

薄壁零件数控加工工艺以及工艺流程的优化路径探析

王联翔 霍一敏 左锋 王亮 张辉林
(北方自动控制技术研究所 山西 太原 030000)

摘要: 数控加工就是零部件在数控机床上加工的工艺技术。数控机床为自动化运行,所采用的是数字控制技术。与传统机床存在不同,数控机床采用手摇驱动机床工作台使刀具或工件位移的机械加工方式,但就加工工艺而言大同小异。应用数字控制技术加工薄壁零件,多种制约因素影响着零件的加工质量。整个加工工艺流程是否合理,对零件的加工质量起到至关重要的作用。要提高薄壁零件加工质量,就要对这些因素对零件加工质量带来的不良影响有清晰准确的判断,以便对工艺技术和工艺流程进行优化。诸如应用计算机仿真技术对薄壁零件加工操作进行模拟,对不足之处及时改进,同时对零件装夹方式、刀具的切削参数以及走刀路径予以优化,提高数控加工工艺水平,提高零件质量。基于此,本文着重于薄壁零件数控加工过程中工艺技术优化的有效路径研究。

关键词: 薄壁零件; 数字控制技术; 加工工艺; 工艺流程; 装夹; 切削

0 引言

在工业技术发展步伐不断加快的背景下,在薄壁零件加工过程中合理应用数控技术,可使零件的精度提高,质量明显改善。应用数控技术加工生产的薄壁零件,通常应用于军事以及航空航天等高端领域。数控技术在机械生产领域的广泛应用,推动薄壁零件数控加工技术的持续创新。应用机床加工零件的时候要保证高精度,可合理应用仿真系统,在加工之前做好预防性分析,在加工过程中进行约束性分析,在零件加工完成之后实施检验,并对检验结果进行分析^[1]。零件加工工艺有保证,才能保证零件的高精度。但是,落实到实际加工过程中,诸如装夹变形、刀具变形、零件应力变形等影响因素,使得加工质量受到影响,零件质量无法保障。所以,对薄壁零件数控加工工艺进行分析非常必要,明确工艺过程的优缺点,分析导致质量问题的影响因素,才能提出改进策略。

1 薄壁零件数控加工工艺介绍

1.1 薄壁零件数控加工工艺

薄壁零件一般壁厚不超过 3mm, 有较高的尺寸公差、形位公差和表面质量要求。与普通零件相比较,薄壁零件的刚性较小,容易发生变形,因此数控加工操作中有较高的难度。

进行加工前可采用计算机辅助编程软件,对加工刀路轨迹进行编辑,经后置处理生成机床设备可以读取的数字控制代码后,输入数控机床进行加工。机床设备有效工作时间长,运行效率高,可大大降低企业的成本

投入。

实际加工过程中,薄壁零件一次加工成形,加工精度无法保证,主要原因是零件变形。当前薄壁零件是粗/精加工分开进行。精加工前都会进行人工时效去除工件内应力,再进行稳定处理。粗加工留出较小的余量进行最后的精加工。铣削精加工时采取高转速、小切深、快进给的高速加工模式。车削精加工时,一般采用低转速、慢进给的方式加工。

1.2 薄壁零件数控加工刀具

进行薄壁零件加工的时候要保证质量,加工过程中选用刀具要严谨,确保刀具外形尺寸精度、刀刃锋利、刀具几何参数合理以及切削参数合理等。如平板类薄壁零件的表面需要加工的,但有凸台和凹槽,此时需要选用的刀具为立铣刀。粗铣时选用直径较大的立铣刀,提高加工效率;精铣时选用直径不超过 12mm 的立铣刀,采用高速加工方式,保证加工精度。在薄壁孔系零件加工的过程中,直径小于 6mm 的孔,选用机用铰刀精加工;直径为 6 ~ 12mm 的位置公差要求不高的孔可采用机用铰刀精加工;直径为 6mm 以上位置公差要求高的孔选用镗刀进行精加工。

2 薄壁零件数控切削加工工艺特征

(1) 薄壁零件没有统一的鉴定标准,通常外廓尺寸远远超过其本身结构的横截面,所以导致零件刚性较差,零件装夹易变形,切削过程中易产生震动和加工变形。加工完成后,零件还可能因内应产生变形,出现质量问题,无法满足图纸技术要求。

(2) 我国航空工业普遍应用薄壁零件,但是,对零

件各项指标有很高的要求,如零件要有很强的耐腐蚀性和耐高温性,且比较轻,所以,选择加工材料的时候,通常会以铝合金和铝镁合金为主,其密度小,耐腐蚀性强,价格不高,加工成型容易。

(3)一般薄壁零件的外形尺寸较大,而且有复杂的结构,加工难度比较大,稍有不慎就会产生变形。所以,要做好变形矫正工作。这在加工工艺中是非常重要的内容。

(4)一般薄壁零件都具有较高的形位公差、尺寸公差和表面质量要求。

3 薄壁零件数控加工过程中影响质量的主要因素

薄壁零件数控加工过程中影响质量的主要因素有零件装夹方式、切削刀具、切削方式(切削参数和走刀方式及路径)和工艺流程。

3.1 零件装夹方式对加工质量的影响

薄壁零件加工的过程中,采用合理的零件装夹方式可以最大程度减少零件的装夹变形,增强整个工艺系统的刚性^[2]。所以,在薄壁零件进行数控加工之前,对于零件在整个工艺系统中所处位置以及装夹方式都要认真分析,应采用人工智能技术对于零件的装夹以及切削加工过程和加工后的变形情况进行模拟仿真和分析,根据分析结果合理选择夹具,使得加工质量有保障。如果没有条件进行人工智能的模拟仿真和分析,也可以按经验大致确定装夹方式,进行试加工,并根据试加工结果对装夹方式进行合理调整,直至加工出合格的零件。

在装夹圆筒形薄壁零件时,一般不采用径向装夹,最好采用轴向装夹方式。在装夹盘套类、面板类和箱体类等薄壁零件时,可采用真空吸盘、磁力吸盘和螺钉、压板压紧等装夹方式^[3]。上述各种装夹方式可以最大程度地提高整个工艺系统的刚度,减少薄壁零件装夹变形问题的发生,有效提升加工精度。在实际的生产过程中,还可以采用低熔点合金(也可以用松香、石蜡等)对薄壁零件进行外包裹、内填充的方法,增强薄壁零件的刚度。当零件完成整体加工之后,放入60℃的水中将低熔点合金熔化取出,低熔点合金以后还可以重复使用^[4]。

3.2 切削刀具对加工质量影响

薄壁零件的数控加工对刀具的要求非常严格。科学适用的材质和几何参数可以使刀具耐用,切削轻快,加工面的表面质量好,决定了后续切削加工的加工质量、加工效率和加工成本。

3.3 切削方式对加工质量的影响

影响切削力的主要因素有切削速度、进给速度、切削深度和背吃刀量。为了保证加工质量、加工效率以及切削性能,要合理确定切削参数。通常粗加工时选用较低的切削速度、较快的进给速度,合理的切削深度以及

背吃刀量,提升切削效率。精加工时,选用较高的切削速度、较慢的进给速度,较小的切削深度和背吃刀量,以提高加工质量。比如,使用圆柱铣刀进行切削时,通常铣削深度不能超过铣刀刀刃长度。

走刀方式以及路径都对切削加工有非常重要的影响。数控机床加工时走刀方式一般采用顺铣。走刀路径的选用,要充分考虑实际加工情况,主要目的是要提高零件加工质量和加工效率。比如,粗加工过程中所采用的加工方法主要有以下两种:

(1)一次性将深度加工到位的粗加工方式。这种方式加工效率高,但切削力大,会产生大量的切削热,因此加工应力大,零件容易产生较大变形,对后序精加工造成不利影响。

(2)分层粗加工法。去除余量时,采用小切深、高转速、快进给的方式,一层一层地去除余量。每层余量的去除,刀具都是沿着等高线轨迹运动,保证余量均匀去除。这种切削方式切削力小,切削热也少,因此加工应力小,零件变形小,有利于后续的精加工。

3.4 工艺流程问题对加工质量的影响

薄壁零件加工完成后出现的质量问题,存在一定的规律性,需要科学细致地分析,找出原因,采用科学有效的工艺改进措施,制定合理的工艺流程,使零件的加工质量得到保障。

通过不断改进工艺流程,对每道工序的内容进行合理细分,并对每道工序的工艺不断优化,最终可以形成规范的薄壁零件加工工艺规范,确保零件的加工质量,并对类似零件的加工起到参考作用。比如,对加工余量大的薄壁零件变形情况进行分析后,发现这些变形大多是由零件内应力引起的。粗加工时,材料去除量大,造成工件残余内应力大,粗加工后变形较大,导致无法完成精加工从而报废^[5]。增加精加工余量,会使精加工时的材料去除量增大,也会造成精加工后工件残余内应力大,零件变形严重导致报废。解决的方法是粗、精加工分开,甚至可以采用多次粗加工,最后留小余量进行精加工。每次粗加工过程中应进行人工时效去除内应力,精加工前应先进行人工时效去除内应力,再进行稳定化处理。通过以上改进可以最大程度地减少零件的残余内应力,消除工件的变形。

4 薄壁零件数控加工工艺质量改进对策

某工业企业选择薄壁零件来直观体现数控加工工艺的整个过程及其效果。薄壁零件使用的材料是45#钢,加工存在一定的难度,主要体现在以下两个方面:

其一,很多螺纹部位的壁厚只有2mm,大批量生产,零件刚性严重不足,车削受力点与夹紧力作用点之间的距离比较远,加工的过程中工件容易产生晃动。

其二,薄壁零件的精度非常高,零件易产生加工变形。解决方案:一是零件采用膨胀芯轴内撑夹紧,中心保持架辅助支撑,增加零件的刚性;二是加工中采用 G76 和 G92 合成法,即粗/细加工合成法,提高零件的加工精度,以解决零件的变形问题。

该企业对薄壁零件加工工艺进行了如下改进,显著提高了零件的加工质量。

4.1 灵活运用仿真技术

仿真技术是通过运行仿真硬件以及仿真软件进行试验,经过计算某些数值,针对问题求解,将系统运行过程反映出来。主要的仿真硬件是计算机,包括用于模拟操作的计算机、数字计算机以及混合计算机。其中,数字计算机还可以细分为通用数字计算机以及专用数字计算机,前者具有普及性,任何领域都可以使用,后者的应用有特定的范围。模拟计算机是针对连续系统进行仿真操作,所以被称为模拟仿真。在模拟仿真操作的过程中,要将仿真模型作为依据,按照要求将各运算放大器连接,对于有关系数器进行调整,运算放大器改变连接方式,调整各系数调定值,就可以对模型进行修改。仿真操作所获得的结果能够连续输出。所以,模拟计算机运行的过程中有很好的交互性,可以用于实时仿真,能够对时间比例尺予以改变,超实时仿真得以实现。

薄壁零件数控加工分析过程中所采用的计算公式是 $KU=F$, 分析的结果有较高的精确度。公式中, K 为薄壁零件本身整体强度的短距, F 为零件加工过程中自身的负载列阵, U 为零件加工过程所产生的变形。薄壁零件加工过程中,对于 F 要合理调整,使零件变形问题得以改善^[6]。按照这个公式计算结果进行分析,应用仿真技术可以保证薄壁零件材料的选择合理。

4.2 零件装夹方式不断优化

薄壁零件加工过程中要保证质量,就要合理选择零件装夹方式,落实到具体工作中,工艺预设的时候要充分考虑零件的装夹要求,做到以下两个方面:

(1) 有些薄壁零件具有结构紧凑、悬伸短的特点,选择装夹方式时应考虑在加工过程中发挥惯性力以及回转力的作用,有效控制夹紧力矩,以提升加工精度。

(2) 有些薄壁零件在车削加工过程中因动平衡问题,需要进行平衡配重。因此,在选择零件装夹方式和夹具时,应充分考虑加工时因零件平衡配重引起离心力大的问题。确保夹具夹持有力可靠,装夹刚度及强度大,确保具备良好的零件加工条件,防止加工过程中发生安全事故和质量问题。

4.3 切削方式和切削刀具的合理选择

加工过程中,对于工件变形要高度重视,明确造成这种现象的因素。薄壁零件的主要发展趋势是质量轻、

技术巧、精度高。如果刚度不是很高,进行加工的过程中,很容易导致零件变形,影响零件整体质量^[7]。所以,预设工艺的时候对于工件产生变形的问题要充分考虑。数控加工过程中,对于工件加工的不同状态要认真观察,对于刀具路径要从实际出发随时调整,有效控制刀具运行,保证其正确性,做到刀具路径最优化。通过优化刀具路径,可以一定程度上改善工件的变形。

选用切削刀具时,要采用科学的方法计算,保证结果准确,并结合前人的经验,从实际情况出发优选切削刀具。良好的刀具材质和最佳的刀具几何参数,可以使刀具耐用度高,切削轻快,加工出的零件表面质量好,加工效率高,加工成本低。

4.4 改进传统加工工艺

薄壁零件数控加工技术快速发展,主要发挥支撑作用的是大数据技术、云计算技术和数控编程技术等。数据的容量非常大,而且运行的速度快。当前,信息技术在各个领域发挥的作用日益重要,采用传统数据工具软件,无法科学有效地处理大量的数据信息,需要应用云计算技术等处理海量信息,并发挥其数据分析、挖掘和筛选的作用,能够做到数据处理的快速准确。合理应用大数据技术,在对各项数据信息进行处理的同时能够获得科学有效的信息。云计算技术在应用过程中还能够存储大量数据信息,尤其是在数据量快速增长的情况下。云计算能够提供足够的空间,实现安全存储数据信息。此外,云计算技术还可针对数据信息进行副本存储,避免导致丢失问题,保证数据信息的完整性^[8]。

在数控加工准备阶段会进行程序编辑,所涉及的主要内容零件图样分析,对加工工艺过程加以确定。将走刀轨迹计算出来,获得刀位数据。进行数控加工程序的编写,并根据实际需要予以完善。将控制介质制作出来,对程序予以校对,进行首件试切。这些新技术的应用,使得薄壁零件数控加工技术得到持续优化。

薄壁零件数控加工过程中,对于加工工序要详细分析,并根据实际情况及时调整,结合作业流程对加工方案予以优化^[9]。对薄壁零件变形情况加强控制,可减少数控加工工艺技术应用过程中质量问题的发生。将大数据、云计算等数据分析所具备的优势充分发挥出来,使得加工质量有保证。保证生产夹具和刀具运行顺畅,制定相关的操作规范,使得薄壁零件加工严格按照规范进行,提高加工质量。

5 结语

通过以上研究可以明确,薄壁零件质量轻、材料使用量少,且具有紧凑的结构,因此切削过程中加工难度比较大,加工中的变形等因素可增大零件的形位误差,零件加工质量无法保证^[10]。如果薄壁零件大批量生产,

采用常规的加工工艺流程和普通机械加工技术不能满足质量需求, 必须要有科学加工工艺并结合使用现代数控加工技术, 提高加工精度和生产效率, 同时考虑加工工艺流程中存在的各种影响因素, 针对工件装夹、切削刀具、数控程序乃至整个工艺流程展开试验, 尽量减少加工中变形等问题的发生。同时, 充分利用仿真技术详细分析薄壁零件数控加工工序, 对数控加工技术予以优化。与传统生产方式相比较, 合理运用仿真技术, 零件的数控生产成本有所降低, 且生产过程中能够保证质量。

参考文献:

- [1] 许新伟. 浅谈薄壁零件数控加工工艺质量改进方法[J]. 中国设备工程, 2021 (13): 102-103.
- [2] 姜爱国, 安鑫. 十字型薄壁类零件数控加工工艺研究及应用[J]. 内燃机与配件, 2021 (14): 115-116.
- [3] 储胜国. 机械加工中数控车加工薄壁组合零件工艺探讨[J]. 内燃机与配件, 2021 (12): 115-116.
- [4] 饶凤. 关于航天薄壁框架类零件数控加工变形抑制方法的研究[J]. 内燃机与配件, 2021 (22): 71-72.
- [5] 张正兴, 董志. 小型薄壁深腔双曲面零件的数控加工技术研究[J]. 现代制造技术与装备, 2020, 56 (09): 52-53+56.
- [6] 王岗, 魏同学, 王东旭, 等. 基于数控车削加工的复杂薄壁件工艺方案设计[J]. 锻压装备与制造技术, 2021, 56 (02): 116-119.
- [7] 曹旭妍, 徐家忠. 基于UG和VERICUT的航空薄壁件数控加工与仿真研究[J]. 模具技术, 2021 (04): 33-37.
- [8] 王继成. 数控车床加工精度的工艺处理及优化路径探讨[J]. 新型工业化, 2020, 10 (08): 91-92+95.
- [9] 汪鹏, 王婕. 基于精益6 σ 的航空高强钢零件大尺寸面轮廓度数控加工参数优化[J]. 航空发动机, 2020, 46 (01): 86-90.
- [10] 沈琦萍. 薄壁件数控加工物理仿真研究现状与发展趋势[J]. 轻工标准与质量, 2021 (02): 112-113.

严正声明

近期, 本刊编辑部收到作者反映, 一些不法分子盗用我刊名义, 自建非法网站或钓鱼网页 (<http://www.zgjxzz.cn>、<http://mach-china.toug.com.cn> 等), 或以《中国机械》杂志社编辑部“编辑”“责任编辑”等名义, 向广大作者征收稿件, 并收取所谓的“版面费”、“审稿费”等, 严重侵犯、影响了我刊声誉和广大作者的权益。在此, 我刊严正声明如下:

1. 《中国机械》杂志社于1982年创刊, 是国家新闻出版署批准登记的国家级机械工程类学术期刊(旬刊), 目前尚未创建独立的“官方网站”, 浏览本刊电子版需从中国工业新闻网 (<http://www.cinn.cn>) 下方链接进入, 链接地址 http://www.cinn.cn/zgjxzz/index_348.shtml, 或通过万方数据知识服务平台 (<https://www.wanfangdata.com.cn/>) 的官方网页搜索本刊进行查询, 链接地址 <https://sns.wanfangdata.com.cn/period/zgjx> 查询全文;

2. 《中国机械》杂志为旬刊, 请广大作者认准, 凡标记“半月刊”“月刊”的网络征稿平台, 均为非法网站, 欢迎联系本刊编辑部进行举报;

3. 《中国机械》杂志社唯一投稿邮箱: jxzzs@cinn.cn;

4. 《中国机械》杂志社《录用通知书》加盖“中国机械编辑部”公章, 凡加盖“《中国机械》杂志社编辑部”或使用已作废公章(防伪码为1101081749266的总编室公章、防伪码为1101081491290的原编辑部公章), 均为假冒录用通知书;

5. 《中国机械》杂志社从未委托任何机构、网站或个人代理本刊的组稿、审稿等相关事宜, 编辑部一直严格遵守“三审三校”规定, 追求杂志整体质量的提升, 将期刊的社会效益放在首位, 对于盗用《中国机械》杂志社名义发布虚假信息、实施非法征稿等行为, 本刊将依法追究其法律责任;

6. 本刊编辑部唯一联系电话: 010-67410664。

敬请广大作者和读者注意辨别, 提高警惕, 谨防上当!

《中国机械》杂志社
2022 年 11 月