

发动机连杆弯曲度误差的消除

连杆是发动机的重要部件之一，担负着将活塞的往复运动传递到曲轴并转换为曲轴的旋转运动输出动力的功用。连杆小头孔内安装活塞销，承受活塞上的巨大燃烧爆发力，大头孔内安装曲轴的连杆颈，承受负荷阻力。若大小头孔轴线不平行，则连杆大小头孔内的合力连线将不通过连杆杆身中心线，当连杆大小头孔内合力为压力时将使杆身弯曲，而该合力为拉力时将使杆身由弯变直，连杆杆身不断承受如此交变负荷后最严重的后果将是杆身断裂。某型发动机连杆在生产过程中出现大量的大小头孔平行度（弯曲）不合格现象，针对此问题，公司进行了一系列的检测分析并采取了相应措施后，使问题得到解决。

问题提出

对某连杆生产线一段时间内的不合格品数量统计发现，在该生产期间，连杆大小头孔轴线平行度（弯曲）不合格品数量巨大，占全部不合格品总量的94%，是当前急需解决的主要质量问题。

问题确认及不合格品处理措施

对精镗连杆大/小头孔加工工序，八副夹具各安排加工50件，共加工400件，全数测量连杆大小头孔轴线平行度（弯曲），经统计分析发现弯曲度为正值有393

件，其中不合格60件，负值有七件全部合格。

正值表示连杆B面（为定位面）在下、A面在上时，连杆杆身向下凹；负值示连杆A面（为定位面）在下、B面在上时，连杆杆身向下凹。

不合格品处理方法：弯曲度为正值不合格时将连杆A面在下B面在上放置在平板上，用橡胶榔头敲击B面杆身。若弯曲度为负值不合格，则将连杆B面在下、A面在上放置在平板上，用橡胶榔头敲击A面杆身。

连杆大、小头孔精加工原理

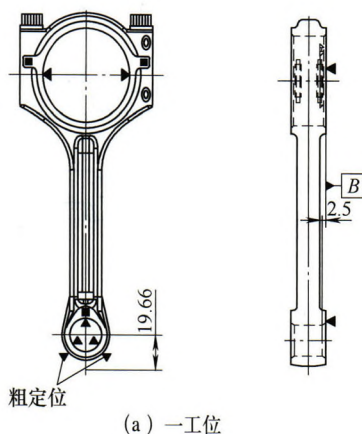
图1所示为该连杆加工装夹定位要求。该工件的精加工是在一台组合数控镗铣机床上完成，有四个加工工位（见图2~图5），使用三个工位，四工位珩磨大头孔工艺已取消，每个工位有两副夹具。

1) 一工位为上/下料工位，工件小头部位通过V形块粗定位，然后大、小头的心轴进行定位：小头心轴限制两个自由度，大头心轴限制一个自由度，A面定位限制三个自由度。在此工位完成对小头B面铣薄（ 2.5 ± 0.06 ）mm。

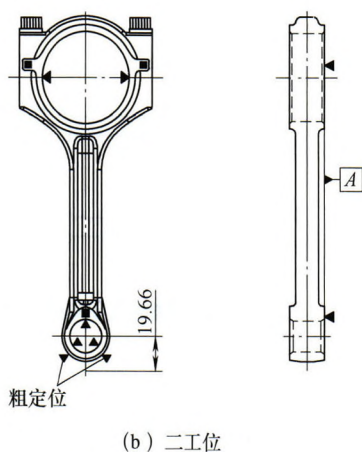
2) 在二工位，机械手反转工件进行二次定位并装夹，工件小头部位通过V形块粗定位，然后大、小头的心轴进行定位：小头心轴限制两个自由度，大头心轴限



制一个自由度，*B*面定位大头两个定位块、小头一个定位块高出大头定位块2.5mm，共限制三个自由度。在此工位完成两个工步：对小头*A*面铣薄2.5mm，然后大/小头孔内的心轴退出定位后半精镗大头孔。



(a) 一工位



(b) 二工位

图1 连杆加工定位示意



图2 一工位

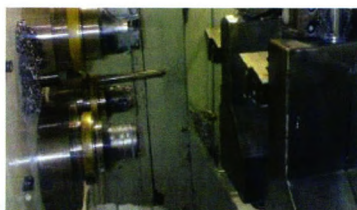


图3 二工位

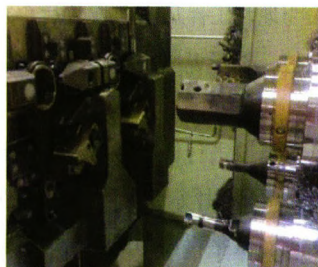


图4 三工位

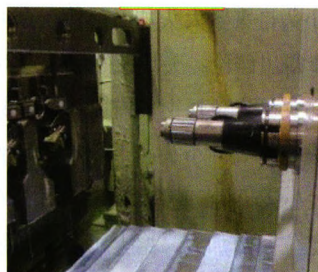


图5 四工位

3) 在三工位，工件仍延用二工位的定位和装夹，完成对大、小头孔的精镗。

连杆大、小头孔轴线平行度（弯曲）超差原因调查

检测五件弯曲度超差的连杆，发现大小头*B*面高度差2.5mm，尺寸分布均靠近上公差限，要求操作工调整此尺寸至公差下限附近后，弯曲度超差件数量有较大幅度下降。由此得出，大小头*B*面高度差2.5mm尺寸分布是造成连杆弯曲的一个原因。

对已隔离的1621件弯曲度超差的连杆按其锻造模具号进行分类（见附表）。从附表中可见，不同模具锻造的连杆精加工后，导致大、小头孔轴线平行度（弯曲）超差的影响程度有较大差异，其原因可能是模具制造精度、使用后的磨损程度等存在差异，可以确定毛坯模具质量状态是影响连杆弯曲度的一个原因。该原因将使锻钢材质的连杆毛坯产生初始弯曲度，在后续的金属切削加工过程中不能完全消除此原始弯曲度。但由于连杆毛坯图样对大小头孔轴线平行度没有要求，目前只能做到当发现某型号模具锻造的连杆弯曲度超差数量过大时，及时通知供应商检修模具或更换新模具。

连杆弯曲度超差与毛坯模号关系表 （单位：个）

模号	U2	U1	T10U	T8	T9	T4	T6	U4	U3	合计
不合格数	78	140	154	10	2	15	23	586	613	1621

加工时人为地将工件反方向摆放后，加工两件，弯曲度均为负值，初步说明夹具夹紧时将工件压弯变形。

对夹具磨损情况进行检查，对八副夹具中某一夹具定位块加垫0.05mm厚铜皮，试加工50件连杆，结果33件大小头孔轴线平行度超差。对该夹具先压紧大头，则小头B面与定位块有约0.02mm的间隙；松开大头，先夹紧小头再夹紧大头加工两件，弯曲度全都超差。由此初步得出结论：夹具大/小头定位块磨损造成工件定位面与夹具定位块之间有间隙，夹紧后连杆杆身弯曲是造成连杆大、小头孔平行度（弯曲）超差的一个原因。大小头B面高度差2.5mm尺寸分布均靠近上公差限将使定位间隙加大，增大了弯曲度超差的可能性。

连杆金属加工弯曲机理分析

图6演绎了连杆精镗大/小头孔过程，由于定位块与工件之间存在间隙，造成加工后的连杆大小头孔轴线弯曲度的机理。图6a示意一工位加工后的状态。图6b示意二工位。若定位块滑动后与小头端面完全接合，此时不会压弯连杆。图6c示意当小头定位块磨损与小头端面存在间隙或大头定位块磨损致小头比大头升高 δ 时，在夹紧力作用下连杆弯曲。图6d示意绿色线条表示小头孔或大头孔加工后的轴线，理论上与另一孔轴线平行（取决于设备上大、小头刀具主轴的平行度，由于该设备为从德国进口，设备验收时已将两轴平行度调整很好，可忽略此平行度误差），但已与定位端面不垂直（红色线条表示垂直于定位面的理想轴线）。图6e示意加工后夹紧力消失，连杆弹性恢复，但大小头孔轴线已不平行了。结果是定位面方向扩大，非定位面方向收小呈“八”字形。

根据上述分析，小头定位块与小头端面存在间隙 δ 或将小头顶升 δ 时，在夹紧力作用下连杆弯曲，造成加工后小头孔轴线与大头孔轴线有夹角，且定位面方向为夹角放大方向，即平行度为正值，直观感觉为连杆弯曲，且向定位方向拱起，返工方法就是敲击此拱起方向的连杆杆身。实际B面为定位面，对平行度超差的连杆返工就是敲击B面杆身。也能解释将A面作为定位面的试验结果要敲击A面杆身进行返工的原因。

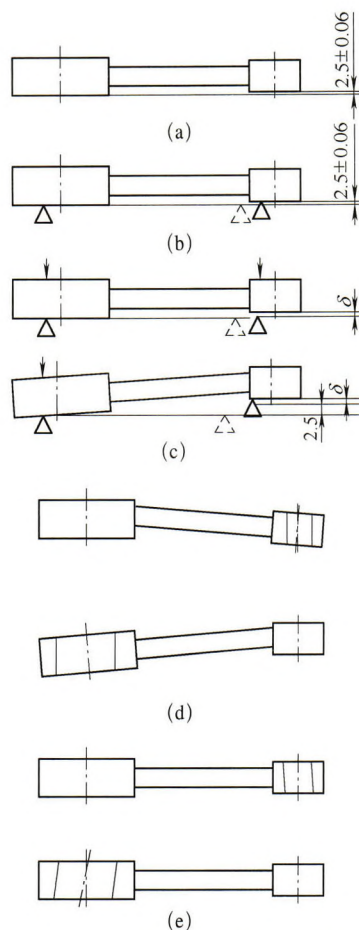


图6 连杆金属切削加工弯曲机理示意

结语

综上所述，毛坯自身弯曲度和夹具定位面高度差较大是造成此问题的两个主要原因，因此确定下列改进措施：统计发现某模号毛坯连杆弯曲度超差件较多时，通知毛坯供应商更换模具；制作新的夹具定位块作为备件，定期检查夹具定位面高度差，当发现此差值过大时更换夹具定位块。

采取上述措施后，连杆大、小头孔轴线平行度（弯曲）超差不合格件数量大幅下降，每班仅十多件，效果十分显著。

关键词：

发动机连杆 弯曲度超差 消除 误差

(收稿日期20131011)