

# 球化处理后 $w(\text{C})$ 量降低原因分析

沈保罗, 李莉, 岳昌林

(成都金顶凸轮轴铸造有限公司, 四川 郫县 611732)

**摘要:** 采用冲入法在 500 kg 的堤坝包中进行球化处理, 用 RESiFeMg 合金作球化剂, 球化反应时间  $>40$  s; 用 SiBa 合金作孕育剂, 在 180 kg 的浇包内进行孕育处理; 用直读光谱仪分析球化处理前后铁液的激冷试样。发现: (1) 球化处理后  $w(\text{C})$  量比原铁液的  $w(\text{C})$  量低; (2) 石墨漂浮是导致球化处理后  $w(\text{C})$  量降低的主要原因。

**关键词:** 球化处理;  $w(\text{C})$  量; 光谱分析

中图分类号: TG255

文献标识码: B

文章编号: 1003-8345(2012)02-0035-04

DOI: 10.3969/j.issn.1003-8345.2012.02.006

## Analysis of Reason Causing Carbon Content Decrease after Nodularizing Treatment

SHEN Bao-luo, LI Li, YUE Chang-lin

(Chengdu Jinding Camshaft Casting Co. Ltd., Pixian 611732, China)

**Abstract:** The nodularizing treatment was conducted by adopting pour-over process in a ladle with dam-formed pit and by using RESiFeMg alloy as nodularizing alloy. The alloy reaction duration was more than 40 s. The inoculation was conducted in a 180 kg pouring ladle with SiBa alloy as the inoculant. The carbon contents before and after nodularizing treatment was analyzed with spectro-analyzer by using chilled-specimens cast in the cast iron mould. Investigation revealed: (1) the carbon content after nodularizing was lower than that before nodularizing; (2) graphite floatation was the main reason causing carbon content decrease.

**Key words:** nodularizing; carbon content; spectroanalysis

采用直读光谱仪分析物质的化学成分具有快捷、方便、准确的优点, 因而在冶金、机械和化工等行业得到广泛应用。直读光谱仪的原理是: 根据量子力学理论, 当金属被能量激发时, 原子的壳层电子会被激发到较高能量级的外层轨道上处于稳定状态, 在一定条件下它从高能级跃迁到低能级就会发出光子特征谱线。各种元素都有不同的特征谱线, 这些谱线经过光学系统进行分光色散, 成为按波长排序的一系列连续光谱, 再经过电转换元件把光信号直接转换为电信号, 最后计算机测量系统就可以通过计算某元素特征谱线的强度来确定元素的百分含量。对于生铁和铸铁这样的物质, 只要试样表面的 C 以碳化物的形式存在, 就可以被准确测量<sup>[1-16]</sup>。对于灰铁、球

铁等铸铁, 使用光源对同一区域重复激发 5~7 次, 促使灰铁、球铁等铸铁样品中的游离 C 转化成化合 C ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), 形成可供光谱分析的白口化层, 也能满足光谱分析的条件<sup>[14]</sup>。

球铁中的 C 主要以球状石墨存在。由于钻削取样时, 球状石墨容易剥落而影响分析结果, 因而许多工厂都用球化处理前铁液中的  $w(\text{C})$  量代表球化处理后的  $w(\text{C})$  量。球化处理前后  $w(\text{C})$  量是否会变化, 如何变化, 还未见相关研究报道。

笔者通过直读光谱仪分析球化处理前后铁液的化学成分, 研究了球化处理前后铁液中的  $w(\text{C})$  量的变化规律。

## 1 试验方法

铁液在 GW 型 500 kg 无芯中频感应电炉中熔炼, 炉衬材料为石英砂; 用山西球铁生铁、废钢、75SiFe、电解 Cu、回炉料和石墨增碳剂等调整

收稿日期: 2011-08-08

修定日期: 2012-01-18

作者简介: 沈保罗(1945.4-), 男, 本科毕业于清华大学机械系铸造专业, 研究生毕业于清华大学机械系金属材料专业, 教授, 博士生导师, 近年来一直从事铸造凸轮轴的生产与新产品开发。

化学成分,球化前在炉中取原铁液激冷试样;用德国 OBLF 光谱分析化学成分。熔炼温度为 1 580~1 600 ℃,铁液出炉温度为 1 560~1 580 ℃,用 RESiFeMg 合金作球化剂,使用冲入法在 500 kg 的堤坝包中进行球化处理,球化处理前在 RESiFeMg 合金表面分别覆 75SiFe 孕育剂和球铁切屑,球化反应时间>40 s。用 SiBa 合金作孕育剂,在 180 kg 的浇包内进行孕育处理。孕育处理后随即取光谱用激冷试样。

2 试验结果及分析

球铁的化学成分见表 1, $w(C)$ 、 $w(Si)$ 量和 CE 的变化见表 2。由表 2 可见,球化前原铁液的 CE 都在 4.3%附近;经过球化处理并孕育后,CE 都

表 1 球铁的化学成分

Tab.1 Chemical composition of the nodular iron

成分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sn
原铁液	3.71~3.91	1.08~1.43	0.3~0.5	0.04	<0.018	0.75~0.85	0.03~0.04
孕育后	3.57~3.77	2.38~2.63	0.3~0.5	0.04	<0.015	0.75~0.85	0.05~0.07

表 2 球铁原铁液及球化孕育后铁液的  $w(C)$ 和  $w(Si)$ 量  
Tab.2 Carbon and Silicon content before nodularizing and after nodularizing-inoculating

炉号	原铁液 $w_B(\%)$		球化孕育后 $w_B(\%)$		$\Delta w(C)$ (%)	CE <sub>孕</sub> (%)	CE <sub>原</sub> (%)
	C	Si	C	Si			
#272	3.80	1.40	3.67	2.38	0.13	4.48	4.61
#273	3.73	1.43	3.66	2.40	0.07	4.47	4.54
#274	3.80	1.33	3.67	2.40	0.13	4.48	4.61
#275	3.78	1.14	3.58	2.41	0.20	4.40	4.60
#276	3.81	1.15	3.59	2.43	0.32	4.40	4.63
#277	3.78	1.36	3.66	2.42	0.12	4.48	4.60
#278	3.81	1.08	3.63	2.52	0.18	4.48	4.66
#279	3.81	1.23	3.63	2.44	0.18	4.44	4.62
#280	3.80	1.24	3.65	2.43	0.15	4.47	4.62
#281	3.81	1.12	3.66	2.52	0.15	4.51	44.66
#282	3.74	1.35	3.57	2.44	0.17	4.40	4.57
#283	3.71	1.30	3.57	2.45	0.14	4.40	4.54
#284	3.79	1.21	3.60	2.40	0.19	4.41	4.60
#285	3.91	1.26	3.77	2.39	0.14	4.58	4.72
#286	3.90	1.22	3.70	2.44	0.20	4.52	4.72
#287	3.82	1.19	3.61	2.44	0.21	4.44	4.65
#288	3.81	1.21	3.68	2.47	0.13	4.52	4.65
#289	3.71	1.25	3.60	2.44	0.11	4.43	4.54
#290	3.84	1.12	3.63	2.63	0.21	4.52	4.73
#291	3.81	1.21	3.58	2.42	0.23	4.40	4.63
#292	3.79	1.10	3.58	2.55	0.21	4.44	4.65

注:CE<sub>孕</sub>为孕育后实际碳当量;CE<sub>原</sub>为用原铁液  $w(C)$ 量计算的孕育后碳当量。

有不同程度的降低(0.07%~0.32%),而孕育后的实际 CE 都升高到 4.40%~4.58%;如果使用球化前的  $w(C)$ 量计算,则 CE 高达 4.54%~4.73%。

国内外的研究表明,球铁产生石墨漂浮是一种普遍现象<sup>[17-51]</sup>;无论是 Mg 处理球铁或是 REMg 处理球铁,其产生石墨漂浮的临界 CE 都是 4.55%<sup>[40]</sup>。因而可以认为,球化并孕育处理后的铁液中含有石墨。为了证实这一猜想,分别采用球铁铁液水淬和用图 1 所示激冷铁模激冷球铁,结果都有数量很少、直径不到 10  $\mu m$  的石墨球(图 2)的激冷组织(图 3,基体由渗碳体+珠光体组成);而实际浇注的球铁产品中的石墨球的数量却要得多得多(图 4)。

可能有的人会怀疑,用图 1 所示的铁模浇注的激冷光谱试样,因为含有少量石墨,会不会导致分析的  $w(C)$ 量偏低?为此,笔者做了如下试验:将具有图 4(a)所示石墨状态的凸轮轴制成光谱试样,像文献[14]介绍的方法那样进行多次激发,获得的化学成分见表 3。从表 3 中可以看出,随着激发次数的增加,光谱样中  $w(C)$ 量逐渐减少,激发 3 次时的  $w(C)$ 量与激冷光谱样中的  $w(C)$ 量接近。这个试验说明,光谱试样中含有的

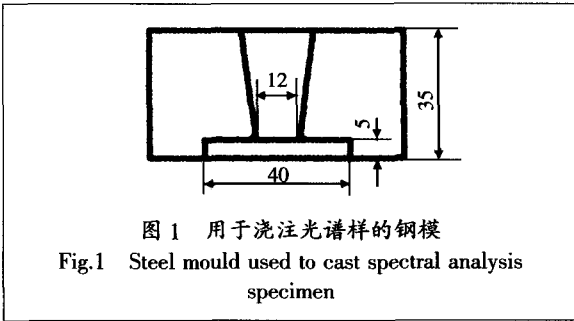


图 1 用于浇注光谱样的钢模  
Fig.1 Steel mould used to cast spectral analysis specimen

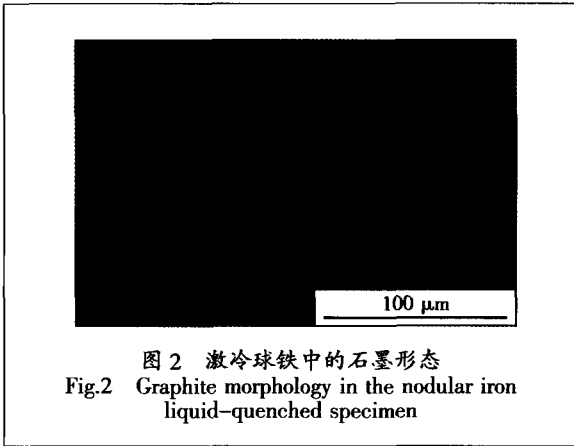


图 2 激冷球铁中的石墨形态  
Fig.2 Graphite morphology in the nodular iron liquid-quenched specimen

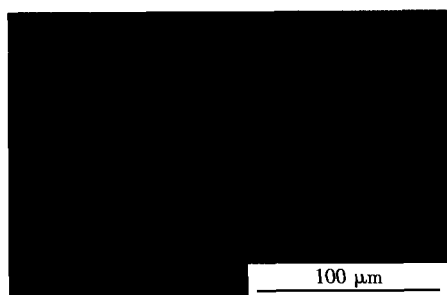
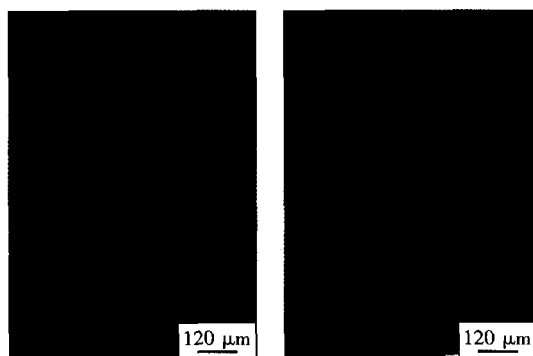


图3 激冷球铁中的基体组织  
Fig.3 Matrix structure in the nodular iron liquid-quenched specimen



(a)6~7 级 (b)5~6 级

图4 凸轮轴本体中的石墨形态  
Fig.4 Graphite morphology in camshaft body

表3 用凸轮轴本体非激冷样光谱法测定的化学成分  
 $w_B(\%)$

Tab.3 Chemical composition obtained by spectral analyzing the specimen taken from camshaft body (nonchilled)

激发次数	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg
1	5.99	1.65	0.28	0.035	0.012	0.679	0.045
2	3.96	2.07	0.33	0.04	0.01	0.743	0.032
3	3.71	2.1	0.34	0.041	0.009	0.748	0.03
4	3.32	2.13	0.352	0.038	0.008	0.753	0.023
5	3.3	2.15	0.353	0.038	0.008	0.754	0.024
6	3.26	2.16	0.354	0.036	0.008	0.754	0.022
7	3.28	2.14	0.353	0.034	0.008	0.751	0.022
8	3.2	2.15	0.358	0.036	0.007	0.748	0.022
激冷光谱样	3.68	2.47	0.372	0.046	0.011	0.815	0.036
原铁液	3.81	1.21	0.376	0.046	0.018	0.82	0.001

石墨会使分析的  $w(C)$  量偏高而不是偏低。换句话说,用含有少量石墨的光谱试样分析  $w(C)$  量只会获得较高的分析结果。这个结果说明,球化处理后的  $w(C)$  量的确降低了。铁液中丢失的 C 到哪里去了呢?笔者认为,这些 C 在球化处理过

程中变成石墨上浮于渣中了。在生产中时有发现,当原铁液中的  $w(C)$  量超过 3.95%,且孕育后  $w(Si)$  量较高时,球铁铁液甚至无法浇注进入带有 SiC 陶瓷过滤片的直浇道,这正是石墨大量漂浮导致的后果。

### 3 结论

(1)球化处理会导致原铁液中  $w(C)$  量下降,发生 C 损失;

(2)石墨漂浮是球化处理中出现的普遍现象,也是球化处理导致 C 损失的主要原因。

### 参 考 文 献

- [1]冯继承. HT20-40 铸铁中碳的光电光谱分析[J].光谱学与光谱分析,1992,(1):86-88.
- [2]董淑琴.合金铸铁元素直读光谱分析[J].机车车辆工艺,1992,(1):26-29.
- [3]尤其伸,赵承忠,徐武.灰口铸铁中碳的光电直读光谱分析[J].光谱实验室,1992,(3):33-37.
- [4]梁启华.直读光谱法测定球铁中硅锰磷铬镍铝钒钛[J].冶金分析,2000,(3):54-55.
- [5]张智贤.铸铁的直读光谱分析[J].光谱实验室,2002,(1):72-73.
- [6]梁启华.用直读光谱法测定球铁中的元素[J].江苏冶金,2003,(5):44-45.
- [7]刘鸣娟.ARC-MET930 直读光谱分析仪工作原理及在钢铁分析中的应用[J].国外金属热处理,2004,(1):48-49.
- [8]秦臣.光电直读光谱法在曲轴箱炉前分析的应用[J].装备制造技术,2006,(1):46-47.
- [9]张明荣,王德龙,李军,等.直读光谱法检测生铁成分的改进[J].山东冶金,2006,(5):78-79.
- [10]崔登高. E983C 光电直读光谱对灰口铸铁的分析[J].齐齐哈尔大学学报,2007,(4):66.
- [11]张毅,郭君飞,陈英颖.辉光放电原子发射光谱法快速分析生铸铁[J].理化检验(化学分册),2007,(3):174-178.
- [12]马天菊.火花源原子发射光谱法测定铸铁中碳的不确定度评定[J].冶金分析,2007,(9):79-82.
- [13]曹红亮.光电直读光谱仪用于灰口铸铁中碳的分析研究[J].今日科苑,2008,(4):93.
- [14]张海,陈家新,肖爱萍,等.非白口铸铁的火花源原子发射光谱分析[J].冶金分析,2009,(1):63-66.
- [15]刘心怡,吕瑞云.光电发射光谱法测定灰铸铁中硅、锰、磷[J].理化检验(化学分册),2009,(11):1347,1356.
- [16]谢小运,刘跃进.直读光谱法测定生铁中硅锰磷[J].理化检验(化学分册),2011,(1):81-83.
- [17]王恒平.解决铸态高韧性球墨铸铁中的石墨漂浮[J].工程机械,1981,(3):60-62,57.

- [18]R Barton. Nodular Iron: Possible Structural Defect and Their Prevention [J]. Foundry Trade Journal, 1983, 155: 40-53.
- [19]A G Fuller. Effects of Composition and Foundry Process Variables on Graphite Floatation in Hypereutectic Ductile Iron [J]. Transactions of AFS, 1986: 823-862.
- [20]徐家庆, 石庆生, 谢志超. 高炉铁液直接生产球铁铸件的试验与分析[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 1988, (3): 72-79.
- [21]徐家庆, 石庆生. 高碳球铁铁液的石墨漂浮[J]. 球铁, 1989, (3): 61-65.
- [22]徐家庆. 高碳球铁石墨漂浮机理的探讨[J]. 江苏工学院学报, 1988, (2): 31, 104.
- [23]E F Byntz. Graphite Floatation in Ductile Iron Castings Definition and Influencing Factors [J]. Modern Casting, 1990, (1): 64-68.
- [24]E F Byntz. Graphite Floatation in Ductile Iron Castings Effect on Mechanical Properties [J]. Modern Casting, 1990, (12): 46-47.
- [25]徐家庆, 石庆生. 高炉球铁的组织特点[J]. 现代铸铁, 1992, (3): 7-11.
- [26]A P Pruschitz, W W Caput. Effect of Carbon Floatation on Nodular Iron Castings [J]. AFS Transactions, 1993, 101: 447-458.
- [27]魏沐铭, 蔡克成. 球墨铸件常见缺陷及预防和消除[J]. 中国铸造装备与技术, 1995, (1): 39-41.
- [28]张强. 用亚共晶成分生产厚大断面铸态球铁油缸[J]. 热加工工艺, 1998, (5): 52.
- [29]李志斌, 王峰. 高韧性球墨铸铁石墨漂浮缺陷的防止[J]. 机械工人, 2000, (6): 6.
- [30]梁海灿, 史建伟, 傅杏明. 大断面球墨铸铁大件生产实践[J]. 机械工人, 1999, (3): 12.
- [31]王丽萍, 郭二军, 朱兴松, 等. 石墨漂浮对球铁机械性能的影响[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2001, (5): 99-103.
- [32]郭二军, 王丽萍, 左锋. 碳当量对球墨铸铁石墨漂浮的影响[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2001, (5): 104-107, 111.
- [33]肖德全. 大断面球铁件石墨漂浮浅析[J]. 山西林业科技, 2001, (S1): 7-10.
- [34]彭明显, 彭印. 高强度球墨铸铁石墨漂浮缺陷分析与防止[J]. 机械工人, 2001, (3): 27.
- [35]徐建林, 苏义祥, 路阳, 等. 球墨铸件常见缺陷的分析与对策[J]. 铸造, 2001, 50(4): 225-228.
- [36]徐建林, 路阳, 李文生, 等. 化学成分和工艺参数对球铁石墨漂浮的影响的仿真分析[J]. 热加工工艺, 2002, (6): 36-38.
- [37]金仲信. 球墨铸铁的石墨漂浮及其防止措施[J]. 机械工人, 2004, (9): 66.
- [38]姜海峰. 球墨铸铁缺陷研究[J]. 散装水泥, 2004, (3): 50-51.
- [39]蒋智慧, 韩振中. 铸件件常见铸造缺陷的防止方法[J]. 现代铸铁, 2005, (6): 59-63.
- [40]周亘. 稀土镁球墨铸铁的起源及其早期发展-纪念稀土镁球墨铸铁投产 40 周年[J]. 现代铸铁, 2005, (1): 22-28.
- [41]王金铎, 陈伟, 郑继飞, 等. 球墨铸铁石墨漂浮的产生及防止[J]. 机械工人, 2006, (6): 78, 82.
- [42]杨周斌. 球墨铸铁金相缺陷分析[J]. 理化检验-物理分册, 2006, 42(11): 588-589.
- [43]王丽萍, 郭二军, 陈洪彬, 等. 成分及工艺因素对球墨铸铁石墨漂浮的影响[J]. 铸造技术, 2007, (6): 741-744.
- [44]李小娟, 时胜利, 付永晟. 大断面球墨铸件的质量控制措施[J]. 铸造技术, 2007, (10): 1183-1185.
- [45]刘兵, 孟宪嘉, 梁延德, 等. 铸态球铁角型轴承箱产生石墨漂浮的原因及 C、Si 含量的选择[J]. 中国铸造装备与技术, 2008, (1): 34-36.
- [46]曹庆峰, 刘新, 王立志, 等. 球墨铸铁曲轴失效断口微观分析[J]. 热加工工艺, 2008, (19): 135-136.
- [47]马永杰. 稀土镁球铁法兰铸造缺陷的分析[J]. 铸造设备与工艺, 2009, (4): 41-43.
- [48]苏以人. 球墨铸铁曲轴的铸造缺陷分析及对策[J]. 金属加工, 2009, 17: 69-71.
- [49]凌云波. 球墨铸铁球化不良、石墨漂浮和夹渣缺陷的金相分析[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2010, (S1): 47-48.
- [50]汤虎, 陈萌, 吴安, 等.  $w(\text{Si})$ 、 $w(\text{C})$  量及冷却速度对铸态球铁组织的影响[J]. 现代铸铁, 2011, (1): 52-55.
- [51]中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(第一卷)·铸铁(第二版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 379.

(编辑: 王 峰, E-mail: xdzf\_wf@wxfawfc.com;  
编审: 周 亘, E-mail: zhougen\_embx@163.com)

## 世界最大激光快速制造装备掀起 铸件生产周期革命

目前, 华中科技大学史玉升研究团队在“大工作面粉床预热温度场均匀控制装置及方法”和“高强度大型激光烧结制件的粉末材料制备及形成工艺”等大型复杂制件整体成型的关键技术方面取得突破, 研制成功工业级的 1.2 m×1.2 m 快速制造装备。这是世界上最大成形空间的此类装备, 超过德国 EOS 公司最大成形空间 0.73 m×0.73 m 和美国 3D 系统公司 0.55 m×0.55 m 的同类产品, 使我国在快速制造领域达到世界领先水平。

据悉, 已有 200 多家国内外用户购买和使用这项技术及装备, 我国一些铸造企业应用该技术后将复杂铸件的交货期由传统的 3 个月左右缩短到 10 天左右。该技术被欧洲空客公司等单位选中, 用于辅助航空航天大型钛合金整体结构件的快速制造。