

高强度大断面工作辊用球墨铸铁组织与性能研究

■ 赵立新, 白云龙

摘要: 通过改变球墨铸铁的微合金化, 并采取强化孕育措施, 浇注的试验件尺寸规格与高铬钢轧辊辊颈保持一致, 同时在轧辊辊颈进行套料检测对比。试验结果表明: 采用新工艺生产的球墨铸铁的石墨圆整度好, 未出现碎块状石墨组织, 牛眼状铁素体含量增加, 同时降低了珠光体和碳化物含量; 球墨铸铁试验件的抗拉强度提高了73%, 硬度降低14%, 获得了优良的综合力学性能, 提高了产品质量。

关键词: 球墨铸铁; 微合金化; 强化孕育; 综合性能

1. 概述

由于球化良好的大断面球墨铸铁具有成形性好、力学性能优良, 因此在冶金、核电、造船等行业得到普遍应用。但由于球墨铸铁件截面尺寸过大, 铸件凝固速度较慢, 在铸件中心位置易出

现碎块状、开花状石墨, 其力学性能会随之下降^[1]。我公司为某钢厂生产的高铬钢轧辊辊颈材质为球墨铸铁, 辊颈直径达780mm, 轧辊总重达28.9t, 外层高铬铸钢采用卧式离心浇注, 心部球墨铸铁采用顶注式浇注, 热

处理后下辊颈出现断裂, 其宏观断裂形貌如图1所示。

我们分析认为, 球墨铸铁球化较差, 出现了碎块状石墨, 导致球墨铸铁强度低; 球墨铸铁在热处理后, 碳化物在晶界处呈网状析出, 在后续加工过程中碳化

夹渣 (见图6), 断裂部位沿铁素体带分离 (见图7), 断口远端心部组织正常为回火索氏体 (见图8)。由此确定, 该螺栓断裂的主要原因是原材料钢锭切头不足, 皮下气孔、缩孔残余或夹渣在轧制过程中裹挟挤入了材料内部形成的冶金缺陷, 由于材料的冶金缺陷使螺栓在加工过程中一次性脆性断裂, 而不是在锻造过程中过热、过烧引起的。

因此, 原材料入厂复验合格后, 在下料时应对钢锭头部有冶金缺陷的组织进行完全切除, 否则在后续加工过程中可能出现致命性的质量事故。

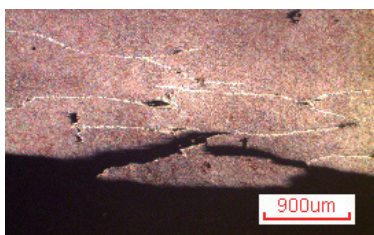


图5 螺栓中部断口低倍组织

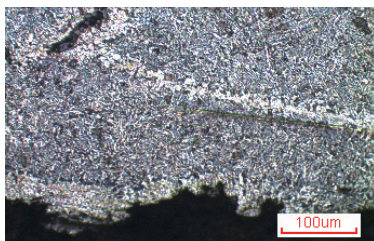


图7 断裂部位沿铁素体带分离

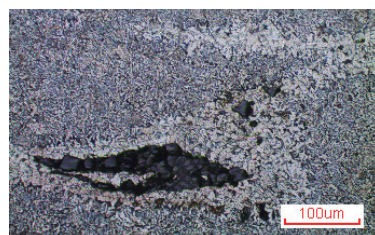


图6 铁素体带中的非金属夹渣

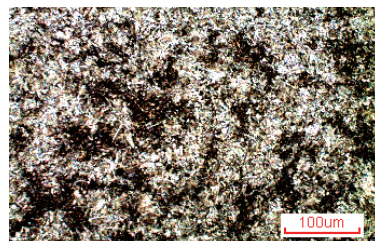


图8 断口远端心部组织

作者简介: 王频、兰忠杰, 陕西柴油机重工有限公司工艺研究所。

MW 20160722

物进一步扩展导致断裂。

因此，后续在控制石墨形态及碳化物含量方面采取措施如下：

(1) 微合金化 采取“高碳低硅”成分设计，进一步降低Ni、Mo合金含量，同时添加Cu元素。

(2) 强化孕育促进铁素体形成 研究表明，加入Ca、Ba、Sb等微量元素，可有效防止孕育衰退，保证球化质量^[2]，本文采用含Ba、Ca的浇注随流孕育剂，在出铁时加入纯金属Sb。

(3) 残余镁含量控制 研究表明，大断面球墨铸铁镁残量一般控制在0.04%~0.05%，如果再高会导致石墨球化程度恶化^[3]。通过采取上述措施后，改善石墨形态，降低珠光体和碳化物含量，旨在改善球墨铸铁组织，提高高铬钢轧辊的合格率。

2. 试验方法

主要原材料化学成分见表1。选用L08生铁，采用优质碳素废钢，球化剂选用稀土镁球化剂（T-1型）和镍镁合金球化剂。其中1[#]球墨铸铁样为高铬钢轧辊浇口端辊颈套料，轧辊辊颈球墨铸铁球化孕育措施为：采用包底冲入法，在包内预先埋镍镁合金，上面覆盖FeSi75孕育剂；2[#]为采用新球化工艺浇注的球墨铸铁试验件，其尺寸如图2所示。采取的球化孕育措施为：包内预先埋稀土镁球化剂，上面覆盖球墨铸铁屑；采用SiFe75出铁随流孕育；在出铁和浇注随流时加入孕育剂。冷却打箱后分别在1[#]和2[#]试验件上套取

φ30mm×120mm试棒，取样部位和拉伸试样尺寸如图2所示。

采用型号为200MAT金相显微镜图像分析仪进行金相检测，采用直读光谱分析仪进行成分分析，采用CSS44300电子万能试验机进行抗拉强度检测，采用3000BLD/T型布氏硬度计进行硬度检测。

3. 试验结果分析

(1) 金相组织 球墨铸铁试样炉后化学成分如表2所示。与1[#]球墨铸铁样相比，2[#]球墨铸铁样的Ni含量有所下降，Si含量有所上升，Mg含量下降。有资料表

明：镁是球墨铸铁中最主要的球化元素，球墨铸铁中的残余镁含量在0.03%~0.06%可以获得球形石墨^[4]。由于镍是稳定奥氏体、促进珠光体形成元素，加入很少量的镍就可以抑制铁素体形成。镍含量的降低导致基体组织中



图1 高铬钢轧辊浇口端辊颈宏观断口形貌

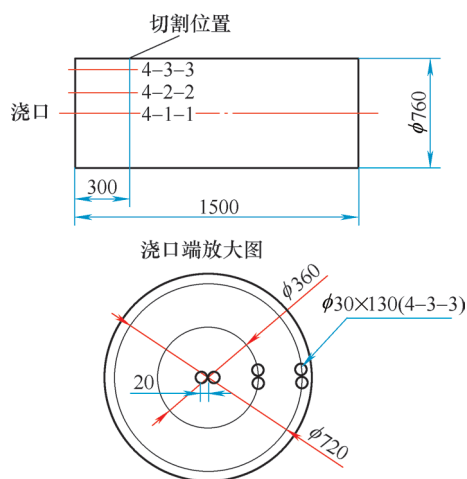


图2 球墨铸铁试验件取样

表1 原材料化学成分（质量分数）（%）

原材料	C	Si	Ni	RE	P	S	Mg
L08生铁	4.6	0.76	—	—	0.036	0.037	—
碳素废钢	0.5	0.5	—	—	0.05	0.02	—
FeSi75	0.066	75.69	—	—	0.074	0.015	—
稀土镁合金球化剂(T-1)	—	42.98	—	2.31	—	—	6.57
镍镁合金	0.64	0.89	82.12	1.03	0.07	0.008	14.66
BS-1	—	65.7	—	1.08	Ca2.02	Ba1.15	—

表2 球墨铸铁炉后样化学成分（质量分数）（%）

样号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Mg	Cu
1	3.33	2.27	0.19	0.018	0.88	0.12	0.069	0.47
2	3.36	2.33	0.306	0.017	0.602	0.106	0.047	0.435

珠光体数量减少，铁素体数量增加，且主要分布在石墨球周围。

图3所示为1#试样的金相组织形貌，石墨形态呈团絮状和开花状，出现了很多碎块状石墨，碳化物含量较多，呈网状分布，基本无铁素体。图4所示为2#试样的金相组织形貌，石墨形态基本呈球形和团絮状，无碎块状石墨存在，碳化物含量较少，无网状碳化物存在，有少量牛眼状铁素体存在。

图5所示为球墨铸铁试样的金相组织腐蚀形貌，从图中可以

看出：1#球墨铸铁的石墨形貌呈放射状，轮廓呈球状，石墨不致密，内部少量呈块状的碳化物和珠光体组织；2#球墨铸铁的石墨球呈球形，石墨球致密，有少量铁素体分布在石墨球周围形成晕圈，提高了球墨铸铁的强度。

(2) 性能测试 球墨铸铁样经过热处理后的性能检测对比情况如表3所示。从表中得出：2#球墨铸铁样的抗拉强度较1#球墨铸铁样提高了73%，硬度下降14%，获得了满足技术要求的综合力学性能。

4. 结语

(1) 采取稀土镁球化剂(T-1型)，结合出铁时SiFe75随流孕育处理，采取含Ba、Sb随流孕育剂，石墨圆整度好，避免了碎块状石墨出现。

(2) 由于Ni、Mo合金含量的降低和采取强化孕育措施，导致球墨铸铁珠光体量减少，牛眼状铁素体含量有所增加，碳化物含量较少，无网状碳化物出现。

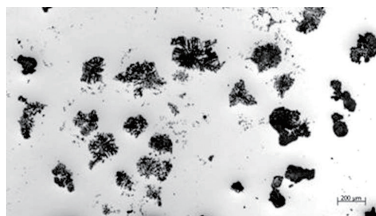
(3) 2#球墨铸铁件的强度提高了73%，同时硬度下降14%，获得了良好的综合力学性能，保证了铸件质量。

参考文献

- [1] 张连芳,连金江.大断面球墨铸铁石墨变态问题的探讨[J].北京钢铁学院学报,1979(2):28-38.
- [2] 傅明喜,司乃潮,等.防止大断面球铁石墨畸变的工艺措施[J].热加工工艺,2002,(4):30-33.
- [3] 苟华强.风力发电机组轮毂铸件的生产工艺[J].东方电气评论,2008,22(88):66-69.
- [4] 吴德海.球墨铸铁[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

作者简介：赵立新，白云龙，天津重型装备工程研究有限公司，主要从事热轧复合工作辊制造工艺研究。

MW 20160812

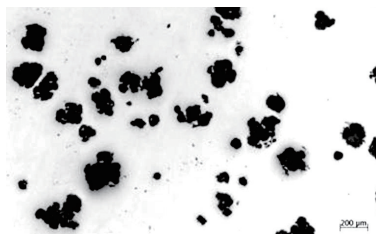


(a) 未腐蚀

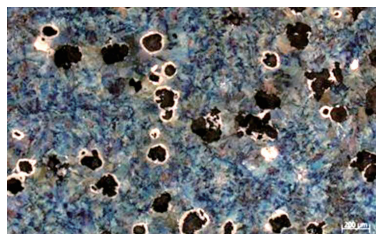


(b) 腐蚀

图3 1#球墨铸铁试样金相组织形貌 (50×)



(a) 未腐蚀



(b) 腐蚀

图4 2#球墨铸铁试样金相组织形貌 (50×)



(a) 1# 样



(b) 2# 样

图5 球墨铸铁试样金相组织腐蚀形貌 (500×)

表3 球墨铸铁样性能对比 (回火态)

样号	抗拉强度/MPa	断后伸长率(%)	硬度HS
1	340	—	43.5
2	548	1.0	37.5