

基于特征映射的涡轮导向叶片精铸模型自动转换研究

Research on Feature Mapping-Based Automatic Conversion of Investment Casting Die for Turbine Guide Vane

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 李兴海 汪文虎 蒋睿嵩

[摘要] 通过对涡轮导向叶片及其精铸模型结构特点的分析,以特征映射理论为依据,提取其结构特征、特征内部的约束关系和构成特征的几何元素,将叶片的内外零件模型添加加工余量、工艺附件、收缩率后得到精铸模具设计和制造所需要的模具型腔体模型,从而完成了精铸模具设计各模型间的自动转换,大大缩短了精铸模具的设计周期,具有重要的理论和实践应用价值。

关键词: 导向叶片 特征映射 模型转换 精铸模具

[ABSTRACT] Based on the analysis on the turbine guide vane and the structure characteristic of investment model and the theory of feature mapping, the structure feature, the restriction relationship of inner feature and the geometrical element composing feature are distilled. The die cavity model for the investment casting die design and manufacturing is obtained by adding machining allowance, technical accessories and ratio of shrinkage into inside and outside part model of guide vane. And then the automatic conversion among models of the investment casting die design is realized. This method shortens the design cycle of the investment casting die and has the important value in theory and practical application.

Keywords: Guide vane Feature mapping Model conversion Investment casting die

涡轮导向叶片作为航空发动机的重要零部件之一,其制造精度对发动机性能的影响很大。为使叶片能承受更高的温度,现代航空发动机普遍采用全新的空心结构设计和超高温耐热合金材料,结构的改进导致叶片具有复杂的内腔和外形,这就导致了叶片加工的困难。目前,涡轮导向叶片的制造主要采用无余量熔模精密铸造辅以机械加工的方式进行^[1],其中精铸模具的设计质量是叶片制造合格率的最重要影响因素之一,而内外形模具设计前叶片模型间的转换又是整个模具设计的基础和精度保证的关键。传统的涡轮精铸模具设计过程中

复杂的工艺需要设计人员具备扎实的理论基础及丰富的经验知识,在很大程度上依赖于模具设计人员的干预,极大影响了模具的设计速度和质量。

本课题在精铸模型转换过程中运用特征映射理论将专家经验知识化、理论化、系统化,使用户能更加方便、快捷地完成精铸模型的转换,并对后续的叶片精铸模型转换系统的开发提供了坚实的理论基础。

1 特征及其映射理论

目前,特征还没有一个统一的严格完整的定义。一般来说,特征可分为形状特征和面向过程的特征^[2]。本文所讲的特征指形状特征,形状特征描述零件几何形状和拓扑关系的信息。形状特征具有下列性质:(1)是零件表面的一部分;(2)这部分表面同时是一个基本形体的表面的一部分;(3)具有一定的工程意义;(4)应用域不同,特征的形式和内涵可以发生相应的变化,并且可以在不同的应用域间自由传递和转换,可以与一定的形状存在映射关系^[3]。

特征映射是以特征具有的多视域特性为前提存在的。不同视域间的特征既有区别又有联系,特征在不同视域间的转换过程被称为特征映射^[4]。从宏观上来看,映射分为2类,一类是全局信息特征与应用域特征之间的映射,一类是不同应用特征域之间的映射。但是从根本上来说,所有的映射都是基于特征层上的映射过程,即处于不同域的特征之间具有某种函数关系。

2 导向叶片精铸模型递增转换设计流程及特征组成

2.1 导向叶片精铸模型递增转换设计流程

涡轮导向叶片内外形精铸模型的设计过程主要涉及4个状态模型:零件模型、铸件毛坯模型、铸件工艺模型、型腔体模型。

(1)零件模型:空心的导向叶片零件模型分为外形零件模型和内芯模型。外形零件模型和内芯模型经过布尔差运算得到空心的导向叶片零件模型。

(2) 铸件毛坯模型:铸件毛坯的形成是根据导向叶片零件图和铸造工艺方案来确定的,根据加工部位的要求,添加加工余量。

(3) 铸件工艺模型:对于空心的导向叶片,为了方便其铸件陶芯的定位和满足工艺性要求,在其叶尖、叶根、及排气边等处添加相应的加长芯头,以及在叶尖加长芯头上切出楔形芯头,以获得铸件内芯(陶芯)工艺模型,对于设计好的铸件毛坯外形模型,在与其内形工艺芯头匹配的基础上,添加局部工艺元素获得铸件外形工艺模型。

(4) 型腔体模型:型腔体模型设计的主要工作体现在模具型腔体放形上,放形精度决定了叶片非机械加工部分的精度和铸件的成品率。近年来,铸造过程仿真技术的不断发展和精铸位移场理论的不断深入,极大地提高了型腔的设计精度^[5]。

本文的导向叶片精铸模型转换即:从导向叶片内外外形零件模型开始,通过对相应结构添加加工余量得到导向叶片内外铸件毛坯模型;分别以内外铸件毛坯模型为基础,通过对后续设计、制造所需工艺元素的添加获得导向叶片铸件内外工艺模型;对叶片铸件内外形工艺模型进行收缩放型,即得到了叶片内外型腔体模型。导向叶片精铸模型递增转换的设计流程如图1所示。

2.2 导向叶片精铸模型的特征组成

本研究采用3层结构即零件层、特征层、几何层表达特征信息,以便提取不同层次的特征信息。特征信息3层表达如图2所示。本研究只涉及特征层的父特征、子特征,以及几何层的曲面、实体、线框元素。

导向叶片零件模型的特征构成是模型信息转换的

基础。每个叶片结构特征又可以分解成某个或某些几何元素。导向叶片外形零件模型特征分析如图3所示,而其余模型的特征组成表示方法与此类似。

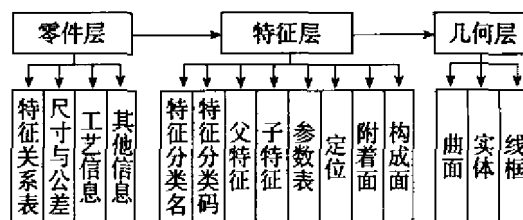


图2 特征信息3层表达

Fig.2 Expression of three-layer about feature information

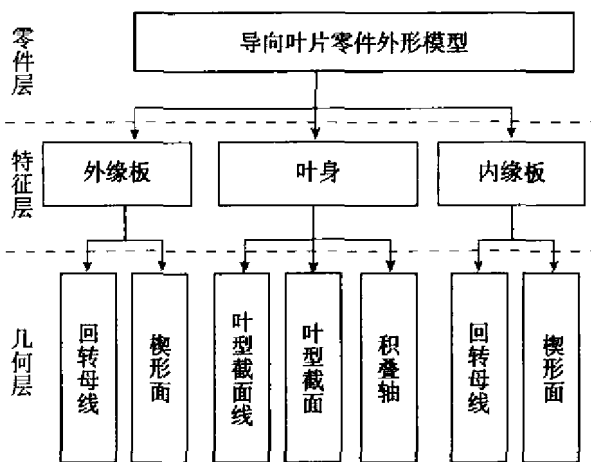


图3 导向叶片外形零件模型特征分析

Fig.3 Feature analysis of exterior part model of guide vane

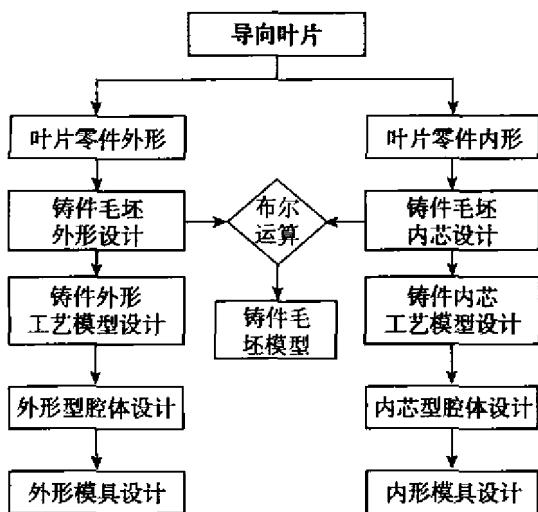


图1 设计流程

Fig.1 Process of design

3 基于特征映射的导向叶片精铸模型递增转换

3.1 导向叶片精铸模型递增转换中的特征映射原理

零件由特征构成,特征由各种曲面、实体、线框等几何元素按照一定的操作规则获得^[6]。几何元素提供给特征模型几何、拓扑信息,它是特征模型存在的基础。因此修改特征可以通过修改或添加特征的几何元素的操作规则来实现。

以导向叶片铸件毛坯外形模型为例,它是由外形零件模型添加缘板上下四周的余量而来的,而导向叶片缘板体是由缘板母线围绕发动机回转轴形成的,缘板母线又由一系列的直线、圆弧、样条线组成,如图4所示。故而缘板上下余量特征的添加可以归结为对缘板上相应母线集的操作。同理,对缘板楔形面余量的添加则可以归结为对楔形面的操作。由此可见模型间的转换可分

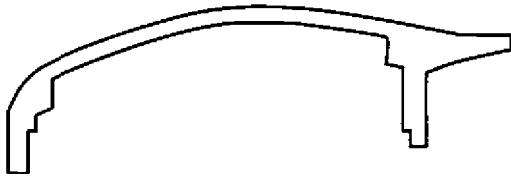


图4 内缘板回转母线

Fig.4 Gyration generatrix of inner listrium

解为特征间的操作,特征间的操作可分解为对几何元素的相应操作。

3.2 导向叶片精铸模型递增转换中的特征映射描述

将导向叶片外形模型 C 分解为几何特征 F_i ($i=1, 2, \dots, n$) 的集合,将几何特征 F 分解为特征类型(Type)、特征草图/特征型面(Sketch)、方向(Direction) (方向因特征类型的不同而有着不同的含义)、特征在其方向上的

尺寸范围(Length)、与其它特征的布尔运算类型(Boolean)等5类信息,如表1所示。

$$C = \bigcup_{i=1}^n F_i, \quad (1)$$

$$F = \{T, S, D, L, B\}, \quad (2)$$

式中, F_i 为导向叶片外形模型上的第 i 个几何特征, T 为特征类型, S 为特征草图, D 为特征方向, L 为尺寸范围, B 为特征的布尔运算类型。同理,将导向叶片内芯模型 E 也分解成几何特征 F'_j ($j=1, 2, \dots, m$) 的集合,集合特征与 F 一样也包含5类信息,即:

$$E = \bigcup_{j=1}^m F'_j, \quad (3)$$

$$F' = \{T', S', D', L', B'\}. \quad (4)$$

表1 导向叶片外形几何特征

特征	特征类型	草图投影	特征草图/特征型面	特征方向	高度范围	布尔运算类型
外缘板	回转体	XOY平面	回转母线	(1,0,0,0,0)	360/n	布尔和
叶身	积叠体	各个叶身截面	叶型截面线	积叠轴方向	视叶片具体情况而定	布尔和
内缘板	回转体	XOY平面	回转母线	(1,0,0,0,0)	360/n	布尔和

注: n 为整体涡轮静子上叶片的总数。

3.3 导向叶片精铸模型递增转换

从导向叶片零件外形模型 C 到导向叶片铸件毛坯外形模型 P_0 的映射可转化为外形模型特征 F_i 的映射,并最终转化为特征分类信息的映射,即:

$$P_0 = V_0(C), \quad (5)$$

其中, V_0 为从导向叶片外形模型 C 到导向叶片铸件毛坯外形模型 P_0 的映射。将式(1)、(2)式代入(5)式后得:

$$P_0 = V_0\left(\bigcup_{i=1}^n F_i\right) = \bigcup_{i=1}^n \{V_0(T_i), V_0(S_i), V_0(D_i), V_0(L_i), V_0(B_i)\}. \quad (6)$$

通过特征信息之间的映射和专家经验知识,先将导向叶片外形模型和内芯模型分别分解为几何特征,然后将模型转换中特征间的操作转化为几何元素的操作,再将几何元素间的操作转化成相应的算法及程序,就可实现精铸模型的自动转换。

铸件毛坯内芯模型与零件内芯一致,所以不需要映射。毛坯内芯模型转换成相应的铸件内芯工艺模型以及铸件毛坯外形模型转换成相应的铸件外形工艺模型的原理与此类似,而在导向叶片铸件工艺模型向型腔体

模型递增转换过程中,只需要考虑模型的放缩问题,对特征草图/特征型面的大小和高度范围进行映射即可。

4 试例验证

精净成型的涡轮导向叶片毛坯必须保证叶身和上下缘板流道面的精度,在零件模型的基础上,对叶片的缘板四周添加机械加工余量,即得到铸件毛坯模型。

缘板的特征草图为回转母线,故而缘板余量的添加可归结为对相应回转母线集的操作。其添加规则如下:

- (1)提取相应的缘板回转母线集,以待添加余量值偏置该组母线;
- (2)判断偏置结果是否符合要求;
- (3)连接偏置母线和提取的缘板母线组,形成封闭线框;
- (4)将线框围绕旋转轴(1,0,0,0,0)旋转,旋转角度为(-15°~15°)即得到缘板上下余量。

此时的缘板余量与缘板楔形面不平齐,在后续的缘板楔形面余量添加过程中将被切去过长部分。

把缘板余量添加规则依据特征映射原理转化为相

(下转第97页)



图6 丙酮对水溶性芯模的作用

Fig.6 The infusibility between the water soluble core and acetone

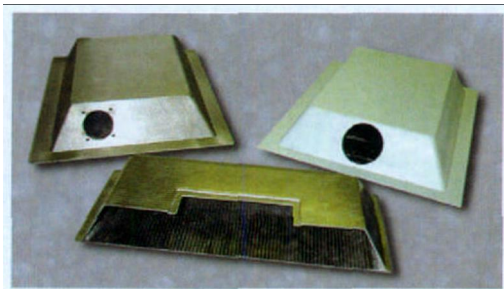


图7 整体化中空复合材料结构

Fig.7 A-shape hollow-structure beam of unitary aerospace composite part



图8 采用水溶性芯模材料制备的复合材料帽形材

Fig.8 Hollow-structure composite beam prepared by water soluble core

3 结论

(1) 采用自制粘结剂体系,基于水基凝胶技术,制备出了具有室温固化、良好耐温性($\geq 350^{\circ}\text{C}$)以及与树脂相容性良好的用于复合材料制造的水溶性芯模材料。

(2) 水溶性芯模材料的体积密度、热膨胀系数等物理参数具有可设计性,耐压强度可以达到 10MPa 以上。

(3) 采用水溶性芯模材料实现了中空大尺寸复合材料制件的整体化制造,为航空复杂构件的整体化制造提供了一条简便易行、安全可靠的设计思路。

参 考 文 献

- [1] 严瑞瑄. 水溶性高分子材料. 北京:北京化工出版社, 1998.
- [2] 吴金章,宣银华. PEG 可溶芯在熔模精铸中的应用. 宇航材料工艺,1997,27 (1): 60.
- [3] 杜志龙,邱桂斌. 新型水溶芯的研制. 塑料工业,2004, 32 (11): 55.
- [4] 马洪芳,刘志宝. 金属注射成型用水溶性胶粘剂的研究. 化学与粘合,2003,39 (5): 228.
- [5] 魏方正. 新型水溶性芯模材料的研制. 粘结,2007,28 (2): 3.
- [6] Vaidyanathan R. Water soluble tooling materials for complex polymer composites components and honeycombs. Sampe Journal, 2003, 39 (1): 22.
- [7] Ma Li. Water dispersible core technology for the manufacturing of hollow-structure parts. Sampe Journal, 2007, 43 (5): 24-33.
- [8] 益小苏,王岭,全建峰. 一种水溶性模芯的制备方法:中国,200710306024. X[P]. 2007-12-29. (责编 玉龙)

.....
(上接第 93 页)

应算法和程序后就可完成铸件毛坯模型中缘板余量的添加,同理,随着其他特征间的映射和转化,就可完成涡轮导向叶片精铸模型的转换和设计。

5 结束语

本课题针对叶片模型转换困难、可修改性差、零件的设计模型可重用性或部分可重用性难以实现的问题,将特征映射理论应用于导向叶片模型递增转换中,将模型间的转换分解为特征间的操作,将特征间的操作分解为对几何元素的相应操作,从而实现了导向叶片精铸模型的自动转换,提高了精铸模型的设计效率,减少了人为出错率,具有一定理论及工程实践价值。

参 考 文 献

- [1] 汪文虎,隗英昌,张琳,等. 基于知识推理的导向器类零件精铸模具单元体智能切分. 铸造,2006 (11): 1152-1154.
- [2] 张跃宏,沈金良. CAD 应用中基于特征的参数化设计. 交通与计算机,2003 (3): 51-53.
- [3] 吴卓,李田田. 基于 UG 的特征映射器的开发. 机械制造,2007 (3): 38-40.
- [4] 唐耀红,王凤歧,郭伟,等. 夹具设计中的特征映射及其应用. 组合机床与自动化加工技术,2007 (7): 25-27.
- [5] 王继锋,卜昆,张丹. 基于位移场的涡轮叶片模具型腔优化设计. 航空制造技术,2006 (10): 73-75.
- [6] 常凤海. 并行工程环境下铁路货车铸钢件模具的三维设计. 中国铸造装备与技术,2001 (6): 56-58. (责编 卞卫)