

加工硬化した鋼材の疲労（第4報）

福井伸二・佐藤四郎*

On the Fatigue of Work-Hardened Steel (4 th Report)

Shinji FUKUI and Shiro SATO.

ABSTRACT: The Ono type bending fatigue limits for usual carbon steel specimens having circular grooves of 0.5mm, 1.0mm and 1.5mm radii are obtained after preworking of statical tensile, or compressive deformations beyond the yield point. The tensile or compressive deformation produces the work hardening and the residual stress, and the effects of them upon the fatigue limit are studied comparing with the smooth surface and annealed state.

The fatigue limits of notched bar with grooves of 0.5mm, 1.0mm and 1.5mm radii decrease by 33%, 34% and 22% respectively as compared with the smooth surface, and are affected similarly both by tensile or compressive deformation. Comparing with annealed state the fatigue limits, obtained after aging of more than a month, fall about 4% for smaller preworking, and then rise by 10–20% for larger preworking. This tendency is similar to that obtained by the work hardening only (2nd report), and the effect of residual stress can not be found. But the effect of the residual stress can be found slightly by the fatigue test carried immediately after preworking. (Received June 19, 1952)

1. 緒言

一般に材料に圧縮残留応力が存在すると疲労限は上昇し、引張残留応力がある時は低下する事が知られている。例えば H. Oschatz⁽¹⁾ は V 溝をもつた丸棒に降伏点附近の引張或は圧縮応力を与えた後疲労試験を行い、引張加工を与えた時は曲げ疲労限は上昇し、圧縮加工を与えると甚だしく低下する結果を得ている。又西原氏外 2 氏⁽²⁾ が 3 種の炭素鋼を用いて、片持回転曲げ疲労試験にて同様な結果を報告されている。

常温加工により残留応力が生じている場合は、普通加工硬化をも伴うものである。著者等は前報までにて、直視的に見て加工硬化のみを生じていると考えられる場合につき、加工硬化の各種疲労限に与える影響につき報告して来た。今回は半円

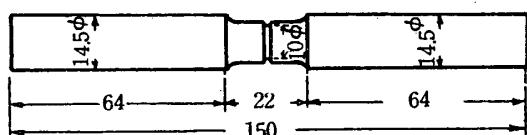
切欠溝を有する丸棒に、母材降伏点以上の四段階の引張或は圧縮応力を与えて、加工硬化と共に残留応力をも生ぜしめた後、回転曲げ疲労試験を行った結果を報告する。

2. 実験材料と実験方法

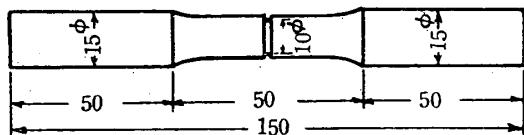
実験に供した材料は 0.22% 普通炭素鋼で、第 2 報⁽³⁾ に於て用いたと同じものである**。試験片の寸法は半円切欠底部の直径をすべて 10 mm とし、切欠半径を 1.5mm, 1.0mm 及び 0.5mm の 3 種とした。第 1 図に引張並に圧縮加工試験片を示す。之等試験片はすべて加工前にドリルロットを用い、酸化クロームをそゝぎながら切欠底部を研磨した。

** 本材料の機械的性質の主なるものは次の通りである：
降伏点 20.7kg/mm², 引張強さ 41.5kg/mm²,
回転曲げ疲労限 23.2kg/mm², 伸率 33.9%.

* 東京都立大学工学部



(b) 圧縮加工試験片



(a) 引張加工試験片

第1図 試験片の寸法・形状

疲労試験前に与える加工の程度としては、第2, 3表に示す如く切欠底断面積に対して、引張及び圧縮加工各々4種の見掛け応力を撰んだ事は第2報と同じである。第2, 3表中に之等の見掛け応力を与えた時の、切欠底部の断面積変化率を有効歪の絶対値 ($=|\ln A_0/A|$, A_0 , A は加工前後の切欠底断面積) で示して置いた。尙引張加工で 24.0 kg/mm^2 、圧縮加工で 25.0 kg/mm^2 の時は、切欠底部の直徑變化が測定誤差範囲内の僅かなものであつたので、正確な値が得られなかつた。圧縮加工の場合は挫屈しないように、第2報で用いた圧縮用装置を使用した。加工に当つては、最大荷重で約1分間荷重を保持してから荷重を除去した。

加工後試験片のチャック部のみを直徑 13.5 mm に切削し、尙加工を与えてから少くも1ヶ月以上常温で放置した後、疲労試験を行つた。

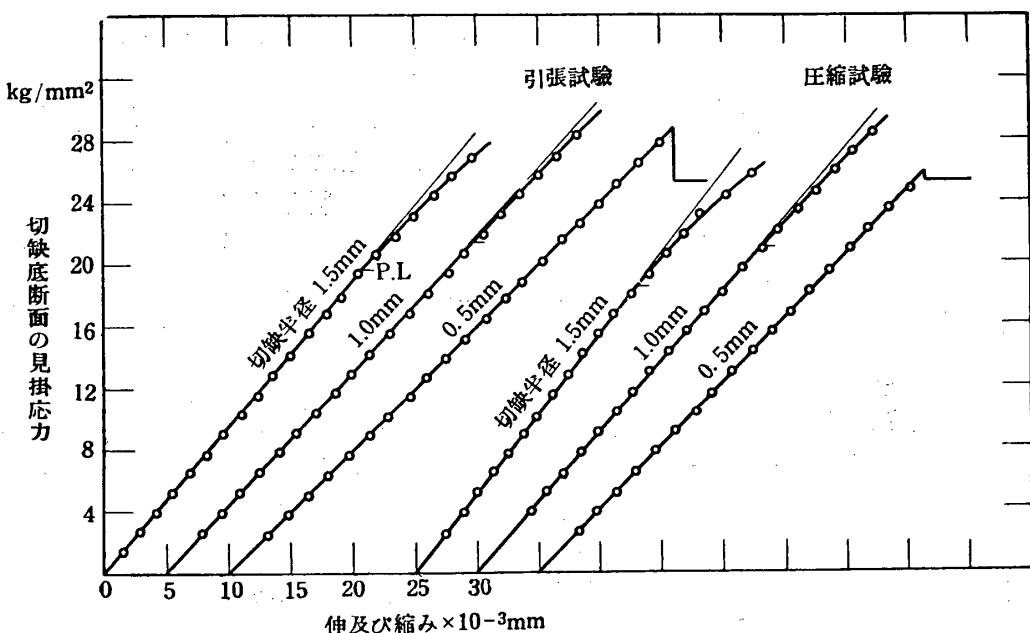
疲労試験機は小野式回転曲げ疲労試験機を使用し、毎分 $2,100$ 回転から $2,300$ 回転で実験を行い、疲労限の決定には 10^7 回の繰返数を基準とした。

3. 切欠母材の引張並に圧縮試験

1.5 mm , 1.0 mm 及び 0.5 mm の半円切欠を有する丸棒に、標点距離 30 mm のマルテンス歪計を取りつけて引張並に圧縮試験を行つて、切欠底断面の見掛け応力と伸び或は縮みとの関係を求める第2図となる。切欠半径 0.5 mm の場合は、平行部分が降伏を起す迄直線的関係を保ち比例限を見出す事が出来なかつた。切欠半径 1.5 mm 及び 1.0 mm に対する比例限を各々2本づつ行つた平均値で示すと第1表となる。従つて 24.0 kg/mm^2 の引張加工と 25.0 kg/mm^2 の圧縮加工に対して、切欠半径 1.5 mm 及び 1.0 mm の場合は切欠底部が已に降伏を起し加工硬化並に残留応力を生じ

第1表 切欠丸棒の比例限

切欠半径 mm	引張比例限 kg/mm^2	圧縮比例限 kg/mm^2
1.5	19.5	18.5
1.0	21.5	21.0



第2図 切欠丸棒の引張並に圧縮試験

ていると見られるが、0.5 mm 切欠半径の場合は未だ弾性状態にあるものか、或は切欠底部のごく僅かな部分が降伏して居るにすぎず歪計にあらわれて来ないものか明らかでない。

4. 疲労試験結果並びにその考察

本実験に使用した材料の切欠のない平滑試験片の疲労限は、第2報に示したように 23.2 kg/mm^2 である。之の値と 1.5mm, 1.0mm 及び 0.5mm の半円切欠試験片の焼鈍状態に於ける疲労限とを比較すると第2表中の()で示したような値

となり、それぞれ 22%, 34% 及び 33% と低下している。

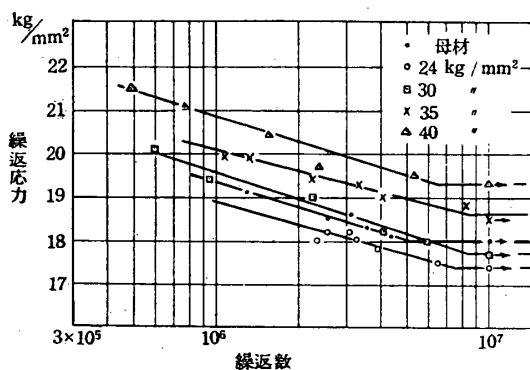
切欠丸棒に予め引張或は圧縮加工を与えた時の、疲労試験結果を示すと第2, 3表となる。表中に参考の爲に第2報で得られた加工硬化のみを生じている平滑試験片の結果を合せ示した。又疲労試験の繰返応力を縦軸に、繰返数 N の対数 $\log N$ を横軸に取れば第3~8図となる。第2, 3表に示した結果を、縦軸に疲労限を、横軸に加工による有効歪を取つて図示すると第9図となる。

第2表 予め引張加工材の疲労限

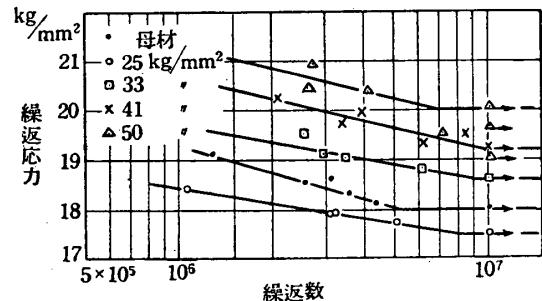
切欠半径	1.5 mm				1.0 mm				0.5 mm				平滑試片 (第2報)
	予め引張加工 見掛け応力 kg/mm ²	加工 有効歪 %	疲労限 kg/mm ²	%	加工 有効歪 %	疲労限 kg/mm ²	%	加工 有効歪 %	疲労限 kg/mm ²	%	疲労限 kg/mm ²	%	
0			18.0	100		15.3	100		15.5	100	23.2	100	
				(0.78)			(0.66)				(0.67)	(100)	
24.0	—	—	17.4	96	—	14.7	96	—	15.5	100	22.3	96	
30.0	1.14	—	17.6	98	1.60	15.0	98	1.77	15.0	97	23.2	100	
35.0	2.55	—	18.6	103	2.29	16.7	109	2.80	15.8	102	23.5	101	
40.0	3.48	—	19.3	107	3.57	17.2	112	3.88	16.3	105	24.8	107	

第3表 予め圧縮加工材の疲労限

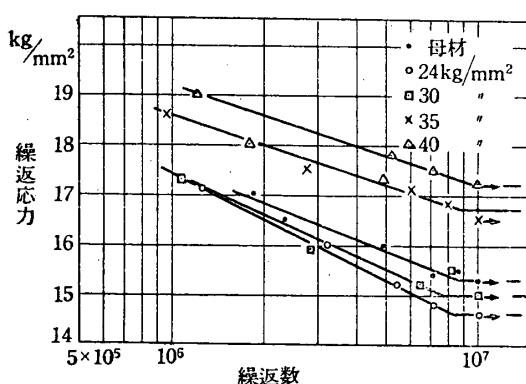
切欠半径	1.5 mm				1.0 mm				0.5 mm				平滑試片 (第2報)
	予め圧縮加工 見掛け応力 kg/mm ²	加工 有効歪 %	疲労限 kg/mm ²	%	加工 有効歪 %	疲労限 kg/mm ²	%	加工 有効歪 %	疲労限 kg/mm ²	%	疲労限 kg/mm ²	%	
0			18.0	100		15.3	100		15.5	100	23.2	100	
				(0.78)			(0.66)				(0.67)	(100)	
25.0	—	—	17.5	97	—	15.9	104	—	15.5	100	22.4	97	
33.0	2.24	—	18.6	103	1.51	16.8	110	2.95	18.0	116	22.7	98	
41.0	2.76	—	19.2	107	2.64	17.4	114	3.34	17.6	114	23.8	103	
50.0	4.27	—	20.0	111	4.57	18.3	120	5.53	18.1	117	26.4	114	



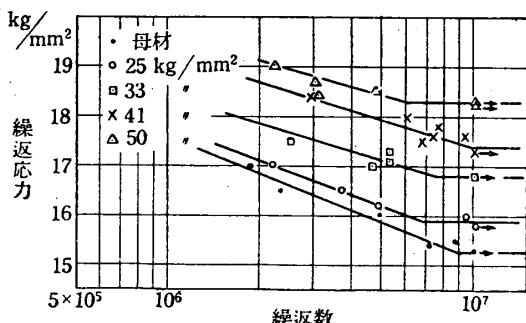
第3図 切欠半径 1.5mm 引張加工材



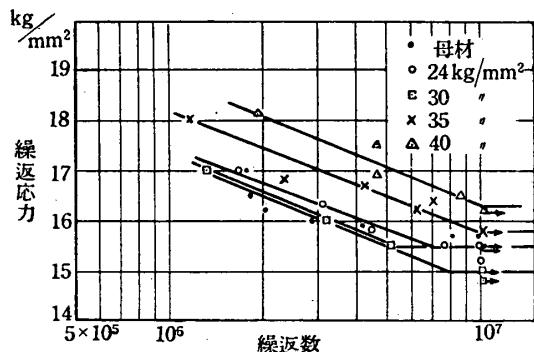
第4図 切欠半径 1.5mm 圧縮加工材



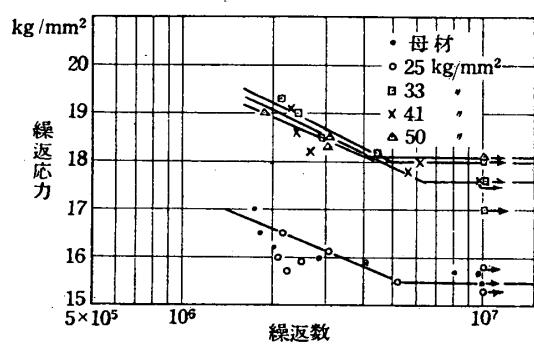
第5図 切欠半径 1.0mm 引張加工材



第6図 切欠半径 1.0mm 圧縮加工材



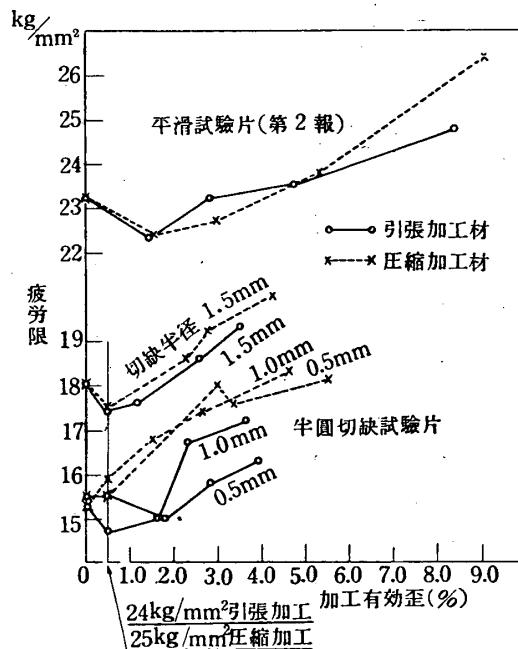
第7図 切欠半径 0.5mm 引張加工材



第8図 切欠半径 0.5mm 圧縮加工材

切欠半径 1.5mm の場合の加工有効歪に対する疲効限の増減は、予め引張或は圧縮加工共にほど同じ傾向を示している。そして僅かな加工を与えた時の疲効限は母材のそれより 3~4% 減少し、大きな加工を与えるに従つて増大している。このような傾向は第2報で示した加工硬化のみが生じている場合と全く同じであつて、加工による残留応力の影響は見られない。

切欠丸棒に引張加工を与えると、切欠底部に圧縮残留応力が生じて疲効限は上昇し、圧縮加工を与えると切欠底部に引張残留応力が生じて疲効限は低下するということが Thum⁽¹⁾ が初めて述べ且つ実験的にも示している所であるが、本実験の切欠半径 1.0mm 及び 0.5mm に於ても全くそのような現象は見られず、第2報で示した加工硬化のみを生じている場合と同じような傾向が見られる。



第9図 疲効限と加工有効歪

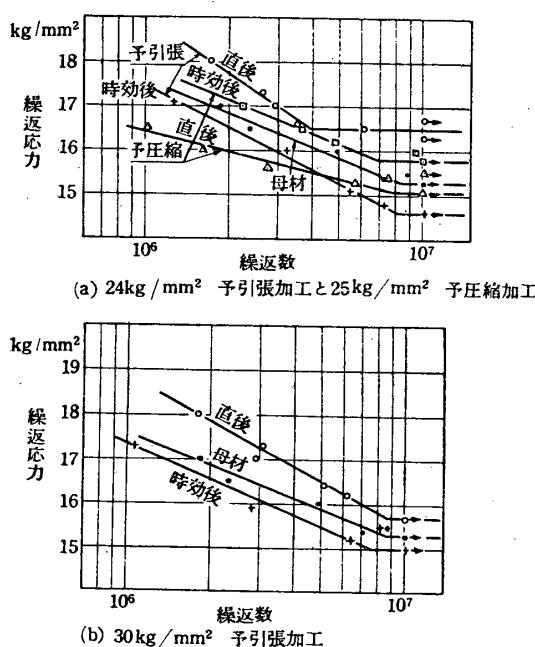
西原氏外 2 氏⁽²⁾ が 1.5mm 半円切欠を有する 0.65%, 0.45% 及び 0.26% の炭素鋼に、切欠なき試験片の有する上下降伏点の平均値附近の応力を予め引張或は圧縮加工を与え、片持回転曲げ疲効試験を行つて居られる。その結果を見ると 0.65% 及び 0.44% の炭素鋼では、Thum が述べた結果があらわれている。しかるに本実験に使用した材料に近い 0.26% 炭素鋼では、予め引張或は圧縮加工共に母材のそれより減少して居り、この傾

向は本実験とよく合つている。このように引張試験に於て非常に踊り場の大きく又比較的時効が顯著である低炭素鋼では、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きいのではないかと考えられる。

次に切欠半径 1.0 mm の場合につき、 24.0 kg/mm^2 及び 30.0 kg/mm^2 の引張加工並に 25.0 kg/mm^2 の圧縮加工の直後 2 時間乃至 4 時間以内に疲労試験に掛けて時効の影響をしらべた。その結果を示すと第 4 表となる。繰返応力一繰返数関係を図示すると第 10 図となる。 24.0 kg/mm^2 の

第 4 表 加工直後と時効後の疲労限
(切欠半径 1.0mm)

		疲 労	限
		kg/mm^2	%
切 欠	母 材	15.3	100
予 め	24.0 kg/mm^2	直 後	16.5
引 張 加 工		時 効 後	14.6
予 め	30.0 kg/mm^2	直 後	15.7
引 張 加 工		時 効 後	15.0
予 め	25.0 kg/mm^2	直 後	15.1
压 縮 加 工		時 効 後	15.8



第 10 図 加工後の時効と繰返応力一
繰返数関係 (切欠半径 1.0mm)

引張加工を与えたものは、加工直後では切欠母材の疲労限より 8% 高く、時効させると 4% 減少している。逆に 25.0 kg/mm^2 の圧縮加工を与えたものは、加工直後では 1% 減少しているが、時効させると 3% 大となつていている。尙 30.0 kg/mm^2 の予め引張加工を与えた時も、直後では 3% 大となり、時効させると 2% 減少している。従つて加工直後の時を考えると、Thum が言つて居り実験して示している結果と一致した。又第 10 図を見ても解かるように、引張加工を与えた直後のものは、繰返応力一繰返数曲線が立つてゐるのに反し、圧縮加工直後のものはねてゐる事が見られる。この事は繰返数が小なる所では残留応力の影響が顯著に表われ、繰返数の増大と共に残留応力は消えて行つて、その影響が表われて來ない事を示しているものと考えられる⁽⁴⁾。

以上の如く、本実験に使用した 0.22% 程度の炭素鋼に於ては、予加工後相当時間が経過すると加工硬化の及ぼす影響が大であつて、残留応力の消失を思わせるが、加工直後に於ては Thum が述べている如き残留応力の影響が幾分見出された。今後高炭素鋼について同様な実験を行いたい考えである事を附記する。

5. 結 論

切欠半径 1.5mm, 1.0 mm 及び 0.5mm の環状溝を有する 0.22% 普通用炭素鋼に、母材の降伏点以上の引張或は圧縮加工を与えて、加工硬化並に直視的に見た残留応力を生ぜしめた後、回転曲げ疲労試験を行つて次のような結果を得た。

(1) 切欠半径 1.5 mm の場合、予加工後相当時効すれば、引張加工及び圧縮加工の予め加工有効歪に対して図示した疲労限の 2 曲線はかなりよく一致し、第 2 報で示した加工硬化のみを与えた場合の傾向と同じで、予期した残留応力は消失したと考えられる。

(2) 切欠半径 1.0mm 及び 0.5mm の場合も、同じ傾向であつて残留応力の影響は顯著でない。

(3) 加工直後の疲労試験では、僅かながら残留応力の影響が認められた。

終りに臨み本実験に種々御便宜をたまわつた、東日本重工業横浜造船所の赤木、桜井両技師並に終始実験に協力して下された北川義雄氏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。

(2) 西原外 2 氏：機械学会誌，36（昭8，10），198
673.

(3) 福井，佐藤：理工研報告，4（1950），210.

(4) 西原，平外 2 氏：機械学会論文集，14，（1948），48
1—107.

文 献

(1) A. Thum: Z. VDI., 75 (1931) 1328.

(1952年6月19日受理)