

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2023.2008

球铁内燃机机身缩松缺陷的工艺改进

张聚涛¹, 张 涛², 赵悦光², 宫显辉², 颜向旭², 景高楼²

(1. 中核第四研究设计工程有限公司, 河北 石家庄 052260; 2. 陕西柴油机重工有限公司, 陕西 兴平 713105)

摘 要:重点讨论了球墨铸铁机身在铸造过程中冒口根部的缩松缺陷。通过降低铸件浇注温度上限, 即由 1 360~1 380 ℃ 变为 1 360~1 370 ℃ 范围内, 同时将冒口颈尺寸为 $\phi 60$ mm 的 $\phi 120$ mm 保温冒口更改为冒口颈尺寸为 30 mm×60 mm×25 mm 的 $\phi 150$ mm 木质冒口以解决铸件冒口根部缩松缺陷。生产结果显示缩松问题得到彻底解决, 为解决其他机身缩松缺陷提供了参考依据。

关键词:机身; 缩松; 冒口; 温度

中图分类号: TG245

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2023)10-0972-05

Technological Improvement on Shrinkage Defects of Ductile Iron Internal Combustion Engine Body

ZHANG Jutao¹, ZHANG Tao², ZHAO Yueguang², GONG Xianhui², XIE Xiangxu², JING Gaolou²

(1. The Fourth Research and Design Engineering Corporation of CNNC, Shijiazhuang 052260, China; 2. Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd., Xingping 713105, China)

Abstract: In this paper, the problem of shrinkage of riser root in ductile iron body during casting was discussed. By lowering the upper limit of casting temperature from 1 360~1 380 ℃ to 1 360~1 370 ℃, and changing the $\phi 120$ mm insulation riser with the riser neck size of $\phi 60$ mm to the $\phi 150$ mm wooden riser with the riser neck size of 30 mm×60 mm×25 mm to solve the shrinkage defects at the riser root of the casting. According to the production results, the shrinkage problem has been completely solved, which provides a reference for solving other defects of the fuselage shrinkage.

Key words: crankcase; shrinkage; risers; temperature

铸造生产过程中, 铸件上表面用于补缩铁液的冒口工艺设计尤其重要, 冒口设计不合理, 往往在铸件清理时或在机械加工后, 铸件表面冒口根部会出现缩松缺陷。国内外同行常采取增大冒口体补缩量或是增加局部冷铁的方法措施, 以达到消除冒口根部缩松的目的。但是冒口体增大, 会使冒口根部缩松缺陷增大, 导致铸件无法修复而报废。经过实践总结, 铸件后期凝固收缩需要补充的铁液量很小, 与冒口颈形状和大小密切相关。因此, 解决铸件冒口根部缩松缺陷, 以提高铸件质量和合格率, 具有重大的技术和经济意义。

1 机身简介

机身是内燃机的核心部件, 柴油机形状复杂, 尺

寸要求较高, 承载着曲轴、连杆、缸盖等所有零部件的安装和整机的质量, 对机身的强度、硬度、减震性有一定的要求, 是柴油机的关键件之一。

该机身属于直列机型, 尺寸为 2 320 mm×950 mm×1 254 mm, 最大壁厚 98 mm, 最小壁厚 10 mm, 材料为 QT400-15, 毛重 4 600 kg, 液重 5 500 kg。机身形状紧凑, 内腔较多, 水腔、气腔和主油道需进行密封性试验, 壁厚差异大, 孤立热节多, 凝固收缩不均匀, 易形成缩松, 是铸造的难点。

2 原始工艺中的缩松缺陷

2.1 缺陷简介

因该机身属于小型薄壁球墨铸铁件, 且各部位壁厚相差较大, 是直列缸机型。采取卧式浇铸工艺,

收稿日期: 2022-01-06

作者简介: 张聚涛, 1981 年生, 学士, 高级工程师。主要从事设备监造方面的工作。Email: 13930195353@126.com

通讯作者: 张 涛, 1984 年生, 学士, 工程师。主要从事铸造工艺设计方面的工作。Email: zhangtao202@163.com

引用格式: 张聚涛, 张涛, 赵悦光, 等. 球铁内燃机机身缩松缺陷的工艺改进[J]. 铸造技术, 2023, 44(10): 972-976.

ZHANG J T, ZHANG T, ZHAO Y G, et al. Technological improvement on shrinkage defects of ductile iron internal combustion engine body[J]. Foundry Technology, 2023, 44(10): 972-976.

缸孔、底脚板位于侧面,缸孔侧顶端面壁厚局部较薄,为 20 mm。在底脚板侧面和缸孔侧面,各放置 7 个 $\phi 120$ mm 的保温冒口,冒口颈为 $\phi 60$ mm。机身浇注温度为 $1\ 360\sim 1\ 380\ ^\circ\text{C}$,因铸件大部分壁厚较薄,为 12 mm 左右,因此温度一般靠近上限控制。原工艺简图如图 1 所示。

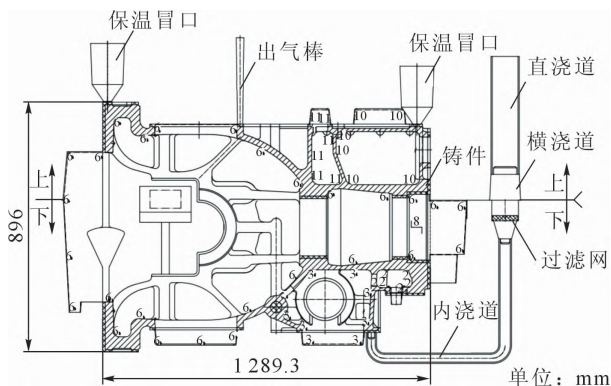


图 1 原始工艺示意图

Fig.1 Schematic diagram of the original process

按照原工艺浇注的机身两排冒口根部均有不同程度的缩松缺陷,铸件加工后缺陷位于底脚板侧面,如图 2~3 所示。分析该处缩松缺陷热节圆大小,认为是冒口较小补缩不够。将保温冒口由 $\phi 120$ mm 更改为 $\phi 150$ mm,经过生产验证后依然有缩松缺陷,与原工艺几乎无区别,见图 4。



图 2 缩松缺陷位置

Fig.2 Position of shrinkage defect

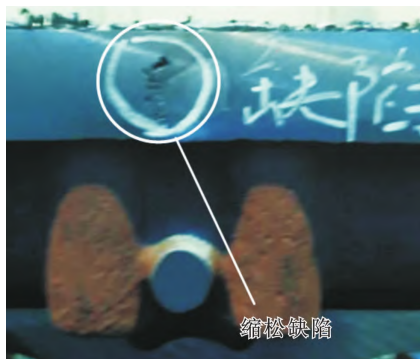


图 3 缩松缺陷

Fig.3 Shrinkage defect

2.2 原因分析

该缩松部位位于浇注的高点,正是冒口根部位置,根据球铁的收缩凝固^[1]机理分析,球墨铸铁的



图 4 改进后缩松缺陷

Fig.4 Shrinkage defect after improvement

“共晶始”和“共晶终”曲线之间的距离大,其共晶凝固近于宽结晶温度范围合金的体积凝固方式。共晶晶粒相遇,晶粒间的残余液体全部变成固相后,凝固结束。对球铁凝固的新认识是离异共晶^[2],特点是熔液内不可避免的运动带来的影响,此外还强调了奥氏体枝晶的单独存在与它在凝固过程中的作用。实际是在凝固断面上仍存在着不含离异枝晶而仅由一个(或多个)石墨球+奥氏体组成的共晶晶粒,说明球铁的凝固过程同时以多种形貌出现。

铸件表面在凝固后期仍有液相存在,不具备一个硬实的外壳。其球状石墨是在奥氏体壳包围中由于碳向其扩散^[3]而长大的,它不与共晶铁液直接接触,当共晶团长大互相接触后,石墨球继续长大的体积膨胀^[4]力大部分作用在相邻的共晶团^[5]上,其力趋于对它们挤的更开,使其间的孔洞扩大形成缩松^[6]。冒口颈偏大,冒口颈凝结时间的热影响较大,冒口颈与铸件部位壁厚相当,冒口体远大于此处壁厚,形成了新的热节,在铸件凝固收缩时,冒口颈不能及时关闭,没有起到有效补缩作用,反而加重热节形成缩松。因此,选择冒口的形状特点为顶冒口和矩形截面水平长形的冒口颈^[7-8]。

对以往的机身浇注温度进行了统计汇总,发现浇注温度大于 $1\ 370\ ^\circ\text{C}$ 的铸件都有不同程度的缩松缺陷。由于温度过高,在凝固过程中孤立的热节晚于周围部位凝固,此处铸件结构属于壁厚相交部位,冷却较困难易产生缩松,凝固后在该部位形成缩松缺陷^[9],因而确定浇注温度偏高。碳当量和温度汇总见表 1 和图 5~6。

综合分析,从碳当量(carbon equivalent, CE)分布量来看,出现缩松缺陷和 CE 量高低在一定范围内无对应关系;从浇注温度分布情况来看,出现缩松缺陷的浇注温度均高于平均温度。经过生产验证,最终得出冒口颈偏大,冒口颈凝结时间的热影响较大,浇注温度偏高,双重因素导致冒口根部形成缩松缺陷。

表1 某型机身温度统计
Tab.1 Body temperature statistics

编号	CE	w(C)%	w(Si)%	w(Mn)%	w(P)%	w(S)%	球化率	浇注温度 /℃	备注
20-01	4.43	3.51	2.69	0.20	0.027	0.013	VI+V93%	1 375	缩松
20-02	4.52	3.58	2.76	0.20	0.023	0.011	VI+V91.5%	1 367	
20-03	4.62	3.59	3.03	0.24	0.023	0.007	VI+V92%	1 365	
20-04	4.54	3.46	3.17	0.23	0.022	0.010	VI+V91%	1 377	缩松
20-05	4.44	3.52	2.72	0.16	0.013	0.010	VI+V92%	1 375	缩松
20-06	4.53	3.49	3.07	0.14	0.019	0.010	VI+V92.5%	1 371	
20-07	4.54	3.53	2.96	0.18	0.022	0.010	VI+V90.5%	1 366	
20-08	4.43	3.50	2.73	0.22	0.020	0.012	VI+V92%	1 373	
20-09	4.47	3.52	2.80	0.15	0.020	0.013	VI+V93%	1 362	
20-10	4.47	3.53	2.76	0.15	0.021	0.013	VI+V92.5%	1 361	
20-11	4.49	3.51	2.86	0.18	0.022	0.012	VI+V92%	1 364	
20-12	4.51	3.50	2.98	0.16	0.014	0.010	VI+V91%	1 361	
20-13	4.47	3.49	2.90	0.18	0.014	0.010	VI+V90%	1 378	缩松

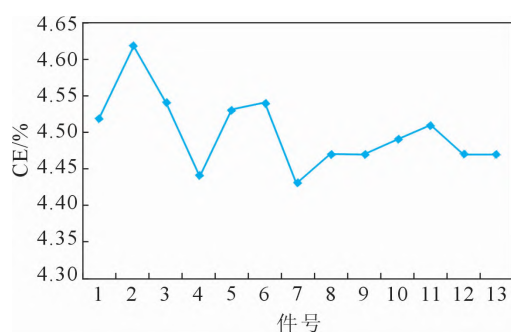


图5 CE量分布图

Fig.5 Distribution of the CE quantity

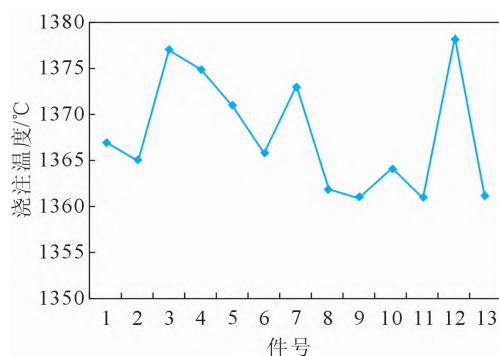


图6 浇注温度分布图

Fig.6 Distribution of the pouring temperature

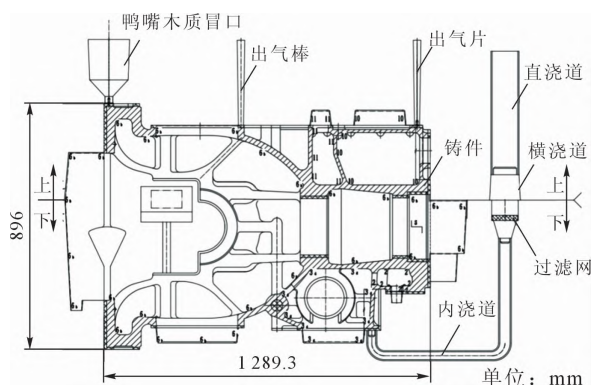


图7 改进后工艺示意图

Fig.7 Schematic diagram of the improved process

3 方案优化

3.1 解决措施

(1)在冒口体不变的情况下,将原来的保温冒口颈 $\phi 60$ mm 改为 $30\text{ mm}\times 60\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ 的 $\phi 150$ mm 木质冒口,以控制铸件内石墨化膨胀^[10-14]所产生的压力。

(2)将原来缸孔侧壁厚较薄处的冒口改为出气片,此处壁厚虽然复杂,但是铸件壁厚较薄且均匀,所以需要的补缩量较小,可以实现均衡凝固^[15-21]。

(3)将原来的浇注温度 $1\,370\sim 1\,380\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降为 $1\,360\sim 1\,370\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 试制验证

按照以上措施实施后首先试制 2 件,经过加工验证,专用技术文件规定的超声探伤检查判定标准划分的 I、II、III 区域,测试在 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 范围内均满足不大于 $\phi 3\text{ mm}$ 的缩松缺陷。调试的 2 件较成功,未出现任何缩松问题,见图 8,后续又生产了 17 余台,均未出现此类缺陷。

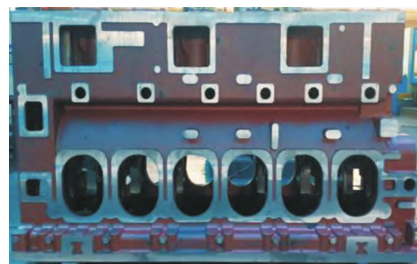


图8 调试加工后无缺陷

Fig.8 No defects after commissioning and machining

4 结语

通过对 QT400-15 牌号该机身的工艺优化设计、改进冒口颈尺寸形状、使用合适的出气片和控制

合理的浇注温度,在局部不使用冷铁的情况下浇注温度范围控制在 1 360~1 370 ℃之间,减少缩松倾向;采用鸭嘴型冒口径为 30 mm×60 mm×25 mm 的 φ150 mm 木质冒口。

参考文献:

- [1] 程红普,王金根,张付. 球墨铸铁双质量飞轮薄壁铸件铸造工艺优化[J]. 铸造,2013, 62(7): 679-681, 684.
CHENG H P, WANG J G, ZHANG F. Process optimization of the thin-walled ductile iron dual-mass flywheel castings[J]. Foundry, 2013, 62(7): 679-681, 684.
- [2] 周继扬. 球墨铸铁的凝固形貌——球墨铸铁基础理论的最新发展(四)[J]. 现代铸铁,2003(2): 4-9.
ZHOU J Y. Solidification morphology of spheroidal graphite cast iron-latest development of the basic theory of spheroidal graphite cast iron(IV)[J]. Modern Cast Iron, 2003(2): 4-9.
- [3] 郝保红,陈方方,李艳. 球墨铸铁的球化机理及其性能研究[J]. 北京石油化工学院报,2007, 15(3): 52-55.
HAO B H, CHEN F F, LI Y. Study on the casting mechanism and functions of graphite ball[J]. Journal of Beijing Institute of Petrochemical Technology, 2007, 15(3): 52-55.
- [4] 康宽溢,王瑞平,赵海东,等. 球墨铸铁轮毂的缩孔形成模拟和工艺改进[J]. 铸造,2001, 50(2): 97-100.
KANG K Z, WANG R P, ZHAO H D, et al. Modeling of shrinkage cavity formation and process improvement of S.G.iron hub casting[J]. Foundry, 2001, 50(2): 97-100.
- [5] 郑洪亮,田卫星,孙建俊,等. 球墨铸铁缩松形成机理研究的现状[J]. 铸造,2005, 54(11): 1063-1064, 1072.
ZHENG H L, TIAN W X, SUN J J, et al. Overview on porosity forming mechanism of spheroidal graphite iron[J]. Foundry, 2005, 54(11): 1063-1064, 1072.
- [6] 李弘英,赵成志. 铸造工艺设计[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
LI H Y, ZHAO C Z. Casting process design[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [7] 胡礼木,崔令江,李慕勤. 材料成型原理[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
HU L M, CUI L J, LI M Q. Theory of plastics[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [8] 王君卿. 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(第五卷):铸造工艺(第2版)[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
WANG J Q. Foundry institution of chinese mechanical engineering society. Casting handbook (volume V): Casting process (2nd edition)[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [9] 李嘉荣,柳百成. 球墨铸铁件缩孔缩松的形成及其预测[J]. 现代铸铁,1993(1): 32-40, 15.
LI J R, LIU B C. Formation and prediction of the shrinkage porosity in ductile iron castings[J]. Modern Cast Iron, 1993(1): 32-40, 15.
- [10] 宗振华. 铸态铁素体球墨铸铁的工艺实践[J]. 铸造技术,2005, 26(4): 321-322.
ZONG Z H. Application of ferritic ductile cast iron and its technique practice[J]. Foundry Technology, 2005, 26(4): 321-322.
- [11] 杨智明. 铸态球墨铸铁生产中的几大要素[J]. 铸造技术,2009, 30(8): 1076-1078.
YANG Z M. Several elements of cast ductile iron in production[J]. Foundry Technology, 2009, 30(8): 1076-1078.
- [12] 梅俊,蔡启舟,吴和保,等. 影响薄壁球铁件缩孔缩松形成的几个因素[J]. 现代铸铁,2003(1): 50-53.
MEI J, CAI Q Z, WU H B, et al. Several factors influencing shrinkage cavity/porosity formation of nodular iron castings with thin section[J]. Modern Cast Iron, 2003(1): 50-53.
- [13] 魏伯康,蔡启舟,段汉桥,等. 小型薄壁球铁铸件缩孔缩松缺陷成因及控制[A]. 第七届全国铸铁及熔炼学术会议暨河南省铸造技术交流会[C]. 北京:中国机械工程学会,2004. 44-47.
WEI B K, CAI Q Z, DUAN H Q, et al. Causes and control of shrinkage defects in small thin-walled ductile iron castings[A]. The 7th National Cast Iron and Smelting Academic Conference and Henan Foundry Technology Conference[C]. Beijing: Chinese Mechanical Engineering Society, 2004. 44-47.
- [14] 谭银元. 薄壁高强韧铸态球墨铸铁排气管的研制[J]. 机械工程材料,2003, 27(10): 31-33.
TAN Y Y. Production research on thin section exhaust pipes with high strength and toughness nodular cast iron[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2003, 27(10): 31-33.
- [15] 赵希勇,靳宝,崔志学. 采用均衡凝固技术解决发动机排气歧管缩松问题[J]. 铸造技术,2008, 29(5): 690-691.
ZHAO X Y, JIN B, CUI Z X. Solution of porosity shrinkage of engine exhaust manifold by the proportional solidification technology[J]. Foundry Technology, 2008, 29(5): 690-691.
- [16] 王灼,刘越,周占虎,等. 冷却速度对高硅球墨铸铁组织和性能的影响[J]. 铸造,2023, 72(3): 241-249.
WANG Z, LIU Y, ZHOU Z H, et al. Effect of cooling rate on microstructure and properties of high-silicon ductile iron[J]. Foundry, 2023, 72(3): 241-249.
- [17] 柯志敏,陈鹏辉. 轻稀土球化剂在厚壁球铁件上的研究与应用[J]. 中国铸造装备与技术,2023, 58(1): 43-46.
KE Z M, CHEN P H. Research and application of light rare earth nodulizing agent on heavy wall ductile iron castings[J]. China Foundry Machinery & Technology, 2023, 58(1): 43-46.
- [18] 史江涛,马洪亮. 热分析在检测球铁和灰铁冶金质量方面的实践[A]. 第十八届中国铸造协会年会[C]. 北京:中国铸造协会,2022. 290-294.
SHI J T, MA H L. Practice of thermal analysis in testing metallurgical quality of ductile iron and gray iron[A]. Proceedings of The 18th Annual Congress of China Foundry Association[C]. Beijing: China Foundry Association, 2022. 290-294.
- [19] 豆正伟,欧智林,胥川. 小型球铁件缩孔缺陷的解决及工艺优化[A]. 2022 重庆市铸造年会论文集[C]. 重庆:重庆市机械工程学学会铸造分会,2022. 99-100.
DOU Z W, OU Z L, XU C. Solution and process optimization of shrinkage cavity defects in small ductile iron parts[A]. Proceedings of 2022 Annual Congress of Chongqing Foundry[C]. Chongqing: Foundry Institution of Chongqing Mechanical Engineering Society, 2022. 99-100.
- [20] 兰银在,王根全,景国玺,等. 内燃机轴承失圆对润滑特性的影响[J]. 润滑与密封,2023, 48(5): 117-122.

- LAN Y Z, WANG G Q, JING G X, et al. Influence of out-of-roundness of bearing on lubrication performance of main bearings of internal combustion engine[J]. Lubrication Engineering, 2023, 48(5): 117-122.
- [21] 周长俊. 内燃机机械设备管理维修常见问题及应对策略分析[J]. 中国设备工程, 2023(8): 73-75.
- ZHOU C J. Analysis of common problems and countermeasures in the management and maintenance of internal combustion engine mechanical equipment[J]. China Plant Engineering, 2023(8): 73-75.