繰返し振りによる鋼の材質の変化について*

西原 利夫** 小林 篤郎*** 中根 秀彦**** 坂西 順*****

Toshio Nishihara, Atsurô Kobayashi, Hidehiko Nakane and Jyun Sakanishi: Change of Mechanical Properties of Annealed Steel due to Repeated Torsion. To treat the phenomena of fatigue more theoretically or to take them into machine design it is necessary to grasp precisely the change of mechanical properties accompanied with fatigue of metals. In the present experiment, repeated torsion was applied to annealed steel and the change of mechanical properties till fracture was investigated by a static torsion testing machine. Experimental results showed clearly the change of material properties at the stress just below the endurance limit as well as at higher stresses. Especially the change of the upper yield point was conspicuous and those of modulus of rigidity, torsional strength, total twisting angle etc. were also observed.

(Received June 19, 1950)

I. 緒 言

疲労現象を幾分でも理論的に取扱うため、あるいは機械設計において疲労現象を考慮するためには、疲労に伴う材質の変化を正確に觸むことが必要であるが、本実験は軟鋼に繰返し振りを與え、破壊に至る迄の各段階における材質の変化を静振り試験により検討したものである。

II. 実験方法

材料は 0.22% 炭素鋼圧延材でその成分は Table 1 の通りである。径 28mm 丸棒素材を 875° で 2 hr 保った後、炉

Table 1 Composition % of Specimens.

C	Si	Mn	P	S
0.22	0.23	0.53	0.013	0.029

Fig. 1 Dimensions of Specimen.

中冷却により充分残留歪を除き Fig. 1 の寸法に加工し、径 14mm 平行部は旋盤仕上後 000 番ペーパーで仕上げた。疲労試験機は西原式繰返し試験機を用い毎分 2700 回の両振り繰返し振りを與え、静的振り試験は松村式試験機によつた。静的試験の場合には平行部に鏡をつけて振りモーメント M 対比捩れ角 θ の関係を測定し、降伏点以後では試験機チャック間の捩れ角を用いた。なお、降伏点としては

$$\gamma = 0.3 \times 10^{-2}$$

に相当する応力と定義し応力の計算には比例限の前後においてそれぞれ次の式を用いた。

$$\tau = \frac{16}{\pi} \frac{M}{d^3}$$

$$\tau = \frac{1}{2\pi r^3} \left(\theta \frac{dM}{d\theta} + 3M \right)$$

III. 実験結果

先ず 4 種の応力に対して破断するかどうかを実験し、疲労曲線を決定した。その結果は Fig. 2 の通りである。耐久限

Fig. 2 Fatigue Curve;

●: Specimen Fractured, ○: Specimen not Fractured, Tested Staticly.

度は 13.5 kg/mm² 程度と考えられる。次に Fig. 2 の白円で示したような応力、繰返し数を與えた試験片に対し、静振り試験を行つた。τ_w = 17 kg/mm² のグループに対する結果は Fig. 3 である。茲で N = 0 というのは繰返し応力を與えない処女試験片を示し、その静振り試験の結果は Table 2 の通りである (2 本の平均)。

Fig. 3 Twisting Moment Versus Twisting Angle for the 1st Group of Specimens.

Fig. 3 によれば比例限の低下、降伏点の上昇、降伏区間

** 京都大学工学部

*** 大阪学藝大学

**** 三菱重工業株式会社 ***** 三井鉱山株式会社

* 昭和 24 年 11 月本会名古屋大会に発表

Table 2 Mechanical Properties of Maiden Specimens.

Proportionality limit τ_p kg/mm ²	Modulus of rigidity G kg/mm ²	Yield point τ_s kg/mm ²	Yielding region $\theta_{so} - \theta_{su} \times 10^{-4}$	Torsional strength τ_B kg/mm ²	Total twisting angle θ_B°
15.8	8095	13.2	5-36.7	38.2	520

Table 3 Mechanical Properties for the 1st Group of Specimens

No.	τ_w	N	τ_p	G	τ_s	$\theta_{so} - \theta_{su}$	τ_B	θ_B
16	17.0	10^4	14.1	8220	14.1	5.6-19.4	38.6	535
17	17.0	5×10^4	13.6	7946	14.7	5.2-15.0	38.1	500
18	17.0	10^5	13.2	7800	15.3	不明	38.	470
19	17.0	5×10^5	12.5	7750	16.7	不明	37.9	429
20	17.0	8.5×10^5	11.5	7110	18.7	不明	37.3	410

Table 4 Mechanical Properties for 2nd Group of Specimens.

No.	τ_w	N	τ_p	G	τ_s	$\theta_{so} - \theta_{su}$	τ_B	θ_B
10	14.5	10^4	15.4	8450	13.4		38.6	52.4
11	14.5	5×10^4	15.0	8008	13.6	5.3-34.2	38.4	470
12	14.5	10^5	14.8	8070	13.8	5.2-30.6	38.0	500
13	14.5	5×10^5	14.5	7890	14.1	5.5-29.4	37.8	476
14	14.5	10^6	14.1	7672	14.3	5.5-20.9	37.7	423
15	14.5	2.3×10^6	13.0	7210	15.2	5.7-19.0	36.4	415

Table 5 Mechanical Properties for 3rd Group of Specimens.

No.	τ_w	N	τ_p	G	τ_s	$\theta_{so} - \theta_{su}$	τ_B	θ_B
7	13.0	10^5	15.4	8570	13.4	4.3-34.4	38.1	540
8	13.0	10^6	14.7	7924	13.5	4.6-28.5	38.1	528
9	13.0	1.5×10^7	14.5	7795	13.9	4.5-28.4	37.9	477

Fig. 4 Twisting Moment Versus Twisting Angle for the 2nd Group of Specimens.

Fig. 5 Twisting Moment Versus Twisting Angle for the 3rd Group of Specimens.

の縮少が著しく目立っており、**Table 3** によつて一層明かとなる。又全戻り角 θ_B の減少は材料の脆化を語っている。

第2群の試験片に対しては $\tau_w = 14.5 \text{ kg/mm}^2$ の繰返し應力を與えたがその $M-\theta$ 線図は **Fig. 4** に示す通りであり、数値は **Table 4** に表わしておいた。第3群の試験片に対しては $\tau_w = 13.0 \text{ kg/mm}^2$ の應力を與えたが(耐久限直下)、その結果は **Fig. 5** 及び **Table 5** に示す通りである。この場合にも降伏区間の減少など材質の変化は明瞭である。なお材質の変化を明確にするためにそれぞれの繰返し応力に対し、横軸に繰返回数の三乗根比をとり、図に表わして見た。

(1) 弾性域の変化 疲労の進行に伴う比例限の変化は **Fig. 6** に示すように繰返し応力の増大と共に著しい。これは所謂 Bauschinger 効果に相当するもので、耐久限以下の応力でも僅かづら認められる。剪断弾性係数 G の変化は **Fig. 7** に示したが、初期においてはむしろ上昇するようであり後下降する。たゞし試験機の回転数が大であるため 10^4 回以前については実験を行えなかつた。

Fig. 6 Change of Proportionality Limit.

Fig. 7 Change of Modulus of Rigidity.

Fig. 8 Change of Yield Point ($\gamma=0.3\%$).

Fig. 9 Change of Region between Upper and Lower Yield Point.

Fig. 10 $\log (M-M_0)$ Versus $\log \theta$ for the 1st Group of Specimens.

(2) 塑性域の変化 上降伏点の変化は特に著しく繰返応力の高い場合には、既に 10^4 回でもその変化が認められる。これに反して応力の低い場合には 10^7 回を越えても上降伏点が認められる。前に述べたように下降伏点を $\gamma=0.3 \times 10^{-2}$ の永久歪で定義し、その変化を調べると Fig. 8 のようになる。繰返応力の高い場合、特に末期において著しい。このことは今迄の試験結果とも一致する(1)。

炭素鋼に特有な降伏点陥落は試験機の都合によって余り明瞭ではなかったが、上下降伏点に相当する。振れ角の差を見ると Fig. 9 のようである。

(3) 準塑性域の変化 $M-\theta$ 線図において比例限を超え、降伏点に至る部分を仮に準塑性域と名づけると、この部分は実用的に見ても問題となる所である。そこでこれに対する応力対歪の関係を数式化することを試みた。比例限に相当す

- (1) K. Memmler, K. Laute, Forsch., (1930), 329; W. Schwinning, E. Strobel, Z. Metallkd., **22** (1930), 378; 山田, 松岡, 日本機械学会誌, **37** (1934); J. Czochralski, E. Henckel, Z. Metallkd., **20** (1928); 市原通敏, 日本機械学会誌, **38** (1935).

Fig. 11 $\log (M-M_0)$ Versus $\log \theta$ for the 2nd Group of Specimens.

Fig. 12 Change of Torsional Strength.

Fig. 13 Change of Total Twisting Angle.

る振りモーメントを M_0 とすると、それ以上の振りモーメント対振れ角の関係は

$$\theta = (M - M_0)^m$$

によって良く表わされる。Fig. 10 及び Fig. 11 は $\log \theta$ と $\log (M - M_0)$ の関係を示したものである。

(4) 抗振力及び全振り角の変化 抗振力の変化は Fig. 12 に示したように初期に少しく上昇するようで破断前の低下は著しい。又全振り角は Fig. 13 によってわかる通り明かに低下し、従来の実験とも傾向において一致する。前に述べた降伏点の上昇と初期における抗振力の上昇は材質の強化と考えられるが、これを有効に実用化するにはなお多くの結果を必要とするであろう。

IV. 總 括

繰返し振りを與えた炭素鋼の機械的性質を静振り試験によって知るのが適当と考えてその変化を追跡して見た。その試験結果を要約すれば、

- (1) 材質の変化は高い応力に対しては勿論、耐久限度以下の応力に対しても認められる。(2) 上降伏点の変化は最も著しい。(3) 剪断弾性係数、抗振力、全振り角は、初期に僅か上昇し後降下する傾向がある。(4) 剪断歪 0.3% 降伏点は上昇する。

終りに、本研究に対し文部省科学研究費の援助を受けたことを記し、感謝の意を表する次第である。