

50Hz 和 400Hz 下银镍合金触头材料电弧侵蚀研究

李靖^{1,2}, 马志瀛¹, 黄绍平², 李建明²

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 湖南工程学院电气信息学院, 湖南 湘潭 411101)

摘要: 为研究低压、小电流、纯阻性负载下银基合金触头材料在交流 400Hz 的电弧侵蚀特性, 通过研制的小容量变频 ASTM 触头通断微机测试系统、SEM 和 EDAX, 测量与分析了 50Hz 和 400Hz 下触头开断过程中 AgNi、AgC 和 AgW 触头材料燃弧特征值, 分析了 AgNi 触头材料的表面形貌与微区组份, 探讨了 50Hz 和 400Hz 两种交流频率下 AgNi 合金触头材料电弧侵蚀的成因。

关键词: 50Hz; 400Hz; 低压; 小电流; 银镍合金; 触头材料; 电弧侵蚀

中图分类号: TM501+.3; TM241 文献标识码: A 文章编号: 1003-3076(2010)01-0004-04

1 引言

随着中频低压设备大量使用, 掌握中频(如 400Hz)电路通断过程中常用触头材料的电弧侵蚀特性变得十分迫切, 其结论具有重要的工程价值。

AgCdO 曾是低压电器使用最多的电触头材料, 具有导电导热性好、接触电阻低而稳定、耐侵蚀性与抗熔焊性强等特点^[1,2], 但“镉毒”使其不得不被淘汰。目前, 全世界都在积极寻找替代 AgCdO 的最佳低压环保触头材料, 其中, AgC、AgNi 和 AgW 是研究最多的合金材料。

本文以 CAgNi₁₀ 为主要分析对象, 通过研发的小容量、变频电触头材料 ASTM 触头通断微机测试系统^[3], 研究了 50Hz 和 400Hz 两种交流频率下电弧侵蚀过程中 AgNi、AgC 和 AgW 触头材料燃弧特

征值, 用 SEM 和 EDAX 测量与分析了 AgNi 触头材料的表面形貌与微区组份, 探讨了 50Hz 和 400Hz 两种交流频率下银镍合金触头材料电弧侵蚀的成因。

2 试验

根据低压交流小电流触头材料快速模拟电磨损试验的最佳负载为纯阻性、动静触头为非对称性配对等特点^[4], 本试验频率分别为 50Hz 和 400Hz, 电流分别为 6A、10A 和 15A; 非对称性配对的静触头分别为 CAgNi₁₀、CAgW₅₀ 和 CAgC₄ 银基合金; 触头表面形状为长方形或正方形, 而动触头是半球形镀银铜基触头。

本文所用的 CAgNi₁₀、CAgW₅₀ 和 CAgC₄ 静触头材料的物理现象参数如表 1 所示^[5]。

表 1 CAgNi₁₀、CAgW₅₀ 和 CAgC₄ 材料的物理现象参数
Tab. 1 Parameters of physical phenomena for CAgNi₁₀、CAgW₅₀ and CAgC₄

材料	密度 (g/cm ³)	熔点 (℃)	电阻率 (μΩ·cm)	电阻温度系数 (×10 ⁻³ K ⁻¹)	热导率 (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	硬度 (×10 ² Nmm ⁻²)
CAgNi ₁₀	10.2	960	2.0	3.5	310	5~11
CAgW ₅₀	13.5	960	3.5	1.9	326	12~14
CAgC ₄	8.7	960	2.2	3.4	320	4.1

收稿日期: 2009-04-08

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (05JJ40068)

作者简介: 李靖 (1967-), 男, 湖南籍, 副教授, 博士研究生, 研究方向为电弧与电接触;

马志瀛 (1937-), 男, 上海籍, 教授/博导, 研究方向为新型高压开关电器理论与开发。

3 结果与讨论

3.1 50Hz 和 400Hz 频率下材料燃弧特征值

触头材料的电接触物理现象包括“接触电阻、燃弧长度、燃弧能量、燃弧时间、材料转移、电侵蚀率”等^[6,7]。本文利用 ASTM 小容量触头材料微机测试系统完成了 CAgNi₁₀、CAgW₅₀ 和 CAgC₄ 材料的“燃弧能量、燃弧时间、电弧长度和接触电阻”等参数的测量。表 2 记录了 10A、50Hz 和 400Hz 下燃弧特征的平均值。

表 2 10A 的材料燃弧特征平均值

Tab.2 Average values of contact material arcing characteristics when I = 10A

参 数		CAgW ₅₀	CAgNi ₁₀	CAgC ₄
平均燃弧能量/mJ	50Hz	719.948	593.656	622.437
	400Hz	55.904	58.279	58.621
平均燃弧时间/ms	50Hz	6.077	6.385	6.244
	400Hz	5.312	5.379	5.382
平均电弧长度/mm	50Hz	0.899	0.846	0.808
	400Hz	0.597	0.611	0.612
平均接触电阻/mΩ	50Hz	2.868	1.909	1.163
	400Hz	0.487	0.343	0.178

由表 2 数据知:① 50Hz 时,CAgW₅₀ 的平均燃弧能量最高,表明 CAgW₅₀ 产生电弧最难;400Hz 时,三者数值相近;② CAgW₅₀、CAgNi₁₀ 和 CAgC₄ 的平均燃弧时间和平均电弧长度均较高,表示它们均有良好的抗电弧侵蚀能力。

3.2 触头材料的熔焊力

本文利用 ASTM 触头材料通断试验微机测试系统测量了 50Hz 和 400Hz 下触头材料熔焊力。其中,10A 试验电流下不同平均熔焊力的变化曲线如图 1 所示,而 50Hz 和 400Hz、10A 时各触头材料的平均熔焊力如表 3 所示。

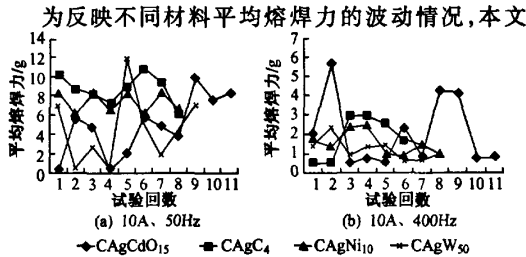


图 1 10A 时各触头材料平均熔焊力的变化过程
Fig.1 Changing process of each contact material average welding force when I = 10A

计算了“平均熔焊力的波动率”,其大小等于“熔焊力的最大值除以熔焊力的最小值”,结果如表 3 所示。

表 3 50Hz 和 400Hz、10A 时各触头材料平均熔焊力及其波动率

Tab.3 Average welding force and fluctuation rate of each contact material at 50Hz and 400Hz when I = 10A

频 率/Hz	50		
触头材料	CAgNi ₁₀	CAgC ₄	CAgW ₅₀
平均熔焊力/g	6.273	8.704	5.061
平均熔焊力的波动率	1.36	1.81	24.14
频 率/Hz	400		
触头材料	CAgNi ₁₀	CAgC ₄	CAgW ₅₀
平均熔焊力/g	1.541	1.745	1.307
平均熔焊力的波动率	2.78	6.03	3.84

其中,导致 CAgNi₁₀ 平均熔焊力较大的成因是:液银在触头表面铺展不足,形成富银区,导致无法利用液银的流动抑制孔洞和裂纹发展,从而降低了分散体系粘性,使触头熔焊后的平均熔焊力较大。

根据“触头材料熔焊力越小时,抗熔焊能力越强”^[8,9] 及表 3 数据,可知:无论 50Hz 还是 400Hz,三种银基合金触头材料按抗熔焊性由强到弱的顺序均为“CAgW₅₀、CAgNi₁₀、CAgC₄”。

3.3 50Hz 和 400Hz 的 CAgNi₁₀ 材料表面形貌

因篇幅所限,仅以 CAgNi₁₀ 为例,介绍银基合金材料的表面形貌和微区组份,探讨 50Hz 和 400Hz 两种交流频率下银基合金触头材料电弧侵蚀成因。

AgNi 系列触头材料因无需附加焊接用银层、工艺性优秀,同时节银高达 40%^[9],因此广泛用于中小电流的交直流继电器、指令开关、接触器、光控开关、温控器及洗衣机定时器等低压电器中,是一种小容量低压电器常用的重要触头材料^[10,11]。

本试验获得的 CAgNi₁₀ 材料表面特殊点的能谱分别用两种能谱仪获取。50Hz 和 400Hz 下 CAgNi₁₀ 静触头与镀银铜基动触头的整体与局部的表面形貌对照图如图 2 所示。其中,(a)图是 50Hz 时的 CAgNi₁₀ 静触头与镀银铜基动触头的电镜图,(b)图是 400Hz 时的。

限于篇幅,试验中动触头的电镜及能谱图仅供对比参考,不予深入分析。

对图 2 形貌成因的探讨:(1) 50Hz 时,虽然电弧基部形成熔化金属液池,出现强烈蒸发和熔化金属溅射,材料表面出现较大黑色烧损区和富集烧

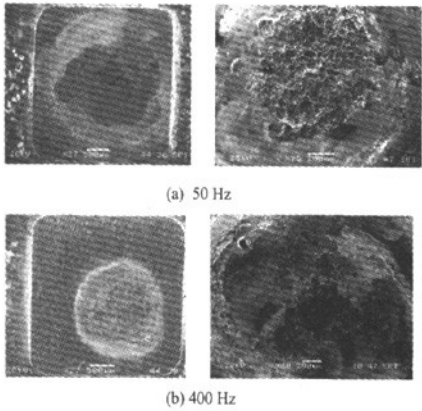


图 2 50Hz 和 400Hz 下 CAgNi₁₀ 静触头与镀银铜基
动触头的整体与局部的表面形貌
Fig.2 Overall surface morphologies and local surface
morphologies of CAgNi₁₀ static contact and Ag-plated
copper-based dynamic contact at 50Hz and 400Hz

结区,但 CAgNi₁₀ 材料良好的导电导热性使电弧在触头表面运动性好、弧根移动迅速,热量散失快、相变区大,因此电弧的侵蚀性相对较弱^[12]; (2) 400Hz 时,因 CAgNi₁₀ 材料燃弧时间较 50Hz 短,弧根运动性急降,导致电弧发生停滞灼烧,虽然烧损区域相对 50Hz 减小,但触头表面的侵蚀相对严重; (3) 尽管 CAgNi₁₀ 材料表面在 50Hz 时的烧蚀面积超过其总表面积的 80%, 约为 400Hz 时的 3 倍,但笔者认为, 50Hz 的 CAgNi₁₀ 材料的抗电弧侵蚀性能仍好于 400Hz 的。

3.4 50Hz 和 400Hz 时的 CAgNi₁₀ 材料能谱

本文分别用西安有色研究院的 JSM6460 和长沙中南矿冶研究院的 JSM-5600LV 对各个 CAgNi₁₀ 试品材料进行了能谱分析。其中,50Hz 与 400Hz 下各能谱分析点区域的表面形貌与各能谱点的组分重量百分比(或能谱)分别如图 3 和图 4 所示,其中,非对称性配对的动触头资料仅供参考。

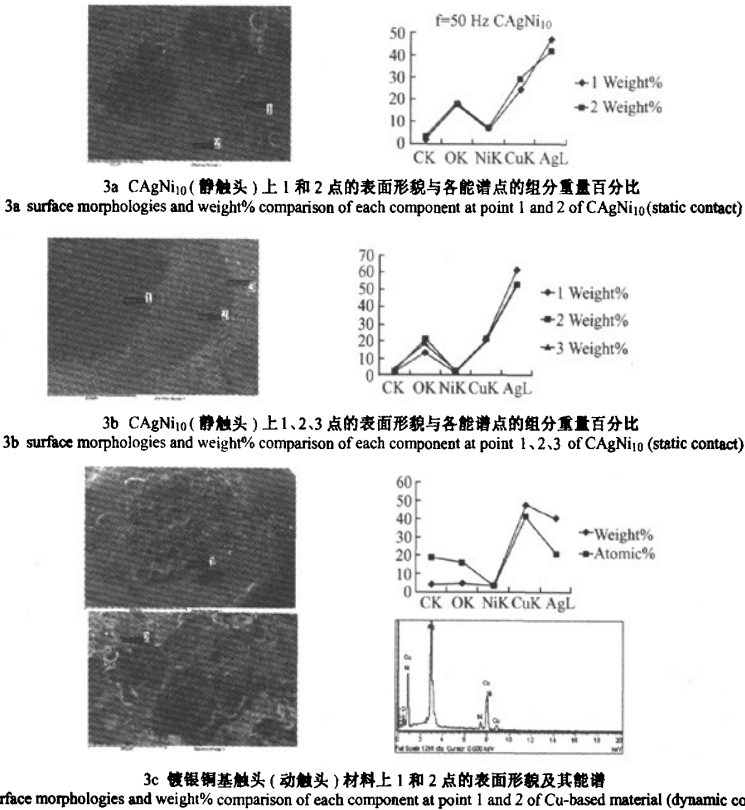
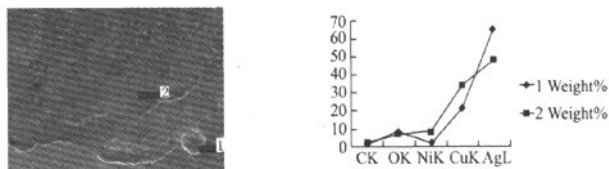
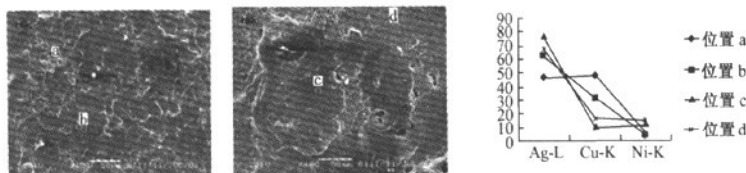


图 3 50Hz 时 CAgNi₁₀ 能谱分析区域的表面形貌与各能谱点的组分重量百分比
Fig.3 Surface morphologies of ES analysis area and weight% comparison of each component
of CAgNi₁₀ material at 50Hz



4a 1 和 2 点的表面形貌与各能谱点的组分重量百分比
4a surface morphologies and weight% comparison of each component at point 1 and 2



4b a、b、c 和 d 的表面形貌与各能谱点的组分重量百分比
4b surface morphologies and weight% comparison of each component at point a,b,c and d

图 4 400Hz 时 CAgNi₁₀ 能谱分析区域的表面形貌与各能谱点的组分重量百分比

Fig. 4 Surface morphologies of ES analysis area and weight % comparison of each component of CAgNi₁₀ material at 400Hz

结合图 1 和图 2,分析图 3 和图 4,可得:

(1) 50Hz 时,CAgNi₁₀ 触头烧损区旋流痕迹和大片深色熔融区非常明显,这是因为材料熔体烧损区在电弧作用力及机械力的共同作用下快速相变,在触头表面形成许多分散的小蚀坑、凹凸以及金属液滴形成和喷溅的痕迹;此外,由于存在温度梯度和涡流效应,使得触头表面出现熔融材料的旋流痕迹和内深外浅的颜色变迁。能谱结果表明,相比非熔融区接近 80% 的 Ag 而言,电弧高温引起的飞溅导致熔融区的 Ag 重量百分比只有 45%。

(2) 400Hz 时,电流二次过零时间仅 2.5ms,单位时间内电流过零次数的增多使得二次过零时间缩短、电流过零产生的游离气体大大减少,弧隙中的电弧能量大大下降。随着触头表面快速冷却,热应力影响有限,因此触头表面无明显的流动状、辐射状痕迹。Ni 熔入 Ag 后黏度增大,使触头接触表面呈均匀弥散分布,表面润湿性非常好。能谱显示,Ag、Cu 含量较高,Ni 和 C 较低。根据熔焊强度等于熔焊力除以熔焊面积,观察和分析表 3 和图 2 中 50Hz 和 400Hz 的触头表面平均熔焊力与烧损面积,笔者认为:400Hz 下 CAgNi₁₀ 抗熔焊性强于 50Hz 的。

4 结束语

(1) 400Hz 下,第二组元不同的银基合金触头的抗电弧侵蚀能力不同。其中,CAgC₄ 喷溅最严重,抗侵蚀性最差;CAgNi₁₀ 次之;CAgW₅₀ 最好。

(2) 400Hz 时,由于电弧集中烧蚀导致材料喷

溅损失增大,从而使动静触头的实际接触面积减小。低压小电流阻性负载下,CAgNi₁₀ 触头材料在 400Hz 的抗熔焊性能优于 50Hz 的,但抗侵蚀性却较 50Hz 的差。

参考文献 (References):

- [1] 凌国平,薛天,倪孟良,等 (Ling Guoping, Xue Tian, Ni Mengliang, et al.). 银-金属氧化物触头材料电弧侵蚀产物的研究 (Research on arc erosion products on silver-metal oxide contacts materials) [J]. 贵金属 (Precious Metals), 2008, 29(3): 1-5.
- [2] 李靖,马志瀛 (Li Jing, Ma Zhiying). 50Hz 和 400Hz 低压阻性小电流电弧对 AgMeO 触头电弧侵蚀的研究 (Research on arc erosion of 50Hz and 400Hz AgMeO contact with LV, resistive load and small current) [J]. 电工电能新技术 (Adv. Tech. of Elec. Eng. & Energy), 2009, 28(3): 11-14.
- [3] 李靖,马志瀛,张深基,等 (Li Jing, Ma Zhiying, Zhang Shenji, et al.). 中频开关电器触头材料耐弧侵蚀试验测试系统设计 (Design of test system about arc resistance erosion trials of medium frequency switching device contact materials) [J]. 低压电器 (Low Voltage Apparatus), 2007, 21: 46-48.
- [4] 刘向军,费鸿俊,张仁一 (Liu Xiangjun, Fei Hongjun, Zhang Renyi). 汽车灯负载下银基触头材料熔焊性能的研究 (Welding characteristic of Ag-based contact material under automobile lamp load) [J]. 电工电能新技术 (Adv. Tech. of Elec. Eng. & Energy), 2001, 20(3): 33-37.

(下转第 66 页, cont. on p. 66)

Abstract: The temperature of PV cells is one of the factors which decide the efficiency of cells in the thermophotovoltaic (TPV) system. The filter can decrease the temperature of PV cells. In order to control the temperature of PV cells, a gas-cooled system and a water-cooled system are designed, and the experiment results show that the temperature of PV cells decreases gradually with the increase of cool fan power. At the same temperature of radiator, the temperature of cells which using the water coolant is lower than that using the air coolant. The output power of cells increases with the decrease of the temperature of cells.

Key words: TPV; filter; gas-cooled; water-cooled; efficiency

(上接第7页, cont. from p.7)

- [5] 堵永国,张为军 (Du Yongguo, Zhang Weijun). 常用触点材料的物理性能 [J]. 电工材料 (Elec. Material), 2002, (1): 35-39.
- [6] A 凯尔, W A 默尔 (A Keil, W A Merl). 电接触和电接触材料 (Elec. contact and elec. contact material) [M]. 北京: 机械工业出版社 (Beijing: CMP), 1993. 230-266.
- [7] 荣命哲 (Rong Mingzhe). 电接触理论 (Elec. contact theory) [M]. 西安: 西安交通大学出版社 (Xi'an: Xi'an Jiaotong Univ. Press), 2004. 23-27.
- [8] 荣命哲, 冯建兴, 杨武 (Rong Mingzhe, Feng Jianxin, Yang Wu). 低压电器电触头材料的电弧侵蚀 (Contact arc erosion of low voltage apparatus) [J]. 低压电器 (Low Voltage Apparatus), 1998, (1): 13-16.
- [9] Chen Z. Material transfer and contact resistance deterioration in light duty elec. contact [D]. Japan: Keio Univ., 1995.
- [10] 黄锡文, 侯月宾 (Huang Xiwen, Hou Yuebin). 常用低压触点材料电性能研究 (Research of the electrical properties of the contact materials commonly used in low-voltage devices) [J]. 电工材料 (Elec. Material), 2006, (4): 26-34.
- [11] 吴春萍, 陈敬超, 周晓龙, 等 (Wu Chunping, Chen Jingchao, Zhou Xiaolong, et al.). 银基电接触材料 (Silver based electric contact material) [J]. 云南冶金 (Yunnan Metallurgy), 2005, (12): 46-51.
- [12] 刘向军, 费鸿俊 (Liu Xiangjun, Fei Hongjun). 开关电器触头表面金属熔池的行为特征分析 (Behaviour characteristics of metallic molten bath on surface of contact in switches) [J]. 电工电能新技术 (Adv. Tech. of Elec. Eng. & Energy), 2003, 22(4): 40-43.

Research on arc erosion of AgNi alloy contact materials at 50Hz and 400Hz

LI Jing^{1,2}, MA Zhi-ying¹, HUANG Shao-ping², LI Jian-ming²

(1. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Electrical Information, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China)

Abstract: Using a developed ASTM contact material experimental system of small-capacity and variable frequency, the arc erosion characteristics of the Ag-based contact material at 400Hz were investigated by means of SEM and EDAX during the electric contact current make-and-break test under low voltage, pure resistive load and small current. The values of contact material arcing characteristics of AgNi, AgC and AgW, the changes of AgNi contacts materials surface profile and micro-area constituent were measured and analysed. The surface morphologies and micro-area compositions of AgNi contact material were also analysed, and the reasons of arc erosion of AgNi alloy contact material at AC 50Hz and 400Hz were discussed.

Key words: 50Hz; 400Hz; low voltage; small current; AgNi alloy; contact materials; arc erosion