

超細粒 Ti-6Al-4V 合金の腐食疲労挙動

福岡大学材料技術研究所 ○江原隆一郎 広島工大学生 前田和幸 門脇譲

村田亮 三好正晃 三菱化学 大津孝夫 福山大 中東潤

Corrosion Fatigue Behavior of Ultra- fine Grained Ti-6Al-4V Alloy

Ryuichiro EBARA, Kazuyuki MAEDA, Yuzuru KADOWAKI,

Akira MURATA, Masaaki MIYOSHI, Takao OHTSU and Jun NAKAHIGASHI

1 緒 言

Ti-6Al-4V 合金は比強度が高く耐熱性、耐食性に優れているために航空機用エンジン、蒸気タービン動翼をはじめとする構造部材の他に医療機器やスポーツ用具等の材料として活用されている。同合金の結晶粒径はプロチウム処理により細粒化され、機械的性質、疲労強度および加工性が向上することが明らかにされている¹⁾²⁾。著者らも結晶粒径 $5.1\mu\text{m}$ の Ti-6Al-4V 合金を細粒化し $0.5\mu\text{m}$ にすることにより平滑試験片の軸荷重 10^7 回 疲労強度 ($R=0.05$) が 60% 向上することを明らかにしている³⁾。また、超細粒材の疲労寿命は疲労き裂発生に支配され、疲労破面は粒内破面が支配的であるが、ごく一部にストライエーションが観察されることを報告している³⁾。一方、Ti-6Al-4V 合金の耐食性はアルカリ環境を除く広範囲な環境下で高耐食性を示す。同合金の腐食疲労強度に関しても NaOH 水溶液などのアルカリ環境下における腐食疲労強度低下率は大きい、3%NaCl 水溶液など中性環境下における腐食疲労強度低下率は鋼材に比較すると非常に小さいことが報告されている⁴⁾⁵⁾。また、腐食疲労き裂は起点部の腐食ピットから発生し粒内を進展することが明らかにされている⁶⁾。

このような背景下において、本研究では超細粒 Ti-6Al-4V 合金の腐食疲労挙動を明らかにすることを目的に 3%NaCl 水溶液中において軸荷重疲労試験を実施し、腐食疲労強度を求めるとともに腐食ピット発生の有無および破面形態について検討した。

2 実験方法

2.1 供試材及び試験片

供試材としては Table1 に示す化学組成を有する Ti-6Al-4V 合金を使用した。同供試材に以下に記すプロチウム処理を施した。すなわち、水素ガス雰囲気中で 1073K、30min の水素吸蔵後大気中で 1223K x 60min 保持後水冷の溶体化処理を施し、大気中にて 1023K で熱間圧延(圧下率 80%)後真空中にて 823K x 3hr 脱水素処理を施し、結晶粒径 $0.5\mu\text{m}$ の超細粒 Ti-6Al-4V 合金 ($\sigma_{0.2}=1123\text{MPa}$, $\sigma_u=1133\text{MPa}$) を作製した。疲労試験片

Table.1 Chemical compositions of tested Ti-6Al-4V alloy (mass%).

Al	V	O	N	C	Fe	H
6.15	3.81	0.14	0.01	0.01	0.16	0.005

は Fig.1 に示すように平行部長さ 20mm、幅 4mm、厚さ 2.5mm の平板試験片とした。

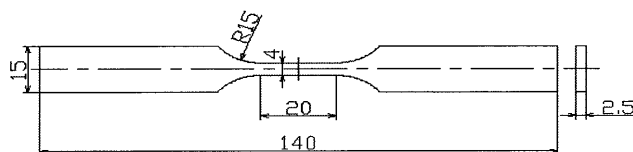


Fig.1 Fatigue test specimen (mm).

2.2 疲労および腐食疲労試験

疲労および腐食疲労試験には油圧サーボ疲労試験機 (Shimadzu EHF-LB 9.8kN) を使用した。疲労および腐食疲労条件は応力比 ($\sigma_{\min}/\sigma_{\max}=0.05$)、試験速度 20Hz である。腐食環境は 3%NaCl 水溶液とした。

2.3 電気化学試験

電気化学試験においては Fig.2 に概要を示すようにソーラートロン社製電気化学ノイズ測定装置を用いて電流、電圧を測定した。なお、2 個の電極には疲労試験片と同材の超細粒 Ti-6Al-4V 合金を使用した。

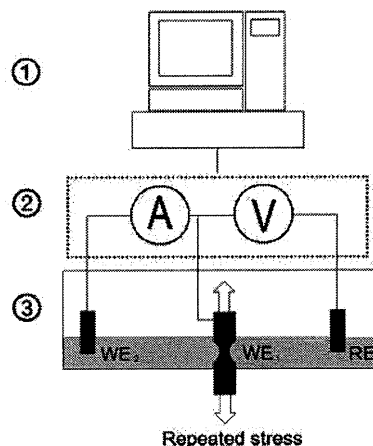


Fig.2 Electrochemical noise measurement system.

- ① Data analysis system
- ② Measurement equipment
- ③ Test cell
- A: Zero resistance
- V: Electrometer

2.4 表面および破面観察

表面および破面の観察にはそれぞれ光学顕微鏡 (Keyence, VHX100) および走査型電子顕微鏡 (JEOL JSM550S) を使用した。表面観察のため試験片平行部を電解研磨した。電解研磨は過塩素酸、メタノール、ブチルセルゾルブを 1:10:6 の割合で混合した電解液を用い、電解液温度 215-217K、電流 0.25-0.69A、電圧 50V の条件で 10 分間行った。電解研磨後試験片中央部 (2x2mm) のみを露出させ、その他の部分はシリコン樹脂でコーティングした。

3. 実験結果および考察

Fig.3 に超細粒 Ti-6Al-4V 合金の大気および 3%NaCl 水溶液中における S-N 曲線を示す。同図から同合金の疲労寿命におよぼす 3%NaCl 水溶液の影響は高応力レベルで認められるが応力の低下と共に影響の度合いは小さくなり 10^7 回では全く認められないことが明らかである。通常の結晶粒径 ($5.1 \mu\text{m}$) を有する Ti-6Al-4V 合金においても大気中に比較し 3%NaCl 水溶液中における疲労強度が低下した。ただし 10^7 回疲労強度の低下率は 31.8% で超細粒材と異なった結果を示した。

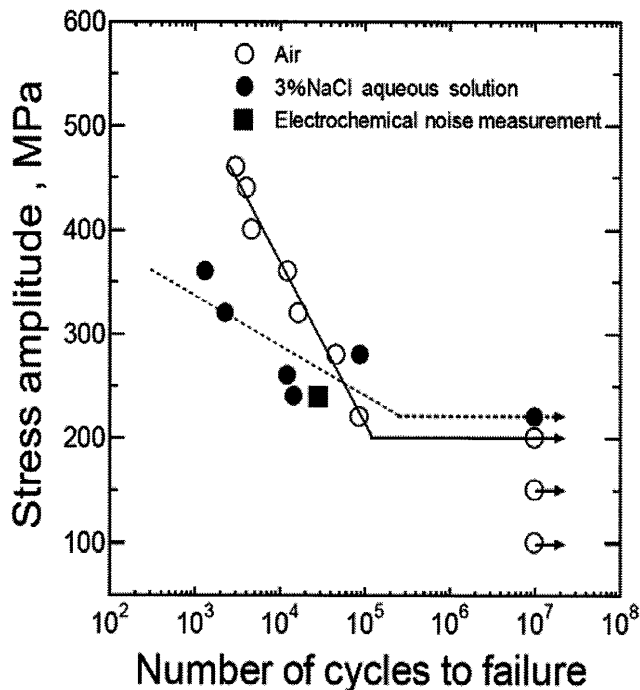


Fig.3 S-N curves of ultra-fine grained Ti-6Al-4V alloy in air and 3%NaCl aqueous solution.

超細粒材の電気化学ノイズ測定結果では高応力域においては電流、電圧の変化はほとんど見られなかった。応力の低下につれて電流電圧の変化は多少大きくなったが通常の結晶粒径を有する Ti-6Al-4V 合金に比較すると変化量は小さかった。このことから、通常の結晶粒径を有する Ti-6Al-4V 合金に比較し超細粒 Ti-6Al-4V 合金の疲労強度が 3%NaCl 水溶液の影響を受けにくいことが推察できる。

SEM により試験片表面を注意深く観察すると試験片表面に微小な腐食ピットを伴った腐食疲労き裂がしばしば観察された。Fig.4 は Fig.3 の試験とは別に実施した全長 150mm の試験片表面に観察された腐食ピットを伴ったサブクラックである。微小な腐食ピットを伴ったサブクラックは通常の Ti-6Al-4V 合金においても観察されている。このように、超細粒 Ti-6Al-4V 合金の腐食疲労き裂は微小な腐食ピットから発生することが明らかであるが電気化学測定結果から腐食ピットの発生時期は遅いと推察される。超細粒 Ti-6Al-4V の腐食ピットの発生機構に関しては腐食ピットの発生場所をも含めて不明な点が多く今後の更なる検討が必要である。

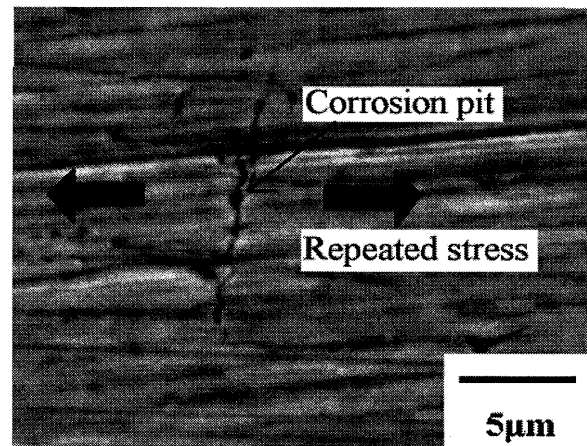


Fig.4 Surface crack with corrosion pit.
3%NaCl aqueous solution
475MPa, 7.3×10^3 cycles

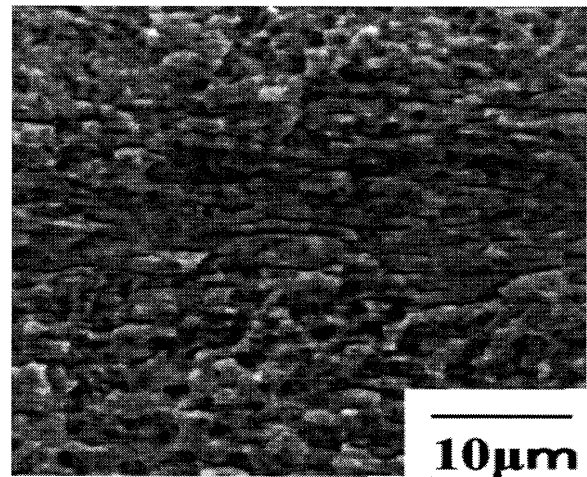


Fig.5 Corrosion fatigue fracture surface.
3%NaCl aqueous solution, 475MPa
 7.3×10^3 cycles, 250 μm from initiation

超細粒 Ti-6Al-4V 合金の腐食疲労破面は粒内破面が支配的でごく一部にストライエーションが観察された。Fig.5 にその一例を示す。

結言、参考文献：省略