

■ 航天科工第四研究院红阳机电公司/吴国君 聂绪胜 谢慧娟

■ 航天科工第四研究院红阳机电公司科技公司/王 强 凌 冰 王景遥

发动机缸体测温孔加工关键技术

国内某大型合资汽车制造公司自主开发的某款发动机在研制阶段,需要做水套在台架试验过程中的温度变化检测,要求在发动机缸体上加工32个安装测温传感器的小直径深孔,测温孔均为台阶孔,最小直径0.6mm,深度最深达136mm,且均为复合角度孔,加工难度大。之前,该公司发动机缸体测温孔的加工均委托在国外加工完成,由于国外加工费用高,加工周期长,该公司经过调研权衡,最后决定把该任务委托红阳机电公司完成。笔者参与了加工测温孔加工工艺方案设计、加工设备选择、工艺装备设计与制作、刀具的设计与制作、加工坐标原点设定及检测方案制定的全过程工作,总结出一些加工发动机缸体测温孔的经验。

产品简介及加工要求

该大型合资汽车制造公司自主开发的某款发动机缸体为三缸全铝发动机缸体,排量1.4T,要求在发动机缸体两个不规则侧面上加工32个安装测温传感器的小直径深孔(见图1),国内还没有采用金属切削手段加工发动机缸体测温孔的先例,该汽车制造公司之前的发动机缸体测温孔的加工均是在法国完成。据了解,法国一般是选择特殊的电腐蚀加工方法完成,加工费用高,周期长。选择金属切削加工的方式来加工测温孔,难度大,但可以大大节约成本,提高加工效率,所以我公司选择用金属切削加工完成测温孔的加工。

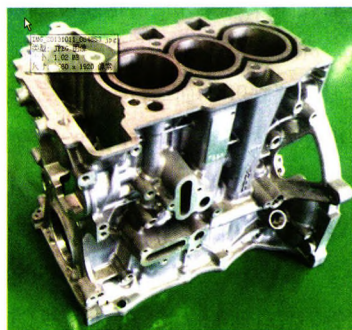


图1 发动机缸体

加工难点分析与解决措施

加工测温孔的主要难点有:加工的孔直径小,深度长,且均为台阶孔,对孔的同轴度要求高。加上缸体内部分布水套型腔,加工一般为断续切削,另外还有少数几个孔需要切削至缸体内的铸铁缸套上,切入铸铁钢套深大约2mm,加上刀具直径小,不便在刀具上设计内冷孔。由于孔较深,在加工过程中切削液无法充分进入加工部位,冷却效果差,恶化了切削环境,所以必须制作合理结构的刀具,选择综合性能材质好的刀具材料,确保刀具刚性与强度,才能确保刀具不被折断。测温孔均布置在发动机缸体两侧不规则面上,在加工过程中刀柄与工件易产生干涉,采用一般刀柄无法进行测温孔加工,必须选择加长细径刀柄进行刀具的夹持。加工孔呈复合角度,坐标原点难找。由于孔直径小且深,孔径、深度及位置度采用通用量具无法测量,采用三坐标检测也需要购置加长的测头。



工艺方案设计

加工设备采用四轴卧式加工中心（见图2），设备为德国HELLO公司原装进口，型号MCH250，设备主要参数为：转速14 000r/min，各轴全程定位精度0.004 8mm，第四轴旋转定位精度0.001°。



图2 MCH250卧式加工中心

以缸体缸盖面上两处已加工的两处 $\phi 12H7$ 孔定位。缸体上测温孔，均呈复合角，在加工时采用斜垫块工装定位，工作台旋转分度，采用深孔循环钻削的方式进行加工。具体加工安排：先加工大直径孔，再加工较大直径孔，单边留余量0.1mm，最后小直径孔与较大直径孔采用阶梯刀具一次加工至尺寸。由于委托方提供的缸体为已完成所有加工的缸体成品，在补加工测温孔过程中，需要在工装定位面涂抹航空润滑油对定位面进行保护，防止划伤工件，另外压点处需垫加铜皮，防止压伤工件。

工艺装备选择

1. 刀柄的选型

缸体测温孔分布在两侧不规则面上，加工过程中采用普通刀柄，往往会产生刀柄与工件干涉的现象，如果不选用细柄径加长刀柄，就必须制作超加长刀具。由于小直径刀具制作成超加长的结构，会使刀具刚性变差，所以，为确保加工整个测温孔工艺系统刚性，选择细柄径加长刀柄的方案优于选择将刀具制作成超加长结构的方案。经过筛选选用了ISCAR（伊斯卡）的两款迷你型刀柄（见图3），来加工测温孔，从而解决了在加工



图3 两款ISCAR加长刀柄

过程中产生工具与工件相干涉的问题，同时也最大可能地确保了加工测温孔时整个工艺系统的刚性。加工测温孔的刀柄与夹套明细表见附表。

加工测温孔的刀柄与夹套明细表

名称	型号	品牌
迷你型ER弹簧夹头刀柄	ST 16X100 ER11 M	ISCAR
迷你型ER弹簧夹头刀柄	ST 20X100 ER16 M	ISCAR
ER弹簧夹头	ER11 SPR 3-4	ISCAR
ER弹簧夹头	ER11 SPR 5-6	ISCAR
ER弹簧夹头	ER11 SPR 6-7	ISCAR
ER弹簧夹头	ER16 SPR 7-8	ISCAR

2. 刀具的设计与制作

选择加工中心采用深孔钻循环加工工艺方式来加工测温孔，由于刀具直径小，最小直径仅0.6mm，而刀具的长径比大，0.6mm孔的最大长径比达116倍，因此是否能确保加工顺利进行，加工出来的孔能否确保设计图样尺寸要求，关键要看刀具的强度与刚性。孔的加工方案怎么定，决定刀具结构怎样进行设计与制作。下面以缸体上的一个曲型测温孔为例，对怎样设计测温孔加工刀具进行阐述。

该典型测温孔为台阶结构，孔有三种直径，分别是 $\phi 7\text{mm}$ 、 $\phi 2\text{mm}$ 和 $\phi 0.6\text{mm}$ ，三个直径需要加工的深度分别是6mm、60mm和70mm。在这三种直径的刀具里，显然 $\phi 0.6\text{mm}$ 的刀具刚性与强度是最差的，第二是 $\phi 2\text{mm}$ 的刀具，所以在加工过程中应尽可能缩短 $\phi 0.6\text{mm}$ 刀具的切削深度，然后是要缩短 $\phi 2\text{mm}$ 的切深，这就要求合理安排工艺，首先是制作 $\phi 7\text{mm}$ 的专用键槽铣刀将第一个台阶孔加工至尺寸；其次制作 $\phi 1.9\text{mm}$ 的刀具预加工 $\phi 2\text{mm}$ 孔，留余量0.1mm是为了确保后续加工时，制作直径为 $\phi 2\text{mm}$ 、 $\phi 0.6\text{mm}$ 阶梯刀具，以确保加工 $\phi 2\text{mm}$ 、 $\phi 0.6\text{mm}$ 孔的同轴度，刀具的夹持柄部直径应尽可能大，可增强刀具的强度与刚性。为避免干涉，柄部夹持长度越短越好，这样结构的刀具既可满足加工刚性，同时又能确保孔的同轴度要求。刀具材料可选用钴基硬质合金材料，缸体上的32个测温孔均是上述列举的结构形式，只是每个孔的直径和深度不一致，所以均可按上述的工艺方案进行加工，刀具结构形式也可参照进行设计与制作（见图4）。

目前，国内浙江省常州市西夏墅镇集中了制作小直径刀具的众多刀具制造企业，该镇制作硬质合金刀具的实力强，信誉好，我们选择新时代刀具有限责任公司制作的小批量加工测温孔专用刀具，物美价廉，确保了缸

体测温孔加工的顺利进行。

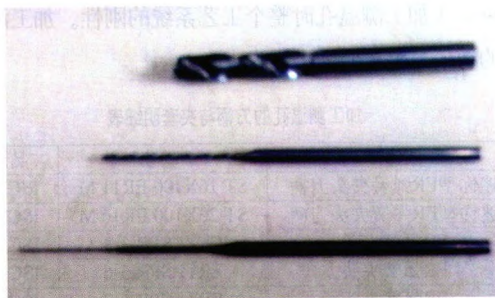


图4 加工曲型测温孔刀具

3. 夹具的设计与制作

发动机缸体上的测温孔均与缸体缸盖面与缸孔轴向呈复合角，如果采用五轴联动加工中心来加工，只需要制作一套工装一次定位便可完成所有测温孔的加工，但目前我公司缸体生产线无五轴加工中心，只能安排在四轴联动加工中心上来完成。32个测温孔与水平面呈角度的类型共五种，分别是 1° 、 2° 、 4.6° 、 7° 和 10° ，需要做五种角度工装进行工件定位装夹（见图5和图6），与缸孔轴线方向角度，可通过设备第四轴旋转分度来保证。由于是一次性使用，为节约工装成本，方便工装安装，在满足使用要求的前提下，工装体积越小越好，也不需要特种工艺（如热处理及表面处理等）工作，但工装的制作精度要求高，安装在斜面的两个定位销必须与斜面垂直。



图5 加工测温孔角度工装图

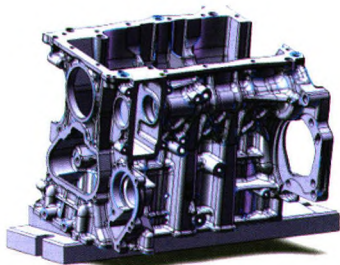


图6 加工测温孔缸体与工装定位装夹图

加工过程控制

1. 数控加工程序编制

测温孔的加工方式均为钻削，程序编制非常简单，

主要的难点在于寻找坐标原点。因为安装的定位销不是与水平面垂直安装的，所以，对刀时只能触及定位销的端面高点，返至原点的距离是通过计算机模拟计算出的数值，对刀的误差、与测量的误差都会相对较大，只有靠加工完首件进行检测后，根据实际的加工尺寸来进行调整。

2. 首件检测

测温孔加工委托方只提供了五件成品给我公司进行加工，最后必须交给委托方两件合格成品，所以用于工艺试验的试样件仅三件，用于验证工艺方案的可行性、刀具试切、程序参数调整、尺寸检测的试件数量相对较少，所以，加强首件检测工作是必要的，也是必须的。首件检测的目的主要是暴露出加工中的所有问题，以便后续加工过程中加以纠正。测温孔的很多尺寸大多为空间尺寸，主要的检测手段是购置加长小测头采用三坐标测量技术进行检测，必须做好检测记录，以便工程技术人员进行分析。

3. 做好工件清洁工作

发动机缸体对清洁度要求很严，细长孔的加工孔内的切屑不易排出，深孔内的切削液也不便排出，测温孔加工完成后，必须安排钳工去毛刺，采用清洗机进行整件的清洗，清洗完成后还需要用高压气枪对每一个孔进行吹气处理，只有这样才能确保缸体的清洁度要求。

结语

在加工缸体测温孔前，我公司对缸体测温孔加工的方案进行了认真的策划，并同委托方一起对加工的可行性方案进行了充分的论证，准备工作做得比较好，将只有采用电腐蚀加工的测温孔加工改为机械加工方式来完成取得了良好的效果。可以说，本次测温孔的加工在测温孔加工技术上取得了技术上的突破，不仅满足了测温孔的加工质量，而且大大节约了加工成本，缩短了测温孔的加工周期，改变了国内汽车制造企业印象中只有国外工业发达国家才能承揽加工发动机缸体测温孔的传统观念。

关键词：

发动机 缸体 测温孔 合金刀具

(收稿日期20131110)