

# 钛合金深小孔加工技术研究

焦 挺 王世明 牛雪平

郑州飞机装备有限责任公司 河南 郑州 450052

**摘要:** 钛合金集成座类零件有许多相贯的深小孔结构,含有长径比大于15的深小孔,在深小孔加工时易出现钻头折断、孔钻偏等问题。通过改进加工工艺方法、对加工方式与切削参数进行优化,提高了深小孔加工合格率和加工效率,为其他产品的深小孔加工提供了宝贵的经验。

**关键词:** 钛合金; 深小孔加工; 工艺方法改进

近年来,随着科学技术的飞速发展,钛合金材料在航空航天、国防、电子工业等领域的应用越来越广泛,在很多精密零组件中都涉及深小孔加工,由于钛合金材料的弹性模量小,导热性差,切削过程中散热。在加工深小孔时,切削温度高,去除的材料容易与刀具黏结,会加快刀具的磨损,造成刀具刀刃崩刃,断刀,直接影响零件的加工质量和成本<sup>[2-3]</sup>。因此,钛合金材料的深小孔加工一直以来都是生产制造中的难题之一,也是最不稳定的加工工序之一,提高钛合金深小孔加工的工艺性和加工效率成为了需要迫切解决的问题。本文以某钛合金集成座为研究对象,结合国外相关的先进加工工艺方法,根据生产中反馈的信息,合理安排工艺流程,对其进行工艺改进及参数优化,达到了高效加工的目的,获得了较好的经济效益,同时具有实际推广应用意义。

## 1 产品介绍

集成座作为气密性精密零件,其材料为TC11,有许多细长小孔相贯结构,正面的深小孔 $\phi 3\text{mm}$ 深44mm与侧面的M8螺纹孔、深小孔 $\phi 2.5\text{mm}$ 深31mm、 $\phi 3\text{mm}$ 深41.5mm相贯(如图1所示),最大深径比接近16。还有两个通保险丝的小孔 $\phi 1.2\text{mm}$ 深12.4mm(如图2所示),最大深径比大于10,要求孔轴线与水平面夹角为 $45^\circ$ 。<sup>[1]</sup>

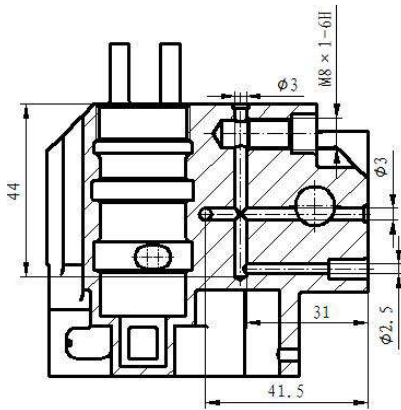


图1 集成座局部剖视图

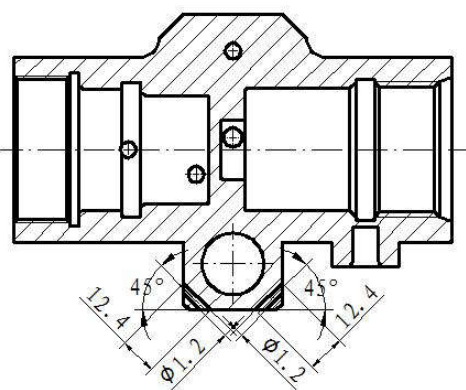


图2 集成座局部剖视图

## 2 加工中存在的问题

该集成座材料为TC11,属于难加工材料。加工过程中主要有以下难点:

2.1 加工深小孔 $\phi 3\text{mm}$ 和 $\phi 2.5\text{mm}$ 时,钻头需要高转速,机床主轴的回转精度不高会造成钻头的晃动,导致钻头折断。钻头过长刚性差,钻削难加工材料时容易弯曲变形,严重的会折断,如果钻头折断在工件中,会造成工件报废,造成材料的浪费,影响产品的生产周期。<sup>[2]</sup>

2.2 加工深径比大的深小孔 $\phi 3\text{mm}$ 和 $\phi 2.5\text{mm}$ 时散热差且不易排屑,钻孔属于内表面加工,切削层在工件内表面,属于半封闭切削,切屑难以排出,而且在钻削前期阶段,冷却液还可以喷到切削刃处,随着钻削不断深入,冷却液很难达到孔的深处。排屑及散热条件差也会导致铁屑与刀具黏结,加速刀具磨损,降低刀具寿命,使钻削更加困难,加工精度和表面质量都不易控制。

2.3 盲孔加工时无法及时观测内部状态,在两深孔相贯处钻头切削刃受力不均匀,容易导致孔钻偏,切削刃受力不均匀也会加剧钻头磨损,造成钻头折断。

2.4 当钻削平面上的 $\phi 1.2\text{mm}$ 斜孔时,需要预先钻工艺孔,再通过制作专用工装进行定位加工,钻头钻入和钻出时切削刃受力不均匀,容易打滑,钻偏,造成钻头

折断,而且需要多次装夹,加工效率低。

### 3 改进措施

针对零件在生产中出现加工深小孔出现的问题进行了梳理,结合国内外深小孔加工工艺方法,进行了深小孔加工工艺优化改进,通过生产跟踪及现场试加工,解决了加工深小孔产生的孔偏和钻头易折断等问题,具体通过以下几个方面进行改进:<sup>[3]</sup>

#### 3.1 钻削加工方法改进

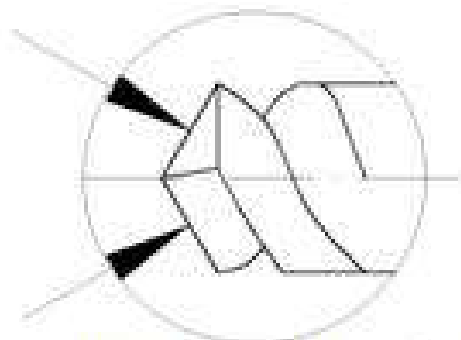


图3 钻头受力示意图

在加工 $\phi 3\text{mm}$ 和 $\phi 2.5\text{mm}$ 深小孔时,在孔相贯处容易钻斜、折断钻头。究其原因主要是钻头受力不均匀造成的(如图3),当切削刃长度相同且与轴心线对称,这样才能保证在切削时切削刃受力均匀,当切削刃受力不均匀时,钻头在加工过程中就会向受切削力小的那侧倾斜,造成孔钻斜,严重时造成刀具折断。在加工深小孔时,考虑到刀具悬长越长、刀具直径越小,刀具刚性越差,因此合理安排孔的加工顺序及加工方法极其重要,应先加工深孔再加工浅孔、先加工小孔再加工大孔。孔的散热和排屑也是深孔加工的难题,因此在深孔加工时采用了内冷钻头,内冷钻头优势是冷却液可直接引入钻头内部,并通过切削刃口喷出,能及时的将产生的热量和削屑及时排出,有效减少了钻头和工件的磨擦,降低了钻头的磨损。通过工艺试验发现,先采用较短钻头进行引钻孔,加工深度小于5倍刀具直径,再使用内冷钻头续钻,内冷钻头续钻时,在数控编程时采用循环点式钻削,进行往复式钻削。可以及时观察钻头加工深孔时是否折断,并有利于切屑的排出和散热,降低钻头磨损,提高刀具寿命,能有效提高加工质量和加工经济性。

#### 3.2 钻削加工参数选择

设置合理的加工参数是钛合金钻深小孔加工中及其重要的因素之一,直接影响着产品的加工质量和生产成本。钻削加工主要的参数为: $V_c$ 为钻削速度(m/min); $D$ 为钻头直径(mm); $n$ 为转(r/min); $Z$ 为齿数; $f_z$ 为

每齿进给量(mm/z); $V_f$ 为进给速度(mm/min);这些参数中相互关系为: $n=100V_c/\pi\cdot D$ 、 $V_f=n\times f_z\times Z$ 。通过查阅相关资料和现场工艺试验得到在保证小孔精度和加工效率的前提下,合理的加工参数如表1所示。<sup>[4]</sup>

表1 钻削加工参数

钻头规格	转速 $n/(r/min)$	每齿进给量 $f_z/mm$	进给速度 $V_f/(mm/min)$
$\phi 2.5$ 短	3500	0.01	70
$\phi 2.5$ 长	3180	0.008	50
$\phi 3$ 短	3200	0.01	64
$\phi 3$ 长	2650	0.008	42

#### 3.3 螺旋铣削加工技术应用

斜孔 $\phi 1.2\text{mm}$ 现加工流程为:打中心孔→组专用夹具钳工加工,需要多次装夹,加工效率低,钳工加工表面质量差。在小孔加工中,当传统的钻孔方式没法满足精度要求且钻头磨损严重,而采用螺旋铣削技术制孔时,孔的加工精度能够达到所要求,刀具的磨损也比较小<sup>[4]</sup>。螺旋铣孔加工过程中存在连续切削与断续切削组成的复合切削,产生的切削热更少,这与钻孔单纯的连续切削完全不同。选择合适的刀具和加工参数,螺旋铣削在加工过程中的受到的轴向切削力会更小,可以大幅提高刀具寿命和加工效率。螺旋铣孔的加工模型如图3所示。

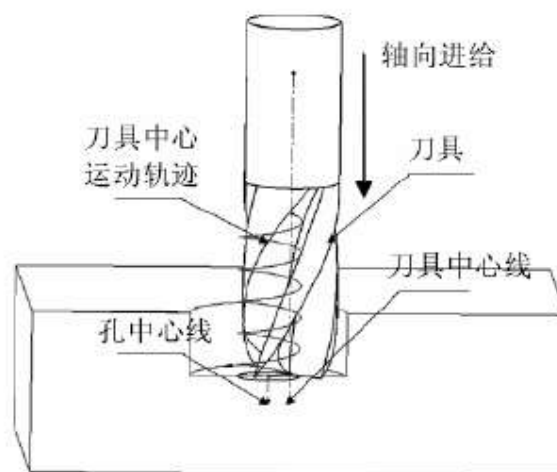


图4 螺旋铣孔模型

#### 3.4 螺旋铣削刀具和加工参数选择

在加工钛合金的过程中,一般采用红硬性好、导热性好、抗弯强度高,对钛合金亲和力差的刀具材料。因而,钛合金加工的刀具材料一般为YG类硬质合金<sup>[5]</sup>。现加工孔直径 $D=1.2\text{mm}$ ,刀具选用 $\phi 1\text{mm}$ 的YG类涂层硬质合金铣刀,刀具齿数 $Z=3$ 。螺旋铣孔加工是由刀具沿自身轴线的“自转”、刀具绕孔中心的“公转和刀具的轴

向进给3个运动复合而成。刀具的螺旋进给由两个运动复合组成，即刀具的轴向进给运动与切向进给运动。螺旋铣削包含以下参数： $V_c$ 为铣削速度（m/min）； $n$ 为转速（r/min）； $f_z$ 为每齿进给量（ $\mu\text{m}/z$ ）； $V_f$ 为进给速度（mm/min）； $ap$ 刀具螺旋轨迹螺距。这些参数中相互关系为： $n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot D$ 、 $V_f = n \times f_z \times Z$ 。通过现场工艺试验发现当转速=7000r/min、进给速度 $\approx 60\text{mm}/\text{min}$ 、刀具螺旋轨迹螺距 $ap=0.1\text{mm}$ 时，小孔的加工效率和表面质量都得到了显著提高。<sup>[5]</sup>

集成座深孔加工工艺改进流程如图5所示。

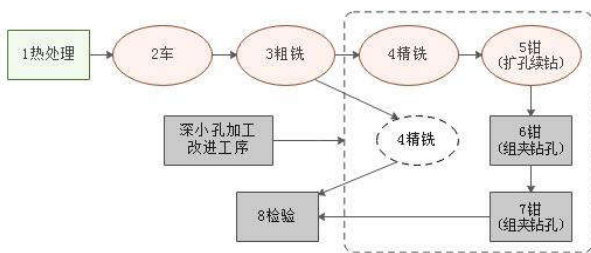


图5 深小孔加工工艺改进流程

### 总结

针对本零件的深小孔加工采用了引钻-续钻孔、螺旋铣孔的方法，通过优化了深小孔加工工艺流程，很好地

保证了孔的加工质量，零件平均合格率由原来约50%，提高到现在95%以上，加工效率也提高了50%左右。通过现场加工试验，总结了加工钛合金深小孔的合理的切削参数，很好地保证了孔的加工精度和表面质量，刀具寿命也提高了3倍以上，具有较高的实际应用价值，对高效加工高质量的小孔具有一定的指导作用，能为新研产品更大深径比的深小孔加工提供工艺参考。

### 参考文献

[1]赵炳桢.切削技术的进步与制造业的发展[J].航空制造技术, 2004, 47(8): 38-41.  
 [2]洪浩.钛合金深孔钻削的工艺分析及研究[J].机电技术, 2009, 32(2): 66-68.  
 [3]彭海,刘战锋,朱林.钛合金材料深孔钻削工艺研究[J].新技术新工艺, 2002(8): 16-18.  
 [4]R.Iyer, P.Koshy, E.Ng.Helical milling: An enabling technology for hard machining precision holes in AISI D2 tool steel[J].International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, (47): 205-210.  
 [5]孙明杰.多种钛合金铣削加工工艺研究[D].秦皇岛: 燕山大学, 2012.