

6. 結 論

1. ダイヤモンド角錐が屋根型の場合は、硬度値は、荷重と共に低くあらわれる。
2. 機械仕上による加工層の影響は、普通の切削加工程度では、表面より大體 0.2 mm 位取去つて、5 kg 位の荷重で硬度測定すれば、加工層の影響が無くなる事が大雑把にいえる。
3. 電解研磨面の硬度に就て、材料測定表面を、エメリー紙で磨いて、バフ仕上を行い、電解研磨を施せば、1 kg の荷重でも、3, 又は 5 kg と同一の硬度値が得られる。
4. エメリー紙及びバフ磨きの影響
*材料電解研磨面を、エメリー紙 0000 で磨いても、又バフ磨きを行つても、1 kg の荷重では、完全に加工硬化の影響が入つて来て硬度は上る。
以上四つのが、此の實驗で行つた結論である。
最後に、ここで取扱つた材料以外についても、同様なことがいえるかどうかということと、1 kg 以下の微小

荷重による硬度測定の場合に、表面の影響が今以上問題となることと思われる。

以上を行ふにあたり、色々と御教示を得た吉澤武男博士、又電解研磨に就て、御世話になつた倉藤尚雄博士、並びに秋元健次氏に厚く御禮申上げると共に、文部省科學研究費の補助を得たので、重ねて謝意を表す。

文 献

- 1) 菊地麟平：日本金屬學會誌 Vol. 7. No. 2 (1930).
- 2) 吉澤武男：日本機械學會應用力學大會 (1931).
- 3) 例えば、田島榮：電氣化學 No. 1 (1931).
- 4) 田中晋輔：日本金屬學會誌 (1938).
- 5) 例えば、松村鶴造：日本機械學會誌 (1931).
- 6) 例えば、福井、工藤、清野：理工研定期講演會 (1949, 10, 24).
福井、清野：理工研定期講演會 (1950, 6, 9).

加工硬化した鋼材の疲労 (第2報)

福井伸二・佐藤四郎

On the Fatigue of Work-hardened Steel (2nd Report)

By Shinji Fukui and Shiro Sato.

ABSTRACT : In a previous work, Haigh type tensile and compressive fatigue limits were studied about specimens of ordinary constructional steel after plastically deformed by statical tensile or compressive stresses.

In this paper, *Ono type rotational bending fatigue limits were studied in the same way as in the previous work. Arranging the experimental results by the absolute values of natural strain corresponding to the preworking stresses, the fatigue limits changed similarly both for tension and compression. Comparing with the annealed states, the fatigue limits decreased by about 4% for strain smaller than about 3%, and then the limits raised to about 15% for the larger strain. This tendency seemed to be similar to that of yielding point for bending. The changing rate of rotational bending fatigue limits were similar to those for the tension compression fatigue.

(1950年12月27日受理)

1. 緒 言

第1報⁽¹⁾に、あらかじめ引張、壓縮塑性加工を與

えた鋼材からヘイグ式引張壓縮疲労試験片を製作して疲労強度にどのような変化があるかをしらべて報告した。その結果によると、引張加工も壓縮加工も疲労強

度に及ぼす影響は同じ様な傾向を示し、且つ面白い事には6%程度の僅かな引張、壓縮加工を興えたものは母材に比し硬度は上昇して居るに拘らず、疲労強度はかえつて減少する結果を得た。尙同じ材料で補足的に小野式回轉曲げ疲労試験機を用いて同じような実験を行い、回轉曲げ疲労限についても同様な傾向がある事を認めた。しかしながら試験片が足りず系統的実験が行えなかつたので、ここに改めて小野式回轉曲げ疲労試験機を用いた結果を報告する。

2. 実験材料と実験方法

実験に供した材料は18mm板厚の炭素鋼でその化學的成分を第1表に示す。実験に際しては880度で1時間焼鈍して用いた。焼鈍材の機械的性質を第1表に示す。

第1表 実験材料の化學成分(%)

C	Mn	Si	P	S
0.22	0.52	0.12	0.041	0.038

第2表 焼鈍材の機械的性質

降伏點 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	破斷強さ kg/mm ²	彈性係數 kg/mm ²	伸率* %	斷面 收縮率 %	硬 度	
						ブリネル 硬度數	ビッカース 硬度數
20.7	41.5	74.7	20.05×10 ⁸	33.9	55.3	120	117

* 引張試験片の直径8mm、伸率は50mmについてのものである。

疲労試験前に興える加工の程度としては、第2表に示す如く、引張加工、壓縮加工共に4種の見掛應力を選んだ。引張加工で24.0kg/mm²は降伏點を少し越した應力であり、40kg/mm²は局部收縮を起す少し前の應力である。

第3表 疲労試験前に興えた加工の程度

豫め引張加工				
見掛應力 kg/mm ²	24.0	30.0	35.0	40.0
眞の應力 kg/mm ²	24.3	30.8	36.7	43.5
歪 %	1.43	2.84	4.83	8.70
有効歪 %	1.41	2.80	4.72	8.35

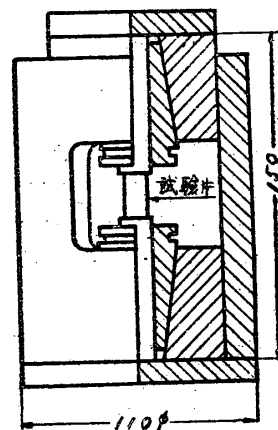
豫め壓縮加工				
見掛應力 kg/mm ²	25.0	33.0	41.0	50.0
眞の應力 kg/mm ²	24.6	32.0	38.9	46.7
斷面積變化率 %	1.54	3.01	5.46	9.45
有効歪 %	1.52	2.97	5.32	9.03

引張塑性變形は直径15mm、長さ150mm丸棒で興え、壓縮塑性變形を興えるには挫屈しない爲に、第1圖に示す様な丸棒を、第2圖の壓縮用装置中に入れて壓縮試験機に掛けた。尙引張加工も壓縮加工も最大荷重で約1分間荷重を保持してから荷重を除去した。その後何れも第3圖に示す疲労試験片を作り、表面をすべてバフ仕上とし、顯微鏡でしらべて未だ著しい痕のあるものは試験より除外した。塑性變形を興えてか

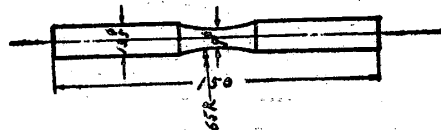
ら疲労試験に掛ける迄に3ヶ月から4ヶ月の期間を置いたので、時効の進行は充分で安定状態に達して居たと看做される。



第1圖 壓縮加工試験片



第2圖 壓縮用装置

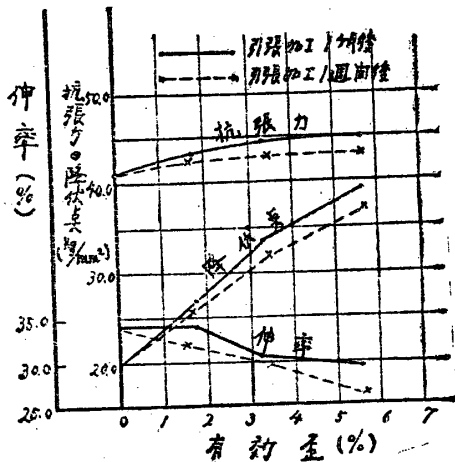


第3圖 小野式疲労試験片

疲労試験機は小野式回轉曲げ疲労試験機を使用し、毎分 2,000 回轉から 2,100 回轉で實驗を行い、疲労限の決定には 10⁷ 回の繰返數を基準として求めた。

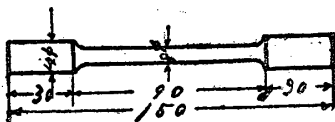
3. 引張、壓縮加工後の機械的性質と曲げ試験

豫め引張、壓縮加工材の機械的性質と曲げ試験を行つて疲労試験結果の参考に供した。機械的性質と硬度は第1報に示したと同様な方法で再引張、再壓縮試験並びにブリネル硬度、ビッカース硬度の測定を行つた。之等の結果は第5、6表に示す通りである。尙第4圖は見掛應力で 24.0 kg/mm²、30.0 kg/mm²、35.0 kg/mm² まで引張加工を興えた後1週間並びに1ヶ月間放置して再引張試験を行つた結果で、有効歪を横軸に、降伏點、抗張力、伸率を縦軸に取つて圖示した。何れも試片2本の平均値で、軟鋼にも時効がある程度存在し、時間と共に機械的性質がよくなるようである。



第4圖 引張加工後の機械的性質

次に前節の様に豫め加工を興えた材料の曲げ試験を行つた。引張加工後は第5圖の様な曲げ試験片を作り、壓縮加工後は第6圖の様な曲げ試験片を製作し



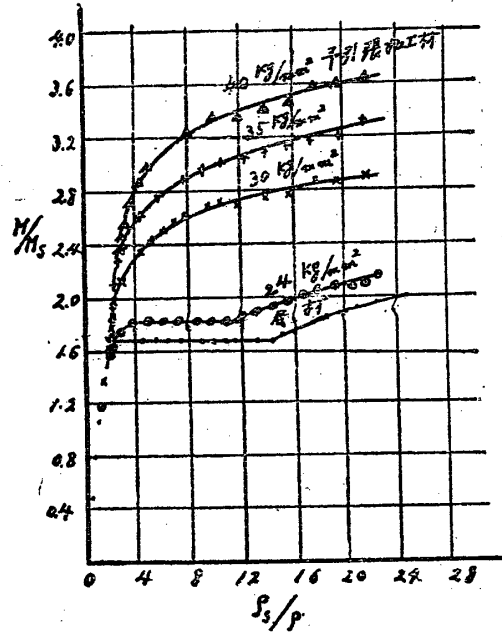
第5圖 曲げ試験片



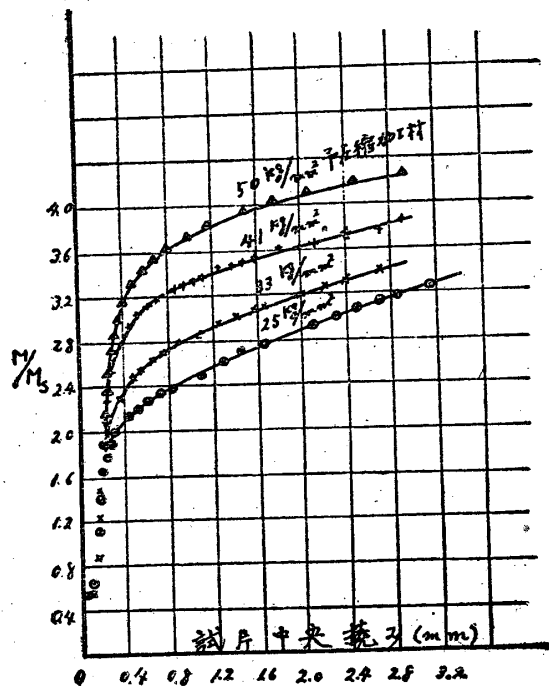
第6圖 曲げ試験片

た。曲げ試験はすべて四點荷重で行い、撓みはダイヤ

ルゲージを使用した。第5圖の試験片の場合には、標點距離 60 mm についての中央の撓みを測定したので、曲率を算出する事が出来たが、壓縮加工を興えた場合は、加工部分が短くて正しい曲率は測定し得ないので、中央の降下量をダイヤルゲージで読み取つた。このようにして得られたモーメントと撓み曲線は第7圖、第8圖に示すようなものである。ここで M_s とは、曲げ試験片の上下面の應力が、引張降伏點である 20.7



第7圖 引張加工後の曲げ試験



第8圖 壓縮加工後の曲げ試験

kg/mm² になる時のモーメントであり、 ρ_s はその時の曲率半径である。丸棒の曲げ降伏點を見出すことは仲々困難で、第7圖、第8圖で得られた曲線の、直線部分から離れる點を變み取つて曲げ降伏點とした。母*

第4表 曲げ降伏點

豫め引張加工見掛應力 kg/mm ²	曲げ降伏點 kg/mm ²	豫め壓縮加工見掛應力 kg/mm ²	曲げ降伏點 kg/mm ²
母材	31.5		
24.0	24.9	25.0	21.0
30.0	26.9	33.0	22.7
35.0	29.0	41.0	31.0
40.0	30.0	50.0	33.1

*材の曲げ降伏點は M/M_0 で 1.54, 平行部分は 1.68 となつたが、それは中西博士の理論に實驗の誤差範圍内で満足さるべきものと考えられる。第4表にそれらを示すが、あらかじめ加工したものは一般に母材のそれより降下して居り、Bauschinger 効果を示している。引張で 24.0 kg/mm², 30.0 kg/mm², 壓縮で 25.0 kg/mm², 33.0 kg/mm² の見掛應力で加工したものは甚だしく曲げ降伏點は降下し、それ以上の加工の場合には餘り大した差はないように測定された。

4. 實驗結果並びにその考察

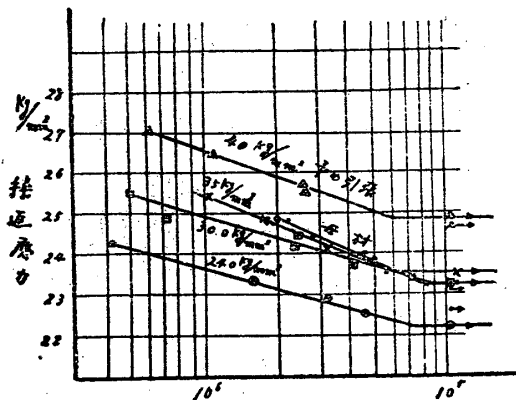
あらかじめ引張加工を與えた場合の疲労試験結果、並びに引張試験、硬度試験結果を第5表に一括して示す。又疲労試験の結果を縦軸に應力を、横軸に繰返

第5表 豫め引張加工を與えた時の疲労限及び機械的性質

引張加工見掛應力 kg/mm ²	疲労限 σ_w kg/mm ²	%	降伏點 σ_s kg/mm ²	引張強さ σ_B kg/mm ²	伸率 ⁽¹⁾ %	斷收縮率 %	ブリネル ⁽²⁾ 硬度數 H_B	ピカース ⁽³⁾ 硬度數 H_F	%	σ_w/σ_B	
母材	23.2	100	20.7	41.5	33.9	55.3	120	100	117	100	0.56
24.0	22.3	96	26.6	43.0	34.2	56.5	129	107	132	113	0.52
30.0	23.2	100	33.5	44.2	31.2	54.9	135	112	141	120	0.53
35.0	23.5	101	39.3	45.1	29.6	53.2	142	118	151	129	0.52
40.0④	24.8	107	—	—	—	—	154	128	165	141	—

- 1) 伸率は 50 mm につき取つた。 2) 直径 5 mm の鋼球で 750 kg の荷重を使用。
3) 荷重 50 kg を使用。 4) この場合の引張試験は行わなかつた。

數 N の對數 $\log N$ を取れば第9圖に示す如くなる。



第9圖 繰返應力-繰返數 (引張加工材)

24.0 kg/mm² の引張加工即ち 1.4% の引張歪を與えたものはブリネル硬度數で 7%, ピカース硬度數で 13% 増加を示して居るに拘らず、疲労限は 4% 減少して居る。30.0 kg/mm² 即ち 2.8% の引張歪を

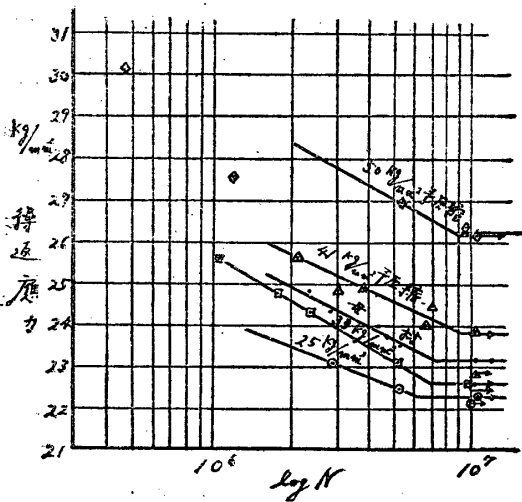
與えると母材と同じ疲労限を持ち、更に大きな 35.0 kg/mm², 40.0 kg/mm² 即ち引張歪で 4.7%, 8.4% の加工を加えると疲労限は各々 1%, 7% と増加して来る。この事は第1報の引張壓縮疲労限と大體似た傾向を示している。この理由は今の所明らかではないが、Haigh & Robertson⁽²⁾ が述べて居る如く、常温加工の初期に於ては Lüder's line が生じた爲の disturbance が、3, 4% 程度の歪では未だ残つて居り、それが疲労強度を減ずるのではないかと考えられる。

次にあらかじめ壓縮加工を與えた場合の疲労試験、並びに降伏點、硬度の變化を第6表に示す。繰返應力と繰返數との關係を圖示すると第10圖の如くなる。

この場合も 25.0 kg/mm², 33.0 kg/mm² の壓縮見掛應力、即ち斷面積變化率で 1.5%, 3.0% の如く僅かな加工を加えると、硬度はブリネル硬度數で 4%, 9%, ピカース硬度數で 10%, 21% 硬くなつて居るに拘らず、疲労限は 3%, 2% とそれぞれ減少している。それよりも大きな 41.0 kg/mm², 50.0 kg/mm²

第6表 豫め壓縮加工を與えた時の
疲勞限と機械的性質

壓縮加工 見掛應力 kg/mm ²	疲勞限		降伏點 kg/mm ²	ブリネル 硬度數 H _B %		ビカース 硬度數 H _v %	
	kg/mm ²	%		H _B	%	H _v	%
母材	23.2	100	21.0	120	100	117	100
25.0	22.4	97	27.7	125	104	132	113
33.0	22.7	98	34.5	131	109	142	121
41.0	23.8	103	40.4	142	118	154	131
50.0	26.4	114	—	160	133	167	143

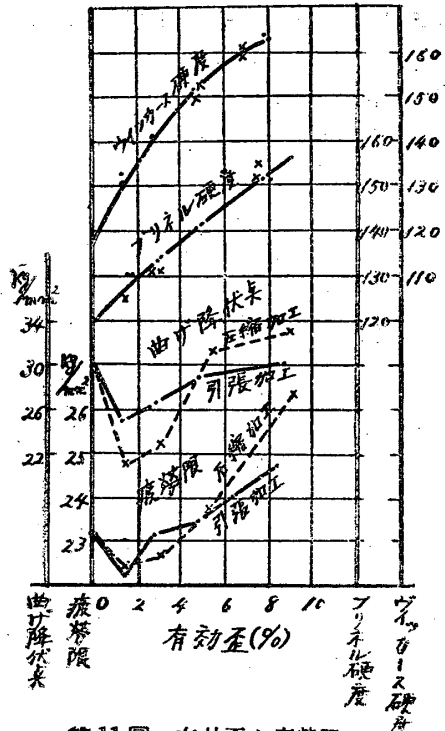


第10圖 繰返應力-繰返數 (壓縮加工材)

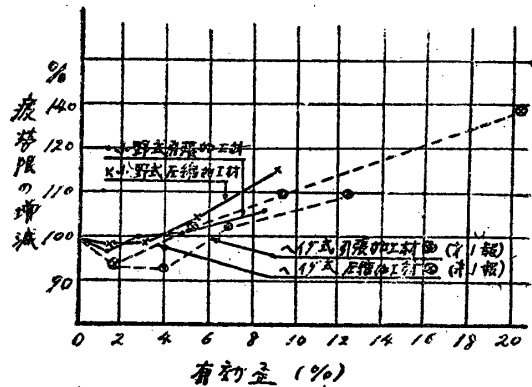
の見掛壓縮應力、斷面積變化率で5.5%、9.5%の加工を加えるに従つて、疲勞限は3%から14%と増加し、引張壓縮疲勞限の場合と同様な傾向を示した。

豫め加工の有効歪と疲勞限、曲げ降伏點、硬度との關係を圖示すると第11圖の如くなる。硬度はブリネル硬度、ビカース硬度共に有効歪の増大と共に引張加工の時も壓縮加工の時も大體一致して上昇している。疲勞限は引張加工の場合も壓縮加工の場合もほぼ同様な傾向を持ち、有効歪で約3%程度迄の僅かな加工ではかえつて母材よりも減少し、それ以上の加工に対しては上昇して行く事が見られる。母材の曲げ降伏點は3%迄の僅かな加工では著しく減少し、それ以上の加工では高くなつて行つている。この曲線の傾向は疲勞限に対して得られた曲線とよく似ている。

第1報で報告したヘイグ式引張壓縮疲勞試験機を用いた時と、今回の小野式回轉曲げ疲勞試験機を用いた時とは材料が異なつてはいるけれども、兩者の場合の疲勞限の増減率%と有効歪の關係は第12圖の如くなり、大體似たような傾向を示している。



第11圖 有効歪と疲勞限、
曲げ降伏點、硬度との關係



第12圖 疲勞限の増減と有効歪との關係

5. 結 論

あらかじめ降伏點以上の引張、壓縮加工を加えて加工硬化せしめた0.22%炭素鋼の小野式回轉曲げ疲勞限を求め次のような結果が得られた。

(1) 引張塑性加工を加えると、加工の程度の上昇と共に疲勞限は初めやや減少し、その後加工度の上昇と共に増大する。本實驗では2%程度の加工に對し疲勞限は母材のそれより4%減少し、3%の加工率で母材と一致し、それ以上の加工度に對しては疲勞限は増大して行つた。

(2) 壓縮塑性加工を加えた場合も、引張塑性加工を與えた場合と同様、加工度の上昇と共に疲勞限は初め

や、減少し、その後加工度の増大と共に母材のそれより大となつて行く。本實驗では2%程度の加工度に對し3%疲労限は減少し、加工度が4%を越えるに従つて母材のそれより大となつて行つた。

(3) 引張加工、壓縮加工が引張壓縮疲労限(第1報)、回轉曲げ疲労限に與える影響は似たものである。

(4) 引張加工も壓縮加工も靜的試験、引張壓縮及び回轉曲げの疲労試験から見て強度的には同じ種類の影響を與えるものと考えられる。

(5) 引張強さ、降伏點、硬度等と曲げ疲労限との間に簡単な關係は見出されなかつたが、ただ曲げ降伏點と疲労限とは似た傾向をみとめた。

終りに臨み本實驗に種々御便宜をたまわつた中西不二夫先生及び實驗室各位、東日本重工業横濱造船所の赤木、櫻井兩技師並びに終始實驗に協力して下さつた保科昌宏君に厚く御禮申し上げる。尙本實驗は文部省科學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: 理工研報告 3 (1949) 311.
- 2) B.P. Haigh & T.S. Robertson: Engineering (1931), 389.