

微小零件形位误差测量技术研究方法的综述

隋悦鑫 杨海燕 王广威

(西京学院机械工程学院 陕西西安 710123)

摘要: 随着现代工业生产的不断发展,人们对微小零件的测量精度要求不断提高,这些零件的形位误差测量技术也得到了迅速发展。目前,我国在微小零件的形位误差检测技术方面取得了很大进展,但还没有针对微小零件形位误差测量技术研究方法的综述。为此,本文重点介绍了目前常用的几种微小零件的形位误差检测方法,并对它们的优缺点进行了分析;最后,指出了目前在微小零件形位误差检测中存在的问题,并对微小零件形位误差检测技术的发展前景进行了展望。

关键词: 微小零件; 形位误差; 测量

随着科技的进步,各种复杂的微小零件也变得越来越重要。零件的制造精度与检测技术的进步密不可分。从理论上讲,测量设备的精度要高于加工设备的精度一个量级。如图 1-1 所示,是陕西威尔机电科技公司生产的 SP3000 系列轮廓仪,其搭载的高精度轮廓传感器分辨率为 20nm,轮廓测量精度可达 0.6 μm 。



图 1-1 SP3000 系列轮廓仪

本文简述了几种微小零件的形位误差检测技术的研究方法,以供工厂在生产中进行微细工件的形位误差检测时参考。本文首先对形位误差进行阐述;其次介绍微小零件形位误差测量方法,并对其进行分析;最后提出了微小零件形位误差测量技术研究方法主要存在的问题,并对其未来发展方向提出展望。

一、形位误差

1.1 形位误差概念

形位误差是零件与设计要求的偏差。平面度、圆度、柱度、直线度、垂直度、平行度等都是形位误差的一种。精密加工过程中的精密加工误差是保证加工质量、保证加工质量的关键^[1]。通常采用的测量手段有光学测量、机械测量、电子测量和计算机辅助测量等。这些方法能提供高精度、实时性、非接触性的测量数据,并能按需

调节和校正。

1.2 零件形位误差评价

评价零件的形位误差通常涉及形位公差;形位控制图;形位误差分析;形位误差影响评估。为了保证产品的质量与性能,对产品的形位误差进行评估十分重要。对形位公差进行合理设定,对形位控制图进行分析,并对形位误差的影响进行评价,从而实现对形位误差的科学设计与控制,从而提高产品质量与加工效率^[2]。

二、微小零件形位误差测量技术方法

微小零件形位误差的测量技术方法主要包括光学测量技术;机械测量技术;电子测量技术;计算机辅助测量技术^[3]。在适当的检测技术时,要从检测对象的特征、检测要求、检测仪器的可利用性等方面来进行^[4]。各种测试方法各有利弊,应结合实际情况加以选用。此外,在利用测量技术对微构件的形位误差进行测量时,还要考虑到测量环境的干扰,测量仪器的标定,以及测量结果的精确性。

2.1 微小零件测量方法

王晓东等人开发了一套基于机器视觉的微型部件检测和组装平台,在对直径 $\Phi 4.0$ 标准件孔、轴进行测量时,测量的误差在 3.0 μm 以下,装置测量的重复性在 1.5 μm 以下,并结合摄像机和精密位移平台构成的运动测量机构,可以在几微米到几十毫米的范围内进行测量^[5]。但该方法所使用的机器视觉系统对周围环境有很高的要求,如光照条件、背景干扰等,会对测量结果的准确性和稳定性造成一定的影响。这些误差可能源于摄像头的分辨率、光学畸变、位移平台的精度等因素,需要进行校准和补偿来提高测量的准确性。

贺秋伟利用机器视觉技术,对“插线卡”为代表的微小零件进行了精确测量,建立了一套微小零件的精密测量系统,并研制出了相应的测量软件,使小型构件的测量精度得到了很大的提高,试验结果显示,其平均误差仅为 $\pm 0.3338\mu\text{m}$ ^[6]。但是,这种方法对具体

的零件种类有一定的依赖性,对于其它微小零件的适应性比较弱。特定的硬件设备和测量软件可能需要进行调整或修改才能适应不同类型的微小零件。

2.2 微小零件测量轨迹规划方法

根据对微小零件的测量现状的研究得知,使用接触或者光学探针来对微小零件进行测量,都必须要为测量装置规划出一条合理的测量轨迹^[7]。只有规划出一条合理的测量轨迹,才能在有限的实验条件下,得到最高质量的测量数据。

胡明开发了超精密接触式四轴联动在线测量平台,选用空气支承转台,激光干涉仪,并采用高精度的光学调整器来修正测头的位置^[8]。I.Ainsworth 等采用三坐标测量机与触模式触模式探头相结合

的方式,实现了对任意曲面的测量。为探测路径的产生,修改和验证,开发了一个交互式图形工具^[9]。

张伟盼通过对微小特征的分析,提出了一种基于五自由度接触式的微细构件检测方法。通过对不同几何特性条件下的轨道类型进行比较,最终选择了螺旋轨迹法作为测量轨迹样式规划方法。在此基础上,利用齐次坐标转换法,研究测迹路径数据后处理算法,提出测迹路径的优化设计方法,并提出一套测迹路径规划设计流程,最终形成一套测迹路径规划方案^[10]。但该方法可以进一步研究测头半径和测头轴矢量变化对测量精度的影响,可以建立相关模型分析出最优的测头半径和测头轴矢量角度,为提高复杂微小零件几何误差的精密测量提供参考。

表 2-1 加工轨迹规划方法对比^[10]

算法名称	优点	缺点
等参数线法	计算量小	加工效率较低、加工质量较差,只适合参数分布均匀的自由曲面轨迹规划
导动面法	适合组合曲面交线清根	数值迭代计算量大,存在是否收敛和稳定性问题
投影法	算法简单	适合组合曲面区域 难以控制精度
等平面法	效率较高,适合参数分布不均匀的曲面	需要求交和迭代运算,算法复杂,计算量较大
等残留高度法	效率高、精度高	迭代计算较复杂
多面体法	干涉检查简单,可生成无干涉轨迹	计算量较大,效率不高

三、微小零件形位误差测量技术方法存在的问题及展望

微小零件形位误差测量技术是在微观尺度下对零件的几何形状和位置误差进行测量的一项重要技术。尽管在这个领域已经取得了一些进展,但仍然存在问题和挑战首先是分辨率限制,微小零件的形位误差通常非常小,因此需要高分辨率的测量设备来准确测量。然而,高分辨率设备的成本通常很高,且不易操作,限制了其在实际应用中的普及。

对于以上提出的微小零件形位误差测量技术方法存在的问题提出展望:首先提高测量设备的性能,随着技术的不断进步,可以期待更高分辨率、更稳定和更易操作的微小零件形位误差测量设备的出现,以满足实际应用的需求。微小零件形位误差测量技术在解决微小零件质量控制和精度要求方面起着重要作用。通过克服当前存在的问题,并结合新技术的发展,可以进一步提高测量的准确性、效率和可靠性,推动微小零件制造领域的发展。

参考文献:

[1]王萌,隋顺琦,高贤波等.形位误差对三大件式转向架曲线通过性能影响分析[J].铁道机车车辆,2022,42(2):36-42.
[2]刘俊峰,刘科显,赵羽乾等.形位误差对半球谐振子频率裂解的影响[J].中国科学:技术科学,2023(08).

[3]许耀东,吴悦乐.微小精密零件光学测量及反求设计[J].工具技术,2022,56(7):143-145.

[4]Elfurjani S, Ko J, Jun M B G. Micro-scale hole profile measurement using rotating wire probe and acoustic emission contact detection[J]. Measurement, 2016, 89: 215-222.

[5]王晓东,宋洪侠,刘超.基于机器视觉的微型零件测量与装配控制[J].哈尔滨工程大学学报,2011,32(09):1117-1122.

[6]贺秋伟.基于计算机视觉的微小尺寸精密检测理论与技术研究[D].吉林:吉林大学学位论文,2007:14-25.

[7]刘云龙,李国超,周宏根等.船用柴油机凸轮轴形位误差非接触在位检测方法研究[J].江苏科技大学学报,2021,35(4):44-57.

[8]胡明.光学曲面在线测量系统研究[D].吉林:吉林大学学位论文,2014:12-27..

[9]Ainsworth I, Ristic M, Brujic D. CAD-based measurement path planning for free-form shapes using contact probes[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000, 16(1): 23-31.

[10]张伟盼.复杂微小零件几何形位误差的精密测量与表征技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.