

# 加工硬化した鋼材の疲労 (第 7 報)

福井伸二, 佐藤四郎\*, 北川義雄

(1953 年 6 月 20 日 受理)

## On the Fatigue of Work-Hardened Steel (7th Report)

SHINJI FUKUI, SHIRO SATO and YOSHIO KITAGAWA

(Received June 20, 1953)

**ABSTRACT:** The Ono type rotational bending fatigue limits are shown about two groups of usual carbon steel specimens. The first group were deformed by statical torsional shear strain of 3.5 to 21 % before bending fatigue. The second group were deformed by statical torsion after statical tensile deformation (or vice versa).

Comparing with the annealed state, the fatigue limit of the first falls about 6 % for small strain, and rises about 4 % for large strain. This tendency is similar to that obtained for specimens after plastically deformed by tension, or compressive deformation, that is, affected by the work hardening only (shown in 2nd report). Thus, the effect of residual stress upon the fatigue limit can not be found.

Arranging the experimental results by sum of the octahedral shear strain for pre-working tension and torsion, the fatigue limits of the second group coincide with that obtained by the first.

### 1. 緒 言

前報<sup>(1)</sup>と同様に疲労試験前に与える加工として振り加工を撰び、今回は回転曲げ疲労強度に及ぼす影響をしらべた。豫め加工により加工硬化と残留応力が生ずるが、本実験は加工方向並びに残留応力の方向と繰返応力の方向が異なっている場合である。丸棒に静的振りと繰返曲げ応力が同時に作用した場合は、小野博士<sup>(2)</sup>、Lea 及び Budgen<sup>(3)</sup>等多くの研究があるが、予め振り塑性加工を与えた回転曲げ疲労に関する研究は余り行はれていない。

次に引張加工後更に振り加工を与えた場合と、振り加工を与えた後更に引張加工を与えた場合との2種類の予加工材に対して回転曲げ疲労試験を

行つて、今迄に行はれた引張あるいは圧縮加工のみを与えた実験結果と比較した。

### 2. 実験材料と実験方法

実験に使用した材料は板厚 21 mm 普通構造用炭素鋼で、その化学的成分を第1表に示す。実験

第1表 実験材料の化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.17	0.22	0.58	0.029	0.025	0.36

に際しては 880 度で 1 時間焼鈍した。焼鈍材の機械的性質を第2表に示す。

実験に用いた試験片の寸法並びに形状を第1図に示す。すべて試験片の表面は電解研磨を行つた。このような試験片に予め加工を与えた後、チャック部分のみを疲労試験機のチャック部の直径

\* 保安大学校

第2表 焼鈍材の機械的性質

降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	破断強さ kg/mm <sup>2</sup>	弾性係数 kg/mm <sup>2</sup>	伸率* %	断面収縮率 %	硬 度 数	
						*** ブリネル	*** ヴィカース
21.2	44.2	92.5	$2.10 \times 10^4$	41.2	64.5	127	135

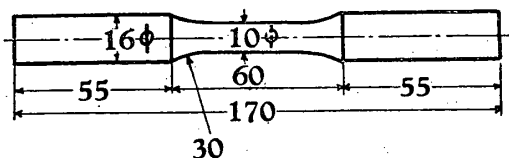
\* 引張試験片の直径 10 mm, 伸率は 50 mm についてのものである。

\*\* 直径 5 mm の鋼球で, 750 kg の荷重を使用。

\*\*\* 50 kg の荷重を使用。

に削り直した。尚加工を与えてから少くも1ヶ月後から疲労試験が行われた。

使用した試験機は小野式回転曲げ疲労試験機で, 回転数は毎分 2,300~2,500 回転で, 疲労限の決定には  $10^7$  回の繰返数を基準とした。



第1図 試験片の寸法・形状

### 3. 振り加工による残留応力と, 振り加工後の静曲げ試験

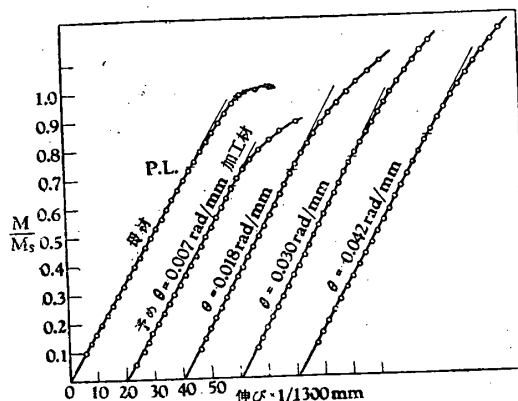
疲労試験前に与える振り加工の程度としては, 単位長さの捩れ角で 0.007 rad/mm, 0.018 rad/mm, 0.030 rad/mm 及び 0.042 rad/mm の4種とした。このような振り加工を与えた時の残留剪断応力は前報<sup>(1)</sup>と同様にして計算され, その結果を第3表に示した。

第3表 予め振り加工の程度と加工後の残留応力

予め与えた単位長さの 捩れ角 $\theta$ rad/mm	0.007	0.018	0.030	0.042
剪断歪 $\gamma$	0.035	0.090	0.150	0.210
Octahedral Shear Strain $\gamma_n$	0.030	0.074	0.122	0.171
予め与えた振りモーメントによる剪断応力 kg/mm <sup>2</sup>	14.6	20.3	23.8	26.4
振りモーメント除去による剪断応力の変化 kg/mm <sup>2</sup>	-18.1	-24.3	-28.8	-32.1
試験片表面の残留剪断 応力 kg/mm <sup>2</sup>	-3.5	-4.0	-5.0	-5.7

次に母材並びに振り加工材の静曲げ試験を行って, 疲労試験結果の参考にした。歪測定には試験片の上下面に標点距離 30 mm のマルテンス歪計を取りつけて行つた。与えた曲げモーメントは四

点荷重による純粹曲げで, 第2図に得られた結果を示す。図中  $M_s$  とは母材の曲げ降伏モーメント (曲げモーメント—歪線図で  $M$  が水平となる値) であつて,  $M_s$  を使つて無次元値で示してある。曲線が直線部分から離れる点を曲げ比例限として, 各々2本づつ行つた平均値を第4表に示す。振り加工の程度が大なるほど曲げ比例限の値も高く, モーメント—伸び曲線も立つて来る。そして僅かな加工を与えると, 母材の比例限值よりも低くなり, 大きな加工を与えると高くなつてゐる。



第2図 曲げモーメントと歪との関係

第4表 予め振り加工材の曲げ比例限

予加工の程度 $\theta$ rad/mm	$M/M_s$	曲げ応力 kg/mm <sup>2</sup>	%
0 (母材)	0.74	26.6	100
0.007	0.67	24.1	91
0.018	0.72	25.9	97
0.030	0.76	27.4	103
0.042	0.83	29.9	112

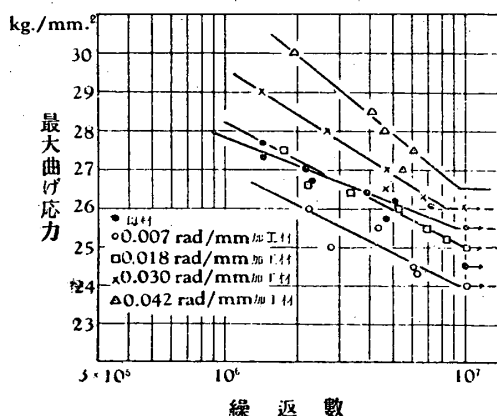
### 4. 予め振り加工材の疲労試験結果とその考察

疲労試験の結果得られた疲労限の値を示すと第5表となる。また繰返応力—繰返数関係を図示すると第3図となる。0.007 rad/mm, 0.018 rad/mm という僅かな振り加工を与えると, 疲労限は

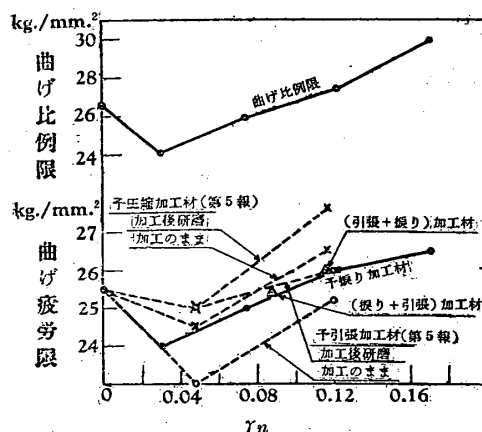
母材のそれより各々6%, 2%と減少し, それより大きな加工を与えるに従つて増大して行く. 第5表に示した結果を, 横軸に予め加工に対する Octahedral Shear Strain ( $\gamma_n$ ) を取り, 縦軸に疲労限を取つて図示すると第4図となる. 尚同図に第5報第7節<sup>(4)</sup> (本材料と同じものを使用してゐる) で示した予め引張並びに圧縮加工材の疲労限を記入した. これを見ると引張加工されたままの表面を有する場合よりは疲労限は高く, 圧縮加工されたものより僅か低く出ているが, 第5報で得られた曲線と同じ傾向を示している. 同図中に前節で示した曲げ比例限値をも図示したが, 疲労

第5表 予め振り加工材の疲労限

予め与えた加工程度		疲 労 限	
rad/mm	$\gamma_n$	kg/mm <sup>2</sup>	%
0 (母材)	0	25.5	100
0.007	0.030	24.0	94
0.018	0.074	25.0	98
0.030	0.122	26.0	102
0.042	0.171	26.5	104



第3図 繰返応力—繰返数関係



第4図 加工程度と疲労限との関係

限曲線とよく似た傾向が得られた.

第3表で示した残留応力が, 繰返数と共に変化せず, そのまま存在したとするならば, この疲労試験は静振りと回転曲げ応力の組合せ疲労試験と同じような現象と見られる. この場合には小野博士<sup>(2)</sup>や Lea 及び Budgen<sup>(3)</sup>の実験結果や西原, 河本両氏<sup>(5)</sup>の理論的考察から延性材料では静的振りを加えることにより曲げ疲労限は最初かえつて増大する. しかし第4図の曲線は第5報で得られた加工硬化のみを生じている場合の曲線に比し, 静振り応力による曲げ疲労限の増大を明らかに示していない. 従つてこの場合も残留応力の疲労強度に及ぼす影響より加工硬化の影響の方が大であるものと考えられる.

## 5. 引張加工と振り加工とを与えた場合の加工程度と静的試験

1本の試験片に引張加工と振り加工とを与えた場合の予め加工の方法並びに程度としては, 次の2種類とした.

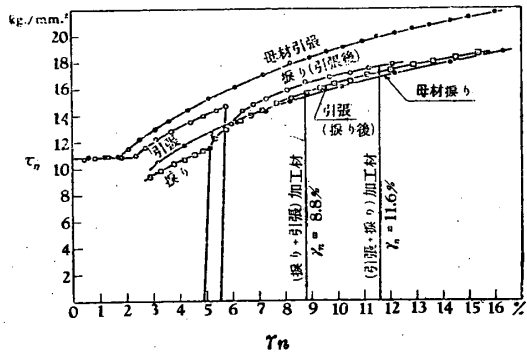
(i) 引張見掛け応力で  $30.0 \text{ kg/mm}^2$  の加工後, 更に単位長さの捩れ角で  $\theta = 0.012 \text{ rad/mm}$  の振り加工を与えた. 最初の引張加工による断面積変化率は  $4.2\%$  で従つて有効歪は  $4.1\%$ , Octahedral Shear Strain は  $5.8\%$  である. 次の振り加工に対しては最大剪断歪は  $6.9\%$  であり, Octahedral Shear Strain は  $5.8\%$  である. 従つて (引張加工 + 振り加工) による Octahedral Shear Strain は  $\gamma_n = 11.6\%$  となる.

(ii) 単位長さの捩れ角で  $\theta = 0.012 \text{ rad/mm}$  の振り加工後, 更に見掛け応力で  $34.0 \text{ kg/mm}$  の引張加工を与えた. 最初の振り加工による剪断歪並びに Octahedral Shear Strain は (i) の振り加工と同じである. 次の引張加工による断面積変化率は  $2.1\%$  であつた. 従つて有効歪は  $2.1\%$ , Octahedral Shear Strain は  $3.0\%$  である. よつて (振り加工 + 引張加工) による全体の Octahedral Shear Strain は  $\gamma_n = 8.8\%$  である.

以上の加工を与えた後, 試験片の中央部を直径で  $3/100 \sim 4/100 \text{ mm}$  エメリ紙並びに電解研磨により表面仕上を行つて疲労試験機に掛けた.

疲労試験前に与えた加工の応力—歪関係の履歴状態を Octahedral Shear Strain と Octahedral

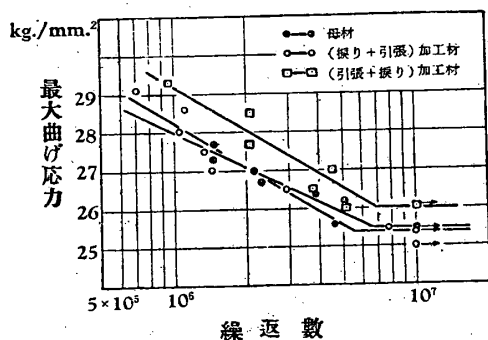
Shear Stress により示すと第5図となる。母材の振りの曲線は母材の引張りの曲線に比べると、16%程度低く本材料では割合大きな差を示しているが、引張加工後の振りと、振り加工後の引張りの2曲線は割合よく一致し、母材の振り試験の曲線に近い曲線となつている。



第5図 (引張+振り) と (振り+引張) の時の応力-歪関係図

## 6. 引張加工と振り加工を与えた場合の疲労試験結果とその考察

疲労試験の結果、得られた繰返応力-繰返数関係図を示すと第6図となる。これより得られる疲労限の値を、前節に示したような2種の加工による全体の Octahedral Shear Strain に対して第4図中に図示した。前節(i)(ii)に示した4つの加工程度は各々僅かなものであつて、第4節の結果や第2報で示したように、この程度の加工は疲労限を母材のそれより数%低下させるものであるが、2種類の僅かな加工を1本の試験片に与えた場合には、そのように疲労限は低下せず、2種類の加工歪の和として疲労限にきいて来ることが解かる。第4図を見ても解かるように、本実験の結果は予め振り加工のみを与えた第4節の実験



第6図 繰返応力-繰返数関係

結果の曲線と非常によく一致している。この事は前節でも述べたように、第5図の静的試験時の応力-歪曲線についてと同様である。

## 7. 結論

0.17% 炭素鋼を用いて、予め降伏点以上の4種の振り加工を与えた場合と、引張加工後更に振り加工を与えた場合、振り加工後更に引張加工を与えた場合とについて回転曲げ疲労試験を行つて、次のような結果を得た。

(1) 予め振り加工の程度の上昇と共に疲労限は始めやや減少し、その後加工度の上昇と共に増大する。本実験に於ては3.5%の剪断歪を与える事により母材の疲労限より6%減少し、21%の歪を与えることにより4%増大した。

(2) 以上のような傾向は、予め引張あるいは圧縮加工による加工硬化のみを与えた場合の傾向と同じで、残留応力の疲労強度に及ぼす影響より、加工硬化の影響の方が顕著である。

(3) 引張りと振りの2種類の加工を与えるとき、各々の加工歪の和が疲労強度に関係して来る。本実験に於ては Octahedral Shear Strain を用いて加工歪の和を計算し、これと疲労限との関係は予め加工として振り加工のみを与えた結果と特によく一致した。

終りに臨み本実験に種々御便宜をたまわつた、三菱日本重工業横浜造船所の赤木、櫻井両技師に厚く御礼申し上げる。尙本実験は文部省科学研究費の補助を受けたので重ねて謝意を表する次第である。

## 文 献

- (1) 福井・佐藤・北川：理工研報告，7 (1953)，447.
- (2) 小野：機械学会論文集，6 (1940)，1-30.
- (3) Lea & Budgen: Egg. CXXII (1926)，246.
- (4) 福井・佐藤・北川：理工研報告，6 (1952)，359.
- (5) 西原・河本：機械学会論文集，9 (1943)，I-33.
- (6) 福井・佐藤：理工研報告，4 (1950)，210.