

基于UG二次开发的电火花加工成形电极设计系统

吴勇 康小明 刘晓 赵万生

(上海交通大学机械与动力工程学院,机械系统与振动国家重点实验室,上海 200240)

文 摘 针对闭式整体涡轮叶盘的结构特点,在UG平台上通过二次开发设计了一套涡轮盘电火花加工成形电极设计系统,包括电极初步设计、减厚处理、电极剖分、电极基座设计和电极运动轨迹搜索等模块。通过实验对电极设计系统的正确性和实用性进行了验证,加工出满足设计要求的整体涡轮盘样件。

关键词 涡轮叶盘,电火花加工,UG二次开发,电极设计

Electrode Designing System for EDMing Shrouded Turbine Blisk Based on UG Secondary Development

Wu Yong Kang Xiaoming Liu Xiao Zhao Wansheng

(State Key Laboratory of Mechanical System and Vibration, School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

Abstract According to the structure of a shrouded turbine blisk, an electrode designing system for EDMing shrouded turbine is designed through the secondary development on the UG platform. The system consists of five modules, named electrode initial design, electrode thinning, electrode dividing, electrode base design and electrode feeding path planning. An experiment was conducted to validate the electrode design system. A shrouded turbine blisk sample is successfully EDMed by using the so-designed electrode.

Key words Shrouded blisk, Electro-discharge machining (EDM), UG secondary development, Electrode design

0 引言

涡轮盘类零件是航空航天发动机的核心部件。与传统的非整体式涡轮相比,整体涡轮盘具有简化发动机结构、高可靠性和有效抑制叶片共振等诸多优点,使其成为当今各国航空航天发动机涡轮盘类零件的发展方向^[1]。

闭式整体涡轮叶盘多为镍基高温合金及钛合金等难加工材料,加之流道弯扭而狭窄且为半封闭结构,属于典型难加工零件,采用传统的切削加工很难实现较高精度的加工。由于电火花加工具有材料适应性范围广、加工精度高及加工过程无宏观力等特点,逐步成为闭式整体涡轮叶盘的主流加工手段^[2-3]。哈尔滨工业大学、西北工业大学和上海交通大学等院校较早展开了闭式整体涡轮叶盘的电火花加工技术研究^[4-5]。

电极设计是闭式整体涡轮叶盘电火花加工中非常重要的一个环节,合理的电极设计能大幅度提高加工效率。电火花成形加工是型面“拷贝”加工,因此成形电极的设计和制作误差直接反映到涡轮盘叶片形面上,影响涡轮盘的成形精度。西北工业大学的杨振朝对闭式整体涡轮叶盘电火花加工成形电极设计和制造过程进行了探索^[2]。哈尔滨工业大学李刚对闭式整体涡轮叶盘电火花加工成形电极的设计和制造工艺进行了研究,并通过曲面编织的方法开发出一套电极设计系统^[5]。

本文结合闭式整体涡轮叶盘的结构特点,在VC++6.0上使用UG/Open API开发了一套电极设计软件,使得电极设计更加便捷。

1 闭式整体涡轮叶盘电火花加工成形电极设计特点
电极要从加工初始位置无干涉的运动到加工终

收稿日期:2010-11-29;修回日期:2011-01-11

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX04003-021)、863计划重点项目(2009AA044201)、机械系统与振动国家重点实验室自主课题资助项目(MSV-ZD-2010-03)

作者简介:吴勇,1987年出生,硕士,主要从事电火花加工CAM技术研究。E-mail:xmkang@sjtu.edu.cn

了位置,就必须有足够的运动空间,因此必须在充满流道电极的基础上缩小成形电极以获得运动空间。缩小成形电极有减厚处理和减高处理两种方法^[5]。减厚处理将涡轮盘旋转合适的角度,减小相邻叶片间中心角。旋转后的叶片与原相邻叶片之间的空间即为减厚处理得到的电极,从而使电极能得到更大的运动空间。减厚处理的原理如图1所示。

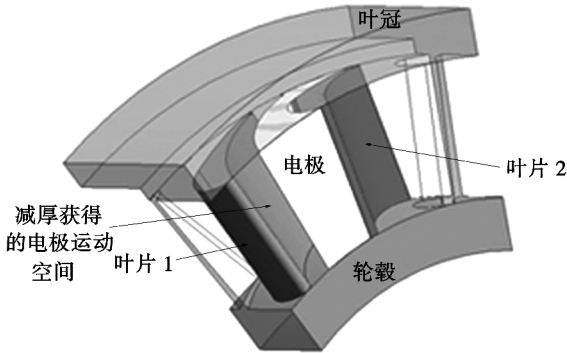


图1 电极减厚原理

Fig. 1 Principle of reducing electrode thickness

减高处理将叶冠向涡轮盘中心移动,移动后的叶冠与轮毂之间的空间即为减高处理得到的电极,从而获得更大的运动空间。减高处理的原理如图2所示。

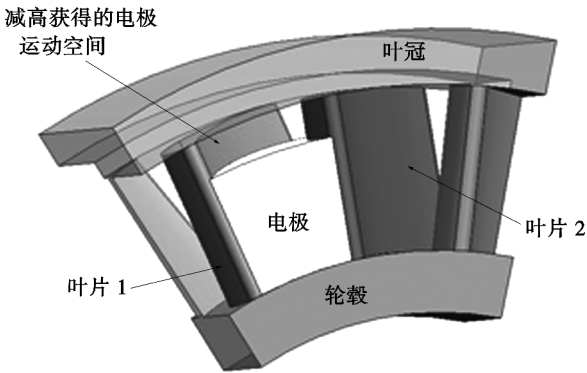


图2 电极减高原理

Fig. 2 Principle of reducing electrode height

由于减高处理会带来叶型的几何误差,因此实际应用中总是优先考虑减厚处理。当进行减厚或减高处理仍无法得到无干涉加工轨迹时,还要对电极进行剖分处理。为了避免流道中央出现“接刀痕”,剖分时要增加重合区。剖分的电极应尽量做成一体。这样不但可以减少电极的安装、找正和对刀时间,而且能够有效减小搭接台阶^[6]。因此电极进行剖分处理后,还要设计基座将电极安装到一起。

2 电极设计系统开发步骤

电极设计系统所要实现的功能是根据用户输入

的整体涡轮盘模型以及相关设计参数,自动生成用于电火花加工该涡轮盘的成形电极。根据电火花加工整体涡轮盘电极设计的特点,整个电极设计系统的开发分为电极初步设计、电极减厚处理、电极剖分处理和添加基座和安装孔、轨迹搜索五个步骤,如图3所示。

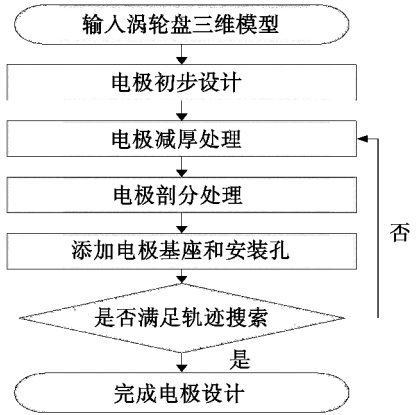


图3 电极设计系统开发步骤

Fig. 3 Flow chart of electrode design system development

2.1 电极初步设计

电极初步设计主要实现的功能是获得充满整体涡轮盘流道的原始电极模型。初步获得的电极是充满流道的,因此可以通过获取用户输入的轮毂宽度和叶冠内径创建一个圆柱体,将输入的涡轮盘三维模型与创建的圆柱体进行布尔求差操作,即可得到充满流道的原始电极模型。初步设计得到的电极模型如图4所示。

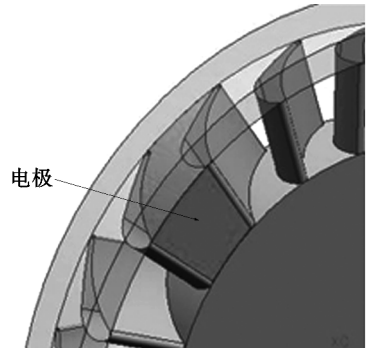


图4 初步设计得到的电极

Fig. 4 Electrode model after initial design

2.2 电极减厚处理

经初步设计后得到的电极是充满整个流道的,本电极设计系统通过采用电极减厚的方法来使电极在流道中获得运动空间。

减厚处理的设计思路如下:将充满流道的电极旋转合适角度并复制,再将旋转复制后的电极与原电极进行布尔求交操作,即得到减厚处理之后的电极。经减厚处理得到的电极如图5所示。

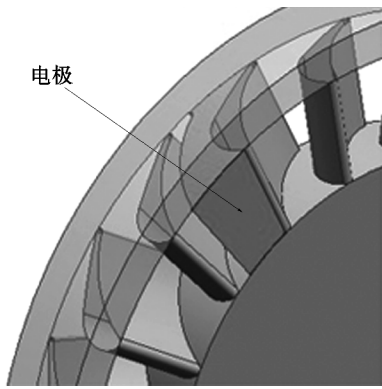


图5 电极减厚处理得到的电极

Fig. 5 Electrode model after thickness reducing

2.3 电极剖分处理

当整体涡轮盘的流道弯曲程度很大,进行减厚或减高处理仍无法得到无干涉加工轨迹时,还要对电极进行剖分处理。电极的剖分处理通常采用左、右剖分方式。此时,将使用剖分得到的两个电极分别从涡轮盘左右两边加工出流道。为了保证两个电极能够打通流道,剖分时在左、右两个电极之间设立重合区。

在进行电极剖分处理之前,要先输入剖分参考平面、剖分距离以及重合度三个参数。电极剖分平面的选取思路是:通常电极的厚度是从左往右先逐渐变小再逐渐变大,电极剖分平面选择在电极厚度最小处。

电极剖分处理设计思路如下:先根据输入的剖分参考平面、剖分距离和重合区长度将整个电极剖分为左半电极、重合区以及右半电极三部分,再将重合区分别添加到左半电极和右半电极并做布尔求加操作。经剖分处理得到的电极如图6所示。

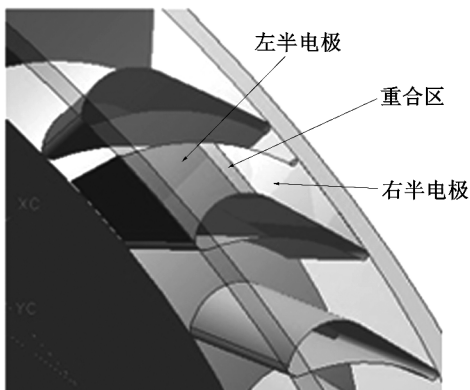


图6 电极剖分处理后得到的电极

Fig. 6 Electrode model after dividing

2.4 添加基座和安装孔

通过以上3个步骤已经得到了用于加工整体叶盘流道的左右电极。为了避免加电极装夹误差,剖分后得到的左右电极应尽可能做成一体。因此还需设计电极基座,将左右两半电极分别安装在基座两端。

为了方便电极装夹,应当设计好电极安装孔,安装孔的轴线方向和涡轮盘的轴线方向垂直相交。

电极基座和安装孔设计思路如下:先创建电极基座,分别将左右电极拉伸出一定的悬伸量,再将左右电极分别平移相应距离后与基座做求加操作。安装孔的创建需要先获取基座的中心点以及安装孔的矢量方向,再通过中心点及矢量方向创建安装孔。添加基座和安装孔得到最终设计完成的电极分别如图7所示。

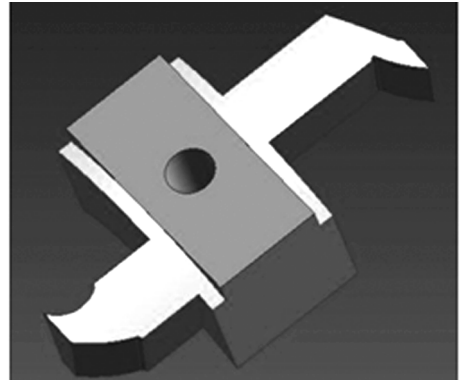


图7 设计完成的电极

Fig. 7 Final electrode model

2.5 轨迹搜索部分

电极设计和轨迹搜索的关系非常密切。如果电极的减厚度太小,亦即电极在涡轮盘流道中获得的运动空间太小,此时难以搜索出一条无干涉的电极运动轨迹;如果电极的减厚度太大,虽然此时比较容易搜索出无干涉轨迹,但此时电极太薄,电极使用寿命会急剧下降。因此针对设计出的成形电极,需要为其搜索出一条无干涉的电极运动轨迹,如果不能搜索出轨迹则需返回到电极减厚处理的步骤重新设定减厚度,生成新的电极。

在轨迹搜索中,加工起点在容许空间内是任意的,而加工终点却是唯一的。实际上,只要能电极从流体通道内无干涉的抽出,其反向运动就是可以用于加工的电极运动轨迹。定义叶盆、叶背、轮毂外圆、叶冠内圆型面与相对应的电极型面之间的最小距离分别为 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 。显然,在每个加工的位姿节点 x_i 上,要求 δ_{i1} 、 δ_{i2} 、 δ_{i3} 、 δ_{i4} 均大于0,否则电极与叶盘之间即存在干涉,实际加工中就存在过切现象。轨迹搜索过程可描述为约束优化问题,其目标函数为:

$$\text{Objfun}(X_i) = \delta_{i1}^2 + \delta_{i2}^2 + \delta_{i3}^2 + \delta_{i4}^2$$

式中, $X_i \in$ 加工有效区域^[7]。

通过求解该约束优化问题,即可得到在加工过程中各节点电极位姿。图8所示为某例中求解得到各个节点的电极位姿。电极位姿经过后置处理,即可自动生成加工涡轮盘数控代码。

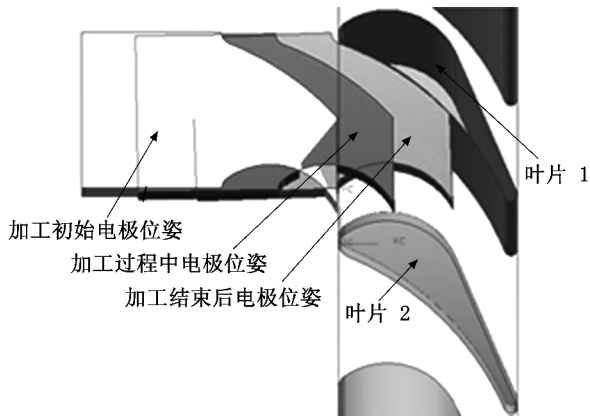


图8 电极位姿搜索范例

Fig. 8 Electrode pose search example

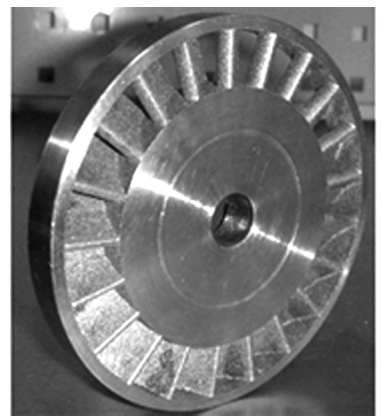


图10 闭式整体涡轮叶盘样件

Fig. 10 Shroud blisk sample made by EDM

3 实例验证

为了验证本电极设计系统的实际应用性能,对某航空发动机带叶冠整体式涡轮盘进行加工实验,具体实验步骤如下。

(1)通过输入整体涡轮盘三维造型和涡轮盘参数,利用本电极设计系统设计出电极的三维造型(图7)。

(2)根据自动生成的电极模型,使用慢走丝线切割机床加工成形电极,图9为加工完成的成形电极。

(3)加工完成的涡轮盘零件如图10所示。



图9 闭式整体涡轮盘电火花加工成形电极

Fig. 9 EDMed electrode for shroud blisk

涡轮盘加工实验在德国 Zimmer & Kreim genius 700 型六轴联动电火花加工机床上进行。检验表面,该涡轮盘的各项精度指标均达到设计要求,从而验证了该电极设计系统的正确性与实用性。

4 结论

根据带叶冠整体式涡轮盘结构特点和电极设计要求,利用 UG/OPEN API 开发出了一套电极设计系统。该系统通过电极初步设计、电极减厚处理、电极剖分处理及添加基座和安装孔以及轨迹搜索 5 个步骤实现了带叶冠整体式涡轮盘电极设计。通过该系统设计出的电极模型在慢走丝线切割机床上加工出成形电极,并在六轴联动电火花加工机床上加工出合格的涡轮盘样件,验证了该电极设计系统的正确性。

参考文献

- [1] 刘晓,康小明,赵万生. 带叶冠整体式涡轮盘的多轴联动数控电火花加工[J]. 航空制造技术,2009(2):100-102
- [2] Zhan H,Zhao W,Wang G. Manufacturing turbine blisks [J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2000, 72 (3):247-251
- [3] Zhan H,Zhao W. EDMing turbopump blisks [J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2002, 74(1):19-22
- [4] 杨振朝. 整体涡轮电火花加工工艺研究[D]. 西北工业大学,2006
- [5] 李刚,王振龙,赵万生,等. 带冠整体涡轮盘电火花加工成形电极的设计与制造[J]. 航空精密制造技术,2006, 46 (6):36-39
- [6] 李刚,王振龙,赵万生,等. 带冠整体涡轮盘电火花加工 CAD/CAM 技术[J]. 南京航空航天大学学报,2007, 39(2): 253-257
- [7] 李刚,王振龙,赵万生,等. 带冠整体涡轮盘电火花加工专用 CAD/CAM 系统开发[J]. 上海交通大学学报,2007, 41 (1):10-14

(编辑 吴坚)