

### 133 曲げねじり二段多重変動荷重応力下におけるき裂成長と疲労強度

高橋, 秀夫 / 三角, 正明 / 大川, 功 / 池谷, 正義

---

(出版者 / Publisher)

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

(巻 / Volume)

46

(開始ページ / Start Page)

183

(終了ページ / End Page)

184

(発行年 / Year)

1997-05

# 133 曲げねじり二段多重変動荷重応力下におけるき裂成長と疲労強度

法政大学工学部 正 大川 功 法政大学工学部 正 高橋 秀夫  
 法政大学 [院] 学 ○ 池谷 正義 成蹊大学工学部 正 三角 正明

## 1. 結論

実機は変動振幅の組合せ荷重の繰返しを受けて疲労破壊する事例も多いが、このような荷重条件下でのき裂の成長挙動や疲労破壊に関する研究は、軸力や曲げが単独で作用する場合に比べて少ない。

本研究では、組合せ曲げねじり応力下において過大、過小応力間で二段多重疲労試験を行ってき裂の成長過程を観察し、過大応力下でのき裂成長に及ぼす過小応力の影響および過小応力繰返しによる疲労損傷の累積について検討した。

## 2. 試料および試験方法

機械構造用炭素鋼 S45C 丸棒素材より、試験部 (直径 8mm, 長さ 20mm) の中央に浅い切欠きを有する中実試験片に切削加工し、850℃で 1 時間保持後炉冷の熱処理を施した。

共振型曲げねじり試験機を用い、組合せ応力比  $\lambda = \tau/\sigma$  が 0 (曲げ), 0.5, 2, および  $\infty$  (ねじり) の一定振幅および二段多重変動振幅下で疲労試験を行った。変動試験は過大率 40%の応力  $\sigma_H$  (寿命はおよそ  $7 \times 10^4$  回) と過小率 50%および 20%の疲労限度以下の応力  $\sigma_{L1}$ ,  $\sigma_{L2}$  間で行い、1 ブロック中の過大、過小応力の繰返し数はそれぞれ  $10^4$  回および  $10^6$  回とした。また、過小率 50%の試験では応力上昇と下降の両方について、過小率 20%の場合は応力下降のみについて試験を行った。その際、切欠き部より採取したレプリカからき裂の長さや方向

を読み取り、破壊き裂の成長過程を観察した。

## 3. 実験結果および考察

一定および変動応力下での長さ 0.05mm のき裂発生までの過大応力繰返し数を図 1 に示す。組合せ応力比が小さいほどき裂発生寿命は長く、変動応力下でのき裂発生寿命は 20%過小応力の場合やや短い。一定応力のそれと大差なく、応力負荷順序による違いも明瞭にはみられない。以下、50%過小応力を負荷した場合については、負荷順序により区別せずまとめて示す。

変動応力下でのき裂成長挙動を図 2 に示す。最終的な破壊は、ねじりの場合、最大せん断応力  $\tau_{max}$  方向 (試験片軸方向) で、また他の応力比では最大主応力  $\sigma_{max}$  に垂直な方向で生じた。このようにき裂の成長方向が応力比により異なることを考慮し、各方

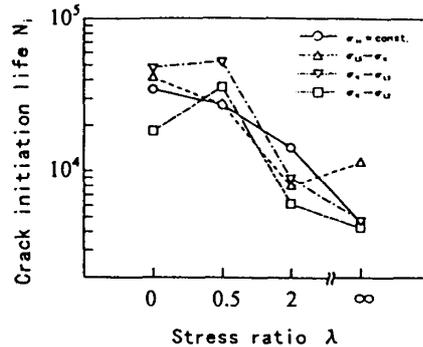


Fig1 Crack initiation life

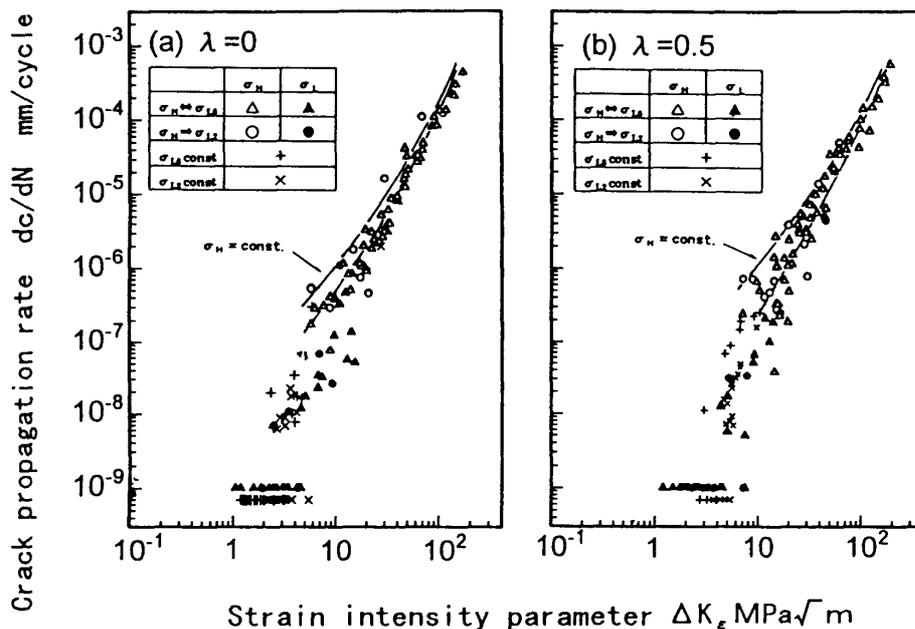


Fig. 2  $dc/dN$  vs  $\Delta K_e$  diagrams

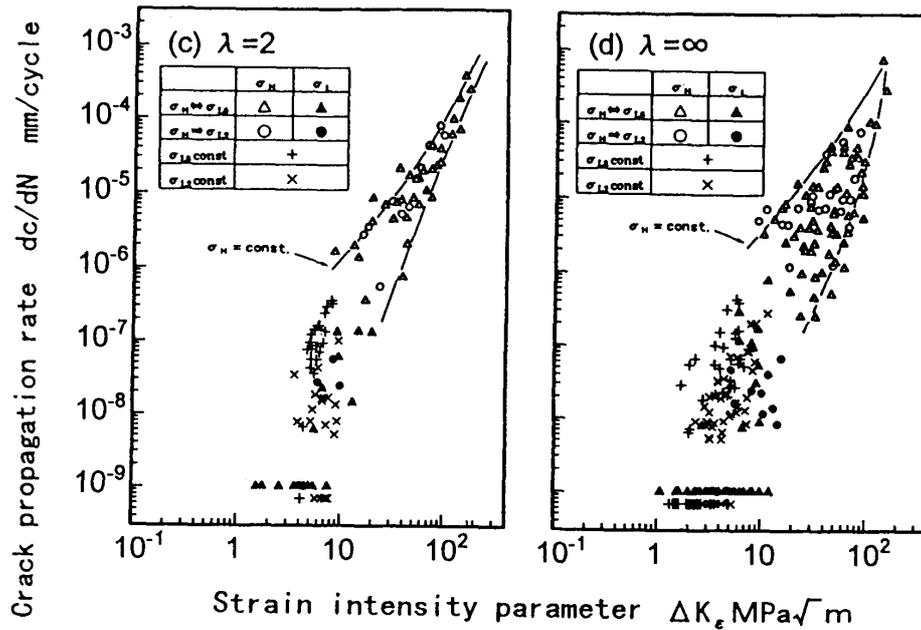


Fig. 2  $dc/dN$  vs  $\Delta K_e$  diagrams

向に投影したき裂長さを用いてき裂成長速度  $dc/dN$  を求めた。また、 $dc/dN$  の整理には、破壊力学パラメータとして便宜的に、ねじりの場合については、 $\Delta K_e = G \Delta \gamma_{max} (\pi c)^{1/2}$  を、また他の応力比については  $E \Delta \epsilon_{max} (\pi c)^{1/2}$  を用いた。

図中には過大応力一定試験での  $dc/dN$  のばらつき幅を合わせて示しているが、これに比べ、変動試験の過大応力の成長速度は過小応力負荷の影響を受けてやや低下している。変動試験の過小応力下でのき裂成長は、 $10^6$  回の繰返しに間に 0.01mm 以上の伸長が認められたものを対象とし、これ以下のものは伸長なしとして図の下端部に表示した。過小応力の繰返しによりき裂が成長し、疲労損傷を与える限界の長さを表 1 に示す。限界値は応力比および過小率が大きくなるにつれて長くなる傾向にある。

また、予き裂導入後、650℃ 1 時間保持後炉令の焼なましを施して前履歴の影響を取除いた試験片に過小率 50% と 20% の応力を  $10^6$  回負荷し、過小応力下でのき裂伝ば限界長さを調べた結果を、図 2 および表 1 に示す。いずれの応力比でも変動試験での限界長さの方が長く、このことは過大応力繰返しの影響を受け、本来よりも長いき裂長さに達した後に疲労損傷を生ずることを示している。

本供試材の組合せ曲げねじり一定応力下での寿命はほぼ Gough の等価応力により整理できる (ねじりと曲げの疲労限度比は 0.63) ことから、曲げの S-N 線図をもとに、変動応力下での累積損傷度を Miner 則および修正 Miner 則により評価した。Miner 則による評価では過小率 20% の結果は危険側となる

Table 1 Critical crack length: dimensions in mm

Stress ratio $\lambda$	Variable stress		Constant stress	
	$\sigma_{L2}$	$\sigma_{L1}$	$\sigma_{L2}$	$\sigma_{L1}$
0	0.20	0.035	0.13	0.025
0.5	0.25	0.08	0.15	0.06
2	0.6	0.10	0.15	0.06
$\infty$	1.0	0.17	0.20	0.07

Table 2 Fatigue life estimation

Stress ratio $\lambda$	50% Under-stress		20% Under-stress	
	Miner	Modified Miner	Miner	Modified Miner
0	1.008	1.160	0.541	1.044
0.5	1.280	1.457	0.950	1.923
2	0.664	0.749	0.406	0.767
$\infty$	1.222	1.377	0.827	2.090

が、修正 Miner 則では  $\lambda=2$  の結果を除き、安全側となる。また、一定応力下での寿命は Gough の等価応力で整理できるが、変動応力下での寿命の整理には必ずしも有効でないことがわかる。

#### 4. 結論

炭素鋼の二段多重組合せ曲げねじり応力下において、過大応力でのき裂成長速度は過小応力繰返しの影響を受けて低下する。一方、過小応力でもき裂伝ば限界長さ以上ではき裂は成長し、疲労損傷を生ずるが、過大応力の影響を受ける。変動応力下での寿命は修正 Miner 則を用いるとほぼ安全側に評価されるが、寿命は上記の過大、過小応力相互の干渉の度合いに左右されると考えられる。