

钨渗铜材料在真空高压开关上的应用

梁琼 杨传荣 曾甲牙 严利民(陕西动力机械研究所 西安 710025)

文 摘 为适应高压真空开关抗熔焊、耐电蚀、高电导、低含气量等要求,对传统的生产工艺作了一系列改进,采用纯钨粉经模压成型、高温烧结,然后一次完成渗铜和覆铜。结果表明,钨骨架强度高,铜呈网状分布,基体组织细小均匀,气体含量低,覆铜层与钨铜基体结合紧密,从而满足了使用要求,降低了成本,获得了较好的经济效益。

关键词 金属基复合材料,多孔钨渗铜,真空高压开关,触头材料

Applications of Tungsten Material with Copper Infiltration to Vacuum High Voltage Switch

Liang Qiong Yang Chuanrong Zeng Jiaya Yan Limin
(Shaanxi Power Machinery Institute Xi an 710025)

Abstract To meet the needs of high voltage vacuum switch, such as melt welding resistance, arc erosion resistance, high conductivity, low gas content etc, a series of improvement has been made on traditional production process. In this work, pure tungsten powder compacts in steel mold, then sinters at high temperature, and at last it is infiltrated and covered with copper together. This would result in high tungsten skeleton strength, net distributed copper, fine and uniform matrix structure, low gas content, and compact adhesion between the covered copper and matrix. The products can meet the demands of use with reduced cost of production.

Key words Metal matrix composite, Porous copper infiltration of tungsten, Vacuum high voltage switch, Contact material

1 引言

钨铜复合材料电触头在高压开关上已经使用多年,尤其以高压 SF₆、空气和油介质、大电流断路器上用量较大[1],它们都采用混粉压制烧结及熔渗工艺生产,组分以 20%~30%Cu+80%~70%W(质量分数,下同)居多。近年来,真空高压开关发展迅速,它对触头材料的要求较高,除满足一般开关性能外,由于真空中触头表面特别干净,比在空气中更容易熔焊,故要求具有更高的抗熔焊性、足够高的耐电压强度、尽量低的截止电流和极低的含气量[2]。目前市场上有些触头材料组分为 90%W+10%Cu,由于采用上述方法生产,性能较差,在使用中曾经出现过熔焊现象。而本文所指的钨渗铜材料原是一种发汗冷却型的固体火箭发动机(SRM)喷管喉衬材料,其组分正好也是 90%W+10%Cu,用高纯钨粉经冷等静压成型、高温烧结、熔渗工艺生产[3~5],材料纯度高,含气量低,钨骨架强度高,组织细小均匀,铜呈网状分布。钨渗铜材料的性能特别适合真空高压负荷开关触头的要求,但是按传统的喉衬生产工艺,材料利用率低,成本高,为此作了一系列改进,开发出钨铜(10)触头材料,批量投放市场,获得较好的经济效益。

2 主要技术指标

钨铜(10)触头材料主要技术指标见表 1。

表 1 钨铜(10)触头材料主要性能指标

Tab.1 Major properties of W-Cu(10) contact material

化学成分	Cu/%	W/%	N ₂ /10 ⁻⁴ %	O ₂ /10 ⁻⁴ %	密度	硬度/Mpa	电导率/MS·m ⁻¹
	10±2	余	<8	<50	≥16.3	≥2 250	≥20

3 压制成型工艺研究

钨粉硬度高、流动性差,压制成型性差。为了获得具有一定强度、一定相对密度的钨骨架,选择合适的压制工艺很重要。对于形状简单的薄片状触头来说,如果采用冷等静压成型,设备投资大,材料利用率低。采用机械模压成型,主要是模具间隙和钨粉粒度的选取。模具间隙过小,脱模困难;间隙过大,钨粉容易划伤模具,使压坯产生裂纹。经反复试验和改进,确定了合理的模具加工间隙和脱模间隙。钨粉过细,压制成型容易,烧结时却容易形成闭孔,使渗铜不均匀,导致抗热震性和抗烧蚀性能下降;钨粉太粗,压制成型困难,钨骨架强度下降,铜在高温下的蒸发量大,触头烧损严重。粒度相同的钨粉,得到相对密度相同的压坯,机械压制所需的压强比等静压大,为了提高钨粉的成型性,可以采用混粉压制,也可以添加成型剂。经试验,通过适当调整钨粉粒度和松装密度,也可获得较好的成型效果。在压制压强不变的情况下,保压时间可以缩短。通过提高压制密度,可以适当降低烧结温度。

4 烧结工艺研究

烧结多孔钨骨架是制造钨铜(10)材料的关键工序。高温烧结容易去除杂质,保证电导率和气体含量达到指标要求。采用活化烧结虽然可以降低烧结温度,但是对于多孔钨骨架不宜采用,因为它不容易控制孔隙度,活化剂一般会降低电导率。选择烧结温度主要考虑钨粉的粒度大小、粒度分布和压制密度等因素。温度过低,孔隙度高,使产品密度和硬度偏低;温度过高,孔隙度低,则含铜量减少,导致产品密度高,电导率降低,为此,烧结温度一般在 $1\ 600^{\circ}\text{C}\sim 2\ 200^{\circ}\text{C}$ 范围内选取。欲达到相同的烧结密度,通过提高烧结温度,可以缩短烧结时间,提高工效;延长烧结时间,可以降低烧结温度。相对来说,烧结密度对烧结温度更敏感些。

5 渗(覆)铜工艺研究

渗铜可在真空炉或氢气保护炉中进行。熔渗时,铜液上升高度与铜液表面张力成正比,与其粘度成反比。渗铜温度过高或过低都影响渗透效果。渗铜后冷却速度对覆铜层质量有很大影响,冷却速度过快容易产生气孔和裂纹;同时,由于炉温的不均匀性,产品覆铜层厚度不容易均匀一致,因此渗铜后必须采用特殊的冷却工艺。为了简化工序,可在一次热循环完成渗铜和覆铜工序。

6 钨铜(10)触头材料的性能

对 10 批次产品进行理化分析,结果如下:铜含量为 $9.8\%\sim 11.2\%$,氧含量为 $3\times 10^{-4}\%\sim 19\times 10^{-4}\%$,氮含量为 $1\times 10^{-4}\%\sim 4\times 10^{-4}\%$;密度为 $16.75\ \text{g/cm}^3\sim 17.14\ \text{g/cm}^3$;布氏硬度为 $2\ 565\ \text{MPa}\sim 2\ 685\ \text{MPa}$;电导率为 $22.0\ \text{MS/m}\sim 24.4\ \text{MS/m}$ 。均符合技术条件要求。产品的金相组织如图 1、图 2 所示,其金相组织细小均匀,不存在大于 $200\ \mu\text{m}$ 的铜相或钨相聚集区,铜呈网状分布,覆铜层与钨铜基体结合紧密。

图 1 钨骨架断口 SEM 照片 $3\ 600\times$

Fig.1 SEM fracture photograph of tungsten skeleton

图 2 钨铜(10)断口 SEM 照片 $3\ 600\times$

Fig.2 SEM fracture photograph of W-Cu(10)

7 用户使用情况

钨铜(10)触头材料,经国内十多家用户理化检测,各项性能指标均符合技术条件要求,并装配于多种管型的真空灭弧室,按 GB3804、GB11022 等国家标准,在国家高压电器检测中心顺利地通过了开断、绝缘、动热稳定、机械寿命、温升、异项接地等全部形式试验,完全满足使用要求,被各用户列入定点供货单位。

8 结论

开发的钨铜(10)触头材料,采用纯钨粉作原料,经机械模压成型、氢炉高温烧

结、氢气保护渗(覆)铜工艺生产。多孔钨骨架强度高,气体含量低,基体组织细小均匀,铜呈网状分布,覆铜层与钨铜基体结合紧密,生产工艺先进,产品质量稳定可靠。在开发钨铜(10)材料过程中,对传统的钨渗铜工艺作了一系列改进,简化了工序,降低了成本,既满足使用要求,又提高了经济效益,在技术上具有新颖性和实用性。