

東京工業大学

学 ○野口新二

正 布村成具

1. 緒言

セラミックスは先端技術における課題を解決するためきわめて有望な材料と考えられており、その破壊じん性値を正確に評価することは重要である。最近の報告ではセラミックスのような脆い材料の破壊じん性値を求める場合でも疲労予き裂の導入が必要であることが強調されている^(1,2)。しかしセラミックスは疲労き裂伝ばの速度の応力感受性が非常に大きく予き裂の導入が困難であり、金属材料に用いられている通常の方法では、所定の疲労予き裂を安定に導入するために一週間以上の長時間を要する。またセラミックスの疲労き裂の測定には、読み取り顕微鏡を用いる場合が多く、疲労き裂長さの測定に多大な労力を要する。

そこで脆いセラミックスに効率よく疲労予き裂を導入するため、疲労き裂伝ばを抑制する機構を考案し予き裂の導入を行なった。また目視による疲労き裂長さ測定に加えてアコースティックエミッション法⁽³⁻⁶⁾およびセラミックスに導電体の蒸着膜を施したポテンシャルドロップ法⁽⁶⁾による疲労き裂長さの検出、自動測定を試みた。このようにして疲労予き裂を導入した試験片から破壊じん性値を評価し、評価に及ばず疲労予き裂の効果を検討した。さらに破断面についてフラクトグラフィーによる検討を行なった。

2. 供試材および実験方法

実験に用いたセラミックスは市販のアルミナ (Al_2O_3) およびステアタイト ($MgOSiO_2$) の2種類である。試験片はASTM-E399に準じた厚さ12mmのCT試験片であり、切欠先端の曲率半径は約100 μm である(図1)。

疲労予き裂の導入は電気油圧式疲労試験機を用い荷重条件：応力比0.5、繰返し速度20Hz、で行なった。疲労き裂長さは読み取り顕微鏡、アコースティックエミッションおよび試験片表面にカーボン蒸着を施し定電流を流したポテンシャルドロップ法によって測定した。き裂長さ測定のプロック図を図2に示す。

疲労き裂伝ばを抑制するためCT試験片のリガメント部分にクランプによって圧縮応力を与えた。与える圧縮応力はクランプに張り付けられたひずみゲージより制御した。

破壊じん性試験はインストロン型試験機を用い、引張速度0.05mm/min.で行なった。

破面観察は破面に金蒸着を施してSEMにより行なった。

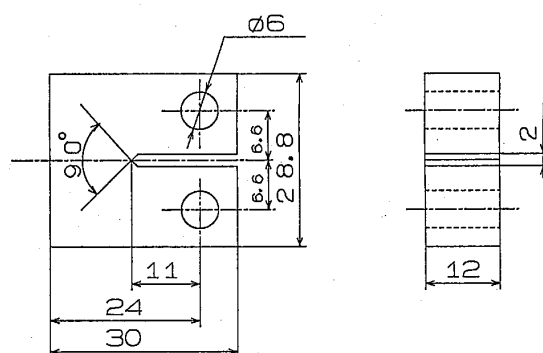


図1 試験片形状

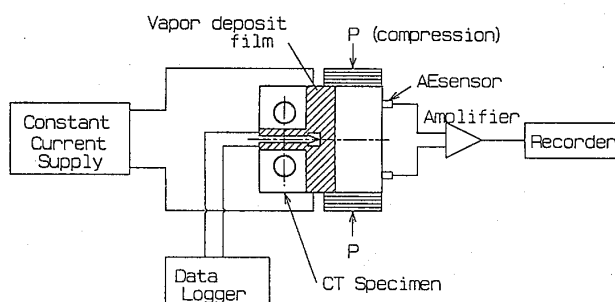


図2 き裂長さ測定ブロック図

3. 実験結果および考察

3. 1. アコースティックエミッション法と疲労き裂伝ばの関係

疲労予き裂導入中、試験片に取り付けられたAEセンサーからAEイベントを記録した。図3には一例として7.5MPaの圧縮応力をリガメント部分に受けるステアタイトの場合を示す。き裂長さの増加が観察される前後ではAEイベントは急激に増加しており、AEイベントの増加はき裂先端部分で新たなき裂が発生していることを定性的に表わしている。セラミックスの破壊じん性試験のための疲労き裂導入にはアコースティックエミッション法は有効であった。

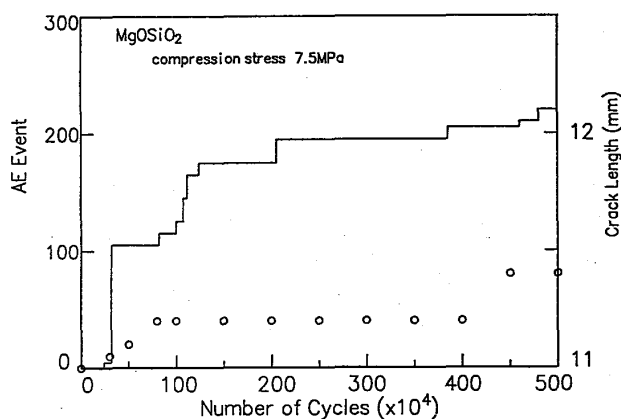


図3 AEイベントと疲労き裂伝ばの関係

3. 2. 蒸着膜によるポテンシャルドロップ法

図4は繰返し数の増加にともなうカーボン蒸着膜の電圧変化と読み取り顕微鏡によって測定した疲労き裂長さの変化を示している。電圧は疲労き裂長さの増加とともに一義的に増加しており、セラミックスのき裂長さ測定に導電体蒸着膜を施すことによるポテンシャルドロップ法が適応できる。図5はアナコンバーバによって作製した校正曲線と図4の実測値を比較したものである。アナコンバーバの校正値にくらべてセラミックに蒸着したカーボン蒸着膜による実験値は、約10%大きい。これはおもにセラミックスの疲労き裂先端のマイクロクラックの効果のためと考えられる。

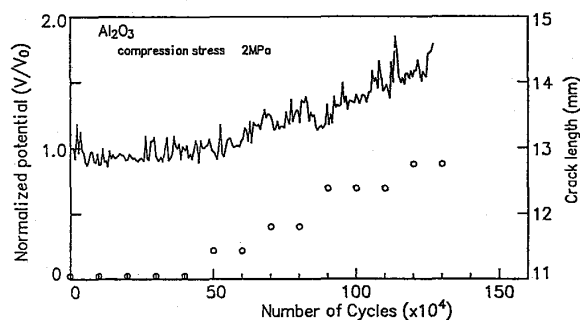


図4 測定電圧とき裂長さの関係

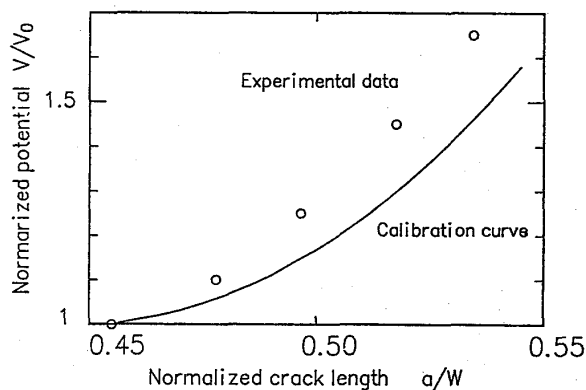


図5 校正曲線と実測値の比較

3. 3. 疲労き裂伝ば速度に及ぼすリガメント圧縮の効果

セラミックスはリガメントに圧縮応力を与えないで疲労試験を行なった場合、Paris式における指数が大きい ΔK のわずかの増加によって急速にき裂が伝播し破断に至ってしまう(図6の実線)。これに対し図6の点線は2種類の圧縮応力をリガメントに与え、疲労き裂の伝ばを抑制した結果である。2MPaの圧縮応力をリガメントに与えた場合、疲労き裂伝ば速度は、圧縮応力を与えない場合のような急速な上昇はなく、 ΔK の増加とともに緩やかに増加した。そして所定の疲労予き裂を導入するのに要した繰返し数はおよそ 10^6 回で、比較的短時間で疲労予き裂を導入することができた。一方3.5MPaの圧縮応力を与えた場合、疲労き裂伝ば速度はある疲労き裂長さを過ぎると減少し始め $\Delta K = 0.55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上では約 5×10^6 回の繰返しを加えてもき裂進展は観察されなかった。

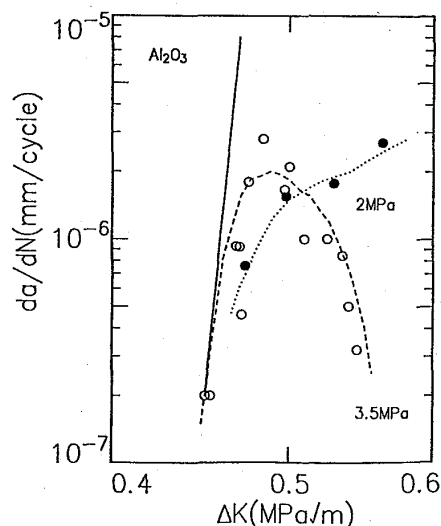


図6 リガメント圧縮応力と伝ば速度の関係

3. 4. 破壊じん性値評価に及ぼす疲労予き裂の影響

アルミナおよびステアタイトの疲労予き裂を導入した試験片と導入していない試験片で求められた破壊じん性値の比較を表1に示す。疲労予き裂を導入していない試験片から評価した破壊じん性値は、切欠半径が $100 \mu\text{m}$ と鋭いにもかかわらずアルミナ、ステアタイトともに疲労予き裂を導入されたものよりも20%ほど高い値を示した。この結果よりセラミックスのような脆い材料の破壊じん性値の評価にも疲労予き裂の導入が必要であることが確認された。

圧縮応力により疲労き裂の急激な成長を抑制し安定な予き裂を得ることができたが、これが破壊じん性値評価に影響しないことを確認する必要がある。表1の

実験結果によれば圧縮応力が異なっても破壊じん性値はアルミナ、ステアタイトともにほとんど同じ値であった。実験された範囲でリガメントに与えた圧縮応力は破壊じん性値評価に影響を及ぼさなかった。

表 1 破壊じん性値評価に及ぼす疲労予き裂の影響

Al ₂ O ₃	as-precracked	fatigue-precracked	
		Compression stress (2.0MPa)	Compression stress (3.5MPa)
Toughness(MPa√m)	2.95	2.45	2.47

MgO/SiO ₂	as-precracked	fatigue-precracked	
		Compression stress (5.0MPa)	Compression stress (7.5MPa)
Toughness(MPa√m)	2.24	1.86	1.86

3. 4. フラクトグラフィー

考案した疲労予き裂導入法が及ぼす影響を調べるため、用いられたステアタイト、アルミナともに破壊じん性試験後、破面観察を行なった。破壊じん性試験中に破断した領域は、疲労予き裂の有無にかかわらず凹凸のない無特徴な様相を呈していたが、圧縮応力下で疲労き裂伝播した領域は、凹凸に富んでいた。一例として5.0MPaの圧縮応力をリガメントに受けて疲労予き裂を導入されたステアタイトの破断面のSEM写真を図7に示す。

図7(a)は疲労き裂伝ば領域と破壊じん性試験による破断領域の境界付近で、疲労き裂伝ば領域は凹凸が激しく無数の微小空洞が表面に現われているのに対し破壊じん性試験による破断領域は凹凸がなく表面に現われている微小空洞もまばらである。

圧縮応力を与えなかったため急速に疲労き裂伝ばし破壊した疲労破面ではこのような激しい凹凸は観察されなかった。凹凸に富んだ疲労破面の形成は、リガメントに与えた圧縮応力のために見かけの ΔK よりも低い実効 ΔK で疲労き裂がセラミックス中の微小空洞をぬって伝ばしたためと考えられる(図7(b))。

4. 結言

(1) 考案した疲労予き裂導入法によりセラミックスに安定した疲労予き裂の導入が可能であった。

(2) アコースティックエミッション法およびセラミックス表面に蒸着膜を施したポテンシャルドロップ法はセラミックスの疲労き裂発生を検出、疲労き裂長さの測定に有効な方法であった。

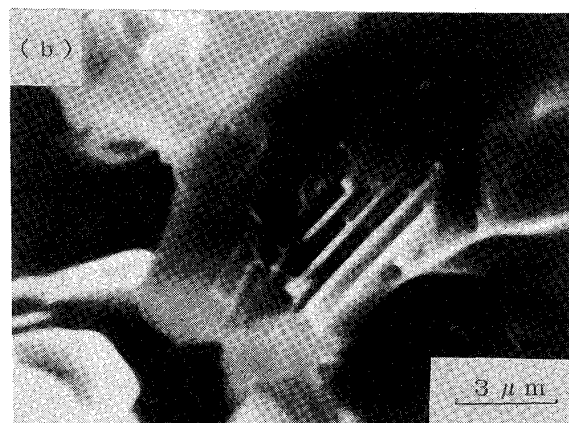
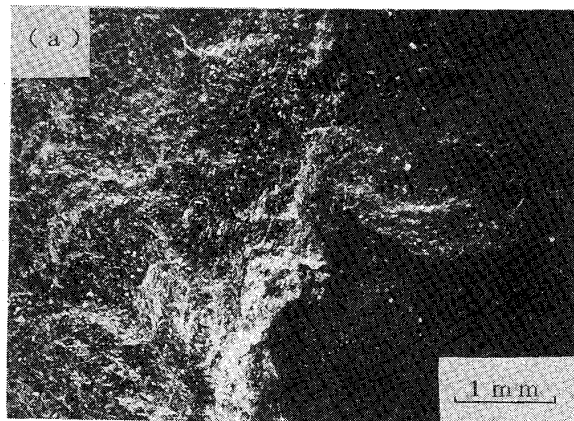


図7 フラクトグラフィー

(3) 疲労予き裂を導入していない試験片は疲労予き裂を導入した試験片よりも過大に破壊じん性値を評価する。セラミックスの破壊じん性値評価にも疲労予き裂の導入が必要であることが確認された。

(4) 安定な疲労予き裂導入のためにリガメントに与えた圧縮応力はセラミックスの破壊じん性値の評価に影響を及ぼさない。

(5) 破壊じん性試験によって生じた破断面は疲労予き裂の有無にかかわらず凹凸のない形態であったが、リガメントに与えられた圧縮応力のため伝ばを抑制された疲労破面は空洞をぬった凹凸に富んでいた。

参考文献

- 1) 野瀬、藤井、久保, 金属学会講演概要, p205(1988)
- 2) 武藤、田中, 金属学会講演概要, p207(1988)
- 3) 尾上ら他5名, アコースティック・エミッションの基礎と応用, コロナ社, (1977)
- 4) 大津, アコースティック・エミッションの特性と理論(構造物の稼働時の非破壊検査法), 森北出版, (1988), 以下省略