

铣镗床加工高精度小批量深孔的工艺方法

姜蕾

大连职业技术学院 辽宁大连 116113

摘要：利用铣镗床加工阶梯状小批量深孔的工艺方法，为高精度加工不锈钢材料深孔提供了一种加工解决思路。针对现有铣镗床加工设备存在的问题提出解决措施，涵盖了特殊刀具设计、加工方式选择和切削参数推荐等，实现了提升深孔加工精度和降低表面粗糙度值。

关键词：铣镗床；深孔加工；刀具设计；工艺方法

1 序言

在工作中遇到了阶梯状深孔加工的难题，经过查询资料，筛选出几种常见的深孔加工工艺方法，经过对比分析，选取最优方法进行特殊刀具设计，并应用于实际产品制造，从而实现了高精度、小批量的深孔稳定加工，为广大读者提供了一种解决此类问题的思路及措施。

2 工况分析

图1所示为深孔结构，深孔始端直径为 $15.97_{-0.1}^{+0.1}$ mm，深258mm，深孔末端直径为6mm，深15mm，两孔间通过 120° 倒角过渡。

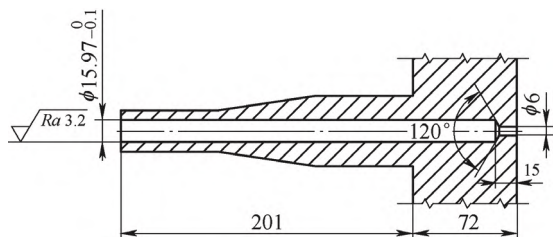


图1 深孔结构

深孔位于管道外壁焊接的小接管上，管道尺寸较大且形状为圆弧形，使用中大型铣镗床加工是最合理的选择。管道与小接管材料均为304不锈钢。

3 问题与分析

3.1 不锈钢材料难切削

由于不锈钢在切削时塑性变形大，产生的切屑不易折断、易粘结，所以在实际加工中，不锈钢切

削往往伴随着粘刀现象，导致刀具锋利度降低，切削力变大，进而导致切削温度升高，且不锈钢材料的导热系数较小，散热条件差，大量的切削热集中在刀具与工件之间，导致刀具磨损加剧，刀具前刀面易产生月牙洼磨损，切削刃产生缺口，影响已加工表面的表面质量^[1]。

针对不锈钢的切削特点，结合生产实际，从刀具材料、切削参数及冷却方式三方面入手，找到提高不锈钢加工质量的方法。

3.2 孔直径小、长径比大加工难题

深孔加工一直是机械加工中的难题，随着时间的发展，加工方式不断更新，从简单的麻花钻钻孔发展到如今的BTA（见图2）、枪钻（见图3）、铣镗用深孔钻（见图4）以及特种刀具加工钻等多种方式。结合本文涉及到的工况，分析了这4种深孔加工的优缺点，见表1。

根据以上加工方式与该工件的工况，选择铣镗用深孔钻或特种刀具加工钻的方式进行试验，需满足孔的尺寸精度不超过 ± 0.1 mm，表面粗糙度值 $Ra \leq 3.2\mu\text{m}$ 的要求。

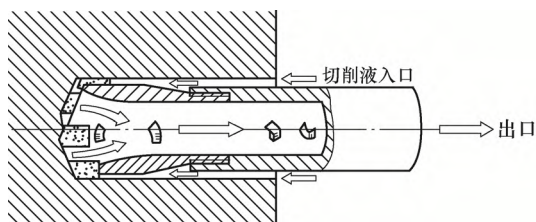


图2 BTA原理示意

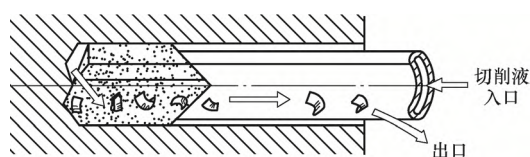


图3 枪钻原理示意



图4 铣镗用深孔钻结构示意图

铣镗用深孔钻在试验过程中用两种刀具进行试验，试验过程中调整了切削参数，但试验件加工孔的表面粗糙度值未达到 $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$ 的要求，同时伴有局部超差情况。由此可见，铣镗用深孔钻在实际加工中存在表面粗糙度不合格及局部尺寸超差的情况，风险较大^[2]。

特殊刀具加工钻的试验件中，在不考虑加工时间的情况下，能够有效控制孔的尺寸公差，同时保证表面粗糙度，传统的钻→扩→铰的方式能更好地控制孔径尺寸，手工铰孔也降低孔内壁的表面粗糙度值^[3]。

3.3 异型孔加工存在难度

因工件中存在变径尺寸，现有成形刀具中很少有加工异形孔的刀具，故需利用专用刀具加工 120° 倒角及 $\phi 6\text{mm}$ 孔。

表1 4种深孔加工的优缺点

加工方式	特点	优点	缺点	实际工况分析	是否采用
BTA	专用机床内排屑深孔加工	专业性强，加工效率高，表面质量好	加工孔径一般 $\geq \phi 13\text{mm}$ ，避免排屑堵塞，出现质量问题	更适用于板类的孔加工，对于复杂形状产品，加工时存在找正困难的情况	不建议采用
枪钻	专用机床外排屑深孔加工	孔径尺寸精度较高，孔深大、直线度较好，钻头可重磨	刀杆强度较差，加工效率不高，排屑方式会影响工件的表面粗糙度	更适用于轴类、板类的深孔加工，对于复杂形状产品，加工时存在找正困难的情况	不建议采用
铣镗用深孔钻	外接喷雾系统的枪钻深孔加工	加工方便，适用性强，可用在镗床、铣床上	受铣镗床、外接喷雾系统影响较大，孔精度一般，表面粗糙度一般	可在铣镗床上实现深孔加工，对复杂形状工件能准确找正，需要通过试验调整切削参数	建议采用
特殊刀具加工钻	传统的钻、扩、铰加工方式	针对特定工况下的定制刀具，工艺稳定性好，表面粗糙度较高，孔径尺寸精度高	换刀次数多，使用刀具较多，成本较高，加工效率低	可在铣镗床上实现深孔加工，对复杂形状工件能准确找正，适用小批量深孔加工，可以获得较高尺寸精度和表面质量	建议采用

4 解决措施

4.1 工艺方法

根据零件材料性质、深孔加工精度和技术要求，选择相应的加工方法和刀具。同时，根据零件特征，选择便于装夹、加工和易保证尺寸精度的面作为定位基准面。当加工精度较高时，还需合理规划粗加工、半精加工、精加工和光整加工的加工方式，并安排热处理、表面处理等辅助工序，确定合理的进给量和加工余量^[4]。

根据以上分析，结合现有铣镗床加工设备，选

择数控龙门铣床加工，利用百分表打表的方式确定工件水平和垂直的数值是否符合加工要求，再利用角度铣头和特殊点位法复检接管位置，微调后进行装夹，选择钻→镗→扩→铰的方式进行加工。

4.2 刀具选择

根据接管情况选择 $\phi 10\text{mm}$ 标准刀具和 $\phi 12\text{mm}$ 、 $\phi 15\text{mm}$ 钻头， $\phi 12\text{mm}$ 、 $\phi 15\text{mm}$ 镗刀， $\phi 15.67\text{mm}$ 、 $\phi 15.77\text{mm}$ 扩孔钻， $\phi 15.89\text{mm}$ 铰刀， $\phi 5.8\text{mm}$ 特长钻头和 $\phi 6\text{mm}$ 特长铰刀等非标刀具。根据特定要求进行制造，特殊刀具实物如图5所示。



图5 特殊刀具

$\phi 12\text{mm}$ 、 $\phi 15\text{mm}$ 钻头均为进口麻花钻，进口麻花钻实物如图6所示。

$\phi 15.67\text{mm}$ 和 $\phi 15.77\text{mm}$ 的扩孔钻，材质为高速钢，钻头直径为 $\phi 15.67_{-0.05}^{+0.05}\text{mm}$ 、 $\phi 15.77_{-0.10}^{+0.05}\text{mm}$ ，采用后排屑方式，有4个螺旋刃，刃带宽 0.15mm ，刃长 80mm ，前角 14° 。 $\phi 15.77\text{mm}$ 扩孔钻实物如图7所示。

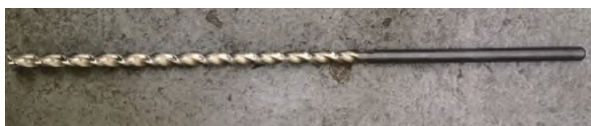


图6 进口麻花钻



图7 $\phi 15.77\text{mm}$ 扩孔钻

$\phi 15.89\text{mm}$ 手动铰刀材质为高速钢， $\phi 15.89_{-0.015}^{+0.015}\text{mm}$ 钻头，前角 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，后角 14° ，刃带宽 0.2mm ，铰刀刃长 50mm ， $\phi 15.89\text{mm}$ 铰刀实物如图8所示。

双刃 120° 钻头需要安装铜套，保证铜套与孔之间的间隙。钻尖角度为 120° ，钻头直径为 $\phi 15.97_{-0.25}^{+0.20}\text{mm}$ ， 120° 双刃钻头实物如图9所示。



图8 $\phi 15.89\text{mm}$ 铰刀

图10所示为 $\phi 5.8\text{mm}$ 特长钻头，需要 $\phi 15.97_{-0.15}^{+0.13}\text{mm}$ 的铜套，钻尖为 $\phi 5.8_{-0.10}^{+0.05}\text{mm}$ ，刃倾角为 118° 。

$\phi 6\text{mm}$ 特长铰刀，需要 $\phi 15.97_{-0.15}^{+0.13}\text{mm}$ 的铜套，钻尖 $\phi 6_{-0.20}^{+0.04}\text{mm}$ ，6个刃均采用前排屑方式， $\phi 6\text{mm}$ 特长铰刀实物如图11所示。



图9 120° 双刃钻头



图10 $\phi 5.8\text{mm}$ 特长钻头



图11 $\phi 6\text{mm}$ 特长铰刀

刀具尺寸的选用，考虑铰孔扩大量，用 $\phi 15\text{mm}$ 钻头钻完后采用两刀扩，目的是修正钻孔直线度，3次扩孔的尺寸分别为： $15.67_{-0.10}^{+0.05}\text{mm}$ 、 $15.77_{-0.025}^{+0.025}\text{mm}$ 和 $15.89_{-0.015}^{+0.015}\text{mm}$ 。第1次扩孔时直径增大 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ ，第2次扩孔时直径增大 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$ 。铰孔时直径增大 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。刀具材质选用M42高速钢。

以上刀具参数的选择同时考虑了加工不锈钢工件的刀具角度及长度。

4.3 确定参数及工艺流程

工艺方法选择钻→扩→铰的传统方法。预开孔的大小为 $\phi 10\text{mm}$ ，镗孔至 $\phi 12\text{mm}$ 、深度 50mm ，将此次加工孔作为扩孔钻的引导孔，再扩孔加工至 $\phi 15.67\text{mm}$ ，此时余量为 0.2mm ，手工铰孔至更稳定尺寸，提高表面质量^[5]。

选择此种工艺流程可以控制孔的直线度，同时

保证尺寸精度。

工艺方案如下所述。

- 1) 钻 $\phi 10$ mm孔, 深度50mm。
 - 2) 镗孔至 $\phi 12^{+0.03}_{-0.01}$ mm, 长度50mm。
 - 3) 钻孔至 $\phi 12$ mm, 推荐参数: 转速 $n=70$ r/min, 进给量 $f=0.09 \sim 0.11$ mm/r, 进给速度 $v_f=420 \sim 560$ mm/min。
 - 4) 镗孔至 $\phi 15.67^{+0.02}_0$ mm, 长度50mm。
 - 5) 扩孔至 $\phi 15.67$ mm, 推荐参数: 转速 $n=70$ r/min, 进给量 $f=0.09 \sim 0.11$ mm/r。
 - 6) 镗孔至 $(\phi 15.77+0.02)$ mm, 长度50mm。
 - 7) 扩孔至 $\phi 15.77$ mm, 推荐参数: 转速 $n=70$ r/min, 进给量 $f=0.09 \sim 0.11$ mm/r。
 - 8) 镗孔至 $\phi 15.89^{+0.02}_0$ mm, 长度80mm。
 - 9) 钳工配合手工铰刀, 配上润滑油。由于铰刀的总刃长为80mm, 长度较长, 需打磨去除后端30mm刃长, 径向深度选择2mm, 圆滑过渡。
 - 10) 手工铰孔时采用 1.5° 切削锥铰刀, 再用 120° 倒角铰刀进行孔底末端铰削, 将铰刀刃长改短至50mm长, 每1mm一进、每半圈一进。
 - 11) 手工铰孔时不得反转, 退出时要注意尽量不倒屑, 减小进给次数, 争取一次铰孔到位, 不允许中途退刀再次铰削。如遇卡顿, 应反转少许后再次正转。
 - 12) 初始孔的椭圆度约0.1mm, 最大处达到了15.94mm, 铰孔过程中较费劲, 在孔内还会阻碍刀具加工, 减小铰刀刃长、加大顶紧力后方可解决。
 - 13) 利用机床顶尖配合手工铰孔, 随着顶尖1mm的步进进给铰削。必须跟紧, 否则容易发生偏斜。
 - 14) 手工铰削时先采用 1.5° 切削锥铰刀切削, 再采用 120° 倒角铰刀进行孔底末端铰削。
 - 15) 采用 $\phi 5.8$ mm专用钻头钻孔, 钻头参数为: 转速 $n=250$ r/min, 进给量 $f=0.024$ mm/r。
 - 16) $\phi 6$ mm铰刀手工铰孔。在加工至 $\phi 8$ mm插接孔时, 进给量降低至 $0.012 \sim 0.02$ mm/r, 转速不变。
- 根据试验件及工件的最终尺寸校验, 该孔表面粗糙度值符合 $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$ 要求, 孔的直径为15.91mm, 符合图样要求。

5 结束语

根据以上分析及实际加工, 可以得出以下结论。

- 1) 在异形接管加工中, 镗削用深孔钻及普通钻头均可加工, 但传统钻 $\rightarrow$ 扩 $\rightarrow$ 铰工艺方法更可靠。
- 2) 120° 双刃扩孔钻、 $\phi 5.8$ mm特长钻头和 $\phi 6$ mm特长铰刀等成形刀具更适合加工阶梯孔。
- 3) 钻头过长时, 可以将主切削刃上切割1mm深口, 以此降低刀具的切削抗力, 提高断屑效率。
- 4) 在加工过程中扩孔钻参数为: 切削速度 $v_c=3 \sim 5$ m/min, 进给量 $f=0.09 \sim 0.11$ mm/r。
- 5) 利用铰孔方式, 可以控制尺寸精度在 $0.02 \sim 0.03$ mm。

参考文献:

- [1] 郑文虎, 张明杰. 不锈钢的切削加工[J]. 金属加工(冷加工), 2017(19): 45-48.
- [2] 张鹏飞. 304不锈钢铣削残余应力预测研究[D]. 江苏: 江南大学, 2024.
- [3] 李志杰, 王铮. 批量化高精度细长孔加工技术研究[J]. 一重技术, 2021(6): 46-47, 56, 59.
- [4] 吴平. 枪钻机床的特点和设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2002(8): 2.
- [5] 牟信虎, 李鑫. 枪钻技术在普通镗床深孔加工中的应用[J]. 科学技术创新, 2021(5): 195-196.

MW 20240904

(上接第53页)

量加工, 提高了产品质量和加工效率, 为同类型薄壁的难加工材质提供了有效借鉴, 取得了显著成效。

参考文献:

- [1] 陆剑中, 孙家宁. 金属切削原理与刀具[M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 卢秉恒. 机械制造技术基础[M]. 4版. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [3] 赵如福. 金属机械加工工艺人员手册[M]. 3版. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [4] 沈建峰, 虞俊. 数控铣工/加工中心操作工(高级)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.

MW 20240914