

# 大型水泵轴的热喷涂修复工艺

Repairing technology of thermal spraying for the shaft of large scale water pump

邱文萍<sup>1</sup>, 陈志华<sup>2</sup>, 贺小明<sup>2</sup>

(1. 武汉铁路职业技术学院, 湖北 武汉 430063; 2. 武汉大学 动力与机械学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要** 比较了几种常用轴颈尺寸修复特点后, 介绍了热喷涂工艺的选择、涂层设计和热喷涂工艺过程。根据大型水泵轴轴承位磨损特征, 论述了采用热喷涂修理大型水泵轴的工艺方法实例。

**关键词** 水泵轴 热喷涂 喷涂工艺 涂层设计 水泵 轴承

中图分类号: TG174.442; TH38 文献标识码: B 文章编号: 1006-6446(2004)03-0049-03

## 0 引言

某火电站型号为 XJ56-23A 的 2 台水泵在工作过程中, 由于水泵轴轴承位产生严重磨损及烧伤, 必须更换 2 根新轴或修复已磨损的轴。如图 1 所示。该轴长 4 m, 每根轴 2 个轴承位(轴两端  $\varnothing 200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ ) 单边磨损深度达 0.5 mm 以上。若 2 根轴换新不仅费用大, 而且制造及安装周期长, 满足不了维修时间的要求, 势必影响整台机组的发电, 造成更大的经济损失。



图 1 水泵轴及叶轮结构图

常用的恢复轴颈尺寸的方法较多, 如堆焊法、镀铬、刷镀及热喷涂等。由于堆焊易产生变形, 难以保证修复质量。镀铬无法满足水泵轴和叶轮( $\varnothing 1300 \text{ mm}$ ) 不解体时的修复操作。电刷镀镀层厚度(一般小于 0.5 mm) 受到限制, 且生产率低、经济性差, 亦不适合修复大型水泵轴轴承位。热喷涂由于具有喷涂材料和工艺方法选择范围广、一般不受工件尺寸

及施工场所的限制、涂层厚度可控性好(从几十微米到几毫米)、对工件的热影响小、涂层功能广泛、生产效率高等一系列特点, 因而在零件修复与强化方面得到了越来越广泛的应用。综上所述, 大型水泵轴轴承位修复最适合采用热喷涂方法。本文探讨了大型水泵轴的热喷涂修复工艺。

## 1 热喷涂工艺的选择

热喷涂工艺方法很多, 从工艺方法考虑, 适合于水泵轴的热喷涂工艺方法主要有: 火焰粉末及线材喷涂、电弧喷涂及等离子喷涂。火焰粉末与线材喷涂设备简单、施工方便、成本较低, 是我国目前使用最为广泛的热喷涂方法, 但其涂层结合强度低、致密度差, 因此, 仅适合于工况一般的工件的修复和涂层制备。电弧喷涂最大特点是生产率高、修复成本低, 但涂层性能一般。等离子喷涂层与基体的结合强度高、涂层自身强度高、致密性好, 因此涂层的耐磨性好, 等离子喷涂主要用于制备高质量的涂层。

火焰线材喷涂与粉末喷涂相比, 由于线材喷涂时线材必须熔化后才能喷出, 所以热效率高, 喷涂速度大。此外, 由于它是使用压缩空气将熔滴喷出, 因而金属微粒飞行速度快, 喷涂层较致密、孔隙和氧化物少、线材价格较低、喷涂设备要求低(仅需喷枪、空压机、氧气和乙炔供给系统等)且操作简单。根据水

泵轴轴承位的磨损程度,选择了火焰线材喷涂工艺。

## 2 涂层设计

### 2.1 涂层材料的选择

在选择喷涂材料时,应考虑工件的工况、喷涂方法及修复成本。目前适合于水泵轴轴承位工况及火焰线材喷涂的材料主要有:碳钢及合金丝、铜丝、马氏体不锈钢丝、奥氏体不锈钢丝、铜合金丝,其中恢复尺寸喷涂时最常用的是碳钢及合金丝、马氏体不锈钢丝。

在选择涂层材料时,还应考虑涂层厚度。涂层越厚,涂层内应力就越大,因此涂层产生开裂与脱落的倾向就越大。不同喷涂材料的涂层收缩率是不一样的,表1是部分常用丝材的涂层收缩率,由此可见80钢、2Cr13材料收缩率低,可喷涂厚涂层。

表1 部分喷涂材料的涂层收缩率

涂层材料	Mo	2Cr13	0.8%碳钢	铝青铜	0.25%碳钢	18-8不锈钢
收缩率/%	0.3	0.18	0.14	0.48	0.6	1.2

由于在喷涂修复水泵轴时,要求轴和叶轮不解体,这就使涂层的加工受到了加工设备的限制,只宜采用车削加工。比较0.8%碳钢和2Cr13喷涂层的性能可知,2Cr13喷涂层的自身强度、可加工性都优于0.8%碳钢涂层。

通过上述喷涂材料的使用性能比较,计算和比较了机加工性、喷涂工艺性及其成本,在喷涂修复水泵轴时,宜选用2Cr13喷涂材料。

在涂层设计时,除考虑工作涂层的性能外,还需要考虑涂层与基体金属的结合强度。一般而言,为了提高涂层的结合强度,需在工作涂层与基体之间施加一层结合底层。日常常使用的底层材料主要有镍铝复合丝和钼丝两类,镍铝复合丝是增效复合材料,它与基体的结合强度、自身抗拉强度及耐磨性都优于钼,因此,选用了镍铝复合丝作结合底层材料。

### 2.2 涂层厚度的确定

在修理水泵轴轴承位时,涂层的设计厚度可表示为

$$h = \frac{1}{2}(D - d) + \Delta b, \quad (1)$$

式中:  $h$  —— 涂层设计厚度;  
 $d$  —— 喷涂前工件直径;  
 $D$  —— 工件应恢复的成品直径;  
 $\Delta b$  —— 喷涂层的单边加工余量。

$\Delta b$ 的大小与涂层材料、喷涂方法、工件尺寸及

加工技术要求有关。对于线材喷涂 $\Delta b$ 为0.5~1.0mm,若修复工件直径小时,取下限值,直径大时,取上限值。

涂层设计厚度包括结合底层厚度和工作层厚度,底层厚度为0.10mm左右。喷涂时涂层厚度可直接通过测量控制,此时考虑基体金属与涂层的热膨胀。喷涂测量时涂层厚度和工件喷涂后的厚度分别应为 $H$ 和 $D_1$ ,它们可表示为

$$H = \left[ \frac{1}{2}(D - d) + \Delta b \right] (1 + \alpha_1 \Delta t), \quad (2)$$

$$D_1 = d(1 + \alpha_1 \Delta t) + 2H \approx (D + 2\Delta b)(1 + \alpha_1 \Delta t),$$

式中:  $\alpha_1$  —— 涂层材料的热膨胀系数;  
 $\alpha_2$  —— 基体金属的热膨胀系数;  
 $\Delta t$  —— 轴在喷涂时的升温温度。

对于修复的水泵轴颈, $D = 200$ mm, $d = 198.8$ mm, $\Delta b = 0.6$ mm,工件的材质为45钢,在喷涂时,工件从28℃上升到120℃, $\alpha_2 = 13.76 \times 10^{-6}/\text{℃}$ ,

则喷涂后工件应达到的直径 $D$ 为

$$D_1 = (D + 2\Delta b)(1 + \alpha_2 \Delta t) \approx 201.45 \text{ mm}。$$

## 3 热喷涂工艺过程

水泵轴的热喷涂工艺过程包括表面预处理、预热、喷涂和涂层机加工4个部分。

### 3.1 表面预处理

(1)清除油污。用汽油、丙酮等清除待修复表面的油污。

(2)探伤检查。用着色法检查轴颈表面是否有疲劳裂纹或其它缺陷。

(3)校调。在车床上对水泵轴进行校调,检查两轴颈的尺寸及磨损情况,并检查各轴颈的形状精度及位置精度。纠正其形状和位置误差。

(4)车削除去疲劳层。当车削除去疲劳层后单边涂层厚度不足0.6mm时,单边继续车削到0.6mm,以保证涂层有足够的强度。

(5)用铜皮遮盖不需要喷涂的部分。

(6)粗化处理。粗化处理采用车毛螺线加镍拉毛的方式,以进一步提高涂层与基体的结合强度,车螺线时螺距0.8mm,齿深0.3mm,车刀尖角90°,尖角圆弧弦长1mm。

### 3.2 预热

预热的目的是为了消除工作表面的水分和湿

气,提高喷涂粒子与工件接触时的界面温度,减少因工件热膨胀造成的涂层应力,避免涂层开裂,以提高涂层与基材的结合强度。水泵轴喷涂部位采用氧乙炔中焰预热,预热温度控制在  $100^{\circ}\text{C}$  左右。

### 3.3 喷涂

(1)喷涂底层涂层材料(NiAl)。喷涂涂层设计中的底层材料,其厚度约  $0.1\text{ mm}$  左右,并用钢丝刷除去表面浮灰粉。

(2)喷涂工作层(2Cr13)。喷涂工作层时,每次只能喷涂  $0.3\text{ mm}$  左右,下次喷涂前必须用钢丝刷除去表面浮灰粉,最终喷涂后轴颈的尺寸为轴颈工作尺寸、加工余量及热膨胀量的三者之和,即  $\varnothing 201.45\text{ mm}$  左右。喷涂时工艺参数选择:氧气压力为  $0.6\text{ MPa}$ ,乙炔压力为  $0.09\text{ MPa}$ ,压缩空气压力为  $0.5\text{ MPa}$ ,工件线速度为  $0.417\text{ m/s}$ ,喷枪移动速度  $5\sim 7\text{ mm/r}$ ,喷涂距离为  $120\text{ mm}$  左右。

(3)涂层冷却。喷涂结束后,涂层可采用空冷,在空冷过程中,水泵轴需继续转动直到涂层冷却到室温为止,以防止轴产生弯曲现象。

### 3.4 涂层加工工艺

由于水泵轴轴承位的加工技术要求高,原设计尺寸精度为  $\varnothing 200_{js6}$ ,表面粗糙度  $R_a$  为  $0.40\text{ }\mu\text{m}$ ,加之涂层本身的加工特性,宜采用磨削加工。在实际喷涂修理中,为了缩短修理时间,水泵轴和叶轮是不解体的。叶轮本身的直径为  $\varnothing 1300\text{ mm}$ ,因而一般磨床的回转半径满足不了要求而无法选择磨削加工。

因此,涂层加工采用了粗车→精车→精细车→金相砂纸打磨的方式。为了满足原装配性质的要求,考虑到涂层存在一定孔隙率以及涂层加工表面的特征,将原设计的尺寸精度  $\varnothing 200_{js6}$  修改为  $\varnothing 200_{h6}$ 。

喷涂层车削时最佳切削线速度为  $0.667\text{ m/s}$  左右,粗加工时走刀量  $f$  为  $0.2\sim 1.0\text{ mm/r}$ ,精加工时  $f$  可取  $0.05\sim 0.2\text{ mm/r}$ ;粗车时切削深度取  $0.1\sim 0.2\text{ mm}$ ,精细车时为  $0.05\sim 0.10\text{ mm}$ 。

## 4 实际应用情况

2 根水泵轴采用热喷涂方法修复,经装机使用,工作正常,满足了发电站生产工作需要。实践证明:热喷涂修复水泵轴等轴类零件修理周期短、成本低、质量高,是一种快捷、经济、可靠的方法,其应用价值极高。

### 参考文献:

- [1] 丁彰雄.热喷涂在内燃机曲轴修复中的应用[J].内燃机,1993(4):33~35.
- [2] 丁彰雄,陈启华.船机轴类零件热喷涂修复的涂层设计与工艺选择[J].中国修船,1994(5):19~22.
- [3] 陈文威.金属表面涂层技术及应用[M].北京:人民交通出版社,1996.
- [4] 赵文珍.材料表面工程导论[M].西安:西安交通大学出版社,1998.

(编辑:王书平)