

大型复杂圆台型钛合金铸件的铸造工艺研究

范李鹏¹ 王宝兵^{1,2} 姬艳硕¹ 冯港雯¹ 徐信锋¹ 谢剑锋¹ 杨 剑¹
(1.上海航天精密机械研究所; 2.上海交通大学材料科学与工程学院)

摘 要 针对某大型复杂圆台型钛合金铸件结构特点,设计了两种铸造工艺,并结合模拟仿真对铸造工艺进行优化,其中直立底注式铸造工艺更优。采用石墨型铸造并进行了生产验证,得到品质满足 GJB2896A-2007 中 I 类高品质铸件要求。

关键词 钛合金;大型复杂结构;石墨型;铸造工艺

中图分类号 TG146.23 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.02.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Casting Process of Large and Complex Titanium Alloy Castings
with the Round Table Type

Fan Lipeng¹, Wang Baobing^{1,2}, Ji Yanshuo¹, Feng Gangwen¹, Xu Xinfeng¹, Xie Jianfeng¹, Yang Jian¹
(1.Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute;
2.School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University)

Abstract: According to the structural characteristics of large and complex round-table titanium alloy castings, two kinds of casting processes were designed to optimize the casting process combined with simulation, of which the vertical bottom injection process was the satisfactory. Graphite mold casting process was used for production verification, and high-quality castings were obtained, of which the size structure, surface quality and internal quality all meet the requirements of Class I in GJB2896A-2007.

Key Words: Titanium Alloy, Large Complex Structure, Graphite Mould, Casting Process

钛合金具有高的比强度、高的耐热性、优良的耐腐蚀性等特点,是优质轻型金属结构材料,被广泛应用于航空航天等领域^[1~3]。某钛合金舱体铸件高度为 756 mm,最大直径为 440.2 mm,最小直径为 296 mm,内部壁厚为 1.5~2 mm,舱体内壁分布加强筋和多处凸台,见图1。该圆台型钛合金舱体内部结构较复杂,壁厚相

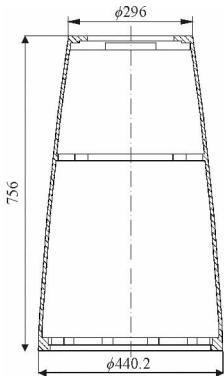


图 1 圆台型钛合金铸件二维图
Fig.1 Two-dimensional diagram of a round-table type titanium alloy casting

差较大,铸造过程中极易产生缺陷。铸件要求为 I 类铸件,需要进行 100% 的 X 光检测,内部品质要求很高。通过对该舱体结构和技术要求的综合分析,钛合金舱体拟采用人造石墨型壳浇注,石墨型壳具有强度高,热化学稳定性好和耐火度高的优点,随着温度的升高,强度反而增大,且对钛合金液有很好的润湿性,可浇注出优质钛铸件。此外,由于铸件高度很高,内部结构复杂,对铸造工艺方案的设计提出了新的要求。

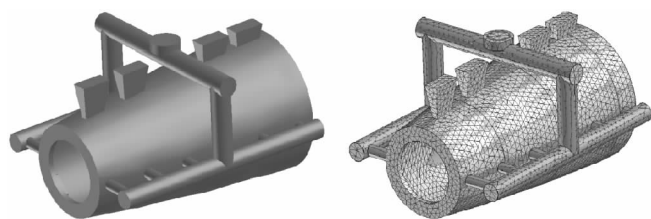
1 铸造工艺设计

对圆台型钛合金舱体进行铸造工艺设计,该工艺将舱体平放,分别在舱体的两侧和上方设置浇注系统和补缩冒口。在真空状态下,钛合金液流经直浇道和横浇道,经内浇道从舱体两侧流入型腔,冷却凝固。

工艺仿真模拟采用 UG 进行三维建模,将建好的三维模型以 igs 格式导入到 ProCAST 的 Visual-Mesh 模块进行网格划分,网格尺寸设为 5 mm,最终划分出约

收稿日期:2020-06-21;修改稿收到日期:2020-08-01
基金项目:上海市青年科技启明星计划资助项目(18QB1401400)
第一作者简介:范李鹏,男,1992 年出生,工程师,上海(201600),E-mail:flpnjust@163.com
引用格式:范李鹏,王宝兵,姬艳硕,等. 大型复杂圆台型钛合金铸件的铸造工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(2):182-184.
FAN L P, WANG B B, JI Y S, et al. Research on casting process of large and complex titanium alloy castings with the round table type[J].
Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(2):182-184.

24 万个面网格,90 万个体网格,铸造工艺设计和网格部分见图 2。



(a) 浇注系统

(b) 网格划分

图 2 初始方案浇注系统和网格划分

Fig.2 Gating system and grid meshment of the initial design

2 数值模拟仿真

设置浇注温度为 $1\,700\text{ }^{\circ}\text{C}$,浇注速度为 $15\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$,石墨型预热温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。铸件与石墨型之间的传热系数取 $500\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$,铸型表面设为空冷。

在铸造工艺设计与铸造参数设定的基础上,对该舱

体进行数值模拟,仿真结果见图 3。从图 3a 可以看出,由于铸件底部内浇道呈平行排列分布,不同内浇道和横浇道之间的距离不同,内浇道内的金属液流动行程不同,因此,金属液从内浇道充填型腔的时间不同,从而引起铸件内部温度场分布不均匀,易出现冷隔和浇不足等缺陷。从图 3b、图 3c 可以看出,铸件薄壁处凝固速度较快,铸件内壁的 4 个台阶处的凝固速度次之,铸件两端的环状厚壁区域凝固速度最慢,且半径较小处的环状区域尤为明显,在此情况下,铸件两端的圆环处易出现热节和孤立液相区,进而形成缩孔和缩松。一般认为,当合金液的固相率达到 $60\%\sim 70\%$ 时,合金液的流动性显著降低,不再具备补缩能力。从图 3d 可以看出,铸件两端的圆环处出现了孤立液相区,尤其是半径较小的环状区域已出现缩孔和缩松。由图 3e 可以看出,铸件两端的圆环处和薄壁的局部区域出现了热节。由图 3f 可以看出,铸件两端的环状区域、4 个台阶处及筒壁的局部区域有出现缩孔、缩松的趋势,且半径较小处的环

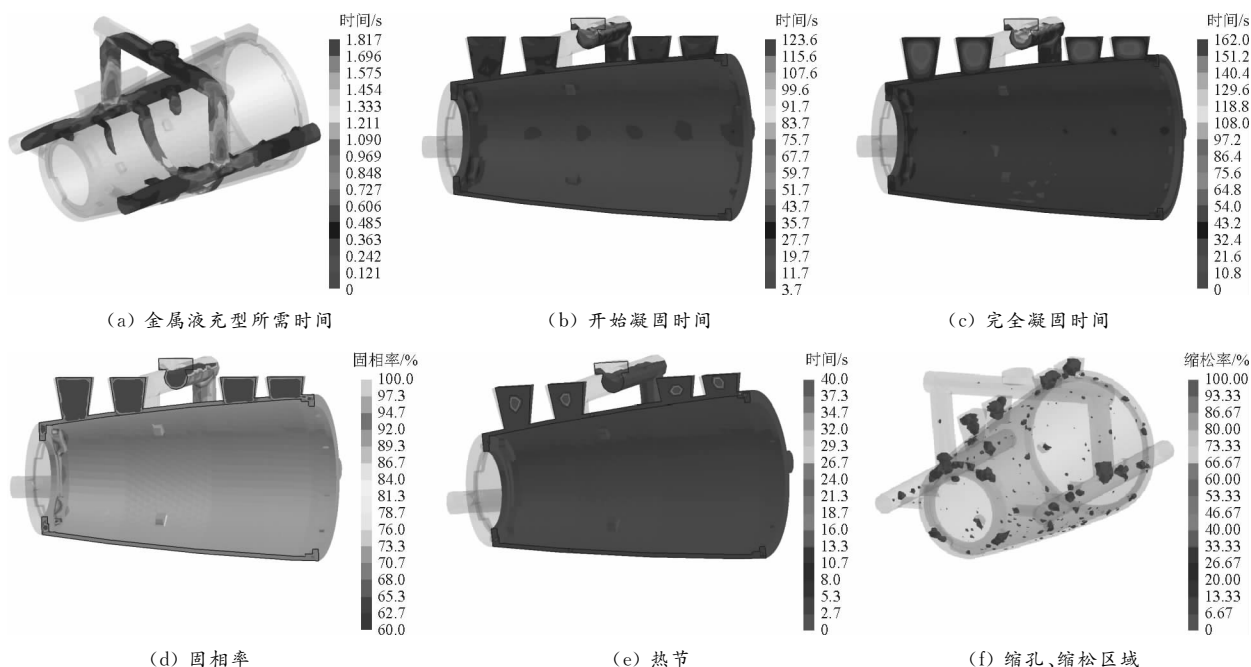


图 3 初始方案铸造仿真模拟结果

Fig.3 Simulation results of the initial design

状区域最严重。

3 铸造工艺优化

从初始方案铸造工艺仿真结果可看出,对于大型复杂圆台型铸件,使铸件平躺浇注不利于保证铸件内部品质,两端环状厚壁区域易出现缩孔和缩松。因此,必须改进铸造工艺。鉴于此,重新设计了铸造工艺,改进工艺采用底注式浇注,将舱体竖直放置,在筒状舱体的中心线处设置直浇道,横浇道沿直浇道的中心线向四周呈放射状分布,铸件的最顶端设置补缩冒口,随后进行网

格划分。改进方案和网格部分见图 4。

改进方案仿真结果见图 5。从图 5a 可以看出,由于改进方案中的横浇道沿直浇道中心线呈放射状圆周分布,各横浇道距离铸件的长度相同,因此,横浇道内的金属液流动行程相同,使得金属液能够同时、均匀充填型腔,保证铸件温度场的均匀性,避免冷隔、浇不足等缺陷的产生。此外,合金液的流程减少,过热度较高,流动性和充型能力较强,使铸件品质得以保证。从图 5b 和图 5c 可以看出,铸件薄壁处凝固速度较快,底部环状厚壁处和内壁的 4 个台阶处的凝固速度次之,铸件顶端的

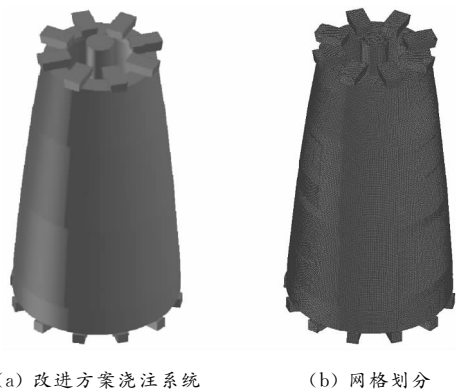


图 4 改进方案浇注系统三维模型和网格划分

Fig.4 3D model and grid meshment of the gating system of the modified design

环状厚壁区域上方的补缩冒口凝固速度最慢,在此情况下,铸件两端的圆环处补缩充足,不易出现缩孔、缩松。

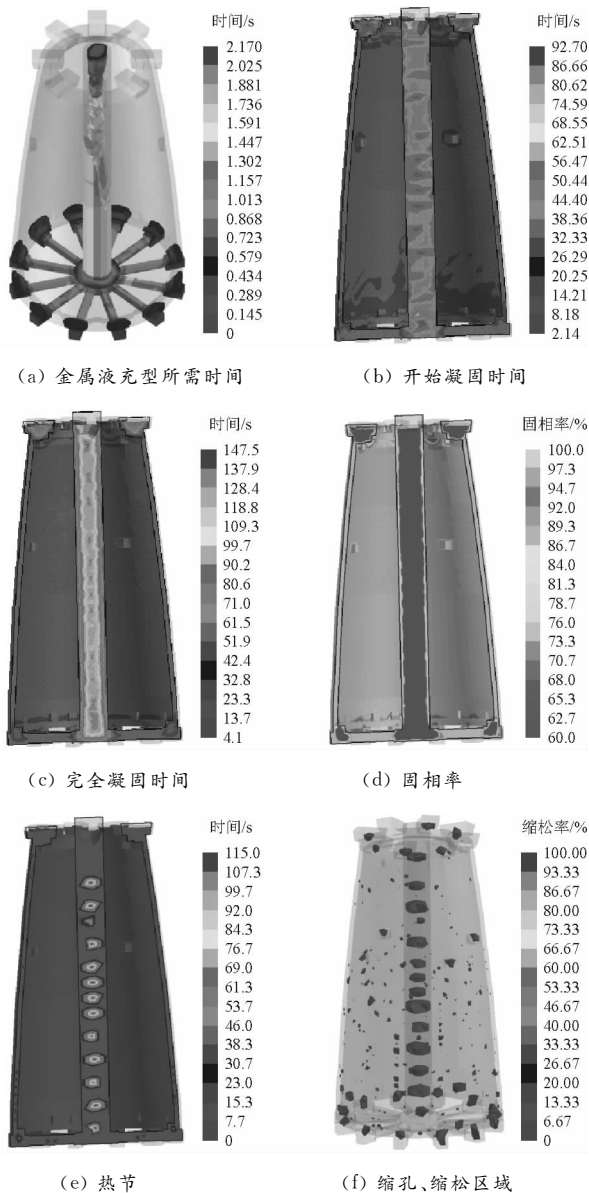


图 5 改进方案铸造仿真模拟结果

Fig.5 Simulation results of the modified design

由图 5d 可以看出,只有铸件底部的环状区域出现孤立液相区,但由于横浇道在铸件下方,孤立液相区域偏向横浇道位置,对铸件影响不大。由图 5e 可以看出,铸件底部的圆环处出现了热节,但热节区域同样偏向横浇道位置,薄壁处局部出现较小热节。由图 5f 可以看出,铸件的缩孔、缩松主要集中在浇注系统和补缩冒口中,铸件内部缩孔、缩松较少。因此,与初始方案相比,改进方案浇注的铸件品质明显改善。

4 生产验证

通过对大型复杂圆台型钛合金铸造工艺多次改进,调整铸件浇注位置和浇注系统,舱体铸件内部缩孔、缩松数量和体积明显降低,铸件品质明显提高。

依据圆台型铸件生产方法,制备出了钛合金舱体铸件(见图 6),铸件内部品质满足 GJB 2896A-2007 中 I 类铸件要求,X 射线检测一次合格率 100%,实际使用效果优异。



图 6 大型复杂圆台型钛合金铸件

Fig.6 Large complex round table type titanium alloy casting

5 结 论

(1)采用 ProCAST 软件对两种铸造工艺方案进行了对比,发现底注式浇注工艺铸件品质较优,其缩孔、缩松主要集中在浇注系统和补缩冒口中,铸件内部缩孔、缩松倾向小。

(2)采用优化后的铸造工艺制备出了大型复杂圆台型钛合金铸件,其内部品质满足 GJB2896A-2007 中 I 类要求,X 射线检测一次合格率为 100%。

参 考 文 献

- [1] 常辉,周廉,王向东.我国钛工业与技术进展及展望[J].航空材料学报, 2014(4): 37-43.
- [2] 赵丹丹.钛合金在航空领域的发展与应用[J].铸造, 2014, 63(11): 1 114-1 117.
- [3] 李梁,孙健科,孟祥军.钛合金的应用现状及发展前景[J].钛工业进展, 2004(5): 19-24.

(编辑:刘晨辉)