

基于 ProCAST 某环形钛合金铸件工艺分析及优化

李 峰^{1,2} 崔新鹏^{1,2} 南 海^{1,2}
(1.中国航发北京航空材料研究院; 2.北京市先进钛合金精密成型工程技术研究中心)

摘 要 针对某环形钛合金铸件出现的严重缩孔问题,应用 ProCAST 软件对铸件的充型和凝固过程进行了模拟分析,预测了铸件缩孔缺陷的分布规律,并进行了工艺优化和生产验证。试生产结果表明,铸件缩孔缺陷分布情况与模拟结果基本一致,优化后的铸件无大缩孔,提高了铸件品质并节约了成本。

关键词 ProCAST;钛合金;仿真;缩孔

中图分类号 TP311;TG146.23 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.12.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Simulation Analysis and Optimization of a Ring-shaped Titanium Alloy Castings Based on ProCAST Software
Li Feng^{1,2}, Cui Xinpeng^{1,2}, Nan Hai^{1,2}
(1.AECC Beijing Institute of Aeronautical Materials;
2.Beijing Engineering Research Center of Advanced Titanium Alloy Precision Forming Technology)

Abstract: In view of the serious shrinkage problem in a titanium alloy ring casting, multi-round simulation was carried out for the filling and solidification process of the casting by ProCAST software to predict the distribution of shrinkage defects, and process optimization and production verification on simulation analysis were conducted. The results indicate that the distribution of shrinkage defects is basically consistent with the simulated analysis, where the optimized castings have no large shrinkage defects, improving the quality of the casting and saving costs.

Key Words: ProCAST, Titanium Alloy, Simulation, Shrinkage Cavity

CAE 技术作为制造过程中的关键一环,已经在铸造生产中得到广泛应用,该技术可以显著缩短生产周期,节约成本^[1,2]。熔模铸造作为近净成形技术广泛应用在航空航天领域中,尤其适合生产钛合金铸件。近年来,由于钛合金精密铸造和热等静压技术的应用,使铸件品质显著改善^[3],但是对于比较大的缩孔缺陷,采用热等静压工艺仍难消除。

某整体式环形钛合金机匣,见图 1,其外环直径为 $\phi 164\text{ mm}$,内环直径为 $\phi 86\text{ mm}$,外环壁上存在 3 个圆柱凸台和一个菱形凸台。铸件按照传统经验进行工艺

方案设计生产,经过热等静压工序后发现铸件内环的背面出现大面积的凹坑,见图 2a,并且发现中间安装边的

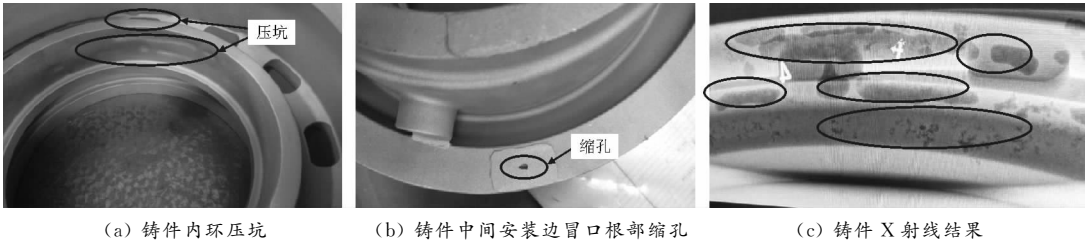
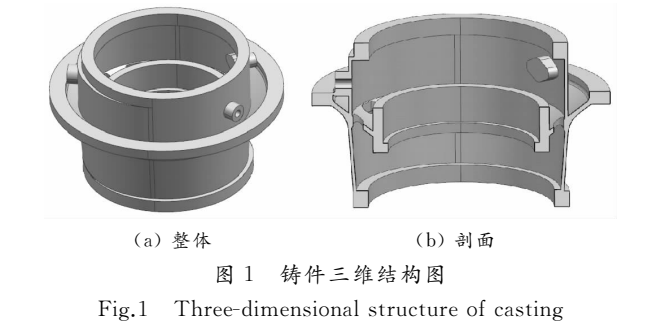


Fig.2 Shrinkage cavity at the root of inner ring crater and intermediate installation side riser of casting

收稿日期:2021-04-24;修改稿收到日期:2021-06-07

第一作者简介:李峰,男,1991 年出生,工程师,北京(100095),E-mail:lifengmaterial@163.com

引用格式:李峰,崔新鹏,南海. 基于 ProCAST 某环形钛合金铸件工艺分析及优化[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(12):1 469-1 471.
LI F, CUI X P, NAN H. Simulation analysis and optimization of a ring-shaped titanium alloy castings based on ProCAST software[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(12):1 469-1 471.

冒口根部也存在缩孔,见图 2b,通过在热等静压工序前进行 X 探伤,发现铸件内环壁存在大面积的缩孔缺陷,见图 2c,这些部位的缺陷必须进行补焊处理,严重影响了铸件的按时交付。针对此问题,基于 ProCAST 模拟分析,并进行工艺优化设计。

1 铸件前处理

该铸件采用 UG 软件进行三维实体建模,原始方案上环和和中间环各设置 6 个矩形冒口,采用底注式离心浇注,一炉两组,保证金属液的平稳充型。铸件网格尺寸设置为 4 mm,冒口和浇道尺寸设置为 6 mm,型壳厚度设置为 15 mm,最终得到的面网格单元数为229 150,体网格数为 2 382 229,见图 3。

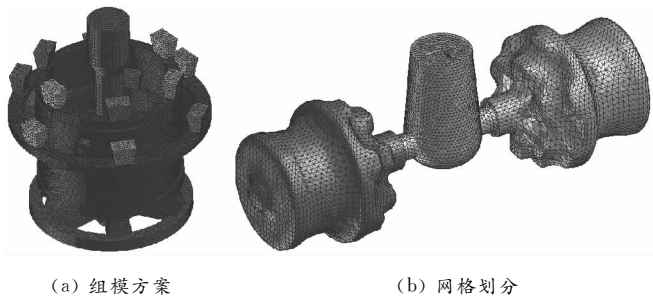


图 3 铸件组模方案及网格划分

Fig.3 Assembly scheme of casting mold and meshing

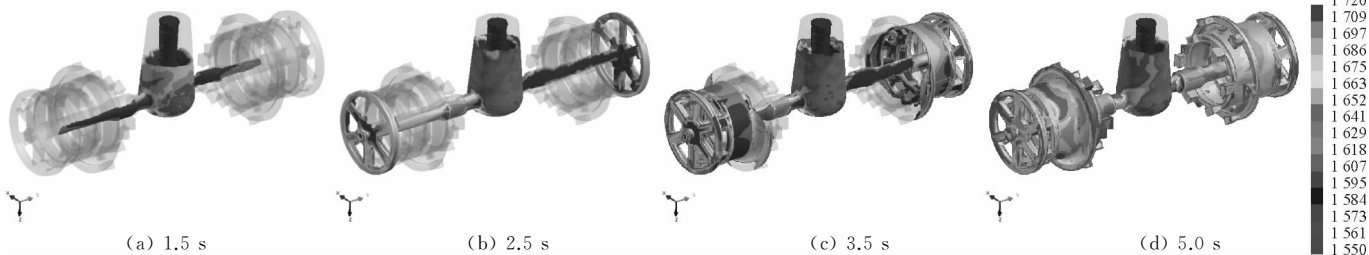


图 4 初始方案铸件充型过程温度场模拟结果

Fig.4 Simulation results of temperature field during mold filling of castings in the initial scheme

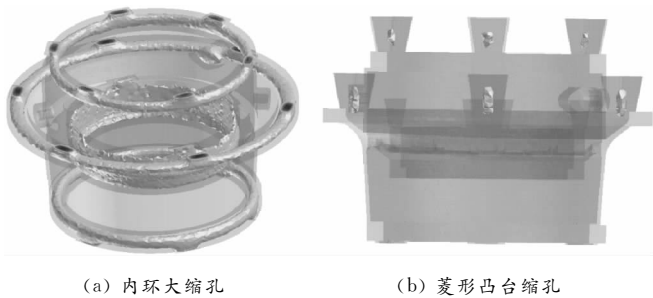


图 5 原方案铸件凝固热节分布

Fig.5 Distribution of solidification hot spots of castings in the original scheme

分。可以看出,铸件内环和菱形凸台在凝固过程中周围无金属液补缩,形成了孤立热节,导致金属液自由收缩后形成空洞即缩孔缺陷。中间安装边冒口热节比较靠

2 工艺参数设置

铸件材质为 TC4 合金,采用离心铸造,转速为 160 r/min,型壳预热温度为 200 ℃,型壳与金属间的传热系数见表 1。

表 1 金属液和型壳的传热系数
Tab.1 Heat transfer coefficient of liquid metal and mold shell (W · m⁻² · K⁻¹)

mold shell			
温度/℃			
0	1 600	1 600	2 000
50	100	900	900

3 仿真结果分析

图 4 为铸件充型过程温度场模拟结果。可以看出,充型开始时金属液与石墨浇杯接触,表面温度下降很快,凝固形成一层金属外壳。因为受到离心力作用,从中心浇杯离开后开始沿着直浇道两侧侧壁流动,浇杯中心金属液呈现内凹外凸的形态,见图 4a。2.5 s 时圆形浇道盘基本充满,金属液上升过程中流动平稳,从底部往上顺序充型。5 s 时铸件本体基本充满,从充型结果来看,金属液充型平稳,浇注工艺设计合理。

图 5 为初始方案铸件凝固过程热节分布图,浅色部位为未凝固的液态金属,周围灰色部位为凝固完全部

近铸件,根部容易形成缩孔。图 6 为缩孔位置模拟图,孔隙率设为 30,深色区域为缩孔位置。可以看出,模拟预测的内环壁缩孔与实际位置比较一致,显示为长条状

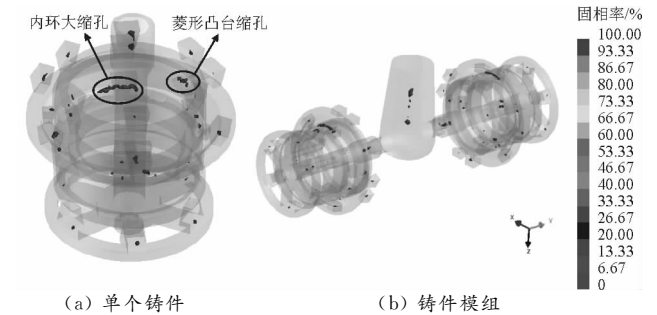


图 6 铸件凝固热节及缩孔缺陷

Fig.6 Casting solidification hot spots and shrinkage cavity defects

大缩孔,而中间安装边冒口根部缩孔未预测出,但是实际中间安装边冒口根部存在小缩孔,见图 2b,说明在当前孔隙率下,软件自带的缩孔预测准则对于大缩孔比较准确,而对小缩孔无法预测。

4 优化方案分析

根据初步方案的模拟结果,浇注系统设计合理,仅需要针对内环壁、菱形凸台和中间安装边冒口根部 3 处缩孔缺陷进行优化,为此内环壁设置了 3 个弯冒口补缩,菱形凸台设置了圆柱冒口补缩,中间安装边冒口高度增加 10 mm,斜度增大 5°,见图 7。按照优化方案重新设计了浇冒系统并进行了模拟仿真。图 8 为优化后的铸件热节分布,图 9 为优化后铸件中缩孔分布。内环壁的冒口最后凝固可以很好地补缩内壁热节,中间安装边的孤立液相区也比原方案小很多,从缩孔预测结果看铸件内环大面积缩孔基本消除,只有铸件外壁 3 个圆柱凸台存在小缩孔,其他位置缩孔尺寸平均为 0.3 cm³,考虑铸件最终要经过热等静压,根据经验判断这样的小缩

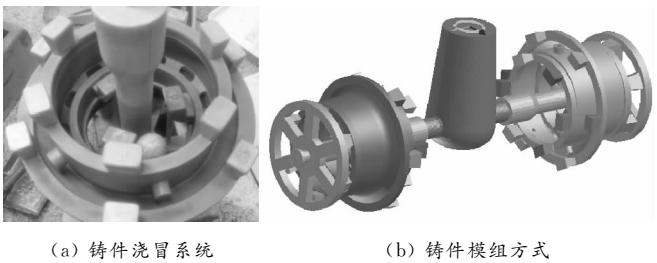


图 7 优化方案浇冒系统设计

Fig.7 Pouring riser system design in the optimization scheme

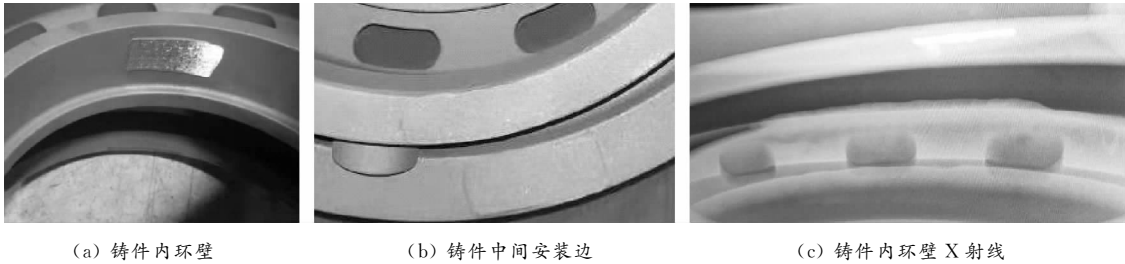


图 10 铸件实际浇注和 X 射线探伤结果

Fig.10 Actual casting and X-ray inspection results of castings

5 结 论

针对某钛合金环形铸件缩孔严重问题,通过分析铸件的结构特点,采用 ProCAST 软件开展了多轮次模拟仿真,分析了铸件凝固过程中的热节和缩孔分布,模拟结果显示原始方案铸件内环存在长条状大缩孔,中间外环冒口根部及菱形凸台存在缩孔。根据模拟结果进行了工艺方案优化,内环壁设置了 3 个弯冒口补缩,菱形凸台设置圆柱冒口,中间外环冒口增大了高度和梯度。再次模拟结果表明铸件内部基本无大缩孔,按照此方案

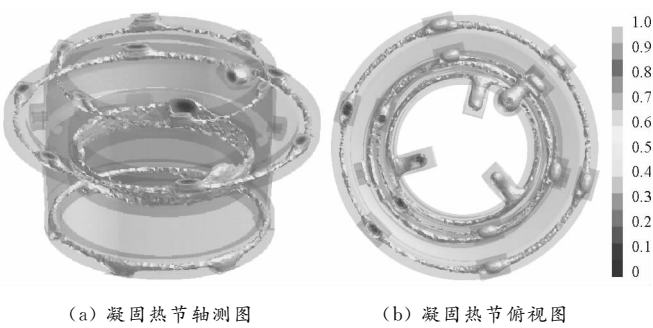


图 8 优化后铸件热节分布示意图

Fig.8 Distribution of hot spots in the castings after optimization

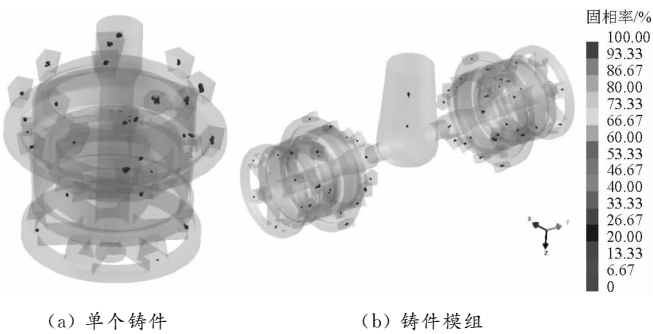


图 9 优化后铸件缩孔分布

Fig.9 Distribution of shrinkage cavities in the castings after optimization

孔经过热等静压可以完全消除。

为了验证模拟结果,进行了实际浇注试验,见图 10。切除冒口,外观检验铸件内环无压坑,中间外环冒口根部无缩孔,内环 X 射线探伤结果表明只存在一些显微缩松,采用热等静压工艺可消除,与模拟结果一致。

进行了实际浇注,试验结果显示铸件内部品质良好,与模拟结果一致,内环壁存在的缩松可以经过热等静压消除。

参 考 文 献

[1] 周建新,计效园,同春泽,等.铸造技术路线图:快速成形[J].铸造,2017,56(5):433-438.
[2] 许庆彦,铸造技术路线图:数字化、网络化、智能化铸造[J].铸造,2017,56(12):1243-1250.
[3] 张满,南海,黄东,等.钛合金热等静压和氢处理工艺研究[J].中国铸造装备与技术,2002(5):1-3.

(编辑:刘晨辉)