

# 锻造水压机柱塞法兰开裂的失效分析及对策

为了确定某锻造水压机主柱塞法兰肩部反复开裂的原因,我们对设备稳定性及法兰承载能力进行了分析。经分析,开裂是经常性的偏心锻造及原来维修时的焊接缺陷所致,在对开裂处进行细致的补焊修理后可取得很好的效果。

某公司锻造厂 6300kN 锻造水压机在上一次修复运行半年后,主柱塞法兰肩部再一次发生开裂,而在此之前主柱塞法兰肩部已断裂两次。故障的反复出现,严重地影响了配件生产。6300kN 锻造水压机结构如图 1 所示,其工作原理是:液压驱动工作缸往下运动,工作缸通过两立柱带动下横梁向下运动与固定的上横梁之间形成挤压力,达到锻造工件的作用。水压机主要用于大型的轴类及法兰等零件的毛坯制造。本文对该失效现象进行了深入分析,并采取正确的处理对策彻底解决了问题。

## 故障分析

主柱塞起着对下横梁与工作缸的定心和导向作用,4.25t 的主柱塞通过法兰固定在梁下部。为了找到主柱塞法兰断裂的真正原因,对设备的结构进行了如下的详细分析。

### 设备稳定性分析

上下横梁的上下运动只靠双立柱作导向和定心作用,在受锻造偏心载荷时,由上横梁、立柱、下

横梁组成的框式结构机架发生倾斜,致使主柱塞受侧向偏心力,设备稳定性不好。由于此缺陷是厂家设计上的问题,难以改进,只能正确操作,避免偏心载荷的产生。

进一步分析,偏载后全部弯曲应力作用在两根立柱的导向套和主柱塞法兰上。引起法兰肩部开裂原因有三个:(1)偏心锻造力过大。(2)立柱的导向套间隙过大。(3)法兰承载能力过小。

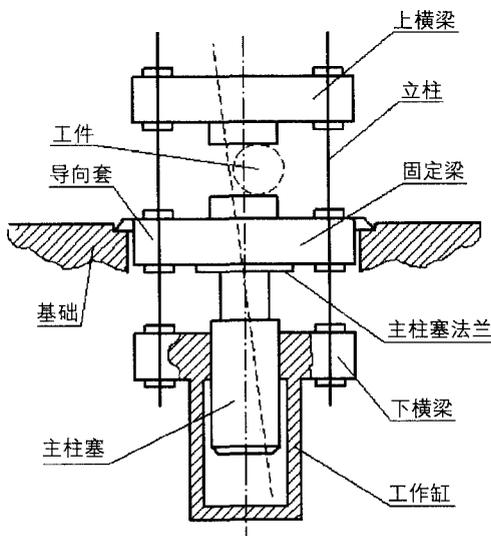


图 1 水压机原理图

偏心锻造力是锻造时工件偏离设备中心线引起的。由于工件较大，且是用操作机夹持，难于精确定位，操作时也没有减少偏心锻造力的有效措施。立柱的导向套间隙调得过小，立柱会被拉伤，所以利用减少导向套间隙来减小偏心力是行不通的。惟有从增加法兰承载能力入手。

### 法兰承载能力分析

法兰与主柱塞是同一整体的锻件通过机械车削而成，材质为45钢，法兰外径为 $\phi 640\text{mm}$ ，厚度为50mm，由8条M30螺栓与梁固定。在上一次断裂维修时，已把法兰厚度增加到60mm，由16条M36 $\times$ 3螺栓固定。

(1)不发生偏心锻造时，法兰面均匀地与固定梁接触，柱塞不受偏心力作用，工作时的正压力均布于法兰圆周平面上，如图2所示，法兰只受到剪应力作用。图中 $N_1$ 为法兰所受挤压力， $N_2$ 为螺栓受力。

通过对法兰的剪切强度校核计算，法兰是安全的。由于全部紧固螺栓受力均匀，螺栓也是安全的。

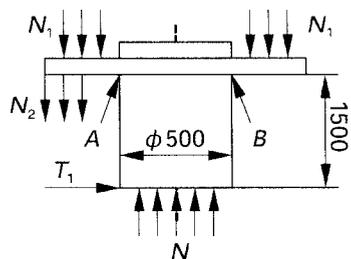


图2 法兰受力模型

(2)发生偏心锻造时，偏心力 $T_1$ 在A处产生拉应力，与剪应力相抵消，与偏心力 $T_1$ 在B处产生压应力，正好与剪应力叠加。因此，B处为断裂的危险处，如图3所示。

假设导向套不受偏心力 $T_2$ ，则主柱塞受偏心力 $T_1$ 达到最大值。由图3中水压力 $N$ 作用点处的力矩平衡算得：每条螺栓受拉力为： $N_2 = 323\text{kN}$ ；各螺栓处的法兰受压力 $N_3 = N/16 = 394\text{ kN}$ ，由于 $N_3 > N_2$ ，所以螺栓不受偏心拉力，螺栓也是安全的。

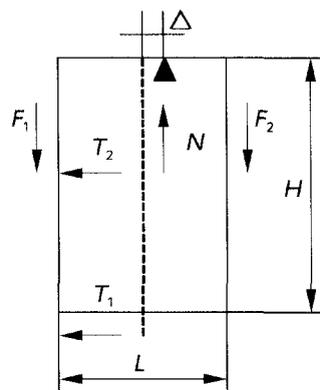


图3 偏心力分析图

由于法兰与固定梁紧密接触，所以使用悬臂梁模型计算弯曲应力，偏心力在危险处产生的弯曲应力（压应力）计算：

截面上的弯矩

$$M = T_1 \times 1.5 = 315 \times 1.5 = 472\text{kN} \cdot \text{m} \quad (1)$$

所求应力的点到中性轴的距离： $y = 0.25\text{m}$

截面对中性轴(z轴)的惯性矩：

$$I_2 = (\pi \times D^4) / 64 = (\pi \times 0.54) / 64 = 3.066 \times 10^{-3} \quad (2)$$

得弯曲应力

$$\alpha = (M \times y) / I_2 = (472 \times 10^3 - 3 \times 0.25) / (3.066 \times 10^{-3})\text{MPa} \approx 39\text{MPa} \quad (3)$$

由于 $\tau > \tau_i + \sigma = 106\text{MPa}$ ，所以法兰是安全的。

综合上述计算联系法兰开裂的时间间隔分析，在设备安装使用15年后法兰开裂，但经修复开裂的间隔在半年到一年之间。得出如下结论：前两次修复失败的根本原因出在法兰焊接问题上，而非法兰的强度不够。

分析前两次法兰焊接工艺，我们发现前两次都是直接用45钢法兰直接对焊，由于主柱塞材质为45钢，属于中碳钢，焊接性能较差，容易产生焊接缺陷，从而在缺陷处产生应力集中，在剪应力与弯曲应力（压应力）的共同作用下，法兰在此处首先开

裂,进而整个法兰开裂,连接螺栓断裂。

## 主柱塞的修复

针对法兰焊接存在的问题,吸取前两次直接焊接45钢法兰的教训,制定了合理的焊接方案:用焊接性较好的16Mn代替45钢,减少焊接缺陷。16Mn的许用应力 $\tau = 150\text{MPa}$ ,强度比45钢低,当 $\tau > \tau_1 + \sigma = 106\text{MPa}$ ,法兰是安全的。

### 主柱塞焊接分析

若仍按普通低碳钢焊接工艺施焊,则热影响易产生硬脆的马氏体,易开裂。同时,在焊接时必须采取特殊的工艺措施才能避免裂纹产生。主要是焊前预热,控制层间温度以降低焊缝冷却速度。

### 焊接材料和方法

焊接方法分两部分。首先堆焊16Mn材料作过渡部分,然后再与法兰对接焊,由于主柱塞体积大,堆焊工作量大,所以选择埋弧自动焊进行堆焊过渡层,而法兰与过渡层为对接焊缝,所处位置只能使用手工焊,选用低氢型等强度的J507焊条。

### 工艺要点

(1)坡口准备。主柱塞车去裂纹部分并着色检查确认无缺陷后,补焊坡口车成弧形坡口 $R=110\text{mm}$ ,如图4所示。

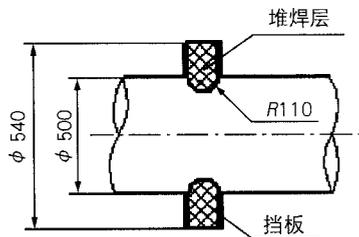


图4 过渡层堆焊工艺图

(2)工艺措施。为防止产生裂纹,堆焊前主柱塞整体进炉预热,预热温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ ,焊接过程中层间温度控制在 $150\sim 200^\circ\text{C}$ 之间,最好保持连续性焊接,若中途停止,则要立即进行后续热处理,温度为 $350^\circ\text{C}$ ,保温5h,下次焊前仍须预热。堆焊时,为

防止熔融金属下淌,保证良好成形,在堆焊部分之间焊两块挡板。

焊后粗车削过渡层,并在B处圆周设 $R=80\text{mm}$ 的过渡圆弧以减少应力集中。

堆焊的过渡层与法兰用手工焊接,母材为16Mn,焊接性良好,但考虑到其厚度大,为防止出现裂纹,焊前仍须预热,预热温度为 $150^\circ\text{C}$ 左右,采用多层多道焊,为减少焊接变形,要求两名焊工对称同时施焊。

### 焊后热处理

主柱塞体积大,对接部分厚度大,焊接时产生残余应力。由于主柱塞承受冲击载荷,因此焊后必须进行消除内应力热处理。热处理曲线如图5所示。

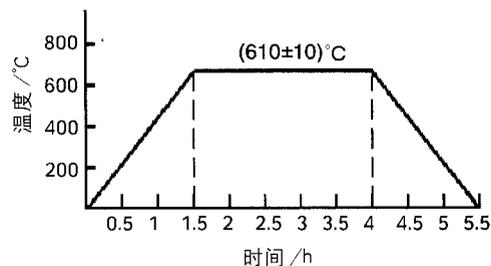


图5 热处理曲线图

### 机械加工

焊后主柱塞法兰面先进行车削加工,车削到60mm,并确保法兰面与主柱塞中心线垂直。车削好法兰面后,再校正划线,用镗床镗出 $\phi 38\text{mm}$ 的螺孔。

## 结束语

对锻造水压机存在的问题,从锻造偏心力的角度分析主柱塞法兰和螺栓被破坏的原因,具体措施达到了修复的目的。使用两年后经过检测发现,主柱塞不再发生法兰开裂故障。