

大分大学 正 ○後藤真宏

大分大学 正 山本 隆栄

鹿児島大学 正 皮籠石紀雄

### 1. 緒言

平滑材に発生した結晶粒オーダーの微小き裂の伝ば挙動は組織の影響を強く受け、伝ば速度が大きく変動することが知られている。一方、欠陥により部材の疲労限度が平滑試験片から得られた値より低下することがある。このような欠陥を起点として低応力（平滑材の疲労限度以下）で発生したき裂の場合、結晶粒に比べて寸法がかなり大きくても（例えば 10 結晶粒以上）き裂伝ば速度はそれ程大きくなく、き裂が組織の影響を強く受けて伝ばすると思われる。組織の影響に関して、平滑材の疲労限度以上の応力下で伝ばする微小き裂を対象とした研究が多く、平滑材の疲労限度以下の応力下で伝ばする微小表面き裂を取扱った報告は多くない。

本研究では以上のことを考慮して、S20C 焼なまし平滑材を用いて回転曲げ疲労試験を行った。その際、表面に穴径 0.1 mm の微小穴を有する試験片を用いて、平滑材の疲労限度以上および以下の応力レベルにおけるき裂伝ば速度の変動と伝ば寿命の評価について検討した。

### 2. 材料・試験片及び実験方法

素材は市販の S20C 圧延丸棒であり、それを 920°C(1hr 保持)にて焼なましした。熱処理後の機械的性質は、 $\sigma_y = 263$  MPa,  $\sigma_u = 467$  MPa である。

熱処理後、平滑試験片を製作した（試験片は、浅い環状切欠き(半径:20mm, 深さ:0.25mm)を有するが、その切欠き係数は 1 に近く実質的には平滑材とみなせる）。試験片製作後、600°Cにて応力除去焼なましを行い、さらに電解研磨により表面を直径で約 50  $\mu$ m 程度取り除いた。電解研磨後、試験片中央部表面に微小穴(穴径・深さ共に 0.1mm)を加工し実験に供した。使用した試験機は、小野式回転曲げ疲労試験機（容量:14.7Nm, 回転速度:60 Hz）である。試験片表面の観察はレプリカ法により行った。応力  $\sigma_a$  は、穴の存在を無視した試験片最小断面部の公称曲げ応力振幅であり、き裂長さ  $l$  は穴径を含めた試験片周方向の長さである。

### 3. 実験結果および考察

図 1 に微小穴材および平滑材の S-N 曲線を示す。微小穴材および平滑材の疲労限度はそれぞれ 205 および 225 MPa である。また、いずれの試験片も

疲労寿命のばらつきの程度は応力の低下とともに増大する傾向にある。

図 2 に、微小穴材のき裂伝ば曲線( $\ln l$  vs  $N$  関係)を示す。疲労限度に近い  $\sigma_a = 210$  MPa の場合、き裂は比較的長い寸法 (1 mm 程度) まで一時的な停留・減速を伴いながら伝ばしている。き裂伝ばに組織が強く影響しない範囲では、応力が相対的に小さければ ( $\sigma_a \leq 220$  MPa) 式(1)により、大きければ ( $\sigma_a \geq 240$  MPa) 式(2)により  $dV/dN$  を決定できた。

$$dV/dN = C \Delta K^4 \quad (1)$$

$$dV/dN = C_1 \sigma_a^n l \quad (n=7.5) \quad (2)$$

平滑材に発生した結晶粒オーダーのき裂の伝ば挙動が結晶粒界や相境界など組織の影響を強く受けることが指摘されている。図 3 に、微小穴材の  $dV/dN$ - $l$  関係を示す ( $l > 0.3$  mm)。(a)は  $\sigma_a = 220$

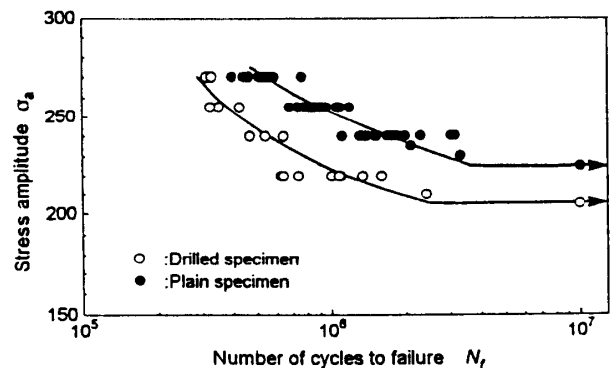


Fig.1 S-N curve for drilled and plain specimens

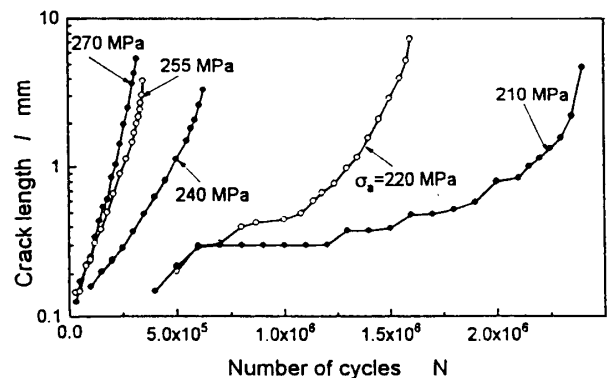
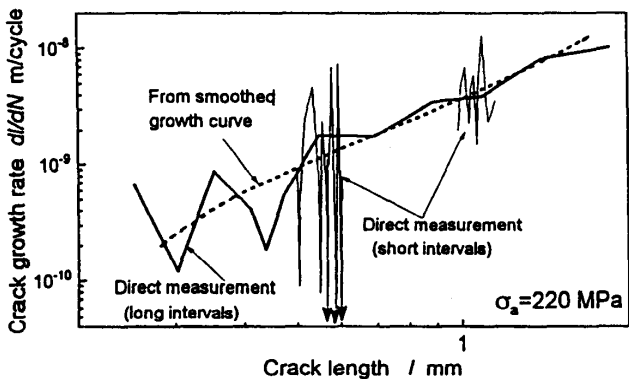


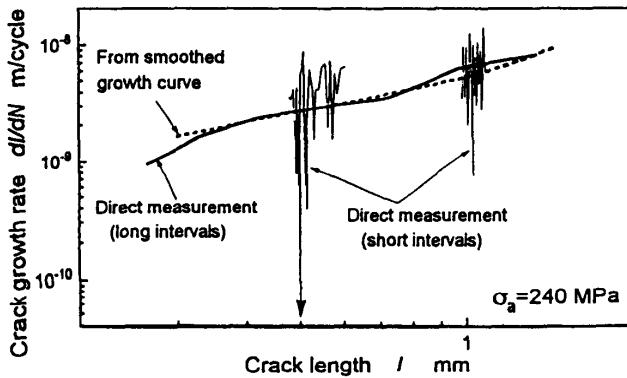
Fig.2 Crack growth curve for drilled specimens

MPa ( $< \sigma_{wo}$ : 平滑材の疲労限度)であり、(b)は  $\sigma_a=240$  MPa ( $> \sigma_{wo}$ ) の場合である。図中、 $dV/dN$  は異なる 3 種類の方法で計算した。すなわち、①滑らかな曲線で近似した伝ば曲線から計算したもの(点線)、②  $\Delta N=0.002 \sim 0.003 N_f$  の場合(細い実線)、および③  $\Delta N=0.04 \sim 0.06 N_f$  の場合(太い実線)である。ここで、 $\Delta N$  はき裂長さを測定した間隔であり、き裂伝ば速度は  $dV/dN = \Delta V / \Delta N$  ( $\Delta V$ : き裂長さの増分)により計算した。また、②の場合は  $0.5 < l < 0.6$  mm および  $1.0 < l < 1.1$  mm のき裂長さの範囲を対象として  $dV/dN$  を求めた。いずれの応力の場合も測定間隔の小さい②における伝ば速度の変動が特に大きく、き裂長さが小さいほど変動の程度は大きくなる。また、①の  $dV/dN - l$  関係は変動する②、③の関係のほぼ平均的な位置を通っている。図中  $\downarrow$  は  $dV/dN < 10^{-11}$  m/cycle の伝ば速度を意味するが、②の方法では  $\sigma_a = 220$  MPa における比較的長いき裂 ( $l = 0.6$  mm) でも  $dV/dN$  は大きく変動し、一時的な停留・減速・加速を繰返しながら伝ばした。このように急激な伝ば速度の低下は、多くの場合き裂先端が結晶粒界およびフェライト/パーライト境界に達したときに生じた。

平滑材に発生した結晶粒オーダーのき裂伝ばに及ぼす組織の影響に関して、SCM435 では結晶粒界



(a)  $\sigma_a = 220$  MPa



(b)  $\sigma_a = 240$  MPa

Fig.3 Fluctuation of crack growth rate which was calculated from different three ways

がき裂伝ばに及ぼす影響は平均結晶粒径の 3 倍程度までが顕著であり、それ以上の長さのき裂では粒界の影響は認められないこと、また限られた材料ではあるが、組織の影響が顕著に現れるき裂長さとして組織寸法の 8 倍程度を考えればよいことなどが報告されている。一方、き裂が平滑材の疲労限度  $\sigma_{wo}$  以下の応力で伝ばする小穴材では、結晶粒径の 15 倍を越える長さのき裂 ( $l > 0.5$  mm のき裂) の伝ば挙動に粒界の影響が顕著に認められた。

図 4 に、広い範囲の応力の下における  $dV/dN-l$  関係を図 3 で示した①、③の方法で求めた結果を示す。いずれの応力の場合も、①による関係は変動する③の関係のほぼ平均的な値を通っており、伝ば速度が組織の影響により大きく変動する場合でも、滑らかな曲線で近似した伝ば曲線から計算した伝ば速度によりき裂伝ば寿命を評価できると考えられる。また、③の場合応力およびき裂長さの減少と共に  $dV/dN$  の変動は大きくなるが、 $dV/dN > 10^{-9}$  m/c であればいずれの場合も  $dV/dN$  の変動の程度はそれ程大きくない。すなわち、 $dV/dN > 10^{-9}$  m/c で伝ばする駆動力の大きいき裂では、き裂伝ばに及ぼす組織の影響は小さくなく、いずれの応力・き裂寸法においても  $dV/dN$  が力学的パラメータによりほぼ決まると思われる。実際に、 $dV/dN > 10^{-9}$  m/c の範囲の伝ば寿命を  $\sigma_a < \sigma_{wo}$  の範囲は式(1)により、また  $\sigma_a > \sigma_{wo}$  の範囲は式(2)により予測したところ、実用上十分の精度で、微小表面き裂の伝ば寿命が予測できた。

### 結 論・文 献：省 略

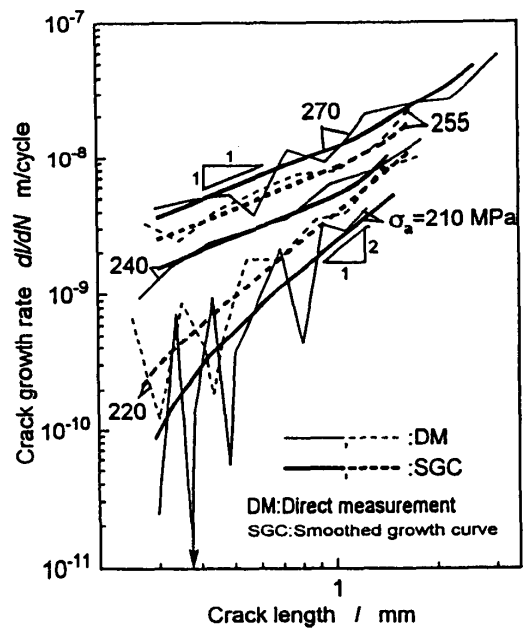


Fig.4  $dV/dN$  vs  $l$  relation for wide stress range