

基于ProCAST的超大型不锈钢机匣精密铸造工艺研究

冉 兴¹ 陈义斯² 秦礼彬³ 王海东³ 严西亭³ 何良菊⁴ 李培杰²

(1. 中航重机股份有限公司, 贵阳 550005; 2. 清华大学机械工程系, 北京 100084; 3. 航空工业贵州安吉精密铸造有限责任公司, 安顺 561000; 4. 清华大学航天航空学院, 北京 100084)

摘 要 超大型不锈钢机匣是高效能燃气轮机的核心承力件之一, 该铸件具有质量大、壁厚大的结构特征, 制约了其一体化近净成形。通过ProCAST有限元模拟优化其精密铸造工艺, 在结构和模流分析基础上设计了适用于超大型机匣的浇注系统模型, 兼具调节流量、储存冷熔体和排气集渣的功效。揭示了钢熔体在铸型中的充型和凝固行为, 发现内浇道处的热节转移易引起内环缩松, 在此基础上优化了冒口结构和补贴角度, 有效地抑制了内环中分散缺陷的形成。进一步设计了蜡模拼接和型壳制备工装, 确保了不锈钢熔体的顺利浇注, 成功研制出轮廓直径超2 m、质量约为1000 kg的超大型不锈钢后承力机匣铸件。该铸件尺寸精度、表面和冶金质量满足了技术要求, 设计方法可为类似结构件的铸造提供技术参考。

关键词 机匣; 燃气轮机; 铸造模拟; 精密铸造; 不锈钢

中图分类号 TG249.5; TG142.7; TP311

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.T20250197

Investment Casting Process of Ultra-large Stainless Steel Casing Based on ProCAST

RAN Xing¹, CHEN Yisi², QIN Libin³, WANG Haidong³, YAN Xiting³, HE Liangju⁴, LI Peijie²

(1. AVIC Heavy Machinery Co., Ltd., Guiyang 550005; 2. Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084; 3. Aviation Industry Guizhou Anji Precision Casting Co., Ltd., Anshun 561000; 4. School of Aeronautics and Astronautics, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: As one of the core load-bearing components of high-efficiency gas turbines, ultra-large stainless steel casing exhibits structural characteristics of high weight and large wall thickness, restricting the integrated near-net-shape forming. The investment casting process was optimized by ProCAST finite element simulation software, and a gating system model suitable for ultra-large casing was designed based on casting structure and mold flow analysis, which has the functions of regulating the flow rate, storing the cold melt and exhaust and slag collection. The filling and solidification behavior of steel melt in the mold was revealed. The results indicate that the transfer of hot spots at the inner gate is prone to cause shrinkages and porosities of inner ring. On this basis, the riser structure and pad angle were optimized, effectively inhibiting the formation of dispersed defects in the inner ring. Moreover, wax mold splicing and shell preparation fixtures were designed to ensure the successful pouring of steel melt. An ultra-large stainless steel rear load-bearing casing casting with a contour diameter over 2 m and a weight around 1 000 kg was successfully developed. The dimensional accuracy, surface and metallurgical quality of castings meet the technical requirements, providing technical guidance for the casting of similar structural components.

Key Words: Casing, Combustion Gas Turbine, Casting Simulation, Investment Casting, Stainless Steel

燃气轮机是发电和驱动运载装备的核心部件, 高效能高质量的燃气轮机制造具有重要的战略意义^[1-3]。目前主要的燃气轮机制造商有GE、西门子、三菱、ALSTOM等, 在大型舰艇等装备的动力提供上形成了高度垄断^[2-4]。高功率燃气轮机功能的实现取决于部件设计的先进性和高质量的成形制造, 近年来零件整体

化对制造工艺提出了新要求^[5-6]。其中, 后承力机匣是大功率燃气轮机的关键部件之一, 起到燃气轮机的支撑和关键受力作用, 该机匣有典型的大型复杂结构特征, 存在较为严重的冶金质量问题, 因此亟待进行成形工艺优化, 提高产品质量。

传统的铸造方法, 需经“经验试制—缺陷分析—工

收稿日期: 2025-05-13; 修订日期: 2025-05-22

基金项目: 两机重大专项基础研究资助项目(J2019-VII-0002)

第一作者: 冉兴, 男, 1968年出生, 研究员级高级工程师, E-mail: ranxing257@163.com

引用格式: 冉兴, 陈义斯, 秦礼彬, 等. 基于ProCAST的超大型不锈钢机匣精密铸造工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2026, 46(6): 949-954.

RAN X, CHEN Y S, QIN L B, et al. Investment casting process of ultra-large stainless steel casing based on ProCAST[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2026, 46(6): 949-954.

艺优化”多道流程^[4]。利用有限元数值模拟技术揭示合金液流动、凝固温度场和缺陷分布,进而迭代优化铸造工艺,可指导工程实践,缩短制造周期^[7-9]。孟祥林等^[10]采用 ProCAST 模拟软件系统分析了铝合金机匣的缩松缩孔位置,发现铸件法兰和凸台处易出现热节,采用保温冒口和冷铁对砂型进行优化后显著减少了凝固缺陷。刘珍君等^[11]研究了钛合金中介机匣不同流道-支板转接圆角值的凝固特性,模拟结果表明温度场和热裂倾向基本一致,局部应力分布差异是缩松和裂纹的可能原因。韩少丽等^[12]对比了顶注和底注式浇注系统对 JG4247 合金涡轮后机匣的铸造行为影响,发现在底注式浇注系统中通过优化冒口和浇道同时实现机匣变截面部位的补缩。SHANG Y 等^[13]增加模组中叶片的数量来减少辐射效率降低,降低模具上的最高温度以及加热速率,减少凝固缺陷。上述研究表明,通过 ProCAST 模拟可有效地揭示铸件凝固过程物理场的演变行为,并通过设计浇注系统结构调控缺陷。值得注意的是,不同铸件浇注系统设计存在较大的差异,尤其是随着铸件尺寸和复杂程度提升。实际生产中大型铸件采用小型件的浇注系统设计方法会出现大面积的缺陷^[6]。如大型铸件型壳空腔体积大,浇注系统设计时需要着重考虑充型金属液容量,保障金属液能够短时间内填满型腔,避免由于过长的流程导致大幅度的温度损失^[14]。另一方面,更快的液流速度可以提供更高的压力从而促进薄壁的充型和补缩,但在大型铸件中空腔部位在熔体运动时容易产生负压区,加剧卷气和氧化夹杂^[15]。

随着燃气轮机效能要求的提升,部件尺寸和结构复杂程度急剧增加,对 2 m 及以上的大型不锈钢承力机匣的制造提出更高的要求。此类大型合金钢结构件整体精铸型面尺寸精度和冶金质量控制等关键技术亟待突破。采用数值模拟软件对铸造工艺方案进行设计优化,通过模拟金属液的流场、温度场及缩松缩孔倾向,充分了解熔铸过程中熔体的充型流动和冷却凝固过程,进而优化铸造成形工艺具有必要性^[14, 16-18]。

本研究以外轮廓尺寸约 2 m 的超大型不锈钢燃气轮机后承力机匣为对象,通过 ProCAST 仿真软件揭示铸件充型凝固行为,结合铸件结构和凝固缺陷分布优化浇注系统结构,在此基础上开展试铸,旨在为高端装备中的超大尺寸铸件研制提供参考。

1 研究对象及方法

1.1 铸件结构和技术分析

以某型超大型燃气轮机不锈钢机匣铸件为研究对象,其材质为 ZG1Cr17Ni3。图 1 为超大型不锈钢机匣铸件结构示意图。该铸件主要由内环、外环、8 个支板

及 14 处凸台组成。最大外轮廓尺寸超过 2 m,铸件壁厚最薄为 10 mm,最厚为 50 mm,铸件质量约为 1 000 kg,具有典型的大型复杂厚壁铸件特征。

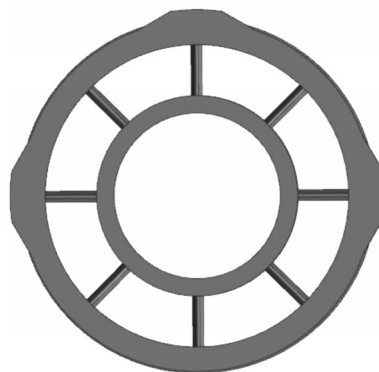


图 1 超大型不锈钢机匣铸件结构示意图

Fig.1 Structure diagram of ultra-large stainless steel casing casting

要求金属液需以足够快的充填速度充型,以缩短熔体充型时间,避免欠铸,因此该铸件应采用直线形横浇道加快熔体传输,通过分布式的内浇道对铸件型腔进行充填。为避免紊流卷气和氧化夹杂,在底部横浇道盘中心设置缓冲区,熔体通过大尺寸的中心浇道($\phi 100 \text{ mm} \times 850 \text{ mm}$)引入后,可对对称分布的横浇道均匀分配熔体^[19]。此外,该尺寸的铸件蜡模压型难以通过射蜡机一次成型,同时整体模组质量较重,型壳制备过程中易变形,影响铸件尺寸精度^[6]。因此,针对该类型铸件需要对蜡模进行分体拼接设计,设计蜡模拼接工装,采用分体蜡模拼接成型,设计制壳制备防变形工装,以降低铸件型腔在制造过程中的变形。

1.2 铸造工艺方案设计与凝固模拟

设计底注式开放浇注系统,金属液从铸件中部直浇道进入型腔,铸件底部沿支板均布 8 根横浇道进行金属液分流,截面直径尺寸为 $\phi 50 \text{ mm}$,设置矩形内浇道充型铸件内环、支板及外环(尺寸分别为 $\phi 40 \text{ mm}$ 、 $15 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 、 $\phi 40 \text{ mm}$)。构建的浇注系统浇道比例,直浇道、横浇道、内浇道截面积之比为 1:2:3。考虑到钢水在充型过程其前沿低温熔体中易导致夹杂缺陷,将内浇道和横浇道交接区外留有一定余量用以储存前端冷熔体。铸件上下端面为该部件安装边,需要保持较好的冶金质量,张振戎等^[20]研究表明,环形冒口相对于独立冒口能够提高冒口利用率,提升冒口对铸件的补缩能力,同时能够更好地排除型腔中的气体使夹渣上浮至冒口内,促进补缩均匀化。基于此,设计尺寸比例为补缩冒口体积:热节体积=3.5:1 的环形贴边冒口,构建浇注系统模型见图 2,该设计方案浇注金属液总质量为 5 000 kg,工艺出品率为 27.5%。

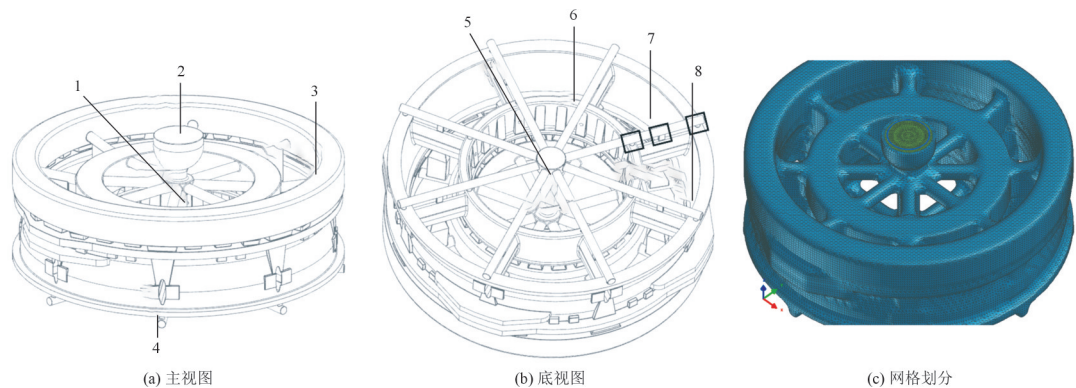


图2 不锈钢机匣浇注系统模型图

Fig.2 Model diagram of gating system of stainless steel casing

1. 浇道 2. 浇口杯 3. 环形冒口 4. 储料槽 5. 缓冲区 6. 直线形横浇道 7. 内浇道 8. 环形浇道

根据铸件结构特点,采用底注开放式浇注系统。为了缩短铸件研制周期、降低生产成本,结合ProCAST模拟仿真软件对工艺方案进行模拟仿真,获取铸件充型物理场和排气特征。由于铸件尺寸较大,考虑到算力因素,将有限元模拟网格划分为10 mm×10 mm,见图2c,其中浇口杯部分进行局部网格细化以提高模拟准确性。初始条件和铸造工艺参数见表1,铸

件凝固过程随温度变化的材料物性边界条件见图3,其中以平均热膨胀系数表示热应变行为,根据表1和图3中参数进行模拟仿真。

表1 铸件模拟参数设置

Tab.1 Simulation parameters of casting process scheme

铸件材料	浇注温度/℃	型壳预热温度/℃	传热系数/(W·m ⁻² ·K ⁻¹)	浇注速度/(kg·s ⁻¹)	型壳厚度/mm
ZG1Cr17Ni3	1600	1000	500	30	20

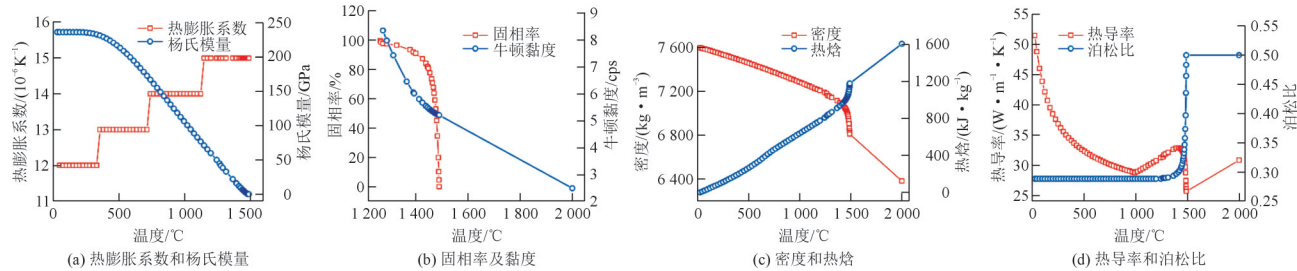


图3 不同温度下ZG1Cr17Ni3合金钢精密铸造边界条件物性参数

Fig.3 Physical properties of investment casting boundary conditions of ZG1Cr17Ni3 alloy steel under different temperatures

2 试验结果与讨论

2.1 超大型不锈钢机匣充型模流分析

图4为铸件模拟充型过程。可以看出,金属液经过中间直径为φ100 mm的直浇道快速进入型壳。从图4a可以看出,当浇注速度为30 kg/s时,浇口杯呈未充满状态,在实际浇注中需提高浇注速度以充满浇口杯,避免熔体在进入直浇道的过程卷气和氧化。在铸件底部横浇道盘中心设置圆形缓冲区,减少了金属液对铸型的冲刷并提升充型的平稳性。熔体通过底部沿支板设置的8根φ50 mm横浇道对铸件进行分流式充填。由图4可见,熔体充型至横浇道末端集渣口,由于高密度夹渣物的惯性更大可以在此处存积,有效地避免铸件内部出现夹杂缺陷。从图4b可以看出,分布式的横浇道能够将进入型壳的金属液沿内浇道输送至内环、支板、外环,实现熔体对型腔的同步充填。

该铸件采用开放式浇注系统,金属液在充型前端金属液流动迅速,降低了浇注过程熔体堵塞的倾向和返料风险。另一方面,由于采用底注式浇注系统,根据铸件支板划分铸件结构,设计了分布式的横浇道底盘,实现了熔体对铸件的同步充填。侧面也说明了横浇道中心缓冲区有利于平衡浇注熔体的方向与流速,确保了各个直线形横浇道中熔体的等量分配,铸件内环、支板、外环由底部向上逐层充型,整个充型过程金属液流动平稳,无紊流现象产生。

图5为超大型不锈钢机匣在充型过程型腔内金属液压力场分布。在充型过程中液体压力由下至上逐渐降低,型壳底部液体压力始终高于上部液体压力,整个充型过程型腔内流体压力正常,未出现明显的紊流和汇流区域。随着熔体对型腔的逐步充填,型壳内气体逐渐被排出,整个过程金属液充型平稳。同时,由于铸件型壳尺寸大,为了型腔内气体能够及时排出,保证铸件充

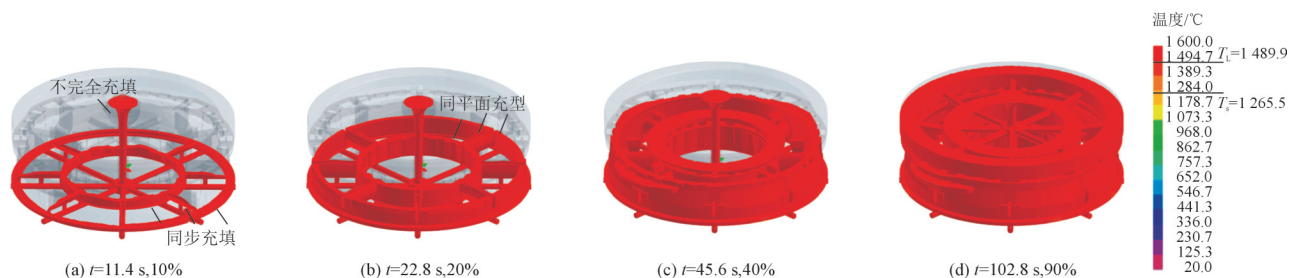


图 4 不同充填比率下的超大型不锈钢机匣熔体充型特征

Fig.4 Filling characteristics of ultra-large stainless steel casing with different filling ratios

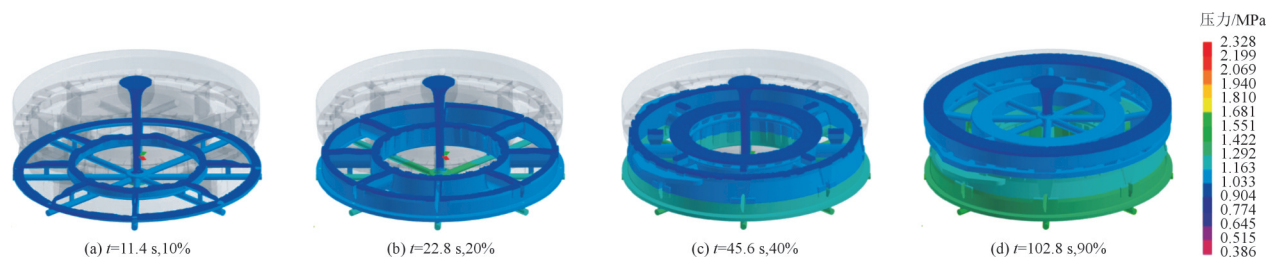


图 5 不同充填比率下的超大型不锈钢机匣充型压力场

Fig.5 Filling pressure field of super ultra-large stainless steel casing with different filling ratios

型完整,应在型壳上端预留排气口,实际投产时分别在铸件外环、内环上端冒口上沿周向均匀布置 16 根、8 根 ϕ 30 mm 排气浇道。该排气孔口与浇口杯齐平,提升充型过程型壳的排气能力,降低重力铸造过程中熔体对狭窄空腔充型时的气体背压。降低铸件欠浇风险,同时也有利于抑制铸件内部的气孔缺陷,提升铸件冶金质量。

2.2 超大型不锈钢机匣凝固补缩行为

图 6 为该超大型机匣的凝固温度场。从图 6a 可以

看出,铸件充满型腔后整体温度均处于液相线之上,当 $t=800$ s 时直径相对较小的横浇道开始逐渐凝固。由图 6c 可见,铸件底部温度偏低,率先进行凝固,并向上逐层推进。当 $t=6\,000$ s 时,铸件顶部环形冒口还存在部分液相区域,但整体已经完成凝固,尤其是铸件本体已低至 $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下。由此可见,该方案能够建立铸件自下而上顺序凝固的温度场,环形冒口能够有效地对铸件进行补缩。

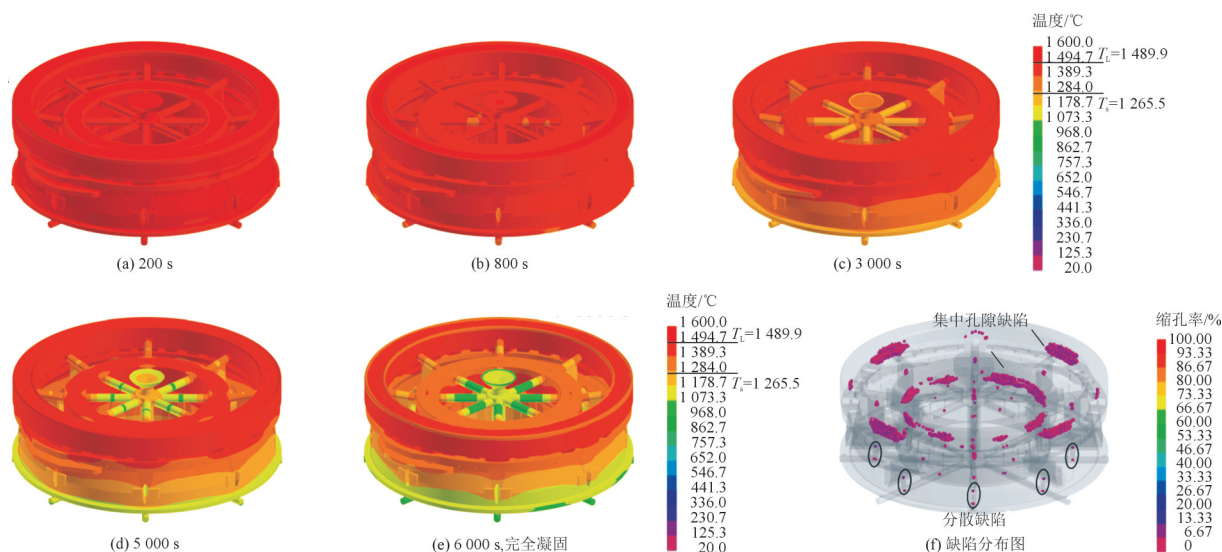


图 6 超大型不锈钢铸件的凝固温度场演变及缺陷分布

Fig.6 Temperature field evolution and defect distribution of ultra-large stainless steel casing

结合图 6a~图 6e 可知,铸件的底部先冷却,从铸件下端向上逐层凝固,上方的金属液可以有效地对率先冷却的区域进行补缩。这是由于顶端环形冒口的设计有效地将原本的铸件热节转移,脱离了铸件本体。具

体地,当前浇注系统下,缩松缩孔缺陷主要集中在内外环大安装边设置的环形冒口中。结果表明,当前的冒口和补贴结构可以有效地降低铸件本体中的缺陷。值得注意的是,内浇道和铸件连接区域出现了少量缺陷,

可以通过补焊等工艺去除,对铸件整体的冶金质量影响较小。

图7为铸件剖面的凝固温度场及结构示意图。从图7a可以看出,所设计的横浇道及内浇道的散热比表面积大,散热能力强,所以最先凝固,对铸件的补缩影响相对较小。铸件内环、支板、外环底部自下而上逐渐凝固,铸件上端冒口不断补缩铸件本体,得益于良好的凝固次序,铸件本体中不存在集中的缩松缩孔缺陷。铸件内外环上端冒口最后凝固,故在冒口内部形成了大量集中性缩松缩孔缺陷(见图6f),这一部分缺陷可通过对浇冒口切割去除。

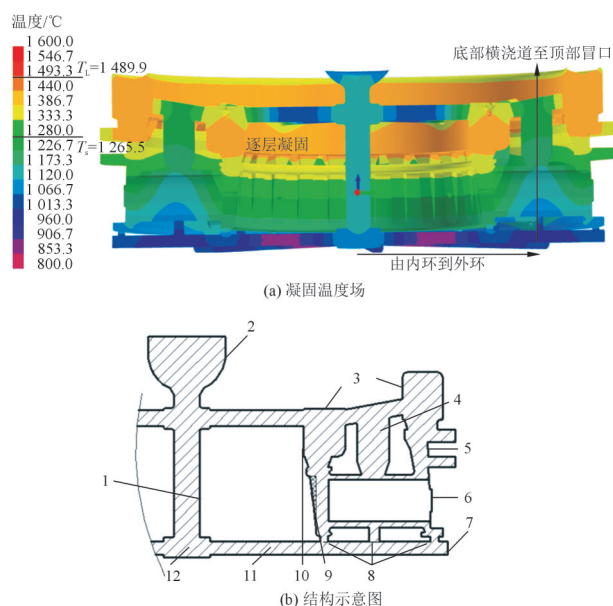


图7 超大型不锈钢机匣截面剖视图

Fig.7 Cross-sectional profile of ultra-large stainless steel casing

- 1.直浇道 2.浇口杯 3.环形冒口 4.支撑冒口 5.外环 6.撑杆
- 7.储料槽 8.内浇口 9.补贴 10.内环 11.直线形 12.缓冲区

从图7可以看出,铸件外环自下而上壁厚逐渐变厚,铸件外环热节集中在外环顶部,在设计补缩方案时将冒口设置在外环安装边上端,对铸件能够起到较好的补缩效果。另一方面,可以发现支板部位为孤立热节,需要在支板中部设置独立冒口对支板进行补缩,以防止支板内部产生缩松缺陷。此外,铸件内环近似于等壁厚状态,其高度超过200 mm,可视为热节分散的大平面铸件凝固模型,在冷却后易产生疏松缺陷。本研究通过工艺补贴将铸件内环热节转移至内环顶部安装边,工艺补贴与内环设置一定斜度,引导铸件热节的转移确保补缩通道的畅通,设计工艺补贴斜度为 7° ,有效地抑制了内环中分散缺陷的形成。最终再通过顶部环形冒口对铸件内环进行补缩,减少了内环缩松缩孔缺陷。

2.3 超大型不锈钢机匣铸件试铸

基于模拟结果,构建含有浇注系统结构的超大型

不锈钢机匣蜡模压型和陶瓷型壳。由于铸件轮廓尺寸大且质量较大,采用精密铸造,易发生蜡模压型的变形翘曲。型壳制备过程蜡模易发生变形、开裂,影响铸件尺寸精度,最终可能导致铸件报废。通过设计分体蜡模胎模(控制分体蜡模尺寸)、蜡模拼接工装(控制整体蜡模尺寸)、型壳制备防变形工装(控制型壳变形)、加固型壳强度等技术手段,实现铸件尺寸精度控制,拼接工装、防变形工装见图8。

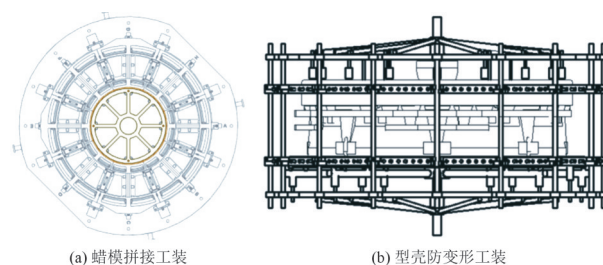


图8 拼接工装及防变形工装示意图

Fig.8 Schematic diagram of splicing tooling and anti-deformation tooling

蜡模拼接工装通过支板定位槽定位蜡模角向,内外环限位块定位径向,保证整体蜡模尺寸精度,得到尺寸精度满足要求的蜡模。同时,由于铸件蜡模尺寸超大,蜡模模组质量达500 kg,在制壳过程中易产生变形,通过防变形工装固定支撑模组顶部、底部及侧面,保证模组在制壳翻转过程中各部位均匀受力,减少模组变形。

铸件采用精密铸造,经分体蜡模制造、整体蜡模拼接、型壳制备和熔炼浇注等工艺过程,成功研制出轮廓直径超2 m,质量约为1 000 kg的不锈钢燃气轮机后承力机匣铸件,见图9。该铸件及附加浇注系统总质量约

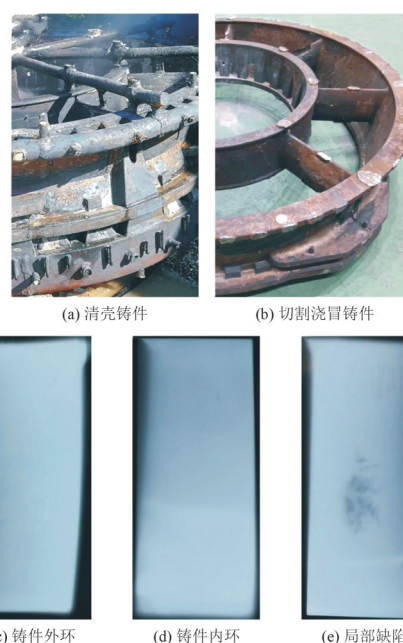


图9 铸件试铸实物及X光结果

Fig.9 Trial produced casting and X-ray inspection results

为4 500 kg,为避免多股金属液交汇,减少由于汇流冷隔导致的缺陷,需单炉浇注一次性整体化成形。从图9可见,铸造成形后铸件结构完整,表面精确,经过X光检验可知,采用优化工艺成形后铸件环面的组织相对致密。局部区域呈现出的疏松缺陷见图9d,经检验,铸件化学成分、力学性能、表面质量、内部质量均满足技术要求,铸件尺寸精度符合图纸及标准要求。

3 结 论

(1)对超大型不锈钢机匣结构进行分析,结合钢熔体充型凝固特性,设计直浇道、横浇道、内浇道截面积比例为1:2:3,以及补缩冒口体积:热节体积=3.5:1的环形贴边冒口。该浇注系统可以储存前端冷熔体抑制冷隔,有利于排气和夹渣上浮,促进补缩均匀化。

(2)基于ProCAST数值模拟揭示了钢熔体在浇注系统中的充型与凝固行为,探讨了热节转移和疏松缩孔分布的关系,优化了冒口位置和补贴倾角,有效抑制了内环的分散缺陷。

(3)在蜡模拼接和型壳制备工装的基础上,获得尺寸精确的高强铸型,确保了不锈钢熔体的顺利浇注,成功研制出轮廓直径超 $\phi 2$ m,质量约为1 000 kg的不锈钢后承力机匣。

参 考 文 献

- [1] 徐军航,李宝治,李景明,等.燃气轮机不锈钢机匣发展现状及发展方向[C]//2023年中国铸造活动周论文集.福州,2023.
- [2] 闫大海,张晗.船用燃气轮机发展趋势分析[J].舰船科学技术,2021,43(10):84-88.
- [3] 闫伟华,彭恒.燃气轮机发电技术发展动态与趋势[J].电站系统工程,2020,36(4):21-24.
- [4] 张忠文.舰船燃气轮机技术的发展途径[J].航空发动机,2009,35(6):49-52.
- [5] 韩少冰,钟兢军.燃气轮机在商船上的应用及其技术发展趋势[J].中国航海,2011,34(2):35-40.
- [6] 冉兴,吕志刚,曹建,等.大型复杂钛合金铸件精密铸造技术[J].铸造,2021,70(2):139-146.
- [7] LI C Y, WANG H Y, WU S P, et al. Research on mould filling and solidification of titanium alloy in vertical centrifugal casting[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2010, 39(3): 388-392.
- [8] 孙冰,王易山,孙宏喆,等.ZTA15钛合金小型复杂厚壁类铸件的缩孔分析及工艺改进[J].特种铸造及有色合金,2023,43(1):102-105.
- [9] 王堃,刘颖卓,姚斐,等.基于ProCAST的异型舱体低压铸造工艺优化[J].特种铸造及有色合金,2024,44(7):992-994.
- [10] 孟祥林,刘锦辉.基于PROCAST和SLS的燃烧室机匣铸造工艺优化[J].长春大学学报,2023,33(12):1-7.
- [11] 刘珍君,张荣强,朱小平,等.中介机匣流道与支板转接圆角数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2023,43(12):1 710-1 713.
- [12] 韩少丽,李尚平,刘天宇,等.JG4247合金涡轮后机匣铸造工艺设计与优化[J].铸造,2023,72(7):884-890.
- [13] SHANG Y, PEI Y L, GONG S K, et al. Directional solidification behavior of turbine blades in DZ125 alloy: Design of blade numbers on assembly[J]. Rare Metals, 2021, 40: 1 134-1 144.
- [14] 孙浩,王明明,张晓妍,等.大型铸件铸造工艺及数值模拟研究进展[J].兵器材料科学与工程,2026(1):200-214.
- [15] 冉兴.大型环状钛合金铸件立式离心铸造螺旋形横浇道设计[J].稀有金属材料与工程,2024,53(7):2 049-2 058.
- [16] 柳百成,荆涛.铸造工程的模拟仿真与质量控制[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [17] 胡玥,雷四雄,胡兵,等.轴承机匣熔模精铸过程模拟[J].铸造技术,2020,41(7):672-676.
- [18] 郭居魁,宋建丽,付甲,等.基于ProCAST的改性中锰钢衬板的温度场模拟[J].特种铸造及有色合金,2014,34(10):1 050-1 053.
- [19] 王磊,李珊.基于ProCAST软件的小型支架一模多腔压铸模开发[J].特种铸造及有色合金,2019,39(9):967-969.
- [20] 张振戎,张亚才,卢庆春.用环形冒口代替分散冒口铸造不锈钢皇冠[J].一重技术,2004(1):18-20.

(编辑:张正贺)

《特种铸造及有色合金》征稿启事

《特种铸造及有色合金》杂志是中国科学技术协会主管、中国机械工程学会铸造分会和武汉机械工艺研究所共同主办的全国性科技期刊,是对国内外公开发行的中文核心期刊,中国科技论文统计与分析用刊,INSPEC、CA、MA、AJ、JST、Scopus等国内外权威数据库及检索系统收录期刊,并获得全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖、新中国60年有影响力的期刊、湖北省十大有影响力的自然科学期刊等。

本刊面向国内外广大科技工作者征稿,征稿内容包括:各种(黑色和有色合金)特种铸造方法、各种有色合金及复合材料的成形理论、工艺、设备、材料、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验,此外还包括各相关学科和交叉学科,如挤压铸造(液态模锻)、半固态加工、新能源材料、电子封装、高熵合金、非晶合金(金属玻璃)、焊合、粉末冶金、合金化、热处理、表面处理等方面的学术和技术研究成果等。

特种铸造及有色合金杂志社(武汉)有限公司

地址:武汉市江岸区建设大道融玺1001大厦11楼

邮编:430019

电话:027-85358206,85486024,

85358127

投稿网址:www.special-cast.com

邮箱:tzzz@special-cast.com

