

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2018.03.017

双摆头五轴龙门数控淬火机床后置处理算法研究

闫赛赛¹, 解瑞东¹, 高峰¹, 李艳¹, 赵天林², 张雪敏³

(1. 西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 江苏天宝利自动化科技有限公司, 江苏 镇江 212009; 3. 西安思源学院基础部, 陕西 西安 710038)

摘要: 针对双摆头五轴龙门数控淬火机床对汽车覆盖件模具进行感应淬火的要求, 采用UG8.0的加工模块生成所需淬火模具感应线圈的运动轨迹; 推导了该淬火机床的后置处理算法, 其中包括机床A、C旋转轴旋转角的优化选择策略及其算法。开发了基于VC++6.0的专用后置处理软件, 并通过VERICUT7.0数控加工仿真系统对淬火加工过程进行了仿真, 验证了后置处理算法的正确性以及实用性。

关键词: 淬火机床; 后置处理; 旋转角优化; 加工仿真

中图分类号: TH-39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2018)03-0349-05

Study of post processing of double swing head five-axis gantry NC quenching machine tool

YAN Saisai¹, XIE Ruidong¹, GAO Feng¹, LI Yan¹, ZHAO Tianlin², ZHANG Xuemin³

(1. School of Mechanical and Precision Instrumental Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Jiangsu Tianbaoli Automation Technology Co. Ltd., Zhenjiang 212009, China; 3. Foundation Education Department, Xi'an Siyuan University, Xi'an 710038, China)

Abstract: According to the requirements for quenching automotive covering parts molds with the double swing head five-axis gantry quenching machine tool, the quenching trajectory of induction coil is produced with the UG8.0 processing module, with the post processing algorithm including optimal selection strategy and optimal algorithm of rotation angles of A, C rotation axes derived. A post processing software based on VC++6.0 is developed and the process of quenching is simulated by VERICUT7.0 NC machining simulation system to verify the correctness and practicability of the postprocessing algorithm.

Key words: quenching machine tool; post processing; rotation angle optimization; processing simulation

为了满足大型汽车覆盖件模具复杂表面高效率、高自动化、低成本淬火的要求, 开发基于感应热处理方式的汽车大型覆盖件模具表面五轴数控淬火机床是非常有必要的。淬火机床根据用途可分为通用型和专用型淬火机床^[1]。通用型淬火机床如捷克早期生产的EKS-30型淬火机床、我国一汽技术中心研制的通用多功能数控淬火机床^[2]等; 专用型淬火机床如曲轴感应淬火机床^[3]、凸轮感应淬火机床^[4]、冷轧辊双频感应淬火机床^[5]等。数控淬火机床在生成数控程序方面有手工编程、示教编程^[6]、CAD/CAM自动编程。手动编程工作量大、效率低, 且一些复杂形状的淬火程序难以手工编程。张

勤俭等^[6]在对汽车覆盖件模具进行淬火时, 由于被加工件三维模型未知且形状较为复杂, 采用了示教编程的方式生成数控程序。CAD/CAM自动编程一般用于数学模型已知且形状较为复杂零件的数控编程。CAD/CAM自动编程分为两部分: 前置处理和后置处理。前置处理主要是进行刀具路径规划和轨迹计算, 生成刀位文件。但刀位文件是以工件坐标系为基准的, 并没有考虑机床的具体结构, 不能直接用于数控加工, 因此需要后置处理, 即根据机床机构和数控系统的信息将前置处理得到的刀位文件转化为数控系统识别的数控加工程序, 来驱动机床加工零件^[7]。

收稿日期: 2017-03-18

基金项目: 陕西省教育厅重点实验室科研计划资助项目(15JS066)

作者简介: 闫赛赛, 男, 硕士生, 研究方向为现代工业装备制造与系统集成。E-mail: xiaoyuzhousaisai@163.com

通讯作者: 解瑞东, 男, 博士, 讲师, 研究方向为先进制造技术。E-mail: rdxie2007@163.com

本文研究了三维模型已知的大型汽车覆盖件模具数控淬火 CAD/CAM 自动编程后置处理算法,该算法可有效简化编程过程、提高淬火效率。

1 淬火轨迹的生成

汽车覆盖件模具主要是对模具边缘轮廓进行淬火(图 1),不同曲率的轮廓段需要采用不同尺寸的淬火感应线圈,因此需要分段淬火。在每一段淬火轨迹的起始点感应线圈通电预热(进刀),达到设定的预热时间后打开冷却水开关开始淬火,到达每一段淬火轨迹的终点后感应线圈断电,在只开冷却水开关的状态下继续前进一小段轨迹(退刀),以保证全部淬火轨迹的充分冷却。这段轨迹淬火完成后,线圈快速移动到另一段曲率与之相同轮廓上方继续淬火,所有相同曲率的轮廓段完成淬火后,更换不同尺寸的感应线圈进行另一曲率轮廓段的淬火。

先采用 UG8.0 构建汽车覆盖件模具的三维模型,再利用其自动编程功能,在可变轴轮廓铣的加工方式下设置加工参数。在淬火时感应线圈要与工件保持一定的距离,因此加工余量设置为 2 毫米,不同的淬火加工阶段设置为不同的颜色加以区分(图 1)。然后由 UG8.0 自动生成合理的加工轨迹,并将其导出为刀位源文件。由基于 VC++6.0 开发的专用后置处理软件读取该刀位源文件,并根据生成轨迹的颜色来控制感应线圈的通断和冷却水的开关。

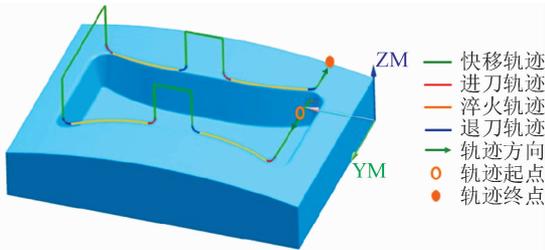


图 1 汽车覆盖件模具淬火轨迹示意图
Fig.1 Automotive covering parts mould hardening path diagram

2 后置处理算法

2.1 机床运动原理及坐标变换关系

双摆头式五轴龙门淬火机床的运动原理见图 2,该机床包括 X、Y、Z 三个直线运动坐标轴和 A、C 两个旋转坐标轴,A 轴的旋转中心与 X 轴平行,转角范围为 $[-90^{\circ}, +90^{\circ}]$,C 轴的旋转中心与 Z 轴平行,转角范围为 $[-360^{\circ}, +360^{\circ}]$,A、C 轴相交于一点。A 轴在绕自身轴线旋转的同时由于 C 轴的旋转而以 A、C 轴的交点为中心摆动。

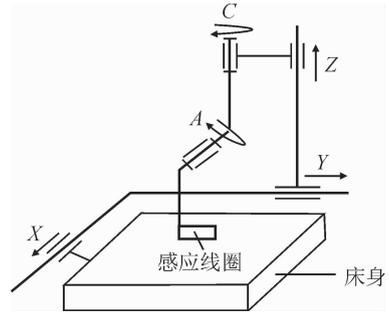


图 2 五轴龙门淬火机床运动原理图
Fig.2 The principle diagram of the five-axis gantry quenching machine tool movement

机械加工过程实际上是通过机床各运动轴的运动使得刀具坐标系下的刀位点和刀轴矢量与在工件坐标系下编制的刀位点和刀轴矢量重合的过程^[8]。设五轴龙门淬火机床初始状态下工件坐标系为 $O_w X_w Y_w Z_w$,刀具坐标系为 $O_t X_t Y_t Z_t$,在摆动中心处建立机床坐标系 $O_m X_m Y_m Z_m$,机床坐标系坐标方向与刀具坐标系和工件坐标系相同,刀具坐标系与工件坐标系原点重合。双摆头五轴联动加工中心的坐标变换及刀轴矢量变换见图 3~4。

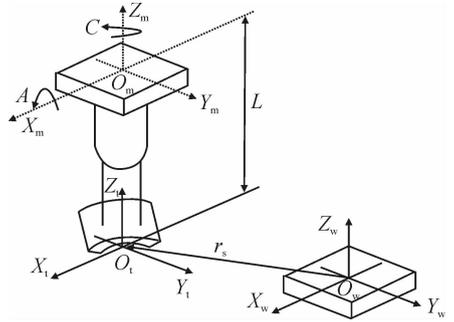


图 3 机床坐标变换简图
Fig.3 The transformation of machine tool coordinate

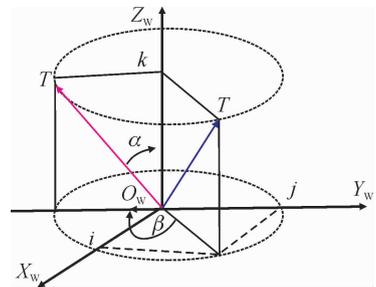


图 4 刀轴矢量变换关系图
Fig.4 The transformation of cutter axis vector

从刀具坐标系到工件坐标系通过齐次坐标变换可得如下公式:

$$\begin{cases} p_x = x_t + L \sin \alpha \sin \beta \\ p_y = y_t - L \sin \alpha \cos \beta \\ p_z = z_t + L \cos \alpha - L \end{cases} \quad (1)$$

A、C轴转角的计算实际上是计算刀轴矢量的变化,而刀轴矢量 $\mathbf{T}(i, j, k)^T$ 的变换即刀具相对于工件位置的变化。见图 4,首先将刀轴矢量 \mathbf{T} 绕 Z 轴顺时针转动 C 角到 $(-Y)(+Z)$ 平面上,再将刀轴矢量 \mathbf{T} 绕 X 轴顺时针转动 A 角到与 Z 轴坐标方向一致,完成刀轴矢量的转换可得到如下公式:

$$\alpha = \arccos(k) \quad (2)$$

$$\beta = \begin{cases} \pi/2 + \arctan |j/i| & (i > 0, j \geq 0) \\ \pi/2 - \arctan |j/i| & (i > 0, j \leq 0) \\ 3\pi/2 - \arctan |j/i| & (i < 0, j \geq 0) \\ 3\pi/2 + \arctan |j/i| & (i < 0, j \leq 0) \\ \pi & (i = 0, j \geq 0) \\ 0 & (i = 0, j < 0) \end{cases} \quad (3)$$

式中: p_x, p_y, p_z 分别表示 X、Y、Z 轴的指令移动量; α, β 分别表示 A、C 转动轴的指令转动量; $(x_T, y_T, z_T)^T$ 为工件坐标系下的刀位点坐标; $(i, j, k)^T$ 为工件坐标系下的刀轴姿态矢量; L 为摆动中心到刀心点的距离。

2.2 机床 A、C 旋转轴旋转角的优化选择策略及算法

针对后置处理生成的数控程序中经常出现相邻两行 NC 代码的 C 轴转角值的跳变,从而导致在淬火过程中感应线圈与汽车覆盖件模具发生碰撞干涉的问题,提出了机床 A、C 旋转轴旋转角的优化选择策略及算法,具体内容详述如下。

当 A 轴和 C 轴的转角分别为 $\alpha, \beta \pm 2\pi$ 和 $-\alpha, \beta \pm \pi$ 时,代入式(1), p_x, p_y, p_z 的值不变,可据此来对 A、C 轴转角进行优化,其算法流程见图 5。具体方法详述如下。

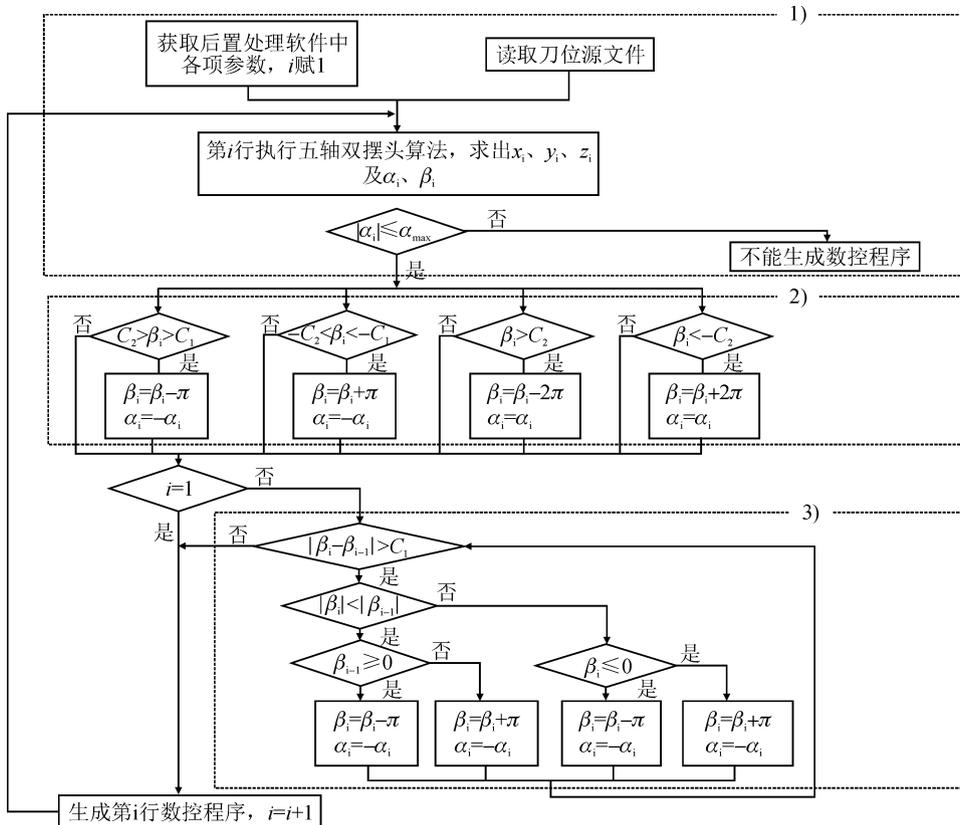


图 5 A、C 轴转角优化算法流程图

Fig. 5 Rotary angle of A and C axis optimization algorithm flow chart

1) 根据淬火机床 A、C 轴转角范围, 设置 A 轴最大转角 α_{max} , 以及 C 轴的初步优化极限角度 C_1, C_2 , 一般取 $C_1 \in (120^\circ, 180^\circ), C_2 \in (300^\circ, 360^\circ)$ 。读取刀位源文件, 获取后置处理软件中各项参数, 对一行刀位源文件进行后置处理求出 x_i, y_i, z_i 及 α_i, β_i 。若该行 A 轴转角绝对值 $|\alpha_i|$ 大于 A 轴最大转角 α_{max} , 则不能生成该行数控程序; 否则执行下一步。

2) 根据 C 轴初步优化极限角度 C_1, C_2 , 对 A、C 轴转角进行初步优化。若该行 C 轴转角绝对值大

于 C_1 小于 $C_2, \beta_i > 0$ 时 $\beta_i = \beta_i - \pi, \alpha_i = -\alpha_i, \beta_i < 0$ 时 $\beta_i = \beta_i + \pi, \alpha_i = -\alpha_i$; 若该行 C 轴转角绝对值大于 $C_2, \beta_i > 0$ 时 $\beta_i = \beta_i - 2\pi, \alpha_i = \alpha_i, \beta_i < 0$ 时 $\beta_i = \beta_i + 2\pi, \alpha_i = \alpha_i$ 。

3) 根据前一行 C 轴转角的大小, 再一次对 A、C 轴转角进行优化。若该行 C 轴转角 β_i 减前一行 C 轴转角 β_{i-1} 的绝对值大于 C_1 , 则对该行 C 轴转角进行循环优化如下。

① 该行 C 轴转角绝对值小于前一行 C 轴转角

绝对值,若前一行 C 轴转角 $\beta_{i-1} \geq 0, \beta_i = \beta_i - \pi, \alpha_i = -\alpha_i$; 否则 $\beta_i = \beta_i + \pi, \alpha_i = -\alpha_i$ 。

② 该行 C 轴转角绝对值大于前一行 C 轴转角绝对值,若该行 C 轴转角 $\beta_i \geq 0, \beta_i = \beta_i - \pi, \alpha_i = -\alpha_i$; 否则 $\beta_i = \beta_i + \pi, \alpha_i = -\alpha_i$ 。

3 算法的验证与加工仿真

3.1 算法的验证

根据上述后置处理算法,基于 VC++6.0 的 MFC 模块,设计了针对该机床的后置处理软件,后置处理流程见图 6,后置处理软件的主界面见图 7。在后置处理器主界面中可分为读取刀位文件、输入参数、后置处理、保存数控代码四个部分,该软件可将刀位源文件转换为有合理 A、C 轴转角的数控程序。采用 UG8.0 建立汽车覆盖件模具三维模型(图 1)并生成刀位源文件,采用后置处理软件读取刀位源文件生成数控加工程序。

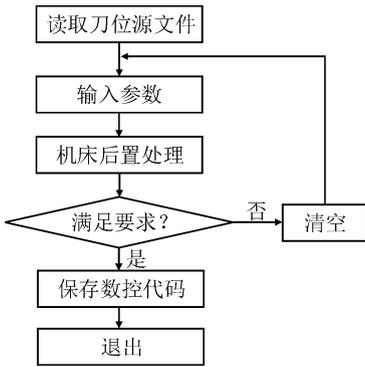


图 6 后置处理器操作流程

Fig. 6 The operation process of post processor

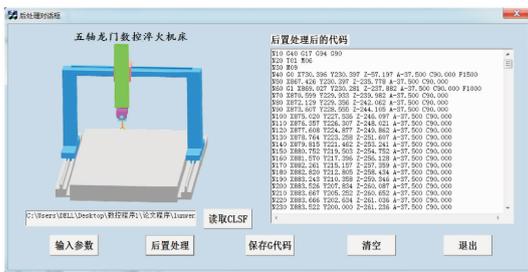


图 7 后置处理器界面

Fig. 7 The interface of post processor software

用 Matlab2010 编写程序读取该数控加工程序 C 轴转角变化情况,与未添加 A、C 轴转角优化算法的汽车覆盖件模具数控加工程序的 C 轴转角变化情况进行比较,比较结果见图 8。未添加 A、C 轴转角优化算法时存在相邻两行 NC 代码的 C 轴转角值存在跳变(图 8(a));而添加优化算法后相邻两行 NC 代码的 C 轴转角值变化均匀(图 8(b))。

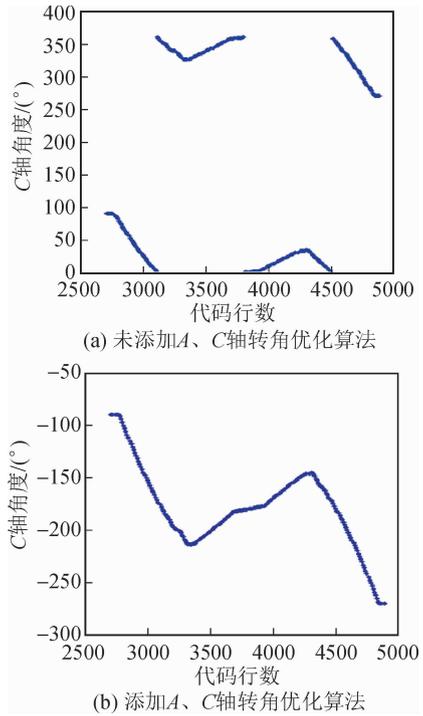


图 8 数控代码中的 C 轴转角变化情况比较

Fig. 8 The comparison of rotary angle changes for C in NC code

3.2 加工仿真

将三维模型和数控程序导入 VERICUT7.0 数控加工仿真软件,并与未添加优化算法的加工仿真过程进行比较,比较结果见图 9,图 9 中黄色部分为仿真的淬火轨迹。

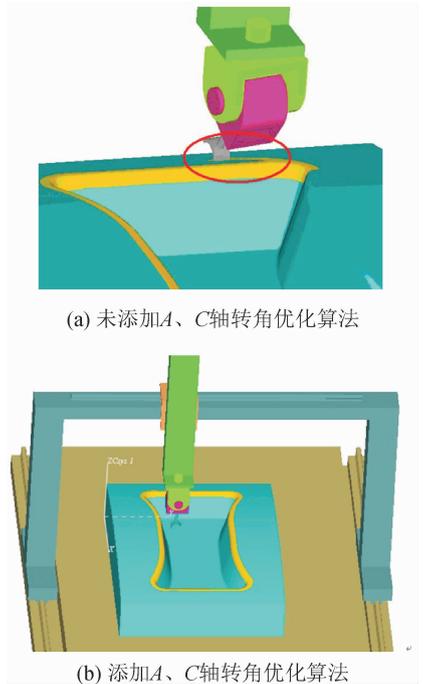


图 9 淬火机床 VERICUT 数控加工仿真比较

Fig. 9 Quenching machine tool VERICUT simulation

由图9可见,未添加A、C轴转角优化算法时,感应线圈在汽车覆盖件模具圆角处与之发生碰撞(见图9(a)中红色圈出部分);添加A、C轴转角优化算法后,仿真过程中运动平稳、感应线圈与汽车覆盖件模具之间无碰撞(图9(b))。

4 结 语

本文主要工作包括双摆头五轴龙门数控淬火机床淬火轨迹的生成,后置处理算法的推导,包括对后置处理求解过程中的多解问题进行分析,提出A、C轴转角优化算法,并进行了淬火加工过程仿真。仿真结果表明,本文推导的后置处理算法能够有效地避免因转角选择产生的碰撞问题,表明该算法是正确、有效的。本文的研究工作,对于提高数控淬火机床的效率具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 杨连弟,崔凯,姜波. 感应加热淬火技术的发展[J]. 汽车工艺与材料, 2003,(3): 1-4.
YANG Liandi, CUI Kai, JIANG Bo. Development of induction quenching [J]. Automobile Technology & Material, 2003,(3): 1-4.
- [2] 杨连弟,姜波,郇宜梅,等. 通用多功能卧式数控淬火设备的研制[J]. 机械工人(热加工), 2005,(9): 43-46.
YANG Liandi, JIANG Bo, HUAN Yimei, et al. The development of general multi-function horizontal NC quenching equipment [J]. Mechanical Workers (Thermal), 2005,(9): 43-46.
- [3] 安云鹏,石晓华. 曲轴感应淬火装备技术进展[J]. 热处理技术与装备, 2014, 35(2): 55-59.

- AN Yunpeng, SHI Xiaohua. Progress on induction quenching equipment and technology for crankshaft [J]. Heat Treatment Technology and Equipment, 2014, 35(2): 55-59.
- [4] 郭剑. 弧面凸轮高频淬火机床控制系统的应用研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2012.
GUO Jian. Research and application of the roller gear cam high-frequency quenching tool machines control [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2012.
- [5] 周恺. 轧辊双频淬火机床的全数字控制系统研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2010.
ZHOU Kai. Research on the fully digital control system of a dual-frequency quenching machine for rollers [D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2010.
- [6] 张勤俭,汪秉,李克斌,等. 机器人控制感应淬火在大型模具表面热处理中的应用[J]. 模具制造, 2009,(10): 16-18.
ZHANG Qinjian, WANG Bing, LI Kebin, et al. Application of robot control induction hardening in large mold surface heat treatment [J]. Die & Mould Manufacture, 2009,(10): 16-18.
- [7] 刘雄伟,张定华,王增强. 数控加工理论与编程技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [8] 李庄. 五轴机床运动学通用建模理论研究及应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
LI Zhuang. Research and application on kinematic generic modeling theory for five-axis machine tool [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.

(责任编辑 王绪迪)