

异形切刀刃口成形机自动控制系统开发

钱增磊, 李 超

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 介绍了食品行业使用的异形切刀的刃口自动成形加工机床及其数控系统的研制开发,研究了切刀刃口数学描述方法及控制软件框图和自动成形加工机床的机构组成,以固高 GT-400-SV-PCI 多轴运动控制器为硬件平台,开发了异形切刀的刃口加工控制软件.

[关键词] 开放式数控系统,GT-400-SV-PCI,数控系统软件,面向对象设计

[中图分类号] TG659 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2011)01-0084-05

The Development of Shaped Blade Forming Machine Automatic Control System

Qian Zenglei, Li Chao

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: The development of shaped blade forming machine for the food industry and the automatic control system was introduced in this paper. The mathematical description method of the cutter blade, the diagram of the control software and the composition of the automatic forming machine were studied. The paper also designed the control software of shaped blade forming machine based on googol GT-400-SV-PCI multi-axis motion controller.

Key words: open CNC system, GT-400-SV-PCI, CNC software, object-oriented design

近几年来,杯装果冻食品在国内食品行业中异军突起,造就了喜之郎、蜡笔小新、亲亲食品等众多以果冻为主要产品起家的著名企业. 果冻杯覆盖膜切刀是果冻灌装机上用于切断杯装果冻封皮的刀具. 在大批量生产中,灌装机在第一工位同时在一组杯中注入果冻,第二工位把连续输送的整块覆盖膜覆盖在这组果冻杯口上,并加热密封杯口,然后由一组切刀把覆盖膜按设计的形状切下,使果冻杯与整块覆盖膜脱离,形成最终产品. 为满足果冻保鲜的需要,果冻杯覆盖膜往往是有多层材料复合而成以有效阻断氧气,因此覆盖膜虽然看起来轻薄透明,但质地却非常坚韧,要求刀具材料有足够的硬度以及食品行业的卫生条件即耐腐蚀要求(国内主要使用马氏体不锈钢 3Cr13),还要求切刀锋利并沿刀口形成有多个尖锐的刀尖,以便有利刺破覆盖膜,减小切断阻力并使切口光滑美观,保证产品质量和生产效率. 在刀具制造过程中,切刀的形状必须与果冻杯形状(各种艺术造型)一致;为了形成多个刀尖,刀刃需要做成锯齿形或者波浪形(国内厂家大多使用波浪形). 这样一来,切刀的刃口就变成了一个复杂的空间曲线,且无法用简单解析方法表达. 以往此类切刀刀刃是靠熟练工人刃磨成形,存在效率低、形状一致性差的缺点,也无法满足果冻生产能力快速增长的要求. 虽然功能强大的数控机床几乎能够胜任所有的加工工作,但是用于食品生产中的果冻切刀体积小,无须达到很高的加工精度,也无法负担高档数控设备的加工费用,而且用这种高精度的设备加工一般精度要求的产品,不仅是严重的资源浪费,加工过程还会对原设备精度产生不良影响. 因此研制一种价格低廉,操作简便的成形磨刀机用于此类异形切刀的批量化生产很有必要.

1 异形切刀刃口的数学描述及刃口加工原理

常用的成形加工方法有仿形法和数控编程加工. 仿形法加工需要制作相应被加工产品仿形模型,由于

收稿日期: 2010-12-23.

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2004141).

通讯联系人: 李 超,博士,教授,研究方向: 机电一体化工程. E-mail: lichao@njnu.edu.cn

切刀的品种繁多,厂家还需要根据市场需求改变产品的形状,因此仿形模型的制作很不经济. 数控编程加工则需要预知被加工件的成形曲线的数学模型.

封装果冻食品的杯口有各种艺术造型,这些造型在杯口平面上是由若干条直线和圆弧首尾相接组成封闭形状,相应切刀的刀口在此平面要与杯口吻合. 在做成切刀的时候,这些直线和圆弧段就形成了对应的平面和圆柱段面首尾连接的三维形式. 波浪形刀口是为了在单位长度的刀口上形成波峰和波谷,并使波峰形成锋利的刀尖.

如图 1 所示是某一种异型切刀的平面刃口曲线. 切刀的刃口曲线在平面上的投影是由几个不同圆心的圆弧(也可以是其 他形式的平面曲线段)和直线段首尾相接组成的封闭曲线. 由这些平面曲线段的方程和相互连接形式可以求得各连接点的平面坐标值,即各线段的起点和终点坐标. 刃口的波浪形齿则在上述平面的垂直方向上. 从其形成原理来看,这些波浪形齿最初是在平面直角坐标系中的一系列圆弧(或类似圆弧的曲线)按图 2 所示排列形成的,然后 F 坐标要随着刀刃平面的造型而变成与刃口平面曲线完全重合,这使原来在平面坐标中很简单的圆弧曲线变成了形状各异,非常复杂的空间曲线. 在这种刀刃的磨削加工中,应使磨削曲线与刀齿曲线一致,才能保证磨刀质量,而现有的数控系统已无法直接得到插补这样曲线的指令.

深入研究后,提出用周长累进坐标插补法解决此类曲线插补计算问题,能在这种刃口的成形开刃和磨刀时使加工曲线完全与这种刃口曲线重合,有效保证开刃和磨刀的质量. 其原理是:这类刃口曲线虽然是非常复杂的空间曲线,难以直接在直角坐标系中用方程表示,也就难以直接编程加工. 但是,若把切刀在刃口平面内的周长看成一个变了形的坐标轴,当把这个坐标还原成直线时,波浪形的刃口曲线只是一个个简单的圆弧曲线. 在确定圆弧上某一点的横向坐标后,可以利用圆弧在直角坐标系内的方程求出对应的纵向坐标;横向坐标增加单位长度后,同样可以由圆弧方程求出对应纵向坐标的增加量,由此作为数控系统控制纵、横向坐标进给的依据,就能插补出展开了的波浪形刀口曲线.

切刀刀口平面内的周长是由若干个弧段组成的,若把弧段的累加长度作为波浪刃口曲线的横向坐标值,就相当于把随周长变形的坐标轴展开.

该方法获得了国家发明专利^[1],在此基础上研究开发了专用于这种异形切刀自动磨刀的四坐标切刀磨刀机. 该磨刀机机械系统由 X 、 Y 、 Z 3 个移动坐标和一个 C 转动坐标组成,工作时需要 3 轴联合运动. 由于市场上在售的普通数控系统针对性很强,无法进行果冻切刀刀口加工时的参数运算,而且不能够进行二次开发,因此,需要自行开发一个专用于异形切刀自动磨刀机的控制系统. 采用固高 GT-400-SV-PCI 运动控制卡作为自动磨刀机控制系统的硬件平台,开发相应的控制软件.

2 控制系统的硬件组成

在异形切刀刀口加工的过程中需要 X 、 Y 、 Z 3 个移动坐标和 C 转动坐标,需要在加工中计算参数并进

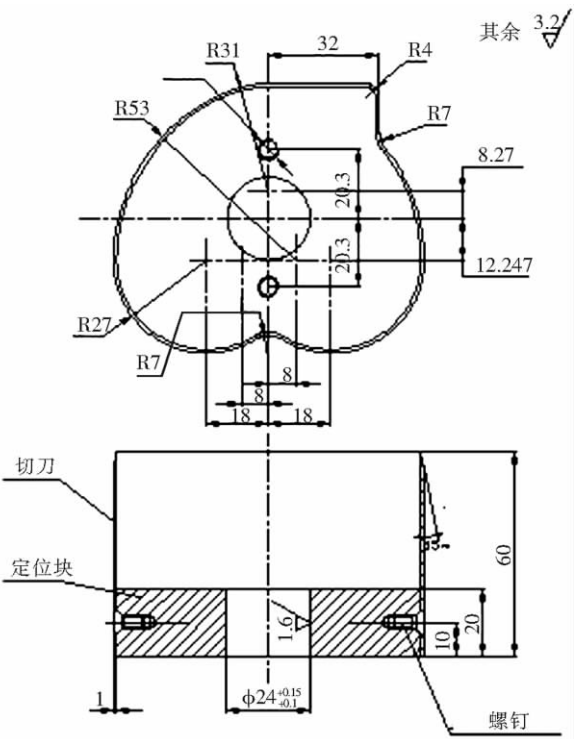


图 1 异型切刀的平面刃口曲线

Fig.1 Plane curve of shaped blade

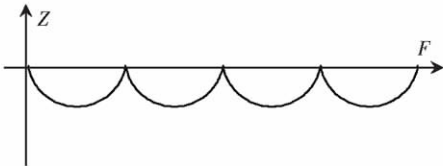


图 2 波浪形齿在 F - Z 坐标系中的曲线

Fig.2 Curve of wave-shaped tooth in F - Z coordinates

行 4 坐标联动控制. 因此要求控制系统能够提供 4 个坐标端口并提供功能齐全的函数库以满足计算要求. 经研究, 选用固高 GT-400-SV-PCI 运动控制卡插入 PC 机中构成开放式数控系统可以满足以上要求, 系统组成如图 3 所示.

控制系统主要由控制卡和电机及其驱动器组成. 计算机从运动控制卡读取各种运行状态数据, 并输入位置或速度等控制量, 控制量在运动控制器中经过处理后, 传输给电机驱动器, 驱动器将信号扩大, 带动伺服电机, 使电机按照要求运转, 驱动器也可以作为电机编码器数据等信号的通道^[2].

3 系统的硬件结构

CNC 的硬件采用“NC 嵌入 PC”的开放式结构, 其硬件结构如图 4 所示^[3].

主机采用工业 PC 机箱和工控机电源, PC 主板使用普通商用主板, 主频 833MHz, 内存 128M, 硬盘 30G, 此配置足够使用户能使用各种系统软件. CNC 的内核采用 GT-400-SV-PCI 型运动控制器, 以工业 PC 机作为主机, 工控机的 CPU 与 GT-400-SV-PCI 卡的 CPU 构成主从式双微处理器结构, 两个 CPU 各自实现相应的功能. 其中 GT-400-SV-PCI 与伺服系统相连, 发出脉冲信号, 完成插补运算、位置控制、刀补、速度处理等实时控制, 精确地控制磨刀机的运动轨迹; 工业 PC 机则通过调用函数库里的相应功能函数, 实现加工代码进行转换, 计算转角速度, 发出控制命令给运动控制卡以及控制整个系统的运行. GT-400-SV-PCI 卡插于 PC 机的 PCI 总线槽中, 端子板对 CNC 控制信息、反馈信息等行信号转换及隔离^[4-6].

为了实现 GT-400-SV-PCI 多轴运动控制的功能, 还需在 GT-400-SV 运动控制器上扩展相应的伺服驱动单元、伺服电机等, 最终形成一个完整的控制系统. 4 个电机分别控制机床的 X 方向、Y 方向、Z 方向和 C 旋转运动.

4 系统的软件设计

开放式数控系统的软件平台在一定程度上决定了软件系统的工作方式和运行效率. 我们采用 Windows 作为软件开发平台, 以 Visual C++6.0 作为开发工具, 利用固高公司提供的运动控制卡的动态链接库, 采用模块化的开发方法, 便于系统的扩展.

图 5 为控制软件的人机交互界面, 包括手动运行、自动运行、参数设置、系统诊断和坐标设置等功能^[7].

该控制软件具体实现的功能包括: 系统的初始化预处理, 包括运动控制器的初始化和各运动轴的初始化; 工作方

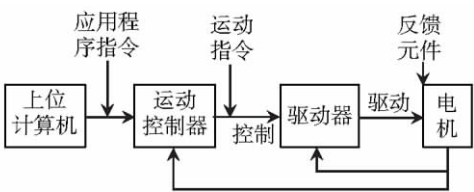


图 3 系统组成框图
Fig.3 Block diagram of system

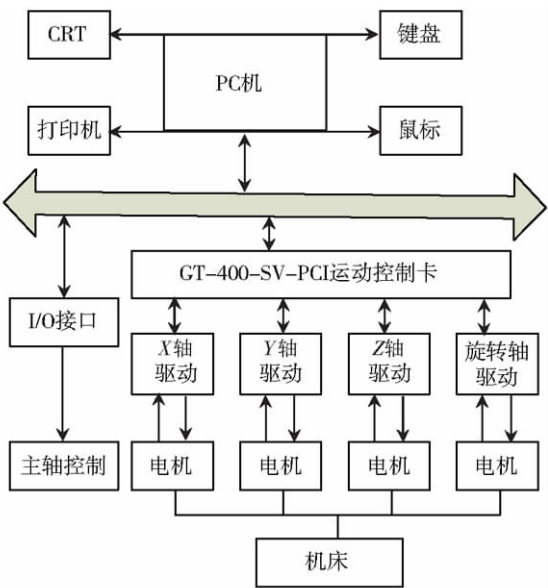


图 4 硬件结构图
Fig.4 Hardware structure diagram

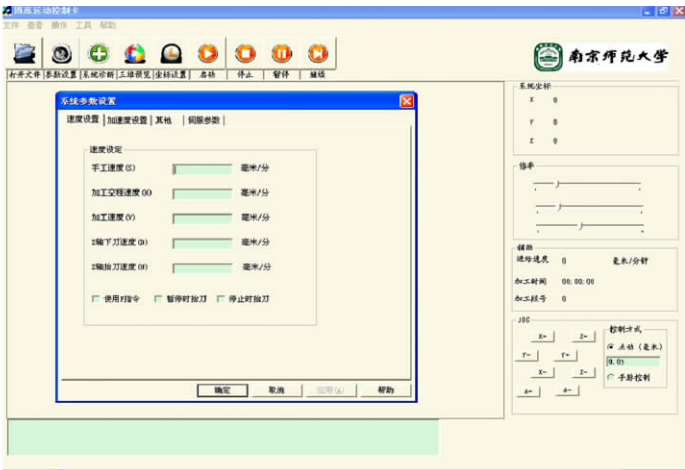


图 5 人机交互界面
Fig.5 Human-machine interface

式的选择,包括自动加工、手动加工和模拟加工;机械坐标、工件坐标、进给速度、加工时间和执行 NC 程序段号等实时显示;刀路轨迹图形跟踪显示与三维预览,NC 加工程序代码的分步显示与译码等;机床和控制器的状态监控,还有系统在线诊断和 PID 参数设置等功能。

控制系统的初始化包括运动控制器的初始化和控制轴的初始化. 初始化过程在系统控制程序主界面窗口启动过程中在后台执行完成,主要进行固高 GT-400-SV-PCI 运动控制卡的参数预设、控制轴伺服驱动器和电机的参数预设更新和上下位机通讯的建立. 若初始化失败,系统会弹出相应的出错提示代码,用户可以根据出错提示来检查硬件连接或软件设置。

手动运行用于加工装置位置的手动调整,使操作者能够通过手脉、键盘、软按钮等方式进行简单的运动命令输入、执行功能. 如 JOG、手脉等。

自动模式主要用于自动加工过程,如果冻封皮切刀工件的加工,主要功能包括加工程序选择、加工参数设置、加工启停控制及相关加工状态的显示等。

参数设置模块,包括机床参数和系统参数两子模块. 机床参数设置通过对工作台行程、电机参数、回零的速度方向方式、系统电平和系统速度限制等参数的设定,可以改善机床的安全性能,通过速度规划使机床工作效率进一步提高. 系统参数主要是对加工空程速度、手动速度、加工速度和 Z 轴下/抬刀速度进行设置,速度值的大小一般依据刀具和被加工材料确定,所设定速度值直接经过程序转化为脉冲数传给伺服驱动器,来控制电机的转速. 此外,还有系统加速度、加加速度和最大加速度等各加速度值的设置. 系统的伺服参数包括 PID 参数也应赋予适当的值,来提高机床的加工精度和性能,但是对 PID 等伺服参数的设置是一个比较复杂的过程而又需要依靠经验和试验来验证。

系统故障诊断,实际上是对运动控制器的状态监测,用到的 GT 运动控制器库函数指令有: GT_GetSts 读取指定控制轴状态; GT_GetCrdSts 读取连续轨迹运动状态; GT_ClrSts 清除指定控制轴状态; GT_RstSts 清除指定控制轴的指定状态. 运动控制器为每一个控制轴提供一个状态寄存器,GT-400-SV-PCI 的控制轴状态寄存器为 16bit,另外 SV 卡还提供一个专门的寄存器来记录连续轨迹运动状态,该寄存器由运动控制器统一管理,用户程序只能读取,不能直接清除和设置该寄存器状态. 通过对各寄存器状态位的数据读取/判断,就可以实时监测运动控制器工作状态,进而可以显示和管理系统状态。

由于数控技术有自己专用的数控语言,所以本系统在同一集成环境下直接将 NC 代码转换为运动控制卡运动函数库中函数可以识别的参数,同时还对 NC 代码的正确性进行校验. G 指令用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、插补方式、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作. 由字母 G 及其后面的二位数字组成; M 指令用来指令机床辅助动作及状态. 由字母 M 及其后面的二位数字组成^[8,9]。

为实现对非圆方程曲线的加工,解释程序实现了对变量、表达式、宏程序的识别,把一组实现某功能的指令以子程序的形式事先存储于系统存储器中,通过宏程序指令调用执行这一功能,这样不仅能够实现上述异形切刀的平面刀口曲线的加工,还有利于程序的模块化。

具体解释过程如下^[10]

(1) 读入一程序,取出每个字符和数值,与标准的地址符比较,然后根据地址符的特性,将数值与预先定义好的数值进行比较,看是否超出范围,若出现错误,指出错误所在的行. 错误检查的判断流程如图 6 所示。

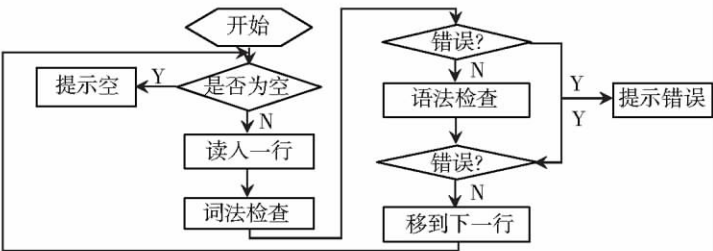


图 6 错误检查流程图

Fig.6 Error checking flow chart

(2) 若无错误,将 GCode 所指有效变量分别存储在对象数组中相应的变量中. 出现调用子程序,找到

子程序所在的位置,逐行识别代码,存储在数组中,当调用完子程序后程序又回到调用的位置,继续解释下面代码,这样,数组中存储的就是加工时的实际顺序代码.流程图如图 7 所示.

5 结语

本文提出用周长累进坐标插补法解决异形切刀曲线加工算法问题,开发基于 GT-400-SV-PCI 运动控制器体系结构的开放式数控系统成功地实现了数控加工装置的控制及整个系统的综合集成,可以充分利用 GT-400-SV 运动控制器强大的 4 轴联动控制能力以及 PC 丰富的软件资源,使设计变得更加简单易行,同时还很好地保证了控制的稳定性和精确性.

经过现场安装调试、试生产,不仅能顺利地完形成形磨削加工,而且果冻封皮切刀的加工质量也得到了很大提高,缩短了加工时间,降低了生产成本.系统控制可靠、运行稳定,具有广阔的市场前景.

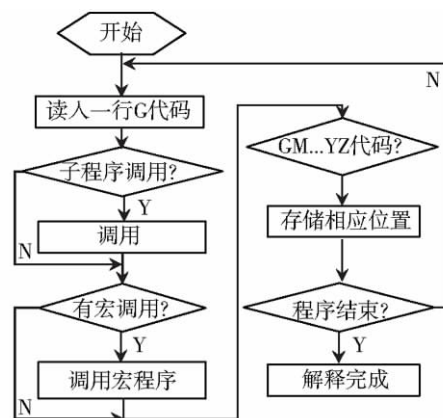


图 7 解释程序流程图

Fig.7 Interpreting program flow chart

[参考文献](References)

- [1] 李超,陈玲. 异性切刀波浪刃口的开刃和刃磨方法: 中国, CN200510038721.2 [P]. 2005-09-28.
Li Chao, Chen Ling. The method of shaped blade cutting and grinding: China, CN200510038721.2 [P]. 2005-09-28. (in Chinese)
- [2] 李东军. 基于固高 GE300 的开放式数控雕铣系统的研究与开发 [D]. 北京: 北方工业大学机电工程学院, 2008.
Li Dongjun. Study and implementation of googol GE300-based open engrave-mill numerical control system [D]. Beijing: College of Mechanical Electrical and Engineering, North China University of Technology, 2008. (in Chinese)
- [3] 龙云云. 快速点磨削成形机开放式数控系统的研究与开发 [D]. 南京: 南京师范大学电气与自动化工程学院, 2007.
Long Yunyun. The research and development of the fast-point(grinding) numerical control system [D]. Nanjing: School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, 2007. (in Chinese)
- [4] 张连新,吉放,何建国,等. 面向 MEDM 的开放式数控系统研究 [J]. 制造技术与机床, 2009(6): 13-16.
Zhang Lianxin, Ji Fang, He Jianguo, et al. Investigation on MEDM oriented open architecture NC [J]. Manufacturing Technology and Machine Tool, 2009(6): 13-16. (in Chinese)
- [5] 卢胜利,王睿鹏,祝玲. 现代数控系统-原理、构成与实例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 10-36.
Lu Shengli, Wang Ruipeng, Zhu Ling. Modern NC System-Principle, Composition and Example [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2006: 10-36. (in Chinese)
- [6] 冯显英,张延波. 基于 PCI 总线运动控制卡的开放式圆柱凸轮数控加工系统的开发 [J]. 山东大学学报: 工学版, 2005(4): 59-63.
Feng Xianying, Zhang Yanbo. Developing of NC machining system for cylindrical cam based motion card of PCI bus [J]. Journal of Shandong University: Engineering Science Edition, 2005(4): 59-63. (in Chinese)
- [7] 张岳新. Visual C++ 程序设计 [M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2002: 359-400.
Zhang Yuexin. Visual C++ Program Design. [M]. Suzhou: Suzhou University Press, 2002: 359-400. (in Chinese)
- [8] 胡志祖. 基于 VC 的数控 G 代码解释器的设计与实现 [J]. 中国重型装备, 2009(1): 31-34.
Hu Zhizu. Design and realization of NC G code interpreter based on VC [J]. China Heavy Equipment, 2009(1): 31-34. (in Chinese)
- [9] 姚习武. Windows 平台下数控代码解释系统的研究与实践 [J]. 机械设计与制造工程, 1999, 28(3): 24-26.
Yao Xiwu. Research and practice about NC code compiling system based on windows [J]. The Mechanical Engineering and Manufacturing, 1999, 28(3): 24-26. (in Chinese)
- [10] 林砺宗. 面向固高数控卡的 G 代码系统 [J]. 模具技术, 2009(1): 5-8.
Lin Lizong, et al. Googol numerical card-oriented G code system [J]. Die and Mould Technology, 2009(1): 5-8. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]