

# 钛合金板材钻铰孔工艺特点及加工方法分析

张雨奇

(中航西安飞机集团股份有限公司 陕西 西安 710100)

**摘要:** 钛金属的储量比较大,钛合金本身具有轻质,高强度的特点,在现代航空工业中得到了广泛的应用,但是钛合金加工的难度较大,在加工的过程中,钛合金本身高强度的特点,也会给加工工作带来很大的难度,因此针对钛合金的加工需要考虑到多方面的影响因素,针对钛合金的性能特点,采取相应的加工方法,保证加工工艺的科学性以及合理性,这对于提升钛合金的加工水平,具有重要的意义,基于以上认识,本文分析了钛合金材料特性、钻铰孔工艺加工难点并提出解决方法。从钻制参数与工具选用方面进行工艺流程设计,针对单件小批量产品分析制订提高产品制孔精度的方法,希望能够促进钛合金加工工艺水平的提升。

**关键词:** 钛合金; 钻铰孔; 提高精度

## 1 概述

从钛合金材料的特点上来看,尽管密度低比较轻质,但是具有较高的强度以及抗氧化能力,同时也具有较强的耐高温能力,在航空制造行业中发挥了重要的作用。钛合金是在纯钛的基础上添加其他的合金元素,从而进一步提升钛合金的整体性能表现。按晶粒组织结构形态不同,目前主要分为三种钛合金:  $\alpha$  相钛合金,如 TA 系列钛合金;  $\beta$  相钛合金,如 TB 系列钛合金;  $\alpha+\beta$  相钛合金,如 TC 系列钛合金。目前车削、铣削、镗孔、电火花加工等都是钛合金的加工方式。钛合金板材钻铰孔是钳工加工的一项重要的基本操作技能。由于钛合金具有诸多独一无二的特性,因此其钻铰孔加工比普通材料要复杂的多。

## 2 钛合金板材制孔加工的工艺难点

钛合金的性能特点主要有:

- (1) 强度高,金属密度低(约  $4.4\text{kg}/\text{dm}^3$ )、重量轻,其同比强度大于超高强度钢。
- (2) 热强度高。在高温情况下也能保证较高的稳定性,与铝合金相比,在  $300 \sim 500^\circ\text{C}$  的温度下,其本身的强度是铝合金的十倍。
- (3) 化学活性强,钛金属本身能够与氧、氮、一氧化氮、水蒸汽等物质发生强烈化学反应,但是其表面的氧化层能够对内部金属起到保护的作用,防止氧化的进一步发生。
- (4) 导热性差,钛合金导热性差,钛合金 TC4 在  $200^\circ\text{C}$  时的热导率  $I = 16.8\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ,导热系数是  $0.036\text{cal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$ 。

从导热系数上来看,钛合金的导热系数只有铁的  $1/3$ ,钻削加工的过程中会产生大量的热量但是由于钛合金本身导热系数低,导致热量很难及时得到释放。实验证明,在钻削加工的过程,钛合金加工刀具前端相比钢铁加工时要高出  $2 \sim 3$  倍。与钢件加工对比,在钻削加工钢时,75% 的切削热传入切屑中,15% 的切削热传入刀具切削刃中,10% 的切削热传入工件材料中;而在切削钛合金时,只有 25% 的切削热被切屑带走,15% 热量被工件吸收,其余 60% 的切削热都传入刀具切削刃中。

在实际的加工作业中,由于钛合金的弹性模量低,因此加工过程的回弹较为严重,尤其当加工对象厚度比较薄时,回弹问题会更加严重,在加工的过程中由于金属表面回弹,刀具会与金属发生摩擦,从而损毁刀具。钛金属属于一种性质比较活跃的金属,因此在空气中很容易被氧化,所形成的氧化层会让金属表面的硬度增加,影响金属本身的塑性,这在很大程度上增加了金属加工的难度。钛合金的合金成分不同,其加工性能亦不同。在退火状态下, $\alpha$  型钛合金在进行机械加工时能够表现出比较好的性能; $\alpha+\beta$  型钛合金机械加工表现次于  $\alpha$  型钛合金; $\beta$  型钛合金尽管具有较高的强度,但是机械加工的难度也最大。

在钻削加工的过程中,受金属本身质地的影响,因此标容易形成较薄的卷曲切屑,同时由于钛合金的导热性较差,因此大量无法释放的热量会导致加工中产生的卷曲切屑粘附于钻削刃上,而这也是钛合金加工困难的重要原因。

## 3 改进措施与工艺流程设计

基于以上问题,为了实现高板材效率、高精度的钻铰孔加工、需要根据具体的加工问题,采取又针对性的加工措施并设计合理的工艺流程,避免加工中缺陷的产生。

### 3.1 在钻制孔参数与工具选用方面进行工艺设计

#### 3.1.1 钻制孔参数

(1) 切削参数选择:在对钛合金进行加工的过程中需要重视对切削速度的控制,一般来说需要适当的降低速度,保证切深以及精加工量的合理性,同时还需要做好加工冷却。一般来说在实际的加工中,切削的速度需要控制在  $V_c=30 \sim 50\text{m}/\text{min}$ ,进给量  $f$  粗加工时取较大进给量,精加工时取适中的进给量,切削深度  $a_p=1/3d$  为宜。

(2) 冷却液:在对加工过程中进行冷却的过程中,需要保证冷却液选择的合理性,一般来说需要避免选取含有氯的冷却液,这种冷却液在使用的过程中会产生一定毒性,同时也容易对钛合金本身造成腐蚀,现代钛合金加工一般选择水溶性乳化液进行冷却,能够在保证安全的前提下,提升冷却的效果。

#### 3.1.2 刀具选择

(1) 足够的强度。钛合金本身有比较高的强度,因此所选取的刀具也需要具有比较高的硬度。一般来说,所选择的刀具不应含有碳化钛,优先选择含有钴的硬质刀具,一方面能够防止在金属件加工过程中出现吃刀的情况,另一方也能够防止因切削力导致的钛合金变形。

(2) 所选择的刀具兼顾强度以及韧性,从钛合金加工的过程来看,在加工时刀具所承受的扭矩以及切削力是巨大的,因此所选择的刀具必须兼顾强度与韧性。

(3) 较强的耐磨性,钛合金自身的强度以及韧性决定了加工的困难性,因此所选择的加工刀具需要足够的耐磨,同时足够的锋利。而这也是在刀具选择过程中十分重要的一项参数。

(4) 钛合金本身的性质较为活跃,如果选择的刀具与钛合金有较强的亲和性,那么在高温以及氧化作用的影响下,粘刀以及烧刀的情况往往难以避免,引出需要选择与钛合金亲和性不强的刀具。目前在钛合金加工实践中,主要采用高钴刀具,高钴刀具的性能特点基本上能够满足钛合金加工的要求。另外针对钛合金这类难以切削的金属,在钻孔加工的过程中,随着钻孔深度增加,对于切屑的排出就更加困难,因此在加工的过程中往往会出现切屑堵塞钻孔导致钻头折断的问题,针对这一问题即使是高钴刀具也难以改善,针对这一问题在加工的过程中需要以断续进给的方式进行钻孔,由于在切削的过程中,润滑剂能够充分的发挥作用,因此能够有效的降低钻头的温度,防止出现切屑堵塞钻孔导致钻头折断。

### 3.2 在手工操作过程方面进行工艺设计

在批量生产中孔位精度要求较高的孔,一般都采用钻模来保证。而在单件小批生产中,只能通过划线找正和其他一些方法来保证孔位的精度。

提高划线精度。划线精度是保证钻孔时的孔位精加工的一个重要因素。为了进一步提升加工精度需要采取以下措施:

(1) 采用高度尺划孔位线时,因此在划线之前需要重视对高度尺示值误差的检查,确保划线的准确性。还应检查高度尺的划线刃口是否锋利,以保证所划线条清晰均匀,在确保划线精度的基础上再进行后续的加工工作。

(2) 工件上的杂质会对金属加工的精度产生一定的影响,因此应清除干净工件划线基准面的毛刺、铁屑。划线平板的工作表面也应注意不要有灰尘、杂质的存在,否则会影响所划线条尺寸的准确性。

(3) 尽管在加工图纸中会对关键工件的尺寸进行标注,但是有些孔位尺寸在图纸上不是直接标注出来的,而是要通过有关尺寸的计算才能得到。因此,在计算时,应注意尺寸计算的准确性。

(4) 样冲眼是用于加强标志和作划线圆弧或钻孔定中心的。因此,样冲必须磨的圆而尖。在打样冲眼时,应先轻打,然后重视观察样冲眼与十字中心的交点,防止有较大的偏离,判断无误后,再将样冲眼加大,以便钻孔时准确落钻定中心,同时也能提升钻孔加工的效率。

(5) 合理尺寸标注。在传统的加工方式中,对于尺寸的标注在很大程度上需要手动完成,因此往往无法保证尺寸标注的精度,针对当前数字化制造技术的大面积引入,尽管能够有效的提升尺寸标注的精度以及效率,但是利用三维数模进行零件加工相较于传统图纸在尺寸标注方面有所不同。因此相关加工人员在英语数字三维模式进行尺寸标注时,需要保证系统操作的准确性,避免系统误操作影响尺寸标注的精度。

### 3.3 纠正孔位偏移与合理定位孔距

#### 3.3.1 采用掏孔来纠正孔位偏移

在钻较大孔时,一般先用一个小钻头钻底孔来确定孔的位置。然后采用适合孔径大小的钻头来扩孔。但是,在钻底孔时,往往容易产生孔位偏移,不易达到较高的孔位精度要求。这时,可用掏孔来纠正。具体操作方法:先用小钻头钻底孔,把工件从钻床平口钳上取下,通过测量并判断孔位是否偏位。如果偏位,这时可把工件夹在虎钳上,防止在加工的过程中,工件产生偏移,用什锦锉把孔偏位的相反方向多出的部分锉掉。

#### 3.3.2 用芯棒定位孔距

当工件有两个以上且有孔距要求的平行孔需要加工时,可采用芯棒来定孔距。具体操作方法:先采用划线找正的方法钻较好一个孔。也可以先钻底孔,用掏孔的方法来纠正。在孔内插入一根与之相配的芯棒。然后在钻夹头上也夹一根芯棒,再调整工件的位置,用千分尺测量并控制尺寸。符合要求时,取下芯棒,装上麻花钻钻第二个孔。当工件上有两个以上的孔时,也可采用同样的方法来定孔距。

### 3.4 正确安排钻孔的工艺步骤

在钻孔时,根据所钻孔在工件上所处的性质和位置不同,可分为基准孔和一般位置孔。其中一般位置孔又可分为单件上有孔距要求的孔和分布在两件上且有孔距要求的孔两种。因此在钻孔时,应正确合理的安排钻孔的工艺步骤。以保证孔位的正确。

#### 3.4.1 基准孔的钻孔工艺步骤

双孔及以上以孔为安装基准翻边类钣金工件,在加工该工件时应先加工好支架基准平面并划线后,钻较好基准孔。再以任意两孔作测量基准,对该加工件的安装面进行翻边修配,并测量对称度。

#### 3.4.2 单件上有孔距要求的孔的钻孔工艺步骤安排

以端面8孔均布法兰盘为例,由于钻制这8个孔对其加工进度没有影响,且配钻孔对加工精度要求较低。因此对于这种类型的孔可在划线完成后的任意时间钻制。

## 4 结语

通过对钛合金材料钻铰孔加工工艺过程的理论分析与探究,分别在钻制参数与工具选用、手工操作及工艺流程设计等方面进行了工艺方法探究,一方面完成对钛合金材料工艺性能的学习和掌握,另一方面通过以上观点和方法的运用,提高实际操作水平,实现对钛合金材料钻铰孔工艺制造水平

(下转第27页)



解操作时污垢能够在电流作用下,实现自身物质的化学分解,这种清洗方式可以有效地去除金属零部件的表面污垢。在电解脱脂过程当中,电流能通过水溶液,在电解池的正负极产生一定的氧气和氢气,产生溶解和乳化能效,能够将金属零部件上附着污垢进行有效的分散和去除。

#### 2.4 浸泡清洗方法

浸泡清洗其实是将零部件放在清洗所用的溶液当中,进行湿式的清洗操作。在浸泡清洗环节当中,清洗和冲洗需要在不同的清洗槽内完成,而且需要分多次的浸泡,才能够获得相应的清洁效果。在现今的工业应用当中,浸泡清洗主要分为清洗,冲洗和干燥三个部分,而且在溶液的应用方面,依照零件材质和种类的不同,清水槽跟冲洗槽的溶剂应用种类也会有所不同。

相对于其他方法而言,浸泡清洗方法的清洁能效较为突出,所能使用的液压零件数量也比较多,尤其适合体积小的零件清洁。通常情况下,浸泡清洗槽跟冲洗槽会使用同种清洁溶液,这样的溶液应用形式非常适合设备的管理与安置,并且浸泡所使用的溶液都会采用逆流的形式进行回补,不仅能够有效地达成零件污垢溶解的目的,也能够很好地减少废弃溶液的总量,可以有效地落实节能减排工作。但在具体的零件清洗过程中,部分液压零件的表面轻水性污垢还是无法通过浸泡方法实现有效地去除,并且浸泡清洗的使用溶液也往往会存在较大的毒性,操作安全性极差。浸泡溶液自身也具备易燃易爆的特性,对相应的操作环境要求很高,想要安全地进行浸泡,清洁必须保证好操作环境的干燥程度。

#### 2.5 逆流漂洗方法

逆流漂洗的方式,其实是在清洁过程中,将多个漂洗槽进行串联使用漂洗的溶液,从最后一个槽内进行补充,然后朝前逐个逆流到清洗槽当中。在具体的零件清洗过程中,逆流漂洗清洁的优点在于最后一个清洁朝内的溶剂,是整条漂洗清洁流程当中最干净的,这也就保证了零部件经过逆流漂洗后,自身的清洁程度能够与最后一个漂洗槽内的清洁剂程度相当,很好地避免了由于外界因素引起的清洁不当、清洁不彻底以及清洁质量不稳定的问题,这对一些清洁要求比较高的液压类零件非常适用。

#### 2.6 定点定位压力清洗方法

针对于一些具备特殊清洁要求的零部件,就需要采取定

点定位的压力清洗方式,这种方式对于内部有细长空隙,清洁程度要求偏高的零部件清洁有着非常好的能效,不仅能够满足具体的清洁标准,也能够有效地去除残留污垢。通常情况下,定点定位的压力清洗方式会应用在专门的工装设备当中,可以实现长时间、高压力的特殊零件清洗,而且定点定位压力清洗的过程中,也能通过液冲和气冲两种不同的方式对相应零件污垢进行去除。液冲形式是使用纯水清洁液或是水基金属清洁液进行清洗操作,相应冲洗的时间、压力和操作温度,都需要根据零部件自身的材质和相应清洗的需求进行调整。定点定位压力清洗这一方法,对零部件孔隙内的残留污垢有着较强的去除作用,而且能够保证零部件的高清洁度,具有极强的针对性和有效性。

另外,在液压零件的清洗过程当中,还需要注意去磁、气带排除和清洁溶液这三个层面。将液压类金属零件的部分磁性进行去除,能够有效地提升污垢的排除能效,做好设备零件的气带排除工作,也能够进一步提升浸泡清洗和超声波清洗的具体作用,实现残留污垢的有效清洁并便利后续的零件清洁、清洗工作。清洗溶液的自身清洁度决定着整体清洁操作是否有效,溶液内部通过添加清洗剂、石油类和水类的清洁溶剂,能够具备不同的溶解能力,通过科学的溶液使用,可以很好地去除零部件地附着污垢。因此在零件清洁过程中,需要进行规律性的清洁溶液检测、更换以及循环回收,以保证清洁方式有效进行以及清洁效果的稳步提升。

### 3 结语

综合上述分析,不同清洗方式有着不同的清洁优势,在实际生产当中,需要结合多重方法交替进行清洁操作,才能有效地实现多样化、集成化的工业清洗体系。在具体的零件清洗过程中,需要充分关注清洗操作的外部环境条件和零件的具体特性,并规范的执行清洗操作,以保证和提升零件清洗作业的实施能效,实现液压零部件的高效清洁。

#### 参考文献:

- [1] 赵丽岩,马洪军.液压零件常用清洗方法[J].科技创新导报,2013(17):60-61.
- [2] 耿彦召.矿用液压设备清洗方法[J].机械工程师,2014(09):256-258.
- [3] 刘广义.YZX系列液压支柱超声波清洗机原理及应用[J].煤矿机械,1987(02):45-46.

(上接第25页)

的提升。

#### 参考文献:

- [1] 杜红春,张祺.钛合金切削加工参数优化数学模型及工艺参数分析研究[J].机电工程,2020,37(11):1280-1287.
- [2] 宋绪浩.钛合金切削加工表面质量调控研究[D].济南:山东大学,2020.

东大学,2020.

- [3] 曹宇,马兴海,刘东平,等.TC4钛合金钻削加工工艺参数研究[J].航空精密制造技术,2019,55(06):10-14.

作者简介:张雨奇(1988.05-),男,汉族,甘肃定西人,工程师,硕士研究生,研究方向:焊接技术与机械加工。