するので、實施は甚だ不便である。そこで成る可く少い試片を用ひて極短時間内に耐久限界を見出さうとする種々の工夫が行はれてゐるが、原理は三つに大別することが出来る。即ち試片に發生する熱量の變化を利用するもの、履歴現象の變化を利用するもの及び歪の變化を利用するもの等である。

#### 1. 發熱量の増加を利用する方法

材料が彈性限界以内に於て引張られれば試片の溫度は降下し、壓縮されれば上昇することは 1855 年 Kelvin の發見した事實で Kelvin 効果として遍く知られてゐる事柄である。今引張應力の増加を  $\Delta\sigma$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) とすれば試片の溫度降下  $\Delta t$  は

$$\Delta t = \frac{T \beta \Delta \sigma}{c A}$$

茲に  $T$  は試片の初めの溫度(絶對)、 $\beta$  は熱膨張係數、 $c$  は

(56) H. F. Moore, T. M. Jasper, ILL. Bullt. 142 (1924).

(51) 著者, 前掲 (49).

(52) H. F. Moore, ILL. Bullt. 142 (1923).

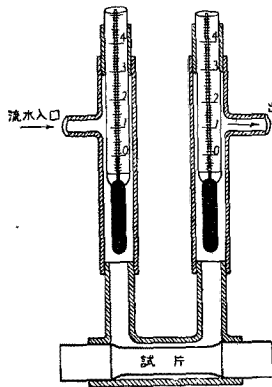
(53) H. F. Moore, ILL. Bullt. 164 (1927).

(54) K. Memmler, K. Laute, 前掲, (45).

(55) 山田, 松岡, 前掲, (45).

比熱(g-Kal./cm<sup>3</sup>), A は仕事の熱當量(42.7cmkg/g-kal.)である。應力が弾性限界を越えれば引張, 壓縮 いづれの場合にも常に温度の上昇が起る。

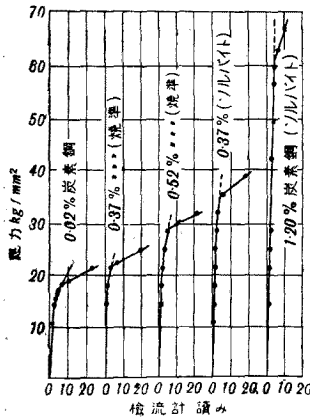
正負等大の繰返應力を受ける場合應力が弾性限界以内なるときは試片の温度は不変であるが, 應力が弾性限界



第 37 圖

を起えた時初めて温度上昇が起る。この原理に従つて Stromeier<sup>(57)</sup> は熱量計を用ひて耐久限界の迅速測定を行つた。第 37 圖はその裝備を示すもので, 試片にゴム筒を嵌めこの中に水を流しつつ繰返振り試験を行ひ, 應力を次第に高めてゆけば應力の小なるところに於ては流水の温度は不変であるが, 應力のある値を境としてそれ以上の應力に於ては流水の温度の上昇が 0.02° の温度差をもつて観測されるから, この限界應力を取つて耐久限界とするのである。結果は耐久試験の結果とよく一致した。

水熱量計の代りに熱電對を用ひることも廣く行はれる。Putnam 及び Harsch<sup>(58)</sup> は銅, コンスタンタン熱電對と檢流計によつて 0.003° の温度差に於て試片の温度

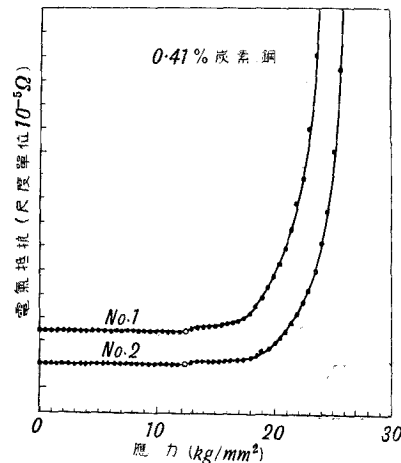


第 38 圖

上昇を測定し, 應力-温度曲線(第 38 圖)の急激な曲りの起る應力を以て耐久限界とした。その結果は耐久試験結果に比し最大±9%の誤差あり, 平均3%低い値となつた。Gough<sup>(59)</sup> は兩振振り應力の場合に鐵, ユーレカ(コンスタンタンの類)熱電對を用ひて試片の中央部と端部との温度差を測定し, これが應力の振幅の増大によつて如何に變化するかを檢べたところ, 温度差は或る限界應力までは應力の振幅の増大と共に直線的に増加するが, それ以上の應力に於ては温度差の増し高は振幅の増し高よりも大となり, この限界應力が耐久限界を與へるもので, 耐久試験の結果と一致した値であ

るといふ結果を得た。

既に述べたやうに弾性履歴の現れる状態に於ても, 換言すれば試片の温度上昇が認められる状態に於ても試片は必ずしも破断しない。即ち耐久限界以下の應力に於ても試片の温度の上昇は認められる筈で, 上記の2つの實驗結果が示す通りである。履歴現象が著しく現はれる材料に於ては温度の上昇は勿論著しく且つ温度-應力曲線の曲り初めの點が比較的低い方の應力に來る。従つて軟い材料に對しては熱電對によつて求めた耐久限界は耐久試験の結果よりも一般に低い値となる。適當な硬さの材料に於ては履歴現象の影響が少いから熱電對による結果と耐久試験の結果とが割合によく一致する。然し餘り硬い材料に於ては試片表面の仕上げの際の疵跡が切欠効果を現はす故兩者の相違は著しくなる。Herold<sup>(60)</sup> に依れば炭素鋼及び合金鋼の場合引張強さ 80 kg/mm<sup>2</sup> 附近の材料に於て迅速法の結果と耐久試験の結果とが最もよく一致するといふ。



第 39 圖

線(第 39 圖)上電氣抵抗の急激に増加し始むる點を取るのである。この方法によつて求めた耐久限界は炭素鋼に於ては耐久試験の結果よりも常に低く且つ引張強さに略正比例する。

## 2. 履歴現象の變化を利用する方法

繰返應力の 1 サイクルの間に消費される仕事の量は應力の大きさに依存し, 應力の大きなるに従つて指數函數的<sup>(62)</sup>に増加することは古くから知られてゐる事柄であるが, Dorey<sup>(63)</sup> の研究によれば履歴の仕事量と繰返應力の振

(60) W. Herold, Die Wechselfestigkeit metallischer Werkstoffe, (1934), 55.

(61) 池田正二, 金屬の研究, 5 (1928), 37; 6 (1929), 475.

(62) Hopkinson, Williams, Proc. Roy. Soc. A. 87 (1912), 502; Rowett, Proc. Roy. Soc. A. 89 (1914), 528.

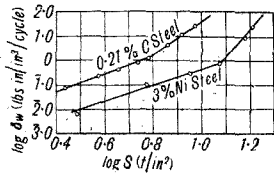
(63) S. F. Dorey, Proc. Inst. Mechn. Eng., 123 (1932), 479.

(57) C. E. Stromeier, Proc. Roy. Soc., 90 (1914), 411. Engg., (1924) II, 420.

(58) Putnam, Harsch, Ill. Bullt., 124, P. 119.

(59) H. J. Gough, Engg., 132 (1921), 159.

幅との関係は兩者の對數をとれば第 40 圖に示す如く一つの折れた直線となり、直線の折れ目の應力が耐久試験に依る耐久限界と略一致することが明らかになった。依

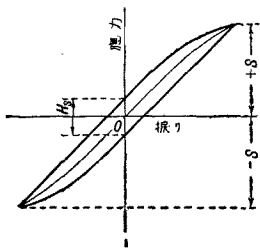


第 40 圖

つてこの限界應力をもつて耐久限界が推定されるわけである。Dorey は車軸用鋼の兩振振り試験に於て先づ一定應力を 200 又は 300 回繰返して材料を馴した後靜かに 1 サイクルを行ひ、この間に生ずる振り角とこれに對應する應力をそれぞれ精密な水準器と鏡とに依つて別個に求め、これによつて履歴曲線を作りその面積から、履歴の仕事量を求めた。氏によれば 1 サイクルの間に材料の單位容積について消費される仕事の量  $\delta W$  (lbs-in/in<sup>3</sup>/cycle) は次式で與へられる。

$$\delta W = \frac{S_i \times H_s \times C}{1.165}$$

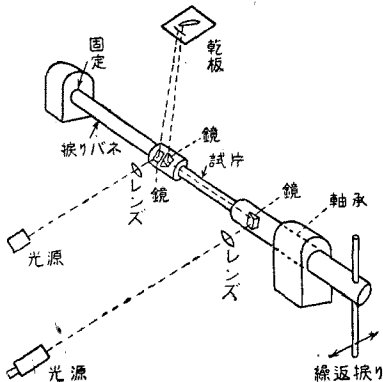
茲に  $S_i = S + \frac{1}{2} H_s$  (第 41 圖),  $S_i = S + \frac{1}{2} H_s$ , 且つ  $C$  は履歴係數で曲線間の幅 (應力軸に平行) の平均の値を  $H_s$  に



第 41 圖

て除した値である。斯様にして種々の應力に對して求めた仕事量と應力の對數値を曲線に表したものが第 40 圖で直線の折れる點が明瞭に與へられる。この點に相當する應力が兩振振り耐久限界に近い値となり、炭素鋼の場合は 10~15% 低く、車軸用合金鋼の場合は殆ど一致した値が得られた。

Dorey の實驗に於て履歴線圖を得ることはさほど簡單ではない。これが直接自動的に畫かれれば便利である。市原博士<sup>(64)</sup>は兩振振り試験に於て應力の繰返中に



第 42 圖

第 42 圖に示す如き光學的方法によつて履歴線圖を畫くことに成功し、應力の大的變化に伴ふ履歴現象の變化を研究した。而して履歴曲線の幅の現はれ始める應力を耐久限界と定めてよいといふ結果を得た。

(64) 市原通敏, 機械學會論文集, 2 (1936), 336.  
 (65) E. Lehr, Z. Metallk., 20 (1928), 78.

試料の履歴の仕事が増加すれば試験機全體の運轉に要する電力もまた増加する筈であるから、この電力の増加を測定しても耐久限界の迅速測定が可能である。Lehr<sup>(65)</sup>はこの方法を回轉曲げの場合に、西原博士<sup>(66)</sup>は引張壓縮の場合に實現した。而してこの方法によれば熱電對によるよりも遙に實際の耐久限界に近い値が得られる場合<sup>(66)</sup>があることが知られた。

### 3. 歪の變化を利用する方法

Popplewell<sup>(67)</sup>の方法: 數本の試片を準備し先づその一本に十分低い値の繰返應力を加へて後靜的引張試験に依て比例限界を求め他の試片にもそれぞれ異なる値の繰返應力を加へ、然る後それぞれの比例限界を求めると、ある一定の應力までは比例限界は繰返應力の値と一致するがそれ以上の應力に於ては比例限界は繰返應力よりも小となる。かやうな限界應力を取つて耐久限界とするのである。この方法は耐久限界が降伏點よりも高い材料例へばアームコ鐵、ニッケル等には適しない。

Moore<sup>(68)</sup>の方法: 種々の大きさの繰返應力を一定回数加へた後各試片の引張強さを求め、これが最大となる繰返應力を取つて耐久限界とする。これは前にも述べたものである。

Smith<sup>(69)</sup>の方法: 引張、壓縮繰返應力の場合鏡装置によつて應力の繰返中に於ける伸を記録する。應力の或る値までは伸は應力に正比例するが、それ以上の應力に於ては伸は急激に増す。平均應力が零以外のときは殊に伸の急激な増加が明瞭に現はれる。かやうな應力を取つて耐久限界とする。この値は一般に眞の耐久限界より稍高く出る。

Gough<sup>(70)</sup>の方法: 一端支持の回轉曲げに於て自由端に鏡を附し試片の傾斜を測定すれば、繰返應力の一定値までは荷重、傾斜曲線は直線であるが、それ以上の應力に於ては傾斜の増し方が著しく大となる。依てこの限界應力を耐久限界とする。所要時間は 30 分位で足りる。別法としては、試片を回轉し置き荷重を零より次第に増し引張強さの約 65% に相當する荷重に達せしめ、この荷重を約 4000 回繰返して後荷重を徐々に減じて零とする。ここに於て試験機を停止せしめ、數分後試片を固定して靜的試験に依て試片の傾斜を測定して比例限界を定め、これを取つて耐久限界とする。この方法は頗る簡便である。銅の如く靜的試験に於ては荷重、撓み曲線が直線とならない材料に於ても Gough の方法に依れば明瞭な比

(66) 西原利夫, 機械學會誌, 36 (1933), 677.  
 (67) W. C. Popplewell, Proc. Inst. Civ. Engrs., Jan., (1917).  
 (68) H. F. Moore, H. B. Wishart, Amer. Soc. Test. Mat., (1934).  
 (69) J. H. Smith, J. Iron & Steel Inst., Pt. II (1910).  
 (70) Gough, The Fatigue of Metals, (1924), 225.

例限界が現はれ従つて耐久限界が容易に決定される便がある。なほ Gough の方法によれば一般に實際の耐久限界よりも數 % 低い耐久限界が得られる。

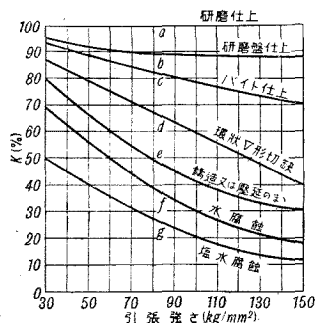
## VI. 切 缺 効 果

### 1. 切 缺 効 果

機械部分の表面に微細な疵や鋭い切缺が存在するとき、この部分の耐久力は著しく減ずる。またねぢ、孔等の存する部分も耐久力に乏しいことも事實である。すべて切缺の存在するところには應力分布の亂れを生じ、切缺の底部には見掛けの應力よりも遙に大なる應力がかかり、この所謂應力集中の結果耐久力が減るのである。この現象を切缺効果といふ。

耐久力減少の原因としては材質の表面の疵や幾何學的な切缺のみでなく、不純物の介在する部分、結晶粒の大きさの甚だしく異なる部分、化学成分の異なる部分等の材質内部の箇所もまた弱點となり得ることも實際上屢々経験するところである。かかる切缺を内部切缺といふ。

さて、試片の表面の仕上げが粗いほど表面の疵は深く且つ大であるから耐久限界の低下は大であり、また同一



第 43 圖

の平均應力に對して耐え得る應力の振幅が小なることは容易に考へられる。而して仕上げの粗さの影響のみならず、一般に切缺効果は引張強さの大なるものほど大であることは多くの實驗結果の示す通りである。第 43 圖<sup>(71)</sup>は繰返回轉曲げの場合の各種の切缺効果を示すものであるが、試片の表面を研磨によつて最も滑らかに仕上げた場合の耐久限界をその材料の標準値としこれを直線 a にて表はし、これに對し研磨盤 (b)、バイト (c) 等程度の異なつた場合の耐久限界の値を百分率 k を以て表はしたものである。

試片の圓嚮部の周圍に切缺を附すれば耐久限界は低下し、切缺が鋭いほど、また深いほど低下の割合は大である。第 43 圖の曲線 (d) は深さ 0.1mm の 60° V 形切缺の影響を示すものである。斯様に圓嚮部の周圍に附した切缺の影響は應力の種類によつて異なり、回轉曲げの場合に最大、繰返引張壓縮の場合これに次ぎ、繰返振りの場合最小であり、その比は大略 1.0 : 0.8 : 0.5 である。素よりこの値は定數ではなく、切缺の形及び深さに依存し、同形同大の切缺に於てもその効果は材質並びに試片の太さ

(71) V. D. I (1933). Dauerfestigkeit-Schaubilder.

に依つて異なるから、個々の場合に就て實驗に依つて定めねばならぬ。殊に繰返振りの場合は切缺効果は 0.2 の如く極めて僅少なる例<sup>(72)</sup>もある。

壓延又は鍛造したままの表皮もまた耐久限界を低下せしめる原因となり、その影響は引張強さの大なるほど大であり、概ね第 43 圖曲線 (e) の示す通りである。曲線は在來の實驗結果から表皮の影響の最大なるものを選んで畫いた。即ち k は最小限を示すのである。なほかやうな耐久限界低下の主なる原因は試片外層部の脱炭である。

腐蝕によつて生ずる凹凸は切缺と同様の作用をなし耐久限界を低下せしめる。元來腐蝕の影響は二つの場合に區別し得る。即ち試片を腐蝕液中に浸しつゝ疲勞試験を行ふ場合と初め一定時間試片を腐蝕液に浸したる後試片を取り出して空氣中に於て疲勞試験に掛ける場合の二つであつて、前の場合は耐久限界の低下は極めて著しく、その程度は曲線 (f) 及び (g) の示すやうである。なほ耐蝕性に乏しい材料に於ては一般に耐久限界は存在しない。海水の腐蝕作用は更に著しく、不銹鋼といへども耐久限界は 11~14 kg/mm<sup>2</sup> に低下する。

### 2. 切缺効果に及ぼす試片の寸法の影響

切缺なき試片の掴みと平行部との接續の半徑を十分大にし且つ試片の表面を極滑らかに研磨した試片に於てはその大きさが著しく異ならねば耐久限界は同一であるが、寸法の相異が甚しく大なるときは小試片の耐久限界は大試片のそれよりも大である。或る實驗に於ては試片の直径 1.6mm より 65mm 程度迄の範圍内では耐久限界に對する寸法の影響は無いことが見出されたが、この範圍は材質及び試片の形狀に關係して一定ではなく、Moore<sup>(73)</sup>の實驗によれば直径を 1.875 吋を 0.160 吋に縮小した場合、ニッケル鋼に於て 6%、低炭素鋼に於て 3% の耐久限界の増加を示し、1.875 吋を 0.500 吋に縮小した場合はニッケル鋼に於て 5% の増加を示し低炭素鋼に於ては不變であつた。これらの結果からすれば寸法を 1/5 程度に縮小しても寸法効果は無いものと見てよからう。然し試片の表面の仕上げが粗ければ 1/5 程度の寸法の縮小に於ても寸法の影響が現はれる。例へば<sup>(74)</sup> 27.32mm の直径を 7.52mm としたとき炭素鋼に於て旋盤仕上の場合 17% の耐久限界の増加を見た。かやうに同一程度の仕上を用ひても大なる試片の耐久限界が小なる試片のそれよりも低くなることは實際上注意すべき事柄である。

試片の表面に切缺が存在するときは試片の寸法の影響は特に著しい。第 44 圖<sup>(75)</sup>の一例によれば深さ 0.1mm

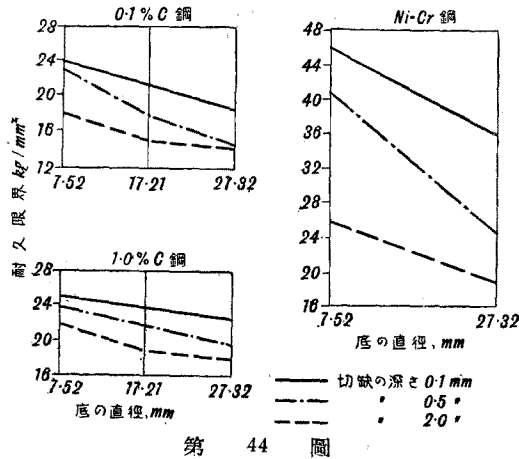
(72) 西原利夫, 櫻井忠一, 機械學會論文集, 1936, 436.

(73) H. F. Moore R.L. Jordan, Proc. 5th Intern. Congr. Appl. Mechn, Massachusetts, (1938), 188.

(74) R. Faulhaber, V. D. I., 78 (1934), 358.

(75) R. Faulhaber, 上掲 (74).

の切欠を附したとき、試片の直径を 7.52mm より 27.32mm に増すことによつて 0.1% 炭素鋼に於ては 21%、ニッケルクロム鋼に於ては 22% の耐久限界の減少を示した。



第 44 圖

以上は同一の外徑の試片を種々の方法によつて仕上げた場合と種々の深さの切欠を附しその底の直径を等しくした場合とに就て述べたが、試片の直径に應じて切欠の深さを變へ全く相似形の試片とした場合の寸法の影響は

如何といふに、この場合もまた上述の場合と同様に切欠効果は試片の寸法の大なるほど大である。一例<sup>(76)</sup>を舉げると第 6 表の通りである、用ひた試片は片持回轉曲げ

第 6 表

低炭素鋼			ニッケル鋼		
$d$ 吋	$r$ 吋	耐久限界 封度/吋 <sup>2</sup>	$d$ 吋	$r$ 吋	耐久限界 封度/吋 <sup>2</sup>
2.000	0.250	17500			
1.000	0.125	18000	1.000	0.125	38500
0.500	0.0625	19500	0.500	0.0625	44000
0.300	0.0375	19500	0.300	0.0375	43500
0.160	0.020	20500	0.160	0.020	44500

試片の圓嚮部の周圍に半径  $r$  の丸溝を環狀に切りその中心をもとの圓嚮の表面に一致せしめたものである。同表に於て  $d$  は切欠底に於ける試片の直径を示す 相似なる切欠試片に於て寸法大なるものの耐久限界が低下することは切欠附近に於ける靜的内力の分布状態即ち内力分布の勾配が寸法大なる試片に於ては緩徐であることから推定される。

(76) H. F. Moore, R.L. Jordan, 前掲 (73).

## 資 料

### 熱力學と極度の低温度\* (翻譯)

[C. G. Darwin, Nature, 145 (1940), 954]

袋井忠夫\*\*譯

#### 1. エネルギー均等分配の法則 (Equipartition of Energy)

熱力學の問題を考へるのには通常力學的法則以外に幾つかの法則を導入せねばならぬ。その一つはエネルギー均等分配の法則である。例へば茲に  $O_2$  瓦斯の容器を探つて考へると、或る瞬間に於ける總ての分子の運動が判つて居れば運動のエネルギーが判り、それを加へ合はせれば容器中の瓦斯全體のエネルギーが求まる。但し完全瓦斯ならば位置のエネルギーは考へる必要がない。仍てこの全エネルギーを分子の總數で割れば分子の有する平均のエネルギーが求まる。而して分子の衝突によつて

エネルギーは變らぬから上述の平均エネルギーは時間的に變化しない。次に二種類の瓦斯例へば  $O_2$  と  $H_2$  を混合したとして異種の瓦斯分子が衝突してエネルギーを交換したとすると如何になるか。エネルギー均等分配の法則はこれに次の解答を與へる。即ち  $H_2$  と  $O_2$  が如何なる割合に混合して居ても  $H_2$  分子の平均エネルギーは  $O_2$  分子の平均エネルギーに等しい。而してエネルギーは速度の自乗に比例し且  $O_2$  は  $H_2$  より 16 倍重いから  $H_2$  分子は平均に於て  $O_2$  分子の 4 倍の速さで運動する事になる。

以上は完全瓦斯を例に引いた最も簡単な場合であるが、他の場合でも同様の法則が成立し、エネルギーを交換し得る系の如何なる部分も平均に於て瓦斯分子と正確に同じ量の運動のエネルギーを保有する。今多くの物質が密に混ぜ合はされるならそれ等は同一の温度を採る方向

\*\* 東北帝國大學助教授 金屬材料研究所員

\* 1940年4月25日電氣工學協會に於て開催された Kelvin 講演會に於て國立物理學研究所長 C. G. Darwin が行った講演である。