高强耐候稀土微合金化 YQ450NQR1RE 乙字钢试制*

卜向东[1,2], 涛 雅[1], 姜德刚[1], 冯岩青[1], 宋振东[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区稀土钢产品研发企业重点实验室, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章通过在包钢现有的310乙字钢基础上, 加入0.003 0%铈铁合金, 对比分析稀土合金加入对铸坯内部质量及常规力学性能的影响, 对比结果表明, 铈铁合金的加入有效提高了310乙字钢的综合力学性能。

关键词: 稀土; 微合金化; 乙字钢

中图分类号: TG335.4^{+2} **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2019)06-0043-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.06.010

Trial Production of High-strength Weathering Resistant Microalloyed YQ450NQR1RE Z-steel with Rare Earth

Bu Xiang-dong[1,2], *Tao Ya*[1], *Jiang De-gang*[1], *Feng Yan-qing*[1], *Song Zhen-dong*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Enterprise Key Laboratory of Rare Earth Steel Products Research & Development, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the effects of rare earth alloy addition on the internal quality and conventional mechanical properties of ingot blank are compared and analyzed by adding 0.003 0% ferro cerium alloy into the existing 310 Z-steel of Baotou Steel. The comparison results showed that the comprehensive mechanical properties of 310 Z-steel were effectively improved by adding the ferro cerium alloy.

Key words: rare earth; microalloyed; Z-steel

310乙字钢是制作铁路货车车厢中梁的专用特殊型钢, 是列车高速、重载的重要保证, 要求其具有较高强度及良好的低温冲击韧性。国内铁路行业常用的高强耐候乙字钢材质为YQ450NQR1。

近年来稀土在钢中的作用受到越来越广泛的重视, 稀土合金的加入量、加入位置以及对钢材性能的影响成为国内外冶金学者研究的重要内容。国内外冶金学者关于稀土在钢中的作用做了大量的研究工作, 取得了非常重要的成果, 并成功地应用大生产中[1]。其独特的电子壳结构, 4f壳层结构的能价态可变和大原子尺寸的特点, 使其成为极强的净化剂和洁净钢夹杂物的有效变质剂, 以及有效控制钢中弱化源、降低局域区能态和钢局域弱化的强抑制剂[2]。

随着钢铁工业不断发展, 冶炼技术及钢的洁净度不断提高, 科学的利用稀土合金, 对改善钢材性能

收稿日期: 2019-09-16

作者简介: 卜向东(1987-), 男, 内蒙古乌兰察布市人, 工程师, 现从事型钢领域新产品研发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

及开发新钢种有着重要意义。

1 化学成分及工艺流程

1.1 试验钢化学成分

试验钢在YQ450NQR1标准成分的基础上，添加铈铁合金，加入量为0.003 0%，化学成分如表1所示。

表1 试验钢YQ450NQR1RE化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V	RE(加入量)
0.07~0.15	0.30~0.50	1.30~1.50	≤0.030	≤0.015	0.20~0.40	0.20~0.40	0.2~0.35	0.06~0.14	0.003 0

1.2 工艺流程

高炉铁水→铁水预处理→转炉冶炼→LF精炼→矩形坯连铸机

上料→步进加热炉→高压水除磷→BD开坯→CCS万能轧制→热锯→步进冷床冷却→矫直→锯切→外形、表面质量检查→打包→入库、外发

2 冶炼工序控制

2.1 铁水条件

采用预处理脱硫铁水，$w([S])\leqslant 0.035\%$，$w([P])\leqslant 0.12\%$。

2.2 转炉冶炼

转炉终点碳控制在0.03%~0.08%，$w([P])\leqslant 0.025\%$，采用硅锰、锰铁和铬铁合金化，有铝终脱氧，出钢温度控制在1 630 ℃以上。

2.3 LF精炼

依据转炉钢水成份及温度进行脱硫、成份微调及升温操作，精炼末期加入铈铁合金0.3 kg/t，软吹时间大于10 min。

2.4 矩形坯连铸

铸机全流生产，严格采用恒拉速操作，拉速控制在0.53~0.60 m/min，使用结晶器电磁搅拌，过热度控制在25~35 ℃，二冷采用中冷水表，提高铸坯进拉矫机温度，控制铸机二冷室外来水。铸坯切割后及时进行缓冷，缓冷时间大于24 h。

3 加热及轧制工艺控制

由于铜元素的存在，铸坯加热至铜的熔点(1 083 ℃)时采用快烧，尽量缩短铸坯在1 083 ℃时的停留时间，钢坯加热温度控制在1 180~1 240 ℃，保证炉内还原性气氛。铸坯入BD1前，为防止大量的氧化铁皮压入，导致产品表面产生缺陷，开轧前进行高压水除磷，开轧温度控制在1 150~1 180 ℃。BD1轧制9道次，BD2轧制3道次，CCS轧制1道次，终轧温度控制在880~930 ℃。

4 试制结果与讨论

4.1 钢中稀土含量

对加稀土的试验钢进行中间包、铸坯及成品稀土含量分析，分析结果如表2所示。

表2 试验钢稀土铈含量(质量分数) %

中间包试样	连铸坯试样	成品乙字钢试样
0.002 0	0.001 3	0.001 1

由表2可以得出，该稀土加入工艺下，成品稀土收得率为37%。

4.2 铸坯内部质量

分别取一块未加稀土YQ450NQR1矩形坯及一块加稀土YQ450NQR1RE矩形坯进行硫印热酸检验，硫印检验结果见表3，热酸检验结果见表4。

表3 铸坯硫印检验结果

中心偏析	中心裂纹	中间裂纹	皮下裂纹	角部裂纹	夹杂物	备注
0	1	0	0	0	1	未添加稀土
0	1	0	0	0	1	添加铈铁合金

中国知网 https://www.cnki.net

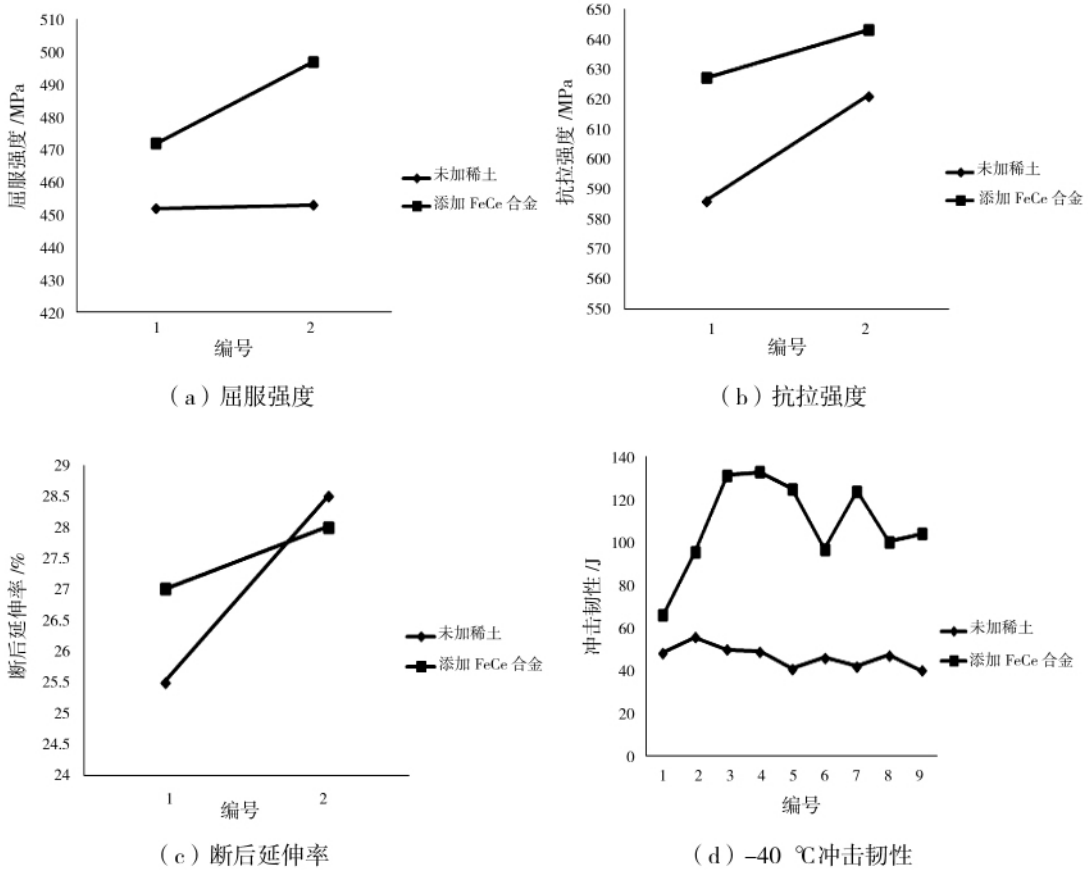
表 4　铸坯热酸检验结果

中心疏松	缩孔	中心裂纹	中间裂纹	皮下裂纹	角部裂纹	皮下气泡	非金属夹杂物	备注
1	无	0.5	1	无	无	无	无	未添加稀土
1	无	0.5	0.5	无	无	无	无	添加铈铁合金

通过铸坯热酸及硫印结果对比可以看出，稀土铈铁合金的加入，对铸坯内部质量无明显影响。

4.3　常规力学性能

分别取一块未加稀土 YQ450NQR1 热轧 310 乙字钢及一块加稀土 YQ450NQR1RE 热轧 310 乙字钢进行力学性能、低温冲击韧性、非金属夹杂物及晶粒度检验，见图 1。图 1(a) 为屈服强度对比情况，图 1 (b) 为抗拉强度对比情况，图 1(c) 为断后延伸率对比情况，图 1(d) 为 －40℃ 冲击韧性对比情况，表 5 为非金属夹杂物及晶粒度对比情况。



（a）屈服强度　（b）抗拉强度

（c）断后延伸率　（d）–40 ℃冲击韧性

图 1　常规力学性能检验结果

由图 1 可以看出，在同样的设备条件及工艺条件下，加入 0.003 0% 铈铁合金后，屈服强度提高 15 ~ 30 MPa，抗拉强度提高 20 ~ 40 MPa，－40 ℃冲击韧性整体提高 20 J 以上，断后延伸率稳定性提高。

稀土元素的合金化作用主要是稀土原子在晶界上偏聚或与其它元素的交互作用，引起晶界组织，化学成分和晶界能的变化，并影响其它元素的扩散和新相的成核与长大，最终导致钢的组织与性能的变化。固溶在钢中的稀土往往通过扩散机制富集于晶界，减少了杂质元素在晶界的偏聚，强化了晶界，改善了钢与晶界有关的性能。稀土可显著降低钢中碳、氮的脱溶量，使它们不能脱溶进入内应力区或晶体缺陷中去，减小了钉扎位错的间隙原子数目，因而提高了钢的塑性和韧性[3]。

中国知网　https://www.cnki.net

表5 非金属夹杂物及晶粒度检验结果

夹杂物/级					组织	晶粒度/级	备注
A	B	C	D	Ds			
1.0	1.5	1	0.5	0.5	F+P	9.5	未添加稀土
0.5	1	0.5	0.5	0.5	F+P	9	添加铈铁合金

由表5可以看出,加入0.003 0%铈铁合金后,钢中硫化物、氧化物及硅酸盐夹杂物级别有所降低。

稀土可控制钢中硫、氧夹杂物的形态,用少量的Al终脱氧并加入稀土,则会形成高熔点的在晶内任意分布的球形夹杂,取代沿晶界分布的第二类硫化物。这种夹杂物全部为灰黑色的RE_2O_2S,外层为浅灰色的稀土硫化物,Al_2O_3可以作为稀土硫化物的结晶核心,从而使群聚的Al_2O_3消失。当稀土加入量适宜时,稀土硫化物可以完全取代MnS[4]。稀土Ce元素对硫、氧夹杂物有一定的变质作用,使其在基体中呈现弥散球状化[5-6]。

5 结论

(1)在精炼末期加入稀土铈铁合金工艺可行,成品稀土收得率为37%。

(2)与常规YQ450NQR1铸坯比较,加入0.003 0%铈铁合金铸坯内部质量无明显差别。

(3)在同样的设备条件及工艺条件下,加入0.003 0%铈铁合金,成品310乙字钢的屈服强度,抗拉强度、断后延伸率稳定性及-40 ℃低温冲击韧均有所提高;钢中硫化物、氧化物及硅酸盐级别有所降低。

参 考 文 献

[1] 马杰,刘芳.稀土元素在钢中的作用及对钢性能的影响[J].钢铁研究,2009,37(3):54-56.

[2] 富晓阳,杨吉春,赵莉萍,等.稀土元素在钢中作用机理与研究现状[J].湖南有色金属,2015,31(1):55-57.

[3] 陈岁元,江自应.稀土在钢铁中的作用机理研究[J].云南冶金,1998,27(3):1-4.

[4] 王龙妹,杜挺,卢先利,等.微量稀土元素在钢中的作用机理及应用研究[J].稀土,2001,22(4):37-40.

[5] 黄宇,谢有,成国光,等.稀土对于H13钢中大尺寸非均质形核碳化物的影响[J].中国稀土学报,2017,35(6):782-789.

[6] 王林珠.铝脱氧钢中非金属夹杂物细微弥散化的基础研究[D].北京:北京科技大学,2017.

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.06.011

启 事

本刊已加入“万方数据库”、“中国知网”、“维普数据库”等。凡向本刊投递的稿件一经采用,即视为作者同意将作品的网络传播权及电子版使用权授予本刊,本刊一次性给付的稿酬已包含上述授权的费用。若不同意上述内容者,请在投递的稿件上予以特别声明,以便本刊酌情处理。

《包钢科技》编辑部

中国知网 https://www.cnki.net