复杂曲面钛合金叶轮消失模铸造工艺研究

史 昆1,鲁玲玲2,赵 军1,刘时兵1

(1. 沈阳铸造研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022; 2. 中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 辽宁沈阳 110043)

摘要:复杂曲面钛合金叶轮铸件采用机加工石墨铸型或熔模精密铸造方法生产成本高、周期长。利用消失模工艺方法,生产出复杂曲面的钛合金叶轮铸件,而且化学成分和力学性能测试均满足使用要求,具有低成本、质量高、生产周期短的优势。

关键词:铸造;消失模;钛合金;叶轮

目前,国内钛合金叶轮铸件生产主要有机加工石墨铸型工艺和熔模精密铸型工艺两种主流铸造工艺方法,加工制造成本高,周期长。传统工艺方法高昂的制作成本限制了钛合金叶轮铸件在民用领域的推广应用。近年来,随着化工、航海、石油开采、矿业开采领域对钛合金耐腐蚀、高比强度性能的需求越来越迫切,急需开发一种低成本、快速制备高质量钛合金叶轮铸件的工艺方法。

1958年美国最先开发并使用消失模铸造技术生产铸件产品,后来经过德国和美国的铸造企业进一步发展和完善,形成了目前的消失模铸造体系。近年来,欧美等工业发达国家十分重视消失模制造技术的研发与应用,经过技术的深入开发与研究,目前能大批量生产发动机铸件、机床铸件、汽车配件、泵阀等。铸件材质多以铸铁、铝、铜等合金为主,铸造工艺完善成熟,但是在钛合金铸件生产方面研究的报道较少。

消失模铸造工艺方法具有制备模型成本低、速度快,铸件尺寸精度和表面质量接近熔模精密铸造工艺水平。因此,本文重点研究了消失模工艺方法制备复杂曲面钛合金叶轮,实现低成本制备钛合金叶轮铸件。

复杂曲面钛合金叶轮消失模铸造工艺主要过程: 首先选取合适的模型材料,通过数控加工的方法进行精密加工,在加工后的模型上涂覆石蜡来提高模型的表面光洁度,然后进行型壳制备,最后浇注出合格铸件。该工艺方法主要控制难点在于数控加工过程的尺寸精度,通过合理设置加工参数来进行精密加工。

1 叶轮消失模模样制备

模样是消失模铸造成败的关键环节,没有高质量的模样就不可能得到高质量的 消失模铸件^[1]。消失模铸造的模样是生产过程必不可少的消耗材料,每生产一个铸 件,就要消耗一个模样,模样的生产效率必须与消失模铸造生产线的效率相匹配。

1.1 钛合金叶轮消失模材料选择

用于钛合金铸造的消失模模样需要具有表面光滑,不能有明显的凸起和凹陷,珠粒间融合良好,能在高温下烧结干净,灰分少,并且与涂料的涂挂性能匹配良好。泡沫塑料的种类很多,既能满足高温下能烧结干净、灰分少,又能利用数控加工中心进行切削加工的泡沫塑料主要有聚苯乙烯泡沫塑料(简称EPS)、硬质聚氨脂泡沫塑料、汞烷泡沫塑料、聚甲基丙烯酸甲脂-苯乙烯共聚树脂泡沫塑料(简称STMMA)^[2]。根据生产成本和加工性能的综合考虑,复杂曲面钛合金叶轮消失模材料选择聚苯乙烯泡沫塑料进行模型制备。

作者简介:

史昆(1982-),男,高工,硕士,研究方向为钛合金钛基复合材料、高温合金材料及其精密成形工艺。E-mail: shikun77@163.com

中图分类号: TG249.6 文献标识码: B

文章编号: 1001-4977 (2019)

04-0344-03

基金项目: 辽宁省自然科学基金指导计划(20170540888,20170540891)。 收稿日期:

2018-11-20 收到初稿, 2019-02-20 收到修订稿。

低生产成本,缩短模样制备周期,具有快速低成本制 备的明显优势。图2为采用数控加工中心制备出的复杂

曲面钛合金叶轮模样。

1.3 叶轮制壳工艺

1.2 钛合金叶轮消失模成形方法

对于复杂曲面钛合金叶轮模样,一般采用钛合 金熔模精密铸造方法进行制备,首先制备叶轮金属模 具,然后利用模具制备出叶轮蜡模,再进行制壳和浇 注。虽然尺寸精度可以达到CT6~CT7级,表面粗糙度 可以达到 $Ra=3.2\sim6.3$ μ m, 但是模具制备时间长、成 本高。本文利用数控加工中心(图1所示)直接将聚苯 乙烯泡沫材料加工成复杂曲面钛合金叶轮模样,由于 泡沫切削性能良好, 数控加工速度快, 加工精度高, 加工公差可以控制在±0.7 mm以内,与传统熔模精密 铸造精度CT7级相当。模型加工完成后表面涂覆石蜡材 料,表面粗糙度可以与传统熔模精密铸造的表面粗糙 度相当。另外,由于不用制备模具,因此可大幅度降

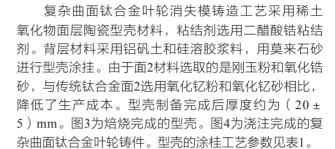




图1 数控加工中心 Fig. 1 CNC machining center



图2 叶轮模型 Fig. 2 Impeller model

表1 型壳的涂挂工艺参数 Table 1 Process parameters of shell coating

涂料层次	涂料种类	涂料粘度/s	撒砂/目		干燥			
休件坛仏	体件件失	体件怕及/S	1000	/目	温度/℃ 风速/(风速/ (m・min ⁻¹)	相对湿度	时间/h
面1	氧化钇	20 ~ 30	氧化钇砂	80 ~ 120	22 ~ 24	240 ~ 300	50 ~ 70	8 ~ 10
面2	刚玉粉	10 ~ 15	氧化锆砂	40 ~ 80	22 ~ 24	240 ~ 300	50 ~ 70	8 ~ 10
背3-背5	铝矾土粉	8 ~ 10	莫来石砂	30 ~ 60	22 ~ 24	240 ~ 300	40 ~ 50	8 ~ 10
背6-背7	铝矾土粉	8 ~ 10	莫来石砂	20 ~ 40	22 ~ 24	240 ~ 300	40 ~ 50	8 ~ 10
封浆层	浸硅溶胶溶液	-	-	-	-	-	-	12 ~ 24



图3 叶轮型壳 Fig. 3 Impeller mold shell



图4 叶轮铸件 Fig. 4 Impeller casting

1.4 钛合金叶轮铸件浇注

真空自耗电极采用二次熔炼锭,电极锭规格为 Φ 200 mm × 1 200 mm,铸锭表面打磨到金属光泽,并用酒精擦洗干净。熔炼工艺参数见表2。

2 钛合金叶轮铸件质量分析

2.1 铸件表面质量

铸件经过清理打磨后,通过目视和荧光检查,表面无裂纹、冷隔等缺陷。铸件经过粗糙度仪器检测可

以达到 $R_a=3.2 \mu m$,能满足铸件要求。

2.2 铸件内部质量

铸件经过X射线探伤检测,铸件可以达到GJB2896A-2007规定 | 类B级标准。

2.3 铸件化学成分

叶轮铸件浇注完成后,经过本体取样化验成分, 成分合格,详见表3。

表2 熔炼浇注工艺参数 Table 2 Melting and pouring process parameters

熔炼电流/A	熔炼电压/V	电极尺寸/mm	熔炼时间/s	真空度/Pa	投料量/kg	离心转速/(r	• min ⁻¹)	
12 000 ~ 15 000	35 ~ 40	Φ200×1200	300	10	50	200)	
表3 铸件的化学成分								
 Table 3 Chemical composition of castings $w_{\rm B}$								
取样位置	Al	V Fe	Si	C	N H	О	Ti	
叶片	5.90	4.10 0.01	0.01	0.03	0.035 0.000 8	0.08	余量	
盖板	5.80	4.30 0.01	0.02	0.02	0.030 0.000 9	0.07	余量	

2.4 铸件力学性能

叶轮铸件浇注完成后,测试随炉试棒力学性能, 性能合格,详见表4。

3 结束语

钛合金叶轮消失模铸造工艺,型壳制备快速、 工艺简单、铸件质量能达到接近熔模精密铸件质量水

表4 随炉试棒力学性能 Table 4 Mechanical properties of test rods

_						
	试样编号	R _m /MPa	$R_{p0.2}/MPa$	A/%	Z/%	
	1	900	850	12	18	
	2	905	860	14	19	

平,能实现低成本、快速、高质量叶轮铸件制备,具有较好的工艺技术推广前景,能为低成本民用钛合金铸件生产提供一种可行的铸造工艺方法。

参考文献:

- [1] 黄天佑,黄乃瑜,吕志刚. 消失模铸造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 董秀琦,朱丽娟. 消失模铸造实用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

Study on Lost Foam Casting Process of Complex Curved Surface Titanium Alloy Impeller

SHI Kun¹, LU LING-ling², ZHAO Jun¹, LIU SHI-bing¹

(1. Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., Shenyang 110022, Liaoning, China; 2. China Aviation Development Shenyang Liming Aero Engine Co., Ltd., Shenyang 110043, Liaoning, China)

Abstract:

Complex curved surface titanium alloy impeller castings were produced using machined graphite or investment casting with the shortcomings of high cost and long production cycle. In the present research, the study on lost foam casting process of complex curved surface titanium alloy impeller was carried out, and quailed castings were successfully produced. The chemical composition and mechanical properties of the castings all meet the requirements of technical specification, The method for producing impeller has the advantages of low cost, high casting quality and short production cycle.

Key words:

casting; lost foam; titanium alloy; impeller