

曲轴芯孔断裂的失效分析

滨州海得曲轴有限责任公司 (山东 256600) 李永真 孙腾蛟 王文涛

我公司某型号四缸内燃机曲轴,在取样做疲劳试验过程中,所有子样运行 20 多万次后位于曲轴的芯孔断裂,如图 1、图 2 箭头所指为裂纹源起始部位,属非正常断裂,且疲劳强度远没达到客户的要求。其材质要求是 QT800-3,疲劳强度要求承载 $1900\text{N} \cdot \text{m}$ 弯矩载荷循环 10^7 次以上,加工路线:金属型铸造→正火→机加工→圆角滚压。



图 1 曲拐断面



图 2 曲拐断面

1. 断口及材质检验

如图 1 所示断口特征,裂纹源位于靠近曲柄端的芯孔,裂纹扩展至曲柄梢断裂。曲轴的连杆芯孔的作用:减轻本身重量,易平衡;减少浇铸过程的铸造缺陷;起加强筋的作用,增强曲轴的疲劳强度。芯孔面为铸造面而非加工面,允许一定的表面粗糙度。

沿断口取样检测结果:球化 2 级,石墨大小 6

级,珠光体 90%,抗拉强度 860MPa,伸长率 4%,符合技术要求。断口金相组织如图 3、图 4 所示。

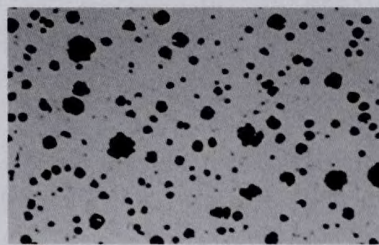


图 3 腐蚀前断口金相

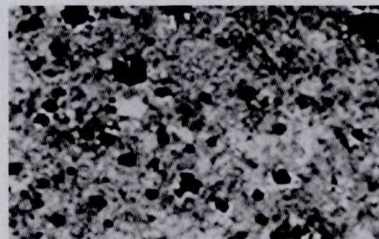


图 4 腐蚀后断口金相

2. 工艺分析

(1) 正火过程 工艺曲线如图 5 所示。由于是流水线作业,保温后出炉喷雾吹风约 30min 快速冷却至室温,实际上雾冷几乎是喷水冷却。冷却方式不符合热处理标准对正火工艺的要求,即将钢铁件加热到临界点以上的适当温度,保持一定的时间后在空气(风冷或空冷)中冷却得到珠光体组织的热处理工艺。冷却方式的不合理,造成曲轴本身的残留内应力非常大。

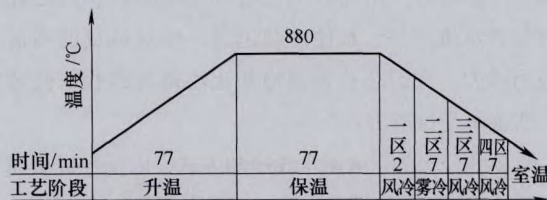


图 5 流水线正火工艺曲线

(2) 圆角滚压 曲轴是内燃机中最重要的零件之一,它与气缸、活塞、连杆等组成发动机的动力源装置,并由曲轴向外输出功率。曲轴在工作时承受交变载荷,主轴颈和连杆颈圆角过渡处属于曲轴强度的薄弱环节,轴颈与曲柄臂过渡圆角在切削或磨削加工后刀痕存在应力集中,长期的高速旋转运动和较大的交变负荷应力将有可能造成曲轴圆角处特别是连杆圆角处产生裂纹或断裂。

针对曲轴的工作特点,我公司采用先进的曲轴滚压技术对曲轴颈圆角进行滚压处理,滚压后表面形成一种硬化层和保持残留压应力,使曲轴强度薄弱环节主轴颈和连杆颈圆角过渡处得到强化,同时减小了曲轴圆角表面粗糙度值,提高了曲轴整体疲劳强度。

(3) 疲劳试验 疲劳强度是衡量曲轴综合力学性能的重要指标,利用疲劳试验测得弯曲疲劳中值是控制发动机曲轴可靠性的基本手段,其原理是:给曲拐施加一定的弯矩,使曲拐以试验设备机械系统固有的频率和幅度承受循环载荷而进行的疲劳试验;其目的是检测样品母体能经受规定的循环基数而不产生裂纹或断裂的疲劳承载能力。

曲拐在疲劳试验过程中,如出现断裂,裂纹源位置一般如图6所示,产生于连杆圆角最薄弱的部位,并沿着圆角约45°方向往曲柄梢端扩展至断裂。

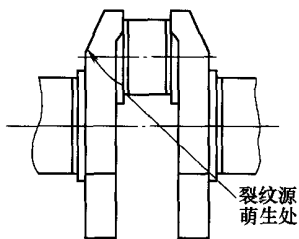


图6 曲拐断裂示意

3. 结果分析与讨论

原正火工艺(见图5)是880℃保温结束出炉冷却,在雾冷区,而实际工艺过程是喷水冷却,芯孔部位有水流流过,致使冷却迅速,相对造成的残留应力极大,且因芯孔表面冷却比心部冷却快,使芯孔表面承受拉应力。

就我公司的正火流水线冷却方式,以及经机械加工后,产生极大的残留应力,而没得到及时的消除。

曲轴经圆角滚压强化后,使主轴颈和连杆颈圆

角处疲劳强度最薄弱处提高了60%~100%。在疲劳试验中,连杆轴颈圆角以及与圆角处于同一受力平面方向的芯孔同时承受拉压循环载荷,致使疲劳裂纹的产生扩展不会按图6所示进行,而是由于有正火所造成的极大残留应力的存在,在芯孔边缘拉应力最大的部位裂纹萌生并扩展至曲柄梢端而断裂(见图1、图2)。

4. 所采取的措施

像这样的曲轴如果装机后,在运转过程中会发生突然断裂,造成极大的损失。为此,我公司迅速采取措施,针对正火流水线的正火工艺进行整改,如图7所示。采用风冷,利用余热自回火消除或减少组织应力、热应力,并且在粗加工后转精加工前,加高温回火工序(工艺曲线见图8),以消除热处理及机加工所产生的残留应力。

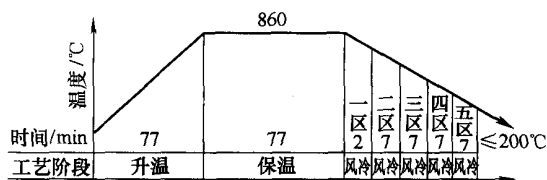


图7 流水线改进后正火工艺曲线

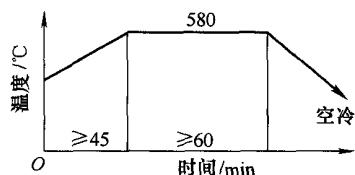


图8 回火工艺曲线

经正火工艺改进及加回火工序后进行生产加工,取样在相同的试验设备上疲劳试验,10个试样均能在1900N·m弯矩载荷循环10⁷次以上,且增加步幅载荷到2200N·m运行,在曲拐的连杆R圆角处断裂(见图6)。

5. 结语

我公司在疲劳试验过程中曲拐位于芯孔处断裂,不是正常断裂,而是应力断裂,是由于正火过程喷雾冷却不合理,冷却时间太短,造成极大的残留内应力,且芯孔处残留的拉应力最大,在疲劳试验中承受循环拉压应力,使其在远低于材料的疲劳强度情况下,位于残留拉应力最大的芯孔边缘处断裂。经及时采取纠正措施,改进工艺,获得理想效果,避免了批量废品事故发生。MW (20120511)