

# 激光加工机用自适应测量系统设计研究<sup>\*</sup>

张凤林 虞和济 王启义

虞钢

(东北大学, 沈阳 110006)

(中科院力学所, 北京 100080)

**摘要:** 针对激光加工的特定工艺要求, 在对空间自由曲面测量系统分析的基础上, 论述了测量系统研制的实际意义, 进行了总体方案设计研究。内容包括: 测头选择, 系统控制方案设计, 测试方案设计, 数据处理方案设计等。

**关键词:** 激光加工 测量系统 自适应控制

## 一、引言

激光加工机用自适应测量系统是针对激光加工而设计的, 为激光加工提供被加工件——模具的坐标数据。该系统利用激光加工机的坐标测量功能完成坐标测量, 测得的数据经RS232串行口输出给上位机以完成图形显示、转换等处理, 并生成激光加工程序。

在分析国内外测量系统的基础上, 本文针对测量头选型、测量系统选型、测量软件以及某些技术难点的解决方案等进行分析研究。

## 二、测量系统研制的意义

激光强化加工工艺是这样的: 采用扫描方式, 在覆盖件模具表面, 利用激光进行强化处理, 每次处理一个正方形, 该正方形面积大小不等, 依据材料和激光强化工艺等参数而定。

汽车覆盖件模具表面是由空间自由曲面组成的, 其尺寸、重量均较大, 价格高, 大多数为单件, 最终加工靠人工处理, 因此技术图纸与实物有差别。有些模具, 特别是进口模具, 根本就没有相应的图纸。当对这些模具进行加工处理时, 均需要首先对其模具表面进行实际测量以获得在激光加工机上的坐标位置数据, 因此有必要研制一配套的测量系统。

## 三、三维曲面轮廓测量系统综述

三维曲面轮廓分为内曲面轮廓和外曲面轮廓两大类, 它们均由空间自由曲面构成, 具有一个或两个方向的曲率变化。一般而言, 外曲面轮廓由于其外凸结构, 具有开放性等特点, 对其测量较内曲面轮廓测量易于实现。

目前, 用于三维曲面轮廓测量的主要方法有工业计算机断层扫描(Industrial Computer Tomograph)、三坐标测量法、光学图样法(全息术、干涉测量法、莫尔等高线法等)和光电图象传感法等。

工业计算机断层扫描是最先进的非接触式检测物体内部形状、壁厚的方法。它是利用发射某种

\* 本课题为国家自然科学基金资助项目, 编号 69678007

射线再接收反射或透射的射线,并根据其接收到的射线强弱进行轮廓测量,技术先进,但存在空间分辨率较低,获得数据需要较长的积分时间,重建图象计算量大,造价高等不足。

三坐标测量法是目前曲面测量的主要方法,主要采用接触式测量。由于其测量方法简单可靠,适合于工业环境下运行,测量精度适中,成本较低,故应用量广。现有各种三坐标测量机及其配套的测量软件和测量头等,如雷尼绍公司(Renishaw)、力科公司和青岛前哨公司的产品等。这种测量机测量精度、测量效率较高,但成本也较高,且测量与加工不在同一台设备上进行。

为进一步降低成本,满足用户需要,又研制出数控机床用测量系统。该测量系统利用现有的加工中心或数控机床上的坐标测量功能,配以测量头和测量软件等,以实现工件的测量与加工,如雷尼绍公司的Retroscan、Renscan200,美国威连公司(Valence)的Centroid系统等。这些测量系统的测量速度和测量精度均依赖于原数控机床,但成本低,无需对原机床进行改装等,有较大的市场需求。

光学图样法和光电图象法均属于图象测量法,具有非接触式测量的特点,测量精度高,速度快,但测量条件受限,对环境的适应性较差。

空间自由曲面测量分在线测量、离线测量和准在线测量三种。在线测量的特点是测量与加工在同一台设备上同步进行,即测量的同时就进行加工;离线测量时,测量与加工不同步,分别在不同的设备上进行;准在线测量的特点是测量与加工不同步,但在同一台设备上进行。三坐标测量机属于离线测量设备,数控机床用测量系统属于准在线测量,铣床的仿型加工则是加工与测量同步同时进行,为在线测量。

测量系统有三种控制方案:手动控制、自动控制和自适应控制。

手动控制测量是由人工操作控制盒(机器人上为示教盒)控制,引导测头,或直接由人手引导测头到指定位置点进行测量的方法。这种测量方法智能高,操作者可根据工件形状、精度等自行更改测量轨迹与点数,但劳动强度大,速度低,精度低,效率低,适用于简单形状的工件测量。

自动控制测量的控制方法是根据被测工件表面形状和精度要求等,设定测量轨迹和参数等,编写测量程序,由计算机控制完成测量工作。根据计算机的测量程序,按照给定轨迹、步长、区域等参数,测量系统自动完成对工件表面的测量,其特点是测量速度快,测量精度高。但要求有一配套的测量控制软件控制测头运动,结构较复杂。

自适应控制测量是自动控制测量的发展,其含义是根据过程参数的测量,自动调整其运动参数,以达到过程或目标的最优解。这种测量方法测量速度高,精度不低于自动测量,而且效率高(目前尚未发现类似的测量系统的报道)。

## 四、测量系统总体方案设计

激光加工机采用激光作刀具,对模具表面进行加工处理。由于模具表面是属于三维曲面轮廓,为了实现模具表面处理的自动化,激光加工机采用数控伺服坐标轴驱动,这就为坐标测量提供了必要的硬件条件。

经分析,激光加工机用测量系统的总体方案是采用脉冲接触式测量头,利用激光加工机的坐标测量功能配以专用的测量软件完成测量工作,该测量软件针对激光加工而设计,需解决激光加工过程中的坐标数据转换(三维测量数据转换成五维激光加工数据格式)和自适应测量控制(提高测量效率)等技术难题。

概括如下:

1. 由于激光加工机采用数控伺服轴控制, 已具备坐标测量的硬件环境, 为进一步降低成本, 测量系统采用激光加工机的坐标测量功能以完成模具的测量工作。

2. 测量系统利用激光加工机的坐标测量功能, 因此离线测量是不可能实现的, 只有在线测量和准在线测量两种方案, 即在同一台设备上实现模具的测量与加工。经分析认为在线测量方法在模具表面激光强化处理工艺中很难实现, 主要原因如下:

(1) 在线测量要求测量与加工同步进行, 即激光头与测头同时动作, 而工件只有一个, 有时激光头与测头对伺服系统的运动要求可能是相反的, 因此伺服控制系统无法实现。

(2) 测量要求测头作三维运动, 激光强化加工工艺要求激光头作五维运动。激光头的五维动作是根据三维测头的测量数据经过大量的数学计算得到的, 这些数学计算既涉及当前测点的数据, 又涉及与之相关的测点数据, 有时甚至需要考虑待测量点的位置数据, 在线测量加工无法实现。

(3) 作三维运动的测头与作五维运动的激光固定在一起, 机构与控制无法实现。

3. 测量头采用脉冲接触式, 主要出发点是考虑测量环境(工业)和尽可能地降低成本。待新产品研制成功后再根据用户需要配以其他类型的测量头。

4. 自行编制测量软件以满足激光加工机的特殊工艺要求。这些特殊要求主要表现在两个方面, 一是坐标测量数据的转换。由于三维坐标测量系统的测量数据为XYZ三维结构, 而激光加工时, 要求激光的外光路始终垂直于被加工的模具的表面, 这就要求将三维的坐标测量数据转换为五维的激光加工数据(三个直线运动坐标和两个转动坐标)。二是自适应测量控制。模具表面比较大, 待测点比较多, 为了在不降低测量精度的前提下进一步提高测量效率, 需对测量过程进行优化处理。根据模具表面的曲率变化, 测量系统自行选择测量步长以达到自适应测量控制的目的。当然, 还有一些其他方面的技术要求, 如测量数据的串行通讯, 数据处理等。

5. 测量系统采用手动控制、自动控制和自适应控制三种联合控制方案。手动控制用于模具测量边界的设定、部分特殊位置的测量等, 用手动控制手持式操作盒上的按钮来实现; 自动控制和自适应测量控制均用于模具表面尺寸测量, 即先进行自动测量控制研究, 然后再进行自适应测量控制。

6. 测量方案如下: 根据程序设定的轨迹、步长、测量区域对模具表面进行逐点扫描测量。测量区域采用多边形的设定方案, 即根据待测的模具表面形状、尺寸等参数, 利用手持式操作盒进行特征点的逐点设定; 扫描轨迹以平行于X轴即行程大的坐标轴为主, 即先固定X轴, 然后在Y轴方向依次步进一个步长, 逐点测量模具坐标尺寸。步进步长根据待测曲面的曲率设定, 在一条扫描线上可以设定一个或多个。待该条扫描曲线测量结束, X轴再步进一个步长, 重复测量操作; 测量速度根据曲面曲率、模具大小、精度等确定, 可在测量过程中随时调整。

7. 数据处理的内容包括: 数据预处理, 主要进行数据格式转换, 各种误差补偿和异点剔除等; 根据测量数据, 应用样条函数等数学处理方法拟合出模具曲面方程, 并根据要求对曲面方程进行必要的处理, 如测头半径补偿、实际测点计算、曲面旋转和缩放等, 供操作者观察以决定其是否满足要求; 最后生成激光加工的运动轨迹并输出加工程序给激光加工机器人。有关内容均可在CRT上显示或打印输出。所有程序界面均为汉化处理、鼠标操作处理的友好界面。

## 五、结论

根据激光处理技术的特点和模具表面强化的工艺要求, 得出如下结论:

1. 研制一套与激光加工装置配套的测量系统;

2. 测量系统采用借机测量系统方案, 借助于激光加工装置上的坐标测量功能进行模具表面的尺寸测量;
3. 采用自动控制方案, 并逐步过渡到自适应的控制方式;
4. 采用接触式测头, 并同时考虑非接触式测头;
5. 根据测量得到的数据设计并研制一套软件进行后置处理。

### 参考文献

- [1] 虞钢, 多轴激光加工系统促进汽车车身制造技术的发展, 激光集锦, 97年 No. 1
- [2] John M. Rusewski, High- production laser industrial motion systems, SPIE Vol 744 Lasers in Motion for Industrial Applications (U. S A. 1987) P12- 32
- [3] Robert Ulrich, Robots and Lasers/Robots Versus Lasers; an Introduction, SPIE Vol 744 Lasers in Motion for Industrial Applications (U. S A. 1987) P33- 38
- [4] 李礼夫, 钟先信, 三维内曲面轮廓非接触式激光扫描图象测量, 现代计量测试, 1996 No. 3 P17- 21

## Design Considerations of the Intelligent Adaptive Measuring System for Laser Processing Machine

Zhang Fenglin Yu Heji Wang Qiyi  
(Northeast University, Shengyang 110006)

Yu Gang

(Mechanics Institute, Chinese Academy of Science, Beijing 100080)

Abstract: According to the special requirements of the laser processing, an intelligent adaptive measuring system for laser processing machines is developed based on the analytical results of the measuring systems for 3- D free space surfaces. The design considerations, including the selection of sensors, surveying method, control system and data acquisition and processing, are briefly described in this paper.

Key Words: intelligent adaptive measuring system, laser processing machine