

高压开关设备镀银层硬度检测技术介绍

刘建军, 杨庆旭

(江苏省电力试验研究院有限公司, 江苏 南京 210036)

摘要: 高压开关设备主触头的镀银层硬度是保证其耐磨性的主要性能指标, 国家电网公司对其提出了明确的要求。研究分析了镀银层的厚度特点和硬度检测的基本原理, 提出了对高压开关设备上镀银层进行不受基材影响的显微硬度检测方法, 并结合镀银层厚度值推荐了检测的载荷力。

关键词: 高压开关; 镀银层; 硬度检测

中图分类号: TM83

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2010)06-0083-02

高压开关设备的导电触头大多为纯铜或铝材质, 为了减小接触电阻, 将导电触头的接触部位采用电镀的方式在表面镀一层银。银具有优良的导电性能, 因而银层的厚度是保证接触电阻达标的基本要求。另外, 由于开关设备的触头在运行时需要具备“自洁”功能, 即触头接触闭合时需要通过摩擦来进行表面自清洁, 为了防止镀银层在摩擦过程中过度减薄或者剥落, 镀银层通过保证硬度来保证其耐磨性。为了保证开关设备触头上的镀银层能在规定的开合闸次数内保持有效, 相关管理技术规范对镀银的性能指标提出了具体的要求, 如国家电网公司《高压开关设备管理规范 - 交流高压隔离开关和接地开关技术标准》规定了开关设备导电回路上主触头镀银层厚度应不小于 $20 \mu\text{m}$, 镀银层的硬度应不小于 120 HV。为了提高开关设备触头镀银层硬度检测的可靠性和精确性, 对镀银层硬度的测量原理、测量方法进行了分析研究。

1 镀银层硬度检测原理

硬度是表征材料抵抗局部变形, 特别的抵抗塑性变形的能力。基于这个定义, 材料的硬度通常采用在材料表面施加一个规定的载荷, 维持一定时间后卸除载荷, 测量载荷在材料表面上留下塑性变形的形貌来表征。所以大多数的硬度测量方法以压痕表面积(压痕投影面积)或者压痕深度作为硬度值大小予以计量。硬度检测方法中, 通常把压入载荷大于等于 9.81 N (1 kgF) 时测试的硬度叫宏观硬度, 压力载荷小于 9.81 N (1 kgF) 时测试的硬度叫微观硬度。前者用于较大尺寸的试件, 用以反映材料宏观范围性能; 后者用于小而薄的试件, 用以反映微小区域的性能, 如显微组织中不同的相的硬度, 材料表面的硬度等。而通常把载荷力小于 1.961 N 测量

的硬度称为显微硬度。对于金属材料硬度的检测, 根据加载压头的形状和计算方式的不同, 硬度的表征方式常用的有洛氏硬度、布氏硬度、维氏硬度、努氏硬度、里氏硬度等。

2 镀银层硬度检测方法

2.1 检测依据

显微维氏硬度和显微努氏硬度方法是最常用的显微硬度测量方法。

其中维氏硬度值 HV 等于载荷与压痕表面积的商, 而压痕表面积与压痕的对角线长度存在几何关系, 计算公式表示为^[1]:

$$HV = \frac{2 \times F \times \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{9.81 \times d^2} = 0.1891 \times \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

式中: F 为加载试验力, N; d 为压痕两对角线长度的算术平均值, mm。

努氏硬度值 HK 等于载荷与压痕投影面积的商, 而压痕的投影面积与压痕的长对角线长度存在几何关系, 计算公式表示为^[2]:

$$HK = 1.451 \times \frac{F}{L} \quad (2)$$

式中: F 为加载试验力, N; L 为压痕长对角线长度值, mm。

图 1 显示了维氏硬度和努氏硬度的压痕形貌。

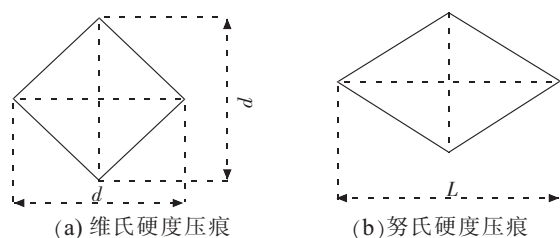


图 1 维氏和努氏硬度压痕形貌

2.2 试样要求

镀银层显微硬度的检测, 要求试样平坦光滑, 试

验面上应进行脱脂处理,常用的方式有无水乙醇清洗或丙酮清洗。显微硬度测量方法要求试样表面的粗糙度 $\leq 0.1 \mu\text{m}$,电力开关设备表面的镀银层粗糙度一般难以满足此要求,因而试样表面应进行抛光处理。为了避免抛光减薄过度,抛光前后应进行厚度检测对照,确保抛光后镀银层减薄不影响硬度的检测。

2.3 检测方法分析

2.3.1 载荷分析

根据 GB/T 4340—2009,维氏硬度的检测条件要求试样或试验层(镀层)的厚度至少应为压痕对角线长度的 1.5 倍,根据维氏硬度压头的几何形状,计算得出压痕深度 h 等于压痕对角线长度 d 的 $1/7$,即试样厚度 H 至少应大于等于压痕的深度 h 的 10.5 倍。当采用最小的载荷 $F=10 \text{ gF}$,即 0.098 N 时,要满足 120 HV 的硬度,根据式(1)计算,压痕对角线的长度 $d=12.427 \mu\text{m}$ 。则镀层的厚度 H 要求不小于 1.5 倍的对角线长度,即 $H \geq 1.5 \times 12.427 \mu\text{m} = 18.64 \mu\text{m}$ 。所以按照国家电网公司技术文件的要求,在镀银层厚度不小于 $20 \mu\text{m}$,硬度不小于 120 HV 的基础条件下可以采取显微维氏硬度计来测量镀层的硬度,此时测得的硬度值可以排除基体材质的影响。

从计算过程也可以看出,试验力的选择与镀层的厚度值有很大关系,当采用最小载荷 10 gF ,即 0.098 N ,测量 120 HV 的硬度,需要的最小镀层厚度为 $18.64 \mu\text{m}$;增大载荷到 20 gF (0.196 N),要测量同样 120 HV 的硬度,需要的镀层厚度为 $26.36 \mu\text{m}$ 。从测量的精确性分析,对同一试件,载荷力越大时,得到的压痕会越大,压痕对角线测量的误差会越小,硬度值的测量结果越精确。但是受镀层厚度的限制,载荷力难以选定过大,因此镀银层硬度测量值需要先测量其厚度,在不受基材影响的范围内选用较大的载荷力。依据努氏硬度试验的国标,根据努氏压头的几何关系,可以计算出压痕长对角线 L 与压痕深度 h 之比为 $L/h = 30$ 。由此可见,采用努氏硬度可以测量更薄的镀银层硬度,但需要注意的是,由于维

氏硬度计算所用对角线长度是 2 个对角线长度的算术平均值,而努氏硬度测量的是长对角线的长度,当被测试样的表面不平或载荷加载不当时,维氏硬度可以根据两对角线长度值的偏差来判断,而努氏压痕没有参照,所以努氏硬度比维氏硬度更容易出现因试样表面不平或加载不当导致的测量误差。

2.3.2 检测方向分析

GB/T 4340—2009 和 GB/T 18449—2009 均规定了轻金属检测时,压痕中心距试样边缘的距离至少为对角线长度的 3 倍。以维氏硬度要达到 120 HV 时的最小压痕对角线长度计算,当在镀银层横截面进行检测时,需要的镀银层厚度至少为 $12.427 \times 6 = 74.562 \mu\text{m}$,这对于高压开关设备触头的镀银层来说难以满足,因此只可以在垂直于镀层表面的方向进行测量。

3 结论

(1) 高压开关设备上镀银层的硬度值应采用显微维氏硬度计在垂直于镀层表面的方向进行测量。

(2) 测量载荷应根据镀层厚度进行计算确定,在保证镀银层厚度不小于 1.5 倍的压痕对角线长度情况下,优先选用大载荷。当镀银层厚度在 $26.4 \mu\text{m}$ 以下时,推荐选用的载荷应不超过 10 gF ,当镀银层厚度超过 $26.4 \mu\text{m}$,推荐选用的载荷为 20 gF 。

(3) 镀银层硬度检测前应对表面采用抛光工艺进行处理,抛光前后应对镀银层厚度进行检测,确保抛光处理不会对镀层造成影响硬度测量的减薄。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局.GB/T 4340—2009 金属材料 维氏硬度试验[S].
- [2] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局.GB/T 18449—2009 金属材料 努氏硬度试验[S].

作者简介:

刘建军(1979-),男,甘肃天水人,工程师,从事金属材料成型分析等相关工作;

杨庆旭(1978-),男,河南平顶山人,工程师,从事金属材料理化检验等相关工作。

Introduction of the Hardness Testing Technology for Silver Plating Layer of High-voltage Switchgear

LIU Jian-jun, YANG Qing-xu

(Jiangsu Provincial Electric Power Research Institute, Nanjing 210036, China)

Abstract: Hardness is a main performance to ensure the wear resistance for silver plating layer of High-voltage switchgear, and the State Grid Corporation has made clear their requirements. The silver plating layer thickness characteristic and the principles of hardness testing have been analyzed. And a microhardness testing approach on silver plating layer without affected from the substrate has been proposed. A testing load force for microhardness testing has been also recommended.

Key words: high-voltage switchgear; silver plating layer; hardness testing