

き裂進展における画像解析

大同工業大学 正 員 事口壽男

大同工業大学 学生員 ○若杉貴之、酒井忠

坪井啓一郎、長塚貴昭

1. まえがき

著者らはこれまで、き裂を動的観察¹⁾することによるき裂進展挙動、き裂進展速度、き裂長さとの応力拡大係数の関係を求めてきた。き裂進展挙動には、結晶粒界に沿って進む場合、結晶粒内を進む場合、結晶粒の手前で停留する場合の3つの挙動があり、き裂進展挙動と結晶粒の形状には何らかの関係がある。そこで、き裂進展挙動と結晶粒形状との関係を画像解析によって試みた。疲労試験は片振り試験と両振り試験を行った。き裂進展挙動に関する画像解析を行うために、疲労試験前では結晶粒画像の映像、疲労試験中では動的観察によるき裂進展挙動、試験後ではき裂進展軌跡を表す3種類の映像を準備した。画像解析には動的観察手法と光学顕微鏡による観察を併用した。画像解析により、①片振り試験、両振り試験の結晶粒界を進展するき裂の数と、結晶粒中を進展するき裂の数を調査した。②片振り試験、両振り試験のすべり線の状況を観察した。③片振り試験、両振り試験についてビッカース硬度計でき裂周辺の結晶粒の硬度を計測した。本文ではこれらの結果をまとめ破壊力学に寄与しようとするものである。

2. 実験概要

供試体にはSS400材を用いた。疲労試験前に結晶粒形状とその分布を把握するため試験片を7μmで鏡面仕上げし、硝酸アルコール溶液にてエッチング処理を施した。得られた組織を光学顕微鏡(倍率:100倍・400倍)にて撮影した。疲労試験前の映像をコンピュータに入力し無載荷状態の結晶粒界分布図を作成した(平均粒径15.5μm)。疲労試験中は、マイクロスコプ(倍率:1000倍)を使用してき裂の動的観察を行った。観察によって得られたき裂の伝播経路をあらかじめ作成しておいた結晶粒界分布図に書き込んだ。き裂の進展速度はビデオのタイマーを利用して求めた。疲労試験後は、き裂伝播の全体像を把握するために光学顕微鏡(倍率:100倍・400倍)を介して、ビデオテープに収録し、その後膨大なデータを編集した。荷重状態は、片振り試験、両振り試験の両方を行った。その条件を表-1に示す。この異なる応力比状態において、結晶粒界に沿って進展したき裂(粒界き裂)と、結晶粒内を進展したき裂(粒内き裂)との割合を調査した。また結晶粒内のすべり線の状況を観察した。さらにき裂近傍の結晶粒と、き裂から遠く離れた結晶粒の硬さをビッカース硬度計で測定した。

き裂が結晶粒形状に対しどのように進展するかを把握するために特にき裂の前方の結晶粒と最大せん断応力方向にある結晶粒に着目して、き裂進展のパターン認識を行った。

3. 画像解析結果と考察

疲労試験後の供試体についてマシノッチ先端より1.7mmまでを観測し、結晶粒界に沿って進展するき裂の数と、結晶粒内を進展しているき裂の数を調査した。ノッチ先端から1.7mmの範囲に限定したのは従来、き裂進展の挙動が不明確で

表-1 供試体と荷重条件

項目	ノッチ角 (度)	ノッチ深さ (mm)	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	応力比 R
片振り	60	5	87.5	8.1	0.1
両振り	60	5	62.5	-46.8	-0.75

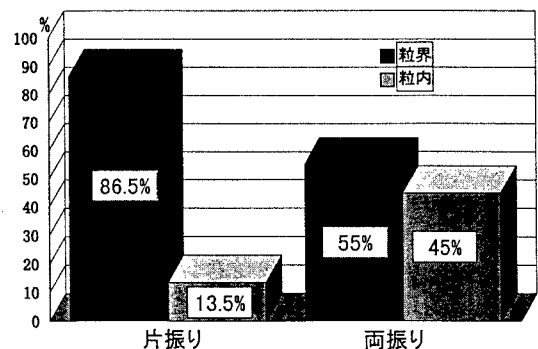


図-1 結晶粒界と結晶粒内におけるき裂進展分布

あった範囲に着目したからである。その結果を図-1に示す。これより片振りの疲労試験では、粒界き裂が、86.5%で、粒内き裂は13.5%であった。これに対し両振りの試験では、粒界き裂は55%、粒内き裂は45%となり、両振り試験では粒内き裂の割合が増加することが判った。また、動的観察中および実験後のすべり線の発生状況を観察した。写真-1,2にそれぞれ片振り、両振りのき裂近傍の状態を示した。写真-1,2(a)において、き裂の軌跡中黒線は粒界、白線は粒内を示す。すべり線は、片振り試験の場合より両振り試験において多く顕著に観測された(一例を写真-2(b)に示す)。疲労試験後の供試体についてビッカース硬度試験で硬度を測定した(写真-3)。結果を表-2に示す。近傍はき裂面、遠傍はき裂面から5~6粒子外側で測定した平均である。片振り試験でき裂近傍の結晶粒は293.7で、遠く離れた結晶粒は163.5であった。また両振り試験後ではき裂近傍での値は373であり、き裂遠隔点でのそれは182であった。これより両振り試験では、き裂近傍やき裂遠隔点の結晶粒においても硬度が高くすべり線の観察状況とよく一致した。

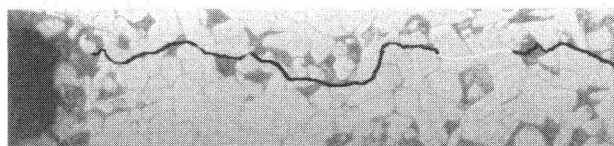
4.まとめ

画像解析によって、以下のことが明らかとなった。

- ①微視き裂の範囲での片振り試験では粒界き裂が多く、粒内き裂は少ない、両振り試験では粒内き裂が著しく多くなることが判った。
- ②すべり線は両振り試験において多く観測された。
- ③ビッカース硬さは、片振り試験片のき裂近傍では大きく、き裂遠傍点では小さい。両振り試験では、き裂近傍点、遠傍点とも、片振り試験片の硬さと比較して大きい値となる。

【参考文献】

- 1)事口寿男ら：鋼の微視き裂挙動の動的観察、鋼構造年次論文報告集 第2巻 1994年11月
- 2)岡本英明、事口壽男ら：応力比の差異による鋼材のき裂進展特性、土木学会中部支部 1996.3月

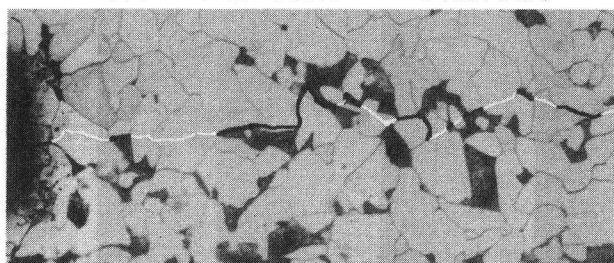


(a) き裂前

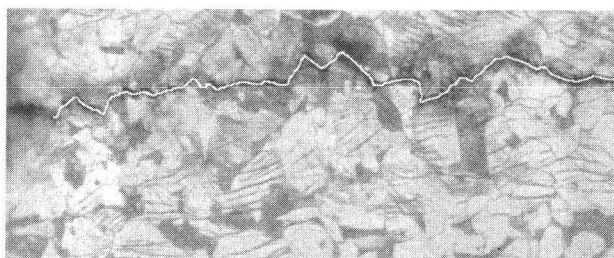


(b) き裂後

写真-1 微視き裂進展ルート (片振り試験)



(a) き裂前



(b) き裂後

写真-2 微視き裂進展ルート (両振り試験)

表-2 ビッカース硬さHV結果 (平均値)

項目	き裂近傍	き裂遠傍
片振り試験	294	163
両振り試験	373	182

備考 $HV = 1854 \times P / d^2$

P = load (gf), d = mean diagonal of indentation (μm)

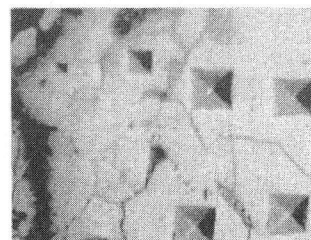


写真-3 ビッカース試験