

214 アルミナおよび窒化ケイ素セラミックスの 不連続的疲労き裂進展と開閉口

大阪大学 正 小倉 敬二 大阪大学 正 西川 出
大阪大学 [院] 学○門阪 宗樹 大阪大学 [院] 田中 盛彦

1. はじめに

セラミックスのき裂進展挙動を解明する上で、正確なCODの計測は不可欠である。しかし、セラミックスに発生するき裂のCODは極めて小さいことから適当な計測手法がなく、特に実際重要と考えられる小型サンプルに生じる数mm以下程度の小寸法き裂に対する計測は全くと言って良いほど報告されていない。本報告では、セラミックスのような粗表面に対して良好な計測ができるレーザスペックルを用いた計測システム^[1]により、小さいき裂のCOD計測を行い、これを基にき裂進展挙動について検討することとした。

2. 実験方法

供試材は、アルミナ（リファセラム：ファインセラミックスセンター）および窒化ケイ素（EC-141：日本特殊陶業）であり、5mm×10mm×50mmの矩形型試験片を用いた。試験片には予めBC（Bridge Compression）法により予き裂を導入した。疲労き裂進展試験は、電気油圧式疲労試験機（SERVOPET、±5ton）を用い、繰返し3点曲げ負荷により行った。負荷波形は正弦波、応力比 $R=0.10\sim 0.15$ 、繰返し速度は0.5Hzである。試験条件は常温環境下および1173Kの高温環境下とした。高温試験の際の試験片の加熱には、抵抗体到大電流を流すことにより発熱させ、これを試験片と接触させる方法を採用した。

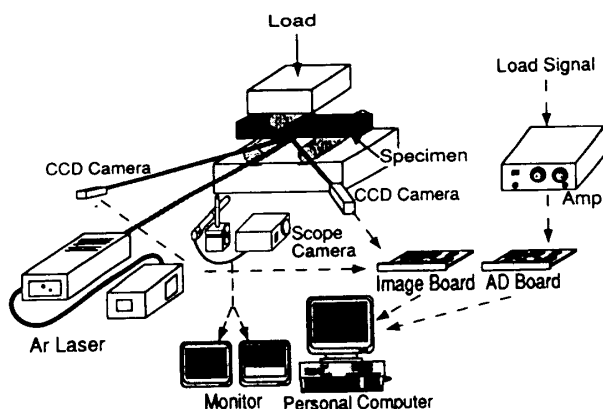


Fig.1 Experimental setup for COD and crack length measurement

実験中、き裂長さの計測と同時にCODも計測した。き裂長さはスコープカメラ（ハイロックス製、倍率150倍）により計測した。CODの計測にはレーザスペックルゲージ^[2]を用いた。レーザ光源には出力100mWのArレーザを用い、これに対して変形方向に向かって±45度方向、試験片から300mmの位置にCCDカメラを配置し、これによりスペックルの移動量を計測し、これよりCODを求めた。計測システムをFig.1に示す。

3. 実験結果

最大応力拡大係数 K_{max} 一定の条件下で得られたき裂長さと負荷繰返し数の関係の一例をFig.2に示す。窒化ケイ素の常温試験は、最初の $K_{max}=4.0\text{MPam}^{1/2}$ の K_{max} 一定試験に引き続き、 $K_{max}=4.2$ 、次いで $K_{max}=4.5$ の試験を行った。図中一点鎖線で示した位置が K_{max} 値の変更を行った位置である。これより、窒化ケイ素の $K_{max}=4.5$ の試験を除けば、アルミナ、窒化ケイ素の両材料ともにあるレベル以下の K_{max} 一定の条件下では、き裂進展にともしないき裂進展速度 da/dN は減少し、一時的にき裂は停留することがわかる。

次に、試験中同時に計測したCODの計測結果から一例として、常温下におけるアルミナおよび窒化ケイ素の K_I -CODヒステリシスループの繰返しにともしなう変化の様子をFig.3に示す。

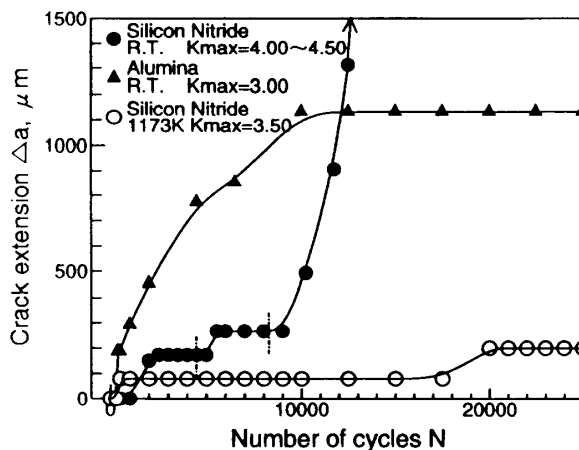


Fig.2 Crack length plotted against the number of cycles

両材料ともヒステリシスループにはわずかなふくらみが生じているが、これは菊川ら^[4]によって報告されている固体摩擦型のヒステリシスループと考えられる。一方、疲労試験中のコンプライアンス変化はその挙動が複雑である。例えば、Fig.3-aに示したアルミナの $K_{max}=3.0$ の実験において $N=2500$ から 10000 にかけては試験片表面からのき裂の観察では、き裂は 4.362mm から 5.042mm の長さまで進展しているにもかかわらず、コンプライアンスには変化が生じていない。同様の傾向は窒化ケイ素にも認められた。一方、SEMによるき裂進展経路観察およびSEMとレーザ顕微鏡による破面観察から、SCG領域に多くの架橋している粒子が存在することが確認された。また、架橋は粒子単位というよりは、むしろ数十 μm 程度の範囲にわたる粒子群単位で発生していることが認められた。これらのことから、セラミックスのき裂先端近傍には、粒子による架橋や摩擦が発生していることが確認された。それらが、き裂先端の応力を遮蔽した結果、複雑なコンプライアンス変化が生じたものと考えられる。疲労試験中に計測したCOD δ_e と理論上のCOD δ_t の関係をFig.4に示す。き裂先端に生ずる応力遮蔽効果のために、 δ_e は δ_t より常に小さくなっていることがわかる。

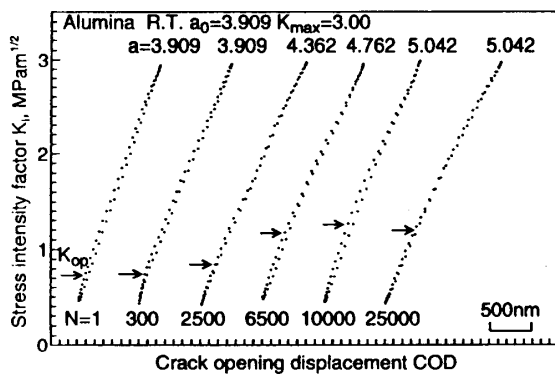


Fig.3-a Hysteresis curves between stress intensity factor and COD in alumina ceramics at room temperature

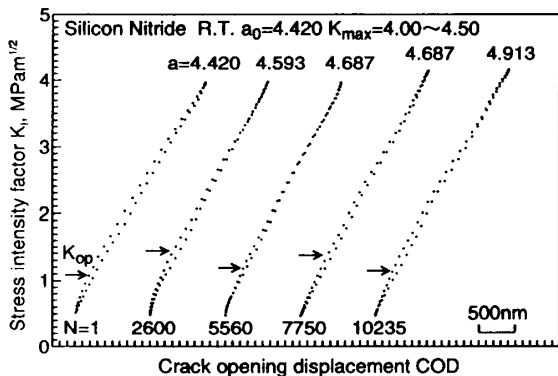


Fig.3-b Hysteresis curves between stress intensity factor and COD in Silicon Nitride ceramics at room temperature

また、それは常温下において顕著に見られる。以上のことから、セラミックスのき裂進展には応力遮蔽効果を考慮したき裂先端応力拡大係数 K_{tip} の寄与が大きいものと考えられる。そこで、武藤ら^[4]によって提案されている式に基づき、計測したCODから K_{tip} を求めた。得られた K_{tip} とき裂進展速度 da/dN の関係をFig.5に示す。試験温度が一定であれば各材料ともほぼ一本の伝ば曲線となる。このことから、セラミックスのき裂伝ばには応力遮蔽効果が大きく寄与しており、この効果は応力繰返しに伴い変化するなど複雑であることが明らかとなった。応力遮蔽効果の定量化には、き裂架橋部の領域寸法や応力分布を仮定しなければならず、この程度を正確に求めることは難しいが、コンプライアンス変化からこの効果の程度を見積ることができるようである。

参考文献

- [1] 西川他：材料No43-493 (1994) ,1290
- [2] 菊川他：第22回疲労シンポジウム講演論文集 (1994) ,49：機講論, No95-1 (1995) ,122
- [3] 西川他：日本機械学会第73期全国大会講演論文集 (I) No95-10 (1995) ,348
- [4] 武藤他：日本機械学会第73期全国大会講演論文集 (I) No95-10 (1995) ,421

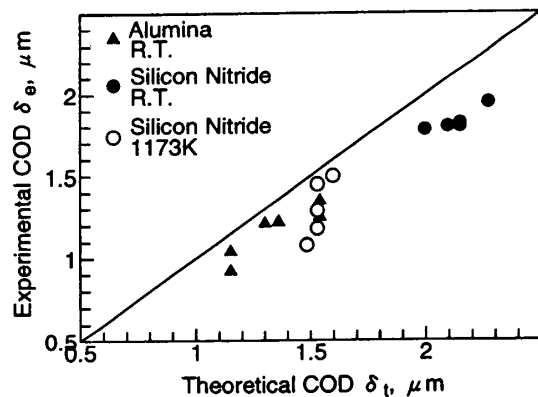


Fig.4 Experimental COD plotted against theoretical COD

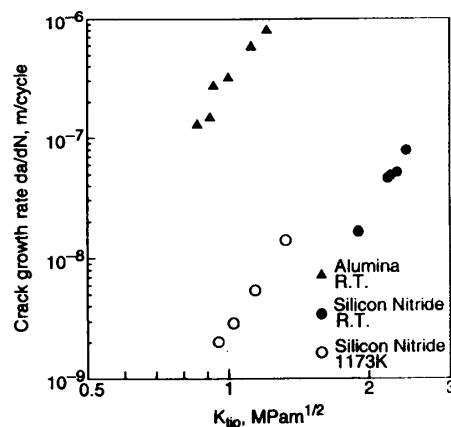


Fig.5 Crack growth rate da/dN plotted against K_{tip}