DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.07.008

船用缸盖铸件蠕虫状石墨(CG/VG)异化缺陷分析及控制研究

徐　皓[1],刘　铭[1],林雪冬[1],高　翔[2]

(1. 重庆工程职业技术学院,重庆 402246;2. 安庆中船柴油机有限公司,安徽 安庆 246005)

摘　要:对蠕墨铸铁缸盖在生产中出现的蠕虫状石墨(VG/CG)异化缺陷情况进行跟踪分析,发现其产生的主要原因是砂型中S元素渗入铸件表面造成的。通过采取提高涂料涂刷质量、增加爆发面加工余量和采用优质防渗S涂料等措施,不合格品数量大幅减少,使铸件的总不合格率由21.3%降低到3.1%,对生产实践及提高铸件质量具有重要意义。

关键词:蠕墨铸铁;缸盖;蠕虫状石墨(VG/CG)异化;防渗S涂料

中图分类号:TG251　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)07-0630-04

Analysis and Control of CG/VG Dissimilation Defect of Marine Cylinder Head Casting

XU Hao[1], LIU Ming[1], LIN Xuedong[1], GAO Xiang[2]

(1. Chongqing Vocational Institute of Engineering, Chongqing 402246, China; 2. Anqing CSSC Diesel Engine Co., Ltd., Anqing 246005, China)

Abstract: The CV dissimilation defects of vermicular graphite cast iron cylinder head in production were tracked and analyzed, and it was found that the main reason was that S element penetrated into the surface of the casting. By taking measures such as improving the coating quality, increasing the processing allowance of the blasting surface, and adopting high quality anti-seepage S coating, the quantity of unqualified products with this defect is greatly reduced, and the total unqualified rate of casting is reduced from 21.3% to less than 3.1%, which is of great significance to the production practice and the improvement of casting quality.

Key words: vermicular graphite cast iron; cylinder head; CV dissimilation defects; anti-seepage coating

中船动力公司生产日本大发DK系列船用柴油机缸盖铸件,其材质为蠕墨铸铁(FCV-Ⅱ),轮廓尺寸最小450 mm×310 mm×240 mm,单件重量最小140 kg,结构复杂,壁厚不均匀。缸盖零件实物铸件如图1所示。生产中发现,铸件毛坯在机加工结束后,爆发面上进排气阀座孔、起动阀孔、喷油器孔或燃烧垫片安装面上出现不同斑点状灰暗色区域,与周边基体有明显色差。从金相组织观察为开花状石墨,石墨虫粗大,甚至出现片状石墨的现象,称之为蠕虫状石墨(VG/CG)异化。自此系列缸盖批量生产以来,爆发面蠕虫状石墨(VG/CG)异化问题一直困扰着产品质量,占缸盖总缺陷数的21.3%(如表1所示),影响了柴油机的总体质量。

图1 缸盖零件实物
Fig.1 Cylinder head casting

表1 缸盖蠕虫状石墨(VG/CG)异化不合格品情况统计
Tab.1 Statistics of cylinder head VG/CG dissimilation scrap rate

生产数/件	蠕虫状石墨(VG/CG)异化/件	其它缺陷/件	异化不合格品率(%)	总不合格品率(%)
2 644	140	422	5.3	21.3

收稿日期:2019-06-29
基金项目:重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201903404)
作者简介:徐　皓(1979-),安徽合肥人,硕士,教授级高级工程师.研究方向:金属塑性成形工艺及CAD/CAM/CAE.电话:18455673313,E-mail:xuhaolj@mail.ustc.edu.cn

1　实际生产情况

1.1　原生产工艺

采用呋喃树脂自硬砂造型，内腔砂芯是覆膜砂或呋喃树脂砂制作而成，铸件从上平面处分型，顶注式浇注系统。浇注系统最小截面积采用的是水力学的理论公式，但我公司在实际生产中发现该公式计算得出的浇注系统最小截面积$\Sigma F_{阻}$偏小，所以采用了大孔进水技术的公式计算浇注系统最小截面积。

$$\Sigma F_{阻}=\frac{G_{件}}{\rho\sqrt{2g}\cdot t\cdot\delta^{\omega}} \tag{1}$$

式中，$\Sigma F_{阻}$为非拔塞式浇注系统最小截面积，cm^2；$G_{件}$为一型中铸件的重量（不含浇冒口），kg；ρ为铸件材质密度，kg/cm^3，灰铸铁通常取0.007 1 kg/cm^3；g为重力加速度，980 cm/s^2；δ为铸件主要壁厚(通常指最薄壁厚)，mm；ω为材质指数，灰铸铁为0.24；t为铸件有效浇注时间。

通过公式(1)可以计算出铸造生产条件下的浇注系统最小截面积$\Sigma F_{阻}$值，再根据市场实际情况确定好其它工艺参数。

1.2　原因分析

针对铸件表层石墨变异，笔者公司依托日本大发公司的技术力量做了荧光X射线和碳硫分析，结果显示，变异石墨处S含量异常的多。从铸造工艺中可以看到，异常的S含量主要来自于树脂砂中作为固化剂的对甲苯磺酸。在浇注过程中，造型材料中的S与C等元素与铁液接触，在高温的作用下，分解产生CO、CO_2、H_2S、SO等气体，这些气体渗入铁液中，铁液增S、增C，S破坏铁液蠕化作用，随着W(S)量的增加，石墨的蠕化率发生变化，蠕铁石墨从蠕虫状变为厚大开花状石墨，最后部分变为片状。S又是一种具有强过冷作用的元素，增加铁液的过冷度，使石墨以细片状或枝晶点状的形式析出，成为异常组织。铁液中增C后，使异常组织中石墨的数量增加，从而导致加工后局部区域变成灰暗色，而不是正常的光亮颜色(如图2所示)。

图 2　缸盖蠕虫状石墨(VG/CG)异化缺陷
Fig.2　VG/CG dissimilation defect cylinder head

1.3　变异石墨金相分析

在缸盖爆发面蠕虫状石墨(VG/CG)异化处取样，对变异石墨进行了金相分析，参见表2。可以看出，变异石墨为枝晶片状石墨(E型)，深度0.83~1.80 mm。

2　控制措施及效果

2.1　控制措施

2.1.1　改进涂料刷涂

根据大发公司经验，缸盖外模采用了MgO醇基涂料，用以吸收从砂型中渗入的S元素，并且在爆发面再刷涂了一层石墨醇基涂料，提高阻挡效果及防粘砂性能。实际检查中发现涂料涂刷质量不高，经常有漏刷和涂刷不均匀的情况。现要求操作工按工艺要求刷涂，以保证涂料效果，且将石墨醇基涂料刷涂范围扩大为整个外模。

2.1.2　增加爆发面加工余量

从分析上看，改变石墨异化的最好办法是从源头上根本解决，通过控制原材料中的S含量达到目的。但是由于生产和技术条件的限制，源头上已无法再有效的降低S含量。从金相分析结果看，石墨变异层的深度最大为1.8 mm，如果再加工1.8 mm，异化缺陷则可以完全去除。因此，更改模具将爆发面加工余量增加3 mm，确保石墨变异层在机加工时完全去除。

2.1.3　采用优质防渗S涂料

原工艺使用了MgO醇基涂料，对吸收砂型中渗入的S起到了一定的作用。通过与供应商的交流，重新选择了一种效果更好的防渗S涂料，新涂料具有以下优点：①充分与S反应，有效降低其渗入铸件表面；②增加铸件结晶前沿溶质的浓度起伏，增加非自发晶核，使铸件表面晶粒细化。晶粒细化后，表面形成致密层，可以防止硫元素的渗入；③防止初生晶粒自由增大形成粗长的枝晶；④在浇注后能较快形成固相烧结层，覆盖在铸件表面，阻止含硫气体向铸件扩散。

2.2　控制措施后的生产效果

通过上述工艺改进，特别是采用增加爆发面加工余量的方法后，缸盖蠕虫状石墨(VG/CG)异化缺陷的不合格品数量已大幅度减少，效果十分显著，使总不合格率由原先的21.3%降低到2%以下，批量生产图片见图3，达到了质量专攻的目标。最终统计情况如表3所示。

3　结论

生产蠕墨铸铁缸盖铸件，在爆发面位置容易产

表 2 各层(距表面深度 mm)金相分析(4% $HNO_3 \cdot C_2H_5OH$,100 倍)
Tab.2 Local microstructure of cylinder head (depth from surface, mm)

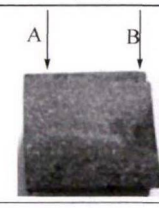
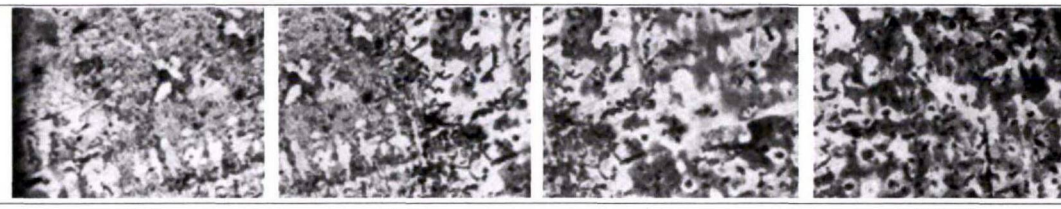
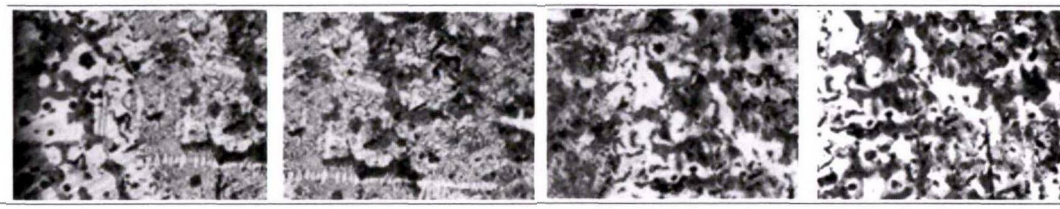
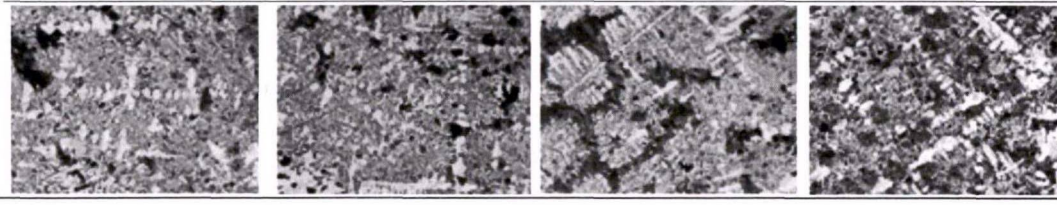
试样				
分析位置	表层	0.50	0.83	心部(正常)
A				
	表层	0.50	1.80	心部(正常)
B				
	1	2	3	4
表层异化				

图 3 批量生产的缸盖零件实物
Fig.3 Machined cylinder head of batch production

表3 缸盖蠕虫状石墨异化废品率统计
Tab.3 Statistics of scrap rate due to VG/CG dissimilation defect

编号	生产数量/件	蠕虫状石墨(VG/CG)异化/件	其它缺陷/件	异化不合格率(%)	总不合格品率(%)
DK20	130	2	4	1.5	4.6
DK28	31	1	0	3.2	3.2
防渗 S 涂料	66	0	0	0	0
合计	227	3	4	1.3	3.1

生蠕虫状石墨(VG/CG)异化缺陷,通过采取以下措施可减少此类缺陷的发生:①提高涂料涂刷质量及涂层厚度,可增强S元素的吸收效果;②如果因现有条件限制,采用增加加工余量的方法,可以控制异化层的渗入厚度,保证零件产品的质量;③采用优质防渗S涂料,可提高防止S渗入铸件表面的效果。

参考文献:

[1] 陶令桓. 铸造手册:铸铁[M]. 机械工业出版社,2011.
[2] 丁伯新. 呋喃树脂砂球墨铸铁件表层球化衰退原因分析 [J]. 现代铸铁,2006(6):24-26.
[3] 孙宝金,崔世海,李延春. 防渗硫涂料的研究及应用[J]. 铸造设备与工艺,2009(1):31-34.
[4] 任连保,吴丕杰,宋文君,等. 中国有色金属铸造技术研讨会论文汇编[C]. 北京:中国铸造协会,2008:33-34.
[5] 安继儒,刘耀恒. 热处理工艺规范数据手册[M]. 北京:化学工业出版业,2008.

(下转第 636 页)

使得铝液的细化能力下降。

(4)除气 8 min 后添加铝钛硼时,合金拉伸性能提升明显,其中伸长率较除气 0 min(放料前)添加时的提高了 31.2%;在实际生产中,应尽可能降低铝合金的晶粒大小以提高铝合金的力学性能。

参考文献:

[1] 冯鹏发,唐靖林,李双寿,等.铝晶粒细化机制的研究进展[J]. 铸造技术,2005,26(3):220-223.

[2] 高泽生. 铝晶粒细化剂机理研究的进展 [J]. 轻合金加工技术,1998,26(10):5-11.

[3] 张作贵,刘相法,边秀房. TiB_2 分布形态对 AlTi5B 合金细化特性的影响[J]. 特种铸造及有色合金,1995(5):12-13.

[4] 高晶丽. KBI 晶粒细化效果试验方法[J]. 轻金属,1985(11):55.

[5] 高荫桓. 铝及铝合金熔液处理技术 [J]. 轻合金加工技术,1988(12):1-8.

(上接第 632 页)

[6] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案: 中国, 88105607.3 [P]. 1989-07-26.

[7] 张茂功. 工艺因素对康明斯气缸盖气孔缺陷的影响 [J]. 铸造,1998(4):30-32.

[8] 李魁盛. 铸造工艺设计基础[M]. 北京:机械工业出版社,1981.

[9] 陈琦. 铸铁手册[M]. 北京:机械工业出版社,1984.

[10] 中国机械工程学会铸造专业学会. 铸造手册 (第五卷: 铸造工艺)[M]. 北京:机械工业出版社,1996.

[11] 魏兵. 铸件浇注系统阻流截面积的确定 [J]. 铸造技术,1981,2(1):27-33.

[12] 马崇峰. 浇注系统大孔进水出流理论在铸造工艺设计中的应用 [J]. 铸造技术,1991, 12(6): 24-26.

[13] 刘文川. 快浇技术在气缸体生产中的应用 [J]. 铸造,1996, 45(11):33-35.

《铸造技术》杂志优秀企业、先进人物专访通告

《铸造技术》杂志开展专访活动,旨在通过专访这一内涵深邃、读者喜闻乐见、欣赏韵味独特的交流方式,深度挖掘铸造界人文财富,倾心打造行业精深资讯,进而从独有的精神与文化之角度施力,推动中国铸造业的科学振兴和健康发展。

《铸造技术》基于“榜样的力量是无穷的”以及“益言可以兴邦”的基本理念和初衷,《铸造技术》杂志社记者与业界企业家、专家学者、工程技术人员等先进人物近距离接触、多层面无障碍恳谈,从而接地气地见识与领略中国铸造业界深邃浩瀚的人文资源、鲜活生动的真人与实事,在第一时间得到启迪与感悟,进而把这发自心灵的收获通过专访报道奉献给读者朋友。

《铸造技术》专访笃信“唯有真情可以感人”。能感动人的专访报道,必然是被访者真实生活的经历、体验和独特感受,高尚人格的彰显。专访报道中的所有感人之处,无不源于被访者独有的生活经历加上独到的见解。不可复制的人生阅历之润养、对生活的挚爱、对事业的全身心投入,是每一位被访者能够超越现实与自我而永葆充沛生命力的秘诀。从自己挚爱的事业那里领悟人生的真谛,激发爱与美相交融的情感。被这真实的情感所感染,使人情不自禁地用看似清淡的笔墨,仰仗倾情产出令人心颤的专访报道。

《铸造技术》专访对“说理”情有独钟。信奉“唯有讲理可以服人”。因“至”即无限趋近高端,故“至理”系高度符合科学规律的道理。“科学”乃说理的学问,科学是迄今全人类生产及社会实践的顶级智慧结晶,科学是全人类的共同财富,科学是人类从必然王国走向自由王国的桥梁。唯科学之理能使人们正确认识世间万物、尤其包括认识者自己。《铸造技术》专访已延续多年,读者不难发现,所有被访者的感人之处无不根源于其自觉或不自觉地遵循了科学的思维与行为的准绳。

《铸造技术》专访所追求的是,以优秀传统文化底蕴为基石,以高尚道德操守与精神境界为标杆,倾力打造铸造专访的精到内涵和独特风格,倾心为读者朋友打造理性思考的空间,竭力实现被访者—读者的理性与情感的惊人共鸣。