

■ 神龙汽车有限公司/周贤军 刘裕安 陈安思

曲轴法兰中心孔跳动 工艺改进

我公司在试制一种新发动机曲轴时发现，该零件在加工过程中，满足各工序尺寸要求，但成品检测时发现法兰中心孔圆跳动（见图1）实测值0.02~0.08mm，超出产品圆跳动 $\leq 0.03\text{mm}$ 的要求，不合格品率在85%以上。由于不能返修，即使将跳动值让步到0.035mm进行100%挑选，最终118件曲轴中只有37件勉强合格，造成很大的经济损失，严重影响新发动机生产。经过工艺分析和多次加工验证，发现主要是因为工艺设计不完善所致。

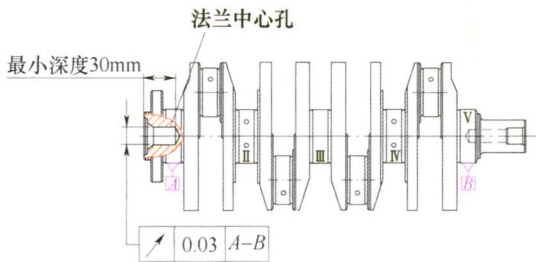


图1 产品对法兰中心孔的尺寸要求

改进前工艺

改进前的工艺（见图2），OP10两端加工机床夹持曲轴1、5主轴颈毛坯面，先钻底孔，留0.2~0.4mm铰孔余量，再用铰刀铰法兰中心孔至要求尺寸。加工法兰端和正时齿轮端的定位锥孔，后续工序以两端锥孔定位，加工主轴颈和连杆颈（见图3），从而间接保证法兰中心孔相对于1、5主轴颈的跳动要求。

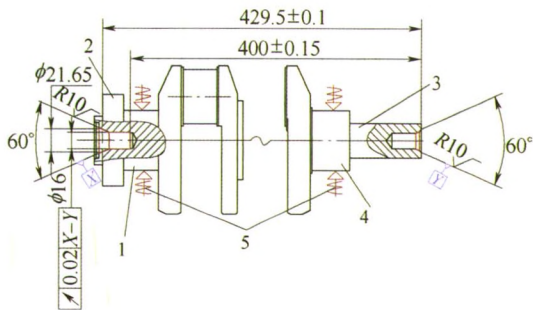


图2 OP10法兰中心孔工序

1.第1主轴颈 2.法兰端 3.正时齿轮端
4.第5主轴颈 5.V形夹具

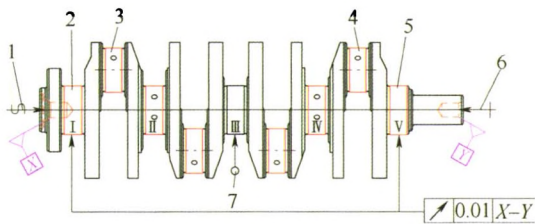


图3 OP90磨削主轴颈和连杆颈工序

1、6.顶尖 2.第1主轴颈 3.第1连杆颈 4.第4连杆颈
5.第5主轴颈 7.中心架支撑

该工艺的不足之处在于：

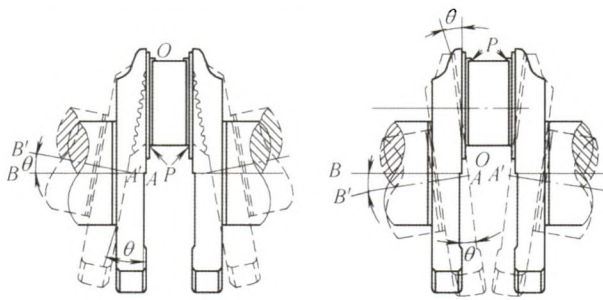
- 1) 法兰中心孔与主轴颈的位置关系通过锥面进行间接转换，存在工序基准转换误差，而且增加了组成环数，使得机床设备加工难度增加。
- 2) 工序安排不恰当，法兰中心孔在第一个工序加工完后，在后续工序（比如铣削和滚压校直）加工

时,曲轴存在挠曲变形,改变了中心孔初始加工时的位置。在高速铣削加工切削力作用下,曲轴发生弯扭组合变形,同时去除毛坯余量使曲轴残余应力重新分布,滚压校直使曲轴发生弹塑性变形,这些因素产生的变形量难以精确计算。

如图4所示,如果对连杆颈做周向滚压时,不考虑冷作硬化的影响,那么一定的滚压力 P 在连杆颈周向都会引起相同的弹塑性变形,滚压点 A 相对于连杆颈上的支点 O 也会产生相同的偏转角 θ ,而连杆颈两端将会发生刚性偏转。当滚压点处于连杆颈内侧和处于外侧时,其连杆颈两侧主轴颈轴线偏转半径 OA 不同,因此会引起曲轴弯曲变形。如果滚压力 P 变化,那么偏转角 θ 也随之变化。当滚压力作用在连杆颈与主轴颈轴线确定的平面内,并且作用在内侧的滚压力 $P=12\text{kN}$ 时,偏转角 $\theta=0.04^\circ$,其偏转量 $\lambda_1=0.031\text{mm}$ 。当作用在外侧的滚压力 $P=7.7\text{kN}$ 时,偏转角度 $\theta=0.025^\circ$,偏转量 $\lambda_2=0.019\text{mm}$ 。

当滚压一周后,曲轴的偏转量 λ 为内侧和外侧偏转量的合成,其大小为 $\lambda=\lambda_1-\lambda_2=0.031-0.019=0.012\text{mm}$ 。此时中心孔圆跳动变动量 δ 为偏转量 λ 的两倍, $\delta=2\times 0.012=0.024\text{mm}$ 。

通过上述分析,曲轴在受到切削力和滚压力作用时,会产生扰曲变形,改变了中心孔相对位置关系,从而对中心孔圆跳动产生影响。



(a) 滚压连杆轴颈内侧 (b) 滚压连杆轴颈外侧
图4 曲轴滚压偏转

3) 质量监控难度增加,只有OP90序将曲轴轴颈加工完成才能检查中心孔圆跳动是否满足要求,无法在OP10序加工完中心孔后对跳动进行直接测量,容易引起批量质量问题。

因此,需要对工艺进行改进。考虑尽量利用现有设备,降低投资成本,重新设计了新的工艺方案:在OP10序取消铰孔,将铰孔余量留到OP110序加工;在OP110序的机床上增加铰孔刀具,其余工序不用变动。

改进后工艺

改进后的工艺如图5所示,在OP90序加工完轴颈后,OP110两端加工机床夹持1、5主轴颈精加工面,用铰刀将法兰中心孔加工至尺寸。

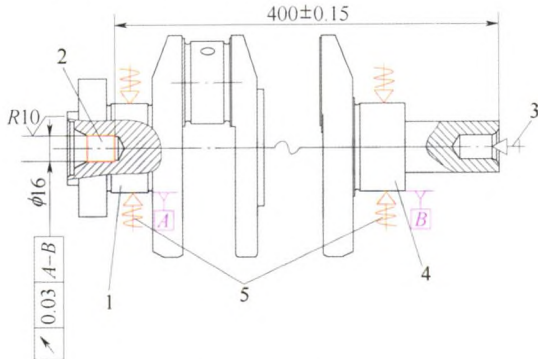


图5 OP110法兰中心孔工序

1.第1主轴颈 2.法兰中心孔 3.顶尖
4.第5主轴颈 5.V形夹具

改进后的工艺有如下优点:

1) 工序基准与设计基准统一,避免基准不重合引起的误差。加工和测量时以1、5主轴颈定位,保证了装夹定位基准、测量基准与设计基准的统一,与原工艺相比,减少了组成环 A_1 、 A_2 和 B ,工序尺寸由 0.02mm 放宽至 0.03mm ,降低了机床加工难度。

2) 工序安排合理,避免后续工序造成的不良影响。在轴颈精加工完成后才精铰中心孔,消除了曲轴在粗加工和滚压时扰曲变形的影响。同时,OP10序由于只钻中心孔底孔,将精加工移到OP110序,降低了对OP10序机床精度的要求。

3) 质量监控更便捷。原工艺在OP10序测量中心孔圆跳动,需要采用三坐标测量仪,测量时间长,不能对质量进行及时监控。改善后的工艺,采用V形块支撑1、5主轴颈,将杠杆百分表伸入中心孔内表面,旋转曲轴一周,即可测出中心孔圆跳动值,测量方便快捷,不需要专门的测量仪,能及时发现异常情况并调整,避免出现批量质量问题。

结语

改善后的工艺克服了原有工艺的不足,中心孔圆跳动实测值 $0.007\sim 0.026\text{mm}$ 。大批量生产跟踪,中心孔圆跳动合格率达99.9%,满足质量要求。

关键词:

曲轴 法兰 中心孔跳动 主轴颈

(收稿日期20131222)