DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.009

大型船用柴油机缸体裂纹缺陷分析及应对措施

宫显辉,颉向旭,张　涛,郭　盼
(陕西柴油机重工有限公司,陕西 兴平 713100)

摘　要:利用 SEM 和 EDS 对大型球墨铸铁柴油机缸体裂纹缺陷进行了分析。结果表明,裂纹位于缸体截面较薄处,以穿晶断裂为主,是由较大的铸造残余应力所引起的。通过降低铸型外部阻力和改善微观组织等措施,在批量生产中消除了裂纹缺陷,缸体质量得到了提高。

关键词:球墨铸铁;裂纹;残余应力

中图分类号: TG255; TG245　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)12-1041-04

Crack Defect Analysis and Countermeasures of Large Marine Diesel Engine Cylinder Block

GONG Xianhui, XIE Xiangxu, ZHANG Tao, GUO Pan
(Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd., Xingping 713100, China)

Abstract: The crack defect of cylinder block of large nodular cast iron diesel engine was analyzed by SEM and EDS. The results show that the cracks are located in the thin section of the cylinder block and are mainly transgranular fracture caused by the large casting residual stress. By reducing external resistance and improving microstructure, cracks are eliminated in batch production and the quality of cylinder block is improved.

Key words: ductile iron; crack; residual stress

我公司年产各型船用柴油机缸体百十余台,材质均为球墨铸铁,多年以来,从未出现过裂纹缺陷,但在 2021 年 4 月份,出现一例大型球墨铸铁柴油机缸体裂纹缺陷,而且裂纹部位属于缸体重要位置,直接导致缸体报废,不仅造成了巨大的经济损失,而且打破了我们球墨铸铁缸体从来未发生裂纹缺陷的记录。

1　缸体结构及技术要求简介

该型缸体为 12 个缸,两排缸孔(A 列和 B 列)呈 V 型排列,缸径为 ϕ400 mm,缸体外形尺寸为 5 460 mm×2 500 mm×1 845 mm,毛坯重为 31 t,结构见图 1。

该型缸体材质为 QT400-15A,主要技术要求见表 1。

2　裂纹缺陷产生部位

在对缸体铸件进行清理时,发现第二列缸孔出现裂纹缺陷,缺陷部位和形状如图 2,由于裂纹产生在缸孔处,该位置属于缸体的重要部位,因此,裂纹缺陷直接导致缸体报废[1]。

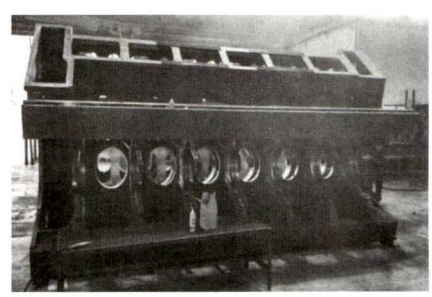


图 1 缸体零件
Fig.1 Cylinder block

表1 缸体主要技术要求
Tab.1 Main technical requirements of cylinder block

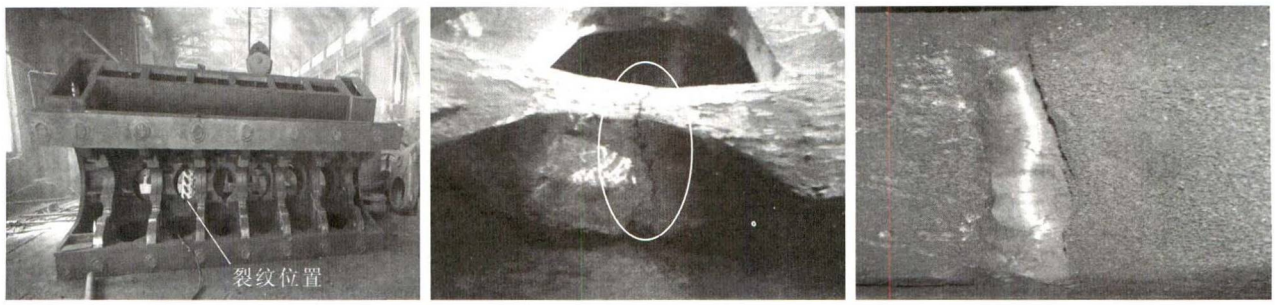
抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	硬度 (HB)	球化率 (%)	铁素体 (%)
≥390	≥250	≥14	130~180	≥90	≥90

3　缺陷分析

球墨铸铁因具有良好的塑性和韧性,一般情况下很少出现裂纹缺陷,针对此次的裂纹缺陷,我们首先对裂纹部位进行取样,检测其力学性能和金相组织。检测结果如表 2,金相组织如图 3 所示。

从初步的力学性能检测结果和金相检测结果来看,力学性能符合技术要求,金相组织也符合技术要求,只是石墨球径有些偏大。为了寻找裂纹产生的根

收稿日期:2021-11-01
作者简介:宫显辉(1978—),陕西西安人,高级工程师.主要从事铸铁熔炼技术方面的工作.电话:13196311683,Email:gong_xianhui@126.com



(a)缸体裂纹　(b)原始状态　(c)打磨后

图 2 裂纹位置

Fig.2 Crack location

表2 裂纹处检测结果

Tab.2 Detection results at the crack

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	硬度 (HB)	球化率 (%)	球径	铁素体 (%)
405	292	16	146	90	5 级	99

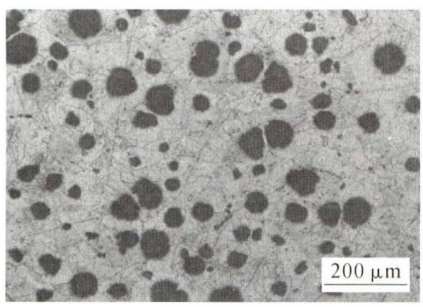


图 3 裂纹处的金相组织

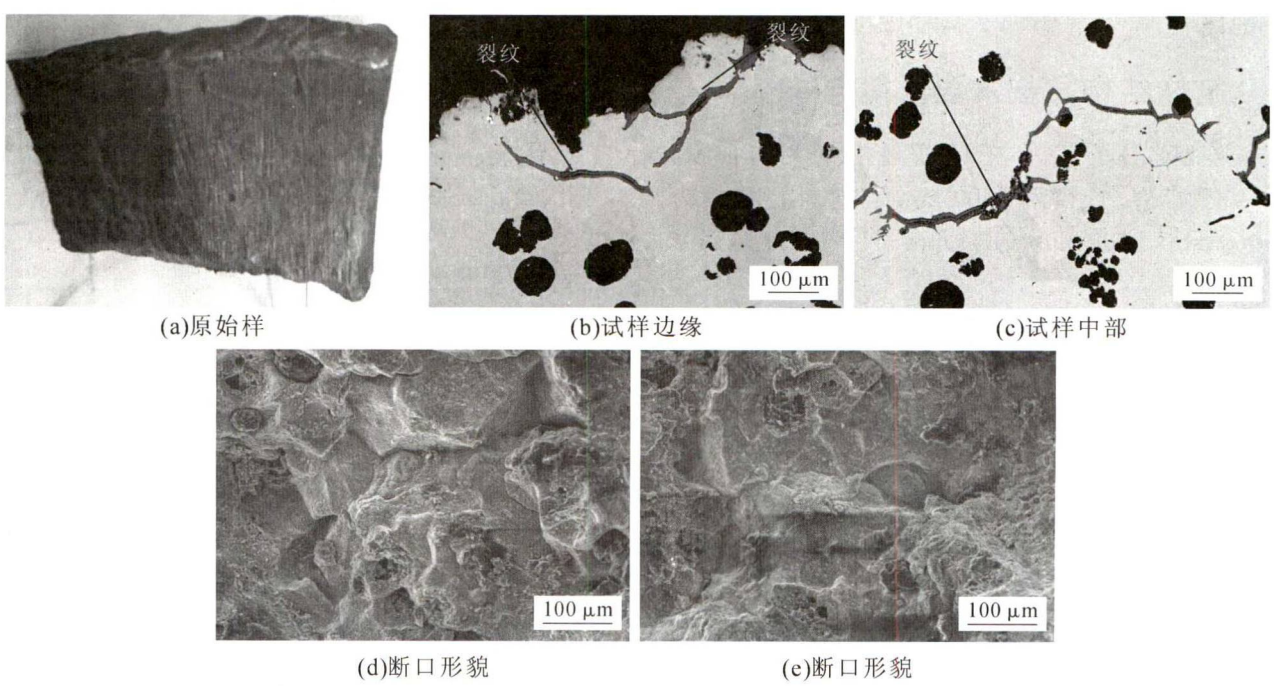
Fig.3 Metallographic structure of crack

源，对裂纹位置取样进行 SEM 分析（如图 4），经扫描电镜观察，断裂断口形式以穿晶断裂为主，且和典型裂纹断口形貌（图 5）对比属于冷裂纹。而且在裂纹表面还存在渣子，经过分析其主要成分为 MgO 和 MgAl，都是球墨铸铁中常见的渣子。如图 6。除此之外，裂纹断面还发现存在碎块状石墨，如图7。

通过对裂纹断口的扫描电镜分析，导致裂纹产生的主要原因有以下两点：一是由于缸体结构复杂，壁厚相差大，铸造应力大，且裂纹发生在结构薄弱处，从穿晶断裂形式分析，缸体在冷却凝固收缩过程中，因受到较大的外部阻力，阻力超过了材料的屈服极限，从而使缸体在结构薄弱处发生断裂；二是由于断裂部位微观组织存在一定缺陷，主要表现为碎块状石墨的存在，削弱了铁素体基体的自身强度，降低了铁素体基体抵御外部阻力的能力。在这两点因素的共同作用下，缸体在结构薄弱处发生裂纹缺陷[2]。

4 改进措施

（1）在缸体制芯过程中，确保缸孔薄弱处芯骨摆放到位，吃砂量控制在 30 mm 左右，以免芯骨裸露影响砂芯退让性，给凝固收缩留有收缩空间，减少砂芯对铸件的收缩阻力。

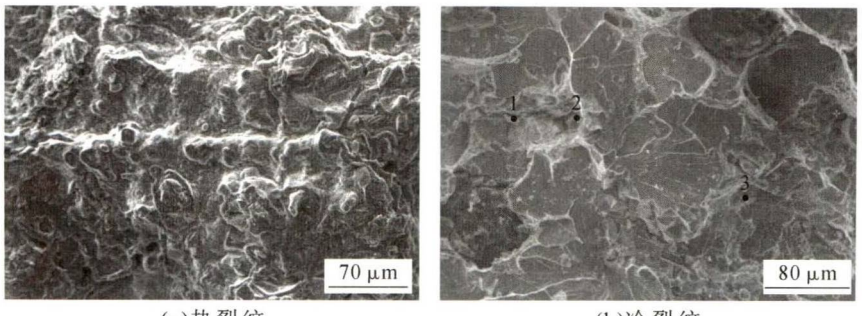


(a)原始样　(b)试样边缘　(c)试样中部

(d)断口形貌　(e)断口形貌

图 4 裂纹试样及 SEM 分析

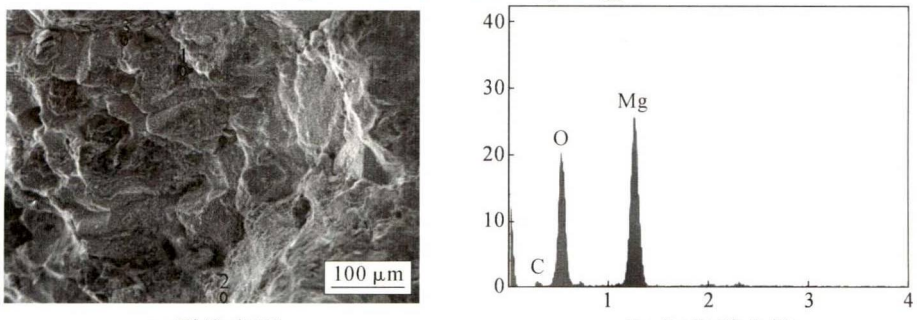
Fig.4 Crack sample and SEM analysis



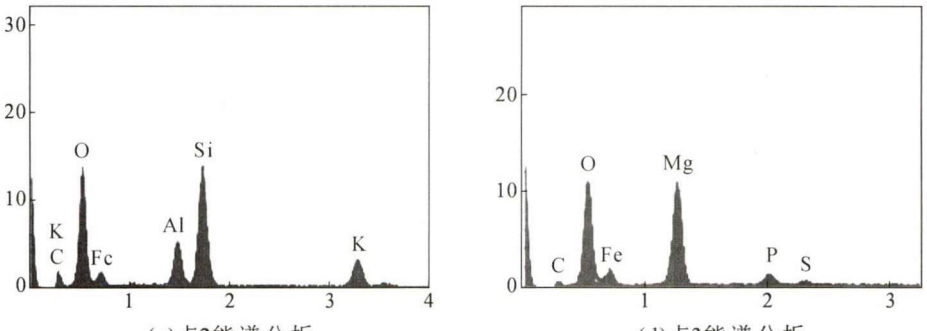
(a)热裂纹　　(b)冷裂纹

图 5 典型断口形貌

Fig.5 Standard fracture morphology



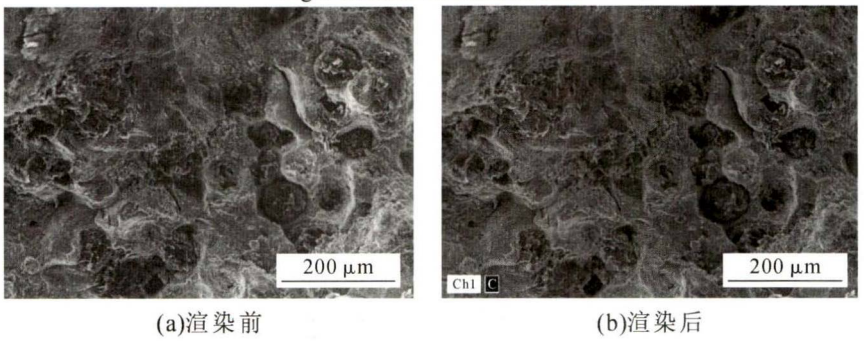
(a)裂纹表面　　(b)点1能谱分析



(c)点2能谱分析　　(d)点3能谱分析

图 6 裂纹表面的渣子

Fig.6 Residue on crack surface



(a)渲染前　　(b)渲染后

图 7 碎块状石墨

Fig.7 Fragmentary graphite

(2)适当降低砂芯的强度，控制在 1.0~1.1 MPa，减少铸件凝固收缩时的阻力。

(3)延长铸件在铸型中的停留时间，避免开箱过早引起较大的铸造应力。

(4)采用低稀土含量的球化剂，以及使用含铋的瞬时孕育剂，改善石墨形态，从而提高材料的力学性能[3]。

5 措施实施效果情况

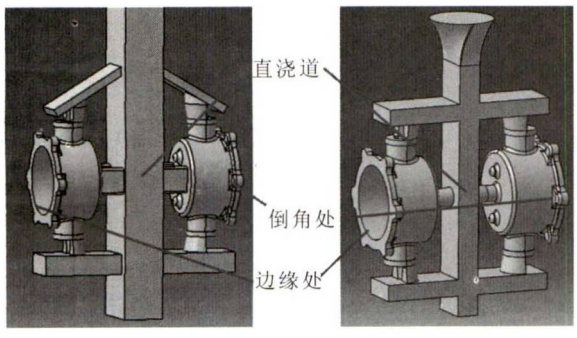
改进措施实施后生产了 14 台缸体，其中 9 台正在加工未发现裂纹问题，5 台铸件正在清理也未发现裂纹问题。

6 结语

对于大型球墨铸铁缸体出现的裂纹缺陷，通过

（下转第 1054 页）

(Edge-Fillet)处分别提取正应力数值,具体位置见图9。其中,改进后的浇注系统方案见图9(b)。



(a)初始方案　　(b)改进方案

图9 初始方案和改进方案以及获取正应力的关键位置

Fig.9 Initial and improved gating system and key points for obtaining normal stress

通过铸造的应力分析,得到的各点的平均正应力随凝固时间变化的曲线如图10。铸件壁厚较薄,且远离直浇道,所以率先凝固冷却,受到拉应力;随凝固和冷却的进行,泵壳铸件的边缘所受应力由拉应力变为压应力,而法兰倒角处一直处于拉应力状态。凝固初始阶段,材料屈服强度较小(图7d),铸件产生热裂缺陷。直浇道由于凝固较晚,应力增大较为滞后。

对比初始方案和改进方案,可以看出初始方案边缘和倒角的应力差值较大,而改进方案中该应力差值较小,铸件和直浇道因凝固时间差异产生的应力框效应较小,减小了热裂倾向。

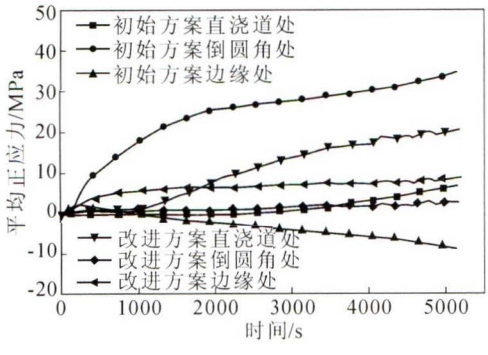


图10 平均正应力随时间变化曲线图

Fig.10 Curves of average normal stress vs time

4 铸造工艺优化及验证

根据应力分析结果,采用改进后的工艺方案进行了40件试投产,图11为改进方案的模壳。浇注清理后未发现裂纹缺陷造成的铸件报废。由于铸铁石墨膨胀带来的自补缩效应,未发现因浇注系统的减小而导致缩孔缩松等其他问题。整个浇注系统质量由原来的9.2 kg减少到3.8 kg,大大提高了铸件的出品率。

图11 改进方案的模壳

Fig.11 Ceramic shell of improved gating system

5 结论

(1)采用ProCAST软件建构了熔模铸造模壳和砂箱,使模拟更加贴合实际,提高了模拟的可靠性。

(2)对泵壳进行了铸造应力模拟分析,发现铸件和浇注系统形成的应力框效应会增加铸造应力,带来裂纹缺陷。

(3)通过优化浇注系统,减小铸件和浇注系统的冷却速度和凝固时间的差异,能够减小铸造应力,避免由此造成的热裂缺陷。

参考文献:

[1] 张立权. 铸件裂纹产生原因及防止措施[J]. 机械工人,1984(10):50-53.

[2] 张晓光,韦洲,刘春雨. 灰铸铁连接件熔模铸造工艺优化[J]. 热加工工艺,2019,48(7):101-103.

[3] 康进武,熊守美. 铸钢应力框凝固过程三维应力数值模拟[J]. 铸造,1999(1):23-26.

(上接第1043页)

采取合理放置芯骨增加砂芯退让性,降低砂芯强度,避免过早开箱等降低外部阻力的措施,以及采用低稀土球化剂和含铋的孕育剂改善微观组织措施,可以有效解决球墨铸铁缸体裂纹问题。

参考文献:

[1] 刘增林,高光容. 大型柴油机缸体的铸造 [J]. 铸造,1997,46(12):20-22.

[2] 陈国桢,肖柯则,姜不居. 铸件缺陷和对策手册[M]. 机械工业出版社,1996.

[3] 喜多新男. 预防球墨铸铁铸造缺陷的措施 [J]. 现代铸铁,1986(2):60-64.