

大分大学 正 ○後藤真宏
九州大学 正 西谷弘信

鹿児島大学 正 皮籠石紀雄
大分大学 宮川浩臣

1. 緒言

疲労寿命は大きくばらつくことが知られており、このことは微小き裂の伝ば寿命が大きくばらつくことと対応している。微小き裂の伝ば挙動で特にばらつきが大きいのは、微視組織に影響される領域（き裂が特に小さい領域）においてである。本研究は、疲労寿命のばらつき特性に対して重要な役割を果たしている、微視組織的微小き裂の伝ば速度のばらつき特性を詳細に検討し、それによって疲労寿命そのもののばらつき特性を明らかにし、疲労寿命予測の信頼性を定量化するための根拠を与えようとするものである。

2. 材料・試験片及び実験方法

素材は、Table I に示す化学成分をもつS20C圧延丸棒である。それを885°Cで焼ならしてから試験片を製作した。Table IIに機械的性質を示す。熱処理後、最小部直径5mmの平滑試験片を加工し、600°Cの応力除去焼なましおよび電解研磨を行ってから実験に供した。

試験機は、小野式回転曲げ疲労試験機（50Hz）である。表面の観察およびき裂長さの測定はレプリカ法により行った。き裂長さ l は試験片表面の円周方向の長さ、応力 σ_a は最小断面部の公称曲げ応力振幅である。

3. 実験結果および考察

Fig. 1に、S-N曲線を示す。疲労寿命 N_f のばらつきは応力が疲労限度に近づくにつれ大きくなる傾向にある。

Fig. 2にき裂伝ば曲線を示す。き裂伝ば曲線のばらつきはき裂長さ0.2mmまでの範囲で特に大きく、その後の伝ば曲線のばらつきはそれほど大きくない。このときの0.2mmは結晶粒径($d=25\mu\text{m}$)の約8倍である。

Fig. 3に、平均的き裂伝ば曲線（Fig. 2の伝ば曲線の各プロット点を滑らかな曲線で近似したもの）から求めたき裂伝ば速度とフェライト粒径 d を基準としたき裂長さとの関係を示す。以後、平均的き裂伝ば曲線から求めた伝ば速度を平均的き裂伝ば速度 $d\ell/dN$ と呼ぶ。 $d\ell/dN$ のばらつきは応力が小さくき裂が短い程大きい。

平均的き裂伝ば速度をワイブル確率紙にプロットした結果、き裂長さが小さい場合は近似的に2母数ワイブル分布($\gamma=0$)で、ある程度長いき裂($l>8d$)では3母数ワイブル分布で整理できた。Fig. 4は、この場合の変動係数 $CV (=s/\mu, s: \text{標準偏差}, \mu: \text{平均値})$ と粒径を基準としたき裂長さの関係を調べたものである。いずれの場合もき裂長さの増加とともに CV は減少し、応力の

小さい方が減少の程度は大きい。また、き裂長さが大きくなれば CV は飽和する($CV=0.3$)傾向が認められる。

次に、主き裂の伝ば挙動と組織との関係をき裂発生段階から詳細に調べた結果を示す。Fig. 5に、き裂伝ば速度 $d\ell_1/dN$ 、 $d\ell_2/dN$ とき裂発生点を原点としたき裂長さ l_1 、 l_2 の関係を示す。き裂が短いときに起こる伝

Table I. Chemical composition (wt %).

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.21	0.21	0.47	0.014	0.017	0.21	0.06	0.09

Table II. Mechanical property.

MPa				%	Hv*
σ_{ts}	σ_b	σ_r	ψ		
324	498	978	63.2	146	

* Vickers hardness (Load: 9.8N).

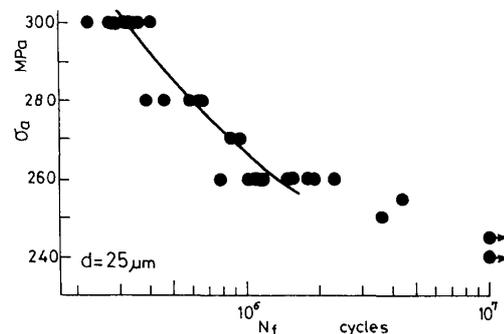


Fig. 1 S-N curve.

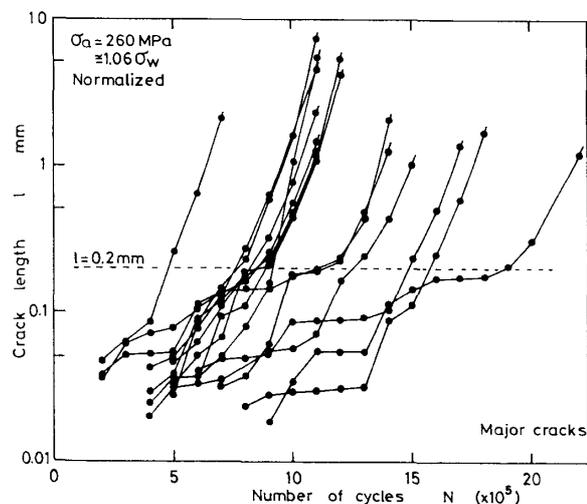


Fig. 2 Crack propagation curves.

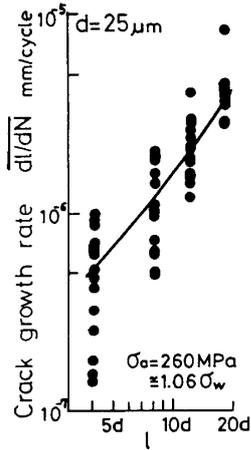


Fig. 3 $\overline{d\ell/dN}$ vs crack length relation.

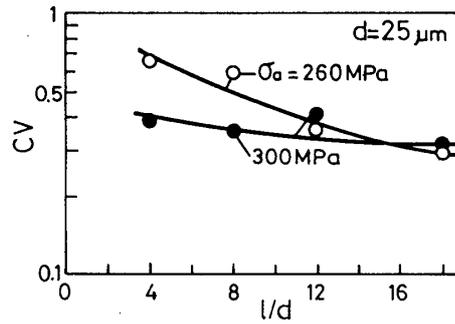


Fig. 4 CV vs ℓ/d relation.

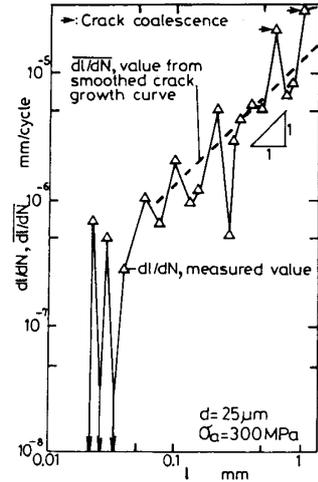


Fig. 6 Crack growth rate $d\ell/dN$, measured value, and $d\ell/dN$, average value, vs ℓ relation.

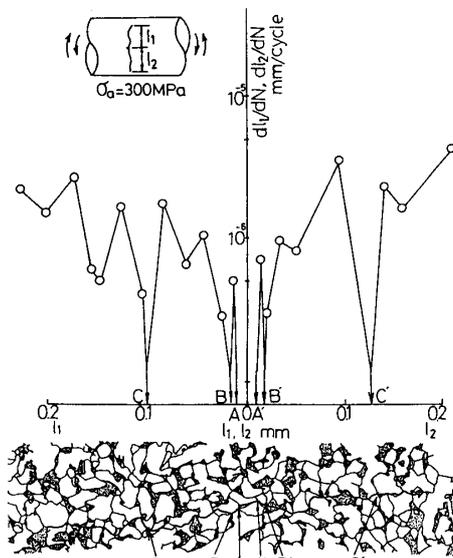


Fig. 5 Influence of microstructure on the crack growth.

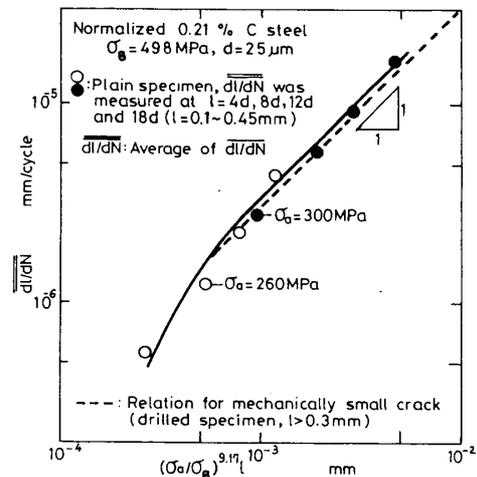


Fig. 7 $\overline{d\ell/dN}$ versus $(\sigma_a/\sigma_B)^n \ell$ relation for cracks with dimension of order of the microstructure ($\ell = 4d \sim 18d$).

ば速度の停滞は、き裂が粒界およびパーライトに達したときに起こっており、き裂伝ば速度の変動が微視組織に起因した現象であることが分かる。

Fig. 6に、き裂寸法の大きいところも含めたき裂伝ば速度とき裂長さの関係を示す。図中△印が実測値を基に求めたき裂伝ば速度 $d\ell/dN$ である。点線は、実測値を平均的に通るように引いた滑らかな伝ば曲線から求めた平均的き裂伝ば速度 $\overline{d\ell/dN}$ を示す。 $\overline{d\ell/dN} > 10^{-6}$ mm/cの範囲では、 $\overline{d\ell/dN} \sim \ell$ の関係が成り立つ。また、この平均的き裂伝ば速度は、伝ばが主として力学的因子により支配される小穴材の結果を、き裂長さの小さい領域まで外挿した値とほぼ一致する。このことは、実際の伝ば速度が粒界や相境界において大きく変動する微視的オーダーのき裂でも、 $\overline{d\ell/dN}$ を用いれば、それが 10^{-6} mm/cを十分越える範囲では、 $\overline{d\ell/dN}$ はき裂長さに比例し微小き裂伝ば則により評価できることを意味する。

Fig. 3に示した各き裂長さに対する $\overline{d\ell/dN}$ の15本の試

験片における平均値 $\overline{d\ell/dN}$ を、材質の影響を一部考慮した微小き裂伝ば則

$$\frac{d\ell}{dN} = C_3 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_B} \right)^n \ell \quad (1)$$

により整理したものを Fig. 7に示す(σ_B :引張強さ)。ここで、伝ば則の定数 n の値($n=9.17$)は炭素鋼焼ならし材で既に得られている関係により決定した。多少のばらつきは認められるが、 $\overline{d\ell/dN} > 10^{-6}$ mm/cであれば $\overline{d\ell/dN}$ は式(1)により整理できる。図には、点線で伝ば挙動が主として力学的因子により支配される小穴材から得られた微小き裂の $d\ell/dN = (\sigma_a/\sigma_B)^n \ell$ 関係($\ell > 0.3$ mm)を示す。15本の主き裂の $\overline{d\ell/dN}$ の平均値 $\overline{d\ell/dN}$ を式(1)で整理したものは、 $\overline{d\ell/dN} > 10^{-6}$ mm/cであれば長いき裂の関係とほぼ重なる。すなわち、長いき裂の $d\ell/dN = (\sigma_a/\sigma_B)^n \ell$ 関係から微視的き裂の $\overline{d\ell/dN}$ を評価できる。

結論・文献: 省略