

曲轴加工表面粗糙度的影响因子浅析

龚顺行 何聪 莫瑜

上汽通用五菱汽车股份有限公司重庆分公司

摘要：曲轴的旋转是发动机的动力源，其表面粗糙度作为加工质量的重要评价特征，研究其影响因子具有重要意义。本文主要介绍曲轴的毛坯金相、抛光工艺、抛光机等因素对曲轴表面粗糙度的影响，通过分析其失效机理并对相关过程加以控制，实现了表面粗糙度的改善。

关键词：曲轴；表面粗糙度；金相；工艺

0 引言

曲轴的材质主要为铸铁和锻钢，其结构主要由心轴、油封、平衡块、油孔、主轴颈和连杆颈组成（图 1）。主轴颈和连杆颈的表面质量要求极高，通常通过 CNC 加工中心粗加工、磨床精加工、抛光机超精加工达成，其中，抛光机通过抛光带对油封、主轴颈、连杆颈和止推面抛光，以满足表面粗糙度 $Ra0.15\mu m$ 的产品设计要求。

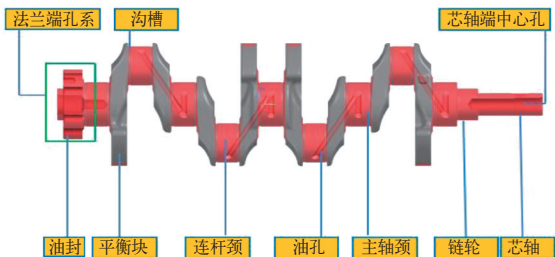


图 1 曲轴结构示意图

1 曲轴表面粗糙度的影响因素及相关参数推荐

1.1 金相的影响

铸铁曲轴的金相评价指标主要为铁素体含量、牛眼、球数和球化率，为保证曲轴具有良好的性能，其金相控制标准建议为：球化率最低 80%，球数最低 100 PCS/mm²，铁素体含量 5% ~ 20%。牛眼最低 15%（被 75% 的铁素体包围）。其中球数与球化率对于曲轴表面粗糙度影响较大，当球数低于 100 PCS/mm² 或球化率低于 80% 时，均会导致曲轴抛光后表面出现雾状，造成表面粗糙度超差（图 2）。

对不同状态的工件进行金相分析，结果如图 3、图 4 所示。

曲轴金相的石墨球数及球化率超差常伴随铸件石墨尺寸大，高速加工中会加剧石墨剥离，导致加工面位置

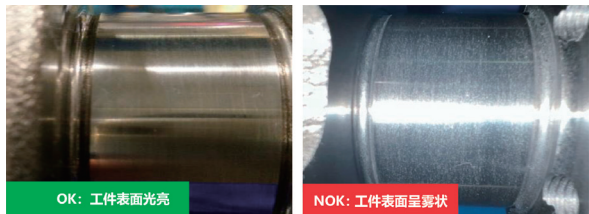
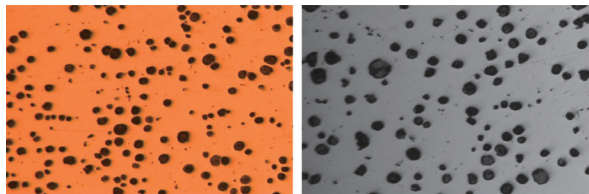
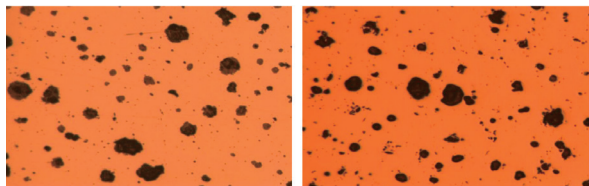


图 2 曲轴抛光后表面对比



100X-1 金相：无异常
1) 石墨球数 323 PCS/mm²；
2) 球化率 94.3%。
100X-2 金相：无异常
1) 石墨球数 217 PCS/mm²；
2) 球化率 88.8%。

图 3 曲轴表面光亮，表面粗糙度 $Ra < 0.15\mu m$



100X-3 金相：石墨球数不合格，球体偏大
1) 石墨球数 56 PCS/mm²；
2) 球化率 85%。
100X-4 金相：球化率及石墨球数不合格
1) 石墨球数 69 PCS/mm²；
2) 球化率 77%。

图 4 曲轴表面呈雾状，表面粗糙度 $Ra > 0.15\mu m$

出现碳坑，造成加工表面可以观测到雾状现象及表面粗糙度超差。

1.2 抛光带的影响

抛光带颗粒度单位用 MIC 表示，是指镶嵌在抛光带上磨粒的大小（40 MIC 表示砂纸粒度最大为 40 μm）。曲轴轴颈表面粗糙度值随着抛光带颗粒度的减小而减小，但抛光带的颗粒度越小，抛光带的成本越高，且抛光时间越长。所以选择抛光带颗粒度时，需要综合考虑，我公司粗抛站选用的是 40 MIC，精抛站选用的是 20 MIC。

1.3 抛光压力的影响

抛光压力是指液压缸通过抛光臂施加到工件表面的压力，通常抛光压力越大，在相同条件下曲轴的去除量会越大。但是对于曲轴表面粗糙度而言，并不是抛光压力越大，表面粗糙度越好，按照我公司曲轴表面粗糙度 < 0.15 μm 的控制要求，建议将抛光压力控制在 12 ~ 20 bar（1 bar=0.1 MPa）。

1.4 抛光时间的影响

抛光时间是指抛光带与曲轴接触之后，曲轴在正转与反转过程中的有效持续时间总和。正转与反转的时间和转速需保持一致，抛光时间与转速配套使用，抛光最后阶段的旋转方向必须和曲轴在发动机内工作时的旋转方向保持一致。通常，抛光时间控制在 12 ~ 20 s，我公司的抛光工艺分为粗抛光和精抛光，精抛光的正转和反转时间均为 3 s、转速均为 100 r/min，精抛的正转和反转时间均为 5 s、转速为 100 r/min。

1.5 抛光靴的影响

抛光靴（图 5）用于压紧抛光带，使抛光带与曲轴轴颈表面贴紧，在 1 号粗抛站和 2 号精抛站，上下抛光靴工具有坚固的精确研磨衬垫，用于支撑磨料抛光带，抛

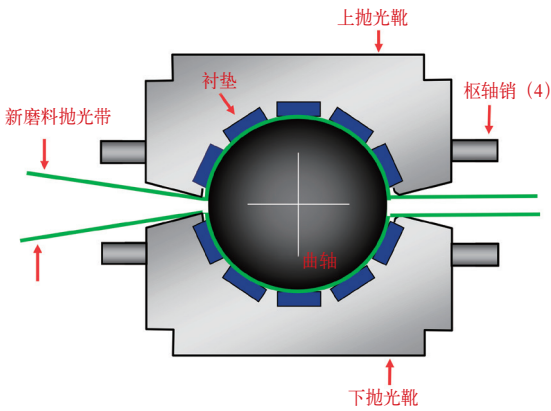


图 5 抛光靴示意

光靴衬垫的加工半径符合曲轴的平均加工直径和微抛光带厚度之和。如果抛光靴衬垫发生磨损，将会导致抛光带不能贴紧曲轴，抛光能力将变差，最终导致曲轴轴颈粗糙度超差，严重时抛光带将发生褶皱并且断带。因此，我们需要控制抛光靴寿命，我公司抛光靴寿命为 80000 件。

2 结论

曲轴的旋转是整个机械系统的源动力，其加工表面质量与发动机的功能和使用寿命息息相关，表面粗糙度作为加工质量的重要评价特征，研究其影响因子具有重要意义。曲轴轴颈表面粗糙度直接影响发动机的寿命、效率和油耗，毛坯金相和抛光带颗粒度对表面粗糙度的影响尤为明显，我们需对每一个可能影响粗糙度的因子都加严控制。本文从人、机、料、法和环进行分析，重点介绍了曲轴的毛坯金相、抛光工艺及抛光机等因素对曲轴表面粗糙度的影响，通过分析其失效机理并对相关过程加以控制，实现了表面粗糙度的改善。

（上接第 15 页）

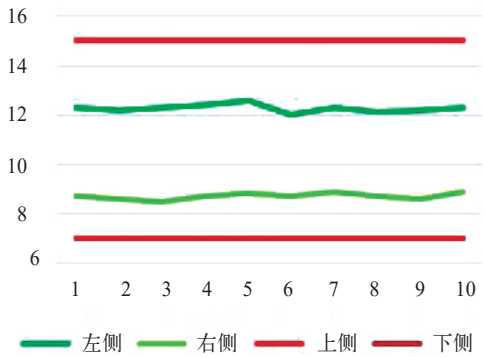


图 6 调整后复检力矩

的转角监控，并计划在未来发生此类问题后，重新启用隔热罩限位辅具，按照从右到左的拧紧顺序，依次采用 11.7 N·m、8.1 N·m 的目标力矩进行拧紧，以彻底解决该问题。

4 结论

针对被拧紧部件一端缺少角向限位且螺栓对称、角向布置的情况，该方案可作为通用方案，通过调整拧紧顺序、分别设定 2 次拧紧力矩，即可保证装配后角度一致性，并避免拧紧过程中由于零件随动对其他螺栓造成力矩衰减等问题。