

DN80 水冷离心球墨铸铁管生产工艺及缺陷防止措施

张建强¹ 温 慧¹ 段建波² 李新科² 申发田²
(1.石家庄科技工程职业学院; 2.新兴铸管股份有限公司)

摘 要 对 DN80 离心球墨铸管关键工艺如熔炼、球化、离心浇注、退火等进行了详细阐述。DN80 离心球墨铸管采用 5 t 无芯工频电炉熔炼,出铁前为防止球化衰退按 25 kg/t 加入硅铁合金,浇注采用水冷离心机按 60 s/支节奏进行浇注,球化包铁水温度控制在 1 450~1 470 ℃,扇形包浇注温度控制在 1 380~1 400 ℃,退火时采用连续式退火炉退火(980 ℃)。同时,特别针对 DN80 离心球墨铸管常出现的缺陷进行分析并提出预防措施。

关键词 离心球墨铸铁管;DN80;生产工艺;缺陷防止

中图分类号 TG249.4 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.03.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Centrifugal Casting Process and Prevention Defects Measures of Water-cooled Centrifugal Ductile Iron Pipe DN80

Zhang Jianqiang¹, Wen Hui¹, Duan Jianbo², Li Xinke², Shen Fatian²
(1.Shijiazhuang Vocational College for Scientific and Technical Engineering;
2.Xinxing Ductile Iron Pipes Co., Ltd.)

Abstract: The key procedures for centrifugal casting DN80 ductile iron pipe were expounded, such as melting, spheroidization, pouring and annealing. The DN80 ductile iron pipe was smelted with 5 t coreless main frequency furnace. Si-Fe alloy was added to prevent nodulized fading with 25 kg/t before pouring. The water-cooled centrifugal machine was carried out by 60 s/unit during pouring process. Meanwhile, the temperature of liquid Fe of nodulized ladle was controlled at 1 450~1 470 ℃, and fanladle temperature was contraled at 1 380~1 400 ℃. Contiauous high temperature annealling furnace was adopted to anneal treatment at 980 ℃. In addition, common defects in the DN80 ductile iron pipe was analyzed and countermeasures were presented.

Key Words: Centrifugal Ductile Iron Pipe, DN80, Centrifugal Casting Process, Defect Prevention

离心球墨铸铁管力学性能好、抗腐蚀性强,故作为地埋管材在输水、输气领域得到大量应用。离心球墨铸铁管生产的最小规格为 DN80(公称直径),其生产工艺极为严格,成品率较低。本课题对 DN80 规格离心球墨铸铁管生产工艺进行了详细阐述,并对易产生的缺陷提出防止措施,为离心铸造生产球墨铸铁管提供参考。

1 球铁熔炼

1.1 球墨铸铁成分及熔炼

采用容量为 15 t 的无芯工频电炉熔炼。炉料包括高炉铁水、废钢、增碳剂、废品回炉料等。将符合成分和温度要求的 7.5 t 高炉铁水倒入电炉,然后分别加入增碳剂、废钢。增碳剂单耗为 9.98 kg/t,为确保增碳剂吸

收率,计算出增碳剂加入量并分批次加入。第 1 次在废钢加入前加入 60%,剩余 40%在废钢加入过程中加入。废钢加入量为 7 t,保证熔炼铁水中 C 含量控制在工艺要求范围内,直到电炉熔炼铁水合格(铁水成分见表 1),除废钢外电炉还可加入 1~2 t 回炉料。待炉内成分合格后,铁水温度升至 1 500 ℃静置 10~15 min,除

表 1 电炉熔炼合格铁水及球化铁水成分要求

Tab.1 Composition of spheroidized liquid Fe and qualified

元素	melting for electric furnace						%
	C	Si	Mn	S	P	Mg	
电炉熔炼	3.7~	0.8~	≤	≤	≤	—	余量
合格铁水	4.0	1.2	0.30	0.025	0.08		
球化铁水	3.6~	2.00~	≤	≤	≤	喷镁法	余量
	3.8	2.20	0.30	0.010	0.07		

收稿日期:2020-09-13;修改稿收到日期:2020-12-13

第一作者简介:张建强,男,1984 年出生,讲师,石家庄(056000),E-mail: 597332525@qq.com

通信作者:温慧,女,1985 年出生,讲师,石家庄(056000),E-mail: 413446115@qq.com

引用格式:张建强,温慧,段建波,等. DN80 水冷离心球墨铸铁管生产工艺及缺陷防止措施[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(3):393-396.

ZHANG J Q, WEN H, DUAN J B, et al. Centrifugal casting process and prevention defects measures of water-cooled centrifugal ductile iron pipe DN80[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(3):393-396.

渣彻底(液面无游离浮渣)。

为了防止球化衰退在出铁前需向球化包中加入硅铁合金(硅铁合金单耗为 25 kg/t)。出铁前工频炉铁水液面除渣彻底,渣层小于铁水液面的 1/10。硅铁加入量根据电炉含硅量和终硅量确定。球化包铁水温度要求 $\geq 1\,460\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 球化处理

DN80(公称直径)球铁管球化方式采用转包喷吹法,在铁水转包尾部上端设置一个喷吹接头,球化前将喷吹管与转包喷吹接头连接, N_2 通过喷吹管、快速接头吹入包内,然后翻转转包支架,使转包竖立,从而使铁水埋没包内喷吹接头,利用 N_2 作为唯一载体,在 0.4~0.5 MPa 压力下,把 0.2 mm 粒度以下镁粒(镁粒用量为 2 kg/t)喷入铁水深处,使之在强烈的搅拌条件下与铁水反应,从而完成球化处理。细粒状镁粒以较高速度在铁水中运动,大大改善反应的扩散条件,提高反应速度,使硫、氧充分消除,效果较好。球化铁水残 Mg 含量保证在 0.04%~0.05%,浇注过程必须在 5 min 内完成;水冷离心球墨铸铁管浇注示意图见图 1。

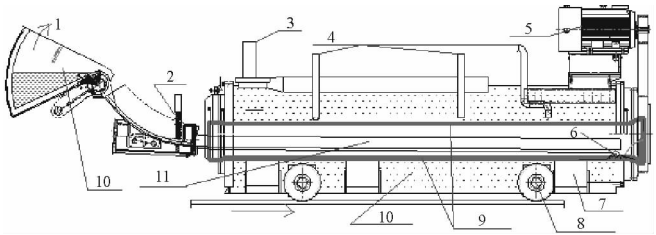


图 1 水冷离心球墨铸铁管浇注示意图

Fig.1 The pouring diagram of water-cooled centrifugal ductile iron pipe

1.扇形包 2.随流孕育装置 3.出水口 4.进水口 5.电机 6.管模
粉孕育 7.管模托轮 8.行走轮 9.管模 10.冷却水 11.流槽

2 离心浇注工艺

DN80 金属管模封浸在一个封闭的冷却水套中,由电机驱动管模高速旋转。浇注时,扇形包铁水(扇形包含称量装置,浇注每支管扇形包需要翻转的角度和速度、与离心机速度相匹配)及导铁水长流槽(流槽见图 2)位置固定,离心机主机沿轨道向扇形包方向移动,直到流槽到达离心机管模承口一端,启动扇形包机构浇注铁水,扇形包在翻包机构驱动下等角速翻转包内铁水,铁水经扇形包包口、流槽平稳流进高速旋转的管模内,此时离心机主机开始以 0.3 m/s 匀速缓慢后退,主机退至初始位置时,浇注完毕。管模无需喷涂、清理涂料,铁水直接浇注管模内表面,凝固后,拔管钳张开钳块撞破砂芯,并伸入铸管内部撑住球铁管内表面拉伸脱模。由于生产节奏较快(60 s/支),管模和流槽无需预热,利用

生产余热即可。

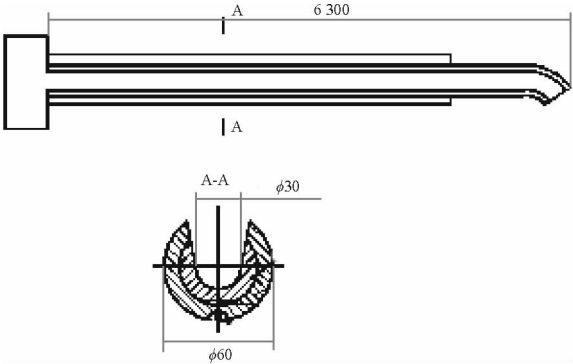


图 2 流槽尺寸示意图

Fig.2 The schematic diagram of runner size

由于在管模内的凝固冷却速度较快(DN80 生产周期为 60 s/支,平均冷却速度为 $26\text{ }^{\circ}\text{C/s}$),金相组织中存在渗碳体,断面多呈白口,因此球墨铸铁管需经过高温退火($960\text{ }^{\circ}\text{C}$)处理,消除渗碳体,获得一定的伸长率。

2.1 浇注温度及流动性

DN80 规格球铁管管壁厚度仅为 4.4 mm,长度为 6 m,质量为 77 kg,为了避免出现针孔、冷隔重皮、裂纹等缺陷,通常通过提高浇注温度、铁水静置除渣、降低 Ti 含量等方式提高铁水流动性(铁水中 Ti 含量不大于 0.1%,超过 0.1%铁水流动性变差),Ti 在浇注温度范围内的平衡溶解度平均值见表 2。Ti 含量超过该温度下的平衡值时,在铁水中就有 TiC 、 Ti(C,N) 等固态钛化物析出^[1]。

表 2 Ti 在不同浇注温度下的平衡溶解度

Tab.2 Equilibrium solubility of Ti element in pouring

temperature range				
浇注温度/ $^{\circ}\text{C}$	1 360	1 390	1 420	1 480
Ti 平衡溶解度/%	0.122	0.136	0.156	0.216

铁水温度越高,则流动性越好,但过高会造成球化衰退,球化包铁水温度要求 $1\,450\sim 1\,470\text{ }^{\circ}\text{C}$,离心机扇形包浇注温度为 $1\,380\sim 1\,400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 离心机转速

转速越高,离心力越大,铁水越容易形成超前流造成冷隔等缺陷,但转速过低铁水易发生淋落现象。因此在保证不出现超前流的情况下^[2],根据生产经验,DN80 浇注管模转速应尽量大并保持匀速,约为 1 000 r/min。

扇形包由液压系统控制等角速均匀翻包,保证在相应浇注时间内使铁水等流量浇注,通过控制翻包速度、管模转速,从而保证铸管管壁整体轴向、环向壁厚均匀。

2.3 冷却水温

连续生产时,离心机入口处冷却水温为 $35\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,出口处为 $55\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。水温应实时监测,保证球铁管冷

却温度均匀,铁管温差<60 ℃,平均冷却速度为 25~30 ℃/s。

2.4 孕育

DN80 球铁管瞬时孕育剂根据加入形式的不同分为随流孕育剂和型内孕育剂两种。这两种孕育剂在浇注过程中加入,不影响合格浇注铁水的 Si 含量,只增加凝固成品的 Si 含量。

随流孕育剂直接加入引导铁水的流槽中,随铁水流入管模内,粒度为 1~3 mm,选用硅钙钡孕育剂,加入量为 0.3%,以增加孕育效果;在特殊情况下如微量元素偏上限时可将孕育剂加入量调整至 0.4%。

型内孕育剂在浇注前通过电机均匀给料、氮气喷吹方式在管模内均匀布料,型内孕育剂为硅钙钡孕育剂,粒度为 0.2~0.8 mm,加入量为 0.3%,使用后期管模或出现气孔缺陷时,可将型内孕育剂加入量提高至管重的 0.5%。

随流孕育剂和型内孕育剂的成分见表 3。

表 3 硅钙钡孕育剂的成分

Tab.3 Chemical composition of Si-Ba-Ca nodulization %		
w/B		
Ca	Ba	Si
2.5	5.0	余量

3 铸造缺陷及预防

3.1 气孔与针孔

气孔和针孔是 DN80 规格水冷离心球铁管最常见的缺陷,也是造成废品的最主要原因,其产生因素包括铁水流动性差、铁水内气体含量过高、浇注时铁水流动不平稳、管模龟裂严重等。

DN80 生产不当会在在球铁管外表面有浅槽状和凹陷孔洞,生产线上称麻坑(见图 3),麻坑一般不会明显影响球铁管强度和水密性,但影响铸管外观;有时在铸管外表面皮下 2~3 mm 处产生直径为 1~2 mm 呈蜂窝状分布或均匀分布的细长孔洞,即针孔(见图 4),严重时产生渗漏。

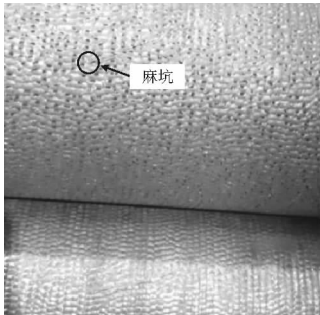


图 3 麻坑缺陷
Fig.3 Pit defect

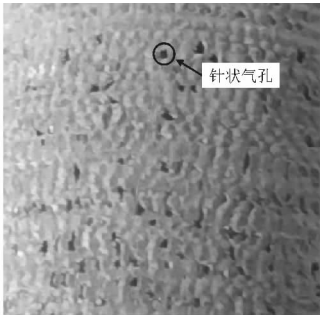


图 4 针孔缺陷
Fig.4 Pinhole defect

预防措施如下:①将模内壁油脂等杂物彻底清理,及时修复龟纹严重的管模;②严格控制铁水中气体含量,含氧量保证在 1×10^{-5} 以下;③浇注时加入的型内孕育剂不少于铁水质量的 0.3%;④严格控制浇注温度 $\geq 1\ 380\ ^\circ\text{C}$;⑤球化剂和孕育剂等应预热除水,扇形包和流槽应充分烘烤、预热。

3.2 冷隔型重皮

在离心铸铁管的外表面经常见到不连续的、近似螺旋线分布的冷隔型疤痕(见图 5)。严重时在沿着插口方向出现分层现象。在离心球墨铸铁管距插口 0~500 mm 处也易产生这种冷隔型重皮,严重时产生分层现象。这是因为铁水浇入高速旋转的管模时大部分向承口方向流动,少部分向插口方向流动。所以在铁水流出流槽落点的插口方向出现一股“超前流”,当其接触到管模时迅速凝固。当随后浇注的铁水掉落在已凝固的“超前流”内表面上,则形成冷隔夹层。

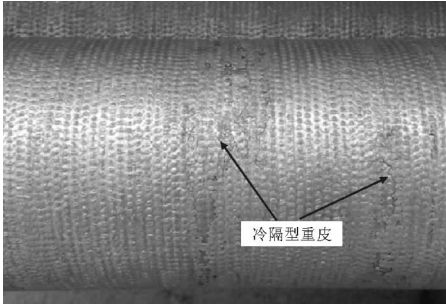


图 5 冷隔型重皮
Fig.5 Cold lap

防止措施:①保证铁水温度不低于 $1\ 380\ ^\circ\text{C}$,可适当提升至 $1\ 420\ ^\circ\text{C}$,避免“超前流”过快凝固;②离心机行走速度不得低于 0.25 m/s,从而保证浇注流槽相对于管模的轴向移动速度,尽可能减少“超前流”铁水的流动距离,以便被后续铁水所重熔。

3.3 裂纹

离心浇注过程中,如果离心机浇注工艺不匹配、铁水冷却不均匀等容易出现裂纹,裂纹缺陷产生主要是冷却过程中的应力导致。

一种情况是在 DN80 铸铁管凝固冷却过程中,由于管模温度不一致,或者由于翻包参数不合适导致 DN80 铸铁管壁厚不均匀,致使冷却过程产生的应力不均匀,应力差过大从而造成裂纹现象(见图 6)。另一种情况是当铁水中微观成分偏析造成局部组织中碳化物和珠光体量与周围组织有较大差异时,极易在凝固过程中产生应力集中,产生裂纹缺陷^[3]。

预防措施有:①扇形包、流槽修葺平整,过渡圆滑,保证铁水平稳等流量浇注;②离心机走速与扇形包翻包速度匹配(同时同步),保证管壁轴向和环向壁厚均匀一

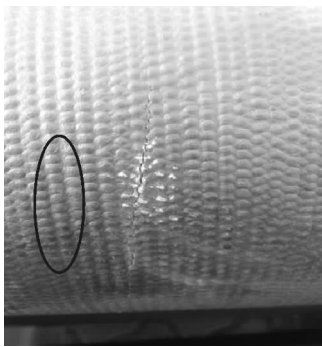


图 6 裂纹缺陷
Fig.6 Crack defect

致;③定期检查管模内径椭圆度,保证 $\leq 0.5\text{ mm}$,避免浇注时造成球铁管壁厚不均。

4 热处理工艺

虽然经过孕育处理,但由于铁水在管模内的凝固速度极快,金相组织中存在渗碳体,断面多呈白口,见图 7,因此球墨铸铁管需经过 $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温退火处理,消除渗碳体,获得较高的抗拉强度和伸长率。

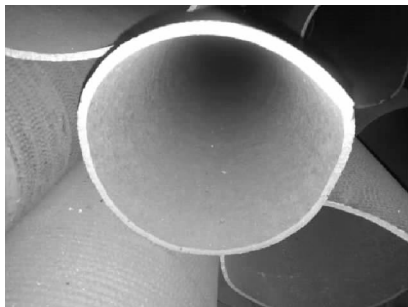


图 7 退火前 DN80 规格球铁管断口状态
Fig.7 The fracture state of DN80 ductile iron pipe before annealing

DN80 球铁管采用连续式退火炉进行热处理,首先在加热段将球铁管管体迅速加热到 $960\sim 1\text{ }000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保温 13 min ,保温段结束后,进入快冷段,需在 4.5 min 内将管体温度从 $980\text{ }^{\circ}\text{C}$ 快冷至 $760\text{ }^{\circ}\text{C}$,最后进入缓冷段, 13.5 min 内管体温度缓慢冷却至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$,退火结束,工艺见图 8。

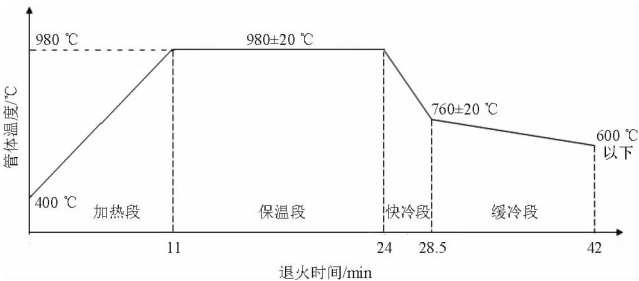


图 8 DN80 规格球铁管热处理工艺曲线
Fig.8 The heat treatment process curve of DN80 ductile iron pipe

5 品质检验

DN80 球铁管需要经过金相组织、力学性能和水压检验。金相组织检测:球化等级为 $1\sim 3$,石墨球大小等级为 $6\sim 8$,渗碳体含量 $\leq 1\%$,珠光体含量 $\leq 25\%$,铁素体含量 $\geq 75\%$ 。

拉伸试验:试样从球铁管端部本体取样,每 20 支为一批次第一支取样。结果抗拉强度 $\geq 450\text{ MPa}$,屈服强度 $\geq 320\text{ MPa}$,硬度(HBW)为 200,伸长率 $\geq 12\%$,基本满足要求(见表 4),并全部满足 GB/T 13295-2013 要求。

水压试验:对铸管逐支进行水压试验,试验时将球铁管两端封堵,确保排尽管内空气。水压试验压力和保压时间见表 1。试验后,球铁管不应有渗漏等其他缺陷。DN80 规格 K9 标准壁厚球铁管渗漏测法打压压力为 6 MPa ,保压时间 $\geq 17\text{ s}$,结果打压合格率 $\geq 95\%$ 。

表 4 DN80 的力学性能及水压试验结果

检测性能与 国标对比	力学性能			水压试验
	抗拉强度	伸长率	硬度(HBW)	
DN80 测试	≥ 450	$\geq 12\%$	200	水压压力为 6 MPa , 持续时间 $\geq 17\text{ s}$
GB/T 13295-2013	≥ 420	$\geq 10\%$	≤ 230	水压压力为 5 MPa , 持续时间 $\geq 15\text{ s}$

6 结 语

DN80 离心球墨铸铁管采用水冷离心铸造生产,因尺寸较小,生产工艺要求较为苛刻,通过严格控制熔炼、球化、离心浇注、退火等工艺参数可有效防止气孔、针孔、冷隔、裂纹等缺陷的产生,保障了产品合格率。

参 考 文 献

[1] 丁跃华,李新生.碳饱和熔铁中 Ti 化合物析出规律的研究[J].钢铁钒钛,2009,30(2):22-27.
[2] 陈建波,李志杰,杜波,等.热模涂料法球墨铸铁管离心铸造工艺[J].铸造,2019,68(3):288-290.
[3] 钟军超,陈建波,孟新,等.水冷金属型球墨铸铁管缺陷成因及解决措施[J].铸造设备与工艺,2019(5):35-37.

(编辑:刘卫)

欢迎使用在线稿件处理系统

投稿、查稿、审稿

敬请登录 www.special-cast.com