

308 腐食疲労低応力域の疲労寿命を決定する腐食ピットの発生と成長特性

Initiation and Propagation Properties of Corrosion Pit to determine the Fatigue Life of Corrosion Fatigue for Low Stress Region

○ 学 坂 晋二 (富山大・院) 正 石原 外美 (富山大) 正 五嶋 孝仁 (富山大)

Shinji Saka, Sotomi Ishihara and Takahito Goshima
Toyama University, Gofuku 3190, Toyama, 930-8555, Japan

Key Words: Initiation and Propagation of Corrosion Pit, Corrosion Fatigue, Low Stress Region

1. 緒言

腐食疲労過程では、大気中と比較して機械、構造物の強度が著しく低下し、疲労限度は存在しない。これは、寿命の初期に腐食ピットが発生、成長し、これらのピットからき裂が発生、成長することによって試験片の最終破壊が生じるからである。従って、腐食ピットの発生及び成長特性を明らかにすることは、腐食環境下で稼動する機械、構造物の寿命の合理的な予測を行う上で極めて重要である。

本研究では、アルミニウム合金 2024-T3 材を供試材とし、3%NaCl 水溶液中で腐食疲労実験を行った。腐食疲労過程の連続観察より、き裂進展特性と腐食ピット成長特性を調査した。そして、腐食ピット成長挙動に及ぼす応力振幅、並びに応力繰返し速度の影響を明確にした。

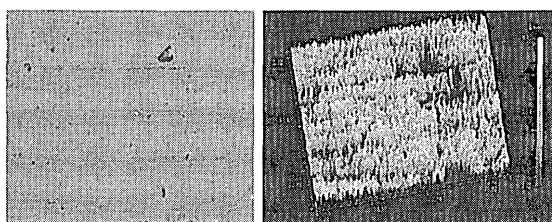
2. 試験片及び実験方法

2.1 試験片 ピット成長則を調査するために用いた試験片素材は市販のアルミニウム合金2024-T3で、その化学成分は、Cu:4.25, Mg:1.32, Mn:0.56, Zn:0.25, Fe:0.12, Ti:0.02, Si:0.02, Al:Bal.(wt%)である。また機械的性質は、降伏強さ:420MPa, 引張り強さ:570MPa, 伸び:17.0%である。試験片形状は、長さ 190mm, 幅 30mm, 厚さ 5mm の板状平滑試験片で、試験片中央部には、幅 6mm, 長さ 10mm の観察部を設け、エメリー紙とダイヤモンドペストを用いて鏡面仕上げした。

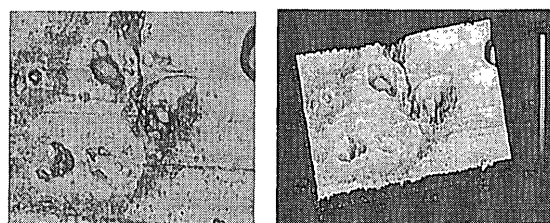
2.2 実験方法 用いた試験機は通常の電気・油圧サーボの引張圧縮疲労試験機であり、応力繰返し速度 $f=0, 3, 5, 7, 10\text{Hz}$, 正弦波のもとで完全両振り引張圧縮疲労実験を行った。負荷応力振幅は、 $\sigma_a=0, 20, 35, 50\text{MPa}$ である。水溶液中に試験片を完全に浸ける浸漬式と、定量ポンプを用いて水溶液を試験片表面に滴下させる滴下式の両実験を行った。

3. 実験結果

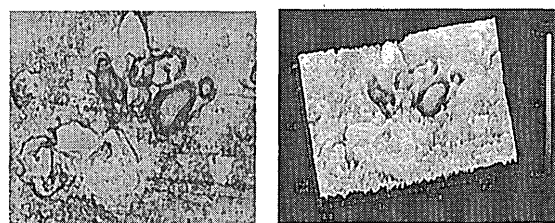
3.1 腐食ピットの連続観察写真 レプリカ法により採取されたレプリカを光学顕微鏡で 1000 倍に拡大し、腐食ピットの成長の様子を観察した。その連続観察写真を Fig.1 に示す。Fig.1 は、応力振幅 20MPa, 周波数 0Hz のときの観察写真であり、(a)は試験前、(b)は 0.5 時間後、(c)は 1 時間後、(d)は 2 時間後、(e)は 5 時間後のものである。また、各写真の右図は写真を三次元表示したものである。これらの図より、腐食ピットは環状に発生し、時間経過と共にその溝が深くなるという成長特性が確認された。なお、現在、腐食ピットと組織との相互関係を調査中である。



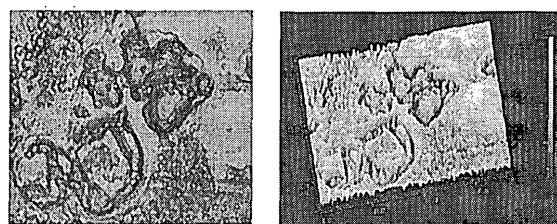
(a) Before testing



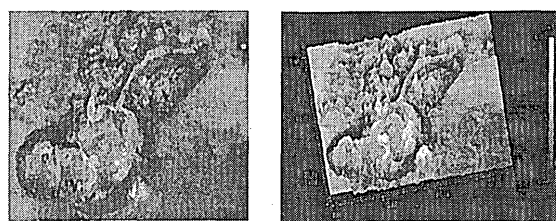
(b) 0.5 hour



(c) 1hour



(d) 2hours



(e) 5hours

Fig.1 Successive observations of corrosion pit($\sigma=20\text{MPa}$, $f=0\text{Hz}$)

3.2 極値統計学による腐食ピット成長特性の評価 試験片の観察面積を一定面積 1.2mm^2 に分割し、その中での最大ピット深さを極値確率紙にプロットしたものを、Fig.2 に示す。以下では、浸漬式よりも滴下式のほうがより強い腐食性を示したので、滴下式に焦点を絞ることにする。

Fig.2 より、時間経過に伴って、また、応力振幅が増えるにつれて、最大ピットが深くなっていくことがわかる。さらに、応力繰返し速度 f についても、同様の結果が得られた。

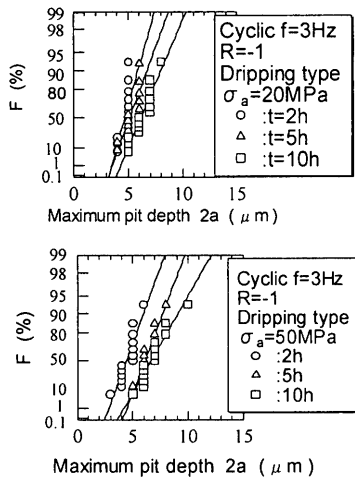


Fig.2 Time variation of maximum pit depth

極値確率紙上において、直線近似ができることから、最大腐食ピット深さを次式の2重指数分布で近似する。

$$F(a) = \exp\{-\exp[-(a-\gamma)/\alpha]\} \quad (1)$$

ここで α 及び γ はそれぞれ尺度母数、位置母数である。前者はデータのばらつきの程度を表し、後者は最頻値を表している。Fig.3は位置母数 γ と時間 t の関係を両対数グラフ上にプロットしたものである。

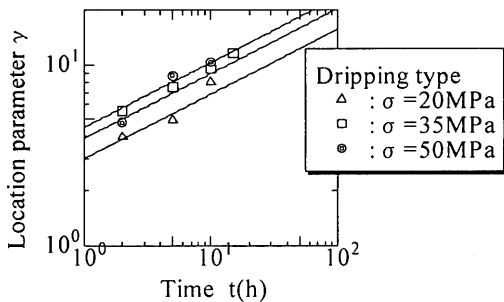


Fig.3 Time variation of Location parameter γ

Fig.3より応力振幅が増加すれば、最大ピット深さも増加していくことがわかる。また、応力繰返し速度についても、同様の結果が得られた。これらのことより、ピット深さ a の成長は、応力振幅 σ_a 、時間 t 、応力繰返し速度 f の影響を受けることが認められた。

Fig.4は、ピット深さ a と時間 t 並びに応力繰返し速度 f の関係を三次元グラフ上にプロットしたものである。左図(a)は $\sigma_a=20\text{MPa}$ 、右図(b)は $\sigma_a=50\text{MPa}$ のものである。図より、ピット深さ a は応力振幅が増加するに従って深くなる。また、時間 t 、並びに応力繰返し速度 f が増えるにつれ増加することもわかる。

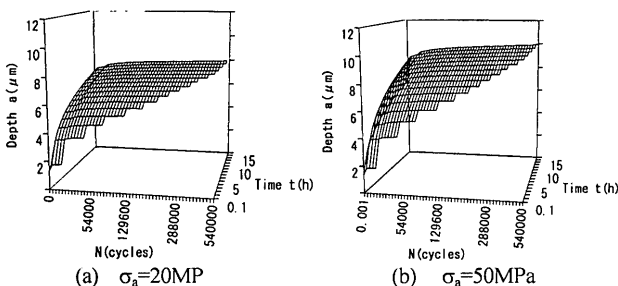


Fig.4 Three dimension graph

3.4 従来のピット成長則と提案するピット成長則の比較 従来、腐食ピット成長則 $a=At^B$ が用いられているが、Fig.4より腐食ピット成長則には応力信服の影響を考慮しなければならない。また時間 t のみならず、応力繰返し速度 f の影響を考慮することが必要であることがわかる。

Fig.4よりピット深さ a は、応力繰返し速度 f 、時間 t の関数としてEq.(2)で近似することができる。

$$a = At^B f^C \quad (2)$$

実験結果を平滑化し近似した曲線をEq.(2)にあてはめることにより、実験定数 A, B, C を定めた。各実験条件に対する A, B, C の値を表1に示す。

Table.1より実験定数 A, C ともに応力振幅依存性があることがわかる。

Table.1 Experimental constant

	20MPa	35MPa	50MPa
A(μm)	3	3.9	4.5
B	0.36	0.36	0.36
C	0.009	0.01	0.013

また、 A の値は応力振幅 σ_a を用いて次式で表される。

$$A = 2.335 \times 1.014^{\sigma_a} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

ここで、腐食ピット成長則に対する従来の式と提案するEq.(2)を用いてき裂発生寿命を予測し、両者の結果を比較する。 $a=a_{ci}$ においてき裂が発生するものと仮定すると、 $N=fI$ の関係を用いてEq.(2)よりEq.(4)を得る。

$$N_i = C \sqrt{\frac{a_{ci}}{At^{B-C}}} \quad (4)$$

Fig.5は、 σ_a の影響を考慮していない従来の式($C=0$)と、 σ_a の影響を考慮したEq.(4)から予測されたき裂発生寿命 N_i を比較した結果である。なお、Eq.(4)中の a_{ci} には、回転曲げ腐食疲労試験から得られた臨界ピット深さをを用いた。

Fig.5より、従来の式に比べ提案するEq.(2)からのき裂発生寿命予測結果のほうが回転曲げ疲労試験の実験値と良い一致を示していることがわかる。また、破線は回転曲げ疲労試験より得られたき裂進展則に基づくき裂発生寿命であり、その予測結果も、実験値と良く一致することがわかる。

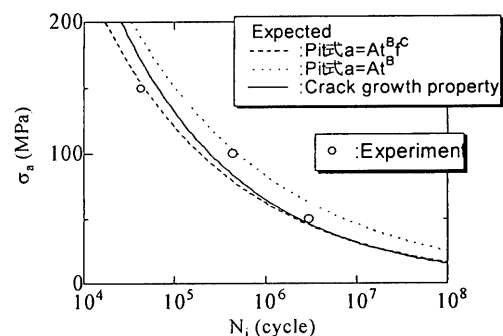


Fig.5 Crack initiation life expected from the pit growth property

4. 結言

- (1)従来の腐食ピット成長則 $a=At^B$ より、提案する腐食ピット成長則 $a=At^B f^C$ のほうが、この式から求められるき裂発生寿命において実験値と良く一致することがわかった。
- (2)き裂発生寿命の予測に当たって、き裂進展特性から予測する方法も有効であると考えられる。