

202

鉄鋼のねじり負荷におけるき裂成長と疲労寿命

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 程 序 成蹊大学工学部 正 三角正明

1 結論

機械部品が同位相同周期の組合せ荷重を受ける場合の疲労寿命を評価するため、たとえば曲げとねじりの組合せに関しては、これまで西原・河本、Gough、Findley らにより実用的な経験式が提案されている。これらの寿命評価式を用いるには、いずれも曲げとねじりがそれぞれ単独で作用する場合の疲労強度比あるいは時間強度比が必要であるが、両負荷でのき裂の成長挙動および疲労寿命は材料や繰返し応力レベルにより異なり、とくにねじりではき裂の成長過程で頻りに分岐を生ずるため複雑である。

本研究では、二種類の炭素鋼を用いて曲げとねじりの疲労試験を行い、一定応力振幅下での微小き裂の分布形態および主き裂の成長過程を観察するとともに、二段二重変動応力下でのき裂成長および疲労寿命について調べた。

2 試料および実験方法

供試材は機械構造用炭素鋼S45CおよびAlキルド低炭素鋼CH10Aで、直径8mm、長さ25mmの試験片を有する中実試験片に切削加工後、それぞれ850°Cおよび920°Cで1時間保持後冷却の熱処理を施した。き裂観察を行う試験片には浅く鈍い切欠きを付したが、切欠き係数は曲げの場合1.03、ねじりでは1.08と比較的小さい。

疲労試験は共振型曲げねじり試験機を使用し、S45Cでは曲げとねじり、CH10Aではねじりの一定応力振幅下において主き裂の成長過程および切欠き部の1.7mm×1.7mmの領域に発生した微小き裂の長さおよび方向の分布をレプリカ法により観察した。さらに、S45C平滑材を用い、過大率20%と40%の応力間で曲げの、また過大率10%と30%の応力間でねじりの二段二重変動試験を行って寿命を求めるとともに、CH10Aではねじりで同種の実験を行い、応力変動後のき裂成長を一定応力振幅下でのそれと比較した。

3 実験結果および考察

3.1 微小き裂の分布 図1と図2は曲げおよびねじりを受けるS45C材の寿命($N_f=10^5$)の約25%および95%の繰返し時の時点で発生した微小き裂の個数とその発生方向の関係を例示したものである。nはき裂の総数で、き裂長さは3つのランクに分けて表示し、また各き裂面上に作用するせん断および垂直応力の分布をそれぞれ破線と実線で示した。

曲げの場合、(a)の繰返し初期にはき裂方向は $\pm 90^\circ$ の軸方向を除く広い範囲に分布しているが、終期の(b)ではき裂長さが増すとともにき裂方向は $\theta=0^\circ$ の最大主応力面の近傍に集中する傾向を示す。これに対しねじりでは、繰返し初期より $\theta=0^\circ$ と $\pm 90^\circ$ の最大せん断面の近傍のみき裂

を生じており、繰返しによりき裂長さは増加するが方向は変化しない。CH10Aのねじりでは軸方向にのみ多数のき裂が発生した。き裂個数は繰返し応力が高くなるほど多く、低応力レベルでは繰返しこともない個数が増加するのに対し、高応力レベルでは合体によりやや減少する傾向を示した。

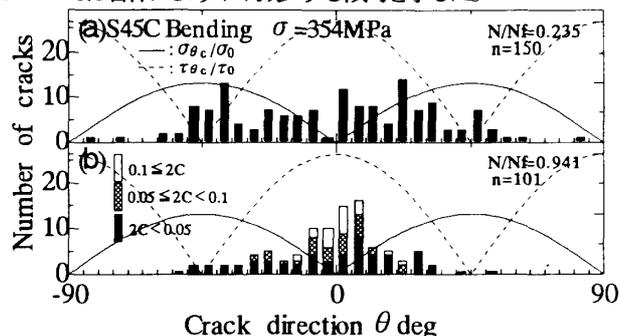


Fig. 1 Distribution of microcracks under bending.

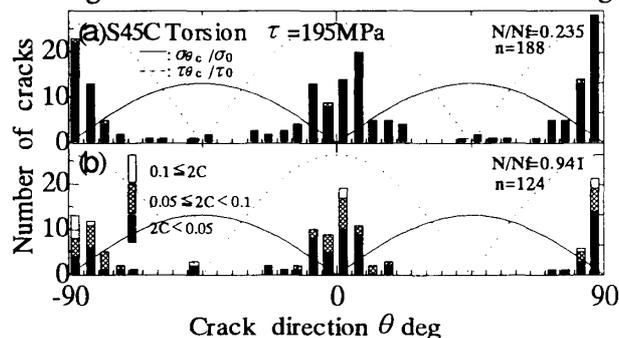


Fig. 2 Distribution of microcracks under torsion.

3.2 一定応力下でのき裂成長 図3は両材の曲げとねじりの一定応力振幅下での主き裂の成長過程を示したものである。き裂長さ $2c$ とき裂方向 θ は、それぞれき裂両端を結ぶ直線の長さおよびその直線に立てた法線が試験片軸方向となす角度とした。S45Cの曲げでは低応力ではき裂の発生が遅いが、いずれの応力レベルでもき裂はほぼ主応力面上で成長している。これに対しねじりでは、主き裂の成長過程において分岐を生じ、高応力レベルではき裂の発生数が多く合体も頻りに起こるため成長曲線は複雑である。図中の矢印は小さな分岐および最終的な主応力面への遷移の時期を示している。S45Cの高応力レベルでは最大せん断面上の長い破壊き裂を生じたが、低応力レベルではいずれもき裂方向は主応力面へと遷移し破壊に至っている。最終的なき裂方向の遷移時期は $N/N_f = 0.5 \sim 0.7$ で、その時点でのき裂長さは $0.13 \sim 1.03$ mmである。CH10Aでは、いずれの応力レベルでも最終的にき裂方向は主応力面へと遷移し破壊しているが、S45Cよりも全般に遷移時期は遅くその時点でのき裂長さも長い。

図4は、曲げではき裂を主応力面に、またねじりでは最大せ

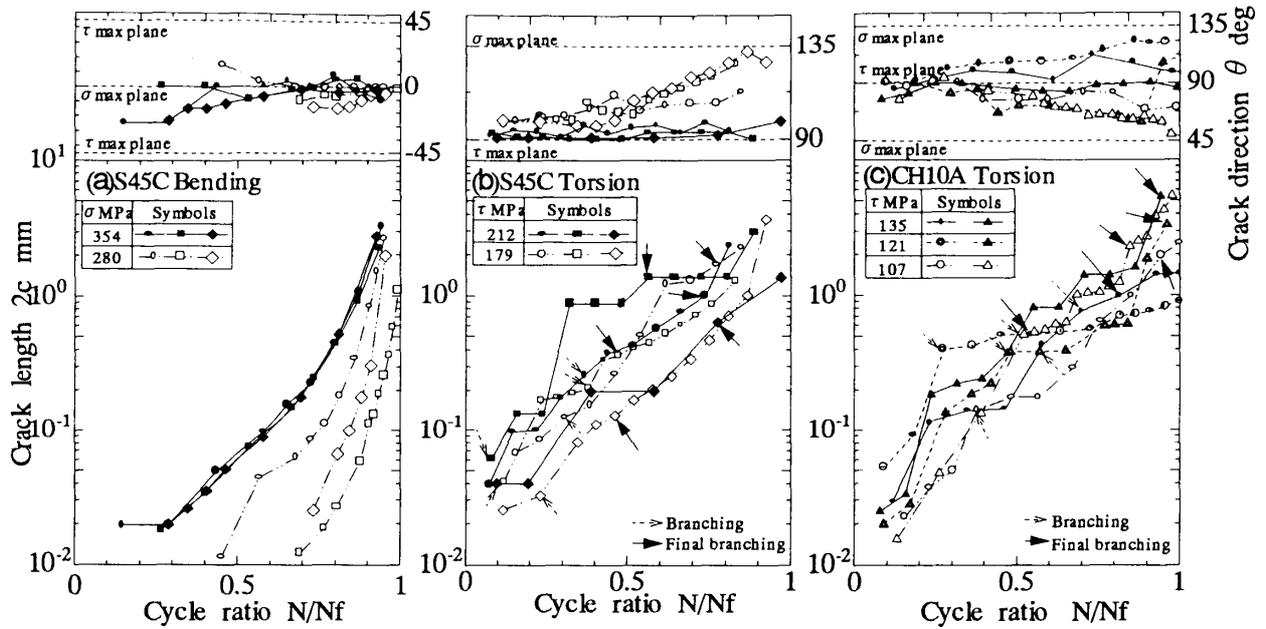


Fig.3 Crack growth curves.

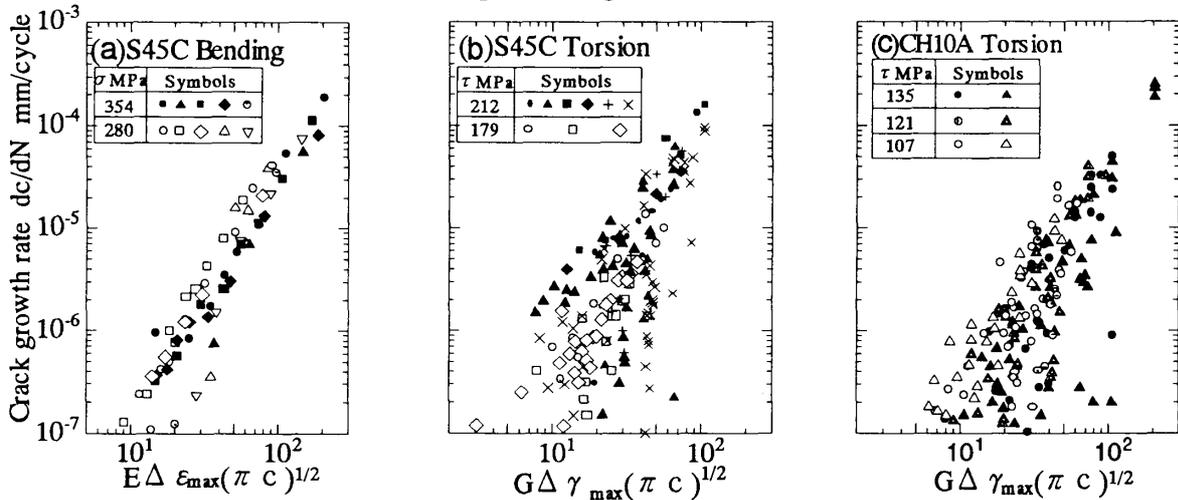


Fig.4 Crack growth rate vs. $E\Delta\epsilon_{max}(\pi c)^{1/2}$ or $G\Delta\gamma_{max}(\pi c)^{1/2}$.

断面に投影して求めたき裂長さからき裂成長速度を算出し、これらをそれぞれ、便宜的に $E\Delta\epsilon_{max}(\pi c)^{1/2}$ および $G\Delta\gamma_{max}(\pi c)^{1/2}$ を用いて整理したものである。全ひずみ $\Delta\epsilon_{max}$ と $\Delta\gamma_{max}$ は本供試材の軸力とねじりの繰返し応力-ひずみ線図より求めた。き裂成長速度はこれらのパラメータにより、曲げ、ねじりの場合とも応力レベルによらず帯状の領域に表示されるが、ねじりの場合き裂の分岐や合体および一時的な停留を含むため、成長速度はとくに高応力レベルにおいてかなり大きいばらつきを示した。

3. 3 二段二重変動試験結果 図5はS45C平滑材およびCH10A切欠き材の変動応力下での寿命を示している。S45Cでは曲げ、ねじりの場合とも応力下降ではほぼ Miner 則が成立し、応力上昇ではかなりばらつきがあるが $\sum N/N_f > 1$ となる傾向を示した。CH10Aでは応力上昇、下降ともほぼ Miner 則が成立する。この場合、破壊に関与したき裂は一次応力繰返しにより生じたき裂であったが、応力変動後の成長速度は一定応力振幅下でのそれとほぼ同等で、応力変動の影響はほとんどみられなかった。

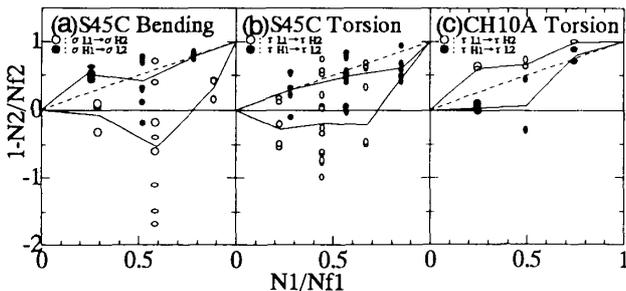


Fig.5 Results of step loading test.

4. 結論

炭素鋼の曲げ応力下でのき裂は、応力レベルによらず発生直後より主応力面上で成長するが、ねじりでは最大せん断面から主応力面への分岐や合体を生じ、最終的な分岐の時点を応力レベルが高いほど早い。二段二重試験では、鋼種により多少相違があるが、曲げねじりともに応力下降では $\sum N/N_f = 1$ 、応力上昇では $\sum N/N_f > 1$ となる傾向を示した。