



纯铜与奥氏体不锈钢接头的中频感应钎焊及检测

蔺福民

【摘要】 300MW以上容量的汽轮发电机定子线棒通常为水冷结构，线圈端部铜与不锈钢接头需要同时实现通电通水及密封的作用。采用银基钎料与环绕式感应器的中频感应钎焊工艺，在适当控制工艺参数前提下，可对纯铜与奥氏体不锈钢的水电接头实现良好钎合。焊后接头应用水浸法超声波检测可有效检测接头焊接质量。

关键词： 中频钎焊；银基钎料；汽轮发电机；铜-不锈钢

汽轮发电机的定子线圈置于铁心槽内，处于旋转磁场中感应出高电压、大电流输出。功率300MW和600MW发电机定子电流超过10000A和20000A，是发电机内损耗发热严重的部件，故300MW以上的汽轮发电机通常采用水内冷作为定子线圈的冷却方式。水冷绕组的电流密度高，一般可达到5~10A/mm²。

为实现定子线圈水电双通的功能，且端部具有足够的刚度和强度，端部接头常使用不锈钢引水接头与铜接头钎焊结构。球形纯铜接头插接引水接头便是其中一种典型结构。

1. 试验材料与方法

(1) 母材及焊材成分 球形接头为TU2无氧铜、引水接头为不锈钢06Cr19Ni10，物理性能对

比如表1所示。

钎料为实现铜与不锈钢的异种接头钎接，选用钎料BAg45CuZn，钎料成分如表2所示。

根据Ag-Cu-Zn三元合金相图，BAg45CuZn在350℃时成分落在Ag+Cu两相区内，存在少量Ag-Zn脆性相，仍具有一定的加工能力。BAg45CuZn钎料熔化温

求的尺寸及精度（I轴φ215H7（+0.046/0）mm、IV轴φ320H7（+0.057/0）mm。表面粗糙度值达到R_a3.2μm。

3. 结语

本文从M3RSF70型减速机箱体材质的焊补特性和轴承孔尺寸精度的要求出发，全方位地介绍了减速机箱体轴承孔磨损部位的焊补工艺整体和机械加工工艺修复过程。M3RSF70型减速机箱体

经大修后使用至今，运行状况良好。

实践证明，上述工艺方案保证了M3RSF70型减速机箱体轴承孔磨损部位的修复精度，对今后类似铸铁类减速机箱体轴承孔磨损部位的修复，具有重要的参考价值。

参考文献：

[1]李日娟.灰铸铁电弧冷焊时焊

材对加工性能的影响[J].热加工工艺, 2011, 40(21): 151-153.

[2]杨赛昕.梅钢热轧F3轧机主减速机轴承座孔离线修复[J].梅山科技, 2006(S2): 22-24.

作者简介：陈艳红，陕西陕煤韩城矿业有限公司生产服务中心。

MW 20170621

度665~745℃，常用于要求表面粗糙度低、强度高，能承受振动载荷的工件。银钎料需配合钎剂使用，钎剂可清除熔融钎料和母材表面氧化物，改善钎料对母材的润湿性，促进界面活化。试验钎剂选用FH10，主要成分及钎焊温度如表3所示。

(2) 试验方法 焊缝为密封焊缝，为降低工艺分散性，采用中频感应钎焊。中频感应加热快，升温迅速，加热均匀，热量相对集中。焊接功率设置为20kW，钎料熔化后使钎料保持熔融状态30s。

球形接头热容量加大，焊缝处于球形接头上部，为了获得良好的加热效果，试验采用环形感应线圈（见图1）。环形感应线圈具有较高的耦合效率，中频交变磁场对纯铜的耦合效率可达50%。为增加加热层形状均匀，采用多匝线圈形式环绕工件。

第一，焊接间隙：BAg45CuZn钎料对焊接间隙比较敏感，大部分钎焊结构主要依靠钎料的毛细作用来填满钎焊间隙。如果钎焊间隙过大，不仅毛细作用会显著减低，而且钎料钎着率较低。另一方面，由于钎料以共晶成分为基础，凝固时在间隙大处易产生缩孔缺陷，缺陷的产生将导致焊缝的强度降低。本文选取了5种间隙进行了钎焊试验，间隙分别为0.13mm、0.15mm、0.19mm、0.23mm、0.28mm。试验统计验证说明，间隙大的试样，普遍钎着率较低。结合工件加工公差实际控制情况，确定良好的焊接间隙应在0.08~0.18mm之间。

表 1 TU2与06Cr19Ni10物理性能差异

材料	熔点 /℃	热导率 /W·(m·℃) ⁻¹	线膨胀系数 /10 ⁻⁶ K ⁻¹	比热容 /J (kg·℃) ⁻¹
不锈钢06Cr19Ni10	1398~1420	16.3	18	502
纯铜TU2	1083	384	17	390

表2 BAg45CuZn钎料成分（质量分数） (%)

牌号	Ag	Cu	Zn	Cd	Si
BAg45CuZn	44.0~45.0	29.0~31.0	23.0~27.0	≤0.01	≤0.05

表3 FH10钎剂成分及钎焊温度

型号	成分	钎焊温度/℃
FH10	硼化物+氟化物	550~850

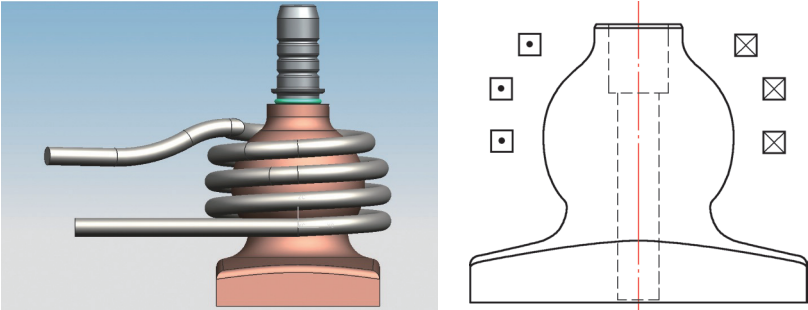


图1 球形接头环绕式感应加热方式

第二，焊前清理：纯铜表面存在CuO及Cu₂O，焊前需对球形接头焊接区域进行清理，去除氧化皮及油污等杂质，然后用酒精清洗干净。06Cr19Ni10表面的Cr₂O₃相当稳定，需用砂皮打磨去除氧化皮，并在表面形成磨痕（微观沟槽），便于熔化钎料的毛细作用。

第三，工艺控制：焊接功率控制在20kW左右，当预置钎料环熔化后，适当降低温度并旋转不锈钢通水管约180°，使钎料更加均匀的润湿不锈钢-铜界面，提高钎合面积，同时用焊丝在外部加料，保持钎料处于熔化状态约30s。当钎料与母材形成内圆角时，说明母材与钎料完全润湿，结束焊接过程。待钎料完全凝固后，将接头放入水中冷却。

设计三种加料方式：一种为铜接头内孔顶部加料；第二种是在不锈钢外径预置钎料环，及在不锈钢外部加料；第三种方式为铜接头内孔底部及不锈钢外径均预置钎料环。钎料的三种预置方式如图2所示。

焊后对三个试样进行了线切割，结果表明试样2、试样3焊缝情况良好，试样1焊缝中有大量未钎着区域。分析认为：上下都放钎料环，钎料熔化后，气体被包围在间隙中，无法逸出，致使钎料无法有效填充间隙；同时，在底部放置钎料环方式，熔融钎料被挤出后球形接头内孔处形成焊瘤。由于内孔处操作空间小，所以焊瘤难以去除；而在上部预置钎料环，通过控制加热功率与加热时间，可以对焊缝填充质量

进行较好控制。

2. 试验结果及分析

(1) 焊接接头的宏观检查及剖面检查 对焊缝进行水压检漏, 压力5MPa、4h, 焊缝满足技术要求。

内部剖面检测结果显示, 球形接头焊缝无贯穿性缺陷, 整个圆柱钎焊面上, 钎着率均在80%以上。

3. 焊缝超声波检测

工业CT费用较高, 且操作复杂、检查速度较慢, 不适合批量产品检查。为有效的进行大批量生产的过程质量控制, 对本产品焊缝检测确定使用超声波检测。

球形接头与不锈钢接头焊接面为 $\phi 16\text{mm}$ 的圆柱面。结构对超声波回波信号影响较大, 且不锈钢接头壁厚较薄, 仅2.5mm。检测结构复杂, 内部为圆柱形结构、外部为球面结构, 超声波在薄壁工件中的传播距离短, 一次界面波与缺陷回波信号容易重叠, 难以分别(见图3)。结构复杂容易产生较多反射波, 使界面回波无法识别。

试验采用超声波检测方式, 由不锈钢接头内壁垂直入射方式检测钎缝界面反射回波。采用水做为耦合剂, 即采用水浸方式进行超声波检查。经多次调整探头晶片规格及分析方法后, 最终确定了超声波检测的方法、探头及检测灵敏度试块。

为了检测超声波探伤的可靠性, 焊后试样进行了超声波探伤和CT检测。超声波探伤结果18mm深度方向上, 每6mm进行一次扫查。试验证明, 超声波检

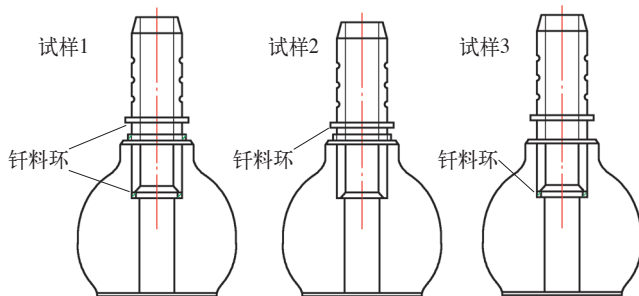


图2 钎料的三种预置方式

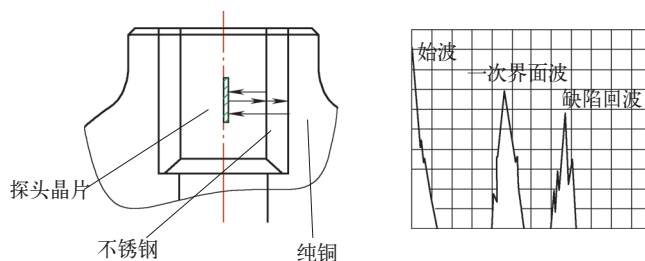


图3 声波传播及反射示意

测结果与CT检测(见图4)结果吻合度高。

4. 结语

经试验确定的焊接工艺, 在焊后的水压泵漏、卤素检漏检测中, 焊接试样均满足要求。对试样进行了线切割、超声波检查及

工业CT检测, 焊缝质量达到了设计使用要求。

对焊接接头开发的超声波检查, 与线切割、工业CT在内的具有准确的对应关系, 确认超声波探伤可以较准确的对焊缝质量进行检查和评价。

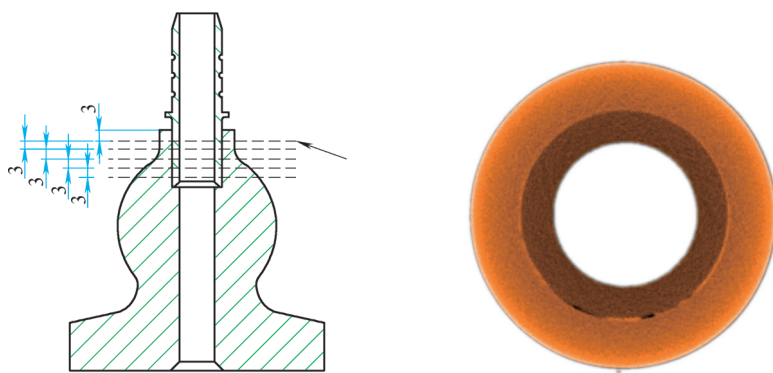


图4 CT扫查位置及缺陷处CT检测

作者简介: 蔺福民, 上海电气电站设备有限公司发电机厂。