

钛合金盒体的数控加工工艺研究

Study of NC Machining Process of Titanium Alloy Box

中国电子科技集团公司第三十八研究所 王再尧 张宁键 赵永红

针对钛合金材料的特殊性,加工前合理安排好数控加工工艺路线,是保证加工零件精度和质量的重要环节。在编程过程中要充分考虑加工过程中出现的问题,以规避问题在生成加工的程序中出现。

钛合金材料属不易加工材料,刀具的选用、刀具路径与加工参数的匹配性不当就会加剧刀具磨损,产生高温及应力变形,材料表面还会产生碳化,直接影响零件的加工和各项精度参数的保证。因此,掌握难加工材料的性能,采用合适的刀具,改进切削加工参数以及采用适当的编程技术,成为解决该难题的关键所在。

钛合金具有强度高、密度小比强度高、热强性好、耐腐蚀性强的特点。钛合金的弹性模量低,约为钢的1/2,故钛合金容易产生弹性变形。如常用的 $(\alpha + \beta)$ 钛合金的 $\sigma_b = 1010 \sim 1177 \text{ MPa}$,密度 $\rho = 4.315 \text{ g/cm}^3$,比强度 σ_b/ρ 比合金钢高。同样载荷条件下,比强度高的材料可以减轻产品的重量。钛合金的热稳定性好,高温强度高,在 $300 \sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下,比铝合金高10倍。钛的热导率低,约为镍的1/4,铁的1/5,铝的1/10^[1]。

钛合金以其优良的性能,为星载机载雷达的轻型化和小型化发挥了独特的效能^[2]。

钛合金数控加工刀具的选择

钛合金在切削过程中硬度高、强度高,其合金成分多,合金元素与碳构成各种复杂的碳化物,这些碳化物既不溶于合金中,又不聚集长大,而以极细的颗粒形式弥散分布在晶界处,强化晶界,阻止晶界在外力作用下滑移,使得合金显示超强超硬的性质。加工过程中,必须作更大的功,因而必然产生更多的热。另外,其切屑非常容易粘接、熔接在刀尖、刀刃附近,或形成积屑瘤。它不像切削普通钢时仅在前刀面因切屑流动产生高热,刀屑间因扩散作用而造成月牙洼磨损。耐热合金的高温区则在整个刀尖附近前后刀面上,且后刀面同时损伤,更促使切削温度提高,温度达 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上时使磨损加快加剧^[3]。

在持续高温的切削中,粘接物、熔接物受到后续加工的冲击而被冲离,在强迫冲离的过程中,更易带走部分刀具材料而造成刀具缺损、破损(微崩、崩刃)^[4]。在切削过程中,切

屑的形态呈锯齿状,近似粒状形态,由此可知在加工中切削力是波动的,从而使刀具承受的冲击载荷加剧。此外,刀片有时也出现明显的边界(沟状)磨损。故用一般刀具材料加工时损伤很快,使用寿命极短。

在这种恶劣的条件下,过去往往非涂层刀片比涂层刀片效果好些,而适应耐热钢加工的涂层直到最近才有较多进展。在切削耐热合金时,采用Miracle涂层型号为VP05RT、VP10RT和VP15TF。Miracle涂层实际上是以特殊专业技术涂覆(AITi)N,切削时涂层膜的中铝被氧化,形成了稳定的氧化铝保护膜,具有优异的耐热性。几种加工钛合金的刀具材料性价比如表1所示。

表1 加工钛合金的几种刀具材料性价比

刀具材料	TC(N) 基硬质合金	涂层硬质合金	陶瓷刀具	PCD
钛合金	不合适	优	良	优
刀具价格	便宜	一般	高	特高

数控加工关键工艺控制

针对钛合金材料的特殊性,加工前合理安排好数控加工工艺路线,是保证加工零件精度和质量的重要环节。在编程过程中要充分考虑加工过程中出现的问题,以规避在生成加工的程序中出现问题。

1 铣削方式

对于型腔铣,采用顺铣的走刀方式。在切削参数允许的范围内采用较大的径向分层和较小的轴向分层加工;对于侧壁两面都需加工时采取台阶式来回铣削,充分利用零件的整体刚性,可提高加工效率^[5]。

但在切削过程中,不允许刀具中途停顿,切削结束,立即退刀,以免形成坚硬的氧化皮,加速刀具磨损。对于加工中心可采用圆弧进刀和圆弧退刀的方法,减少刀具在某一点的停留时间^[6]。

2 编程控制

(1) 进刀方式。

合理选取起刀点、退刀点、切入点 and 切入方式。采用圆弧切入方式,切入平稳、冲击力小。可以保证刀具不易受到刚性损伤。避免沿工件轮廓垂直方向进刀,在切入材料时要采用斜插式切入,可以避免刀具刃齿的崩损,从而可以有效地保证了后续加工及工件的精度、粗糙度等要求。

精加工时,考虑刀具的切入和切出路线,尽量减少在轮廓处停刀,以避免切削力突然变化造成弹性变形而留下刀痕。

(2) 走刀路径。

走刀路径对提高钛合金整体结构件的加工精度有着重要的影响,对于具有定位功能的表面,尽可能采用由内向外的铣削方式,这样形成内凹的微观结构,有利于定位。对于具有单元框结构的零件,尽可能采用由内向外或由外向内的铣削方式,以利于材料均匀去除,使残余应力均匀释放并保持工件刚度的均衡性,以减小加

工变形^[4]。切削路径尽可能采用直线切削,减少在拐点处走圆弧切削。

3 切削参数控制

钛合金的强度高、粘性大,切削中更容易在切削区产生和积聚热量。加之导热性差,在切削速度过快时有引起燃烧的危险,这就是铣削钛合金零件一定不能选择高切削速度的原因。采用小径向切入法切削钛合金零件,能极好地控制切削温度,实现高速加工。在工厂中使用该方法,可提高加工精度^[6]。

采用低转数、快速进给、小切削深度,使材料快速分离,不会产生高热及大应力,刀具磨损也较小。切削速度、进给速度、径向切深对钛合金

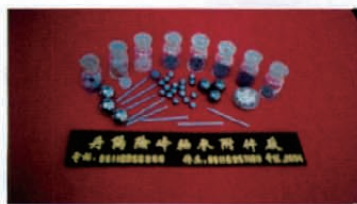
表面粗糙度产生不同的影响。随着切削速度增加,表面粗糙度在径向切深方向略有减小,而在进给方向先增加然后减小。

4 装夹要求

对薄壁工件在装夹时注意一个“实”字,即要把底面垫实。零件的底面为曲面,所以夹具体应设计成相同的凹面,同时满足精度要求。装夹时,利用定位孔销定位,轮廓用辅助夹具固定,刀具路径采用一粗一精,分几次加工到最后尺寸,或采取对称去余量法安排进给路线。不要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。与钛合金接触的工、夹具

“DXF”丹阳险峰轴承附件厂

系中国轴承工业协会,基础件成套技术公司联合会成员单位、专业生产各种仪器仪表的工厂,有硬质合金测头、测片、圆棒(球)(环)、套,各种硬质合金刀具刀片,挤孔球、砂轮接杆,镶硬质合金条无心磨床托板(从M1010至M10400),球(从 $\Phi 0.8\text{mm}$ 至 $\Phi 75\text{mm}$)特别新开发的DJK-150型电解刻印机,深受广大用户的青睐。



▲ DJK-150型“百灵”牌电解刻印机的技术规格

刻印直径: 15 ~ 150mm
电 源: 220V, 50Hz
刻印高度: >4mm 功耗: <40W
刻印深度: 5-15mm 净重: 10kg
刻印效率: 60件/min(双槽型)
膜片寿命: 约10万件/片
电解液消耗: 约1.2kg/万件
外形尺寸: 320mm×280mm×100mm(刻印电源)
300mm×420mm×80mm(刻印槽)
不但在平面上而且在外径上也可使用

本厂生产的硬质合金钢球,于1999年4月28日和2000年7月6日经国家轴承质量鉴定检测中心测定,分别达到G16($8 \sim 14\text{mm}$)、G10($\phi 3 \sim \phi 7.5\text{mm}$),深受用户青睐。

通讯地址: 江苏省丹阳市新桥镇何家村15号
电话: 0511-86356866 86352019
传真: 0511-86357163
手机: 13952839756

邮编: 212322
网址: WWW.XFDJKQ.COM
电子邮箱: Xqzfff@pub.zj.jsinfo.net

广告索引号 10-057

或其他装置必须清洁无垢。加工后的钛合金表面不允许残留铅、锌、铜、锡和镉等低熔点金属。如有残留,应使用氢氟酸和硫酸亚铁溶液仔细清洗。装卸清洗过的钛合金工件时,必须防止油脂及指纹污染,以免发生盐应力腐蚀,使钛合金工件断裂。

5 钻孔和攻丝

钻孔: 钛合金回弹性大,钻头进入工件后受较大径向及轴向力。钛合金化学活性高,易造成粘刀,切屑不易排除,往往产生钻头被咬住、扭断钻头等现象。选取专用于钛合金加工的高速钢钻头,通过增厚钻芯和尽量减小其长度的方法提高刚性。加工时避免钻头不进给而在孔中打转,以免引起加工硬化。实际加工中测得孔径比钻头直径小0.1mm左右,

这是钛合金材料特性的表现之一,故钻孔可使用比标准直径大0.1mm左右的钻头。钻孔前需用中心钻点孔,并在对刀机上检查钻头端部,控制刀刃跳动量小于0.02mm^[6]。

攻丝: 钛合金攻丝加工,特别是小孔攻丝加工很困难。其主要原因是在攻丝加工过程中,造成钛合金热膨胀。另外,钛合金加工后回弹大,易造成丝锥折断。具体可通过以下2种途径得以解决。

改进丝锥结构形式,将锥芯增粗和减少各段丝锥切削刃宽度或使用跳牙丝锥可以提高刚性及减小同被加工材料的接触面积。另外,采用螺旋槽可增加丝锥锋利程度,减小切削力,避免丝锥折断,有利于排屑,使冷却液能够较容易进入切削区,改善丝锥冷却及润滑性能。对螺纹底孔设计提出公差要求需对螺纹底孔直径公差提出要求。

6 润滑要求

钛合金箱体零件在以上的几种加工方式中,需注意下列2点:
(1) 在钻削攻丝及铣削加工时使用的冷却液相同,不推荐使用含氯冷却液。因为在切削过程中,切削液在高温下分解释放出氢气,被钛吸收后引起氢脆,同时,氯还可能引起钛合金高温应力腐蚀开裂。钻削浅孔时,可用电解切削液;钻削深孔时,用N32机械油加煤油,配比是3:1.5,也可用硫化切削液。可见,钛合金加工的冷却液配制适合,可延长刀具寿命。

通过以上分析,采用规格为 $\phi 4\text{mm}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 的三刃

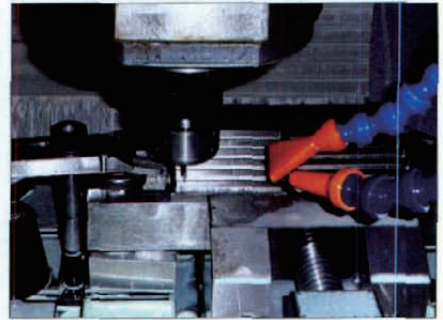


图1 箱体数控加工

TiC(N)基硬质合金刀具和 Miracle 涂层硬质合金刀具对各加工参数分别进行试验,在加工条件良好的情况下测得具体加工参数对比如表2、表3。加工状态图1所示。

结束语

从加工后零件的检测结果及实验数据可知,使用涂层硬质合金刀,转速2500r/min,进给速度400m/min,切削深度0.07mm这组数据,基本到达了设计工艺要求。由此可得出:

- (1) 涂层硬质合金刀可满足钛合金加工。
- (2) 采用低转速,可降低刀具磨损、延长刀具使用寿命。
- (3) 快进给速度,每齿切削量在0.08mm左右,不易产生加工硬化。
- (4) 小切削量,可避免造成切削温度过高而产生零件变形。

参考文献

- [1] 邹喜洋. 难加工材料的特性及其应用前景. 金属热处理. 2003(4): 45.
- [2] 张润达, 戚仁欣. 雷达结构与工艺(上册). 北京: 电子工业出版社. 2001. 22-24.
- [3] 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): 86.
- [4] 张宪. 钛合金航空零件铣削加工刀具. 工具展望. 2006(5): 19-21.
- [5] 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): 65.
- [6] 王艳, 乔吉超. 典型钛合金壳体零件加工工艺. 制造技术与机床. 2007(7): 126-128.

(责编 侧卫)

表2 TiC(N)基硬质合金刀具加工试验情况

转速/ ($r \cdot \text{min}^{-1}$)	进给速度/ ($m \cdot \text{min}^{-1}$)	切削深度/ mm	结果
20000	6000	0.5	刀具磨损太快、无法完成切削
15000	6000	0.5	刀具磨损太快、无法完成切削
10000	4000	0.3	刀具磨损太快、无法完成切削
6000	3000	0.2	刀具磨损太快、无法完成切削
3500	300	0.2	刀具磨损太快、无法完成切削

表3 Miracle涂层硬质合金刀具加工试验情况

转速/ ($r \cdot \text{min}^{-1}$)	进给速度/ ($m \cdot \text{min}^{-1}$)	切削深度/ mm	结果
20000	6000	0.5	刀具磨损太快、无法完成切削
15000	6000	0.5	刀具磨损较快、无法完成切削
6000	2000	0.1	刀具磨损可以、变形0.35mm
3500	400	0.25	刀具磨损可以、变形0.4mm
2500	350	0.5	刀具磨损可以、变形0.35mm
2500	400	0.07	刀具磨损可以、变形0.08mm