

风电机组球墨铸铁件缩松分析及预防措施

李肖霞,王京丽,杨扩岭

(山东中车风电有限公司,山东 济南 250022)

摘要:从铸件本身的结构、砂型的质量、浇注系统设计、熔炼和浇注温度五个角度分析了风电机组球墨铸铁件缩松缺陷的产生原因,并从化学成分控制、铸造工艺控制、冶炼工艺控制三个方面提出了预防措施,有效避免缩松缺陷的产生。

关键词:风电机组;球墨铸铁;缩松;原因分析;预防措施

中图分类号: TG255

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2021)07-0601-03

Analysis and Preventive Measures of Shrinkage Defects in Wind Turbine Castings of Spheroidal Graphite Iron

LI Xiaoxia, WANG Jingli, YANG Kuoling

(CRRC Wind Power (Shang Dong) Co., Ltd., Jinan 250022, China)

Abstract: The reasons of shrinkage and porosity in ductile iron of wind turbine were analyzed from five aspects: the structure of casting itself, the quality of sand mould, the design of gating system, melting and pouring temperature. The preventive measures from chemical composition control, casting process control and smelting process control were put forward. The results show that the shrinkage defects are effectively avoided.

Key words: wind turbine; spheroidal graphite iron casting; shrinkage defect; cause analysis; prevention and treatment

风力发电机组的运行环境较为恶劣,支撑类大部件要在风载、冲击、低温等工况下长期使用,因此需具备良好的力学性能、抗低温冲击能力、减震性好等优点。球墨铸铁属于高强度铸铁,有较高的强度和抗疲劳性能,有一定的塑韧性,并且具有良好的耐磨性和减震性,缺口敏感性较钢低,铸造工艺性好,因而在风电机组中得到了广泛应用,轮毂、主机架、轴承座、齿轮箱箱体等均采用球墨铸铁制造。

缩松是球墨铸铁件最常见的铸造缺陷,尤其是厚大类产品,也是一直困扰铸造厂家的难题。缩松常隐藏于铸件内部,呈分散和细小的形状,外观上不易被发现。缩松的主要危害使铸件的力学性能显著降低,抗拉强度降低约 60%,疲劳强度下降 40%~50%^[1-2]。因此,分析球墨铸铁件缩松产生的原因,并采取相应的措施,对于提高铸件质量,具有重要的意义。

1 铸件材质及技术要求

目前主机架、轮毂、轴承座等铸件材质均为

QT400-18AL-1,力学性能、金相组织的要求见表 1~3。超声波探伤需满足 EN12680 中 2 级,磁粉探伤需满足 EN1369 中 2 级要求。

2 球墨铸铁件缩松形成原因分析

球墨铸铁呈“糊状”凝固,与灰铸铁相比,共晶凝固时间长,共晶团数多,凝固膨胀压力大,这些凝固特点是产生缩松的根本原因^[3]。球墨铸铁件缩松的形成与铸件本身结构、砂型质量、浇注系统设计、熔炼化学成分、浇注温度等因素有关。

2.1 铸件本身的结构

风电机组铸件形状复杂、尺寸较大,壁厚从 60~120 mm,重量高达 30 t 以上,在壁厚较大处和不同壁厚过渡处易产生缩松^[4]。在铸造过程中,壁厚较大处,外表面冷却条件好,会优先凝固,形成一层硬壳,内部的金属液散热条件差,温度仍然很高,使液态收缩量加大,在壁厚部分热节处易产生缩松;另外,铸件截面厚度发生突变,孤立的后端面将得不到补缩,最后凝固的区域同样会产生缩松缺陷。

2.2 砂型的质量

砂型的耐火度不足、高温强度低、紧实率太低,都会导致其热变形量增大,在浇注压力、金属液静压力及石墨析出膨胀力的作用下,型腔体积变大,致使原来的金属液不够补缩而导致铸件产生缩松。另外,

收稿日期: 2021-04-27

作者简介: 李肖霞(1985—),女,山西朔州人,高级工程师。主要从事大型风电铸锻件的设计工作。电话: 18866419986

表 1 风电铸件力学性能要求

Tab.1 Mechanical property requirement of wind power casting

材料牌号	球墨铸铁件主要 壁厚 /mm	试块类型	抗拉强度 $\sigma_b/(N/mm^2) \geq$	屈服强度 $\sigma_{0.2}/(N/mm^2) \geq$	伸长率 $\delta(\%) \geq$	布氏硬度 (HB)
QT400-18AL-1	≤ 30	25 mm 附铸	400	240	18	130~180
	30~60(含)	40 mm 附铸	390	230	15	130~180
	60~200(含)	70 mm 附铸	370	220	12	130~180

表 2 风电铸件冲击功要求

Tab.2 Impact energy requirement of wind power casting

材料牌号	球墨铸铁件主 要壁厚 /mm	V 型缺口试样最低冲击吸收功 /J (-30±2)℃	
QT400-18AL-1	≤ 60	三次试验平均值	单个值
	60~200(含)	12	9
		10	7

如果砂型含水量较高,将使型壁表面的干燥层厚度减小和水分凝聚区的水分增加,从而使型壁的移动能力增加,导致缩松的产生^[5]。

2.3 浇注系统设计

当浇注系统设计不合理,不利于铸件顺序凝固时,产生缩松的倾向增大。若将内浇道开在铸件壁厚处,同时内浇道本身尺寸较厚大,浇筑后内浇道附近的金属液长时间不能凝固,在石墨析出膨胀力的作用下,铁液会倒流回直角道,从而使铸件产生缩松;冒口设置的位置、数量、尺寸若不合理,不能促使铸件顺序凝固,也会导致铸件产生缩松;如果在暗冒口顶部未设置出气冒口,或者冷铁使用不当,也会导致铸件产生缩松。

2.4 熔炼

金属液气体含量太高,在铸件冷却时以气泡的形式析出,临近的金属液无法向此处流动补缩,从而产生缩松。

金属液中碳含量对球铁的流动性、石墨的析出影响较大^[9]。在一定范围内,增加碳含量有利于增加铁液的流动性和石墨的球数,减小缩松的倾向;但当碳含量超过某一值时,反而会使金属液的流动性降低,缩松倾向增加。

金属液中磷或硫等杂质含量偏高时,也会造成缩松^[6]。磷是扩大凝固温度范围的元素,同时形成大量的低熔点磷共晶,降低铁液的补缩能力;硫是阻碍石墨化的元素,会降低铁液的流动性。

镁和稀土元素均是阻碍石墨化的元素,促进渗碳体的形成^[5],从而使凝固收缩增加,产生缩松。

球墨铸铁球化率要求大于 90%,在浇注前需用硅铁等孕育剂进行孕育处理。足够的孕育使石墨球数增加,球间距减小,碳的扩散距离变小,加速奥氏体向铁素体和石墨转化,使组织中铁素体含量增加,且球化率增加后,共晶团晶界面粗糙度降低,有

表 3 风电铸件金相组织要求

Tab.3 Metallographic structure requirement of wind power casting

材料牌号	球化率 (%)	铁素体 (%)	渗碳体 (%)	石墨大小	磷共晶 (%)
QT400-18AL-1	≥ 90	≥ 90	≤ 1	5 级及以上	≤ 1

利于补缩液体的流动,降低缩松的倾向^[3]。如果孕育不良,将导致铁液凝固时析出大量的渗碳体,使铁液凝固收缩增加,产生缩松。

2.5 浇注温度

浇注温度过低,冒口的补缩能力将降低,铸件易产生缩松;当冒口没有浇满或者没有使用金属液对明冒口进行补浇时,也会降低冒口的补缩能力,导致铸件产生缩松。浇注温度过高,金属液的收缩量增大,型壁的热负荷增加,从而引起型壁的移动^[9],型腔空间增大,致使铸件所需的补缩量增加,可能会产生缩松。

3 控制措施

3.1 化学成分控制

风电机组用球墨铸铁须严格控制化学成分,尤其是 C、Si、Mg、S、P 及稀土元素,须适当降低硅含量来保证低温冲击功的要求。对于主机架、轮毂等有 -30℃ 低温冲击功要求的部件,一般推荐选取 $w(\%)$ 为:3.75~3.95 C,1.8~2.3 Si,0.1~0.3 Mn, $\leq 0.04P$, $\leq 0.015 S$,0.035~0.06 Mg,0.005~0.015 RE。

3.2 铸造工艺控制

为保证砂型有足够的强度且获得较好的铸件表面,选用呋喃树脂砂造型,造造型时需捣实,保证砂型致密紧实,且在浇注前烘干。

在设计浇注系统时,合理选择分型面,避免在铸件的重要部位分型,合理设计浇道、冒口,在壁厚厚大部位、壁厚过渡较大处放置冷铁,以增加铁液的补缩能力、实现铸件的顺序凝固。浇注系统设计后,使用 Procast 等软件进行铸造工艺模拟分析。

3.3 熔炼工艺控制

采用中频感应电炉冶炼,使用炉前光谱仪实时检测铁液气体含量、化学成分并及时进行调整;合理

的油淬后,组织为细小板条马氏体;随淬火温度升高和保温时间延长,马氏体逐渐粗化、间距增大。

(2)Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的最佳淬火工艺为 860 °C ×30 min 后油淬,此时钢的硬度最高,为 44.8 HRC;随淬火温度升高和保温时间延长,钢的硬度值逐渐下降。

参考文献:

- [1] 龚俊,张航.高锰钢辙叉在机械冲击下的预硬化特性[J].兰州理工大学学报,2019,45(1):6-10.
- [2] 张玲芬.工艺参数对耐磨钢冷轧应力特性的影响[J].机电工程技术,2020,49(4):65-66.
- [3] 董娜,徐永新,杨晓.淬火温度对工程机械用低合金耐磨钢组织与力学性能的影响[J].热加工工艺,2020,49(22):123-125.
- [4] 宋欣,杨海峰,王川,等. C-Mn-Cr-B 系低合金耐磨钢组织性能的研究[J].轧钢,2020,37(2):26-33.
- [5] 马焕楠,米国发,许磊,等.中碳 Cr-Mn-Si 低合金耐磨铸钢热处理的研究[J].材料导报,2015,29(S1):393-396.
- [6] 韩斌,张绪平,林波. H400 和 NM400 低合金钢耐磨性能研究[J].铸造技术,2019,40(11):1153-1155.
- [7] 周明星,周世明,张万顺,等.奥氏体化温度对无碳化物高强贝氏体钢相变组织和性能的影响[J].热加工工艺,2020,49(4):122-125.
- [8] 王定祥,王世伟.耐磨合金钢的回火脆性、变质处理及组织遗传性[J].铸造技术,2020,41(4):370-374.
- [9] 杨雄,余伟,唐荻,等.淬火终冷温度对 DQ 钢组织和力学性能的影响[J].热加工工艺,2019,48(20):125-129.
- [10] DENG X T, WANG Z D, HAN Y, et al. Microstructure and abrasive wear behavior of medium carbon low alloy martensitic abrasion resistant steel [J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2014, 21(1): 98-103.
- [11] ZHOU WENQIAN. Effect of quenching and partitioning process to low-alloy wear resistant steel [J]. Journal of Materials Research, 2016, 31(5): 663-669.

(上接第 602 页)

控制孕育过程,采取炉前孕育和瞬时孕育相结合的方式^[7];严格控制铁液的出炉温度和浇注温度,出炉温度控制在 1450 ± 10 °C,浇注温度控制在 1350 ± 10 °C。

4 结语

随着风电机组兆瓦等级的增加,球墨铸铁件趋向于大型化、复杂化,对铸造工艺提出了新的挑战,需要我们不断深入研究探讨铸造缺陷产生的原因,提出解决措施,从源头上避免缺陷,提高铸件合格率。

参考文献:

- [1] 赵伟华,周泽华. QT400-18L 铸件的缩松缺陷对其力学性能的影响[J].理化检验-物理分册,2011(47):546-549.
- [2] 俞旭如.大型风力发电机组用风电铸件国家标准的制定和制造技术[C]//大型铸铁件铸造生产技术研讨会论文集.宁波:2009.
- [3] 郑洪亮,田卫星.球墨铸铁缩松形成机理研究的现状[J].铸造,2005,154(11):1063-1066.
- [4] 胡鹏,杨兆忠.风电机组球墨铸铁件缩松缺陷分析与改进方法[J].铸造技术,2026,37(3):585-590.
- [5] 王智平,徐建林.造成球铁件缩孔缩松缺陷因素的研究[J].铸造技术,2002,23(5):298-300.
- [6] 冯淑花,孟庆丰.球墨铸铁缩孔、缩松形成机理的探讨与预防[J].铸造技术,2015,36(8):2153-2155.
- [7] 王恩建.大型风力发电机组用铸件的铸造缺陷及其控制[J].铸造技术,2016,37(2):402-404.

技术资料邮购

《铸造抗磨产品实用生产技术集》

《铸造抗磨产品实用生产技术集》本书由李德臣教授级高工编著。共8章: 1 关于锰钢生产技术; 2 球墨铸铁与蠕墨铸铁生产技术; 3 抗磨产品生产技术; 4 锤头生产技术; 5 消失模、V法生产技术; 6 典型铸件的生产技术; 7 还原罐生产技术; 8 关于企业管理。全书22万字。特快专递邮购价: 98元。

邮购咨询: 李巧凤

电话/传真: 029-83222071