

Z字形厚大断面球墨铸铁平台的生产实践

沈 闯, 刁晓刚, 于志斌, 何伟鑫, 范 轲, 李 强

(中信重工洛阳重铸铁业有限责任公司, 河南洛阳 471039)

摘要: 重100 t、最大壁厚 > 165 mm的Z字形球墨铸铁平台结构复杂、技术指标要求高, 铸造难度大。通过合理设计铸件生产工艺, 利用模拟软件进行铸造工艺模拟, 合理使用冷铁和保温冒口, 选用优质原辅材料、喂线法球化处理和适度强化孕育处理, 获得了质量合格的Z字形球墨铸铁平台铸件。铸件检测结果表明: 各项力学性能均达到了QT400-18AR材料标准要求, 铸件质量满足无损检测技术要求。

关键词: 厚大断面; 球墨铸铁; Z字形; 平台; 生产实践

随着装备制造业朝着大型化、重型化方向发展, 厚大断面球墨铸铁件的开发和应用越来越受到关注。目前, 厚大断面球墨铸铁件已广泛地应用于矿山、电力、冶金、机床等领域, 如大型磨机磨盘、大型汽轮机缸体、大型注塑机模板^[1-3]等。厚大断面球墨铸铁件多是大型装备的基础部件, 其结构复杂、技术指标要求高, 多为单件、小批量生产, 生产制造工艺复杂、周期长, 因此其生产的全过程都需要充分规划、严格控制。装备制造业的快速发展, 对平台等支撑类铸件提出了更高的要求。

受制造工艺、吊运等诸多因素限制, 大型平台通常由多段组合而成。我公司生产的Z字形厚大断面球墨铸铁平台(铸件轮廓见图1)为我国某重型装备配套产品, 单件重量100 t, 主体壁厚100~130 mm, 最大壁厚 > 165 mm, 属于高难度的厚大断面球墨铸铁件。由于内部结构较复杂, 加强筋较多而不利于铸件补缩, 增大了铸件的铸造难度。厚大断面球墨铸铁由于冷却速度缓慢, 凝固时间长, 铸件的热节区域或中心部位常出现石墨畸变、晶粒粗大、成分偏析、晶间碳化物等缺陷, 造成球化衰退, 铸件综合力学性能降低。

该平台材质QT400-18AR, 各项性能指标要求极为严格。铸件加工面要求100%超声波探伤检测, 依据EN12680-3验收, 达到3级; 同时铸件加工面要求100%磁粉探伤检测, 依据EN1369验收, 达到3级; 铸件性能依据GB/T 1348—2009进行验收。

1 铸造工艺设计及优化

Z字形球墨铸铁平台采用地坑组芯、三箱造型。上箱为盖箱, 平台主体部分、冒口、浇注系统置于中箱, 凸台部分置于下箱。中箱由型芯拼合而成, 在平台关键区域背面设置适量补正量。摆放型芯前, 用水平仪校验下箱的平整度。

铸型、型芯材料采用呋喃树脂砂, 造型时保证型砂强度及紧实度、砂箱刚度足够。涂料使用醇基涂料。

浇注系统采用底注开放式。为了快速充型, 采用双直浇道浇注。两个直浇道分别置于铸件两侧, 斜对角摆放。平台两侧面各设置1道L形横浇道, 每道L形横浇道连通1个直浇道。内浇道、横浇道、直浇道的浇口比为 $\sum A_{内} : \sum A_{横} : \sum A_{直} = 2.53 : 1.22 : 1$ 。浇注系统由陶瓷管拼接而成, 同时在内浇道前端设置挡渣装置, 一方面保证铁液充型平稳, 避免紊流, 减少氧化夹渣; 另一方面降低铁液与砂型的接触, 防止冲砂。

作者简介:

沈 闯(1982-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事大型铸铁件的铸造工艺设计及研究工作。E-mail: shenchuang07@163.com

中图分类号: TG143.5

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2019)05-0488-04

收稿日期:

2018-12-20 收到初稿,
2019-01-27 收到修订稿。

选用保温冒口，置于铸件顶部。铁液的凝固时间应控制在2 h以内^[4]。当前使用各种型砂都难以满足厚大断面球铁铸件快速冷却的要求，借助冷铁强制冷却，可平衡铸件壁厚差，消除因壁厚不均带来的不良热节效应，同时充分发挥石墨化膨胀引起的自补缩效应，使铸件实现顺序凝固，以便夹渣、缩孔、缩松等缺陷集中于冒口，保证铸件组织致密。

计算机数值模拟，可以在实际生产之前有效优化铸造工艺，缩短铸件试制周期，保证铸造一次成功^[5]。图2为铸件凝固过程中形成的缩孔缩松图。从图2中可以看出缩孔缩松主要集中于保温冒口内部。而在实际生产中，浇注系统对铸件也有着直接的补缩作用，因此生产中基本上可以避免缩孔缩松缺陷的出现，故认为该工艺方案是可行的。

2 化学成分设计

碳含量高，析出的石墨球数量多，可以减小缩孔缩松，铸件致密度高。碳含量过高，降低缩松的作用不明显^[6]。提高碳当量可增强球墨铸铁的流动性，改善铸件的铸造性能。碳当量过高，铸件易出现石墨漂浮^[7]。适当提高碳当量可显著降低铸态球墨铸铁的残余应力，一般选CE4.4%~4.6%^[8]。

硅促进石墨化，孕育处理中增加硅作用更显著。

硅可以固溶强化铁素体基体，同时提高球墨铸铁的脆性-韧性转变温度，降低塑性指标。

锰是碳化物形成元素，促进白口形成。Roula A等人研究发现，锰是一种反球化元素，会降低石墨的形状系数^[9]，使石墨球形变差。此外，锰极易偏析，以碳化物形式富集于晶界，降低塑性。

硫是反石墨球化元素。适宜的硫含量是获得石墨球数多、球形好及组织致密铸件的重要前提。硫含量过高，消耗掉大量球化元素而导致球化不良，同时增加夹杂物的生成量。

磷有微弱的石墨化作用，却是有害元素。磷含量超过一定值，极易以多角状磷共晶偏析于晶界，降低伸长率；随铸件壁厚增加，偏析加剧。磷能显著提高球墨铸铁的脆性转变温度。磷含量高，铸件易出现缩松及冷裂现象。

镁是球墨铸铁中主要的球化元素。镁含量过高，厚大断面球墨铸铁中出现畸变石墨的倾向增大^[10]。

稀土主要起脱硫、去氧、中和有害元素的作用。适量稀土可增加石墨球数、改善铁液抗衰退能力。过多稀土会恶化石墨形态，增加碎块状石墨出现的机率^[11]。

综合考虑铸件壁厚及结构等因素，Z字形平台铸件的化学成分见表1。

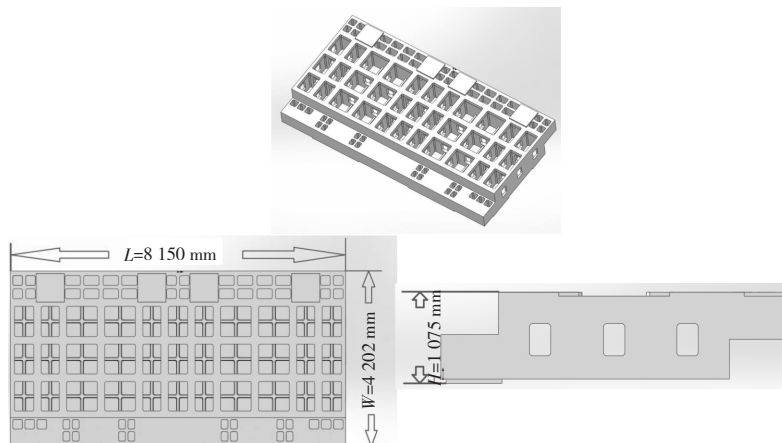


图1 Z字形平台铸件三维图

Fig. 1 3D drawing of Z shape platform casting

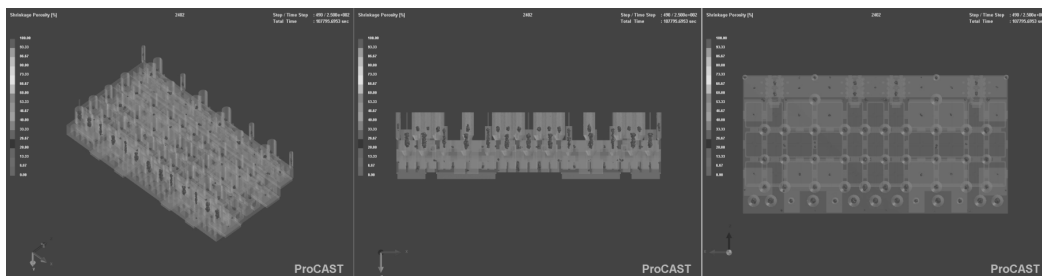


图2 铸件凝固模拟缩孔缩松分布图

Fig. 2 The simulation shrinkage and dispersed shrinkage distribution of solidification process

3 球化处理

生铁选用低硫、低磷、低干扰元素的优质高纯生铁，占总炉料的80%，所有微量元素之和不大于0.1%。废钢选用成分稳定的低锰碳素废钢，同时保证清洁少锈、无油污。增碳剂选用低硫增碳剂。

采用多个中频无芯感应电炉熔炼铁液，炉内温度升至1 500~1 530 ℃，保温5~10 min；调整化学成分合格后在炉中自然降温，温度控制在1 420~1 460 ℃扒渣出炉。

球化处理采用喂线法，同时进行孕育处理，处理温度1 360~1 390 ℃。球化包芯线选用高镁型球化线。孕育包芯线选用硅铁合金型孕育线。通常认为强化孕育可改善普通球墨铸铁的品质。但多级大剂量孕育不仅不能消除碎块状石墨，反而有助于其形成^[4, 12]。近年来孕育处理的发展方向是减少孕育量、减少孕育次数，孕育时间尽量短。孕育方法则应以最临近浇注为原则，采用型内孕育、浇口杯孕育、喂线孕育及随流孕育的效果最好^[13-14]。

浇注温度1 330~1 360 ℃。采用多节点复合强化孕

育处理工艺。出炉前预先在包内放入块度合适、粒度均匀的硅钡块。喂线球化处理时同步进行孕育处理。浇注时，预先在浇口箱内放置经过烘烤的足量、块度均匀的硅铁孕育块。球化后尽可能降低高温铁液的静置时间，减少与大气的接触，降低氧化渣生成量。图3为熔炼浇注现场。

通过延长铸件落砂前的保温时间，延缓其在砂型内的冷却速度，可达到时效退火的目的^[15]。因此打箱温度选择在300 ℃以下。

4 铸件组织及力学性能

从铸件附铸试样上取样，进行金相组织分析和力学性能测试。附铸试样球化率达到90%以上，石墨大小5~6级，基体为铁素体（图4）。附铸试样力学性能完全满足技术要求（表2）。

铸件依据EN12680-3和EN1369标准进行超声波探伤及磁粉探伤，铸件质量完全符合Z字形平台铸件的技术指标要求。图5为铸件成品。

表1 Z字形平台铸件的化学成分控制范围

Table 1 Chemical composition of Z shape platform casting

C	Si	Mn	S	P	Mg	RE	$w_B / \%$
3.4~3.8	2.0~2.4	≤0.3	≤0.02	≤0.05	0.04~0.06	0.01~0.03	



(a) 球化

(b) 浇注

图3 Z字形平台铸件熔炼浇注现场图片

Fig. 3 Melting and pouring of Z shape platform casting

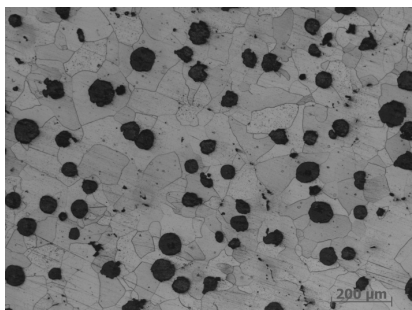


图4 Z字形平台铸件金相组织

Fig. 4 Microstructure of Z shape platform casting



图5 Z字形平台铸件图片

Fig. 5 Z shape platform casting

表2 Z字形平台铸件的力学性能
Table 2 Mechanical properties of Z shape platform casting

项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	最小冲击功/J (室温)
要求值	≥370	≥240	> 12	12
实测值	385	262	25	15.8

注：所有数据均为3个试样的平均值。

5 结语

通过地坑组芯造型、喂线法球化处理、复合强化孕育处理，获得了各项技术指标优异的Z字形球墨铸铁平台铸件，积累了丰富的组合式平台生产经验，为今后研制复杂支撑类铸件打下了坚实的基础。

参考文献：

- [1] 尤明. 喂线法球化处理大型球墨铸铁磨盘铸件 [J]. 铸造, 2014, 63 (5): 504-506.
- [2] 王强, 吴铁明, 蒋毓良. 1 000 MW二次再热汽轮机特大型球墨铸铁件中压外缸的铸造 [J]. 铸造, 2016, 65 (5): 424-427.
- [3] 宋贤发, 贾志欣, 傅明康, 等. 百吨级注塑机模板球墨铸铁件的生产 [J]. 铸造, 2014, 63 (8): 819-823.
- [4] 孙文山, 梁委中, 刘军, 等. 大型厚壁球铁件生产现状及展望 [J]. 现代铸铁, 1999 (3): 5-11.
- [5] 陈维平, 柳哲, 邓宇, 等. 厚大断面球墨铸铁件凝固过程物理模拟装置的研制 [J]. 铸造, 2011, 60 (8): 775-778.
- [6] 中国机械工程学会铸造专业学会. 铸造手册: 第一卷 铸铁 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [7] 傅明康, 宋贤发, 陈倩慧, 等. 大型风力发电机组中箱体铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2017, 66 (1): 16-19.
- [8] 卫东海, 李克锐, 吴现龙, 等. 降低铸件残余应力的工艺研究 [J]. 现代铸铁, 2015 (5): 62-69.
- [9] ROULA A, KOSNIKOV G A. Manganese distribution and effect on graphite shape in advanced cast irons [J]. Materials Letters, 2008, 62 (23): 3796-3799.
- [10] 黎振华. 厚大断面球墨铸铁件凝固过程热模拟与石墨畸变预测研究 [D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [11] 杨志超. 铸态厚大断面珠光体球墨铸铁组织与性能研究 [D]. 湖南: 湖南大学, 2012.
- [12] 段汉桥, 韦世鹤, 肖理明, 等. 厚大断面球铁中的几个主要问题 [J]. 中国铸造装备与技术, 2001 (3): 7-12.
- [13] 李小娟, 时胜利, 付永晟, 等. 大断面球墨铸铁件的质量控制措施 [J]. 铸造技术, 2007, 28 (10): 1383-1385.
- [14] 陈维平, 柳哲, 邓宇. 大断面球墨铸铁件的应用与研究进展 [J]. 铸造, 2011, 60 (10): 967-971.
- [15] 韩国大, 吴景欣. 铸件在树脂砂型中的保温时效 [J]. 中国铸造装备与技术, 2008 (1): 42-43.

Production Practice of Z Shape Heavy Section Ductile Iron Platform

SHEN Chuang, DIAO Xiao-gang, YU Zhi-bin, HE Wei-xin, FAN Ke, LI Qiang
(CITIC HIC Heavy Cast-Iron Metal Foundry Co., Ltd., Luoyang 471039, Henan, China)

Abstract:

Z shape ductile iron platform weights 100 t with a maximum wall thickness more than 165 mm. Due to its complex structure, heavy section and high technical requirements, it was very difficult to produce the casting. Through designing the casting process with the help of the ProCAST simulation software, and using reasonably chill and insulating riser, adopting high quality raw materials, wire feeding nodulizing and multiple inoculation treatment, the Z shape ductile iron platform casting was produced successfully. The results of casting inspection show that all mechanical properties meet the requirements of QT400-18AR nodular iron, and the non-destructive testing results is fully in conformity with the quality requirements of the castings..

Key words:

heavy section; ductile iron; Z shape; platform; production practice