

# 不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀行为

任维佳, 王献辉, 张 苗, 杨晓红, 邹军涛

(西安理工大学, 陕西 西安 710048)

**摘 要:** 采用粉末冶金法制备了不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料, 研究了 SnO<sub>2</sub> 含量对 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀行为的影响。使用扫描电子显微镜 (SEM) 表征了 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀形貌, 对影响 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀的因素进行了分析。结果表明, 在电弧侵蚀过程中侵蚀优先发生在 SnO<sub>2</sub> 区域。随 SnO<sub>2</sub> 含量增多, 燃弧时间依次增加, 侵蚀面积逐渐减小, 侵蚀坑变深, 金属喷溅增强。

**关键词:** Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料; 粉末冶金; 侵蚀形貌; 电弧侵蚀

**中图分类号:** TG146.3<sup>2</sup>; TM241.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2016)08-2075-05

作为开关电器的核心元件,电触头性能的好坏直接影响着电器系统的可靠性、稳定性和使用寿命<sup>[1,2]</sup>。尽管 Ag-CdO 触头材料具有优异的抗电弧侵蚀性、抗熔焊性和较低的接触电阻,但镉对环境有害。Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料由于具有良好的综合性能,逐步成为 Ag-CdO 的替代材料<sup>[3,4]</sup>。迄今为止,对 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的制备工艺和性能进行了大量研究<sup>[5-9]</sup>,但对电弧侵蚀机理还缺乏清晰的认识和理解。目前对电弧侵蚀产生的原因不同研究者从不同的角度进行了解释。郭凤仪等<sup>[10]</sup>认为 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀机理主要由表面动力学特性决定。堵永国<sup>[11]</sup>认为 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀性能的好坏取决于材料中各组分的热力学性质,在电弧作用下 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头表面熔化区域表层的成分、状态、形貌特征及电弧对熔池的动力响应。V. Ćosović<sup>[12]</sup>及王俊勃等<sup>[13]</sup>认为 SnO<sub>2</sub> 颗粒在 Ag 基体中的分散程度是影响 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀性能的重要因素。王海涛和朱艳彩等<sup>[14,15]</sup>认为 Ag 与 SnO<sub>2</sub> 润湿性差,易形成液态喷溅,导致差的抗电弧侵蚀性能。张昆华<sup>[16]</sup>认为触头材料的侵蚀性能取决于触点材料的材质、接触压力、电流和电压的大小,电弧和使用环境等多种物理参数。刘方方等<sup>[17]</sup>认为在电弧的高温作用下,触点表面形成的熔池中心和边缘温度分布不均匀性使材料转移方式发生变化,造成表面的电弧侵蚀。Swingler<sup>[18]</sup>发现材料的元素与电弧侵蚀有一定相关性。Weaver 等<sup>[19]</sup>建立了短路电弧热焓变化侵蚀模型揭示了材料的热力学性质对触头侵蚀的影响,但该模型只适用于触头材料全

部以蒸发气化的侵蚀方式。Kharin 等<sup>[20]</sup>建立的把电弧能量与电路特性联系起来电弧侵蚀模型,阐明了侵蚀量与材料性质参数之间的关系及负载特性对侵蚀的影响。但也仅考虑了蒸发侵蚀,没有考虑喷溅侵蚀。吴细秀等<sup>[21]</sup>建立了基于能量涨落的喷溅侵蚀模型和基于概率统计的喷溅侵蚀模型,认为喷溅是熔池动能与表面张力束缚能相互竞争的结果。

尽管这些研究对电弧侵蚀过程和侵蚀机理的理解起到了积极的作用,但不同程度上都具有一定的局限性,尚不能清楚解释电弧侵蚀机理。因此,有必要深入研究电弧侵蚀与触头材料内在本质之间的关系。由于材料组织决定了触头材料的性能,耐电弧侵蚀性能与氧化物含量密不可分,本实验采用粉末冶金法制备了不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料,系统研究了 SnO<sub>2</sub> 含量对 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的电弧侵蚀行为的影响。

## 1 实 验

实验原材料是 Ag 粉(粒度 ≤ 73 μm,纯度 99.9%) 和 SnO<sub>2</sub> 粉(粒度约 8 μm,纯度 99.0%)。首先分别将 Ag 粉和质量分数为 2%、4%、6% 和 8% 的 SnO<sub>2</sub> 粉末分别在 V 型混料机上混粉 6 h,使用无水乙醇作过程控制剂;然后将复合粉末压制成 Φ15 mm × 7 mm 的试样,最后在 Ar 气氛保护的真空管式炉内 700 °C 烧结 2 h。电弧侵蚀实验在 TDR-40A 单晶炉改造的真空电击穿装置进行。将抛光后的试样放在阴极载物台 (Cu 台) 上,阳极为半径 5 mm、头部半径 1 mm 的

收稿日期: 2015-08-10

基金项目: 国家自然科学基金(51274163); 陕西省重点实验室科技计划 (13JS076); 国家留学基金(CSC); 陕西省重点学科项目专项资金 (2011HBSZS009)

作者简介: 任维佳,女,1990 年生,硕士生,西安理工大学材料科学与工程学院,陕西 西安 710048,电话: 029-82312185, E-mail: renweijiaxaut@163.com

W 针。真空度为  $5.0 \times 10^{-3}$  Pa, 在电极两端加电压到 3.5 kV, 使阴极以 0.2 mm/min 的速度接近阳极, 直至放电。反复进行 50 次, 用 TDS-2014 型示波器记录每次电弧作用后的燃弧时间。电弧侵蚀形貌采用 JSM-6700F 场发射扫描电子显微镜进行观察, 使用 Image-Pro Plus 6.0 软件对侵蚀面积进行统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料显微组织

图 1 为不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的显微组织。图中白色区域是银基体, 黑色细小颗粒为 SnO<sub>2</sub>。从图 1a 可以看出, SnO<sub>2</sub> 含量为 2% 时, 组织中出现少量 SnO<sub>2</sub> 团聚, 但 SnO<sub>2</sub> 整体分布比较均匀。随着 SnO<sub>2</sub> 含量增加, SnO<sub>2</sub> 颗粒团聚现象越来越明显, 见图 1b 和 1c。当 SnO<sub>2</sub> 含量为 8% 时, SnO<sub>2</sub> 颗粒在基体中的团聚最为严重, 如图 1d 所示。

### 2.2 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料燃弧时间

图 2a~图 2d 分别是 SnO<sub>2</sub> 含量为 2%、4%、6% 和 8% 的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料 50 次电弧侵蚀后的燃弧时间分布情况。可以看出, 当 SnO<sub>2</sub> 含量为 2% 时, Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的燃弧时间波动最小, 相对平稳, 平均燃弧时间为 15.62 ms。与 Ag-2%SnO<sub>2</sub> 相比, 含 4%SnO<sub>2</sub> 的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧持续时间波动幅度较小, 平均燃弧时间为 16.69 ms。而当 SnO<sub>2</sub> 含量为 6% 时, Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料前 20 次燃弧时间波动较大, 后期波动逐渐变缓, 平均燃弧时间 18.58 ms。当 SnO<sub>2</sub> 含量增加到 8% 时, Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的电弧持续时间最长, 随着操作次数的增加波动最为明显, 平均燃弧时间为 19.90 ms。以上结果表明, 随着 SnO<sub>2</sub> 含量增加, Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材

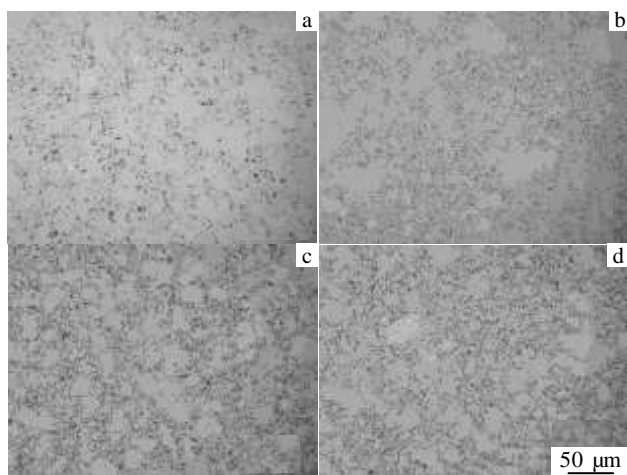


图 1 不同 SnO<sub>2</sub> 含量 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的显微组织

Fig.1 Microstructures of Ag-SnO<sub>2</sub> contact materials with different SnO<sub>2</sub> contents: (a) 2%, (b) 4%, (c) 6%, and (d) 8%

料的电弧持续时间明显增加, 波动幅度也相应变大。具体原因可分析如下: 当 SnO<sub>2</sub> 在基体中分散比较均匀时, Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料在初始的几次电弧作用下, 材料表面破坏较小, 因而燃弧时间比较接近。但随着电弧侵蚀次数增加, 电弧产生大量的热, 导致 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料温度上升, 引起大量的 Ag 的熔融与凝固, 造成表面的劣化, 使材料的燃弧时间发生波动且电弧持续时间增大。当 SnO<sub>2</sub> 含量为 2% 时, SnO<sub>2</sub> 颗粒在 Ag 基体中分散较好, SnO<sub>2</sub> 粒子与液态 Ag 接触面积较大, 增加了银熔池的粘度, 从而降低了 Ag 的喷溅<sup>[22]</sup>。因此, 材料表面的烧蚀程度最小, 燃弧时间最短, 在多次电弧作用下材料的燃弧时间能够保持在较小范围内波动。高的 SnO<sub>2</sub> 含量造成 SnO<sub>2</sub> 颗粒团聚严重, 在电弧的反复作用下, 单根电弧易汇聚成较大的电弧, 使电弧的移动性变差, 易于在某一位置长时间驻留, 从而导致燃弧时间变长。根据 SnO<sub>2</sub> 颗粒团聚程度不同, 电弧汇聚的大小也不相同, 造成了燃弧时间的长短不一致。此外, 在电弧的多次作用后, 导致材料表面凹凸不平, 一方面加剧了材料表面的侵蚀程度, 延长了燃弧时间, 另一方面电弧的热量部分消除了材料表面的毛刺和棱角, 从而减轻了材料的侵蚀, 缩短燃弧时间。电弧侵蚀过程中, 这 2 种情形同时发生, 从而导致了燃弧时间波动。

### 2.3 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀形貌

图 3a~图 3d 是 SnO<sub>2</sub> 含量分别为 2%、4%、6% 和 8% 的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料 50 次真空电弧侵蚀后的表面形貌, 图 3a1~图 3d1 是触头材料表面电弧侵蚀中心形貌, 图 3a2~图 3d2 对应的是试样表面的典型侵蚀坑。从图 3a 可以看出, SnO<sub>2</sub> 含量为 2% 时, Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料表面侵蚀面积大, 蚀坑数量多, 蚀坑很浅, 分散性强。从图 3a1 和图 3a2 可以看出, 材料表面中心区域的侵蚀形貌呈蜂窝状, 无明显的液态金属喷溅痕迹。与 Ag-2%SnO<sub>2</sub> 触头材料相比, Ag-4%SnO<sub>2</sub> 触头表面蚀坑加深, 侵蚀面积减小, 蚀坑数量也相应地减少, 如图 3b 所示。从图 3b1 和图 3b2 可进一步看出, Ag-4%SnO<sub>2</sub> 触头材料表面呈现凹凸不平的漩涡状形貌。随 SnO<sub>2</sub> 含量的增加, 表面侵蚀进一步加剧, 局部出现了液态金属流动铺展的痕迹, 表面电弧侵蚀不平整加剧, 见图 3c 和图 3d 所示。SnO<sub>2</sub> 含量为 8% 时, Ag-SnO<sub>2</sub> 触头电弧侵蚀最为严重, 在材料表面出现大量液态金属流动铺展的痕迹和液态金属凝固后形成的漩涡状, 局部还存在少量喷溅后产生的深坑, 见图 3d, 图 3d1 和图 3d2 所示。这说明高的 SnO<sub>2</sub> 含量不利于 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的耐电弧侵蚀性能的提高。

为了更确切地描述不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料侵蚀表面的大小, 采用 Image-Pro Plus 6.0 软件

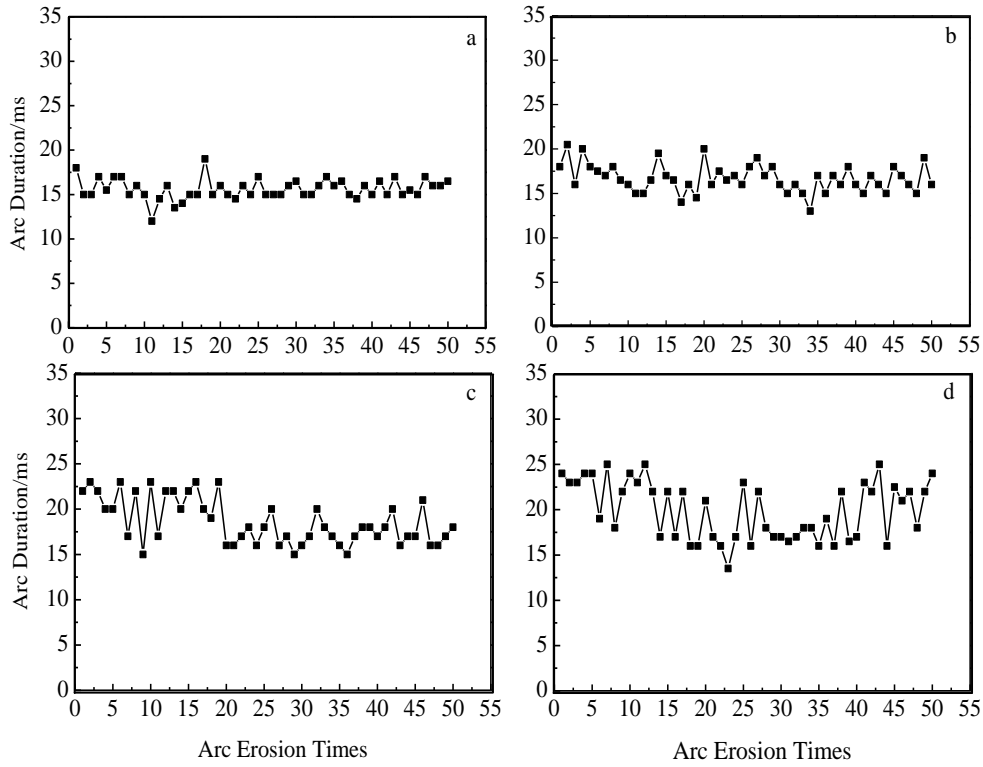


图 2 不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀 50 次后的燃弧时间分布情况

Fig.2 Arcing duration of Ag-SnO<sub>2</sub> contact materials with different SnO<sub>2</sub> contents after arc erosion 50 times: (a) 2%, (b) 4%, (c) 6%, and (d) 8%

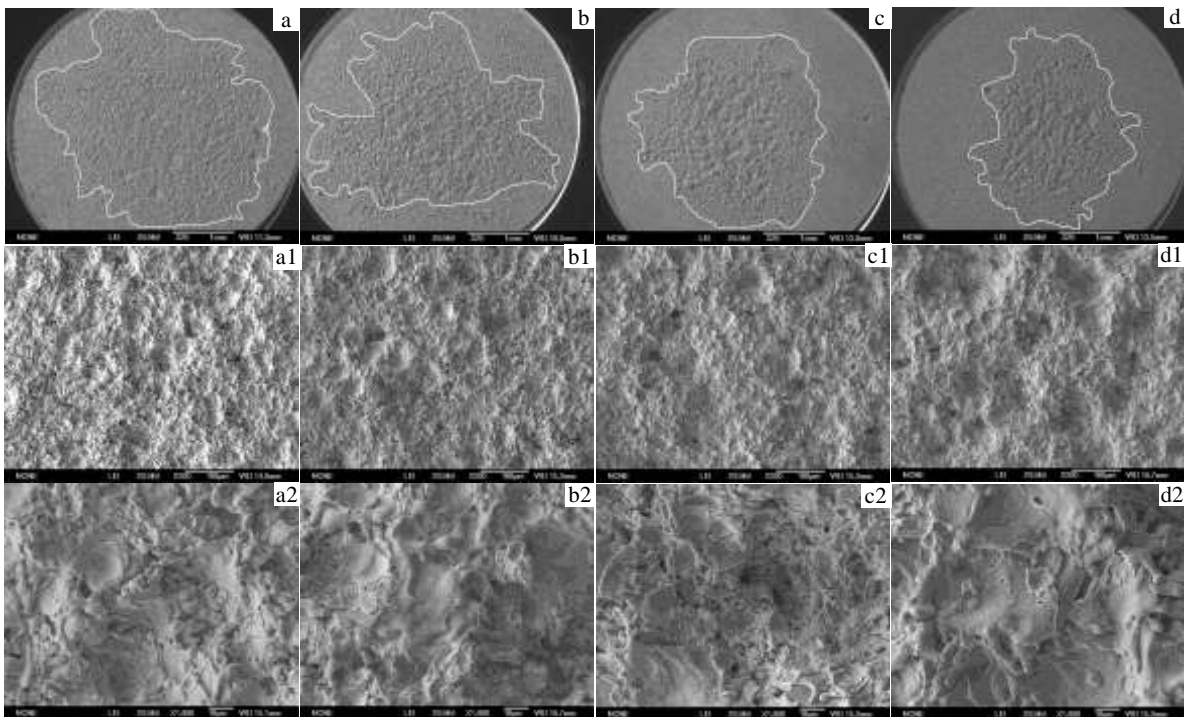


图 3 不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料 50 次电侵蚀后的表面侵蚀形貌

Fig.3 Surface morphologies of Ag-SnO<sub>2</sub> materials with different SnO<sub>2</sub> contents after arc erosion 50 times: (a) 2%, (b) 4%, (c) 6%, (d) 8%; (a1~d1) central erosion regions; (a2~d2) typical erosion pits

对侵蚀面积进行了统计,结果如表 1 所示。随着 SnO<sub>2</sub> 含量增加,表面侵蚀区域逐渐减小。当 SnO<sub>2</sub> 含量从 2% 增加到 8% 时,侵蚀面积降幅达 41.1%。

为了进一步理解 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀行为,对 Ag-4%SnO<sub>2</sub> 触头材料边缘区域形貌进行了分析,如图 4 所示。明显可以看出,电弧侵蚀发生在 SnO<sub>2</sub> 颗粒上,说明 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀具有区域和组元优先选择性。王亚平等<sup>[23]</sup>认为,电弧侵蚀通常在逸出功低的组元上发生。由于 Ag 和 SnO<sub>2</sub> 的逸出功<sup>[24]</sup>分别为 4.70 和 3.54 eV,因此 SnO<sub>2</sub> 更易首先被侵蚀。

对于 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料,首次燃弧易于在弱击穿相 SnO<sub>2</sub> 发生。当阴极斑点熄灭,再次燃弧更易于在首次燃弧区域周围的 SnO<sub>2</sub> 发生,电弧从熄灭的弧根处跳跃到新的弱击穿相再次燃弧,在 SnO<sub>2</sub> 颗粒上形成弧根。SnO<sub>2</sub> 含量增加使弱击穿相区域增大。随着侵蚀反复进行,电弧不断熄灭和产生。由于电弧产生的热量很大,Ag 在电磁力和摩擦力的共同作用下发生气态蒸发和液态喷溅,反复发生的液-固转变导致材料表面的凹凸不平,形成更深的蚀坑。因此,高的 SnO<sub>2</sub> 含量导致侵蚀面积减小,侵蚀程度严重。其次,阴极斑点的移动取决于侵蚀表面的结构。由于 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀优先发生在 SnO<sub>2</sub> 颗粒上,所以 SnO<sub>2</sub> 含量影响侵蚀区域的大小。当 SnO<sub>2</sub> 颗粒均匀地分布在 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料表面,电弧燃烧时,弧根对应的阴极斑点之间距离减小,弧根移动性好,斑点跳动迅速,电弧将在下一个位置继续产生,避免了集中烧蚀。因

表 1 不同 SnO<sub>2</sub> 含量的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料 50 次电弧侵蚀面积  
Table 1 Arc erosion area of Ag-SnO<sub>2</sub> contact materials with different SnO<sub>2</sub> contents after arc erosion 50 times

SnO <sub>2</sub> content, ω/%	2	4	6	8
Area/mm <sup>2</sup>	9.464	8.144	7.219	5.578

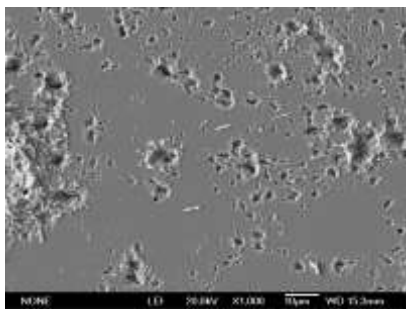


图 4 Ag-4%SnO<sub>2</sub> 触头材料边缘区域侵蚀形貌

Fig.4 Arc erosion trace at the edge of Ag-4%SnO<sub>2</sub> contact material

此, SnO<sub>2</sub> 含量较少的 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料表面侵蚀坑分布较为均匀,无明显的表面凸起以及较深的凹坑出现。但是,高的 SnO<sub>2</sub> 含量易导致 SnO<sub>2</sub> 颗粒团聚,随着电弧侵蚀反复进行,单根电弧容易汇聚成大电弧,限制了阴极斑点在 Ag 基体上的移动,导致电弧集中烧蚀,产生深且大的侵蚀坑。此外,导热性也影响触头材料的电弧侵蚀行为。电弧在形成过程中,需要触头材料表面形成的金属蒸气来维持。导热性好,形成的金属蒸气少,电弧燃烧到熄灭时间短,且电弧产生的热量能及时地传导出去,导致金属熔池就难形成或熔池较小。Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的导热性是由 Ag 和 SnO<sub>2</sub> 来决定的(Ag 的导热率为 418 J/m s K, SnO<sub>2</sub> 为 0.71 J/m s K)。根据 Ralyeigh 导热率公式<sup>[25]</sup>,

$$K_c = K_m \frac{1 + 2V_r \cdot \frac{1-k}{1+2k}}{1 - V_r \cdot \frac{1-k}{1+k}}, (k = \frac{K_m}{K_r}) \quad (1)$$

式中:K<sub>c</sub> 为复合材料导热系数;K<sub>m</sub> 为基体的导热系数;K<sub>r</sub> 为第二相的导热系数;V<sub>r</sub> 为第二相的体积分数。

可以看出,高的 SnO<sub>2</sub> 含量导致 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料的导热系数下降,致使电弧产生的热量不能及时散发出去,更易造成触头表面形成金属熔池,加剧了表面材料的蒸发和喷溅,从而在电弧反复的作用下出现液态金属喷溅,留下了较大的蚀坑孔洞。

### 3 结 论

- 1) 随着 SnO<sub>2</sub> 含量增加,Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料平均燃弧时间逐渐增加。
- 2) SnO<sub>2</sub> 含量的增加,使得 Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料表面的电弧侵蚀面积减小,蚀坑变深,集中烧蚀程度增加。
- 3) Ag-SnO<sub>2</sub> 触头材料电弧侵蚀具有区域选择性,优先发生在 SnO<sub>2</sub> 上。

#### 参考文献 References

[1] Fr éric P, Mohammed C. *Proceedings of the 54th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*[C]. New York: IEEE, 2008: 9

[2] Kiyoshi Y, Sunao T. *Proceedings of the 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*[C]. New York: IEEE, 2007: 134

[3] Nilsson O, Hauner F, Jeannot D. *50th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts and the 22nd International Conference on Electrical Contacts*[C]. New York: IEEE, 2004: 70

[4] Krätzschmar A, Herbst R, MüTzel T et al. *Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*[C]. New

- York: IEEE, 2010: 1
- [5] Jiang Fengyang(姜凤阳), Wang Junbo(王俊勃), Fu Chong(付翀) *et al.* *Rare Metal Materials and Technology*(稀有金属材料与工程)[J], 2012, 41(8): 1443
- [6] Zhou Xiaolong(周晓龙), Chen Jingchao(陈敬超), Sun Jialin(孙加林) *et al.* *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2006, 16(5): 829
- [7] Liu X M, Wu S L, Chu P K *et al.* *Materials Chemistry and Physics* [J], 2006, 98(2): 477
- [8] Wang J, Li D, Wang Y. *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2014, 582: 1
- [9] Liu L, Yan X, Weng W *et al.* *26th International Conference on Electrical Contacts*[C]. Beijing: ITE, 2012: 362
- [10] Guo Fengyi(郭凤仪), Wang Guoqiang(王国强), Dong Ne(董讷) *et al.* *Proceedings of the CSEE*(中国电机工程学报)[J], 2004, 24(9): 209
- [11] Du Yongguo(堵永国), Yang Guang(杨广), Zhang Jiachun(张家春) *et al.* *Electrical Engineering Alloy*(电工合金)[J], 1997(4): 1
- [12] Ćosović V, Ćosović A, Talić N *et al.* *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2013, 567: 33
- [13] Wang Junbo(王俊勃), Liu Ying(刘英), Fu Chong(付翀) *et al.* *Rare Metal Materials and Technology*(稀有金属材料与工程)[J], 2009, 38(11): 2023
- [14] Wang Haitao(王海涛), Wang Jingqin(王景芹), Zhao Jingying(赵靖英) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2005, 34(10): 1666
- [15] Zhu Yancai(朱艳彩), Wang Jingqin(王景芹), Wang Haitao(王海涛). *Rare Metal Materials and Technology*(稀有金属材料与工程)[J], 2013, 42(1): 149
- [16] Zhang Kunhua(张昆华), Guan Weiming(管伟明), Sun Jialin(孙加林) *et al.* *Rare Metal Materials and Technology*(稀有金属材料与工程)[J], 2005, 34(6): 924
- [17] Liu Fangfang(刘方方), Chen Jingchao(陈敬超), Guo Yingchun(郭迎春) *et al.* *Precious Metals*(贵金属)[J], 2007, 28(3): 24
- [18] Swingler J, Sumption A, McBride J W. *Proceedings of the 51th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*[C]. New York: IEEE, 2005: 346
- [19] Weaver P M, Pechrach K, McBride J W. *IEEE Transaction on Components and Packaging Technology*[J], 2004, 27(1): 51
- [20] Kharin S N, Nouri H, Davies T. *Proceedings of the 48th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*[C], New York: IEEE, 2002: 108
- [21] Wu Xixiu(吴细秀), Li Zhenbiao(李震彪). *Proceedings of the CSEE*(中国电机工程学报)[J], 2003, 23(6): 96
- [22] Gan Weiping(甘卫平), Li Jing(李晶). *Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy*(粉末冶金材料科学与工程)[J], 2006, 11(5): 295
- [23] Wang Yaping(王亚平), Zhang Lina(张丽娜), Ding Bingjun(丁秉钧) *et al.* *Proceedings of the CSEE*(中国电机工程学报)[J], 1999, 19(3): 46
- [24] Zhang Xianzhuo(张先卓). *Principles of Transfer in Metallurgy* (冶金传输原理)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1988: 167
- [25] Beilis I. *Applied Physics Letters*[J], 2002, 81(21): 3936

## Arc Erosion Behavior of Ag-SnO<sub>2</sub> Contact Materials with Different SnO<sub>2</sub> Contents

Ren Weijia, Wang Xianhui, Zhang Miao, Yang Xiaohong, Zou Juntao

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Ag-SnO<sub>2</sub> contact materials with different SnO<sub>2</sub> contents were prepared by powder metallurgy, and the effect of SnO<sub>2</sub> content on the arc erosion behavior of the materials was studied. The erosion surface morphology of Ag-SnO<sub>2</sub> contact materials were characterized by scanning electron microscope, and the factors influencing arc erosion were analyzed as well. The results show that the arc erosion prefers to occur on SnO<sub>2</sub> particles. With the SnO<sub>2</sub> content increasing, the arcing duration extends, the erosion area decreases and the erosion pits deepens, resulting in an obvious molten metal splash.

**Key words:** Ag-SnO<sub>2</sub> contact materials; powder metallurgy; erosion morphology; arc erosion

Corresponding author: Wang Xianhui, Professor, School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, P. R. China, Tel: 0086-29-82312185, E-mail: xhwang693@xaut.edu.cn