

金沢大学教育学部 広瀬幸雄 京都大学工学部 田中啓介
 金沢大学教育学部 生木雅也 金沢工業大学 矢島善次郎

1. はじめに

近年 SCC の分野にも「微小き裂」がとりあげられている。著者は、これまでに一連の高張力鋼の SCC 実験で、き裂なし、切欠き底から少しはなれたところに離れき裂 (detached crack) が発生することを明らかにしてきた。本研究では切欠き底からの detached crack の発生とその伝播挙動を通じて微小き裂の問題に検討を加えてみた。

2. 実験方法

2.1 材料及び試験片

供試料は市販の SNCM 8 鋼 (wt%; 0.39C, 0.28Si, 0.74Mn, 1.38Ni, 0.78Cr, 0.23Mo) で試験片形状は 3 点曲げ試験片で、板厚 $B=10\text{mm}$ 、切欠き比 $\%W=0.5$ (a : 切欠き深さ, W 板幅), スパン間隔 80mm である。各試験片には切欠き半径 $r=0.5\text{mm}$ の鋭化切欠きを入れた。試験片の熱処理は 880°C で 1 時間焼鈍後, 850°C で 1 時間オーステナイト化後油焼入れを行った。焼もどし処理は 200°C で 2 時間保持後水冷した。熱処理後の降伏応力 $\sigma_s=1530\text{MPa}$, 破断伸び $\epsilon_f=45\%$ で, 材料の前オーステナイト粒径 $d=12\mu\text{m}$ であった。

2.2 応力腐食割れ試験

試験機は変位一定の圧縮型の装置である。荷重はネジの回転により最高 3 ton まで可変できる。応力拡大係数 K の計算は荷重 P 及び初期切欠き長さ a より求め, フランクアングルを含め切欠き半径 $r=0$ とし, ASTM 規格 E 399 に従い見かけの応力拡大係数 K_a を計算した。環境条件は 3.5% NaCl 溶液中への浸せき状態であり, 溶液は液温 $16^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ で循環させた。循環毎の液は pH=6.2 で 5 分毎に新しい液ととりかえた。き裂発生臭の検出は所定の荷重を負荷し, 記録紙に自記された荷重 P と切欠き開口部に取り付けた clip gage により連続測定した開口変位量 C.O.D の逐時変化より行い, 一部電位差法も併用した。

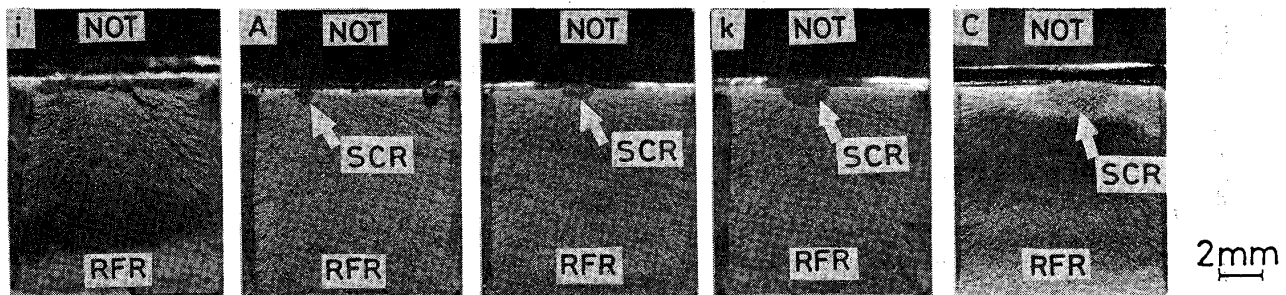


Photo 1

破面のマクロ写真

NOT : Machined notch.

SCR : Stress corroded region.

RFR : Rapidly fractured region.

TPB specimen $B=10\text{mm}$ $r=0.5\text{mm}$

$K_a = 25\text{MPa}\sqrt{\text{mm}}$

3. 実験結果

3.1 切欠き底からの離れき裂 (Detached crack) の発生

Fig.1 に $K_a = 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ で得られた荷重 P の時間 t に対する変化を示す。こゝで $P-t$ 曲線には A, B で示す明確な2つの変曲点がある。移動型顕微鏡観察ではこれらの A, B 付近では全くき裂は認められなかった。しかし A, B 点付近で実験を中断し、その後破壊させたものの破面写真 (Photo.1) から、切欠き底から少し入ったところには半楕円型の腐食域が認められた。き裂の発生は切欠き底から少しはなれた位置 (Fig.2 にその模式図を示す。) に離れき裂が生じ、この発生点 (Fig.2(a) の距り b) を中心に同心円状にき裂は成長していった。この detached crack までの距り b と見かけの応力拡大係数 K_a との関係を図 3 に示す。図より b は K_a の増加とともに増加していることがわかる。

3.2 離れき裂の成長

Fig.1 において図中 i, A, j, k, C の各点で実験を中断し、その後の破面観察 (Photo.1) から離れき裂成長の深さ方向、板厚方向の距り (Fig.2(b) の d_a, d_b) を測定し、時間 t との関係

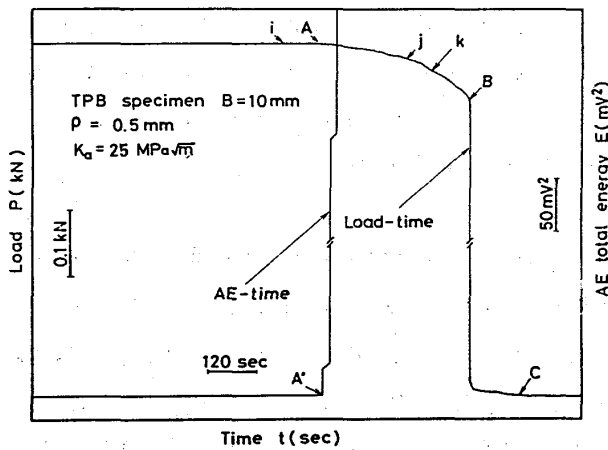


Fig.1 荷重と時間

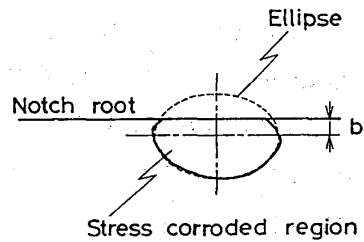


Fig.2(a) 離れき裂発生の様式図

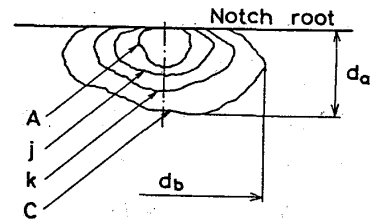


Fig.2(b) 離れき裂成長の様式図

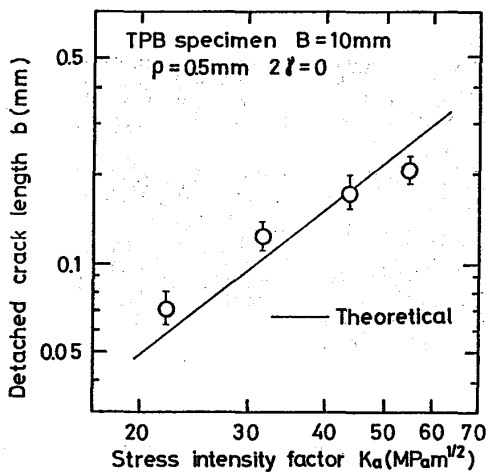


Fig.3 K_a と b の関係

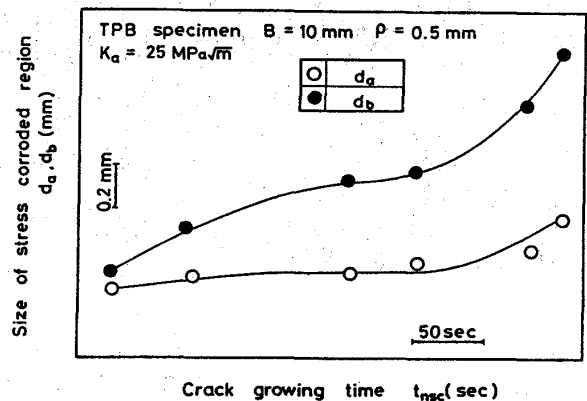


Fig.4 d_a, d_b の時間的変化

Fig.4に示す。daは時間とともにゆるやかに増大するが dbは、dbはいつたん増加した後一定の値を保ち、その後再び増加していく様子が見られる。

4. 考察

4.1 微小き裂の発生に及ぼす応力拡大係数の影響

Photo 1でも明らかなように、き裂発生直後の試験片破面には明瞭な半楕円のき裂が見られ、また Fig.3からも応力拡大係数とき裂発生点までの距離bとの間には相関性が見られた。Doig³⁾は次式を使って、切欠き底から弾塑性境界までの距離を計算している。

$$p = \sigma [(1+\nu)/E] + \frac{1}{2} \quad p = \frac{2}{3}(1+\nu) K\sqrt{2\pi x^2}$$

ここで、P, νは静水圧応力、ポアソン比である。Fig.3の実線の部分は本実験条件のもとで上式を使って求めた値を示したものである。計算値は実験値とよく対応し、微小き裂の発生点は、弾性、塑性境界あたりで起きているものと考えられる。

4.2 微小き裂の成長挙動

半楕円の微小き裂に対する応力拡大係数の近似解は数多く提案されているが、本研究においては、T. Murakami⁵⁾の有限要素解析により求めた式に従い整理を行った。

$$K = F_{bent} (\sigma_2 - \sigma_1) \sqrt{\pi b} + F_{ten} \sigma_1 \sqrt{\pi b}$$

ここで、σ₁, σ₂はCreager-Paris⁶⁾の式により、x=b, x=0の位置におけるy方向の応力を示し(Fig.5)、またF_{bent}及びF_{ten}は有限要素解析より求めた補正係数である。上式より求めた応力拡大係数Kと微小き裂の深さ方向への成長速度との関係をFig.6に示す。同図には、従来の貫通型の長いき裂の場合のK_{const}, K_{increase} 試験結果も示してある。図より微小き裂の伝播挙動は貫通型の長いき裂のそれとは異なり、発生の初期段階で加速された伝播速度が、一旦、遅延した後、貫通型の長いき裂の伝播曲線に沿って、再び加速されていく様子が見られる。

参考文献

- 1) Y. Hirose and T. Mura, Eng. Frac. Mech., 19, 317 (1984)
- 2) Y. Hirose and T. Mura, To be published in Eng. Frac. Mech.,
- 3) ASTM Standard, Part 10, E399-81 (1981)
- 4) P. Doig and G. T. Jones, Metall. Trans., 8A, 1994 (1977)
- 5) Y. Murakami and S. Nemat-Nasser, Eng. Frac. Mech., 16, 373 (1982)
- 6) M. Creager and P. C. Paris, Int. J. Frac., 2, 247 (1963)

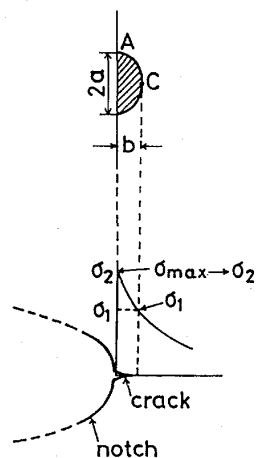


Fig.5 微小き裂の解析

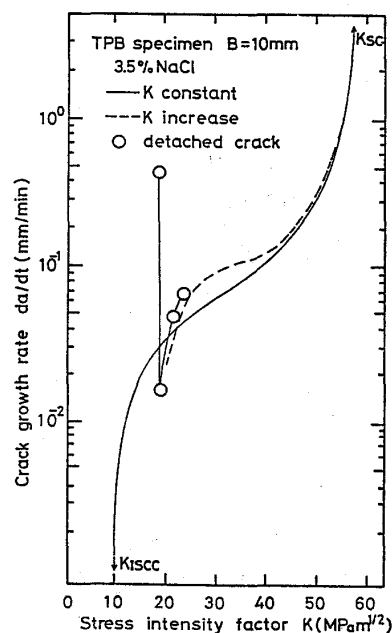


Fig.6 Kと成長速度の関係