

Ti2AlNb 合金深细孔的高效切削加工工艺技术研究

苏云玲 周 贺 刘月萍 罗远锋
(北京动力机械研究所, 北京 100074)



摘要: 以某航空航天发动机用头部装置支板的加工为例, 针对 Ti2AlNb 合金的材料特性、切削性能, 研究了长径比为 30 倍的深细孔高效切削加工工艺技术。通过对不同刀具及其切削参数进行切削试验验证, 给出了适用的刀具及其切削参数, 并总结出了一套适用于 Ti2AlNb 合金深细孔高效切削的加工工艺方法。为 TiAl 基类轻质难加工合金材料的高效切削技术研究提供了思路。

关键词: 航空航天发动机; Ti2AlNb; 深细孔; 高效切削

Efficient Machining Technology Research of Deep Pores in Ti2AlNb Alloys

Su Yunling Zhou He Liu Yueping Luo Yuanfeng
(Beijing Energy Machine Institute, Beijing 100074)

Abstract: Taking a head supporting device used for aerospace engine as an example, the deep pores that the length to diameter ratio is 30 times efficient machining technology is studied based on the material characteristics and cutting performance of Ti2AlNb alloys. The suitable cutting tool and cutting parameters are given, and a set of suitable method is summarized for Ti2AlNb alloys deep pores efficient cutting based on different cutting tools and its cutting parameters on cutting test. A train of thought is provided for high efficient cutting technology research of TiAl base class of lightweight difficult-to-cut alloys.

Key words: aerospace engine; Ti2AlNb; deep pores; efficient-cutting

1 引言

Ti2AlNb 合金材料是一种轻型、优质的高温合金材料, 因为密度低且高温性能优越, 成为航空航天发动机核心承力件材料的首选。但由于导热性较差, 且质粘, 导致其切削性能较差, 尤其在深细孔的加工方面, 多采用全切深啄钻的方式进行加工, 加工效率低下且刀具成本较高。加工完成的孔壁表面粗糙, 导致产品实际工作性能的减退甚至无法使用。

本文针对 Ti2AlNb 材料深细孔的高效切削技术, 以某型号发动机支板的加工为例, 开展了深入研究, 通过试切总结出的一套适用于 Ti2AlNb 合金深细孔高效切削的刀具参数, 并给出了适用的加工工艺方案。

2 切削参数对刀具寿命的影响规律

由于 Ti2AlNb 合金为耐热合金, 所以在高温环境下具有很好的耐热特性。但因其热传导性较差, 在切削过程中产生的热量不能快速传导出去并散发, 所以其切削性能极差, 导致在切削区域产生较高的切削温度, 刀具温度也随之升高, 进而对刀具的使用寿命及磨损形态产生较大影响。在刀具磨损与耐用度对比试验中, 刀具正常切削阶段的磨损主要由较高的切削温度引起, 占主导地位磨损形式为热磨损^[1]。

以 Ti2AlNb 材料支板深细孔的加工为例, 通过开展正交试验, 研究了 Ti2AlNb 合金切削用刀具的寿命即刀具切削总深度随切削速度、进给量、切削深度三要素的变化规律, 可用于优化选择切削工艺参数, 从

作者简介: 苏云玲 (1976-), 高级工程师, 机械制造及其自动化专业; 研究方向: 三元流整体叶轮的五轴精密数控加工。
收稿日期: 2016-12-19

而获得较好的刀具耐用度。正交试验中,根据 Ti2AlNb 合金的材料特点、深细孔的结构特征,选取切削速度、进给量、切削深度三个因素,每个因素选取四个水平:切削速度分别为 10m/min、15m/min、20m/min、25m/min;进给量分别为 5mm/min、10mm/min、20mm/min、30mm/min 每刀切削深度分别为 0.5mm、2mm、5mm、10mm。试验参数的正交组合和相应的刀具切削总深度 L 的测量结果如表 1 所示。

表 1 正交切削试验与结果分析

试验序号	A $v/m \cdot \min^{-1}$	B $F/mm \cdot \min^{-1}$	C a_p/mm	L/mm	表面粗糙度 $R_a/\mu m$
1	10	5	1	532	0.838
2	10	10	2	315	1.124
3	10	20	5	81	2.024
4	10	30	10	18	2.731
5	15	5	2	719	0.648
6	15	10	1	457	0.862
7	15	20	10	331	1.764
8	15	30	5	154	1.672
9	20	5	5	193	0.547
10	20	10	10	112	1.189
11	20	20	1	65	0.838
12	20	30	2	46	1.264
13	25	5	10	213	0.586
14	25	10	5	137	0.852
15	25	20	2	86	0.791
16	25	30	1	31	0.845
I_L	946	1657	1085		
II_L	1661	1021	1166		
III_L	416	563	565		
IV_L	467	249	674		
R_L	1245	1408	601		
I_{Ra}	6.717	2.619	3.383		
II_{Ra}	4.946	4.027	3.827		
III_{Ra}	3.838	5.417	5.095		
IV_{Ra}	3.074	6.512	6.27		
R_{Ra}	3.643	3.893	2.887		
最优组合	$A_2B_1C_2$				

对表 1 中的数据进行极差分析,可知切削速度对 Ti2AlNb 切削用刀具耐用度影响最大,进给量次之,切削深度的影响最小。且当切削速度为 15mm/min 左右时,刀具耐用度最好,当低于或高于此范围时,刀具耐用度都会出现一定程度的下降。同时为了尽可能地提高刀具耐用度,应优先考虑降低进给量。另外,由表 1 可知,最优的切削参数组合为 $A_2B_1C_2$,即要想减少刀具磨损,进而获得较长的刀具寿命,推荐采用的切削参数为:切削速度 $v=15m/min$,进给量为 $F=5mm/min$,切削深度 $a_p=2mm$ 。

3 切削参数对表面粗糙度的影响规律

Ti2AlNb 合金相对于其它普通金属材料,具有强度高、韧性好、热导率低及高温特性好的优良特性,与此同时,也对其切削加工产生了一系列不利的影 响,如切削力较大,切削温度高,切削热无法快速导出,加工硬化现象严重,容易产生积屑瘤,刀具磨损较快,切屑不易折断等等,因此,材料的切削加工性较差。而传统的加工方法因为刀具材质、切削刃形式、切削参数、加工工艺等因素的影响,表面加工质量的差异性较大。

在攻关过程中,根据材料的切削特性,选用所定制的整体硬质合金深孔钻,采用不同的切削参数进行试切实验,通过实验结果对不同参数条件下孔壁表面的表面粗糙度进行了比较、分析。通过对数据进行极差分析,可知进给量对 Ti2AlNb 材料孔加工表面的表面粗糙度影响最大,切削速度次之,切削深度的影响最小。因为在支板深细孔的加工中,刀具耐用度是首要考虑因素,综合考虑加工表面粗糙度,推荐采用的刀具参数为:切削速度 $v=15m/min$,进给量为 $F=5mm/min$,切削深度 $a_p=2mm$ 。

4 切削参数对切屑形态的影响规律

当刀具结构相同时,不同的切削参数所形成的切屑形态是不同的。普通切削速度下,切屑的形貌与被切削材料的力学性能及物理性能之间有着非常重要的关系^[2]。比如,当金属材料塑性较大时,形成的切屑多为条带状;当金属材料偏脆性时,形成的切屑多为独立的片状切屑;而当金属材料本身硬度较高或热物理性能较差时,则切屑多成锯齿状。而不同的切屑形态对金属切削过程中的刀具磨损、排屑及加工表面质量等都具有重要的影响。相反,刀具切削参数、工件材料等对切屑形态也有很大影响。对任何一种金属材料及同一种刀具,在切削参数的整个变化区间内,总有一组参数,可以使切削速度、切屑形态及刀具耐用度等达到最佳状态,即切削效率最高,表面质量最好,刀具寿命最长。

Ti2AlNb 材料中铌的含量较高,粘性较大,且导热性差,所以切削过程中产生的切削热不能快速散热,导致刀具磨损较快,刀具耐用度较差,不同切削状态下产生的切屑形态也不一样。对比如图 1 所示。

a 转速 $>800\text{r/min}$; 进给 $>40\text{mm/min}$ b 转速 $500\sim 800\text{r/min}$; 进给 $20\sim 40\text{mm/min}$ c 转速 $200\sim 500\text{r/min}$; 进给 $0\sim 20\text{mm/min}$

图1 切屑形态示意图

5 深细孔的加工工艺

通过试切法,从刀具磨损情况、刀具尺寸及其加工后的孔尺寸对比、切屑状态、切削声音等方面进行分析、对比,最终确定了适用于Ti2AlNb基合金深细孔的高效加工工艺方案,流程为引导孔加工→初始进刀→初始切削→正常切削→退刀。

5.1 引导孔加工

首先用引导钻加工出 $1.5D\sim 2D$ 深度的引导孔,如图2所示。其中, D 为待加工孔的直径,确保引导孔深度满足对深孔钻刀具的定心和引导作用,避免刀具在加工过程中因震颤、离心作用影响而导致孔径偏大和孔壁表面粗糙度较低;在引导孔深度方向均匀取三个截面测量孔径,要求孔径偏差不大于 0.05mm 。从而可以保证引导孔与深孔钻之间动态间隙为 $0.02\sim 0.05\text{mm}$,加强引导孔对深孔钻刀具的引导和定心作用,提高孔的加工精度。

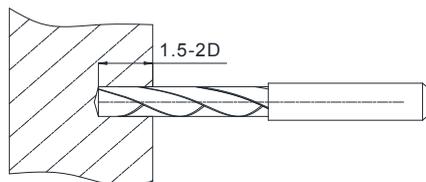


图2 引导孔加工示意图

5.2 初始进刀

将主轴转速设置为 $100\sim 200\text{r/min}$ 并开启主轴,刀具内部冷却系统不开启,以 $3\sim 5\text{m/min}$ 的线速度进刀至引导孔,并达到 $1\sim 1.4D$ 深度,如图3所示。其中 D 为待加工孔直径。

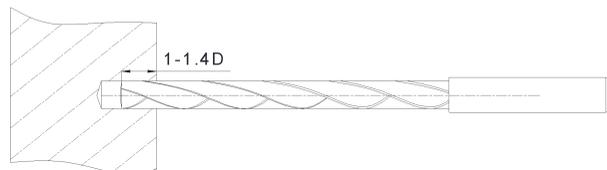


图3 初始进刀过程示意图

较低的主轴转速设置可以有效减小刀具旋转过程中的离心力,保证刀具的动态稳定性,同时对引导孔起到一定的校正作用。

5.3 初始切削

提高主轴转速至 $250\sim 300\text{r/min}$,设置进给量为 $F30\sim 50\text{mm/min}$,内部冷却液压力为 30bar ,切削至 $3D$ 深度,其中, D 为待加工孔直径。

在进入引导孔的初始阶段,因为深孔钻进入深度较浅,合理设置主轴转速,可以有效减小刀具旋转过程中的离心力,保证刀具的动态稳定性,同时对引导孔起到进一步的校正作用。

5.4 正常切削

提高主轴转速至 $350\sim 400\text{r/min}$,调节内部冷却液压力至 $15\sim 20\text{bar}$,进行正常切削。当深孔钻刀具深度达到 $3D$ 以上时,引导孔的定心和引导作用得到充分发挥,所以可以设置较高的主轴转速。

5.5 退刀

全切深加工完成后,降低主轴转速至 $100\sim 200\text{r/min}$,同时关闭刀具内部冷却系统,刀具沿孔中心轴线方向退刀至工件外部。

6 切削质量及效率对比

在深细孔的传统加工方法中,多采用普通麻花钻加工或者电火花加工^[3]。因为刀具性能、切削刃结构、加工工艺或者是加工设备本身的客观限制,传统加工方法不仅加工质量差,而且加工周期长,效率低下。通过针对Ti2AlNb材料的高效切削开展相关技术研究,确认了适用的刀具、切削参数及其Ti2AlNb基合金材料深细孔加工工艺。

