

二冲程柴油机排气阀油缸裂纹产生原因研究

胡飞 周金山 王增强 张炜

(中国船舶重工集团柴油机有限公司 山东 青岛 266520)

摘要: 本文针对运营船舶发生的二冲程柴油机排气阀油缸产生裂纹故障,通过深入调查、加工尺寸检验、材料硬度分析、金相分析、化学成分分析、无损检测以及结合取样材料扩展形态最终确定裂纹的根本原因。文章详细介绍了调查过程和结论,供柴油机设计、生产、维保和船舶运营等行业相关人员参考。

关键词: 二冲程柴油机; 排气阀油缸; 裂纹

0 引言

排气阀是二冲程柴油机最主要的部件之一,是燃料燃烧做功后废气排放的唯一通道,直接决定柴油机性能。排气阀既有高温冷却水的腔室,也有空气弹簧腔室和排气阀开启的液压油腔室,同时承受着燃烧室燃烧和排气的高温高压环境,一旦出现功能失效,将直接影响主机安全运转。

本文以某轮二冲程柴油机的排气阀油缸在几个月的时间内连续两次出现裂纹导致漏油为例,介绍裂纹故障的调查过程和故障产生的根本原因,为类似故障的诊断排查提供了具体分析方法和思路。

1 排气阀油缸裂纹故障的发现

某运营船舶配备的柴油机机型是MAN-BW 7G80ME-C9.5,额定功率21000kW,额定转速为58r/min,冲程3720mm。在该轮投入运营约4个月后,船员对机舱设备进行常规巡检时发现主机6#缸排气阀油缸外部渗油(图1)。为了确定是否真正漏油,船员使用干净抹布将该区域擦拭干净后观察,依然有滑油持续向外渗漏。通过近距离仔细观察,发现漏油区域有长约10mm的裂纹(图2)。由于该油缸内的介质油属于驱动排气阀阀瓣开启的高压油,在故障发现的初期泄漏量已达1.5L/天,事态会有随时扩大的趋势。幸运的是船上配备了唯一一件油缸备件可供紧急更换使用。

2个月后,船员再次发现3#缸排气阀油缸相同区域出现向渗油现象,经详细检查发现存在约12mm裂纹。

在保留对油缸产品质量质疑的前提下,让船上反馈液压油压力是否正常、是否存在压力明显波动、是否存在主机异常振动等现象。船员反馈一切正常,故排除了主机运行中参数异常情况。为此,在紧急供应两件油缸备件后,要求船上将故障件退回分析检测^[1]。



图1 两件油缸漏油区域



图2 油缸外观裂纹长度

2 排气阀油缸裂纹无损检测

对返回的旧件排气阀油缸裂纹区域去除表面油漆并



图3 油缸渗透探伤缺陷显示



图4 油缸内裂纹长度

清理后,采用渗透无损检测方式对该区域进行了详细检查。发现红色线性缺陷(裂纹)实际长度约为15mm(图3),缺陷反面存在肉眼可见的长约150mm裂纹(图4)。

3 排气阀油缸漏油点附近材料分析

对排气阀油缸旧件漏油点附近的材料进行切割取样化验,从硬度、金相分析、化学分析微观形貌等方面维度进行详细检测分析。

3.1 硬度检测

在实验室采用布氏硬度设备检测裂纹附近材料本体硬度,测得213/216/214/220/214HBW平均值215HBW,符合专利方材料设计要求(200~270HBW)。

为进一步找出油缸该处位置开裂原因,从裂纹位置取样进行检测分析,油缸的材料为球墨铸铁(QT600-3)。从裂纹位置线切割取样,打开裂纹断口观察其断面形貌,

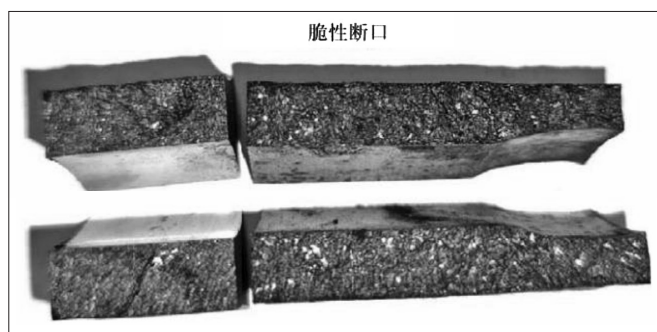


图5 漏油位置断口试样与延伸扩展断面试样

如图5所示,断口为明显的脆性断口,未发现明显的疲劳裂纹源,也未发现明显的大尺寸夹杂缺陷。

从裂纹附近继续取样,打开的断口长度明显大于探伤所观察到的裂纹长度,也与实际使用中只出现渗漏不符,推测该处位置较为敏感。在后续切割中断面发生了扩展,而非使用过程中发生开裂。延伸断口断面形貌与初始断口一致,为脆性断口。

3.2 金相分析

对漏油点附近的试样进行打磨、抛光后,使用金相显微镜放大100倍后观察其微观形貌。

如图6、图7和图8所示,断口附近材料内部可见明显的孔洞缺陷,孔洞最大尺寸超过0.3mm,部分孔洞附近伴随异常的石墨退化,部分石墨形态成形变异状态,未完全孕育成球形状。除缺陷位置外,其余位置微观组织正常,石墨球化率约为90%,石墨大小评级约5级。

使用3%的硝酸酒精腐蚀后,其断口附近金相组织如图9所示,珠光体含量评级为珠95,碳共晶小于2%,磷共晶小于2%,未见其材料金相组织有明显异常。

3.3 化学成分分析

对油缸本体取样化验,使用专业设备检查化学成分(见表)。从分析结果发现硫元素明显超标,超过了标准规定的0.050%上限值,不符合EN1563标准要求。

表 化学成分

化学成分	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%	Mg%
EN1563	3.5	2.5	0.4	≤ 0.050	≤ 0.050	0.5 ~ 1.0	0.04
实验结果	3.51	2.49	0.41	0.045	0.095	0.65	0.043

分析结果:化学成分不符合标准EN1563的要求。

4 失效分析意见

(1)从目检状态来看,油缸漏油点开裂处未见明显的加工缺陷,表面光洁度良好;加工尺寸方面检查,油缸内部加工尺寸符合图纸要求,无漏加工、尺寸超差情况;检测硬度,符合专利方设计要求,未见肉眼可见的

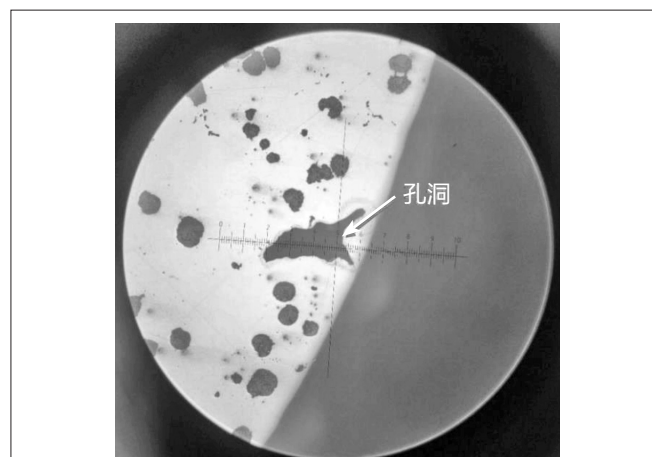


图6 孔洞形貌 × 100

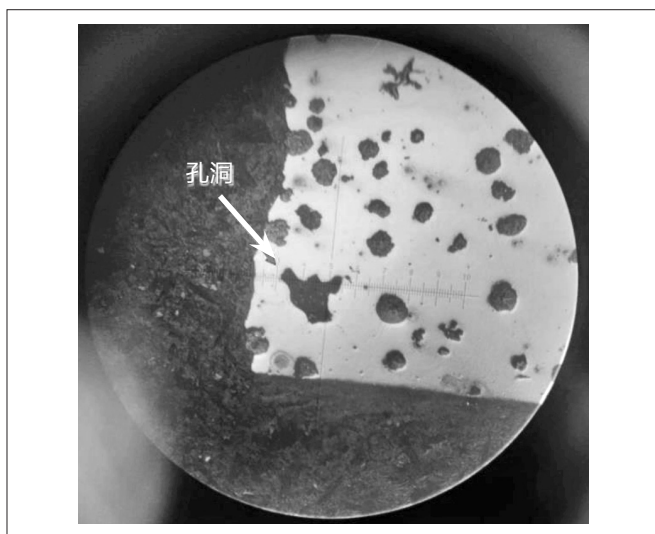


图 7 孔洞形貌 × 100

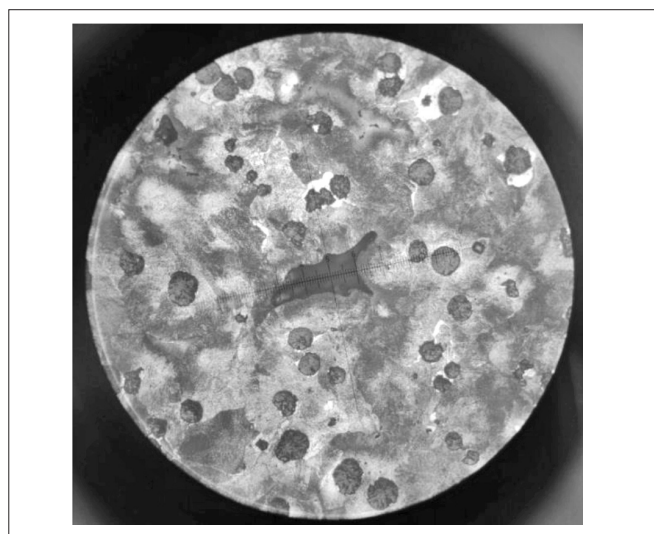


图 9 断口附近金相组织 × 100

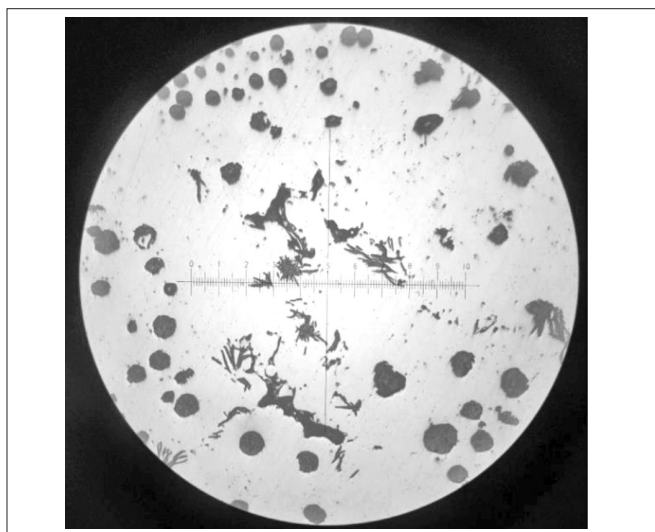


图 8 孔洞与石墨退化 × 100

疏松孔洞。通过金相分析,微观下可见裂纹附近存在微观孔洞缺陷,并伴随局部石墨退化。除此之外,油缸材料石墨球化率良好,石墨大小、珠光体含量和碳磷共晶含量符合技术要求。

(2) 化学成分分析:从材料本体化学元素成分分析中显示的 S 元素含量明显高于标准要求值。S 元素是公认的反球化元素。在油缸铸造过程中, S 元素与作为球化剂的 Mg 元素有限结合反应形成稳定的 MgS 无机物,导致球形石墨在未形成前变异为其他形状。再结合铸造过程中油缸局部位置异常的微观孔洞与石墨退化,降低了材料内部组织致密性,进而降低了该处的位置强度,从而引发贯穿内外孔壁的裂纹,是造成此次油缸渗漏失效的主要原因。

(3) 球墨铸铁是一种高强度铸铁材料,具有较高的抗拉强度和弯曲疲劳极限,也具有相当良好的塑性及韧性,其综合力学能力性能接近于钢。这是由于球形

石墨对金属基体截面削弱作用较小,使得基体比较连续,且在拉伸时引起应力集中的效应明显减弱,因此石墨球化率是提高球墨铸铁综合力学性能的关键指标。分析结果中的石墨退化是指本应通过球化剂和孕育剂的作用转变为球形的石墨由于某些铸造工艺原因导致石墨转变成了片状或蠕虫状等形态。这些形态的石墨将导致铸铁材料对金属基体截面的削弱能力明显下降。意味着将降低铸铁材料的强度,对应力开裂的敏感性大大提高。这是导致油缸渗漏处产生脆性裂纹的关键原因。

5 结语

从排气阀油缸的无损探伤检查,系列失效分析将裂纹产生的原因确定为铸铁材料石墨退化。为进一步查找原因,再次对油缸供应商该批次材料铸造过程工艺记录检查。

通过对铸造砂型材料呋喃树脂中的苯磺酸固化剂化验分析发现 S 含量明显超标。S 元素与球化剂中的主要元素 Mg 在铸造过程中发生反应生产稳定的 MgS 产物,导致促进石墨球化的球化剂 Mg 元素明显减少,从而降低了该批次油缸材料石墨球化效果,导致球墨退化。

通过采用各种分析手段,最终形成了清晰的裂纹故障原因分析。

参考文献:

[1] 司卫华,王学武.金属材料与热处理[M].北京:化学工业出版社,2008:65-67.

作者简介:胡飞(1988.02-),男,汉族,湖北荆州人,本科,工程师,研究方向:发动机关键部件检验及试验测试技术、无损检测技术。