

# 钛合金加工工艺技术初探

孙阔

(航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 黑龙江 哈尔滨 150066)

**摘要:** 钛合金是一种新型材料,在如今的航空航天、武器装备、舰艇军备领域具有十分广泛的应用空间。与其他材料相比,钛合金具有强度高、硬度强、焊接性良好、耐腐蚀等非常明显的优势。近年来,我国对钛合金加工工艺的研究不断深入,在钛合金的生产加工方面取得了较大的技术成果,拓宽了钛合金的应用范围,提高了钛合金材料的稳定性。本文对钛合金的加工工艺进行了探讨,为相关工作的开展提供参考。

**关键词:** 钛合金; 加工工艺技术; 特点; 工艺

## 0 引言

钛合金是20世纪50年代发展起来的一种重要的结构金属材料。该材料是一种性能优良的金属材料,具有质量轻、强度高、耐腐蚀性能好、无磁性,以及高、低温力学性能好、抗蠕变性好等优点。钛合金的使用可有效提高航空航天等设备的耐腐蚀和耐高温性能,并有效延长其使用寿命。然而,钛合金又是典型的难加工材料,切削效率低,且原材料较贵的材料,由于切削生产中加工设备的条件和特殊环境,限制了钛合金的推广与应用。但是,因为钛合金材料的耐高温与耐焊接性能好,强度较高,在生产加工中容易成型,使其在我国当前的航空航天、军备机械制造等领域发挥着不可替代的关键作用。钛合金加工需要有相对成熟的工艺,对加工工艺要求较高。在钛合金加工过程中操作不当,容易对钛合金材料造成损伤,增加加工成本。因此,有必要在钛合金加工中处理好钛合金成形问题,严格把控钛合金加工工艺技术,通过科学合理的使用钛合金材料,为钛合金加工工艺技术的不断优化打下坚实的基础。

## 1 钛合金材料的特点

钛合金的热强度高,使用温度比铝合金高几个百度。钛合金材料具有特别强的抗点蚀、酸蚀和应力腐蚀特性,在酸、碱、氯化物等环境中具备优良的抗腐蚀特性。良好的低温性能,使钛合金材料在低温和超低温环境下仍能保持其力学性能。钛合金材料的比重、强度和使用温度范围介于铝和钢之间,其具有重量轻、强度高和优异的耐腐蚀和超低温性能。特别适合应用于航空航天、航海、汽车制造等领域的发动机构件、骨架、蒙皮、紧固件及起落架等。

随着对钛合金材料的不断研究和科技手段的不断进步,其在许多领域的应用已逐渐成熟并发挥其优势。然而,从实际加工、生产和应用来看,钛合金材料在机械加工方面还存在一些有待解决的问题。钛合金材料与其他金属材

料相比,导热性差、化学活性强,对具有还原性氧及铬盐介质的抗腐蚀性能较差,导致钛合金材料的成形性差、焊接性能差,特别是钛合金材料硬度大于HB350时,尤其难以切割;而当硬度小于HB300时,又容易粘刀,也难以切割。因此,在实际的加工操作中,必须严格遵守钛合金材料的加工原则,遵循科学的加工工艺,才能保证钛合金材料的质量和预期的效果。

## 2 钛合金材料的应用现状

钛合金材料是现代材料工程系统中的关键金属材料之一。具有良好的耐热、耐腐蚀等金属性能。在现代建筑工程和机械加工工程中得到了广泛的应用。近年来,国家有关部门高度重视钛合金材料的应用,在机械加工工艺创新和工艺优化方面制定并实施了一系列重要的技术标准,为新时期钛合金材料的优质高效加工提供了基础指导,在现代钛合金加工领域取得了显著的实践成果。与此同时,广大科研机构和加工单位也在创新钛合金材料加工方法、优化钛合金材料加工工艺方面进行了积极探索,取得了显著成果。然而,由于刀具材料和参数的影响,目前钛合金材料的加工工艺实践仍存在许多不足,需要引起高度重视。

## 3 钛合金加工工艺的加工原则

### 3.1 合理选择刀具

对于机械加工而言,确保品质和效率的核心便是其使用的器具。在钛合金的加工操作中,刀具是其必不可少的核心部件。因此,刀具的合理选择关系到加工工艺的质量。刀具的选择要考虑充分、全面。结合刀具材料的特点和钛合金材料的特点,配以科学的操作方法,可以充分发挥切削加工的加工技术。

### 3.2 优化切削条件

在钛合金材料的加工过程中,首先是为机械操作创造最高标准的切削条件,其次是对加工系统进行不断优化,

这也是一个必要的目的,应该尽可能地实现。此外,钛合金材料加工的实际操作期间,员工应充分掌握加工机床的结构和科学调整裂缝,确保机床主轴的各个部分可以稳定,使加工的产品完美无瑕。此外,在切削过程中还应注意刀具的磨损情况。刀具应避免长时间运转,以免降低刀具的使用寿命。

### 3.3 控制切割范围

切削量的控制应从以下几个方面入手。第一,要控制切削速度。因为刀具的强度取决于切削速度,速度的快慢决定了刀片可以使用的时间长短。第二,要控制切削深度,切削深度不宜过深也不宜过浅。实践表明,刀具的温度受切削深度的影响。因此,在钛合金材料加工的操作过程要控制切削速度,工作人员应尽量放慢速度,增加切削深度。第三,走刀不能随意,在切削的实际操作过程中,任意终止走刀的行为会造成钛合金表层硬化,导致成品不能使用,不仅浪费成本,还会耽误工时。

## 4 钛合金加工工艺技术分析

### 4.1 钛合金磨削加工工艺技术

#### 4.1.1 钛合金磨削加工应用的必要性

与其他材料相比,钛合金材料在综合性能方面具有很强的优势。钛合金材料强度高、韧性强,在热压加工当中具有较强的耐受性,在高温下不易变形,与钢材料相比耐腐蚀性较强,可以承受多次锻打加工。因此,在航空航天、军备制造等领域得到了比较广泛的应用。特别是应用于航空航天领域的钛合金加工技术,可分为结构钛合金和高温钛合金两类。通过钛合金材料的应用,推动了我国航空航天、工业、军备等事业的发展。钛合金材料的使用需要借助专业的加工技术,通过对钛合金材料的精加工和磨削,促其成型,满足多个领域的使用需求。

#### 4.1.2 钛合金磨削加工工艺的温度控制

钛合金材料具有较强的化学活性。在一定条件下,钛元素可以与氢、氧气、氮等化学物质发生反应,在钛合金材料表面形成一层脆硬的外壳。钛合金材料中最为重要的物质钛的熔点高于镍、铁,因此它具有良好的耐热性,在高温条件下能保持稳定的性能。特别是新型钛合金材料的强度远远高于铝合金。因此,它受到航空航天、医疗、工业、军备等多个领域的青睐。钛合金磨削工艺对磨削液的冷却性能要求很高,磨削液在磨削钛合金的过程中需要尽可能地降低温度,以保证成品的好质量和性能。钛合金磨削过程的温度过高,容易造成钛合金材料烧损或开裂,影响成品的质量和性能。因此,钛合金磨削必须合理控制温度,适当增加润滑,降低砂轮对钛合金的附着力。

#### 4.1.3 钛合金磨削砂轮的选择

在钛合金磨削加工中,对磨削砂轮的质量和性能要求很高。钛合金磨削要求砂轮的附着力小,不易发生堵

塞和磨损,并且避免砂轮磨削温度过高的问题。随着我国钛合金加工工艺技术的不断研究和发展,目前针对钛合金磨削的工艺水平已经日渐成熟,借助新型的磨削工艺技术,不但可以提高钛合金磨削加工的效率,还可以减少砂轮的磨损,在磨削过程中保持钛合金表面的光滑完整。一般而言,钛合金磨削加工中应当优先选择硬度适中、组织较为松动、气孔较大的砂轮。

### 4.2 钛合金铣削加工工艺技术

#### 4.2.1 钛合金铣削加工工艺的发展现状

钛合金最为重要的用途就是用于一些高级装备的生产制造。钛合金由于其强度高、耐磨性好,因此具有比较稳固的结构和较强的性能。钛合金材料密度低、韧性高,在加工过程中不易断裂,与普通钢等材料相比具有更高的强度。因此,以钛合金为原料加工的零件需要硬度更高、结构更加坚固。然而,目前钛合金加工工艺中仍存在一些技术问题,使得钛合金在切削过程中的损坏率较高,这也是制约钛合金性能的重要因素。目前,我国高强度钛合金超塑性成形技术研究领域发展迅速,出现了气压成型、真空成型等先进的加工工艺手段。

#### 4.2.2 钛合金铣削加工工艺的刀具选择

在钛合金加工中还存在着许多问题,如效率低、损伤率高、刀具不耐磨、切削排屑存在技术漏洞等。其中,在钛合金铣削加工中,刀具的选择将直接影响钛合金加工效率。为了提高钛合金切割率,减少钛合金加工中的损坏,需要对输出切削力的机床进行性能的优化,尤其是刀具的刀刃与工件的接触部位、机床和工具之间的连接部分等,都需要重点进行技术上的改造。此外,钛合金铣削对刀具的锋利度、光洁度和强度要求较高,需要注意刀具螺旋角、刃数、刃长等参数的设置,选择合适的铣削工艺,有助于提高钛合金铣削加工的效率。

#### 4.2.3 钛合金铣削方式的选择

由于顺铣时,刀具边缘从最大切削厚度进入零件材料,刀具退出时切屑变薄,有利于将加工产生的热量散失到切屑中,有效降低切削热。同时,加工时零件的硬化程度也会降低,切削力倾向于将零件推到夹具上,更有利于零件的铣削。因此,在大多数情况下,钛合金零件的加工方法建议采用正向铣削加工方法。

钛合金切削过程中容易在切削区域产生、积聚切削热,由于钛合金的导热系数低、导热性差,在大切除量的切削过程中,刀具磨损快,存在燃烧风险,制约了钛合金零件切削速度的提高。通过合理选择切削量,可以提高零件的切削速率,从而充分发挥加工设备的切削性能,提高钛合金零件的切削效率。在钛合金结构件的切削过程中,刀具每次进退都会产生较大的冲击载荷。刀具瞬间受到猛烈冲击,经常出现崩刃,因此,刀具的进退必须选择合适的轨迹和切削参数。在拐点换向时,刀具受力方向会突然

改变,容易产生震颤。严重时刀具会损坏或切割零件。圆弧进刀刀路过渡顺滑且切离时切屑厚度很小,可以减少突然应力对刀具的冲击,减少刀具振动,延长刀具使用寿命。因此,在钛合金零件的加工中,建议采用圆弧进退刀方式。

#### 4.2.4 钛合金铣削加工工艺的技术要点

钛合金铣削加工中的刀具应当首选金刚石砂轮刃磨。在进行铣削切割时要保证刀具的锋利,刃口没有磨损和缺口,定期对刀具进行研磨;在铣削加工中操作人员应当佩戴防护镜,操作前应首先检查砂轮的安装,设置好吃刀量后缓慢进行切入,严格遵守操作规范,避免由于切削速度过快导致升温过高,引起钛合金零件损坏。

#### 4.3 钛合金加工工艺排屑及冷却的选择

钛合金零件在加工过程中产生的热量很多。由于钛合金散热不良,约70%的切削热集中在刀刃上。此外,立式机床的排屑性能较差。在加工槽腔等特征时,切屑参与二次切削,对刀具磨损较大。因此,必须用足够的切削液冲掉切屑,并有效降低刀具温度,因此,建议使用卧式机床或内冷刀具。在粗加工时,切屑较长,由于主轴转速低,切屑容易缠绕在刀具上。为了消除这一影响,建议使用波形刃高速钢铣刀或带断屑槽的焊接铣刀。

由于钛合金的导热系数小,切削时产生的热量不易扩散,主要集中在切削区域和切削刃附近的小范围内,导致该区域的切削温度较高。因此,切削液的合理使用对钛合金零件的加工起着至关重要的作用。冷却和润滑条件越好,加工表面光洁度就越好。冷却条件越差,冷加工硬化的深度和程度越大。不得使用污染钛合金的含氯切削液,并保持切削液供应充足。一般情况下,切削液应是水溶性的。喷雾冷却为冷却剂创造了一个容易汽化的条件,从而吸收了大量的热量,而且喷雾力将切屑从刀具与工件的接触处迅速冲走,因此,切削液采用喷雾方式要比浇注方式的冷却效果好,这样可以减少切屑熔结程度,不仅能够延长刀具的使用寿命,而且能够有效提高零件的表面加工光洁度。

#### 4.4 钛合金钻削加工工艺技术

钛合金钻削加工工艺需要借助外力对钛合金胚料进行加工,根据尺寸、形状和性能的要求,可以保证钛合金钻削满足产品加工的工艺标准。用于钻削的钛合金一般是变形钛合金。按照一定的标准和规范进行钻削,可以避免对钛合金性能的伤害,保证钛合金产品的质量。另外,在钻削小尺寸钛合金制品时,一般需要在低温下进行加工。这是因为钛合金在低温下不易发生化学反应,所以能够保持良好的形状,保证这些精密零件的尺寸和精度符合产品加工的工艺标准。在低温环境下钻削钛合金时,要严格控制钻削温度,准确控制钻削冷却速度,以免影响成品质量。钛合金的钻削过程如果采用热锻,

在钻削过程中可能会发生强烈的化学反应,产生较高的温度,这时需要操作人员严格加以控制,以钛合金的中心部位作为钻削的重点,避免对中心区域进行连续过度的锤击,造成钛合金产品的损坏。

### 5 提高钛合金材料加工质量的有效途径

第一,定期组织钛合金材料加工人员参加专项培训和学习,并由业内专业人员讲解钛合金材料的最新特点和需求,详细掌握钛合金材料的专业基础理论知识,并熟练运用各种专业操作技巧,将各种潜在的钛合金材料加工缺陷扼杀在萌芽之中。注重提高钛合金加工人员的责任心和质量意识,预防和解决各种常见的加工过程质量问题。

第二,采用现代信息技术控制方法。构建基于计算机技术和软件技术的钛合金材料加工控制平台,将钛合金材料加工细化分解为多个不同模块和层次,提高各个模块和层次之间的连接和协调效果,并模拟钛合金材料加工的预期效果,将钛合金材料复杂、抽象的加工过程三维可视化地展示出来。同时,在现代信息技术的支持下,能够客观评价钛合金材料加工效率和加工质量的整体效果,实现数字化控制。

### 6 结语

高性能的钛合金可以提高大多数工业产品的质量,但在现阶段,由于一些不可控因素,钛合金材料的应用范围局限于少数几个领域。通过对钛合金材料加工工艺的深入研究,找出阻碍钛合金材料大规模使用的限制因素,并对相关问题进行学术研究和试验,进一步克服钛合金材料使用中存在的突出问题。从而使钛合金材料能够更好地应用于工业制造领域,为我国工业和社会发展提供更大的经济效益,促进我国工业制造业的发展。

#### 参考文献:

- [1] 史寅栋. 钛合金切削加工性影响因素及表面质量控制的研究[D]. 太原: 中北大学, 2018.
- [2] 雷杨. 钛合金加工工艺技术探讨[J]. 世界有色金属, 2020(13): 237-239.
- [3] 方东亮. 钛合金加工工艺技术研究[J]. 科技展望, 2018, 25(04): 132.
- [4] 刘雷社. 钛合金材料的机械加工工艺技术探析[J]. 军民两用技术与产品, 2018(006): 133-134.
- [5] 葛海娅, 庞鹏飞, 牛奔, 陈川, 郑迪, 钱德隆. 钛合金材料的机械加工[J]. 世界有色金属, 2021(08): 42-43.

作者简介: 孙阔(1989.04-),男,汉族,黑龙江哈尔滨人,本科,工程师,研究方向: 机械加工技术。