

(717) ウィスカー強化ガラスに見られる特徴的なR-曲線挙動

三菱電機(株)材料研究所:香川 豊, 東大先端科学技術研究センター:榎 学, 岸 輝雄

1 目的: セラミックスやガラスをウィスカーで強化すると、破壊靱性や強度などの機械的特性が著しく向上することが知られている。一方、強靱化のメカニズムに関しては多くの実験的な検討が行われているものの、単に材料特性を求めている報告が多く、前記の材料の強靱化の統一かつ定量的な解釈を行う際の障害の一つになっている。本研究ではこのような背景から、ウィスカー強化ガラスの破壊過程を詳しく観察することによりウィスカー強化ガラスの強靱化の機構について検討した。

2 実験方法: 複合材料としてはSiCウィスカー強化ガラス(CGW7740)を用いた。複合材料はホットプレス法により作製したものであり、ウィスカーの配列は準3次元ランダムである。また、ウィスカーの体積率は0.2で一定とした。ホットプレス後の材料よりサイドグループ付のDCB型試験片を切り出し試験を行った。試験はインストロン型試験機を用いて室温にて行い一定変位速度で荷重を加えた。このとき、負荷速度を $8.33 \times 10^{-7} \sim 8.33 \times 10^{-6}$ m/sの間で変化させた。また、試験時にクラックゲージを用いてノッチ先端からのクラック長さや荷重の変化を同時に記録した。

このようにして得られた結果より、応力拡大係数とクラック長さの関係を求め、R-曲線挙動について考察した。また、破壊の状況をマクロ、ミクロに観察することにより、破壊の状況とR-曲線挙動の関連性についても検討した。

3 結果および考察: Fig. 1はSiCウィスカー強化ガラス複合材料の代表的な荷重-変位曲線の様子を示したものである(クロスヘッド速度は 1.67×10^{-6} m/s)この図に見られるように複合材料の変形破壊の過程は4つの異なるステージに分けられる。すなわち、Stage I: 線形変形領域、Stage II: 非線形変形を開始し、ノッチ先端からミクロなクラックが進展し初め、最大荷重に達する、Stage III: 最大荷重に達した後にクラックの進展に伴って全体として荷重が徐々に低下するが、荷重の低下と上昇を繰り返す、Stage IV: クラックが不安定に伝ばし、荷重が急激に低下する、段階である。Stage II, IIIでは複合材料は準安定破壊をしており、これらのステージでのR-曲線挙動を求めるとFig. 2のようになる。本研究で用いた複合材料に見られるR-曲線の挙動は、全体としてはおおまかには通常セラミックスで観察されるR-曲線の挙動に従い、 $KR = K^* + q \Delta a^n$ で記述される。ここで、 K^* , q , n は定数、 Δa はクラックの長さである。しかし、細かくR-曲線挙動を見ると、KRの増加と減少が波うつてR-曲線上に生じ、 $\Delta a = 4 \sim 10$ mmでKRが一定の幅を持つ値に収束したと考えられる後にもKRの増加と減少を繰り返していることが大きな特徴である。Fig. 3は破壊の様子をマクロ的に観察したものである。ノッチ先端からのクラックの進展はジグザグであり、クラックの進展中にクラックが曲げられた様子を反映している。また、SEMによる観察結果から、破面にはクラックの進展を反映していると考えられる“うねり”が見られ、“うねり”の谷間には、クラックが分岐したと考えられるクラックが1ピッチ毎に観察された。

このように、複合材料特有のR-曲線挙動はクラックの進展時の複合材料中で生じる数々のエネルギー散逸機構あるいは応力の集中の低減機構の存在によるものであると考えられる。

4 結論: ウィスカー強化ガラスでは通常セラミックスで見られるR-曲線挙動と概略は一致するが細部は異なり、曲線上にKRの増加と減少を繰り返す挙動が観察される。この挙動は複合材料中でのクラックの進展時にクラックのDeflection並びに材料内部のプロセスゾーンとウェイク部で生じるクラックおよびマイクロクラックの生成にともなうウィスカーのプルアウトと破壊によるConstrain効果等によるものと考えられる。定量的な議論については今後の課題である。

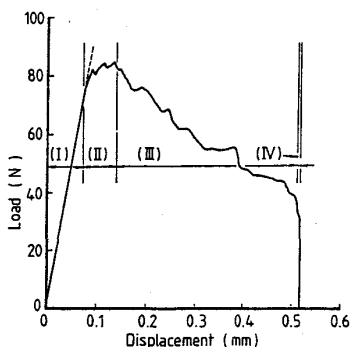


Fig. 1 Typical curve of load-displacement for a DCB specimen.

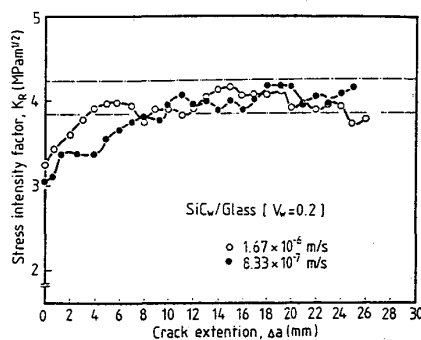


Fig. 2 Relationship between crack extension length and stress intensity factor.

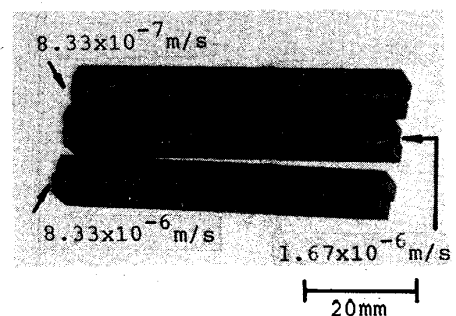


Fig. 3 Fracture appearance of a DCB specimen with different crosshead speeds.