

各種の温度雰囲気中における SiC セラミックス の曲げ強度について*

芳 賀 武**

Bending Strength of SiC Ceramics in Various Temperature Atmospheres

Takeshi HAGA

Bending test was carried out on two types SiC ceramics specimens within various temperature atmospheres. This test was to find out change in the bending strength of the specimens according to the temperature atmospheres.

The results were as follows.

- 1) Fracture strength of SiC ceramics shows lower value when the temperature is fairly lower than the room temperature, and lower in the higher temperature.
- 2) As the temperature of atmosphere increases, fracture strength of C-400 type ceramics at each temperature atmosphere is in proportion to its time toughness, C-300 type ceramics shows no proportional relation between the fracture strength and its time toughness.

1 緒 言

耐熱性に優れた SiC セラミックス材は高温強度に特性を持ち、主にタービンブレードなどの用途に適している。しかしセラミックスの焼結方法の種類によって破壊強度は高い値を示したり、低い値を示したりする。一般にセラミックスのような脆性材料において、破壊の強度を評価する方法は数多くある^{(1)~(3)}中でも破壊応力 σ_f で評価するのは危険であり、破壊じん性値 (K I c) を用いることが多い^{(4)~(6)}破壊じん性の測定はほとんど常温で測定され、高温における破壊じん性値を求めた例はあまり報告⁽⁷⁾されていない。中でも高温において破壊じん性の値を直接測定する方法はむずかしい。筆者は高温において直接破壊させる装置を考案した。また二三の温度雰囲気中の曲げ破壊強度を調べたので、その一例の実験結果を報告する。

2 試料および実験方法

2-1 試料

試料は市販の常圧焼成の SiC-A Type (SiC-300 と呼ぶ) と SiC-B Type (SiC-400 と呼ぶ)

* 昭和58年11月 粉体粉末冶金協会, 昭和58年度秋季大会に一部発表

** 機械工学科 助教授

原稿受付 平成2年9月28日

を用いた。ここで SiC-400 は SiC-300 より高密度の試料で、それぞれ C-300 は $3.07 \sim 3.16 \text{g/cm}^3$ 、C-400 は $3.12 \sim 3.18 \text{g/cm}^3$ の密度のものを使用した。試験片の形状寸法は $5 \times 5 \times 50 \text{mm}$ の素材より $5 \times 5 \times 25 \text{mm}$ の試験片を採取した。

2-2 実験方法

実験装置は島津製インストロン型精密万能試験機台の上に Fig. 1 (a)に示す超高速昇温炉を取り付け、炉内に Fig. 1 (b)に示す三点曲げ実験装置を取り付けた。下部の支持台は粉碎用アルミナボール $\phi 12.5 \times 12.5 \text{mm}$ をダイヤモンドカッタでカマボコ状に切断し、Fig. 1 (b)に示すようにした。実験は液体窒素中 (77K)、冷蔵庫中 (253K)、室温 (288K)、高温中 (1173K) の各温度雰囲気中にそれぞれ 5, 5, 5, 30min 保持した後、インストロン型精密万能試験機の上部より先端が超硬鋼材の支持棒を取り付け、超高速昇温炉中に支持棒が導入されるような装置から曲げの実験を行い、その実験値をオートグラフにより記録した。

三点曲げ実験は長さ l (15mm) の両端支持ばかりの中央に集中荷重 $W \text{kg}$ が働くようにした。SiC セラミックスの試験片の曲げ応力 σ はつぎのような計算方式である(1)式より曲げ強度を求めた。

$$\sigma = M/Z = Wl/4 \div bh/6 = 3Wl/2bh = 0.18W \dots\dots\dots(1)$$

各種の温度雰囲気中の試験はすべて 5 本の試験片の平均の値を採用した。

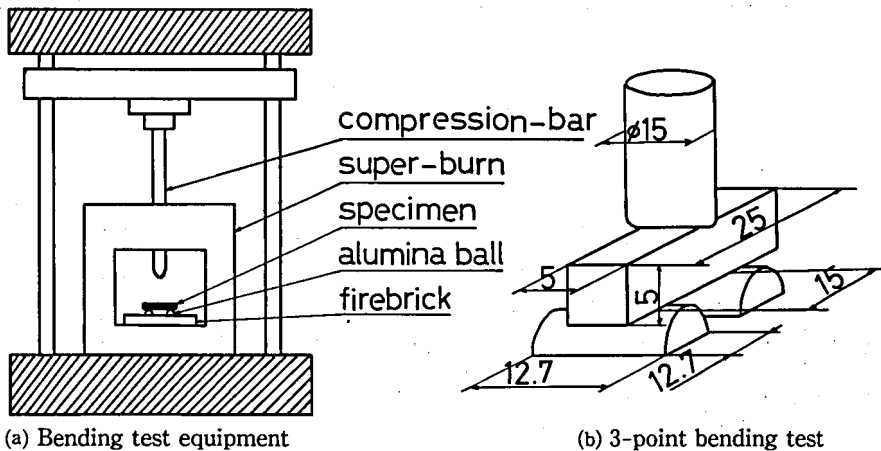


Fig. 1 Experimental device and 3-point bending test

Table 1 Strength test of ceramics

temperature (K)		77	253	288	1173
C-300	time (sec)	22.80	35.88	33.40	55.90
	stress (kg/mm ²)	18.36	20.16	24.48	24.66
C-400	time (sec)	21.16	45.12	41.10	46.80
	stress (kg/mm ²)	20.34	29.70	28.80	27.20

3 実験結果

各種の温度雰囲気中で2種類の SiC セラミックスの曲げ実験を行い、その結果を Table 1 に示す。これをもとに Fig. 2 に示すような曲げ強度と雰囲気中の温度との関係を調べた。室温である 288K (15°C) において、C-300 の強度は $\sigma=24.48\text{kg/mm}^2$ の値を示し、C-400 の強度は $\sigma=28.80\text{kg/mm}^2$ の値を示した。C-400 は C-300 より高密度のため曲げ強度にもその効果が現れ $\sigma=4.3\text{kg/mm}^2$ 程度の高い値を示した。

冷蔵庫中に保持した 253K (-20°C) において C-300 の強度は $\sigma=20.16\text{kg/mm}^2$ の値を示した。これは室温での結果より $\sigma=4\text{kg/mm}^2$ 程度の低い値を示した。これに対して C-400 は $\sigma=29.70\text{kg/mm}^2$ の値を示したが、室温の結果と比べてほぼ同程度の値を示し、ほとんど変化が現れなかった。

液体窒素中の 77K において C-300 の強度は $\sigma=18.36\text{kg/mm}^2$ の値を示した。これは室温の強度と比べて $\sigma=6.12\text{kg/mm}^2$ 程度の低い値を示した。また C-400 の強度は $\sigma=20.34\text{kg/mm}^2$

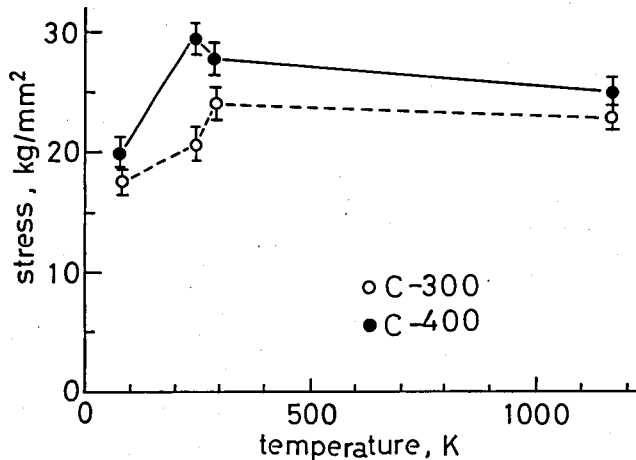


Fig. 2 Stress-Temperature curves

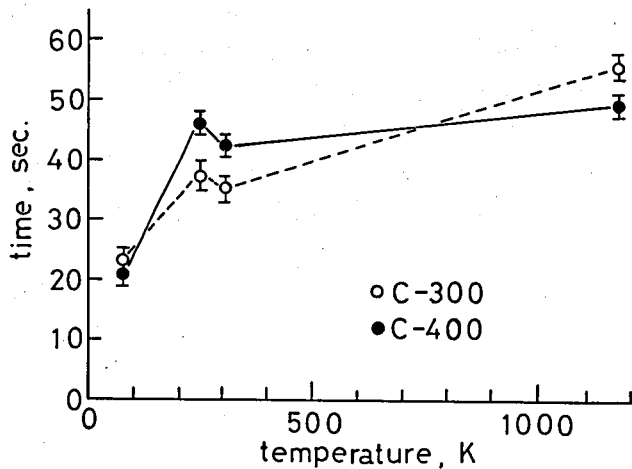


Fig. 3 Time-Temperature curves

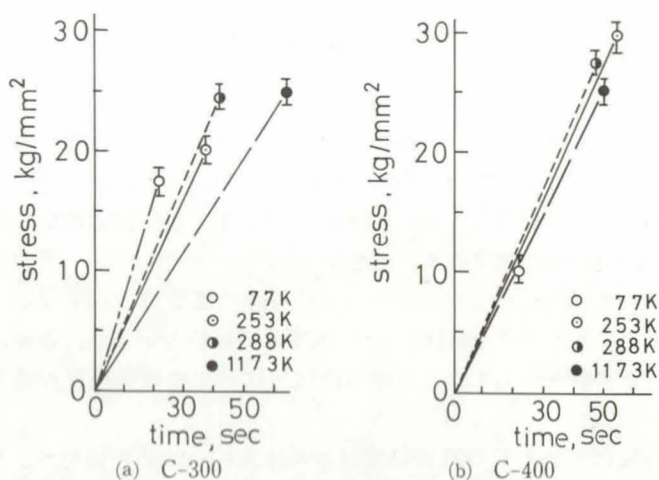


Fig. 4 Stress-Time curves

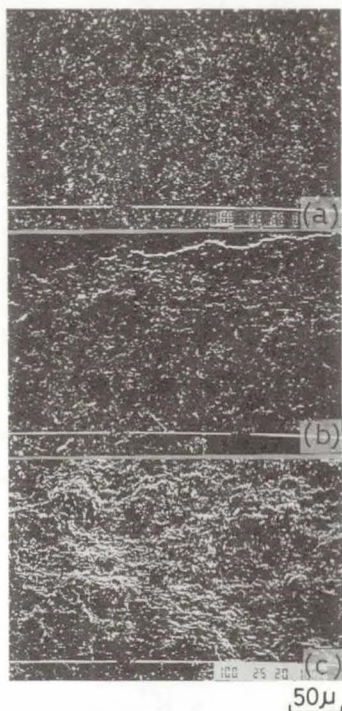
mm²の値を示し、室温の強度に比べて $\sigma=8.56\text{kg/mm}^2$ 程度の低い値を示した。

高温の1173K (900°C)においてC-300の強度は $\sigma=24.66\text{kg/mm}^2$ の値を示したが、室温の強度の値に比べてほとんど同様の結果を示した。またC-400の強度は $\sigma=27.20\text{kg/mm}^2$ の値を示したが室温の強度に比べてわずかの低下でほとんど差が見られなかった。

Fig. 3は試験片を曲げ初めから破壊するまでの時間と温度変化との関係を示したものである。これによればC-300とC-400の試験片とも高温において、曲げ初めから破壊までの時間は約45~55minと長い、液体窒素中に保持した低温においては21~23minと短い値を示した。

Fig. 4は曲げ強度と曲げ初めから破壊するまでの時間との関係を示したものである。C-300はばらつきが大きいものに対してC-400はばらつきが少なく、一定の割合で増加していることが分かった。

Photo. 1はC-400の破壊後の破面模様を観察したものである。Photo. 1 (a)は液体窒素中で77Kの場合で、波状模様は観察されず、脆性的破面のみ観察されたのに対し、Photo. 1 (b)に示すごとく、室温中の288Kの場合は曲げによる波状破面模様が部分的に観察された。これに対してPhoto. (c)示すごとく、高温の1173Kの場合は波状破面模様が多く観察された。



(a) 77K (b) 288K (c) 1173K

Photo. I SEM fractographs obtained from the various temperature atmospheres of C-400.

4. 考 察

以上の結果から一般に室温における曲げ強度は $\sigma=17\text{kg}/\text{mm}^2$ とされている⁽⁶⁾が、本実験では支持点である支点間距離の間隔が短い($l=15\text{mm}$)のために曲げ強度が $\sigma=24\sim 28\text{kg}/\text{mm}^2$ と高い値を示した原因と考えられる。

また低温保持である液体窒素中の 77K での実験において C-300 と C-400 とともに室温保持の場合に比べて強度が低下している。このことは破面模様から観察されるごとく、波状模様がない脆性的破面を観察したことと一致する。

高温保持である 1173K での実験において C-300 は室温保持である 288K の場合に比べて多少上昇しているが、C-400 は室温保持の場合に比べて多少減少している。このことは高温保持時間が短いために変化が現れなかったものと考えられる。

低温の液体窒素中では波状破面模様が観察されなかったことと短時間に破壊することよりかなり脆性的に成るものと考えられる。

一方高温の 1173K では波状破面模様が長く観察されることと破壊する時間も低温の液体窒素中に比べて長いことよりある程度高温になると弾力性が増すものと思われる。

5. 結 論

筆者は各種の温度雰囲気中における SiC セラミックスの曲げ強度を調べた結果、つぎの結論を得た。

- (1) 低温において SiC の破壊強度は室温に比べてさらに低下し、高温において SiC の破壊強度は室温に比べてほとんど差がなかった。
- (2) 試験片を曲げ始めてから破壊するまでの時間との関係は高温の方が 45~55min と長く、低温の方が 21~23min と短い値を示した。
- (3) 破面観察においては波状破面模様が底温で観察されなかったが、高温では観察されたことより高温になると低温よりも弾力性が増すものと思われる。

参 考 文 献

- (1) 小林英男, 材料, 27, 595 (1978).
- (2) 小林英男, 材料, 27, 711 (1978).
- (3) 貞広猛史, 粉体および粉末冶金, 28, 286 (1981).
- (4) 杉野外男, 若井史博, 岡田正美, 奥田 博, 窒業協会誌, 90, 227 (1982).
- (5) 瀬古日出男, 岡田正美, 澤岡 昭, 窒業協会誌, 91, 399 (1983).
- (6) 芳賀 武, 長野高専紀要, 15, 1 (1985).
- (7) 上田完次, 杉田忠彰, 日本金属学会会報, 21, 225 (1982).
- (8) 功刀雅長, 材料, 28, 683 (1978).