DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.05.009

百吨级球墨铸铁平台的质量控制

沈　闯[1,2],刁晓刚[1,2],高建辉[1,2],程艳艳[1,2],王廷勇[1,2],岳卫国[1,2],张磊磊[1,2],岳建国[1,2],张科科[1]
(1.中信重工机械股份有限公司,河南 洛阳 471039;2.中信重工洛阳重铸铁业有限责任公司,河南 洛阳 471039)

摘　要:为获得百吨级球墨铸铁平台铸件,生产前进行充分的造型工艺和熔炼浇注工艺分析,同时借助 ProCAST 数值模拟软件模拟仿真优化,最终获得了合格的铸件。结果表明,百吨级球墨铸铁铸件生产前进行铸造工艺分析及优化是合理的、必要的。

关键词:球墨铸铁;造型工艺;熔炼浇注工艺;数值模拟;质量控制

中图分类号: TG245　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)05-0464-04

Quality Control of Hundred-ton Ductile Iron Platform

SHEN Chuang[1,2], DIAO Xiaogang[1,2], GAO Jianhui[1,2], CHENG Yanyan[1,2], WANG Tingyong[1,2], YUE Weiguo[1,2], ZHANG Leilei[1,2], YUE Jianguo[1,2], ZHANG Keke[1]

(1. CITIC Heavy Industries Co., Ltd., Luoyang 471039, China; 2.CITIC HIC Heavy Cast-Iron Metal Foundry Co., Ltd., Luoyang 471039, China)

Abstract: In order to obtain the platform castings of hundred-ton ductile iron, sufficient molding process and melting casting process analysis were carried out before production. At the same time, the ProCAST numerical simulation software was used to simulate and optimize the casting. The results show that it is reasonable and necessary to analyze and optimize the casting process before the production of hundred-ton ductile iron castings.

Key words: ductile iron; molding process; smelting and pouring process; numerical simulation; quality control

笔者公司生产的百吨级球墨铸铁平台为某装备的重要部件,先后生产多件此类产品。该类铸件加工面要求 100%超声波探伤和 100%磁粉探伤,分别依据 EN12680-3 和 EN1369 验收,达到 3 级要求。此外,一些特定区域要求磁粉探伤达到 EN1369 中的 3 级要求。

本文以毛坯单重 110 t 的球墨铸铁平台为例,从造型工艺、熔炼浇注工艺、数值模拟优化等方面,介绍了其质量控制要点。该平台轮廓尺寸 13 120 mm×2 810 mm×1 160 mm,壁厚 70~160 mm,材质为 QT400-18AR。

1　球墨铸铁平台的铸造工艺分析

1.1　造型工艺分析

平台大平面为重要加工面,尺寸精度要求高;且为平台铸件的厚大部位,其壁厚达到 160 mm,该区域易出现缩孔、缩松及皮下气孔等缺陷,因此按照大平面朝下的原则制定铸造工艺方案。

由于地坑造型不受工装设备的限制,适用于单件或小批量大中型铸件的生产,因此平台铸件采用地坑组芯造型[1]。由于该平台铸件整体尺寸要求较高,地坑造型不易保证尺寸精度,因此在造型前使用水平仪、平尺等工具对底面进行找平,同时选好定位基准。

芯盒采用红松制作,保证其整体强度和刚度,避免在吊运、起模过程中出现变形;同时芯盒内侧表面光洁度要达到 1 级。铸造圆角在芯盒中做出,或在造型时修出,有助于减少涡流,同时可以防止铸件尖角处因应力集中而开裂。

传统粘土砂工艺生产大型铸件是在其下平面设置反变形量,以抵消因热应力及相变应力引起的大平面向上的弯曲收缩变形[2,3]。呋喃树脂砂工艺通过合理控制去除压铁时间及打箱时间、依据平台结构及轮廓尺寸设置合适的加工余量,可以在不留反变形量的情况下,减小铸件变形量,获得满足尺寸要求的大型铸铁平台,同时降低造型操作难度[4]。

造型材料选用酚醛改性呋喃树脂自硬砂;涂料使用醇基涂料。考虑到球铁固有的的石墨化膨胀和糊状凝固特性,在造型、制芯过程中,要充分均匀地舂实以保证型、芯有足够的紧实度。由于树脂砂发气量大,因此在满足铸型强度的基础上,控制树脂加入

收稿日期:2018-11-27

作者简介:沈　闯(1982-),河南南阳人,硕士,工程师.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

量,尽可能降低生产成本。为了防止铸件出现憋气现象或气孔类缺陷，每个坭芯设置足量的出气孔，并保证孔道畅通。

采用开放式浇注系统,直浇道、横浇道、内浇道三者截面积比值控制在 1:2.3:4.1。由于平台长度较大,因此采用多点、分散、底注的方式,在平台周围引入铁液,以确保铁液流动平稳、夹杂物充分上浮。在平台两侧分别设置独立的浇注系统。浇注系统由陶瓷管拼接而成。直浇道底部摆放耐火砖,防止冲砂。

平台厚大部位设置足量的冷铁,可以平衡铸件的厚度差,改善铸件区域的冷却条件,充分利用石墨化膨胀作用来实现自补缩[5]。冷铁使用前须抛丸、烘烤,使用面平整,无气孔、锈蚀、裂纹等缺陷。铸件上端面合理设置保温冒口，对铸件实现充分补缩。为保证补缩通道的畅通,在铸件的上端面合理增加补贴。

平台内部由肋板连接而形成大量空腔,易出现漂芯现象。为了保证铸件表面粗糙度,组芯前要对坭芯进行打磨处理。组芯过程中,摆放每个坭芯时都要找平，同时严格控制坭芯之间的形位关系,避免平台铸件出现较大的尺寸偏差。盖芯摆放过程中要注意校验型腔高度。盖芯拼合后,端面要焊牢加固。合箱前,应将型腔、浇注系统和冒口中的型砂及杂物清理干净。组型完毕,校验尺寸合格后,在坭芯四周围砂。合箱后在盖芯上方均匀贯穿摆放特制加长压箱铁横梁，盖芯与压铁横梁之间用垫铁备牢，支撑点要受力均匀,有效避免浇注时抬箱跑火。压箱铁横梁总重要大于铁液的上浮力。

1.2　熔炼浇注工艺分析

铁液质量直接影响铸件的内在质量和外观质量。铁液浇注温度对其充型性能有着直接影响;铁液化学成分则对铸件的组织及力学性能有着重要影响。因此改善铁液的冶金质量是提高平台铸件质量的基础。

熔炼设备选用感应电炉。由于感应电炉熔炼球墨铸铁,铁液过热度高且炉内保温时间长,加上设备的电磁搅拌作用,导致结晶时所需的外来晶核数量急速降低，因此球墨铸铁平台熔炼要加强孕育处理。

孕育处理是球铁生产的关键。孕育效果决定了石墨球的直径、数量和圆整度。为了改善孕育效果,孕育处理采用“包底孕育+喂线孕育+浇口箱孕育”的复合孕育处理工艺。分别在炉前、喂线球化、浇口箱 3 个节点进行孕育处理。浇口箱孕育有利于孕育剂的快速、充分、高效吸收,同时有利于其在铁液中均匀扩散,进而改善铸件组织。

球化处理后，铁液中生成的密度比较低的浮渣若未及时从包底上浮至铁液表面，可能残留在铁液内部。由于平台生产需要的铁液总量较大,因受实际条件的限制,浇注时采用多包浇注。浇包使用前要充分烘烤。多包浇注扩展了铁液与空气的接触面积,增加了氧化渣的生成量。浇注过程中这些夹杂物若冲入型腔会形成铸造缺陷,进而影响铸件的最终质量,因此浇注前要充分扒渣。

浇口箱与砂型要贴合密实，底部周边要围适量的树脂砂,防止跑火。铸件周围多点、分散的内浇道可以实现铁液快速、平稳充满型腔,有利于降低砂型及坭芯各部位的温差,减少铸件收缩应力,有效防止铸件裂纹缺陷的形成[6]。

由于树脂砂发气量大,易出现气孔及夹渣缺陷,熔炼浇注过程应坚持“高温熔炼,适温浇注”的原则。熔炼时,铁液要过热至 1 500 ℃以上保温适当时间。浇注速度过快，铁液对砂型及坭芯的冲击力过大而不能平稳充型,型腔中易卷入气体、夹杂物。浇注速度过慢,浇注过程中可能存在金属液断流、氧化严重等现象，导致出现冷隔或浇不足的倾向增大。浇注时,要密切关注铁液温度、现场条件等内外部因素,合理控制浇注速度。

由于地坑造型散热条件较差，为防止铸件因打箱过早而出现变形及局部开裂，铸件保温至 300 ℃以下打箱。铸件出坑后,摆放时支撑点受力要均匀。

2　球墨铸铁平台的模拟仿真

经过多年的发展，铸件的计算机模拟仿真已进入生产应用阶段，铸造生产依据逐步由经验积累转变为科学引导。大型铸件的数值模拟改变了传统铸造生产“合箱定论”的状况,可以在生产前预判铸件可能出现缺陷的大小及区域，采取有效措措施改进铸造工艺,保证铸件质量,缩短生产试制周期,降低综合成本[7]。

利于 Procast 模拟软件针对不同的工艺方案对比凝固过程中铸件缺陷分布情况，选取理想的工艺方案,可有效指导生产。

2.1　工艺方案一

工艺方案一中依据图纸要求设置加工量，无工艺补贴；在平台外侧摆放冷铁，平台其余部位无冷铁。工艺方案一见图 1。

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,缩松主要集中于保温冒口内部，在铸件四个边角处及外侧壁有较为集中的缩松

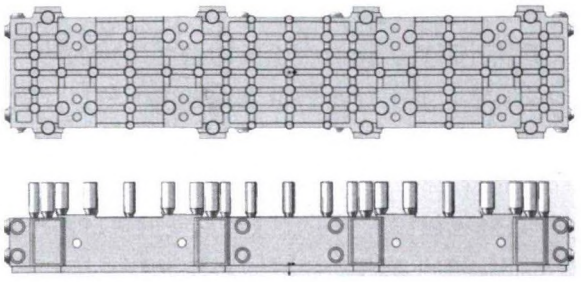

图 1 工艺方案一
Fig.1 Process scheme 1

显示。

2.2 工艺方案二

在工艺方案一的基础上，工艺方案二做如下调整：增加工艺补贴，拓宽铸件厚大部分的补缩通道；针对凸台补缩不足的问题，增加凸台周围保温冒口数量，同时调整凸台顶部保温冒口的规格；并在铸件长度方向两侧壁及凸台两侧增加冷铁；平台其余部分设置不变。工艺方案二见图 3。

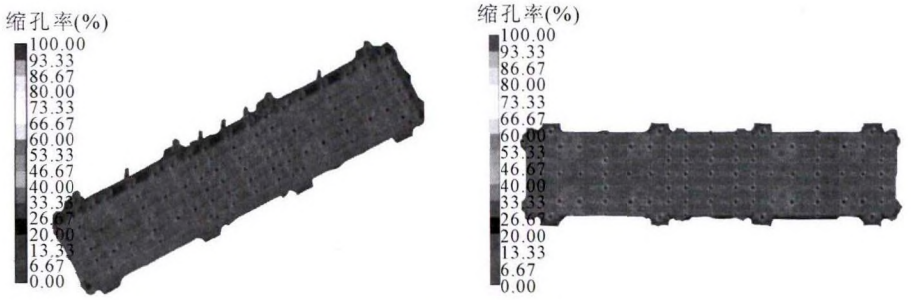

图 2 铸件缩孔缩松分布图
Fig.2 Simulation result of porosity

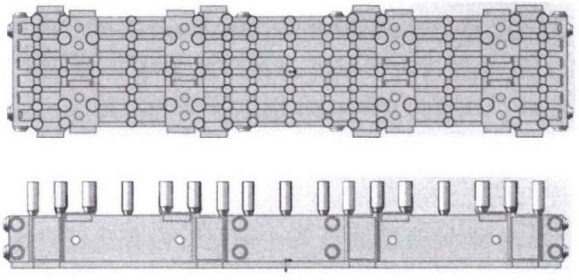

图 3 工艺方案二
Fig.3 Process scheme 2

图 4 为铸件凝固过程中形成的缩孔缩松分布图。从图 4 中可以看出缩松主要集中于保温冒口内部，在铸件四周局部有缩松缺陷显示。相对于工艺方案一，工艺方案二的密集缩松缺陷消失，缩松缺陷体积有所减小。

2.3 工艺方案三

在工艺方案二的基础上，工艺方案三做如下调整：在铸件四周及凸台顶部增加保温冒口；在凸台顶部增加冷铁，同时减小铸件长度方向两侧壁冷铁厚度，附近区域增加冷铁；平台其余部分设置不变。工艺方案三见图 5。

图 6 为铸件凝固过程中形成的缩孔缩松分布图。从图 6 中可以看出，缩松主要集中于保温冒口

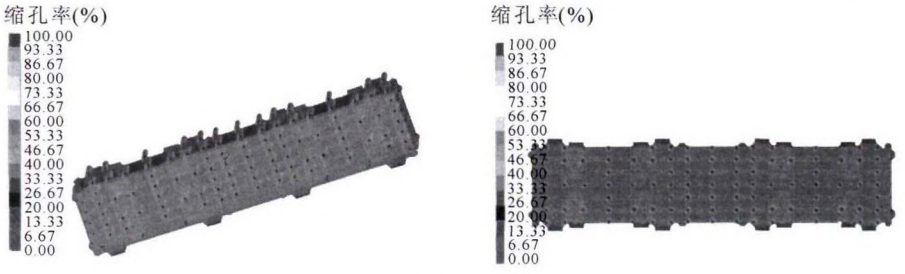

图 4 铸件缩孔缩松分布图
Fig.4 Simulation result of porosity

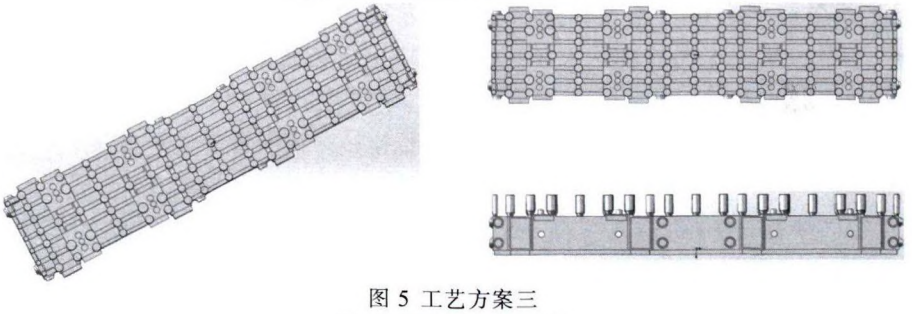

图 5 工艺方案三
Fig.5 Process scheme 3

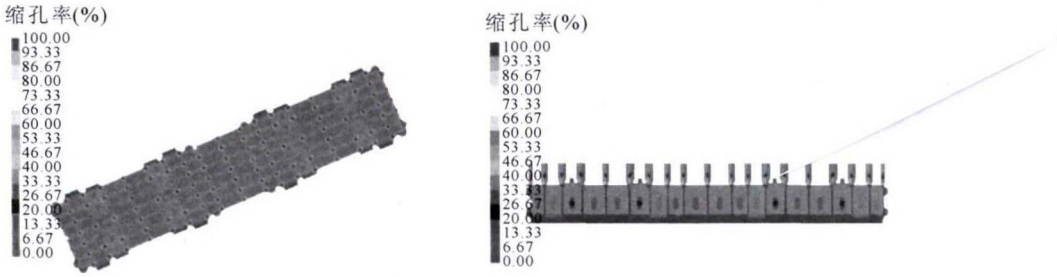

图 6 铸件缩孔缩松分布图
Fig.6 Simulation result of porosity

内部，在铸件四周有孤立的缩松缺陷显示。相对于工艺方案二，工艺方案三的缩松缺陷更加分散、分布区域减少、体积明显降低、孔隙率更小。因此，工艺方案三相对更加合理，铸件质量更易保证，实际生产中采用该工艺方案。

3　生产验证

依据工艺方案三进行生产。铸件经外观检验、尺寸检验合格，各项技术指标完全满足用户要求。铸件加工后经超声波探伤和磁粉探伤检验，无超标缺陷。结果表明，百吨级球墨铸铁铸件生产前进行铸造工艺分析及优化是合理的、必要的，同时为笔者公司今后生产同类型球墨铸铁件积累了宝贵的经验。

参考文献：

[1] 吴琼，贾晓波，孟君，等. 树脂砂地坑造型方法[J]. 铸造技术，2011，32(3)：415-417.

[2] 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.

[3] 中国机械工程学会铸造专业学会. 铸造手册第五卷《铸造工艺》[M]. 北京：机械工业出版社，2011.

[4] 任韶安，苏文生，李玉德，等. 地坑造型生产大型灰铸铁平台[J]. 铸造，2012，61(7)：805-808.

[5] 王文清，李魁盛. 铸造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，1998.

[6] 任海成，赵进科，李善余. 超重型机床球墨铸铁横梁件的生产[J]. 现代铸铁，2010(4)：24-29.

[7] 柳百成. 铸件凝固过程的宏观及微观模拟仿真研究进展 [J]. 中国工程科学，2000，2(9)：29-37.

[8] 杨薇，赵俊学，宋书雅，等. 大型钢锭充型和凝固过程的数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金，2014，34(2)：149-152.

（上接第 463 页）

的添加使得合金伸长率增强的主要原因是 Mg 元素偏析的减弱和晶粒细化为较小粒径的等轴晶所致。

3　结论

(1)Mn 元素的加入不但可以减弱 Al-7Mg 合金中高含量 Mg 元素引起的枝晶偏析，而且能够将该合金的晶粒转变为圆整、细小的等轴状。

(2)当添加 0.05%~0.25%的 Mn 元素时，Al-7Mg 合金的流动性随 Mn 含量的增加先增大后减小，在添加 0.15%Mn 时的流动性最好，单向流动长度可达 900 mm；合金的抗拉强度 σ_b，屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 及伸长率 δ 都随着 Mn 的添加而增大，在添加 0.25% Mn 时力学性能最好，分别为 299 MPa、151 MPa 和 12.6%。

参考文献：

[1] Okayasu M, Takeuchi S. Mechanical Properties of Cast Al-Mg5 Alloy Produced by Heated Mold Continuous Casting [J]. International Journal of Metalcasting[J]. 2017, 12 (2): 298-306.

[2] 田帅，刘桂亮，韩梦霞，等. 改善 Al-Mg 合金流动性及力学性能的新方法[J]. 精密成形工程，2019，11(01): 41-46.

[3] Ravi K R, Pillai R M, Amaranathan K R, et al. Fluidity of aluminum alloys and composites: A review [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2008, 456(1-2): 201-210.

[4] 周士昂. 基于稀土元素 Sc 改性 Al-Mg 新型铝合金的组织控制与强化机理研究[D]. 合肥：合肥工业大学，2016.

[5] 郑红梅，胡学飞，崔接武，等. 添加 Sc 元素后 Al-Mg 合金的性能和结构变化[J]. 材料热处理学报，2016，37(11): 45-49.

[6] 张晋武，白朴存，侯小虎，等. 微量 Er 对 Al-Mg-Mn 合金组织与力学性能的影响[J]. 航空材料学报，2014，34(5): 17-24.

[7] 谌红果，卫广智，马琳，等. 稀土元素钇和固溶处理对 Al-8Mg 合金组织和力学性能的影响[J]. 热加工工艺，2016(4):76-78.

[8] 吴健，古文全，薛涛，等. 稀土 Ce 对 Al-10Mg 合金组织及力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金，2014，34 (1) :89-92.

[9] 戴圣龙. 铸造手册·第 3 卷：铸造非铁合金[M]. 北京：机械工业出版社，2011.

[10] 葛丽丽，程仁策，吕正风，等. Mn 含量对 Al-Mg 合金板材组织与性能的影响[J]. 金属热处理，2017，42(5): 14-17.

[11] 孙景旺，王渠东，丁文江. 铸造 Al-Mg-Mn 合金的显微组织及力学性能[J]. 特种铸造及有色合金，2012，32(1): 85-89.