

金沢大教育 広瀬 孝彦, 津田 政明

京大工 田中啓介, 金沢工大 矢島善次郎

1. 緒言

筆者らは先に燻ぞし処理した高強度鋼 (SNCM8) の切欠き平板の 3.5% NaCl 溶液中でのき裂発生および成長挙動を破壊力学の観点より解析しき裂発生寿命が応力拡大係数 K を切欠き半径の平方根 \sqrt{r} で割った値により決定され、 K_{ISCC} に対応する S とした応力腐食割れ有効切欠き半径 ρ_{eff} なる考え方を提案し¹⁾、さらにき裂成長と K の関係がき裂先端に生ずる微視分岐およびフラクトグラフィ的機構との関係に密接な関係があることを示唆する結果を得た²⁾。本研究では同種環境および同種材料 (前オーステナイト粒径の異なる) での応力腐食割れ成長挙動における微視分岐き裂先端立位の局所力学場を鈍化切欠き材でモデル化することを試みた。このモデル化の基礎となる、 r 切欠き破壊動性試験結果および破面観察結果について述べる。

2. 鈍化き裂モデル

半径 S を有する切欠き材の破壊が K_0/\sqrt{S} で決定されるとすると、き裂発生に対する破壊動性 K_{0i} と、疲労き裂材の破壊動性 K_i がつぎの関係で結ばれる。

$$K_i = (\rho_e / S)^{1/2} K_{0i} \quad (1)$$

ここで ρ_e は疲労き裂に対応する切欠き半径である。ここで応力腐食き裂成長試験を中断し、ベーキングした後の空气中での破壊動性試験値 K_{ISCC} が求まると、その値より上式に代入しこの切欠き半径 ρ_{eq} を次式で求める。

$$\rho_{eq} = \rho_e (K_{ISCC} / K_i)^2 \quad (2)$$

よって微視分岐き裂の等価応力拡大係数 K_{eq} は負荷している応力拡大係数 K_{app} とし、次式で表わされる。

$$K_{eq} = (\rho_e / \rho_{eq})^{1/2} K_{app} = (K_i / K_{ISCC}) K_{app} \quad (3)$$

そして伝播速度はこの K_{eq} の関数として表わされることが予想される。

3. 実験方法

供試材は市販の SNCM8 鋼 (wt% 0.39C, 0.28Si, 0.74Mn, 1.38Ni, 0.78Cr, 0.23Mo) であり、試験片形状はコンパクト引張型試験片である。破壊動性試験は ASTM E399-78T に従って行なった³⁾。各試験片には $S = 0$ mm (疲労き裂; $K = 70 \text{ kg/mm}^{3/2}$) および $\rho = 0.15$

Table I. 熱処理条件と機械的性質

Grain size d (μm)	Heat treatment conditions	Tempering temperature T ($^{\circ}\text{C}$)	Yield strength σ_y (kg/mm^2)	Tensile strength σ_t (kg/mm^2)	Elongation E_l (%)
12	850°C x 1 hr OQ	200	156	197	4.5
		400	127	143	6.5
200	1150°C-850°C x 1 hr O.Q.	200	115	147	6.3
		400	101	121	5.2

0.25, 0.5 mm の鈍化切れきを入れ、室温で島津オートグラフにより引張速度 1mm/min で引張破壊させた。またき裂発生点の検出は電位差法による。熱処理条件および機械的性質を Table I に示す。

一方応力腐食き裂速度は前報と同様自作の応力拡大係数制御可能な試験機を使用し、環境条件として 3.5% NaCl 溶液 (液温 16°C ± 2°C) を循環させて行った。また K-一定試験中実験を中断し 150°C で 50hr 真空中でベーキング後破壊靱性試験を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 応力腐食割水における成長き裂

応力拡大係数 K-一定, 荷重 P-一定および K を 10% ずつ減少させる前報で述べたと同一の方法で得られた成長速度 da/dt と K との関係を図 1 に示す。図より粒径 d の増大にともなう第 II 領域, 第 III 領域での成長速度の低下が認められる。K_{ISCC} は 200°C 焼えどし材では d に関係なく同一になったが応力腐食割水破壊靱性値 K_{SC} については d の小さいほど低くなる。一方 400°C 焼えどし材では K_{ISCC} は異なる d の大きいほど高くなる。また K_{SC} についても d が大きいほど高くなった。

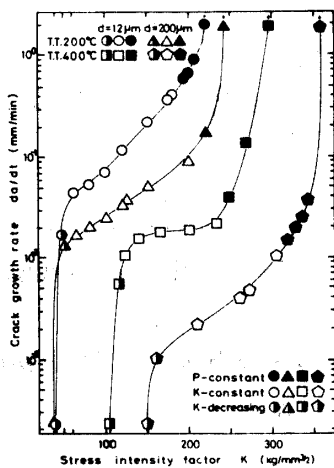


Fig. 1 K と da/dt の関係

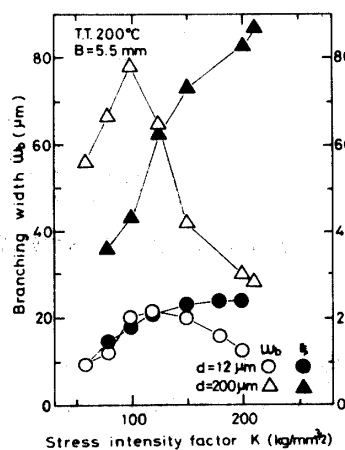


Fig. 2 K と W_b, ϵ の関係

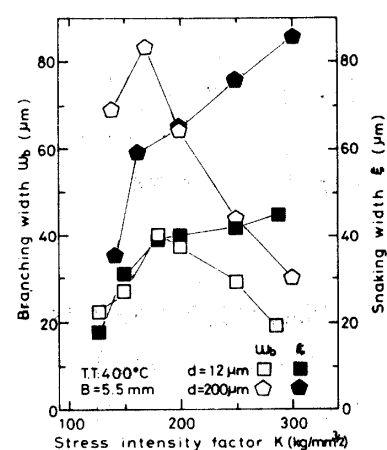


Fig. 3 K と W_b, ϵ の関係

き裂の成長の状況を第 II 領域中期の K-一定試験で実験を中断し表面をバフ研磨後走査型顕微鏡により観察した結果を図 4 に示す。図よりき裂は分岐しうねっているのが認められる。この分岐幅 W_b とうねり幅 ϵ と K との関係を図 2, 3 に示す。分岐幅 W_b は伝は曲線の第 I 領域より増大し, 第 II 領域で極大となりその後減少する。

一方うねり幅 ϵ は第 II 領域中期より増大しはじめその後上昇しつづけていることが認められる。

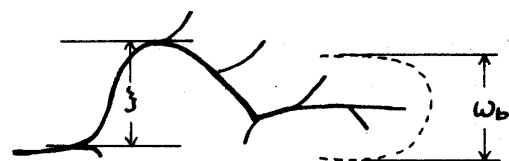
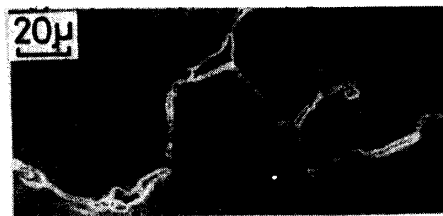


Fig. 4 分岐モジュールとそのマクロ画像 (d=200 μm, T.T.=200°C, K=100 kg/mm²)

4.2 切欠き材の破壊靱性

焼もどし温度 200°C, 300°C, 400°C および 600°C, 板厚 5.5mm で $\rho=0$ mm 試験片
 について Bagley, Landes⁴⁾ の方法により求めた R 曲線を Fig. 5 に示す。これより求める J_{IC} は
 荷重 (P) - 変位 (ΔV) 曲線における変曲点に対応していった。(Fig. 6) ここで引き裂発生
 に対応するき裂発生応力拡大係数 K_{Ic} より論ずる。

K_{Ic} と $\sqrt{\rho}$ との関係を図 7 に示す。いずれの焼もどし温度においても変位差法で測定した
 K_{Ic} と $\sqrt{\rho}$ との間には比例関係が成立している。この傾向は白砂⁵⁾ によっても SNCLM8 に関し
 て種々の板厚で確かめられている。この直線と $\rho=0$ mm (直引き裂) の K_{Ic} 値の水平線と
 の交点を左へずれる破壊に対する有効切欠き半径 ρ_{eq} は式より焼もどし温度により ρ_{eq}
 45μm となった。

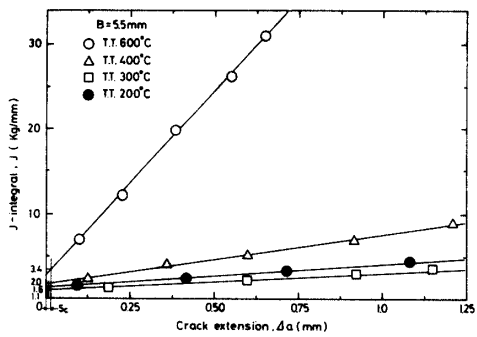


Fig. 5 R 曲線

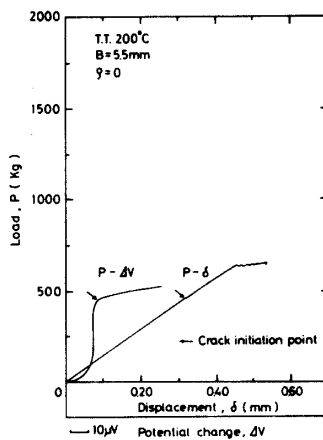


Fig. 6 P- δ , P- ΔV 曲線

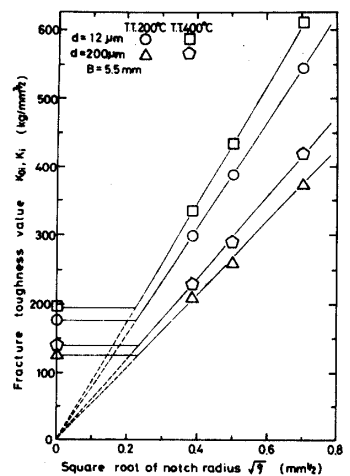


Fig. 7 $\sqrt{\rho}$ と K_{Ic} の関係

4.3 等価切欠き半径の評価

K_{Ic} - 一定試験で応力腐食き裂成長試験を中断し, バーキングした後の空気中での破壊靱性
 値を K_{isc} とし, この値を(2)式に代入すれば等価切欠き半径 ρ_{eq} が求まる。

ここで

$$\rho_{eq} = W_0 + \xi \quad (4)$$

の関係が成立していることが考
 えられる。(4)式を(2)式に代入し
 て

$$K_{eq} = [\rho_{eq} / (W_0 + \xi)]^{1/2} K_{app} \quad (5)$$

を求め応力腐食割れ成長挙動に
 おける成長速度 da/dt と K_{eq} の関
 係を Figs. 8, 9 に示す。両図より
 ほぼ直線関係が得られた。(以下略)

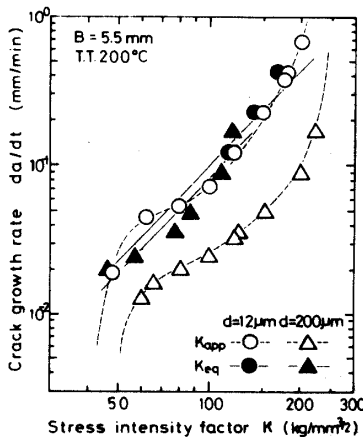


Fig. 8 da/dt と K_{eq} の関係

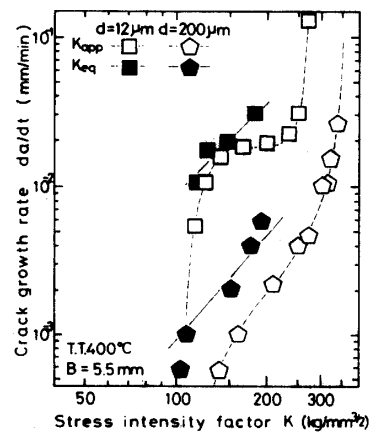


Fig. 9 da/dt と K_{eq} の関係