

WC/Cu 大电流滑动电接触材料的研究

陈文革, 胡可文, 罗启文

(西安理工大学材料科学与工程系, 陕西 西安 710048)

摘要: 为了提高电接触材料的导电、导热等性能, 笔者采用粉末冶金溶渗技术制备出 WC/Cu 滑动电接触材料, 并对其显微组织和性能进行了系统研究。结果表明: WC60~90/Cu 滑动电接触材料随着 WC 含量的增加, 材料的密度由 11.508 g/cm³ 增加到 13.305 g/cm³, 硬度由 HB187 增加到 HB477, 导电率由 14.6 m/(·mm²) 下降到 10.6 m/(·mm²)。耐磨性随着 WC 含量的增加显著提高, 但高 Cu 含量的孕育期较长。磨损机制以磨粒磨损和表面接触疲劳为主。建议使用含量为 WC70/Cu30~WC80/Cu20 的滑动电接触材料。

关键词: 电接触; WC/Cu 复合材料; 滑动

中图分类号: TM211

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)01-0029-03

Study on High Current WC/Cu Slip Electrical Contact Materials

CHEN Wen-ge, HU Ke-wen, LUO Qi-wen

(School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: WC/Cu slip electrical contact materials were fabricated with powder metallurgy to improve the properties of electrical contact materials such as electric and thermal conductivity. The microstructure and the properties of the WC/Cu composite materials were tested. The results show that with WC content increasing, the density of the WC60~90/Cu composites rises from 11.508 g/cm³ to 13.305 g/cm³, hardness from HB187 to HB477, and conductive rate drops from 14.6 m/(·mm²) to 10.6 m/(·mm²). Moreover, the resistance to wear is remarkably enhanced. The abrasive wear and fatigue-based surface contact is the main abrasive mechanism, and the WC70/Cu30~WC80/Cu20 is suggested.

Key words: electrical contact; WC/Cu composites materials; slip

0 引言

电接触材料主要用于电气设备和仪表中传递和承载电负荷, 要求具有好的导电导热性、一定的强度及高的抗电蚀、抗熔焊和易于机械加工^[1-3]。滑动电接触材料在保证电触头材料基本要求的同时又要有一定的耐磨性。碳化钨由于较高的熔点和硬度, 既用作触头材料的难熔骨架相, 又作为抗磨性能的硬质相, 与导电导热性能好的铜结合, 常用做具有高导电性、高耐磨性、高硬度及抗氧化性的大电流滑动触头用耐磨材料^[4-6]。当前, WC/Cu 复合材料的研究主要是在铜基体上添加 WC 粒子来达到颗粒增强铜的目的, 而且其添加的 WC 含量一般都在 10%以下^[5-10]。笔者则采用粉末冶金溶渗技术系统地研究高 WC 含量的不同成分 WC/Cu 滑动电接触材料, 试图使该材料有更大的发展。

1 实验材料及制备过程

将 70~100 μm 的树枝状铜粉和 2~6 μm 的球状 WC 粉末, 按重量百分比依次称取 WC90Cu10、WC80Cu20、WC70Cu30、WC60Cu40 的粉末和一定量添加剂混合均匀。分别采用 8、9、10、12 t/cm² 单位压制压力在钢压模中压制成 φ14×12 mm 的生坯, 然后在 1450 ℃、N₂ 气氛保护下烧结 2 h。

烧结完的样件在 Nephot- 型金相显微镜上观察显微组织, 电导率按惠斯通电桥原理在 7501 型涡流电导仪上测定, 密度采用水中浮重法在 ESJ200-4 型分析天平上测量。磨损实验在 MMW-2 型微机控制摩擦磨损实验机进行。对磨件选择硬度为 HRC58 的 40Cr 钢。实验载荷为 250 N, 转速为 150 r/min, 每个试样磨 10 min, 作磨损时间和累积磨损量的关系曲线进行分析, 并对磨损面进行宏观观察。

收稿日期: 2007-11-14; 修回日期: 2008-01-08

作者简介: 陈文革(1969-), 男, 博士, 主要从事功能材料与器件的研究。

2 实验结果与分析

2.1 显微组织

图 1 为 WC/Cu 复合材料的金相显微组织照片。可以看出 WC60/Cu 复合材料银白色的铜呈云片状分布在灰黑色的 WC 基体上；其余 3 种材料铜呈块状均匀分布在 WC 基体上。这是由于 WC60/Cu 含铜量多，易造成 Cu 的偏聚，而在液相烧结过程中这些偏聚相又不宜分散造成的。其余 3 种材料由于含铜量相对较少，即使液相烧结也不会造成很大的“液相池”，因此显微组织分布比较均匀，而且 WC 含量越高，这种现象越明显。

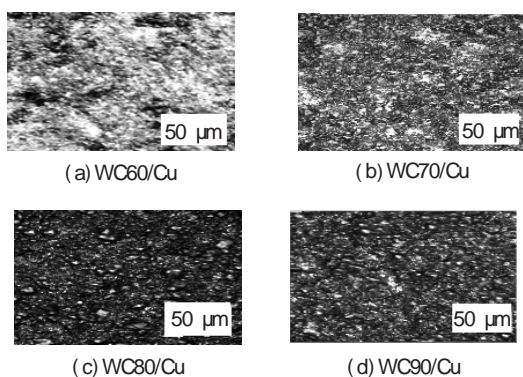


图 1 WC/Cu 滑动电接触材料的金相组织

2.2 物理机械性能

WC/Cu 电接触材料的硬度、密度、导电率随 WC 百分含量的变化关系见图 2。可以看出，随着 WC 含量的增加，WC/Cu 复合材料的导电率在降低，硬度和密度在增大。这是由于 WC 质地坚硬，具有很高的硬度，其硬度可以达到 HV2000，而铜的硬度很低，只有 HB45~50。因此，WC 含量越高，复合材料的硬度越大。文[5]指出，在颗粒分布均匀的前提下，颗粒强化复合材料的导电率可满足加和原理，就所研究材料的两种成分而言，既不相互溶解又不形成中间化合物，铜的导电性很好，而 WC 的导电性不好，所以铜的含量越高，WC 含量越低，WC/Cu 复合材料的导电率越高。至于密度随 WC 含量增加是由于 WC 的密度 (15.3 g/cm³) 较 Cu 的密度 (8.9 g/cm³) 大的缘故。另外，从前述的显微组织可以看出，较少的粘结相铜分布均匀，而性能变化趋势的不一致说明 WC/Cu 存在一个最佳的配合比例。从图中可以看出，当 WC 含量在 70%~80% 时其综合性能较好。

2.3 磨损性能

图 3 是 WC/Cu 滑动电接触材料随磨损时间变化的磨损累积失重量关系曲线。可以看出，磨损曲线随时间的变化有两个明显的阶段，即跑合阶段(孕育期)和稳定磨损阶段。WC60/Cu 的磨损量明显高于 WC80/Cu 电接触材料，材料耐磨性与材料硬度、材料成分及金相组织有关。一般来说材料的硬度越高，

其耐磨性越好。材料含有耐磨性高的成分时，其耐磨性越好。金相组织中含有高耐磨性的相时，材料的耐磨性越高。WC80/Cu 电接触材料中含有较多的耐磨性陶瓷相 WC。另外从图中还可看出，虽然 WC80/Cu 的耐磨性较 WC60/Cu 的高，但两者之间的磨损速率基本一样，曲线在稳定磨损阶段的斜率近似相等，而且 WC60/Cu 的磨损孕育期似乎更长一些 (20 min)，这说明粘结相铜的含量高，在滑动磨损时需要更长时间的跑合。

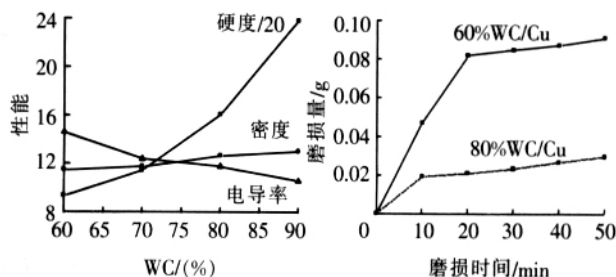


图 2 滑动电接触材料的性能与 WC 含量的关系曲线

图 3 磨损累积失重量随时间变化的关系曲线

材料磨损后的磨损形貌见图 4。可以看出，不论是那种成分的材料在磨损面上都留下“犁痕状”沟槽，这是因为磨料在摩擦试样滑过时，使金属发生塑性变形而在两侧堆积起来，在随后的摩擦过程中，这些被堆积部分又被压平，如此反复地塑性变形，导致划痕形成。也可以看出，WC80/Cu 的磨损程度明显小于 WC60/Cu 电接触材料。不仅表现在材料表面滑痕的多少，还表现在滑痕的深浅上。WC60/Cu 电接触材料表面的滑痕明显多而深。滑动电接触材料 WC/Cu 和 40Cr 钢的磨损属于磨料磨损、黏着磨损和表面接触疲劳。

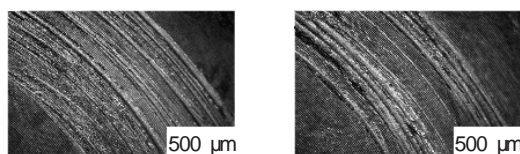


图 4 滑动电接触材料表面的磨损形貌

3 结论

(1) 在 1450 ℃、N₂ 保护下高温熔渗烧结制备出不同成分的 WC/Cu 滑动电接触材料。随 WC 含量增加，铜呈点状均匀分布在 WC 基体上。

(2) WC/Cu 滑动电接触材料随着 WC 含量的增加，密度由 11.508 g/cm³ 增加到 13.305 g/cm³，硬度由 HB187 增加到 HB477，导电率由 14.6 m/(·mm²) 下降到 10.6 m/(·mm²)。WC/Cu 磨损机制为磨料磨损、黏着磨损，并伴有表面接触疲劳。

(3) WC/Cu 滑动电接触材料的成分配比建议 WC 含量为 70%~80% 为宜，该成分的综合性能最佳。

参考文献:

- [1] KEIL A, WERL W A, VINARICKY E. 电接触和电接触材料[M]. 赵华人, 陈昌图, 陶国森, 译. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [2] 刘平, 田保红, 赵冬梅. 铜合金功能材料[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] BELK J A, EDWARDS M R. Deformation Behavior of Tungsten Copper Composites[J]. Power Metal, 1993, 36(4): 293.
- [4] 徐德生, 任露泉, 邱小明, 等. WC/Cu基仿生非光滑耐磨复合涂层的研究[J]. 农业机械学报, 2004, 35(6): 148-151.
- [5] KIYOSHI. Electric Conductivity and Mechanical Properties of Carbide Dispersion Strengthened Copper Prepared by Compocasting [J]. Materials Transaction JIM, 1993, 34(8): 718-724.
- [6] 王孟君, 张立勇, 刘心宇, 等. WC/Cu复合材料制备及其高温性能[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(4): 528-530.
- [7] 王耐艳, 涂江平, 杨友志. 原位反应纳米TiB₂/Cu复合材料的制备与微结构[J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(1): 151-154.
- [8] KOGYO H G. Moulded Ceramic Reinforced Copper Article for Spot Welding Electrode[Z]. Mzz GB2243-160-A, 1991.
- [9] 李晓杰, 王占磊, 谢兴华, 等. WC/Al₂O₃颗粒增强Cu基复合材料爆炸粉末烧结实验研究[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(4): 356-360.
- [10] 胡锐, 高强. 高导Cu基复合材料的新型制造技术[J]. 兵器材料科学与工程, 1998, 21(6): 39-43.

(上接第25页)

了1倍以上,一般MOA正常运行时的相角差为75°~85°不等。经验表明,若相角差大于80°,则该避雷器性能优良;小于80°则性能下降,但一旦相角差低于75°,即相角差已经变化了5°~10°,则MOA的阻性电流已经增加了1倍以上,MOA已经劣化,应停止运行^[9,10]。总之,用相角差法判断MOA性能的优劣更简便、准确和直观。

参考文献:

- [1] 谢鹏, 张国栋. 金属氧化物避雷器试验测试方法的发展及应用[J]. 电瓷避雷器, 2006(5): 36-38, 41.
- [2] 孟毅, 文远芳, 龚李伟. 不同介质中MOV小电流特性的比较[J]. 电瓷避雷器, 2006(5): 17-20.
- [3] 王文利, 李燕青, 律方成. 金属氧化物避雷器在线检测的改进补偿法研究[J]. 高压电器, 2005, 41(3): 192-194.
- [4] 王宇, 张蓬鹤, 李贞. MOA泄漏电流相关概念分析[J]. 东北电力技术, 2005(8): 14-15.
- [5] 胡道明. MOA泄漏电流在线监测方法的探讨[J]. 南昌水专学报, 2004, 23(3): 57-58.
- [6] 郑健, 张国庆, 田悦新, 等. 氧化锌避雷器在线监测技术综述[J]. 继电器, 2000(9): 7-9.
- [7] 许恒迎, 夏荣, 李忠华. 基于非线性最小二乘拟合的容性、阻性电流信号分解算法[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2006, 11(1): 120-123.
- [8] 王来善, 刘云鹏, 杜瑞红. 基于软件分析方法的氧化锌避雷器泄漏电流在线监测[J]. 电力情报, 2002(2): 13-15.
- [9] 张金波, 范梅荣, 王俊, 等. 金属氧化物避雷器阻性泄漏电流无线检测方法的设计[J]. 高压电器, 2006, 42(1): 1-3, 7.
- [10] 盛亚军. MOA带电测试及其角度校正[J]. 浙江电力, 2003, 24(5): 32-33, 57.

(上接第28页)

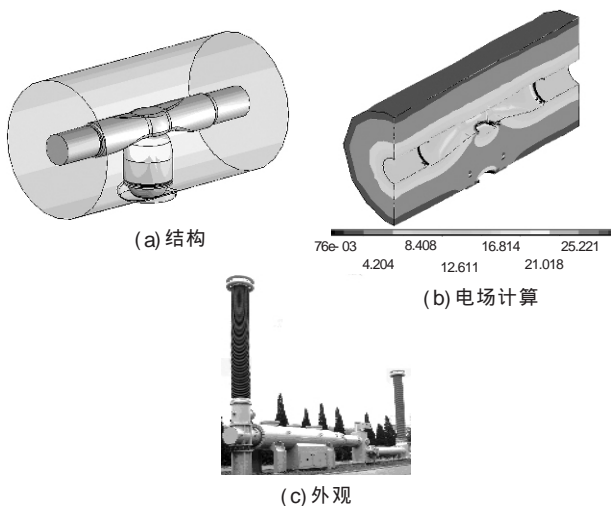


图12 母线的结构、电场计算和外观

压,用于减缓电位梯度,获得更均匀的电场分布,中间

屏蔽由绝缘子支撑形成对地的绝缘状态;外屏蔽主要涉及空气的绝缘强度、无线电干扰的水平和地面场强值的大小等。

4 结语

ZF27-800型GIS为平高自主设计的800kV级GIS设备,拥有完全自主知识产权,通过各元件的设计计算、制造、装配和试验验证,各项指标满足设计要求,是一种开断能力强、绝缘水平高、设计先进可靠的GIS产品,完全符合我国750kV线路的订货要求。

参考文献:

- [1] 朱德恒, 严璋. 高电压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.