

富山大学工学部

○石原 外美

塩沢 和章

宮尾 嘉寿

1. 緒言

金属材料の腐食疲労強度に関する研究は、これまでに多くの研究がなされている。著者らもアルミニウム合金の腐食疲労強度に及ぼす前加工の影響について研究し、腐食疲労強度は試料表面と腐食性環境との関わりで複雑に変化し引張前加工によって破断寿命は低下する場合もあることを報告した。今回は一般構造用圧延鋼材SS41に各種引張予ひずみを与えた試料と予ひずみ付加後ひずみ時効処理を施した試料（以後、それを予ひずみ材、時効材と略記）を用いて、空中および3%食塩水中にて両振りの平面曲げ疲労試験を行い、予ひずみ材の腐食疲労強度とき裂進展挙動について検討した。

2. 試験片および実験方法

使用した金属材料は板厚3mmの一般構造用圧延鋼材SS41である。その化学成分をTable Iに示す。納入材とFig. 1(a)の形状まで圧延方向が試料長手方向に一致するように機械加工により切り出し、エメリー紙(#800)で表面仕上げを行い、900°C, 1時間の真空焼鈍を施した。電解研磨により試料表面を片面15μmずつ除去後、万能試験機により所定の予ひずみを与えた。予ひずみ材については一週間空气中(デンケータ内)に放置後(b)図の最終試験片形状に仕上げた。時効材については、予ひずみ付加後所定の熱処理を施し最終試験片形状に仕上げた。熱処理条件は13%, 25%予ひずみ材に対してはそれを200°C, 75分および200°C 90分である。き裂伝ば速度測定用試験片は(c)図に示すように最終試験片形状に仕上げた後、試験片中央にドリルで直徑1mmの穴あけ後放電加工によりスリットを付いた。各試験片は四塩化炭素で試料表面の油脂を除去後実験に供した。供試材の機械的性質をTable IIに示す。表では焼鈍材を $\epsilon_p = 0\%$ と記入している。

使用した疲労試験機は容量4kg/mm²のシェンク式曲げ疲労試験機であり、完全両振り平面曲げ疲労試験を行った。応力繰返し速度は3600CPMである。腐食液は水道水を溶媒とする3%食塩水であり試料表面に毎分30~50cc滴下させた。液温は23°C±0.5°Cに保った。

3. 実験結果および考察

空中および塩水中におけるS-N線図を予ひずみ材および時効材に対してそれぞれFig. 2(a)および(b)に示す。また、Fig. 3はFig. 2のS-N曲線を用いて応力振幅をパラメータにして

Table I 化学成分

(wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.16	0.01	0.42	0.019	0.020

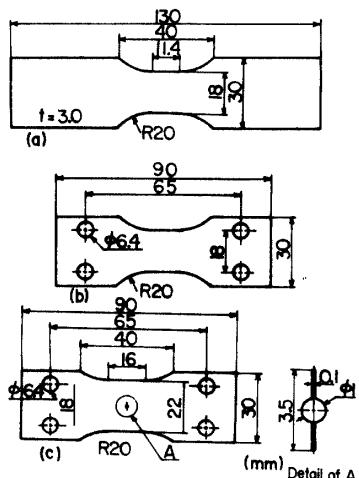


Fig. 1 試験片形状及び寸法

Table II 機械的性質

Prestrain ϵ_p (%)	Yield strength σ_y (kg/mm ²)	Tensile strength σ_b (kg/mm ²)	Elongation ϵ_t (%)
0	17.8	33.4	71.1
6	31.4	36.9	60.6
13	37.8	38.7	55.0
13*	40.0	42.3	44.6
25	44.4	44.6	36.8
25*	46.7	47.2	32.0

* Strain aged

破断寿命 N_f と予ひずみ量 ϵ_p の関係を示したものである。図中のヒゲ印を付した実験点は時効材に対するものである。ここの圖からわかるように、空中の疲労では予ひずみ材、時効材とも予ひずみ量の増加に伴い破断寿命は増加する。一方、塩水中の疲労では高応力振幅域で予ひずみ量の増加に伴い破断寿命は増加するが、低応力振幅域で予ひずみによる破断寿命の差違は認められず、空中の傾向とは異なることが明らかとなつた。予ひずみ材と時効材の破断寿命を比較すれば、空中の疲労では時効材の N_f が予ひずみ材のそれよりもやや増加し、ひずみ時効処理の影響が認められるのにに対し、腐食疲労の長寿命域では予ひずみ材と時効材の N_f はほぼ一致し、予ひずみばかりではなくひずみ時効処理の影響も消失する。

Fig. 4 は応力振幅をパラメータにとり、 N_f と降伏応力 σ_y の関係を示したものである。図からわかるように、兩環境ともその他の応力振幅において片対数グラフ上ではほぼ直線で表わされる。空中の疲労では σ_y の増加に伴い N_f は顕著に増加する。このことは N_f が降伏強度に強く依存していることを示している。したがって、予ひずみ付加による試料の加工硬化と圧縮残留応力の両者により σ_y が増加した予ひずみ材では N_f は増加することになる。一方、塩水中では、高応力振幅域で σ_y の増加に伴い N_f は増加するとはいえ、その増加の程度は空中のそれには遅やかである。低応力振幅域では σ_y に依る

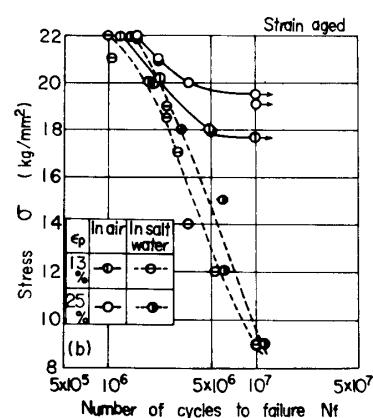
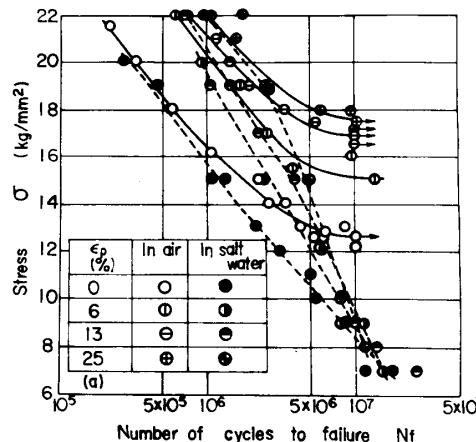


Fig. 2 S-Nf 線図

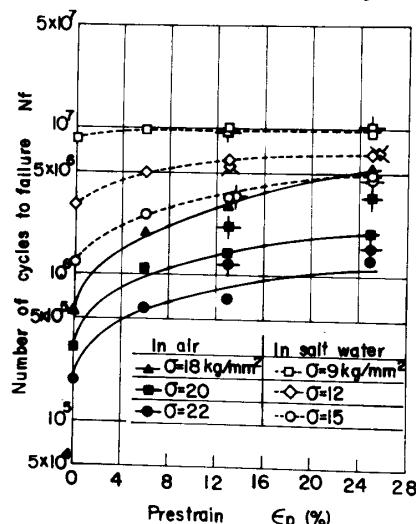
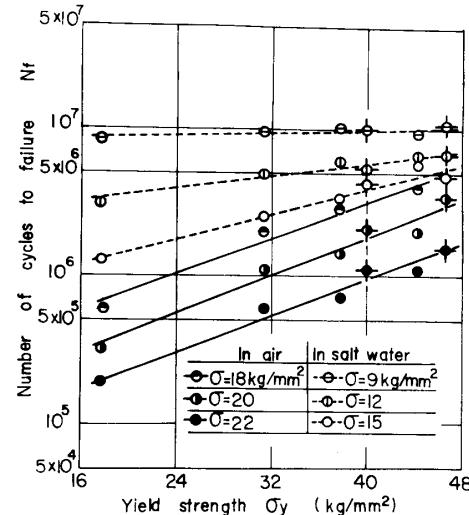
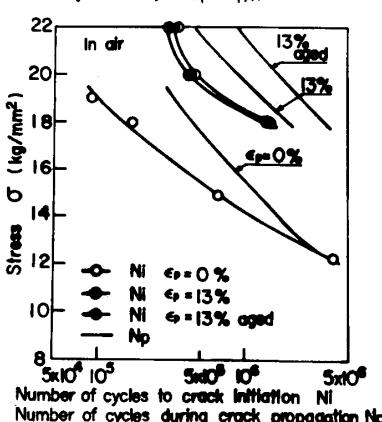
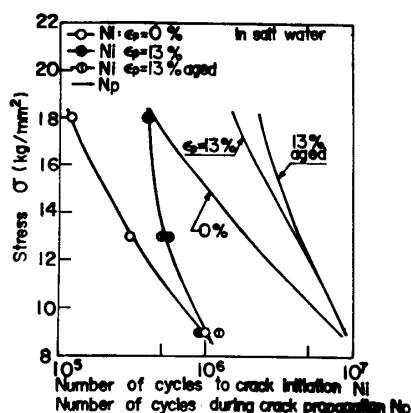
Fig. 3 N_f - ϵ_p の関係Fig. 4 N_f - σ_y の関係

Fig. 5 S-Ni, Np 線図



す N_f はほぼ一定となり、空中の疲労寿命強化の機構が、主裂の発生伝ばに対する腐食性環境の影響により消失する。Fig. 5 (a) および (b) は疲労過程における主裂発生までの繰返し数 N_i と主裂伝ば期間の繰返し数 N_p の負荷応力 σ との関係である。ここで N_i は平滑材表面ではほぼ $100 \mu\text{m}$ の主裂が発見された繰返し数とし、 N_p は $N_f = N_i + N_p$ として計算されたものである。図から空中の疲労においては、13% 予ひずみ材の N_i および N_p は焼鈍材のそれよりも増加するが予ひずみ材と時効材の N_i はほぼ等しい。一方、腐食疲労では高応力振幅域では予ひずみ付加によって N_i, N_p は増加する。但応力振幅域では焼鈍材と予ひずみ材の N_i, N_p はほぼ等くなり破断寿命の傾向と一致する。

Fig. 6 は切欠き材を用いて焼鈍材と 13% 予ひずみ材の単一主裂の進展速度を調べたものである。一例として塩水中の疲労について示してある。応力拡大係数は Roberts & Richards の値を用いた。図からわかるように、 ΔK の大きい範囲では予ひずみ材の伝ば速度は焼鈍材のそれよりも低い値となるが、 ΔK が $10 \sim 20 \text{ kg/mm}^{3/2}$ の値 (ΔK 領域) で両者の差は本±くなくなり傾向を示す。このことは腐食疲労の長寿命域において焼鈍材と予ひずみ材の主裂伝ば期間の繰返し数 N_p が等しくなる一因と考えられる。しかしながら平滑材の腐食疲労の長寿命域においては単一の主裂が進展するより複数の主裂としての進展が大半を占めているものと考えられる。Fig. 7

は腐食疲労における高応力域と低応力域における複数き裂の密度が応力繰返しによつてどのように変化する

かをみたものである

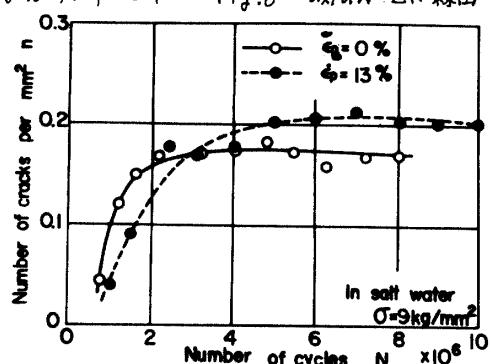
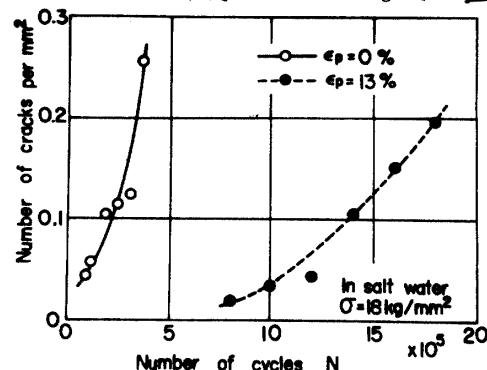


Fig. 7 疲労過程の主裂密度の変化

る。図から、高応力域では寿命の初期には多数の主裂は存在せず、破断間際に急激にその密度を増加せざる対し、低応力域では寿命の $20 \sim 30\%$ の範囲で主裂は急増し、その後はほとんど主裂は増えないで、全寿命の大半が複数の分布主裂の進展期間にあたる事が理解される。しかも、主裂密度には焼鈍材と予ひずみ材の差違があらわれないことから両者の N_p が等しくなるのは、複数の分布主裂の進展・干涉連絡の確率が両者で等しくなるためと考えられる。Fig. 8 は複数の主裂に対して主裂長さが応力繰返しに対してどのように進展するかをみたものであり、進展速度が一走にならず様子を示している。しかし、まは一走の試験では多数の主裂の発生により剛性低下が考えられ、今後検討を要する。

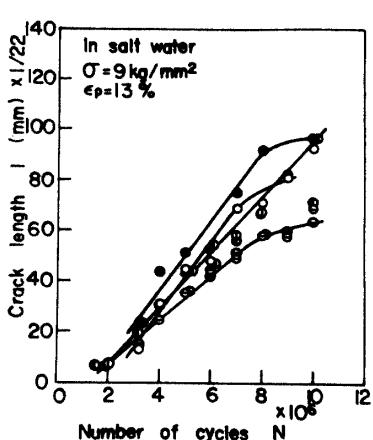


Fig. 8. 個々の分布主裂の成長