

SUS304 鋼切欠き材の 2 軸ひずみ計測と 切欠き底ひずみ拘束度の検討

大阪大学

正 小倉 敬二

大阪大学 正 西川 出

大阪大学 [院] 学○脇 裕之

大阪大学 大崎 吉大

1. 緒言

疲労き裂の発生起点は切欠きなどの形状不連続部であることが多いが、このような場所における疲労き裂発生寿命の予測には正確なひずみの評価が必要となる。しかし応力集中部では多軸応力状態であるためそのひずみ挙動は複雑であり、その評価も適当な手法が無いのが現状である。

そこで本研究では、非接触・高精度のレーザスペckル法を用い、種々の応力集中率、板厚、負荷応力幅条件の下で切欠き底 2 軸ひずみ挙動を計測することにより、切欠き底の変形拘束度について検討することとした。さらにこの切欠き底変形拘束度を考慮した等価ひずみの簡易算出法についても検討した。

2. 試験片と実験方法

供試材はオーステナイト系ステンレス SUS304 鋼である。試験片は応力集中率ならびに板厚の異なる 3 種類の片側切欠き材を用いた。応力集中率 K_t は 2.16 および 4.1、板厚 t は 10mm および 6mm である。すべての試験片には 1323K で 30 分保持後急冷の溶体化処理を施した。

電気・油圧サーボ疲労試験機を用いて、常温下応力比 $R=-1$ 、正弦波の荷重制御下で疲労試験を行った。疲労き裂発生寿命はハイスコープカメラを用いて切欠き底を観察することにより決定した。切欠き底の 2 軸ひずみ計測にはレーザスペckル 1 軸ひずみ計測システム (SSDG, Speckle Strain-Displacement Gage)^[1]を拡張した 2 軸ひずみ計測システムを用いた。このシステムでは 2 組計 4 台の CCD カメラを直角方向に配置し、パーソナルコンピュータによりそれら 4 台を同時に制御することにより、直交する平面内のひずみを同時に測定できる。計測システム全体の模式図を図 1 に示す。

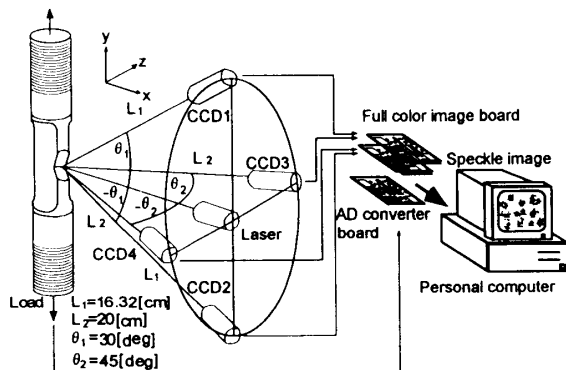


Fig.1 Schematic illustration of a biaxial strain measurement system.

3. 実験結果および考察

応力集中率ならびに板厚の異なる 3 種類の試験片を用いて疲労試験を行い、切欠き底全ひずみ幅を実測した。得られた公称応力-切欠き底ひずみ関係の 1 例を図 2 に示す。ひずみの添字は引張方向 (試験片長手方向) を y 、試験片板厚方向を z とした。応力繰返しに伴いひずみ幅が増大していることが分かる。次に全ひずみ幅と繰返し数の関係を図 3 に示す。図 3 (a) は応力集中率 $K_t=2.16$ 、図 3 (b) は $K_t=4.1$ の結果をまとめたものである。図より同じ K_t 値の下では公称応力幅 $\Delta\sigma_n$ が大きいほど切欠き底ひずみも大きく、繰返し軟化が顕著にひずみ変化に現れている。また材料を完全弾性体としたときの切欠き底最大応力幅 $K_t\Delta\sigma_n$ がほぼ等しい $K_t=2.16$ 、 $\Delta\sigma_n=410\text{MPa}$ と $K_t=4.1$ 、 $\Delta\sigma_n=220\text{MPa}$ のデータを比較すると、両者の $\Delta\varepsilon_y$ は約 0.6% でありほぼ等しいが、繰返し軟化の程度は K_t が小さい方が大きくなっている。これは切欠き底の塑性域寸法すなわち変形拘束度の違いによるものと考えられる。

次に全ひずみ幅比 $r=|\Delta\varepsilon_z/\Delta\varepsilon_y|$ すなわち板厚方向ひずみ拘束度と繰返し数の関係を図 4 に示す。図より繰返しに伴う r 値の変化は認められない。また応力幅が小さく、応力集中率が大きく、板厚が大きいほど r 値が小さいことが分かる。これは切欠き底の塑性域寸法 ω が小さいほど、また板厚 t が大きいほど板厚方向の変形拘束が大きくなるためであると考えられる。板厚 t と切欠き底の塑性域寸法 ω の比 t/ω に対する定常状態における全ひずみ幅比 r の関係を図 5 に示す。 ω は切欠き底弾性応力分布が降伏応力を超える領域として算定した^[2]。

$$\omega = \frac{\rho}{4} \left[\left(\frac{K_t \Delta\sigma_n}{\Delta\sigma_0} \right)^2 - 1 \right] \quad (1)$$

ここで ρ は切欠き底の曲率半径、 $\Delta\sigma_0$ は定常状態における繰返し降伏応力幅、 $\Delta\sigma_n$ は公称応力幅である。パラメータ t/ω と r 値すなわち板厚方向のひずみ拘束度が良く対応していることが分かる。

次に切欠き底の等価平均全ひずみ幅 $\Delta\bar{\varepsilon}_{eq}$ とき裂発生寿命 N_f の関係について調べる。ここでの等価全ひずみとしては Mises 型の等価ひずみを用いた。

$$\Delta\bar{\varepsilon}_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left\{ (\Delta\varepsilon_x - \Delta\varepsilon_y)^2 + (\Delta\varepsilon_y - \Delta\varepsilon_z)^2 + (\Delta\varepsilon_z - \Delta\varepsilon_x)^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

$\Delta\varepsilon_y$ 、 $\Delta\varepsilon_z$ は本研究では計測値である。一方 $\Delta\varepsilon_x$ は体積一定の条件 ($\Delta\varepsilon_x + \Delta\varepsilon_y + \Delta\varepsilon_z = 0$) より求めた。図 6 には単軸と仮定した場合と平面ひずみ ($\Delta\varepsilon_z$

=0) と仮定した場合の等価全ひずみ幅も合わせて示している。2軸ひずみから算出した等価全ひずみ幅とそれらを比較すると、 $K_t=2.16$ では単軸、 $K_t=4.1$ では平面ひずみと仮定したものが実測値に近いことが分かる。また図5より $t/\omega \approx 7$ を境にこの値より小さい場合は単軸、大きい場合は平面ひずみと仮定することにより $\Delta \varepsilon_y$ のみから等価全ひずみ幅の概算値が算出できる様である。このことから $\Delta \varepsilon_y$ が Neuber 則等の簡易推定法を用いて推算できれば、 t/ω 値をもとに単軸か平面ひずみかどちらに近いかを判定することにより等価全ひずみが推算できることになり、き裂発生寿命も推定可能となる。

4. 結言

- 繰返し軟化の程度は応力集中率一定の場合、切欠き底ひずみが大きいほど大きい。また切欠き底ひずみが同じ大きさであっても応力集中率が小さいほど、この傾向は顕著に現れる。
- 板厚方向と引張方向の全ひずみ幅比は、応力幅が小さく、応力集中率が大きく、板厚が大きいほど小さくなる。また繰返しに伴う全ひずみ幅比の変化は認められなかった。
- 切欠き底拘束度 t/ω が7程度より大きい場合は平面ひずみ状態、小さい場合は単軸状態と仮定することにより等価ひずみを概算可能である。

参考文献

- 西川, 小倉ら, 材料, 43, 1290(1994)
- M.M.Hammouda et al, Fatigue of Engineering Materials and Structures, 2, 139(1979)

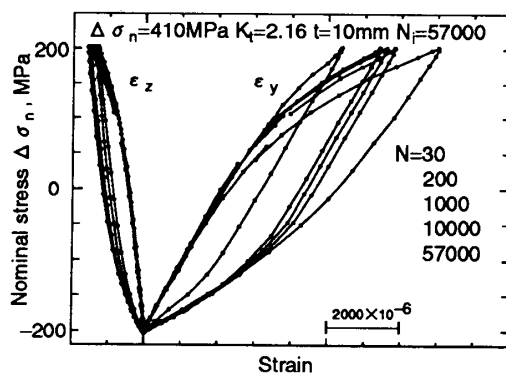
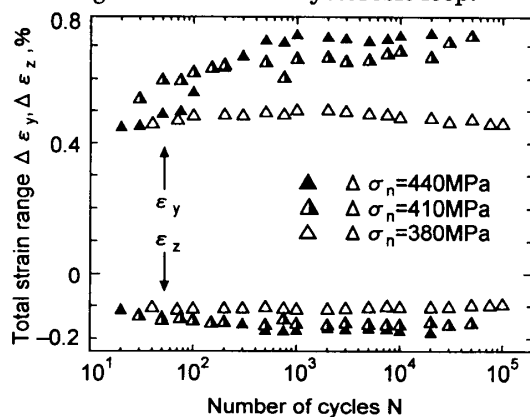
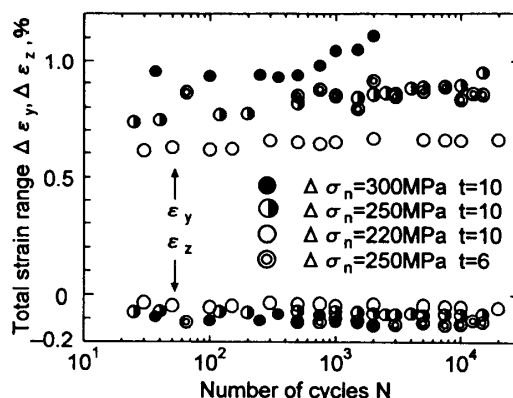


Fig.2 Stress-strain hysteresis loop.



(a) $K_t=2.16$



(b) $K_t=4.1$

Fig.3 Biaxial total strain range at notch root plotted against number of cycles.

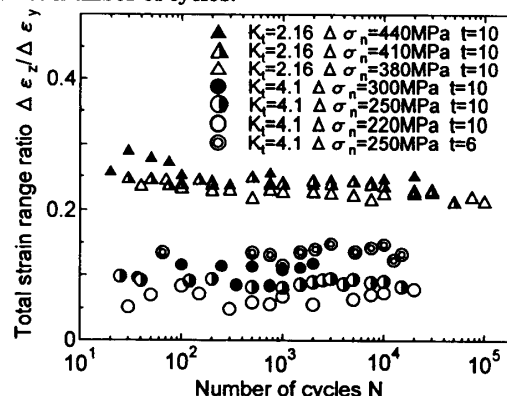


Fig.4 Total strain range ratio plotted against number of cycles.

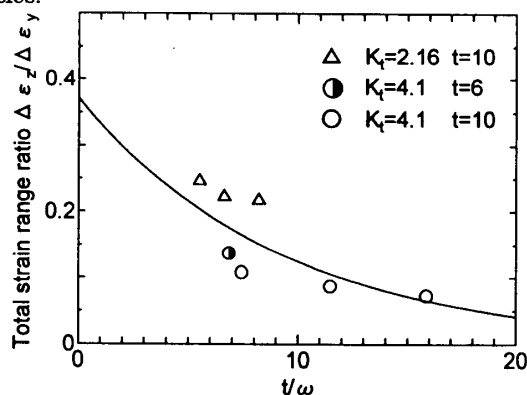


Fig.5 Total strain range ratio plotted against t/ω .

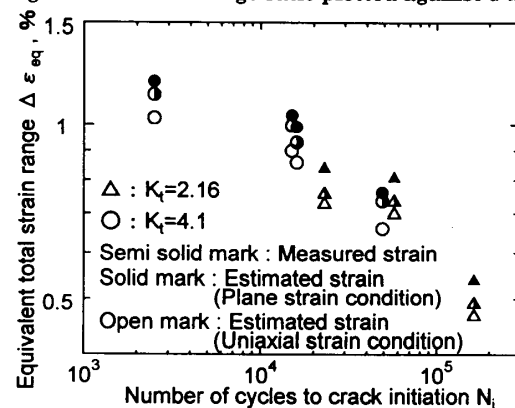


Fig.6 The relationship between equivalent total strain range and crack initiation life.