

离心机铸管外表面质量缺陷分析与改进研究

范文龙 郜礼涵 贾振华

河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司, 河南 安阳 455133

[摘要]离心铸造是目前生产铸管的主要方式,在实际生产过程中,铸管外表面易产生气孔、裂纹、夹砂、夹渣等质量问题而影响产品的合格率以及使用寿命。文中基于对离心机铸管外表面质量控制重要性的认识,对造成外表面质量问题的原因进行分析并提出相应的改善建议:一是加强原材料的质量管理;二是改善熔炼及浇注工艺;三是合理设置离心机的各项参数;四是做好模具保养及涂料更新工作;五是调整冷却以及后续处理工艺。研究表明采取以上措施可以有效减少铸管外表面缺陷的发生概率,提高铸管外表面的质量。生产结果表明,水冷离心球墨铸铁管外表面气孔缺陷明显减少,气孔废品所占比例由原来的45%下降到10%,总的合格率大幅度提高,取得了良好的经济效益。

[关键词]离心铸造;铸管;外表面质量;缺陷分析;工艺改进

DOI: 10.33142/ect.v4i5.19791

中图分类号: TG254.2

文献标识码: A

Analysis and Improvement Research on Surface Quality Defects of Centrifugal Casting Pipe

FAN Wenlong, GAO Lihan, JIA Zhenhua

Angang Yongtong Ductile Iron Pipe Limited Liability Company, He'nan Iron & Steel Group, Anyang, He'nan, 455133, China

Abstract: Centrifugal casting is currently the main method for producing cast pipes. In the actual production process, the outer surface of the cast pipe is prone to quality problems such as porosity, cracks, sand inclusion, slag inclusion, etc., which affect the product's qualification rate and service life. Based on the understanding of the importance of quality control of the outer surface of centrifuge castings, this article analyzes the causes of surface quality problems and proposes corresponding improvement suggestions: firstly, strengthen the quality management of raw materials; Secondly, improve the smelting and pouring processes; The third is to reasonably set the various parameters of the centrifuge; The fourth is to do a good job in mold maintenance and paint renewal; The fifth is to adjust the cooling and subsequent processing technology. Research has shown that taking the above measures can effectively reduce the probability of surface defects on cast pipes and improve the quality of the outer surface of cast pipes. The production results show that the porosity defects on the outer surface of water-cooled centrifugal ductile iron pipes have been significantly reduced, and the proportion of porosity waste has decreased from 45% to 10%. The overall pass rate has been greatly improved, and good economic benefits have been achieved.

Keywords: centrifugal casting; cast iron pipe; external surface quality; defect analysis; process improvement

引言

离心铸造是通过离心力使液体金属在旋转铸型内流动并最终凝固的一种铸造方法,其优点是生产率较高、铸件致密度好以及材料消耗少等,被大量用于各种管材的生产加工。但是离心铸造所得的铸管存在外表面问题一直是困扰生产企业的难题。常见的离心铸造合金钢管缺陷包括:充型不足,表面气孔,钢管外表层夹砂,裂纹,试压渗漏,夹渣及渣痕,表面部分针刺等。这些问题不但使铸管外观不佳,而且还会使其力学性能下降或缩短使用寿命,在极端情况下会导致整个铸管报废。裂纹是水冷离心球墨铸铁

管在生产过程中常见的问题,造成该问题的原因主要是冷却速度快慢不均、机械阻碍、铸造组织不均、流槽位置不当以及高脆性断裂等。因此,对外表质量缺陷产生的原因进行深入研究并采取有效对策,有利于提高离心铸管的质量以及降低生产成本。本文将以离心铸造的实际生产为基础,对铸管外表常见质量问题进行详细分析并给出可行建议,以供离心铸管生产企业借鉴。

1 离心机铸管外表面质量控制的重要性

铸管外表面质量是评价铸管整体水平的一个重要方面,在离心铸造时,金属液以很高的速度在转动铸型内壁

上冷却固化成形，铸管外表面直接靠在铸型内表面上，其外观优劣主要由铸型表面情况、涂料质量和工艺条件决定。外表美观无缺陷铸管不但有良好抗蚀性、抗疲劳强度而且能满足进一步加工和使用要求。而对于用于给排水或者是输送天然气的球墨铸铁管来说，如果存在外表面缺陷会造成管壁局部变薄，在水压实验时发生漏水现象，对工程造成极大危害。如果出现水冷离心球墨铸铁管开裂，则不但影响其使用寿命以及内在质量，还会造成企业经济损失，在竞争激烈的市场环境下对球墨铸铁管厂家竞争力提升极为不利。所以重视离心机铸管外表面质量管控工作，是保证企业产品质量与市场竞争力所需，也是降低企业运营成本的有效方法。

2 外表面质量缺陷成因分析

离心机铸管外表面质量缺陷种类繁多，原因各异，与原材料、熔炼工艺、离心铸造相关参数、模具有关等均有关系。为进一步总结各种缺陷特点以及主要原因，将一般性缺陷总结如表 1 所示。

气孔是离心铸管外表面最常见的一种缺陷。从气孔产生的原因来看，离心铸造合金钢管用热模法制备，因为模具上无通气孔，若涂料发气量大，则气体不能及时由液体金属排出而残留在管壁上造成气孔，所以防止离心铸管表面出现气孔是离心铸管生产的一个重要问题。气孔主要是由于铁水中的溶解气体在凝固时析出造成的，在铁水中脱氧不足或者涂料发气量过大情况下，气体不能及时逸出而在铸件上形成气孔。裂纹也是离心铸管外表面的一大问题。其中又以横裂纹较多，而纵向裂纹是由于离心机使金属铸型处于高速旋转状态时，铸型会有一定振动，造成金属在凝固过程中出现裂纹，在此情况下铸件温度较高，强度较低。另外冷却速度不均、机械阻碍、铸造组织不均、流槽位置不当等也会引起裂纹。夹砂、夹渣缺陷与涂料质量及

铁液纯度有关。夹砂处可经 1mm 至 2mm 打磨去除，但影响铸皮质量，例如非加工钢管就会被废弃，此类缺陷常见于涂有涂料钢管中。

3 离心机铸管外表面质量缺陷改进措施研究

3.1 原材料质量控制优化

原材料的质量是保证铸管外表面质量的重要条件，在生产前要对炉料进行严格要求，不允许使用有油污、锈蚀或潮湿的炉料，因为它们会在熔炼时带来气体及夹杂物而造成气孔以及夹渣增多的情况发生。铁液包内壁也要经过充分烘干防止水汽与高温铁液接触而生成氢气的问题出现。为了降低铁水中硫含量，从而减少硫化物数量应该使 $w(S) < 0.02\%$ ，并且可以适当提高浇铸温度以便使夹渣上浮；同时对于球化剂来说其稀土元素添加量也不能过多，一般为 1~2% 即可；另外还要做好铁液的除渣工作以及挡渣操作；铁液中残留镁含量也应尽量少（一般不超过 0.035%~0.045%），以免造成铁液表面氧化问题发生。对于球墨铸铁管，还需要注意球化剂添加量，使残余镁量处于合理区间内，以免由于球化不良造成产品表面缺陷。

3.2 熔炼与浇注工艺优化措施

熔炼工艺对铁液纯净度以及浇注温度有重大影响。为了保证铁液纯净度，在铁液升温至 1450℃ 以上后使铁液内杂物充分上浮以达到提高纯净度的目的。另外，在浇注时要认真做好除渣工作，尽量避免熔渣进入型腔。在球墨铸铁管生产当中，在浇注时要及时清除中间包、扇形包内产生的二次夹渣并且要仔细清理流槽和落槽以防由于铁水冲击或者浇注时温差大造成材料掉落。浇注温度也是决定铸管外观的一个重要因素。温度过高会导致铁液吸气过多而形成较多气孔；温度过低会使铁液流动性变差从而导致充型不足等缺陷发生。

表 1 离心机铸管常见外表面质量缺陷类型及成因

缺陷类型	典型特征	主要成因
气孔	在钢管表面上有部分地方存在气孔，大小在 0.2mm~2mm 之间，深度在 0.5mm~2mm 之间，气孔的数量约在 2~12 个/cm ³ 且是成片出现	铁液含气量高、涂料发气量大、模具排气不良
裂纹	钢管裂纹有纵裂、横裂两种形式。纵裂纹主要是由于合金在凝固过程中转速过快，在离心机振动大情况下产生，而在生产中很少见到；而实际生产中横裂纹较多，裂纹一般靠近管子一端，裂纹有时贯穿整个管壁，严重时一根管子刚从模具中拉出即被撕裂	转速过高且振动过大、冷却速度不均、铸造组织不均匀
夹砂	在钢管表面上局部有一部分是粗糙麻面并且稍微隆起，粗糙麻面有明显的边缘，在较重的情况下形成环带状夹砂，去除粗糙的钢管表面就可以看到内部的薄涂料层也就是夹砂	涂料层脱落嵌入铸件表层、喷涂工艺不当
夹渣与渣痕	夹渣，有时管外表面无夹渣，在做水压试验时，在某一点出现少量滴漏现象，在割开后检查该位置管壁内有夹渣	铁液纯净度差、除渣不彻底、渣物随铁液进入型腔
表面针刺	针刺的直径是 0.5mm~1mm，高度是 2mm~3mm，一般每平方厘米约一根。这种情况一般在涂膜较厚的时候出现	涂料层过厚、涂层不均匀
充型不完整	在离心铸造钢管充型不足有两种情况：一种是外型缺浇，管子未达到足够长；另一种是管子壁厚不均匀	浇注速度不当、转速偏低、铁液流动性差

研究发现,在满足生产需求的前提下,将浇注温度控制在 $1360\sim 1380^{\circ}\text{C}$ 之间,可获得良好表面质量。在满足生产要求的基础上尽量提高浇注温度,使 $w(\text{C})>3.7\%$, $w(\text{Ti})<0.08\%$,对耐热钢管等特殊材料铸件利用 ProCAST 软件进行优化得到的最佳工艺参数是浇注温度为 1580°C 、浇注速度为 40kg/s 、铸型预热温度为 260°C 、铸型转速为 2000r/min ,得到铸管无缩松及裂缝。

3.3 离心机参数优化控制

离心铸造机的工艺参数对铸管成型有重大影响,其中最重要的是铸型转速,在立式离心铸造中,转速太慢会造成金属液充型不良,在卧式离心铸造中则会发生金属液雨淋现象,从而导致铸件内部存在气孔、夹渣以及铸件内表面凹凸不平等问题;而在转速过高的情况下,则容易造成铸件开裂、偏析等问题,对于砂型离心铸件而言,还会产生胀箱等问题,同时也会使设备发生严重抖动、磨损加剧、能耗增大等现象,因此,铸型转速应当尽可能小而满足所需产品质量要求。对于小直径马氏体不锈钢铸管生产,在浇注前使铸型喷涂涂料后马上用压缩空气或者氩气将铸型内腔水分吹干,适当提高铸型温度以及浇注温度可以防止出现气孔以及裂纹等缺陷,在水冷金属型离心铸造过程中要避免过高的浇注速度,合理控制翻包速度及主机行走速度;并且保证管模打点深度在 $0.25\sim 0.3\text{mm}$ 之间,直径是 $4\sim 5\text{mm}$,相邻两点距离在 $0.5\sim 0.7\text{mm}$ 之间。

3.4 模具维护与涂料改进措施

模具是铸管外表面成型的直接载体,其表面质量和涂料性能对铸管表面质量起着决定性的作用。模具要定期清除残留物以及氧化皮,检查内部是否有损伤或者龟裂等问题。保持内部表面打点凹坑无损伤或龟裂问题,否则会使涂料不能良好地附着在铸管上并造成脱模困难。而在冷模法离心铸造过程中,由于管模内部不断受到高温以及机械力的作用而使管模内部出现龟裂现象,尤其是在管模内部承口处更容易发生龟裂,这会造成铸管嵌入缝隙从而难以抽出,给生产带来不便。涂料的质量以及喷涂的方法是改善铸管外表面的关键因素。在离心铸钢管生产中,为了防止高温钢水对金属管模造成热冲击及热侵蚀而使铸钢管粘附在管模上,在金属管模内喷涂涂料。这样不仅可以提高管模寿命、控制铸钢管冷却速度,还可以影响铸管表面质量。涂料组成上采用不同尺寸的珍珠岩和硅藻土作为耐火骨料,加入钠基膨润土和/或锂基膨润土与羧基化累托石复合悬浮剂,同时加入空心微珠,再用常规粘结剂制备

了一种用于大口径球墨铸铁用水基离心铸造管模涂料,该涂料具有良好的悬浮稳定性、高温抗裂性,较低的发气率、渗入性和吸湿性。当水冷法管模涂料发气量 $\leq 5.5\text{mL/g}$ 时,铸管表面不会出现气孔问题,在喷涂过程中针对某种特定喷涂方法进行改进,将大口径球墨铸铁管模涂料喷涂到管模上,然后通过离心铸造成型得到的大口径球墨铸铁管表面无气孔、粘砂、缩孔等问题,外观良好。

3.5 冷却与后处理工艺优化

冷却工艺对于避免出现裂纹以及提高铸管外表质量十分重要。铸管脱模后要适当缓冷,以免由于冷却太快造成热应力引起的裂纹。有时为了避免铸件断裂,在脱模后马上将铸件放入保温炉或者埋在沙子里冷却。而有些不容易脱模而又需要缓冷以防开裂的铸件,在铸型停转之后迅速将带有铸件的铸型从离心铸造机上移开,在沙子里面慢慢冷却到常温后再脱模。合适的浇注温度以及机身冷却水进水与出水温度,减少两次浇注之间的时间间隔,保证机身冷却水进水温度维持在 $28\sim 36^{\circ}\text{C}$,出水温度保持在 $50\sim 57^{\circ}\text{C}$ 有利于使铸管凝固均匀。在浇注过程中,要及时修补损坏模具,防止产生夹砂、缩松、缩孔等问题;而退火后铸件有缺陷,则应立即修复,不能修复的球墨铸铁废品就应报废,以免不合格产品进入市场。退火也是非常重要的环节,适当退火温度以及足够保温时间能缓解铸造应力,提高铸管机械强度等。另外,为解决厚壁离心铸件由于双向凝固造成的皮下缩孔问题,在浇注时可将造渣剂与金属液同时倒入型腔内,使熔渣浮在铸件内部面上,防止其散热,从而实现从外到里顺序凝固,以消除皮下缩孔。

3.6 改进效果分析

采取以上措施后,对离心机铸管外表面起到很大作用,在实际生产中对于气孔效果最好,生产过程中发现,水冷离心球墨铸铁管外表面气孔明显减少,气孔废品所占比例由原来的 45% 降低到 10% ,裂纹发生率大大降低,通过对离心机转速以及浇注速度进行调整,避免了由于转速过高或振动造成纵向裂纹和横向裂纹的产生;改进涂料喷涂工艺使夹砂、针刺等现象明显减少,铸管外表面更光滑。采取这些方法后,球墨铸铁管质量得到很大提高,裂纹、重皮、夹渣等缺陷大大减少,降低了废品率,提高了综合成材率。从原材料控制上讲,对硫、稀土以及残镁进行有效管理,可以大大减少夹渣产生概率;在工艺参数调整上,合适的浇注温度和铸型转速可避免充型不足或者壁厚不一致问题出现,整体改进之后,铸管产量及质量都有所提

高,降低了企业生产成本,使企业在市场上更具优势。

4 结语

离心机铸管外表面质量缺陷是制约产品质量以及经济效益的重要因素,在此基础上对造成这些缺陷原因进行探讨,并提出相应对策。气孔、裂纹、夹砂、夹渣等缺陷主要是由于铁液不纯、浇注温度过高或者过低、转速过快或过慢、涂料性能不良等原因导致。降低浇注温度至 $1360\sim 1380^{\circ}\text{C}$,适当降低转速,使用优质水性涂料并注意涂敷方法(管模温度在 $200\sim 210^{\circ}\text{C}$ 之间,涂层厚度为 $1.2\sim 1.6\text{mm}$)可以有效减少上述缺陷发生率。改进效果验证表明,气孔废品率降低35%,铸管外表面质量有较大改善,综合成材率大幅度提高。未来工作可以继续研究数值模拟技术在离心铸造过程优化方面的应用,从而更好地对工艺参数进行调控以及缺陷进行预判,还可以开发更环保涂料及智能化喷涂设备等。

[参考文献]

[1]崔胜凯,冯永成,崔景永,等.水冷金属型离心球铁管铸造

缺陷的形成因素及防止措施[J].山东机械,2003,20(15):3-14.

[2]刘宇鹏,李青春,徐磊,等.超长耐热钢管离心铸造工艺模拟与优化[J].特种铸造及有色合金,2023,43(7):955-958.

[3]张应龙,等.小直径 CA-6NM 马氏体离心铸管的研制[J].钢管,2017,46(2):2-7.

[4]刘焕龙.离心铸钢管表面缺陷控制分析与实践[J].河南冶金,2021,15(6):66-68.

作者简介:范文龙(1997—),毕业于安阳学院计算机应用技术专业,助理工程师,当前就职于河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司,一线铸管工;郜礼涵(1991—),本科,毕业于兰州财经大学艺术设计专业,助理工程师,当前就职于河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司,一线铸管工;贾振华(1994—),本科,毕业于华北水利水电大学交通土建工程专业,助理工程师,当前就职于河南钢铁集团安钢永通球墨铸铁管有限责任公司,一线铸管工。