

Q

疲労のき裂閉口について教えてください。

参照 QNo. : FB-10, FB-18

A

疲労き裂の場合、図 1 に示すように、き裂自身によってその先端に形成された塑性域の中をき裂が進展するために、き裂先端後方のき裂壁(き裂自由表面)には塑性ストレッチが残留する。したがって、図 2 に示すように、疲労き裂(進展き裂)は理想き裂(停止き裂)よりも開口量が δ だけ小さくなり、除荷が 0 になる以前の引張荷重で閉口する。これが Elber により提唱された塑性誘起き裂閉口である⁽¹⁾。

疲労き裂の応力拡大係数範囲 ΔK は式(1)で定義されているが、実際には式(2)となり、これを有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} という。

$$\Delta K = K_{\text{max}} - K_{\text{min}} \quad (1)$$

$$\Delta K = K_{\text{max}} - K_{\text{op}} \quad (2)$$

ここで、 K_{max} は最大応力拡大係数、 K_{min} は最小応力拡大係数、 K_{op} はき裂閉口応力拡大係数(またはき裂閉口応力拡大係数)である。

疲労き裂と理想き裂の開口量の解析結果を用いて、 K_{op} が予測できる⁽²⁾。また、解析結果は、実験結果で検証されている⁽²⁾。疲労き裂進展速度 da/dN は式(3)に示すように、 ΔK_{eff} に依存する。

$$da/dN = C \Delta K_{\text{eff}}^2 \quad (3)$$

ここで、 C は材料定数である。式(3)において、 ΔK_{eff} のべき数は 2 であり、パリズ則の ΔK のべき数 m の最小値となる。

上記の説明から、き裂閉口はき裂が進展した後のき裂先端後方のき裂の自由表面(き裂面)における空隙と密接な関係があることがわかる。この空隙に影響を及ぼす現象と因子に起因する広義のき裂閉口がある。材料の組織に依存してき裂はジグザグに進展し、破面に粗さが生じる。したがって、破面同士の微視的な接触に基づきき裂閉口があり、これを破面粗さ誘起き裂閉口という。破面同士の繰返し接触が長時間にわたる場合、局部的にフレッチング酸化物が形成され、き裂内部の詰め物となる。これを酸化物誘起き裂閉口という。すなわち、酸化物誘起き裂閉口は、破面粗さ誘起き裂閉口を引金とする事象であり、両者を厳密に区別することはできない。これらと類似したメカニズムとして、腐食生成物、高温酸化皮膜などがき裂内部の詰め物としてある場合にも、き裂閉口の効果があることが知られている。

広義のき裂閉口における K_{op} の測定には、除荷弾性コンプライアンス法が適用されている⁽³⁾。この場合にも、式(3)が成立する。

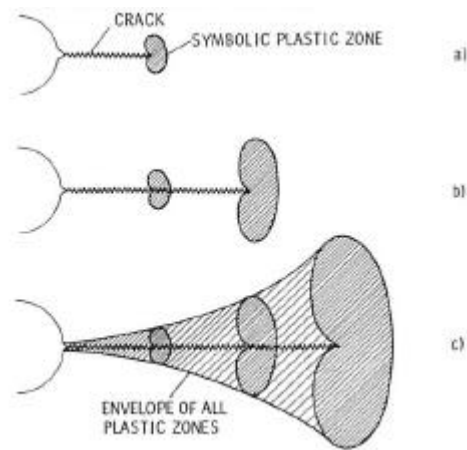


図1 疲労き裂周囲の塑性変形層⁽¹⁾

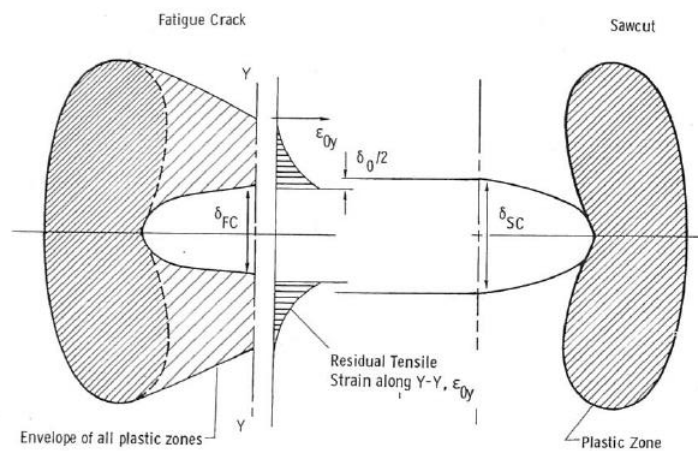


図2 疲労き裂と理想き裂の開閉口の比較⁽¹⁾

[参考文献]

- (1) W. Elber, "The Significance of Fatigue Crack Closure", ASTM STP, 486, (1971), pp. 230 - 242.
- (2) 小林英男, 疲労き裂進展特性とき裂閉口, 日本機械学会論文集 A 編, Vol. 49, No. 443, (1983), pp. 771 - 778.
- (3) 菊川真, 城野政弘, 田中健一, 高谷勝, 除荷弾性コンプライアンス法による低進展速度領域における疲労き裂進展速度とき裂開閉口挙動の測定, 材料, Vol. 25, No. 276 (1976), pp. 899 - 903.