

127 SiC/SiC 複合材料の強度特性に及ぼす繊維への C および BN 被覆効果

山口大学 ○合田公一
山口大学 大木順司山口大学[学] 田中智史* 山口大学[院] 玉置純一**
宇部興産 鈴木道之

(*現 三菱マテリアル, **現 中電工)

1 緒 言

周知のように、セラミックス基複合材料は繊維マトリックス間の界面すべりによってセラミックスの脆性を大幅に改質した期待の材料である。本研究では、セラミックス基複合材料の中でも特に高温特性に秀でた SiC 繊維強化 SiC 基複合材料を取り上げ、この材料の引張強度および疲労寿命に及ぼす繊維への C および BN 被覆効果を調査した。

2 供試材料および実験方法

供試材料として、SiC 繊維強化 SiC 基複合材料（宇部興産社製）を用いた。この材料は、C および BN 被覆処理を施した 1600 本の SiC 繊維（Si-Zr-C-O 繊維）の束をポリマー含浸焼成法（PIP）により焼成したものである。この繊維の被覆前における諸特性を表 1 に示す。焼成後、この複合材を長さ 75mm に切断し、両端 20mm の箇所には厚さ約 0.5mm のアルミニウム板をゲージ長さ 35mm になるよう貼り付けたものを試験片とした。そして、常温大気中において引張速度 0.72mm/min の下で各条件につき 10 本ずつ引張試験を実施した。なお、試験片の変位測定をレーザー変位計（アンリツ（株）製、M552AD 型）により実施した。

疲労試験は、大気中室温下において荷重制御下で実施された。試験条件は、繰返し速度 $f=5\sim 7\text{Hz}$ 、応力比 0.1 および正弦波形の繰返し荷重条件とした。試験本数は各条件につき 7~10 本である。

3 引張試験結果

引張試験結果の平均値を表 2 に示す。また、応力-ひずみ曲線の一例を図 1 に示す。これから、未被覆 SiC/SiC 材は C および BN 被覆 SiC/SiC 材に比べて強度および破

Table 1. Properties of Si-Zr-C-O fiber.

Diameter μm	Tensile strength GPa	Tensile modulus GPa	Shape parameter	Scale parameter GPa
11	3.4	200	7.3	3.8

(Weibull shape and scale parameters were estimated from the strength data at G.L.=10mm)

Table 2. Tensile strengths and fracture strains of SiC/Si-Zr-C-O composite specimens.

	Fiber volume fraction	Tensile strength GPa	Fracture strain %
C-coated SiC/SiC	0.20	310	1.15
BN-coated SiC/SiC	0.11	115	0.74
Uncoated SiC/SiC	0.26	123	0.36

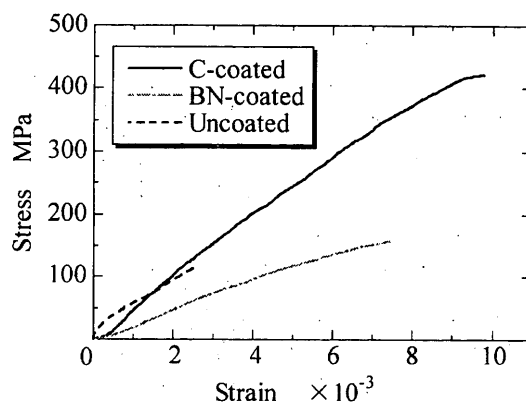


Fig.1. Typical stress-strain diagrams of uncoated and coated Si-Zr-C-O/SiC composites.

壊ひずみが大きく低下することが認められる。未被覆材では界面で強固に接着しているために、負荷中にはく離することなくマトリックスき裂が発すると繊維にそのまま進展し、繊維本来の強度を発揮することなく破壊に至ったことがその原因である。一方、C および BN 被覆 SiC/SiC 材は、破壊ひずみが 3~4 倍向上した。また、繊維体積率が異なるので直接比較はできないが、繊維が受け持つ応力レベルに換算すると、C 被覆材が最も強度が高く、C 被覆材、未被覆材の順に続く。このような変化は、被覆された SiC 繊維の界面すべりにより、マトリックスのき裂伝ばを阻止した結果と考えられる。界面すべりの状況を明らかにするために、各試験片破面を SEM により観察した。図 2 にその結果を示す。これから、図(a)(b)の C および BN 被覆 SiC/SiC 材では個々の繊維が大きく引抜けている様子が観察され、繊維マトリックス間で界面すべりのあったことが容易に推察できる。これに対して、図(c)の未被覆 SiC/SiC 材では引抜けがほとんどみられず、破面は平坦である。引抜け長さを調べるために、各破面の SEM 写真から観察される範囲でマトリックス端からの長さを測定した。その結果を表 3 に示す。これから、C 被覆 SiC/SiC 材の平均引抜け長さが BN 被覆材におけるより大きいことがわかる。引抜け長さの大きいものは界面ですべりやすいことを意味する。すなわち、

Table 3. Pullout lengths of SiC/SiC composite specimens.

	Average μm	C.V. %
C-coated SiC/SiC	571	77.2
BN-coated SiC/SiC	271	76.8
Uncoated SiC/SiC	17	88.2

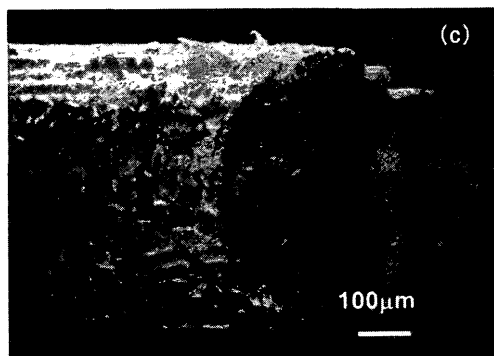


Fig.2. SEM observation of fracture surfaces of (a) C-coated, (b) BN-coated, and (c) uncoated SiC/SiC composites.

界面すべりを発現させることによって、引張強度および破壊ひずみの大きい SiC 繊維強化 SiC 基複合材料が得られることが判明した。

4 疲労試験結果

疲労寿命と繰返し最大荷重の関係を図 3 に示す。各試験片の断面積のばらつきが大きく、応力表示では各条件の傾向がみられなかったため、ここでは荷重表示とした。いずれの材料も静的破断荷重の 0.7~0.9 の繰返し最大荷重を与えると、疲労寿命は $1 \sim 10^6$ の範囲で大きくばらついた。このうち、C 被覆材は静的引張試験と同様に最も高い繰返し荷重レベルで破断に至ることがわかる。疲労特性を比較するため、繰返し最大荷重を各々の引張試験で得られた平均破断荷重で除し基準化した。これを図 4 に示す。これより、繰返し最大荷重レベルは C 被覆材が全般的に高い位置を示し、続いて、BN 被覆材、未被覆材と続く。これから、本研究の範囲内で最も優れた耐疲労特性を示すのは C 被覆材であることが判明した。

表 4 に疲労試験後の破面の SEM 写真から測定された引抜け長さを示す。これから、繊維の被覆処理の有無に関わらず、疲労試験後の長さより大きくなる傾向がみられる。すなわち、C 被覆材の引抜け長さが最も繰返し負荷の影響を受け、引張試験後と比較して約 2 倍の引抜け長さが確認された。続いて BN 被覆材と未被覆材がそれぞれ 1.37 倍、1.35 倍となった。この原因は、繊維が繰返し荷重を受けることで剥離およびすべりが促進され、繊維破断長さが引張試験時と比較して大きくなるからである。

(結言・参考文献 略)

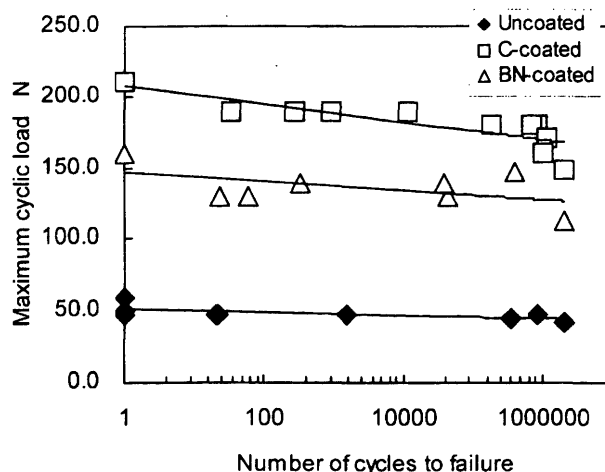


Fig. 3. Fatigue life of uncoated and coated Si-Zr-C-O/SiC composites.

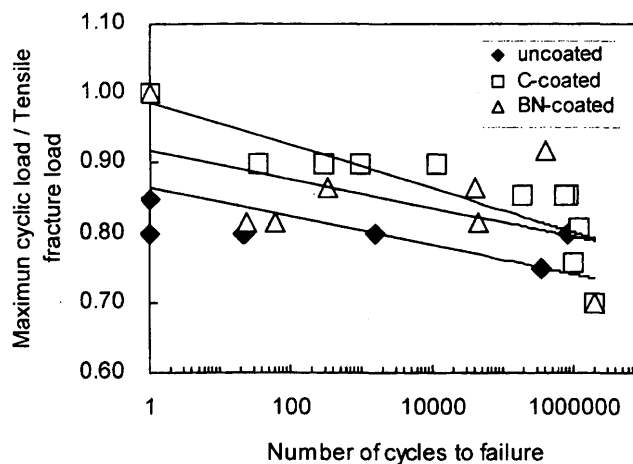


Fig.4. Normalized maximum cyclic load vs. fatigue life of Si-Zr-C-O/SiC composites.

Table 4. Pullout lengths of Si-Zr-C-O/SiC composite specimens after fatigue test.

	Average μm	C.V. %
C-coated SiC/SiC	1184	65.6
BN-coated SiC/SiC	373	123
Uncoated SiC/SiC	23	82.6