

航空领域钛合金内螺纹用 丝锥的设计

Design of Screwtap for Titanium Alloy Inner Thread in Aviation Industry

中航工业陕西航空宏峰精密机械工具公司 许丽华



许丽华

任职于中航工业陕西航空宏峰精密机械工具公司技术开发部,多年来从事螺纹刀具、量具设计工作。全国螺纹标准化技术委员会委员、全国螺纹标准化技术委员会螺纹测量分技术委员会委员、全国刀具标准化技术委员会螺纹刀具分技术委员会委员。

航空领域离不开螺纹工量具,尤其对螺纹工具有其特殊的使用要求,比如被加工材料为难加工材料、工件

钛合金已成为航空工业最重要的工程材料之一,获得了越来越广泛的应用。但是,钛合金又是一种典型的难加工材料,切削性能比较差,而在钛合金材料上,用丝锥攻制内螺纹尤其困难,需要进行优化设计。

精度要求较高、加工中要求高的刀具切削速度,同时数控机床的大量使用需要相配套的刀具。这些使用特点要求工具企业开发独具特色的解决难加工材料的专用螺纹刀具。

钛合金已成为航空工业最重要的工程材料之一,获得了越来越广泛的应用。但是,钛合金又是一种典型的难加工材料,切削性能比较差,而在钛合金材料上,用丝锥攻制内螺纹尤其困难,需要进行优化设计。

钛合金的切削加工性能特点

1 钛合金材料特点

钛及其合金同其他金属材料比较,具有3个显著的优点:比强度高、中温性能好、耐腐蚀。在室温下,钛

合金的比拉伸强度为高强度结构钢的1.26倍、高强度铝合金的1.38倍。在400~550℃温度范围内,钛合金的比持久强度、比蠕变强度和比疲劳强度都优于耐热不锈钢。

钛合金从金属组织上可分为 α 相钛合金、 β 相钛合金和 $(\alpha+\beta)$ 相钛合金。硬度及强度按 α 相、 $(\alpha+\beta)$ 相、 β 相的次序增加,而切削加工性按这个次序下降。

2 钛合金切削加工特点

钛合金的硬度大于350HBS或300HBS都难进行切削加工,但困难的原因不在于硬度方面,而在于钛合金本身的力学、化学、物理性能间的综合,切削加工特点表现为:变形系数小;切削温度高;主切削力小而背

向力大;切屑呈挤裂状,加工表面易生成硬脆变质层;粘刀现象严重。

3 钛合金内螺纹攻丝特点

由于钛合金的诸多特性,在钛合金材料上进行内螺纹攻丝,是钛合金切削加工中最困难的工序,尤其对于小孔螺纹的加工更加困难,而且离不开丝锥攻制。主要表现为攻螺纹总扭矩大,约为45钢攻螺纹扭矩的2倍;丝锥刀齿过快磨损、崩刃,甚至被“咬死”而折断。其主要原因是钛合金弹性模量太小,已加工的螺纹表面会产生很大回弹,给丝锥刀齿的侧后面及齿顶后面很大的法向力,从而造成很大的摩擦扭矩;加之切削温度高、切屑有粘刀现象不易排除、切削液不易到达切削区等;加工表面容易产生应力集中,并形成硬脆层,被加工螺纹表面质量较差。

钛合金内螺纹用丝锥的设计

为满足航空企业的专用性要求,解决上述加工问题的关键是提高钛合金内螺纹攻丝用丝锥的加工性能,必须对钛合金攻丝用丝锥的几何参数进行优化设计,并采取适当加工条件。从丝锥的结构形式、刀具参数方面进行改进,这都是非常重要的措施,同时根据工件螺孔形式、螺孔精度要求、机床条件等诸多不同的条件设计、选用合适的丝锥。

1 丝锥材料的选用

采用硬质合金作为刀具,以提高生产率。应该选用与钛合金亲和力小、导热性能良好、强度高的细晶粒钨钴类硬质合金。同时丝锥也可选用高温性能好的高速钢:W2Mo9Cr4VC08(M42)、W6Mo5Cr4V2Al(501)及粉末冶金高速钢。

其次,为提高丝锥的使用性能,还可以对丝锥表面进行涂层强化处理。可选用TiAlCN、TiCN、TiAlN、TiN等涂层,涂层后的刀具表面有硬层,耐磨性好,与被加工材料间的摩擦系数小,但不降低基体材料的韧

性,刀具的耐用度显著提高。

2 丝锥结构的设计

在丝锥结构方面,首先应提高刀具材料的刚性,好的材料结合适当的刀具形式,才能发挥出较好的性能。可以根据需要选用直槽丝锥、跳牙丝锥及修正齿型角丝锥等多种形式。

(1)直槽丝锥。

a. 丝锥前角和后角对其加工性的影响。

根据生产现场的观察,加工钛合金时,钛合金被切削时易产生弹性变形和弹性恢复,使摩擦力和切削力增大,刀具磨损加快,被切螺纹精度降低。丝锥的前刀面崩损严重,多发生在切削锥上接近导向部分附近,开始是单个螺牙崩掉,继而是几个螺牙的前刀面连片的崩掉。这是由于该部位的切削刃接近于螺纹外径,刀齿变尖,强度减弱。当前角较大时,强度减弱更为明显,刀刃受力集中在螺牙齿间部分,更易崩损。因此丝锥的合理前角应根据被加工钛合金材料的加工特性来选择,应选择较小前角,为此选前角为 5° 左右。

后角选择不当对丝锥崩齿也有一定的影响,如果切削锥的后角太大,则丝锥回攻时未脱落的切屑及已脱落细小切屑容易从刀瓣背后挤进去,而不是被切掉,与丝锥背面产生强烈的摩擦和挤压,有时也会引起丝锥前刀面的崩损。为了减小摩擦力和摩擦扭矩、避免丝锥粘屑、提高螺纹表面质量,将加工钛合金用丝锥后角加大为 $4^\circ\sim 8^\circ$ 。同时,整个丝锥牙型面应全齿铲背,保证齿侧后角为 $30'\sim 40'$ 。

b. 普通材料通孔攻丝时,通常选取丝锥的切削锥长度 $L_5=2P$,切削锥度 $K_r=17^\circ$,每齿切削厚度 $a_c=P\cdot \sin K_r/N$ (N 为齿数), $N=3, P=1$ 时, $a_c=0.09745\text{mm}$ 。钛合金通孔攻丝加工时,为降低攻丝切削力,选取切削锥长度 $L_5=$

$(10\sim 20)P$ 。为保证顺利导入螺纹底孔,按 $\tan K_r=(0.7\sim 0.8)P/L_5$ 选取切削锥度,即 $K_r=4^\circ\sim 2^\circ$,每齿切削厚度: $N=3, P=1$ 时, $a_c=0.023\sim 0.012\text{mm}$;每齿切削厚度大幅减少。

c. 为了减小摩擦和螺纹孔的扩张量,加大校准部分刀齿后角,将加工钛合金用丝锥的倒锥度加大至 $(0.04\sim 0.08)\text{mm}/25\text{mm}$ 。

d. 精锥是攻丝加工时切削出最终完整牙型的精加工刀具,为了提高钛合金攻丝的螺纹尺寸精度和表面质量,必须提高精锥的尺寸精度和表面质量,减少切削载荷。

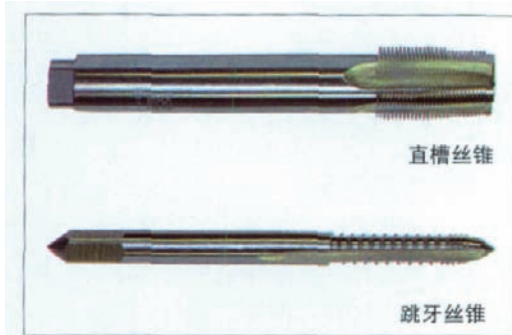
e. 丝锥的槽形对加工的影响。

丝锥容屑槽形状对切屑的形状有很大的影响,容屑槽应能保证切屑的顺利卷曲,并且有较大的容屑空间,对盲孔攻丝来说,这一点尤其重要。

(2)跳牙丝锥。

a. 为了减小丝锥与工件上已切螺纹的摩擦力,在直槽丝锥或螺旋槽丝锥工作部分,同一刀瓣上的齿每隔一个去掉一齿,再把沿同一螺旋线方向相邻2刀瓣上去齿的部位做到相互错开一个齿,这种丝锥就成为跳牙丝锥。

由于间隔去掉齿而留出的空间给钛合金工件的弹性变形留出了空间,减少了丝锥螺纹表面与工件螺纹表面间的摩擦力,降低了攻丝扭矩并减少了粘牙现象,改善了切削条件;同时去掉间隔齿而留出的空间可以容纳一部分切削液,使得冷却充分,降低切削热,进一步改善了切削条



件。采用这种改进的丝锥加工钛合金上的螺纹,改善了螺纹的加工,效果十分明显。

b. 加工跳齿丝锥时,其去齿形式为:保持切削锥部螺纹不变(即不改变切削图形和切削厚度),从切削锥部后的第二个完整齿开始,将校准部分构成螺旋线的各齿隔一圈去掉一圈,使丝锥切削条件有所改善,可以避免在校准部分发生熔敷现象。去齿时,齿形残留部分的最大直径,约等于丝锥小径或允许大于小径0.1mm,最好不大于攻丝前的底孔直径。应注意避免砂轮碰到两侧齿形的齿面。



c. 同时还应注意,应在丝锥去齿前用三针测量中径,否则就难以测量。因为找不到既与丝锥在中径附近相切,又与去齿后残留齿形不相碰的标准三针。

(3) 修正齿型角丝锥。

a. 普通丝锥的牙形角与被加工螺纹型面牙型角相等。这样丝锥侧刃的隙角为0,切削钛合金工件时,由于弹性变形和弹性恢复,使得丝锥侧刃与工件摩擦较大,切削扭矩较大。为改善这种情况,可采用修正齿形角丝锥。

修正齿型角丝锥的牙型角小于被加工螺纹的牙型角,即当螺纹牙型角为 60° 时,修正齿型角丝锥的牙型角一般取为 55° 。由于丝锥采用 55° 齿型角在加工 60° 牙型角螺纹时,可保证丝锥和工件牙型间有足够的侧隙角,用于改善工件的弹性变形和弹性恢复,以减少摩擦使切削力下降。

b. 丝锥螺纹部分的锥度。

修正齿形角丝锥的牙型角小于被加工螺纹的牙型角,通过理论分析,为了使丝锥加工出正确的被加工螺纹牙型,必须使丝锥每个切削齿的齿尖均落在被加工螺纹的牙型面上。

为此,在磨制丝锥齿形时,须将丝锥切削锥上的最后一个齿高于第一个齿,使切削锥各齿抬到同一平面来磨削,使得丝锥切削锥部螺纹型面有一个逐渐增大的较大的锥度,也就是要求的反向锥度,这点是修正齿形角丝锥与普通丝锥最大的不同,普通丝锥切削锥部螺纹型面是一个逐渐减小的锥度。在加工钛合金时切削锥角取 6° ,修正齿形角丝锥的反向锥角可为 $39'$ 。

c. 丝锥的螺纹中径。

丝锥磨出反向锥度后,每个齿的中径都是不相同的,一般都测量第一个校准齿的中径,采用 55° 角用三针测量。加工钛合金时中径的计算式为: $d_{20}=d_2-0.07P$ 。



这种丝锥是将螺纹的成形原理由标准丝锥的成形法改为渐成法,采用此种丝锥在钛合金上攻螺纹时,与普通丝锥相比,切削扭矩可减小30%~35%;与跳齿丝锥比较,可减小20%~25%。这种丝锥精度要求高,制造比较复杂。



3 实际使用中的注意事项

攻钛合金螺纹时,切削液的选用是否恰当非常重要。一般以含CI、P的切削液效果较好,但用含CI极压切削液后必须清洗零件,以防止晶间腐蚀。

钛合金攻螺纹时底孔直径的选取尤为重要,可按牙高率(螺孔实际牙型高度与理论牙型高度的比值的百分率)不超过70%为依据来选取底孔直径大小:小直径和粗牙螺纹牙高率可小些,攻螺纹深度小于螺孔基本直径时可适当加大压高率。牙高率过大会增大攻螺纹扭矩,甚至折断丝锥。

结束语

作为中国航空工业唯一的螺纹工量具科研、生产专业化企业,致力于航空航天等军工用螺纹工量具的研发、制造、检测与试验,针对航空航天行业加工钛合金、高温合金用的螺纹工具,陕西航空宏峰精密机械工具公司已积累了丰富的经验,通过技术改造后引进的世界上先进的高精度数控机床,以及部分进口的检测设备构建了良好的平台,保证了航空航天企业螺纹联结的使用需求。公司还将继续加大技术创新力度,充分利用企业加工优势,只有研发设计出难加工材料适用的刀具,才能成为现代航空航天制造企业的首选刀具供应商。

(责编 小颖)