

铝合金气缸盖和曲轴箱通风道缺陷分析及工艺优化

任泽翔¹, 于越¹, 张守双¹, 唐志泉¹, 刘卓霖¹, 林柏杨², 喻浩楠¹, 栗金旗¹

(1. 一汽铸造有限公司有色铸造分公司, 吉林长春 130000;

2. 一汽铸造有限公司铸造模具设备厂, 吉林长春 130000)

摘要: 针对重力浇注铝合金缸盖曲轴箱通风道缺陷(断芯), 采用鱼骨图分析法对缺陷的形成原因进行了分析, 对铸造工艺进行了分析和优化。通过优化调整曲轴箱通风道砂芯(Blowby砂芯)与底框砂芯、冒口砂芯的结构以调整砂芯间配合间隙, 并通过增加工位器具和增加下芯夹具报警装置等措施, 经过生产验证确定了最终铸造工艺方法。消除了曲轴箱通风道缺陷(断芯), 提高了铸件质量, 降低了废品率。

关键词: 铝合金; 缸盖; 曲轴箱强制通风系统PCV; 铸造工艺; 断芯; 鱼骨图

曲轴箱强制通风系统 PCV (Positive Crankcase Ventilation) 是目前在发动机上广泛应用的一项技术, 它可以防止曲轴箱压力过高, 延长机油使用寿命, 减少零件磨损和腐蚀, 防止发动机漏油等^[1]。完整的PCV包括通风腔、油气分离系统、曲轴箱压力控制系统、回油腔及呼吸管五个部分。如图1所示, “通风腔”由缸盖、缸体及曲轴箱中的通道组成, 发动机做功过程形成的窜气通过通风腔导入油气分离系统^[2]。

砂芯是指芯盒内用芯砂制成的型芯, 其功能是形成铸件的内腔、成形孔及铸件外形不能起模的部位^[3]。

气缸盖中的曲轴箱通风道结构复杂, 由Blowby砂芯形成, 在批量生产状态下, Blowby砂芯易断裂, 造成曲轴箱通风道缺陷(断芯)。

以我公司某气缸盖为例, 铸件如图2所示, 最小壁厚4 mm, 本文旨在通过鱼骨图分析法的应用, 找到缺陷原因, 并通过砂芯结构优化和过程检测方法优化等措施, 大

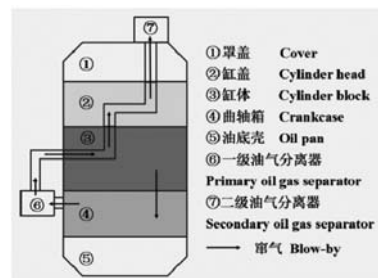


图1 曲轴箱通风腔
Fig. 1 Crankcase ventilation chamber

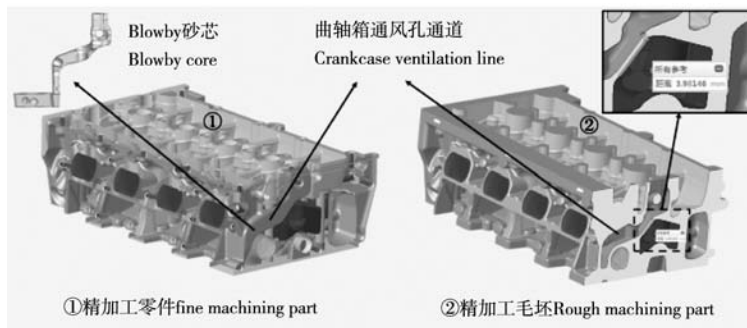


图2 铸件
Fig. 2 Casting

作者简介:

任泽翔 (1992-), 男, 本科, 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: TG146.2;
TG292

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977 (2024)
11-1576-07

收稿日期:

2023-11-09 收到初稿,
2023-12-28 收到修订稿。

幅降低缺陷发生比例,降低产品综合废品率。同时,对已有的三种形成气缸盖和曲轴箱通风道的铸造工艺方式进行对比,探讨优劣势。

1 铸造工艺简介

该铸件采用倾转浇注工艺金属型铸造,铝液成分:AlSi10Mg(Cu),具体成分参照DIN EN 1707。铸件内部复杂型腔由砂芯组合形成,砂芯组合情况如

图3所示,分为上芯组、下芯组和Blowby砂芯(以下简称BB芯)。铸造工艺如图4所示,铝液使用旋转除气机精炼除气,砂芯使用无机制芯机制做。如图5所示,砂芯通过人工操作的方式在组芯胎具上组合,先放置下芯组,再放置BB芯,最后放置上芯组。

BB芯与上芯组和下芯组分别有一处定位(图6),组合好的砂芯经下芯机器人取芯和转运后,平稳地放置于固定在倾转浇注机上的金属模具中。

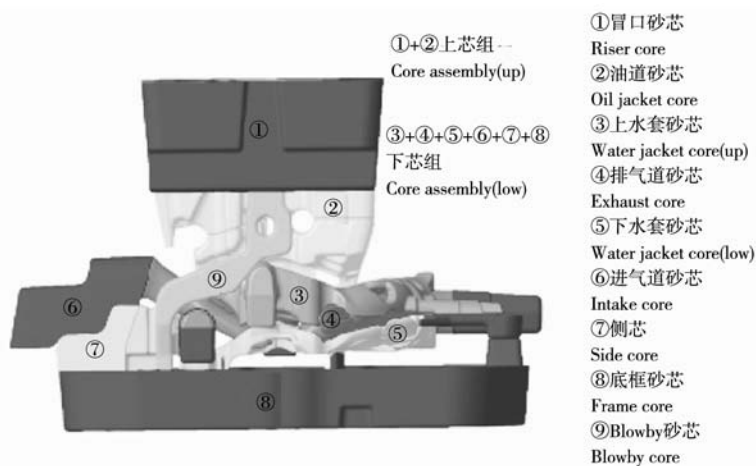


图3 砂芯

Fig. 3 Cores assembly

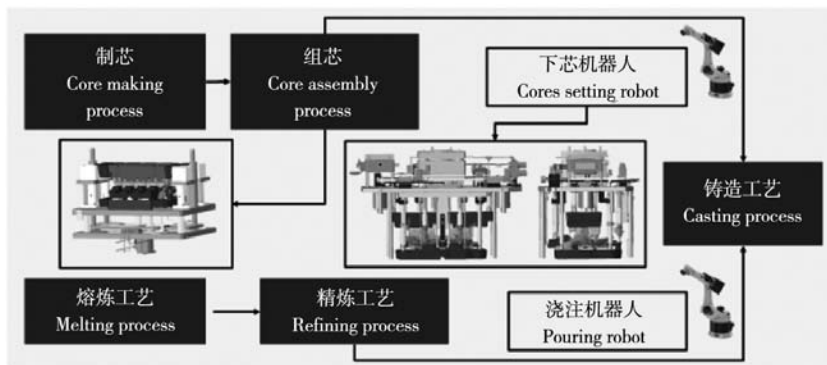


图4 制造工艺

Fig. 4 Manufacturing process

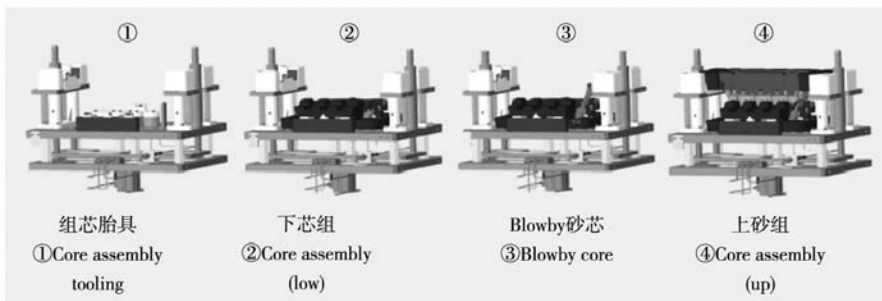


图5 组芯过程

Fig. 5 Core assembly process

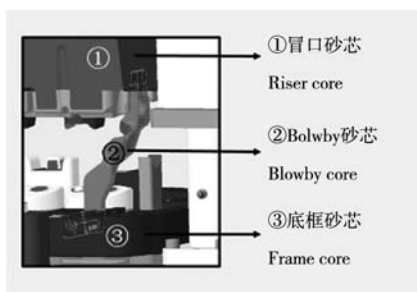


图6 砂芯定位

Fig. 6 Core fixed construction

铝液通过搭载在浇注机器人上的浇勺舀取和转运后，浇注到浇口盆中，最后通过设备倾转，铝液由进气侧进入模具型腔，完成浇注（图7）。浇注温度为715~735℃，倾转浇注时间10~14s，倾转角度100°。

2 缺陷分析与工艺优化

2.1 缺陷问题描述

采用上述制造工艺批量生产，如图8所示，毛坯发现较大比例的BB芯断芯情况，断芯较严重的铸件甚至

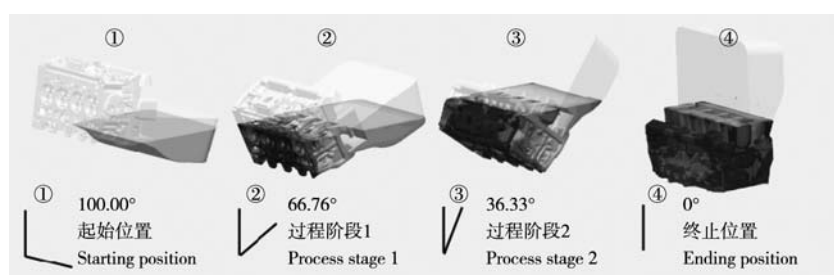


图7 浇注过程

Fig. 7 Pouring process

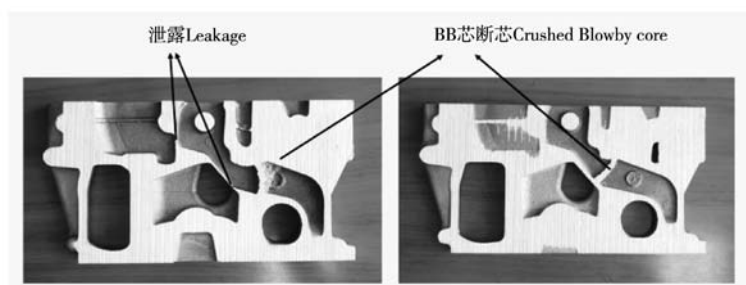


图8 曲轴箱通风道缺陷（BB芯断芯）

Fig. 8 The defects (crushed blowby core) of the crankcase ventilation channel

造成泄露，缺陷比例15%。

2.2 绘制缺陷产生原因鱼骨图

鱼骨分析法，即因果分析法，通过构建鱼骨图分析问题的根本原因，广泛用于技术和管理领域^[4]。

从人、机、料、法、环和测六个方面分析BB芯断芯的原因，如图9所示，绘制成鱼骨图，通过鱼骨图可以理清问题发生的根本原因，对后续的措施制定提供便利。通过现场验证需要优化以下4个方面：优化冒口砂芯与BB芯配合结构；优化底框砂芯与BB芯配合结构；优化BB芯转运和存储方式；优化下芯夹具报警装置。

2.3 冒口砂芯与BB砂芯配合结构优化

BB芯与冒口砂芯顶端配合情况如图10所示，通过

冒口砂芯形成的凹槽对BB砂芯顶端进行定位，生产过程中发现，该配合间隙较小（单边0.2 mm），稍有波动就会发生断芯。

方案一：取消冒口限位结构，解决BB芯与冒口砂芯配合间隙小问题。生产验证过程中，BB芯断芯得到明显解决，缺陷比例0.1%以下，但受倾转工艺影响，只通过与底框砂芯和金属模的定位，无法保证浇注过程BB芯的位置度，发生25%以上的位置偏移情况（如图11所示），尺寸超差风险明显提高。

方案二：配合位置增加倒角（3°），减小配合过程刮蹭。生产过程中，无明显改善。

方案三：结合倾转工艺，BB芯只向倾转一侧偏移（进气侧），在方案二更改的基础上，优化BB芯芯头结构，取消排气侧砂芯配合。生产验证过程中，断芯比例由15%降低到2.5%，有效解决因冒口砂芯与BB芯

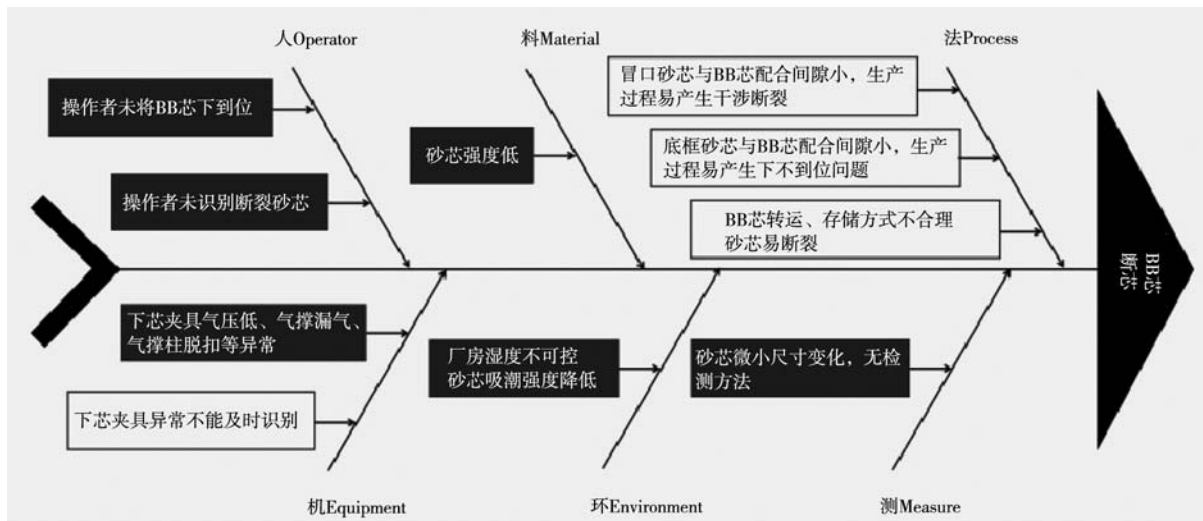


图9 BB芯断芯原因分析鱼骨图

Fig. 9 Fishbone diagram of cause analysis of crushed blowby core

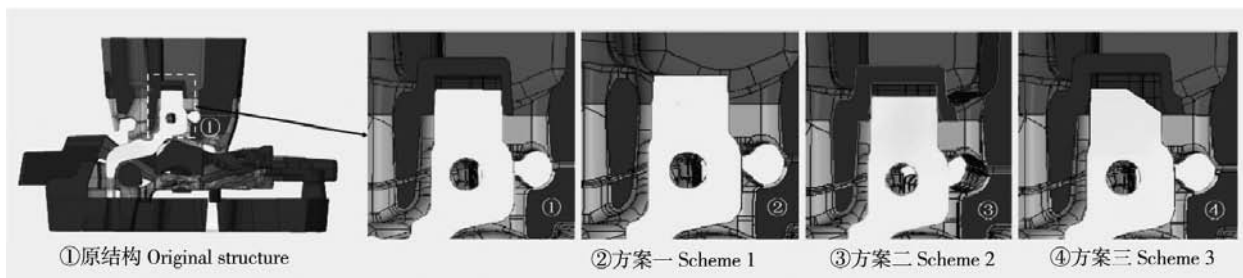


图10 BB芯、冒口砂芯结构及优化方案

Fig. 10 The structure and the optimization scheme of blowby core and riser core

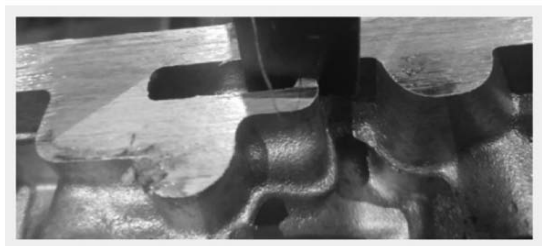


图11 BB芯位置度超差

Fig. 11 Blowby core out-of-tolerance

干涉造成的断芯情况。

2.4 底框砂芯与 BB 砂芯配合结构优化

受结构限制, 在芯盒设计时, 如图12和图13所示, BB芯与底框砂芯定位的定位面存在分型面, 砂芯连续生产过程中, 存在微量错箱、涨箱的情况 (0.1~0.3 mm), 直接造成BB砂芯下不到位的情况。

铸造工艺设计时, BB芯与底框砂芯配合位置的

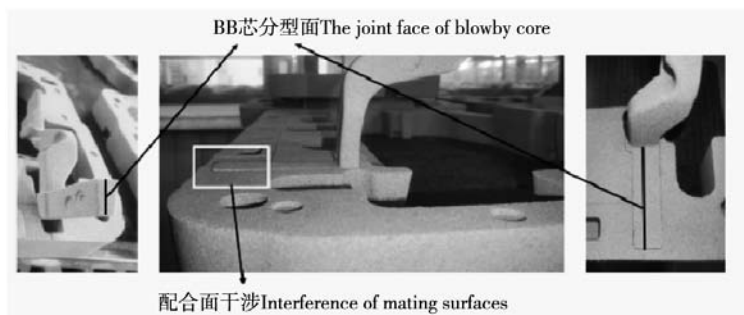


图12 BB芯与底框芯配合情况

Fig. 12 Coordination between blowby core and frame core

应倒角尺寸一致,圆角尺寸3 mm(图13)。通过现场试验,将BB芯圆角尺寸调整为4 mm,有效解决了砂芯下不到位问题,断芯比例由2.5%降低到1.8%。

2.5 BB 芯转运、储存方式优化

原有的生产方式,BB芯通过芯车进行转运和储存,水平摆放在芯车上,转运过程可见明显抖动,偶发可见断裂砂芯。通过设计BB芯工位器具,增加隔断固定并将BB芯统一储存,统一转运,断芯比例由1.8%降低到1.4%。

2.6 下芯夹具报警装置优化

在生产过程中,冒口砂芯质量大,下芯夹具发生微小异常时,如气撑漏气、气压波动和气撑柱脱扣等问题,易发生冒口砂芯微小下沉的情况。当下沉量超过2 mm时,会挤压BB芯,造成断裂。如图14①所示,正常工作状态下,冒口砂芯水平,报警指示灯显示绿色。如图14②所示,当冒口砂芯下沉量超过1 mm时,红外检测装置检测异常,红色报警灯闪烁,及时反馈生产人员,能有效避免BB芯断裂发生,断芯比例由1.4%降低到0.2%以内。

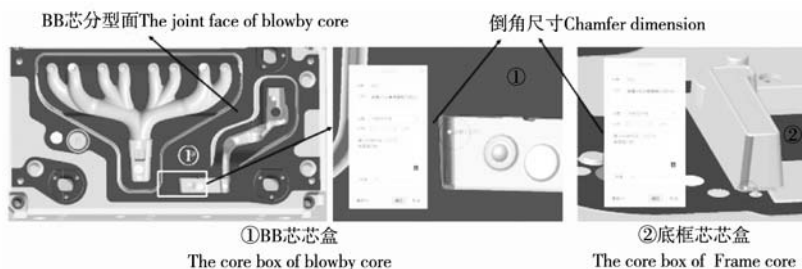


图13 BB芯与底框芯倒角尺寸

Fig. 13 Chamfer dimension of blowby core and frame core

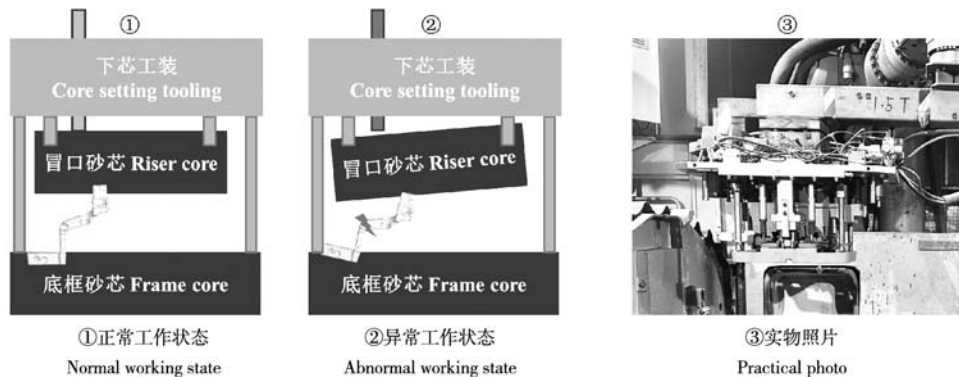


图14 下芯夹具报警装置

Fig. 14 Alarm device of core setting tooling

2.7 生产验证

通过砂芯结构优化和过程控制方法优化,改进了铸造工艺,有效解决了BB芯断芯问题,断芯比例由15%降低到0.2%以内。

3 曲轴箱通风道的3种铸造工艺方式对比

如图15所示,现有的曲轴箱通风道的形成有3种铸造工艺方式:冒口砂芯+BB芯+底框砂芯;冒口砂芯+BB芯+粗加工;冒口砂芯+BB砂芯。

3.1 冒口砂芯 +BB 芯 + 底框砂芯

本文讨论的情况,BB芯与冒口砂芯和底框砂芯两种砂芯同时进行定位,对生产过程要求高,易发生BB芯断芯缺陷。优势是不需要线下打胶组芯工序,节省人员,工艺优化后组芯操作简单。

3.2 冒口砂芯 +BB 芯 + 粗加工

如图16所示,该缸盖产品曲轴箱通风孔通道罩盖面通孔由BB芯形成,燃烧室面通孔由粗加工形成,无BB芯断芯缺陷,但组芯打胶工序存在0.1%以下的砂芯组不到位情况。

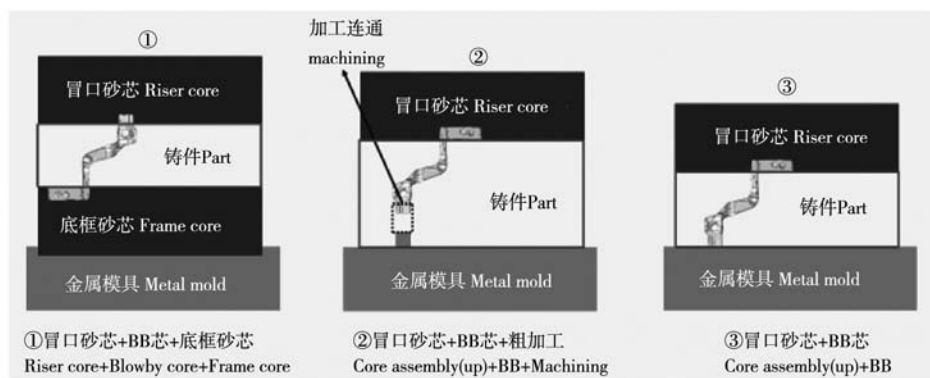


图15 曲轴箱通风道铸造工艺
Fig. 15 Casting process of crankcase ventilation channel

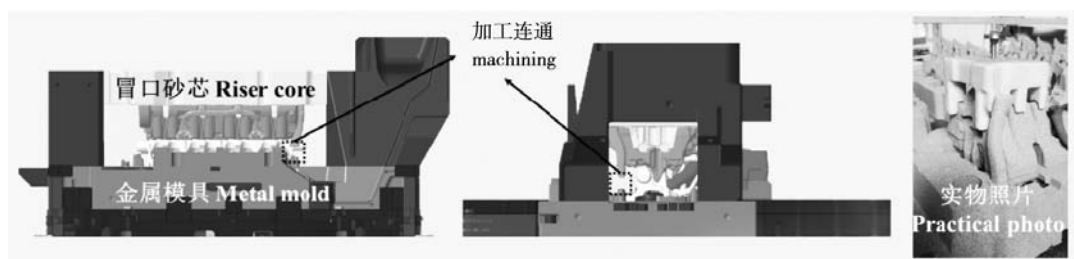


图16 铸造工艺及实物照片
Fig. 16 Casting process and practical photo

优势：BB芯与冒口砂芯定位，通过制作适当的胎具，保证尺寸精度；随着缸盖的更新换代，对曲轴箱通风道的尺寸要求越来越高，通过粗加工将通道加工通，尺寸精度高。

劣势：需要线下组芯打胶工序，工艺流程长；需

要增加粗加工工序，影响加工节拍。

3.3 冒口砂芯 + BB 芯

如图17所示，该缸盖产品曲轴箱通风道罩盖面通孔由BB芯形成，BB芯与冒口砂芯单点定位。

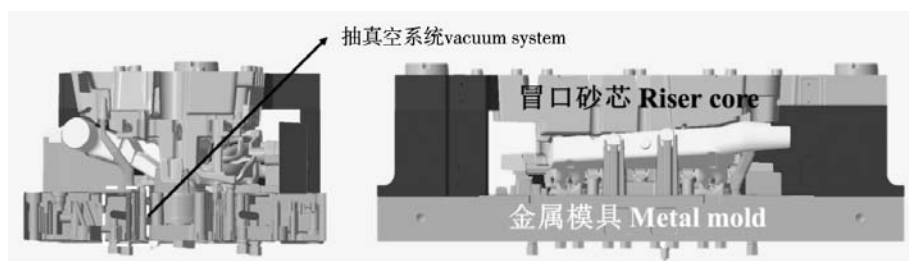


图17 砂芯工艺
Fig. 17 Sand core process

该产品正在开发阶段，减少了BB芯与底框砂芯的定位，原设计不考虑后续粗加工，但因为砂芯较长，燃烧室面通孔尺寸很难保证（缺陷比例5%），后续考虑增加粗加工。另外由于BB芯直接与金属模具配合，配合面易产生油烟堆积，若油烟不及时清理，组芯不到位，易造成BB芯断芯（5%），针对该问题，后续模具对应位置设计抽真空通道，及时排烟。

4 结束语

（1）通过绘制鱼骨图，明确缺陷产生的根本原因有四个：①冒口砂芯与BB芯配合间隙小；②底框砂芯与BB芯配合间隙小；③BB砂芯转运和储存方式不合理；④下芯夹具异常不能及时识别。其中“冒口砂芯与BB芯配合间隙小”问题影响最大，为主要原因，缺陷比例12.5%。

(2) 从砂芯结构优化和过程控制方法优化, 两个方向改进了铸造工艺: ①优化冒口砂芯与BB芯配合结构(主要措施); ②优化底框砂芯与BB芯配合结构; ③优化BB芯转运和存储方式; ④优化下芯夹具报警装置等措施。

(3) 有效解决了曲轴箱通风道缺陷(断芯)问

题, 缺陷比例由15%降低到0.2%以下, 提高了铸件质量, 降低了废品率。

(4) 探讨了我公司三种缸盖产品曲轴箱通风道形成的3种铸造工艺方式, 认为“冒口砂芯+BB芯+粗加工”的铸造工艺方式值得后续新产品设计参考。

参考文献:

- [1] 袁根, 黄圣锦, 刘凯. 曲轴箱通风系统工作原理及失效模式研究 [J]. 小型内燃机与车辆技术, 2021 (3): 30-33.
- [2] 李建国. 车用发动机曲轴箱通风系统构成及常见故障分析 [J]. 内燃机与配件, 2014 (8): 32-34.
- [3] 王再友, 王泽华. 铸造工艺设计及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [4] 崔帅帅, 盖会明, 辛宁波. 基于鱼骨图和层次分析法的变压器制造质量影响因素研究 [J]. 质量控制, 2022 (2): 18-22.

Crankcase Ventilation Channel Defects Analysis and Process Optimization of Aluminum Alloy Cylinder Head

REN Ze-xiang¹, YU Yue¹, ZHANG Shou-shuang¹, LIU Zhuo-lin¹, LIN Bai-yang², YU Hao-nan¹, LI Jin-qi¹

(1. Non-Ferrous Foundry, FAW Foundry Co., Ltd., Changchun 130000, Jilin, China; 2. Foundry Mould & Equipment Plant, FAW Foundry Co., Ltd., Changchun 130000, Jilin, China)

Abstract:

Aiming at the defects(Crushed core) of the crankcase ventilation channel of the gravity-cast aluminum alloy cylinder head, the forming causes of the defects and the casting process were analyzed using fishbone diagram analysis method. By optimizing and adjusting the structures of the crankcase ventilation channel sand core(blowby core), the frame core, and the riser core to adjust the fit gap between the cores, and by adding the working position apparatus and an alarm device for the cores setting tooling, the final casting process methods was determined through production verification. These methods fundamentally eliminated the defects(Crushed core) of crankcase ventilation channel in the cylinder head, improved the casting quality, also reduced the scrap rates.

Key words:

aluminum alloy; cylinder head; positive crankcase ventilation; casting process; crushed core; fishbone diagram