

Q

疲労き裂はどのような機構で発生し、進展するのか教えてください。

参照 QNo. : FA-03, FA-13, FB-02, FB-07, FB-14, FB-18

A

疲労き裂は、材料表面の局所的な塑性変形の繰返しにより発生して、き裂先端の塑性変形による鈍化と再鋭化の繰返しにより進展する。

図 1 に典型的な疲労過程の模式図を示す。図 1 に対応する典型的なき裂進展過程の推移を図 2 に示す。疲労き裂の発生から最終破断までの過程は、一般的に、第 1 段階、第 2 段階、最終段階の三つに分類される。それぞれ、き裂面の変位様式は、第 1 段階ではモード II、第 2 段階ではモード I となる特徴がある。さらに、第 2 段階は、破壊様式によって、第 2a 段階、第 2b 段階、第 2c 段階の三つに分類される。

第 1 段階では、疲労き裂は表面の凹凸より発生して、すべり帯に沿って成長する。したがって、き裂面の変位様式はモード II となる。この時の疲労破面は、ファセット状の様相を呈する。その後、第 2 段階では、き裂面の変位様式はモード I となり、き裂は引張応力と垂直な方向に進展するようになる。

第 2a 段階では、き裂の進展は、材料の微視組織の影響を強く受け、き裂の屈曲、一時的な進展停止などを繰返しながら不連続的に進展する。したがって、疲労破面には微視組織の痕跡が現れる。

第 2b 段階では、微視組織の影響を受けず、連続的なき裂進展挙動を示すようになり、この領域では、いわゆるパリス則($da/dN = C\Delta K^m$)が成立する。また、疲労破面には、ストライエーションが現れる。

第 2c 段階では、き裂進展に静的破壊が関与して、疲労破面にはディンプルが混在するようになり、その後、最終破断に至る。なお、高サイクル疲労で応力集中源がない場合、疲労寿命のほとんどがき裂の発生から第 2a 段階の進展までに費やされることが知られている。

次に代表的な疲労き裂の進展機構として、第 2b 段階におけるストライエーションの形成について述べる。ストライエーションを伴う疲労き裂進展機構の模式図を図 3 に示す。簡単のために、き裂先端では対称な二つのすべり面が作動する場合を考える。き裂の先端では、負荷の際に二つのすべり面が作動し、き裂先端で新しい表面が形成され、き裂は塑性鈍化する。すべりは非可逆であるから、除荷の際には負荷の際と異なる(平行な)すべり面が逆方向に作動し、結果としてき裂は再鋭化する。このように、第 2b 段階の疲労き裂の進展は、応力繰返しの一回ごとのき裂の塑性鈍化と再鋭化の繰返しによってなされ、破面にはストライエーションが形成される。このようにして形成される典型的なストライエーションのフラクトグラフの一例を図 4 に示す。

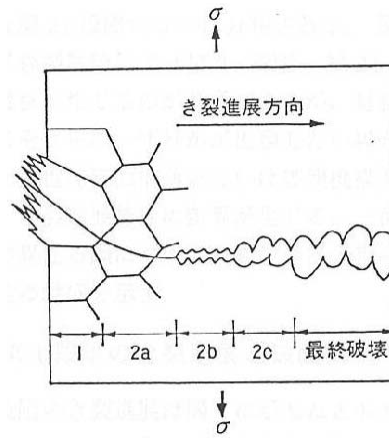


図1 典型的な疲労過程の模式図⁽¹⁾

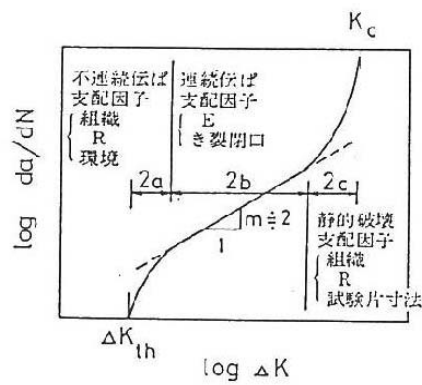


図2 典型的なき裂進展過程の推移⁽¹⁾

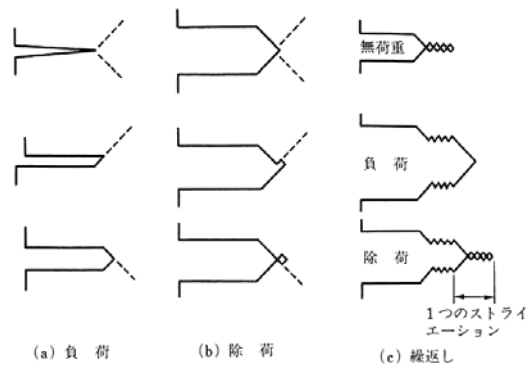


図3 ストライエーションを伴う疲労き裂進展機構の模式図⁽²⁾

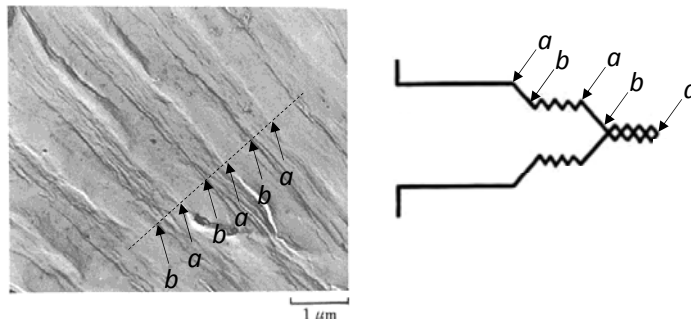


図4 ストライエーションのフラクトグラフの例⁽²⁾

[参考文献]

- (1) 小林 英男, 材料, Vol. 29, No. 317, (1984), p. 198.
- (2) 小林 英男, 破壊力学, pp. 37 - 133, 共立出版, (1993).