

插装孔加工技术

■ 山西航天清华装备有限责任公司 (山西长治 046012) 骆新营 许军锋 侯姣姣 张 森 李晓波

摘要：通过优化插装孔加工参数，完善加工方法，定制专门的成形刀具以进一步降低切削力，杜绝了加工中的“喇叭孔”现象，提高了插装孔的加工精度及表面质量，解决了此类组合孔加工瓶颈问题。

关键词：插装孔；加工；成形刀具；切削方式；切削参数；宏程序

1. 插装阀及其阀孔结构

近年来，插装阀在航天产品中应用日益广泛，已应用的元件有电磁换向阀、单向阀、溢流阀、减压阀、流量控制阀及一些相关的比例阀等，如图1所示。使用上，螺纹插装阀可以简化管路连接，减少泄漏途径，减少污染物进入可能性。在不拆卸管接头的情况下，可以很容易地更换插装阀，且维修保养方便。螺纹插装阀装配如图2所示。螺旋插装阀及其阀孔的加工与生产已经实现标准化。



图1 常用螺纹插装阀



图2 螺纹插装阀装配示意

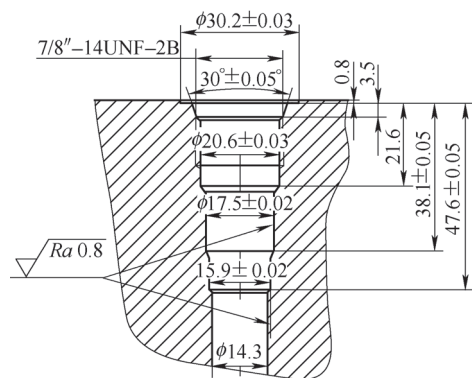
插装孔按结构分，主要有两腔、三腔、四腔和五腔等。图3所示为威格士C-10-3三腔孔。螺纹插装阀的腔孔尺寸及表面粗糙度要求都比较高，各孔的几何公差，比如同轴度要求一般在0.02mm以内，各孔之间一般以小圆角过渡。所以，对加工工艺提出了较高的要求。

插装孔多为多腔孔半封闭结构。受结构所限，加工过程中切屑不易排出，切屑与刀具易产生挤压，形成积屑瘤，影响表面质

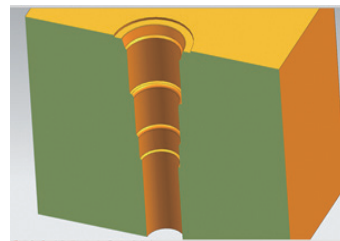
量。另外，受刀具、设备及加工方法等因素的综合影响，加工精度也不易控制。下面主要从刀具的选择、软件编程、宏程序编制和加工参数优化等方面进行较为系统的论述，以解决此类腔孔的加工瓶颈问题。

2. 优化加工方法

以铝质阀块为例，原来的腔孔加工流程为：制中心孔→钻孔→扩孔→粗加工腔孔→半精加工腔孔→精加工腔孔→加工螺纹→去除飞边及孔道杂质。



a) 尺寸要求



b) 结构示意

图3 威格士C-10-3三腔孔

由图3可知, 插装阀的腔孔是一组阶梯孔, 各孔的过渡处都有倒角、圆角等。过去都是手工编程, 过渡处的倒角、倒圆程序对一般的操作者而言, 编制难度较大, 工作量也比较大。如图4所示, 一般在粗加工时, 各孔过渡处的余量并没有去除, 导致在半精加工时, 加工到腔孔底部时, 刀具的切削力特别大, 机床负载急剧上升, 最大可达40%~50%。半精、精加工时, 负载过大, 易导致刀具损坏或加剧刀具磨损。另外, 刀具是在一种半封闭状态下进行切削, 由于容屑空间有限, 排屑效果不良, 再加上精加工腔孔时过大的负载, 容易导致刀具颤动, 或沿轴线产生一定的偏移, 产生“喇叭孔”现象, 最终导致腔孔孔径超差。

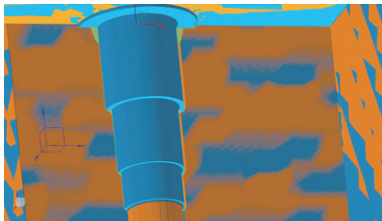


图4 传统腔孔加工方法示意

依前文所述, 需对腔孔的底部余量进行有效去除。可以利用自动编程软件进行编程, 生成腔孔程序后再进行加工。在半精加工腔孔时, 将第一个沉孔直接加工成形, 后续不再加工。各孔壁及底面单边留余量0.15mm。腔孔加工轨迹如图5所示, 加工效果如图6所示。

3. 刀具选用及注意事项

阀块材质一般为7A04-T6铝合金, 其为超硬铝, 切削性能好。选用硬质合金刀具进行加工。硬质合金刀具具有高硬度、

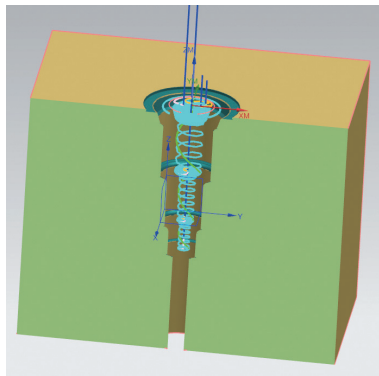


图5 腔孔加工轨迹示意

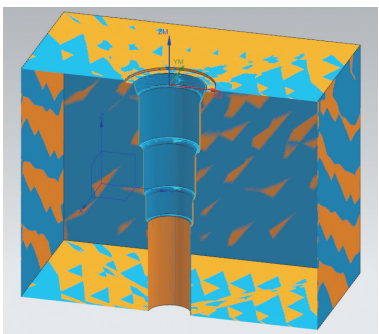


图6 腔孔加工效果

高耐磨性和高弹性模量, 化学稳定性好。另外, 由于零件表面质量要求高, 为保证不出现接刀痕迹, 最好选用整体硬质合金铣刀, 一次加工成形。整体硬质合金铣刀具有以下特点: ①切削刃规整, 直线度好, 容易获得较高的形状精度。②刚性好, 强度高, 容易获得较高的加工精度及表面质量。③切削刃长, 在精加工时, 零件轮廓可以一次成形, 加工效率高。

刀具的具体型号依据腔孔的规格确定, 尽量选用规格较大的整体硬质合金刀具。

腔孔成形刀具可依据腔孔尺寸进行定制。成形刀具一般是整体焊接式刀具, 即基体材料是高速钢, 切削刃为硬质合金材料。为保证刀具强度, 定制刀具时, 刀具尖角处应增加0.2~0.3mm圆角, 以提高刀具寿命, 减少刀

具由于负载突变而出现崩刃的现象。另外, 成形刀具的径向圆跳动量应控制在 $\phi 0.01\text{mm}$ 以内, 或者采用试件加工的方法, 验证刀具的加工精度, 此种方法比较通用。

常用成形刀具如图7所示, 铣削刀具如图8所示, 单齿螺纹铣刀如图9所示。



图7 常用成形刀具



图8 铣削刀具



图9 单齿螺纹铣刀

4. 切削方式的选择

在加工腔孔时, 过去一般都是采用分层加工方法, 此方法存在诸多不足之处: ①在加工过程中容易产生接刀痕迹。②每层加工时, 需有进刀和退刀步骤, 空行程较多。进刀时, 加工负载较大; 退刀时, 负载较小, 容易出现过切或者欠切现象, 所以需留出足够的精加工余量。

现在采用螺旋铣削方式进行腔孔半精加工。经验证, 加

工效果比较好，孔壁余量比较均匀，达到了加工要求。

螺旋铣削是一个连续的切削进给过程，切削过程比较平稳，切削力均匀，加工效率比较高。对于螺旋式加工，由于刀具侧刃的背吃刀量总是从零开始，逐渐线性地增大至规定值，而且每一次循环的侧刃最大背吃刀量仅为指定层降，因此可以最大限度地减少刀具的让刀现象，有效保证孔上下尺寸的一致性。另外，相对于分层加工，螺旋铣削每个孔只需一次进刀、退刀，减少了机床的空运行时间，能在一定程度上提高加工效率。

5. 切削参数的优化

采用优化方法进行加工，腔孔各处的余量均匀一致，可以省略粗加工成形刀具，直接使用精加工成形刀具对腔孔进行精加工。腔孔在加工过程中，由于各孔的深度不尽一致，各孔会逐一进入切削过程，在孔底部时，其加工负载会达到最大值。为保证切削过程的平稳性，需对加工参数进行优化选择。经验证，刀具在初始切入工件时，初始负载会比正常切削时的负载高5%~10%。在加工孔侧壁时，由于余量较少，切削力小，影响并不明显。在加工到离孔底部0.5mm时，为降低切削力，应将转速降20%~30%，进给速度依据实际情况确定，保证切削负载控制在10%~15%。腔孔较大时，允许负载适当增大。刀具在孔底时，应暂停1~2s，以进一步提高倒角处的表面质量。以加工C-10-3腔孔为例，在加工孔底部时，转速

设定为300r/min，进给速度设定为10mm/min。

6. 螺纹加工宏程序的优化设计

原螺纹加工程序通用性不强，改动比较麻烦。对其进行了优化设计。下面是改进后的海德汉系统通用单齿刀螺纹加工宏程序清单：

```

...
L X0Y0Z50C0R0 FMAX M3
Q2=15.88;  螺纹深度
Q3=14;    每英寸螺纹齿数
Q4=25.4*0.875/2;  螺纹大径
Q1=0.3;    径向余量
CALL LBL1; 调用子程序
Q1=0
CALL LBL1
Q1=-0.185
LBL
TOOL CALL 25 Z S2400 DL-0.1
DR+Q1; 调用单齿螺纹刀具
L X+0 Y+0 R0 F2000

```

表1 工艺方案改进前后的加工效果对比

序号	项目	优化前	优化后
1	过渡R角	存在接刀痕迹	圆滑过渡
2	几何公差	不易保证	全部保证
3	表面质量	效果不佳	表面粗糙度值达 $Ra=0.8\mu m$
4	刀具寿命	较低	比较高
5	加工效率	低	提高效率30%

8. 结语

通过对工艺方案的优化设计、刀具的合理选择及切削参数的优化，提升了腔孔的加工精度及表面质量，经装配试验，效果良好，为类似产品的加工提供了成功范例，具有很好的借鉴作用。

参考文献：

[1] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京：化学工业出版社，2007.

L Z-0.8 F2000 M13 ; 移动刀切削位置，启动主轴及切削液

Q5=Q2*Q3*360/25.4 ; 螺旋线旋转总角度

CC X0Y0 ; 设置圆弧中心

L X+Q4 Y+0R.F600

CP IPA-Q5 IZ-Q2 DR- F240 M13 ;

螺旋铣削螺纹

L X+0 Y+0 R0 F600

LBL 0 ; 子程序结束

L Z+50 FMAX M5 M9 ; 退刀

TOOL CALL 0; ; 刀具退回刀库

.....

程序说明：子程序的调用次数，可以依据实际情况进行调整。螺旋线的圈数不能超过15圈，即Q5的绝对值不超过5 400。若超过，则再增加编写一段螺旋线程序。

7. 加工效果

工艺方案改进前后的加工效果对比见表1。

[2] 李义军，等. 金属材料手册[M]. 北京：中国运载火箭技术研究院，2000.

[3] 哈尔滨理工大学，金属加工杂志社. 数控刀具选用指南[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2018.

[4] 梅沢三造，菅野成行. 硬质合金刀具常识及使用方法[M]. 王洪波，戎圭明，译. 北京：机械工业出版社，2009.

MW (收稿日期：20200416)