

差速器壳体铸件冒口根部黑斑产生原因及防止措施

史继之¹, 邢继伦¹, 张广勤¹, 吴少旗¹, 杨超^{2, 3}

(1. 徐州徐工精密工业科技有限公司, 江苏徐州 221600; 2. 上海交通大学材料科学与工程学院, 上海 200240;

3. 上海交通大学内蒙古研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: QT450-10球墨铸铁差速器壳体铸件加工后在冒口位置出现黑斑, 呈现圆环形。去除冒口后观察铸件和冒口颈的断面颜色, 断面中心区域均呈现亮灰色, 周边区域均呈黑斑状; 金相组织观察显示, 黑斑区石墨形态呈片状, 黑斑区与亮灰色区交界处石墨形态呈蠕虫状, 亮灰色区为正常球状石墨。结合所用冒口和实际生产状况, 更改了冒口形状和铁液成分, 经过试制, 工艺改进后铸件冒口根部断面颜色均匀, 加工后均未发现黑斑缺陷, 石墨形态良好。

关键词: 球墨铸铁; 黑斑; 发热冒口; 石墨形态; 球化衰退

作者简介:

史继之(1985-), 男, 工程师, 主要从事铸造产品工艺开发工作。电话: 13614189293, E-mail: shijizhi111@163.com

通信作者:

杨超, 男, 博士, 助理教授。E-mail: yangchao1987@sjtu.edu.cn

中图分类号: TG245

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2025)03-0392-05

基金项目:

内蒙古自治区上海交通大学科技合作专项“科技兴蒙”上海交通大学行动计划(2023XYJG0001-01-01); 徐工精密-上海交通大学联合攻关项目“基于人工智能技术的铸件成本优化”(SA0501495)。

收稿日期:

2024-01-05 收到初稿,
2024-02-02 收到修订稿。

某型差速器壳体材质为QT450-10, 毛重为25 kg, 壳体毛坯轮廓尺寸 $\Phi 330$ mm $\times$ 190 mm。铸件最小壁厚20 mm, 最大壁厚40 mm, 铸件小端和法兰由筋板均匀连接。铸件壁厚相差较大, 形成热节较多, 容易产生缩松缺陷。壳体形状见图1。

1 工艺简介及生产情况

1.1 工艺简介

该铸件一箱六件, 浇注系统采用单层浇道, 为半开放式浇注系统, 筋板间设有冷铁, 大端顶部靠近内浇道一侧设有一个专用保温冒口套, 工艺见图2。



图1 某型差速器壳体铸件
Fig. 1 A differential gear housing casting

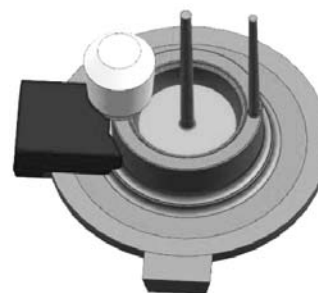


图2 差速器壳体铸造工艺示意图
Fig. 2 Schematic diagram of casting process for the differential gear housing

由于本差速器壳体顶部及法兰部均需要加工钻孔, 故需要较为严格的补缩工艺来实现铸件整体无任何缩松缺陷。

为减少砂芯数量, 本工艺采用顶部点冒口、根部冷铁的方式来实现。点冒口边缘设置一处内浇口以提高进入冒口内的铁液温度, 延长冒口铁液的补缩时间。顶部圆环正对冒口处设置一处溢流柱, 用来排出远端冷铁液, 中间砂芯中心设置一处排气柱用来排放砂芯受热产生的气体。

1.2 熔炼工艺

配料：废钢35%、回炉料40%、铁屑25%、球化剂

0.06%和孕育剂0.12%。壳体改进前炉前化学成分控制如表1所示。

表1 工艺改进前铁液化学成分及球化孕育处理控制

Tab. 1 Molten iron chemical composition and spheroidizing and inoculation controls before process improvement $w_B/\%$

C	Si	Mn	P	S	Mg	球化线	含镁孕育线	硅钡孕育剂	增碳剂
3.60 ± 0.02	1.8 ± 0.04	0.20 ± 0.04	≤ 0.04	≤ 0.022	0.035 ± 0.005	0.06 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.40 ± 0.03	1.6 ± 0.2

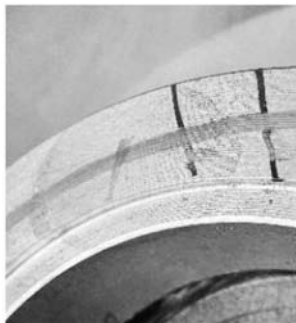
为保证产品质量稳定可靠，本产品生产时采用喂丝球化工艺，从工艺操作角度，使用喂丝法，可实现参数自动化设置，且定量输出，可减少因操作原因致使合金压实不足出现球化不良现象，同时也减少了覆盖剂覆盖合金的操作，简化了操作流程^[1]。

具体的熔炼过程：按照熔炼配比事先称量好需要的废钢、回炉料和铁屑。先将回炉料与铁屑加入炉内送电熔化，待炉内有铁液出现时加入废钢。待完全熔化后，拔去铁液表面浮渣，检测铁液温度达到取样标准要求后，取样化验材质成分，成分合格后将铁液转

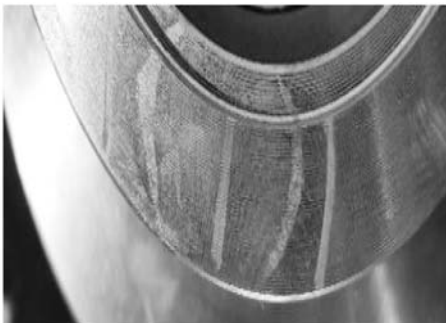
入球化包，进入球化站进行球化处理。球化完成后进行二次扒渣，测温合格后转入浇注线开始浇注。

1.3 壳体铸件存在的问题

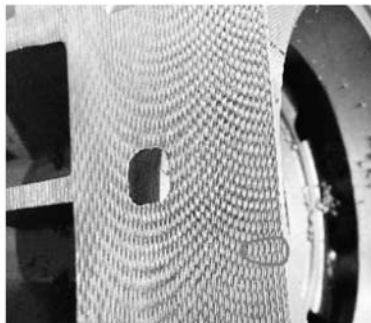
按上述工艺浇注了一批差速器壳体，粗加工后，铸件大端加工面，冒口根部存在黑色“麻点”，又称黑斑，缺陷轮廓呈环状，类似冒口颈形状，宽4 mm到5 mm不等，经解剖发现黑斑往铸件内部延伸3 mm至4 mm不等，造成差速器壳体每批次20%~30%的报废率。缺陷见图3。



(a) 铸件表面黑斑1



(b) 铸件表面黑斑2



(c) 内部延伸黑斑

图3 壳体铸件冒口根部的黑斑缺陷

Fig. 3 Black spot defects at the riser root of housing casing

2 壳体缺陷的产生原因分析

2.1 铸件冒口根部断面分析

铸件去冒口后断面颜色及冒口断面颜色见图4。由图片可以观察出，铸件及冒口断面中心区域均呈现亮灰色，符合球墨铸铁的颜色外观特征，而边缘处环形区域均颜色异常，与冒口根部断口中心区颜色明显不同，判断该部位金相组织可能不符合铸件石墨形态要求。

2.2 金相分析

图5为黑斑区的石墨形态和黑斑区与正常区交接处的石墨形态。通过分析铸件缺陷部位石墨形态可知，黑斑区石墨形态呈现为片状石墨，黑斑区与正常颜色交接区石墨呈现出蠕虫状石墨，正常区石墨为球状。

2.3 原因分析

结合断面颜色和金属组织分析，铸件及冒口颜色异常区域均发生了球化衰退，铸件黑斑区石墨形态已衰退为片状，球铁件表面球化衰退层具有片状石墨及蠕虫状石墨特征^[2]，这是典型表面球化衰退现象。

铸件材质为球铁，金相组织中石墨应为球状。黑斑区出现片状石墨及蠕虫状石墨，从工艺角度分析，球化衰退一般与两种因素相关，即镁衰退或孕育衰退^[2]。而镁衰退一般有两种原因，一是MgS中的S被O置换后返回铁液中造成球化衰退^[3]，二是镁的直接氧化烧损，使残镁量减少造成球化衰退。

发热保温冒口套的作用就是在冒口中添加铝热剂、助燃剂和氧化剂燃烧发热来对铁液起到加热保温作用^[4-6]。而冒口内腔的氧化剂不可避免地会与铁液接触

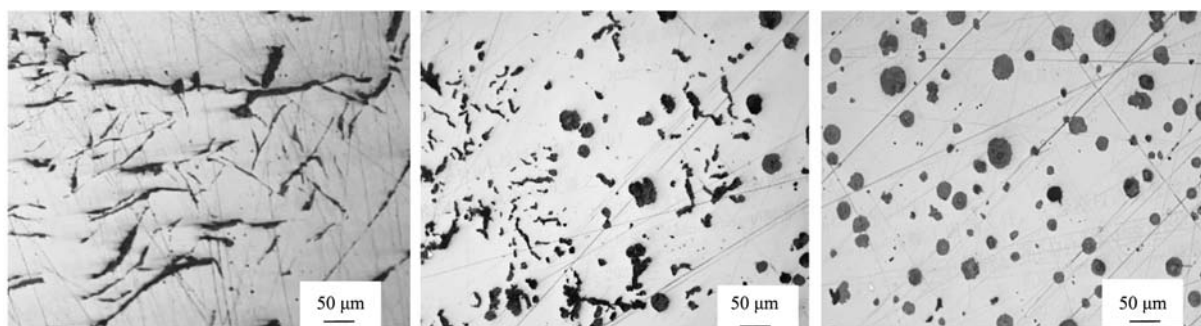


(a) 铸件的冒口断面颜色

(b) 冒口的断面颜色

图4 铸件去冒口后断面颜色及冒口颈断面颜色

Fig. 4 Section colors of the casting and riser neck after cutting off the riser



(a) 黑斑区

(b) 黑斑区与正常区交界处

(c) 正常区

图5 缺陷部位金相照片

Fig. 5 Metallographic structure of defect part

使铁液中的残留镁与O和S作用被消耗，导致铁液镁含量降低，球化能力减弱甚至丧失^[3]，产生球化衰退，而冒口与铁液接触的边沿衰退更为明显。如果此反应发生在浇注完成后铁液液态收缩时，衰退的铁液将被补缩进铸件内，形成环形黑斑区。

可见，产生黑斑区的原因有两方面：一是铁液中残留镁含量过少，当发热冒口燃烧时消耗部分镁，剩余的残镁不足以让石墨形成球状。二是冒口形状设计

不合理，冒口与铁液接触部位衰退铁液会被补缩到铸件本体内形成黑斑区，分析示意图见图6。

3 采取措施

(1) 增加球化线的加入量；使用更纯的炉料；降低原铁液的含硫量；提高铁液中残镁量，将残镁量分别提高至0.037%和0.040%进行试制，具体成分见表2。

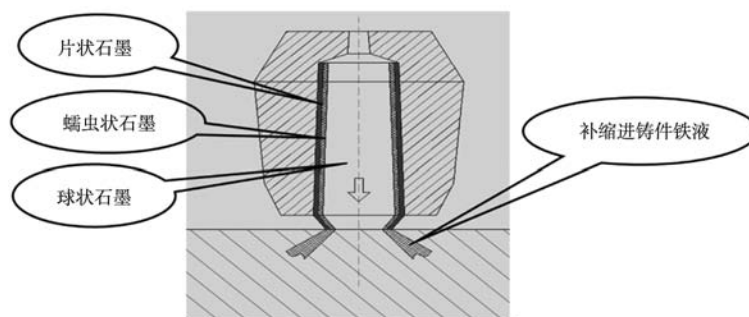


图6 冒口形状引起的球化衰退铁液补缩示意图

Fig. 6 Schematic diagram of spheroidization degradation molten iron feeding caused by riser shape

表2 工艺改进后铁液化学成分及球化孕育处理控制
Tab. 2 Molten iron chemical composition and spheroidizing and inoculation controls after process improvement $w_B/\%$

C	Si	Mn	P	S	Mg	球化线	含镁孕育线	硅钡孕育剂	增碳剂
3.60 ± 0.02	1.8 ± 0.04	0.20 ± 0.04	≤ 0.04	≤ 0.022	0.037 ± 0.005	0.07 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.40 ± 0.03	1.6 ± 0.2
3.60 ± 0.02	1.8 ± 0.04	0.20 ± 0.04	≤ 0.04	≤ 0.022	0.040 ± 0.005	0.08 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.40 ± 0.03	1.6 ± 0.2

(2) 更改冒口形状, 改变冒口内铁液补缩通道, 使得冒口边缘铁液在铁液收缩时不进入铸件内部; 同时更改冒口径材质, 由发热材料改为陶瓷材料。更改前后冒口形状见图7。冒口实物图见图8。

4 生产验证

第一次生产验证只改变铁液化学成分, 使残Mg含量由 $0.035\% \pm 0.005\%$ 分别增至 $0.037\% \pm 0.005\%$, $0.040\% \pm 0.005\%$ 。分别生产两炉, 各试制252件, 冒口根部黑斑现象有所改善, 黑斑率降为10%和5%。

第二次生产验证, 铁液残Mg含量仍按照 $0.037\% \pm 0.005\%$, $0.040\% \pm 0.005\%$ 控制, 同时改变冒口形状, 改用陶瓷冒口颈, 分别生产2炉, 各试制252件。黑斑现象完全消除, 黑斑率都为0。冒口颈颜色均



图8 设计更改前(左)后(右)冒口实物
Fig. 8 Riser pictures before (left) and after (right) design modification

匀且石墨形态均为球状石墨。改进前后冒口颈部断面冒口颜色对比见图9, 冒口颈部位金相组织见图10。

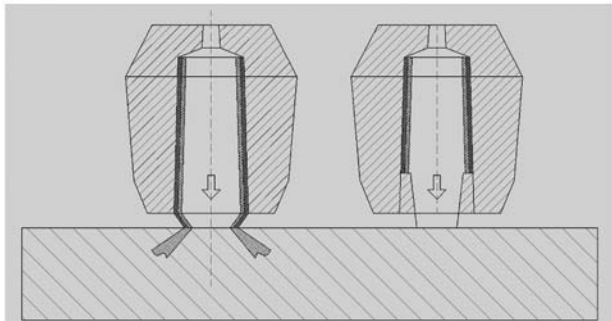


图7 冒口设计更改前(左)后(右)
Fig. 7 Riser designs before (left) and after (right) modification

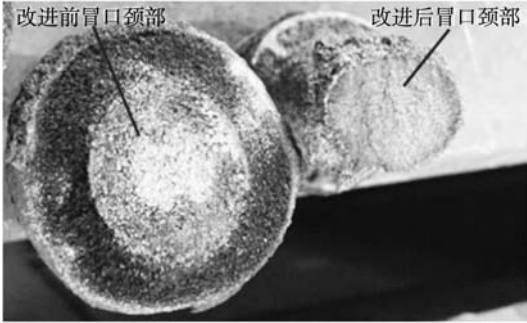


图9 冒口颈部颜色
Fig. 9 Riser neck color

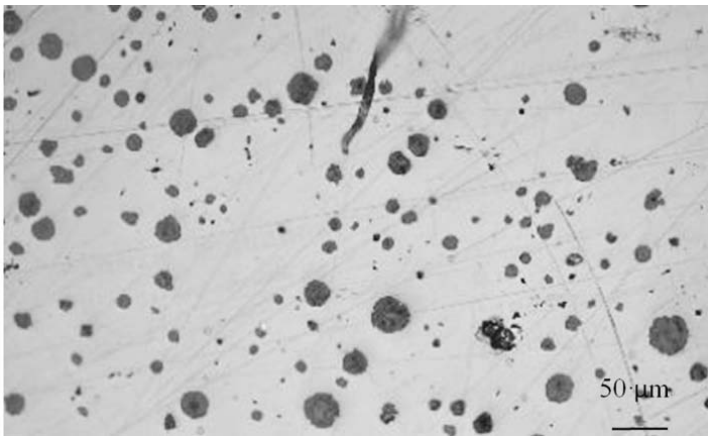


图10 冒口颈部位金相组织
Fig. 10 Metallographic structure of riser neck position

由两次生产验证结果可以看出, 改变球化剂加入量, 可以一定程度上减缓冒口内铁液的球化衰退, 但在实际生产中, 由于发热冒口套的燃烧时机及扒渣操作、出炉温度、浇注时间和浇注速度等诸多不可控因素存在, 残镁含量的控制难度较大。但是通过使用陶瓷冒口颈, 阻断衰退铁液进入铸件补缩通道, 从而避免了冒口颈部铁液球化衰退, 消除了冒口颈部铸件的黑斑现象。

5 结论

(1) 差速器壳体铸件冒口根部的黑斑是由于冒口

内的铁液球化衰退引起的, 铁液浇注完成后, 随着发热冒口套的燃烧, 不断消耗铁液中的残留镁, 使得铁液球化能力减弱, 与冒口套接触部位石墨形态由球状转变为蠕虫状和片状, 形成铁液的表面球化衰退。当铁液开始液态收缩时, 球化衰退的铁液被补缩进铸件内, 形成环形黑斑。

(2) 消除方法一是控制铁液中硫含量和镁含量, 使发热冒口燃烧消耗一部分残镁后剩余镁量足够促使石墨形成球状; 二是改变冒口形状, 避免冒口边缘因烧损导致的表面衰退铁液补缩至铸件内部; 同时使用陶瓷冒口颈, 冒口颈处的铁液残镁不被烧损。

参考文献:

- [1] 张军, 解戈奇, 权国英, 等. 喂丝球化工艺在球墨铸铁生产线上的应用 [J]. 铸造, 2019, 68 (2): 128-131.
- [2] 周文军, 张俊勇. 机床刀塔球铁件黑斑缺陷的防止措施 [J]. 现代铸铁, 2014, 34 (6): 63-66.
- [3] 修坤, 王成刚, 吴景波, 等. 球墨铸铁件表面球化衰退的研究 [J]. 铸造, 2014, 63 (6): 599-603.
- [4] 洪美琴, 尹社新. 发热冒口在球墨铸铁轴箱铸件生产中的应用 [J]. 铸造, 2015, 64 (11): 1145-1148.
- [5] 宋中勋, 严有为, 蔡启舟, 等. 钾盐氧化剂对发热保温冒口套性能的影响 [J]. 现代铸铁, 2007, 27 (2): 76-80.
- [6] 段文恒, 李国忠, 杜崇山, 等. 发热保温冒口套关键特性控制及应用问题对策 [J]. 中国铸造装备与技术, 2017 (6): 20-24.

Reasons and Prevention Measures for Black Spots at the Riser Roots of Differential Gear Housing Castings

SHI Ji-zhi¹, XING Ji-lun¹, ZHANG Guang-qin¹, WU Shao-qi¹, YANG Chao^{2,3}

(1.Xuzhou XCMG precision industry Technology Co., Ltd., Xuzhou 221600, Jiangsu, China; 2.School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 3.Inner Mongolia Research Institute, Shanghai Jiao Tong University, Hohhot 010010, Inner Mongolia, China)

Abstract:

Black spots appeared in the QT450-10 ductile iron differential gear housing castings after machining, showing circular shapes. Observing the cross section colors of the castings and riser necks after cutting off risers, the center region of the cross section showed bright gray color, and the surrounding areas showed black porphyritic texture. Metallographic structure observation shows that, the graphite morphologies at the black spot area present flake, the graphite morphologies at the junction of black spot and bright gray area present worm-like, and the graphite morphologies at bright gray area present normal spheroidal. Combined with the risers used and the actual production conditions, the riser shape and molten iron composition were modified. After trial production, the riser root section colors of the castings through process modification were uniform, no black spot defects were found after machining, and the graphite morphology was good.

Key words:

ductile iron; black spot; exothermic riser; graphite morphology; spheroidization degradation
