

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 He¹, Zhu Hongbin¹, Pan Botao¹

(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^[1,2],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)

1 载体结构分析

收敛调节片底板后段结构见图 1。底板壁厚为 0.8~1.0 mm,呈阶梯分布,平面度不大于 0.3 mm,其上有纵横交错的筋条,高度为 2.4~8.5 mm,厚度为 1 mm,两条主加强悬臂筋条贯穿整个铸件,3 处加工配合孔加上加工余量后铸件整体较大,又与筋条、底板连接,补缩难度大,形成缩颈,浇注后铸件极易产生裂纹、疏松、缩孔等缺陷。

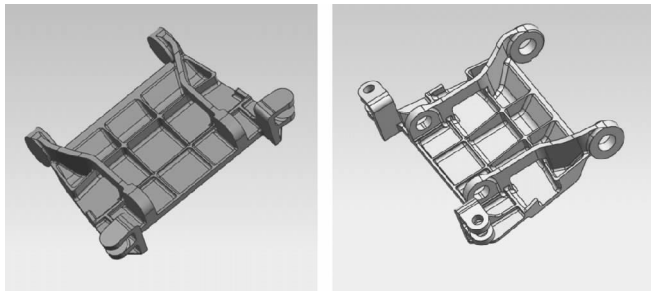


图 1 收敛调节片底板后段铸件结构图

Fig.1 Structure diagram of back casting of convergent regulator plate

JG4246A 合金为金属间化合物材料^[3~5],合金成分见表 1,对温度十分敏感,浇注温度区间较其他母合金小,且极易产生裂纹缺陷^[6],直接影响铸件的合格率。同时在精炼过程中产生氧化物夹杂,精炼过程需要不断进行排渣以减少铸件夹杂;加上底板较薄,上面两主肋相对厚大,补缩过程难控制,浇注系统设计不当较易产生缩裂等缺陷。

表 1 JG4246A 合金化学成分

Tab.1 Chemical composition of JG4246A alloy						%
w_B						
C	Cr	Al	Ti	W	Mo	
0.06~0.20	7.40~8.20	7.60~8.50	0.60~1.20	1.5~2.5	3.5~5.5	
Hf	B	Y	Fe	Si	Mn	P
0.30~0.90	≤0.05	0.01	≤2.00	≤0.50	≤0.50	≤0.02
S	Bi	Sb	Pb	Sn	As	Ni
≤0.015	≤0.000 1	≤0.001	≤0.001	≤0.002	≤0.005	余量

注:Y 为计算加入量,不分析

2 生产过程

2.1 模具设计及定形

蜡模的脱模采用顶出机构,根据铸件尺寸和母合金特点确定蜡模模具收缩率,模具分为上盖板、下模(含型腔结构)、顶出机构和传动机构附件。由于铸件带有凸台,该部位设计时考虑分块拆除。根据铸件母合金凝固特点和零件结构特点,设计模具过程中直接在两凸台中

间连接了直径为 6 mm 的圆杆,一方面保证铸件成形后两凸台间距尺寸满足要求,另一方减少冷却过程凸台转折处所承受的应力,模具三维模型见图 2。

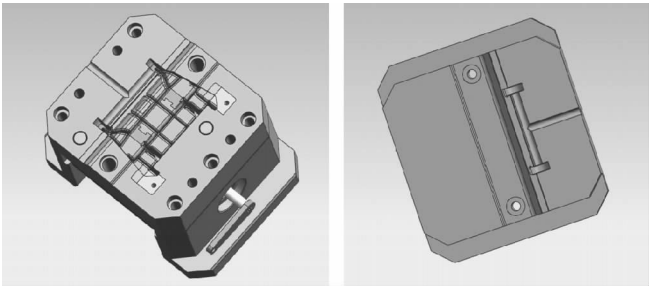


图 2 收敛调节片底板后段模具

Fig.2 Mold of the back section of convergent regulator plate

首次模具试压生产后,蜡模顶出部位分型线相对明显,表明顶出部位受力较大,起模不畅,对模具起模斜度调整,要求压蜡前对模具两主肋位置进行刷油处理,以保证模具起模顺利。首批浇注后对铸件尺寸进行三坐标检查,发现两凸台圆柱打孔后尺寸最小壁厚难以保证。采用反变形对模具进行修理,将该位置缩小尺寸扩大,保证了成形后铸件和零件加工后尺寸合格,以达到尺寸定型。

2.2 浇注系统的设计

初步工艺方案采用侧注式浇注系统,每组 2 件,主要考虑了以下影响因素:①铸件底板较薄,底板上凸台需要足够补缩;②底板上两主肋板相对尺寸厚大,距离较高,需要设计合理有效的内浇道。

初步设计的浇注系统见图 3。浇注后在两主肋与底板转接处出现严重的拉裂纹,同时底板平面 T 区(相对其他底板壁厚 1 mm)产生疏松,铸件成批报废。

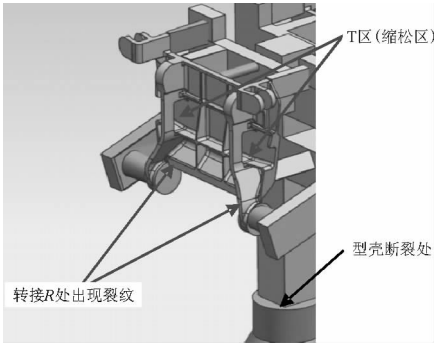


图 3 收敛调节片底板后段试验组合方案示意图

Fig.3 Schematic diagram of combined scheme on back section of convergent regulator plate

根据铸件缺陷产生的位置及其特点,在两凸台中间增加横支撑连接,起到在铸件凝固过程中抑制两侧浇冒口对两凸台的拉应力作用,调整后浇注系统见图 4。

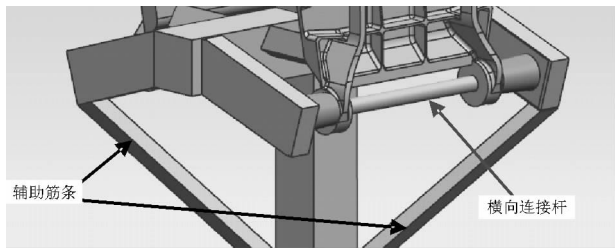


图 4 调整后浇注系统
Fig.4 Gating system after modification

2.3 制壳工艺

由于铸件底板上 T 区位置产生缩松,型壳的制造过程中表面层粉料采用质量分数为 50% 的铝酸钴孕育剂进行涂制,有效解决了铸件的缩松。加固层粘结剂交替使用硅酸乙酯水解液和硅溶胶,粉料为刚玉粉或铝矾土粉,涂料总层数为 8 层。

首次浇注后由于模组直浇道相对整个模组尺寸较小,涂料操作过程中操作者多手持浇口杯与直浇道过渡区,涂制几层后该位置极易产生断裂(见图 3),导致整个模组报废,对操作过程要求较高,工作效率降低。因此,增加辅助筋条,一方面,增加型壳浇口杯与直浇道转接处强度,另一方面,起到浇注后排气作用,有效解决了型壳模组断裂的问题,见图 4。

2.4 熔注工艺

型壳包裹保温毡,浇口杯处单独包裹两层后,与整个模组共同包裹 2 层,采用 RX₃-75-9 箱式电阻炉进行焙烧,焙烧温度为 950±10 ℃。

在首次浇注过程中,确定精炼温度为 1 500±10 ℃,精炼 2~3 min 后,浇注温度分别为 1 400、1 430、1 460 ℃,控温误差为±10 ℃。要求快浇注速度,在 2~4 s 内完成。确定浇注温度为 1 430±10 ℃,鉴于母合金对温度的敏感性,最终确定浇注温度为 1 430±5 ℃,熔炼浇注工艺曲线见图 5。

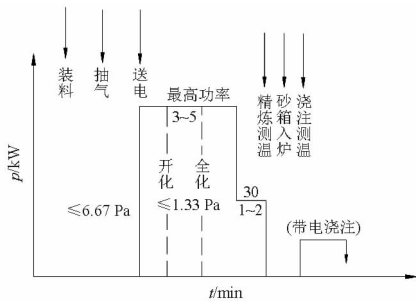


图 5 合金的熔注工艺曲线

Fig.5 The melting-pouring process curves of the alloy
注:1.浇注时砂箱温度不低于 900 ℃;2.浇注时带电功率为 10~15 kW

由于铸件底板平面度要求较高,并呈阶梯状分布,铸件精修工序对铸件底板冒口清理和平面度进行修理控制,之后通过稳定热处理使用校正胎具在高温下进行热定型,以避免铸件产生校正裂纹。

3 试验分析

3.1 试验结果

模具压制蜡模浇注后,经尺寸检测发现与两主肋板所连接的凸台尺寸较理论尺寸偏小。浇注后发现在两主肋板所连接的凸台与底板转接处出现裂纹,图 3 中 T 区存在缩松,铸件品质较差,合格率低。

3.2 原因分析及改善措施

表 2 为浇注批次与产品质量状况。分析表 2 中数据,从以下 3 个方面进行改进。

表 2 浇注批次与产品质量状况								
Tab.2 Pouring batch and product quality status								
序号	总数/ 件	合格 数/件	合格 率/%	废品数量(原因)/件				
				初检	荧光	X 光	二次荧光	中检
1	30	22	73.33	1(夹杂)	2(裂纹)	3(裂纹、夹杂)	1(裂纹)	
2	28	21	75.00			3(夹杂)	2(裂纹)	2(变形)
3	14	13	92.86	1(夹杂)				
4	24	18	75.00			1(裂纹)	4(裂纹)	1(夹杂)
5	24	21	87.50	1(夹杂)		2(夹杂、裂纹)	1(裂纹)	

(1)尺寸方面 与两主肋板所连接的凸台尺寸较理论位置和理论尺寸偏小,采取模具修理,将该圆柱变为椭圆形状,满足该位置尺寸。

(2)熔炼方面 裂纹缺陷产生的原因为两侧圆柱和内浇道尺寸较大,凝固过程对转接处产生拉应力导致裂纹,改进措施是组合方案和涂料工艺的调整,增加横向连接杆。

(3)缩松缺陷 分析原因为 T 区相对其他位置较厚,对应底板后冒口相对集中,在表面层采用铝酸钴孕育剂,细化表面品质,有效解决了铸件缩松缺陷。

4 结 语

通过对收敛调节片底板后段的铸造工艺研究,最终确定侧注式,采用辅助筋条和横向连接杆的组合方案,表面层采用铝酸钴进行孕育的型壳涂料方式,保温毡包裹两层,浇注温度为 1 430±5 ℃,经过必要的精修和稳定热处理工序后可生产出合格铸件。

参 考 文 献

- [1] 孙秋霞. 打造强劲“中国心”——记中国航空发动机集团有限公司成立[J]. 中国科技奖励,2016,207(9):20-21.
- [2] 孙敏. 熔模铸造[M]. 北京:北京理工大学出版社,2009.
- [3] 薛鑫,吴亚夫,陈兴福,等. 薄壁调节片熔模铸造缺陷的控制[J]. 铸造,2015,64(8):744-746.
- [4] 王全,佟文伟,李青,等. 发动机喷管扩张密封片裂纹失效机理研究[J]. 失效分析与预防,2018,13(5):285-287.
- [5] 潘年锋. 内浇口结构方案对 JG4246A 合金薄壁铸件裂纹缺陷的影响[A]. 第七届中国铸造质量标准论坛[C]. 福州,2014.
- [6] 约翰·坎贝尔. 铸造原理(第二版)[M]. 李殿中,李依依 译. 北京:科学出版社,2011.

(编辑:刘卫)