

332 中炭素鋼のねじり疲労における平均応力効果

三角, 正明 / 大川, 功 / 程, 序

(出版者 / Publisher)

社団法人日本材料学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

学術講演会講演論文集 / 学術講演会講演論文集

(開始ページ / Start Page)

292

(終了ページ / End Page)

293

(発行年 / Year)

2002-05-22

1 緒 言

ねじりの疲労き裂成長に及ぼす平均応力の影響は、繰返し応力/ひずみレベルや平均応力の種別とレベルのみならず材料の種類にも依存するため、疲労寿命予測にあたってはこのき裂成長挙動の相違を考慮すべきであることが指摘されている。著者らは先に、中炭素鋼を用いて繰返しねじりに静的引張りあるいは静的ねじりを付加した場合について疲労試験を行い、微小き裂の成長挙動と寿命に及ぼす平均応力の影響について検討したが、破壊き裂の巨視的形態は平均応力付加による応力状態の変化に良く対応するものの、き裂成長速度の相違は小さく、寿命に及ぼす平均応力の影響は軽微であった。¹⁾

このような平均応力条件下でのねじりの疲労挙動は、供試材の繰返し硬化/軟化特性にも関係があると考えられることから、本研究では平均応力付加にともなう繰返し応力-ひずみ応答の変化やラチェット変形が疲労寿命に及ぼす影響について検討した。

2 試料及び実験方法

前報¹⁾と同様に、供試材には機械構造用炭素鋼 S45C を使い、試験部の長さ 20mm、外径 16mm、肉厚 1.5mm の中空試験片に切削加工後、850℃で 1 時間保持後炉冷の熱処理を施した。熱処理後の静的強度は、引張りとねじりの降伏応力がそれぞれ 371MPa 及び 243MPa、引張り強さ 591MPa 及びねじり強さ 663MPa である。

疲労試験には電気油圧サーボ式軸力-ねじり試験機を用い、周波数 5Hz の正弦波繰返しねじりと静的引張りまたはねじりを負荷した。繰返しねじり応力振幅 τ_a は 155 MPa から 190 MPa の範囲(両振りでの寿命範囲 10^5 から 5×10^5 回)で、平均垂直応力は 96 MPa と 176 MPa、平均せん断応力は 55 MPa と 110 MPa とした。また平均せん断応力付加の場合、応力比 $R=-0.5$ と 0 の試験も行った。なお、平均応力付加による試験片直径の変化を考慮して、応力が所定の大きさとなるよう、試験途中で荷重及びトルクの補正を行った。またロゼットゲージを用いて、多数試験片法及び振幅変動法により各平均応力条件下での繰返し応力-ひずみ関係を求めた。さらに、予め試験部に付したマイクロピカース圧痕の位置の変化から、繰返しにともなうラチェット変形の累積過程を調べた。

3 実験結果及び考察

3・1 繰返し応力-ひずみ応答とラチェット変形

Fig. 1 は繰返し応力-ひずみ関係、 $\tau_a = k \gamma_a^n$ における繰返し強度係数 k と繰返し加工硬化指数 n の平均応力付加にともなう変化を平均応力/降伏応力に対して示したものである。強度係数と加工硬化指数は平均応力が大となるにつれていずれも増加し、その変化は図中に示

した式で近似できる。この k と n の変化にともない、せん断ひずみ振幅 γ_a は両振りの場合よりも減少する。

Fig. 2 は平均せん断応力及び平均引張り応力付加にともなう生ずるラチェットひずみ γ_c と ϵ_c の累積過程を示したものである。ひずみは繰返し応力と平均応力の増加にともなう増大し、 $R=0$ の高応力域ではラチェット変形が急速に進行し早期に破断したが、これを除けばラチェッティング速度は繰返しにともなう減少し、ひずみの変化は両対数線図上の直線でほぼ近似できる。

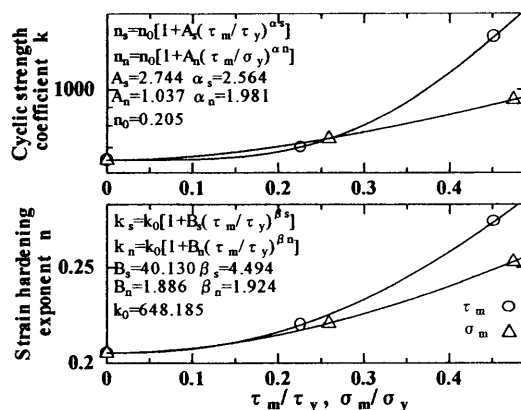


Fig. 1 Variation of cyclic strength coefficient and strain hardening exponent with application of mean stress.

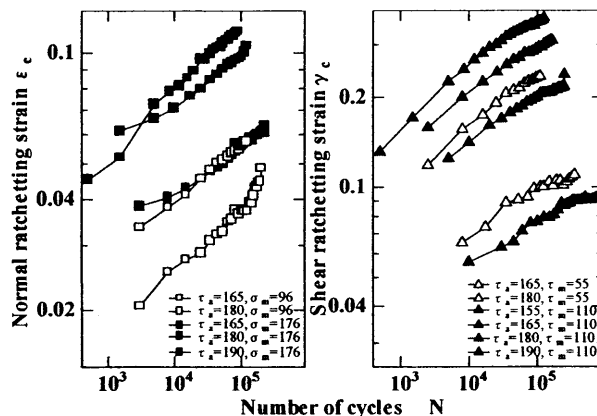


Fig. 2 Accumulation of cyclic ratchetting strain.

3・2 疲労寿命に及ぼす平均応力の影響

Fig. 3 に S-N 線図を示す。左方の×印は $R=0$ の場合で、ラチェット変形が急速に進行して早期に破断したものである。これ以外の寿命点も、高繰返し応力域では両振りの S-N 線図よりも短寿命側にあるが、平均応力の付加が寿命に及ぼす影響は小さい。

Fig. 4 は寿命を塑性せん断ひずみ幅 $\Delta \gamma_p$ に対して示したものである。Fig. 1 から明らかなように、平均応力付

加により繰返し強度係数と加工硬化指数はともに増加するため、塑性ひずみ幅は減少する。このため高繰返し応力、高平均応力の場合の寿命点は下方にシフトする結果となり、平均応力付加による繰返し硬化の影響が大きいことがわかる。

3・3 平均応力下での疲労寿命評価

前節で示したように、平均応力の付加は塑性ひずみ幅を減少させる一方、ラチェット変形を引き起こし、これが材料の破断延性の低下に寄与すると考えられる。²⁾ また平均せん断応力付加の場合、き裂面の凹凸のためき裂成長に対する寄与は小さいが、平均引張り応力付加の場合、Stage I, Stage II 成長の場合ともき裂面上に引張りひずみを生じ、き裂成長に寄与すると考えられる。これらを考慮して、次式の関係仮定した。

$$\int_0^{N_f} (\Delta\gamma_p + B \cdot \varepsilon)^{\frac{1}{\beta}} dN = \left[C - D \int_0^{N_f} \frac{d\gamma_c^*}{dN} dN \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (1)$$

C, β は両振りの Manson-Coffin プロット (Fig. 4) 中の定数, γ_c^* はラチェットひずみで、平均せん断応力の場合 $\gamma_c^* = \gamma_c$, 平均垂直応力では $\sqrt{3} \varepsilon_c$ とした。ここで、Fig. 5 に示すように、平均応力付加により塑性ひずみ幅 $\Delta\gamma_p$ は減少する一方、破壊直前のラチェットひずみ γ_{cf}^* は増加することを反映して、近似的に

$$\Delta\gamma_p \cdot \gamma_{cf}^* = F N_f^{\delta} \quad (2)$$

なる関係がある。よって定常時での塑性ひずみ幅 $\Delta\gamma_p$ を用いることにすると、平均応力付加条件下での Manson-Coffin 関係は次のように表せる。

$$(\Delta\gamma_p + B \cdot \varepsilon) \cdot N_f^{\beta} = C - D' \frac{N_f^{\delta}}{\Delta\gamma_p} \quad (3)$$

式中の材料定数 D' と δ は、平均せん断応力付加の実験点を回帰することにより求め、 $D'=0.254$, $\delta=-0.426$ を得た。さらにこの D' と δ を用いて、平均垂直応力の場合の実験点を回帰し、き裂成長に及ぼす垂直ひずみの影響の度合いを表す定数 B の値、0.201 が得られた。

Fig. 6 は平均応力条件下での結果を式(3)により表したものであるが、平均応力の付加による塑性ひずみ幅の減少とラチェット変形の増大を考慮することにより、全試験結果をほぼ統一的に整理し得ることを示している。

4 結 論

焼きなましした中炭素鋼のねじり疲労において、繰返し強度係数と加工硬化指数は平均せん断応力及び平均引張り応力の付加によりともに増加し、塑性せん断ひずみ幅は減少する。両振りねじりでの Manson-Coffin 則に、この塑性ひずみ幅の減少とラチェット変形による破断延性の低下を考慮すると、平均応力条件下での試験結果をほぼ統一的に整理できる。

参考文献

- 1) X. Chen et al., Proc. 6th ICB/MF&F, II, 563 (2001).
- 2) 遠藤達雄 他, 材料, 34, 1200 (1985).

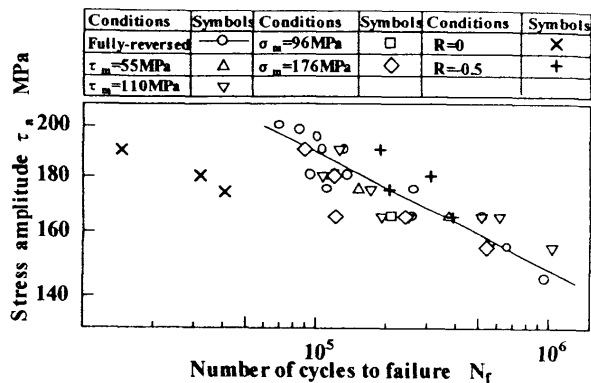


Fig. 3 S-N diagram.

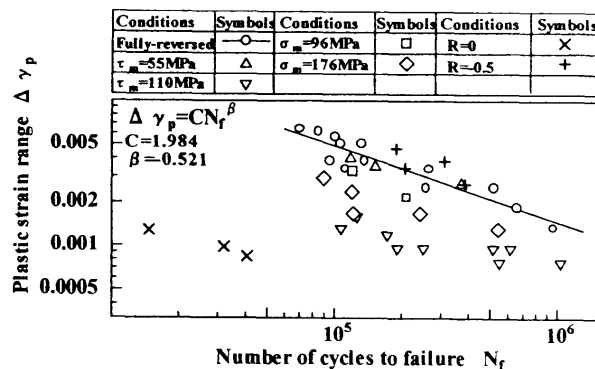


Fig. 4 $\Delta\gamma_p - N_f$ diagram.

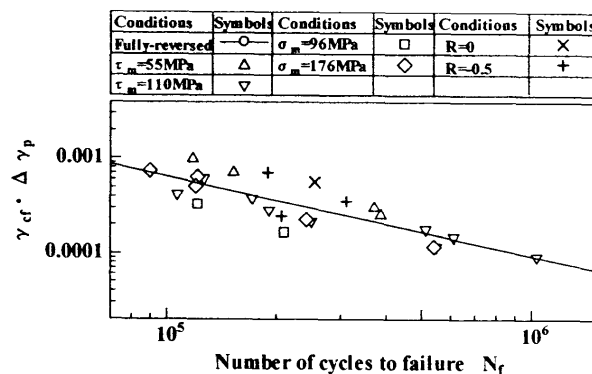


Fig. 5 $\Delta\gamma_p \cdot \gamma_{cf} - N_f$ diagram.

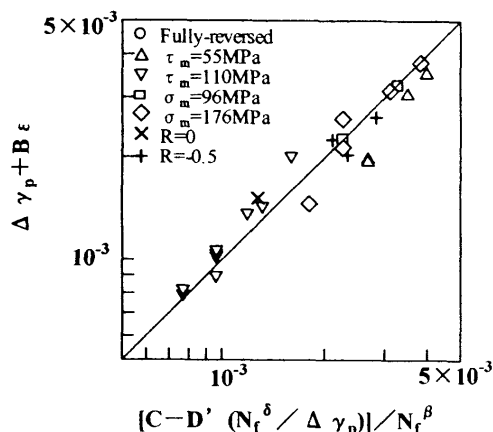


Fig. 6 $(\Delta\gamma_p + B\varepsilon) - (C - D' N_f^{\delta} / \Delta\gamma_p) / N_f^{\beta}$ diagram.