

某型号钛合金底座工艺研究

Process Research of a Type of Titanium Alloy Pedestal

中国人民解放军驻上海航天局 802 所军事代表室 武宏程

[摘要] 钛合金材料是目前较难加工的材料之一,因其热传导系数小、比热低、化学性能活泼等特点,给机械加工带来一定的难度。通过某产品钛合金底座的工艺性及工艺难点分析,并通过工装、刀具、冷却液、切削参数等方面分析和选择,总结出钛合金加工的普遍原则。

关键词: 钛合金 材料特性 刀具材料 数控加工参数

[ABSTRACT] The titanium alloy is one of the most difficult machining material at present, that's because of its low heat transmission coefficient, low specific heat, active chemical property and so on, all above bring some difficulty for machining. Normal machining principle of the titanium alloy the is summarized by the difficult process analysis of pedestal and some other side analysis such as frock, cutter, cool liquid, cutting parameter, and so on.

Keywords: Titanium alloy Material character Cutter material CNC machining parameter

随着航空航天工业的发展,许多产品对材料提出了高强度、轻量化的要求。钛是一种稀有金属,其合金具有很高的比强度,很好的耐腐蚀性和高温力学性能。钛合金零部件具有质量轻、减噪、减振、寿命长等特点^[1]。从 20 世纪 80 年代开始,发达国家的应用技术已日渐成熟并进行了低成本钛合金的开发,钛合金在航空航天工业领域得到广泛发展。

本文通过介绍某型号伺服机构中底座的机械加工,通过工艺难点分析、工装、刀具、冷却液的选择等几方面对钛合金加工进行阐述,为今后钛合金材料零件的加工提供借鉴。

1 零件工艺性分析

零件结构如图 1 所示,零件材料为钛合金,该零件为某型号伺服机构中底座(见图 2),该零件主要加工特性有:(1)零件为模锻件,材料为 TC4;(2)零件外形复杂,不规则;(3)加工难点是一处外圆 $\phi 24_{-0.002}^{0.015}$ mm,为基准外圆;一处是 $\phi 14_{0}^{+0.015}$ mm 孔(2 处),其同轴度为

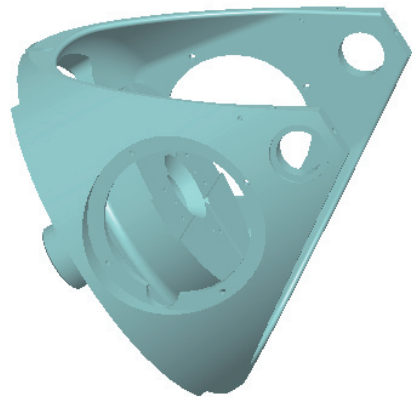


图1 底座三维示意图

Fig.1 3D diagram of pedestal

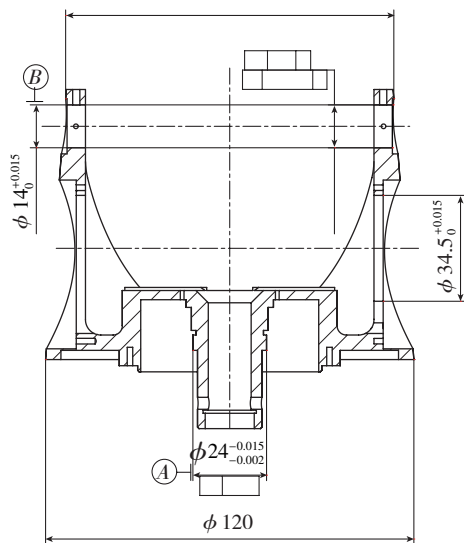


图2 底座工程图

Fig.2 Engineering diagram of pedestal

0.01mm,与基准 A 的同轴度为 0.01mm。

由于钛合金材料强度高、导热系数低,因此在切削加工过程中,易于在切削区域形成高温且散热慢,不利于热平衡,散热和冷却效果很差,加工后零件变形回弹大,易引起变形^[2]。为了阻止变形对加工精度的影响,必须合理安排工艺路线,采用合理的刀具及切削参数,

并要采取热处理(人工时效,消除加工应力)措施^[3]。根据对零件材料性质、设计要求和加工要素的分析,确定加工流程见图3。

粗加工阶段,主要是为了加工定位基准面(孔),对精度要求不高的外部轮廓直接加工到图样要求的尺寸;精度要求高的孔(如外圆 $\phi 24_{-0.015}^{-0.002}$ 、孔 $\phi 14_0^{+0.015}$ 和两端面)留有余量,待精加工完成。粗加工阶段以后,安排热处理工序(人工时效,消除加工应力),目的是消除粗加工阶段产生的加工应力。精加工阶段主要采用加工中心、座标镗、车加工等精加工工序完成零件的加工^[4]。

2 钛合金零件底座加工工艺研究

钛合金作为一种难加工件,其加工难点主要由材料特性决定。在加工中需要根据具体物理特性,合理选取刀具,制定合理的走刀路线和工艺方案,以达到最佳的切削效果^[5]。考虑到钛合金加工中的共性,现将底座的加工切削方式概括为车销、铣削、镗孔3种,并分别对其加工特点及工艺进行论述。

2.1 车削

在车削加工中,钛合金最重要的特性就是热传导性差。由于切削时产生的高温很难被工件吸收而聚集于刀具切削刃上,过多的热量促使切削刃与切屑之间发生化学反应并产生月牙洼磨损。

影响钛合金加工质量的最大参数是前角 γ 、后角 α 、刀尖圆弧半径 R 。前、后角减小,刀尖 R 增大,都将影响刀具的锋利程度,会使切削力增大,零件变形增大,切削温度升高,刀具磨损加剧^[5]。但是若前、后角过大,会使刀具强度减弱,尤其是对余量大的粗车或断续车削,刀具更易损坏。

(1) 外圆车刀及镗刀。前角为 $10^\circ \sim 15^\circ$,后角为 $8^\circ \sim 14^\circ$,刀尖圆弧半径 R 为 $0.5 \sim 0.6\text{mm}$ (精

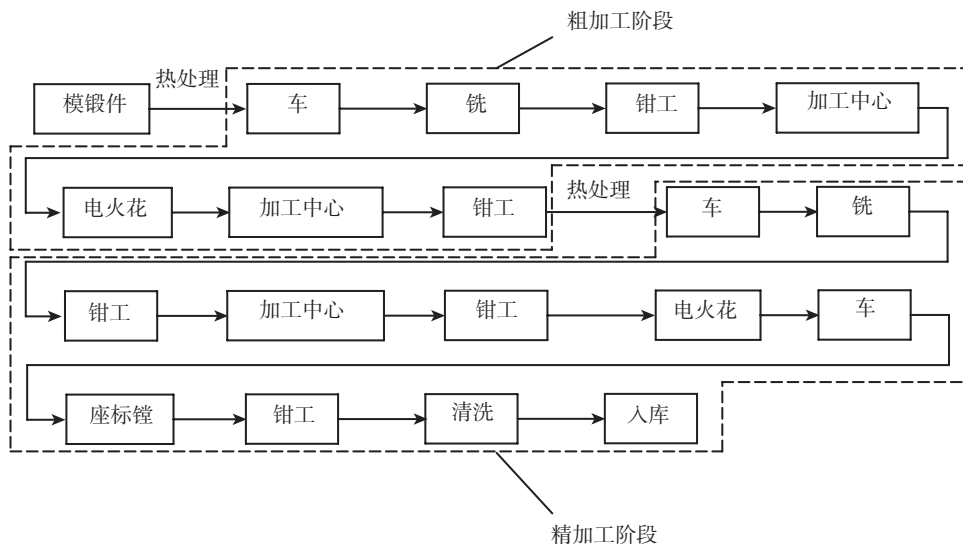


图3 底座加工工艺流程
Fig.3 Machining process of pedestal

车时取大值)。

(2) 螺纹车刀。前角为 0° ,后角为 10° 。

(3) 成型车刀。前角为 5° ,后角为 10° 。

2.2 铣削

钛合金强度高、导热性差、易粘刀,加工表面易产生回弹,使得刀具加工条件十分恶劣。

(1) 铣削方式的选择。

铣削钛及钛合金时铣刀容易崩刃,耐用度低。因为铣削是断续切削,并且钛切削容易与刀具发生粘结现象,粘结严重时会造成崩刃或损伤刀齿。正确选择铣削方式、铣刀与切削面的位置,有利于解决上述问题。

立铣刀、圆柱铣刀等以圆周刃切削的,铣削方式可分为:逆铣和顺铣。其铣削及排屑见图4。

从图4可以看出顺铣时,切削过程平稳,刀齿切削路程较逆铣约短3%,可减轻切屑粘结现象,明显改善铣刀的磨损。所以铣削钛及钛合金时只要机床、刀具允许,应尽量采用顺铣。

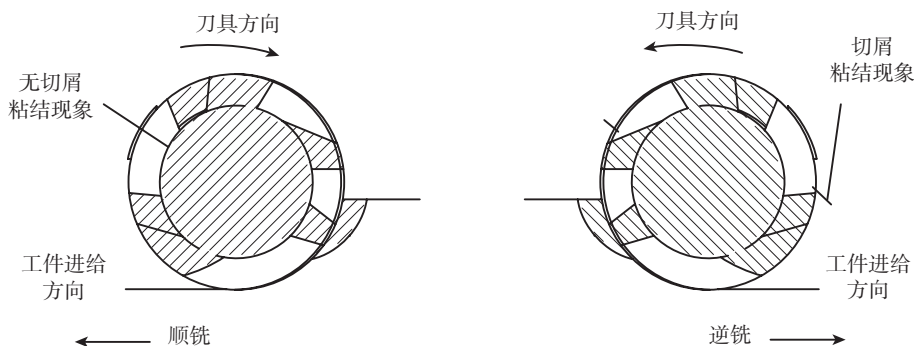


图4 钛合金铣削加工方式及排屑方式
Fig.4 Milling mode and chip removal mode of titanium machining

在铣削钛及钛合金、难加工材料(高强度钢、不锈钢、高温合金等),应该考虑端铣刀中心与加工切削表面的相对位置。铣刀中心在工件铣削加工表面对称位置上的铣削是对称铣,如图 5 所示,否则是不对称铣削。

不对称铣削分为不对称逆铣和不对称顺铣两种情况,如图 6 所示。

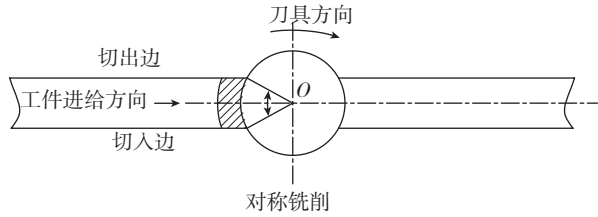
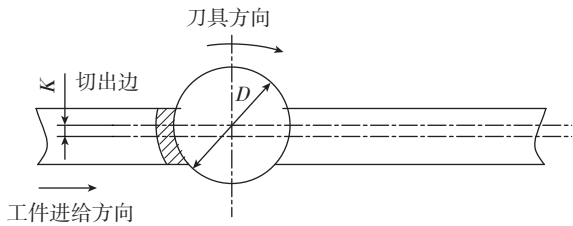
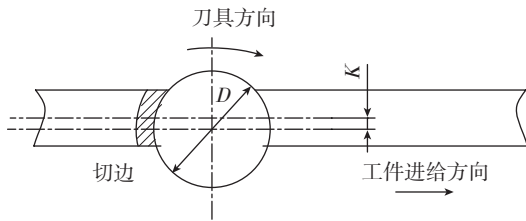


图5 对称铣削
Fig.5 Symmetrical milling



(a) 不对称逆铣



(b) 不对称顺铣

图6 不对称铣削
Fig.6 Asymmetric milling

根据经验,端面铣刀铣削钛及钛合金时,端铣刀中心与工件铣削表面中心偏移量为^[6]:

$$K = (0.04 \sim 0.1) \times D, \quad (1)$$

式中, K 为端铣刀中心与工件铣削表面中心偏移量, D 为端铣刀直径。

端铣刀中心与工件铣削表面中心偏移 K 值后,铣削效果良好,刀具耐用度提高达 1/2 倍以上。

(2) 走刀方式的选择。

对于端面铣加工中采用顺铣的走刀方式,使用 2 倍于工件宽度的面铣刀,导致面铣刀中心偏离工件中心形成顺铣走刀方式,并保证刀齿切出口处切削厚度最小,可明显提高刀具耐用度,减小表面粗糙度值。图 7 为面铣刀单齿刀片在切入工件及切出工件时的示意图。面

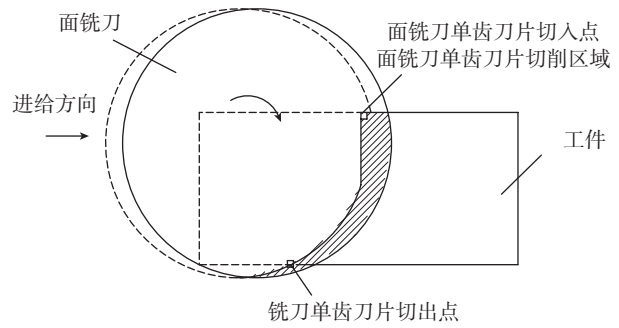


图7 面铣刀单齿刀片的加工示意图
Fig.7 Machining diagram of single tooth blade of face milling cutter

铣刀单齿刀片切入时,刀片切削厚度最大,刀尖刃口深入工件,避开了钛合金表面易形成的表面硬化层,而刀齿切出口处切削厚度最小,又使刀尖刃口避开了钛合金已加工表面产生的较大回弹,避免了蹦刀现象,切削较平稳,减小表面粗糙度值^[7]。数控加工中心进给丝杠与螺母无间隙,为采用顺铣走刀方式提供了方便。

(3) 制定合理的铣削工艺。

选择较低的切削速度。切削速度对切削刃的温度影响很大,切削速度越高,则切削刃温度剧增,切削刃温度的高低直接影响着刀具的寿命,所以要选择合适的切削速度。

选择较大的切削深度。切削深度对刀刃温度影响较小,采用较低的切削速度、较大的切削深度对钛合金的切削是有利的。

选择连续的切削形式。切削中停止走刀,刀刃和被切削钛合金就会在高负荷下长时间摩擦,容易引起钛合金的加工硬化,产生烧结和挤裂而损坏刀具。

增大铣削深度和宽度,增加铣刀的工作齿数,同时适当降低铣削速度,并使用充足的切削液,这些措施也有利于提高铣削生产率。

2.3 镗孔

由于镗刀杆相对刚性较差,镗孔时容易发生让刀现象,不易保证孔的精度。高速镗孔时,孔的内壁会产生鱼鳞状振纹,影响孔的精度及表面粗糙度。为了克服这些缺陷,在加工时控制机床转速及进给速度,在满足加工要求的前提下,尽量选取粗的镗刀杆,以保证切削平稳,消除振动^[7]。该零件在镗孔时使用高刚性的镗头及镗刀杆、锋利的硬质合金刀片,达到了理想效果。

钛合金底座零件在以上的几种加工方式中,下列两点需共同注意:(1) 攻丝和钻削加工时使用的冷却液相同,不推荐使用含氯冷却液。(2) 禁止使用低熔点金属及其合金(铅或锌基合金,铜、锡和镉及合金)制作的工、夹具或临时紧固件。

3 解决措施

(1) 针对钛合金材料的性质和切削过程的特点, 该零件在加工时应考虑以下措施:

- 尽可能使用硬质合金刀具, 如钨钴类硬质合金与钛合金化学亲和力小、导热性好、强度也较高。
- 采用较小的前角和较大的后角以增大切屑与前刀面的接触长度, 并减小工件与后刀面的摩擦, 刀尖采用圆弧过渡刃, 以提高强度, 避免刀尖烧损和崩刃。
- 要保持刀刃锋利, 以保证排屑流畅, 避免粘屑崩刃。
- 切削速度宜低, 以免切削温度过高; 进给量适中, 过大易烧刀, 过小则因刀刃在加工硬化层中工作而磨损过快; 切削深度可较大, 使刀尖在硬化层以下工作, 有利于提高刀具耐用度。

- 加工时须加冷却液充分冷却。
- 切削钛合金时吃刀抗力较大, 故工艺系统需保证有足够的刚度。由于钛合金易变形, 所以切削夹紧力不能大, 特别是在某些精加工工序时, 必要时可使用一定的辅助支撑。

(2) 针对 $\phi 14_0^{+0.015}$ 孔为两处不连续细长孔的加工, 由于 $\phi 14_0^{+0.015}$ 孔长 104 mm, 长径比 $L/D > 5$, 又由于钛合金工艺性差的原因, 使得加工难度大大增加。主要通过以下几个方面来解决。

- 夹具的设计。

该零件结构为薄壁件, 如果孔加工处刚度不好, 会弹刀, 不利切削。所以在刚性不足之处予以辅助支撑, 确保在加工过程中零件不发生位移, 在夹紧时也有同样的要求。以外圆 $\phi 24_{-0.002}^{0.015}$ 为基准, 以 $\phi 120$ 圆端面为定位基准, 采用芯轴定位加工侧面孔, 见图 8 所示。

- 刀具的选择。

刀具是切削的关键, 在去除余量的同时确保孔的位置。用中心钻加工时, 因孔为不连续孔, 每段钻孔先钻中心孔。钻孔时, 打开钻头的侧刃, 在钻入的同时修正孔的位置。

刀具材料采用硬质合金及合理的钻头刃磨: 加大顶角, 减少外缘前角, 增大外缘后角, 倒锥加至标准钻头的 2~3 倍。勤退刀并及时清除切屑, 注意切屑的形状和颜色。如钻削过程中切屑出现羽状或颜色变化时, 表明钻头已钝, 应及时换刀刃磨。二次扩孔, 采用加长铰刀改制, 使外圆尺寸小于孔尺寸 0.15~0.25mm, 以钻孔的形式扩孔修正。镗孔时由于钛合金热扩散率小, 切削温度高, 选用硬质合金镗刀片, 保证孔尺寸一致^[5]。

(3) 切削参数选择, 因钛合金材料难加工, 应选择较低的主轴转速(加工孔一般选择 200~300r/min), 进给

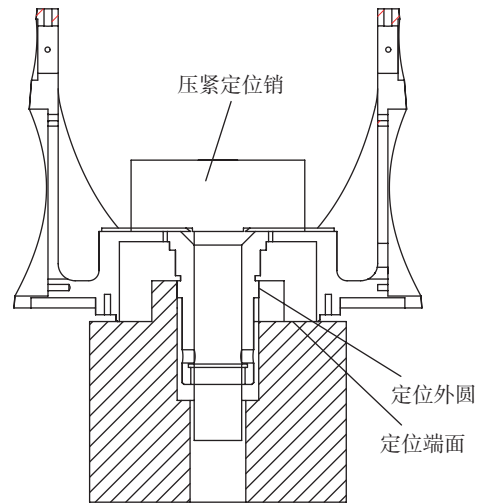


图8 装夹定位图

Fig.8 Diagram of clamping and positioning

量应小, 铰削深度和宽度要窄、浅。大余量会使刀具抗力增加, 刀具会弯曲甚至折断; 散热性差, 刀尖温度高, 容易粘刀, 刀具磨损快, 所以应充分冷却。

(4) 冷却液, 选用合成水溶性乳化液, 切削加工时冷却液要充分, 冷却液循环速度要快, 切削液流量和压力要大。钛合金加工最好不用含氯的冷却液, 避免产生有毒物质和引起氢脆, 也能防止钛合金高温应力腐蚀开裂。

4 结束语

本文对薄壁钛合金零件的加工进行了分析阐述。通过制定合理的加工方案, 选择合适的工装和合理的切削用量, 运用合理的加工技巧, 此类零件的加工质量是可以得到保证的。

参考文献

- [1] 孙杰, 李剑峰. 钛合金整体结构件加工关键技术研究. 山东大学学报(工学版), 2009(6):81-87.
- [2] 张润达, 戚仁欣, 张树雄. 雷达结构与工艺(上册). 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [3] 邹喜洋. 难加工材料的特性及其应用前景. 金属热处理, 2003(4):44-47.
- [4] 汤立民. 飞机结构零件数控加工技术研讨. 世界制造技术与装备市场, 2006(3): 64-67.
- [5] 张宪. 钛合金航空零件铰削加工刀具. 工具展望, 2006(5):19-21.
- [6] 国家机械工业委员会. 金属切削原理与刀具. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [7] 王艳, 乔吉超. 典型钛合金壳体零件加工工艺. 工艺与检测, 2007(7):126-128.

(责编 亦非)