

文章编号: 1006-4710(2013)01-0066-04

CuW75 合金电腐蚀性能的研究

赵伟鹏, 肖鹏

(西安理工大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 以 CuW75 合金为研究对象, 对不同粒径 W 粉制备的 CuW75 合金进行真空电击穿实验, 记录电击穿相关数据, 并采用扫描电镜对试样的组织和击穿形貌进行观察分析。结果表明, 与粗晶 CuW75 合金相比, 细晶 CuW75 合金经电击穿测试后, 电弧烧蚀程度更轻, 耐电压强度增加了 1.27×10^7 V/m、截流值降低了 0.33 A, 且燃弧时间也延长了 0.51 ms, 表现了更明显的内电场影响效果和更优良的抗电腐蚀性能。

关键词: CuW75 合金; 真空电击穿; 耐电压强度; 击穿形貌; 内电场

中图分类号: TB331, TG146

文献标志码: A

Investigation on Arc Corrosion Characteristics of CuW75 Alloy

ZHAO Weipeng, XIAO Peng

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

Abstract: With CuW75 alloy as the research object, vacuum electrical breakdown tests are performed on the surfaces of CuW75 Alloys, prepared by W powders of different particle sizes, and the data on vacuum electrical breakdown are recorded, and the microstructure and breakdown morphology of specimens are observed and analyzed using a scanning electron microscope (SEM). The results show that the fine-grained CuW75 alloy has slighter arc corrosion degree, increases by 1.27×10^7 V/m on breakdown strength, decreases by 0.33A on chopping current and lengthens by 0.51ms on arc life as compared with the coarse-grained CuW75 alloy, cohereby displaying more obvious effect of internal electrical field and more excellent electrical resistance.

Key words: CuW75 alloy; vacuum electrical breakdown; breakdown strength; breakdown morphology; internal electrical field

CuW 合金是由物理性能差异大的铜、钨均匀混合所形成的两相合金, 铜具有很好的导热、导电性, 钨具有高熔点、高密度、低热膨胀系数和高强度^[1-2]。CuW 合金兼顾有铜、钨材料的本征物理性能, 并且通过改变两相的比例可获得相应的机械和物理性能的需要^[3]。因此, CuW 合金是目前高压开关中最为广泛应用的触头材料^[4]。然而其作为触头工作时, 由于 Cu 相是电击穿弱相, W 相是电击穿强相, 因而电弧总是在 Cu 相上产生, 在超高压开关中使用时, 由于电容量更大, 电弧的热量更为集中, 更加剧了 Cu 的熔化与喷溅。为了避免这种情况,

需要使 CuW 合金中的 Cu 相得到强化, W 相得到弱化, 这样在击穿过程中能使 Cu 相和 W 相被同时击穿, 使由电击穿产生的电弧均匀分布在触头表面。文献[5]的研究结果表明, 在真空电击穿中, 纳米 CuW 合金表面的阴极斑点是分散的, 电腐蚀情况比较微弱, 而常规 CuW 合金的阴极斑点则比较集中, 电腐蚀情况也更加严重。

电腐蚀是电触头失效最常见的原因之一, 是电触头在电路接通和断开过程中所产生电弧的作用下, 造成电触头材料熔化、蒸发、溅射而造成的材料损失现象。电弧集中燃烧造成电触头表面严重的局

收稿日期: 2012-11-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51171147)。

作者简介: 赵伟鹏, 男, 硕士生, 研究方向为铜基复合材料。E-mail: zhaoweipeng86@163.com。

肖鹏, 男, 博士, 副教授, 研究方向为电工材料与溶渗技术。E-mail: xiaopeng01@xaut.edu.cn。

部熔化液体的喷溅,引起电触头的失效,从而导致整个输变电路的严重事故^[6-7]。因此,所有的高压开关在工作过程中都要尽量减小触头因电弧集中燃烧引起的局部严重熔化及熔体的喷溅。抗电腐蚀性优良的触头材料应同时具备高耐电压强度、低截流值及长燃弧时间等诸多特性。本文研究内电场对不同粒径 W 粉制备的 CuW75 合金电击穿性能的影响,从内电场层面对存在的差异进行分析。

1 实验材料与方法

本实验所用 W 粉的平均粒径为 6 μm 和 300 nm,纯度大于 99.9%,含氧量小于 0.06%;诱导 Cu 粉平均粒径为 5 μm;根据 GB5231-85,Cu 块选用 T2 铜。利用 V 型混料机将一定量的 W 粉及诱导 Cu 粉混合 4 h,继而在 315 t 液压机上将混合后的粉末以 340 MPa 压力模压成型,在气氛保护高温烧结炉中完成骨架烧结和渗铜。

将烧结、渗铜后的毛坯经加工、磨制和抛光后制成金相试样。将试样作为阴极装入真空灭弧室进行电击穿实验,阳极为直径 3 mm 的针状钨棒,两极之间保持一定距离,并施加 8 kV 的电压。击穿前阴极以 0.2 mm/s 的速率向阳极运动,直到击穿发生。此时,用万用表及位移百分表记录并计算得出耐电压强度,用示波器记录截流值及燃弧时间。击穿后恢复试样初始位置,重复操作 50 次。实验结束后利用扫描电镜 (SEM) 对试样的击穿形貌进行观察分析。

2 实验结果与分析

2.1 不同粒径 W 粉的 CuW75 合金组织形貌

图 1 所示为不同粒度 W 粉制备的 CuW75 合金的显微组织照片,图 1 中灰色区域为 W 骨架相,黑色区域为熔渗的 Cu 相。对比图 1(a)、1(b)可以看出,W 粉粒径较大时 W 晶粒尺寸大,W 颗粒分散性降低、连接性减弱,有少部分的 Cu 相富集;W 粉粒径细小时合金中 W 晶粒尺寸更小,Cu 相分布更加均匀。

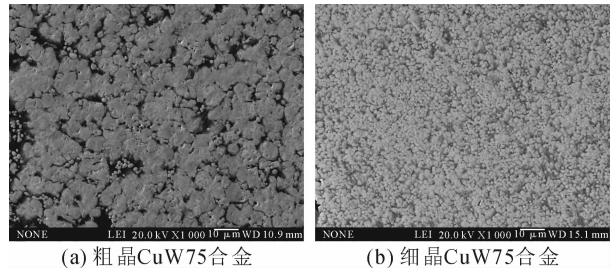


图 1 CuW75 合金的显微组织图
Fig. 1 Microstructures of CuW75 alloy

2.2 不同粒径 W 粉的 CuW75 合金的真空电击穿形貌

图 2 为不同粒径 W 粉制备的 CuW75 合金经 50 次真空电击穿后的电弧烧蚀形貌。从图 2 可以看出,CuW75 合金经 50 次真空电击穿后,电弧烧蚀不仅分布在阳极的正下方,而且向四周分散。对比图 2(a)、2(b)可以看出,粗晶 CuW75 合金的电弧烧蚀面积较大,烧蚀坑周围的电弧分散较差,细晶 CuW75 合金的电弧烧蚀面积较小,烧蚀坑周围的电弧分散更加明显,电弧有向周围无规则运动的趋势。对比图 2(c)、2(d)可以看出,粗晶 CuW75 合金的电弧烧蚀坑较深,并且因电弧连续作用而发生的金属液喷溅也较为严重,细晶 CuW75 合金的电弧烧蚀坑比较浅,金属液喷溅痕迹也有所减少,击穿后的材料表面更加光滑。由此可知,细晶 CuW75 合金的电弧烧蚀程度要轻于粗晶 CuW75 合金。

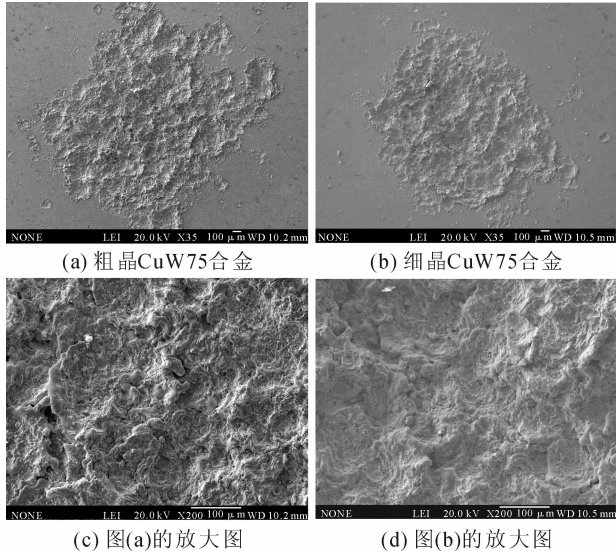


图 2 CuW75 合金的 50 次真空电击穿形貌
Fig. 2 The morphologies of CuW75 alloy after 50 times vacuum electrical breakdowns

2.3 不同粒径 W 粉的 CuW75 合金的耐电压强度、截流值、燃弧时间

不同粒径 W 粉制备的 CuW75 合金的真空电击穿测试结果见表 1,表 1 列出了在相同的实验条件下,不同试样在真空电击穿过程中的耐电压强度、截流值和燃弧时间,并将测试结果进行对比。

由表 1 可以看出,随着 W 粉粒径的减小,CuW75 合金的耐电压强度上升、截流值降低且燃弧时间延长。耐电压强度是指在真空状态中,试样抵抗电场而不被击穿的能力,是衡量触头材料抗电腐蚀性能的重要指标之一。目前,高压、超高压是真空断路器的发展趋势,因此对触头材料耐电压强度的

要求越来越高。优化触头所处工作区域的内、外电场分布是获得本研究效果的一个有效手段,另一种方法就是从触头材料自身出发提高耐电压强度^[8]。

表 1 CuW75 合金的电击穿测试结果

Tab. 1 The test results of CuW75 alloy after 50 times vacuum electrical breakdowns

CuW75 合金	耐电压强度/(V/m)	截流值/A	燃弧时间/ms
粗晶	5.15×10^7	3.49	16.92
细晶	6.42×10^7	3.16	17.43

从表 1 的结果来看,细晶 CuW75 合金的耐电压强度要高于粗晶 CuW75 合金,原因是内电场在 CuW75 合金的电击穿过程中起着非常重要的作用。CuW75 合金中 Cu、W 由于费米能级不同,在相界面处电子发生转移,产生接触电势,从而在各相界面处形成内电场^[9]。也就是说,内电场的形成伴随着界面处两种金属电子的转移,最终使界面处电子形成新的动态平衡,界面处原有的电子发生变化,根据真空电击穿发生原理,电子结构的变化影响金属表面的电击穿强度。

从实验结果来看,当 W 粉粒径变小时,CuW75 合金的耐电压强度明显变大,说明内电场对不同粒径 W 粉制备的 CuW75 合金的电击穿过程作用不同。由于 Cu 的逸出功小于 W,因此 Cu、W 颗粒接触后,在界面处 Cu 颗粒失去电子,产生正电荷,W 颗粒得到电子,产生负电荷,则相间内电场的方向由 Cu 颗粒指向 W 颗粒。粗晶 CuW75 合金中 W 粉粒径较大,W 晶粒尺寸也大,W 颗粒分散性降低、连接性减弱,因而晶界较少,所占比例很小,致使真空电击穿时相间内电场对其的作用影响也不大,甚至可以忽略,因此真空电击穿选择性地在 Cu 相上发生。细晶 CuW75 合金中 W 粉粒径减小,W 晶粒尺寸变小,Cu 相分布也更加均匀,因而相界明显增多,所占比例增大,使得真空电击穿时相间内电场对其的影响作用增强^[10]。

真空电击穿时,原本垂直于其表面的外部电场受到水平内电场的干扰发生倾斜,并偏向 W 相,因此 Cu 颗粒表面的实际场强减弱,W 颗粒表面的实际场强增强。根据表面场强与逸出功减小量的关系可知,表面场强越强,逸出功减小量越大^[11],在细晶 CuW75 合金中,W 相的逸出功减小量最大,所以真空电击穿不再是选择性地击穿在 Cu 相上,而是随机击穿在 CuW75 合金表面,从而提高了 CuW75 合金的耐电压强度。

图 3 为不同粒径 W 粉制备的 CuW75 合金经 50

次真空电击穿的耐电压强度分布。对比图 3(a)、3(b)可以明显看出,粗晶 CuW75 合金的耐电压强度分布比较分散,起伏较大,且上升趋势明显。细晶 CuW75 合金的耐电压强度分布更加均匀,有稍许的上升趋势。原因为粗晶 CuW75 合金在真空电击穿中存在选择性击穿,击穿位置大都在 Cu 相上,多次击穿后老练现象严重,从而致使耐电压强度有所提高。细晶 CuW75 合金在真空电击穿中为随机击穿,击穿位置均匀分布在 Cu、W 两相上,老练现象轻微,因而耐电压强度平稳,上升趋势不明显。

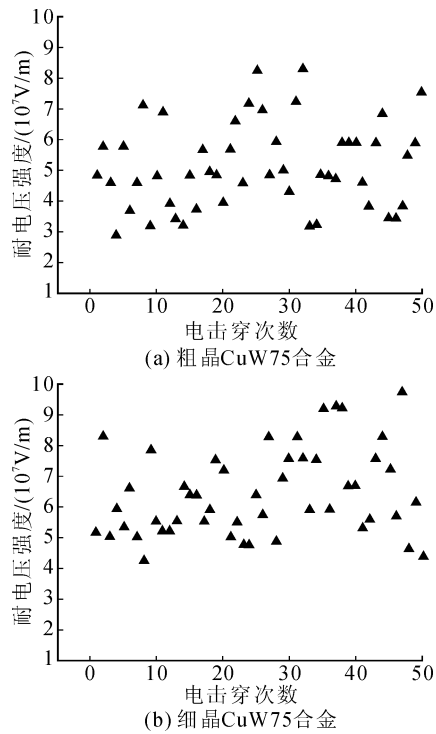


图 3 CuW75 合金 50 次真空电击穿耐电压强度分布
Fig. 3 The breakdown strength distribution of CuW75 alloy after 50 times vacuum electrical breakdowns

截流值和燃弧时间也是衡量触头材料抗电腐蚀性能的重要指标。真空开关中的截流现象会在开关所控制的感性负载上产生很高的过电压,其大小与截流值成正比,从而可能对系统和负载的绝缘造成击穿,因此真空断路器中应当使截流值尽可能最小化。真空开关产生截流现象的原因是,当电弧电流变小时,由阴极斑点所提供的金属蒸气量也随之减少,当降低到所剩的粒子密度无法维持电弧所需时,电弧开始出现不稳定,电弧电流发生振荡,直到最后电流截断^[12]。

从表 1 可以看出,细晶 CuW75 合金与粗晶 CuW75 合金相比,截流值降低,燃弧时间延长。这是因为低电流电弧的稳定性和截流值主要来自于电极材料被电离的蒸汽压,饱和蒸汽压越高,截流值

越低,燃弧时间越长。研究表明,CuW75 合金的饱和蒸汽压受到合金晶粒尺寸的强烈影响,当合金中的 W 粉粒径减小后,W、Cu 相也将变得细小、均匀,比表面能迅速增加,加之晶粒尺寸与饱和蒸汽压的直接反方向关系,W 相的饱和蒸汽压将随 W 粉粒径变小而极大地增加,CuW75 合金的饱和蒸汽压也相应增加,可以长时间地提供电流较小情况下维持电弧所必需的金属蒸汽,最终降低截流值,延长燃弧时间。

3 结 论

1) 细晶 CuW75 合金与粗晶 CuW75 合金相比较,电弧烧蚀面积更小、烧蚀程度更轻,耐电压强度增大 24.7%,截流值降低 9.5%,燃弧时间延长 3.0%。

2) 同样针对 CuW75 合金而言,由于 W 粉粒径的不同,内电场对两者的影响效果迥异。与粗晶 CuW75 合金有所不同,内电场对细晶 CuW75 合金的影响效果更为明显,在真空电击穿中强化了击穿弱相(Cu 相),弱化了击穿强相(W 相),因而抗电腐蚀性得到了提高。

参考文献:

- [1] 徐凯. 钨铜复合材料的现状与发展[J]. 中国钨业,2010,25(3):30-34.
Xu Kai. Current status and development of W-Cu composite materials [J]. China Tungsten Industry, 2010, 25 (3): 30-34.
- [2] 张辉,陈文革. 钨铜板材的研究现状与发展[J]. 材料导报,2012,26(8):119-124.
Zhang Hui, Chen Wenge. Research status and development of Tungsten-Copper sheet materials [J]. Materials Review, 2012, 26(8): 119-124.
- [3] 范景莲,刘涛,朱松,等. W-Cu 复合材料制备新技术与发展前景[J]. 硬质合金,2011,28(1):56-66.
Fan Jinglian, Liu Tao, Zhu Song, et al. New processing technology and prospective application of high performance W-

Cu composites [J]. Cemented Carbide, 2011, 28 (1): 56-66.

- [4] 谭敦强,杨小霞,刘兵发. 纳米钨铜复合粉末的压制成形研究[J]. 粉末冶金工业,2010,20(3):11-16.
Tan Dunqiang, Yang Xiaoxia, Liu Bingfa. Study on compact forming of W-Cu Nano-Composite power [J]. Power Metallurgy Industry, 2010, 20(3): 11-16.
- [5] Su Yafeng, Chen Wenge, Wang Fazhan, et al. Cathode spots on the surface of nanostructured W alloys [J]. Materials Letters, 2005 (59): 1046-1049.
- [6] Wang Che Chung, Lin Yao Chien. Feasibility study of electrical discharge machining for W/Cu composite [J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2009, 27(5): 872-882.
- [7] Masanori Sugita, Shigemitsu Okabe, Genyo Ueta. Interruption phenomena for various contact materials in vacuum [J]. IEEE Transcation Plasma Science, 2009, 37 (8): 1469-1475.
- [8] 赵来军,朱世明,刘明泽,等. 纳米触头材料电性能研究进展[J]. 高压电器,2012,48(7):1-7.
Zhao Laijun, Zhu Shiming, Liu Mingze, et al. Research progress in electrical properties of nanocrystalline contact materials [J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(7): 1-7.
- [9] 黄昆,韩汝琦. 固体物理学[M]. 北京:高等教育出版社,1988.
Huang Kun, Han Ruqi. Solid-state physics [M]. Beijing: Higher Education Press, 1988.
- [10] Gleiter H, Weissmuller J, Wollersheim O, et al. Nanocrystalline materials: a way to solids with tunable electronic structures and properties [J]. Acta Materialia, 2001, (49): 737-745.
- [11] 马文蔚. 物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [12] 彭清艳. CuWCr 复合材料击穿特性的研究[D]. 西安:西安理工大学,2005.
Peng Qingyan. Study on breakdown characteristics of Cu-WCr composites [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2005.

(责任编辑 李虹燕)