铰孔工艺过程中的质量控制

■ 江门市大长江集团有限公司 （广东 529000） 罗 杰

摘要： 介绍铰刀结构参数及选用原则。分析铰孔过程中存在的加工问题，提出改善措施。

发动机零部件加工中有很多装配精密孔，不仅形位公差要求严，而且表面粗糙度要求高。为了满足图样要求及保证产品质量，很多精密孔的加工均采用铰孔工艺。然而在加工过程中仍然会因为刀具制造以及设备精度等因素的影响，造成诸多加工不良现象。现针对我公司某种机型发动机零部件加工过程中出现的问题，探讨铰孔的质量控制过程。

1. 铰孔加工工艺

铰孔是扩大一个已经存在的孔、用铰刀从工件原有孔壁上切除微量金属层，以提高其尺寸精度和减小其表面粗糙度值。

由于铰刀一般齿数较多（4～12个），导向性好，心部直径大，刀具的刚性好，加工余量小，切削的厚度较薄，因此，加工精度可达IT7～IT9级，表面粗糙度值一般可达R_a=0.4～1.6μm。铰孔为精加工孔常用的手段之一。

直径在100mm以内的孔可采用铰孔。在加工中心上铰孔时，一般采用的工艺为：钻（或扩）孔→铰孔。对于直径＜12mm的孔，由于铰刀本身刚性稍差，因此采用的工艺为：点钻→钻（或扩）孔→铰孔，以保证孔的直线度和同轴度。

2. 铰刀结构参数及选用原则

铰刀种类很多，根据使用方式可分为手用铰刀和机用铰刀。目前设备工艺水平先进，加工效率高，大多数采用加工中心铰孔。机用铰刀常用材质有高速钢和硬质合金，高速钢铰刀一般为整体式，硬质合金铰刀一般为焊接式。

铰刀由工作部分、颈部和柄部组成（见图1）。工作部分包括切削部分和修光部分，切削部分呈锥形，担负主要的切削工作；修光部分用于校准孔径、修光孔壁和导向。为减小修光部分与已加工孔壁的摩擦，并防止孔径扩大，修光部分的后端应加工成倒锥形状，其倒锥量为（0.005～0.006mm）/100mm。

铰刀主要参数及设计经验介绍如下。

（1）前角γ_o。由于铰孔余量很小，背吃刀量很小，切屑与前刀面接触长度很短，因此铰刀前角作用不是主要因素。为了便于制造，前角一般取0°～5°。

（2）后角α_o。铰刀是定尺寸刀具，为了使铰刀重磨后直径尺寸变化不大，取较小的后角（一般为6°～8°），高速钢铰刀切削部分的刀齿刃磨后应锋利不留刃带，校准部分刀齿则须留有0.05～0.30mm宽的刃带（b_a），

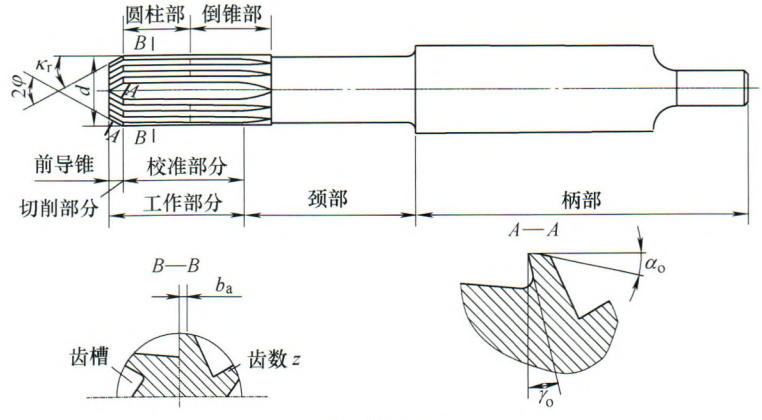


图1 铰刀结构

以起修光和导向作用，也便于铰刀制造和检验。

（3）切削锥角2φ。切削锥角主要影响进给抗力的大小、孔的加工精度和表面粗糙度以及刀具寿命。切削锥角小时进给力小，切入时导向性好，但排屑困难，且加工切入切出时间变长。机用铰刀可取较大的切削锥角。

（4）主偏角κ_r。为便于排屑，一般取值15°～45°。

（5）齿数z及齿槽形。齿数选择原则：①铰刀齿数一般为4～12齿。②大直径铰刀取较多齿数。③加工韧性材料取较少齿数，加工脆性材料取较多齿数。④为便于测量，铰刀一般取偶数。总体原则为在保证刀齿强度、容屑空间足够的条件下，选择多的齿数。刀齿在圆周上一般为等齿距分布，但在某些情况下，为避免铰刀颤振时使刀齿切入的凹痕定向重复加深，也可选用对顶齿间角相等的不等齿距结构（见图2）。

另外，铰刀齿槽形式有直线形、圆弧形和折线形（见图3）：直线形加工简单、容易制造，一般用于d=1～20mm的铰刀；圆弧形具有较大的容屑空间和较好的刀齿强度，一般用于d>20mm的铰刀；折线形用于硬质合金铰刀，以保证硬质合金刀片有足够的硬刚性支持面刀齿强度。

（6）铰刀直径d及其公差G：铰刀是定尺寸刀具，直径及其公差取决于被加工孔的直径D及其精度IT，同时也要考虑铰刀的使用寿命和制造成本。由于受设备主轴精度以及加工材料的影响，实际加工过程中会出现孔径变大或变小的现象。当孔径变大时，铰刀直径极限尺寸计算公式为

$$d_{max}=D_{max}-P_{max}$$

$$d_{min}=D_{max}-P_{max}-G$$

当孔径变小时，铰刀直径极限尺寸计算公式为

$$d_{max}=D_{max}+P_{amin}$$

$$d_{min}=D_{max}+P_{amin}-G$$

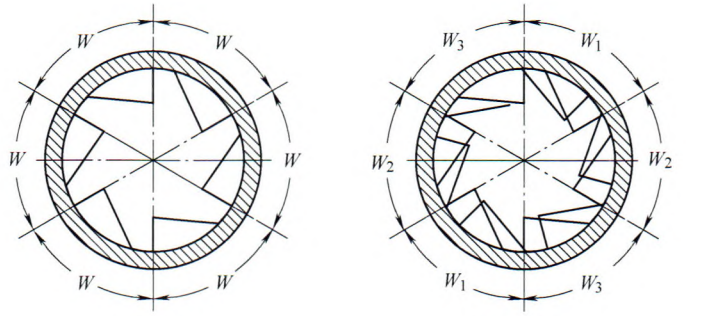
式中，d_{max}为铰刀最大极限尺寸；d_{min}为铰刀最小极限尺寸；D为孔直径；P_{max}为铰孔最大扩张量；P_{amin}为铰孔最小收缩量。另绘制铰刀直径公差分布图（见图4），其中N为铰刀磨耗备量。

3. 铰孔加工过程出现的不良现象

我公司气缸头摇臂轴孔孔径及形位公差要求较高（见图5），为了满足发动机的整机性能，采取铰孔工艺进行精加工，然而在大批量生产过程中，摇臂轴孔出现了诸多加工异常，无法满足图样要求。通过经验积累以及试验，改善铰孔工艺，逐渐解决了生产过程中出现的各种加工问题，保证了产品加工质量。

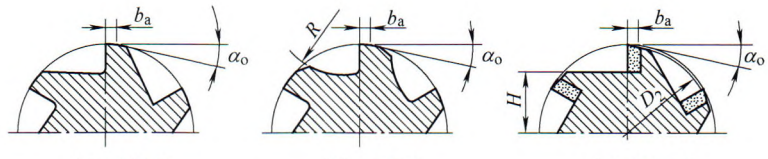
（1）产生的不良现象。量产过程中最容易出现的不良现象有：孔径超大或孔径变小，形位公差（圆度、圆柱度和平行度）超差，孔内表面粗糙度质量差。量产过程中出现的加工不稳定性容易造成批量质量问题。

（2）不良现象产生的原因分析。铰削过程是一个复杂的切



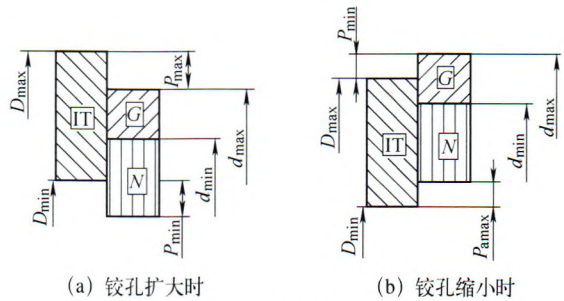
（a）等齿距　　（b）不等齿距

图2　铰刀齿距



（a）直线形　　（b）圆弧形　　（c）折线形

图3　铰刀的齿槽形式



（a）铰孔扩大时　　（b）铰孔缩小时

图4　铰刀直径公差分布

削和挤压摩擦过程，除主切削刃正常的切削作用外，还对工件产生挤刮作用（见图6）。一般铰削加工余量＜0.1mm，铰刀主偏角＜45°，因此铰削时切削厚度很小，约为0.01～0.03mm。

根据铰削原理分析、利用“三现”原则查找原因，得出造成孔径超差的主因有：铰刀制造误差，主轴轴承磨损失效致主轴跳动波动大，铰刀刀长过长致刚性降低，铰刀刃口留有积屑瘤，铰刀主偏角设计角度没有考虑到所加工材料的特性，切削速度、进给量不合理以及铰刀刃磨不彻底等；形位公差超差的主因有：工艺安排不合理、切削余量不合理、铰刀刚性不够、主轴精度差以及夹具夹紧变形等；孔内表面粗糙度质量差的主因有：铰削速度过快、铰削余量不合理、进给量过大、刀具不锋利、刀具刃带表面粗糙度质量差、刀具粘屑以及切削液使用不合理等。综上所述，影响铰削加工的因素很多，并且机械加工不是单一的影响要素，各要素之间互相影响。

4. 改善措施

针对以上影响铰孔质量的原因分析，结合实际工作中的经验，提出以下改善措施：

（1）根据铰刀直径计算公式，对实际加工材料特性进行分析，可适当对铰刀直径公差进行调整，以保证孔径合格。

（2）检查机床主轴跳动及刚性、拉刀拉力大小，可改善产品加工质量。

（3）在保证刀具不干涉工件及夹具条件下，尽可能缩短刀长，以提高刀具刚性，另外刀柄可选择液压刀柄。

（4）选择合理的切削速度及进给量。由于铰孔是转动过程切削，一般铰孔进给量稍微偏大，目的是使铰刀切削材料而不是摩擦，进给量过小会导致径向摩擦力增大，铰刀会迅速磨损引起铰刀颤动，使孔的表面粗糙度质量变差。若孔径偏大，可适当降低切削速度，增加进给量；若孔径偏小，可适当提高切削速度，减少进给量。

（5）铰刀设计参数的选择。如针对加工铝合金等塑性稍好的材质，可减小主偏角κ_r来保证孔径；若表面质量不好，可适当增大主偏角、减小后角或扩大容屑槽，以便排屑。

（6）加工余量的控制。余量过大，会因切削热多而导致铰刀直径增大、孔径扩大；余量过小，会留下底孔的刀痕，使表面粗糙度达不到要求，粗铰一般余量0.15～0.35mm，精铰余量一般为0.05～0.15mm，有一种经验建议留出铰刀直径1%～3%大小的厚度作为铰削余量（直径值）。

（7）工序的合理性。由于铰孔不能校正孔轴线的位置度误差，孔的位置公差应由前工步保证，因此要选择合理的工艺路线。对于孔径较小的孔，应增加中心钻，确保钻孔过程不发生倾斜。

（8）选择合适的冷却、润滑液。由于铰孔主要是刀具与孔壁成挤压切削，切削碎片易留在刀槽或黏在刀刃上，影响加工质量，因此加工过程选用润滑性良好的高浓度极压乳化液或切削油，可以起到良好的润滑、冷却作用。

由于加工的材料不同，产生的问题以及解决方法也各有差

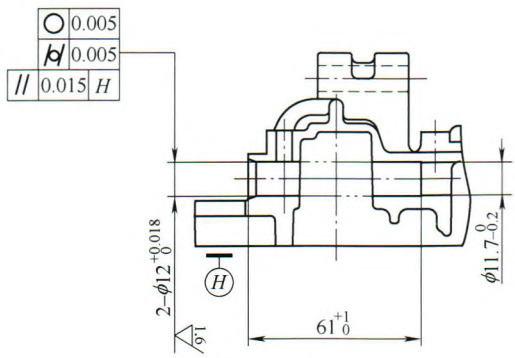
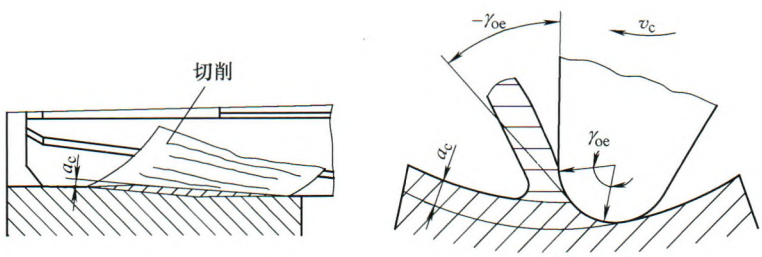


图5　摇臂轴孔加工



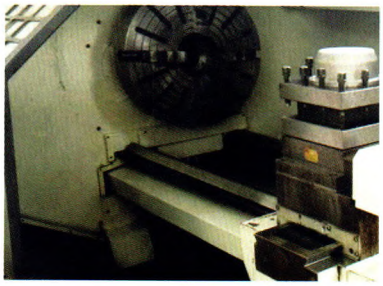
（a）铰削过程示意图　　（b）刃口工作情况

图6　铰刀铰削过程及刃口情况

径向均布零件组合配车加工技术

■ 湖北三江航天江河化工科技有限公司 （远安 444299） 鲁华丽 朱旭东 胡增建 杨理国

摘要： 本文通过对零件结构特点及常用加工工艺进行分析，提出径向均布轮廓曲面采用组合配车的加工方法，并从工艺路线、辅助装夹、刀具及刀具角度、切削要素以及切削液使用各方面阐述解决组合配车加工难点的关键技术，为类似径向均布零件装配贴合曲面的加工提供一种可借鉴的有效途径。



1. 零件结构

零件为我公司一种成型浇注工艺装备，使用时径向均布装配于轴套，用于成型浇注，径向均布结构如图1所示。零件结构特点为：与轴套装配面轴向为直线、圆弧及椭圆等多段线组成的轮廓，径向为短圆弧曲面，且要求装配后与轴套贴合面装配间隙＜0.1mm。针对装配贴合面轮廓成形加工通常采用数控铣削技术，但无法完成该轮廓轨迹的短圆弧面加工；若数铣轮廓后采用钳工锉刀修磨内圆弧，则工作量大且精度极差，无法保证零件的径向圆周装配精度。因此采用数控组合配车方式，实现径向均布零件装配贴合曲面的成形加工。

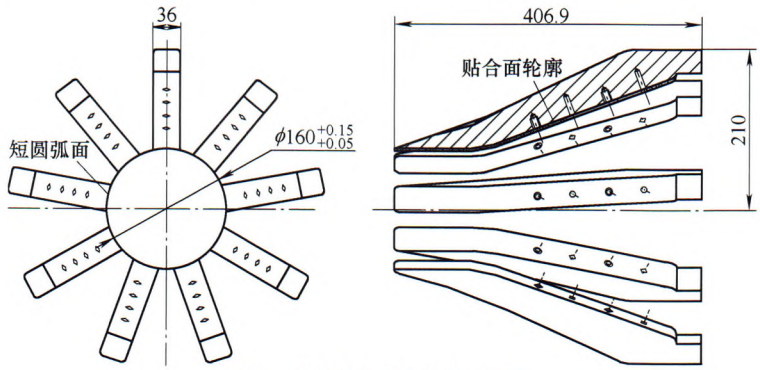


图1 径向均布装配结构示意图

2. 加工难点分析

（1）采用组合配车方法实现装配面成形加工时，零件表面没有联接孔位，无法完成径向均布装配，组合配车无有效定位装夹方式；且整体装配时要考虑避让加工面，不影响整体走刀。

（2）组合配车时为断续切削，刀具振动较大、磨损严重，影响车削质量；加之零件结构细长，必须考虑两端支撑刚性，保证完成装配面型加工后的同轴度、圆度。

（3）车削起刀基准一般为右端面，零件设计基准为台阶圆弧，装配基准为定位销，在加工基准、设计基准和装配基准不统一的情况下必然会产生误差；加工时若不考虑统一基准或弥补基准误差，则会影响零件加工精度

异，但铰孔过程存在的问题及解决思路基本类似。

5. 结语

随着人们对使用产品的要求越来越高，加工水平也需与时俱进。作为机械加工常用的手段，铰孔工艺既有优势，也有劣势，如何保证加工的稳定性和高效性，在实践与创新的道路上任重道远。

参考文献：

[1] 王先逵. 机械制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2006.
[2] 西安交通大学. 机械工程材料[M]. 北京：机械工业出版社，2006.
[3] 袁哲俊. 刀具设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，1999.

MW（收稿日期：20161028）