

# 简析燃料破碎机辊套的增强性焊接修复工艺

张绪鹏  
(日照钢铁有限公司 山东 日照 276806)

**摘要:** 烧结各种燃料破碎系统的对四辊破碎机按其功能要求设计、选材的破碎机辊套结构及材质基本相同, 材质分为 ZG35CrMo 或 ZG35CrMnSi, 现以烧结投入使用的  $\phi 1200 \times 1000$  破碎机为例简述破碎机辊套的修复工艺。  
**关键词:** 燃料破碎机; 对辊及四辊破碎机; 辊套焊接; 埋弧焊自动焊; 增强性修复

## 1 修复工艺的选择及论证

### 1.1 母材焊接性能分析

铸钢件 ZG35CrMo 的化学成分及机械性能见表 1, 该材料含碳量高、抗裂性能差, 且进行多层焊接时在熔池及其周围形成温差极大, 温度突变的影响下极易产生横向裂纹, 无法达到理想的焊接质量效果。

表 1 ZG35CrMo 铸钢件的化学成分及机械性能

| 化学成分 /% |     |     |       |       |    |     |     | 力学性能            |                 |               |           |       |
|---------|-----|-----|-------|-------|----|-----|-----|-----------------|-----------------|---------------|-----------|-------|
| C       | Si  | Mn  | S     | P     | Ni | Cr  | Mo  | $\sigma_b$ /MPa | $\sigma_s$ /MPa | $\delta 5$ /% | $\Psi$ /% | AKV/J |
| 0.37    | 0.5 | 0.8 | 0.035 | 0.035 | -  | 1.2 | 0.3 | 740             | 510             | 12            | -         | 27    |

### 1.2 焊接修复材料的选型

#### 1.2.1 打底层焊接材料的选用

由于破碎机辊套单边磨损量在 25mm 左右, 为保证多层焊接焊缝成型的稳定性, 进而达到金属材料与母材强度、韧性的良好熔合状态, 选定 SKC402-O 奥氏体不锈钢焊丝作为打底层焊接材料, 该焊接材料具备优异的抗裂及抗氧化性能 (其化学成分见表 2)。

表 2 SKC-402 焊接材料化学成分表

| 金属化学成分   | C        | Mn    | Cr      | Ni     | P      | S      | 焊态硬度 (HB) |
|----------|----------|-------|---------|--------|--------|--------|-----------|
| 成份含量 (%) | 0 ~ 0.25 | 3 ~ 8 | 17 ~ 22 | 7 ~ 11 | ≤ 0.03 | ≤ 0.03 | 180 ~ 200 |
| 典型值      | 0.1      | 7     | 19      | 9      | 0.02   | 0.02   | 195       |

#### 1.2.2 过渡层焊接材料的选用

打底层焊丝的选择可有效改善母材的焊接性能, 为保证打底层焊接材料与硬面层材料的良性熔合, 选定 430-O 焊接材料进行过渡 (其化学成分见表 3), 该材料可与打底及硬面层焊接材料实现有效熔合, 具备优异的抗回火软化能力、抗氧化腐蚀性能、耐冷热疲劳性能。

表 3 430-O 焊接材料化学成分表

| 金属化学成分   | C     | Si        | Mn        | Cr      | P      | S      |
|----------|-------|-----------|-----------|---------|--------|--------|
| 成份含量 (%) | < 0.1 | 0.5 ~ 1.5 | 0.5 ~ 1.5 | 15 ~ 19 | ≤ 0.03 | ≤ 0.03 |
| 典型值      | 0.05  | 1.2       | 1.2       | 17      | 0.02   | 0.02   |

#### 1.2.3 硬面层焊接材料的选用

为将破碎机辊套的使用寿命由 8 个月延长至 12 ~ 14 个月, 硬面层焊接材料宜选用强度及性能远高于母材的材料, 从焊接质量、生产工艺及经济效益三方的权衡之下, 选

定 414-O (其化学成分见表 4) 作为硬面层焊接材料, 该材料焊接后硬度在 HRC42 ~ 48, 具有优良的耐磨性及切削性能。

### 1.3 辊套修复工艺的控制

#### 1.3.1 焊前加工工艺及要求

(1) 去除辊套表面的疲劳层及裂纹, 车削时保证辊套与轴的同轴度要求及辊套的圆度, 辊套车削后尺寸为 1160mm, 辊套表面粗糙度高于  $6.3 \mu m$ ;

(2) 对粗机加工后的辊套进行着色探伤, 检测粗加工后的辊套是否存在裂纹 (局部有黑皮、气孔等缺陷, 可用磨光机打磨消除);

(3) 对堆焊后的辊套进行精加工, 辊套加工后尺寸  $\phi 1200 \pm 0.1mm$ , 保证辊套加工质量, 确保原料破碎粒度要求。

#### 1.3.2 焊接工艺要求

(1) 辊套焊接前预热处理, 辊套预热温度为 350℃, 保温 4 ~ 5h, 温升控制在 50℃/h;

(2) 辊套堆焊过程中对表面进行不间断加热, 保证辊套焊接层间温度在 280 ~ 300℃;

(3) 辊套焊接后在炉中随炉缓冷至 150℃, 消除内部焊接应力;

(4) 辊套焊接过程中, 每焊完一道焊缝要锤击清渣, 用放大镜进行检测, 及时发现缺陷并处理;

(5) 辊套焊接过程中摆动、送丝、电流及电压等控制参数如表 5 所示。

#### 1.3.3 焊后加工工艺及要求

(1) 辊套随炉缓冷至 150℃去应力出炉, 出炉后外包石棉布进行缓冷, 缓冷至室温进行机械加工。

(2) 采用硬质合金刀头对辊套进行粗、精加工, 粗加工后对辊套硬度进行检测, 辊套硬度 HRC=42 ~ 48, 精加工后对辊套进行着色及超声波探伤检测, 辊套不得存在裂纹。

(3) 切削速度、切削深度及进给量会影响加工过程中的稳定性及产品质量, 因此加工过程中需合理控制切削速度、切削力及进给量等参数。具体参数见表 6。

表 4 414-O 焊接材料化学成分表

| 金属化学成分   | C     | Si      | Mn        | Cr      | Ni        | Mo          | 其他元素    | Fe |
|----------|-------|---------|-----------|---------|-----------|-------------|---------|----|
| 成份含量 (%) | < 0.1 | 0.3 ~ 1 | 0.5 ~ 1.5 | 12 ~ 15 | 3.5 ~ 5.5 | 0.35 ~ 0.65 | N、Nb 微量 | 余量 |
| 典型值      | 0.05  | 0.85    | 1.2       | 14      | 5         | 0.55        | N、Nb 微量 | 余量 |

表 5 辊套焊接过程中摆动、送丝、电流及电压等控制参数

| 起始直径 /mm | 焊材型号     | 摆动速度 / (m/min) | 摆动距离 mm | 左停留 (搭接) /s | 右停留 /s | 步进速度 / (m/min) | 步进宽度 /mm | 位错 / mm | 旋转速度 / (m/min) | 电压 V      | 送丝速度 / (m/min) | 电流 /A     |
|----------|----------|----------------|---------|-------------|--------|----------------|----------|---------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 1160     | SKC402-O | 2.0            | 27      | 0.4         | 0.2    | 1.8            | 27       | 1.3     | 0.14           | 27 ~ 28   | 3.5 ~ 4        | 220 ~ 260 |
| 1166     | SKC402-O | 2.0            | 27      | 0.4         | 0.2    | 1.8            | 27       | 1.3     | 0.14           | 27 ~ 28   | 3.5 ~ 4        | 220 ~ 260 |
| 1172     | SKC402-O | 2.0            | 27      | 0.4         | 0.2    | 1.8            | 27       | 1.3     | 0.14           | 27 ~ 28   | 3.5 ~ 4        | 220 ~ 260 |
| 1178     | SKC402-O | 2.0            | 27      | 0.4         | 0.2    | 1.8            | 27       | 1.3     | 0.14           | 27 ~ 28   | 3.5 ~ 4        | 220 ~ 260 |
| 1184     | 430-O    | 2.0            | 25      | 0.3         | 0.2    | 1.8            | 25       | 1.3     | 0.14           | 26 ~ 26.5 | 3 ~ 3.5        | 200 ~ 260 |
| 1190     | 414-O    | 2.0            | 25      | 0.3         | 0.2    | 1.8            | 25       | 1.3     | 0.13           | 26 ~ 26.5 | 3 ~ 3.5        | 200 ~ 260 |
| 1196     | 414-O    | 2.0            | 25      | 0.3         | 0.2    | 1.8            | 25       | 1.3     | 0.11 ~ 0.12    | 27 ~ 27.5 | 4.0 ~ 4.2      | 280 ~ 320 |
| 1202     | 414-O    | 2.0            | 25      | 0.3         | 0.2    | 1.8            | 25       | 1.3     | 0.11 ~ 0.12    | 27 ~ 27.5 | 4.0 ~ 4.2      | 280 ~ 320 |

表 6 加工过程中需合理控制切削速度、切削力及进给量等参数

| 项目        | 切削速度 (m/min) | 切削深度 (mm)  | 进给量 (mm/r) | 备注                                            |
|-----------|--------------|------------|------------|-----------------------------------------------|
| 粗加工<br>切削 | 40 ~ 50      | 2 ~ 6      | 1 ~ 3      | 因辊面焊接后硬度较高，切削过程中需合理的使用切削液以降低切削过程中产生热量，减少刀片的损耗 |
| 精加工<br>且须 | 50 ~ 60      | 0.05 ~ 0.3 | 0.3 ~ 0.35 |                                               |

表 7 单套破碎机辊套修复成本核算

| 项目           | 消耗数量     | 单项成本 (元)    | 总成本 (元)  | 备注 |
|--------------|----------|-------------|----------|----|
| SKC402 焊材消耗  | 259.46kg | 23 元 /kg    | 5967.58  |    |
| O 焊材消耗       | 87.37kg  | 22.41 元 /kg | 1957.96  |    |
| 414-O 焊材消耗   | 264.78kg | 26.12 元 /kg | 6916.05  |    |
| 焊接工时成本       | 128h     | 30 元 /h     | 3840     |    |
| 粗加工          | 20h      | 70 元 /h     | 1400     |    |
| 精加工          | 16h      | 70 元 /h     | 1120     |    |
| 辅助件、工器具及管理费用 |          | 1.08 × 总价   | 22897.72 |    |

表 8 单套破碎机辊套修复效益分析

| 序号 | 单套辊套采购成本 (万元) | 单套修复成本 (万元) | 修复前单套维护成本 (万元) | 修复后单套维护成本 (万元) | 创造效益 (万元) | 备注                 |
|----|---------------|-------------|----------------|----------------|-----------|--------------------|
| 1  | 4.2           | 2.29        | 1.05           | 0.35           | 2.61      | 更换单套破碎机辊套需 8 人 4 天 |

2 成本核算及效益分析

2.1 成本核算

辊套修复过程中产生的成本主要包括人、工时、材料及机具等成本，具体成本核算明细见表 7。

2.2 效益分析

(1) 破碎机辊套经增强性焊接修复后，辊面硬度由 HB180 ~ 220 提高到 HRC42 ~ 48，辊套表面硬度的提升可提高辊套的耐磨性能，同时使辊套使用寿命由 8 个月延长至 12 ~ 14 个月。

(2) 从破碎机日常维护成本及材料成本两方面分析增强性焊接修复辊套产生的效益见表 8。

(3) 公司现在线使用的  $\phi 1200 \times 1000$  对辊装配 20 套、 $\phi 1200 \times 1000$  四辊装配 40 套，全年降本： $60 \times 2.61$  (万元 / 套) =156.6 万元。

3 结语

综上，已采用上述增强性焊接修复工艺对  $\phi 1200 \times 1000$  破碎机辊套进行修复，且试验已达到预期效果，辊套使用寿命已由 8 个月延长至 12 个月，该修复工艺不但提高了破碎机辊套的修复质量，同时还降低了破碎机日常维护及采购成本。

参考文献：

[1] 成大先. 机械设计手册第 1 卷 5 版 [M]. 北京：化学工业出版社，2007:3105-3164.

[2] 杜国华. 实用工程材料焊接手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2004.