

基于数控加工的大型齿轮加工成形方法研究

徐冰川

(宿州应用技术学校,安徽 宿州 234000)

摘要:研究一种基于数控加工的大型齿轮加工成形方法。对大型齿轮加工数控成形工艺进行分析;利用数控加工成形工艺对一个大模数圆柱齿轮进行加工,检验该工艺的加工精度。经统计大模数圆柱齿轮齿形误差和齿向误差表明,各项指标均小于规定的误差范围。

关键词:数控加工;大型齿轮;加工工艺;加工成形方法

中图分类号:TG659 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)02-0072-03

Research on Forming Method of Large Gear Based on NC Machining

XU Bingchuan

(Applied Technology School of Suzhou, Suzhou 234000, China)

Abstract: A machining and forming method of large gear based on numerical control machining was studied. The CNC forming technology of large gear machining was analyzed, a large modulus cylindrical gear was machined by numerical control machining technology with its machining accuracy of the technology being tested. The statistics indicate that the indexes of the tooth shape error and tooth direction error of the large modulus cylindrical gear are all less than the specified scope.

Keywords: numerical control processing; large gear; processing technology; forming method

0 引言

机械化不仅带来生产效率和生产质量的提高,同时也极大地规避了生产过程中的风险。机械化的典型特征就是各种自动化、智能化设备的运用,而在这些设备中,齿轮是必不可少的组成部分^[1]。齿轮在机械化设备中起到传递运动和动力、增加力矩、改变力的作用方向等作用。近年来,随着机械设备越来越精细化,齿轮加工成形精度也随之提高。齿轮精度越高,机械设备生产出来的工件质量越高,因此如何提高齿轮加工成形精度成为机械化领域一直研究的问题。

目前,关于齿轮加工工艺研究有很多,如文献[2]以直齿轮加工为研究对象,分析其冷锻成形工艺过程以及存在的不足,并利用计算机辅助工程(CAE)技术进行改进,提高直齿轮的加工精度;文献[3]针对大小两种类型螺旋锥齿轮进行研究,分别介绍其加工方法,并对可能存在的加工误差问题进行分析,提高齿面加工精度;文献[4]针对采煤机上的齿轮进行误差分析和加工工艺研究,认为齿轮误差与齿轮机床精度高低有着直接关系。但上述方法均没有分析大型齿轮加工成形工艺,存在齿轮齿形误差大、齿向误差大的问题。

基于前人研究经验,本文研究一种基于数控加工的大型齿轮加工成形方法。该方法分为两大部分,第一部分对大型齿轮加工成形工艺进行分析,第二部分通过实例验证齿轮加工精度。通过本研究以期大型齿轮精细化生产、加工和制造提供参考和借鉴。

1 大型齿轮加工数控成形工艺研究

大型齿轮一般是指齿轮模数 >16 mm的齿轮,主要在工程机械、矿山、冶金等重型机械中应用广泛^[2]。大型齿轮种类多样,如直齿轮、弧齿轮、锥齿轮等。目前,大型齿轮的加工工艺主要有两种:成形法和展成法。这两种工艺原理和优缺点对比如表1所示。

表1 大型加工工艺对比表

项目	工艺	
	成形法	展成法
原理	利用成形刀具直接在待加工齿坯上切制出齿廓	利用齿廓啮合原理来切制齿轮
优点	在普通铣床上加工,通用性较强	效率高,精度高,适合大批量生产
缺点	需要每个齿牙逐个加工,效率较低,易造成齿牙形状、尺寸等加工误差	环境限制,只能在专业数控机床上进行,加工价格较高
加工方法	铣齿、磨齿	滚齿、插齿及磨齿

本文针对上述大型齿轮成形法进行研究。基于成形法的数控加工工艺流程如图1所示。

基于图1基本工艺流程,对大型齿轮加工工艺流程进行具体分析。

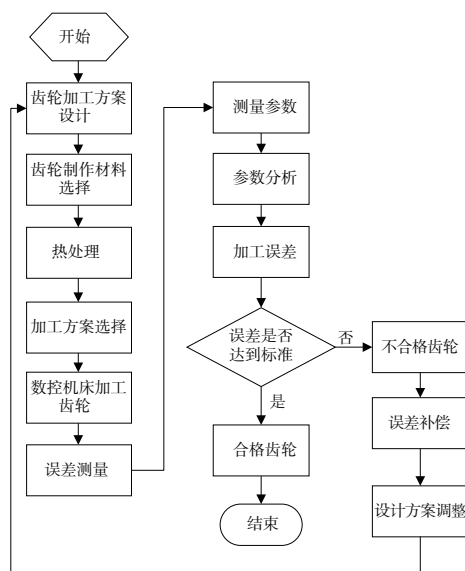


图1 基于数控加工的大型齿轮加工成形基本工艺流程

1.1 锻造制坯

锻造制坯是大型齿轮加工制造的第一个环节,主要工作是将原材料锻造成能够制成齿轮的毛坯^[3]。制坯方法主要分为3种,即:

- 1) 直接用圆钢做坯料(很少用,不重要齿轮常用);
- 2) 锻造毛坯——重要齿轮都采用这种方法,因为它的组织性能最好;
- 3) 铸钢毛坯——一般用于尺寸大的齿轮制作。

1.2 毛坯热处理

锻造出来的齿轮毛坯,硬度高,内部组织不稳定,导致力学性能较差,后期切削加工困难,因此需要对毛坯进行热处理,以改善毛坯质量^[4]。热处理工艺主要有正火、回火、退火、淬火等4种。每种侧重点不同,需要根据齿轮材料特点进行选择^[5]。

1.3 数控加工机床选择

经过热处理后的坯料进入加工阶段。在这一环节正式进行前,需要选择合适的加工工具^[6]。数控加工机床是齿轮现代加工中最关键的工具,具有高精度、高效率的优点,应用到大型齿轮加工制造当中,能够为齿轮企业创造更多的经济价值^[7]。

数控加工机床一般组成包括工业控制的计算机(IPC)、运动控制器、伺服驱动器、伺服电机、光电编码器以及机床主体和其他辅助设备等。在利用数控加工机床进行加工时,为减少加工误差,需要注意以下4点,即根据待加工工件特点设置合理的参数、合理选择刀具、合理选择夹具、确定加工路线。下面进行具体分析。

1) 设置合理加工参数

齿轮材质不同,所要求的切削速度、走刀量以及切削深度都存在差异,具体如表4所示。

表2 加工参数设置表

工件材料	粗加工			精加工		
	切削速度/ (m/min)	走刀量/ (mm/r)	切削深度/ mm	切削速度/ (m/min)	走刀量/ (mm/r)	切削深度/ mm
碳钢	220	0.2	3.0	260	0.10	0.4
低合金钢	180	0.2	3.0	220	0.10	0.4
高合金钢	120	0.2	3.0	160	0.10	0.4
铸铁	80	0.2	3.0	120	0.10	0.4
不锈钢	80	0.2	2.0	60	0.10	0.4
钛合金	40	0.2	1.5	150	0.10	0.4
灰铸铁	120	0.2	2.0	120	0.15	0.5
球墨铸铁	100	0.2	2.0	120	0.15	0.5
铝合金	1 600	0.2	1.5	1 600	0.10	0.5

2) 合理选择刀具

由于需对毛坯进行热处理,整个加工过程切削温度都较高,因此选择的刀具要耐热度好、硬度高、锋利度强、耐用度好。

3) 合理选择夹具

夹具是指夹持待加工齿轮毛坯的工具。由于加工齿轮类型不同,为了避免反复更换夹具,减少成本,尽量选用通用夹具装夹工件^[8]。此外,为减少误差,要保持夹具定位准确。

4) 确定加工路线

在进行正式加工前,要规划好刀具和夹具的运行路线与配合程度,尽可能保证加工时的路线能够按照规划好的路线进行。这样能极大地降低加工误差,提高加工效率。

1.4 加工方案选择

成形法中常用的两种加工方案包括铣齿和磨齿。这两种方案各有其特点,分别针对不同类型齿轮的加工进行具体分析。

1) 铣齿

铣齿是指一次铣削一个齿槽的加工工艺,该工艺多适用于单件或小批量大模数齿轮的加工,其效率和精度较低,但加工成本低,能切削难加工的材料。

2) 磨齿

磨齿是指通过砂轮与工件按一定的滚动比进行磨削的一种方法。该加工方案精度很高,成本高,但生产率较低,故适合单件或小批量生产。

1.5 误差监测

为提高齿轮加工质量,在加工过程中还需要进行误差监测。在这里需要利用在线测量探头获取齿轮齿面参数,来判断是否需要进行误差补偿,以达到修正齿轮加工误差的目的。在线测量探头相当于一个传感器,布置在机床刀架工作台的直线导轨上,在齿轮加工的同时,实时采集齿轮数据。

1.6 齿轮成品质量检验

在齿轮加工成型结束后,为保证产品质量,需要对其进行质量检验,核对齿轮是否符合设计标准。齿轮精度合格标准如表 3 所示。

表 3 齿轮精度合格标准 单位: μm

类别	指标	标准值
齿形误差	齿面齿廓总偏差	<15
	齿廓倾斜偏差	<6.5
	齿廓形状偏差	<6.5
齿向误差	齿轮螺旋线总公差	<15
	齿轮螺旋线形状公差	<7.5
	齿轮螺旋线倾斜偏差	<10

2 实例分析

为验证所研究工艺的加工精度,本章节以大模数齿轮加工为例,进行实例验证分析。

2.1 齿轮设计方案

本文所要加工的齿轮为大模数圆柱齿轮,该齿轮设计方案如表 4 所示。

表 4 齿轮设计方案

名称	参数值
齿数	24
模数/mm	12
压力角/(°)	20
齿根圆直径/mm	20
齿根高/mm	40
齿顶圆直径/mm	40
齿顶高/mm	80
齿距/mm	270
齿宽/mm	71
齿高系数	1
顶隙系数	0.25
变位系数	0

2.2 齿轮制作材料选择

选择硬度为 32 ~ 40 HRC 的 20CrMoTi 碳钢作为目标圆柱齿轮的加工制作材料,其材料质量分数如表 5 所示。

表 5 20CrMoTi 碳钢质量分数表

成分	C	Mn	Si	Cr	Ti	Mo
占比	0.17~ 0.24	0.40~ 0.70	0.17~ 0.37	0.80~ 1.10	0.04~ 0.10	0.15~ 0.25

2.3 锻造制坯

以 20CrMoTi 碳钢为原料进行锻造制坯,最终形成一

个圆柱体,如图 2 所示。

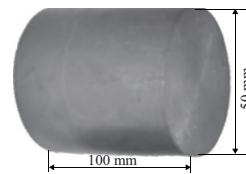


图 2 毛坯示意图

2.4 热处理方案设计

对图 2 20CrMoTi 碳钢圆柱毛坯进行热处理,以改善毛坯质量。热处理方案为淬火+回火方案,具体参数如表 6 所示。

表 6 20CrMoTi 碳钢圆柱毛坯热处理方案

名称	参数值
第一次淬火加热温度/°C	860~880
第二次淬火加热温度/°C	860~880
淬火冷却剂	水、油
回火加热温度/°C	620~650
回火保温时间/min	>240
回火冷却剂	空气、油

2.5 数控机床加工方案

选择铣齿+磨齿的组合方案进行齿轮加工和制作。先通过铣齿数控机床进行粗加工,然后利用磨齿数控机床进行精细加工。所选择的数控机床为 CAK6136c 铣齿数控机床和霍夫勒 RAPID2000 磨齿数控机床。前者采用机电一体化结构,应用三维设计软件进行优化设计,并进行有限元分析,使机床结构设计更加合理,机床刚性、精度保持性、可靠性更完美。后者针对中大型精密复杂零件而设计,具有高精度、高性能的特点,配备台湾原装齿轮动力轴、可进行高精度、高效率的齿轮复合加工。

数控加工机床工作流程如图 3 所示。

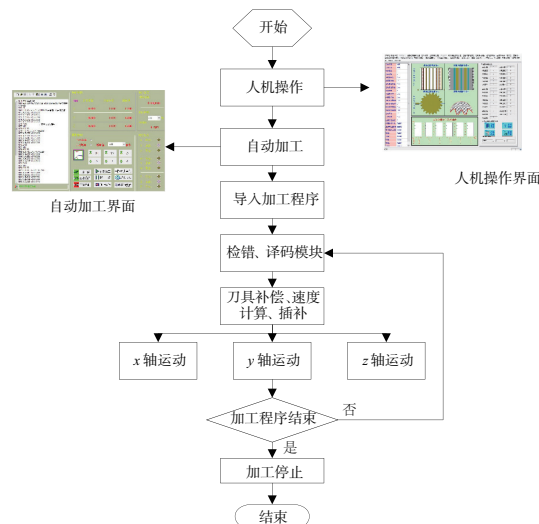


图 3 数控加工机床工作流程

4 结语

本文提出了基于代数曲面的残缺点云数据迭代修复算法。通过迭代的方式不断缩小点云残缺区域的面积,直到修复残缺点云数据。本文以航空发动机外形点云数据为对象进行了实验,实验表明该算法对曲率连续点云表面的有效性。该方法不仅能修复曲率变化不大的机匣点云残缺孔洞,还对曲率变化较大的航空发动机管路模型十分有效。使用本文方法修复的航空发动机实测外形点云数据,较好地恢复了残缺区域的几何信息,为逆向工程中发动机数字样机的构建提供了基础。

参考文献:

- [1] 石诺. 基于逆向工程的三维数字化测量技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2013.
- [2] MARCHANDISE E, PIRET C, REMACLE J F. CAD and mesh repair with Radial Basis Functions[J]. Journal of Computational Physics, 2012, 231(5): 2376-2387.

- [3] 吴晓婧. 三角网格孔洞修补算法研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.
- [4] 吴晓婧, 寿华好, 邵茂真. 用内法向量与二次误差度量修补三角网格孔洞[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2020, 32(2): 239-245.
- [5] 晏海平, 吴禄慎, 陈华伟. 基于径向基函数的散乱点云孔洞修复算法[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(4): 1253-1257.
- [6] YUMER M E, KARA L B. Surface creation on unstructured point sets using neural networks[J]. Computer-Aided Design, 2012, 44(7): 644-656.
- [7] HUANG H, LI D, ZHANG H, et al. Consolidation of unorganized point clouds for surface reconstruction[J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 28(5): 1-7.
- [8] GUENNEBAUD G, GERMANN M, GROSS M. Dynamic sampling and rendering of algebraic point set surfaces[J]. Computer Graphics Forum, 2008, 27(2): 653-662.

收稿日期: 2021-01-27

(上接第 74 页)

2.6 齿轮加工成果

利用数控机床对 20CrMoTi 碳钢毛坯进行加工, 最终得到的成品如图 4 所示。



图 4 大模数圆柱齿轮成品示意图

2.7 齿轮加工精度检验

对图 4 所示的大模数圆柱齿轮成品进行精度检验, 判断成品精度是否达到合格标准。检验结果如表 7 所示。

表 7 齿轮加工精度检验结果

类别	指标	数值/ μm	是否合格
齿形误差	齿面齿廓总偏差	8.6	合格
	齿廓倾斜偏差	2.5	合格
	齿廓形状偏差	3.8	合格
齿向误差	齿轮螺旋线总公差	2.7	合格
	齿轮螺旋线形状公差	4.3	合格
	齿轮螺旋线倾斜偏差	3.3	合格

将表 7 中的结果与表 3 齿轮精度合格标准表进行对比, 可知所研究工艺加工的齿轮齿形误差和齿向误差各项指标均小于规定的范围, 精度较高, 达到合格标准。由此

说明该加工方法具有广阔的应用前景。

3 结语

本文基于数控加工的大型齿轮加工成形方法研究, 通过数控机床的自动化、智能化生产提高齿轮加工精度。最后通过实例进行加工工艺精度验证, 通过加工一个大模数圆柱齿轮证明了所研究加工工艺的精度, 研究结果对于齿轮制造领域具有一定的参考价值。本研究还有待完善的地方, 仅将加工工艺应用到一种类型的齿轮加工当中, 得到的精度结果具有局限性。因此需提高本研究的适用范围, 还需要进一步测试和验证。

参考文献:

- [1] 党玉功, 高振山, 卢杨奔, 等. 准双曲面齿轮冷摆辗加工多目标工艺优化分析[J]. 机械传动, 2019, 43(1): 140-143, 176.
- [2] 冯玮, 许思佳, 李明丽. 浮动凹模热精密成形圆柱斜齿轮微观组织演化规律的研究[J]. 热加工工艺, 2019, 48(3): 149-152.
- [3] 段振云, 侯超群, 赵文珍, 等. 内齿轮电火花成型铣削加工工艺[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(33): 110-114.
- [4] 杨剑波. 造林机械的齿轮成型工艺与数字化建模研究[J]. 林产工业, 2020, 57(1): 65-66, 69.
- [5] 郭开元, 张如华. 从动螺旋锥齿轮双向对挤高效精密成形新工艺研究[J]. 热加工工艺, 2019, 48(1): 142-144.
- [6] 李梅, 王强. 基于齿端分流工艺的汽车变速器齿轮挤压成形模拟分析[J]. 热加工工艺, 2020, 49(17): 125-127.
- [7] 王莹琚, 朱春东, 高玉凡, 等. 双辊摆辗螺旋锥齿轮成形工艺参数优化[J]. 锻压技术, 2019, 44(5): 51-56.
- [8] 郭二廓, 任乃飞, 王杰, 等. 锥形多刃刮齿刀具切削成形过程仿真分析[J]. 机械传动, 2019, 43(11): 121-125.

收稿日期: 2021-04-19