

钛合金铣削加工技术研究

李刚 徐永

(陕西恒德精密机械有限公司 陕西 西安 713700)

摘要: 钛合金以其良好的耐腐蚀性能和较高的比强度与热强度在工业制造业中得到了广泛的应用,如今,钛合金已然成为了用于易腐蚀、高温环境下制造工作零件的高强轻质的理念材料,并且在生物体医学、航空航天、石油化工以及武器装备制造等领域取得了很好的应用效果。鉴于此,本文立足于钛合金切削加工的特点,围绕该项技术展开如下探讨。

关键词: 钛合金; 切削加工; 切屑; 铣削; 刀具材料

1 钛合金切削加工的特点

钛合金是一种加工难度较大的金属材料,其加工特点如下:

1.1 变形系数小

和普通的钢材相比,在切削钛合金的时候,前刀面上流动的路程短,切削顺着前刀流出过程会伴随严重的磨损,而且磨损区域和切削刀非常接近,致使前刀面上主切削刃附近会产生更多的切削热和较大的应力。刀口很容易发生摩擦,甚至是刀口出现破损。由于前刀面上的磨损位置和刀口接近,因此,很难通过前刀面观察其磨损程度。

1.2 切削温度较高

(1) 钛合金的热导率小,因此,通过被切削工件散热能力差;

(2) 切削和前刀面接触部位与切削刀之间的距离小,很难使切削热散发出去,最终使切削温度升高。

1.3 弹性回复大

由于受到钛合金较小的弹性模量的影响,在对工件进行切削的过程中,在切削力的影响下很容易出现变形现象,而且已经加工的表面也容易出现回弹。切削变形不仅难以保障零件的几何精度,同时,已加工表面的回弹也会加大刀具后刀面和已加工表面的接触面积,容易产生切削振动,致使表面加工质量下降。

1.4 易于生成加工硬化层

高温状态下的钛元素的化学活性相对较高,而且容易在工件表面生成由含 Ti 化合物组成的硬化层,致使刀具的磨损程度增加。

1.5 使用硬质合金刀具易于发生粘结磨损

在高温高压和钛元素化学亲和力作用的影响下,钛合金切屑很容易粘在硬质合金刀具上(如图所示),并且在脱落的时候加剧刀尖的粘结磨损程度。

1.6 切屑易燃

钛合金的燃点非常低,在干切削状态下,较高的切削温度很容易将切屑引燃,值得注意的是,如果在高速干铣削状态下铣刀粘结了大量的团状切屑,为避免切屑在高温状态下引燃切屑,就需要及时处理切屑。

2 钛合金切削机理

对钛合金切削机理的研究主要包含了切削形成机理、切削区塑性变形、切削热的产生以及刀具磨损机理等方面的内容。如今,深海潜航、航空航天以及石化生产等领域在装备制造上对钛合金的性能提出了更高的要求,随着新型钛合金的不断涌现,

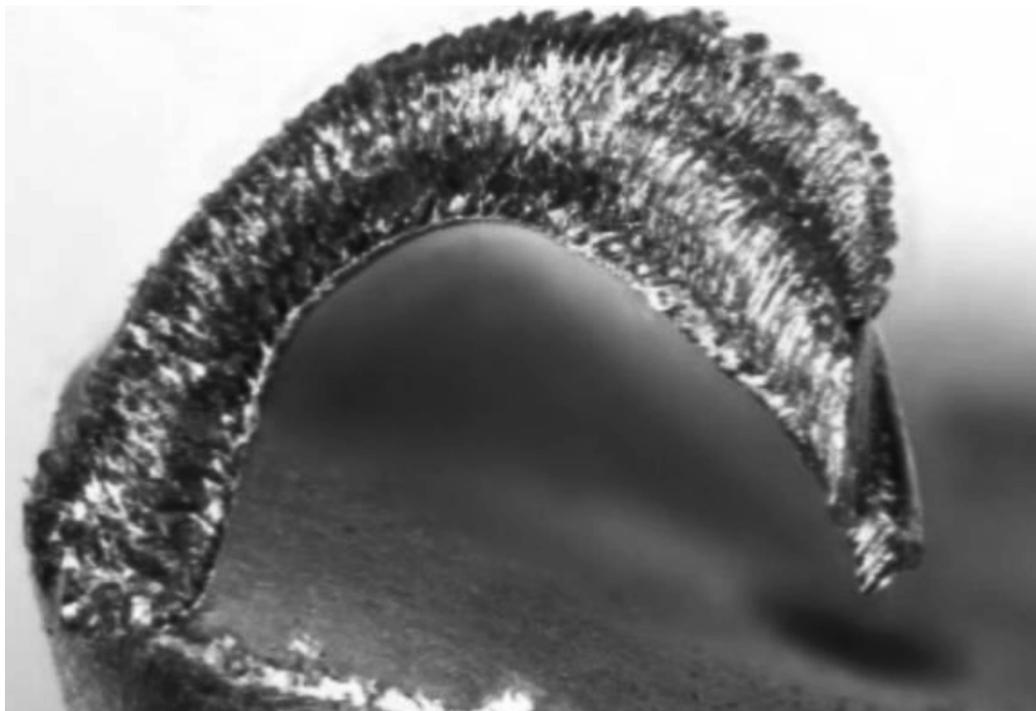


图 钛合金切削时刀尖的切屑粘结

不同种类钛合金的性能差别也随之显现出来,因此,对各种钛合金切削机理的研究,是合理选用切削工艺和切削刀具的关键。一些研究学者通过实验建立了切削 TC4 钛合金的仿真模型,深入分析了切屑和已加工表面上的晶粒细化特征,发现影响晶粒细化的主要因素是切削深度和切削速度,而且对晶粒细化呈现负影响。又一些研究学者用实验方法研究 TC4 钛合金切削过程中锯齿形切屑形成过程,发现切屑由带状转变为锯齿形的临界切削速度。锯齿形切屑会使切削过程中切削力发生波动,而且波动规律和切削锯齿形变化规律一致,锯齿形切屑形成中,随着切削速度的增加,塑性变形区的宽度随之减小。

3 适合切削钛合金的刀具材料

3.1 硬质合金刀具

从材料成分上进行区分,能够用于钛合金切削的硬质合金刀具材料包括含 Ti 硬质合金(YT 类、YW 类)和无 Ti 硬质合金(YG 类)两种;从材料结构上进行划分,可以将其分为涂层硬质合金和非涂层硬质合金。在切削钛合金时,YG、YT 和 YW 这三类硬质合金刀具的磨损机理不同,影响磨损机理的关键因素是切削速度。低速状态下三类刀具的磨损主要为黏结磨损,在高速状态下,切削 YG 类刀具时会出现黏结磨损,而在切削 YT 类和 YW 类刀具时,还会发生扩散磨损和氧化磨损。在干切削状态下,随着切削速度的不断加快,YT 类刀具的耐用度将会随之降低,其次是 YG 类刀具,耐用度降低最慢的是 YW 类刀具。在对钛合金材料进行高速切削的时候,YW 类刀具的切削性能良好。在高速钛合金铣削过程中,硬质合金刀具在刀具磨损初期前刀面上会出现少量的粘结切屑,之后,黏结磨损会使前刀面上出现粘结凹坑,随着切削工作的持续进行,凹坑将会不断增加,进而加剧刀具的磨损程度,严重者还会出现崩刃现象。如果在高速切削钛合金时选用涂层硬质合金刀具,切削性能并没有体现出明显的优势,甚至还不及无涂层的同类型刀具。目前,大多数硬质合金刀具为了能够降低切削热向刀具传导,都含有 Ti 隔热涂层,以此来降低刀尖的温升。由于钛合金材料的自身导热性能低,而且工件的散热性能地域钢材工件,刀具使用了含 Ti 隔热涂层后,就会影响刀具和工件的散热性能,反而会增加切削区的温度,破坏涂层,加剧刀具的磨损程度。高速铣削状态下的涂层刀具比非涂层刀具的耐用度和切削性能更好。铣削为间断切削,在高速铣削中,导致刀具磨损的主要原因是热冲击,隔热涂层能够尽可能降低热冲击,延长刀具的使用寿命。

3.2 聚晶金刚石(PCD)刀具

因聚晶金刚石(PCD)刀具具有散热性能好、耐磨损的优势,所以,用它来切削钛合金,能够得到更好的加工精度和表面质量。使用 PCD 刀具切削钛合金时,刀具的磨损主要表现为粘结磨损和磨料磨损,破损机理主要体现为剥落、微裂纹和局部碎裂。PCD 的金刚石的微粒大小和刀具寿命呈正比例关系。相关研究学者通过对 200m/min 切

削速度下高速铣削钛合金时硬质合金刀具和 PCD 刀具的性能进行研究,发现 PCD 刀具寿命比硬质合金刀具增加了 4 倍左右,且加工后工件表面的粗糙度更小。又有一些研究学者用 PCD 铣刀高速铣削 TA15 钛合金时铣削参数对切削力的影响规律进行研究,发现切削力在很大程度上会受到轴向切深的硬性,在切削速度 50 ~ 400m/min 范围内,对切削力的影响非常小。由此可见,要想在不降低切削效率的前提下提高加工精度,提高切削速度并且适当降低轴向切深是一项有效措施。

4 钛合金铣削新进展

4.1 高速铣削技术

高速铣削材料具有径向力小、去除效率高且工件温升相对较低的优势,在制造航空航天装备的时候,对钛合金薄壁类加工零件的需求量大,因此,高速铣削技术逐渐被应用于钛合金零件加工中。由于钛合金的薄壁件刚度较低,在进行铣削加工时降低变形敏感方向的切削力,不仅能够强化表面质量,同时还能够保障零件加工精确度。铣削钛合金时径向切深、轴向切深以及每齿进给量会在很大程度上影响切削力,而切削力并不会受到切削速度的影响。因此,可根据不同类型薄壁件的结构特点,确定径向切深、轴线切深以及每齿进给量对变形产生的影响,在确保切削效率的前提下,合理分配以上切削参数。同时,面对薄壁件铣削时产生的切削颤振问题,尤其是对深腔结构进行高速铣削的时候,较长的铣刀悬伸和较弱的零件刚度更容易引发切削颤振问题。因此,为了能够稳定实施高速铣削钛合金薄壁件工作,就需要选择合理的轴向切深和主轴转速,以此来进一步提升已加工工件表面质量,延长刀具的使用寿命。

4.2 低温冷却铣削技术

钛合金的铣削加工成本和加工效率会在很大程度上受到冷却方式的影响,随着刀具性能的提升,对加工效率也会提出更高的要求,铣削钛合金的切削速度也在进一步提升,而传统的切削液浇注冷却正陷入困境。

其一,在对钛合金进行高速铣削的时候,浇筑冷却的切削液很难进入到切削区域中,切削区域的温度居高不下,刀具切出后被切削液冷却会产生强烈应力;

其二,高温环境下会导致切削液雾化,进而伴随大量的有害气体,严重污染环境。为了解决上述问题,最近这些年低温冷却技术作为一项绿色铣削技术,其发展速度逐渐加快。其中,以低温风冷、低温微量润滑冷却(CMQL)、液氮冷却切削技术和低温喷雾射流冷却最具代表性。

在具体开展铣削钛合金工作的过程中,切削速度是确定选择哪种低温冷却技术的关键。相关研究者使用低温微量润滑冷却高速铣削 TC4 钛合金,不仅降低了刀-屑摩擦和径向切削力,同时还延长了刀具的使用寿命,取得了很好的加工成效。又一些研究者通过实验对低温风干和干切削条件下铣削 TB6 钛合金的切削力进行对比研究,发现低温风冷在降低切削力方面效果明显。

4.3 高效深腔加工技术

如今,钛合金零件已经成为大量航空航天装备中的主要框架类结构件,其中,大多数是薄壁深腔结构。在铣削加工中,这种深腔需要使用悬伸较长的铣刀,但是,铣刀容易产生“让刀”和切削振动现象。为了能够尽可能降低振动引起的铣刀破损,就必须保障加工精度和加工表面质量,尽可能降低切削深度和进给量。同时,钛合金是一种加工难度相对较大的材料,而且切削速度选择范围也相对较低,因此,这种钛合金深腔结构件的加工时间较长,进而大大增加了加工成本。插铣加工和高进给铣削由于铣削径向力相对较低,因此,可将其用在钛合金深腔结构件的加工中。由于受到切屑的减薄效应的影响,在确保切削厚度不会发生变化的情况下,每齿进给量将会大大提升。插铣加工通过将铣刀轴向进刀运动完成材料的去除切削,因此,其径向切削力相对较小,比较适合用在深度较大的叶轮流道的粗开加工和槽腔加工中。尽管插铣和高进给铣削都可以用于深腔加工,但是,在实际选用的时候还应该结合型腔结构特点进行综合考量,只有这样才能够确保加工

质量,提升加工效率。

5 结语

钛合金铣削加工中,在高速铣削时,铣刀承受着严重的热冲击,随着铣削速度的增加,这种热冲击会加剧刀具的磨损程度,使刀具的破损程度被逐步放大;由于受到工件容易发生变形和切削易振动因素的影响,铣削薄壁件时,需要合理选择切削参数,提高切削效率。如今,钛合金铣削技术的发展趋势如下:

(1) 随着新型钛合金材料不断被研发出来,对切削机理的研究更加迫切;

(2) 急需研发出适合高效、高速铣削钛合金的刀具材料和技术;

(3) 在钛合金铣削加工中,插铣、高进给铣削等新工艺逐渐得到了推广应用。

参考文献:

[1] 王鹏,李媛媛,董新飞,孙旭东.数控加工技术在钛合金材料加工中的应用研究[J].世界有色金属,2019(20):194-196.

(上接第57页)

时可能是该轴的直线度超差造成的问题;第三可能由于滚珠丝杠的螺距补偿设置不正确,此时需检查该轴的螺距补偿,并重新进行激光校正。

(4) 当出现横向间隙的问题时,主要原因是各轴的导轨存在大大小小的间隙或者导轨的固定螺丝出现了松动,反映到轴移动的路径上,就是在驱动轴移动的过程中,移动的方向并不完全平行于导轨。有时横向间隙大会导致其它项(如垂直度、反向间隙等)看起来很大。

在某些情况下,当进行球杆检测的时候,出现的结论为横向间隙的时候,事实情况却可能为半径变化或偏置的改变而出现的测量误差,所以要优先查看球杆仪放在工作台上的装置是否出现了磨损以及所有球杆仪连接是否紧固。一般情况下,只要重新对准球杆仪中心或检查连接部位并拧紧后重新检测应该就没问题了。

(5) 当出现垂直度误差的情形时,是由于被测量的设备的机械精度不达到要求,一般情况为两垂直轴的垂直度超差,两垂直轴可能存在局部变形或者机床导轨可能存在磨损的部分,进而产生了在运动时出现了偏差。

(6) 当设备发生周期误差时候,产生的现象是具有频率、振幅均发生改变的周期性正弦误差,而且并不在整个图中显现。周期误差的出现也将对设备加工的零件产生影响,甚至造成零件的报废。

当出现周期误差的时候,主要原因有三种:(1) 被测量的轴的丝杠的螺纹出现了磨损,因而在移动的过程中,无法保持恒定的速度;(2) 编码器没有被正确的安装,当然,如果是此原因,那么无论以何种运动方向做测试,其图像

不变;(3) 如果是由于机床的平衡部件出现了平衡不匹配的现象,依然可以造成此问题,此时图形会随着测量方向的变化而改变。

5 结语

UG 软件加工模块,也就是数控加工功能十分强大,且对于加工的成就潜力很大,数控铣削加工时运用自动编程可大大缩短编程的时间。利用随软件默认的后处理文件或者自己添加修改后的后处理文件,最后自动产生的程序,均可以直接输入进系统,然后进行持续的加工。特别是对像此类的精密零件,UG 更是可以把所有程序上的影响都消除,保证在程序端没有任何问题,路径可以自由控制,但对于零件最终完成还需要进行很多的优化和经验的配合。

参考文献:

[1] 何东东.柔性作业车间调度优化的改进遗传退火算法[J].制造业自动化,2019(01):83-86.

[2] 田伟,刘文.UG Nx6.0 中文版数控加工[M].北京:电子工业出版社,2009.

[3] 杜智敏,韩慧伶.UG Nx5 中文版数控编程实例精讲[M].北京:人民邮电出版社,2008.

[4] 廖效果,朱启速.数字控制机床[M].湖北:华中理工大学出版社,1992.

[5] 平波.钛合金圆弧高效精密加工技术研究[M].江苏:南京航空航天大学,2015.

[6] 濮良贵,纪名刚.机械设计[M].北京:高等教育出版社,2005.