

铝合金集成式缸盖铸造缺陷问题分析与解决

赵葵 王清正 王盼 吴素坤 熊生 冯波 胡锋
(温州瑞明工业股份有限公司)

摘要 某集成式铝合金缸盖在研发过程中出现铸件水道堵死缺陷,废品率高达 100%。对其充型时间、铝液温度、浇注进料方向等铸造工艺,砂芯强度及表面处理等制芯工艺进行调整和验证,结果均无法解决该缺陷。借助仿真软件对铸件成形过程进行模拟,发现由于上水道砂芯局部位置细薄且壁厚变化过大,砂芯局部温度过高、应力过大导致断裂。通过增加该处截面积,最终解决了铸造缺陷。

关键词 缸盖;排气集成;铸造缺陷;砂芯断裂;数值模拟

中图分类号 TG146.21;TP311 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.07.030 **开放科学(资源服务)标识码(OSID)**:



Analysis and Solution on Casting Defects of Aluminum Alloy Integrated Cylinder Cover
Zhao Kui, Wang Qingzheng, Wang Pan, Wu Sukun, Xiong Sheng, Feng Bo, Hu Feng
(Wenzhou Ruiming Industrial Co., Ltd.)

Abstract: Aiming at blockage defect commonly occurred in water jacket during the development process of aluminum integrated cylinder cover, leading to rejected rate as high as 100%, the casting process including filling time, temperature of molten aluminum, feeding direction, and strength of sand core and surface treatment were analyzed and verified. However, casting defects cannot be effectively solved. Afterwards, the simulation of forming process were carried out by software. The results indicate that the local temperature and stress of sand core are excessive due to thin sites and great variation of wall thickness in upper channel sand core, leading to fracture. The casting defects are finally solved by increasing the cross-sectional area of the site.

Key Words: Cylinder Cover, Exhaust Integration, Casting Defects, Sand Core Fracture, Numerical Simulation

汽车轻量化是实现节能减排的重要措施之一,随着汽车发动机新技术的发展,在机械方面除了采用全铝合金缸体、缸盖等轻量化材料外,越来越多的发动机在零部件结构功能上采取集成化、一体化的结构设计^[1-3]。目前,行业内最新技术是缸盖集成排气歧管技术,该技术取消了传统的排气歧管零部件,将排气歧管集成在缸盖的排气侧面,利用排出的高温气体来加热冷却液,为汽车的冷却系统增加热源^[4-7]。

传统铝合金缸盖内部冷却通道通常由一个水道砂芯即可成形,集成式缸盖内部冷却结构则变得非常复杂,通常由 2~3 个水道砂芯成形,水道砂芯整体结构变得非常细薄且壁厚不均,相较于传统缸盖更容易产生铸造缺陷。目前,有关铝合金缸盖缩孔缩松、气孔、夹渣等缺陷的研究报道较多^[8-16],但针对砂芯断裂造成铸件堵死类问题报道较少。因此,本研究对铝合金集成式缸盖铸件水道堵死问题进行了详细分析,从工艺参数、浇注

工艺、制芯工艺等方面进行了现场调整及验证,并借助仿真软件进行模拟,通过方案优化及实际生产验证,最终彻底解决了该铸造缺陷问题,为铸造缺陷问题的分析与解决提供参考。

1 产品结构及缺陷描述

某集成式铝合金缸盖结构见图 1,其外形轮廓尺寸为 419.85 mm×314.12 mm×143.58 mm,质量为 13.92 kg,铸件平均壁厚为 8.22 mm,最大壁厚为 34.47 mm,最小壁厚为 3.85 mm。铸件罩边(即油腔砂芯与两金属侧模之间)的理论设计一般壁厚为 4 mm。排气歧管集成区域横截面位置剖视图结构见图 1c,其中上下水道砂芯与上下排气道砂芯、油腔砂芯及金属底模之间的理论设计一般壁厚为 4 mm,局部最小位置为 3.85 mm。

使用初始工艺生产的缸盖铸件,外观检测时发现缸盖水道内腔存在堵死异常,对所有铸件进行解剖(见图

收稿日期:2022-08-22;修改稿收到日期:2022-10-06
第一作者简介:赵葵,男,1987 年出生,高级工程师,浙江温州(325204),E-mail:lj888@126.com
引用格式:赵葵,王清正,王盼,等. 铝合金集成式缸盖铸造缺陷问题分析与解决[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(7):1 002-1 006.
ZHAO K, WANG Q Z, WANG P, et al. Analysis and solution on casting defects of aluminum alloy integrated cylinder cover[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(7):1 002-1 006.

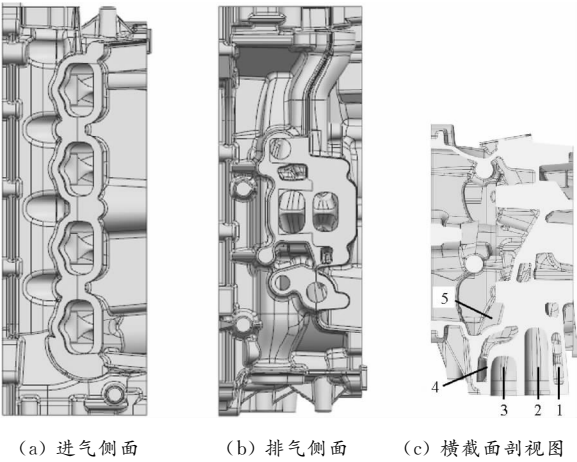


图1 铝合金集成式缸盖结构示意图

Fig.1 Structure diagram of aluminum integrated cylinder cover

1.下水道砂芯 2.下排气道砂芯 3.上排气道砂芯 4.上水道砂芯
5.油腔砂芯

2),发现均存在不同程度的封堵情况,废品率高达100%,故障区域主要集中在上水道砂芯成形位置。

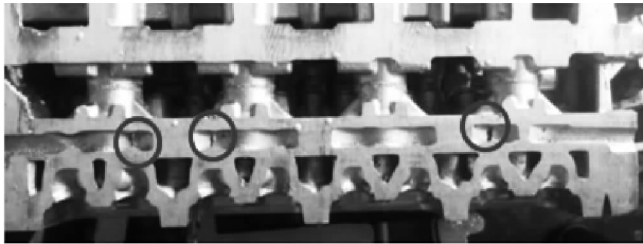


图2 缸盖水道内腔堵死件解剖实物图

Fig.2 Product of blockage inside water jacket of cylinder cover

2 铸造缺陷原因分析

2.1 缺陷实物及砂芯结构

铸件缺陷状态见图3,通过对铸件解剖,发现所有堵塞位置的多肉状态均呈蔓延的趋势,基本可以判定堵塞产生的主要原因为上水道砂芯在铸件成形过程中出现裂纹。随着充型过程进行,铝液钻入到裂缝位置并扩展,最终形成多肉,从而导致铸件水道堵死。

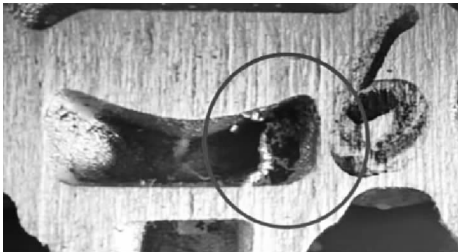


图3 铸件缺陷状态图

Fig.3 Diagram of casting defect

对故障缺陷位置进行统计分析,发现缺陷位置主要集中在相对固定的区域,见图4,图中标记3处的缺陷占比相对最多,通过分析砂芯结构,可以明显看出故障

位置均处于砂芯本体连接相对较细薄处。

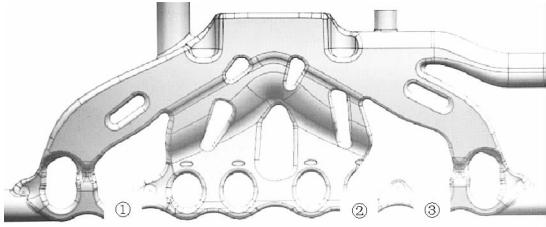


图4 缸盖上水道砂芯结构及堵死缺陷位置示意图

Fig.4 Schematic diagram of sand core of upper water jacket and location of blockage defect

2.2 现场工艺调整及验证

2.2.1 铸造工艺分析

通过对缺陷进行分析,初步认为铝液在铸件充型过程中对砂芯的冲击力超过砂芯的强度,造成砂芯断裂,进而产生隔壁,导致铸件水道堵死。为降低铝液在充型过程中对砂芯的冲击力度,现场将重力铸造浇注时间由18 s延长至24 s并进行浇注验证,发现铸件外观成形良好,但解剖后缺陷仍存在。

由于砂芯在铸件充型过程中会吸收大量的热量,砂芯温度升高会导致其强度降低,将铝液浇注温度由700 ℃降低至680 ℃,结果铸件外观产生冷隔。继续将浇注温度调整至690 ℃,结果发现铸件外观成形良好,但解剖后缺陷仍存在。

基于现场工艺参数调整方案无效,对铸造工艺的进料方向由排气侧面罩边位置调整为进气侧面罩边位置,调整前后的对比示意图见图5。通过调整进料方向,以规避或降低铝液对上水道砂芯故障区域位置的正面冲击,但该方案经过现场验证后仍然失败。

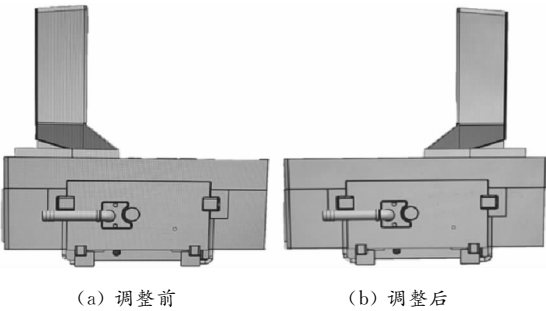


图5 进料方向调整前后对比示意图

Fig.5 Comparison of castings before and after feeding direction adjustment

2.2.2 制芯工艺分析

提高砂芯强度可降低砂芯断裂风险,但过高的砂芯强度可能会使铸件内腔残砂不易溃散,影响铸件的清洁度。为了验证该方案的效果,通过调整覆膜砂树脂含量,将上水道砂芯的抗拉强度由1.6 MPa提高至2.6

MPa 进行浇注验证,结果铸件解剖后缺陷仍然存在。

激冷涂料利用化学反应去改变涂料层范围内的凝固条件和冷却速度,从而实现调节铸件凝固顺序。在上水道砂芯强度提升的同时,现场对缺陷所对应的上水道砂芯表面区域进行刷涂激冷涂料进行浇注验证,结果铸件解剖后缺陷仍存在。

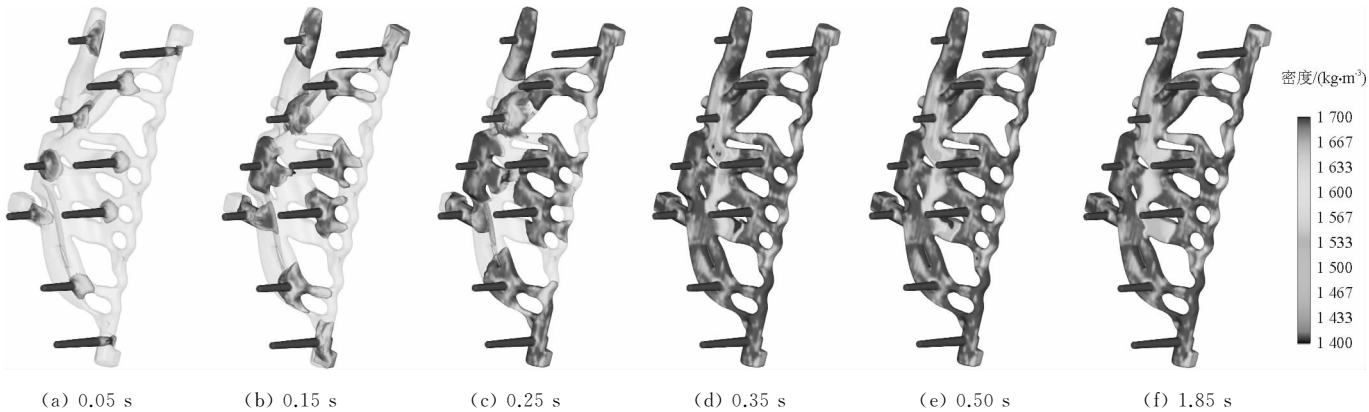


图 6 上水道砂芯射砂过程模拟结果

Fig.6 Simulation results of sand-shooting process of sand cores in upper water jacket

出,缺陷处的充填过程良好,无明显缩松和卷气现象,说明射砂工艺相对合理。

2.3.2 铸造工艺模拟

利用 FLOW-3D CAST 软件对铸件成形过程进行模拟,由于三维模型结构非常复杂,采用四面体结构来进行有限元网格划分,铸造工艺参数设定见表 1。

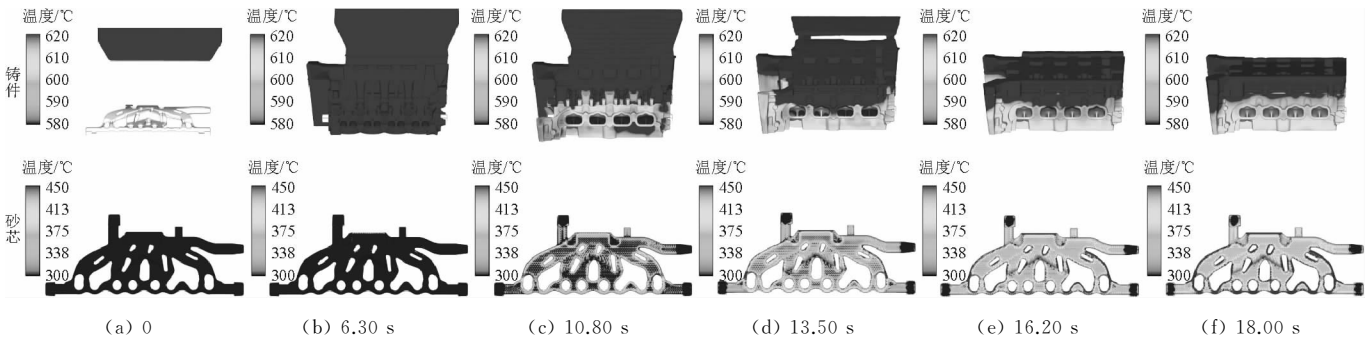


图 7 充型过程铸件和上水道砂芯温度场模拟结果

Fig.7 Temperature field simulation results of castings and sand core in upper water jacket during filling process

铸件充型完成时上水道砂芯温度分布图见图 8。可以看出,砂芯本体结构连接细薄位置处的颜色非常深且过

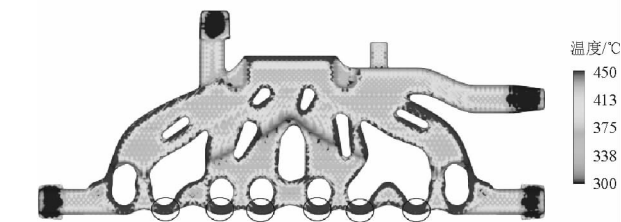


图 8 铸造充型完成时上水道砂芯温度分布图

Fig.8 Temperature distribution of sand core in upper water jacket after completing casting filling

2.3 数值模拟分析

2.3.1 射砂工艺模拟

利用 FLOW-3D CAST 仿真软件对射砂工艺进行模拟,模拟边界条件参照生产现场实际的工艺参数来进行设定,上水道砂芯射砂过程模拟结果见图 6。可以看

表 1 浇注工艺参数表

Tab.1 Parameter of pouring process				
合金	浇注温度/℃	浇注时间/ s	模具温度/℃	砂芯温度/℃
A356	690	18	380	25

充型过程中铸件温度场和上水道砂芯温度场模拟结果见图 7。可以看出,随着充型过程进行,当铝液充型至上水道砂芯区域时,上水道砂芯温度会快速上升。

于集中。对比发现,砂芯局部温度过高位置(见图 8 中线圈标注)与铸件故障位置(见图 4 中线圈标注)的分布规律基本保持一致。

对故障缺陷占比最多位置处的砂芯内部温度及其表面铝液固相率进行分析,结果见图 9。可以看出,铸件充型完成时砂芯内部中心位置的瞬时温度为 465 ℃,砂芯表面铝液固相率为 6.89%。铸件充型完成后进入凝固过程,随着凝固过程进行,砂芯会继续保持吸热,温度还会保持继续上升的趋势。

综上,由于上水道砂芯局部位位置细薄且壁厚变化过