

MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀设计

孙汉文,周来水,卫炜

(南京航空航天大学,江苏 南京 210016)

摘要:涡轮盘是航空发动机的重要零部件之一,通常采用拉刀拉削加工涡轮盘榫槽部位。传统的拉刀设计方法是根据设计与工艺需求采用绘制二维工程图图样的方法,这种方法设计周期长,且不易更改。为此提出了 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀设计方法,通过构建涡轮盘的 MBD 拉削工艺模型和涡轮盘榫槽拉刀模型模板,提取出涡轮盘 MBD 拉削工艺模型中的参数并将其与涡轮盘榫槽拉刀模型模板相关联,驱动涡轮盘榫槽拉刀模板生成相应的拉削刀具,从而实现 MBD 工艺模型驱动的航空发动机涡轮盘榫槽拉刀设计,缩短了设计周期,提高了设计效率。

关键词:航空发动机;MBD 工艺模型;榫槽拉刀;拉削工艺;模型驱动

中图分类号:V263 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)04-0042-04

Design of Aero-engine Mortise Broaches Driven By MBD Process Model

SUN Hanwen, ZHOU Laishui, WEI wei

(Nanjing University of Aeronautics And Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The turbine disk is one of the important parts of the aero-engine. Mortise broach is usually made by broaching process. In the traditional broach design method, according to two-dimensional drawing and designing and process requirements, the parts are made. If this method is used, the design cycle is longer and it is not easy to change it. So, the design method of aero-engine mortise broaches driven by MBD process model is proposed in this paper. The MBD broaching technological model of the turbine disc and the template model of the turbine disc tenoning broach model are constructed, then the parameters in the MBD broaching process model of the turbine disc are extracted, which are associated with the turntable tongue-and-groove broach model template and used to drive the turntable tongue and groove broach template to generate the corresponding broaching tool so as to realize the MBD technology model-driven aeroengine turntable tongue and groove broach design, thus shortening the tongue and groove broach design cycle and improving the tenon broach design efficiency.

Keywords: aero-engine; MBD process model; mortise broach; broaching process; model-driven

0 引言

涡轮盘是航空发动机的主要零件之一,由于涡轮是在高温和高速下工作的,涡轮盘受到由叶片产生的很大的离心力作用,因此对涡轮盘与叶片之间的联接提出了严格的要求。在航空发动机的结构中,涡轮盘(图 1a)与叶片(图 1b))之间普遍采用枞树形榫槽型面的联接方式。

榫槽拉刀的设计制造技术是生产加工航空发动机涡轮盘高精度榫槽型面的核心技术之一。榫槽拉刀是一种高精度、高效率的拉刀,现已广泛应用于航空发动机的生产加工中。由于榫槽拉刀结构复杂,完成拉削工艺的一整套榫槽拉刀往往由多把刀组成(统称系列拉刀),各把刀之间有着复杂的尺寸关联,需要考虑的参数众多,设计计算量大^[1]。传统设计方法是根据经验进行设计计算,容易出错,特别当拉削目标发生改变时,需要对系列拉刀全部重新设计。由于是重复设计,导致设计周期长、设计效率低。

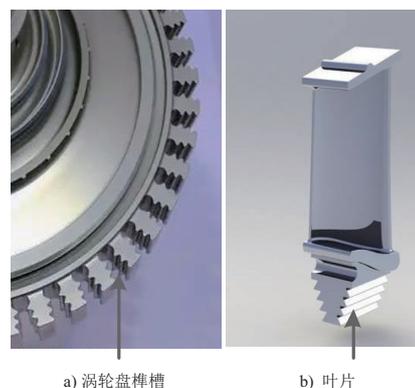


图 1 涡轮盘榫槽与叶片联接方式

目前已有针对涡轮盘榫槽拉刀的快速设计研究。例如高翔研究的航空发动机涡轮盘榫槽拉刀快速设计方法,通过绘制涡轮盘榫槽排刀草图,并将草图中的参数输入涡轮盘榫槽拉刀参数化设计模型模板中,驱动生成相应的榫槽拉刀,从而实现快速设计的目的^[2]。但是由于涡轮盘

榫槽排刀草图绘制复杂、极易出错且包含的榫槽拉刀设计信息不够完整,使得整个拉刀设计周期较长且刀具设计不能够完全符合要求。因此本文提出了 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀设计方法,通过这种设计方法,构建涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型和涡轮盘榫槽拉刀模板,通过提取出榫槽 MBD 拉削工艺模型中的参数并将其与榫槽拉刀模板相关联,驱动榫槽拉刀模板生成相应的拉刀,各把拉刀组合起来形成系列拉刀,从而实现 MBD 工艺模型驱动的航空发动机涡轮盘榫槽拉刀设计,缩短了设计周期,提高了设计效率。

1 航空发动机涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型的定义

涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型是将涡轮盘 MBD 设计模型、MBD 工序模型和工艺属性 3 部分有效集成起来的集成体,它既包含了定义涡轮盘功能的最终几何信息(图形信息)和设计工艺信息(材料、尺寸、表面精度和热处理要求等),又包含了涡轮盘榫槽加工过程中各加工阶段工序的加工工艺信息(如工序尺寸、几何公差、精度要求、加工要求等)和工艺属性(零件的工艺规划和工艺设计信息)^[3-4],如图 2 所示。

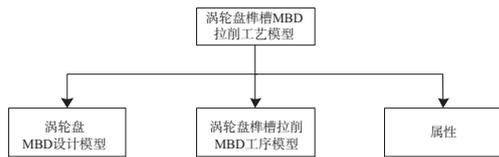


图 2 MBD 工艺模型组成

1.1 涡轮盘 MBD 设计模型

运用 UG 的 PMI 功能,对已有的涡轮盘三维模型进行标注,包括材料、尺寸、公差、表面粗糙度等设计参数。由于 MBD 模型所包含的信息极为庞大,本文所建立的 MBD 模型仅将后续工艺加工等所需要的信息进行标注,对参数进行规范化定义,并且与 UG 表达式进行关联。如图 3 所示,是对航空发动机涡轮盘三维模型进行的 PMI 标注,图中左边列表中包含了拉削工艺所必需的 PMI 信息。

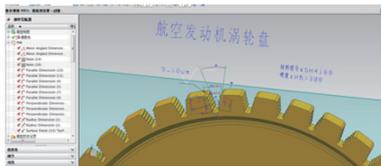


图 3 UG 的 PMI 标注

1.2 涡轮盘榫槽 MBD 拉削工序模型

涡轮盘榫槽 MBD 拉削工序模型是描述涡轮盘从毛坯模型到最终设计模型的中间状态。通过涡轮盘 MBD 设计模型所包含的产品功能定义的尺寸等信息,依据现有的工艺知识库和制造资源库,对涡轮盘进行加工工艺的设计,根据每一道工序的加工特征和加工要求创建出工序模型。

由于 MBD 工序模型是以 MBD 设计模型的设计意图和工艺信息指导下建立起来的,一般而言,可将设计几何模型作为最后一道不含加工信息的工序模型^[5]。图 4 是涡轮盘榫槽拉削工艺中的一道三维工序模型,并对其进行了三维标注。

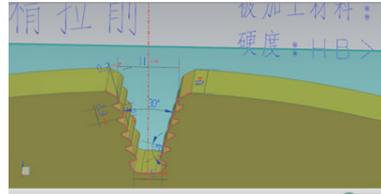


图 4 MBD 工序间模型

2 参数化设计模型的建立

参数化设计又叫尺寸驱动,是指在设计目标整体差异不大的情况下,可以用一系列表达式和约束来限定其草图关系的设计方法^[6]。涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型驱动的榫槽拉刀设计是以榫槽 MBD 拉削工艺模型为驱动,以榫槽拉刀为驱动目标,因此需要建立榫槽 MBD 拉削工艺模型和榫槽拉刀模板。

2.1 涡轮盘榫槽拉削工艺模型的建立

建立涡轮盘榫槽拉削工艺模型核心思路是针对涡轮盘榫槽拉削工艺过程进行建模,以工序为基本单元进行设计,通过建立三维模型几何信息与工序参数化描述之间的关联关系以及三维标注等来表达。

通过研究涡轮盘榫槽拉削加工工艺要求,确定拉削方案,包括加工顺序、加工余量等。本文中拉削工艺路线根据企业要求,规划为如图 5 所示的几道工序,其中开槽工序一般分多次进行。针对涡轮盘榫槽拉削加工的各个工序,建立对应的三维工序模型,通过标注、注释等使之成为 MBD 工序模型。



图 5 航空发动机涡轮盘榫槽拉削工序

由于涡轮盘榫槽拉削加工工序复杂,且每相邻两道工序模型之间都是相互关联的,因此本文在创建工序模型时采用 UG 的 wave 技术实现的:在进行工序模型设计时,将 wave 模式选中,工序模型之间就可以根据结构变化同步前、后工序对应的点、线、面或体等几何要素,即当其中一道工序模型发生变化时,其相关的工序可自动进行更新,无须再进行手动更改,减少了人为干预因素,如图 6 所示。

2.2 涡轮盘榫槽拉刀模板的建立

对于涡轮盘榫槽拉刀模板来说,其驱动参数众多且参数间的关系复杂,因此需要对这些参数进行整理,建立榫槽拉刀设计过程中所需主参数和辅助参数间的关系。通过建立涡轮盘榫槽拉刀模板中驱动参数间的关联,使驱动

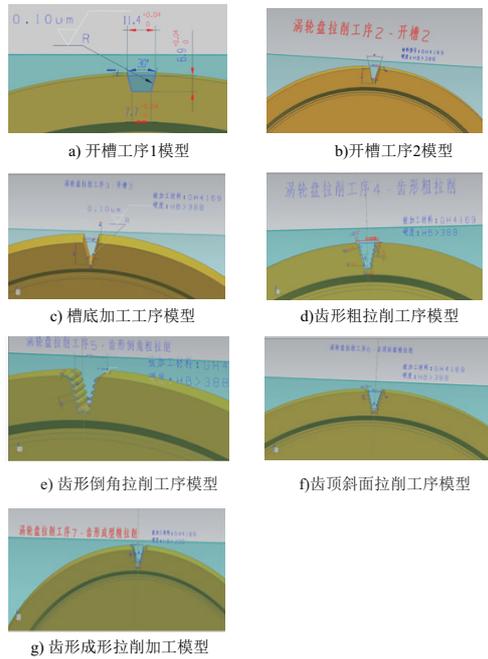


图6 涡轮盘榫槽拉削工序模型

参数发生变化时,能够实现其在榫槽拉刀模板中的正确传递。总结归纳出的榫槽拉刀设计主参数如下:

加工余量 Δ :在齿升量一定的情况下,加工余量越大,该把拉刀所需的拉削齿数越多;若加工余量选择较小,则在拉削过程中刀具不能消除之前拉削留下的痕迹,降低了待加工零部件的表面质量。因此,加工余量应根据零部件情况选择合适的值。

容屑系数 K :

$$K \leq \frac{\pi \cdot r^2}{L \cdot S_z}$$

其中: L 表示拉削长度,即涡轮盘厚度(mm); S_z 表示加工齿升量(mm); r 表示刀齿间容屑槽槽底半径(mm)。

基本齿形设计参数,如图7所示,设计公式为:

$$h_0 = 1.13 \sqrt{L \cdot S_z \cdot K}$$

涡轮盘榫槽MBD拉削工艺模型

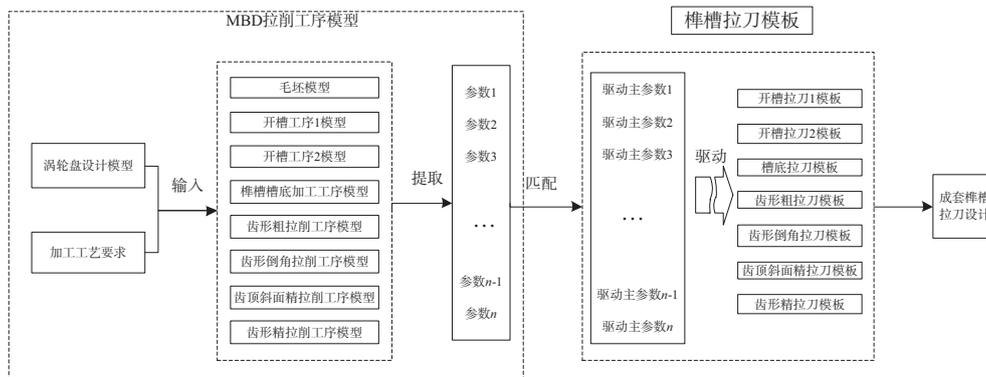


图9 模型参数提取与匹配机制

当设计人员提取出涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型中的参数信息后,将其与每道工序对应的榫槽拉刀模型模板驱动

$$r = \sqrt{\frac{L \cdot S_z \cdot K}{\pi}}$$

$$t = 2.75 h_0$$

其中: t 表示容屑槽齿距(mm); h_0 表示槽深(mm)。

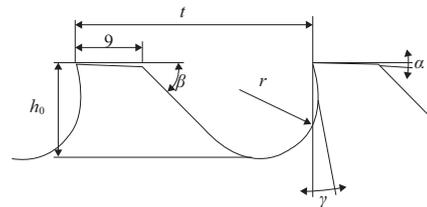


图7 基本齿形图

通过上述方法,建立涡轮盘榫槽拉刀设计模型,图8为不同视角的涡轮盘榫槽拉刀模型模板之一。

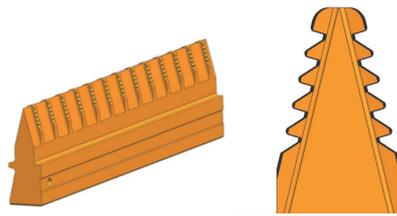


图8 涡轮盘榫槽拉刀模型模板

3 参数的关联和模型驱动

参数的关联和驱动是指为实现以 MBD 工艺模型为驱动的涡轮盘榫槽拉刀的设计,通过航空发动机涡轮盘设计模型的信息和榫槽拉削工艺要求,建立涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型,提取 MBD 工艺模型中的参数信息,将这些参数信息与涡轮盘榫槽拉刀设计模型模板的驱动参数相关联,驱动拉刀的参数化设计模型模板,最终完成系列拉刀的设计。因此,本文研究了 MBD 模型信息的提取方法与参数之间关联关系建立的方法^[7]。图9所示为本文所研究的工序模型参数提取与匹配机制。

主参数相关联匹配,然后通过驱动主参数计算榫槽拉刀的其余设计参数,最后更新榫槽拉刀模型模板,生成每道拉削工序

对应的榫槽拉刀,完成成套涡轮盘榫槽拉刀的设计。

4 算例验证

采用本文方法,基于 VS2008 和 Teamcenter 平台采用面向对象的模块化编程技术对 UG 进行二次开发,开发出 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀设计系统。图 10 所示为系统运行生成系列拉刀中的一把拉刀算例,设计人员通过 Teamcenter 打开涡轮盘三维设计模型,然后运行涡轮盘榫槽拉刀设计系统,根据涡轮盘三维设计模型上的参数以及涡轮盘榫槽拉削加工工艺要求,建立榫槽 MBD 拉削工艺模型,并以此驱动涡轮盘榫槽拉刀设计模板并生成相应的拉削刀具。通过实例证明,本文所提出的 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀设计方法是可行的。

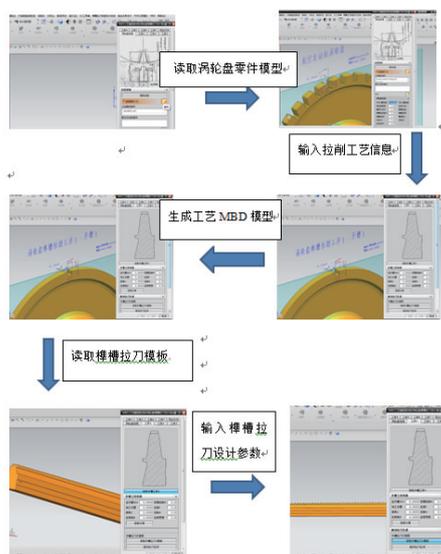


图 10 系统运行算例

5 结语

本文在研究 MBD 技术和模型驱动方法的基础上,提出了一种 MBD 工艺模型驱动的涡轮盘榫槽拉刀的三维参数化设计方法,通过建立涡轮盘榫槽 MBD 拉削工艺模型,并以此驱动涡轮盘榫槽拉刀模板生成相应的涡轮盘榫槽拉刀,实现了航空发动机涡轮盘榫槽拉刀的快速设计。相比于传统的设计方法,本文提出的方法使用集成化的三维数字化实体模型表达了完整的涡轮盘榫槽拉削工艺定义信息,不再需要生成和维护二维工程图样,实现了涡轮盘模型设计与榫槽三维加工工艺的集成,缩短了榫槽拉刀的设计周期,提高了设计效率。

参考文献:

- [1] 航空工艺装备设计手册编写组. 航空工艺装备设计手册 [M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [2] 高翔,周末水,赵西松,等. 航空发动机榫槽拉刀快速设计系统研究与开发.[J]. 机械制造与自动化,2017,46(4):36-39.
- [3] 田富君,田锡天,耿俊浩,等. 基于模型定义的工艺信息建模及应用[J]. 计算机集成制造系统,2012(5):19-25.
- [4] 刘睿,段桂江. MBD 技术发展及在航空制造领域的应用[J]. 航空制造技术,2016,59(5):93-98.
- [5] 张莎莎,张定华,陈冰,等. 工艺主模型驱动的同构零件工装快速设计方法[J]. 机械科学与技术,2009,28(2):246-249.
- [6] Li Guidong, Zhou Laishui, An Luling, et al. A system for supporting rapid assembly modeling of mechanical products via components with typical assembly features [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010,46: 785-800.
- [7] 潘青. 面向飞机数字化装配的 MBD 模型装配信息提取技术 [J]. 航空制造技术,2015(3):34-37.

收稿日期:2017-12-25