

疲労強さに対する切欠係数算定式の検討

樋口, 正一
九州大学 : 名誉教授

今井, 康文

<https://doi.org/10.15017/4743574>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 45, pp.525-529, 1976-11. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



寄 書

疲労強さに対する切欠係数算定式の検討

樋 口 正 一*
今 井 康 文**

概 要

さきに、疲労被害は微視的な塑性変形量あるいはそれに伴う疲労発熱量を尺度として測られる、という考えを切欠材の切欠底に適用し、切欠材の疲労強さに対する切欠係数の算定式を与えた。ここには、この式の妥当性を既に発表されている2種の鋼材のデータを利用してさらに検討した。

1. ま え が き

さきに、疲労における初期き裂の発生は、微視的塑性変形量あるいは転位線の運動総量がある値に達したときに起こるという考えから、切欠材の疲労強さに対する切欠係数の算定式が与えられた¹⁾。すなわち、切欠部の最小直径を $2R$ 、切欠底の応力集中係数、応力勾配をそれぞれ α 、 χ とすれば、回転曲げの疲労強さに対する切欠係数 β はつぎのように表わされる。

$$\beta = \alpha \cdot K \cdot \left[\frac{n+2}{n+1} \frac{1}{R\chi} \left(1 - \frac{1}{n+2} \frac{1}{R\chi} \right) - (1-\chi S)^{n+1} \left\{ \frac{n+2}{n+1} \frac{1}{R\chi} \left(1 - \frac{1}{n+2} \frac{1}{R\chi} \right) - \frac{1}{R\chi} \frac{S}{R} \right\} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

あるいは

$$\beta = \alpha \cdot K \cdot \left[\frac{n+2}{n+1} \frac{1}{R\chi} \left(1 - \frac{1}{n+2} \frac{1}{R\chi} \right) \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

ここで、

$$K = \left[1 - \left(1 - \frac{\delta}{R} \right)^{n+2} \right]^{-\frac{1}{n}} \quad (3)$$

であり、切欠底で表面から δ の厚さの層内におよぼされる疲労被害の累積により初期き裂の発生が支配されると考えたことにより出て来る因子である。また、 S は δ と χ^{-1} のうち小さいものをとる。 n は転位線の運動に伴う消散エネルギーあるいは応力繰返しによるヒステリシスエネルギー ΔW が応力振幅 σ_a の関数として

$$\Delta W \propto \sigma_a^n$$

* 九州大学名誉教授

** 長崎大学助教授、工学部機械工学科

のように表わされるとした場合の指数である。

(2)式の有用性は、S 20 C, S 50 C の焼鈍材について示された¹⁾。これらの材料のほかにも、0.31% C 鋼焼鈍材と 0.54% C 鋼焼入焼戻し材の回転曲げ疲労試験の結果が西谷²⁾により公表されているので、そのデータを用い種々の n, δ の値について、計算式から切欠係数を求め測定値と比較検討した。

2. 計 算 方 法

西谷の論文から切欠係数の計算に必要なデータだけを抽出し表 1, 2 に再録した。表に示されたもののうち応力勾配がごく小さい切欠に対しては、(2)式による計算ではかなり誤差を生じることが予想される。比較のため、(1)式と(2)式による β/K の計算結果を表 1, 2 に併せて示した。0.31% C 鋼の場合では、 δ として 0.055 mm が使われているので、応力勾配 χ が 18 mm^{-1} より小さい場合(1)式と(2)式の差が現われ、この値より χ が小さくなるほど差が大きくなっていく。ところで(1)式を使うにしても、この材質に対する n や δ の値が不明なので、ただちに計算はできない。ここでは、「適切

表 1 0.31% C 鋼 焼 鈍 材 の 切 欠 係 数

試験片 半 径 R mm	切 欠 形 状		応 力 集 中 係 数 α	応力勾配 $\chi \text{ mm}^{-1}$	切 欠 係 数 *			
	深 さ mm	曲率半径 mm			測 定 値 β	(1)式によ る β/K	(2)式による β/K **	計 算 値 β
2.5	0.005	0.3	1.25	9.6	1.00	0.718	0.719	1.01
		0.1	1.44	27	1.02	0.687		0.967
		0.05	1.63	52	1.04	0.690		0.972
		0.02	1.99	125	1.04	0.719		1.01
		0.01	2.4	242	1.07	0.769		1.08
	0.01	0.3	1.35	9.4	1.09	0.778	0.780	1.10
		0.1	1.62	26	1.12	0.778		1.10
		0.05	1.88	51	1.14	0.799		1.13
		0.02	2.39	121	1.17	0.868		1.22
	0.02	0.3	1.49	9.1	1.14	0.864	0.866	1.22
		0.1	1.86	25	1.23	0.900		1.27
		0.05	2.21	49	1.30	0.946		1.33
		0.02	2.93	117	1.41	1.07		1.51
	0.1	1.0	1.43	2.9	1.26	0.952	1.02	1.34
		0.3	1.90	8.4	1.50	1.12	1.12	1.57
		0.1	2.67	23	1.85	1.31		1.85
		0.05	3.39	45	2.09	1.47		2.08
	0.5	1.0	1.54	2.5	1.46	1.04	1.13	1.46
		0.5	1.89	4.7	1.71	1.20	1.24	1.69
		0.3	2.26	7.6	1.92	1.35	1.36	1.90
0.1		3.46	22	2.53	1.71		2.41	

* 計算には $n=5.5, \delta=0.055 \text{ mm}$ を使用した。

** 空欄は(1)式による値と同じであることを示す。

表 2 0.54% C 鋼焼入焼戻し材の切欠係数

試験片 半径 R mm	切欠形状		応力集中 係数 α	応力勾配 χ mm ⁻¹	切欠係数*			
	深さ mm	曲率半径 mm			測定値 β	(1)式による β/K	(2)式による β/K **	計算値 β
2.5	0.005	0.3	1.25	9.6	1.17	0.715	0.752	1.16
		0.1	1.44	27	1.24	0.729		1.18
		0.05	1.63	52	1.26	0.740		1.20
		0.02	1.99	125	1.29	0.781		1.26
		0.01	2.40	242	1.31	0.844		1.36
	0.02	0.3	1.49	9.1	1.34	0.856	0.904	1.38
		0.1	1.86	25	1.54	0.952	0.954	1.54
		0.05	2.21	49	1.66	1.01		1.64
		0.02	2.93	117	1.85	1.16		1.88
	0.1	0.3	1.90	8.4	1.70	1.10	1.17	1.77
		0.1	2.67	23	2.18	1.38	1.39	2.24
		0.05	3.39	45	2.63	1.58		2.55
0.02		4.86	109	3.15	1.95		3.15	

* 計算には $n=6$, $\delta=0.018$ mm を使用した。

** 空欄は(1)式による値と同じであることを示す。

な n と δ の値を用いた時測定値が最も良く近似される。」という仮定をし、種々の n の値に対してつぎのような反復計算を行なった。

1. (2)式から β/K を計算する。
2. β の測定値と計算された β/K を用いて最小二乗法による直線回帰計算を行なう。
3. 得られた K の近似値から(3)式を使って δ のつぎの近似値を求める。
4. 以降(1)式を使う。

実際には、2~3回の繰返して δ の値は一致した。それぞれの n の値に対して回帰直線まわりの分散を求め、それが最小になる場合の n と δ の値を所要の定数とした。

3. 結果と考察

計算された切欠係数の回帰直線まわりの分散 σ^2 と表面層厚さ δ の、指数 n による変化を図1、2に示す。分散の値は n の値にかなり依存し、最適値より2程度の n の値の変化で、分散が約1桁増加する場合もあり、かなりの精度で n と δ の値が求められる。すなわち、0.31% C 鋼焼鈍材に対しては $n=5.5$, $\delta=0.055$ mm, 0.54% C 鋼焼入焼戻し材に対して $n=6$, $\delta=0.018$ mm を得た。これらの値を使って計算された切欠係数を測定値に対してプロットしてみると、図3のようになりよく一致している。

† この場合、仮定する直線の一般形として、 $y=ax$ と $y=ax+b$ の2種類が考えられる。ここでは前者の形を使ったが、後者の形を仮定しても、分散が最小になる n の値付近では $b=0$ となり、どちらを仮定しても最適の n , δ の値は同じである。

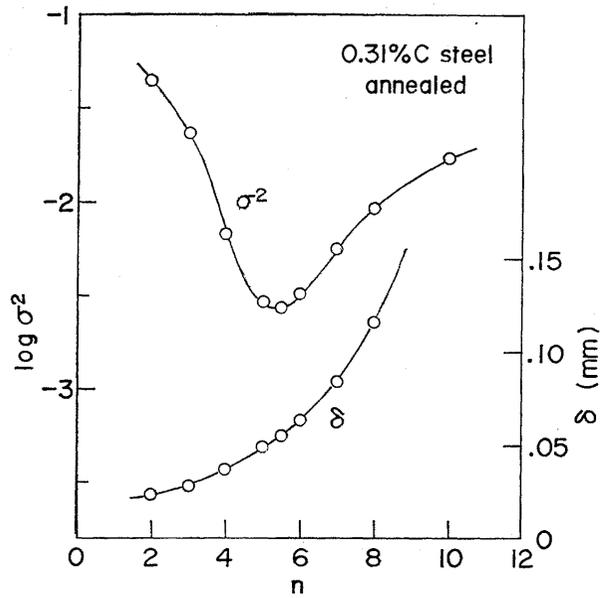


図 1 指数 n に対する回帰直線まわりの分散 σ^2 と表面層厚さ δ の変化
0.31% C 鋼焼鈍材

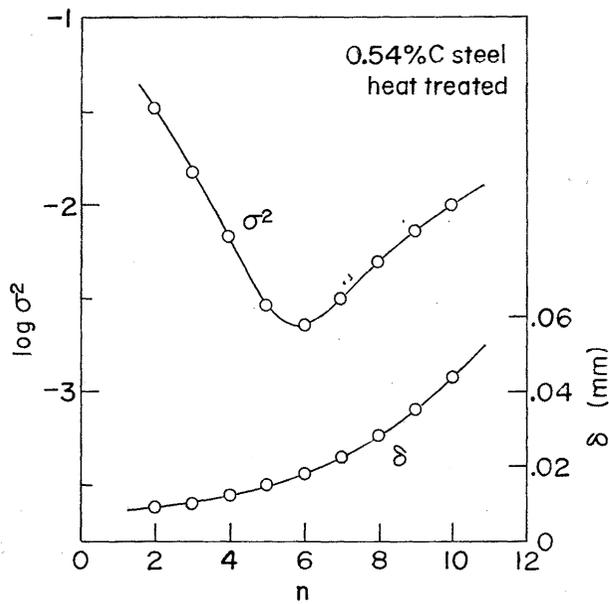


図 2 指数 n に対する回帰直線まわりの分散 σ^2 と表面層厚さ δ の変化
0.54% C 鋼焼入焼戻し材

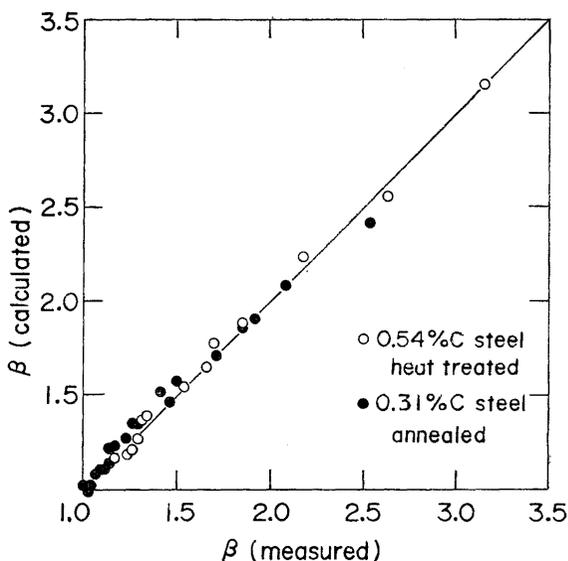


図 3 疲労強さに対する切欠係数の算定値と測定値との比較

δ の値は少くとも数結晶粒程度の大きさであると考えられている。微細な結晶組織をもつ焼入焼戻し材は焼鈍材に比べ δ の値は小さくなると予想されるが、実際そのようになっている。

S20C と S50C の焼鈍材に対しては、 $n=10$, $\delta=0.2$ mm として切欠係数の計算が行なわれた¹⁾。ここで利用した 0.31% C 鋼焼鈍材のデータの場合、 $n=10$ を用いると最適の δ の値は 0.29 mm と得られるので、S20C や S50C と同じ n , δ の値を使用できないこともない。しかしその場合、計算された切欠係数の標準偏差は 0.13 となり、 $n=5.5$ の時の 0.05 に比べて大きい。S-N 曲線があれば、その傾きから n の値を推定することができるが、S-N 曲線が与えられていない場合 n の値をどう選ぶべきか問題である。しかし、 n が大きくなるにつれ最適な δ の値も大きくなり、 β の計算に及ぼす δ の影響が小さくなることがわかった。したがって実際計算の便宜上、 $n=10$ 程度の値を用いてもよいと思われる。

文 献

- 1) 樋口正一, 今井康文, 竹中稔, 日本機械学会論文集, 40, 331, (1974), p. 644.
- 2) Nisitani, H., *Mechanical Behavior of Materials*, Proc. 1971 ICM, Vol. II, JSMS, 1972, p. 312.

(昭和 51 年 5 月 4 日 受理)