

数控旋压机专用数控系统的研究

欧长劲, 彭宽栋, 洪尉尉

(浙江工业大学 机电工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要:为解决目前我国封头旋压工艺无法同时实现自动化、系列化、高精度、高表面质量等问题,将开放式数控技术应用到封头旋压机床中。首先开展了以封头旋压力模型为基础的旋压轨迹规划的分析,建立了旋压数学模型及封头旋压机数控系统之间的关系,提出了基于工控机 IPC 和运动控制卡的开放式系统开发方法,该系统充分利用 Windows 丰富的软件资源及面向对象的编程语言 Visual C++ 6.0,最后对搭建的开放式旋压机数控系统进行了性能测试。研究表明,该开放式封头数控旋压机数控系统运行稳定,基本实现了总体设计要求。

关键词:数控旋压机;旋压轨迹规划;运动控制卡;开放式数控系统;工控机

中图分类号: TG659; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)11-1239-04

Research of the special numerical control system of CNC spinning machine

OU Chang-jin, PENG Kuan-dong, HONG Wei-wei

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to solve the problems of our head spinning craft unable to realize automation, serialization, high precision and the best surface quality, the open numerical control technology was applied to the head spinning machine. After analysis of spinning trajectory planning based on the head spinning force model, the connection between spinning mathematical model and the head spinning machine CNC system was established, and the method of the open systems development based on the industrial personal computer (IPC) and motion control card was presented. The spinning machine CNC system had made full use of the rich software resources on the Windows system and Visual C++ 6.0. The building CNC system was tested and evaluated. The experimental results show that the CNC system is stable, and it realizes the overall design requirements.

Key words: CNC spinning machine; spinning trajectory planning; motion control card; open CNC system; industrial personal computer (IPC)

0 引言

旋压加工是一种综合了锻造、挤压、拉伸、弯曲、环轧、横轧和滚压等工艺特点的少无切削加工方式的先进加工方式。旋压技术和设备的推广及应用,不仅促进了航空、火箭、导弹和人造卫星等尖端技术的发展,而且还作为一项新技术与传统工艺方法在化工、冶金、机械制造、石油、轻工民用等行业并行地发展着,并已成为现代金属压力加工的新兴领域^[1]。

由于旋压工艺的特殊性及局限性,目前国内生产的高档数控旋压机的控制部分大都采用了国外的数控系统。为提高国内先进数控旋压技术,更好地满足现

代工业生产对旋压机的要求,本研究分析了两坐标轴数控旋压机中的数控模型建立、轨迹规划、系统搭建。

由于旋压属于复杂塑性成形工艺,存在着材料非线性、几何非线性、边界条件非线性等问题,针对有关旋压力及精准的旋轮运动轨迹等问题,国内外一些专家和学者曾做了一些研究,但还不够充分。在查阅大量国内外文献的基础上,结合众多学者对旋压工艺、旋压数值计算、开放式数控系统的开发研究成果^[2-5],本研究以国际先进的开放式数控结构形式为主导方案,以功能可靠的工控机、运动控制卡为硬件基础,结合封头旋压机工作机理,在旋轮运动轨迹、力学模型问题上进行一些探索研究。

收稿日期: 2012-07-17

作者简介: 欧长劲(1956-),男,浙江杭州人,教授,硕士生导师,主要从事机电一体化方面的研究. E-mail: oucj@zjut.edu.cn

1 系统组成

该数控旋压机专用系统采用“PC + 运动控制器”模式的开放式数控系统模式。工艺参数的调整、运动轨迹的规划、人机交互、实时运动曲线的显示等非实时部分由一台工控机来实现,旋轮的精确运动位置、脉冲输出、圆弧插补、原点限位检测等实时控制部分由嵌插于工控机内部的运动控制卡负责实现。

本研究综合考虑各种运动控制卡的性能和价格,以实用为原则,以售后为保障,在此基础上选择了研华科技集团的 PCI-1240U 型运动控制卡。它采用了智能 NOVA 公司研制的 MCX314 运动 ASIC 芯片作为 CPU; PCI-1240U 是一款高速 4 轴伺服/步进运动控制卡,简化了步进和脉冲伺服控制,可以显著提高电机的工作性能,其特点如下:

- (1) 可编程 T/S 曲线加速/减速;
- (2) 连续插补功能;
- (3) 每周 4 MPPS 的脉冲输出;
- (4) 2 种脉冲输出类型,加/减或脉冲/方向;
- (5) 2 种编码器脉冲输入类型,A/B 相位或加/减;
- (6) 位置管理和软件行程开关功能。

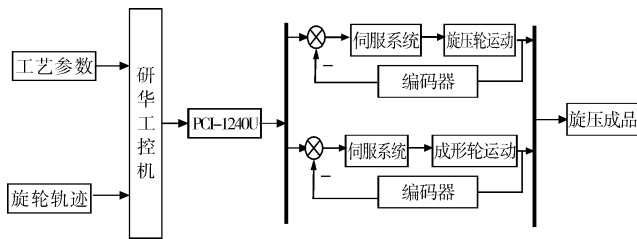


图1 系统逻辑流程图

系统的伺服控制系统类型由运动控制器、4 路交流伺服电机、编码器构成,系统逻辑流程图如图 1 所示。每个控制回路的反馈信号由增量式光栅编码器采集,所用编码器的测量精度为 25 line/mm,经 PCI-1240U 的 A/B 相位转化后可实现 125 pulse/mm 的精度,足以满足封头数控旋压机加工控制精度要求。

2 旋轮轨迹规划

旋压模型如图 2 所示,旋压轮运动轨迹正是封头沿中心线纵向断面外层曲线,该曲线主要由球冠部分(大圆弧 R)和折边部分(小圆弧 r)及直边部分组成,与传统封头旋压机相比,该开发系统实现的是一步法无芯模数控封头旋压机。旋压轮 5 与成形轮 4 同步运动,且旋压轮 5 能按 PC 机中预设好的轨迹曲线行走,其运动轨迹为横向进给 X 轴和纵向进给 Z 轴两个方

向的运动合成。运动原理为:金属圆形板由主轴 2 和尾顶装置 7 夹紧,并在主轴 2 与成形轮 4 的共同驱动下旋转,同时旋压轮 5 与成形轮 4 同步靠近主轴附近,旋压轮 5 旋压工作并与成形轮 4 同步按设定好的轨迹运动完成球冠部分的成形工作,然后成形轮 4 不动,旋压轮 5 又以成形轮为支撑曲面按剩余旋压道次继续旋压出折边部分及直边部分,最后形成成品封头。该过程中成形轮与旋压轮由金属板坯中心向边缘旋压移动的同步关系比较重要,为此两机构的同步运动的实现是由运动控制卡控制的位置比较命令进行的位置闭环控制。

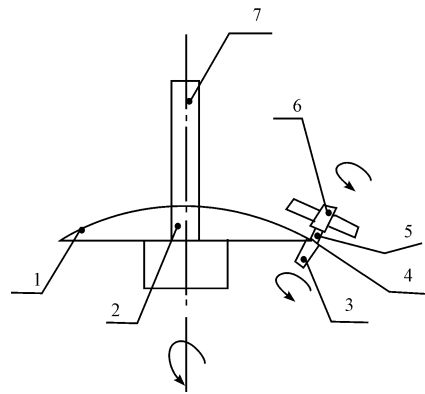


图2 旋压模型

1—圆板毛坯;2—主轴;3—成形轮装置;4—成形轮;
5—旋压轮;6—旋压轮装置;7—尾顶装置

2.1 旋压力学模型

由两步法封头成形实验观察得知,旋压时圆板在主轴作用下转动一圈时旋压轮的进给量很小,因此研究者可以把旋轮旋压过程视为壳体小变形物理非线性,则可把圆板视为中间夹紧固支,成形轮为铰支,旋压轮为局部集中力^[6]。

旋压简化的几何关系如图 3 所示。圆板在径向的塑性应变为:

$$\varepsilon_r = \frac{d_s - d_r}{d_r} \quad (1)$$

式中: d_r —圆板初始状态, d_s —圆板在旋压后形成的微球面, ε_θ —切向塑性应变, ε_t —法向塑性应变。

根据旋压前后体积不变原理及旋压前后圆板厚度近似不变原理,有:

$$\frac{d_s}{d_r} = \frac{r}{a} \quad (2)$$

$$\cos\theta = \frac{\sqrt{R^2 - a^2}}{R} \quad (3)$$

$$r = R \sqrt{2 - 2\sqrt{1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2}} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\theta} = -\varepsilon_r \quad (5)$$

$$\varepsilon_t = 0 \quad (6)$$

由公式(1~6)知,等效塑性应变值 $\bar{\varepsilon}$ 为:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_r - \varepsilon_{\theta})^2 + (\varepsilon_t - \varepsilon_r)^2 + (\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_t)^2} = \frac{2\sqrt{3}R}{3a} \sqrt{2 - 2\sqrt{1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2}} - 1 \quad (7)$$

旋压过程中,起皱和开裂是旋压失败的主要形式。为了避免这两种失效形式的出现,研究者应尽可能减少旋压道次,同时使每次旋压道次的等效塑性应变值 $\bar{\varepsilon}$ 均匀合理。参考以往学者们对旋压轨迹方式的对比研究,渐开线式运动轨迹适合封头旋压机的旋压要求,需对渐开线式运动轨迹进行优化,多道次渐开线轨迹示意图如图4所示。为了防止首次旋压时毛坯起皱和后续毛坯严重变薄,渐开线起始角取值范围^[7]设为: $0.255\pi \leq \theta_0 \leq 0.287\pi$;渐开线终束角取值范围为:

$$\theta_z = k \cdot \pi \quad k \approx 0.5$$

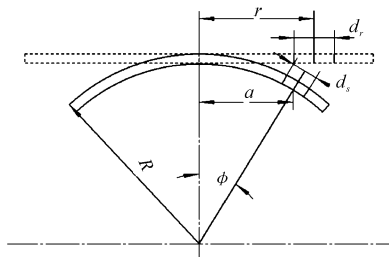


图3 简化几何关系

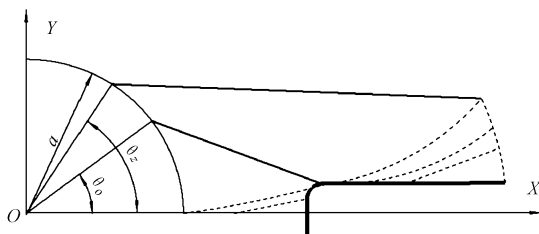


图4 多道次渐开线轨迹示意图

2.2 旋压力理论计算

旋压轮旋压轨迹如图5所示。

旋压轮工作时,当旋压轮从图5所示A点移至B点时,圆板毛坯也产生了CB的位移量。由旋压机理知,在位移CB这段主要是C点材料的位移贡献,旋压轮的旋压力也仅作用于一点,弹塑性变形简化为刚塑性变形,不考虑圆板毛坯中心面的平面位移及中心面上垂直正压力,只考虑圆板毛坯厚度 t 、旋压轮和成形轮之间的位错距 L ,旋压轮的进给量方向为 $\pi/12$,则在此时实际圆板毛坯塑性位移量^[8]为:

$$\delta = S\left(\theta - \frac{\pi}{12}\right) \quad (7)$$

旋压轮的旋压力为:

$$D = \sqrt{r^2 + (r - \delta)^2} \quad (8)$$

由公式(7~8)得理论简化旋压力为:

$$P = \frac{2t^2\sigma_s}{\sqrt{\frac{L^2}{r^2 + \left[r - s\left(\theta - \frac{\pi}{12}\right)\right]^2} + \frac{r^2 + \left[r - s\left(\theta - \frac{\pi}{12}\right)\right]^2}{L^2}} - 1}$$

式中: σ_s —圆板毛坯的屈服应力。

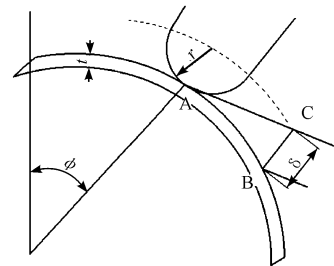


图5 旋压轮旋压轨迹

3 系统实现

整个旋压数控系统包括上位机IPC机软件功能部分和下位机运动控制卡软件功能两部分。

3.1 下位机模块

下位机数控功能主要是实时控制部分,包括插补模块、伺服模块、PLC控制模块及加工程序模块^[9]。插补模块包括:2轴/3轴直线插补、圆弧插补、2轴/3轴位模式插补、连续插补等,可以任选2轴或3轴,进行直线插补、圆弧插补、位模式插补驱动插补坐标范围是从当前位置到 $-8\,388\,608 \sim +8\,388\,608$ 之间,在整个指定插补范围内的插补精度是 ± 0.5 LSB,插补速度范围是1 pps ~ 4 Mpps,位插补驱动可以产生任何插补曲线,同时可以进行:直线插补→圆弧插补→直线插补的连续插补驱动,连续插补时插补速度最高可达2 Mpps。这些功能已经固化于PCI-1240U中,用户根据需要可任选插补模式或综合几种模式进行^[10-11]。

3.2 上位机模块

上位机即工控机系统软件的设计是在Windows XP操作系统下,本研究以Visual C++ 6.0为开发工具,采用面向对象的编程方法对数控系统软件进行开发,实现数控系统的基本功能^[12-13]。

系统启动时,调用参数设置模块,实现系统初始化,同时在系统运行时,用户还可随时调用参数设置模

块,系统经初始化后,将进入显示模块,对数控系统进行实时显示。设置完成后系统调用程序模块,进行数控加工程序的编辑或文件传输;再调用加工模块,对选定的数控程序进行译码,译码成功后将译码的指令传输到 PCI-1240U,由 PCI-1240U 发出相应的脉冲指令控制电机工作。

3.3 主系统

整个系统开发程序流程图如图 6 所示。

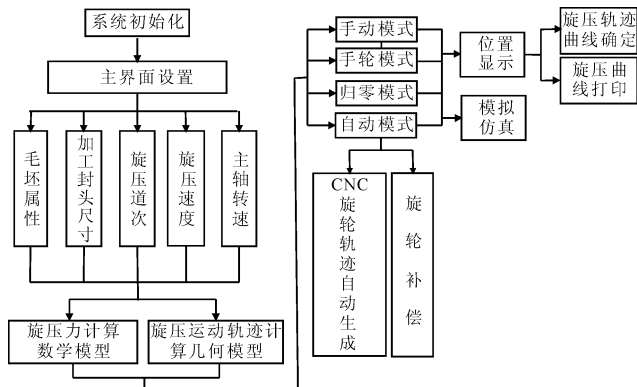


图 6 程序整体框架图



图 7 控制系统主操作界面图

控制系统主操作界面如图 7 所示。主函数主要由:系统初始化函数、图形显示函数、图形绘制函数、开始监控函数、数据传输函数等组成,软件调试成功。主要函数段如下:

```
void CDataBaseView::OnInitialUpdate()
```

```
{
    CFormView::OnInitialUpdate();
    GetParentFrame()->RecalcLayout();
    ResizeParentToFit();
}
```

```
void CDataBaseView::DrawAllWave()
```

```
{
    m_memDC.CreateCompatibleDC(m_pDC); //创建内存绘图设备
```

```
memBitmap.CreateCompatibleBitmap(m_pDC, rect.right, rect.bottom);
pOldBmp = m_memDC.SelectObject(&memBitmap);
m_memDC.BitBlt(rect.left, rect.top, rect.right, rect.bottom, m_pDC, 0, 0, SRCCOPY);
m_pDC->BitBlt(rect.left, rect.top, rect.right, rect.bottom, &m_memDC, 0, 0, SRCCOPY);
m_memDC.SelectObject(pOldBmp);
m_memDC.DeleteDC();
memBitmap.DeleteObject();
pWnd->ReleaseDC(m_pDC);
}
```

```
void CDataBaseView::DrawWave(CDC *pDC, CRect rect, float *pTemp, float *pTemp1)
```

```
{
    pDC->MoveTo(left_limit, top_limit);
    pDC->LineTo(left_limit, bottom_limit);
    pDC->LineTo(right_limit, bottom_limit);
    pDC->LineTo(right_limit, top_limit);
    pDC->LineTo(left_limit, top_limit);
    pDC->SelectObject(pPenGreen);
}
```

```
void CDataBaseView::OnShow()
```

```
{
    CWnd * pWnd = GetDlgItem(IDC_SIN_DRAW);
    pWnd->GetClientRect(&rect);
    pDC = pWnd->GetDC();
    pWnd->Invalidate(); //使窗口无效,引起窗口重绘,触发 OnPaint() 函数
```

```
pWnd->UpdateWindow();
pDC->Rectangle(&rect);
}
```

```
void CDataBaseView::OnBtnStart()
```

```
{
    m_iSetLen = 0;
    SetTimer(CURR_Time, 100, NULL); //0.1 秒时钟显示一次图
    CString strok, sendstrok;
    strok = "00FFBW0M01700115C";
    sendstrok = "";
    int ss = ENQ;
    sendstrok += ss;
    sendstrok += strok;
    m_SerialPort.WriteToPort(sendstrok);
}
```

(下转第 1258 页)

6 结束语

针对利用弹簧均压装置进行加压的双面抛光机在抛光过程中的上研磨盘振动现象,本研究提出在弹簧均压装置中加入可变阻尼的磁流变阻尼器的方法,在抛光过程中,本研究根据控制策略控制通过磁流变阻尼器的电流大小,改变阻尼器的阻尼值,以达到对上研磨盘振动的主动控制。

根据计算机仿真结果可知,本研究提出的半主动控制方法能有效地抑制抛光过程中上研磨盘的振动现象,从而可以提高双面抛光机的工件加工质量。

参考文献 (References):

- [1] 房建国,刘 伟,杨志甫.超精密机研磨抛光机床的研究与设计[J].航空精密制造技术,2005,41(6):4-7.
- [2] 赵文宏,周海军,宋 闯,等.晶片抛光压力加载系统分析[J].机电工程,2012,29(2):171-174.
- [3] 王加春,李 旦,董 申.超精密机床溜板的模糊-PID 振动主动控制研究[J].燕山大学学报,2001,25(1):57-60.

(上接第 1242 页)

4 结束语

本研究提出了一种基于研华工控机和运动控制卡的开放式封头数控旋压机数控系统,在分析封头旋压力模型的基础上建立完善了渐开线式旋压轨迹,并建立了上下位机控制系统,利用 Visual C++ 开发了系统控制软件;模块化的设计思想简化了设计流程。该系统调试后经过运行测试,结果显示系统运行稳定,基本满足了事先的设计要求,并且可为以后的进一步研究提供重要参考。

下一阶段,本研究将进一步完善下位机的系统调试工作,提高系统稳定性及简化操作方式,以满足合作单位的实际操作要求。

参考文献 (References):

- [1] 王成和,刘克璋.旋压技术[M].北京:机械工业出版社,1986.
- [2] WONG C C, LIN T D J. A review of spinning, shear forming and flow forming processes mechanical and manufacturing engineering[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2003, 43(14): 1419-1435.
- [3] 刘兴家,张奕黄.封头旋压成形旋轮运动轨迹确定方法的

- [4] 王德山.模具线切割精密加工电极丝的应用分析[J].现代制造技术与装备,2011(3):39-41.
- [5] 钱 宁,阮 健,李 伟.双面抛光机气动伺服加载系统分析加载系统分析[J].机床与液压,2006,34(8):72-74.
- [6] 王祖温,詹长书,杨庆俊.气压伺服系统高性能鲁棒控制器的设计[J].机械工程学报,2005,41(11):15-17.
- [7] 陈 江.双面高速研磨数字控制过程研究[D].长春:长春理工大学机电学院,2003.
- [8] 张松慧,张 旭.基于闭环 PID 控制的磁流变液阻尼减振器减振性能测试[J].机床与液压,2010,38(5):95-97.
- [9] 许利利,韩江水,王 斌.磁流变阻尼器在结构振动控制中的应用研究[J].山西建筑,2009,35(29):58-60.
- [10] 宋 璨,王修勇,陈政清.磁流变式调谐液柱阻尼器的复位控制[J].振动工程学报,2010,23(1):26-30.
- [11] 张克余,刘 荣,王松根.磁流变阻尼器的半主动控制方法研究[J].机床与液压,2010,38(23):9-12.
- [12] 王立克.磁流变阻尼器减振系统半主动控制方法的研究[D].天津:中国民用航空学院机电学院,2006.

[编辑:张 翔]

研究[J].塑性工程学报,1997,4(4):84-89.

- [4] 任贵勇,马广程,王常虹,等.大型封头旋压机的控制系统设计[J].机械与电子,2000(5):23-25.
- [5] 王 宏,王 斌,弓清忠,等.基于 PMAC 的轧辊磨床数控系统的开发[J].机电工程,2005,22(3):58-59.
- [6] 胡福泰,王家勋.封头旋压数值分析[J].塑性工程学报,1999,6(1):65-68.
- [7] 刘兴家,王佐民,孙明琦,等.椭圆封头旋压控制参数确定的研究[J].热能动力工程,2003,18(2):187-189.
- [8] 钱志平.旋压辊运动轨迹设计与旋压力计算[J].机械设计,2004,21(12):28-29.
- [9] 李东飞.基于 PMAC 下数控系统的设计与实现[D].秦皇岛:燕山大学信息科学与工程学院,2006:23-42.
- [10] 边秀娟.数字加工生物组织微阵列系统[J].轻工机械,2010,28(3):100-102.
- [11] 王 辉.元件失效对数控机床运行性能影响的分析[J].机电技术,2011(4):92-94.
- [12] 杨旭东,张飞库,谢 昆,等.采用上下位机的旋压机控制系统研究[J].现代制造工程,2010(4):46-49.
- [13] 白建华,潘振锋,周红飞,等.基于嵌入式 Linux 的实时数控系统[J].机电工程,2008,25(5):13-14.

[编辑:罗向阳]