

# 大型球墨铸铁平台的生产实践

沈 闯, 刁晓刚, 王臆皓, 俞志明, 穆广录, 魏 伟

(中信重工洛阳重铸铁业有限责任公司, 河南洛阳 471039)

**摘要:** 介绍了喂线法生产110 t的大型球墨铸铁平台的生产实践。铸件采用地坑组芯造型、底注开放式浇注系统、喂线法球化处理、多次孕育处理等工艺。结果表明, 该生产工艺可行, 铸件的力学性能和无损探伤结果均满足合同规定要求。

**关键词:** 喂线法球化处理; 厚大断面; 球墨铸铁

大型平台是大型、重型装备的基础零件, 既是大型、重型装备的安装基础, 又是大型、重型装备运行的几何基准, 其整体质量对整机的安全、高效、稳定运行有决定性的影响。目前, 电力、航空航天、军工等行业对大型、重型装备的要求越来越高, 所以大型平台的制造已成为大型、重型装备重要基础研发方向之一。

## 1 铸件简介

我公司生产的大型球墨铸铁平台为国内某重点装备的配套产品。大型球墨铸铁平台轮廓见图1, 材质为QT400-18AR, 单件重110 t。平台最小壁厚70 mm, 最大壁厚160 mm, 内部筋板厚度50~60 mm。平台整体结构对称, 但壁厚不均匀, 且内部结构较复杂, 属于生产难度较大的厚大断面球墨铸铁件。厚大断面球墨铸铁件通常由于冷却缓慢, 热节部分或中心部位常出现石墨球畸变、球化衰退、元素偏析等缺陷, 导致铸件力学性能下降, 塑性下降尤为明显。

平台要求组织致密, 不能有缩孔、缩松、裂纹等缺陷。力学性能要求抗拉强度 $\geq 370$  MPa, 屈服强度 $\geq 240$  MPa, 布氏硬度HBW 120~175, 伸长率 $\geq 12\%$ , 室温冲击功 $> 12$  J。该铸件加工面要求100%超声波探伤, 按EN12680-3验收, 达到3级要求。该铸件加工面及其他特定区域要求100%磁粉探伤, 按EN1369验收, 达到3级要求。铸件要求球化率不低于80%。

## 2 铸造工艺设计及优化

铸件采用地坑组芯方式三箱造型。平台壁厚较大, 重要的加工平面朝下, 在此基础上制定工艺方案。由于砂芯较多, 为了保证铸件壁厚, 在铸件关键加工面的背面设置合适的工艺补正量。

型砂采用酚醛改性呋喃树脂自硬砂。涂料使用醇基涂料, 涂料层厚度依据铸件不同区域壁厚而调整。涂刷后砂型及砂芯表面涂料层应厚度均匀, 无堆积、流挂等现象。

由于铸件轮廓尺寸大, 铁液流程长。为提高铁液充型速度, 浇注系统设计为底注开放式,  $\Sigma A_{内} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{直} = 4.1 : 2.3 : 1$ 。在铸件两侧设置独立的横浇道、四周设置分散的内浇道, 快速充型的同时有利于铁液平稳流动, 削弱铁液成分及温度的波动, 保证铸件微观组织的均匀性。铁液自下而上进入型腔, 降低铁液对砂型及砂芯的冲击力。浇注系统采用陶瓷管拼接而成, 同时使用挡渣装置, 过滤掉大部分氧化渣, 以避免紊流的出现。

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: TG242.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2019)04-0404-04

收稿日期:

2018-11-07 收到初稿,  
2018-12-20 收到修订稿。

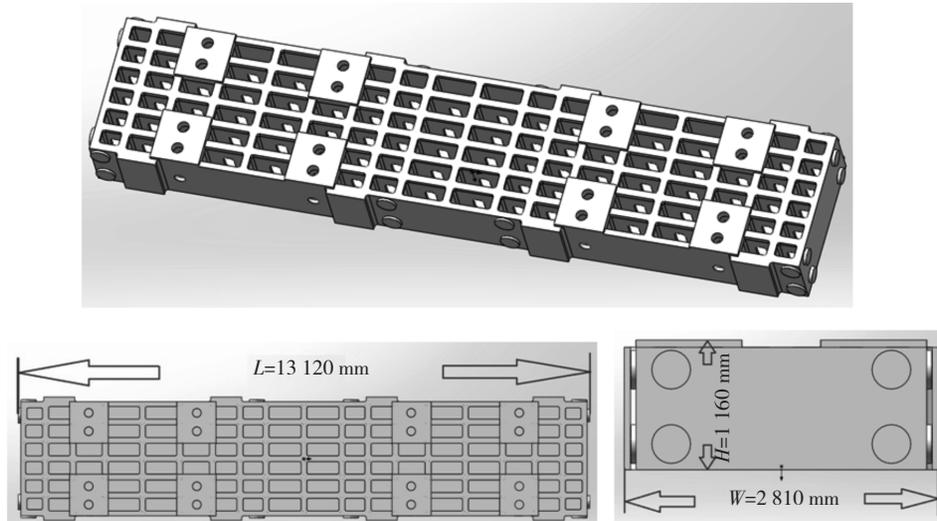


图1 平台铸件三维图

Fig. 1 3D drawing of the platform casting

在铸件的厚大断面区域设置数量充足、厚度足够的冷铁,以改善铸件局部散热条件,提高铸件凝固质量。在平台顶部设置足量的保温冒口,加强对铸件补缩。同时依据铸件结构设置补贴,拓宽冒口对平台本体的补缩通道,并在上箱设置足量的出气孔。

为降低铸件研发成本,缩短铸件试制周期<sup>[1-3]</sup>,应用有限元软件ProCAST对铸造工艺进行数值模拟,以定量分析铸造缺陷产生的趋势,在实际生产前对铸造工艺进行优化设计。图2为铸件凝固过程中形成的缩孔缩松分布图。从图2中可以看出,缩孔主要集中于保温冒口内部。而在实际生产中,分散的内浇道可以对铸件进行有效补缩,因此该铸件在实际生产中基本上不会出现缩孔缩松缺陷。故认为该工艺方案总体上是合理可行的。

### 3 化学成分设计

碳当量过低,铁液流动性降低,不利于石墨析出和铸件的自补缩。碳当量过高,铸件易出现石墨漂浮现象<sup>[4]</sup>。碳含量高,可以增加石墨球数量,降低白口倾向,还可减小残余应力,有利于防止铸件变形及开裂<sup>[5]</sup>。本平台铸件控制碳含量范围在3.5%~3.9%。

硅可促进石墨化,强化铁素体,同时提升球墨铸铁的脆性转变温度<sup>[6]</sup>。本平台铸件控制硅在2.0%~2.3%。

锰促进碳化物的形成。少量锰可以作为合金元素而强化基体,但对冲击韧度和脆性转变温度有不利的影响。此外,锰易偏析,过量的锰易形成网状碳化物,分布于共晶团边界,降低铸件力学性能<sup>[7]</sup>。

硫是反石墨球化元素。加入的硫含量太高,消耗的球化元素就多,造成球化不良<sup>[7]</sup>。为获得球化良好、组织致密的铸件,原铁液的硫含量控制在 $\leq 0.02\%$ 最佳。

磷一般随炉料进入铁液。磷不影响球化,却是有

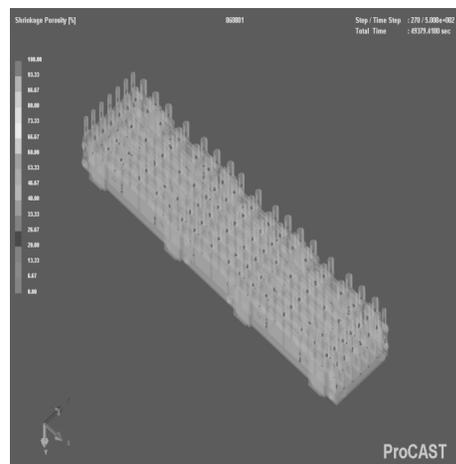


图2 铸件缩孔缩松分布图

Fig. 2 Simulation result of shrinkage porosity

害元素。当磷含量超过一定值,易形成磷共晶偏析于共晶团边界,恶化铸件力学性能。随铸件壁厚增加,磷的偏析倾向加剧。此外,磷含量高,铸件易出现冷裂现象,同时加剧铸件形成缩孔、缩松等缺陷的倾向<sup>[8]</sup>。为此,磷应控制在 $\leq 0.04\%$ 为宜。

球墨铸铁中含有适量的残留镁和稀土才能获得理想的球化效果<sup>[9]</sup>。残留镁量过低,石墨球圆整度变差。残留镁量过高,铁液形成缩松的倾向增大、夹渣增多。稀土是反石墨化元素。稀土可以脱氧、去硫,净化铁液。残留稀土过高,会出现碎块状石墨、提高铁液过冷倾向,从而降低铸件力学性能。

平台铸件的化学成分见表1。

### 4 熔炼浇注

合格的铁液是生产高质量球铁件的首要环节,因

此必须严格控制整个熔炼浇注过程。

#### 4.1 熔炼

生铁选用低硅、低锰、低硫的优质生铁，占总炉料的80%。废钢选用来源稳定、成分种类单一的碳素废钢，占总炉料的20%。增碳剂选用低硫增碳剂。

熔炼在中频感应炉中进行。铁液熔清后，扒渣、微调成分之后升温至1 500~1 530 ℃保温5~10 min，以消除原料遗传性的影响。在适宜的温度范围内合炉，然后在炉中自然降温，扒渣出炉、合包。出炉温度控制在1 420~1 460℃左右。出炉前，在包内放入块度合适的硅钡，并尽可能缩短铁液在包内的停留时间。

#### 4.2 喂线法球化及孕育处理

喂线法球化处理是一种新型球化处理方法，在球墨铸铁生产中获得了广泛应用<sup>[10]</sup>。相对于冲入法球化处理，喂线法球化处理具有一系列优点<sup>[11]</sup>：改善现场工作环境；合金加入量少，降低生产成本；自动化作业，降低工人劳动强度；可稳定控制残镁量；温度损失小；元素烧损率低、渣量少，球化质量稳定。

要求多包铁液同时处理，尽可能地缩小不同浇包间铁液的温度差。球化包芯线选用直径13 mm的高镁型球化线。孕育包芯线选用直径13 mm的硅铁合金孕育线。球化处理后铁液表面覆盖适量草木灰以集渣、保温，随后扒渣。

厚大球墨铸铁件由于铁液量大，孕育衰退是普遍存在的问题，解决此类问题的关键是选择合适的孕育处理方法<sup>[12]</sup>。平台生产采用复合强化孕育处理工艺。多次孕育尤其后期孕育，可以明显改善铸件抗孕育衰退能力<sup>[13]</sup>。

#### 4.3 浇注

浇口箱选用堤坝式浇口箱，一方面搅拌铁液以便于铁液内部的浮渣充分上浮，另一方面可以过滤掉大部分氧化渣。在浇口箱内预先放置经过烘烤的足量、块度合适的硅铁孕育块，以便延缓衰退时间。从球化结束至浇包最终处于待浇注状态的时间间隔应尽可能地缩短，总时间控制在25 min以内。

浇注温度过高，易出现缩孔、缩松、粘砂等缺陷<sup>[14]</sup>。浇注温度过低，铁液流程长，流动性变差，易出现浇不足、冷隔等缺陷。浇注温度控制在1 330~1 360℃之间。浇注时，要确保浇口箱始终被铁液充满，便于浮渣上浮至铁液表面而避免冲入型腔。浇注过程中坚持“慢-快-慢”的原则，尽可能降低高温铁液与大气的接触时间，降低氧化渣生成量。浇注末期要对浇口箱补交多次，抵消平台的液态补缩量，防止铸件出现缩孔及缩松等缺陷。

## 5 铸件检测结果

铸件自然冷却至300 ℃以下打箱，可有效降低铸件的铸造应力<sup>[15]</sup>。从平台铸件选取附铸试样，进行力学性能测试和组织分析。结果显示，附铸试块力学性能完全满足技术要求，见表2，所有数据均为3个试样的平均值。附铸试块球化率达到90%以上，石墨大小6~7级，基体为铁素体，微观组织见图3。

铸件依据EN12680-3和EN1369标准进行超声波探伤及磁粉探伤，铸件质量完全满足合同规定要求。图4为铸件毛坯。

表1 平台铸件的化学成分要求  
Table 1 Chemical composition requirements of platform casting

platform casting							$w_B / \%$
C	Si	Mn	S	P	Mg	RE	
3.5~3.9	2.0~2.3	≤0.3	≤0.02	≤0.04	0.04~0.06	0.01~0.03	

表2 平台铸件的力学性能  
Table 2 Mechanical properties of 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	271	25	18.9

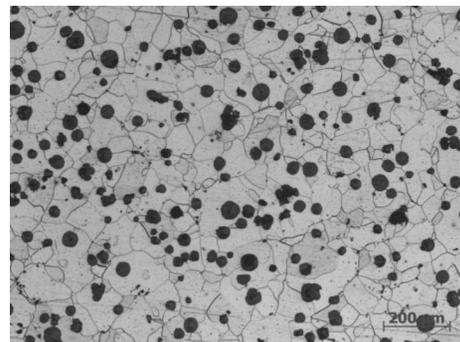


图3 平台铸件金相组织  
Fig. 3 Microstructure of platform casting



图4 平台铸件毛坯  
Fig. 4 Platform casting blank

## 6 结束语

生产的大型球墨铸铁平台铸件采用地坑组芯造型, 经济实用、操作安全性高。底注开放式浇注系统, 使铁液从铸件四周分散引入, 平台两侧各设置独立的浇注系统, 快速充型的同时有利于铁液平稳流动, 同时降低铁液对砂型及砂芯的冲击力。喂线法球

化处理工艺操作方便、可稳定控制残镁量、温度损失小、元素烧损率低、渣量少, 球化质量好, 球化效果稳定。选用堤坝式浇口箱, 一方面搅拌铁液以便于铁液内部的浮渣上浮, 另一方面可以过滤掉大部分氧化渣。采用复合强化孕育处理工艺, 有利于获得良好的微观组织, 提升铸件的力学性能。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] UDAY A D, RAHUL C B. Casting defect analysis using design of experiments (DoE) and computer aided casting simulation technique [J]. Procedia CIRP, 2013, 7: 616-621.
- [3] JOHNSON Santhosh I A, LAKSHMANAN A R. Investigation of ductile iron casting process parameters using taguchi approach and response surface methodology [J]. China Foundry, 2016, 13 (5): 352-360.
- [4] 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, 24.
- [5] 卫东海, 李克锐, 吴现龙, 等. 碳当量对铸态高强度球墨铸铁残余应力的影响 [J]. 铸造, 2014, 63 (4): 312-316.
- [6] MADTHA L S, NARENDRA B B R. Experimental behavioural study of ductile cast iron microstructure and its mechanical properties [J]. International Journal of Engineering Research and Applications, 2013, 3 (3): 1470-1475.
- [7] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册第一卷: 铸铁 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [8] 孙公军, 秦大鹏, 张琛. 6兆瓦级风力发电机主机架的铸造工艺 [J]. 铸造, 2013, 62 (9): 827-830.
- [9] 吴德海. 球墨铸铁 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [10] 刘睦坤, 张丽萍, 吴荷生, 等. 喂线法球化工艺生产4G6凸轮轴 [J]. 铸造, 2006, 55 (4): 401-404.
- [11] 马寒坤, 潘金坤, 郭文申, 等. 喂线法处理工艺在球墨铸铁生产中的应用 [J]. 金属加工 (热加工), 2015 (1): 60-62.
- [12] BAHUBALI B S, VASUDEV D S. The effect of inoculation on microstructure and mechanical properties of ductile iron [J]. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 2013, 5 (6): 17-23.
- [13] JEZIERSKI J, BARTOCHA D. Properties of cast iron modifying with use of new inoculants [J]. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2007, 22 (1): 25-28.
- [14] 陈国桢, 肖柯则, 姜不居. 铸件缺陷和对策手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [15] 卫东海, 李增利, 李克锐, 等. 高刚度低应力床身的生产方法及精度研究 [J]. 现代铸铁, 2016 (3): 37-42.

## Production Practice of Large Ductile Iron Platform

SHEN Chuang, DIAO Xiao-gang, WANG Yi-hao, YU Zhi-ming, MU Guang-lu, WEI Wei  
(CITIC HIC Heavy Cast-Iron Metal Foundry Co., Ltd., Luoyang 471039, Henan, China)

### Abstract:

This paper introduces the production practice of large ductile iron platform casting with a weight of 110 t produced by wire feeding method. The bottom gating-unchoked runner system and core assembly molding in the pit was used for producing the ductile iron platform casting. Iron liquid was treated using wire feeding spheroidization method and multiple inoculation method. The results show that the production process is feasible; the mechanical properties and NDT results of the platform casting produced can meet technical specifications.

### Key words:

wire feeding spheroidization treatment; heavy section; ductile iron