

真空热压烧结制备 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料 及其载流磨损性能研究

陈 卫

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所 河南 洛阳 471023)

摘 要: 在 VDBF - 250 真空热压烧结炉中, 采用真空热压烧结工艺制备了 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料, 观察显微组织, 并测试性能。在 HST100 载流高速摩擦磨损试验机上研究了载流磨损机理。结果表明, 该材料致密度为 98.23%, 组织较为致密; 显微硬度为 116 HV, 导电率为 41.33% IACS; Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料的磨损形式为粘着磨损、磨粒磨损和电弧烧蚀磨损。

关键词: 真空热压烧结; Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料; 显微组织; 性能; 磨损机理

中图分类号: TG146 文献标识码: A

Preparation of Mo10/Cu - Al₂O₃ Composite by Vacuum Hot - pressing and Current - carrying Wear Performance

CHEN Wei

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: In VDBF - 250 vacuum hot pressing sintering furnace, Mo10/Cu - Al₂O₃ composite was prepared by vacuum - pressed sintering. The microstructure and properties of the composite were observed and tested, and the wear mechanism of the composite in current carrying was investigated on HST100 carrier high - speed friction and wear tester. The results show that the density, microhardness and electrical conductivity of the composite are 98.23%, 116 HV and 41.33% IACS and the wear character of the composites are adhesive, abrasive and arc erosion wear.

Keywords: vacuum - pressed sintering; Mo10/Cu - Al₂O₃ composite; microstructure; properties; wear mechanism

钼铜复合材料综合了钼和铜的优点, 具有热膨胀系数低、导电导热率高、耐热性好、耐磨性好、抗熔焊性好等优点^[1-4]。具有优异综合性能的 Mo/Cu - Al₂O₃ 复合材料已被广泛研究。

传统制备钼铜合金的工艺有熔渗法、溶胶 - 凝胶法、液相烧结法和机械合金化法。而制备高密度钼铜合金的烧结方法有重复烧结、二步烧结、固相烧结、活化液相烧结等^[5-6]。但是由于钼铜互不相溶, 烧结性能较差, 导电、导热性能差, 难以实现完全的烧结致密化和均匀的微观结构, 而通常情况下采用固相烧结制备的材料在烧结时易产生膨胀, 难以烧结致密^[7]。本文拟采用内氧化 - 真空热压烧结法制备 Mo10/Cu - Al₂O₃

复合材料, 并测试性能。研究该材料载流条件下的磨损机理, 为电触头的生产、应用提供理论基础。

1 试验材料及方法

原料采用工业 Mo 粉, 纯度 99.9%, 粒度为 4.7 μm; 由水雾法制得的 Cu - 0.58% Al 粉, 纯度 99.9%, 粒度为 67 μm; 内氧化氧源为 Cu₂O, 粒度为 75 μm。原料按质量分数 10% Mo - 90% (Cu - 0.58% Al 粉 + Cu₂O) 称重, 由于粉末细小, 在混粉过程中易出现团聚现象。因而先采用手工研磨, 然后在 QQM/B 轻型球磨机上混

收稿日期: 2012 - 07 - 26

作者简介: 陈卫, 1968 年生, 男, 河南偃师人, 高级工程师, 主要从事高性能铜合金材料研究制造。

粉 20 h。真空热压烧结的工艺为: 手工和机械混粉→装炉→抽真空→升温→保温→加压→保温→加压→降温取样。真空热压烧结的主要参数为: 真空度 1.510 - 2 Pa, 烧结温度 950 °C, 压制压力 30 MPa, 保温时间 2 h, 保压时间 1 h。真空热压烧结采用自制石墨模具, 在 VDBF - 250 真空热压烧结炉中进行烧结。烧结后试样尺寸 $\phi 60\text{ mm} \times 27\text{ mm}$ 。采用阿基米德排水法测量密度; 用 D60K 数字金属电导率测量仪测量导电率; 利用 HVS - 1000 型数显显微硬度计测量硬度, 载荷为 2 N, 加载时间为 10 s, 每个试样测量次数不少于 5 次, 测量误差为 5%; 在 HST100 载流高速摩擦磨损试验机上测试载流磨损性能, 试样尺寸 $\phi 10\text{ mm} \times 25\text{ mm}$, 接触压力为 60 N, 电流分别为 0 A、30 A 和 70 A, 磨损时间 1 min; 利用 JSM - 5610LV 型扫描电镜观察显微组织及磨损形貌。

2 试验结果及分析

2.1 微观组织观察

图 1 为真空热压烧结制备的 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料的微观组织。在形貌图中, 弥散铜基体组织较为致密, 看不到明显的空隙。连续致密的灰黑色相为弥散铜基体, 灰白色颗粒相分布为 Mo, 均匀地分布在弥散铜基体上, 没有 Mo 颗粒团聚。

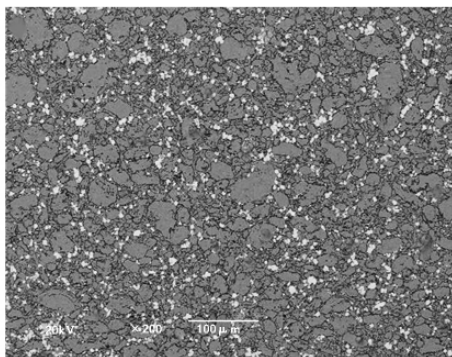


图 1 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料的显微组织

Fig. 1 Microstructure of Mo10/Cu - Al₂O₃ composite

2.2 复合材料综合性能

对 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料和真空热压烧结工艺制备纯铜的性能进行了测试, 如表 1 所示。

表 1 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料和纯铜的性能测试结果

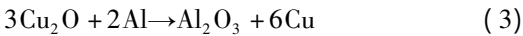
Table 1 Mechanical properties and electrical properties of Mo10/Cu - Al₂O₃ composite and pure copper

materials	density /(g/cm ³)	efficiency of space filling /%	conductivity % IACS	HV
Mo10/Cu - Al ₂ O ₃	8.85	98.23	41.33	116
pure copper	8.94	99.80	90.00	75

由表 1 可知, Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料相对真空热压烧结工艺制备纯铜的显微硬度高 41 HV, 增强效果明显。这是由于 Al₂O₃ 和 Mo 弥散分布在铜基体上, 从而增强复合材料的硬度。Cu - Al 合金粉在真空烧结下经内氧化生成 Al₂O₃, Cu₂O 为氧源。反应如下:



由式 (1) 和式 (2) 得到:



由于生成的 Al₂O₃ 均匀弥散分布在铜基体上, 在塑性变形时, 弥散颗粒会阻碍晶界和位错线的运动, 增加晶格畸变能, 因而能够提高强化效果。但随着 Al₂O₃ 弥散颗粒的加入, 增强颗粒/基体界面的电子散射作用增强, 且界面结合处容易产生热应力。此外, 残余在基体中的元素也将提高基体中的杂质浓度, 引起导电率的下降^[8]。本实验中复合材料的导电率为 41.33 % IACS, 能够满足电触头材料的要求。

在真空热压烧结过程中, 致密化可分为 3 个过程: 在热压初期, 密度急剧升高, 本试验在真空状态下进行, 大部分气孔消失, 压坯在压力作用下粉体重新排布, 晶界滑移引起的局部破裂或塑性流动将空隙填充; 在热压中期, 密度的升高显著减弱, 在压力作用下, 晶格点扩散, 晶界中气孔消失; 在热压后期外压的作用不太明显, 其作用是仅使晶粒贴的更紧, 晶界更加密实^[9]。并且烧结温度和保温时间对性能有很大影响, 温度过高, 保温时间过长, 容易使粉末蒸发, 使合金的晶粒粗大, 性能恶化。过低则对致密化有影响, 且内氧化进行缓慢^[10-11]。本实验在烧结温度 950 °C, 保温时间 2 h 制备的 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料的致密度为 98.23%, 组织较为致密。

2.3 载流磨损形貌分析

图2为 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料在接触压

力 60 N ,电流分别为 0 A、30 A 和 70 A 时磨损 1 min 后微观形貌。

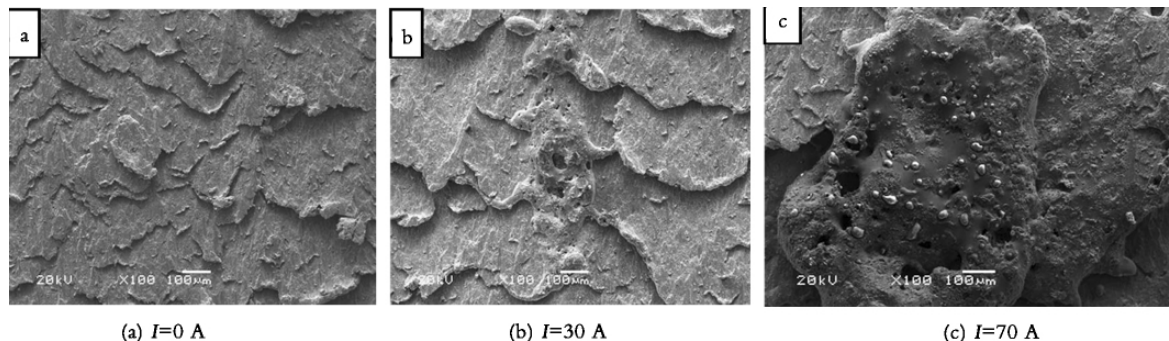


图2 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料在不同条件下摩擦表面形貌

Fig. 2 The friction surface morphology of Mo10/Cu - Al₂O₃ composite materials under different currents

材料的磨损失效形式与摩擦副材料的性质、摩擦条件和环境、摩擦过程中的热效应及其引起的物理化学变化等诸多因素有关^[12]。未施加电流时,磨损表面分布着许多较浅的剥落坑(图2(a)),并在滑动方向上有明显的犁沟和微切削痕迹,这说明磨损过程中存在着粘着磨损和磨粒磨损。原因是摩擦副表面温度较低,材料强度和硬度较高、抵抗塑性变形的能力较强,塑性变形较小。

施加电流时,如图2(b)、(c)所示,磨损表面较粗糙,且存在较大块状的剥落坑。加载电流后,磨损表面吸收了大量的焦耳热、摩擦热和电弧热,使磨损表面温度急剧上升,超过了复合材料的熔点,发生熔融^[13-15]。经上述分析可得出,在载流下磨损形式主要为粘着磨损、磨粒磨损和电弧烧蚀磨损。

3 结论

(1) 采用真空热压烧结制备了 Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料,其基体为 Al₂O₃ 颗粒弥散强化 Cu,在铜基体上弥散分布着较均匀的 Mo 相,综合性能良好。复合材料的密度为 98.23%,显微硬度为 116 HV,相对导电率为 41.33% IACS。

(2) Mo10/Cu - Al₂O₃ 复合材料在载流下磨损形式主要为粘着磨损、磨粒磨损和电弧烧蚀磨损,并随电流强度的增大而使磨损加剧。

参考文献:

[1] 韩胜利,宋月清,崔舜,等. Mo - Cu 合金的开发

和研究进展[J]. 粉末冶金工业,2007,17(5): 40—45.

Han S L, Song Y Q, Cui S, *et al.* Resear and development of Mo - Cu alloy [J]. Powder Metallurgy Industry, 2007, 17(5): 40—45.

[2] Johnson J, Randall M. Powder metallurgy processing of Mo - Cu for thermal management applications [J]. The International Journal of Powder Metallurgy, 1999, 35(8): 39—48.

[3] 吕大铭. 钼铜材料的开发和应用[J]. 粉末冶金工业, 2000, 10(6): 30—33.

Lu D M. The exploitation and application and application of Mo - Cu composites [J]. Powder Metallurgy Industry, 2000, 10(6): 30—33.

[4] 刘晓芳. 钼铜合金与 95% 氧化铝瓷的封接技术[J]. 真空电子技术, 2001, (5): 50—51.

Liu X F. Sealing - in technology of Mo - Cu alloy and 95% Alumina ceramic [J]. Vacuum Electronics, 2001, (5): 50—51.

[5] 韩胜利,蔡一湘,宋月清,等. Mo - Cu 合金的几种制备方法[C]. 长沙: 全国粉末冶金学术会议论文集 2009: 65—70.

Han S L, Cai Y X, Song Y Q, *et al.* Several preparations of Mo - Cu alloys [C]. Chansha: National Congress of Powder Metallurgy of China 2009: 65—70.

[6] 钱宝光,耿浩然,郭忠全,等. 电触头材料的研究进展与应用[J]. 机械工程材料, 2004, 28(3): 7—9.

Qian B G, Geng H R, Guo Z Q, *et al.* Development and application of electrical contact [J]. Materials for Mechanical Engineering, 2004, 28(3): 7—9.

[7] 于艳梅,杨银仓,李华伦,等. 内氧化制备 Cu -

- Al₂O₃ 复合材料新工艺的研究 [J]. 粉末冶金技术, 2000, 18(4): 252—256.
- Yu Y M, Yang G C, Li H L. A new method for fabrication of Cu - Al₂O₃ composite by internal oxidation [J]. Powder Metallurgy Technology, 2000, 18(4): 252—256.
- [8] 刘平, 赵冬梅, 田保红. 高性能铜合金及其加工技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- Liu Ping, Zhao Dong-mei, Tian Bao-hong. The high performance copper alloy and its processing technology [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004.
- [9] 王欣, 胡连喜, 王珩, 等. 机械球磨热压烧结 Mo - 50% Cu 合金的组织性能 [J]. 稀有金属材料与工程, 2011, 40(5): 902—905.
- Wang X, Hu L X, Wang H, *et al.* Microstructure and properties of Mo - 50% Cu alloy by mechanical milling and pressure - assisted solid state sintering [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2011, 40(5): 902—905.
- [10] 梁淑华, 徐磊, 方亮, 等. Cu - Al 合金粉末中 Al 内氧化工艺的分析 [J]. 金属学报, 2004, 40(3): 309—313.
- Liang S H, Xu L, Fang L, *et al.* Analysis on internal oxidation technology of Al in Cu - Al pre - alloyed powders [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2004, 40(3): 309—313.
- [11] 田保红, 周洪雷, 刘勇, 等. 真空热压烧结 Al₂O₃/Cu - Cr 复合材料的组织与性能 [J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29(2): 166—169.
- Tian B H, Zhou H L, Liu Y, *et al.* Microstructure and properties of Al₂O₃/Cu - Cr composites prepared by vacuum hot - pressed sintering [J]. Special Casting and Nonferrous Alloys, 2009, 29(2): 166—169.
- [12] 屈晓斌, 陈建敏, 周惠娣, 等. 材料的磨损失效及其预防研究现状与发展趋势 [J]. 摩擦学学报, 1999, 19(2): 187—192.
- Qu X B, Chen J M, Zhou H D, *et al.* Current state and development trend of the research on material wear failure and failure prevention [J]. TRIBOLOGY, 1999, 19(2): 187—192.
- [13] 张晓娟, 孙乐民, 赵彦文, 等. 电流对铬青铜/紫铜摩擦学特性的影响 [J]. 润滑与摩擦, 2007, 32(4): 90—93.
- Zhang X J, Sun L M, Zhao Y W, *et al.* Effect of electrical current on tribological behavior of QCr0.5/T2 Cu [J]. Lubrication Engineering, 2007, 32(4): 90—93.
- [14] 郑秋波, 姜国圣, 王志法. 70MoCu 合金室温变形行为与断裂机制 [J]. 稀有金属, 2007, 31(2): 142—147.
- Zheng Q B, Jiang G S, Wang Z F. Deformation behavior and fracture mechanism of 70MoCu composites at room - temperature [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2007, 31(2): 142—147.
- [15] 李鹏, 杜三明, 孙乐民, 等. 载流条件下铬青铜/纯铜摩擦副摩擦磨损性能研究 [J]. 摩擦学学报, 2003, 23(3): 250—252.
- Li P, Du S M, Sun L M, *et al.* Friction and wear behavior of bronze/Cu pair in the presence of electric current [J]. Tribology, 2003, 23(3): 250—252.

(编辑: 房威)