

钛合金的铰削技术

■ 西安北方光电科技防务有限公司（陕西 710043） 申 伟 张利军

摘要：利用钛合金材料制作的零件具有变形系数小、强度高、抗蚀性好、低温性能好及质量轻的特点，但是钛合金材料化学活性大，易与空气中的O、N、H等元素发生化学反应，形成脆化；钛的化学亲和性也大，易与摩擦表面产生粘附现象，造成钛合金材料在铰削时易崩刀，刀尖上易形成积屑瘤。因此，本文通过加工摸索，结合精密薄壁钛合金壳体零件加工，对薄壁钛合金零件铰削刀具结构的几何参数、铰削用量及防治切削热产生等进行研究。

1. 钛合金材料铰削加工

影响钛合金材料铰孔的主要因素：铰刀几何参数、铰削用量及切削热。

（1）铰刀几何参数。铰削质量的好坏取决于铰刀本身的精度和表面粗糙度，因此，铰刀几何参数的合理选择决定了被铰孔加工质量的好坏。铰刀几何参数是由铰刀直径、铰刀齿数及切削锥角决定。

（2）铰削用量。对铰孔而言，铰削用量对铰削过程中的摩擦切削力、切削热及切屑瘤的形成、加工精度、表面粗糙度都有极大的影响。影响铰削用量的主要因素：铰削余量、切削速度和进给量，应合理加以选择使用。

（3）切削热。铰削加工时，由于切削热、切屑粘度、钛合金材料导热系数低等因素的影响，使切屑不易排出，附在铰刀刀齿上，造成铰削时铰刀产生径向圆跳动、铰孔余量不均匀，从而引起颤动，使零件变形，影响零件尺寸精度及形位公差。

2. 钛合金材料铰削加工工艺

通过上述对薄壁钛合金零件铰削加工的分析，解决措施概括为：选择合适的刀具几何参数、切削要素及切削液，具体方法如下：

（1）选择合适的铰刀几何参数。先根据被加工孔的公称尺寸、公差及在铰削过程中被加工孔的扩张量或收缩量，决定铰刀的直径。

铰刀的类型：铰削钛合金时，可以用直齿铰刀，最好采用阶梯铰刀或带刃倾角的阶梯铰刀（见图1），主要是阶梯铰刀有两个切削锥，第一锥 D_1 的切削部分在切削的同时为第二锥 D 的切削部分起导向作用，也为第二锥留下了极为稳定的铰削余量，起到了粗铰和精铰的作用。

铰刀齿数：一般情况下，

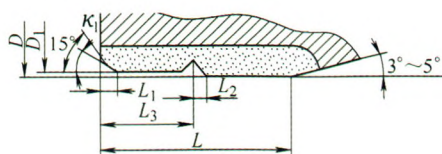


图1 阶梯铰刀

铰刀的齿数愈多，铰孔的精度就越高，表面粗糙度值就越低，同时，分布在每个切削刃上的负荷也就小，有利于减少铰刀的磨损。铰刀齿数一般选为偶数，保证切削刃进行对称加工，提高零件加工质量。

切削锥角：根据不同的加工材料和铰刀的类型来加以选择，当钛合金材料进行精加工时，铰削的余量较小，切削仅在刀尖处进行，与刀齿的前倾面很少接触，故用前角为零、较大的后角来提高切削刃的锐利程度。当钛合金材料粗加工时，为避免切屑粘滞切削刃上，应取前角大一些、后角小一些，来提高刀具寿命。刃带宽度不大于0.25mm，便于铰刀的导向和光整孔壁，同时也为了便于测量铰刀的直径。为了减小铰刀的磨损，提高刀具寿命，在铰刀导向部分刃磨倒锥，为了避免铰刀校准部分的后面摩擦孔壁。

选择合适的刀具角度，不但可以提高刀具寿命，还可以提高

被加工零件的表面质量,通过实践得出加工钛合金材料铰刀角度几何参数(见表1)。

前角取小值、后角取大值可以使切削刃更锋利,制作阶梯铰刀时,第一、第二锥导角与刃倾角取成一样角度,可以加大铰刀容屑空间。

(2) 选择合适的铰削用量。
铰削余量:铰削余量不宜留得太大或太小。余量留得太小,铰削时不易校正上道工序残留的变形及表面残留的缺陷,导致铰孔质量达不到要求。若所留的余量太大,势必加大每一个刀齿的切削负荷,破坏了铰削过程中的稳定性,且增加了切削热,使铰刀的直径胀大,孔径也随之扩张,切屑的形成必然呈撕裂状态,造成加工表面粗糙度质量差。

切削速度和进给量:铰削速度和进给量要根据加工材料合理选择。进给量不能选得太小,当铰削余量太小时,切削厚度可能小于切削刀齿的小圆半径;当铰削余量较大时,切削速度、进给量就不能选得过高。反之,如果切削速度和进给量选取较小值时,则可适当提高切削速度。

选择合适的切削用量(见表2),控制铰削速度及进给量,提高铰刀的加工精度及与机床联接的定位精度,减小铰削加工时的振动,控制零件变形,提高零件尺寸精度。

(3) 选择合适的切削液。为了防止钛合金材料铰削加工时发

表2 阶梯铰刀切削参数

铰刀类型	铰削速度 v /($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	进给量 f /mm
阶梯铰刀	6~8	0.1~5

生氧化,减小铰削时的切削热,切削液采用润滑性良好并有一定流动性的高浓度极压乳化液或极压切削油;同时将铰刀做成中间空型,使其在加工时切削液能顺着中间孔直接加入到切削面,减少零件的热变形,降低铰削温度,及时带走切屑,保证零件尺寸精度要求。

3. 实例应用

如图2所示,钛合金材料壳体零件的孔加工精度要求为 $\phi 6\text{H}7$,该零件为小孔,并且孔的尺寸较长,有直线度要求,适合于铰削加工。

根据钛合金壳体零件的技术要求,零件 $\phi 6\text{H}7$ 孔进行铰削加工,采用前角为 1° 、后角为 12° 、刃倾角为 15° 的阶梯铰刀进行加工。该铰刀特点是:切削刃更锋利,另外由于刃倾角的作用,使得切屑向下排出,不会摩擦、划伤孔壁,使铰削出的孔的精度更高些;根据铰削钛合金材

料的扩张量有所不同,阶梯铰刀的直径公差按小于零件加工孔的直径 0.006mm 选取;为了保证零件的加工尺寸精度要求,根据钛合金材料难加工特点,分两次铰削,粗加工的铰削余量 $2\alpha=0.15\sim 0.5\text{mm}$,精铰余量 $2\alpha=0.1\sim 0.4\text{mm}$ 。为了消除铰削时的振动,选择适合该零件孔径加工的切削速度为 6.5m/min 、进给量 0.3mm ,进行铰削加工;为了防止钛合金铰削过程中氧化,选用成分为葵二酸 $7\%\sim 10\%$ 、三乙醇胺 $7\%\sim 10\%$ 、甘油 $7\%\sim 10\%$ 、硼酸 $7\%\sim 10\%$ 、亚硝酸钠 $3\%\sim 5\%$,其余为水的电解液作为铰削加工的切削液,零件完成铰削加工后,进行温度为 -50°C 左右、时间为 1h 的低温热处理;然后升温至 $+90^\circ\text{C}$ 左右,进行时间为 2h 的三个循环热处理,三个冷、热循环热处理,稳定加工尺寸。

零件加工后,及时清洗干净,不要与铅、铜、锡、镉等合金及含氯液体接触,以免造成应力腐蚀。

4. 结语

实践表明,合理选用各项加工参数,可明显改善刀具使用寿命及减小零件变形,既解决了钛合金铰削难加工的技术难题,又保证了加工质量,大幅提高了加工效率。通过多批次的零件加工,使零件合格率由 80% 提高到 95% 以上。

参考文献:

[1] 罗和平,张传思,闫海.钛合金钻铰工艺的研究[J].机械制造,2010,48(1):54-56.

MW(收稿日期:20161112)

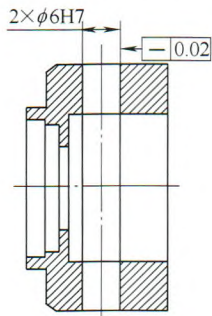


图2 壳体零件

表1 阶梯铰刀参数

铰刀类型	前角 γ	后角 α	第一锥导角 κ	第二锥导角 κ_1	刃倾角 λ	齿槽角 δ
阶梯铰刀	$0^\circ\sim 5^\circ$	$10^\circ\sim 15^\circ$	15°	15°	15°	$85^\circ\sim 90^\circ$