

三维激光加工自动编程系统的研究 *

陈继民 鲍 勇 肖荣诗 王智勇 左铁钊

(北京工业大学国家产学研激光技术中心,北京,100022)

摘要: 针对三维激光加工的特点和具体要求,介绍了作者采用面向对象技术,利用 mechanical desktop (MDT) 上的二次开发工具 ARX,从 CAD 模型中提取激光“刀”位数据,并将数据转化为激光头位数据,利用这些数据进行模拟仿真、干涉检查,最后,经过坐标变换,把计算机中的数据变换为加工机床数据,生成 NC 代码进行加工。开发出的三维激光加工软件实用性强,可快速、高效完成对三维复杂形状工件的激光加工。

关键词: 激光三维加工 数据提取 MDT 自动编程

Auto-programming system for 3D laser processing

Chen Jimin, Bao Yong, Xiao Rongshi, Wang Zhiyong, Zuo Tiechuan

(National Center of Laser Technology, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022)

Abstract: In this paper, the movement of the laser head during laser processing is analyzed. With the help of object-oriented method and tool kit ARX on mechanical desktop (MDT), position data and normal data from model in MDT are extracted, and then these data are transferred to machine data, finally NC codes for processing are generated. The developed laser processing CAM system is practical with high speed and high efficiency for laser processing of complex 3D parts.

Key words: 3D laser processing data extraction MDT auto-programming

引 言

激光加工机一般由加工机床和激光器两大部分组成。用户通过数控编程,将待加工零件的几何数据、工艺要求、加工参数及辅助信息编写成 NC 源代码后,输入到加工机中,由数控程序控制加工机床和激光器,加工出用户所需的各种形状来。数控编程是激光加工的重要环节,它直接影响着加工质量和生产效率。目前,数控编程的方法有手工编程和自动编程两种。手工编程对加工轨迹不复杂的零件,较容易实现;但对加工轨迹较复杂的零件,手工编程繁琐、工作量大,且容易出错,编程周期长,尤其是三维加工几乎无法手工编程完成。自动编程是利用

* 国家自然科学基金重点资助。

力的世界一流激光产品。

参 考 文 献

- 1 Meyer-Arendt J R. Introduction to Classical and Modern Optics. Englewood Cliff N J USA: Prentice-Hall, Inc, 1972: 498
- 2 Schawlow A L, Townes C H. Phys Rev, 1958; 112: 1940
- 3 邓锡铭. 中国激光史概要. 北京: 科学出版社, 1991

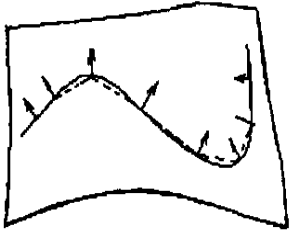


Fig. 1 Processing trace and teaching trace (dashed line)

计算机完成数控机床程序编制。对二维平板板材的激光加工软件国内外已有研究,而三维形状的激光加工(不论是3轴或5轴的激光加工机)国内外都没有在普通微机上运行的加工软件,目前,基本上是采用示教的方法完成。示教编程就是把待加工工件,预先摆放在工位上,用户操纵示教盒,把激光加工头移到工件加工轨迹线上,调整好激光加工头相对于工件表面的位置和取向,记录下该点的数据。沿着轨迹线记录下线上各点处激光头的位置和激光头的取向。为保证加工质量,要求激光头始终与工件表面垂直。实际加工时,激光头经过这些离散点,相邻示教点之间的加工轨迹由系统按给定的插补方式自动计算出来,形成逼近的连续加工轨迹(如图1)。箭头表示激光头取向。取的点越多,加工出来的轨迹越接近理想的加工轨迹线。这是一项劳动强度大、占用机时多、效率低的工作。加工轨迹数据的示教获取成了提高激光三维加工效率的瓶颈。研制开发用于三维激光加工的自动编程系统的任务之一,就是快速有效地获得加工轨迹数据。为了从三维工件上提取数据,必须有能描述三维形状的CAD系统,当前,大多数三维CAD软件都是在工作站上运行的。而mechanical desktop(MDT)系统是第1个在PC机上实现三维参数化机械设计的软件。MDT系统在PC机上实现了以前只能在工作站上才能完成的复杂的曲面造型。该软件不仅具有较强的设计、绘图功能,更重要的是具有良好的开放性,提供了强大的二次开发功能:面向对象的数据库;用户界面框架;ACIS B-Rep(边界表示法)模型;VC++平台上的二次开发工具ARX。实际上,MDT本身就是用ARX在AutoCAD上开发的应用程序。因此,我们选择MDT作为研究开发平台。ARX(autoCAD runtime extension)是一种基于DLL编译型应用编程环境,包含了一些C++的库,共享AutoCAD的地址空间并直接对AutoCAD进行函数调用。在ARX开发环境下,利用AcBr库(边界表示库)可以提取B-Rep表示的AutoCAD实体模型的几何和拓扑信息,因此,在MDT中构造的三维模型与实际工件越接近,提取的数据就越准确。

1 系统工作原理及相关技术

本系统是在IBM PC系列微机上基于中文Windows平台上采用面向对象程序设计技术开发的。与传统的程序设计方法相比,面向对象的程序设计方法放弃了传统编程语言是控制结构的概念,它是现实世界描述事物的方法来描述问题的,把复杂的事物分解为一个一个相对独立的对象,各对象协调起来完成复杂的功能。利用MDT的面向对象的数据库(AcDb),其它的应用程序能够利用存储在AutoCAD数据库中的各种形状和定义,还可以建立自己的对象,这些对象等效于AutoCAD固有的对象,并能合并到AutoCAD图形文件中。B-Rep边界表示法是基于实体的边界信息,反应了复杂几何形状的最终几何形体(如图2所示)。一个B-Rep实体可看作是一种含有实体的面、边、点的层状结构。利用这种结构可以根据需要提取激光加工所需的零件的几何信息,如工件的边界、孔洞等,这些往往是激光加工的部位。

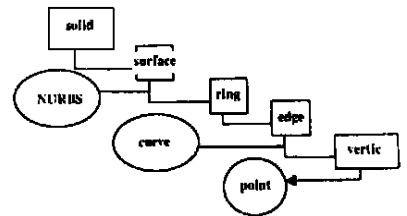


Fig. 2 B-Rep solid structure

1.1 工作原理

激光加工过程中,激光加工头的运动和激光的输出都是由数控指令(NC代码)控制的。

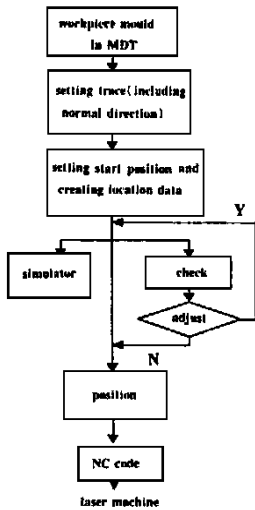


Fig. 3 System work flow

对复杂零件的加工,关键是控制激光加工头的运动轨迹,使之按用户的要求行走。激光头的位置可以用 x, y, z, i, j, k 这 6 个参数描述。其中, x, y, z 为激光头在激光加工机床中的 3 个坐标值, i, j, k 是激光头的空间取向。对平面二维加工,激光头的取向始终为 $(0, 0, 1)$, 因而可以不考虑取向问题;而三维加工,要求激光头始终与被加工轨迹的表面垂直,以保证加工质量。因此,如何获得激光加工头以上这几个参数,是三维激光加工的核心问题,也是本系统要完成的主要任务之一。如上所述,在 MDT 中,零件的模型是采用 B-Rep (边界表示法) 表示。无论多么复杂的实体,都可以最终表示为线和点的信息。在 ARX 二次开发工具中,提供了访问实体模型信息的方法 AcBr 库 (boundary representation library), 它容许用户访问 AcDb3dSolid (所围成的体), AcDbRegion (二维面域), AcDbBody (单一表面) 等实体,激光加工头就是在这些实体的表面上运动,从而完成加工工作的,我们可以利用 AcBr

库通过创建和询问穿越器 (traversers) 去遍历实体的拓扑结构,从 MDT 的图形中提取出加工“线”上的点的坐标 (x, y, z) , 又因为每条线都是在某一面上的线,因此,该线上点的法线 (i, j, k) 就确定了,于是加工轨迹数据便可提取出来。系统工作流程如图 3。

1.2 “刀”位数据 (x, y, z, i, j, k) 文件的形成

无论是激光三维切割还是三维焊接,工件上的切缝或焊缝 (即加工轨迹) 均可看作是“空间曲线”,实际加工都用直线段逼近。本系统也是通过交互方式,由用户在工件上指定加工轨迹。加工轨迹是用直线段逼近曲线。根据加工精度要求,可用“等弦长”法逼近,或用“等距离”法逼近,还可由用户指定逼近曲线的直线段数目逼近曲线。这些线段可能并不是首尾相接的。处理这些线段时根据用户指定的起始线段,用“线段排序”的方法,使其依次排列,再顺序提取各点的数据。数据结构为:

```
class LaserHeadPoint : public CObject
{
    DECLARE_SERIAL ( LaserHeadPoint )
public :
    // 激光头刀位数据
    double x, y, z;
    // 位置矢量
    double i, j, k;
    // 方向矢量
    int flag;
    // 开光或关光标志
    BOOL IsOpenLight ();
    // 是否开光点
    Virtual void Serialize (Carchive &ar);
    .....
}
```

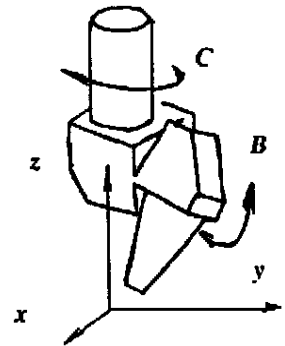


Fig. 4 Laser head

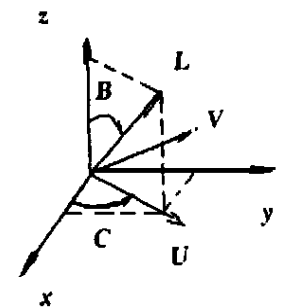


Fig. 5 The relation between B, C and normal direction $L(i, j, k)$

1.3 激光头位数据(x, y, z, B, C)

有了加工轨迹上各点的坐标及其法线(x, y, z, i, j, k),还要把它转化成激光加工机的激光头的头位数据。我们使用的是5轴联动激光加工机,激光头的位置和取向用(x, y, z, B, C)描述。图4为激光加工头示意图,其中C轴绕z轴旋转,B轴的绕y轴旋转。由图5可知 $L(i, j, k)$ 与 B, C 满足关系: $i = \sin B \cos C, j = \sin B \sin C, k = \cos B$ 。

由上述3个关系式,求解两个未知数 B, C ,会有无穷解。也就是法线方向 L 与 B, C 之间是一一对应的,不同的 B, C 组合可以产生相同的取向 L 。因此,为了使加工头的转动幅度最小,尽可能连续平稳过渡,要对 B, C 进行优化选择^[3]。

1.4 模拟仿真和干涉检查

为了能直观地看到激光头的运动情况,对上述计算得到的激光头位文件,通过动画方式模拟出来。主要用于观察激光头的运动和旋转是否合理,宏观的碰撞是否发生。干涉检查的目的是防止激光加工头与工件相碰撞,如果是在平板上加工,一般不会干涉,而在进行三维激光加工时(如图6),则必须进行干涉检查。由于加工轨迹数据是从工件表面上提取的,干涉检查不仅检查激光头前部的锥形体是否与工件相撞,同时,还要检查激光头后部的连接体是否与工件碰撞。这部分的工作计算量大,也是耗时最长的部分。对发生干涉的位置,要调整激光头的取向。



Fig. 6 The actual 3D laser processing

1.5 工件定位

从计算机中取得的数据要和实际的工件相吻合还要对数据进一步进行处理。计算机中的数据都是在特定的UCS(用户坐标系)下得到的,要求计算机的UCS与加工机床的坐标系完全一致,实际工件的摆放与在计算机中的摆放完全一致是无法做到的。因此,头位数据是无法直接由于NC代码的生成。我们的做法是,在工件上选择若干个点分别在计算机中测量和在实际工作台上测量。求出两者之间的变换关系,然后,再把计算机中其它各点的数据变换到机床坐标系中即可。最后,把经过变换后的数据,送后置处理模块生成NC代码进行实际加工。

2 结束语

我们分析了激光三维加工的特点,解决了从三维CAD模型中提取加工数据的问题。在此基础上,开发出了实用的激光三维加工自动编程系统。通过实际应用,可大大提高工作效率,减轻劳动强度,取得满意的效果,有效地解决了复杂零件的激光三维加工自动编程问题。

参 考 文 献

- 1 孙江宏,丁立伟,米洁. AutoCAD ObjectARX 开发工具及应用. 北京:清华大学出版社,1999
- 2 BuÇg K E, Tackett J Jr. The Visual C++ Construction Kit. USA:John Wiley & Sons, Inc,1996
- 3 鲍勇. 飞行光束五轴联动激光三维加工离线编程方法的研究. 北京工业大学硕士论文,1999
- 4 T1C105 Programming Manual. Germany:TRUMPF GmbH + Co,1994

* * *

作者简介:陈继民,男,1965年10月出生。博士研究生。现从事激光三维加工的CAD&CAM系统的研究工作。