

SiC-W 层状复合材料增韧机理分析

高永毅 焦群英 郑仕远

(中国农业大学工程基础科学部) (重庆师范专科学校)

摘要 为分析 SiC-W 层状复合材料增韧机理, 对以 SiC 陶瓷胶片为基体层, 金属 W 为夹层的 SiC-W 层状复合材料进行了力学性能测试, 并用电镜法得到其断面显微结构照片。试验结果表明: 1) 与 SiC 单材料断裂韧性相比, SiC-W 层状复合材料的断韧性增大; 2) 在基体层厚度不变, 夹层厚度为 10~ 50 μm 时, SiC-W 层状复合材料的断裂韧性随夹层厚度的增加而增大, 而抗弯强度随之下降; 3) 材料在不同方向断裂韧性不同。SiC-W 层状复合材料裂韧性增大的原因是: 1) 夹层晶体颗粒大于基体层的, 其沿晶断裂形式延长了裂纹扩展路径; 2) 断裂过程中有晶片拔出消耗了能量; 3) 二级层状结构中片层间的微裂纹阻止了断裂裂纹的扩展。

关键词 SiC-W 层状复合材料; 断裂韧性; 机理

中图分类号 TB 333; O 346.1.2

Analysis of Incremental Fracture Toughness for Laminated SiC-W Composites

Gao Yongyi¹, Jiao Qunying¹, Zheng Shiyuan²

(1. College of Applied Engineering Sciences, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Chongqing Advanced Teachers Training School, Chongqing 402168, China)

Abstract For analysis of incremental fracture toughness for laminated SiC-W composites, Mechanical properties of laminated SiC-W composites were tested. 1) The fracture toughness of Laminated SiC-W composites is larger than SiC materials. 2) If the thickness of layer is increment, then the fracture toughness of laminated SiC-W composites is increment and the resistance to bended strength is reducing in the range of thickness 10~ 50 μm . 3) Fracture toughness is different in the different directions. The reason of increment fracture toughness for laminated SiC-W composites are: 1) The crystallite in interlayer is bigger than base layer (SiC layer). The expansion path of crack is prolonged because the form of crack is along the crystallite interface. 2) the energy is depleted when the crystal slices are withdrawn out from the secondary laminated structure in fracture course. 3) The crack expansion is prevented by micro-cracking in the secondary laminated structure.

Key words SiC-W laminated composites; fracture toughness; principle

碳化硅 SiC 具有较高的高温强度以及优良的抗热冲击性和高温抗蠕变性, 并且耐磨损, 耐腐蚀, 因而为高温下优先选用的结构陶瓷材料。它的缺点是断裂韧性较低, 因此, 提高其断裂韧性已成为亟待解决的问题。近年来, 国内外研究成果表明, 层状结构是增大 SiC 材料韧性的有

收稿日期: 2001-10-10

湖南省教育厅资助科研项目

高永毅, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)214 信箱, 100083

效方法^[1],但是夹层多采用碳纤维、石墨等材料,对采用金属作为夹层的层状复合材料的研究甚少。为此,笔者对由SiC和金属W复合成的SiC-W层状复合材料进行了力学性能细观试验,并对结果进行了理论分析,旨在为改进材料性能提供参考。

1 力学性能

以热压烧结的方法制备出SiC-W层状复合材料(图1),再将复合材料制成标准试样,以三点弯曲法和单边切口梁法测试其力学性能,结果见表1。可以看出:1)与SiC单材料相比,

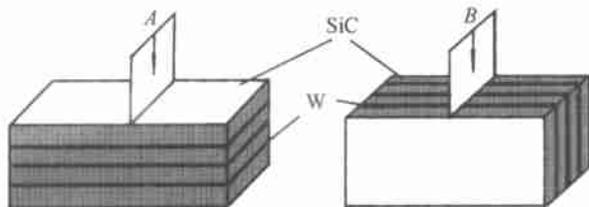


图1 SiC-W层状复合材料断裂韧性和抗弯强度的测试方向

SiC-W层状复合材料的断裂韧性增大。在SiC陶瓷基体层厚度不变的情况下,当金属夹层厚度在10~15 μm范围内, SiC-W层状复合材料的断裂韧性随W夹层厚度的增加而增大。此结果与文献[2,3]中Al₂O₃-Ni层状复合材料的测试结果一致。

表1 SiC-W层状复合材料力学性能测试结果

数据号	厚度/μm		断裂韧性/ MPa·m ^{1/2}	抗弯强度/ MPa
	SiC陶瓷层	金属层		
1	150	0	4.2	680
2	150	10	4.5	662
3	150	20	6.9	651
4	150	30	7.4	643
5	150	40	8.2	630
6	150	50	8.9	624
7	150	50	6.8*	625*

注: * 为由B方向测得数据,其他为由A方向测得(图1)。测试是在室温下进行的。

2)不同方向上,断裂韧性不同。

由第6,7号数据可以看出,当W夹层厚度为50 μm时,A方向的断裂韧性值是SiC单材料的2.12倍,B方向的断裂韧性值是SiC单材料的1.62倍。

3)与SiC单材料相比, SiC-W层状复合材料的抗弯强度降低。在SiC陶瓷基体层厚度不变的情况下, SiC-W层状复合材料的抗弯强度随W夹层厚度的增加而降低。

4)不同方向上,抗弯强度几乎相等。

2 显微结构试验分析

用电镜法对SiC-W层状复合材料的断面做显微结构分析。图2示出SiC-W层状复合材

料的断面显微结构扫描电镜照片,可以看出:

1) SiC 基体中晶体以颗粒状形式存在, W 夹层中晶体以颗粒和片状形式存在。夹层中晶体颗粒比基体中的大得多。

2) SiC-W 层状复合材料的夹层中存在二级层状结构,这种二级层状结构由片状晶体的晶片重叠而成,片层间存在缝隙。

3) SiC 基体层的断裂方式是裂纹沿 SiC 颗粒晶界的沿晶断裂;夹层的断裂方式有 2 种,一种是裂纹沿颗粒晶界的沿晶断裂,另一种是裂纹穿过片状晶体的穿晶断裂。

4) 二级层状结构的断裂特征除穿晶断裂外,可见晶片从二级层状结构中拨出后留下的空隙。



图 2 SiC-W 层状复合材料断面

3 断裂韧性机理分析

分析图 2 及力学性能测试结果可知, SiC-W 层状复合材料的断裂韧性之所以比 SiC 单材料的大是因为以下几点原因:

1) 夹层的晶体颗粒比基体的大,而断裂形式是颗粒晶界的沿晶断裂,所以延长了裂纹扩展路径。

2) 二级层状结构中片层间的微裂纹在穿晶断裂过程中,以使裂纹附近发生小范围损伤的方式使裂纹尖端区应力松弛,从而起到阻止裂纹扩展的作用。

3) 断裂时有晶片拨出。由于周围物质界面上摩擦力的原因,晶片拨出时需要做断裂功,需要吸收能量,即拨出功。正如晶须拨出可计算拨出功^[4],片状物拨出也可以计算拨出功。假设片状物与周围物质的结合仅为物理结合,则拨出功 A 可表述为

$$A = (2aL) \tau l_c = \begin{cases} (2aL) \sigma_r \mu l_c & (\sigma_r < 0) \\ 0 & (\sigma_r > 0) \end{cases}$$

式中: a 为片状物宽度, L 为片状物长度, l_c 为片状物拨出的长度, τ 为界面剪切强度, σ_r 为界面径向残余应力, μ 为片状物与周围物质界面的摩擦系数。拨出功的值大于夹层和基体本身的断裂功,从而提供了一定的断裂韧性。

分析图 2 可知,断裂韧性对方向之所以敏感,是因为夹层中大多数片状晶体表面法线方向沿着或趋向于图 1 的 A 方向。当裂纹沿着 A 方向扩展时,在片状晶体表面裂纹将沿着表面扩展,由此导致裂纹尖端钝化,减少了应力集中;但裂纹沿着与大多数片状晶体表面平行或趋向于平行的 B 方向扩展时,裂纹尖端钝化的可能很小,在应力作用下,裂纹很容易顺原来的方向扩展;因而 A 方向的断裂韧性比 B 方向要大,不同方向的断裂韧性不同。

4 结 论

1) SiC-W 层状复合材料以降低一定强度为代价,提高其断裂韧性;

2) 在 SiC 陶瓷基体层厚度不变,夹层厚度为 10~50 μm 的条件下,随夹层厚度的增加,

SiC/W 层状复合材料断裂韧性增大, 抗弯强度下降;

3) SiC/W 层状复合材料的断裂韧性对方向较为敏感, 而抗弯强度对方向不敏感;

4) SiC/W 层状复合材料以延长裂纹扩展路径, 晶片拔出消耗能量, 微裂纹阻止裂纹扩展 3 种形式提高断裂韧性。

参 考 文 献

- 1 Clegg K, Kendall W J. A simple way to make tough ceramics Nature (London), 1990, 347(4): 455
- 2 Chen Z, Mecholsky J J. Control of strength and toughness of ceramic metal laminates using interface design J Mater Res, 1993, 8(9): 2362~ 2369
- 3 Chen Z, Mecholsky J J. Effect of interface design on high-temperature failure of laminated composites J Mater Res, 1996, 11(8): 2035
- 4 Brukl C E. Ternary phase Equilibria in Transition Metal-boron-carbon-silicon systems Afnl-TR-65-2pt, 1996, Vol 7.

www.cnki.net