

102

高張力鋼の応力腐食割れにおけるき裂進展挙動におよぼす
き裂の分岐について

金沢大教育 広瀬幸雄 津田政明 金沢工大 矢島善次郎
京都大工 田中啓介

1 緒言

高張力鋼の応力腐食割れき裂進展においては、これまでのさまざまな研究においてき裂が分岐することが観察されている。微視分岐などの影響により、見かけの切欠半径を持ちながら進展する応力腐食割れき裂が、破壊の進展中もしくは破壊の初期において巨視的な分岐を生ずることは、大変興味深い現象である。

本研究においては、き裂が微視的分岐のみで進展する場合から巨視的分岐を生じる原因を、破壊の条件から考えてみる。

2 実験方法

試験片は市販のSNCM439鋼 (wt%, 0.39 C, 0.28 Si, 0.74 Mn, 1.38 Ni, 0.78 Cr, 0.23 Mo) であり試験片形状は1インチタイプのコンパクト引張型試験片で、板厚は5.5 mmのものを用いた。熱処理は1153 Kで1h焼準後、1123 Kで1h後油焼入れした。焼もどしは473 Kで2h行なった。表面研削、電解研磨後、放電加工により切欠を設けた。試験機は自作の単軸レバー式のものを用い、実験は荷重一定とK一定のうち何れかで行なった。き裂長さの測定には自作のD.C.B.ゲージを用い、コンプライアンス法によりき裂長さを計算で求められる様にした。腐食環境としては、1N H₃BO + 1/30 M KCl, 3.5% NaCl, 1N H₃BO + 1/30 M KCl + 10⁻² M H₂NCSNH₂, 0.1 N H₂SO₄の4種類のものを用いた。拱試料と各環境との拡散性水素溶解量C₀を示したものがTable 1である。応力腐食割れき裂の破壊じん性試験は、応力腐食割れき裂中の水素を除くため、423 Kで50hベーキング後除冷したのち行なった。

3 実験結果および考察

応力腐食割れ試験中に得られたD.C.B.ゲージと時間の関係を図1に示す。これによると巨視的には開口量は時間とともにほぼなだらかな曲線を描いて連続的に増加している。コンプライアンス法により、き裂長さに置き変えて考えると、き裂は時間とともに連続的に増加していることになり、き裂が長くなるとその傾きは大きくなることも良く理解出来る。Kの上昇によるき裂進展速度の上昇といった現象 (Fig 4) も、理解出来る。

Table 1 拡散性水素溶解量

Solution	C ₀ (P.P.M.)
1N H ₃ BO+1/30M KCl	0.169
3.5 % NaCl	0.095
1N H ₃ BO+1/30M KCl 10 ² M H ₂ NCSNH ₂	0.086
0.1 N H ₂ SO ₄	0.87

しかし、D.C.B.ゲージの変位を拡大してみると、Fig 3 に示すように不連続な階段状をしており、き裂の進展が不連続な微小な過程のくり返しであることが分る。この1回のくり返し過程において進展するき裂長さ Δl を計算によって求めた値をFig 4 に示す。これによれば Δl は、同一の環境であっても K が大きければ大きく、 K が小さければ小さい。塑性域寸法と比較すると、 K が大きいときは Δl の割合は小さくなり、 K が小さいときは塑性域寸法に近い値で破壊がくり返していることが分る。 C_0 との関係では、 C_0 の大きい環境のときほど Δl の値が大きくなっている。このことから、水素の拡散において、溶解量がき裂先端の静水圧応力分布に従い、その速度がこう配に従うとするならば、水素はき裂先端および材料中各部からの拡散により、き裂先端から塑性域長さ少し手前の地点で破壊発生の条件を満たすことにより破壊発生点となり、その後き裂先端と連結することにより進展するという過程をくり返すと考えられる。これを図式化したものをFig 5 に示す。

この Δl の地点での水素の濃度分布を静水圧応力の大きさに比例するものとして、き裂先端に鈍化切欠を有するき裂の塑性領域中における Gerberich の完全弾塑性体の静水圧応力分布を求める式を与えるとその応力は

$$\frac{\sigma_i}{3} = \sigma_Y \left\{ \ln \left(1 + \frac{\Delta l}{\rho} \right) + \frac{1}{2} \right\} \dots (1)$$

で表わされる。

一方、応力腐食割れき裂は微視分岐によりき裂先端にその形状からなる応力集中の低下を引き起

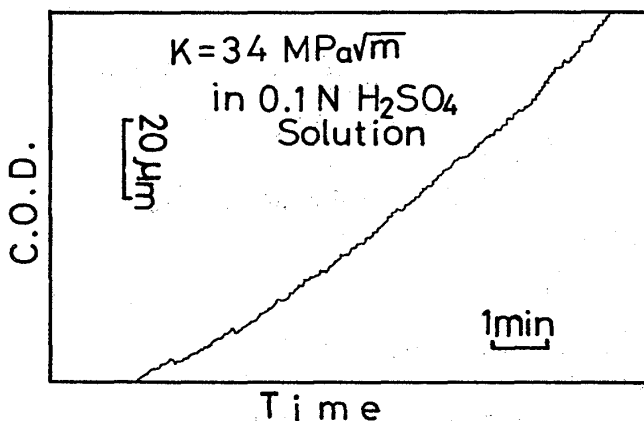


Fig 1 き裂進展に伴うC.O.D.の変化

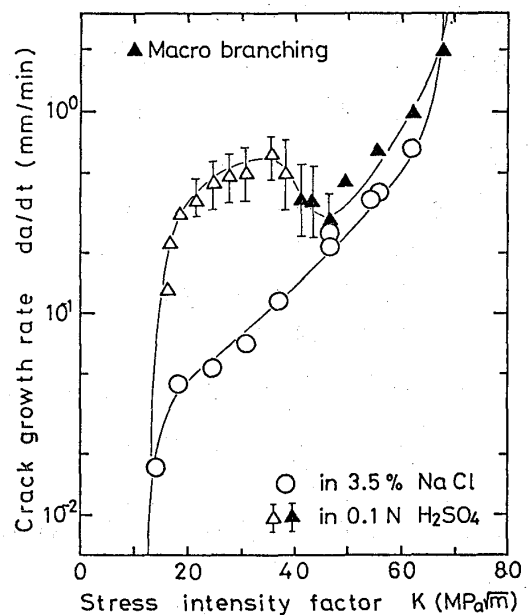


Fig 2 Kとき裂進展速度の関係

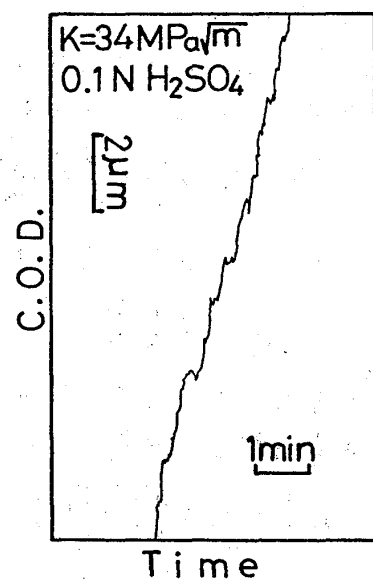


Fig 3 き裂進展に伴うC.O.D.の変化

す。このことは分岐のみによってなく、き裂が粒界面に沿って進展する蛇行現象などによっても影響を受ける。そこで、き裂に生じる分岐などを力学的に等価な切欠半径として扱うために切欠先端に任意の半径 ρ を設けた同型の試験片による破壊じん性値 K_i を求め、応力腐食割れき裂を入れた試験片の破壊じん性値 K_{isc} との対応関係を次式により提案する。

$$\frac{K_{isc}}{\sqrt{\rho_{eq}}} = \frac{K_i}{\sqrt{\rho}} \quad \dots (2)$$

ここで、 ρ_{eq} を応力腐食割れき裂の等価切欠半径と呼ぶ。

これとは別に ρ は、疲労き裂との間に

$$\frac{K_i}{\sqrt{\rho}} = \frac{K_{io}}{\sqrt{\rho_0}} \quad \dots (3)$$

なる関係を有し、(2)式より次の様に表示される。

$$\rho_{eq} = \rho_0 \left(\frac{K_{isc}}{K_{io}} \right)^2 \quad \dots (4)$$

ここで、 ρ_0, K_{io} はともに疲労き裂の有効切欠半径、破壊靱性値である。

ρ_{eq} は(1)式右辺の ρ と等価とみなせるから次の様に書き替えることができる。

$$\frac{\sigma_i}{3} = \sigma_Y \left[\ln \left\{ 1 + \frac{\Delta l}{\rho_0} \cdot \left(\frac{K_{io}}{K_{isc}} \right)^2 \right\} + \frac{1}{2} \right] \quad \dots (5)$$

また、静水圧による水素の濃度分布は

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp \left(\frac{V_H}{3RV} \sigma_i \right) \quad \dots (6)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} C_1: \text{破壊発生点での水素溶解量} \\ R: \text{ガス定数} \\ T: \text{温度} \\ V_H: \text{水素の部分モル体積} \end{array} \right.$

により与えられるので、これより Δl の地点における水素溶解量の状態は次式により与えられる。

$$\ln \left(\frac{C_1}{C_0} \right) = \frac{V_H \sigma_Y}{RT} \left[\ln \left\{ 1 + \left(\frac{K_{io}}{K_{isc}} \right)^2 \frac{\Delta l}{\rho_0} \right\} + \frac{1}{2} \right] \quad \dots (7)$$

以下、(7)式の計算結果および、巨視分岐の発生条件は当日報告する。

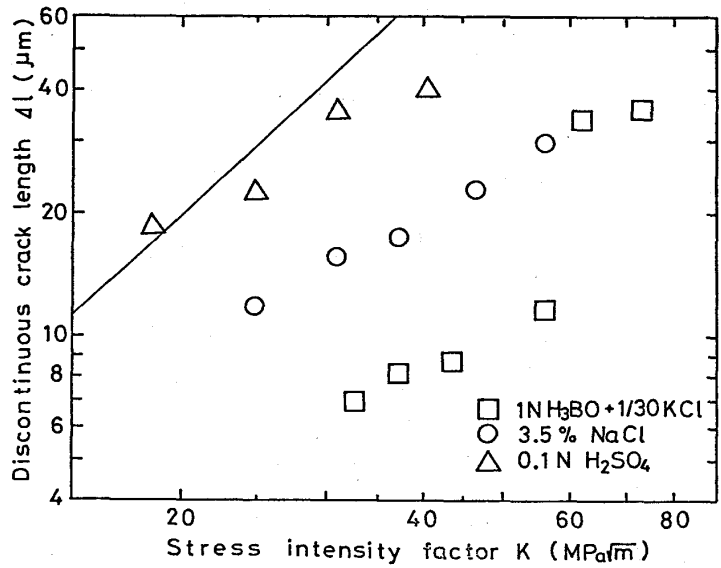


Fig 4. Δl と K の関係

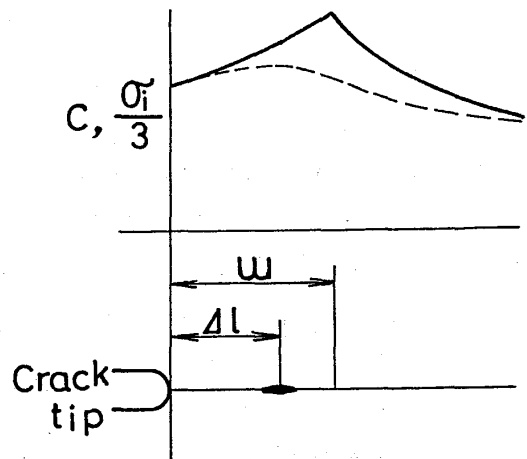


Fig 5 き裂進展の模式図