

稀土对 Q345 钢渗硼层的影响及其催渗工艺研究

刘建建, 陈祝平, 杨光, 许跃东, 谭海波, 池阔

(集美大学 机械工程学院, 厦门 361021)

[摘要] 研究了在渗硼剂中添加氧化铈稀土对 Q345 钢渗硼层组织和厚度的影响, 并通过正交试验法确定了催渗工艺。分析表明: 适量地添加氧化铈稀土, 可显著改善渗层组织, 并能使渗层厚度增加 10% 以上。正交试验结果表明, 最佳催渗工艺为: 渗硼温度 920 ℃, 渗硼时间 7 h, 氧化铈添加量为 2%。

[关键词] 稀土; 渗硼层; 催渗

[中图分类号] TG174.445

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2012)01-0086-03

Effect of Rare Earth On Boronizing Layer and Catalysis Process for Q345 Steel

LIU Jian-jian, CHEN Zhu-ping, YANG Guang, XU Yue-dong, TAN Hai-bo, CHI Kuo

(Mechanical Engineering College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

[Abstract] Effects of added cerium oxide rare earth in the boronizing agent on the structure and thickness of boronizing layer for Q345 steel were studied, and the rare earth catalysis process by using the orthogonal testing method was determined. The analysis shows that adding appropriate amount of cerium oxide rare earth can significantly improve the boronizing layer structure and increase the thickness of more than 10%. Orthogonal testing results show that the best rare earth catalysis process can be gotten when the temperature is 920 ℃ and the time is 7h and the oxide rare is 2%.

[Key words] rare earth; boronizing layer; catalysis

渗硼处理是一种表面硬化技术, 它能使被渗工件的表面获得极高的硬度, 但是, 单一渗硼存在渗硼层组织不致密、脆性大、较薄的问题, 据相关文献介绍^[1-8], 在渗硼剂中添加少量稀土是解决此问题的有效途径。文中所研究的稀土催渗渗硼工艺, 是将工件置于含有稀土物质的渗硼剂中加热、保温, 通过稀土物质的作用, 促使活性硼原子更多地渗入工件的表层, 以改变工件表面的化学成分和组织, 从而改善其性能。

1 试验

1.1 试验材料

所用试件为 Q345 钢, 经厦门工程机械股份有限公司化验室化验, 其化学成分(以质量分数计)如下: 0.18% C, 1.15% Mn, 0.41% Si, 0.016% P, 0.009 6% S。试件尺寸为 20 mm×20 mm×10 mm。

采用 GSB-I 型膏剂渗硼剂, 其成分主要包括碳化硼、氧化硼、氟硼酸钾、无水碳酸钠、碳化硅和糊精粉。稀土添加物为氧化铈稀土, 保护层材料为水玻璃和耐

火土。

1.2 试验方法

1.2.1 稀土加入量的初选

渗硼所用设备为 SX2-4-10 箱式电阻炉。渗硼剂中氧化铈稀土的添加量分别为 0, 2%, 5% 和 8% (质量分数, 全文同), 试验采用单一因素变量, 工艺条件为: 渗硼温度 900 ℃, 渗硼时间 5 h, 膏剂涂层厚度 6 mm。

1.2.2 稀土催渗正交试验

在 1.2.1 试验结果的基础上, 为了更准确地确定稀土的加入量及工艺条件, 进行了三因素三水平的正交试验。因素为温度(A)、时间(B)和氧化铈的添加量(C), 各因素对应的水平值见表 1。

表 1 因素水平表

Tab.1 The factors and level

水平	因素		
	温度/℃	时间/h	稀土添加量/%
1	840	3	1
2	880	5	2
3	920	7	3

[收稿日期] 2011-11-30; **[修回日期]** 2011-12-19

[作者简介] 刘建建(1986—), 男, 福建莆田人, 硕士生, 主攻材料表面热处理。

[通讯作者] 杨光(1971—), 女, 吉林长春人, 博士, 主要研究方向为结构动力学分析。

2 结果及分析

2.1 稀土加入量的确定及机理分析

2.1.1 渗硼层显微组织

图 1 为渗硼层在 DZ4 型连续变焦显微镜下放大 900 倍的显微形貌,由图 1 可知:硼化物呈连续针齿状(或指状),以长短不齐的方式楔入基体,与基体结合牢固。对比 a 和 b 两图可知:与未加稀土的渗硼层相比,加入 2% 稀土的渗硼层表层组织更加致密,孔洞少,针齿状明显,且更厚。由此可见,加入稀土有效地改善了渗硼层的组织。

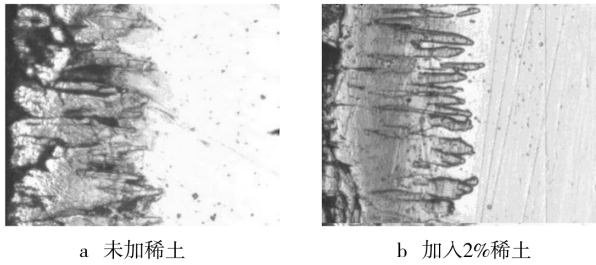


图 1 渗硼层显微形貌

Fig. 1 Microstructures of boronizing layer

2.1.2 渗层厚度

渗硼层厚度随稀土添加量的变化情况如图 2 所示,可见,氧化铈稀土添加量为 2% 时效果最好,与未加稀土的渗层相比,厚度增加 10% 左右,而超过一定值后,稀土添加量越高,催化效果越不明显,甚至出现渗层比未添加稀土的渗层还薄的现象。

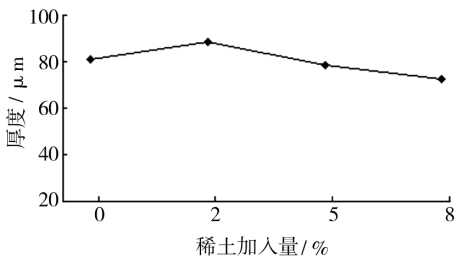


图 2 稀土加入量对渗硼层厚度的影响

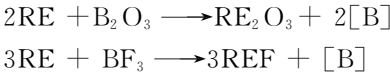
Fig. 2 The effect of different rare earth addition on boronizing layer thickness

2.1.3 稀土的作用机理分析^[5-9]

从上述试验结果可知,添加氧化铈稀土后,渗硼层不仅组织上得到显著改善,而且厚度增加。这主要与氧化铈稀土在渗硼过程中起到的两方面主要作用有关,一是促进渗硼剂的分解,二是促进界面对硼的吸附和扩散。

从稀土元素电子层的结构特点可知,其 4f 层没有填满,具有较大的有效电荷,因此稀土对许多化学反应有催化作用。进行化学热处理时,在渗硼剂中加入稀

土,能催化渗硼剂的反应,增加渗硼剂在单位时间内产生活性硼原子的数量,提高“硼势”,促进渗硼层的形成。稀土能促进渗硼剂的分解,主要是因为稀土不但容易夺取 B₂O₃ 中的氧,还具有还原作用,从而产生大量的活性硼原子,其反应如下:



目前,大部分学者都认为,由于稀土原子的加入,工件表面得到净化,从而有利于稀土原子和硼原子的吸附。这主要是因为稀土原子由于其独特的化学物理性质,对周围的原子有较强的吸附力,且具有很强的化学活性,易吸附于钢的表面,形成许多活性中心,而从渗硼剂中分解产生的活性硼原子又吸附在稀土原子周围,形成了反应活化体。由于稀土原子与硼原子之间的亲和力不是很强,当吸附在稀土原子上的活性硼原子浓度达到一定程度后,硼原子便会脱离活性中心而向钢件中扩散。空余出来的活性中心又可吸附其它的活性硼原子,建立起新的反应活化体,形成新的活性硼原子浓度,使得活性硼原子持续不断地向钢中扩散。因此,在渗硼剂中加入适量的稀土,不仅能够提高钢的表面活性,还能使活性硼原子在钢表面更加容易地吸附和扩散。

2.2 正交试验

由于本试验的因素及其水平值都是 3 个,因此选用 L₉(3⁴)交互作用正交表^[10],见表 2。

表 2 正交试验表

Tab. 2 Orthogonal test table

序号	因素			渗层厚度 /μm
	A(温度)	B(时间)	C(稀土添加量)	
1	1	1	1	36.61
2	1	2	2	53.17
3	1	3	3	55.02
4	2	1	2	54.27
5	2	2	3	72.34
6	2	3	1	77.84
7	3	1	3	76.94
8	3	2	1	89.50
9	3	3	2	107.58
K ₁ /μm	144.80	167.82	203.95	
K ₂ /μm	204.45	215.01	215.02	
K ₃ /μm	274.02	240.44	204.30	
\bar{K}_1 /μm	48.27	55.94	67.98	
\bar{K}_2 /μm	68.15	71.67	71.67	
\bar{K}_3 /μm	91.34	80.15	68.10	
R/μm	43.07	24.21	3.69	

根据表 2 的数据可知,渗硼温度的极差比渗硼时间和稀土量添加量的大得多,因此可以认为渗硼温度

是最显著的影响因素。本试验的指标为望大指标,从极差值可判断各因素对试验指标(渗层厚度)的影响由大到小依次为:渗硼温度、渗硼时间、稀土添加量。这主要是由于渗硼温度对渗硼剂分解形成活性硼原子及活性硼原子能否进入钢铁表面起主导作用;而渗硼时间对渗层厚度的影响主要是活性硼原子以扩散方式进入钢铁表面,在一定范围内,时间越长,进入表面的活性硼原子数就越多,从而使渗层厚度增加;稀土的作用主要是促进渗硼剂的分解及活性硼原子的吸附、扩散。根据表 2 数据,最终确定的工艺方案为 A3B3C2。

2.3 渗硼层硬度分析

采用添加 2% 氧化铈稀土和未加稀土的两种渗硼剂,在 920 °C 渗硼 7 h,所得样品用 HV-1000 型显微硬度计测试显微硬度,测量时加载 25 g,加载时间 15 s,结果如图 3 所示。硬度最高的部位出现在渗硼层的内层,而不是出现在渗硼层的外层,这主要是因为渗硼层外层组织较疏松且有孔洞等缺陷。观察两曲线可知:与未加稀土的样品相比,加入 2% 稀土的样品硬度出现最大值的地方更靠近表层,这也间接说明了加入 2% 稀土得到的渗硼层表层比未加稀土得到的渗硼层更加致密。而且,加入 2% 稀土的样品,硬度变化趋势较未添加稀土的样品平稳,这说明稀土有利于改善渗硼层的质量。此外,在测量的过程中发现,加入稀土的样品,其硬度压痕较未加稀土的样品光整,这说明稀土也有利于改善渗层的脆性。

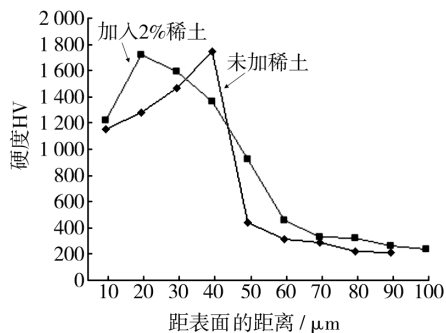


图 3 渗硼层硬度梯度曲线

Fig. 3 Hardness gradient curve of boronizing layer

由硬度曲线还可知,经过稀土催渗渗硼后的钢材,虽然表面获得了很高的硬度,但是其基体硬度仍然较低,这会使得渗硼层由于得不到有力的支撑而容易脱落。根据文献的介绍^[11-13],可通过进一步淬火+低温回火热处理来提高基体的硬度和强度,以使其在工况下能够更好地支撑渗硼层。

3 结论

1) 加入适量的氧化铈稀土可使渗硼层增厚 10%

以上,而且能很大程度上改善渗硼层的组织性能。

2) Q345 钢的最优稀土催渗渗硼工艺条件为:渗硼温度 920 °C,渗硼时间 7 h,氧化铈稀土添加量为 2%。

[参 考 文 献]

- [1] 余宗森. 稀土在钢铁中的应用[M]. 北京:冶金工业出版社,1987:56-57.
- [2] 钟华仁. 钢的稀土化学热处理[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [3] 刘湘. 稀土加入量对硼砂固体渗硼效果的影响[J]. 热加工工艺,2004(6):34-36.
- [4] 洪振声,尹付成. 稀土硼钒共渗对 45 钢组织和性能的影响[J]. 湘潭大学学报,2000,22(1):61-64.
- [5] 王世清,王立峰,杨爱华. 稀土元素在化学热处理中的应用[J]. 金属热处理,1990(12):52-59.
- [6] 常延武,徐洲. 稀土对化学热处理催渗作用的机理探讨[J]. 上海金属,2001,23(5):14-16.
- [7] 许斌,冯承明,宋月鹏. 固体硼钒稀土共渗组织与性能研究[J]. 金属热处理,1998(6):23-26.
- [8] 谢飞,马宝钿,何家文,等. 钢中稀土对化学热处理的影响与作用机理[J]. 稀有金属材料与工程,1997(1):52-55.
- [9] 程先华,谢超英. 稀土元素在钢的化学热处理中作用机理研究[J]. 中国稀土学报,1994(4):336-339.
- [10] 郑少华,姜奉华. 试验设计与数据处理[M]. 北京:中国建材工业出版社,2004.
- [11] 柳祥训,钟华仁,张淑芳. 化学热处理问答[M]. 北京:国防工业出版社,1990:181-201.
- [12] 陈树旺. 渗硼热处理[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [13] 马永杰. 热处理工艺方法 600 种[M]. 北京:化学工业出版社,2008.