

文章编号:1671-6833(2008)01-0028-03

SiC/Cu 复合材料磨损界面研究

范冰冰, 侯铁翠, 刘瑞瑜, 李 凯, 吴曰送, 张 锐

(郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州, 450001)

摘 要: 采用非均相沉淀法制备了 SiC/Cu 包裹复合粉体, 热压烧结制备 SiC/Cu 复合材料. 以 Si_3N_4 球为摩擦副, 在 400 °C 条件下进行磨损实验. 采用 XRD、SEM 分别对磨损前后材料的界面物相、磨损界面的形貌以及裂纹的扩展变化情况进行分析. 结果表明: 在该实验条件下, SiC/Cu 复合材料界面的物相随着磨损的进行发生变化, Cu_2O 含量大大增加, 同时出现 CuO. 随着循环荷载的增加, 复合材料的内部产生了裂纹, 裂纹的扩展是沿着 SiC/Cu 界面进行; 而 SiC 颗粒的存在, 使复合材料内部裂纹发生偏转, 有利于提高材料的耐磨性.

关键词: SiC/Cu; 复合材料; 磨损界面; 裂纹扩展

中图分类号: TB 333

文献标识码: A

0 引言

SiC/Cu 金属陶瓷复合材料作为理想的结构-功能一体化材料, 具有良好耐磨和抗氧化等性能, 在航空航天、电子和国防等领域具有十分广阔的应用前景, 成为近年来材料科学领域的研究热点之一^[1~2]. Kennedy^[3] 等研究了 SiC 颗粒增强 Cu 金属陶瓷复合材料的摩擦学性能及探索该材料在汽车刹车片的应用可能性, 湛永钟^[4] 等人着重研究了 SiC 颗粒含量对磨损性能的影响, 然而对于 SiC/Cu 陶瓷金属材料的磨损界面研究报道还较少, 对磨损状态下 SiC/Cu 复合材料的破坏行为没有统一的理论.

笔者通过对 SiC/Cu 复合材料磨损界面的分析, 研究了复合材料的裂纹扩展情况, 为设计高可靠性的金属基复合材料提供依据.

1 实验部分

采用非均相沉淀法将纳米 Cu 包裹到 SiC 颗粒 (β -SiC 粉体, 平均粒径: 100 nm) 上, 制备出 25SiC/75Cu (体积百分数) 包裹复合粉体^[5], 从而实现了两相之间的均匀分散. 经包裹工艺处理获得的 SiC/Cu 复合粉体经过筛分 (75 μm), 采用热压烧结, 压力为 36 MPa, 烧成温度分别为 600 °C、650 °C、700 °C、750 °C, 保温时间为 10 min. 制备

得到的 SiC/Cu 复合材料表面经过磨平、抛光加工, 表面粗糙度小于 100 nm; 将处理过的样品置于高温摩擦磨损试验机 (THT07-135, CSEM Instrument Ltd., Swiss) 旋转样品台上固定. 磨损方式为干法“点-面”磨损. 样品在空气中被加热至 400 °C, 恒温后进行加压磨损试验. 选用的摩擦副为 Si_3N_4 球, 直径为 3 mm, 表面粗糙度小于 100 nm, 安装在位置固定的上压头上, 并与 SiC/Cu 样品表面接触, 点接触位置距离旋转轴心为 4 mm. 通过 Si_3N_4 球施加在样品表面的试验载荷为 10 N. 样品的旋转速度为 43 ± 2 cm/s, 磨损时间为 20 min. 采用 XRD (D/MAX-2250V, Rigaku Tokyo, Japan) 对磨损界面物相进行分析, SEM (JSM-6700F, JEOL Tokyo, Japan) 观察磨损界面的形貌以及裂纹的扩展情况.

2 结果与讨论

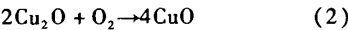
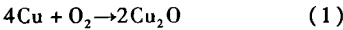
图 1 是 25SiC/75Cu (体积百分数) 样品在磨损前后的 XRD 图谱, 可以看出复合材料界面物质相在磨损前后发生了变化. 磨损前 (图 1(a)) 复合粉体由 Cu、SiC 和极少量的 Cu_2O 组成, 其中 Cu 的峰强很高, 而且 SiC 相的峰强相对较弱; 而磨损后 (图 1(b)), 样品表面 Cu_2O 峰值大大升高, 甚至超过 Cu 峰值, 并出现 CuO 相, 这是由于在摩擦过程中, 样品的表面发生氧化所造成的, 其氧化方

收稿日期: 2007-09-31; 修订日期: 2007-12-24

基金项目: 教育部新世纪人才计划项目; 河南省杰出青年基金资助项目 (512002200)

作者简介: 范冰冰 (1982-), 女, 河南淮阳人, 郑州大学博士研究生, 主要从事 SiC/Cu 复合材料研究, E-mail: bing-fan@yahoo.cn; 通讯作者: 张 锐 (1967-), 男, 郑州大学教授, 博士.

程式如下：



图中箭头所指的衍射峰是 SiC(111) 与 CuO 的重叠峰。

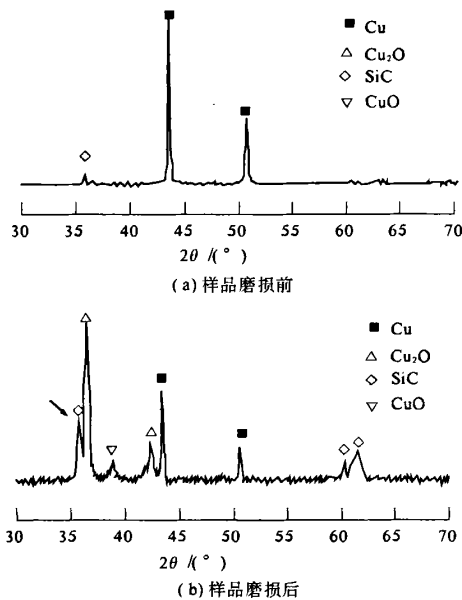


图 1 25SiC/75Cu(vol%) 样品磨损前后 XRD 谱线
Fig.1 XRD patterns of 25SiC/75Cu (vol%)
composites after wear tests and before wear tests

图 2 是 SiC/Cu 复合材料的磨损表面 SEM 照片。磨损表面除了犁沟状的磨痕外,还有大量的磨屑和块状黏着磨损痕迹。这是由于在磨损过程中产生的高温,使不断裸露的新鲜金属表面很快被氧化形成 CuO 和 Cu₂O(图 1(b)),氧化物从基体表面剥落形成磨屑,磨屑对磨损面的划伤,形成划痕。在磨损过程中,由于局部出现瞬间的高温,导致 SiC/Cu 界面处形成 Cu - Cu₂O、Cu₂O - SiO₂ 低共熔相^[5]。同时,由于这些氧化物低共熔相的存在,在复合材料表面出现釉质层^[6],形成以 Cu 为基体,氧化物颗粒弥散分布的结构,该结构具有良好的润滑性能,有利于降低材料的摩擦系数,提高耐磨性。

图 3 是裂纹通过 SiC/Cu 界面时的 SEM 照片。从图中可以看出,裂纹的扩展沿着 SiC/Cu 界面进行,在遇到大颗粒 SiC 时,裂纹发生偏转。磨损过程中,在法向载荷(法向力)和滑动摩擦力(剪切力)作用下,由于 SiC 颗粒与周围 Cu 颗粒硬度上相差悬殊,两相之间承受载荷的剪切作用

力不同,由于 Cu 颗粒自身的延展性和塑性变形而承受较小的作用力。作用力尤其是剪切力主要集中于 SiC 颗粒,循环载荷通过 SiC 颗粒的瞬间在 SiC/Cu 界面产生应力集中,使 SiC/Cu 界面处的晶界玻璃相区域疲劳,加上高温环境及摩擦过程中产生的热量使晶界相软化,强度降低,产生微裂纹。

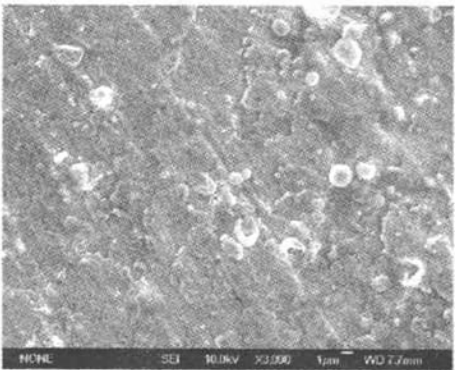


图 2 25SiC/75Cu(vol%) 样品磨损表面的 SEM 照片
Fig.2 SEM image of 25SiC/75Cu (vol%)
composite after wear test

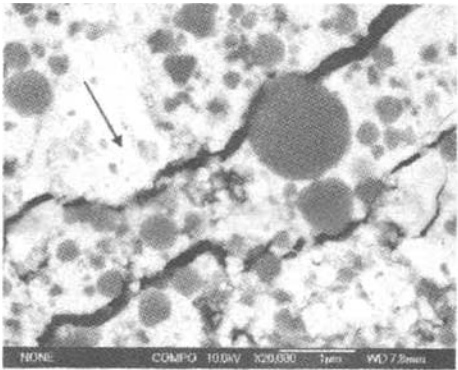
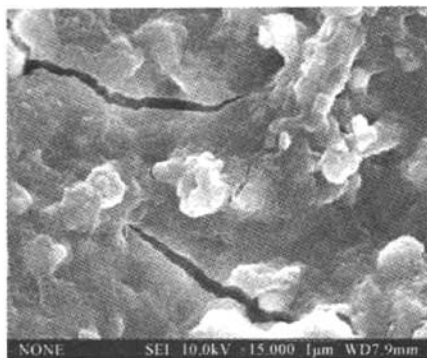


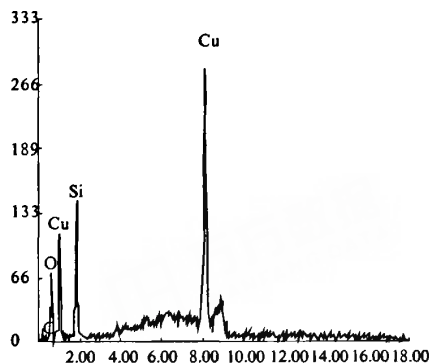
图 3 磨损表面裂纹分布状况的 SEM 照片
Fig.3 SEM image after the track propagation
of cracks in the wear traces

随着磨损时间的增加,微裂纹超过临界尺寸以后,开始向周围的 Cu 基体扩展,形成大的裂纹,导致样品的韧性破坏^[7]。而当裂纹尖端遇到另一个大的 SiC(Cu) 晶粒时而停止扩展,如图 4(a)所示。这表明, SiC 颗粒或者较大的 Cu 晶粒能够通过引起裂纹偏转,较大的 SiC 颗粒在复合材料中起到“钉扎”的作用,从而阻止裂纹的进一步扩展,即成为裂纹的终止点,因此提高了 SiC/Cu 复合材料的机械性能。图 4(b)所示,EDS 能谱分析发现同样有氧元素的存在,表明在磨损过程中

出现了氧化现象,这与 XRD 检测结果一致。



(a) SEM 图



(b) EDS 谱

图 4 25SiC/75Cu(vol%)样品内部裂纹尖端 SEM 照片及 EDS 谱

Fig.4 SEM image and spectrum of crack tips in the 25SiC/75Cu(vol%) composite

图 5 中为破坏磨损界面的 SEM 照片,如图所示,样品的磨损过程中没有 SiC 颗粒的拔出现象,相反 SiC 颗粒以及 Cu 颗粒不断被磨平。这由于 SiC/Cu 界面结合具有一定强度^[8]。当外加载荷小于 SiC/Cu 界面结合强度时, SiC 颗粒被不断地磨平;当外加载荷超过临界载荷时,颗粒拔出,形成粗糙表面。大颗粒 SiC 存在时,容易产生磨平磨损,从而起到增强耐磨作用。

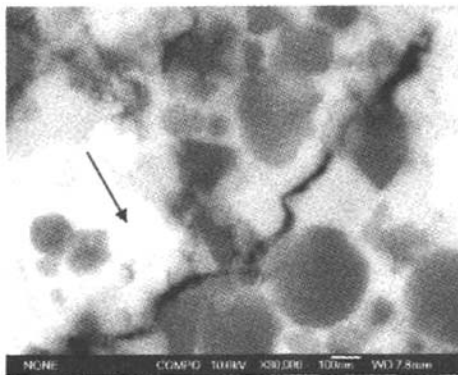


图 5 SiC-Cu 界面的破坏后的 SEM 照片

Fig.5 SEM image of the damaged SiC-Cu interface

3 结论

(1)在磨损过程中, SiC/Cu 复合材料的磨损表面,由于 Cu 的氧化而出现 Cu_2O 与 CuO , 并且 Cu_2O 含量随磨损的进行大大升高。

(2)在法向载荷作用下,裂纹的扩展主要是沿着 SiC/Cu 的结合界面处进行,材料破坏主要发生在 Cu 晶粒内部。当裂纹到达 SiC 颗粒时,沿 SiC/Cu 界面向 Cu 晶粒内部偏转,使 Cu 晶粒穿晶

断裂,由于 SiC 颗粒的“钉扎”作用,裂纹在扩展方向上不断偏转。因此, SiC 颗粒的存在,可以阻止裂纹的进一步扩展,有利于提高复合材料的耐磨性,提高材料使用的可靠性。

参考文献:

- [1] KOCK T, BRENDAL A, BOLT H. Interface reactions between silicon carbide and interlayers in silicon carbide-copper metal-matrix composites [J]. Journal of Nuclear Materials, 2007, 362(2-3): 197-201.
- [2] ZHU J H, LIU L, SHEN B. Mechanical properties of Cu/SiCp composites fabricated by composite electroforming [J]. Materials Letters, 2007, 61(13): 2804-2809.
- [3] KENNEDY F E, BALBAHADUR A C, LASHMORE D S. The friction and wear of Cu-based silicon carbide particulate metal matrix composites for brake applications [J]. Wear, 1997, 203-204: 715-721.
- [4] 湛永钟, 张国定. SiCp/Cu 复合材料摩擦磨损行为研究 [J]. 摩擦学学报, 2003, 23(6): 495-499.
- [5] 张锐, 王海龙, 付元中, 等. SiC/Cu 纳米包裹粉体及其复合材料的制备 [J]. 郑州大学学报: 工学版, 2004, 25(3): 74-76.
- [6] 湛永钟, 张国定. SiCp/Cu 复合材料的高温磨损行为 [J]. 兵器材料科学与工程, 2005, 29(6): 22-25.
- [7] PERSSON B N J, ALBOHR O, MANCOSU F. On the nature of the static friction, kinetic friction and creep [J]. Wear, 2003, 254(9): 835-851.
- [8] KIORTSIDIS G E, SKOLIANOS S M. Wear behaviour of artificially aged AA2024/40 μm SiCp composites in comparison with conventionally wear resistant ferrous materials [J]. Wear, 2002, 253(9-10): 946-956.

(下转第 55 页)

表 1 实验数据
Tab.1 Experimental data

$D1/cm$	$D2/cm$	$\Delta d/mm$	条纹数 $N/\text{个}$	$\lambda_{\text{实验值}}/nm$	$\lambda_{\text{理论值}}/nm$	相对误差/ $\%$
35.524 25	35.555 93	0.031 68	100	633.6	632.8	1.30
34.477 40	34.540 72	0.063 32	200	633.2	632.8	0.60
36.684 95	36.590 01	0.094 94	300	632.9	632.8	0.16

参考文献:

[1] 刘芳元. 关于迈克尔逊干涉条纹的理论分析[J]. 中南工学院科技通讯, 1995, 11(1): 33 - 35.

[2] 王守权, 张绍良, 张 薇. 干涉条纹计数器的研制[J]. 长春邮电学院学报, 2000, 18(2): 55 - 58.

[3] 谢自美. 电子线路设计·实验·测试[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006: 32 - 33.

[4] 陈本永, 吴晓维, 李达成. 一种新型的干涉条纹软件计数方法及其实现研究[J]. 传感技术学报, 2004, (9): 371 - 374.

[5] 陈光东. 单片微型计算机原理及其 C 语言程序设计[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 109 - 158.

[6] BARONE F, CALLONI E. Fringe - counting technique used to lock a suspended interferometer [J]. Applied Optics, 1994, (3): 1194 - 1197.

[7] Intersil Americas Inc. Digitally Controlled Potentiometer [EB/OL]. www.intersil.com/data/fn/fn8176.pdf, 2005 - 03 - 15.

The Design of a Novel Fringe Counter for Michelson Interferometer

AO Tian - yong, XIANG Bing

(School of Physics and Electronics, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract: A novel counter for fringes of Michelson interferometer is designed, which can adapt automatically to different degress of illumination intensity of background. A photosensitive diode transforms the changes of fringes into electric signal. The signal and the output of the digital potentiometer are differential amplified by a differential amplifier. A Schmitt trigger transforms the output of the amplifier into pulses which are counted and shown by a single chip microcomputer. It has been proved that the counter can be used in circumstances of different illumination intensity of background and lamp - house. The counter has many advantages, such as high accuracy, easy operation and wide adaptability.

Key words: interference fringe; counter; digital potentiometer; single chip microcomputer

(上接第 30 页)

Research on the Attrition Interface of SiC/Cu Composite

FAN Bing - bing, HOU Tie - cui, LIU Rui - yu, LI Kai, WU Yue - song, ZHANG Rui

(School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Nanoscale SiC/Cu composite particles were prepared with the heterogeneous precipitation method. SiC/Cu composite material was obtained by hot-pressing. The wear experiment was carried out at 400℃. XRD was used to characterize the phase of hot-pressed composite before and after the wear test. SEM techniques were used to observe the morphology of the wear track and the propagation of cracks in the wear traces. The results indicated that, under the experimental condition, the phase of friction interface changed. The content of Cu₂O increased and CuO appeared. With the circulation load increase, the crack was observed, and it carried on along the SiC/Cu interface. While the existence of SiC particles, which will prevent the crack expansion, is advantage ous to enhance the wear resistance of the compound material greatly.

Key words: SiC/Cu; composite; attrition interface; crack expansion