

热模涂料法球墨铸铁管离心铸造工艺

陈建波, 申发田, 李志杰, 杜波, 孙聚杰, 崔建荣, 李新科

(新兴铸管股份有限公司, 河北邯郸 056300)

摘要: 大口径球墨铸铁管(DN1200及以上)在大型输水工程中的作用越来越重要,目前其主要采用热模涂料法离心铸造工艺生产。介绍了热模离心球铁管铸造工艺,分别从熔炼、球化、管模喷涂、离心浇注、孕育、退火等工序进行了详细阐述。

关键词: 球墨铸铁管; 热模; 离心铸造工艺

球墨铸铁管由于具有强度高、塑性好、抗腐蚀性强等优点,在供水、输气管道中大量应用^[1]。球墨铸铁管DN1200及以上规格通常采用热模涂料法工艺生产。热模涂料法大致工艺流程为:在铸管模具(简称管模)内表面喷涂一定厚度的隔热涂层,该涂层具有延长铁液冷却时间,消除激冷产生的渗碳体,同时延长管模寿命的作用。将熔炼、球化合格的铁液伴随孕育剂均匀浇注到旋转管模内,并在离心力作用下凝固成形,铸管成形后进入退火炉进行低温退火。

1 铁液制备工艺

1.1 熔炼

铁液熔炼采用高炉-电炉双联熔炼工艺,电炉的容量为20 t,功率3 000 kW。首先向电炉加入60%~70%的高炉铁液,然后加入30%~40%的废钢,废钢最终加入量以将化学成分C量控制在工艺要求范围内为准,电炉熔炼合格铁液化学成分见表1。大功率将铁液温度升至1 450 ℃,并静置10~15 min,电炉出铁时应保证液面无游离浮渣、出铁温度 $\geq 1\ 400\ \text{℃}$ 、碳含量在3.5%~3.7%。

硅铁加入量根据电炉铁液含硅量和球化铁液终硅量确定,硅铁在电炉出铁前加入球化包包底,通过电炉输入球化包铁液的热量将硅铁熔解并均匀分散。Si的要求见表1。

1.2 球化

球化方式采用喷吹法,即将喷枪插入球化包铁液底部,利用干燥的氮气作为载体,在0.4~0.5 MPa压力下,把钝化镁粒吹入铁液深部,镁粒气化后形成镁蒸气,镁蒸气在铁液上浮过程中不断搅动铁液,并与铁液中的氧、硫不断反应,形成氧化物、硫化物,从而脱氧、脱硫,最终达到球化作用,原理如图1所示^[2]。

球化原材料为钝化颗粒镁,对镁粒采用表面覆盖法进行钝化处理,也称物理钝化法^[3],以镁粒为中心外包覆一薄层抗氧化阻燃剂层,再外层连接表皮料,形成一定形状的复合层钝化颗粒镁。目的是使用安全并更大程度地利用镁的脱硫作用。一般含镁量 $\geq 92\%$,粒度为0.5~1.6 mm。

球化后保证铁液残留Mg含量在0.05%~0.06%,并在10 min内完成浇注。浇注前,需要将球化后液面出现的大量浮渣清理彻底。残留Mg过低、球化后浇注间隔时间长、浮渣多等情况容易出现球化衰退、性能不合格等情况。

作者简介:

陈建波(1971-),男,工程师,硕士,研究方向为铸造工艺。电话:0310-5798855, E-mail: chenjianbo@126.com

通讯作者:

申发田,男,硕士。电话:15130013552, E-mail: shenfatian@126.com

中图分类号: TG249.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)03-0287-04

收稿日期:

2018-12-05 收到初稿,
2018-12-29 收到修订稿。

表1 电炉铁液及球化铁液的化学成分
Table 1 Chemical composition of nodularized iron melt and iron melt from electric furnace $w_B/\%$

铁液	C	Si	Mn	S	P	Mg _残
电炉熔炼合格铁液	3.5~3.7	0.8~1.0	0.2~0.3	0.02~0.03	0.07~0.08	
球化铁液	3.3~3.6	2.0~2.2	0.2~0.3	≤0.010	≤0.07	0.05~0.06

与冲入法工艺相比, 喷吹法显示出明显的技术经济特点。以工业纯颗粒镁作为球化剂, 大大减少了球化剂的加入量, 降低了球化处理成本; 铁液脱硫和球化可同时进行, 原铁液的含硫量可允许达到0.30%, 无需球化前做预脱硫处理; 处理后残留量更低 ($\leq 0.010\%$); 在预定的残余镁量下, 镁的吸收率高达40%~50% (吨铁镁粒加入量1.2~1.5 kg, 铁液球化后残镁含量为0.050%~0.060%左右); 以纯镁作为球化剂不会增加铁液的Si含量, 可灵活控制铁液中Si含量; 铁液温度损失小, 温降为30~50℃左右; 原铁液钛、钒及其他微量元素较高时可加入稀土配合使用^[4]。

2 浇注工艺

2.1 管模喷涂

浇注前需要在管模内表面喷涂一定厚度隔热层, 喷涂涂料以水为载体, 以硅藻土为骨料, 膨润土为粘结剂, 经过混合、发酵、搅拌、研磨形成的混合物。

喷涂前保证管模温度在150~250℃, 模温 ≤ 30 ℃, 喷涂时既可以保证涂层彻底干透, 又可以保证喷涂涂层的强度; 喷涂时将管模以一定的转速旋转 (一般为30~60 r/min), 装有喷涂系统的喷涂车沿管模轴向做往返运动, 涂料通过喷嘴喷涂在高温管模内表面, 涂层厚度控制在0.5~1.2 mm。喷涂时涂料必须完全雾化, 从而保证涂层光洁度; 在管模高温作用下, 水分快速挥发后, 剩余则为涂层^[5]。

2.2 浇注

为了保证球铁管轴向、环向管壁壁厚均匀, 浇注时承载扇形包、弯槽、流槽的浇注车边匀速退车边匀速翻转扇形包, 把铁液均匀地浇注到高速旋转的管模中, 高速旋转的管模中的铁液在离心力的作用下冷却成形。图2是浇注系统工作原理的示意图^[6]。

浇注时管模转速越高, 离心力越大, 铁液容易在管模内出现飞溅和超前流现象, 造成冷隔等铸造缺陷, 所以在保证铁液在管模内有足够的离心力不产生淋落的情况下, 管模转动的重力系数 (铁液在旋转管模内离心力与正常重力之比) 取最小值15, 浇注结束后, 管模转动的重力系数立即提升至42, 作为终转速, 以增加铸管管壁的致密度。管模转速由重力系数公式计算而得, 重力系数公式如下:

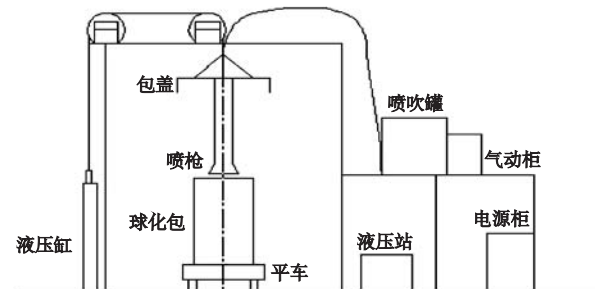


图1 喷吹法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of spheroidizing ejection method

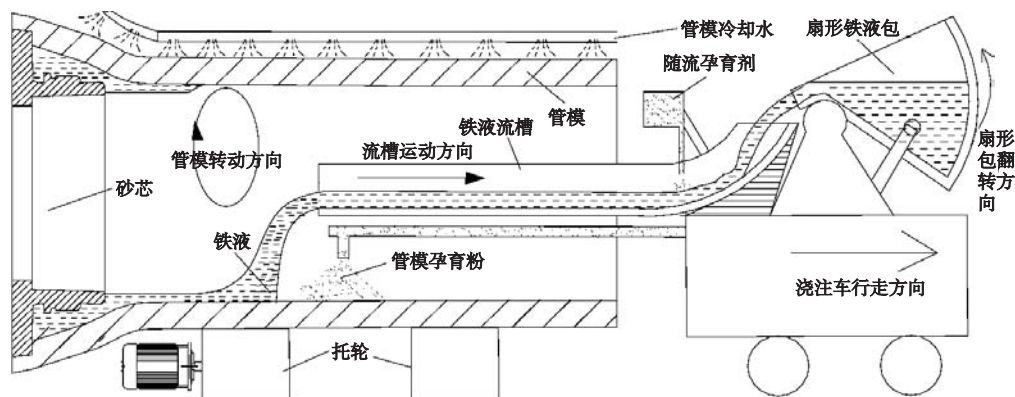


图2 浇注系统工作原理的示意图

Fig. 2 Schematic diagram of working principle of gating system

$$N=F/G=m\omega^2r/mg=\omega^2r/g=(n\cdot 2\pi/60)^2\cdot r/g=0.112(n/100)^2r \quad (1)$$

式中： N 为重力系数； F 为离心力，N； G 为重力，N； m 为物体质量，kg； ω 为角速度，rad/s； g 为重力系数，9.8 N/kg； n 为管模转速，r/min； r 为管模半径，m。

以DN1400管模为例：浇注时转速重力系数 $15=F/G=(n\cdot 2\pi/60)^2\cdot 0.7/9.8$ ，得出浇注管模转速 $n=138$ r/min。同样算法得出终转速 $n=232$ r/min。

2.3 浇注孕育处理

孕育处理可避免球铁管出现铸态碳化物，同时保证球化质量，其作用至关重要。为增强孕育效果，孕育剂分为随流孕育剂和管模粉孕育剂两种，其粒度和成分见表2。

2.3.1 随流孕育剂

随流孕育剂粒度1~3 mm，其成分如表2所示。从扇形包铁液进入流槽到浇注结束期间，向流槽中流动铁液加入孕育剂，此种孕育方式为随流孕育，是主要孕育方式（见图2），每吨铁液加入量为4~5 kg。

表2 孕育剂粒度和成分
Table 2 The particle size and composition of inoculant

种类	粒度/mm	Si	Mn	P	S	Ca	Ba	Fe	$w_B/\%$
随流孕育剂	1~3	70	0.22	0.023	0.015	1.56	4.42	21.35	
管模粉孕育剂	0~0.3	58	0.35	0.016	0.005	0.85		38.97	

2.3.2 管模粉孕育剂

为避免铸管外壁激冷形成铸态渗碳体，浇注车浇注前进入管模、浇注时退出管模过程中，以干燥空压风为载体将0~0.3 mm粉状孕育剂均匀喷吹在旋转的管模内表面涂层，故称为管模粉孕育剂。每吨铁液加入量为2~3 kg，作为辅助孕育剂。

2.4 冷却

为了避免冷却速度过于缓慢造成球化衰退、氧化夹渣等缺陷，同时提升生产节奏，在浇注开始至铸管凝固成形期间，管模外壁用喷淋水进行冷却，保证铁液以2~4 °C/s的冷却速度冷却成形。

2.5 拔管及运管

铁液在旋转管模离心力作用下逐渐凝固成铸管，待完全凝固并冷却至700~800 °C时，开始拔管操作。拔管时，为了避免管子在高温状态下成椭圆，拔管钳、铸管、接管托轮、管模处于同步缓慢旋转状态。待完全拔出铸管后，抱管天车采用旋转的抱轮将热态铸管抱送至退火工位。

3 热处理工艺

通过控制铁液成分、冷却速度及多次孕育措施，铸管铸态组织为：40%~70%珠光体，其余为铁素体（或可能包含5%以下渗碳体）。为了保证良好的强度、塑性等综合力学性能，需要进行低温退火，将珠光体含量控制在20%~35%。

退火时铸管在退火台车托轮上保持缓慢旋转状态，避免椭圆。退火工艺为720~740 °C，保温10~15 min。

4 铸管质量检测

4.1 力学性能

按GB/T 13295—2013试验方法要求，自铸管插口处取120 mm长立方体状的管环作为本体试样（底部尺寸为壁厚10 mm，壁厚一般 ≥ 12 mm），试样与轴线平行。将该试样加工成直径为6 mm，标距至少为其直径5倍的试棒，试棒端部应适合安装在拉伸试验机上进行拉伸试验。拉力加载速率恒定在每秒6~30 N/mm²之间，拉伸试验结束试验机直接显示试棒抗拉强度、屈服强度结果。把试棒断裂的两部分拼在一起测量伸长的标距，用标距的伸长量与初始标距之比求得伸长率。

图3为试棒断口状态，断口处呈凹凸不平整颗粒状，无颈缩现象，整个断面基本与轴线垂直，是典型的铸铁脆性断裂。经长期拉伸试验数据统计，铸管抗拉强度范围为420~480 MPa，屈服强度范围300~320 MPa，伸长率范围9%~15%，硬度范围HB 180~200，均满足GB/T 13295—2013标准（标准规定离心铸造管的抗拉强度 ≥ 420 MPa，伸长率 $\geq 7\%$ ，硬度HB ≤ 230 ）中的力学性能要求。

4.2 金相组织

石墨球化等级基本为2级，少量为3级，石墨球大小为6级；基体组织：铁素体70%~80%，珠光体20%~30%，无渗碳体、磷共晶等有害组织。球铁管金相组织见图4。

4.3 致密度

由于铁液在离心力作用下凝固，铸管管壁致密度良好，无渣层、疏松、缩松、气孔等铸造缺陷，管壁致密度情况见图5。

4.4 水压试验

为了避免在输水工程中铸管出现渗漏、爆裂现象，力学性能、金相组织合格的管子需要逐支进行水压试验。试验水压压力为铸管最大工作允许压力加0.5 MPa，保压时间 ≥ 30 s，无漏水、爆裂现象则合格，水压试验原理见图6。

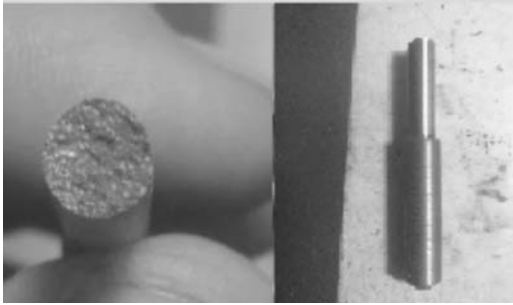


图3 拉伸试样断口状态
Fig. 3 Fracture state of tensile specimen

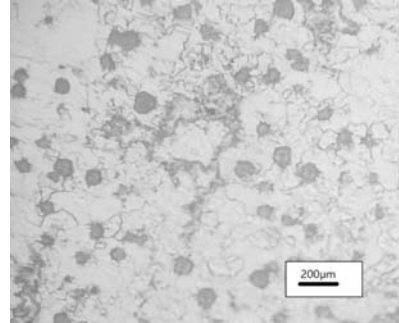


图4 球铁管金相组织
Fig. 4 Metallographic structure of ductile iron pipe



图5 球铁管管壁断口情况
Fig. 5 Fracture of ductile iron pipe wall

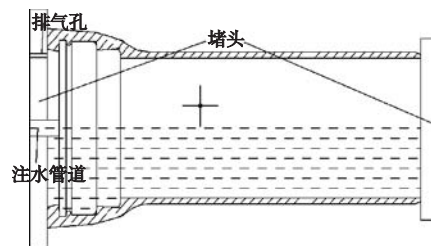


图6 水压试验原理图
Fig. 6 Hydraulic test schematic diagram

5 结束语

采用热模涂料法离心铸造工艺生产大口径球墨铸铁管，并配以合适的熔炼、球化以及热处理工艺，可以保证生产出壁厚均匀、致密度良好、金相组织合格（无碳化物、球化等级良好、铁素体 $\geq 70\%$ ）以及力学性能优良的铸管。

参考文献：

- [1] 范英俊, 陈宝玉, 徐占文, 等. 衬覆膜砂热模法生产大型球墨铸铁管 (DN1200) [J]. 现代铸铁, 1997 (2): 17-18.
- [2] 冯光弼, 刘菲. 球化处理过程中提高喷镁吸收率的途径 [J]. 铸造, 2012, 61 (2): 192-194.
- [3] 曾萍. 国家标准《钝化颗粒镁》解读 [J]. 铸造, 2015, 64 (9): 926-927.
- [4] 范英俊. 离心球墨铸铁管工艺及装备 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001: 68
- [5] 张鑫, 王恩清, 闫玉凤, 等. 几种喷涂方式在离心铸管生产中的应用 [J]. 中国铸造装备与技术, 2004 (5): 47-48.
- [6] 申发田, 张建强. 热模离心球墨铸铁管承口夹渣和疏松缺陷成因及预防 [J]. 铸造, 2018, 67 (3): 275-278.

Centrifugal Casting Process of Hot-Mold Ductile Iron Pipes

CHEN Jian-bo, SHEN Fa-tian, LI Zhi-jie, DU Bo, SUN Ju-jie, CUI Jian-rong, LI Xin-ke
(Xinxing Ductile Iron Pipes Co., Ltd., Handan 056300, Hebei, China)

Abstract:

The role of large diameter ductile iron pipes (DN1200 and above) is becoming more and more important in large water conveyance projects. At present, they are mainly produced by hot-mold coating centrifugal casting. In the paper, the casting process of hot-mold centrifugal ductile iron pipes is introduced. The processes of smelting, spheroidizing, spraying, centrifugal casting, inoculation and annealing are described in detail.

Key words:

ductile iron pipe; hot-mold; centrifugal casting process