

面向增材制造的直齿面齿轮模具结构设计方法

杨峰林,白瑀,黄亮,王永明,张浩,周源

西安工业大学

摘要: 针对复杂异型曲面零件加工难的问题,提出了利用增材制造直齿面齿轮母模的方法,该方法的创新性在于解决了传统加工周期长和精度低的问题。与传统方法相比,该方法具有加工快精度高、周期短等优点,通过试验验证其能达到精度要求。

关键词: 直齿面齿轮;齿面模型;熔模铸造;增材制造

中图分类号: TG61;TH132.41

文献标志码: A

Design Method of Spur Face Gear Mold Structure by Additive Manufacturing

Yang Fenglin, Bai Yu, Huang Liang, Wang Yongming, Zhang Hao, Zhou Yuan

Abstract: Aiming at the difficulties of processing complicated surface parts, this paper proposes using additional material manufacturing method of spur face gear mold base master pattern. The innovation of this method is to solve the problem of traditional long processing cycle and low accuracy. Compared with the traditional method, the new method has the fast processing, high precision, short period and other advantage. It meets the requirement of accuracy can be verified by experiments.

Keywords: spur face gear; tooth surface model; additional material manufacturing; investment casting

1 引言

熔模铸造是一种近净成形^[1]的增材制造^[2]技术,是通过对模具的尺寸精度、表面粗糙度进行拷贝从而实现了对制件的精密铸造,该技术可以实现对复杂模具的快速化精密生产。对于熔模铸造直齿面齿轮来说需要采用相应的铸造模具,而如何得到复杂模具是熔模铸造的关键问题。近年来随着快速成型技术的不断发展,出现了将快速成型技术应用于模具制造领域的新技术,即快速制造模具的方法技术^[3](简称 RT 技术)。该技术采用 FDM 快速成型技术,只需传统加工的 1/3 加工周期及加工成本即可快速制造出具有各向异性表面的复杂曲面。FDM

快速成型技术又称熔融沉积技术,是一种用工业热塑性原料按照一定厚度进行分层加工,层层叠加最终成型出三维实体的快速成型技术,产品的制造时间最大可缩短为原来的 1/5,该技术具有成本低、力学性能强、使用材料广泛、材料利用率高、可制作大型复杂件等优点。目前可利用 FDM 快速成型技术直接制造出铸造用的复杂蜡模、型壳及各种零部件和生产工具。

本文采用针对复杂空间型面的直齿面齿轮的熔模精铸面齿轮,设计了一种适用于 3D 打印技术的直齿面齿轮母模结构,为复杂异型模具的快速制造奠定了基础。

2 建模方法流程

为了建立直齿面齿轮齿的母模模型,提出了一种易于工业生产来构建直齿面齿轮的母模的方法,

基金项目: 陕西省特种加工重点实验室项目(15JS041);陕西省工业科技攻关项目(2016GY-024)

收稿日期: 2017 年 8 月

性的独立工件上,强度可能有不同的影响。因此,采用阿尔门试片以建立饱和度曲线,确认零件的饱和状态,使喷丸强化过程可重复监控,以得到零件所要求的结果非常重要。

参考文献

[1] SAE AMS 2432D-2013, Shot peening, Computermonitored [S]. 2013.

[2] SAE AMS-S-13165, Shot Peening of Metal Parts[S]. 1997.

[3] SAE J442, Test Strip, Holder, and Gage for Shot Peening [S]. 2001.

[4] SAE AMS J443, Procedures for Using Standard Shot Peening Test Strip[S]. 2003.

作者:辛立正,高级工程师,航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司,610092 成都市

Author: Xin Lizheng, Senior Engineer, AVIC Chengdu Aircraft Industrial(Group) Co., Ltd, Chengdu 610092, China

其主要流程如图1所示。

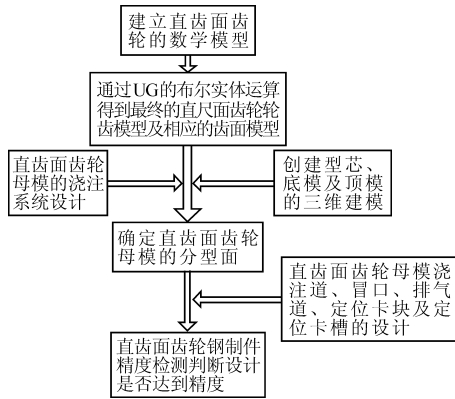


图1 建模流程

2.1 直齿面齿轮的三维模型设计

沿着齿顶、齿根、沿齿宽方向放样,选用的设计参数如表1所示,根据截面放样法建立出直齿面齿轮数学模型。运用UG建立如图2所示三维模型。

表1 直齿面齿轮的设计参数

插齿刀齿顶高系数(h_a^*)	1.00	直齿面齿轮齿数	40
插齿刀顶隙系数(c^*)	0.25	插齿刀压力角	20°
插齿刀/直齿面齿轮模数	3	插齿刀齿数	20

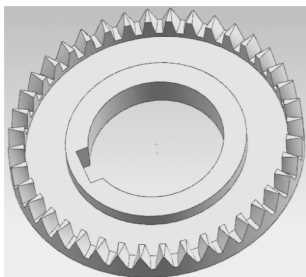


图2 直齿面齿轮的三维模型

2.2 面向增材制造的直齿面齿轮模具结构设计

在设计母模中,增材制造技术是进行成型模具的关键一步。由于用于加工模具的材料大多数为热熔性塑料ABS或可食用材料PLA等,其材料的导热性较差,这将导致加工模具的熔模铸造蜡长时间不能完全凝固。为解决该问题,根据注射模具设计方法与带有活动成形零件的直齿面齿轮母模分为三个部分来设计的方法^[4-6],使模具类型为组合式三型面,在顶模和底模的设计中应确保模内基本覆盖浇注型腔。直齿面齿轮母模设计为顶模、底模以及中心定位轴芯的三层结构,先抽出中心定位轴,然后依次取掉顶模和底模就可以很容易地取出蜡模。一方面可以使注蜡的蜡模在取走中心定位轴后直接与空气或水等冷介质接触,从而减少缩短蜡模的冷却凝固时间;另外,也可以避免设计成仅由动态和静态模

式两层,取出动模后不易通过静模取出蜡模的问题。

由于熔模铸造过程中浇注会造成蜡和金属的实体尺寸出现收缩效应,即金属实体的尺寸和蜡模尺寸会缩小,所以采用低温蜡膏浇注蜡模^[7],并采用45钢进行金属实体的浇筑。为了保证浇注型腔全部存在于顶模、底模中,并考虑到方便取模等问题,选取直齿面齿轮的底座为基准面,所求型芯的三维模型流程如图3所示。

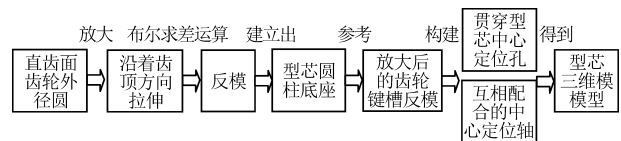


图3 型芯三维建模流程

根据芯模的尺寸和结构,将型芯圆柱的上表面作为基准面进行三维模型的构建,通过注蜡机与模具尺寸类型的对应关系,构建出底模的三维模型,见图4。以直齿面齿轮的轮齿底座为基准面。结合以上建立的底模模型和型芯模型的结构尺寸,采用布尔实体操作运算,建立顶模的三维模型。在顶模结构设计过程中,根据设计要求进行浇注,为使顶模易于从蜡模上取下,可以先将浇注型腔的底面固定,采用倒锥式取模。

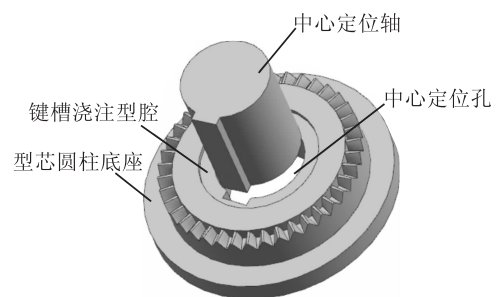


图4 型芯的三维模型结构

根据取模方便的目的选择“倒锥”式取模,可以将浇注键槽底部作为固定表面来取模,这样可以避免采用键槽浇注型的腔顶面作为固定面来取模时,出现设计尺寸大于键槽型腔尺寸等问题。采用将型芯中的中心定位轴和顶模中的中心定位轴设计成间隙配合,用以解决固定顶模与型芯的径向位置问题。同样可以将底模的圆柱凸台和顶模圆柱凹槽设计为间隙配合,从而方便底模与顶模之间的组装与拆分。

依据本文设计的模具结构,应采用从上而下的蜡膏浇注方式,因此在顶模中设计浇注系统较为合理,设计过程中各部分内容如下:

(1) 母模冒口的构造

将蜡膏浇注至模具时,常采用由上而下的方式

进行分层浇注填充,所以最底层的蜡膏会最先凝固,凝固后的蜡模因为液态蜡凝固时边缘表面张力增大使得边缘附近的蜡体积变小,产生缩孔、缩松等问题,上一层蜡膏的填充会很好地解决这一问题。当浇注到最高层时,需要在最高层的上面设立若干个冒口来解决此问题。

按照冒口尺寸的通常设计方法,即设立3个冒口,均为环形分布,3个冒口设在顶模的键槽浇注型腔下方,按照互相构成 120° 夹角的形式分布,即可以对最上一层的蜡模进行全面的修补填充,以解决缩松和缩孔的现象。

(2) 直齿面齿轮母模浇注道工艺路线的建立

为了加快浇注速率,确保蜡膏浇注在环形凸台上的两个流向凹槽中,型芯的环状凸台两侧均为凹槽,为优化浇注效率,将浇注道设计在凸台的正上方(见图5)。

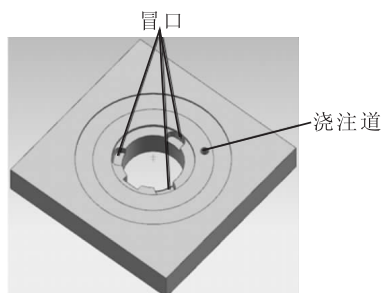
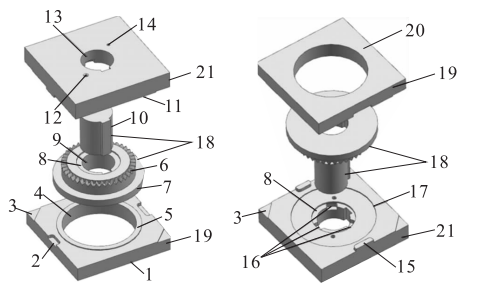


图5 顶模三维模型中设立冒口

利用UG的爆炸图功能显示直齿面齿轮母模的各组成结构(见图6),利用FDM快速成型技术成型出直齿面齿轮母模的各制件(见图7)。



1. 底模 2. 定位卡槽 3. 起模槽 4. 底模浇注型腔
5. 底模圆柱凸台 6. 齿轮反模 7. 型芯圆柱底座
8. 键槽浇注型腔 9. 型芯中心定位孔 10. 中心定位轴
11. 顶模 12. 注蜡孔 13. 顶模中心定位孔 14. 排气孔
15. 定位卡块 16. 冒口 17. 顶模圆柱凹槽 18. 型芯
19. 底模 20. 底模正方形底座 21. 顶模

图6 直齿面齿轮母模的结构

3 直齿面齿轮钢制件的检测

为了验证该设计方案能达到的铸造精度,采用

该模具对直齿面齿轮进行铸造试验,得到直齿面齿轮的铸件如图8所示。

对直齿面齿轮钢制件的齿距误差和齿面误差进行检测。

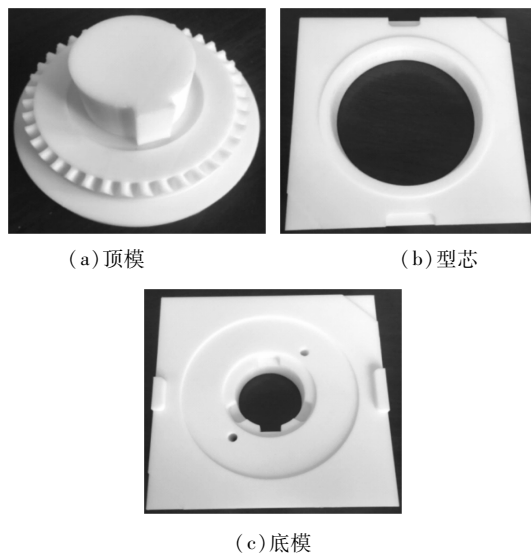


图7 直齿面齿轮母模的各制件

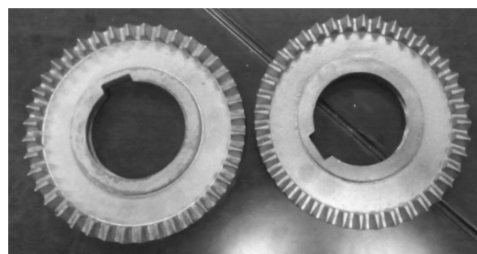


图8 直齿面齿轮的钢制件

(1) 直齿面齿轮钢制件的齿面误差检测

采用温泽 Xorbit 55 型三坐标测量机,选择4个相邻的两齿面直齿面齿轮的三维模型作为测量对象,根据“针对复杂齿面坐标点的网格规划原则运用点阵式测量法测量”,齿面坐标的测量齿面分为规划测量网格的5行3列的测量路径来规划^[8],得到相邻的两个理论齿面的4个被测量齿面相邻两齿的齿面点坐标。

为了验证设计方案的可行性,任选一个已成型的直齿面齿轮钢制件作为测量对象,通过测量基本尺寸、表面粗糙度、齿面误差和齿距误差对方案进行评价。对直齿面齿轮零件的齿轮几何精度的相关基本尺寸进行了测量,测量结果见表2。

当完成对钢制件基本尺寸精度检测后,随机选取20个均匀分布在钢制件直齿面齿轮上的点进行表面粗糙度测量,测量结果见表3。

(2) 直齿面齿轮成型钢制件齿距误差的测量

为了精确测量出齿距误差,可以通过同侧相邻

两个齿面坐标进行测量^[9],根据测量点的坐标计算出实际弧长,通过对比弧长的理论值得出直齿面齿轮钢件的齿距误差。根据准确测量的齿面数据并与理论值计算,得出的弧长误差结果见表4。

表2 直齿面齿轮钢制件的基本尺寸测量结果

测量对象	误差(mm)	测量对象	误差(mm)
直齿面齿轮环形底座的高度	0.22	直齿面齿轮的内径	0.38
直齿面齿轮环形凸台的高度	0.24	直齿面齿轮轮齿高度	0.27
直齿面齿轮环形凸台的内径	0.30	直齿面齿轮轮齿宽度	0.25
直齿面齿轮环形底座的内径	0.31	键槽的长度	0.28
直齿面齿轮环形凸台的外径	0.34	键槽的高度	0.20
直齿面齿轮环形底座的外径	0.35	键槽的宽度	0.24
直齿面齿轮的外径	0.36	—	

表3 直齿面齿轮钢制件的表面粗糙度测量结果

测量点	1	2	3	4	5
实测值(μm)	4.77	3.86	4.32	3.76	4.26
测量点	6	7	8	9	10
实测值(μm)	2.31	5.96	4.12	6.25	5.10
测量点	11	12	13	14	15
实测值(μm)	4.97	3.79	3.22	4.81	4.50
测量点	16	17	18	19	20
实测值(μm)	3.36	4.60	3.97	3.72	3.81

表4 相应测点间的弧长误差

测点序号	弧长误差(mm)	测点序号	弧长误差(mm)
1与33	0.1779	2与34	0.3548
3与35	0.3386	4与36	0.0746
5与37	0.3205	6与38	0.1024
7与39	0.1927	8与40	0.3668
9与41	0.0240	10与42	0.3607
11与43	0.0943	12与44	0.3025
13与45	0.0301	14与46	0.1045
15与47	0.3945	16与48	0.1264

从表2、表3、表4可知:①成型出的直齿面齿轮钢制件基本尺寸精度为0.21-0.39mm;②该钢制件的表面粗糙度为2.31-6.00 μm ,粗糙度严格控制在6.50 μm 以下;③直齿面齿轮钢制件的齿面和齿距误差在0.3mm左右,最大齿距误差0.3945mm,最大齿面误差0.3992mm。由以上数据可以得出成型出的直齿面齿轮钢制件综合尺寸精度达CT4,故验证本文设计方案可行。

4 结语

本文依据直齿面齿轮的三维模型结构,并结合成型材料在直齿面齿轮模具零件的后续增材制造技术母模的热性能影响,对直齿面齿轮的母模采用

“带有活动成型零部件的注射模具设计方法^[10]”进行了设计。首先,通过在熔模铸造过程中直齿面齿轮钢件和蜡模相应的收缩率对构建直齿面齿轮做三维模型放大处理;然后,依据放大后的直齿面齿轮的三维模型对直齿面齿轮母模结构和浇注工艺系统进行了优化设计。

该模具在浇注完蜡模后,先抽去模具中心定位轴,然后取掉顶模和底模。在对直齿面齿轮母模进行验证后,将其设计为顶模、底模和带有活动中心定位轴型芯的三层结构,不仅不影响蜡模精度,还可以实现方便取模。

参考文献

- [1] 樊自田,蒋文明,赵忠. 铝(镁)合金消失模铸造近净成形技术研究进展[J]. 中国材料进展,2011,30(7):38-47.
 - [2] 李涤尘,贺健康,田小永,等. 增材制造:实现宏微结构一体化制造[J]. 机械工程学报,2013,49(6):129-135.
 - [3] 曹韩学. 基于快速原形技术和并行工程的快速模具制造方法[D]. 重庆:重庆大学,2003.
 - [4] 王敏杰,赵丹阳,宋满仓,等. 聚合物微成型模具设计与制造技术[J]. 模具工业,2015(5):7-16.
 - [5] 洪慎章. 实用注塑模设计与制造(第2版)[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
 - [6] 孙礼勇. 热流道塑料模具设计[J]. 模具技术,2001(5):13-15.
 - [7] 朱绍曾,宗红妹. 一种快速组装蜡模的浇注系统[J]. 特种铸造及有色合金,1982(2):74.
 - [8] 孙学川. 三坐标测量机测量弧齿锥齿轮的一般方法研究[D]. 银川:宁夏大学,2014.
 - [9] 曹爱文,陈定溪,张海. 三坐标测量机在齿轮齿距偏差测量中的应用[J]. 工具技术,2008,42(12):99-101.
 - [10] 黄亮. 直齿面齿轮电解加工技术研究[D]. 西安:西安工业大学,2017.
- 第一作者:杨峰林,西安工业大学机电工程学院,710021 西安市
First Author:Yang Fenglin, School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China