

厚大断面船用柴油机气缸体铸件 缺陷分析及解决措施

杨飞宇¹, 焦凯², 程世杰², 陈晓龙²

(1. 海军装备部, 陕西西安 710054; 2. 陕西柴油机重工有限公司 铸造事业部, 陕西兴平 713100)

摘要: 大型厚大断面WCH两冲程柴油机气缸体铸件毛重40.5 t, 材质为HT250, 主要壁厚60~80 mm, 浇注系统为底注开放式, 生产过程中出现缩松、气孔和夹渣等缺陷。该论文综合分析了铸件缺陷产生的原因, 并重点论述了铸件缺陷的解决方法和工艺优化。在生产实践中验证表明: 盖箱的四个角增加型腔出气孔, 去除筋板等非厚大壁厚区域出气孔, 延长冷铁部位烘烤时长, 可减少气孔缺陷; 碳含量为3.1 wt.%~3.2 wt.%时, 1 520~1 530 °C高温静置后, 温度在1 300~1 320 °C时浇注, 铁液综合质量最好, 可减少铸件表面缩松、夹渣的缺陷。

关键词: 气缸体; 厚大断面; HT250; 铸件缺陷; 工艺优化

大型柴油机气缸体作为柴油发动机关键部件之一, 必须具备高质量和高精度, 铸件生产厂家必须至少获得一个主要船级社的认可, 且该船级社是国际船级社的协会成员。WCH两冲程柴油机气缸体壁厚较大且不均匀、结构复杂以及不同区域凝固时间差异较大, 此外灰铸铁特殊区域的壁厚敏感性和冷却速度敏感性大, 因此铸件更易出现缩松、冷隔、气孔和夹渣等缺陷^[1-5], 这会影响交货时间, 严重者直接造成铸件报废。

1 大型船用柴油机气缸体简介及铸造工艺

WCH两冲程柴油机气缸体毛重40.5 t, 缸孔径860 mm, 缸孔中心距1 292 mm, 主要壁厚60~80 mm, 外廓尺寸约为4 100 mm×2 065 mm×2 170 mm (图1)。气缸体材料组织必须为片状石墨灰铸铁, A型石墨, 石墨等级为4级, 珠光体含量≥95%, 材料牌号HT250, 所有材料在实验室检查时必须满足ISO 17025—2017《检测和校准实验室能力的通用要求》标准。本体抗拉强度≥190 MPa, 免退火工艺。

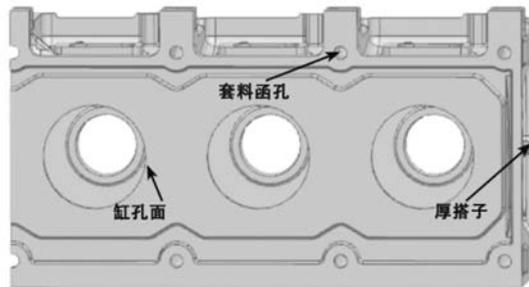


图1 铸件图

Fig. 1 Casting diagram

采用缸孔面朝下并且填料函孔面朝上的方案。浇注系统为底注开放式, 该气缸体采用2个 $\phi 100$ 直浇道, $\phi 40$ 内浇道34个, 均为带过滤系统的门字型梯形横浇道, 如

作者简介:

杨飞宇(1993-), 男, 助理工程师, 主要从事产品监督检验验收工作。E-mail: 805260864@qq.com

中图分类号: TG251

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2025)03-0376-04

收稿日期:

2024-06-14 收到初稿,
2024-07-31 收到修订稿。

图2所示。浇口杯为半定量浇口杯，采用保温顶冒口，共计6个。分别位于缸孔面、套料函孔和厚搭子部位设置冷铁，冷铁厚度60~80 mm，冷铁材质HT200，并在每个螺栓孔芯和主体砂芯顶面设置砂芯出气，在顶面筋条和填料函孔设置型腔出气。

铸件生产中所用原材料：20 wt.% 普通生铁、60 wt.% 高锰废钢和20 wt.% 回炉料，工艺优化前的化

学成分具体参考范围如表1所示，气缸体原工艺采用1 500~1 520 °C高温静置5~10 min，浇注质量40.5 t，将孕育剂装入炉前冲入孕育装置内，铁液温度在1 420~1 440 °C时可出炉，进行炉前冲入孕育。原工艺浇注温度在1 320~1 340 °C，充型时间210~240 s，将铁液倒入浇口杯内，并打开瞬时孕育装置进行孕育，从出炉孕育开始到浇注溢流上来总时间不得超出25 min。

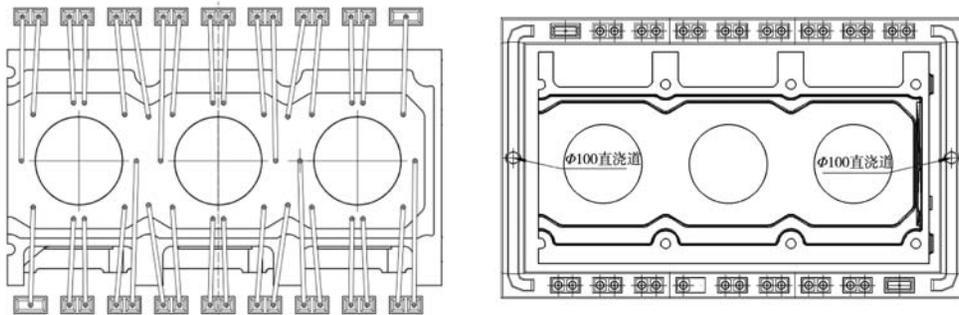


图2 浇注系统图

Fig. 2 Gating system diagram

表1 工艺优化前的化学成分范围

Tab. 1 Chemical composition range before process optimization

w _B /%					
C	Si	Mn	P	S	Cu
3.0~3.1	1.3~1.4	0.8~0.9	<0.1	0.06~0.09	0.6~0.7

2 大型船用柴油机气缸体常见缺陷及解决对策

2.1 缩松及解决对策

缩松主要因为铸件在铸型中凝固期间，铁液的补缩能力不足造成的。一方面，铸件的液态收缩和凝固收缩不能及时得到铁液的补充。另一方面，铁液凝固过程中枝晶间或枝晶内会形成一些微小的孔洞，导致铸件出现缩松缺陷。厚大断面的灰铁铸件，由于凝固时间的延长，导致铸件内部凝固速度的不均匀，此外凝固过程需要释放更多的热量，导致局部过热，而且厚大断面铸件由于凝固时间较长，凝固收缩也大，导致经常出现缩松缺陷^[6-10]。

在生产气缸体的过程中发现，填料函孔顶面（冒口根部）经常存在缩松缺陷，缺陷大小约为105 mm × 60 mm，缺陷具体位置及尺寸如下图3所示。其出现在气缸体铸件的热节处，在宏观下肉眼可见，通常热节处和相衔接的联接壁相比较为厚实，铁液在此处凝固的较慢，如果没有其他的补缩源，联接壁就会以热节为补缩源，导致热节处自身在凝固过程中收缩无法

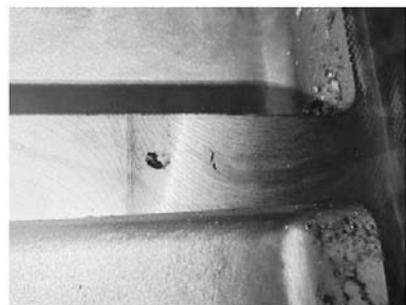


图3 气缸体的缩松缺陷及位置

Fig. 3 Shrinkage porosity defects and positions in cylinder block

得到及时补偿，造成在热节处产生缩松。对缩松缺陷部位经常需要进行机械加工去除缺陷，不仅使加工周期变长，而且增加生产成本。对于出现的热节缩松缺陷，分别从造型和熔化两个方面工艺优化，降低铸件的浇注温度，变更为1 300~1 320 °C，其次炉前的碳含量由3.0 wt.%~3.1 wt.%提升为3.1 wt.%~3.2 wt.%，将浇口杯内放置的孕育剂全部放入到孕育漏斗中。通过优化孕育处理，从而减少共晶过冷度，共晶过冷度的减少，可以促进石墨化、提高体液流动性、实现顺序凝固及降低凝固速度，可以有效减少缩松。造型方面，将冒口加高150 mm，减少出气孔尺寸，由φ30 mm变为φ20 mm，后续生产的20件铸件缩松缺陷大幅减少，仅有2件出现大小为20 mm × 30 mm的缩松，粗加工后无残余缩松，加工面符合要求。

2.2 夹渣及解决对策

夹渣是因为铸件的内部或表面出现外来非金属夹杂物，产生夹渣缺陷的原因主要有两方面，一方面是模型中原有的大量固相、液相产物，当不能快速排出而残留在铸件内时，就会产生夹渣缺陷，固液产物越多，铸件上的缺陷越严重^[11]，另一方面是浇注过程中铁液流入到铸型中，使涂料与铁液相融合，融合后的产物在铸件中凝固，产生夹渣缺陷，宏观下观察为黑色块，不规则地分布在厚大断面铸铁件的表面，生产的气缸体产生的夹渣不规则地分布在窗口周围，如图4所示。



图4 气缸体的夹渣缺陷
Fig. 4 Slag inclusion defect of cylinder block

对于夹渣缺陷，在铁液出炉前进行高温静置，温度为1 520~1 530 ℃，高温的环境有利于锰铁、纯铜等合金材料充分溶解，同时取消包内孕育，改为随流孕育，使孕育剂充分熔化，放置拔塞头来减少夹渣缺陷的产生，工艺优化后，生产的20件铸件，粗加工后，1台存在夹渣缺陷，打磨过度后消除夹渣，较前期减少95%。

2.3 气孔及解决对策

铁液凝固的过程中，随铁液一起进入铸型的气泡或浮渣容易在表面形成气孔，气孔是灰铸铁最常见的缺陷之一，严重者直接导致铸件报废，因为灰铸铁冷却系数和冷却速度都较快，更容易出现气孔，铁液中的气泡由于密度较小，因此会上浮，导致铸件中的气孔大部分出现在上表面的截面中^[12-13]。此外灰铸铁在化学成分设计时，如果S含量过大，不但降低铁液的表面张力，使外部气体易于侵入，而且导致铁液中的FeS、MnS化合物增多，使铁液的流动性降低，不利于气泡排出。所以铁液中过多的硫会使铸件产生侵入气孔，应避免S含量过高。在生产气缸体期间，上表面粗加工后容易出现气孔，孔中含有少量熔渣，如图5所示。

在气缸体出现气孔缺陷的位置适当添加排气通道，合理的排气方法是减少气孔最基本、最有效的途径^[14-15]，即确保排气面积充足。为保证螺栓孔型芯通气

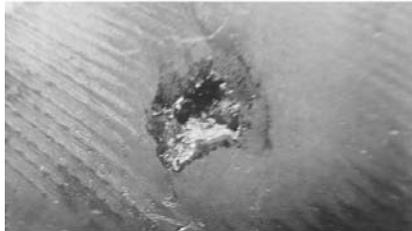


图5 气缸体的气孔缺陷
Fig. 5 Blowhole defect in the cylinder block

顺畅，在四个角分别加出气孔，去除筋部出气孔，如图6所示。浇注前，必须吹热风，使铸型整体温度在50 ℃以上，铁液出炉前进行高温静置，温度为1 520~1 530 ℃，铁液进入型腔后，及时进行引气，在保证材质的前提下，降低铁液成分中硫含量的占比，由0.06 wt.%~0.09 wt.%变为下限控制0.06 wt.%~0.07 wt.%。工艺改进后，该3缸缸体外加工气孔缺陷由6%降低到0.5%以内。

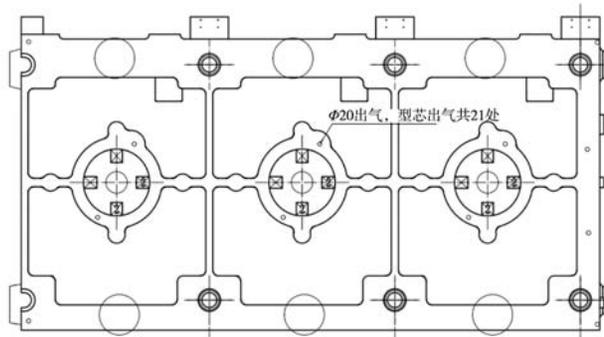


图6 排气工艺优化
Fig. 6 Exhaust process optimization

3 结论

(1) 碳含量在3.1 wt.%~3.2 wt.%时，可以增加铁液的流动性，且加高冒口至400 mm，减少出气孔尺寸至 $\phi 20$ mm，可以有效减少缩松。

(2) 在铸件上部的四个角增设出气孔，去除筋部出气孔，铁液在出炉前在1 520~1 530 ℃范围内进行高温静置，使合金元素充分熔化；降低铁液中的S含量，取下限0.06 wt.%~0.07 wt.%。以上措施可减少厚大断面灰铸铁铸件的气孔缺陷。

(3) 为有效避免大型厚大断面灰铸铁气缸体铸件出现夹渣、缩松和缩孔缺陷，在保证铸件表面不出现冷隔浇不足缺陷的前提下，可采用“低温快浇”的方法。

参考文献:

- [1] 刘平, 刘洪生, 王话. 大型铸钢汽轮机缸体下半铸造工艺的研究 [J]. 铸造, 2013, 62 (8): 797-799.
- [2] 王占蛟, 田普昌. WD615柴油机气缸体渗漏缺陷分析与解决 [J]. 现代铸铁, 2003 (3): 36-39.
- [3] 陈家芝, 金日松. MT-50汽缸体树脂砂铸造工艺 [J]. 铸造, 1984 (5): 56-57.
- [4] EIMQUIST L, DIOSZEGI A, BJORKKLIND T. On the formation of shrinkage porosity in gray iron castings [J]. Key Engineering Materials, 2011, 457: 416-421.
- [5] MAKAR JM, MCDONALD SE. Mechanical behavior of spun-cast gray iron pipe [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19 (10): 826-833.
- [6] 刘佑平. 柴油机气缸体缩孔的成因及防止 [J]. 铸造技术, 2002, 23 (5): 285-286.
- [7] 马海健. 解决斯太尔气缸体缩松渗漏工艺研究 [J]. 中国铸造装备与技术, 2006 (3): 58-59.
- [8] 李荣德, 杨景祥. 共晶团对灰铸铁缩松倾向的影响 [J]. 铸造技术, 1990 (1): 46-48.
- [9] 刘宇, 李连杰, 张宝权. 防止高强度灰铸铁气缸盖缩松缺陷的工艺研究 (2) [J]. 现代铸铁, 2023 (4): 16-19.
- [10] 毕海香, 张敏之, 于建忠, 等. 高牌号灰铸铁机体缩松缺陷探讨 [J]. 铸造设备与工艺, 2022 (4): 41-42.
- [11] 杜文强, 宗如帆, 杨争光, 等. 机床灰铸铁件实型铸造碳夹渣缺陷的控制方法 [J]. 现代铸铁, 2015 (5): 25-30.
- [12] 刘增林. 汽车发动机灰铸铁缸体立浇工艺气孔缺陷防止 [J]. 铸造, 2014, 63 (7): 721-725.
- [13] 陈军. 高强度HT250灰铸铁的熔炼技术 [J]. 铸造, 2004, 53 (8): 635-636.
- [14] 焦燕燕, 刘凤. 高牌号灰铸铁制动鼓过桥冒口补缩工艺 [J]. 铸造技术, 2004, 25 (10): 788-789.
- [15] 郝延宏, 张敏之, 张小龙. WD615气缸体铸件材料性能的改善 [J]. 现代铸铁, 2005 (6): 26-29.

Analysis and Solution of Casting Defects of Marine Diesel Engine Cylinder Block with Thick and Large Section

YANG Fei-yu¹, JIAO Kai², CHENG Shi-jie², CHEN Xiao-long²

(1. Department of Naval Armament, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Foundry Cause Department, Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd., Xingping 713100, Shaanxi, China)

Abstract:

The WCH two-stroke diesel engine cylinder block casting with thick and large cross-sections has a gross weight of 40.5 t, being made of HT250 material and major wall thicknesses are 60-80 mm, and bottom non-pressurized gating system is adopted. During production, defects such as shrinkage porosity, blowhole, inclusion and so on occurred. In this study, the causes of these defects are comprehensively analyzed, and the solutions to the defects are emphatically discussed. Process optimization and production verification have shown that adding mold cavity vents at the four corners of the cover box, removing the vents at the non thick wall areas such as ribs, and prolonging the baking time of the chill parts can reduce the blowhole defects. When the carbon content is 3.1 wt.%-3.2 wt.%, after high-temperature standing at 1 520-1 530 °C and pouring at 1 300-1 320 °C, the overall quality of the molten iron is the best, which can reduce the defects of shrinkage porosity and slag inclusion on the surface of the casting.

Key words:

cylinder block; thick and large section; HT250; casting defect; process optimization