

# 特大型球墨铸铁磨盘的铸造工艺

赵益锋, 宋贤发

(宁波日月集团有限公司, 浙江 宁波 315113)

**摘要:**介绍了特大型球墨铸铁磨盘的研制过程, 详细阐述了其分型面、浇注系统、浇注温度、冷铁、工艺参数等的选择与设定, 并给出了磨盘铸件的化学成分控制范围及球化孕育处理方法。采用底注式浇注系统, 并使用高刚度砂箱, 提高铸型刚度, 利用球墨铸铁石墨化膨胀进行自补缩, 试制铸件进行各项检测结果, 质量全面达到客户要求。

**关键词:**特大型球铁铸件; 铸造工艺; 石墨化膨胀

2008年8月日月重工股份有限公司为德国莱歇公司制作一件大型矿山机械装备立磨的关键部件——磨盘铸件(如图1所示)。该磨盘铸件的牌号为EN-GJS-400-15U, 铸件外形尺寸为:  $\phi 6\ 000$

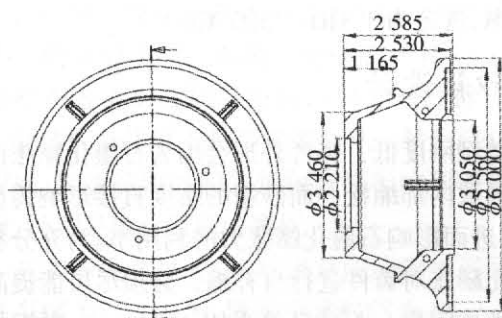


图1 铸件外形示意图

mm $\times$ 2 520 mm, 铸件净重为 107 000 kg, 浇注重量为 127 000 kg。铸件全部要做超声波(UT)、渗透探伤(PT)检测, 特别在起吊攀外圆角处不得有任何铸造缺陷, 铸件外圆角 R1 200 mm 受力部位不能出现夹渣、细裂纹等缺陷。

该铸件属于厚大断面特大型球墨铸铁件, 在铸造工艺设计、砂箱工装设计、化学成分的合理选择、浇注过程控制等方面的难度相当大。

## 1 铸造工艺设计

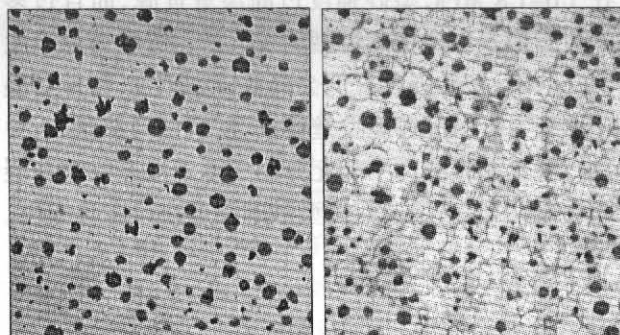
### 1.1 分型面的选择

选择在  $\phi 6\ 000$  mm 大圆的大平面处分型, 这样有利于模具制作、降低造型难度、更能延长模具的使用寿命。

表1 铸件的化学成分

Tab.1 Chemical composition of casting

C	Si	Mn	P	S	RE	Mg
3.87	2.08	0.12	0.032	0.012	0.015	0.066



(a) 腐蚀前

(b) 腐蚀后

图3 铸件的金相组织 100 $\times$

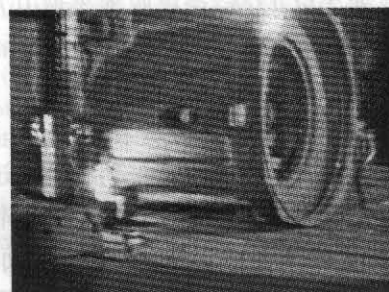


图4 铸件实物图

## 5 试制总结

铸件工艺设计应充分利用模拟分析, 并根据产品的不同情况, 制定出切合实际的生产工艺方案, 此箱体铸件的成功试制, 为承接类似的大型箱体奠定了扎实基础。

## 1.2 浇注系统设计

球墨铸铁件应尽量采用底注式浇注系统(如图2所示),其优点是:充型平稳,可避免金属液在型腔内发生激溅、氧化及由此而形成的铸件缺陷;无论浇口比多大,横浇道在充满状态下,都有利于阻渣;型腔内的气体容易顺序排出。

该产品选择了底注半封闭式浇注系统,并开设112道梯形喇叭口内浇道分散进铁液,避免了高温铁液对铸型的剧烈冲刷,有利于高温铁液平稳进入型腔;由于内浇道出口处的流量大、流速低、冲击力小,因此不易出现紊流现象,减少铁液产生二次氧化渣的几率。

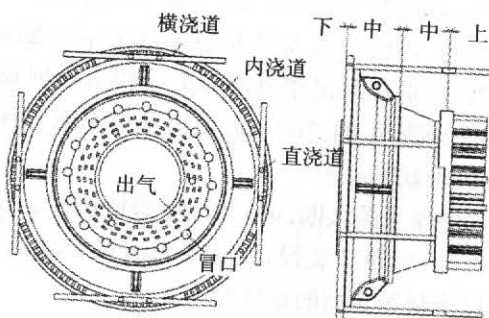


图2 浇注系统简图

浇注系统各组元的总截面积是按照大孔出流理论计算得出,其比例为 $F_{内}:F_{横}:F_{直}=1:1.6:1.1$ ,具体截面积为 $F_{内}=600\text{ mm}^2$ ,环形横浇道 $=152\text{ mm}^2$ , $\phi 110\times 8$ 直浇道 $=660\text{ mm}^2$ 。

## 1.3 工艺参数的设定

铸造收缩率取1.0%,高度收缩率取0.7%;加工余量上平面为60 mm,孔单边余量为35 mm,侧面及底面为30 mm。

## 1.4 冒口位置和尺寸的确定

考虑到球墨铸铁厚大铸件可利用凝固过程中的石墨膨胀进行自补缩,因而不采用传统的本体大冒口补缩,但为了防止上平面可能会出现平面凹缩,因此在铸件的最高点上 $\phi 3\ 000\text{ mm}$ 尺寸处摆放了16个 $\phi 180\text{ mm}\times 700\text{ mm}$ 的明冒口进行液态补缩。冒口尺寸完全按照球墨铸铁的凝固特点设计,16个压边冒口只在铸件液态收缩时起液体补充作用,随后先于铸件凝固,将型腔封闭,使石墨化膨胀可以用于铸件自补缩,防止内部缩松、缩孔。

## 1.5 出气数量的确定

在铸件的上平面放置了总截面积大于内浇口总

截面积1.5倍的圆形出气,它有利于迅速排尽铸型内的气体,以防止上平面出现气孔、夹渣等铸造缺陷。

## 1.6 冷铁的摆放

冷铁摆放位置如图3所示,冷铁摆放在吊攀圆角处和 $\phi 2\ 210\text{ mm}$ 下方、 $\phi 3\ 050\text{ mm}$ 外侧面,在铸件上的最大热节圆 $\phi 520\text{ mm}$ 处不放置冷铁,这是一种反常规做法。

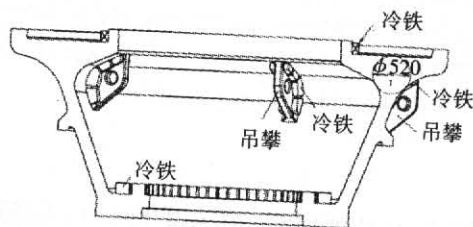


图3 冷铁摆放位置简图

## 1.7 浇注温度的设定

为减少液态收缩,浇注温度不能过高,而为了避免气孔、夹渣缺陷,浇注温度又不能太低,从二者兼顾考虑,选定为 $1\ 310\sim 1\ 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 2 砂箱设计

铸型刚度低,铸件外形会因为石墨化膨胀而胀大而导致内部缩松,而砂箱的刚度直接影响铸型的刚度,进而影响石墨化膨胀力的利用率。为充分利用石墨化膨胀对铸件进行自补缩,必须尽可能提高砂箱的整体刚度,为此砂箱采用40~50 mm厚钢板焊接而成,在砂箱的双侧面还增加了加强筋,进一步提高铸型和砂箱的刚度和强度。采用这种方法制作砂箱既节约了制作成本又加快了制作周期。

## 3 型砂强度的设定

该铸件采用呋喃树脂自硬砂造型,通过对该铸件的结构、形状进行分析,将该铸件的型砂强度设定在1.6~1.8 MPa,型砂强度过高浪费资源,而且过多的树脂加入也会增加铸型的发气量,导致铸件产生气孔缺陷;型砂强度过低会降低铸型刚度,铸件石墨化膨胀力会引起铸型型壁移动,使铸件局部胀砂,导致石墨化膨胀的力不能充分用于抵消液态收缩和凝固收缩,因此一定要保证型砂的强度在设定范围内。

## 4 铸件成分控制

### 4.1 化学成分

针对铸件的特点,严格控制化学成分在设计成

分范围内:  $w(\text{C})$  3.60%~3.70%,  $w(\text{Si})$  2.30%~2.5%,  $w(\text{Mn})$  <0.3%,  $w(\text{S})$  <0.02%,  $w(\text{P})$  <0.04%, CE 应在 4.40%~4.47%, CE 过高易出现石墨漂浮, CE 过低会减少石墨化膨胀量, 对自补缩不利。

$w(\text{Mg}_{\text{残}})$ 、 $w(\text{RE}_{\text{残}})$  分别控制在 0.03%~0.05% 和 0.03%~0.04% 的范围内。如果铁液内的  $w(\text{Mg}_{\text{残}})$  过多会增加碳化物的产生、增加收缩量, 使铸件产生缩孔、缩松缺陷,  $w(\text{RE}_{\text{残}})$  过高会出现异形石墨和增加碳化物形成倾向。

#### 4.2 球化及孕育处理

对于厚大断面球墨铸铁尽量选用稀土镁球化剂+钇基重稀土球化剂进行球化处理。而孕育处理则采用多次孕育方法, 能够更有效的防止孕育衰退, 细化石墨球并提高铸件心部的球化级别。

### 5 浇注过程的合理安排

该铸件的浇注重量为 127 000 kg, 公司虽有大小不一的电炉 10 台, 但最大的电炉只有 45 t, 这就需要组织各电炉在同一时间同时出铁才能浇注成功, 此铸件浇注难点是怎样缩短从出铁到浇注完成的时间, 因为这段时间的长短直接影响到铸件内在质量, 特别是球化级别的高低。

在实际浇注过程中, 从定量包内测得实际浇注拔塞温度为: 1 315 °C, 浇注充型时间为 55 s, 采用 4 个定量包浇注, 定量包编号为 #1、#2、#3、#4, 第 1 至第 4 包铁液分别倒在对应的 #1、#2、#3、#4 定量包, 然后从第 5 包开始反过来倒, 即第 5 包铁液倒在 #4 定量包, 第 6 包铁液倒在 #3 定量包, 第 7 包铁水倒在 #2 定量包, 第 8 包铁液倒在 #1 定量包, 这样做可以使各个定量包内的铁液温度基本相同, 并要求停留几分钟, 这样有利于渣、气的上浮, 完全按照工艺设计要求充型。

### 6 试制结果

经过公司各部门的积极配合, 于 2008 年 8 月 4 日成功的浇注了该件产品, 浇注前的铁液进了光谱分析, 其化学成分平均值为:  $w(\text{C})$  3.65%,  $w(\text{Si})$  2.45%,  $w(\text{Mn})$  0.30%,  $w(\text{P})$  0.03%,  $w(\text{S})$  0.02%,  $w(\text{Mg})$  0.04%,  $w(\text{RE})$  0.03%。

由于选择了合理的铸造工艺、砂箱设计方案, 铸件上平面及外圆角 R1 200 mm 受力部位均未发

现夹渣、气孔等铸造缺陷, 铸件外观品质良好。磨盘铸件经超声波(UT)、磁粉探伤(MT)和力学性能测试, 内在质量完全达到客户的技术要求, 特别是在  $\phi 520$  mm 热节圆部位没有任何的缩孔、缩松缺陷, 对铸件附铸试块进行了各项性能检测, 并在铸件指定区域进行了硬度检测, 其检测结果平均值为: 抗拉强度  $R_m$  420 MPa, 屈服点  $R_{0.2}$  220 MPa, 伸长率  $A$  18%, 硬度 153 HB 铸件实物如图 4 所示。

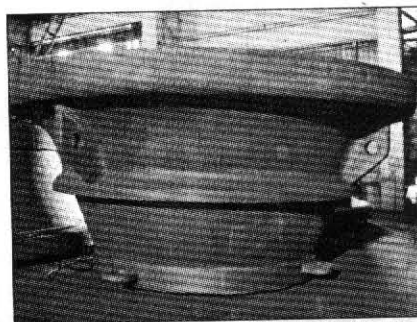


图 4 铸件实物照片

此次磨盘铸件试生产的成功, 对以后开发研制其它类型的大型矿山机械设备奠定了基础, 并且积累了丰富的经验。只要严格控制铸造工艺设计、砂箱工装设计、化学成分及浇注过程, 并不断采用新工艺、新方案、新材料就能生产出高附加值的产品。

(上接 156 页)

- [268] Popov, A.M., Sorokina, L.D., Andreev, V.V. Production of large-sized cast iron castings in the metallic molds [J]. Litejnoe Proizvodstvo, 2001, (3): 13-16.
- [269] Mamedov, I.M., Tsudik, I.A., Faradzhev, F.M., etc. Production of large thin-walled castings by chill casting into combined molds[J]. Chemical and Petroleum Engineering, 1990, 25: 416-417.
- [270] Melnikov, V.P. Effect of chemical composition on the strength of large castings from gray iron[J]. Metal Science and Heat Treatment, 2007, 49: 394-397.
- [271] Kablov, E.N. Advanced high gradient technology for casting of superalloy turbine blades [J]. Physical Metallurgy & Materials Science, 1996, 9(6): 433-435.
- [272] Hubner, P., Schlosser, H., Pusch, G., etc. Load history effects in ductile cast iron for wind turbine components [J]. International Journal of Fatigue, 2007, 29: 1 788-1 796.
- [273] Zotov, M.V., Pisarenko, V.S. Improvement of the production technique for cast iron steam turbine diaphragms [J]. Russ Cast Prod, 1973, (8): 327-331.