$$c_{10}''' = -2a^{-1}\alpha(m-2)^{-1}\{a(m+1)+2mE\}(t_0-t_i)(\log r_0 - \log r_i)^{-1} - 4a^{-1}\sigma_e$$

$$c_{13}'' = mE\{(m^2-1)a+m^2E\}^{-1}\{m\sigma_e - \frac{1}{2}a(m+1)\alpha(t_0-t_i)(\log r_0 - \log r_i)^{-1}\}$$

$$t_0 = t_i + (t_0 - t_i)(\log r_0 - \log r_i)(\log r_0 - \log r_i)^{-1}$$

尚 r_0 と σ_r を定めるには $r=r_0$ に於て $\sigma_0 - \sigma_r = \sigma_e$ 及び $\sigma_0 = \sigma_r$ とすれば、この 2 式より求められる。

軸方向の應力 σ_z を求めると

$${}_p\sigma_z = k_3' + c_{14}'' \log r \quad \sigma_z = S_3' - S_4 \log r$$

但し、

$$c_{14}'' = E\{a(m^2-1)+m^2E\}^{-1}[2m\sigma_e + \alpha(m-2)^{-1}\{m^2E+a(m+1)\}(t_0-t_i)(\log r_0 - \log r_i)^{-1}]$$

$$S_4 = mE(m-1)^{-1}\alpha(t_0-t_i)(\log r_0 - \log r_i)^{-1}$$

k_3' 及び S_3' を求めるには

$$2\pi \int_{r_i}^{r_0} r(k_3' + c_{14}'' \log r) dr + 2\pi \int_{r_0}^{r_i} r(S_3' - S_4) \log r dr = \pi r_i^2 p$$

及び $k_3' + c_{14}'' \log r_0 = S_3' - S_4 \log r_0$ の 2 式を解けばよい。

次に尚内圧が増加して、管の外面の点が弾性限に達する条件を求むるに、

$$[{}_p\sigma_0]_{r=r_0} - [{}_p\sigma_r]_{r=r_0} = \sigma_e \quad \text{とすると}$$

$$k_1 - k_1' + 2k_2 r_0^{-2} = \sigma_e \quad \text{即ち}$$

$$p_i = \frac{1}{2}(r_0^2 r_i^{-2} - 1)\sigma_e + k_1' - k_1 + c_{13}'(\log r_0 - \log r_i) \dots (46)$$

繰返彎曲に因る鋼の疲労度⁽¹⁾

(昭和 11 年 11 月 28 日 應用力学講演會に於て講演)

正員 大柴 文雄⁽²⁾

摘 要

衝撃値の変化の割合を以て疲労度を表す本多博士の方法を用ひ 4 種の炭素鋼における繰返彎曲に因る疲労に就き研究し、各應力の下における疲労度の進行過程及び應力と結局の疲労度との関係を明かにした。又試片の破断の全回轉数で耐久限を定めるよりも疲労裂目の発生する回轉数を以て耐久限を定める方が合理的であること、更に一定の繰返回数後に疲労度零なる應力を求めて耐久限と定むればその意義が一層明確で且合理的となることを指摘した。有溝試片に於ては、繰返打撃の場合と全く同様に、疲労度は 3 段に進行する。即ち繰返回数の初め徐々に次に急激にそして終りに再び徐々に進行すること及び疲労度が急激に進行するのは疲労裂目が形成されるためであることを確め本衝撃法が機械又は構造物の部分の実際の安全應力を求むるには極めて有利なことを説明した。最後に繰返應力のため衝撃値は増減する。これに関係する因子として結晶粒の微細化及び微細間隙を擧げて夫々の影響に就て考察した。

1. 緒 言

疲労した材料の衝撃値は素材のそれよりも低下するのが一般である。故にその減少の割合を以て疲労の程度を表すことが出来る。これ即ち本多博士が定義された疲労度⁽³⁾である。この方法に依て著者は曩に繰返打撃⁽⁴⁾に因る鋼の疲労度に就て研究した。同じ方法を繰返彎曲の場合に應用した結果を本文に報告する。尚この方法は機械又は構造物の部分で断面の寸法に変化のあるものゝ実際の安全應力を求めるためには極めて便利であることを説明し、又繰返應力に依て衝撃値に変化の生ずる理由に就て考察する。

2. 実験方法

繰返彎曲は小野式疲労試験により 3 000 rev/mn と定めて行つた。

実験を分けて二通りとし、第 1 の実験には第 1 図 (A) に示す様な太さの一樣な試片を、第 2 の実験には同図 (C) に示す様な中央に溝ある試片を使用した。

ある彎曲應力の下における疲労度の進行を見るには、その應力の下で試片が破断するまでの回轉数を数段に分け回轉数が順次増した幾組かの試料を得、然る後に第 1 図 (B) 或は (D) に示す通りの衝撃試片を作つて各組のシャルピー 衝撃値を求める、そしてこれと素材の衝撃値との差を取りこれを % で表して各回轉数に對應する疲労度とするのである。

第 1 の実験に於て彎曲應力が所謂耐久限以内なる場合と以上の場合に於て疲労度の進行に如何なる相異があるかを見る目的で應力の大きさを次の様に定めた。種々の應力の下で試片

(1) Degree of Fatigue in Carbon Steels under Repeated Bending.

(2) Fumio ÔSIBA, Member. The Yonezawa Technical College. 米澤高等工業学校。

(3) 本多、理科報告、16 (1927)、頁 265。

(4) 著者、機械學會誌、37 (1934)、頁 436、金屬の研究、11 (1934)、頁 328、理科報告、23 (1934)、頁 559。

を回轉しその破断回数を求め、應力一回轉数曲線を作つてこれから試片が 10×10^6 回以上の回轉に耐える應力は耐久限以内のものと見做して耐久限を定める。そこで耐久限以内の試験應力としては余り小ならず耐久限に近い値を採ることにした。また耐久限以上の應力としては各炭素鋼共に比較の便宜上 10×10^5 前後の回轉数で破断する應力を採つた。なほ 1, 2 の鋼に於ては破断回数がこれ等の中間で 3×10^6 程度の應力をも採ることとした。

疲労試片の円筒部の表面の仕上げは太さの様な場合も有溝の場合もバイトで丁寧に削つた後に〇〇〇〇番紙鏡で研磨した。有溝試片の溝は上記の通り円筒部を仕上げた後にバイトで切削した。

シャルピー 衝撃機は容量 30 kgm のものである。衝撃片の支点の間隔は太さの様な試片の場合に 40 mm, 有溝試片の場合に 48 mm とした。

第 1 図

第 2 図 0.1% 炭素鋼

第 1 表 初めの焼鈍条件

炭素量 %	焼鈍条件 (炉中冷却)	抗張力 kg/mm²	降伏点 kg/mm²	耐久限 kg/mm²
0.1	920°, 2 h	38.5	18.5	16
„	900°, 1 „	—	—	—
0.3	880°, 2 „	52.2	22.2	23.5
0.5(A)	840°, 2 „	60.1	24.1	21.5
„ (B)	780°, 40 mn	—	—	23.0
0.7	780°, 2 h	68.4	27.4	23.5

第 2 表 0.1% 炭素鋼

920°, 2 h 焼鈍						900°, 1 h 焼鈍					
彎曲應力 $\sigma = 15 \text{ kg/mm}^2$			$\sigma = 19 \text{ kg/mm}^2$			$\sigma = 17 \text{ kg/mm}^2$					
回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %			
0	4.47	0	0	4.47	0	0	11.18	0			
4	3.49	21.9	1.06	2.45	45.2	1	7.14	36.4			
7	3.14	29.8	2.5	1.61	64.0	2	7.55	32.7			
10	2.56	42.8	5.0	1.27	71.6	3	7.44	42.7			
—	—	—	8.0	0.87	80.5	3.06	破断	—			
—	—	—	8.3	1.00	77.6	—	—	—			
—	—	—	9.8	破断	—	—	—	—			

試料として 0.1, 0.3, 0.5 及び 0.7% 炭素の 4 種類の瑞典鋼を用ひ、直径 25 mm, 長さ 4 m の丸棒から切り取つた素材に次項に示す通りの焼鈍を施して後各疲労片を作つた。

3. 実験結果

(1) 一樣な太さの丸棒試片の場合 試料の種類及び初めの

第 3 図 0.3% 炭素鋼

第 3 表 0.3% 炭素鋼

880°, 2 h 焼鈍

彎曲應力, $\sigma = 22 \text{ kg/mm}^2$			$\sigma = 23 \text{ kg/mm}^2$		
回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %
0	5.13	0	0	5.23	0
3	4.50	12.3	5	4.49	14.1
5	5.18	-0.98	10	4.47	14.6
8	5.22	-1.75	20	4.95	5.4
11	4.74	7.6	—	—	—
$\sigma = 25 \text{ kg/mm}^2$			$\sigma = 26 \text{ kg/mm}^2$		
回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %
0	5.23	0	0	5.13	0
4	4.22	19.3	1	3.50	31.8
7	4.03	23.0	2	3.60	29.8
8	5.14	1.72	4	4.00	22.0
12	3.92	25.0	6	4.02	21.7
16.1	破断	—	6.86	破断	—

第 4 表 0.5% 炭素鋼

840°, 2 h 焼鈍						780°, 40 mn 焼鈍					
彎曲應力 $\sigma = 21 \text{ kg/mm}^2$			$\sigma = 23 \text{ kg/mm}^2$			$\sigma = 26 \text{ kg/mm}^2$					
回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回轉数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %			
0	2.15	0	0	2.15	0	0	2.26	0			
2.5	2.06	4.2	1	1.50	30.2	2	2.01	11.1			
5	1.93	10.7	2.1	1.20	44.2	4	1.81	19.9			
8	2.11	1.84	3	1.23	42.8	6	1.76	22.1			
10	—	—	3.33	破断	100	8	1.67	26.1			
—	—	—	—	—	—	8.256	破断	—			

[第 3 卷 第 11 号]

ける衝撃値及び疲労度曲線である。なほ第6図に各炭素鋼の疲労度を一括して示した。

先づ試料の材質に就いて吟味するに、0.1% 炭素鋼に於て 900°, 1h 焼鈍の試料 (衝撃値 11.18 kg-m) と 920°, 2h 焼鈍のもの (衝撃値 4.47 kg-m) とはその衝撃値の大きさに大差ある故同一炭素量の材料とは云ひ乍ら両者は別個の試料と見做すが至當である。また 0.5% 炭素鋼に於ては 780°, 40 mm 焼鈍のもの、衝撃値は 2.26 kg-m なるに對し 840°, 2 h 焼鈍のもの、それは 2.15 kg-m で、衝撃値そのものには大差は無いが実測によると前者の耐久限は 23.0 kg/mm² なるに對し後者のそれは 21.5 kg/mm² で耐久限に相異あり、且同じ應力の下における破断回数も異ふから兩者を異つた試料と見るのが適當である。依て 0.1% 炭素鋼における 900°, 1h 焼鈍、彎曲應力 $\sigma=17$ kg/mm² の場合と、0.5% 炭素鋼における 780°, 40 mm 焼鈍、 $\sigma=26$ kg/mm² の場合を除外して第6図を作成した。

扱てこれ等の結果を見るに一定の彎曲應力の下に於ては繰返回数の増すに従て衝撃値は初め比較的急速に、後に徐々に減少し、疲労度は反対に初め急激に、後に徐々に増加する。しかも何れの試料に於ても彎曲應力が大ならば衝撃値の減少、從て疲労度の増加が大である。從て試片の破断の時期における疲労度即ち或る應力の下での結局の疲労度は應力の大きなるほど大である。0.3% 炭素鋼に就て彎曲應力の大きさと結局の疲労度との関係を示せば第6表及び第7図の通りである。

第6図 疲労度曲線

第5表 0.7% 炭素鋼
780°, 2 h

彎曲應力, $\sigma=23$ kg/mm ²			$\sigma=25$ kg/mm ²		
回轉数 10	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回轉数 10 ⁵	衝撃値 kg-m	疲労度 %
0	0.52	0	0	0.52	0
2	0.43	17.3	1	0.50	3.8
4	0.45	13.5	3	0.47	9.6
7	0.47	9.6	5	0.47	9.6
10	0.41	21.6	7	0.38	27.0
—	—	—	9.5	0.41	21.2
—	—	—	10.75	破断	—

とに於て疲労度の進行の状況が如何に異なるか。一般に耐久限以内に於ては疲労度の進行は徐々に、或る繰返回数以後は一定値になるが、耐久限以上に於ては疲労度の進行が急激で一定値とならずして試片は破断する。たゞ 0.1% 鋼のみは耐久限以内でも疲労度が一定にならないが、これは実測の回轉数が小さ過ぎたためと思はれる。

(2) 有溝試片の場合 試料は 0.1 及び 0.3% 炭素鋼で各素材には第7表の通りの焼鈍を施した。0.1% 炭素鋼のうちで (L) は買入れたまゝのものも焼鈍のものも甚強靱で 30 kgm の シャルビー衝撃機を以てしては一回の打撃では破断し得なかつた。故にこの場合は再度同じ高さから打撃錘を落下して試片を破断し、各回の打撃に費されたエネルギーを求め、その和を取つてこの試片の衝撃値とした。

第5図 0.7% 炭素鋼

第7図

第8図 0.1% 炭素鋼、有溝試片

第6表 彎曲應力
と結局の疲労度
0.3% 炭素鋼

彎曲應力 kg/mm ²	疲労度 %
22	5
23	13
24	—
25	23
26	30

第7表

炭素量 %	焼 鈍
0.1 (M)	920°, 2 h 炉中冷却
„ (L)	„
„ (L)	買入れたまゝ
0.3	850°, 1 h

合と全く同じである。即ち試料 L の焼鈍した場合は回轉数 1.5×10^5

(5) Charge.

第 9 図 0.3% 炭素鋼、有溝試片

までは衝撃値の減少は徐々にであるが回転数が 2.0×10^5 に於て極めて急激に、その後再び徐々に減少して 4.453×10^5 に於て零となる。また買入れのまゝの状態では回転数が 6×10^5 までは衝撃値の減少は徐々にであるがその後急激に減少し回転数 9.53×10^5 に於て零となるのである。

疲労度の進行は上述の衝撃値の減少と全く反対である。即ち回転の初めの間は疲労度の進行は徐々にであるが或る回転数の後極めて急激に進行し 80~90% に達し後は再び徐々に進行し 100% となる。

次に 0.3% 炭素鋼に於ては疲労度の進行は回転の全範囲に亘つて略一様で、0.1% 炭素鋼の様な疲労度の進行の度合が異なる回転範囲は区分されない。この場合 $\sigma = 16 \text{ kg/mm}^2$ でかなり大な値である。従て破断回転数は僅かに 3.003×10^5 に過ぎず、若し応力を小さく取るならば疲労度の進行の度合が異なる回転の範囲が区分されるに違ひない。

4. 実験結果の考察

有溝試片の実験から疲労度は一般に回転の初期は徐々に進行するが或る回転数に到り極めて急激に進行し粘性の大部分を失ふ。然しその後は再び徐々に進行して間もなく 100% に達することが解つた。この様に疲労度の進行が異なる三つの範囲を区分し得ることは繰返打撃⁽⁶⁾の場合と全く同じである。

繰返打撃の場合に疲労度が或る打撃数に於て急激に進行する理由は疲労裂目が出来るためであることを述べたが、繰返彎曲の場合も亦同じである。写真第 1 はシャルピ衝撃片の破断面を示したもので、0.1% 炭素鋼、試料 L, $\sigma = 14 \text{ kg/mm}^2$ に於て回転数 1.5×10^5 以下は破断の際の変形が著しく試片

第 8 表 0.1% 炭素鋼 (M)
 $\sigma = 12 \text{ kg/mm}^2$

回転数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回転数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %
0	15.41	0	20	10.18	34.0
6	14.21	7.9	21	9.49	38.5
8	13.52	12.3	23	0.46	97.1
10	13.65	11.4	25.93	0	100
14	13.31	13.6	33.61	0	100

(6) 脚註 (4) 参照。

写真第 1 0.1% 炭素鋼 (実物大)

写真第 2 0.1% 炭素鋼 (約 2 倍大)

が強靱であることを示すに對し、回転数 2.0×10^5 以上は破断面は殆ど変形の跡を留めず試片が脆弱であることを示すのみでなくこれら各破断面は環状の疲労裂目の部分を示し且回転数の高いものほどこの部分の面積が増大してゐることを示してゐる。また試料 M, $\sigma = 12 \text{ kg/mm}^2$ の場合は回転数 21×10^5 以上の各片に疲労破目が顯

はれてゐる。写真第 2 はその擴大図である。斯様に疲労裂目が顯はれて未るとシャルピ衝撃値の低下が著しく、従て疲労度は急激に進行するが、疲労度の進行の著しくないところでは疲労裂目は認められない。この事実から疲労度が急激に進行する直接の原因は疲労裂目にあることがわかる。即ち回転数の少ない間は迂り変形が繰返されて材質の硬化を伴ひ幾分の疲労度の進行を来すが未だ裂目を形成するに到らない。

第 9 表 0.1% 炭素鋼 (L)
 $\sigma = 14 \text{ kg/mm}^2$

買入れのまゝ			焼鈍せるもの		
回転数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回転数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %
0	29.20	0	0	31.28	0
1	29.05	0.5	0.5	29.71	5.0
2	29.14	0.2	1.0	30.26	3.3
4	25.70	12.0	1.5	29.15	6.8
6	27.55	5.7	2.0	3.37	89.2
8	20.60	29.5	3.0	1.57	95.0
9.53	0	100	4.0	1.51	95.2
—	—	—	4.453	0	100
—	—	—	5.467	0	100

第 10 表 0.3% 炭素鋼
 $\sigma = 16 \text{ kg/mm}^2$

回転数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %	回転数 10^5	衝撃値 kg-m	疲労度 %
0	16.18	0	2.5	3.20	80.2
0.5	14.58	9.9	2.75	0.44	97.2
1.0	10.34	36.1	3.003	0	100
1.5	8.66	46.4	3.310	0	100
2.0	5.07	68.6	—	—	—

[第 3 卷 第 11 号]

然し回轉数が満まるにつれて、材質は粘性を失ひ遂に裂目を形成する。この裂目は シャルビ 衝撃試験に於て内力の集中点となつて打撃に対する抵抗を著しく減少する。依て試片の衝撃値は著しく減少し疲労度の進行が急激に起る結果となるのである。

一樣な太さの試片に於ては回轉の初めの間は試片全体が一樣に迂り変形を繰返して硬化し従て疲労度の進行も一樣であらう。回轉数が増すと最も脆弱になつた部分に裂目が生じこれが次第に擴大して遂に試片は破断するのである。故に疲労破断の局部に就て疲労度の進行の跡を追求するならば前述の有溝試片の場合と同様に回轉の初期は疲労度の進行は著しくないが裂目が入つて後は急激に疲労度の進むといふ経過を取るに違ひない。此の疲労度進行の過程は市原氏⁽⁷⁾の疲労せる鋼に就ての衝撃撚り試験によく顯はれてゐる。

この間、試片の残りの部分は依然として迂り変形を繼續して次第に疲労度を加へてゆくが彎曲應力の大きさに依ては更に裂目が諸所に発生することもあると思はれる。実験(1)に依て得た疲労度はこの過程におけるもので、疲労度の進行は回轉の初期には比較的急速であるが後には徐々となり尙應力が小なるときは疲労度は或る回轉数の後一定となる。それ故に疲労破断の局部の疲労度も残りの部分の疲労度も回轉の初期には同じで回轉数が増して疲労裂目が生ずるや前者の疲労度は急激に高まり繼て 100% となる。この間に後者の疲労度はあまり進行することなくして試片の破断が起ることになる。

この関係を図示すれば第 10 図のようになる。同図に於て太線の曲線の C は疲労裂目が生じた点を示す。尙疲労破断即ち疲労度 100% の点 B が回轉数 10×10^6 に一致させてあるからこの場合の彎曲應力が丁度耐久限に相當することになる。また鎖線の曲線に相當する應力は耐久限以内の應力でしかも裂目 (C' で示す) が回轉数 10×10^6 に於て生ずる特別な場合である。

茲にいふ耐久限とは試片が丁度 10^7 回轉に耐へる應力換言すれば試片の破断が 10^7 回轉で起る應力の謂で、普通定義されてゐるところのものである。回轉数の限度として 10^7 を探るかそれ以上の値例へば 10^8 を探るかは便宜上の問題であるが実験(1)で明かにされた通り、彎曲應力が小さいほど疲労度の進行が徐々で、且結局の疲労度も小であることから回轉数の限度を高くとるほど材料の使用上大なる安全性が得られることは明白である。

然し乍ら破断の全回数が同一でも材料に依て疲労裂目が生ずる時期は必ずしも同一では無く、また同じ材質に於ても試片の形状に依て裂目の発生時期に遅速を生ずる。かゝる場合に二つの試片の安全性は同一と見ることは出来ない。それ故に破断の全回数を抑へて耐久限を定める普通の方法よりも疲労裂目が発生する時期を捕へ、或る一定の回轉数に於て

裂目が発生するや否やを試験して應力の限度を定めて耐久限とする方が合理的である。著者はこの点を強調したいと思ふ。第 10 図の鎖線の曲線は、その 1 例で裂目が発生する回轉数を 10^7 に取つたときの耐久限における疲労度の曲線である。

然し疲労裂目の発生を如何にして発見するかと問題になるが試片が太さの一樣な棒のときは シャルビ 衝撃試験を以てしては裂目を捕へることは稍困難であるが電磁法⁽⁸⁾⁽⁹⁾又は電気抵抗を用ふれば容易に裂目の発生する時期即ち回轉数或はその場所を発見することが出来る。或は市原氏⁽¹⁰⁾の衝撃撚り試験を利用してもよい。一方材料が機械又は構造物の部分として實際使用される場合は決して太さの一樣な棒としてばかりではなく寧ろ切り込み、削り出し等が有り多少とも断面の寸法に変化を免れぬ場合が尠くない。かやうな場合の耐久限は太さの一樣な棒を用ひて得た結果からは推定し難い。然しその部分から適當な シャルビー 衝撃片を採つて衝撃試験を行へば大体實際の耐久限を求めることが出来る。即ち本衝撃法は実用上甚だ有利である。

次に耐久限の意義につき考へるに、 10^7 程度を回轉の限度とした耐久限以下の應力に於ては材質により多少の疲労が起ることは他の実験者⁽¹¹⁾⁽¹²⁾の結果と同様である。本実験の範囲では 0.1% 炭素鋼の場合疲労度は約 40%、他の鋼に於ては 20% 以下である。浅川博士の場合は著者の場合より遙かに大で約 80% にも達した。この様に材質に依ては所謂耐久限

以下の應力の下に於て相當高い疲労度に達することになると耐久限なるものゝ意義が甚だ曖昧になる。故に一定回轉の後疲労度が零なる應力を採り之を耐久限と定むれば耐久限の意義が明確で且合理的になる。1 例を挙げれば 0.3% 炭素鋼に於て應力と結局の疲労度との関係は第 7 図に示してあるからこの曲線より疲労度零なる應力として 21.0 kg/mm^2 を求む

ればこれが後の定義に依る耐久限である。

最後に衝撃値が繰返應力のために低下する理由に就て考察する。應力が充分小ならばこれを繰返しても材料の内部には迂りは生じないが、應力がある大きさ以上になれば試片の表面に先づ迂りが起り彎曲の繰返回数が増すにつれて次第に試片の中心に近い部分にも迂りが起るものと思はれる。この部分は Fry 氏腐蝕試験に依て検出される筈であるが写真第 3 にもその 1 例を示しておいた。即ち 0.1% 炭素鋼に於て應力が 15 及び 19 kg/mm^2 なるとき各回轉数に於て試片の断面を採り腐蝕試験を行つた結果各断面の周囲に黒色の部分が顯はれた。これが疲労部分であつてその面積は應力 15 kg/mm^2 の場合回轉数の増加と共に擴大することが認められる。

斯様に繰返應力に依て迂りが生ずれば結晶粒の微細化され

第 10 図

(7) 市原、機械学会誌、38 (1935)、395。

(8) 鈴木(益)、機械学会誌、33 (1930)。

(9) 池田、機械工学年鑑 (昭和 9 年版)、89。

(10) 脚註 (7) 参照。

(11) 浅川、機械学会誌、37 (1934)、810。

(12) 山田及び松岡、機械学会誌、37 (1934)、273。

ることは Gough⁽¹³⁾ の既に確めた所である。然しそれと同時に、晶界等に多少微細な間隙が生ずるものと考へられる。即ち疲労の結果として結晶粒は微細化され同時に微細なる間隙が発生するものとすれば、疲労せる材料の衝撃値は多少の影響を蒙る筈である。

然らば衝撃値に対するこれらの影響は如何といふに、間隙は衝撃値を減ずることは明かであるが結晶粒の微細化の影響は実験に依て定めることを要する。今この点を確かめるために瑞典 レマ鉄 (炭素量 0.02%) に種々の加工と熱処理を施して結晶粒の大きさの異つた試料を作りその衝撃値を測定した結果 (第 11 図)、結晶粒の大きさが減れば衝撃値は著しく増加することが明かになつた。故に疲労せる材料の衝撃値は相反する二つの効果を受けることになり、若し微細化の影響が間隙の影響よりも大ならば衝撃値は増加し反対に間隙の影響が微細化のそれよりも大ならば減少する結果となる。何れの影響が大となるかは応力の大きさ、繰返回数、材質等に依て定まるのである。

第 12 図は 0.1% 炭素鋼に於て応力が 10~14 kg/mm² なる時繰返回数 4×10^6 後の衝撃値と硬度を測定した結果であるが応力が 12~14 kg/mm² の範囲に於ては衝撃値も硬度も共に素材の値よりも増加した。これは結晶粒微細化の影響が間隙のそれよりも大なることを示すものである。蓋しこの試料は結晶粒の数が 1 mm² につき 500 程度で、第 11 図から明かな通り、結晶粒微細化の影響が著しく顕はれた。これに反して応力が小であるから間隙の発生は少い。従て衝撃値は応力 11~14 kg/mm² に於て少しく増加するのである。

応力が大になれば間隙の影響が優勢になる。然るに炭素鋼に於ては一般に炭素量が増せば結晶粒の大きさは減少するを常とし結晶粒の小なる程微細化の影響の減ずることは明かである。従て炭素鋼に於ては応力が大なるほど衝撃値は減少する結果となる。尚間隙は結晶の破壊及び晶界より生ずるものであるから影響は応力繰返し初めに大で後に小である。即ち衝撃値の減少の割合は初め急激で後に徐々になることが理解される。

第 11 図 結晶粒の大きさと衝撃値及び硬さの関係 (レマ鉄)

第 12 図

5. 総括

4 種の炭素鋼につき、繰返彎曲に因る疲労に就き研究し次の事柄を見出した。

(1) 太さ一様な試片に於ては、

(a) 一定の繰返應力の下

に於ては、疲労度は繰返回数の増加と共に初めは急激に、後に徐々に進行する。

(b) 應力小なるほど、試片の破断時における疲労度は低下し、應力が耐久限以下なれば、一定の繰返回数以後は疲労度は一定となる。

(c) 破断の全回轉数で耐久限を定める普通の方法よりも、疲労裂目の発生する回轉数で耐久限を定める方が合理的である。

(d) 繰返回数の限を下を 10^7 程度に定めた耐久限下で、且これに近い應力の下でも材料に依てはかなり大なる疲労度に達する危険がある。故に一定の繰返回数後に、疲労度零なる應力を求めて耐久限と定むれば、その意義が明確で且合理的になる。

(2) 有溝試片に於ては、

(a) 疲労度は繰返回数の増加と共に

に初め徐々に、次に急激に、そして終りに再び徐々に進行する。

(b) 疲労度が急激に進行するは、疲労裂目が形成されるためである。

(c) 疲労度が一定の繰返回数後に、急激な進行を起さないような最大應力を極限として実際の安全應力を求むることが出来る。

(3) 衝撃値に関係する因子として結晶粒の微細化及び微細間隙を挙げて夫々の影響に就て考察した。

終りに臨み本研究中終始懇篤な御指導を賜つた東北帝国大学総長本多光太郎先生に衷心より御禮申上げ、又御指導に預つた東京帝国大学教授小野鑑正博士及び有益な助言を頂いた金属材料研究所壽時富彌氏に深く感謝の意を表す。また本研究につき御鞭撻賜つた恩師加茂正雄先生並に研究上の便宜を特にお取計ひ下さつた米澤高等工業学校長大場成實氏及び同校教授木村正氏に深甚の謝意を表する次第である。尚試片の製作に就ては助教授目崎友衛氏の厚意に負ふところが少くない。実験の一部には安達清造及び本間信雄両君がたづさはつた。著者の感謝するところである。

本研究の費用の一部として日本学術振興會の援助を辱ふした。同會に謝意を表する次第である。

(13) Gough, Proc., Roy., Soc., 154 (1936), 510.