

稀土元素对水轮机用04Cr13Ni5Mo不锈钢铸件组织及性能的影响研究

■ 郭伟, 孙红, 田秀兰

摘要: 炼钢过程中加入稀土元素, 对铸钢的组织 and 力学性能有重要影响, 结合水轮机铸钢产品生产工艺, 在冶炼后期钢包中加入稀土硅铁合金, 并对所取试板进行热处理, 观察加工后试样的金相组织及进行拉伸试验。结果表明: 钢中加入稀土硅铁合金并经过热处理后, 钢的金相组织及晶粒度变化不明显, 但钢的断后伸长率、断面收缩率及强度均优于未加入炉次。

关键词: 铸钢; 稀土硅; 金相; 力学性能

稀土元素作为国家重要的战略资源, 对材料领域的技术突破有重要意义, 而钢铁材料作为应用最广泛的基础材料, 稀土元素在钢铁生产中的应用问题也一直是研究重点方向, 国内外生产实践表明, 部分钢种冶炼过程中加入一定量稀土元素有利于钢铁材料性能的提高。稀土在钢中的作用机理主要包括: 净化作用; 对夹杂物的变质作用; 改善铸态组织, 减小成分偏析及微合金化的作用^[1-2]。钢液的纯净度, 夹

杂物的形态和分布, 铸态组织和结构, 以及合金成分等方面均影响铸件产品性能好坏, 而这几方面恰好对稀土敏感^[3]。大型水轮机用不锈钢铸钢产品性能要求严格, 高于常规铸钢产品, 因此加强这方面研究对提高铸件质量有重要的意义。

一、试验方法

1. 主要工艺流程

针对大型水轮机叶片铸钢产

品, 采用EAF+LF+VOD工艺进行冶炼生产。每炉钢加入20~25kg稀土硅铁合金, 加入量在钢液中占比为0.1%, 加入方式为出钢后大包投入法, 为了对比分析稀土元素对钢种组织和性能的影响, 排除钢种其他元素的干扰, 整个冶炼过程采用窄成分控制, 控制主要合金元素含量在小范围内波动。

2. 取样方法及样品处理

出钢后采用叶片同炉试板取

墨, 石墨在基体组织中可以看作是“孔洞”, 若刀具进给量大、切削速度快就会将由许多“孔洞”包围的铁带掉, 在宏观上就表现为小凹坑、麻点。

因此, 为解决工作台加工面“麻点”缺陷, 在最后的精加工工序中, 适当降低刀具的进给量及切削速度是解决问题的方向, 刀具进给量从0.1mm降低到0.05mm, 切削转速从1000r/min降低到800r/min, 加工后效果明

显改善。

四、结语

通过对立式加工中心用厚大断面工作台铸件的质量问题改进, 总结归纳了生产此类铸件时遇到的夹砂/渣、气孔缺陷及材质问题的解决方案, 主要是对铸造工艺、熔炼浇注工艺甚至加工工艺进行改进, 提出了有效的改进措施, 改进效果好, 使得厚大断面工作台铸件的综合废品率控

制在3%以下。

参考文献

- [1] 陆文华. 铸造合金及其熔炼[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013: 35-36.

作者简介: 王蒙, 工程师, 共享装备股份有限公司, 主要从事铸铁熔炼和铸件生产工艺编制及过程控制等方面的工作。

MW 20170328

样，本次共进行三炉次试验，每炉分别取一块试板，每块试板标号分别为A、B、C，同时取一炉次不加稀土硅铁合金试板三块，每块试板标号分别为 D_1 、 D_2 、 D_3 ，取试板后进行热处理。

加稀土硅铁合金炉次热处理工艺如表1所示。未加稀土硅铁合金炉次热处理工艺如表2所示。

3. 样品检测

热处理后分别将试板加工成一块金相试样和一根拉伸试样，金相试样经过打磨抛光腐蚀后，采用Axio Observer.A1m型倒置光学显微镜进行观察，拉伸试样采用WDW 300E型电子万能试验机进行试验。

二、试验结果

1. 化学成分分析

对所取试板进行化学成分分析，结果如表3所示。从表中可以看出，各试样C、Cr、Ni、Mo等主要元素差别较小，不影响对金相及力学性能结果的分析。

2. 金相分析

金相分析照片如图1所示。对比加稀土硅和未加稀土硅试样金相结果，发现钢的金相组织及晶粒度变化不明显，均能形成均匀的马氏体组织。

3. 加入稀土元素对钢性能影响分析

表4为各试样拉伸试验性能汇总，图2～图6为一次回火后性能对比。

从图2可以看出，加稀土硅炉次屈服强度高于未加炉次，

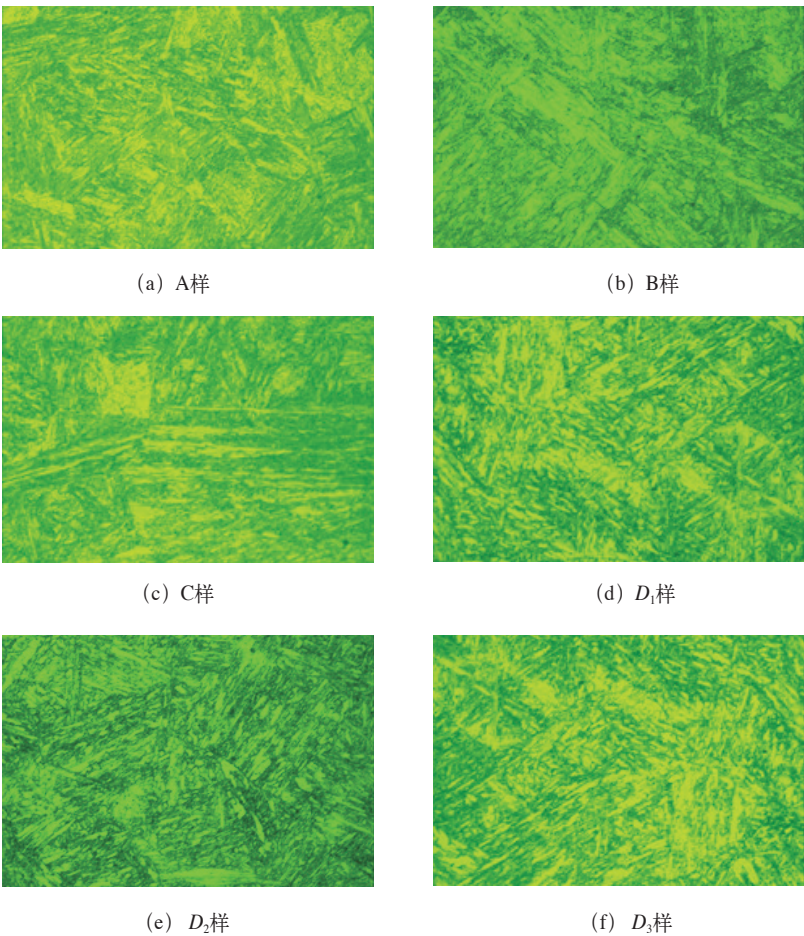


图1 试样金相组织

表1 加稀土硅铁合金炉次热处理工艺

炉次	正火		一次回火		二次回火	
	温度/℃	冷却方式	温度/℃	冷却方式	温度/℃	冷却方式
A	1030	空冷	680	空冷	620	炉冷
B	1030	空冷	650	空冷	600	炉冷
C	1030	空冷	620	空冷	600	炉冷

表2 未加稀土硅铁合金炉次热处理工艺

编号	正火		一次回火		二次回火	
	温度/℃	冷却方式	温度/℃	冷却方式	温度/℃	冷却方式
D_1	1030	空冷	680	空冷	620	炉冷
D_2	1030	空冷	650	空冷	600	炉冷
D_3	1030	空冷	620	空冷	600	炉冷

表3 试样化学成分（质量分数）（%）

炉次	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
A	0.032	0.22	0.23	0.018	0.027	12.30	4.14	0.44
B	0.031	0.25	0.25	0.020	0.026	12.50	4.13	0.43
C	0.028	0.21	0.24	0.022	0.027	12.40	4.10	0.44
D_1 、 D_2 、 D_3	0.031	0.23	0.24	0.018	0.027	12.40	4.13	0.43

随着一次回火温度的提高, 屈服强度呈增加趋势, 一次回火温度在650℃, 屈服强度由636 MPa增加至775MPa, 增加幅度达到21.9%。

从图3可看出, 钢中加入稀土硅铁合金炉次所取试样经过热处理后, 抗拉强度增加, 其中一次回火温度在650℃, 抗拉强度由756MPa增加至880MPa, 增加幅度最大达到16.4%。

从图4可以看出, 加稀土硅铁合金炉次断后伸长率高于未加炉次, 随着一次回火温度的提高, 断后伸长率呈增加趋势, 未加稀土硅铁合金炉次随着一次回火温度的提高, 屈服强度呈减小趋势。

从图5可看出, 一次回火温度在620℃时, 断面收缩率相同, 一次回火温度高于620℃时, 加稀土硅炉次断面收缩率增加, 其中一次回火温度650℃时, 断面收缩率由46%增加至69%, 增加幅度达到43%。

从图6中可以看出, 加稀土硅炉次硬度高于未加炉次, 随着一次回火温度的提高, 硬度均呈减小趋势。

从各个性能指标分析可知, 加稀土硅炉次性能指标均优于未加炉次, 冶炼过程加入稀土硅铁

合金并配合相应的热处理工艺, 对04Cr13Ni5Mo不锈钢铸钢性能提高具有重要意义。

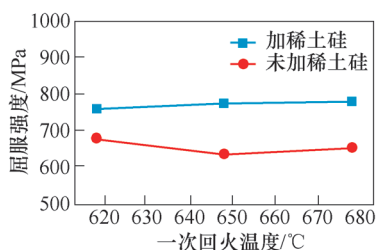


图2 试样屈服强度

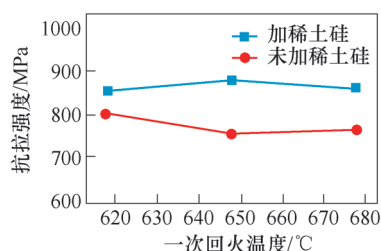


图3 试样抗拉强度

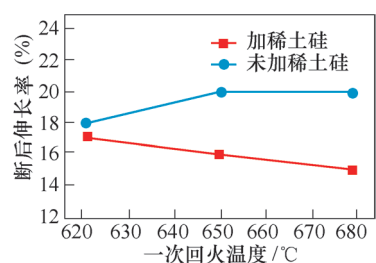


图4 试样断后伸长率

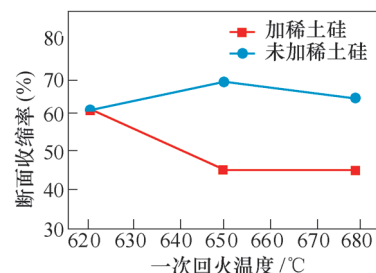


图5 试样断面收缩率

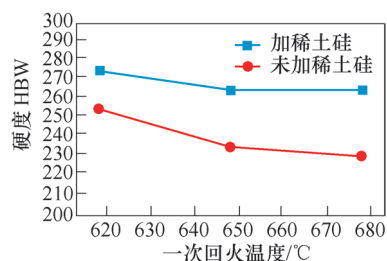


图6 试样硬度

三、结语

(1) 钢中加入稀土硅铁合金并经过热处理后, 钢的金相组织及晶粒度变化不明显, 抗拉强度及屈服强度均增加, 其中一次回火温度在650℃, 增加幅度最大分别达到16.4%和21.9%。

(2) 钢中加入稀土硅铁合金炉次断后伸长率、断面收缩率及强度均优于未加入炉次, 其中一次回火温度650℃时, 收缩率由46%增加至69%, 增加幅度最大达到43%, 随着一次回火温度的提高, 硬度均呈减小趋势, 加稀土硅铁合金炉次断后伸长率呈增加趋势, 未加稀土硅铁合金炉次呈减小趋势。

参考文献

- [1] 常立民, 刘建华, 于升学, 等. 稀土对高碳铬铸钢性能的影响[J]. 中国稀土学报, 2016, 19 (3): 250-253.
- [2] 赵路遇. 微量稀土元素在铸钢中的应用[J]. 材料开发与应用, 2003, 18 (3): 43-46.

作者简介: 郭伟、孙红、田秀兰, 哈尔滨电气动力装备有限公司。

MW 20170422

表4 试样力学性能

炉次	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断面收缩率 Z (%)	布氏硬度 HBW
A	760	855	17	62	275
B	775	880	16	46	265
C	780	860	15	46	265
D_1	678	803	18	62	255
D_2	636	756	20	69	235
D_3	654	765	20	65	230