

MAN-B&W6L70MC 主机活塞头 裂纹原因分析与措施

中远集运 施永新 林晨阳

[内容提要]此文对国内某船用柴油机制造厂制造 MAN-B&W6L70MC 的主机焊接式活塞产生裂纹, 进行具体的理化分析, 找出产生裂纹的基本原因以及所采取的措施。

关键词:焊接式活塞 含硫量 底焊 裂纹

1 概述

我司于 1999~2000 年在国内某造船厂建造了四艘 1700TEU 集装箱船, 其主机选用国内某船用柴油机制造厂制造的 MAN-B&W6L70MC, 功率为 16980kW, 转速为 108r/min, 营运航速为 20.3kn。四艘姐妹船陆续投入营运后, H 轮的主机总运行 9220 小时, 于 2002/01/01 起检查发现主机 NO. 6、NO. 2 缸活塞先后裂纹漏油, 同年 2002 年/02/05 其姐妹船 K 轮也先后发现了主机 NO. 3、NO. 4、NO. 6 缸活塞裂纹漏油。三只缸的活塞运转时间分别为 14260、14556、14870 小时; 活塞裂纹的情况与 H 轮活塞裂纹相类似。在短短的二个多月的时间里, 四艘船就有两艘船共五只缸发生活塞裂纹, 影响了船舶营运安全, 立即引起船公司有关部门的高度重视。尽管对已裂纹的活塞进行及时上备件更换等措施, 解决了已发生的问题, 但对另外两艘姐妹船和还未发生裂纹的活塞, 在还没有查明导致活塞裂纹的原因情况下, 主机继续营运是令人担忧的。经检查活塞的制造证书及材料证书齐全, 尽快查明活塞裂纹的原因迫在眉睫。在船公司有关部门的积极联系和强力要求之下, 柴油机制造厂对裂纹的活塞进行了取样, 分别送往大连海事大学和 MAN-B&W 总部进行理化分析, 查找原因, 采取措施, 及时消除隐患, 保证了船舶的正常运营。现笔者把活塞裂纹的情况和对活塞材料进行分析的结果等情况作介绍。

2 活塞材料与结构

MAN-B&W6L70MC 机型主机的活塞制造材料可分为: 铸钢和锻造钢两种, 其结构可分为: 整体式和焊接式。整体式也分为铸钢单通道冷却设计和锻钢钻孔冷却。而焊接式的活塞主要是由于制造厂的加工设备限制, 因而只能在活塞顶部切开, 对冷却通道便于加

工如图 1, 加工成形后, 进行焊接退火等处理和精加工。焊接式的活塞可用铸钢也可用锻钢制造, 其切开位置经 MAN-B&W 总部的设计要求也有新旧设计两种, 新位置比旧位置离活塞顶部距离短些, 差不多在吊装活塞的专用环槽位置倾斜向下, 而旧的焊接位置在吊装活塞的专用环槽位置下方。新、旧活塞设计焊接位置, 主要便于活塞冷却通道的加工, 只要焊接工艺质量可靠其强度是一样。由于柴油机制造厂的加工设备有限, 因而国内制造的主机活塞均采用焊接式结构。我司在国内某造船厂建造的四艘姐妹船, 主机活塞是采用旧设计的焊接式, 材料为铸钢。

3 活塞裂纹位置和裂纹断口的宏观、微观特征

3.1 裂纹位置

从 H 轮、K 轮的五只活塞裂纹的位置来看, 差不多都在一个位置, 距活塞顶部向下 90~95mm (离第一道活塞令槽上边缘向上 14cm), 左后方向有一条平整的裂纹, 裂纹长短不一, 最长达四分之一圆周; 最短裂纹约有 250mm。从 H 轮 NO6 缸的活塞裂纹切开观察, 该裂纹与活塞顶部平行分布, 直裂纹总长约 300mm。而从活塞内腔方向上观察, 裂纹至活塞顶的距离约 67mm, 总长达 450mm。即裂纹在活塞外表面上看较短, 距活塞顶较远, 而且裂纹是在活塞主体的基本材料中张开。而内表面上的裂纹长度大部分刚好在焊肉中间张开, 在裂纹两端才离开焊缝, 这样就形成一个内高外低、内长外短、倾斜存在的扁扇形的开裂面。

3.2 裂纹断口的特征

(1) 宏观特征

断裂开的断口特征是: 自内表面焊肉开始有明显的海浪花样向外表面方向扩展; 海浪花样一直扩展到近外表面, 终断区面积很小; 近外表面的海浪花样间距较大; 近内表面的断口组织比近外表面的断口组织细致; 整个断口表面成黑褐色, 并局部附着一层同样颜色的氧化皮。而把未裂开的部分, 经过切块在压力机上加压, 使其沿原来始自内表面的裂纹开裂, 其新压断断口的基本特征是: 有同样始自内表面焊肉的明显的海浪花样; 海浪花样终止在距外表面一定距离处; 压力机压开形成新的断口十分粗糙, 不同于这种低碳低合金钢正常断口。另外一块是有焊缝的断面切开面, 经研磨、浸蚀后, 呈现出焊缝断面轮廓及始自内表辉面并向外圆扩展的原始裂纹, 基本特征是: 焊肉基本与活塞顶平行分布; 裂纹始自内表辉面焊肉中间, 以倾斜方式

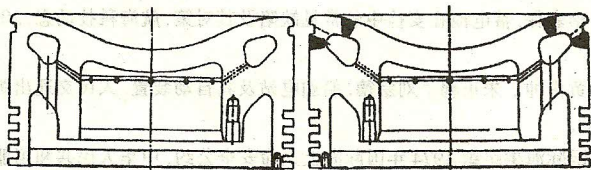


图 1 整体活塞和焊接式活塞

(约与活塞圆周母线呈 45°) 先沿焊肉后在活塞母材中继续发展至外表面; 原始内裂纹在焊肉上方的活塞主体母材中如图 2。

根据以上的特征可以判断活塞的裂纹为疲劳应力不高, 裂纹源位于内腔焊肉表面中心附近。

(2) 微观特征

对原始断口在扫描电镜下观察时, 看到断口普遍存在有疲劳辉纹, 就进一步证实了原始断口为疲劳开裂形成的。对断口的残留物作能谱分析, 主要成分为: C、O、Zn、S、Ca、Fe。而从人为的机压断口在扫描电镜下观察时, 有不同区域存在不同程度的异常组织, 在低倍率有脆性断裂块; 而在高倍率下可观察到呈条状的异物存在如图 3。经能谱分析该异物是 $Mn(Fe)S$ 夹杂物。由此可见, 活塞下部主体铸件中硫化物夹杂相当高, 经光谱分析, 活塞上主体的材料中含硫量为 0.012%; 下主体材料中的含硫量为 0.074%, 由于材料中含硫化物偏高, 这就直接影响到活塞顶与下部主体相连的焊缝打底时的焊肉中含硫偏高, 也就是在焊缝内表面附近含硫 S 偏高。

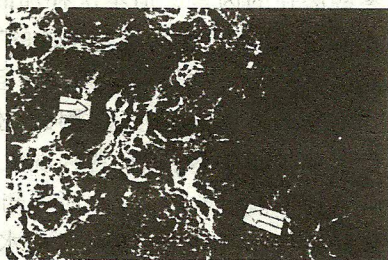
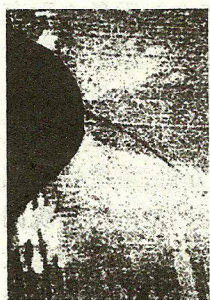


图 2 裂纹开始点位于活塞壁厚最小处 图 3 活塞下部主体母材断口上有相当多的异物(箭头所指)造成局部脆裂

4 焊缝金相组织与裂纹

4.1 焊缝的金相组织

在扫描电镜下观察活塞下部主体铸件的金相组织, 发现铸件中夹杂物较多, 种类有大块的硫化物及成串的氧化物, 基体金相组织正常。而活塞顶部铸件的金相组织, 其夹杂物含量较低, 其他金相组织也正常。

4.2 焊缝裂纹

在焊缝宽度的中间部位开裂的主断裂面以外的焊缝边缘也有小裂纹。原始断裂面的起源位于焊缝内表面沿长度方向的中间位置, 不止一块。而内表面的焊缝起源与焊肉表面中心部位产生开裂。因而说明原始断裂面出现之前, 沿焊缝长度方向上不同表面上已存在有夹杂、开裂缺陷, 其中有些缺陷就发展成原始断裂的断裂源。焊缝边缘上的小裂纹, 扩展方向也与原始断裂面平行, 经能谱分析结果, 小裂纹中含有氧化物。在焊缝附近的活塞体表面也发现有直接因夹杂而引起的开裂, 也就是说材料(含焊缝)表面的夹杂物有促进开裂

的作用。在焊缝不同区域的硬度测试, 焊缝强度设计与施焊结果硬度分部值合理, 也就说明焊接工艺本身除夹杂和裂纹外没有问题^[1]。

5 活塞裂纹的基本原因分析

根据上述检查的结果, 对活塞原始穿透性开裂面裂纹的基本原因分析认为: 由于活塞下部材料中含硫量偏高(0.074%), 使第一层焊接形成的溶池化学成分受到污染, 当溶池凝固时在焊缝外表面(即活塞内腔的焊表面)发生收缩, 这不仅在焊缝表面的正中间留下一道浅沟, 而且在沟底的最后凝固时有些部位的表面层及其以下基体中形成夹杂以及开裂等缺陷, 在交变应力作用下, 浅沟中一部分的缺陷, 发展成疲劳源, 而且很快沿焊缝中线的浅沟形成开裂, 同时向活塞基体(壁厚方向)继续发展, 导致穿透性裂纹。

从送往 MAN-B&W 总部的活塞裂纹, 经超声波等检测分析认为, 活塞的裂纹是活塞头在打底焊时在焊道上就产生了裂纹, 由于各个小裂纹的逐渐发展和连接导致最终裂缝的结果^[2], 这与上述的原因分析基本一致。

6 措施

从上述的活塞裂纹的原因分析可断定, 该四艘姐妹船主机活塞在制造时就留下了隐患, 就是“先天不足”, 船舶投入营运后, 主机运转期间随着交变应力的作用下使小裂纹连接扩大, 导致活塞漏油。经过谈判, 柴油机制造厂承诺把四艘姐妹船的主机活塞共 28 只(四只备用)将全部换新。但是由于制造过程的限制, 不能一下子全部更换, 只能对已发生裂纹漏油的活塞, 订购进口备件换新; 而其它的待制造新活塞后逐步更换。

因此对未更换主机活塞的船舶, 应采取如下必要的措施: 1) 在营运中应注意控制主机的负荷, 不能长期在大负荷中运行尤其是在大风浪中航行, 以避免有缺陷的活塞的小裂纹加速扩大; 2) 缩短扫气箱检查周期, 有条件在每抵一个港口都进行检查, 一旦发现有漏油的活塞应及时换新; 3) 柴油机制造厂对新制造的活塞材料应进行更换, 采用锻钢制造, 可以避免在焊接和材料存在的缺陷, 提高新活塞的可靠性; 4) 延长保修期限。当然由于制造厂的加工设备限制, 除了 K 轮从国外进口 6 只整体式锻钢制造的活塞外, 其它还是采用该柴油机制造厂锻钢制造焊接式活塞。

7 结束语

这次我司 1700TEU 四艘姐妹船发生了主机活塞裂纹漏油的事故, 从侧面上也反映了一些问题, 比如主机活塞选用铸钢材料为其基本成分, 经检验证明其含硫 0.010%~0.014%, 但从产生裂纹的活塞下部主体母材检测, 其含硫量为 0.074%, 相差几倍, 而且也有相

应的材料证书,其制造质量的控制与监督是引人深思的。尽管制造厂从节约成本的角度出发,采用经MAN-B&W设计许可的铸钢材料,但由于铸钢材料的原因制造出有缺陷的活塞,造成了一定的损失。这不仅影响了船公司的营运安全问题,而且也反映了我国船用产品在材料生产质量和制造质量有待于进一步提高。当然在新世纪里,随着科学技术迅猛发展,我们有

理由相信将来我国柴油机的生产,在吸取国外的先进技术和经验后,将会不断地完善和提高!

参考文献

- 1 大连海事大学油液检测中心 2002/4/28 测试报告.
- 2 MAN-B&W 总部对活塞裂纹测试报告.
- 3 MAN B&W 6L70MC 主机说明书.