

微小孔钻削方法研究

Research on Micro-Hole Drilling Method

中航工业西安飞行自动控制研究所 宋永伟 姚建丽



宋永伟

中航工业西安飞行自动控制研究所制造部工艺员,主要研究方向为特种加工与精密制造技术。2009年毕业于大连理工大学机械工程学院,硕士研究生。

随着国防科技工业的迅速发展,带有微小孔的零件越来越多,如航空航天惯性陀螺中的仪表元件、飞控系统伺服阀和舵机零件上都有许多微小孔。而且微小孔在直径越来越小的同时,精度要求也越来越高。目前微小孔的精密、高效率加工工艺已成为许多领域的关键技术,因此,深入研究微小孔加工技术,具有现实意义。本文通过分析、比较当前微小孔常用的加工方法,

目前微小孔的精密、高效率加工工艺已成为许多领域的关键技术,因此,深入研究微小孔加工技术,具有现实意义。本文通过分析、比较当前微小孔常用的加工方法,选定机械加工,着重从刀具设计、工艺方法和加工细节等方面进行微小孔钻削方法的研究。

选定机械加工,着重从刀具设计、工艺方法和加工细节等方面进行微小孔钻削方法的研究。

微小孔加工方法

目前,通常把直径小于0.3mm的孔称为微孔,把直径在0.3~1mm的孔称为小孔^[1-2]。微小孔的加工难度大,国内外一直都十分关注。

微孔的加工方法按原理可分为机械加工和特种加工两大类,见表1。微小孔的机械加工主要采用钻削的形式,特种加工有电火花、激光、超

声、电子束、水喷射等方法。据统计,至今大约有50多种加工微小孔的方法^[3-4]。不同的加工方法适用于不同的材料、不同的精度、不同的粗糙度和不同的微小孔尺寸。

虽然特种加工方法较多,但设备昂贵、成本高,故在能满足需要的情况下,机械加工仍是目前主要的加工方法^[2],钻削方法更成为微小孔机械加工的研究热点。

微小孔钻削特点

钻削加工方法具有生产率高、不受材料导电性能限制等特点,加工出的微小孔长径比大、表面质量好、精度高。但在微孔钻削加工时仍存在以下问题:(1)钻头极细小,制造和刃磨困难;(2)钻头尺寸很小,无法使用钻套;(3)钻头厚度薄、强度低、刚性差,抗扭抗弯差,横向稳定性不好,易折断;(4)微小孔直径小,容屑空间不足,排屑困难,冷却不充分,钻

表1 微小孔主要的加工方法

机械加工	特种加工
钻削	电火花加工、电子束加工
冲孔	电化学加工、等离子束加工
研磨	化学加工、激光加工
磨料流精加工	超声波加工、电成形加工
	水喷射加工、辐射腐蚀加工

头易磨损。因此,微孔钻削的机理及钻削过程与普通钻削有着本质的区别^[5]。

为解决微小孔钻削加工技术难题,可从刀具设计、工艺方法、加工细节等方面进行改进。

刀具设计

1 刀具类型

目前微小孔钻削加工应用较多的刀具为扁钻和麻花钻。其中扁钻的切削部分为铲形,结构简单,制造成本低,切削液能够轻易导入孔中,但扁钻前角小,没有螺旋槽,排屑困难。麻花钻的几何形状虽比扁钻合理,但尚存在着以下缺点:钻出孔的形位误差较大,孔的精度低,表面粗糙度差。此外,麻花钻直径间隔为0.01mm,需根据待加工孔径选择直径参数,且刃磨性能与刀具刚性均差于扁钻。结合刀具准备、加工过程及刀具寿命等因素对麻花钻和扁钻在微小孔钻削中的应用情况进行对比,具体见表2。

经统计已进行的微小孔钻削加工,刀具选用情况如图1所示。故综合加工精度、加工效率、成本等多方面因素考虑,首选扁钻进行微小孔钻削加工。

表2 麻花钻与扁钻的应用对比

对比项	麻花钻	扁钻
刀具准备	(1)选择直径参数	直接按选定参数对合金棒进行刃磨
	(2)判断钻头对称性	
	(3)修磨长度、角度等参数	
	(4)校直钻头	
加工过程	先点中心孔再钻孔,需进行两次操作	点、钻孔一次完成
刀具寿命	20~30件/支	300件/支

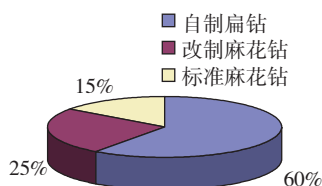


图1 刀具选用情况

2 刀具材料

对于微小孔加工,扁钻的选材较为重要,宜选用超细颗粒的硬质合金(如YL10.2等)。

3 顶角

顶角的选取应较一般钻头小些,减小顶角能增加主切削刃长度,减轻切削刃在单位长度上的载荷,并能改善切削热,减小轴向抗力。

表3为常用的顶角为90°、100°和120°扁钻的切削特点对比。经大量实验验证,扁钻顶角取100°时有利于切削对中性,其定心、耐磨性均较好。

表3 常用顶角扁钻的切削特点对比

顶角	优点	缺点	刀具寿命 / (件·支 ⁻¹)
90°	定心效果好	易磨损	60
120°	耐磨性好	定心效果差	100
100°	定心效果、耐磨性均较好		300

4 厚度尺寸

微小孔容屑空间小,排屑问题较为关键,扁钻厚度的选择取决于排屑空间及强度。可根据经验公式取厚度尺寸为^[6]:

$$H = (0.45 - 0.65) D, \quad (1)$$

$$h = (0.3 - 0.45) D, \quad (2)$$

式中, D 为被加工零件孔基本尺寸。

较软材料的 H 、 h 尺寸选取时取下限;较硬材料的 H 、 h 尺寸选取时取上限。

5 前、后角选取

扁钻前角的选取对其切削性能影响较大,合适的前角可以促使切削轻快,保证孔径尺寸稳定的同时具有较高的表面质量,且钻头使用寿命也较高。后角的选择除保证其具有一定的强度和刚性外,应最大程度减少后面与被加工孔壁的摩擦,并起到一定的容屑作用^[6]。

对一般钢件和脆性材料:

前角: $\gamma = 5^\circ \sim 10^\circ$,

后角: $\alpha = 6^\circ \sim 8^\circ$ 。

对韧性材料:

前角: $\gamma = 10^\circ \sim 20^\circ$,

后角: $\alpha = 10^\circ \sim 20^\circ$ 。

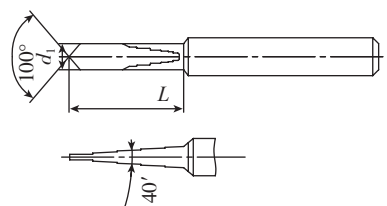


图2 扁钻结构

6 其他参数

如图2所示,刃部长度 L 一般情况下比工件加工长度长0.2mm即可;芯径为锥度(双向为40');增加刃倾角 $1^\circ 30' \sim 2^\circ$;刃部外径 d_1 控制在0.002mm范围内;主、副切削刃保持较小的表面粗糙度值,以提高零件的尺寸稳定性及表面质量。

工艺方法

1 加工参数

(1) 主轴转速。

在微小孔钻削时,为了获得一定的切削速度,在严格要求主轴回转误差的基础上需要采用较高的主轴转速,且速度越高,孔壁表面质量越好。随着高速电机、电主轴等装备的出现,使得微小孔钻床的主轴转速不断提高,如瑞士Fisher公司和法国Forest-line公司生产的电主轴,其主轴转速可达18000r/min^[7]。此外,随着气浮轴承、磁浮轴承等技术的出现,主轴回转精度得到了进一步提高,如日本NSK公司生产的精密主轴,其回转精度可达到 $2\mu\text{m}$ 。但必须考虑到,刀具直径越小,刚度和强度越低,抗扭矩能力也越差,此时主轴转速越高,钻头振动越大,热容量越小,温度越容易上升,钻头越易磨损,反而对钻孔不利。故一般应根据零件材质、加工深度,综合考

考虑转速、热容量、温度和钻头磨损等因素之间的相互作用,根据具体情况调整主轴转速。

经大量试验验证,得到了肖柏林70型车床上适用于微小孔加工的经验参数,具体见表4。

表4 主轴转速(肖柏林70型车床)

材料	加工特性	直径/mm	主轴转速/(r·min ⁻¹)
铍青铜	高韧性	0.1~0.2	2000~2500
	耐磨	0.2~0.5	2500~4000
不锈钢	耐磨	0.1~0.2	1500~2000
	散热差	0.2~0.5	2000~3000

(2) 进给速度与切削深度。

微小孔钻削中,刀具直径小、强度低、刚性差,抗扭矩能力不高。为减小切削力,进给速度不宜过大;为利于排屑和冷却,延长刀具寿命,每次切削深度也不能过大。实践证实,进给速度优选范围为0.003~0.008mm每转,每次切削深度优选范围为0.02~0.1mm。

此外,钻削过程中机床工作状态应稳定,尽量避免中途无故停车,否则易出现扁钻迅速磨损甚至折断现象。

2 材料特性及零件状态

(1) 材料特性。

微小孔尺寸精度要求高,而弹性材料在进行孔加工后会产生一定程度的回弹,弹性形变必然会影响到微孔孔径的真实性。针对弹性较大的材料,应研究其孔加工后的弹性变形量,因此在钻削加工前就对加工后的回弹进行考虑,提前对钻头直径尺寸进行相应调整。以 $\phi A+0.01\text{mm}$ 孔为例,刀具修整误差为0.002mm,在肖柏林70型车床上钻削加工后铝合金、不锈钢和铍青铜3种材料对应的形变值分别为0.001mm、0.005mm和0.009mm。

(2) 零件状态检查。

微小孔加工用钻头细小,强度低、刚性差,为避免对其定心产生影响,开始钻削加工前需对零件待加工

区域表面状态进行检查。零件钻孔端面中心不允许有直径大于0.01mm的突起,如图3所示,否则需先修整加工基础面,保证微孔加工的准确定心,以免直接加工造成钻头摆断。

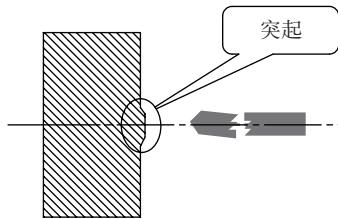


图3 钻孔端面中心突起

其他注意事项

1 机床检查与调整

微小孔尺寸精度与位置精度要求较高,需考虑消除机床机械原因引起的微孔位置偏差,如机床反向间隙、丝杠螺距误差补偿、坐标轴运动阻尼、机床原点误差等因素。在进行高精度孔系加工前,应先对机床伺服驱动单元进行优化^[8]。

在车床上加工微小孔时,尤其要注意通过微调保证主轴与尾座的同轴度,见图4。

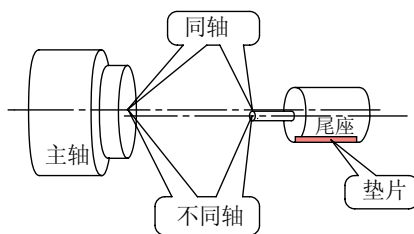


图4 主轴与尾座同轴

2 钻夹与刀具

需注意钻夹的装夹精度,选择收缩性一致的夹爪,确保钻夹与钻头配合表面全接触,钻夹的夹持面不能出现喇叭口,如图5所示,避免因线接触造成刀具装夹不正的现象。

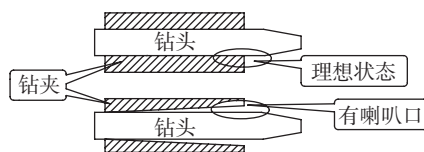


图5 刀具装夹状态

钻头刚性较差,在保证夹头与零件、夹头与显微镜不干涉以及不影响显微镜观察的情况下,尽量缩短钻头伸出长度。

3 加工后的检查与修整

微小孔加工完成后,孔口毛刺对产品性能的影响很大。如航空零件上节流孔的微小毛刺可形成油污污染,导致流量数值不稳定、流量性能失真。因此在微孔成形后,需要将毛刺去除干净。

结束语

本文对微小孔钻削的刀具设计,加工参数等进行了分析,给出了优选参数,但需注意的是加工设备不同时,相关参数可能需要进行相应的调整。随着科学技术的飞速发展,微小孔在现代工业产品中的应用将日益广泛,迫切需要不断提高微小孔加工的技术能力。相信随着微孔加工机理的深入研究,将会出现更理想的微孔加工机床、更先进的微细钻头以及更合理的钻削工艺。

参考文献

[1] 贾宝贤,王振龙,赵万生. 基于特种加工的微小孔加工技术. 电加工与模具, 2005(2):1-5.
 [2] 梁洁萍,周知进. 微小孔加工与微细钻头. 湘潭师范学院学报,2004,26(4):56-58.
 [3] 曾忠. 微孔的超声振动钻削技术. 中国机械工程,2001,12(3):297-299.
 [4] 曾忠,黎永明. 微孔加工技术的现状. 磨床与磨削,1997,(4):20-23.
 [5] 应人龙,曾莉群,顾大强. 微小孔加工技术综述. 机床与液压,2008,36(6):144-147.
 [6] 喻立. 扁钻的设计与应用. 工具技术,1991,25(3):22-23.
 [7] 孙全平,廖文和. 高速切削的现状及其关键技术. 淮阴工学院学报,2002,26(1):81-84.
 [8] 龙章海,郑英,李春华. 影响孔系加工位置精度的因素及提高精度的措施. 机床与液压,2009,37(4):183-184.

(责编 可岚)