

蠕化率对铸件内部疏松缺陷的影响

杨永来

辛集市辛缸汽缸盖有限公司 河北石家庄 052360

摘要：近年来，发动机功率越来越大的同时要求发动机轻量化，使得对汽缸体、汽缸盖材质的要求越来越高。为适应这种要求，灰铸铁中需加入Cu、Cr、Mo等元素，使铸件成本增加，同时随着合金（尤其是Cr、Mo）的加入，铸件白口及缩松倾向增加，漏气风险加大，面对这种情况，蠕墨铸铁材质的汽缸盖、汽缸体成为了趋势，蠕墨铸铁材质在国内外汽缸盖、汽缸体上的应用越来越多。为适应这种形势，我公司在没有高端检测设备的条件下开始试制蠕墨铸铁材质汽缸盖，首先试制的是ZC170汽缸盖。

关键词：蠕墨铸铁；汽缸盖；蠕化率；疏松缺陷

1 序言

柴油机应用广泛，工作环境差，工作时间长。由于柴油机汽缸盖长时间承受高压和高温燃气的作用，所以要求汽缸盖不能变形和开裂，同时出于对成本的考虑，汽缸盖重量需要控制，这就对汽缸盖的材质要求越来越高，尤其是大功率段转速高的柴油机汽缸盖，灰铸铁材质已不能适应使用要求。在这种情况下，我公司着手试制蠕墨铸铁材质的汽缸盖，首先选定的品种为ZC170汽缸盖。

ZC170汽缸盖广泛用于船用大功率发动机、发电机组等，其长时间运行条件下不允许开裂。灰铸铁达到HT300牌号后力学性能很难再有所提升，且灰铸铁没有韧性，易开裂，而蠕墨铸铁具有良好的塑韧性、导热性和耐疲劳性。我公司经过几次的试制，开始并不理想，但经过调整，最后终于能够批量生产蠕墨铸铁汽缸盖，满足了客户要求。

2 汽缸盖特点及试验条件

ZC170汽缸盖原材质为HT300，技术要求 $w_{Cu}=0.5\%\sim 0.8\%$ 、 $w_{Cr}=0.2\%\sim 0.4\%$ 、 $w_{Mo}=0.2\%\sim 0.35\%$ ，本体硬度要求190HBW以上。汽缸盖外形尺寸为355mm×230mm×209mm，毛坯重65kg，主要壁厚8~10mm，最大热节直径60mm左右。

试制的蠕墨铸铁牌号为RuT300，基体以铁素

体为主，蠕化率>50%，伸长率>2%，抗拉强度>300MPa，硬度>140HBW。

主要设备及试验条件：7t感应电炉。炉前快速分析设备主要有光谱仪、碳硫分析仪、拉力试验机、布氏硬度计及显微镜等。

3 第一次试制

3.1 前期准备

主要原材料：Q12生铁、工业废钢、蠕化剂（ $w_{Re}=9\%\sim 11\%$ ， $w_{Mg}=4\%\sim 6\%$ ）、硅钙孕育剂。蠕化剂粒度为5~25mm，硅钙及孕育剂粒度为3~8mm，提前称重并烘干。

缸盖的铸造工艺是一模两件，在灰铸铁造型工艺的基础上增加了部分冒口（浇注工艺见图1）。目标化学成分见表1。

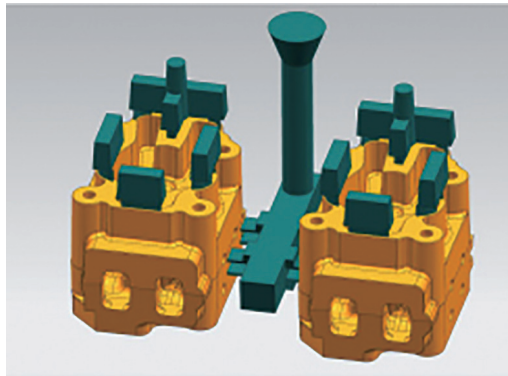


图1 浇注工艺

表1 蠕墨铸铁目标化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	P
3.6~3.8	2.0~2.6	≤0.6	≤0.08
S	Re	Mg	—
≤0.02	0.02~0.04	0.005~0.015	—

3.2 配料及熔炼处理过程

(1) 配料 开始试制时, 为保证炉料的纯净, 暂不用回炉料和增碳剂, 配料为生铁5200kg、废钢800kg、硅铁65kg及锰铁33kg。

(2) 试验过程 采用包底冲入法, 蠕化包取500kg铁液, 浇包使用前需要烘干、烘透, 蠕化剂取2.8kg (0.56%), 硅钙孕育剂取6kg (1.2%), 使用前烘干预热, 将蠕化剂均匀平铺在处理包堤坝内, 将约4kg硅钙孕育剂均匀覆盖在蠕化剂表面, 均匀捣实, 表面覆盖积渣剂(看不到孕育剂颗粒为止), 剩余孕育剂在倒包至4/5时用铁锹倒入蠕化反应的一侧, 再倒完剩余的1/5铁液。倒包时不能冲击蠕化剂的一侧, 一包浇注3箱, 共6件ZC170缸盖, 出炉温度1520℃, 蠕化处理温度1470~1480℃, 试块采用单铸, 每包铁液单铸一个试块, 并在浇注完缸盖后浇试块, 浇注时间控制在处理结束后8min内, 一炉铁液共浇注72件毛坯。

3.3 结果分析

(1) 炉前三角试片 孕育后的三角试片断口呈银白色, 两侧有稍微凹陷, 与灰铁炉前三角试片明显不同, 如图2所示。



图2 三角试片

(2) 化学成分 经检验, 终铁液化学成分见表2。

表2 终铁液化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	P
3.77	2.59	0.497	0.017
S	RE (La+Ce)	Mg	—
0.014	0.044	0.027	—

从表2可以看出, C、Si、Mn、P、S符合目标

成分要求, RE较目标高出0.004%~0.024%, Mg较目标值高出0.012%~0.022%, 可见加入的蠕化剂偏多了。硫与所有蠕化元素都有很大的亲和力, 蠕化剂加入铁液中首先消耗于脱硫、脱氧, 铁液中 $w_s \leq 0.03\%$ 时, 剩余蠕化元素才能使石墨蠕化, 如果原铁液硫含量较低, 除用于脱硫、脱氧外, 剩余的蠕化元素较多, 会使石墨过渡蠕化, 从而形成球状石墨的概率加大^[1]。

(3) 金相分析 通过金相组织观察, 得到的结论确实是石墨球偏多, 蠕化率只有30%~50%, 如图3所示。

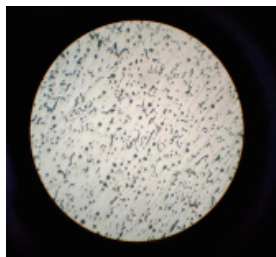


图3 蠕化率不合格

(4) 力学性能 经力学性能试验, 抗拉强度为432~451MPa, 伸长率为5.37%~6.41%, 硬度为172HBW。抗拉强度比设想的高出很多, 金相分析显示蠕化率低, 石墨球多, 抗拉强度高, 这样会影响其他性能, 如热导率会下降, 对汽缸盖高温工作时不利。

(5) 外观质量 第一次浇注的汽缸盖外观没发现大的缺陷, 加工后试压, 全部因漏气报废。经过解剖发现, 缺陷为明显的疏松。均在铸件的上半部热节较集中的位置, 如挺杆孔、导管孔、螺纹孔较密集的部位, 缺陷形貌如图4、图5所示。



图4 挺杆孔部位缺陷形貌

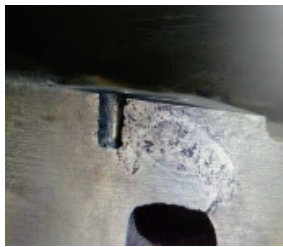


图5 导管孔部位缺陷形貌

3.4 第一次试制总结

铸件因疏松严重, 全部报废, 从图4和图5可以看出, 缩孔和疏松较明显, 蠕墨铸铁的缩孔率介于球墨铸铁和灰铸铁之间, 蠕墨铸铁的体收缩与蠕化

率有关,蠕化率越高,体收缩越小,最终接近灰铸铁;反之蠕化率越低,体收缩越大,最终接近球墨铸铁^[1]。从化学成分分析,C、Si、Mn、P、S是符合要求的,配料时未使用增碳剂和回炉料,原铁液含硫量低($w_s < 0.02\%$),加入的蠕化剂占铁液的0.56%,明显偏多了,光谱分析显示残留的稀土元素和镁元素与分析的结果是一致的。

4 第二次试制

1) 配料及处理工艺不作变动,只是蠕化剂加入量减少到占处理铁液的0.35%,即1.75kg,经化验,铁液 w_s 为0.013%、 w_{La} 为0.006%、 w_{Ce} 为0.017%、 w_{Mg} 为0.015%,达到了预想的目标成分。光谱显示,蠕化率为85%(见图6),试棒的抗拉强度为363MPa、370MPa,伸长率为3.39%、4.46%,硬度为154HBW,性能上达到了RuT300的要求。

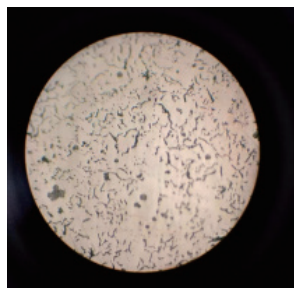


图6 蠕化率合格

2) 第二批共浇注70件缸盖,转入机加工67件。经机加工后,有8件仍然有疏松导致漏气,在挺杆孔靠上约30mm处、螺纹孔集中处有疏松现象,之后从尽可能减小热节的思路进行改进,挺杆孔搭子直径在40mm,高度约130mm,热节较大,在上盖芯挺杆孔处做出一个砂芯凸起,以减小热节。另外,在螺纹孔处增加一块冷铁(见图7),并在原来浇口的基础上设置了浇口杯,增加了约120mm的直浇道高度(压力头),补缩能力加强(见图8)。



图7 减小热节措施



图8 增加压力头

5 第三次试制

配料、处理工艺按照第二次试制不变,加之一些减小热节的改进办法,进行了第三次试制,试制结果较理想,几个金相试样蠕化率都达到了80%以上,铸件未发现明显的疏松现象。

之后进行了2次试生产,中间尝试用了增碳剂、回炉料等,结果不很理想,又有部分疏松现象发生。分析原因,主要是感应电炉熔炼时,硫主要来自于增碳剂,原铁液硫含量处于不可控状态,同时回炉料杂质较多,使得原铁液存在较多的不确定因素,炉前没有先进的蠕墨铸铁铁液检测设备,无法准确地根据铁液各元素变化进行调整。为此,后来的生产沿用第二次试制的工艺,保证原铁液各元素相对稳定,经验证能够满足生产的需要,可稳定地批量生产,成品率达到了92%以上。由于取消了原灰铸铁中的合金,铸件成本明显降低,且蠕墨铸铁材质的汽缸盖有一定的韧性,因此很大程度上降低了使用过程中产生裂纹的风险。

6 结束语

1) 生产过程中必须要保证原材料洁净,严格执行各个环节的操作工艺,控制原铁液 $w_s < 0.02\%$ 、 $w_{RE\text{残留}} = 0.02\% \sim 0.04\%$ 、 $w_{Mg\text{残留}} = 0.005\% \sim 0.015\%$,蠕化率需要达到80%以上,才能使铸件的疏松倾向减小。

2) 加强检验,每包铁液做一个试块,铸件做好标记,便于一旦发现蠕化不好的批次能顺利被分检出,做到蠕化不好的产品坚决不能出厂。

3) 如果没有炉前准确检测蠕铁元素及硫元素的仪器,则配料时应尽量少用或不用增碳剂、回炉料等影响铁液纯净度的原料,防止影响最终的蠕化效果,进而影响铸件质量。

经过一系列的改进调整,蠕墨铸铁材质ZC170汽缸盖可以批量生产,达到了客户的要求,降低了生产成本。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会铸造分会.铸造手册 第1卷:铸铁[M].3版.北京:机械工业出版社,2011:403-412,419-421.

MW 20210128