

# 洞穴式冲入法球化处理工艺的应用

吴鸿霖, 初薛基, 刘印阁

(三祥新材股份有限公司, 福建宁德 355500)

**摘要:** 探讨了洞穴式冲入法球化处理工艺过程中球化剂中以镁为主的球化元素的吸收率问题, 通过对比冲入法中的堤坝式、凹坑式、洞穴式的形式, 从反应速度的角度及生产现场的实际数据对比分析, 得出洞穴式球化处理工艺具有球化反应稳定、球化时间长、球化元素吸收率高等积极作用, 从而减少球化剂的使用量。

**关键词:** 球墨铸铁; 洞穴式冲入法; 反应时间; 球化元素吸收率

球墨铸铁<sup>[1]</sup>的力学性能良好, 伸长率高, 静态载荷力学性能达到或接近碳钢和一些合金钢的水平。20世纪60年代初, 我国就制成了稀土镁球化剂, 并采用冲入法球化工艺处理铁液, 目前, 冲入法球化工艺已经有近60年的历史, 这一传统工艺方法十分成熟, 操作简单, 容易被工人掌握和控制。国内很多铸造企业一直采用冲入法进行球化处理, 这种方法的优点很明显, 但同时也有一些缺点和不足, 如采用人工操作, 影响因素多, 稳定性差, 球化不良情况时有发生等。

球化处理工艺经过半个多世纪的发展, 出现了多种处理方式和工艺, 现今, 主要使用的球化处理工艺包括冲入法、盖包法、喂丝法、转包法等。不同的球化工艺与球化剂对球化质量有着重要的影响。其中, 冲入法球化工艺以操作简单、安全可靠、处理铁液量灵活、无需特殊的工艺装置等优点成为国内外应用最广泛的球化处理方法, 但不足之处亦明显, 球化过程中, 存在主要球化元素镁的吸收率低的问题。经过多年不断的工艺改进, 目前其吸收率偏低的问题也得到了解决。

冲入法球化工艺处理方式以铁液包的包底形态进行分类<sup>[5]</sup>: 主要包含平底式、堤坝式、凹坑式、洞穴式等, 如图1所示。

平底式冲入法对于铁液包不需作任何特殊修饰, 但此法球化剂最容易上浮, 如果在球化处理时在球化剂上面覆盖一定厚度的铁板, 能够明显改善球化剂的吸收及球化效果。平底式冲入法处理球墨铸铁时, 球化剂中镁的吸收率在20%~30%, 此种球化处理方式国内已基本淘汰。

堤坝式与凹坑式冲入法是最常用的铁液包形式, 一般堤坝或者凹坑内的面积约

## 作者简介:

吴鸿霖(1997-), 男, 工程师, 主要从事铸造新材料及耐火新材料的生产技术管理工作。E-mail: 1432777031@qq.com

中图分类号: TG146.2  
文献标识码: B  
文章编号: 1001-4977(2022)04-0472-04

## 收稿日期:

2021-08-12 收到初稿,  
2022-01-10 收到修订稿。

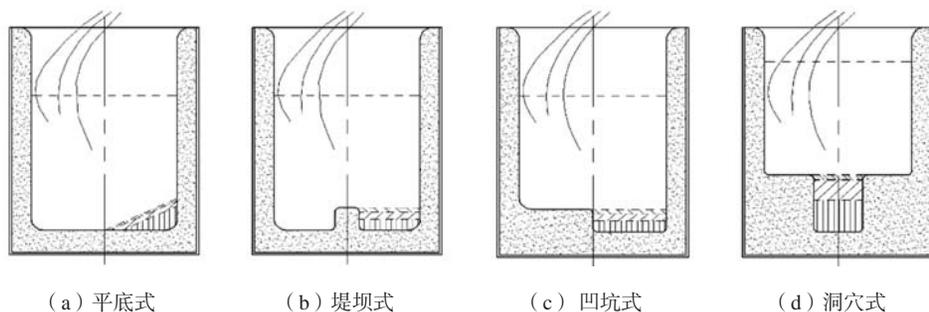


图1 冲入法采用的处理包

Fig. 1 The ladle used in the flushing method

占包底的2/5~1/2, 坝高或者凹坑深度按照所需球化剂重量而定。通常堤坝式和凹坑式冲入法处理球墨铸铁时, 球化剂中镁的吸收率为30%~50%。

洞穴式冲入法类似凹坑式, 所不同的是洞穴的开口较小, 深度较大, 更有利于铁液和球化剂反应的进行。处理过程中, 球化剂反应时间长(开始反应晚)、上浮距离长、球化反应平缓, 镁和稀土等球化元素的吸收效果较好。

## 1 工艺分析介绍

洞穴式冲入法球化处理工艺, 在使用过程中, 为了使球化剂和铁液充分反应, 应该使铁液盖过一定高度后才开始反应, 然后铁液逐层熔化覆盖剂、孕育剂、球化剂。理论上, 在不改变球化剂成分与处理温度的条件下, 能够较好地防止球化剂过早起爆和快速浮到铁液表面; 起到延缓球化剂的起爆和延长反应时间的目的。

20世纪90年代以前, 由于修包与装填工艺的落后以及耐火材料行业发展的限制, 洞穴式冲入法球化工艺并未得到大规模发展。在沈阳铸造研究所等编著的《球墨铸铁》<sup>[5]</sup>中亦提到洞穴式冲入法修包较堤坝式、凹坑式冲入法麻烦, 且连续装载球化剂较为麻烦。但随着时代的发展, 各种不定型耐火材料与熔炼工艺的精进发展, 为洞穴式冲入法的发展提供了契机。

洞穴式冲入法处理球墨铸铁时, 需要在处理包底部中心使用耐火材料捣打出高径比为(1.2~1.5):1的洞穴, 具体尺寸以球化剂等材料加入量来设计, 生产时, 将球化剂放置底部, 上面加孕育剂, 然后再加盖剂或用洞穴口大小相当的铁板覆盖。

由于近年来铸造用铁液质量的显著改善, 铁液中硫、钛等反球化元素含量明显降低, 加上球化剂的生产技术日趋完善, 其氧化镁含量已控制在很低水平(0.4%~0.5%), 因此, 使用低镁含量的球化剂便能满足需求。目前市场上主要应用的冲入法球化剂镁含量一般在5%~7%, 这也可有效降低铁液和镁之间反应的激烈程度以及镁蒸汽的挥发速度。

## 2 反应原理讨论

在球化剂中镁的熔点是651℃, 沸点是1 107℃, 均远低于球化处理温度, 铁液注入处理包后, 洞穴内的合金物质逐渐溶解, 当溶解至球化剂处时, 受温度的影响, 化为镁蒸汽上浮, 从而对铁液进行搅拌进而促进脱硫和溶解于铁液中最终起到球化作用, 下式为镁的饱和蒸汽压与温度的关系<sup>[4]</sup>:

$$\lg P(\text{atm}) = -\frac{6802}{T} + 4.993 \quad (1)$$

根据上式, 在一般的球化温度范围内, 镁的蒸汽压约为0.846~1.8 MPa, 远大于大气压, 这可使处理包内铁液翻滚, 起到搅拌的效果, 脱硫的动力学条件得到很大的改善, 从而促进合金在铁液中的溶解, 但过大的蒸汽压使得球化反应剧烈, 镁蒸汽在铁液中未溶解充分便逃逸。鉴于此因素, 需要控制镁与镁蒸汽的溶解反应时间及上浮距离, 以达到控制球化剂加入量。

## 3 洞穴式球化处理工艺注意事项

### 3.1 处理包的选择

实际使用过程中, 处理包的高径比一般在1.5~1.8, 铁液液面距离处理包包口200~300 mm。合适的高径比使得由球化剂产生的镁蒸汽在上升过程中, 与铁液反应时间长, 反应也更加平缓, 球化效果更好。适当的铁液液位可以保证安全生产的进行。

### 3.2 合金的选择

目前, 市面上适用冲入法的球化剂镁含量一般在5%~7%, 根据球墨铸铁生产产品要求, 可以适当添加钙、稀土、钡等元素参与脱硫、促进球化。质量优良的球化剂应做到粒度分布均匀、无粉状合金, 同时内部致密、成分偏析小等。粒度选择以3~20 mm或者5~25 mm为主。

## 4 工艺案例

山西某铸造厂使用福建某公司生产的球化剂及球化包芯线, 采用洞穴式冲入法、堤坝式冲入法、喂丝球化法处理球墨铸铁并进行了工艺的对比实验。冲入法球化处理中, 球化剂镁含量为6.5%, 洞穴式加入量为0.9%, 堤坝式加入量为1.1%; 喂丝法采用的是含镁30%的高镁球化线, 加入量0.88%。

通过对现场试验数据进行分析对比(表1-3), 对镁球化吸收率采用以下的公式进行计算:

$$\begin{aligned} \text{镁的吸收率} &= \frac{\text{残留镁量}}{\text{镁的加入量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{残留镁的百分数} \times \text{铁液重量}}{\text{球化剂镁的含量百分数} \times \text{球化剂的加入百分数} \times \text{铁液重量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{残留镁的百分数}}{\text{球化剂镁的含量百分数} \times \text{球化剂的加入百分数}} \times 100\% \end{aligned}$$

我们可以发现, 在相对稳定的控制工艺下,

表1 不同工艺效果对比  
Table1 Comparison of effects of different processes

项目	堤坝式冲入法	洞穴式冲入法	喂丝法
合金中Mg质量分数/%	6.5	6.5	30
球化剂平均加入量/%	1.1	0.9	0.88
球化反应时间/s	50~60	55~80	55
反应程度	较激烈	较平缓	激烈
温降/℃	90~100	80~90	70~90
残余镁量/%	0.036~0.045	0.039~0.042	0.038~0.042
镁的吸收率/%	50~63	66~72	25~29

表2 洞穴式冲入法试验现场数据  
Table 2 The data of flushing method of the cave-in type test

炉数	球化温度/℃	铁液出炉量/kg	球化剂加入量/kg	原S/%	残S/%	残镁/%
1	1 523	998	9	0.018	0.011	0.040
2	1 523	996	9	0.018	0.010	0.039
3	1 523	1 005	9	0.018	0.012	0.042
4	1 521	1 008	9	0.016	0.010	0.041
5	1 521	1 004	9	0.016	0.009	0.042
6	1 521	1 003	9	0.016	0.010	0.041
7	1 526	1 000	9	0.015	0.008	0.040
8	1 526	998	9	0.015	0.009	0.042
9	1 526	1 006	9	0.015	0.008	0.040
10	1 520	1 004	9	0.017	0.009	0.039
平均指标	-	1 002	9	0.016 4	0.009 6	0.040 6

注：工厂使用的3 t中频电炉；原料是废钢50%+回炉料30%+生铁20%；生产铸件牌号QT450-10的产品。

表3 铸件性能检测结果  
Table 3 The test results of the performance of the castings

序号	球化级别	石墨球大小	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HB
1	2	7	496	16	160
2	2	7	505	17	159
3	2	8	488	19	168
4	2	7	490	17	166

注：每炉球化铁液浇注后取一个本体附铸试块进行检测。

洞穴式球化处理工艺既能够减少一定的球化剂的加入量，又能较为显著地提高球化剂中镁的吸收率到66%~72%。

## 5 结论

(1) 洞穴式的球化处理工艺在一定的工艺条件下可以提高镁的吸收率，处理1 t铁液时可比堤坝式减少2 kg/t球化剂加入量；吨铁降低球化剂消耗18~20元。

(2) 洞穴式球化处理方式可以实现与喂丝法一样

的加入比例，但因喂丝法采用的是高镁包芯线，单位成本要比球化剂高20%以上，所以采用洞穴式球化处理工艺成本较喂丝处理低得多。

(3) 洞穴式球化处理工艺是对现有堤坝式球化法的改良，现如今使用该工艺的铸造厂不多，技术效果主要体现球化效果稳定的情况下，减少了球化剂的加入量。从一定程度上，能够实现降本增效的目的，在今后的生产实践中会有很大的应用空间。

**参考文献:**

- [1] 刘印阁, 马志永. 喂丝法球化处理在球墨铸铁生产中的应用 [J]. 铸造, 2018, 67 (6): 549-551.
- [2] 国林钊, 杨华. 球墨铸铁中两类石墨球化机理的评述 [J]. 机械工程材料, 2015, 39 (1): 1-8.
- [3] 潘嘉祺, 陈麒忠. 钝化镁球化剂及球化工艺改进的研究 [J]. 上海应用技术学院学报 (自然科学版), 2009, 9 (4): 300-302, 329.
- [4] 刘守平, 文光远, 张丙怀. 铁液用金属镁脱硫的热力学分析 [J]. 钢铁钒钛, 1998 (1): 16-19.
- [5] 沈阳铸造研究所等编. 球墨铸铁 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [6] 巩济民. 提高球墨铸铁球化效果的途径 [J]. 铸造工程, 2020 (2): 52-58.

---

## Application of Flushing Method of Cave-In Type in Spheroidizing Process

WU Hong-lin, CHU Xue-ji, LIU Yin-ge  
(Sanxiang Advanced Materials Co., Ltd., Ningde 355500, Fujian, China)

**Abstract:**

This paper focused on the absorption rate of spheroidizing elements such as magnesium in the spheroidizing agent which was used for the flushing method of cave-in type in the process of spheroidizing treatment. Comparing the process of the dam-type, pit-type, and cave-in-type, from the perspective of reaction rate and the actual situation of the production site, it is concluded that there are more advantages in the cave type such as more stable spheroidizing reaction, longer spheroidizing time, higher spheroidizing efficiency and lower cost. As the result of the cave-in type flushing method, the use of the part spheroidizing agent was reduced.

**Key words:**

ductile iron; cave-in type; reaction time; the absorption rate of spheroidizing element

---