

某弧形结构钛合金铸件蜡模尺寸控制

杨冬丽 高富辉 那 玥  
(北京百慕航材高科技有限公司)

**摘 要** 研究了一种弧形结构钛合金铸件蜡模的变形规律,分析了蜡模冷却方法、工装校形时间、车间存放时间对蜡模尺寸变形的影响。结果表明,弧形结构件蜡模冷却过程中弧面会发生翘起变形,水冷比空冷的蜡模变形严重。制作蜡模专用工装可控制蜡模变形,工装校形时间不同,蜡模尺寸控制结果不同,校形 3 h 后蜡模尺寸稳定。蜡模完成校形后,自由放置继续变形,放置 1 天蜡模变形最大为 0.26 mm,放置 1 天后变形幅度趋小,放置 3 天后尺寸保持稳定。

**关键词** 铸造钛合金;蜡模尺寸控制;校形时间;存放时间

**中图分类号** TG249.5 **文献标志码** A

**DOI**:10.15980/j.tzzz.2021.04.028

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Wax Dimension Control of the Titanium Alloy Casting with Arc Structure  
Yang Dongli, Gao Fuhui, Na Yue  
(Baimtec Material Co., Ltd.)

**Abstract:** The wax deformation of titanium alloy casting with arc structure was investigated, and the effects of the wax cooling method, dimensional calibration time and storage time on the wax dimension were analyzed. The results reveal that the cambered surface is warping deformed during cooling, and the deformation of wax cooled in water is more severe than that in air. The wax deformation can be controlled by appropriate wax pattern, and dimension is affected by the calibration time, which becomes stable after deformation for 3 h. The wax pattern is placed freely and continue to deform after calibration. The deformation reaches the maximum value after 1 day, the minimum value after 2 days and the dimension becomes stable after 3 days.

**Key Words:** Casting Titanium Alloy, Wax Dimension Control, Calibration Time, Storage Time

钛和钛合金具有密度低、比强度高、耐腐蚀强等特点,在航空航天结构件中得到广泛应用。钛合金精密铸造可实现各种复杂构件的近净成形,金属使用率高,机械加工余量少,可获得尺寸精度高、表面质量好、形状结构复杂的铸件<sup>[1~3]</sup>。钛合金熔模精密铸造的工艺流程复杂,生产周期长,要经过蜡模、涂料、焙烧、熔炼、浇注等工序。蜡模制造是至关重要的环节,蜡模的尺寸稳定性和变形程度极大地影响了铸件的品质。对于易变形件,要得到形状尺寸合格的铸件,首要的是制备出合格的蜡模。目前,对于钛合金熔模精密铸造的蜡模研究主要集中在蜡料上的一些基础研究,对于易变形件的蜡模成形工艺,以及蜡模变形控制研究较少<sup>[4~9]</sup>。本课题选择了钛合金结构件中常见的一种弧形结构铸件,研究了此类弧形结构铸件的蜡模变形规律,分析了蜡模成型工艺、放置方式、冷却方式、存放时间对蜡模变形的影响,并针对此类结构制定了控制蜡模变形的工艺,为蜡模变

形控制提供参考。

1 试验方法

1.1 试样材料

选择的弧形结构件示意图见图 1。其外形尺寸为 413 mm×140 mm×90 mm,最小壁厚为 5 mm,铸件质量为 2.5 kg。选用 KC-4017B 型蜡料,使用 MPI 型压蜡机,按表 1 参数压制蜡模,蜡模压制前在指定位置放置冷蜡,以防止蜡模厚大区面缩。图 2 为压制后的蜡模。

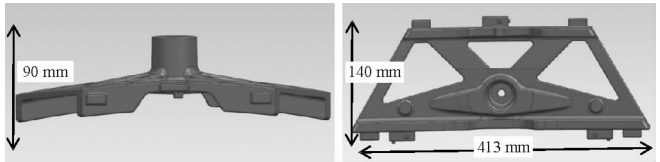


图 1 弧形结构件示意图  
Fig.1 Schematic diagram of arc-structured component

收稿日期:2020-11-10  
第一作者简介:杨冬丽,女,1986 年出生,硕士研究生,北京(100094),E-mail:yangdongli@baimtec.com  
引用格式:杨冬丽,高富辉,那玥. 某弧形结构钛合金铸件蜡模尺寸控制[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(4):521-524.  
YANG D L, GAO F H, NA Y. Wax dimension control of the titanium alloy casting with arc structure[J]. Special Casting & Nonferrous Al-  
loys, 2021, 41(4):521-524.

表 1 压蜡参数  
Tab.1 Wax injection parameters

| 压蜡机公称<br>压力/MPa | 注射温度/<br>℃ | 注射压力/<br>MPa | 注射时间/<br>s | 流量/<br>(cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|------------|--------------|------------|--------------------------------------------|
| 1.5             | 65±2       | 0.8±0.1      | 300±5      | 200                                        |

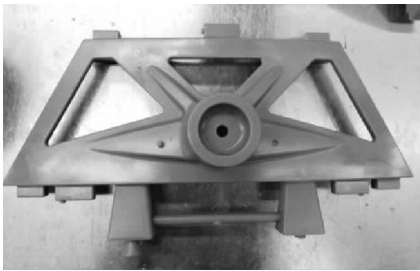
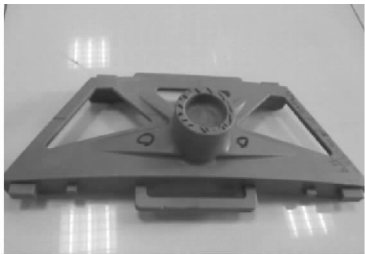


图 2 压制后的蜡模  
Fig.2 Wax pattern



(a) 立放,1 号



(b) 扣放,2 号



(c) 平放,3 号

图 3 蜡模 3 种放置方式

Fig.3 Three kinds of placement modes

偏差为 0.52 mm,2 号蜡模变形最大,最大偏差为 2.83 mm,3 号蜡模最大偏差为 1.05 mm。分析原因,1 号蜡模立放,弧面不受力,冷却过程中自由收缩,自身结构收

1.2 检测方法

蜡模的变形量一般是毫米级的,选择高精度的 GOM 扫描机和 qualify 软件分析蜡模尺寸。

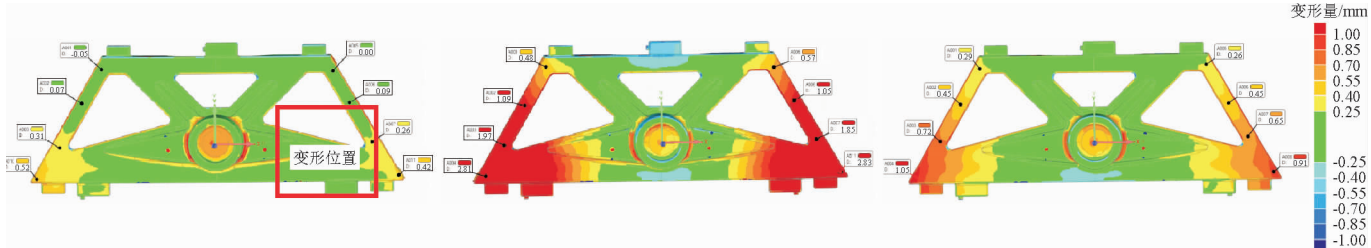
2 试验结果分析

2.1 蜡模变形规律

蜡模压制后选择 3 种方式放置,见图 3。在放置 24 h 后使用 GOM 扫描,与蜡模理论数模对比,分析实际蜡模与数模的偏差,判断蜡模变形情况,结果见图 4。

对比 3 种蜡模各位置的偏差,发现 3 种放置方式下的蜡模均发生变形(偏差超过±0.25 mm),变形位置主要集中在弧面的两端。其中,1 号蜡模变形最小,最大

缩应力导致弧面向上翘起。2 号蜡模扣放,除了自身弧形结构导致变形外,弧面反面支撑受力增加了变形程度。平放蜡模因自身重力的原因,变形程度同样较大。



(a) 立放蜡模尺寸结果

(b) 扣放蜡模尺寸结果

(c) 平放蜡模尺寸结果

图 4 不同放置方式下蜡模扫描结果

Fig.4 Scanning results of wax placed by various modes

1 号为使蜡模尺寸满足要求,设计蜡模专用胎具,并使用金属块反校形蜡模,见图 5。校形后蜡模变形情

况扫描结果见图 6。可以看出,蜡模尺寸控制较好,满足要求。



图 5 蜡模校形

Fig.5 Calibration of wax pattern

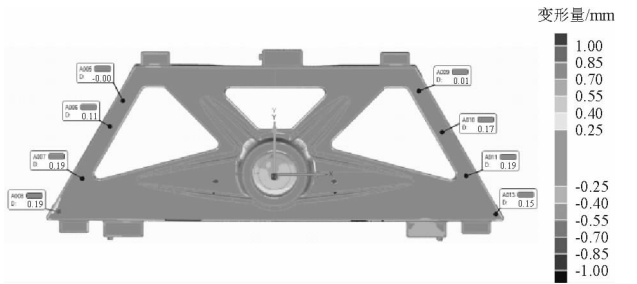


图 6 校形后的蜡模尺寸结果

Fig.6 Wax dimension after calibration

2.2 蜡模冷却方式对蜡模变形影响

蜡模压制后选择两种冷却方式,一种放置在空气中自由冷却,一种放置在水中水冷,分析冷却方式对蜡模变形的影响。图 7 为不同冷却条件下的蜡模尺寸结果。可以看出,在水中冷却的蜡模最大偏差为 0.64 mm,空冷蜡模最大偏差为 0.45 mm。同时水中冷却的蜡模变

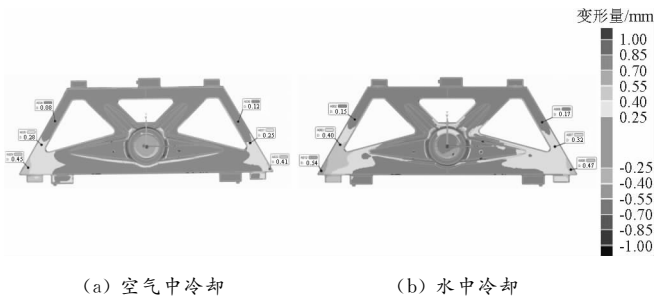


图 7 不同冷却条件下的蜡模尺寸结果

Fig.7 Wax dimension under different cooling conditions

形面积大于空冷蜡模,见图 7 中两边浅色区(蜡模偏差为 0.25 mm 以上的区域)。这是因为,压制后的蜡模未完全冷却,局部温度保持在 30 ℃左右,放入水中,蜡模急冷导致变形加重。由此可知,蜡模的冷却速率对尺寸变形有一定影响,水冷比空冷蜡模变形更严重。

2.3 蜡模在工装放置时间对其变形的影响

使用蜡模专用放置工装后可以解决蜡模变形问题,而放置时间长影响生产效率,放置时间短蜡模变形得不到有效控制,为此,蜡模在工装上的放置时间选取 0.25、3、5、24 h 等 4 个放置时间,分析工装放置时间对蜡模变形的影响。图 8 为放置不同时间后蜡模的扫描结果。图 9 为蜡模 4 个不同位置、不同放置时间下蜡模偏差的对比。对比发现,放置 0.25 h 后蜡模依然有变形,最大偏差为 0.45 mm。蜡模放置 3 h 后,偏差在 0.2 mm 以下,且继续延长较形时间,作用不再明显。

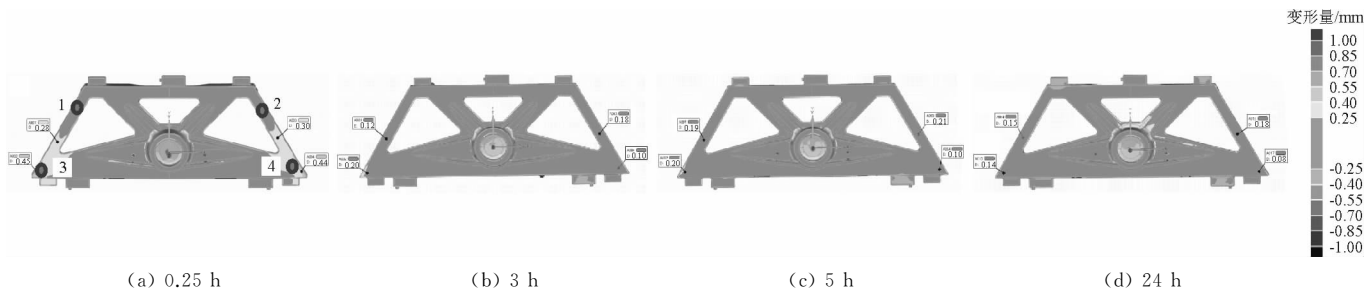


图 8 不同工装放置时间下蜡模尺寸结果

Fig.8 Wax dimension during different calibration time

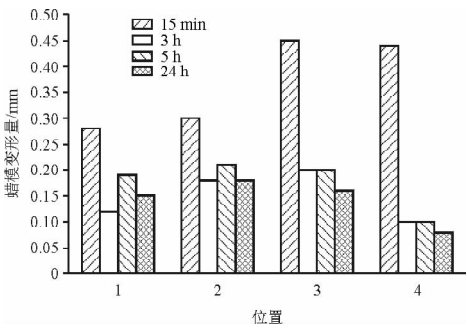


图 9 不同工装放置时间下蜡模不同位置的偏差对比

Fig.9 Deviation comparison of wax pattern at different positions with different calibration time

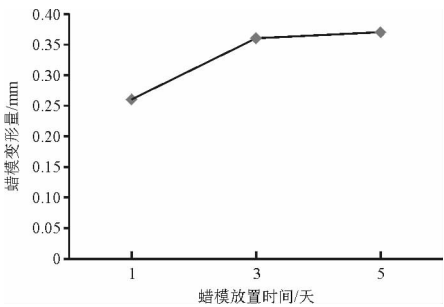


图 10 蜡模尺寸变形量与放置时间的关系

Fig.10 Relationship between deflection of wax dimension and time

2.4 蜡模存放时间对蜡模变形的影响

蜡模自工装取下后,放置 1、3、5 天,分析蜡模存放时间对尺寸变形的影响。将不同存放时间的蜡模分别与刚完成校形的蜡模对比,分析不同状态下的蜡模偏差。图 10 是存放 1、3、5 天蜡模变形结果,发现放置 1 天后蜡模最大变形为 0.26 mm,放置 3 天后最大偏差为 0.36 mm,对比可知,存放 3 天与 5 天的蜡模最大偏差基本一致。

3 结 论

(1)弧形结构的蜡模因自身结构原因导致弧面向上翘起变形,放置方式不当会加重蜡模变形,制作专用校形工装可控制蜡模变形。

(2)蜡模冷却速率对尺寸变形有影响,水中冷却的蜡模变形较空气中冷却的变形严重。

(3)蜡模的校形时间不同,尺寸控制效果不同,校形 3 h 后蜡模尺寸基本稳定。

收敛调节片底板后段精密铸造工艺

张 贺 朱洪斌 潘波涛

(中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司)

**摘 要** 收敛调节片底板后段精铸件,其为航空发动机收扩喷口处的薄壁结构件,采用 JG4246A 合金熔模铸造成形。试制过程中铸件在底板、筋条位置极易产生裂纹、缩松等缺陷,导致铸件合格率下降。通过优化浇注系统,调整型壳保温毡包裹方式、预热温度和浇注参数等措施,最终确定了控制模组浇注系统、型壳包裹的要点、浇注注意事项及后续清理工作的控制措施,减少了裂纹、缩松等缺陷,铸造合格率达到 85%。

**关键词** 薄壁结构;JG4246A 合金;裂纹;缩松  
**中图分类号** TG249.5 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.04.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Investment Casting on the Back Section of a Convergent Regulator Plate

Zhang He<sup>1</sup>, Zhu Hongbin<sup>1</sup>, Pan Botao<sup>1</sup>

(Shenyang Liming Aereo-Engine Co., Ltd.)

**Abstract:** The investment castings of the back section of convergent regulator plate were investigated, which is a typical thin-walled structure for the nozzle of aero-engine, formed by investment casting of JG4246A superalloy. During the process of trial production, metallurgical defects such as crack and shrinkage are easily generated at the casting base plate and rib strip, leading to decrease of qualified rate. By optimizing the gating system and adjusting the wrapping mode of shell insulation felt, preheating temperature and pouring parameters, the key to control module gating system and shell wrapping, and the casting precautions, as well as the control measures for subsequent cleaning work were determined, thus reducing the metallurgical defects, raising the qualified rate to 85%.

**Key Words:** Thin-wall Structure, JG4246A Superalloy, Crack, Shrinkage

随着航空发动机工业领域不断发展<sup>[1,2]</sup>,发动机制造技术不断提升,新型高温合金、新结构铸件的应用越来越广泛。本课题研究的收扩喷口处收敛调节片底板后段为典型的薄壁结构,采用 JG4246A 合金,该铸件结构复杂,薄壁底板上筋条纵横交错,底板平面阶梯分布,

厚度薄厚不均。首次试制时在底板上和筋条转接处产生裂纹、缩松等缺陷,铸件整体品质状况较差,合格率不足 30%,通过在浇注系统、型壳外保温毡包裹方式、型壳预热温度及浇注参数的调整,铸件品质大幅提升,并总结出一套工艺和生产经验为此类铸件生产提供参考。

收稿日期:2021-01-11

第一作者简介:张贺,女,1985 年出生,高级工程师,沈阳(110043),E-mail:zhanghe623623@163.com

引用格式:张贺,朱洪斌,潘波涛.收敛调节片底板后段精密铸造工艺[J].特种铸造及有色合金,2021,41(4):524-526.

ZHANG H, ZHU H B, PAN B T. Investment casting on the back section of a convergent regulator plate[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(4):524-526.

(4)蜡模在车间的存放时间对尺寸有一定的影响,存放 1 天蜡模变形量最大为 0.26 mm 左右,1 天后蜡模变形量在变小,3 天后基本稳定。

参 考 文 献

[1] 谢成木. 钛及钛合金铸造[M]. 北京:机械工业出版社,2004.  
[2] 黄旭,朱知寿,王红红. 先进航空钛合金材料与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2012.  
[3] 谢华生,刘时兵,苏贵桥,等. 我国钛合金精铸件铸造技术的发展及应用[J]. 特种铸造及有色合金,2008(S):462-464.  
[4] 南海,谢成木. 高强度蜡模料的研究及其在大型复杂整体薄壁钛合金精铸件上的应用[J]. 广东有色金属学报,2002,12(1):30-34.

[5] 王新英,谢成木. 钛合金精铸模料及其制备工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金,2000(6):40-42.  
[6] 杨光,李尚勇,刘耀文,等. 新型高强度模料的研究及应用[J]. 当代化工,2004,33(3):160-162,174.  
[7] 陈冰. 精铸模料的膏状压注和固态压注-国外精铸技术进展述评(2)[J]. 特种铸造及有色合金,2005,25(2):108-111.  
[8] 何湘平. 熔模精铸中蜡模精度的研究概况[J]. 特种铸造及有色合金,1999(1):156-159.  
[9] 鲁蕊,包玉秋,许云祥. 防止精密铸造蜡模变形的几种措施[J]. 特种铸造及有色合金,2008,28(2):135-136.

(编辑:刘卫)