DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.09.021

消除球墨铸铁开花状石墨的生产实践

姜建柱,张亚龙,杨　波
(陕西法士特汽车传动集团有限责任公司 铸造分公司,陕西 宝鸡 722409)

摘　要:针对铁素体球墨铸铁生产中所出现的石墨开花及边沿石墨层厚度超标问题,分析了石墨开花产生的原因。通过调整孕育,降低碳当量,更换炉料,降低浇注温度等试验,生产了球墨铸铁。结果表明,长期使用C04高纯生铁配料,铸件容易出现石墨开花现象。通过改变配料,采用Q10生铁代替C04高纯生铁,可以消除石墨开花及铸件边沿石墨层厚度超标问题。

关键词:石墨开花;活度;石墨漂浮;孕育处理

中图分类号:TG255　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)09-0968-05

Production Practice of Eliminating Graphite Blooming in Nodular Cast Iron

JIANG Jianzhu, ZHANG Yalong, YANG Bo
(Foundry Branch, Shaaxi Fast Auto Drive Group Co., Ltd., Baoji 722409, China)

Abstract: In view of the problems of graphite blooming and the thickness of edge graphite layer exceeding the standard in the production of ferrite nodular cast iron, the causes of graphite blooming were analyzed. Ductile iron was produced by adjusting inoculation, reducing carbon equivalent, replacing burden and lowering pouring temperature. The results show that graphite blooming is easy to occur in castings with C04 high purity cast iron. By changing the ingredients, using Q10 pig iron instead of C04 high purity pig iron can eliminate the problems of graphite blooming and excessive thickness of graphite layer at the edge of casting.

Key words: graphite blooming; degree of activity; graphite floatation; inoculation

高强度、高伸长率的铁素体球墨铸铁以其优良的力学性能在生产中得到广泛应用,尤其是铸态球墨铸铁件的生产,降低了铸件的生产成本。生产球墨铸铁要求“高碳低硅”,为保证铸态球墨铸铁的铁素体数量,工艺上要求提高铸件的硅含量,而高的碳当量却会造成铸件厚大部位石墨开花及边沿石墨层厚度超标问题,影响铸件质量。

1　生产条件

1.1　熔化设备及生产工艺

熔化设备:3 t ABP中频感应电炉。

材质:QT450-10。

工艺配料:生铁40%~60%+废钢5%~10%+回炉料30%~55%

球化处理:冲入法,温度1 450~1 510 ℃,1.2%~1.5%稀土镁硅铁合金(RE3Mg8)。

孕育处理:倒包+随流孕育,硅钡孕育剂,加入量:0.5%~0.8%。

铸件浇注:半自动式浇注机,浇注温度:1 340~1 380 ℃。

1.2　造型设备及生产工艺

造型设备:KW静压造型生产线,压实比压:90~120 N/cm^2。

造型工艺:砂箱尺寸:1 000 mm×800 mm×350/280 mm。

生产效率:60~80箱/h。

型砂制备:粘土湿型砂,高速转子式混砂机。

1.3　理化检测设备

HCS140碳硫分析仪;PDA-7000光谱仪;GX-51金相显微镜;WJW-E300万能拉力试验机。

1.4　铸件结构

铸件单重35~80 kg,共涉及M系列变速器6个品种铸件,其中支轴类4种,铸件壁厚20~50 mm,中间壳体类2种,铸件壁厚15~40 mm。铸件支轴和中间壳体见图1、图2。

2　问题描述

原工艺采用C04高纯生铁配料,2015年到2016年稳定生产QT450-10铸件2 000~3 000 t。自

收稿日期:2019-04-02

作者简介:姜建柱(1974-),陕西蒲城人,工程师.主要从事铸铁熔炼及铸造工艺设计方面的工作.
电话:13772675894,E-mail:445661420@qq.com

图 1 支轴
Fig.1 Support trunnion

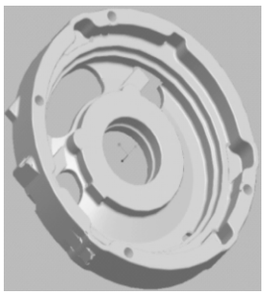

图 2 中间壳体
Fig.2 Housing intermediate

2017 年 1 月份开始，铸件本体取样发现边沿石墨层厚度超标且有石墨开花现象，金相组织见图 3 和图4。

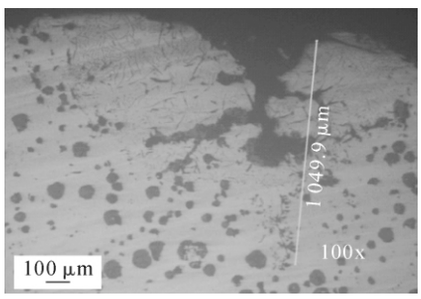

图 3 边沿石墨层厚度　×100
Fig.3 Edge graphite layer thickness

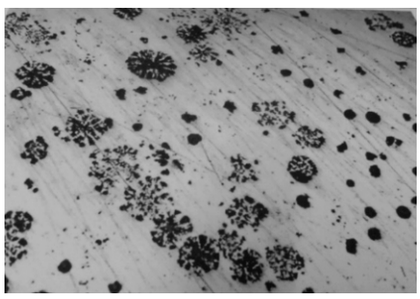

图 4 石墨开花　×100
Fig.4 Graphite blooming

3 球铁件石墨缺陷与原因分析

石墨漂浮：出现在厚大铸铁件的上表面或者浇口杯上方，石墨层状聚集，严重时肉眼可见，断口呈灰黑色。形成原因主要是：熔化铁液的碳当量高；废钢合成铸铁生产时，所用增碳剂质量差或者因熔化工艺问题造成增碳剂没有完全吸收。

开花状石墨：是球状石墨迅速长大的过程中被奥氏体边界束缚，造成石墨球内应力提高而产生石墨球破裂的现象。开花状石墨在铸件的心部及边沿部位都会出现，上表面附近比较严重，石墨球较大。开花状石墨尖角效应加强了对基体的割裂作用，造成铸件力学性能，尤其是伸长率降低。形成原因主要是铁液中碳活度高造成石墨球的生长速度过快，因此要从降低铁液中碳元素的活度入手，预防开花状石墨的形成。

4 抑制石墨开花采取的工艺措施及生产验证

4.1 原工艺生产情况

(1)孕育处理及铸造工艺参数

中间壳体，铸件单重：46 kg，浇注数量：72 件。

配料：C04 高纯生铁+废钢+回炉料。

孕育处理：倒包孕育剂用量 4 kg/t 铁液+浇注随流。

碳片样检测结果：3.94%C，0.012%S。

铁液管理仪检测结果：4.42% CE，3.85% C，1.48%Si。

铁液熔化温度：1 500 ℃。

球化处理温度:1 460~1 470 ℃。

开浇温度：1 350~1 370 ℃。

(2)试验件的成分与组织

试验件的化学成分与金相组织见表 1 和图 5、图 6。

金相图片显示：一次孕育处理的孕育剂用量减少时，初生石墨球数量减少，但初生石墨球径变大，边沿石墨层超标，开花状石墨数量减少。这是因为孕育处理的硫化物及氧化物形核速度从理论晚于石墨核心，生长速度也慢，在同样环境条件下，石墨核心

表1 试验铸件成分 *w*(%)
Tab.1 Chemical composition of test castings

元素	Cu	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Mg
含量	0.24	3.67	2.28	0.38	0.028	0.012	0.01	0.024	0.055	0.045
元素	Sn	Ti	Sb	Ce	V	Zn	Al	Pb	Te	Bi
含量	0.003 3	0.017 4	0.001 2	0.014	0.007	0	0.015 4	0	0	0

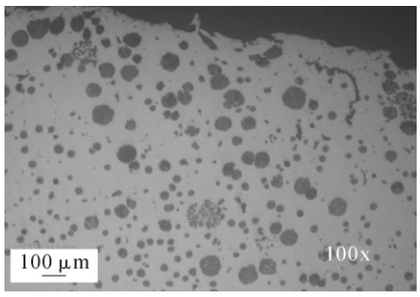

图 5 4 kg 孕育处理–边部
Fig.5 4 kg inoculation-edge

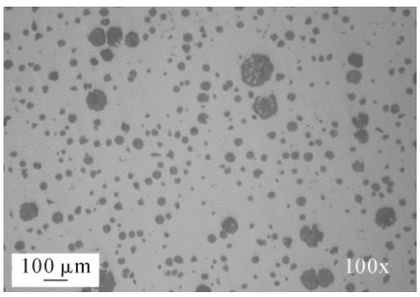

图 6 4 kg 孕育处理–心部
Fig.6 4 kg inoculation-central

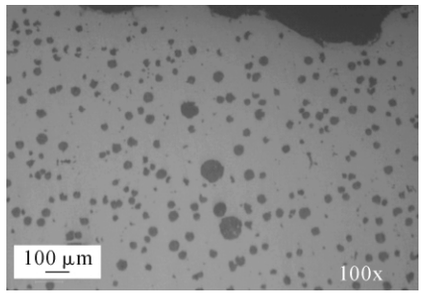

图 7 低碳当量–边部
Fig.7 Low carbon equivalent-edge

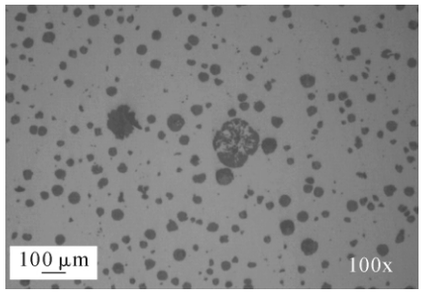

图 8 低碳当量–心部
Fig.8 Low carbon equivalent-central

的球长大的时间更长更大。试验结果：石墨开花现象没有消除。

4.2 生产中采取的工艺措施

(1)降低碳当量 支轴，单重：42 kg，生产数量：90 件。碳片样检测结果：3.85%C，0.046%S。

配料：C04 高纯生铁+废钢+回炉料。

铁液管理仪检测结果：4.21% CE，3.78% C，1.34%Si。

铁液熔化温度：1 520 ℃。

出铁温度：1 460~1 480 ℃。

开浇温度：1 360 ℃~1 380 ℃。

(2)试验件的成分与组织 试验件的化学成分与金相组织见表 2 和图 7、图 8。

采用 C04 高纯生铁配料，增加废钢比例，适当降低碳当量至 4.25%~4.3%，铸件本体检验，边沿石墨层厚度减小，初生石墨数量减少，但开花状石墨比例无明显变化。铸态铁素体球墨铸铁生产往往要求比较高的碳当量，高的碳当量为石墨的快速长大提供了前提条件，如果生产过程控制不当，很容易造成石墨漂浮与石墨开花现象。降低碳当量能够在一定程度上减少初生石墨的数量，使铸件边沿石墨层厚度减小，预防石墨漂浮。试验结果：边沿石墨层厚度虽然达标，开花状石墨程度减轻，但并没有完全消除。

4.3 消除炉料遗传

(1)生产工艺 中间壳体，单重：80 kg，浇注数量：18件。

配料：Q10 生铁+废钢 +回炉料。

碳片试样检测结果：3.96%C，0.015%S。

铁液管理仪检测结果：4.37% CE，3.98% C，1.26%Si。

铁液熔化温度：1 509 ℃，出铁温度 1 493 ℃。

开浇温度：1 350~1 370 ℃。

(2)试验件化学成分与组织 化学成分见表 3 金相组织见图 9、图 10。

改用 Q10 生铁配料，碳当量控制在 4.2%~4.5%，一次孕育 6 kg/t 铁液，铸件本体检验：边沿石墨层厚度小于 500 μm，石墨开花现象基本消除，初生石墨的总数量增加，单个体积减小，但个别石墨心部还是有亮点。再次试制，将炉内铁液液过热至 1 540 ℃以上，在 1 340~1 360 ℃开始浇注，孕育剂用量调整到 7 kg/t 铁液，开花状石墨完全消除。试验结果表明：使

表2 试验铸件成分 *w*(%)
Tab.2 Chemical composition of test castings

元素	Cu	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Mg
含量	0.33	3.65	2.36	0.33	0.03	0.009	0.01	0.025 6	0.032	0.051
元素	Sn	Ti	Sb	Ce	V	Zn	Al	Pb	Te	Bi
含量	0.002 5	0.019 8	0.001 2	0.013 5	0.008 1	0	0.012 4	0	0	0.004

表3 试验铸件成分 w(%)
Tab.3 Chemical composition of test castings

元素	Cu	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Mg
含量	0.26	3.82	2.34	0.33	0.034	0.01	0.012	0.029	0.012	0.054
元素	Sn	Ti	Sb	Ce	V	Zn	Al	Pb	Te	Bi
含量	0.002	0.02	0.000 3	0.013	0.01	0	0.021	0	0	0

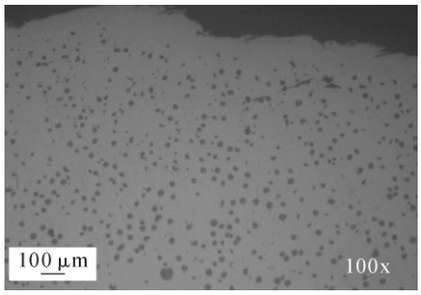

图 9 Q10 生铁配料–边部　×100
Fig.9 Q10 pig iron ingrediented-edge

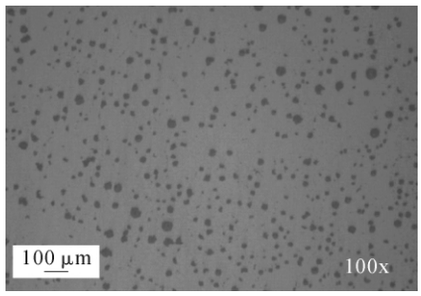

图 10 Q10 生铁配料–心部　×100
Fig.10 Q10 pig iron ingrediented-central

用高纯 C04 生铁是本次生产 QT450-10 铸件产生石墨开花的主要原因。

生铁的遗传：C04 高纯生铁生产包括“降碳量，除硫磷，调硅锰等”几个大的生产环节，高纯生铁在结晶凝固时形核困难，过冷度大，初生石墨生长时间长。其次包括回炉料的遗传，使用石墨开花的回炉料数量也应严格控制。消除炉料遗传最常用的办法是让炉内铁液过热至 1 530~1 550 ℃，并高温静置 3~5 min。

4.4 降低浇注温度

(1)生产工艺　支轴，单重：46 kg，生产数量：90 件。

配料：C04 高纯生铁+废钢+回炉料。

碳片试样检测结果：3.9%C，0.017%S。

铁液管理仪检测结果：4.47% CE，3.82% C，1.64%Si。

铁液熔化温度：1 500 ℃。

出铁温度：1 460~1 470 ℃。

开浇温度：1 334~1 340 ℃。

(3)试验件化学成分与组织

化学成分见表 4，金相组织见图 11、图 12。

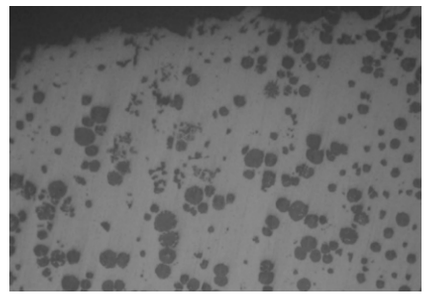

图 11 低温浇注–铸件边部　×100
Fig.11 Lower temperature pouring-edge

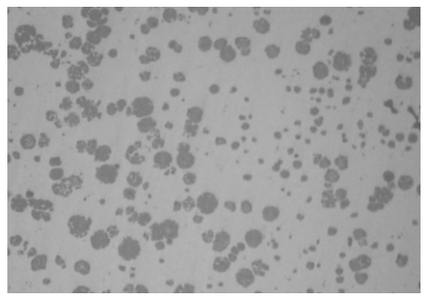

图 12 低温浇注–铸件心部　×100
Fig.12 Lower temperature pouring-central

铸件金相检验：边部石墨球聚集，不均匀，石墨球心部有白点，石墨开花比例增加；初生石墨数量增加，部分石墨过于细小，且分布不均匀，厚大部位心部石墨开花严重。

“高温熔炼，低温浇注”指的是在保证铸件质量的前提下，浇注温度越低越好，在球墨铸铁的生产过程中，温度控制是一个关键的因素。通常控制在 1 330~1 380 ℃。当铁液温度过高时，一方面很难保证球化质量，另一方面，孕育衰退加快，铸件晶粒粗大，石墨球径变大，容易出现畸变石墨；当铁液温度过低时，铸件中残余稀土镁含量会增加，促使开花状

表4 试验铸件成分 w(%)
Tab.4 Chemical composition of test castings

元素	Cu	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Mg
含量	0.24	3.73	2.5	0.31	0.03	0.01	0.01	0.02	0.014	0.043
元素	Sn	Ti	Sb	Ce	V	Zn	Al	Pb	Te	Bi
含量	0.004 6	0.018	0	0.013	0.008 7	0	0.019	0	0	0

石墨形成，但一定的锰含量却能降低碳的活度，降低石墨球的生长速度。此外，低温时铸件中的气体及杂质不容易上浮除去，也会造成铸件其它质量问题。

5 结语

综上所述，形成本次石墨开花的主要原因是C04高纯生铁质量造成的炉料遗传。铁液凝固过程中形核早，孕育不足，石墨球的快速生长是石墨开花的内在原因。预防石墨开花就是要根据生产的实际情况，从化学成分控制、增强孕育处理、消除炉料遗传、控制浇注温度这4方面入手，具体进行对照分析，找到主要原因并加以控制，才能保证铸件最终质量。

熔化工艺进行改进并固化后，截止目前已成功生产QT450-10铸件3 500余吨，没有再出现石墨开花及铸件边沿石墨层厚度超标问题。

参考文献：

[1] 陆文华.《铸铁及其熔炼》[M]. 北京：机械工业出版社，1981.
[2] 张伯明. 铸造手册. 铸铁 1[M]. 北京：机械工业出版社，1997.
[3] 周友松，熊英. 球墨铸铁石墨开花问题的分析与防范[J]. 湖北职业技术学院学报，2007(3)：94-97.
[4] 张文和，丁俊，聂富荣. 铸铁的SiC孕育预处理 [J]. 铸造，2009，58(3)：279-281.

招贤纳士

襄阳聚力新材料科技有限公司

一、招聘销售工程师

任职要求：
1. 本科及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟悉二维、三维绘图软件者优先考虑；
2. 2年以上铸造行业耐火材料销售或铸造涂料销售经验者；
3. 2年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者；
4. 2年以上铸造行业铁合金生产或销售经验者；
5. 2年以上耐火材料技术研发或产品应用经验者；
6. 2年以上铸造涂料技术研发或产品应用经验者；
7. 2年以上有在铸造厂工作经验，对中频炉熔炼或造型工艺熟悉者；
8. 在压铸厂或铝厂工作2年以上，对有色金属铜铝熔炼工艺流程熟悉者。

二、招聘销售经理

任职要求：
1. 大专及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟练掌握办公软件，懂产品市场宣传，营销策划者优先考虑；
2. 5年以上铸造行业耐火材料销售、铸造涂料或类似工业品销售经验者；
3. 5年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者；
4. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强；
5. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高；
6. 善于多部门或多层次沟通协调。

三、销售助理

任职要求：
1. 男性，30岁以下，本科学历，身体健康，适合经常出差；
2. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强；
3. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高；
4. 善于多部门或多层次沟通协调。

有意向者请将简历发送至邮箱 wuhaiyan@xyjllc.com