

铝合金缸盖水套芯工艺孔缺陷分析及工艺优化

任泽翔¹, 丛培军¹, 宋翰卿¹, 刘卓霖¹, 马林², 王帅¹

(1. 一汽铸造有限公司有色铸造分公司, 吉林长春 130000; 2. 一汽铸造有限公司产品技术部, 吉林长春 130000)

摘要: 针对重力浇注铝合金缸盖水套芯工艺孔缩松缺陷, 采用数值模拟等手段对缺陷的形成原因进行了研究, 对浇注工艺进行了分析和优化。采用模具喷涂优化、激冷涂料应用、增加补缩通道等措施, 改进浇注工艺参数, 并通过铸造工艺数值模拟以及生产验证确定了最终铸造工艺方法。消除了缸盖水套芯工艺孔缩松缺陷, 提高了铸件质量, 降低了废品率。

关键词: 铝合金; 缸盖; 缩松; 铸造工艺

铸件质量与铸造工艺设计密切相关^[1-2]。在实际生产中由于铸件结构或铸件工艺上的不便, 难以在中部设置暗冒口, 导致有些铸件需补缩的高度超过冒口的有效补缩距离。在这种情况下, 增加工艺补贴就显得非常重要^[3]。发动机缸盖铸件是一汽大众商用车核心零部件之一(图1), 铸件的长为376.8 mm, 宽为245.5 mm, 高为118.52 mm, 最小壁厚4 mm。现有缸盖产品端面水套芯工艺孔加工面发现缩松缺陷, 客户精加工后, 缩松漏出, 使缸盖存在水漏风险。本研究旨在通过铸造工艺优化和数值模拟, 找出缺陷原因。通过采用合理的补贴设计, 配合涂料工艺优化, 可在稳定生产条件下, 消除特定部位缩松缺陷, 消除水套砂芯工艺孔密封堵塞下方缩松缺陷, 降低水漏废品率。

1 铸造工艺简介

该产品采用金属型铸造, 内部空腔砂芯成形, 砂芯使用无机制芯机制造, 铝液使用旋转除气机精炼除气, 浇注使用倾转浇注机, 金属型表面喷涂保温涂料。

(1) 制芯工艺条件: 采用无机制芯及无机制芯机进行制芯, 组分I(液体): 2.1%~2.5%(占砂重), 组分II(粉料): 0.7%~1.1%(占砂重)。

(2) 铝液成分: AlSi10Mg(Cu), 具体成分如表1所示。

(3) 细化、变质及除气: 使用AlTi5B合金棒细化处理, AlSr10合金棒变质处理, 浓度为99.999%氩气除气, 除气时间15~20 min, 铝液的密度指数要求 ≤ 1.0 。

(4) 浇注温度及浇注速度: 浇注温度为 $(700 \pm 10)^\circ\text{C}$, 倾转浇注分为连续三个阶段, 浇注时间 $(12 \pm 2)\text{s}$, 倾转角度 100° : 第一阶段 $(3 \pm 1)\text{s} \times 10^\circ/\text{s}$, 第二阶段 $(7 \pm 1)\text{s} \times 8^\circ/\text{s}$, 第三阶段 $(2 \pm 1)\text{s} \times 7^\circ/\text{s}$ 。

(5) 涂料: 保温涂料, 波美度 $\geq 70\text{ Be}$ 。

作者简介:

任泽翔(1992-), 男, 学士, 研究方向为铝合金缸盖产品设计与工艺。电话: 13844012806, E-mail: renzexiang_ys@faw.com.cn

中图分类号: TG292

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)09-1173-05

收稿日期:

2021-10-11 收到初稿,
2022-01-10 收到修订稿。

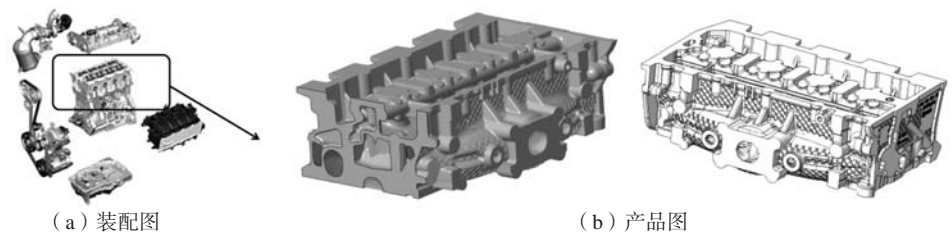


图1 缸盖产品装配图及产品图

Fig. 1 Assembly and casting drawings of aluminum alloy cylinder head

表1 铝液化学成分
Table 1 Chemical composition of AlSi10Mg (Cu) alloy

Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Ti	Sr	其他单个	其他合计	Al
9.0~11.0	0.30~0.45	0.20~0.30	≤0.55	0.30~0.40	0.08~0.15	0.015~0.025	≤0.05	≤0.15	余量

(6) 落砂: 无机砂芯易吸潮, 为防止铸件变形及砂芯吸潮后落砂困难, 冷却时间在3 h和48 h之间, 落砂时间为25~48 s。

2 缺陷分析与工艺优化

2.1 缺陷问题描述

采用上述生产工艺批量生产, 产品加工后, 水套芯工艺孔加工面出现缩松缺陷, 如图2所示。水套芯工

艺孔加工面缩松缺陷集中在水套芯工艺孔堵盖安装位置, 造成水道打压泄漏。

2.2 缺陷产生原因分析

铸造工艺采用金属型倾转式浇注, 倾转浇注属于顶注式的一种, 如图3所示, 缺陷位置与冒口主体垂直距离110 mm, 水平距离38 mm, 且被水套砂芯包围, 结构复杂。

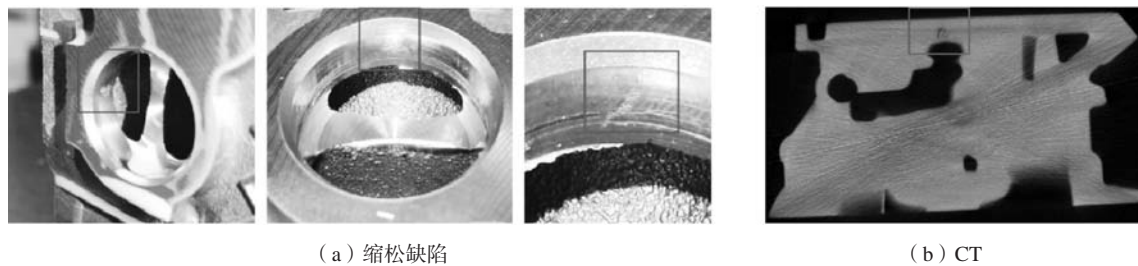
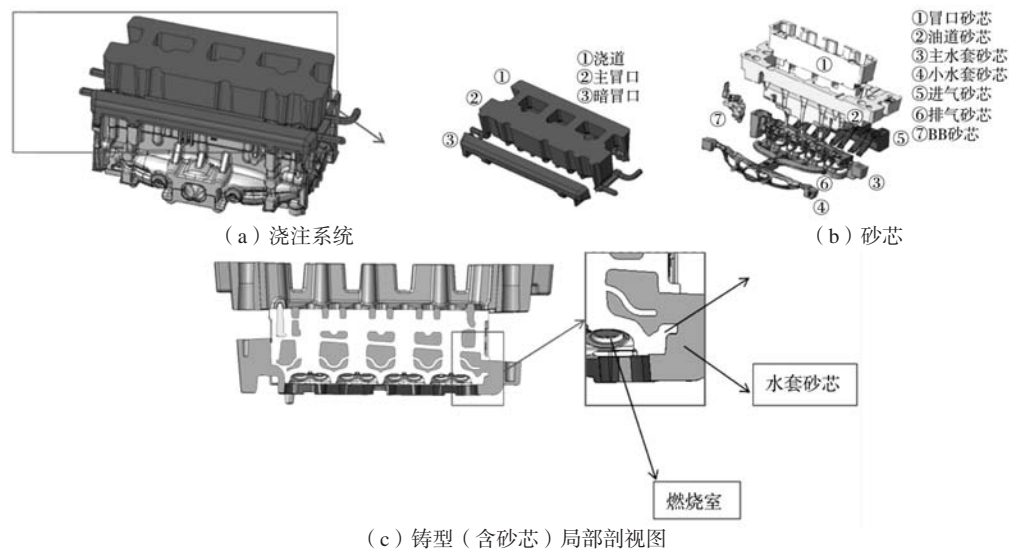


图2 水套芯工艺孔加工面缩松缺陷

Fig. 2 Dispersed shrinkage defect of waterjacket hole machining surface



(c) 铸型 (含砂芯) 局部剖视图

图3 铸造工艺

Fig. 3 Casting process

大多数铝、镁合金的结晶温度范围较宽, 合金凝固速度小, 冒口的有效补缩距离很小, 常取铸件厚度的2倍^[3]。对铸件结构进行解剖分析, 铸件壁厚见图4, 主要补缩通道铸件壁厚9.29 mm、7.18 mm、6.50 mm铸件的补缩效果很差。

采用MAGMA软件对现有工艺进行凝固过程数值模拟, 计算结果如图5所示, 可以看到铸件凝固过程,

一方面受砂芯影响, 缺陷位置形成热节; 另一方面受铸件燃烧室冷却效果影响, 受铸件结构限制, 补缩通道提前关闭。

综合以上情况, 对缩松缺陷形成原因以及浇注工艺进行分析, 发现缩松产生的主要原因为: (1) 缺陷位置被砂芯整体包围, 存在局部热节; (2) 铸件薄壁处凝固速度快, 补缩不及时; (3) 燃烧室温度低, 主

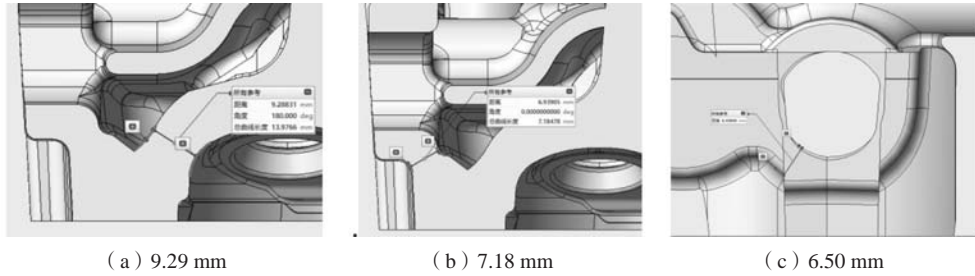


图4 铸件壁厚

Fig. 4 Wall thickness of the casting

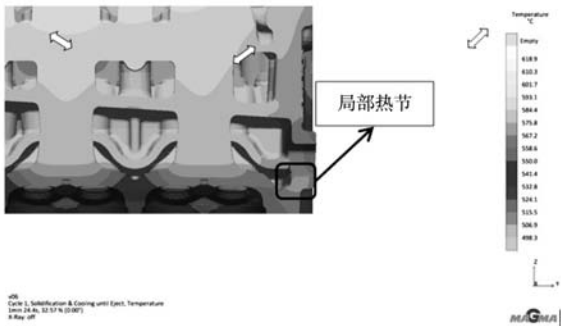


图5 铸件凝固过程数值模拟

Fig. 5 Numerical simulation of casting solidification process

要补缩通道提前关闭。

2.3 涂料工艺优化

根据上述分析,需要对浇注工艺进行优化:(1)优化金属型模具涂料喷涂工艺、砂芯激冷涂料工艺等;(2)铸件结构优化,增加局部补贴等。通过以上措施,改善铸件凝固顺序条件,减少铸件缩松缺陷,

降低铸件废品率。

2.3.1 金属型模具涂料喷涂工艺优化

对于金属型铸造,通过涂料可以直接控制铸件的凝固过程^[4]。优化现有喷涂工艺,如图6标注区域与铸件直接接触,通过取消涂料喷涂,利用金属型的冷却效果,削弱热节,改善铸件凝固顺序。

2.3.2 砂芯激冷涂料工艺优化

铸件“激冷”涂料应用于砂芯表面,是特种涂料的一种。特种涂料作为一种“柔性”工艺技术,可以弥补铸造工艺涉及的不足,采用“激冷”型涂料来加快局部的冷却速度以达到“均衡”凝固的效果^[5]。水套砂芯应用激冷涂料,如图7所示,图示区域刷涂激冷涂料。通过激冷涂料的冷却效果,削弱热节,改善铸件凝固顺序。

对喷涂工艺进行验证,铸件缩松位置向燃烧室方向移动,且缩松趋势减小,如图8所示。

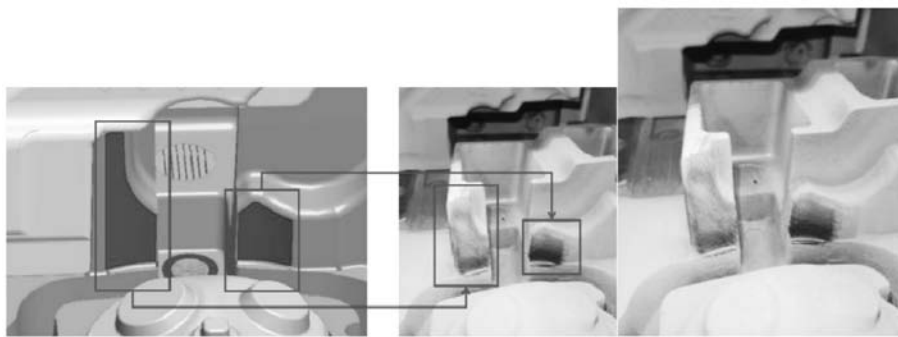
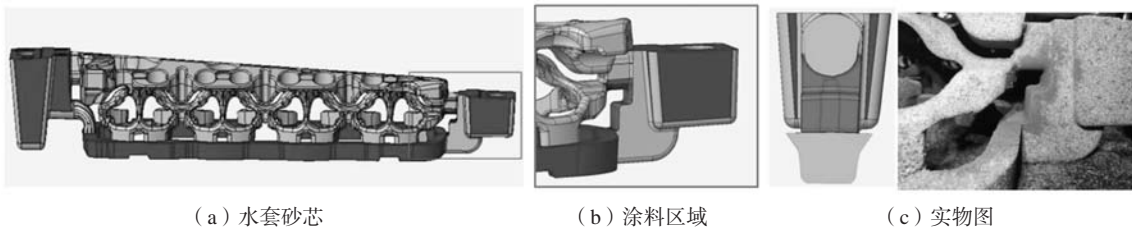


图6 取消涂料喷涂的区域

Fig. 6 Coating canceled areas



(a) 水套砂芯

(b) 涂料区域

(c) 实物图

图7 水套砂芯应用激冷涂料

Fig. 7 Chilled coating on the waterjacket core

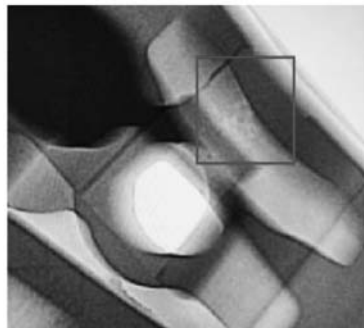


图8 涂料工艺验证
Fig. 8 Coating verification

2.4 铸件结构工艺优化

采用MAGMA软件对现有工艺进行凝固过程数值模拟后还可发现，铸件凝固过程中，可以通过增加补贴的方式，打开铸件补缩通道，如图9所示。

结合铸件结构特点，在端模位置增加补贴，采用两种方案，如图10所示，各分图左侧为结构，右侧为数值模拟预测缩松情况，从图中可以看出，采用方案二可消除热节，解决缩松缺陷。参照数值模拟结果并结合现场实际情况，如图11所示，明确补贴方案：增加长度方向最大27.44 mm、高度方向最大长度11.53 mm，厚度方向与铸件一致的工艺补贴。

按照补贴方案，更改模具结构，加工工序增加D12球刀将补贴位置加工去除，保证铸件尺寸。模具更改

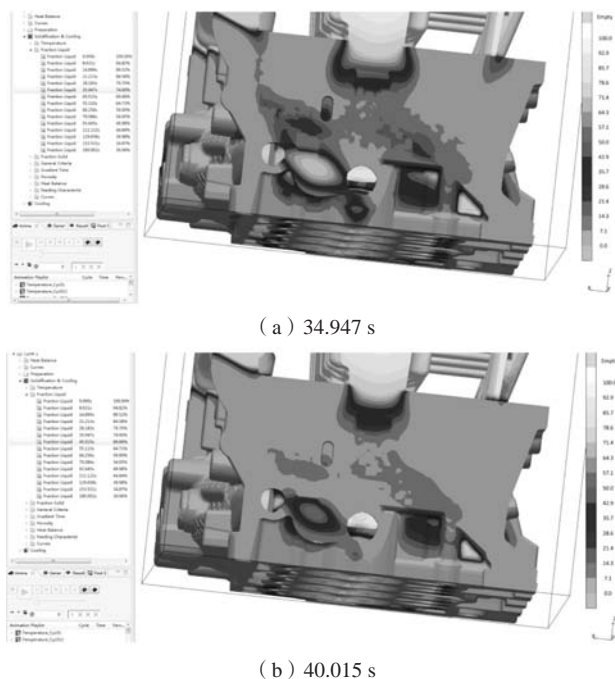


图9 采用数值模拟预测铸件补贴位置凝固顺序
Fig. 9 Prediction of solidification sequence on padding position of casting by using of numerical simulation

如图12所示，按照试验流程进行试验。

批量验证发现，铸件水套芯工艺孔位置缩松缺陷彻底消除，如图13所示，铸件内部质量良好。

3 结论

(1) 针对铝合金缸盖水套芯工艺孔缩松问题进

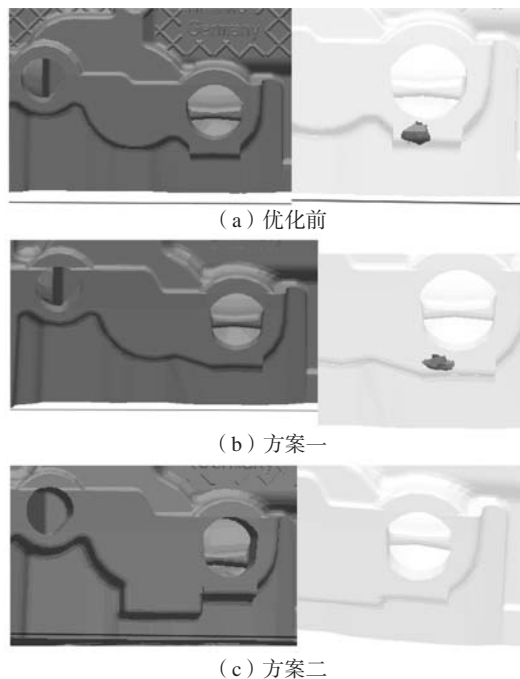


图10 补贴方案
Fig. 10 Padding scheme

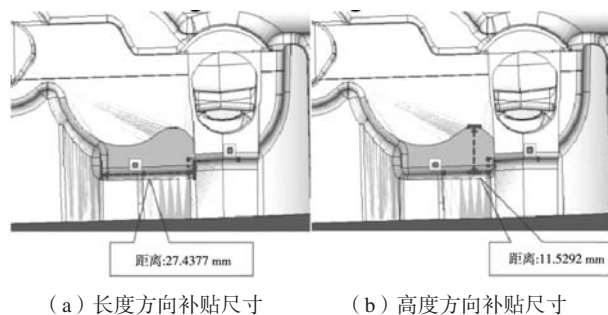


图11 补贴尺寸
Fig. 11 Padding sizes



图12 模具更改情况
Fig. 12 Die structure modification

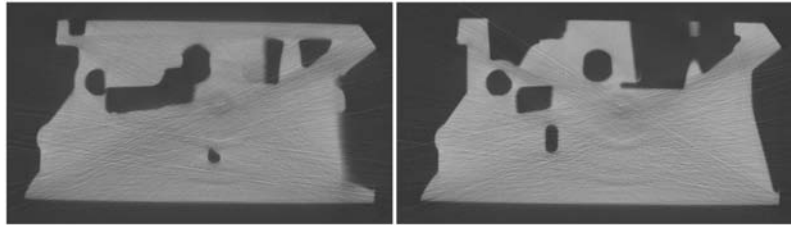


图13 铸件内部质量

Fig. 13 Internal quality of casting

行铸造工艺分析及数值模拟，明确了缩松缺陷产生原因，一是缺陷位置被水套砂芯包围，形成局部热节；二是补缩通道受铸件结构及燃烧室冷却等影响在铸件凝固过程中提前关闭。

(2) 从涂料工艺、铸件结构两个方向进行工艺优化，取消金属型表面涂料、增加水套砂芯激冷涂料；

在铸件端面增加长度方向最大27.44 mm、高度方向最大11.53 mm、厚度方向与铸件一致的工艺补贴。采用优化工艺成功消除了水套砂芯工艺孔密封堵盖下方缩松缺陷，降低了水漏废品率。

参考文献:

- [1] 李巨文, 于春田. 大型铝合金曲面铸件的铸造工艺设计 [J]. 铸造, 1998 (12): 36-38
- [2] 刘小华. ZL204铝合金半圆环铸件铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2012 (3): 326-328
- [3] 李荣德, 米国发. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [4] 吴卫, 王世和. 新型金属型保温涂料的研究 [J]. 四川工业学院学报, 1991 (10): 165-172.
- [5] 令军科. 一种激冷型涂料在铸件上的应用 [J]. 中国铸造装备与技术, 2004 (4): 29-30.

Process Hole Defects Analysis and Process Optimization of Aluminum Alloy Cylinder Head Waterjacket Core

REN Ze-xiang¹, CONG Pei-jun¹, SONG Han-qing¹, LIU Zhuo-lin¹, MA Lin², WANG Shuai¹

(1. Non-Ferrous Foundry, FAW Foundry Co., Ltd., Changchun 130000, Jilin, China; 2. Product and technology department, FAW Foundry Co., Ltd., Changchun 130000, Jilin, China)

Abstract:

Aiming at the dispersed shrinkage defect of waterjacket process hole on the end surface of the gravity-cast aluminum alloy cylinder head, the forming causes of the defect and the pouring process of casting were analyzed. A series of measures such as optimizing the mold spray, applying the chilled coating and increasing the feeding channel for castings were taken to optimize the casting process. The final casting process method was determined by numerical simulation of casting process and production verification. This method fundamentally eliminated the dispersed shrinkage defect of waterjacket process hole on the cylinder head, improved the casting quality, also reduced the scrap rate.

Key words:

aluminum alloy; cylinder head; dispersed shrinkage; casting process