

広島工業大学 ○木戸光夫, 伊藤 尚\*, 村本和久\*\*

(現 \*同附属広島情報専門学校, \*\*マルニ木工機)

広島大学工学部 中佐啓治郎

1. 緒 言

一般に遅れ破壊は、静的な引張り荷重下で起こる現象であるが、実際の機械や構造物においては、静荷重に微小な変動荷重が重畳している場合も多く、このような場合の遅れ破壊挙動を明らかにすることは重要である。著者らは、前報において変動荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命に及ぼす重畳応力の振幅、繰返し速度や波形および材質の影響などを詳しく調べた。ところで、実際の機械や構造物においては、モードI型負荷である引張り荷重が単独に加わっている場合だけでなく、モードI型にモードIIまたはIII型負荷が混合して加わっている場合も多いと思われる。しかし、このような場合の遅れ破壊挙動については、ほとんど調べられていない。そこで本研究では、組合せ応力(モードIおよびII型)下における静荷重下および変動荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命を調べ、この場合のき裂発生機構を検討した。

2. 実験方法

供試材は、市販のNi-Cr-Mo鋼(SNCM439,表1)で、これを1153Kから油焼入れ後473Kで焼もどした。この材料の熱処理後の機械的性質を表2に示す。これから図1に示す形状、寸法の引張り試験片を作製した。

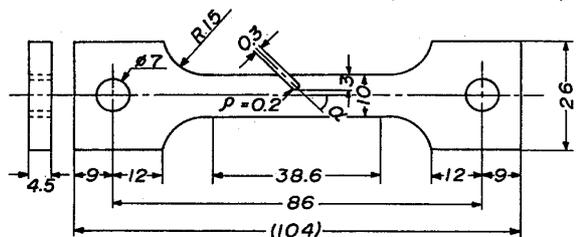
表1. 供試材の化学成分 (Wt.%)

Mark	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
SNCM439	0.40	0.22	0.64	0.017	0.007	1.72	0.91	0.24	Bal.

表2. 供試材の機械的性質

Yield stress MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	Ultimate tensile strength MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Hardness Hv(20)
1568 (160)	1960 (200)	8.5	570

\*1153Kx30min, O.Q. 473Kx1hr, W.C



$\alpha = \pi/2, \pi/3, \pi/4, \pi/6$  (rad)

図1. 試験片の形状・寸法

なお、試験片中央部片側には、所定の傾角 $\alpha$ をもつ長さ3mmの切欠きがつけてある。腐食雰囲気には、イオン交換水(293±3K)を用いた。実験は試験片に種々の大きさの静的および正弦波状の繰返し引張り応力 $\sigma$ (繰返し速度 $f=6.7$ および2Hz, 応力比 $R=0$ )を加えたときの遅れ破壊き裂発生寿命 $t_i$ を測定し、 $t_i$ と試験片切欠き面上の公称引張り応力 $\sigma_n$ の関係を調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 静荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命に及ぼすノッチ傾角 $\alpha$ の影響

図2は所定の $\alpha$ をもつ試験片について、種々の静的な $\sigma_n$ を加えたときの遅れ破壊き裂発生寿命 $t_i$ を求めた結果である。なお、 $t_i=0$ の実験値は空気中の切欠き強さ $\sigma_f$ を示しており、この $\sigma_f$ は $\alpha$ が小さいほど小さい。この図で $t_i$ は $\alpha$ が小さいほど、すなわち、切欠き面上のせん断応力成分 $\tau$ が大きくなるほど短くなっていることがわかる。しかし、100hr遅れ破壊き裂発生強さ $\sigma_{scc}$ は $\alpha$ によってあまり変化しないようである。

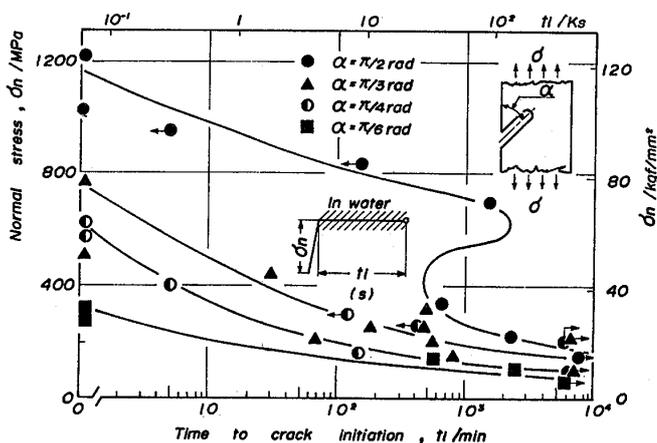


図2. 静荷重下での垂直応力とき裂発生寿命の関係

3.2 変動荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命に及ぼすノッチ傾角 $\alpha$ の影響

図3は所定の $\alpha$ をもつ試験片について、種々の繰返し垂直応力 $\Delta\sigma_n$ ( $f=6.7$ Hz)を加えたときの $t_i$ を求めた結果である。変動荷重下での $t_i$ は静荷重下

(図2)の場合よりも大きく減少しており、その程度は $\alpha$ が大きいものほど大きい。しかしながら、この傾向の繰返し速度 $f$ による違いはほとんど認められなかった。

### 3.3 遅れ破壊き裂発生寿命に及ぼすせん断応力成分 $\tau$ の影響

上述したように、静荷重下および変動荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命 $t_i$ は、いずれも、ノッチ傾角 $\alpha$ が小さいほど短くなる。すなわち、 $t_i$ は切欠き面上の $\tau$ が大きくなるほど短くなっている。これは、静的および繰返しせん断応力成分 $\tau$ によって切欠き表面酸化皮膜が破壊されやすくなり、そのため表面での腐食反応が活性化し、水素原子の材料内部への侵入が促進されるためであろうと考えられる。

図4は $\Delta\sigma_n = 74.8$ および $147\text{MPa}$ で遅れ破壊試験を行ったときの切欠き部先端き裂発生部の粒界破面率を測定した結果である。これによると、 $\alpha$ が小さいほど、また $\Delta\sigma_n$ が大きいほど粒界破面率が小さくなることがわかる。すなわち、せん断応力成分の付与あるいは負荷応力の増加によって、破面は粒界割れ(水素脆化割れ)からディンプルパターンを伴った粒界割れ(腐食疲労または疲労による割れ)へと変化することを意味している。このことは、 $\tau$ によって切欠き底酸化皮膜の破壊が容易になるため、組合せ応力下での遅れ破壊き裂発生は容易になるが、繰返し $\tau$ がより大きくなると、疲労によってき裂が進展することを示していると思われる。

つぎに雰囲気温度 $T$ を種々に変化させたときの $1/t_i$ と $T$ との関係よりみかけの活性化エネルギー $Q$ の値を求めた。その結果を図5に示す。この図で $\alpha = \pi/2$ の場合の活性化エネルギー $Q_1$ に対して $\alpha = \pi/3$ の場合の活性化エネルギー $Q_2$ は小さくなっている。このことは $\tau$ の重畳によって破壊機構にすべりなどの機械的な要因が加わったことを示唆していると思われる。

### 4. 結 言

焼入れ後473Kで焼もどしたNi-Cr-Mo鋼の切欠き試験片について、組合せ応力(モードIおよびII型)下における静荷重下および変動荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命 $t_i$ を調べ、以下のような結果を得た。

- (1) 静荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命 $t_i$ は、せん断応力成分 $\tau$ の重畳により著しく低下する。しかし、下限遅れ破壊き裂発生強さ $\sigma_{sc}$ は $\tau$ によってあまり変わらない。
- (2) 変動荷重下での遅れ破壊き裂発生寿命 $t_i$ は静荷重下の場合より減少する。その程度は、重畳せん断応力成分 $\tau$ が小さいほど大きい。

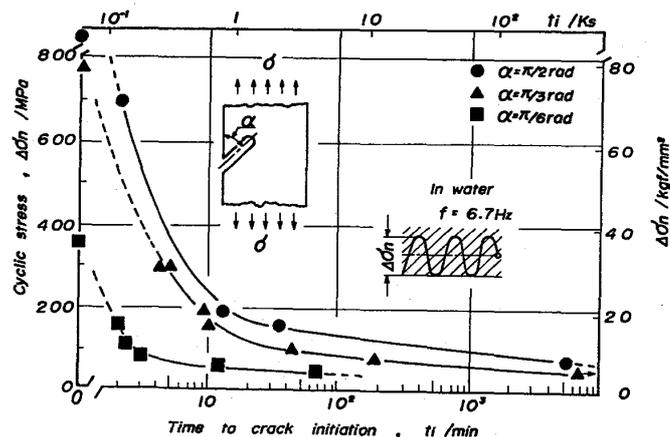


図3. 変動荷重下での垂直応力とき裂発生寿命の関係

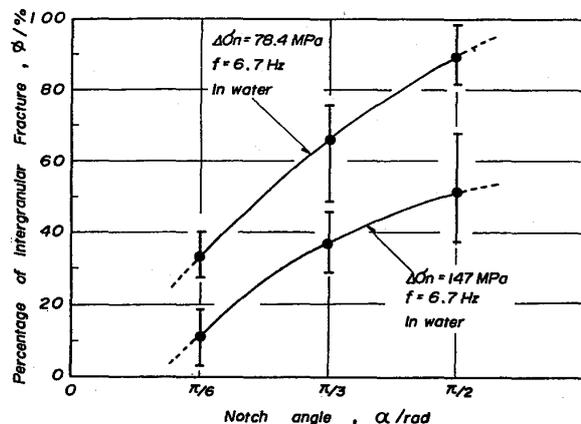


図4. ノッチ傾角 $\alpha$ と粒界破面率の関係

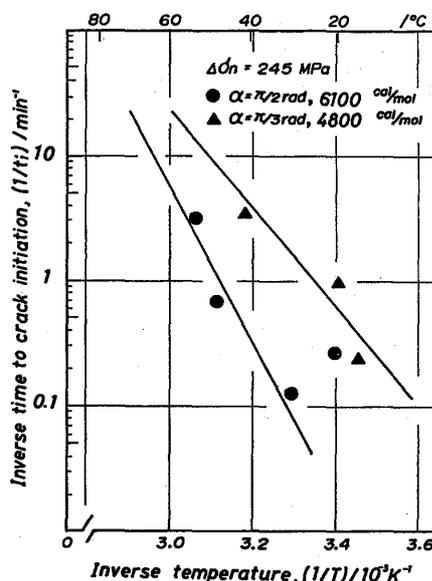


図5. き裂発生寿命と雰囲気温度の関係

- (3)  $1/t_i$ と $T$ との関係より求めた活性化エネルギー $Q$ の値は、 $\tau$ が大きいほど小さくなる。このことは $\tau$ の重畳により、破壊機構にすべりなどの機械的な要因が加わったことを示唆していると思われる。