

チタン材料における疲労き裂進展に伴う AE 特性

日大生産工(院) ○染谷 光孝 日大生産工 小幡 義彦
日大生産工 高橋 清造

1. 緒言

機械類の 80 %以上は疲労破壊によって破壊され、多くの研究がされてきたがいまだに不明な点が多く、この先金属を機械や構造物などで扱っていくうえでは疲労破壊は起こりうる現象である。最近では、構造物内にセンサを取り付け自動で監視する構造ヘルスモニタリングの研究がおこなわれており、安全性を格段に向上できると期待されている¹⁾²⁾。

本研究では、アコースティックエミッショング(Acoustic Emission ; AE)法を用いて非破壊検査法を行った。AE 法は、対象となる構造物に取り付けたセンサにより構造物の状態のオンラインモニタリングが可能な検査法であるため、破壊に至る欠陥の早期発見に有効な検査法である。しかし、現状の検査では様々な機器類の稼働に環境雑音の AE 波も同時に計測されてしまうため、環境雑音との区別が困難であると言える。また AE 法は数多くの研究がされているが基本的なき裂進展に伴う AE 特性に関して報告が少ない。そのため本研究で使用する材料では、純チタンおよび Ti-6 Al-4 V 合金を用いた疲労試験を行い、環境雑音と疲労き裂進展に伴う AE 特性の区別することを調査した。

2. 実験方法および評価方法

Fig. 1 に試験片形状寸法およびセンサの取

り付けを示す。本実験で使用したコンパクト試験片は純チタンおよび Ti-6 Al-4 V(以下 64 合金)を用い人工欠陥は導入せず、実験開始後から試験片の破壊に至るまで AE event 数、き裂進展長さを 30 分間隔で計測した。

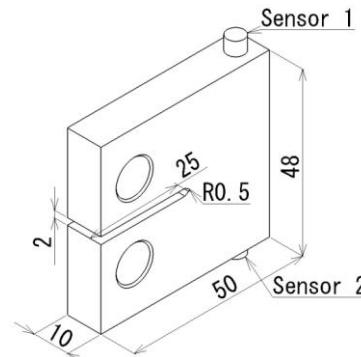


Fig. 1 Shape size and sensor position of compact tension specimen.

疲労試験機には、島津製作所社製 EHF - EB5 - 10L 型疲労試験機を使用し、最大荷重は各試験片とも 1.5 kN および 2 kN とし、応力比 $R = 0.1$ 、繰返し速度を 1 Hz 一定とした。AE センサには超小型 AE センサ (PICO) を使用し、機械の振動などの雑音を取り除くためにしきい値を 40 dB と設定した。また、センサ 1 およびセンサ 2 の AE 計測誤差を $\pm 50 \mu\text{s}$ とし、条件に満たないものはすべて除去した。

評価方法は、パルスカウンターより dA 変換機を通し、AE 発生時間を電圧に記録した。

Acoustic Emission characteristics from Titanium during fatigue crack propagation.

Mitsustaka SOMEYA, Yoshihiko OBATA and Seizo TAKAHASHI

その際の電圧による AE の荷重位相は、0 V と 10 V が最小荷重となり 5 V が最大荷重となる。このとき 0~5 V が引張負荷、5~10 V が圧縮負荷となり、これより求めた AE 発生荷重位相のほかに、AE event 数、振幅、センサの到着時間差によって評価を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 純チタンの AE 到着時間差

Fig. 2 に純チタンにおける AE 発生荷重位相分布図による AE 到着時間差を示す。各点における到着時間差にはばらつきがあり、判断するのが難しいため、事前にシャープペンシル芯圧折法による測定を行い、切欠き部では $\pm 1 \mu\text{s}$ で、試験片を固定する治具からは $\pm 4 \mu\text{s}$ 以上で AE が発生しているためそれ以上で発生するものについては機器類の環境雑音であると考えられる。

それを踏まえ、Fig. 2 では P1, P2 では $\pm 1 \mu\text{s}$ で多くの AE が発生していることが分かり、この領域ではき裂進展に対する AE が活発であるということが考えられる。P3 ではき裂部以外にも様々なところで AE が発生しており、低い位置の位相ではき裂による破面摩擦と環境雑音の両方が発生していると考えられる。P4においては試験片が破断に至る直前のため、き裂進展に対する AE が多く発生していることが分かるが、 $-50 \mu\text{s} \sim -25 \mu\text{s}$ でも AE が発生していることが分かる。この突発的に出ている AE を調査するため Fig. 3 に P4 の荷重位相分布図と AE 到着時間差を示す。ここで荷重位相分布図をみると $1 \sim 1.5 \text{ V}$ にて筋状の特徴的な AE が確認できる。これを到着時間差でみると P4-1 ではき裂進展に伴う AE であり、P4-2 では環境雑音によるものであると考えられるが、同じ位相上であり発生状態が異なっているため、これについては今後詳しく解析することが必要である。P4-3 ではき裂進展に伴う AE ということが

考えられ、P4-4 では、破断に至る寸前であるため荷重位相では 0 V からも AE が発生しているが破面摩擦によるものであるということが考えられる。

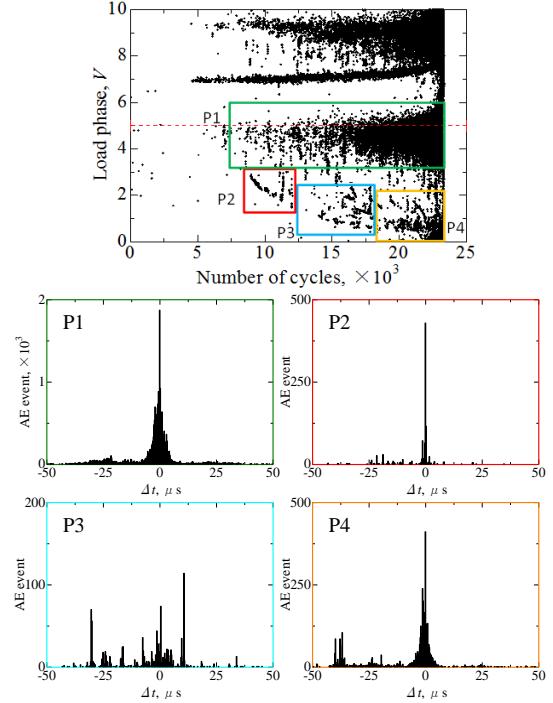


Fig. 2 Arrival time lag for Pure Ti 2kN.

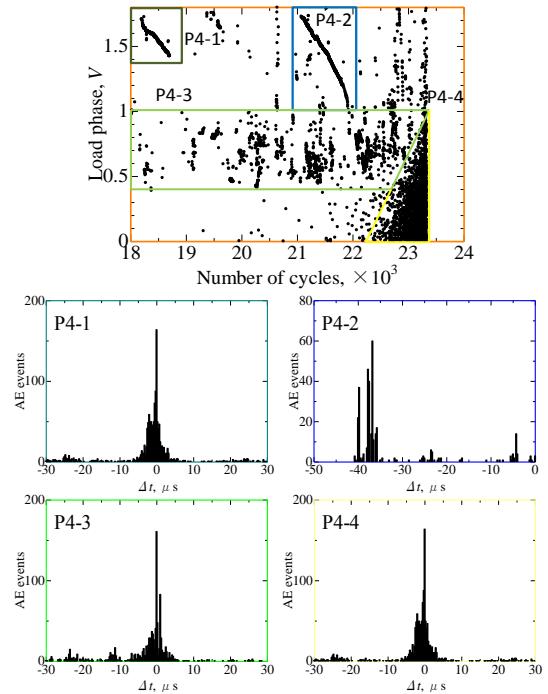


Fig. 3 Arrival time lag for Pure Ti 2kN of P4.

3.2 純チタンに対する評価

Fig. 4 に純チタンにおける AE 発生荷重位相分布図、AE event 数と疲労き裂進展との関係を示す。ここで、荷重位相分布図で 0~3 V を Opening AE, 3~7 V を Peak load AE, 7~10 V を Clouser AE とし評価を行った。純チタンでは実験開始後すぐにき裂が発生してしまいき裂発生前の AE を測定することができなかったが、き裂が発生し 5000 サイクル以降では全領域で多くの AE が発生していることが分かる。荷重位相分布図より Peak load AE をみるとき裂発生後から破断に至るまで AE が出ていることや 15000 サイクル以降では引張負荷側に AE が発生しているため、き裂進展に対する AE の多くはここで発生していることが考えられる。また AE event 数と疲労き裂進展の関係で比較すると、Peak load AE および Clouser AE がき裂進展のものと似ており AE よりき裂進展の推測が可能であると考える。

3.3 Ti-6 Al-4 V の AE 到着時間差

Fig. 4 に 64 合金における AE 発生荷重位相分布図による AE 到着時間差を示す。A1, A2 は破面摩擦による AE が多く発生しているがき裂が入り始めた場所であるため環境雑音も発生していると考えられる。また A4 では、試験片が破断する直前のため、多くの AE が $\pm 4 \mu\text{s}$ 以内で発生していることが分かる。しかし、A3においては、破面摩擦と環境雑音が同等に発生していることが確認できるため、Fig. 5 に AE 発生荷重位相分布図と AE 到着時間差を示した。ここでも純チタンのときと同様に筋状の AE が発生しているが、A3 - 1, A3 - 2 では、純チタンとは異なり右上がりとなっておりこれについても詳しく解析する必要がある。A3 - 3, A3 - 4 では発生時刻は同じであるが、位相が異なっており荷重のかかり具合により発生したものだと考えられる。

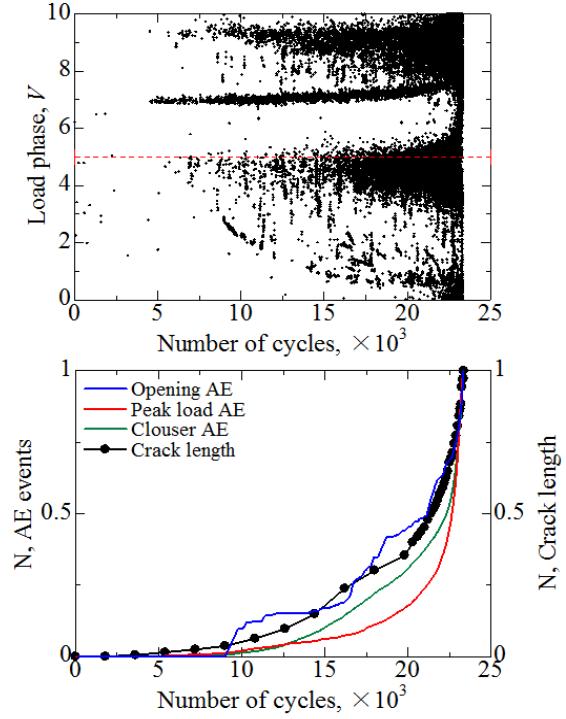


Fig. 4 Load phase behavior of acoustic emission AE events, Crack length for Pure Ti 2kN.

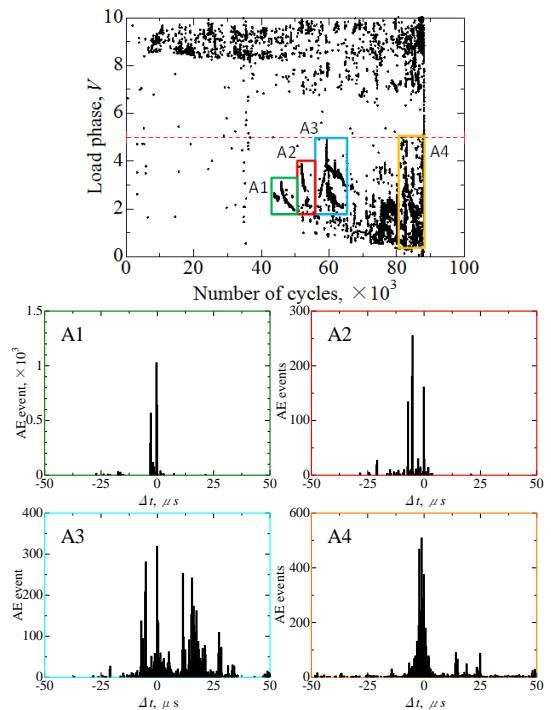


Fig. 5 Arrival time lag for Ti-6 Al-4 V 2kN.

3.4 Ti-6 Al-4 V に対する評価

Fig. 7 に 64 合金における AE 発生荷重位相分布図、AE event 数と疲労き裂進展との関係を示す。荷重位相分布図をみると純チタンとは異なり Peak load AE では活発に AE 発生はしていなかったが試験片が破断する寸前の Opening AE および Clouser AE についてはき裂進展に対する AE が発生していた。また実験開始後 Clouser AE についてはき裂も発生していないことから環境雑音によるものだということが考えられる。AE event 数と疲労き裂進展との関係については、64 合金においては AE event 数とき裂進展と同等のものがなく AE によるき裂進展の推測は困難であることが考えられる。

4. 結言

1. 疲労き裂進展に対する AE は $\pm 1 \mu\text{s}$ で多く発生しており、き裂進展によるものである。
2. 純チタンにおいて荷重が増加すると Opening AE, Peak load AE は増加傾向にあり、Ti-6 Al-4 V では減少する傾向にあった。
3. 疲労き裂進展により発生した破面摩擦による AE は Opening AE で多くみられ、純チタンにおいては Peak load AE の引張負荷側で多くみられた。
4. Ti-6 Al-4 V では AE と疲労き裂進展の関係は見られなかつたが、純チタンでは相関関係が見られき裂進展の推測が可能。
5. 純チタンおよび Ti-6 Al-4 V の荷重位相分布図にて特徴的な AE が発生しているが、今後詳しく解析する必要がある。

「参考文献」

- 1) 曽山義朗, 渡部正気, 古市博, 金属疲労の盲点, アイシーピー, (1998), p. 1.

2) 福永久雄, 跡部哲士, 構造物に内蔵したセンサによる構造健全性診断技術診断技術, 日本信頼性学会誌, 第 32 卷, 第 5 号, (2010), pp. 299-306.

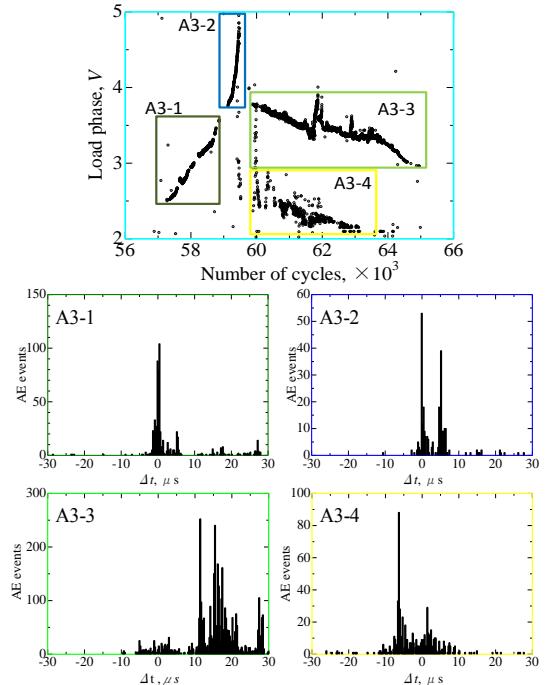


Fig. 6 Arrival time lag for Ti-6 Al-4 V 2kN of A3.

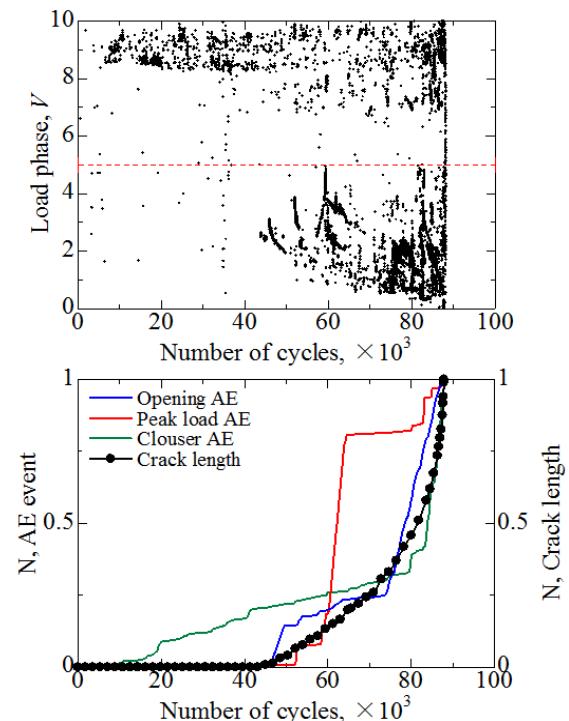


Fig. 7 Load phase behavior of acoustic emission AE events, Crack length for Ti-6 Al-4 V 2kN.