

大阪大学工学部 大路清嗣, ○久保司郎

1. 緒言 高温条件下においては, 時間依存型(クリープ)き裂伝ばの存在により下限界近傍の疲労き裂伝ば特性が, 常温におけるそれと異なることが考えられるが, その影響を考慮した研究は殆どない. 著者らは, SUS304鋼の高温疲労き裂伝ばに関する実験を, クリープの影響の顕著な650℃, 大気中で実施した. その結果, 低き裂伝ば速度領域においては, 時間依存型き裂伝ばの存在により, 常温の場合とは異なる特異なき裂伝ば下限界挙動が現れた. 本報告では, このような実験事実に基づき, 高温疲労強度評価上の問題点について考察を加える.

2. 実験方法 実験は市販のSUS304鋼を用い, 650℃, 大気中で行った. 用いた試験片は中央き裂試験片であり, 初期き裂として常温疲労予き裂を使用した. き裂長さは, 望遠顕微鏡を用いて測定した. 試験は, 電気油圧サーボ試験機による正弦波の定荷重制御下で行った.

3. 下限界近傍の疲労き裂伝ば特性 1サイクル当りのき裂伝ば速度 da/dN をJ積分範囲 ΔJ_f で整理したものを図1に示す. 図中の σ_{max0} は最大正味応力の初期値, Rは応力比, ν は繰返し速度である. 図1より, $\Delta J_f > 0.15 \text{ kJ/m}^2$ の範囲では, 実験点は中高き裂伝ば速度域における繰返し数依存型き裂伝ば特性を表す実線のまわりに集中している. これに対し $\Delta J_f < 0.15 \text{ kJ/m}^2$ の領域では, き裂伝ば速度は非常に小さな値となるといふ, 常温下の疲労き裂伝ば下限界と類似の特性が現れる. しかし, 条件により実験点が立ち上りを開始する ΔJ_f の値が変わるという特異な挙動がみられる. 低伝ば速度領域における挙動を検討するため, まず $0.07 \text{ kJ/m}^2 < \Delta J_f < 0.15 \text{ kJ/m}^2$ の領域で, ν を変えた実験を行った. その結果, da/dN は ν に依存せず, この領域では繰返し数依存型き裂伝ばが現れていることが判明した. 次に, $\Delta J_f < 0.07 \text{ kJ/m}^2$ の範囲で ν を変えたところ, da/dN は ν にほぼ逆比例し, したがって時間依存型き裂伝ばが現れていることがわかった. さらに, この範囲の実験点を, 単位時間当りのき裂伝ば速度 da/dt と修正J積分, J' の関係に整理したところ, 静クリープき裂伝ば特性のバンド幅の中に含まれた.

4. 考察 以上の結果を総合すると, 図2(a)に示すように, クリープ条件下においても繰返し数依存型き裂伝ばに下限界が存在し, 下限界以下の領域においては, その伝ば速度 $(da/dN)_f$ が非常に小さくなるため, クリープによる時間依存型き裂伝ば速度 $(da/dt)_c$ が顕在化するものと解釈することができる. 図1において, 条件により実験点が立ち上りを開始する位置が異なるのは $(da/dt)_c$ が現れたためである. 静クリープ下の実験を参照すれば, $(da/dt)_c$ については 10^{-4} mm/h までの領域においても下限界は存在せず, その特性は図2(b)のように模式的に表すことができる. 図2のき裂伝ば特性をもとに, 繰返し数依存型成分 $(da/dN)_f$ と時間依存型成分 $(da/dt)_c/\nu$ のうち大きい方が現象として現れるという考え方に基づき, 両者が現れる領域と da/dN をマップとして表すと, 図3のようになる. いま, 高温構造物の中にき裂が存在し, 図中点Aで示すような ΔJ_f および J' が生じているものとする. ΔJ_f の下限界以下の領域であっても, $(da/dt)_c$ の存在によりき裂は成長し, ΔJ_f および J' は図中破線で示すように増大する. やがて, ΔJ_f が下限界値に達すると(点B), da/dN が急激に増加するようになる. このように高温では, 繰返し数依存型き裂伝ばの下限界以下の領域であっても, 時間依存型き裂伝ば速度成分の存在によりき裂成長が生じるため, 事実上下限界は消失し, これがその後の急激なき裂成長の引金となる可能性がある. このため, クリープ条件下では時間依存型き裂伝ばの寄与を評価しておく必要があるものと考えられる.

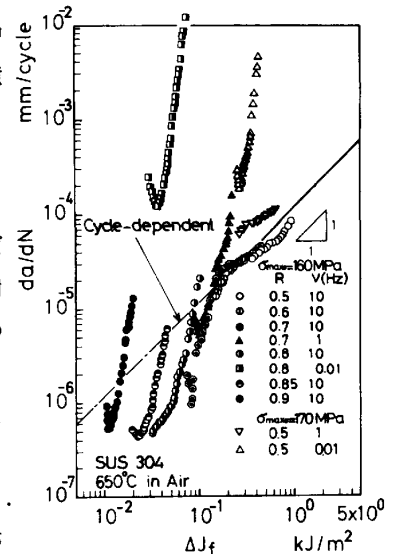


Fig.1 da/dN versus J-integral range relations

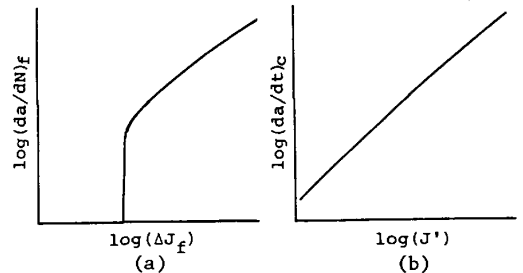


Fig.2 Characteristics of cycle-dependent and time-dependent crack growth

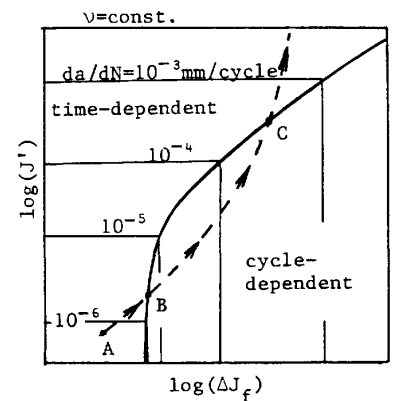


Fig.3 Crack growth across the mode map