

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.05.012

# 汽轮机转子三维工艺的探索研究\*

张建锋,何大江,吴娟,洪蔚蔚,邵鹏,方寅  
(杭州汽轮机股份有限公司,浙江杭州 310022)

**摘要:**针对转子二维工艺加工效率低和数控机床利用率低的缺点,对三维工艺进行了探索研究。以典型转子的加工过程为模板,建立了实际加工的机床、刀具模型和转子成品、毛坯模型,利用 EdgeCAM 和 Vericut 软件进行了数控编程、虚拟加工、程序验真及修正,最后制作了三维工艺说明书和加工视频,将原纸质工艺与三维工艺进行了对比。结果表明,转子三维工艺清晰直观地展现了转子的整个加工过程,能够指导新员工独立完成加工任务,减少其学习时间,提高转子的生产效率,降低生产成本。

**关键词:**转子;三维工艺;EdgeCAM;Vericut

**中图分类号:**TH16

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-4551(2016)05-0563-04

## Research on three-dimensional process for a rotor

ZHANG Jian-feng, HE Da-jiang, WU Juan, HONG Wei-wei, SHAO Peng, FANG Yin  
(Hangzhou Steam Turbine Co., Ltd., Hangzhou 310022, China)

**Abstract:** Aiming at the disadvantages of low efficiency and low utilization ratio of NC machine tools which are caused by 2D process, 3D process was explored for the rotor. Firstly, the typical process of rotor was used as a template, then machine tool model, cutting tool model and rotor model were set up. Next, NC programming, virtual machining, program correction were carried on by EdgeCAM and Vericut software. Finally, the 3D process specification as well as the processing video were obtained. The original paper process was compared with the 3D process. The results indicate that the latter clearly shows the whole process of the rotor, which can guide the new staff to complete his tasks and reduce the learning time. So it can greatly improve the efficiency, and reduce production costs.

**Key words:** rotor; 3D process; EdgeCAM; Vericut

## 0 引言

转子作为工业汽轮机的核心零部件,其具有造价成本高、图纸构成体系复杂、加工精度高、工序多等特点。加工转子的设备主要是车床,与绝大多数汽轮机厂一样,杭汽轮车间也基本上使用了数控车床,但使用的还是传统的二维纸质工艺(工艺卡片和零件图纸),生产加工时操作工需反复的查阅工艺卡和转子图纸;而且熟练的数控操作人员也很少,即使是 2~3 年的数控学徒,仍然需要师傅手把手带着加工转子,若是培养熟练的数控操作工却需要投入大量的人力、物力和时

间,这大大降低了转子的加工效率和数控机床的使用率。

随着计算机软件及计算机辅助技术的日趋成熟,利用三维模型表达工艺信息已是一种趋势<sup>[1-4]</sup>。三维工艺具有管理灵活、信息传递方便的特点,能以纸质工艺文件不可能提供的表达方式,更加直观地表现加工过程,缩短操作工学习时间,提高生产效率,所以进行转子三维可视化工艺项目的研究显得尤为重要。

本研究结合数控编程软件 EdgeCAM 与仿真软件 Vericut 的优势<sup>[5-9]</sup>,编写转子整个车削过程的数控程

收稿日期:2015-12-21

基金项目:浙江省科技厅优先主题重大工业资助项目(2008C01063)

作者简介:张建锋(1988-),男,浙江绍兴人,硕士研究生,主要从事工业汽轮机制造工艺及工装的设计与研究。E-mail: zhangjf@htc.cn

序,在转子进入车间实际加工前进行虚拟仿真验证,最后编写三维工艺说明书以及制作加工视频。

## 1 典型转子的工艺调研与建模

### 1.1 典型转子实际加工过程调研

本研究对 T8845 转子进行加工流程跟踪,从毛坯到最后的动平衡,跟踪时记录每道工序加工时所用到的机床型号、装夹方式、刀具(刀具名或者物号)及加工参数(转速、进给率、切削深度)等。

将跟踪信息进行汇总后,绘制出的实际加工工序图(部分图)如图 1 所示(图 1 中以序号大小来表示加工的先后顺序)。

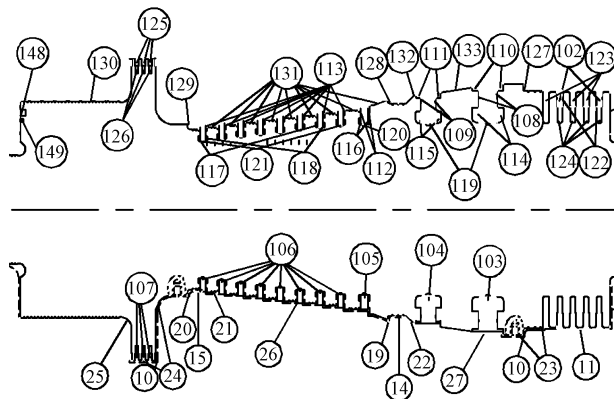


图 1 转子实际机加工流程

由于转子粗加工、热处理、热跑、探伤等过程中不涉及到数控编程,本研究截取了转子半精加工及精加工过程进行编程,并结合车间师傅的操作经验,对转子半精车(精车)过程进行了工序上的优化。

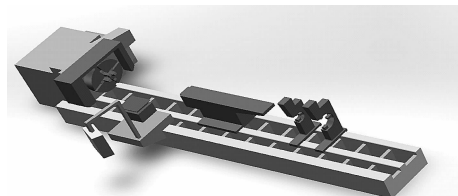
### 1.2 Solidworks 软件建模

转子精加工所用的机床是新一汽转子分部的沃伦贝克 1 400 车床,因此本研究对该车床尺寸进行实测,在确保车床及其辅件重要尺寸正确的情况下,对模型进行简化处理。加工中所用的刀具,如若有的工装物号,则在 PDM 上调出图纸,依据图纸建立车刀模型;如若无物号,例如自磨刀,则也根据实际测量的尺寸进行 1:1 建模。

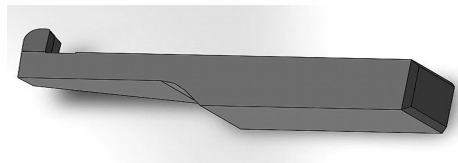
Solidworks 建立的车床、刀具 3D 模型如图 2 所示。

转子通常由 5 个轴段组成,需逐一建立各轴段,然后装配成一体。转子在半精加工前中间毛坯的处理方式是在成品尺寸的基础上,径向和轴向单边外扩 2.5 mm,即转子中间毛坯外圆和轴向尺寸单边留有 2.5 mm 的余量。

转子成品和中间毛坯的三维模型如图 3 所示。

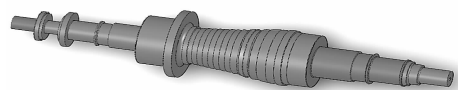


(a) 机床及其辅件模型



(b) 车刀模型

图 2 车床及车刀 3D 模型



(a) 转子毛坯模型



(b) 转子成品模型

图 3 转子毛坯与成品 3D 模型

## 2 数控编程及程序验证

### 2.1 EdgeCAM 软件数控编程

转子成品和毛坯导入 EdgeCAM 软件,经过移动调整后,使毛坯与成品同轴,并且毛坯通流段左右端面离成品通流段左右端面距离为 2.5 mm,设置成品通流右端面为加工零点。在编程前需建立刀具,实际转子加工时使用了成型刀,所以需建立非标刀具。但是由于软件的限制,不能将车刀 3D 模型整体导入,只能导入刀柄,刀片需在软件中自定义图形后通过拉伸的方式建立,然后与刀柄装配起来。笔者按如上所述的方法依次创建加工所用的 40 多把车刀。因为刀片只能按某个方向拉伸获得,本研究建立的车刀与实际加工用的车刀在刀具的一些角度上(例如前角、后角、偏角)等存在着差异。

本研究按实际加工所用刀具的顺序在 EdgeCAM 软件中建立刀具库后,开始进行数控编程。半精加工与精加工的内容包括车转子各外圆与各端面,割高、低压级叶根槽、汽封槽、平衡槽等等。编程时需要将加工顺序与图 1 所示的顺序一一对应。

机床的控制系统不同则其使用的数控程序代码也不同,目前主流的控制系統有 Siemens 和 FANUC 的,

沃伦贝克1 400 使用的是 Siemens840D 的控制系统,所以需在 EdgeCAM 后置处理器中配置 840D 的控制系统。配置后输出所有工序的数控加工代码,并按图 1 的数字代码给每段程序进行相应的编号,例如 NC 程序号为 103,即代表图 1 中 103 所对应的加工工艺内容:粗车 T 型槽中的直槽。

### 2.2 Vericut 软件程序验证

数控编程后需对程序进行验证,验证其刀路的合理性,如刀具是否选用恰当、刀具是否会与转子和机床辅件撞刀、加工后会不会产生过切及残留等。本研究将机床及其辅件导入 Vericut 中,对机床模型进行搭建并对各件设置运动属性,包括机床的床身、主轴、花盘及卡爪、刀架、尾架和中心架等。创建模型后,需要配置 Siemens840D 控制系统,导入转子成品和毛坯,设置工作坐标系,建立刀具库,载入数控程序。完成后开始进行程序验证,界面如图 4 所示。

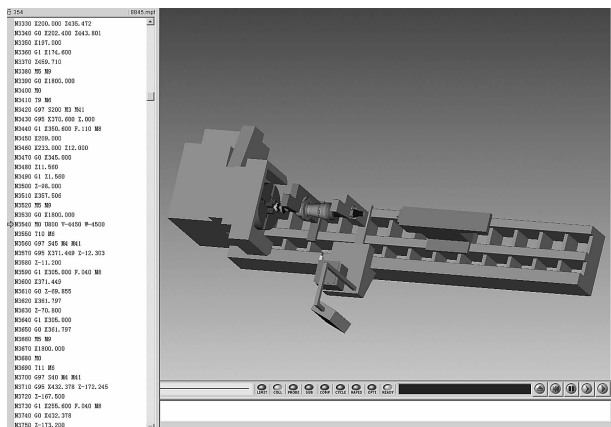


图 4 Vericut 程序仿真实验

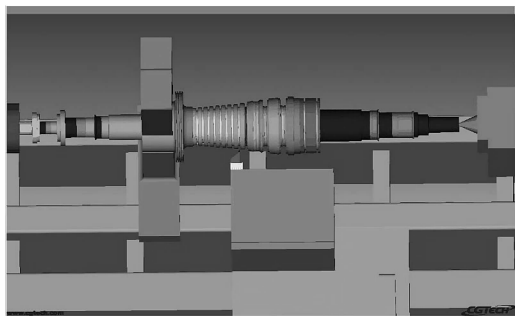
当刀具与转子或机床辅件发生碰撞时,程序会在相应的程序段报错,此时需要返回 EdgeCAM,对相应的程序进行修改,比如改变切削位置、进刀点、退刀点等等,直到 Vericut 仿真实验时不产生错误。完成虚拟加工后需要对车削加工后的转子与原转子成品进行分析,Vericut 软件提供了自动比较的功能,可以将仿真加工后的模型与设计模型叠加在一起进行精确的比较,检查零件加工中存在的过切和残留,并生成超差的报告。根据报告中超差的位置,仍然需要返回 EdgeCAM 对相应位置的程序进行修改,直至不存在超差。

## 3 三维工艺说明书编写

本研究完成上述工作后,将所有资料进行整理,最后编制出一份 T8845 转子加工指导说明书。说明书中详细说明了转子在沃伦贝克 1 400 车床上需要加工的工序,并给出了转子加工的顺序和对应的程序、车刀的选用及使用次序、车刀如何装夹及对刀点、中心架及尾架的使用时间点等等,详细内容可见 Word 版的三维工艺说明书,三维加工步骤可观看对应的车削视频,说明书(部分)和视频如图 5 所示。

程序段号	车间名称	程序段名称	加工内容	
101	二汽	精车基准	精车通流段右端轴肩及径向基准	
转速/进给速度	切深	进给	刀具(物号)	对刀点
200rpm	0.3	0.11	左磨刀(无)	C
备注: 转子正转, 刀刃朝上装夹, 在下一道工序前移出尾架, 加入两个 C 型中心架, 并搭中心架在平衡				
程序段号	车间名称	程序段名称	加工内容	
102	二汽	粗磨直槽	粗磨通流右端 8.9 叉形槽(上半)	
转速/进给速度	切深	进给	刀具(物号)	对刀点
45rpm	20	0.04	7.0R 直槽刀(9-8334-0640-42)	D
备注: 转子反转, 刀刃朝下装夹。				
程序段号	车间名称	程序段名称	加工内容	
103-104	二汽	粗磨直槽	粗磨 T 型槽 192、191 直槽	
转速/进给速度	切深	进给	刀具(物号)	对刀点
40rpm	46.8&37.5	0.04	11.4 直槽刀(9-8334-0640-22)	E
备注: 转子反转, 刀刃朝下装夹, 在下一道工序前移出后轴颈处中心架, 保留平衡活塞处中心架, 并移				

(a) 三维工艺说明书



(b) 三维工艺加工视频截图

图 5 三维工艺说明书及视频

## 4 结束语

本研究以典型转子 T8845 为例,结合工艺设计人员的经验与车间实际加工信息,利用三维模拟软件 Edgcam、Vericut 的优势,在转子实际加工前进行数控

(下转第 578 页)

### 本文引用格式:

张建锋,何大江,吴娟,等. 汽轮机转子三维工艺的探索研究[J]. 机电工程,2016,33(5):563-565,578.

ZHANG Jian-feng, HE Da-jiang, WU Juan, et al. Research on three-dimensional process for a rotor[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(5):563-565,578.