

K-0527 トポグラフィ破面解析による β 型Ti合金の内部き裂発生挙動に関する研究

Topographic Analysis of Subsurface Crack Initiation Behavior of Beta-Type Titanium Alloy

○正 西野 精一 (富山大工)
山本 薫 (富山大院)

正 塩澤 和章 (富山大工)

Seiichi NISHINO, Kazuaki SHIOZAWA, Toyama University, Gofuku, Toyama, 930-8555

Kaoru YAMAMOTO, Graduate student of Toyama University, Gofuku, Toyama, 930-8555

The subsurface fatigue crack initiation and propagation behavior of beta-type titanium alloy was investigated by the reconstruction of fracture surface and computer simulation. The FRASTA (fracture surface topographic analysis) technique which reconstructs the fracture process form the three-dimensional topographies of conjugate fracture surface was applied to the fatigue fracture of Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al alloy. From the result, it was found that the subsurface crack initiation and growth process could be reappeared clearly by the FRASTA method.

Key Words: Fractography, Fatigue, Subsurface Crack, Fracture Surface, Ti-15V-3Cr-3Sn.

1. 緒言

近年、高強度鋼や表面改質を施した材料では 10^7 回を越えるような超長寿命域において、材料内部の介在物を起点にき裂が発生し破断に至ることが報告され、多くの研究が行われている。著者らは β 型チタン合金の疲労試験においても長寿命域で内部き裂型破壊が見られ、この場合材料内部のき裂発生点付近には介在物等はみられず、平坦なファセット領域が存在することを報告した⁽¹⁾。しかしながら、これら材料内部からのき裂発生・伝ば挙動に関しては試験片表面から直接観察ができない実験的困難さから十分に明らかにされていないのが現状である。

本研究では Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 合金の疲労試験において材料内部から破断に至った破面に対して三次元破面解析法である FRASTA 法²⁾を適用し、内部き裂の発生・進展挙動を明らかにすることを目的とした。

2. 供試材および解析方法

2.1 供試材 本研究で用いた供試材は表1に示す化学組成の β 型Ti合金 Ti-15V-3Cr-3Sn-3Alに溶体化処理と24時間の時効処理を施した材料を用いた。本供試材は溶体化処理時に形成された平均粒径 $52.4\mu\text{m}$ の旧 β 相を母相として時効により微細な針状 α 相が析出した組織となっている。表2に機械的特性を示す。

図1に本供試材の軸荷重疲労試験(応力比 $R=-1, 0.05, 0.5$)で得られているS-N線図を示す⁽¹⁾。図中+印を付したプロットは内部き裂型破壊を生じたものである。図より、応力比 $R=-1$ および 0.05 ではS-N曲線の2段折れ曲がりが見られ、長寿命側で内部き裂型破壊となっている。また、内部き裂型破壊を生じる繰返し数は応力比の増加に伴い低下し、 $R=0.5$ の条件下ではほぼ全ての寿命域で内部き裂型破壊を生じている。本研究では、内部き裂の発生・進展挙動を破面解析から検討するため、疲労過程でのき裂閉口の影響

が小さいと考えられる $R=0.5$ の条件下での疲労破面(図中*印)に対して解析を行った。

2.2 解析方法 三次元破面解析方法は小林ら⁽²⁾によって提案されているFRASTA法を用いた。FRASTA法は一对の破面の三次元凹凸情報をコンピュータに取り込み、コンピュータ上で両破面間の隙間が無くなるまで重ね合わせた後、徐々に引き離していくことにより破壊の進展過程を再現するという方法である。FRASTA法ではき裂を応力軸方向から見た破断面透視図(FAPP:Fracture area projection plot)と、き裂の進展を横断面で観察する横断面投影図(XSP:Cross sectional plot)を得ることができる。本研究では、破面の三次元形状の計測に走査型電子顕微鏡に付属した三次元解析システム(RD-500)を用いた。

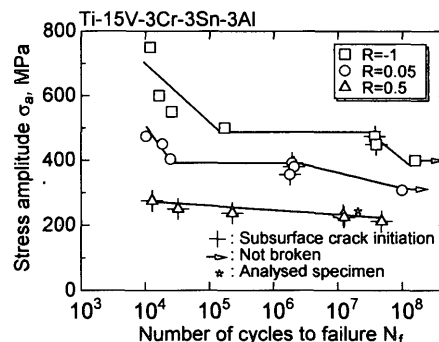
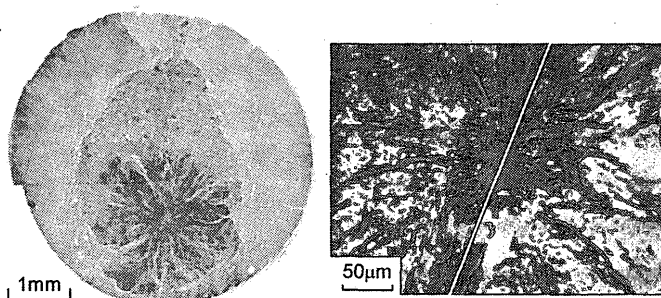


Fig.1 S-N curves obtained under the testing condition of various stress ratios in air at room temperature⁽¹⁾.



(a) Macroscopic observation (b) Microscopic observation

Fig.2 SEM observation of fracture surface ($R=0.5, \sigma_a=225\text{MPa}, N_f=1.26 \times 10^7$ cycles).

Table 1 Chemical compositions of tested material (wt.%).

Al	V	Cr	Sn	Fe	O	C	N	H
3.5	14.8	3.4	3.0	0.15	0.12	0.005	0.01	0.001

Table 2 Mechanical properties of tested material.

0.2% proof stress $\sigma_{0.2}$ (MPa)	Tensile strength σ_B (MPa)	Elongation δ (%)	Reduction in area ψ (%)	Vickers hardness HV
1156	1261	12.0	23.1	383

3. 実験結果および考察

3.1 破面観察結果 図2に解析対象とした破面の走査型電子顕微鏡写真を示す。図より試験片内部の平坦なファセット部を中心にき裂が放射状に伝ばし、直径約2mmの円形の領域が形成され破断に至っていることがわかる。このようなファセット部は他の内部き裂型破壊を生じた破面全てに認められた。なお、後述の横断面透視図の作成は同図(b)の白線に沿って行った。

図3にファセット部近傍の三次元観察結果を示す。図より、ファセット部は傾きを有しておりその傾きは試験片軸方向に対して約60°であった。

3.2 破面透視図による解析結果 図4にFRASTA法解析で得られたの破断面透視図を示す。図の破面間距離はそれぞれ0, 20.61, 27.48, 50.32μmである。図中白い部分は、各破面間距離の状態において基準面と対面が離れている領域、すなわち破壊している領域を示している。図より破面間距離の増加に伴い、ファセット部周辺から破壊領域が徐々に広がり、円形の領域を形成していることがわかる。

3.3 横断面透視図による解析結果 図5にFRASTA法解析で得られたの横断面透視図を示す。同図下部が基準面、上部が対面の凹凸を示しており、色の濃い部分が両破面が重なっている状態を示し、白い部分が破壊した領域を示す。図より、破面間距離の増加に伴いき裂が発生し進展する挙動が再現されているが、詳細には図(b)に示すようにき裂はファセット部の横から発生している。Ruppenら⁽³⁾は

α+β型チタン合金の内部き裂発生機構に関して、α相とβ相の不適合すべりによってβ相の{100}にへき開を生じて内部き裂が発生するとする機構を提案しており、内部き裂型破壊のみられた破面全てにファセット部がみられたことから、ファセット部が内部き裂発生に強く関係しているものと考えられる。

ファセット部からのき裂発生について詳細に検討するため、基準面と対面との凹凸の対応関係を検討した結果を図6に示す。同図に示すファセット領域の右側では対応関係はほぼ垂直であるのに対して、左側では傾きがみられ、その傾きはファセット部のそれとほぼ対応している。従って、β型チタン合金の内部き裂の発生はファセット部での局所的なすべりを起点に発生しているものと考えられる。

4. 結言

β型チタン合金の内部き裂型破壊を生じた疲労破面をFRASTA法で解析することにより、材料内部のファセット領域の局所的なすべりが起点となりき裂が発生し進展することが示された。

文 献

- (1) 塩澤和章・黒田泰嗣・西野精一, 機論, 64-626, A (1998), 2528-2535.
- (2) Kobayashi, T. and D.A.Shokey, Advanced Mater/ and Process, 140-5 (1991), 28.
- (3) Ruppen, J., Bhowal, P., Eylon, D. and McEvily, A.J., ASTM STP, 675 (1979), 47-68.

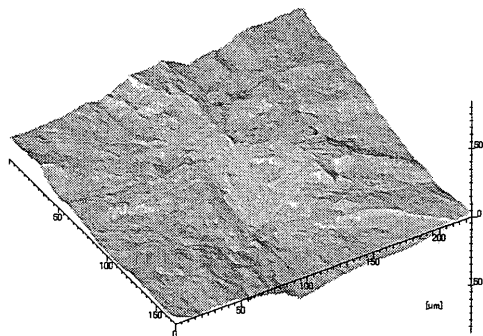


Fig.3 Bird's eye view of the fracture surface (R=0.5, $\sigma_a=225\text{MPa}$, $N_f=1.26 \times 10^7$ cycles).

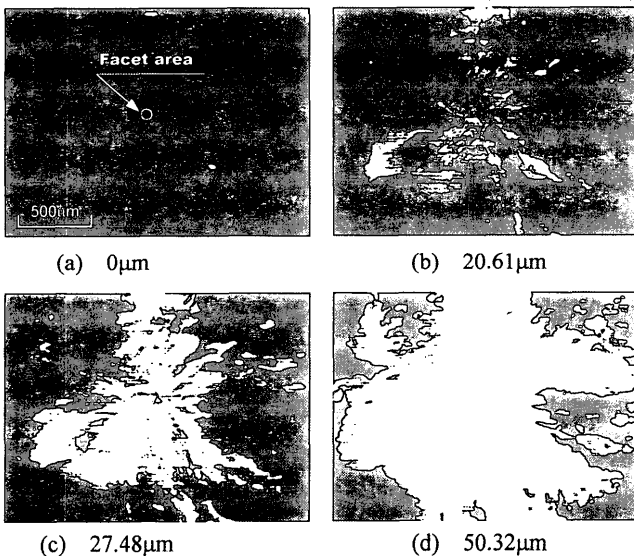


Fig.4 Fracture area projection plots.

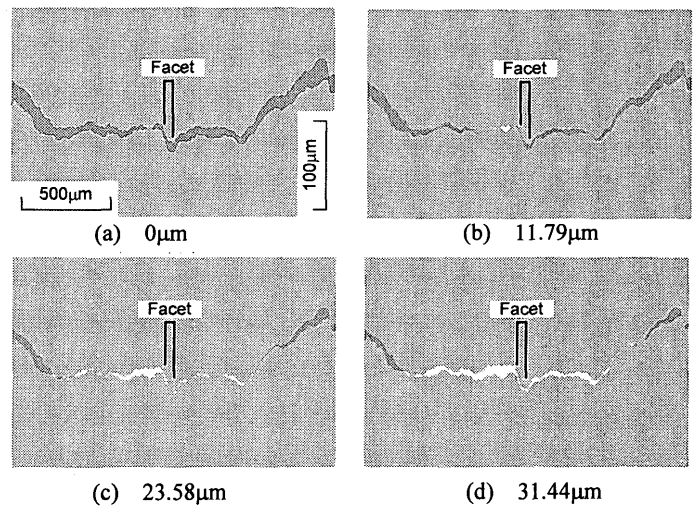


Fig.5 Cross sectional plots.

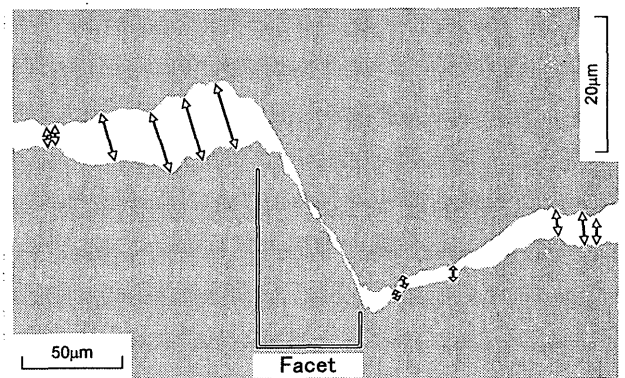


Fig.6 Mismatch of the cross sectional plot.