

一种V型气缸体缸孔夹渣缺陷的原因分析及工艺优化

宋学恩¹, 张鑫², 李锋¹, 李文锋¹

(1. 潍柴重机股份有限公司, 山东潍坊 261008; 2. 潍柴动力股份有限公司, 山东潍坊 261001)

摘要: 简要介绍了一种V型干式缸套气缸体铸造工艺, 针对缸孔加工后发现的夹渣缺陷进行了分析。通过优化排气溢流系统、提高浇注温度、增强滤渣排渣结构、增加毛坯局部补贴等措施, 最终大幅降低缸孔夹渣缺陷率, 解决了夹渣问题。

关键词: 气缸体; 薄壁; 干式缸套; 夹渣

我司生产一种V型8缸柴油机气缸体(以下简称W气缸体)。W气缸体为干式缸套, 凸轮轴布置在机体两侧, 机油冷却器集成在V型夹角内部(图1)。批量生产中发现缸孔存在夹渣, 部分气缸体精加工后仍存在微小夹渣缺陷。由于缸孔位置不允许修复, 造成多台气缸体报废或让步接收, 给公司造成严重的经济损失, 为此针对W气缸体缸孔夹渣问题进行专项攻关。

1 W气缸体工艺及缺陷分析

1.1 W气缸体工艺

W气缸体轮廓尺寸为 $820 \times 835 \times 560$ ($L \times W \times H$, mm), 铸件毛坯重量为550 kg, 材质为HT300。水套芯、挺杆芯、盖板芯均集中在V型缸体两侧, 为避免整体芯组翻转造成砂芯移位、破损等问题, 将铸造工艺设计为立组立浇, 一箱一件的工艺(图2)。水套芯采用热芯盒高强度覆膜砂制芯工艺, 原砂为硅砂, 粒度(50/100)集中性 $\geq 75\%$, 热拉强度 ≥ 2.0 MPa, 抗拉强度 ≥ 3.8 MPa; 挺杆芯、盖板芯采用冷芯盒三乙胺制芯工艺, 原砂采用硅砂, 粒度(40/70)集中性 $\geq 75\%$, 含泥量 $\leq 0.3\%$, 瞬时抗拉强度 ≥ 1.4 MPa, 24 h抗拉强度 ≥ 2.5 MPa。采用底注式浇注系统, 保证铁液在型腔中上升平稳, 有利于型腔内气体顺利排出^[1]。浇注温度为 $1\ 385 \sim 1\ 395$ °C, 浇注时间35~40 s, 浇注重量660 kg/箱。

作者简介:

宋学恩(1986-), 男, 高级工程师, 主要从事铸铁件铸造工艺开发工作。
E-mail: nakegod@126.com

中图分类号: TG245

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2024)03-0407-03

收稿日期:

2023-05-05 收到初稿,
2023-12-23 收到修订稿。

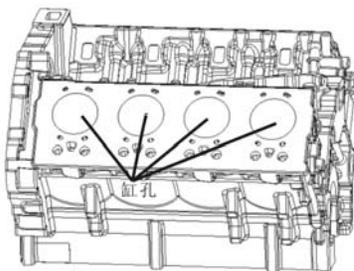


图1 W气缸体结构示意图

Fig. 1 Diagram of W cylinder-block structure

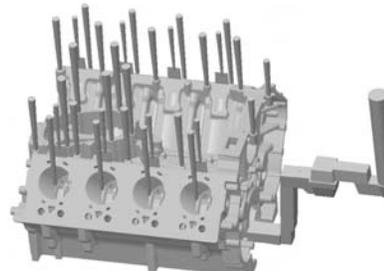


图2 W气缸体工艺示意图

Fig. 2 Diagram of W cylinder-block process

1.2 铸造缺陷描述

W气缸体缸孔精加工后, 发现内壁存在弥散状孔洞状缺陷, 内有杂质(图3)。

由于缺陷较小，通常在加工最后一道工序（珩磨缸孔）才能发现，造成较大损失。通过对缺陷进行电镜观察和能谱分析，有明显夹渣的特征，能谱分析结果如图4所示。

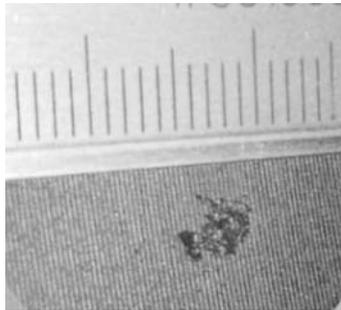


图3 W气缸体缺陷图

Fig. 3 Diagram of W cylinder-block defects

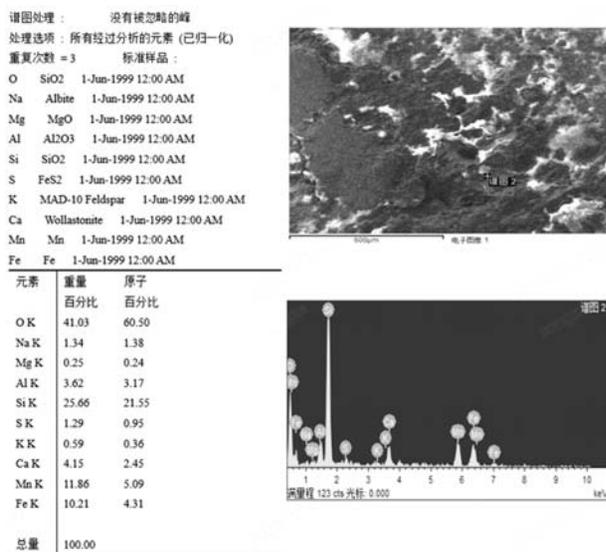


图4 缺陷的能谱分析

Fig. 4 Energy spectrum analysis of defect

1.3 缺陷原因分析

1.3.1 铁液流速的影响

通过仿真计算分析，在缸孔区域存在示踪粒子弥散分布，存在较大的夹渣风险（图5）。铁液自下而上充型过程中，在缸孔位置截面积突然增大，渣粒易在此处聚集残留^[2]。内浇道压头高度 $h_1=925$ mm，缸孔最大截面位置 $h_2=665$ mm，其对应截面积 $S_1=54\ 315$ mm²， $S_2=283\ 532$ mm²（图6）。阻流截面积为 $S_{阻}=2\ 000$ mm²。按照铸造计算公式： $v=u_1(2gh)$ ，根据阻流位置为充满状态，则可得出对应阻流位置铁液流速为， $v_{阻1}:v_{阻2}=1.39:1$ ，当浇注稳定时，可以认为通过阻流位置的流量 $Q_{阻}$ 和通过截面的流量 Q 相等。则单位时间通过上述截面的流量， $Q_1:Q_2=v_{阻1}:v_{阻2}=1.39:1$ 。通过相应截面时铁液上升速度， $v_1:v_2=(Q_1/S_1):(Q_2/S_2)=7.26:1$ 。

可以得出，缸孔最大截面位置液面上升速度仅为

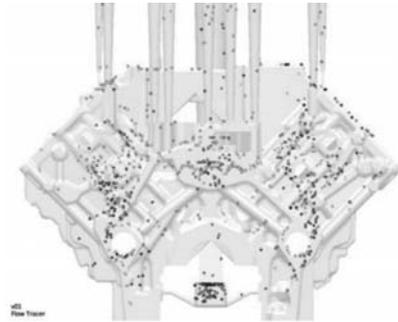


图5 模拟仿真分析

Fig. 5 Simulation computational analysis

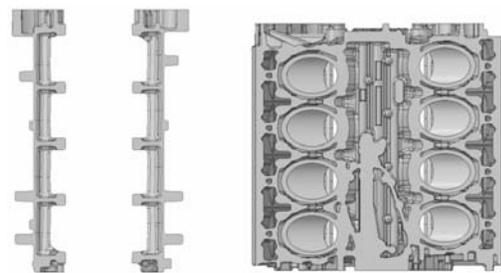


图6 气缸体截面图

Fig. 6 Cross-sectional view of the cylinder block

内浇道位置的1/7，渣粒流动性变差，熔渣挂壁风险增大。

1.3.2 出铁温度的影响

W气缸体炉前处理中，需加入电解铜、铬铁及钼铁等，电炉出铁温度为1 480~1 500 ℃。在此过程中，孕育剂和合金会出现熔化不良的问题。例如，钼铁的熔点约为1 750~1 980 ℃，在此出铁温度下极难熔化，易进入型腔造成夹渣缺陷。

1.3.3 过滤系统的影响

W气缸体直浇道采用阶梯下降方式，在第一个阶梯位置设计陶瓷直孔过滤片进行初步过滤。底注式浇注系统在浇注初始阶段浇注速度过快易形成夹渣缺陷^[3]，同时陶瓷直孔过滤片主要通过机械过滤、铁液整流、滤饼作用来起到过滤效果^[4]，而在浇注初始阶段滤渣效果未达到最优状态。

1.3.4 气缸体结构的影响

W气缸体为V型结构，夹角为90°，组芯中水套芯倾斜45°套在缸筒芯上，形成缸孔壁厚。水套芯在铁液浸润过程中，砂芯发生塑性变形，在铁液浮力作用向上翘曲，导致上侧缸孔壁厚小于理论值。经三维扫描对比发现，毛坯两侧缸孔实际夹角约为91°，同时由于铸造毛坯和加工定位基准存在误差，导致缸孔加工余量小于设计的4.5 mm（图7），造成缸孔表面夹渣不能通过加工去除。

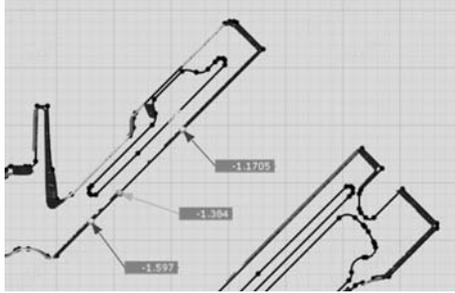


图7 三维扫描对比

Fig. 7 3D scan comparison

2 改进措施及验证

2.1 改进措施

2.1.1 铁液流速优化

为有效提升铁液流速，将浇注温度提升至 $1\ 395\sim 1\ 405\ ^\circ\text{C}$ ，同时增大缸孔顶部溢流面积（由原来 $3\ 360\ \text{mm}^2$ 增加至 $6\ 480\ \text{mm}^2$ ），并调整浇注重量为 $680\ \text{kg}/\text{箱}$ ，将早期夹渣较多的铁液顺利排出型腔，保证铁液有效流动。

2.1.2 出铁温度调整

为实现高熔点合金的顺利熔化，将难熔的合金材料加入电炉中并升温至 $1\ 520\ ^\circ\text{C}$ 保温，使合金材料充分熔化，同时改为随流孕育，保证孕育材料充分熔化。

2.1.3 过滤系统调整

为综合提升挡渣排渣效果，采取以下措施：①将普通浇包更换为茶壶包，提升浇包的自挡渣效果；②

参考文献：

- [1] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 饶磊, 胡启耀, 朱炼兵. 铸造过程中渣粒运动轨迹及夹渣位置研究 [J]. 铸造, 2012, 61 (12): 1433-1438.
- [3] 王忠, 侯华, 牛晓峰, 等. 不同浇注方式下浇注速度的选择研究 [J]. 铸造技术, 2009, 30 (6): 812-815.
- [4] 张科峰, 朱能山, 祝建勋, 等. 过滤技术在铸造中的重要作用 [J]. 铸造, 2008, 57 (9): 963-966.

将拔塞式浇口杯改为带滤网砖式浇口杯，提高浇口杯的过滤效果；③将陶瓷直孔过滤片更换为泡沫陶瓷过滤片，并将过滤面积增大一倍，实现滤渣的同时保证低浇注速度。

2.1.4 毛坯结构优化

在铸件结构无法更改的前提下，在缸孔位置增加工艺补贴 $2\ \text{mm}$ ，保证足够的加工余量。

2.2 验证结果

以上措施实施后，W气缸体共生产210台，加工后检查仅发现2台缸孔存在缺陷。较前期减少约91%，初步判断此问题得到有效解决。

3 结论

解决具有复杂结构的干式缸套V型气缸体夹渣问题，需要采用复合工艺方法，从熔炼工艺、浇注方法、排气溢流、过滤系统、结构优化等方面入手解决问题。

(1) 对于高熔点合金，可通过提前熔化方式，降低其成为夹渣来源的风险。

(2) 通过提高浇注温度、增大排气溢流面积的方式，提高铁液流动性，降低夹渣挂壁的风险。

(3) 过滤系统的优化需要从浇包、浇口杯、过滤片等方面综合考虑，提升挡渣排渣效果。

(4) 对于加工余量较小的V型气缸体，可通过局部补贴的方式，降低铸造和加工误差带来的影响。

Cause Analysis and Process Optimization of a V-Shaped Cylinder Block Bore Slag Inclusion Defect

SONG Xue-en¹, ZHANG Xin², LI Feng¹, LI Wen-feng¹

(1. Weichai Heavy Machinery Co., Ltd., Weifang 261108, Shandong, China; 2. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261108, Shandong, China)

Abstract:

The casting process of V-shaped dry cylinder liner cylinder block is briefly introduced, and the slag inclusion defects found after cylinder hole machining are analyzed. By optimizing the exhaust overflow system, raising the pouring temperature, strengthening the filter slag discharging structure, increasing the partial subsidy of blank, etc., the slag inclusion defect rate of the cylinder hole is greatly reduced and the slag inclusion problem is solved.

Key words:

cylinder block; thin wall; dry cylinder liner; slag inclusion