

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.11.020

逆向工程技术在小模数齿轮加工检测中的应用*

康玉辉, 李美美

(河南工学院 机械工程学院, 河南 新乡 453003)

摘要:为解决小模数齿轮的加工和测量困难的问题,提出了一种用逆向工程技术中的快速成型和数字化技术来制造和检测小模数齿轮的方法。首先,利用 Pro/E 软件设计了一款小模数齿轮,将模型数据导入切片软件进行了处理,使用工业级 SLA 光固化成型打印机完成了小模数齿轮的制造;然后,使用工业级蓝光三维扫描仪获得了加工后的小模数齿轮点云数据,将处理后的数据与初始建模数据进行了比对,实现了小模数齿轮的三维数字化测量。研究表明:光固化成型技术可以实现小模数齿轮的快速制造,且制造精度满足使用要求;三维数字化测量可实现小模数齿轮的综合误差检测;该方法可以有效地用于解决非金属小尺寸零件的加工和检测问题,缩短制造周期、降低生产成本。

关键词:逆向工程;小模数齿轮;光固化成型技术;三维数字化测量

中图分类号:TH132.412;TG61

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)11-1372-04

Application of reverse engineering technology in machining and measuring of small module gear

KANG Yu-hui, LI Mei-mei

(School of Mechanical Engineering, Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: Aiming at the problem that the machining and measuring of small module gear were difficult, the method using rapid prototyping and digital technology in reverse engineering to machine and measure small module gear was proposed. Firstly, a small module gear was designed by using Pro/E software, and the model data was imported into slicing software for processing, the manufacture of small module gear was completed with industrial SLA technology printer. Then, the point cloud data of the machined small module gear was obtained by using the industrial blue light 3D scanner, the processed data was compared with the initial modeling data, the three-dimensional digital measurement of small module gear was realized. The results indicate that the SLA technology can realize the rapid manufacturing of the small module gear, and the manufacturing accuracy can meet the requirements. The three-dimensional digital measurement can realize the comprehensive error detection of the small module gear. The method can effectively solve the problem of machining and measuring of small non-metallic parts, shorten the manufacturing cycle, reduce the cost.

Key words: reverse engineering; small module gear; stereo lithography apparatus(SLA); three-dimensional digital measurement

0 引言

模数小于 1 mm 的齿轮,一般称为小模数齿轮。小模数齿轮在齿轮领域中处于极其独特的位置,其行业规模虽然小于风电行业的大模数齿轮和交通运输行

业的中模数齿轮,但小模数齿轮凭借其独特的优势,成为精密装备、航空机械、电子仪器仪表、计时器等装备的核心零件。在交通运输工具、电动工具、微型变速器、包装机械、微型泵、航空航天等设备中,甚至在渔具产品中小模数齿轮也有大量的应用^[1]。

收稿日期:2020-03-20

基金项目:河南省科技厅科技研究项目(192102210222)

作者简介:康玉辉(1981-),男,河南新乡人,硕士研究生,主要从事数字化创新设计方面的研究。E-mail:kevin7kang@163.com

由于几何尺寸和机械性能的影响,小模数齿轮的制造检测难度远超过其他类型齿轮。科学技术的飞速进步,带来了对其制造精度和尺寸的更高要求,对小模数齿轮的制造和检测提出了更严酷的考验。随着电火花线切割加工^[2]、数控慢走丝线切割加工^[3]、基于光学的齿形测量技术和齿轮单面啮合测量技术等先进的测量方法的不断涌现^[4],这些加工及检测技术虽然解决了一定的问题,但是也暴露出了一些弊端。

逆向工程是指从实物模型中获得数字化模型并制造得到新零件的相关技术,已经成为数字化设计与制造技术研究和应用的热点,逆向工程技术凭借其在产品设计研发中的重要意义,自 20 世纪 90 年代以来,有关逆向工程的研究越来越受到关注。逆向工程逐渐发展为成熟的技术领域,主要涵盖产品数字化技术、模型重构技术、产品快速制造技术等三大技术集群。产品快速制造技术可以用来加工制造小模数齿轮,产品数字化技术和模型重构技术相结合可以解决小模数齿轮的测量难题。

本研究提出用逆向工程技术中的快速成型方法和数字化技术,来制造和检测小模数齿轮。

1 SLA 加工小模数齿轮的优势

1.1 小模数齿轮加工方法及其优缺点

目前,在小模数齿轮比较普遍的加工方法中,按其齿轮的轮齿加工方式,大致可以分为两大类:(1)切削加工;(2)近净成形加工。

两种加工方法的具体对比情况如表 1 所示。

表 1 小模数齿轮加工方法对比

类别	工艺方法	成型速度	精度	缺点
切削加工	慢走丝	慢	高	过程繁琐,速度慢
	电火花	慢	高	专用夹具、工具制约发展
	插齿	慢	中	刀具精度制约加工精度
	滚齿	适中	中	刀具精度制约加工精度
近净成形	金属烧结	快	低	变形大,精度低,需二次加工
	注射成型	快	高	模具的制造困难
	冲压成型	快	中	模具的制造困难

由表 1 可知,上述工艺方法基本上沿袭了普通齿轮加工的工艺和方法。

模具和刀具的制造是制约小模数齿轮加工精度和制造速度的主要原因。

1.2 SLA 光固化成型

光固化成型又叫立体光刻成型法(SLA),其原理如图 1 所示。

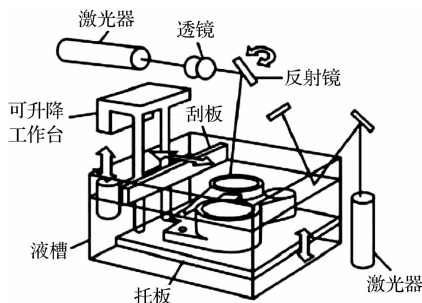


图 1 光固化成型原理

笔者以液态光敏树脂为原料,用计算机控制紫外激光束运动,使光敏树脂层层固化,形成三维实体。

该工艺的主要特点是:(1)制造精度高(可达 0.05 mm);(2)材料的利用率和性价比高;(3)零件强度和硬度好,可制造出结构极其复杂的特殊零件。因此,该工艺被广泛应用于模具加工、精密铸造、生物医疗等领域。

首先笔者使用 Pro/e 软件绘制的小模数齿轮 CAD 模型如图 2 所示。

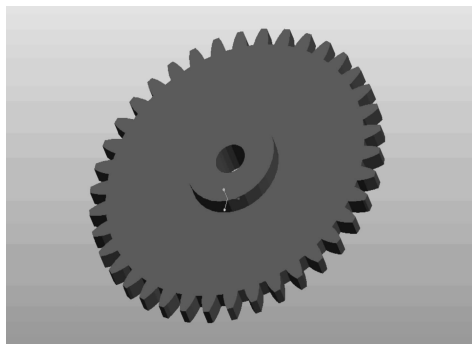


图 2 Pro/e 绘制的 CAD 模型

然后笔者将模型导出三角面格式(STL 格式),再把零件的 STL 格式文件导入前处理软件 Materialise 中进行处理,将处理后的文件导入联泰 460 HD 快速成型机中进行快速制造。

笔者对打印完成后的产品用无水酒精进行清洗,然后剥离辅助支撑;将清洗过的零件移入二次固化箱中照射 20 min 左右,固化后得到的零件成品如图 3 所示。

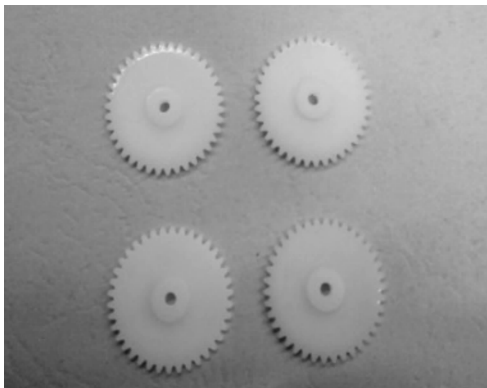


图 3 清洗固化完成后的模型

2 现有小模数齿轮的检测方法

小模数齿轮目前普遍应用于高精密仪表和仪器中,仪器的工作性能和使用寿命由齿轮的精度决定。因此,小模数齿轮的检测至关重要。与一般齿轮的检测相比,小模数齿轮的检测又具有特殊性:齿轮的刚度小,容易变形;齿距小,调整和对正困难,对检测系统的自动化程度要求高^[5];齿轮的种类繁多,检测时装夹与定位困难;受齿轮尺寸的限制,测量机械结构设计困难。

目前,国内外对于小模数齿轮检测的自动化程度低,检测设备和手段也不足。在现阶段,圆柱渐开线齿轮的检测还在使用较为传统的接触式测量方法。

而双啮测量法在小模数齿轮的综合检测过程中得到了广泛的应用^[6],其主要原因是齿轮啮合测量原理简单,对检测环境无严格要求,测量速度较快。双啮测量法存在问题主要包括:(1)微小测量力的控制;(2)对测量使用的标准齿轮精度要求极高,加工制造难度大。这两个关键技术至今未得到很好的解决。

非接触式视觉测量方法:随着影像测量技术的出现,非接触式测量技术也被用于小模数齿轮的测量^[7]。

影像光学测量技术是以现代光学理论为基础,集计算机影像图形学、信息技术、机器视觉、光电子学等科学为一体的先进测量手段,从被测对象的影像信息中过滤出有用数据来进行检测,凭借无接触、速度快、效率高等特点,在现代工业测量技术中得到了广泛应用^[8]。

目前的研究主要是测量系统的构建和测量结果的图形图像处理算法研究,测量的内容主要是齿廓误差,而很难对齿轮进行全方位的误差检测。

3 小模数齿轮的逆向工程检测

3.1 逆向工程检测流程

首先笔者通过三维光学扫描系统获得指定工件的数字化模型,然后对该数字模型进行处理,从而进行关键尺寸的测量;另外,也可以把工件的物理模型与数字模型进行全方位比对,以生成完整的检测报告,进行详细的分析^[9-10]。

逆向工程的检测流程如图 4 所示。

3.2 点云数据的获取与处理

笔者将小模数齿轮喷粉晾干后,用橡皮泥固定在回转工作台上,然后调节万向云台及测头位置,点击转台进行测量;设置需要测量的次数和曝光参数等,设备调整到位后即开始扫描零件数据,获得点云数据。

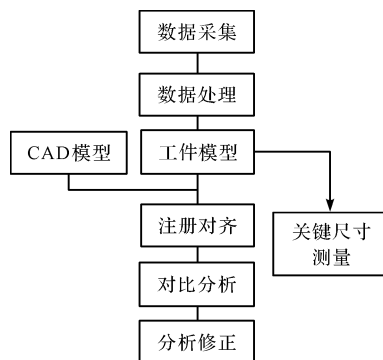


图 4 逆向工程检测流程

扫描完成的数据模型如图 5 所示。

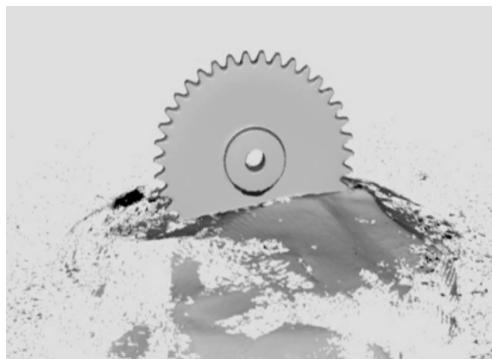


图 5 扫描完成的数据模型

笔者将获取到的点云数据输出为三角面格式(STL 格式),然后导入 Geomagic Studio 中进行后续处理。此举的主要目的是把数据采集过程中的噪音点去除,删除零件实体之外的点云数据^[11]。

处理后小模数齿轮数据(网格数据)如图 6 所示。

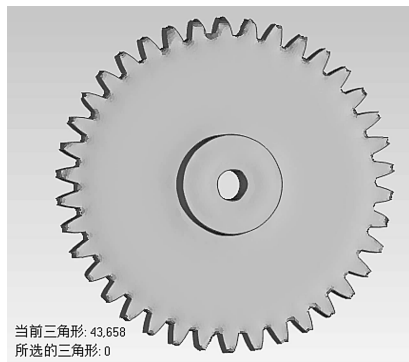


图 6 处理后的小模数齿轮数据模型

3.3 对齐及分析

笔者将上一步的处理好的模型存为 STL 格式,同时将小模数齿轮原始模型 CAD 数据和扫描结果导入 Geomagic Control X 中,使用 N 点对齐命令,将原始模型和扫描模型对齐^[12]。

笔者使用 3D 扫描仪进行扫描比较,比较的结果如图 7 所示。

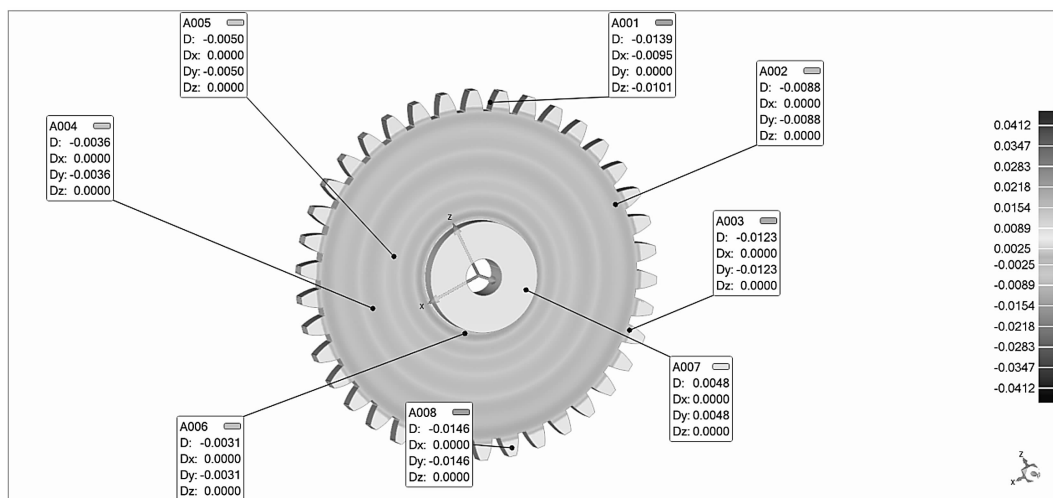


图 7 小模数齿轮 3D 尺寸分析

色彩深浅的差异显示出偏差的不同,色差图直观地显示出小模数齿轮的尺寸偏差状况^[13];然后笔者对特定部位创建注释,可直接观察到小模数齿轮某处的偏差情况。由于对点云数据仅进行了杂点去除,不会影响模型精度,模型精度由数据采集设备的扫描精度决定。

从图 7 可以看出:

(1) A007 齿轮中部凸台位置 Y 方向出现了偏差,主要原因是该位置厚度大,材料收缩不均匀导致;

(2) A004、A005、A006 位置也出现了不同程度的偏差,这和材料收缩产生的内部应力有密切关系,同时也受到打印时支撑的数量和排列的影响,但这些误差不会对齿轮的传动精度产生影响;A001、A002、A003 位置靠近轮齿,由于在最边沿材料的收缩和变形更为明显,主要是由于整个齿轮厚度太小导致的。

4 结束语

相对于普通加工方式,小模数齿轮的加工有着苛刻的要求,甚至一些传统的金属加工方式根本不能制造出标准的小模数齿轮。

笔者通过 SLA 光固化成型技术快速精确地制造出了小模数齿轮;同时,对于小模数齿轮难以检测的问题,笔者通过三维扫描仪对已经制造出来的产品进行了数据采集和模型重构,将重构的模型与原始设计的模型数据进行了对比,从三维方向检测了小模数齿轮的制造误差,为小模数齿轮的检测探索了一条新的途径,也对小尺寸复杂零件的数字化制造与检测提供了新的思路。

参考文献 (References):

- [1] 石照耀. 齿轮行业将迎来第四次机遇[N]. 中国工业报, 2017-02-21(006).
- [2] 张玉峰. 小模数齿轮数控慢走丝线切割加工工艺方法的研究[J]. 制造技术与机床, 2008(8): 84-85.
- [3] 王凯, 王兴松. 小模数直齿锥齿轮电火花线切割加工技术研究[J]. 电加工与模具, 2013(2): 55-58.
- [4] 徐浩. 小模数齿轮测量的现状与趋势[J]. 科技创新与应用, 2013(3): 110.
- [5] 孙红. 渐开线小模数齿轮的精确建模与数控加工[J]. 中国信息化, 2013(4): 196-198.
- [6] 柴玲玉. 未知参数小模数齿轮视觉偏差视觉测量[D]. 北京: 北京工业大学机械工程与应用电子技术学院, 2017.
- [7] 廖世鹏. 基于图像处理的小模数齿轮测量方法的研究[D]. 成都: 四川大学机械工程学院, 2005.
- [8] 周鑫. 小模数齿轮的快速检测[J]. 自动化技术与应用, 2017, 10(36): 104-107.
- [9] 史云玲, 刘刚, 赵灿, 等. 发电汽轮机叶片的高精度测量与逆向建模方法[J]. 鸡西大学学报, 2016, 2(16): 33-35.
- [10] 林百涛, 陈沛, 尹鹏, 等. 基于三维激光扫描的反应堆压力容器缺陷检测方法[J]. 压力容器, 2018, 35(6): 64-69.
- [11] 张永强, 张晓丽, 边功勋. 三维扫描技术在铸造中的应用[J]. 铸造设备与工艺, 2017(6): 30-34.
- [12] 梁晋, 尤威, 王晓光, 等. 三维复杂尺寸检测的研究与应用[J]. 中国工程机械学报, 2017, 15(1): 67-70.
- [13] 张毅, 张梦旖, 王莎, 等. 飞行员座椅靠背模型重构与快速成型[J]. 塑料工业, 2017, 45(6): 43-46.

[编辑: 李辉]

本文引用格式:

康玉辉, 李美美. 逆向工程技术在小模数齿轮加工检测中的应用[J]. 机电工程, 2020, 37(11): 1372-1375.

KANG Yu-hui, LI Mei-mei. Application of reverse engineering technology in machining and measuring of small module gear[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2020, 37(11): 1372-1375.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>