539.434.016.3:621.785.545

き裂を有する試験片を高周波焼入れした場合の疲れ強さについて*

中村 宏** 甘粕達雄*** 上田四郎****

Fatigue strength of Induction-hardened Test-piece with Crack

by Hiroshi NAKAMURA, Tatuō AMAKASU and Sirō UEDA

One of the reasons why the fatigue limit remarkably rises in the notched specimen of steel being induction-hardened, is that, the cracks produced, do not propagate any further.

In this connection, some experiments on rotary bending were made with the specimens of a plain carbon steel with 0.18% C, some of which are ordinary plain specimens and others have some crack, both were tested for two cases, ie. non-heat treated and induction-hardened.

The results are as follows:

(1) without any heat treatment	fatigue limit
a) ordinary plain specimens	20 kg/mm ²
b) specimens with some crack	10 /
(2) induction hardened	
a) ordinary plain specimens	54 /
b) specimens with some crack	48 /

The reduction rate of the crack is apparently less in the latter than in the former, which is less hardened.

To explain this seemingly contradictory fact, Prof. Ishibashi's opinion has been applied that the tip of crack must be subjected only to tension load during rotating bending tests.

1. 緒 言

著者らはV形切欠試片に高周波焼入れすると著しく疲れ限度が上昇することを見出した⁽¹⁾。そして、この疲れ限度としては、最初のうちは、試験片全体がこわれるか、こわれないかの境の応力値(以下 σ_{wk2} と書く)をとっていたが、その後よく調べてみると、切欠底にクラックがはいり初める応力(以下 σ_{wk1} と称す)は前記 σ_{wk2} に比しかなり低いことが判明した⁽²⁾。

α_k が分岐点⁽³⁾以上である場合には、 σ_{wk1} と σ_{wk2} との間に差があることは焼なまし材については石橋博士により認められている⁽³⁾が、 σ_{wk1} と σ_{wk2} の差は高周波焼入れのときには焼なまし材の場合に比べて著しく大きい(第1表参照)。

したがって、切欠試片に高周波焼入れを施したときの疲れ強さの推移をよく理解するためには、クラックがある場合の疲れ強さをよく検討しておくことが必要であると考えられる。

クラックのある材料の強度については普通の材料については既に石橋博士の研究があるが⁽³⁾、クラックの

ある材料に高周波焼入れした場合の実験は今のところ見当たらないので行ったのが今回の実験である。

第 1 表 (a)⁽²⁾

C=0.17% 鋼でつくったV形切欠試片(切欠半径0.25 mm, 切欠き角度45°, 切欠底直径10 mm)を高周波焼入れしたときの実験結果

σ_{wk1}	$\div 18 \text{ kg/mm}^2$
σ_{wk2}	$\div 44 \text{ kg/mm}^2$

第 1 表 (b)

C=0.62% 鋼で行った石橋博士の実験結果⁽³⁾の著書より推定)

σ_{wk1}	$\div 9 \text{ kg/mm}^2$	$\alpha_k \div 4$ のとき
σ_{wk2}	$\div 11 \text{ kg/mm}^2$	

なお、以上の目的の他に次の三つの目的もあわせ含んでいる。

(i) 高周波焼入れをするとき、ごくわずかの焼割れを生ずることがあるが、この焼割れの強度上に及ぼす影響についての知識をうる。

(ii) 車軸は圧入部分でよく折損するが、この部分では σ_{wk1} と σ_{wk2} の間に差があり⁽⁴⁾、またタイヤで

* 昭和 31 年 11 月 15 日 岡山臨時大会講演会において講演、原稿受付 昭和 32 年 5 月 18 日。

** , *** , **** 正員, 鉄道技術研究所客貨車研究室。

もレールでもクラックが進行するかしないかの問題は非常に重要であるので,よく検討しておく必要があり,特にどのような条件を選べば,このクラックの進展を止めうるかという方法の基礎的資料をうることははなはだ重要である。

(iii) $C=0.2\%$ 以下の鋼でも高周波焼入れすることにより疲れ限度が著しく上昇し⁽²⁾,今後低炭素鋼を熱処理して使う方法の発展が期待されるが,この方面に対する一資料の追加を行うこと。

2. 実験方法と実験結果

試験に用いた材料は $C=0.18\%$ 鋼である。

この材料で切欠半径約 0.2 mm のV形切欠きを有する

試片をつくり,これのS-N曲線を求め, σ_{wk2} として約 9.5 kg/mm^2 をえた(第2図×印).次にこの応力のごくわずかな下の応力を 10^7 回加えて試験機からはずし,2,3本縦断して確かにクラックの生成していることを確認した.しかるのちにすべての試験片に 9.5 kg/mm^2 以下の応力を 10^7 回加えて試験片の切欠き底にクラックを入れた。

この際, 10^7 に対しても折損しなかった応力は $9.51; 9.29; 9.41; 9.27; 9.23; 9.13; 9.22; 9.30; 9.20; 9.32; 9.34(\text{kg/mm}^2)$ で平均 9.29 kg/mm^2 であった.しかし,上記の応力程度でも折損したものもあり,たとえば $\sigma=9.56$, $N=1.71 \times 10^6$; $\sigma=9.37$, $N=1.02 \times 10^6$; $\sigma=9.40$, $N=1.60 \times 10^6$; $\sigma=9.20$, $N=3.7 \times 10^6$

と N にして $(1 \sim 4) \times 10^6$ でいずれも折損した.応力の平均値としては 9.38 kg/mm^2 であった. σ_{wk2} について散らばりがあることがわかるが,これらの結果から σ_{wk2} としては $(9.3 \sim 9.4)\text{ kg/mm}^2$ と見なしてさしつかえないと思う。

上記のようにしてクラックをV形切欠きの底につくることが出来たので第1図の点線の処を削りとり,クラックの入った平滑試片を作った。

第1図のようなクラックを入れた平滑試片と普通のようにしてつくったクラックのない平滑試験片について素材のままと高周波焼入れ*したままの疲れ試験を行った.そのS-N曲線を第2図に示し,実験結果は第2表,疲れ限度を一括したのを第3表に示す。

第2図でA曲線はクラックが全円周ではほぼ同じ深さまではいった場合で第3図(No.13等)に当り,第2図でB曲線は第3

図(No.12等)のようにクラックがある一つの方からはいり,三日月形のこん跡を残している場合である. Aの場合の方が疲れ限度は若干高い。

第1図 試験片のつくり方の説明図

素材のままのときに切欠き底にクラックのはいった状況を第4図に示す.この写真で注意すべきはクラックはもちろんだが,そのまわりの組織はかなり破壊されていることである。

第2図 S-N 線 図

各試験片のかたさ分布は第5図に,クラック試片に高周波焼入れしたときの顕微鏡写真は第6図に示す。

No. 13

No. 12

$\sigma=44.7\text{ kg/mm}^2 \times 10^7$
 50.1 kg/mm^2
 6.93×10^5

き裂深さ 最大 0.21 mm
最小 0.11 mm

$\sigma=40.8\text{ kg/mm}^2 (\times 7)$
 6.58×10^5

き裂深さ 最大 0.86 mm
最小 0.10 mm

第3図 σ_{wk2} 以下の応力 10^7 繰返しき裂を入れ後平滑試験片に仕上高周波焼入再試験. 疲れ破面周りの黒色部はき裂. 70 kW . 7 s

* 高周波焼入れは火花放電型で行い,内径 19.5 mm ϕ ,長さ 50 mm のコイルで入力 70 kW ,加熱時間 7 s で行った,

第4図 素材の切欠き底にクラックがはいっている状況

第5図 $C=0.18\%$ 鋼疲れ試験片かたさ分布

第6図 クラック試験片高周波焼入れしたときの顕微鏡組織 (外周部)

3. 実験結果に対する簡単な考察

(1) 前に $C=0.41\%$ 鋼について、切欠き半径 $\rho=0.25$ mm の試験片 ($\alpha_k \approx 3.5$) の切欠き係数は $1.17^{(5)}$ であった。つまり、今回の実験での β_c (第3表参照)

とほぼ同程度の値である。

全く同じ条件でないので厳密な比較はなし難いが、今回の実験とよく似た鋼種として $C=0.17\%$ 鋼に $\rho=0.25$ mm (切欠き底曲率半径) の切欠きをつけた試料を高周波焼入れしたまゝのときの σ_{wk2} が 44 kg/mm^2 (2) であったのと今回の σ_{wc} (クラックを有する試片の疲れ限度) の 48 kg/mm^2 とを比較するとほぼ同じ程度の値である**。

以上のことは、クラックのみを有する試験片の疲れ限度 σ_{wc} と切欠き底にクラックを有する試験片の疲れ限度 (σ_{wkc} とする) がほぼ等しいことを示している (第7図参照)。

第7図

切欠き底にクラックを有する試験片の疲れ限度は実は σ_{wk2} であるが、 σ_{wkc} とは若干その意味を異にする。すなわち、分岐点以上の α_k を有する試験片に σ_{wk2} の応力をたとえば 10^7 回加えるとき、当然切欠き底にはクラックがはいっているが、このクラックが一定の長さはいったあとはこの長さは一定のままで停止している。このクラックの長さが一定になるまでの繰返し回数を n_1 とし、それ以後の回数を n_2 とすると、普通の疲れ試験では $(n_1+n_2)=N$ を測定し、 $S-N$ 曲線を描いていることになる。今、繰返し回数として N に注目すると切欠き試片で試片全体が破断しない疲れ限度として σ_{wk2} をうるが、繰返し回数として、 n_2 に注目すると既に n_1 回の繰返しで切欠き底にクラックのはいった試験片の疲れ強さを試験していることになる。

σ_{wc} と σ_{wkc} ($\alpha_k \approx 3.6$ のとき) がほぼ同じであることは次のように考えると理解できる。すなわち、 α_k が小さいときはクラックがはいるまでは α_k (ϵ_0 を考えた)***で支配されるが、クラックがはいるとクラックによる応力集中率が α_k より大きくなり、もちろんクラックは成長して試験片は破断する。したがって σ_{wk1} と σ_{wk2} の間に区別はない。

しかるに、 α_k が分岐点以上になると、かなり低い応力で き裂 がはいっているが、この き裂 がある程度長くなったあとでは、 σ_{wc} と σ_{wkc} とがほぼ等しい実験事実からみられるように、クラック先の強度については元の切欠きの影響はやや少くなり、主として β_c に左右されるので、おおよその見当として σ_{wk2} は σ_{w0}/β_c の程度になる。このような考え方にたつと、クラックの生成によってかえって応力集中が減少する限界、すなわち、分岐点にあたるものは β_c にほぼ等しくなる。(もちろん、実際には分岐点近傍の α_k では σ_{wc} と

** $C=0.17\%$ 鋼のときの表面かたさはマイクログリッパースで約 400 で、今回ののは 500 くらいで若干前者が疲れ限度は低いと思われる。

*** この意味は疲れ破壊が切欠き底の最大応力の点だけに支配されないで、その近傍のある大いさ (たとえば ϵ_0) の範囲がある一定値をこえたときに生ずるということがらの補正をいれたものである。

第2表 疲れ試験結果

(1) 素材のままの平滑試験片

No.	直径 d mm	荷重 W kg	応力 σ kg/mm ²	破断までの回数 N	折損の有無	疲れ限度 kg/mm ²
1	10.02	25	25.3	1.315×10^5	有	20.0
2	10.00	20	20.4	1.9202×10^6	〃	
3	9.97	17.5	18.0	10^7	無	
4	10.02	18.7	19.0	10^7	〃	
5	10.00	22	22.4	8.252×10^5	有	
4'	10.02	21	21.3	2.9195×10^6	〃	
3'	9.97	19.0	19.5	10^7	無	
3''	9.97	22.5	23.1	7.537×10^5	有	

(2) 素材のままの切欠試験片—1

No.	d mm	W kg	σ kg/mm ²	N	折損の有無
1	9.241	7.5	9.68	1.5568×10^6	有
2	9.706	8.0	8.91	1.4680×10^6	〃
3	9.760	7.5	8.22	2.4617×10^6	〃
4	9.766	7.0	7.66	1.2×10^7	無
5	9.298	6.2	7.86	1.526×10^7	〃
6	9.679	7.0	7.87	10^7	〃
7	9.765	7.3	7.98	10^7	〃
8	9.547	6.8	7.96	1.000×10^6	有
9	9.489	6.7	7.87	10^7	無
10	9.475	6.5	7.783	10^7	〃

(3) 素材のままのき裂試験片

No.	d mm	W kg	σ kg/mm ²	N	折損の有無	疲れ限度 kg/mm ²
5	9.28	9.0	11.47	3.683×10^5	有	約 9.5
6	9.68	9.0	10.1	2.445×10^6	〃	
7	9.73	8.6	9.51	1.43×10^7	無	
9	9.46	11.0	13.22	9.15×10^5	有	
10	9.47	9.5	11.4	1.022×10^5	〃	
7'	9.73	11	12.46	1.9800×10^6	〃	

(4) 素材のままの切欠試験片—2

No.	d mm	W kg	σ kg/mm ²	N	折損の有無	備考	きずの深さ mm
1	9.604	8.5	9.77	9.7480×10^6	有	折断後き裂 認む	0.12~0.16
2	9.552	9.0	9.30	3.5478×10^6	〃		
3	9.943	8.5	8.80	10^7	無		
4	9.953	9.0	9.29	1.2389×10^7	〃		
5	9.902	12.4	13.00	5.961×10^5	有		0.12~0.15
6	9.814	9.5	10.23	3.7728×10^6	〃		
7	10.056	9.5	9.51	10^7	無		
8	9.909	9.0	9.41	10^7	〃		
9	10.072	9.5	9.56	1.711×10^6	有		0.18~0.23
10	9.999	9.2	9.37	1.0212×10^6	〃		

11	9'961	9'0	9'27	10^7	無	
12	9'979	9'0	9'23	〃	〃	
13	9'850	8'7	9'13	〃	〃	
14	9'906	8'8	9'22	1.23×10^7	〃	
15	9'878	8'8	9'30	10^7	〃	
16	9'800	8'5	9'20	〃	〃	
17	9'482	7'2	9'32	〃	〃	
18	9'827	8'7	9'34	〃	〃	
19	9'902	9'0	9'40	1.559×10^6	有	
20	9'600	8'0	9'20	3.7235×10^6	〃	

(5) 高周波焼入れしたき裂試験片

No.	d mm	W kg	σ kg/mm ²	N	き裂深さ mm		折損の有無	備考
					最 大	最 小		
12	9'97	40	40'8	6.579×10^5	0'86	0'10	有	三日月型のクラック
13	9'85	42	44'7	10^7			無	
14	9'895	42	44'15	10^7			〃	
15	9'85	45	48'0	1.196×10^7			〃	
16	9'80	45	48'7	10^7			〃	
17	9'44	42	50'8	3.812×10^5	0'14	0'07	有	三日月型のクラック
18	9'78	42	45'7	2.26×10^4	1'67	0'10	〃	
14'	9'895	47	49'4	6.77×10^5	0'14	0'07	〃	
15'	9'85	47	50'0	4.597×10^5	0'10	0'086	〃	
16'	9'80	50	54'0	4.889×10^5	0'20	0'071	〃	
13'	9'85	45	48'0	10^7			無	
13''	9'85	47	50'1	6.931×10^5	0'21	0'11	有	

(6) 高周波焼入れした平滑試験片

No.	d mm	W kg	σ kg/mm ²	N	折損の有無	備考
1	9'96	60	61'85	3.190×10^5	有	
2	9'98	54	55'3	2.076×10^5	〃	
3**	9'96					
4	9'99	57	58'2	3.739×10^5	〃	
5	9'99	55	56'2	4.808×10^5	〃	
6*	9'96	53'5	55'1	1.000×10^7	無	
7	9'98	54	55'3	8.0558×10^6	有	
8	9'99	54'5	55'7	4.840×10^5	〃	
6'*	9'96	56'0	57'7	10^7	無	

* 焼入れ条件決定のために用いたもの, ** 二重焼入れ

第 3 表 疲れ限度を一括したもの

熱 処 理	クラックの有無	疲れ限度 kg/mm ²	β_c^*
高周波焼入れ放し	無有	54 48**	1'12
素 材 の ま ま	無有	20 10	2'00

* β_c はクラックのない試片の疲れ限度とクラックのはいつた試片の疲れ限度の比.

** 第 2 図 (A) の場合のみ掲げた.

σ_{wk} は全く等しくはならず, 分岐点での α_k と β_c は若干異なるであろう.)

若干の相違はあっても, β_c は分岐点の α_k に近いと考えると, 今回の実験では素材のままでは分岐点の α_k は 2.0 くらい, 高周波焼入れの場合は 1.15 くらいである. 上記の考え方から求めた分岐点の α_k の絶対値についてはなお検討を必要とするが, 高周波焼入れした試験片の場合, 分岐点における α_k はほぼ 1 に近いだろうということは, 前に行った α_k をかえた実験⁽⁵⁾(第 8 図参照) のとき, σ_{wk2} が α_k によりほとんど変化しないことから定性的には理解できる(分岐点は σ_{wk2} の曲線と σ_{w0}/α_k の曲線のほぼ交点にある).

第 8 図 α_k と回転曲げ疲れ限度の関係

(2) 第 7 図 (A) と (B) を比較して, 高周波焼入れの場合両者の疲れ限度がほぼ等しいということは (A) は ρ の寸法が無限大の場合で, (B) の場合はこの切欠きの先端の曲率半径が 0.25 mm で α_k にするとかかなり大きい場合に当たる. ρ の値が ∞ であろうと 0.25 mm であろうと, 疲れ限度の間にあまり差がないということは, 切欠き底にクラックのはいった場合の疲れ限度の問題はクラックのみがある試片の疲れ強さを考えればおおよその見当がつくことを示している.

(1) と (2) で述べた事柄を要約すると, クラックがはいるまでは α_k の影響があるが, クラックがはいったあとは切欠き試片の σ_{wk2} はクラックの疲れ限度 σ_{wc} に主として支配されるので, 高周波焼入れの場合 σ_{wc} が著しく σ_{w0} に近いから, α_k による σ_{wk2} の変化は少いことがわかる.

(3) 高周波焼入れした切欠き試片の σ_{wk2} が高い理由の説明としては, 結局 σ_{wc} の高いことを説明すればおおよその見当がつくことが上記の説明から判明したので, 次に σ_{wc} がなぜ高周波焼入れによって高くなるかを考えて見よう.

さて, クラックの問題の取扱いは現在石橋教授⁽⁶⁾の考え方と瓜生助教授⁽⁷⁾の考え方とがあるが* クラックの周囲が塑性変形としているとき(第 4 図参照)には, 前者の考え方が妥当であると思うので, ここでは前者の考え方を取り入れて説明を行う.

石橋教授は見掛け上両振り疲れ試験を行っているときでもクラックの先端では片振り引張疲れ試験に相当

第 9 図 一般の場合にき裂先端に働く応力説明図

するものが行われていると考える. すなわち引張側の負荷をうけるときは見掛けの応力にクラックの先端による応力集中率(仮りに α'_c とする)をかけた値が発生するが, 圧縮行程においてはクラック先端の応力は 0 であると考えるのである(第 9 図参照).

第 10 図

この実験で素材のままのときのクラックの疲れ限度は約 10 kg/mm² であるから上の事柄は次式のようになる.

$$\alpha'_c (5 \pm 5) \geq 20 \quad (1)$$

ここで, 20 kg/mm² はこの材料の平滑試片の疲れ限度で, α'_c はクラック先端の見かけの応力集中率, (5 ± 5) は振幅 10 kg/mm² のときの片振り引張試験を意味する.

α'_c を求めるために, 第 10 図から (5 ± 5) kg/mm² を $\sigma_m = 0$ の場合に換算すると, 6.1 kg/mm²** にあたる.

したがって (1) 式を書き直すと

$$\alpha'_c \times 6.1 = 20 \quad (2)$$

$$\therefore \alpha'_c = 3.3 \quad (3)$$

つまり, 素材でつくったクラックを有する試験片のクラック先の見かけの応力集中率は 3.3 と評価すれば石橋教授の考え方で説明できることを示している.

上記の考え方は, 一般材の場合であるが, 高周波焼入れの場合は表面に圧縮応力が存在するので, 第 9 図の説明と若干かわってくる. すなわち, 圧縮残留応力の絶対値をクラック先で σ_R とすると, ($\alpha'_c \sigma_0 - \sigma_R$) の全振幅を有する片振り引張疲れ試験を行っている場合と考えるのである. つまり, 圧縮応力が働いている限りはクラック先での応力は 0 であるとみるので(第

** この意味は, 第 10 図で $\sigma_m = 0$ のときの 20 kg/mm² は 16.5 kg/mm² ± 16.5 kg/mm² にあたるから, これから 5 × 20/16.5 = 6.1 kg/mm² として求めたのである. また第 10 図で σ_w として 20 kg/mm², σ_T として 100 kg/mm² (推定値) をとった.

* これについての詳しい批判は文献 (2) で説明した.

11図参照) 今回の実験の場合に上のような考え方をあてはめて見よう。

第 11 図 圧縮残留応力があるとき
のき裂先端に働く応力の説明図

疲れ限度における片振り引張りの全振幅は (4) 式のようになる。

$$\alpha_c' \sigma_0 - \sigma_R = 3.3 \times 48 - \sigma_R = 158 - \sigma_R \quad \cdots \cdots (4)$$

ここで、 α_c' は高周波焼入れの場合は、材料が素材と違うから当然前述の (3) 式での 3.3 とは異なるわけであるが、今のところ不明なので、いちおうこの値を用いた。48 kg/mm² は第 3 表での σ_{wc} である。高周波焼入れ平滑試片の疲れ限度は第 3 表から 54 kg/mm² であるから (1) 式に対応するものは (5) 式となる。

$$\frac{1}{2}(158 - \sigma_R) \pm \frac{1}{2}(158 - \sigma_R) = 54 \quad \cdots \cdots (5)$$

左辺は (5±5) を 6.1 に換算したと同じ割合で変換するものとする、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(158 - \sigma_R) \pm \frac{1}{2}(158 - \sigma_R) &\rightarrow \frac{1}{2}(158 - \sigma_R) \\ &\times \frac{6.1}{5} = 54 \end{aligned}$$

これから $\sigma_R = 69 \text{ kg/mm}^2$

つまり、このような考え方で、今回の実験 ($\sigma_{wc} = 48 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_{w0} = 54 \text{ kg/mm}^2$) を説明するためにクラックの先に必要な残留圧縮応力は約 70 kg/mm² ということになる*。

高周波焼入れした場合表面に生ずる圧縮残留応力として 70 kg/mm² というのは従来の測定結果からおおむね妥当な値である⁽¹⁾⁻⁽²⁾。

(4) β_c について 第 3 表における β_c はクラック材の疲れ限度として見掛けの応力をもって検討した。しかしながら、実際はクラックの存在により有効な断面積は減少しているから、それによる補正を行ってみる。

クラックの長さは各試験片によって異なるが 5 個についての平均をとると 0.12 mm をうる。

クラック材の有効断面積の取り方については、若干問題があるが⁽³⁾簡単のためにクラックを除いた断面積で荷重を背負ったときの応力が働くとみなすと第 3 表におけるクラック材に高周波焼入れしたときの疲れ限度 $\sigma_{wc} = 48 \text{ kg/mm}^2$ は次のように補正される。すなわち、

$$\begin{aligned} \sigma_{wc}' &= 48 \times \left(\frac{10}{10 - 0.12 \times 2} \right)^3 = 48 \times \left(\frac{10}{9.76} \right)^3 \\ &= 51.5 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

クラックのない高周波焼入れ試験片の疲れ限度 σ_{w0} と σ_{wc}' との比 β_c' をとると次のようになる。

$$\beta_c' = 54/51.5 = 1.05$$

圧縮残留応力がない場合、かなりやわらかい材料でも第 3 表からみるように $\beta_c \approx 2.0$ くらいあるのに、圧縮残留応力があるとほとんどき裂がないのと等しいくらいになる事実は非常に興味あることである。

また、文献 (2) において、高周波焼入れ試片の場合にき裂がすすむかすすまぬかの討論をするときに、 β_c' として 1 を用いたが、厳密には正しくないが、おおむね妥当であることも今回の実験から判明した。

4. 結 言

クラックを有する平滑試片と、クラックのない平滑試片を C=0.18% 鋼でつくり、これに高周波焼入れして疲れ試験を行い、次の実験事実を見出した。

(1) クラックがあっても高周波焼入れにより著しく疲れ限度が上がり 48 kg/mm² に達し、クラックによる切欠き係数は 1.15 でかたさの高い割合に小さい。なお素材のままのときのクラックを有する試料の疲れ限度は 10 kg/mm² で β_c は 2.0 である。

(2) 切欠き試料に高周波焼入れしたときに σ_{wk2} の上がる理由として α_k が大きい場合にクラックがはいるまでは α_k に左右されるが、クラックがはいったあとは、クラックのみの疲れ限度 (σ_{wc}) の性質が大きき表面にでくる。

ところが、高周波焼入れの場合 σ_{wc} が高いので、切欠き試片の σ_{wk2} も高くなってくる。

(3) クラックに高周波焼入れした場合に、その疲れ限度の高い理由をクラック先端では、引張応力のクラックの先端の値から残留圧縮応力の絶対値を引いた全振幅を有する片振り引張試験をうけているとして説明した。

(4) C=0.18% 程度の低炭素鋼に高周波焼入れすることにより著しく疲れ強度が上がる (この実験では 54 kg/mm²) こともわかった。この程度の低炭素鋼に高周波焼入れしたときには焼もどさなくても引張強さもあるが、伸び、絞り、衝撃値がある⁽⁴⁾から、今後この方面の積極的な応用をすると実用的にも重要な役割りを演ずるであろう。

終りに臨み 3 章の (3) で述べた考え方は石橋教授に負うところ大きく、また高周波焼入れについては高橋秀雄君、疲れ試験については佐藤三郎君のお世話になった。記して感謝の意としたい。

文 献

- (1) 中村, 鉄道業務研究資料, 8 巻 18 号(昭 26).
中村, 機械学会論文集, 18 巻 75 号(昭 27).
- 中村・水島・船木, 機械学会論文集, 18 巻 75 号(昭 27).
- 中村, 鉄道業務研究資料, 10 巻 1 号(昭 28).

* ここでのべたような説明の仕方には α_c' , 疲れ限度線図というようなあいまいな値があるので、石橋博士が材料試験, Vol.5, No.36 (昭 31.9) にのべているような方法の方が妥当かもしれない。いずれにしても、詳細についてはなおいっそうの研究を必要とする。

- 中村, 鉄道業務研究資料10巻5号(昭28).
 中村, 同上, 10巻21号(昭28).
 中村・水馬, 金属学会誌, 18巻2号(昭29).
 中村・上田, 鉄道業務研究資料, 11巻15号(昭29).
 中村, 機械学会誌, 58巻439号(昭30).
 中村・上田・高橋, 機械学会論文集, 22巻119号(昭31).
 (2) 中村・上田・甘粕, 鉄道技術研究資料, 14巻2号(昭32).

- (3) 石橋, “金属の疲労と破壊の防止”, 養賢堂(昭29).
 (4) Horger の研究, (3) の文献に要旨がのっている.
 (5) 中村・高橋, 材料試験, 4巻25号(昭30).
 (6) 石橋, 機械学会論文集, 22巻115号(昭31).
 (7) 瓜生, 昭和31年4月 機械学会講演会前刷.
 (8) 中村, 水馬, 水曜会誌, 2巻10号(昭30).

539.379:539.319

金属材料の塑性変形と残留格子ひずみとの関係の X 線的研究*

(第1報 実験結果)

辛島 誠一** 藤原 晴夫*** 小島 公平****

Studies on the Relation between Plastic Deformation and Residual Lattice Strain of Metals by X-rays (Part 1. Experimental Results)

by Seiichi KARASHIMA, Haruo FUJIWARA and Kohei KOJIMA

The experiments of measuring the residual lattice strains were performed, by means of various kinds of X-rays, on the plastically extended specimens of 0.2% carbon steel, electrolytic iron, and high purity (99.996%) aluminum, and the following were made clear. The behaviours of the residual lattice strains, which were observed as the composition of the strains of the first and second kinds, and the amounts of residual stresses, which were calculated from the first kind, did not show the differences so large as has been hitherto reported between the specimen surface and its interiors. The values of the latter varied according to the kinds of lattice planes measured, and also became smaller as the purities of metals increased.

1. 緒 言

塑性変形をうけた金属材料の試料表面に残留格子ひずみが存在することに関する X 線の研究は, 既に多くの入達によってなされていて, その原因については第2報⁽¹⁾で述べるように, それぞれ異なった見解が提出されている現状である。筆者ら⁽²⁾もかねてから 0.2% C 軟鋼による実験を行ってきて, 引張変形をうけた試料の表面における残留格子ひずみは格子面の種類, および格子面と引張軸とのなす角によって変化することを認めたが, それらの原因, および試料表面と内部における残留格子ひずみの相違の有無等については, 明確な結論をえるに至らなかった。そこでそれらを明らかにするためその後実験精度を高めて同じ材料についての実験を続行するとともに, 電解鉄, 高純度アルミニウムの試料を用い, 種々の特性 X 線を引張軸に対し種々の角度から入射し, 試料表面と内部に残留する格子ひずみを測定した結果について, 第1報 実験

結果, 第2報 考察に分けて報告する。

2. 試料および実験方法

0.2% C 軟鋼, 電解鉄, 高純度 (99.996%) アルミニウムの素材から機械加工によって第1図に示す形状の

第1図 試料形状

第1表 試料寸法

型	D	d	L	l
A	19 mm	10 mm	80 mm	50 mm
B	10	5	70	50

* 昭和31年4月2日 第33期通常総会講演会および同年11月15日 岡山臨時大会講演会において講演, 原稿受付 昭和32年2月11日.

** , ***, **** 正員, 大阪大学産業科学研究所.