

柴油发动机铸件铸造工艺优化设计

范 伟, 李永刚, 张聚辉, 鲁 栋, 戚鹏超

(潍柴重机股份有限公司, 山东潍坊 261108)

摘要: 以生产的发动机机体气孔缺陷和曲轴夹渣缺陷为切入点, 采用数值模拟方法分析了缺陷产生的原因。根据充型和凝固过程数值模拟结果, 对原工艺实施改进。大量的生产数据表明, 实施的工艺措施非常有效, 铸件废品率和缺陷率大大降低。

关键词: 柴油发动机铸件; 铸造工艺; 铸件缺陷; 数值模拟

传统铸造工艺设计主要依赖于现场实际经验积累, 对工艺优劣性的评判也主要依据后期生产过程中铸件质量状况, 而且内部缺陷 (如缩松、缩孔、卷气等) 不易观察, 通常需要小批量投产试制后, 采取破坏性解剖或工业CT扫描等手段对其进行初步评判, 然后根据实际状况对原工艺进行调整、优化^[1]。这种工艺过于依赖经验, 开发周期长, 投入成本高, 对缺陷的可控性差, 不能满足现代铸造企业发展需求。铸造过程数值模拟是在工艺实施前进行的铸件充型和凝固过程数值模拟分析, 考虑了紊流、表面张力、自由表面、相变、热交换等众多影响因素, 计算结果接近真实的铸造过程, 可以有针对性地预判缺陷、优化工艺、缩短开发周期以及提升铸件质量和成品率。本项研发工作是借助于MAGMA软件实施的。

1 发动机机体铸造工艺数值模拟及优化

1.1 产品及问题简介

船用中速柴油机, 为船舶核心部件, 其质量要求十分严格。160系列发动机机体, 外形为直列布局, 6缸, 材质为HT200, 毛坯重656 kg。

原工艺采用碱性酚醛树脂砂造型, 分上下两箱, 三乙胺吹气硬化法制芯, 整体组芯下芯, 卧浇倾斜浇注的方案。此方案日臻成熟, 但仍存在部分缺陷, 其中160机体上观察窗出现气孔缺陷, 因此产生的废品约占总废品的85%左右, 亟待解决。此缺陷外观细长, 内表面光滑, 有氧化色, 系侵入性气孔。侵入性气孔是一种物理性气孔, 其形状不规则、体积较大、内壁圆滑、表面有氧化色, 经常出现在铸件的浇注位置顶部或内浇道对面冷铁液最后到达部位^[2], 如图1所示。



图1 发动机机体气孔缺陷形貌

Fig. 1 Blowhole defect in engine block casting

作者简介:

范 伟 (1993-), 男, 助理工程师, 工学学士, 主要从事铸造新材料、新工艺、新设备的开发及应用。
电话: 15963463663, E-mail: 1477688644@qq.com

中图分类号: TG242

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)08-0986-05

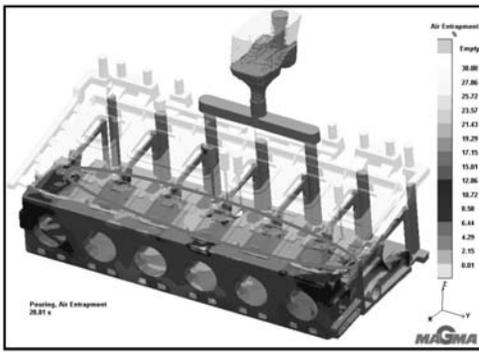
收稿日期:

2020-08-10 收到初稿,
2020-09-11 收到修订稿。

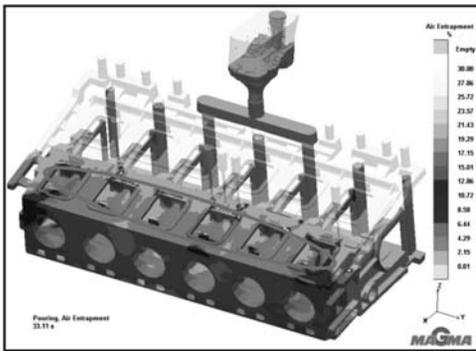
1.2 原工艺数值模拟分析

1.2.1 数值模拟结果与分析

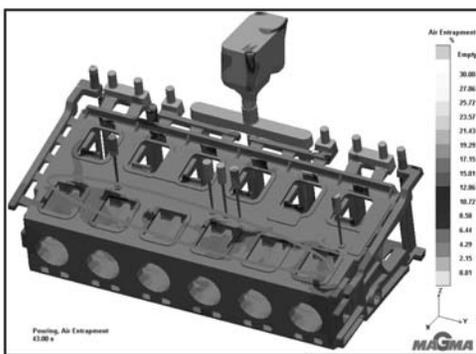
针对160机架上观察窗气孔严重的问题，有目的地对观察窗位置进行充型过程数值模拟分析，结果如图2所示。



(a) 充型28.8 s时，裹气概率40%



(b) 充型34.8 s时，裹气概率45%



(c) 充型43 s时，裹气概率2.15%

图2 机体原工艺充型过程中裹气概率

Fig. 2 Air entrapment probability during mold filling for original casting process of blocks

从图中可以看出，在浇注过程中铸件观察窗位置开始充型到充型结束裹气概率都是较高的，绝大部分时间段达到40%以上，在浇注结束时裹气概率仍有17.5%，由此判断观察窗位置易出现气孔缺陷，这与实际情况相符。

根据铸件充型过程数值模拟结果，结合产品结构和原工艺进行分析，发现铸件观察窗部位气孔产生有如下原因。

(1) 结构原因：该位置为高点，容易积气，若排气不畅就容易产生气孔缺陷。

(2) 工艺原因：该位置有蓄气冒口片，加大了产生气孔缺陷的概率，如图3所示。

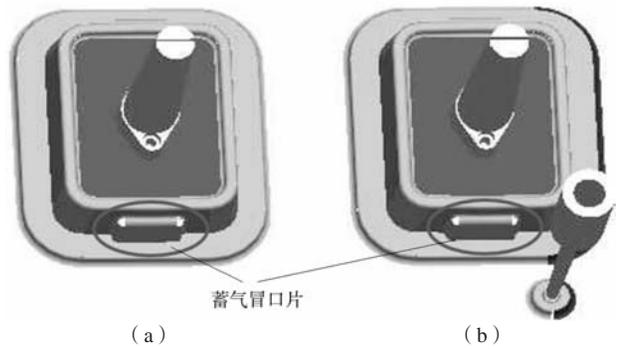


图3 蓄气冒口片示意图

Fig. 3 Schematic diagram of gas storage riser

1.2.2 制定优化措施

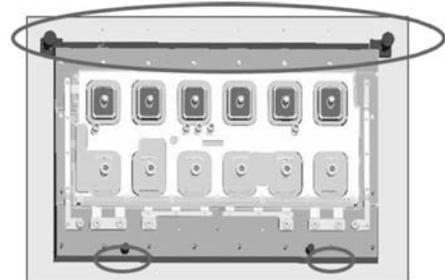
根据数值模拟结果，采取以下技术措施。

(1) 去除蓄气冒口片，如图4a所示，改变该位置气体运动轨迹，防止气体在此处集聚却又不能及时排出。

(2) 以增加排气通道的方式增加砂芯排气面积，保证砂芯内气体顺利排出，防止气体进入型腔内，如图4b所示。



(a) 去除蓄气冒口片



(b) 增加排气

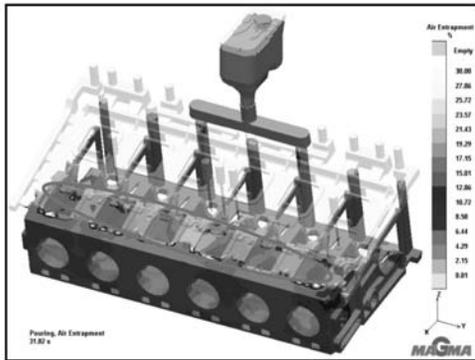
图4 改进措施

Fig. 4 Corrective measures

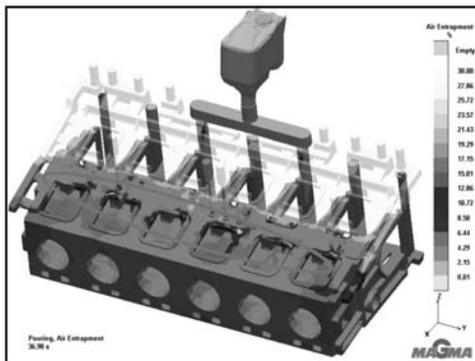
1.3 优化工艺数值模拟

1.3.1 数值模拟结果与分析

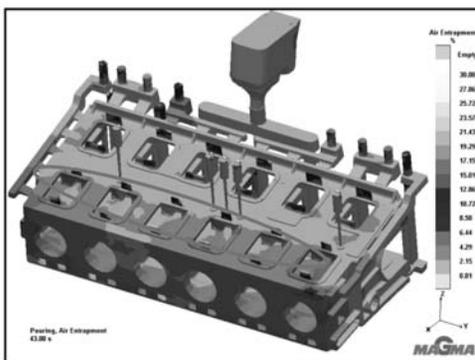
对改进后的工艺进行铸件充型过程数值模拟分析,结果如图5所示。



(a) 充型31.8 s时, 裹气概率27%



(b) 充型37 s时, 裹气概率28%



(c) 充型43 s时, 裹气概率2.15%

图5 优化工艺充型过程中的裹气概率

Fig. 5 Air entrapment probability during mold filling for optimized casting process

从图5中可以看出, 相较原工艺, 去除蓄气片后铸件充型过程中观察窗位置同等状态下裹气倾向变大的时间向后延迟2~3 s左右, 延长了该位置气体外溢时间, 且增加砂型砂芯排气面积后充型过程更加平稳, 气体排出更加顺畅, 出现裹气的概率由原先的40%、45%

降低到了27%、28%, 充型完成后的裹气概率更是由17.15%降到了2.15%, 显著减小了产生气孔缺陷的倾向。

1.3.2 生产验证结果

采用优化后的铸造工艺试验生产160机体铸件共488件, 没有出现上述观察窗气孔缺陷导致的废品, 综合废品率大大降低。

2 曲轴铸件铸造工艺数值模拟及优化

2.1 产品及问题简介

曲轴是柴油发动机关键部件, 承受连杆传来的力, 并将其转变为转矩, 驱动发动机上其他部件工作。曲轴受到旋转质量的离心力、周期变化的气体惯性力和往复惯性力的共同作用, 承受弯曲扭转载荷的作用, 因此要求曲轴有足够的强度和刚度, 轴颈表面需耐磨、工作均匀、平衡性好。我司生产的6170曲轴材质为QT800-2, 单件毛坯重551 kg, 部分铸件出现夹渣缺陷。夹渣又称黑渣、黑斑, 是球墨铸铁常见铸造缺陷之一。夹渣使球墨铸铁金属组织的连续性遭到破坏、塑性韧性和疲劳强度下降、材料的冷热加工性能及某些物理性能也同时受到影响^[3]。

2.2 原工艺数值模拟分析

2.2.1 数值模拟结果与分析

采用MAGMA软件夹渣分析模块对6170曲轴原工艺进行数值模拟分析, 运用示踪粒子法追踪金属液的流向以及充型过程, 计算结果如图6所示。

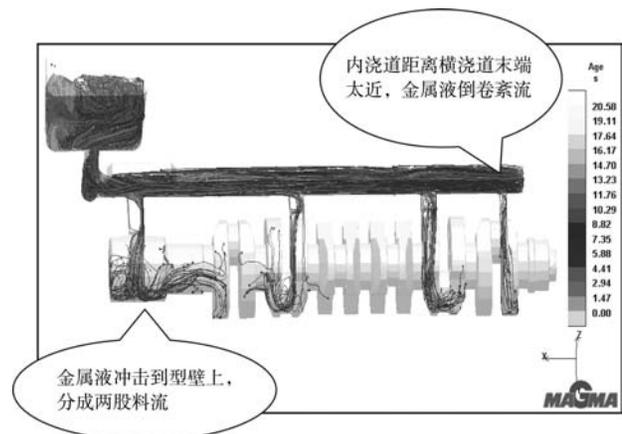


图6 曲轴原工艺示踪粒子数值模拟结果与分析

Fig. 6 Numerical simulation result and analysis of tracing particles for original casting process of crankshafts

从图6数值模拟结果,可以得出夹渣产生的原因有如下两个方面。

(1) 浇注系统设计不合理,内浇道数量太少,横截面积小,造成金属液通过内浇道时流速过快,易导致紊流,氧化严重,甚至冲刷型腔严重,金属液内杂质增多。

(2) 横浇道末端距离内浇道过近,末端金属液倒卷紊流氧化后易进入型腔,受污染金属液不能及时排出时就容易引起夹渣缺陷。

2.2.2 制定优化措施

根据数值模拟结果,采取了以下措施。

(1) 增加内浇道数量并均匀分布,平衡金属液温度场和流场,降低液流速度,减轻紊流倾向。

(2) 延长横浇道,增加集渣包结构,蓄积横浇道末端金属液反卷紊流产生的氧化渣,防止其进入型腔。

(3) 修改曲轴端部内浇道角度,使金属液进入型腔时有缓冲的效果,减轻液流对型腔的冲刷。

改进工艺方案如图7所示。

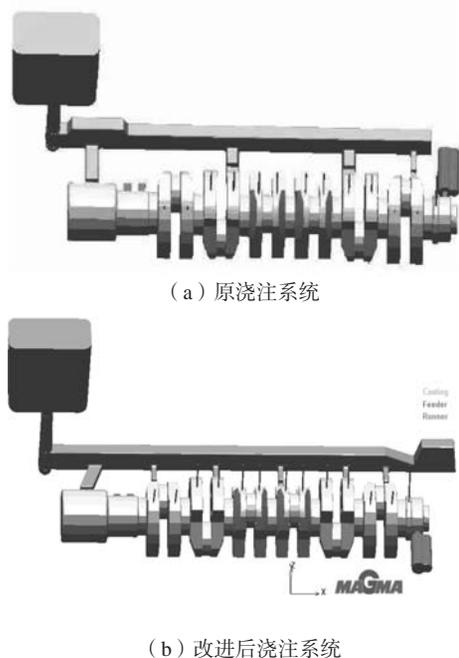


图7 浇注系统更改前后对比

Fig. 7 Comparison of gating systems before and after casting process improvements

2.3 优化工艺数值模拟

2.3.1 数值模拟结果与分析

采用改进后浇注系统进行示踪粒子数值模拟分析,如图8所示。

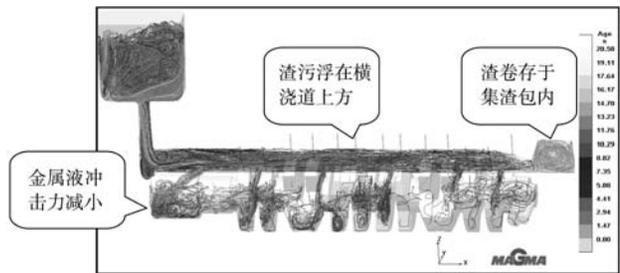


图8 优化工艺示踪粒子数值模拟结果与分析

Fig. 8 Numerical simulation result and analysis of tracing particles for optimized casting process

从图8可以看出,增加均匀布置的内浇道后,金属液充型更加平稳,紊流倾向显著降低,金属液氧化几率降低;延长横浇道,增加集渣包后,解决了浇注初期金属液冲击横浇道末端反卷的问题,降低了紊流氧化概率。同时,集渣包形成封闭涡旋,夹渣物存于集渣包内,降低了夹渣物沿横浇道返回进入型腔的概率;横浇道内的渣污也浮在横浇道上方,保持了型腔内铁液的纯净度;修改端部内浇道角度后减轻了金属液对型腔的冲刷,减小了型壁冲刷造成夹渣的概率。

2.3.2 生产验证结果

铸造工艺改进后进行了工艺试验,共验证6170曲轴铸件468支,夹渣废品4件,夹渣废品率0.85%,降低了3%。

3 结束语

本项工艺研发工作以柴油发动机机体铸件和曲轴铸件为代表,借助MAGMA软件对铸件的充型和凝固过程进行了数值模拟,并以此结果为指导,与实际生产状况相结合,改进了铸件工艺设计。通过实际生产验证发现,实施的工艺措施取得了非常显著的效果,铸件废品率和缺陷率大大降低。

参考文献:

- [1] 侯文伟, 郑宝堂. 基于AnyCasting软件的砂型铸造模拟分析 [J]. 金属加工 (热加工), 2017 (5): 47-49.
- [2] 成俊, 沈忠仁, 施承德, 等. 防止铸铁件侵入性气孔形成的具体措施 [J]. 现代铸铁, 2012, 32 (6): 82-84.
- [3] 刘焱, 李庆煜. 曲轴球铁铸件夹渣缺陷分析 [J]. 热加工工艺, 2013, 42 (21): 70-71, 73.

Optimization of Casting Process for Diesel Engine Castings

FAN Wei, LI Yong-gang, ZHANG Ju-hui, LU Dong, QI Peng-chao
(Weichai Heavy Machinery Co., Ltd., Weifang261108, Shandong, China)

Abstract:

Based on the blowhole defects of engine block castings and the slag inclusion defects of crankshaft castings, which occur in the production process, the causes of the defects were analyzed by using numerical simulation method. According to the simulation results of the mold filling and solidification process, the casting process improvements were carried out. The large amounts of data from the production showed that the corrective measures taken were significantly more effective. The blowhole defect in engine block castings and the rejection rate of crankshaft castings were greatly reduced.

Key words:

diesel engine casting; casting process; casting defects; numerical simulation
