

# 球墨铸铁轧辊铸造裂纹原因与防止措施

李仕源

**摘要：**根据在降低生产成本的过程中遇到的实际问题，通过铸造工艺的优化，解决轧辊的铸造质量问题，最终达到用户的使用要求，同时降低生产成本。

**关键词**：球墨铸铁；裂纹；断裂；孕育

随着轧辊生产技术的普遍提高，以及轧钢生产企业对轧辊使用技术的完善，球墨铸铁轧辊在各个规模的轧辊生产厂家已经成为了常规产品，但是随着市场竞争的激烈，生产成本压力的加大，轧辊生产厂家逐步压缩各阶段的成本，造成轧辊出现质量波动。

## 1. 生产工艺设计

球墨铸铁轧辊的铸造方式一般采用常法静态浇注，其结构由冒口箱、冷型、底箱及底箱加节、浇注系统等组成，如图1所示。

（1）工装设计及工艺要求　工装设计参数以及轧辊化学成分技术要求见表1、表2、表3。

（2）浇注温度、球化、孕育要求　浇注温度1330℃±10℃。孕育剂采用75SiFe，加入量为总铁液量的0.2%，孕育方式采用包底孕育加液面浮硅孕育；球化剂采用REMg3-7，加入量为总铁液量的1.7%~1.9%。其孕育剂、球化剂处理温度（即出铁温度）1400~1420℃。

## 2. 裂纹分布

我公司原铸造铁系轧辊均采用龙凤山生铁熔炼，鉴于成本压力逐步加大，后采用集团内部生铁，试验阶段轧钢厂家为唐钢内部中型厂轧辊，规格（$\phi$700~$\phi$800）mm×1700mm，材质为球墨铸铁，辊身硬度要求53~60HS。

试验阶段共试制了10支轧辊，其中6支辊身出现裂纹，4支

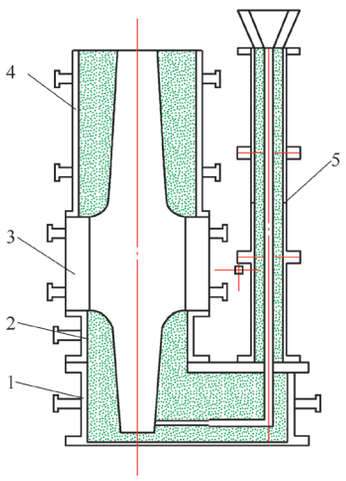



图1　球墨铸铁轧辊铸造示意

1. 底箱 2. 底箱加节 3. 冷型 4. 冒口箱 5. 浇口箱

表1　工装参数

| 项目 | 底箱 | 底箱加节 | 冷型 | 冒口箱 | 浇口箱 |
|---|---|---|---|---|---|
| 材质 | ZG230—450 | ZG230—450 | HT200 | ZG230—450 | ZG230—450 |
| 壁厚/ mm | 150 | 150 | 250~300 | 200 | 80 |
| 砂型厚度/ mm | ≥200 | ≥200 | — | ≥200 | ≥100 |

表2　轧辊化学成分要求（质量分数）　（%）

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.2~3.4 | 1.7~1.9 | 0.6~0.8 | ≤0.15 | ≤0.03 | 0.45~0.55 | 0.25~0.35 | ≥0.04 |

表3　气体含量要求　（%）

| [O] | [N] | [H] |
|---|---|---|
| ≤0.02 | ≤0.005 | ≤0.002 |

无明显铸造缺陷，裂纹缺陷如图2所示。

断口组织成放射状，无漂浮石墨，目测检验无粗大晶粒组织，断口颜色偏暗。

### 3. 裂纹处数据检测、金相分析

（1）化学成分检验　针对裂纹轧辊，对采用的生铁进行化验，同时对断口处取样化验，为保证检测结果，对C、Si成分进行了手工二次化验，结果见表4。

龙凤山生铁和唐钢内部生铁成分差别较大，其中龙凤山生铁化学成分较稳定，唐钢生铁化学成分不稳定，其主要原因为唐钢内部生铁为高炉事故铁、更换铁液品种时的过渡铁，同时其他成分较为复杂，这就造成了轧辊铸造铁液较为复杂，使轧辊性能不稳定，容易形成内应力，到达一定极限时形成裂纹甚至断辊。成品样化验结果见表5，断口处复验化学成分见表6。

心部C、Si进行手工化验结果见表7，断辊气体分析见表8。

成分复验发现，主要问题在Si含量低于成分设计，怀疑在取样过程前的浮硅孕育没有搅拌均匀，气体含量很高，[O] 、[N]处于工艺上限，而[H]远超出工艺上限。

氢在固态钢铁中的溶解度较小，液体在凝固和冷却过程中，氢原子在析出的地方逐步聚集而引起内应力，同时这种内应力再加上组织应力、热应力、变形应力等的总和，超过了强度极限，就会出现肉眼可见辊身白点，形成微小裂纹，并逐步扩展形成大裂纹。氢在冶炼中除特殊要求外，都属于有害元素。

（2）金相检验　针对裂纹处，采用现场金相检验+车床取样切片金相检验，取样处与裂纹处距离控制在2cm以内。金相检验结果如图3所示。

由现场金相检验可知，裂纹非直线性、呈不规则形状，同时裂纹走势沿晶界方向，可以判断此裂纹为热裂纹；由切片金相可知，石墨球化的级别在2~3级，满足要求，基体组织由珠光体、碳化物组成，其中碳化物占20%~30%，碳化物和珠光体分布均匀，碳化物基本不存在连网现象，从金相判断，轧辊金相组织无明显缺陷。

### 4. 整改措施

（1）调整孕育方式　在包底、液面孕育的基础上，每吨铁液增加1000g随流孕育，孕育剂采用硅锆合金，通过添加冷轧厂剪边碎料（SPHC）以降低炉前硅，使成品硅不发生变化，同时要求工人加大搅拌力度，力求搅拌均匀。



图2　辊身裂纹缺陷

表4　生铁化学成分（质量分数）　（%）

| 厂家 | C | Mn | S | P | Si |
|---|---|---|---|---|---|
| 龙凤山生铁1 | 4.29 | 0.21 | 0.024 | 0.051 | 0.39 |
| 龙凤山生铁2 | 4.26 | 0.18 | 0.025 | 0.049 | 0.42 |
| 唐钢生铁1 | 4.15 | 0.31 | 0.026 | 0.109 | 0.52 |
| 唐钢生铁2 | 4.35 | 0.22 | 0.027 | 0.049 | 0.35 |

表5　成品样化学成分（质量分数）　（%）

| C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.24 | 1.83 | 0.77 | 0.068 | 0.008 | 0.36 | 0.53 | 0.32 | 0.074 |

表6　断口处复验化学成分（质量分数）　（%）

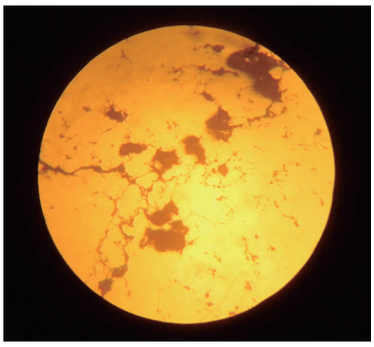
| 位置 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外部 | 3.25 | 1.52 | 0.75 | 0.10 | 0.002 | 0.22 | 0.59 | 0.34 | 0.15 |
| 中部 | 3.16 | 1.14 | 0.65 | 0.033 | 0.002 | 0.19 | 0.54 | 0.30 | 0.18 |
| 中心部 | 3.125 | 1.50 | 0.72 | 0.105 | 0.002 | 0.217 | 0.55 | 0.35 | 0.23 |

表7　心部C、Si含量（质量分数）（%）

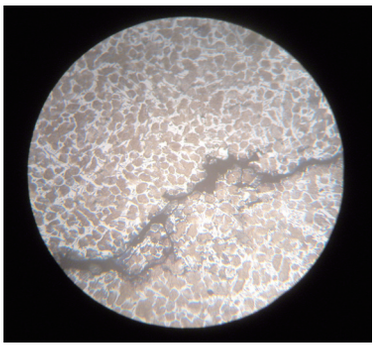
| C | Si |
|---|---|
| 2.91 | 1.85 |

表8　断辊气体分析　（%）

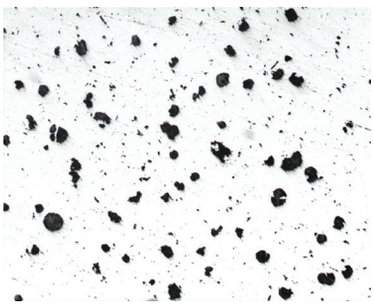
| [O] | [N] | [H] |
|---|---|---|
| 0.017 | 0.0046 | 0.0037 |



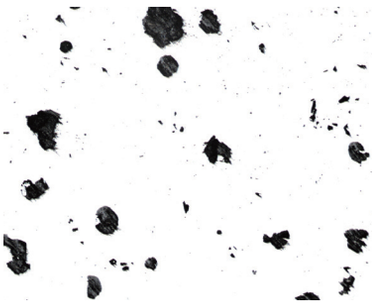
（a）裂纹处现场金相



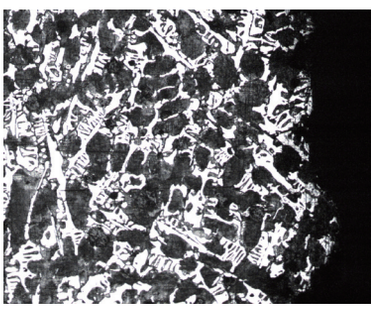
（b）裂纹处切片金相



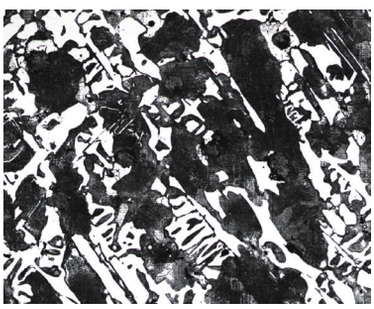
（c）现场未侵蚀（50×）



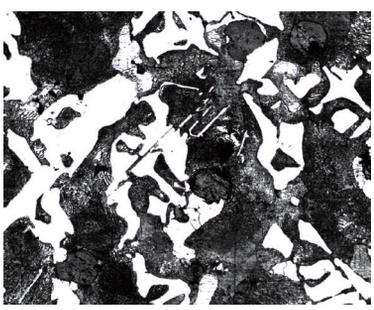
（d）切片未侵蚀（50×）



（e）现场侵蚀后（100×）



（f）切片侵蚀后（100×）



（g）现场侵蚀后（500×）



（h）切片侵蚀后（500×）

图3　金相组织检验结果

所谓孕育处理就是在铸铁液中添加少量特殊的孕育剂以促进石墨化作用，防止渗碳体的形成，可以细化组织，提高材料力学性能[1]。但若要提高球墨铸铁轧辊的综合性能，不仅要合理选定成品铁液中C、Si含量，更要考虑“碳当量”高低的影响。通常认为，当碳当量过高时，会引起石墨漂浮，特别是在较大规格轧辊的上辊径部位，由于石墨漂浮，使强度降低，轧钢时容易发生断辊事故[2]。

（2）气体含量控制　通过在熔炼中后期添加碎玻璃，避免铁液裸露在空气中，减少气体侵入，铁合金应入窑烘烤，加入前保证其温度在100℃以上。同时熔炼区域安排专职桥式起重机，添加磁力起重机，以提高加料速度，熔炼时间可减少1/4~1/3。

### 5. 生产结果

优化铸造工艺后，第一批试制8支轧辊，在唐钢中型厂试用，未发生质量问题；第二批扩大到20支，试用结果也达到预期效果，目前正在逐步推广。将龙凤山生铁更换为唐钢内部生铁之后，吨铁成本可以降低150~200元。

### 6. 结语

通过增加随流孕育，减小铁液在凝固过程形成的内应力；对气体[H]含量的有效控制，降低了裂纹源出现的概率。通过上述两种解决措施，有效地遏制了轧辊裂纹、断辊的质量事故。

### 参考文献

[1] 雷富军.球墨铸铁球化及其孕育处理研究进展[J].热加工工艺，2008, 37(13).

[2] 文铁铮，郭玉珍.冶金轧辊技术特性概论[M].石家庄：河北科学技术出版社，1995.

作者简介：李仕源，高级工程师，唐钢重机装备有限责任公司，主要从事轧辊铸造生产研究。

MW 20160920