

长柱状 β - Si_3N_4 晶粒与 SiC 晶须在层状 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 复合材料中的作用

Effect of the Rod-like β - Si_3N_4 Grain and SiC Whisker in the $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ Multilayer Materials

咎青峰, 黄 勇, 汪长安, 李淑琴, 李翠伟

(清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室, 北京 100084)

ZAN Qing-feng, HUANG Yong, WANG Chang-an, LI Shu-qin, LI Cui-wei

(State Key Laboratory of New Ceramics and Fine Processing,

Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要: 用 SiC 晶须和长柱状 β - Si_3N_4 对 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料的基体层和分隔层进行了强化。轧膜工艺对 SiC 晶须和原料中存在的少量 β - Si_3N_4 晶粒有一定的定向作用, 而基体层中定向分布的 SiC 晶须和长柱状的 β - Si_3N_4 晶粒对基体层的强韧化作用类似于块体材料, 其抗弯强度和断裂韧性的提高幅度都大于 50%; 分隔层中 β - Si_3N_4 的定向度较差, 但这有利于形成网状结构, 在分隔层中起到骨架的作用, 同时还可以增加裂纹的扩展长度, 改善分隔层与基体层的界面结合状态。最终得到性能最佳的材料的成分为 $\text{Si}_3\text{N}_4 + 20\text{wt}\%$ SiC 晶须 (基体层), $\text{BN} + 15\text{vol}\%$ β - Si_3N_4 (分隔层), 其断裂功可达 $4820\text{J}/\text{m}^2$, 抗弯强度仍可保持在 650MPa 。

关键词: 层状材料; SiC 晶须; 长柱状 β - Si_3N_4 ; 分隔层

中图分类号: TQ 153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381 (2001) 05-0022-05

Abstract: The matrix layer and the rod-like β - Si_3N_4 strengthened the matrix layer and the separating layer of the $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ multilayer materials were strengthened using SiC whisker and rod-like β - Si_3N_4 . The rolling process would orient them in the matrix layer, and they can improve the bending strength and toughness by above 50% as well as the effect in the monolithic materials. When they were in the separating layer, the orientation of β - Si_3N_4 was poor. It would form the net structure, and their effect was similar to the framework. Moreover, they could increase the delaminating crack length and improve the bonding between the separating layer and matrix layer. The materials were obtained, in which the matrix layer component was $\text{Si}_3\text{N}_4 + 20\text{wt}\%$ SiCw, the separating layer component was $\text{BN} + 15\text{vol}\%$ β - Si_3N_4 . The work of fracture could achieve $4820\text{J}/\text{m}^2$ with the bending strength retaining 650MPa .

Key words: multilayer materials; SiC whisker; rod-like β - Si_3N_4 ; separating layer

层状材料从 Clegg 等人^[1]提出之日起, 就成为陶瓷学界研究的热点, 多种体系的材料被大家所研究^[2~10]。在陶瓷中引入较弱的层, 从而形成层状结构, 可以大幅度提高陶瓷材料的韧性, 如在 SiC 中引入石墨形成层状结构, 可以使其断裂功提高一百倍以上^[1]; 在 Al_2O_3 中引入 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ 复合层形成层状结构, 可以同时提高其强度和韧性^[2]; Si_3N_4 基层状材料也是研究较为广泛的一个体系, 主要采用的方法是在 Si_3N_4 片层中间加入 BN 薄层。据报道, 断裂韧性可以大幅度提高 (从 $4 \sim 7\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 提高到 $28\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), 断裂功也从 $100 \sim 200\text{J}/\text{m}^2$ 提高到约 $6500\text{J}/\text{m}^2$ ^[3,4]。

层状陶瓷材料虽然具有很高的韧性和断裂功, 但界面层的引入却降低了材料的强度。在保持较高的韧性和断裂功的情况下, 又使材料具有较高的强度, 我们采用两种方法: 一是在基体中加入晶须或晶种, 另一种是在界面层中加入一定量的 β - Si_3N_4 提高界面层的结合强度。

1 实验过程

1.1 实验原料

实验中使用的是北京方大高技术陶瓷公司生产的 Si_3N_4 粉, 其中含长柱状 β - Si_3N_4 5.8wt%, 平均粒径为 $0.69\mu\text{m}$, 比表面积 $9.9\text{m}^2/\text{g}$ 。为了有利于 Si_3N_4

的烧结及 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 向长柱状 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 的转变, 在基体中加入了 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 体系的助烧剂, 其中 Y_2O_3 8wt%, Al_2O_3 2.5wt%, MgO 1.5wt%, 它们均为市售国产粉料。粉料颗粒基本均匀, 直径在 $1\mu\text{m}$ 以下。在 Si_3N_4 粉料中加入了 20wt% 的 $\beta\text{-SiC}$ 晶须。产自上海, 平均直径为 $0.4\mu\text{m}$, 长径比为 $20 \sim 100$, 比重为 $3.21\text{g}/\text{cm}^3$ 。界面层所用的 BN 粉料也是市售化学纯粉, 六方结构, 平均粒度在 $1\mu\text{m}$ 左右。

1.2 制备工艺

Si_3N_4 粉料和适量的 SiC 晶须经球磨混合均匀后, 与粘结剂、增塑剂等经练泥混成具有一定变形能力的泥团, 轧膜成型为厚度约 $200\mu\text{m}$ 薄膜, 剪裁成 $32\text{mm} \times 38\text{mm}$ 的生坯。生坯在 BN 与 Si_3N_4 具有一定配比的浆料中进行浸涂, 获得一定厚度的 BN 分隔层。经干燥、排布、排胶、预压后在 N_2 气氛下进行热压烧结, 烧结温度为 1820°C , 恒温时间 1.5h, 压力 22MPa 。

1.3 测量方法

热压后试样经切, 磨, 抛光, 导角, 切口等工序加工成 $4\text{mm} \times 6\text{mm} \times 30\text{mm}$ (跨距 24mm , 单边直通切口约 3mm 深) 的标准样品采用单边切口梁法进行韧性测试。

室温下的载荷-位移曲线采用三点弯曲法在岛津 AG-2000A 型材料试验机上进行, 加载速率为 $0.05\text{mm}/\text{min}$ 。加载方向垂直于片层方向 (即平行于热压方向)。

显微结构分析采用 CSM 950 型扫描电镜进行观察。

2 结果与讨论

2.1 基体层中添加 SiC 晶须对 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料力学性能的影响

表 1 为在基体中添加 20wt% 的 SiC 晶须与不加晶须的 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料的性能比较。由表中可以看到, 晶须对层状材料的强韧化作用非常明显: 添加 20wt% 的 SiC 晶须可以使抗弯强度由 498.37MPa 提高到 781.71MPa , 断裂韧性由 $15.12\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 提高到 $23.88\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, 分别提高了 58.9% 和 57.9%, 可见晶须在材料中的作用非常明显。

晶须对层状材料的强韧化作用主要体现为晶须对基体层的强韧化作用, 而晶须对基体层的强韧化作用则与晶须增韧补强陶瓷块体材料的作用类似。主要的增韧机制在文献中已有介绍, 主要包括有晶须桥接增韧、晶须周围微裂纹增韧、晶须脱粘拔出增韧、裂纹的偏转增韧等多种增韧机制以及多种增韧机制的

协同作用^[11, 12]。

研究发现, 晶须的增韧效果与其在材料中的定向度有非常直接的关系^[11]。本实验中由于采用轧膜法制备基体层的坯体薄片, 因此对晶须有一定的定向作用。

表 1 基体层中添加晶须对 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料性能的影响

Table 1 The effect of the content of SiC whisker in the matrix layer on the $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ multilayer materials properties

SiC w 含量/ wt %	抗弯强度/ MPa	断裂韧性/ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$
0	498.37 ± 22.72	15.12 ± 1.14
20	781.71 ± 43.33	23.88 ± 1.00

图 1 为本实验所采用的轧膜工艺对晶须的定向作用示意图, 其中箭头表示轧膜方向, a 为轧膜带, b 为长柱状的 SiC 晶须。

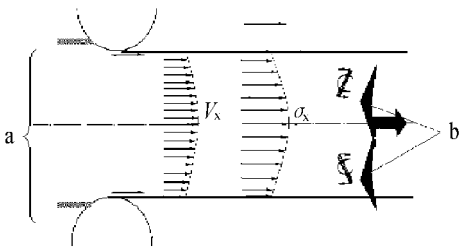


图 1 轧膜成型过程中泥料的受力状态及其对晶须的定向排布原理

Fig. 1 The force state of the pug and the orientation mechanism of the whisker in the roller process

由于泥料表层受到轧辊的摩擦阻力, 而且泥料表层较之心部要干燥一些, 其形变抗力相应地高于心部, 因而表层泥料的流动速率低于心部的泥料 (泥料在轧制过程中受力状态可大致估算如图 1 所示)。 V_x 是泥料沿纵截面方向的流动速率, σ_x 是泥料纵截面上各质点所受的向前运动的净动力, 转动的轧辊施加在泥料外侧的接触阻力为 σ_r 。牵引泥料前进的动力为 σ 。根据金属轧制的应力分布规律, 它沿着纵截面方向大致均匀分布。则泥料向前运动时, 有:

$$\sigma_x = \sigma - \sigma_r \tag{1}$$

泥料所受的内摩擦力与其变形抗力成正比, 所以越“硬”的泥料受到的阻力就越大。由此可见, 作用在轧辊两端截面方向上的泥料前进动力沿厚度方向逐渐增大。泥料内部的前进阻力 σ_r 随着沿径向离开中

心轴的距离 r 而变化: 在两轧辊之间, 泥料内部的剪切阻力 σ 从两侧向心部逐渐减小。这样, 晶须和长柱状晶粒由于在两端所受的作用力的差别, 可以使其发生了一定程度的转动, 其结果就使得晶须沿薄片表面产生了二维定向排布, 这与挤制成型原理相似, 但是受力的分布和定向的方向不同。这种定向的效果是可以通过一种 XRD 方法测定和表征出来的。经过测定, 轧制过程的晶须定向度低于采用流延、挤制成型所报道的结果 (三者的定向度分别为: 0.584, 0.702, 0.765)^[11]。这是由于轧制成型的泥料更为粘稠, 晶须的转动更加困难, 而且是在一个平面上受力, 方向性稍差的缘故。

2.2 分布于分隔层中的长柱状 β - Si_3N_4 晶粒对层状材料力学性能的影响

图2为 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料的抗弯强度和断裂功随分隔层中 Si_3N_4 含量的变化曲线。可以发现, 随分隔层中 Si_3N_4 的增加, 断裂功先增加后减小, 在 Si_3N_4 的体积含量为 15vol% 时达到最大值 $4820\text{J}/\text{m}^2$, 而在 Si_3N_4 的体积含量大于 50% 后降低到块体材料的水平; 抗弯强度先减小后增加, 在 Si_3N_4 的体积含量大于 75% 后达到块体材料的水平。因此可以认为分隔层中 Si_3N_4 的含量的最佳值为 15vol%, 此时断裂功达到 $4820\text{J}/\text{m}^2$, 强度仍保持在 650MPa 以上。

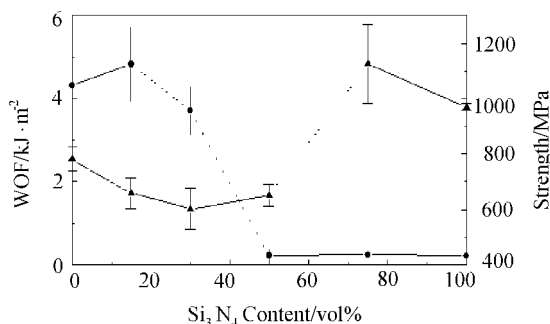


图2 层状材料的力学性能与分隔层中 Si_3N_4 含量的关系

Fig.2 Relationship between the multilayer materials mechanical properties and the content of Si_3N_4 in the separating layer

2.3 基体层中长柱状 β - Si_3N_4 晶粒的定向排列及其微观形貌

原始粉料中含有约 5.8wt% 的长柱状 β - Si_3N_4 , 由于几何尺寸相对于晶须小得多, 所以轧膜所产生的定向作用相对较小。基体中 β - Si_3N_4 的定向排列主要取决于烧结工艺。在一定温度下 α 相向 β 相转变, β - Si_3N_4 晶体具有形成长柱状形态的趋势。大量的研究表明^[16,17], 晶体的这种各向异性生长现象主要是由于不同方向上的界面能不同造成的。由于六方晶体的底

面 (c 轴方向, 其生长激活能为 $686\text{kJ}/\text{mol}$) 比侧面 (a 轴方向, 其生长激活能为 $772\text{kJ}/\text{mol}$) 具有更低的界面能, N 原子在底面上更容易激活而形核, 使得 c 轴方向上具有更高的生长速率而形成柱状的 β - Si_3N_4 晶粒。热压烧结由于在热压方向上施加了一定的压力, 限制了 β - Si_3N_4 晶粒沿热压方向的生长, 因此 c 轴垂直于热压方向的 β - Si_3N_4 晶粒得以长大, 而 c 轴平行于热压方向的 β - Si_3N_4 晶粒的生长被抑制, 逐渐被前者所吞并。所以热压烧结过程对 β - Si_3N_4 有一定的定向作用。据报道^[18,19], 氮化硅原料中 β 相的含量和助烧剂的成分及含量都会对基体的显微结构产生一定的影响。本实验所用原料中含有 5.8wt% 的 β 相, 有助于生成均匀的长柱状 β - Si_3N_4 。助烧剂采用 Y_2O_3 - Al_2O_3 - MgO 体系, Y_2O_3 能促进 α 相向 β 相的转变, MgO 和 Al_2O_3 则能降低玻璃相的粘度, 促进致密化并有利于 β - Si_3N_4 晶粒沿 c 轴方向择优生长。

长柱状 β - Si_3N_4 晶粒在基体层中的定向排布对层状材料的强韧化作用类似于对块体材料的自增韧作用^[14]。图3为基体经 NaOH 热蚀后的 SEM 照片, 由图中可以看出 SiC 晶须与 β - Si_3N_4 晶粒都在垂直于热压方向的平面内定向排列。

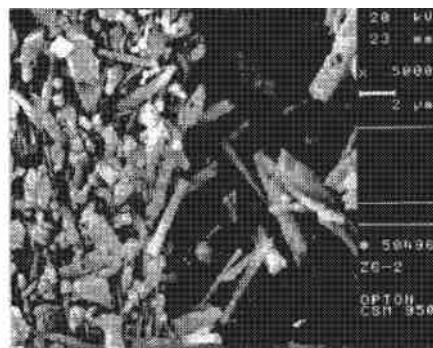


图3 Si_3N_4 基体层的微结构 SEM 照片

Fig.3 The microstruture SEM picture of the Si_3N_4 matrix layer

2.4 分隔层的微观形貌及其对 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料的强韧化机理

图4为纯BN分隔层的显微结构。由图中可以看到, BN 为片状晶粒, 片层方向垂直于热压方向。由于 BN 的烧结温度 ($> 2000^\circ\text{C}$) 远大于本实验所采用的烧结温度 (1820°C), 所以分隔层中的 BN 并没有完全烧结, 只是由于高温下基体中液相的渗透作用而使其部分烧结。在分隔层中 BN 非常疏松, 强度也很低, 这样可以保证裂纹扩展到分隔层时易于发生偏转, 增加裂纹的扩展路径, 并辅之以裂纹的桥接等机制来提高材料的韧性。图5为分隔层中含 30vol% Si_3N_4 的侧面 SEM 照片, 由图中可以看出其中的 Si_3N_4 为典型的长

柱状结构, 半径约为 $0.5\mu\text{m}$, 长度约为 $5\sim 10\mu\text{m}$ 。由于其周围 BN 相当疏松, 分隔层中的 β - Si_3N_4 就有非常充足的生长空间, 因此其在分隔层中的定向度比在基体中的定向度差很多。图中右半部分较暗的孔洞即为 BN 被腐蚀前所在的位置。

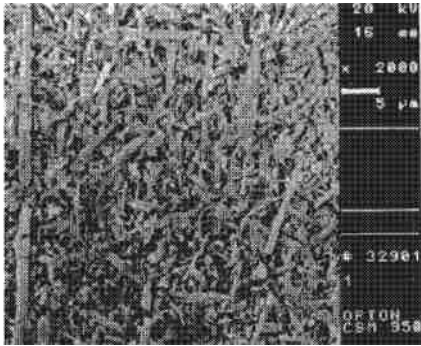


图4 分隔层中 BN 的晶粒结构

Fig. 4 The grain microstructure of BN in the separating layer

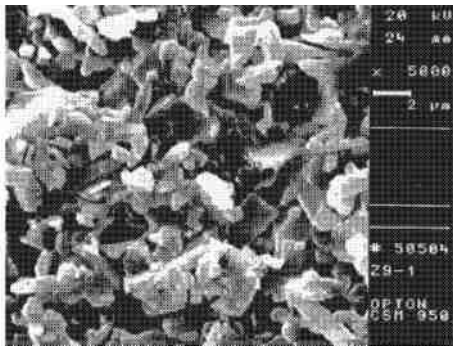


图5 分隔层中含 30vol% Si_3N_4 的 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料的侧面 SEM 图, 左侧为基体层, 右侧为分隔层

Fig. 5 SEM microphoto of the side face of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ multilayer materials with 30vol% Si_3N_4 in the separating layer the left side was matrix layer and the right was separating layer

文中所用断裂功 (WOF, Work of Fracture) 定义为载荷-位移曲线下的面积除以试样横截面积的两倍, 利用它来表征材料的韧性可消除试样几何尺寸的影响, 因而可以准确地反映单位横截面积的试样在破坏过程中吸收的总能量。它包括裂纹扩展所消耗的能量 (W_c), 材料破坏产生新表面的能量 (W_Y) 以及材料破坏过程中摩擦滑移等增韧机制所消耗的能量 (W_{fs}) 等的加和。即:

$$WOF = W_c + W_Y + W_{fs} \quad (2)$$

其中:

$$W_c = W_{ls} \cdot L_{cs} + W_{lm} \cdot L_{cm} \quad (3)$$

$$W_Y = \gamma_s \cdot A_s + \gamma_m \cdot A_m \quad (4)$$

W_l 为裂纹扩展单位长度所消耗的能量, L_c 为裂

纹扩展的长度, γ 为材料破坏产生的新表面的表面能, A 为新表面的面积, 下标 s 和 m 则分别代表分隔层和基体层。用纯 BN 作为分隔层时, 由于其比较疏松, 与基体层的结合性不是特别好, 因此裂纹不论在分隔层内还是在分隔层与基体层的界面上扩展, 吸收的能量都较少, 破坏所产生的新表面的表面能也不高, 即 (2) 式中的 W_c 和 W_Y 较小, 所以断裂功偏低, 韧性的提高幅度有限。为了进一步提高材料的韧性, 我们在分隔层中引入了长柱状的 β - Si_3N_4 。

当分隔层中 Si_3N_4 较少时 (含量 15vol%), 一方面, 它与晶须的作用类似, 对分隔层有强韧化作用。由于其独特的晶粒形状, 在分隔层中形成交叉网状结构 (如图 5 所示), 在提高分隔层强度的同时还可以提高其韧性。当裂纹在分隔层内扩展时会遇到微定向分布的 β - Si_3N_4 晶粒而发生偏转, 增长了裂纹的扩展路径 (L_{cs}), 同时引发诸如晶粒拔出、桥接等增韧机制, 从而达到增韧的目的。另一方面, 由于加入的 β - Si_3N_4 与基体的化学成分相同, 因此可以改善分隔层与基体的结合状态。由图 5 可以看到在二者的界面上长柱状的 β - Si_3N_4 晶粒交叉生长, 提高了界面的粗糙度而且在部分区域将范德华力结合转化为化学键结合。

因此, 通过加入 Si_3N_4 提高了裂纹在分隔层中的扩展阻力 (W_{ls}), 增长了裂纹在分隔层中的扩展长度 (L_{cs}), 同时也提高了破坏面的表面能 (γ_s), 即 W_c 和 W_Y 得到提高, 进而提高了断裂功 WOF。

但由于与 BN 之间存在热失配的问题 (Si_3N_4 的热膨胀系数: $\alpha_{\text{Si}_3\text{N}_4} = 3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, BN 的热膨胀系数: a 轴—— $\alpha_{\text{BN}a} = -2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, c 轴—— $\alpha_{\text{BN}c} = 40 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), 分隔层内二者之间结合并不紧密, 相当于把原分隔层与基体层之间的界面转化为分隔层内 Si_3N_4 与 BN 晶粒之间的界面。这样在分隔层内 Si_3N_4 含量较少时, 加入 Si_3N_4 相当于引入了较多的缺陷, 因此反而降低了分隔层的致密度与强度, 导致材料整体强度的降低。

当分隔层中 Si_3N_4 过多时 (含量 50vol%), 分隔层中 Si_3N_4 变为主要成分, 而 BN 转变为添加剂, 其与基体层的结合变强, 整个材料失去了层状材料以弱分隔层作为裂纹偏转剂的物质基础, 裂纹将由偏转裂纹和分层裂纹为主的形式转变为与块体材料类似, 以贯穿裂纹为主的形式, 其性能也与块体材料的强韧性相似。

当分隔层 Si_3N_4 的含量介于 15vol% 和 50vol% 之间时, 上述两方面同时起作用, 裂纹的扩展形式为偏转裂纹、分层裂纹与贯穿型裂纹并存, 其横向裂纹的长度要比分隔层为纯 BN 时小, 材料的力学性能也处于层状材料与块体材料的性质之间。

因此, 由本实验的结果与分析可以发现, 在分隔层中加入 15vol% 的 Si_3N_4 时, 材料的性能达到最佳。

3 结论

(1) 本工作通过在基体层添加 SiC 晶须对 Si_3N_4 基体层进行强化, 发现在其加入量为 20wt% 时可以使 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料的强度和韧性都提高约 50%, 强度达到 781MPa, 断裂韧性达到 $23.88\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

(2) 利用在分隔层中添加 Si_3N_4 来调节分隔层, 发现随分隔层中 Si_3N_4 含量的增加抗弯强度先降低后增加, 而断裂功则是先增加后降低, 在含量为 15vol% 时层状材料的性能为最佳, 断裂功可达 $4820\text{J}/\text{m}^2$, 强度可保持在 650MPa 以上; 在含量大于 50vol% 时裂纹扩展形态与强韧性都与块体材料类似。

(3) 长柱状的 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 晶粒对分隔层的强化作用非常明显, 它不仅可以提高分隔层的抗裂纹能力, 增长裂纹在分隔层中的扩展长度, 而且改善了分隔层与基体层的结合状态, 提高了 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{BN}$ 层状材料的韧性。但是由于其与 BN 存在较大的热失配, 在分隔层内部二者结合不够致密, 反而降低了材料的强度, 但降低幅度不大, 仍保持在中等强度以上。

参考文献

- [1] W J Clegg, et al. Nature, 1990, 347 (10) .
- [2] O Sbaizero and E Lucchini. J Eur Ceram Soc, 1996, 16: 813-16.
- [3] Haiyan Liu and Stephen M Hsu, J Am Ceram Soc, 1996, 79

(9): 245-57.

- [4] Y Huang, et al. Acta Metall Sinica, 1996, 9 (6): 479-84.
- [5] Ding-Fwu Li, et al. J Ceram Soc Jap 1996, 104 (8): 699-704.
- [6] Desiderio Kovar, et al. J Am Ceram Soc, 1998, 81 (4): 10004-12.
- [7] William H Glime and James D Cawley. J Am Ceram Soc, 1998, 81 (10): 2597-604.
- [8] Jae Suk Sung, et al. J Am Ceram Soc, 1999, 82 (3): 537-44.
- [9] Y Huang, et al. J Mater Sci Lett, 1998, 17: 569-71.
- [10] Martin P Harmer, et al. J Am Ceram Soc, 1992, 75 (7): 1715-28.
- [11] 汪长安. 碳化硅晶须增韧氮化硅陶瓷基复合材料的研究 [D]. 北京, 清华大学材料科学与工程系, 1997.
- [12] 乐恢格. $\text{SiC}(\text{w})/\text{Si}_3\text{N}_4$ 复合材料界面调控与力学性能的研究 [D]. 北京, 清华大学材料科学与工程系, 1993.
- [13] Hirosaki N, et al. J Am Ceram Soc, 1993, 76 (7): 1892.
- [14] Pyzik A J, et al. Annu Rev Mater Sci, 1994.
- [15] Tani E, et al. Am Ceram Soc Bull, 1986, 65 (9): 1311.
- [16] Hwang C J, et al. Mater Sci Forum, 1989, 47: 84.
- [17] Lai Kou-Rueh, et al. J Am Ceram Soc, 1993, 76 (1): 91.
- [18] Grest G S, et al. J Am Ceram Soc, 1993, 76 (1): 91.
- [19] Mitomo M, et al. J Mat Sci, 1988, 23: 3413.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59632090)

收稿日期: 2000-11-20

作者简介: 胥青峰 (1976-), 男, 清华大学材料科学与工程系 98 级博士生, 主要研究方向为结构陶瓷材料, 联系地址: 北京市清华大学材料科学与工程系 (100084)。

本文编辑: 解 宏

* * * * *

十卷本精品图书 《中国航空材料手册》即将出版

《中国航空材料手册》(第二版) 在航空工业系统的厂所院校、中科院有关院所及材料工业部门有关厂所计 140 个单位、500 余名编审人员历时 3 年的共同努力下即将出版发行与广大读者见面了。

《中国航空材料手册》包含结构钢、不锈钢、变形高温合金、铸造高温合金、铝合金、镁合金、钛合金、铜合金、粉末冶金材料、精密合金与功能材料、复合材料、胶粘剂、塑料、透明材料、绝缘材料、橡胶、密封剂、涂料、镀覆层与防锈材料、燃料与润滑材料、纺织材料共 10 卷 21 篇, 约 1100 万字。本《手册》收录了已成功地应用于航空器或具有应用前景的航空用金属材料和非金属材料合计 2188 项, 充分反映了我国航空材料的技术水平。本《手册》是一部集科学性、可靠性、综合性与实用性于一体的大型工具书; 是一部从事航空器及其他器械设计、制造、维修工程技术人员的重要基础手册; 也是高等院校相关专业师生教学用的重要参考书籍; 是一部技术数据可靠、资料翔实、图文并茂的精品图书。

本《手册》将于 2001 年 6 月开始预订, 8 月以后陆续出版, 热诚欢迎广大读者与本刊联系。

联系方式:

通信: 北京 81 信箱 8 分箱 (邮编 100095)

电话: 010- 62456216

传真: 010- 62456212

E-mail: jin.zhao@biam.ac.cn

联系人: 赵 进