

新型三明治覆盖法提高球化剂中 Mg 的吸收率

郭振峰, 孙公军

(中车大连机车车辆有限公司铸锻分公司, 辽宁大连 116022)

摘要: 对冲入法球化处理时, 球化剂、孕育剂、覆盖剂的装包方法进行了介绍。合理称重后, 采用分批分层, 类似三明治形状的装包顺序, 并采取逐层捣实、稍加覆盖的操作方法, 可延缓球化反应起爆时间, 延长球化反应时间, 可使球化剂Mg的吸收率大幅度提高, 球铁最终力学性能及金相组织均得到明显改善。

关键词: 三明治覆盖法; 球墨铸铁; 球化剂Mg的吸收率

冲入法球化处理由于其操作简单易行、设备投资少等特点至今仍然是铸造企业普遍使用的球化处理方法, 但是采用冲入法球化处理工艺的缺点也很明显: 一是镁的吸收率低, 造成原材料的浪费和成本的增加; 二是产品的质量不稳定, 经常会出现球化不良情况; 三是温度损失大, 铁液含渣多, 铸件废品率高等^[1]。为了解决这些问题, 笔者根据二十多年的工作经验, 结合相关资料, 制定出了球化剂、孕育剂、覆盖剂等的精确定量装包方法。

1 工艺量化及球化剂装包方案的制定与实施

1.1 问题的提出

冲入法球化处理球化剂中Mg的吸收率不高是一个普遍问题, 其影响因素也非常多: 原铁液的含硫量、球化剂中Mg的含量、球化剂的粒度、球化剂与高温铁液接触时间、球化反应温度、球化反应起爆时间、球化反应剧烈程度、球化反应时长、反应后铁液残留Mg含量等, 实际操作过程中每家企业都会根据自己操作习惯摸索改善提升, 以获取球化剂中最优的Mg吸收率^[2]。

根据Mg的吸收率的相关计算公式:

$$n = [0.75 \times (\text{原铁液含S量} - \text{反应后铁液含S量}) + \text{残留Mg量}] (L \times \text{Mg的加入量}) \quad (1)$$

式中: n 为Mg的吸收率; L 为球化处理操作水平系数, 一般取0.75~0.95, 操作水平越高取值越大; Mg的加入量代表纯Mg的加入量, 需要由球化剂加入量换算获取; 反应后铁液含S量一般控制在0.06%~0.1%以下, 铁液残留Mg量一般控制在0.04%~0.06%。从计算公式中可以看出, 原铁液含S量和球化处理操作水平系数 L 直接影响到Mg的吸收率, 企业球化处理操作水平又与上述影响因素息息相关。

通过控制球化反应起爆时间、球化反应剧烈程度、球化剂与高温铁液接触时间、球化反应时长四项措施来提高企业球化处理操作水平系数 L 是本文介绍重点。

1.2 提高企业球化处理操作水平系数 L 的思路

1.2.1 延迟球化反应起爆时间

铁液在出炉过程中要保持持续快速翻入球化包, 且不能直接冲向含球化剂的堤坝侧, 延迟球化反应起爆时间就是延缓球化剂与铁液接触时间, 待出炉铁液在球化

作者简介:

郭振峰(1975-), 男, 回族, 技师, 从事电炉冶炼研究工作。E-mail: daliangzf@163.com

中图分类号: TG143.5
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2021)05-0594-04

收稿日期:

2020-11-25 收到初稿,
2020-12-31 收到修订稿。

包内达到一定高度后（球化包高度的80%~85%左右）球化反应才正式开始，其目的就是要保证参与反应的球化剂从铁液底部上升过程中充分与铁液接触，理想状态是待球化剂完全上浮到铁液表面时正好反应完毕，没有多余的球化剂漂浮在铁液表面。

实现这一目的，需要重点控制以下几方面问题：一是避免在出炉过程中铁液对堤坝内球化剂冲击；二是尽可能降低铁液出炉温度，出炉铁液温度越高，铁液流动性越好，越容易钻入缝隙与球化剂接触；三是需要在球化剂上方添加覆盖物，尽可能延缓铁液与球化剂接触时间。

1.2.2 控制球化反应剧烈程度

球化反应剧烈程度主要与参与反应的球化剂数量、球化剂中Mg的含量以及铁液温度等有关：球化处理过程中参与反应的球化剂数量越多球化反应越剧烈，球化剂中Mg的含量越高球化反应越剧烈，球化反应时铁液温度越高反应越剧烈。球化反应越激烈，球化元素与铁液接触时间越短，其吸收率越低，球化反应效果越差。

出炉温度可以通过综合考虑确定，每家企业都有自己的衡量。企业一般会根据自己原材料情况确定自家球化剂中Mg的含量以及球化剂的选型，原材料杂且含硫量高一般选择球化剂中Mg的含量稍高一些，此处也不赘述^[3]。

有效控制球化反应剧烈程度是本文的重点。与冲入法球化处理相比，喂丝法球化处理的明显优点是合金包芯线连续不断伸入到铁液底部与铁液接触，参与球化反应的包芯线量少但可以实现连续反应，因此球化反应平稳，Mg的吸收率高。受喂丝法球化处理优点启发，我们采用冲入法球化处理的过程也希望能够接近上述目标：让一部分球化剂先参与反应，待第一部分球化剂反应结束后第二部分开始参与反应，然后是第三部分、第四部分分别按顺序参与反应。这样一来，铁液在球化包内达到一定高度后，参与反应的球化材料会逐层与铁液反应，由于同时参与反应的球化剂量少，球化反应也非常平稳，球化元素有足够的时间与铁液充分接触，开始球化反应前出炉铁液可以达到最大出炉量，最终效果会接近喂丝法球化处理效果。

1.2.3 延长球化剂与高温铁液接触时间

延长球化剂与高温铁液接触时间的目的是让球化剂充分参与反应，球化反应开始后堤坝反应室内的球化反应材料受到铁液搅动会从反应室逐渐上浮到铁液上表面。在上升过程中，球化剂与高温接触时间越

长，反应越充分，Mg的吸收率也就越高。由于上浮速度基本差不多，延长球化剂与高温铁液接触时间就需要延长上浮距离。

一是要选择具有一定高径比的球铁包（高径比 $H/D > 1.5 \sim 1.8$ ），球化反应的球铁包高度越高，可以为球化剂上浮过程中提供的上浮距离越长。二是要保证参与反应的铁液具有一定的高度，球化反应开始前球化包内铁液液面高度越高，球化剂上浮距离越长。三是球化剂的粒度要合适，球化剂在上浮过程中不断反应消耗，仅从这一角度讲，粒度越小越容易熔化、越容易被吸收。

1.2.4 延长球化反应时长

延长球化反应时长是指在一定球化剂加入量的情况下，球化反应越平稳，球化反应时间越长；球化反应温度越低，球化反应时间越长。因此，需要控制球化反应的剧烈程度以及铁液的出炉温度。

1.3 新型三明治覆盖法装包方法的实施

采用常规冲入法球化处理实现类似喂丝法球化处理达到的效果^[4]，就需要将球化剂、孕育剂、覆盖剂分别分成几等份，再放置球化材料的堤坝内。首先将第一等份的球化剂、孕育剂、覆盖剂按顺序平铺在堤坝包底层，每铺一层就用捣实工具整理平整，第一等份均平铺完后覆盖一层聚渣剂，然后进行第二等份球化材料的平铺工作，然后是第三等份和第四等份等，以此类推。根据参与球化处理的铁液重量可以将球化材料分成不同的份数：参与球化反应的铁液重量少时可以少分几层，参与球化反应的铁液重量多时可以多分几层，一般情况下不低于三层。在最后一层平铺并捣实完后，需要根据实际情况在最上面覆盖一层钢板，并用聚渣剂将钢板与堤坝间隙塞满，钢板的厚度

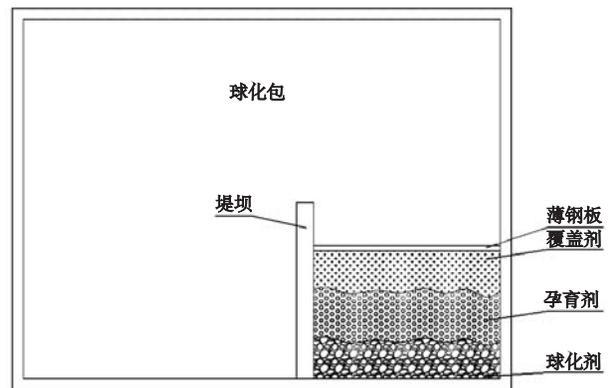


图1 球铁包内球化剂、孕育剂、覆盖剂常用覆盖工艺
Fig. 1 Covering method of nodularizing agent, inoculant and covering agent commonly used in nodular iron ladle

需要根据处理的铁液重量和出炉的铁液温度不同选取不同厚度,一般为3~20 mm,必要的时候需要在钢板的上方压几块生铁。将球化材料分批分层平铺后的效果就像三明治一样,我们形象地称为“新型三明治覆盖法”,见图2。

2 试验结果与分析

根据式(1)得出: $n \times L$ 。按照以往经验,用5吨球化包进行球化处理,采取普通球化剂覆盖法获取的相关数据如表1。采用5吨球化包进行球化处理,使用新型三明治覆盖法获取的相关数据摘录如表2。

从表2可以看出,使用新型三明治覆盖法后, $n \times L$ 值明显提升,且球化剂加入量大幅度降低,球化剂加入量基本控制在0.95%~1.1%,在节约球化剂加入量(约10%)的同时,提高了产品总体性能。从“Y”型试块、阶梯试块及铸件本体取样后,按照GB/T 223系列标准采用化学分析法对各元素进行分析发现:残留Mg量基本控制在0.035%~0.06%,残留Ce量控制在0.004%~0.007%,残留S的含量一般不超过

0.01%。按GB/T 9441球墨铸铁金相检验标准,采用OLYMPUSBH-2金相显微镜对其腐蚀前后的金相组织进行观察,腐蚀前的试样主要观察石墨的数量、尺寸及圆整度。采用新型三明治覆盖法进行球化剂、孕育剂、覆盖剂等的精确定量,最终铸件壁厚在30~100 mm情况下,本体石墨等级稳定在1~2级左右,见图3。

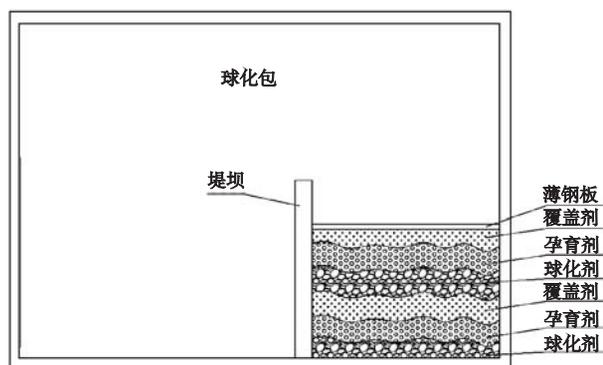


图2 新型三明治覆盖法工艺简图

Fig. 2 Schematic diagram of new type sandwich covering method

表1 普通球化剂覆盖法获取的相关数据

Table 1 Relevant data obtained by ordinary spheroidizing agent covering method

球化反应前含S量	球化反应后含S量	残留Mg量	球化剂中Mg含量	球化剂加入量	$n \times L$	%
0.021	0.011	0.052 1	7.15	1.3	64	
0.019	0.01	0.049 5	7.12	1.3	61	
0.023	0.012	0.055	7.15	1.3	68	
0.017	0.009	0.049 5	7.10	1.3	60	
0.019	0.009	0.045 6	7.10	1.2	62	
0.022	0.012	0.047 9	7.15	1.2	65	
0.018	0.011	0.051 2	7.13	1.2	66	
0.022	0.012	0.061 3	7.13	1.2	80	
						平均65.75

表2 新型三明治覆盖法获取的相关数据

Table 2 Relevant data obtained by new type sandwich covering method

球化反应前含S量	球化反应后含S量	残留Mg量	球化剂中Mg含量	球化剂加入量	$n \times L$	%
0.018	0.009 4	0.048 5	7.15	1.0	77	
0.016	0.012	0.062 1	7.12	1.1	83	
0.022	0.009 3	0.054	7.15	1.1	89	
0.02	0.009 6	0.044 8	7.12	1.0	78	
0.018	0.008	0.05	7.10	0.95	85	
0.017	0.008 3	0.053 3	7.15	1.0	84	
0.014	0.009 5	0.055 5	7.10	0.95	87	
0.019	0.008 3	0.05	7.15	1.0	81	
						平均83

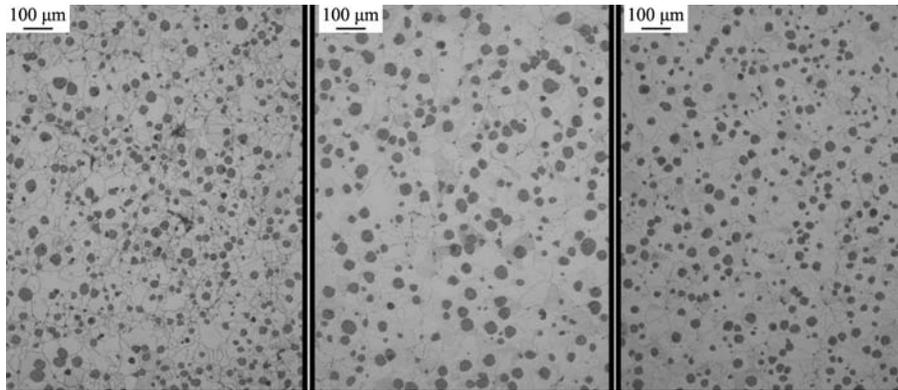


图3 石墨等级1~2级

Fig. 3 Graphite grade 1~2

针对不同的铁液质量采用不同容量球化包球化处理, 经过持续多年的试验验证, 本公司使用球墨铸铁1吨球化包球化处理时, 球化剂Mg的吸收率从41%左右提高到62%左右(多次算数平均数); 5吨球化包球化处理时, 球化剂Mg的吸收率从47%左右提高到68%左右(多次算数平均数), 铸件的石墨球化等级原来为2~3级、个别4级, 现在为1~2级, 而且常年稳定, 并获取良好的力学性能和企业经济效益。

3 结束语

采用“新型三明治覆盖法”进行球化剂、孕育剂、覆盖剂等的精确定量装包方法, 可以大大提高铁液的球化反应效果, Mg的吸收率得到很大程度提高, 可以明显减少球化剂加入量, 减少现场球化反应烟尘量, 改善作业环境, 并且在配合后期高效孕育情况下可以获得优良的铸件, 铸件石墨等级稳定在1~2级左右, 同时可以提高铁液纯净度, 减少夹渣类铸造缺陷, 是非常值得推广应用的一种操作方法。

参考文献:

- [1] 冯延树, 释霞, 李佃国, 等. 冲入法球化处理稳定镁吸收率的工艺措施 [J]. 金属加工(热加工), 2008(19): 64-65.
- [2] 杜永冠, 敞开式冲入法球化衰退的原因与防止措施 [J]. 现代铸铁, 2016(1): 78-81.
- [3] 李一兵, 陈拥军. 盖包球化法在球墨铸铁生产中的应用 [J]. 铸造, 2007(5): 535-537.
- [4] 刘睦坤, 张丽萍, 吴荷生, 等. 喂线法球化工艺生产4G6凸轮轴 [J]. 铸造, 2006(4): 401-404.

A New Sandwich Covering Method to Improve Absorptivity of Mg in Nodularizing Agent

GUO Zhen-feng, SUN Gong-jun
(CRRRC Dalian Co., Ltd., Dalian 116022, Liaoning, China)

Abstract:

The covering method of nodulizer, inoculant, covering agent in the process of pour-over spheroidizing treatment is described. After reasonable weighing, adopting the packing sequence of layering in batches (similar to sandwich shape), and the operation method of tamping layer by layer and slightly covering can delay the initiation time of spheroidizing reaction, prolong the spheroidizing reaction time, and improve greatly the absorptivity of Mg in nodulizer. The final mechanical properties and microstructure of ductile iron treated using the sandwich covering method are significantly improved.

Key words:

sandwich covering method; ductile iron; absorptivity of Mg in nodulizer