

叠层材料锥形零件顶部小孔钻削工艺

曹晏玮 丁仁兴 雷建华 杨汝平

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 基于锥形零件叠层材料特性及顶部小孔的结构特点,对加工机理进行了讨论,设计了预压应力式工艺装备,通过平板试验,并根据结构特点优化锥形零件顶部小孔加工的主轴转速与进给速率。该加工工艺运用于真实产品生产中生产出了合格的产品。

关键词 叠层材料,孔加工技术,锥形零件

Top Tiny Hole Drilling Technique in The Cone-Shaped Part of Laminated Materials

Cao Yanwei Ding Renxing Lei Jianhua Yang Ruping

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract Based on the characteristics of the laminated materials and structure of the cone-shaped part, we discussed its processing principle and developed hole drilling techniques. Rotate speed of spindle and feed speed were optimized by designing “pre-load” equipment and breadboard experiment. Qualified products were successfully manufactured through the application of these techniques.

Key words Laminated materials, Hole drilling technique, Cone-shaped part

0 引言

某锥形零件是由内、外两层玻璃纤维增强树脂基复合材料与中间层陶瓷通过胶接与机械连接构成的叠层复合构件,在成型过程中受工艺条件的限制,无法准确预留用于装配的顶部 $\Phi 3$ mm 小孔,需要成型后二次加工。叠层材料的两种主要组分玻璃纤维增强树脂基复合材料与陶瓷均属于难加工材料,材料性能和加工机理相差极大,复合成型后加工十分困难^[1],由于锥形零件顶部外形曲率较大,顶部小孔加工更加困难。成型后的加工缺陷会导致叠层材料的性能和连接强度降低,甚至会使产品报废而造成重大损失。

考虑到加工的经济性、实用性和易操作性,本文采用常规的加工方法对叠层材料锥形零件顶部小孔进行加工。

1 锥形零件顶部小孔加工

1.1 材料特性及加工

锥形零件所用叠层材料如图 1 所示,内、外层为玻璃纤维增强树脂基复合材料,中间层为陶瓷材料。

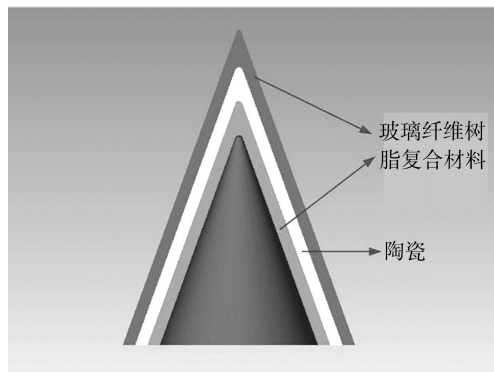


图 1 锥形零件叠层材料结构组成

Fig. 1 Cone-shaped part made of laminated materials

玻璃纤维增强树脂基复合材料具有热导率小、硬度不均等特点,导致在加工时,容易在入口、出口处出现分层、撕裂等缺陷^[2]。切削力所引起的切削应力超过纤维复合材料层间的结合强度是产生缺陷的主要原因。在钻削过程中,切削力主要由三部分组成,包括轴向力、扭矩和径向力,刀具磨损后,轴向力和扭矩都将随之增大^[3]。研究表明,扭矩过大会引起入口侧附近的分层、撕裂,而轴向力是引起出口撕裂和

收稿日期:2013-05-30

作者简介:曹晏玮,1987 年出生,助理工程师,主要从事树脂基复合材料加工与胶接装配研究。E-mail: atp004@sina.com

分层的主要原因,由此可知选择合适的耐磨刀具有助于提高玻璃纤维复合材料孔加工质量。在同一转速下,轴向力随着进给速率的增大而增大,同时,进给速率过快会进一步增加切削的不稳定性;在同一进给速率下,轴向力随着转速的升高而降低。因为转速升高、进给速率降低使得进给量减小,刀具的实际切削深度减小,刀具所受到的材料抗力减小,所以轴向力减小,玻璃纤维复合材料的加工质量提高。

陶瓷材料属脆性材料,较低的应力加载下就会使其断裂,材料去除机理一般有脆性断裂和塑性成形。通常情况下,脆性断裂的材料去除方式是通过空隙和裂纹的成形或延展、剥落及碎裂等方式来完成的。而塑性成形去除方式类似于金属磨削中的切屑成形过程,其中涉及了滑擦、耕犁和切屑成形多个过程,材料是以剪切切屑成形方式去除的。尽管塑性的磨削方式能获得相当好的表面质量,但这种方式效率较低且成本高,因此,一般陶瓷加工选择常规机械手段,脆性断裂方式去除材料^[4]。

1.2 基于结构的孔加工难点

不同于一般的平面钻削大口径孔,锥形零件孔加工具有以下三个难点:

- (1) 钻孔位置为锥形零件顶部,曲率大,加工过程中钻头可能沿工件偏斜,进而无法保证对心;
- (2) 锥形零件顶部刚度不足时,加工位置在钻孔过程中颤动,孔加工质量变差,孔加工完成后变为椭圆孔等不规则的形状;
- (3) 孔的长径比很大,钻孔过程中钻头所受扭矩或径向力偏大时,有可能断裂,严重时造成锥形零件报废。

钻头偏斜可大致分为两类:由于大扭矩造成的扭转偏斜和沿锥形零件外锥面的滑移,如图2所示。对于扭转偏斜,可以通过选择耐磨刀具以及增加转速来减少扭矩;对于滑移偏斜,需要在加工开始时选择小的进给速率,先在锥形零件顶部磨削平面,以减小导致钻头偏斜的径向力。

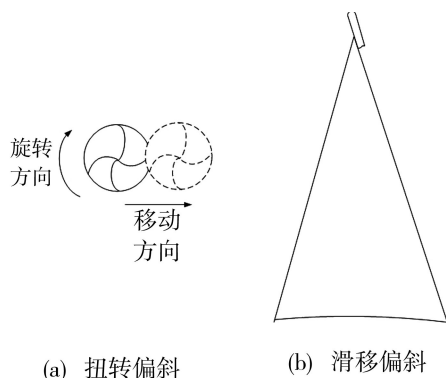


图2 钻头偏斜分类

Fig. 2 Two instances of slanting auger

使用合适的工艺装备,加强锥形零件顶部刚度,同时选择韧性较强的刀具,有助于保证孔的尺寸与圆度,并有效避免钻头折断。

2 锥形零件顶部小孔加工工艺

2.1 工装设计

综合分析锥形零件顶部小孔加工机理,叠层材料锥形零件钻孔加工主要存在如图3所示加工缺陷。

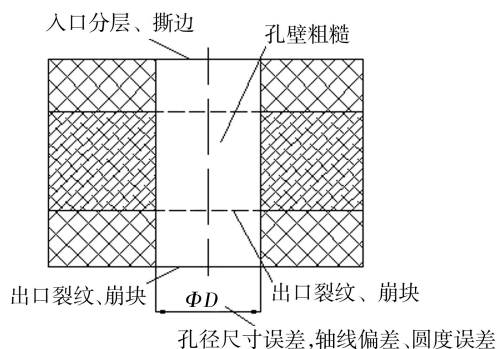


图3 锥形零件加工孔的缺陷

Fig. 3 Disfigurements of holes after drilling

针对上述加工缺陷以及叠层材料组分的力学性能特点,可考虑采用预压应力钻削法来改善加工质量^[5],该装夹方式的作用主要体现在以下几个方面:

- (1) 提高叠层材料各层间的连接强度以及锥形零件钻削区的刚度,改善钻削加工性能,防止孔口处的层间分层及外层材料隆起现象;
- (2) 增强孔口处复合材料中纤维和基体的粘接强度,减轻了纤维的回弹和退让,从而更为有效地实现刀具对纤维的快速切断,并防止孔壁纤维拔出、拉毛;
- (3) 施加的预压应力平衡了陶瓷加工中产生的拉伸应力,减少甚至避免了陶瓷材料出、入口处的裂纹及崩豁。

根据锥形零件尺寸,设计预压应力式工艺装备。锥形零件下端面定位于底盘上,加工时,底盘完全约束于数控钻床台面。压盘使用螺杆与底盘连接,将定位套压紧在锥形零件顶部区域。定位套与锥形零件沿母线贴合。定位套上部留钻孔位置,侧向有多个排屑槽,保证碎屑排出通畅。工艺装备可以有效限制锥形零件顶部振动、变形,减少材料缺陷的产生,同时结构简单,拆装方便,可以高效完成锥形零件加工任务。

2.2 加工刀具选择

由于锥形零件叠层材料含有两种性能各异的组分材料,为达到良好的加工效果,常规条件下对这种层叠复合构件只有采用分步钻孔法,即不同的材料采用不同的刀具和不同的加工用量。但采用分步钻孔法时,在加工一个孔的过程中需要频繁更换刀具,费时费力、操作不便,不但降低了加工效率,还会对加工

精度产生很大影响。用一步钻孔法代替分步钻孔法能有效解决钻孔质量和生产效率问题,需要一种加工刀具能同时胜任两种材料的加工^[6]。

由于金刚石经得起各种叠层材料的磨损,金刚石涂层刀尖具有较长的刀具寿命。刀杆采用高强度合金,以保证刀具刚度,最大程度降低加工中产生的变形和振动,保证加工质量。

2.3 加工实验

在锥形零件加工前,先进行相同加工特征的玻璃纤维增强树脂基复合材料和陶瓷材料平板试验件加工试验,以获得不同转速、进给速率下平板试验件加工质量^[7]。

2.3.1 玻璃纤维增强树脂基复合材料平板加工

玻璃纤维增强树脂基复合材料平板试验结果见表1。

表1 玻璃纤维增强树脂基复合材料平板试验件加工参数及结果

Tab.1 Process parameters and results of GFRP breadboard samples

主轴转速 /r·min ⁻¹	进给速率 /mm·min ⁻¹	加工效果
500	25	质量好
	50	质量好
	75	质量好
	100	孔壁粗糙
1000	25	质量好
	50	质量好
	75	质量好
	100	质量好
1500	25	质量好
	50	质量好
	75	孔不圆
	100	孔不圆
2000	25	质量好
	50	孔不圆
	75	孔不圆
	100	孔不圆

从平板试验件加工中可知,对于玻璃纤维复合材料,主轴转速增高,引起振动对加工质量有较大的影响,而进给速率过快容易造成分层,优选加工参数为:主轴转速 500 ~ 1000 r/min,进给速率 50 ~ 75 mm/min。

2.3.2 陶瓷平板加工

陶瓷平板试验结果见表2。对于陶瓷材料,主轴转速小,扭矩过大,增加了裂纹和崩块等缺陷的产生;进给速率过快带来轴向力加大,也会造成材料缺陷,优选加工参数为:主轴转速 1 500 ~ 2 000 r/min,进给速率 25 ~ 50 mm/min。

速率 25 ~ 50 mm/min。使用优选加工参数加工的两类材料平板试验件如图4所示。

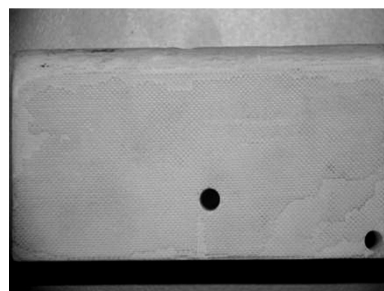
表2 陶瓷平板试验件加工参数及结果

Tab.2 Process parameters and results of ceramic breadboard samples

主轴转速 /r·min ⁻¹	进给速率 /mm·min ⁻¹	加工状态及效果
500	25	轻微裂纹
	50	崩块
	75	崩块
	100	崩块
1000	25	质量好
	50	轻微裂纹
	75	轻微裂纹
	100	崩块
1500	25	质量好
	50	质量好
	75	轻微裂纹
	100	轻微裂纹
2000	25	质量好
	50	质量好
	75	轻微裂纹
	100	轻微裂纹



(a) 玻璃纤维复合材料平板试验件



(b) 陶瓷平板试验件

图4 平板试验件钻孔效果图

Fig.4 Breadboard after drilling

2.4 产品验证

由于锥形零件安装于工装后,刚度和连接都很强,可认为其除入口锥尖位置的其他被加工的特征周围具有平板试验件等同的大刚度,两种构件加工中力和振动的传递特性基本是一致的,故将平板试验件得

出的加工参数应用于锥形零件加工是合理的,只需要局部调整入口处和出口处的加工参数。

根据平板试验件试验结果,加工参数最终确定为:(1)入口处主轴转速 1 000 r/min,进给速率 5 mm/min;(2)进给 5 mm 后,主轴转速 1 000 r/min,进给速率 75 mm/min,直至第一层玻璃纤维树脂复合材料钻削结束;(3)陶瓷层主轴转速 1 000 r/min,进给速率 75 mm/min;(4)第三层玻璃纤维树脂复合材料主轴转速 1 000 r/min,进给速率 75 mm/min,最后 5 mm 进给速率放缓为 5 mm/min。

叠层材料锥形零件放在数控机床工作台上,找正后采用上述工艺参数钻削顶孔,数控加工后,孔径、圆度均未超差,没有出现裂纹、分层等缺陷,加工质量满足要求,如图 5 所示。



图 5 锥形零件加工后效果图

Fig. 5 Part after manufacture

3 结论

(编辑 李洪泉)

(1)设计预压应力式装夹工装,有效限制锥形零件顶部振动、变形,减少材料缺陷的产生。

(2)使用金刚石涂层硬质合金刀具实现了对叠层材料锥形零件顶部小孔的数控加工,并通过平板试验件对主轴转速、进给速率等加工参数进行优化。

(3)根据结构件材料特性和形状特点,得出了详尽的加工参数并对产品进行加工,产品尺寸合格,质量无缺陷。此加工工艺的成功应用,对于叠层材料的大曲率位置钻孔工艺具有重要的实用价值。

参考文献

[1] 胡宝刚,等. 复合材料后加工技术的研究现状及其发展趋势[J]. 宇航材料工艺,2000,30(5):24-31

[2] 郑伟. 几种复合材料制孔的若干试验研究[D]. 大连理工大学,2007

[3] 赵建设,李仲平. 碳/环氧复合材料钻孔刀具磨损机理研究[J]. 宇航材料工艺,2006,36(2):68-70

[4] 郑雷. 高性能轻质材料及其复合构件的加工技术研究[D]. 南京理工大学,2007

[5] 姚小强. 叠层材料钻孔加工工艺研究[D]. 南京理工大学,2009

[6] 吴志娟. 玻璃钢复合材料壳体机加工研究[J]. 上海航天,2004(3):61-64

[7] 孙艳杰,等. 碳纤维复合材料柱型舱段窗口数控加工方法[J]. 宇航材料工艺,2011,41(3):61-64

“第四代高温核反应堆用新型碳化物陶瓷的设计、制备和性能研究” 顺利通过验收

由航天材料及工艺研究所承担的国家自然科学基金重点项目——“第四代高温核反应堆用新型碳化物陶瓷的设计、制备和性能研究”,日前顺利通过了国家自然科学基金委员会的验收。

“第四代高温核反应堆用新型碳化物陶瓷的设计、制备和性能研究”项目为 2009 年国家自然科学基金委资助的重点项目,其研究目标是针对第四代高温核反应堆设计对核燃料载体材料的需求,拟从第一原理密度泛函总能计算和分子动力学模拟入手,设计新型的碳化物陶瓷,研究这些新型碳化物陶瓷的晶体结构、电子结构、化学键强度、高温相稳定性、力学、热力学和点缺陷的形成能、迁移能等。该项目已全面完成了规定的研究工作内容,并产出了论文 63 篇,申请专利 39 项,其中已授权专利 21 项,获得 8 个奖项,得到国家自然科学基金委员会的较高评价。

· 罗 焱 ·