

喂 CaSi-加 RE 处理对耐候钢 09CuPTiRE 夹杂物和冲击韧性的影响

华 蔚 田正宏 江来珠

(宝山钢铁股份有限公司技术中心结构研究所, 上海 201900)

摘 要 通过 50 kg 真空感应炉研究了 09CuPTiRE 钢 Al 脱氧后加 0.042% RE 处理和 Al 脱氧后喂 CaSi 线-加 0.042% RE 处理后 14 mm 钢板中的夹杂物和横向冲击韧性。结果表明,加 RE 处理,稀土回收率 12%,钢中 RE 0.005%, RE/S 为 1.0,钢中夹杂物为链状稀土硫化物和稀土氧化物,20 °C 钢板平均横向冲击功 112 J;喂 CaSi 线-加 RE 处理,稀土回收率 31%, RE/S 为 2.2,钢中 RE 0.013%,钢中夹杂物为球状钙硅酸盐和稀土硫化物复合夹杂,20 °C 钢板平均横向冲击功提高至 130 J。喂 CaSi 线-加 RE 工艺优于加 RE 工艺。

关键词 耐候钢 09CuPTiRE 喂 CaSi-加 RE 处理 夹杂物 横向冲击韧性

Effect of Feeding CaSi Wire - Adding RE Treatment on Inclusion and Impact Toughness of Atmosphere Corrosion Resisting Steel 09CuPTiRE

Hua Wei, Tian Zhenghong and Jiang Laizhu

(Institute for Structural Materials, Technical Center, Baoshan Iron and Steel Co Ltd, Shanghai 201900)

Abstract Inclusion and transversal impact toughness of 14 mm plate of steel 09CuPTiRE with adding 0.042% RE or feeding CaSi wire - adding 0.042% RE after Al deoxidation have been studied by a 50 kg vacuum induction furnace. Results showed that with adding RE treatment, the RE yield was 12% with 0.005% RE in steel and RE/S = 1.0, the inclusions in steel were RE oxysulphide and RE oxide and the average transversal impact energy at 20 °C of plate was 112 J; with feeding CaSi wire - adding RE treatment, the RE yield was 31% with 0.013% RE in steel and RE/S = 2.2, the inclusions in steel were compound of spherical calcium silicate and RE oxysulphide and the average transversal impact energy at 20 °C increased to 130 J. The feeding CaSi wire - adding RE process was better than only adding RE process.

Material Index Atmosphere Corrosion Resisting Steel 09CuPTiRE, Feeding CaSi Wire - Adding RE Treatment, Inclusion, Transversal Impact Toughness

钢中非金属夹杂物的形态、尺寸和成分对钢的浇铸、力学、耐蚀性能有显著影响,尤其沿轧制方向延伸的长条硫化物对钢的冲击韧性有很大危害^[1];链状、高熔点的氧化铝夹杂易局部集聚,钢水浇铸时极易在水口内壁粘附并继续生长,形成水口结瘤等问题^[2]。本文通过 CaSi 线和稀土复合脱氧实验对 09CuPTiRE (Cu-P 耐候钢) 钢中夹杂物形成的类型、结构及钢的力学性能、冲击韧性的各向异性影响进行了研究。

1 实验用钢和方法

1.1 实验钢的冶炼

在实验室 50 kg 真空感应炉中冶炼,待钢料完全熔化后,充入氩气作为保护气体,合金添加剂加入

的温度在 1 570 ~ 1 600 °C 之间,钢水先用 Al 预脱氧,在出钢前 5 min 再以两种脱氧方式进行终脱氧。第一种采用 98.5% 混合稀土单独脱氧,稀土的加入量为 0.042%;第二种采用 CaSi 线和 98.5% 混合稀土同时加入钢水中,CaSi 线的喂入量为 200 mm,混合稀土的加入量为 0.042%。钢水通过电磁搅拌装置均匀搅拌 1 ~ 2 min 后,出钢浇铸成 40 kg 钢锭。实验用钢的熔炼化学成分见表 1。

表 1 结果表明,采用 98.5% 混合稀土单独脱氧,稀土回收率为 12%;采用喂 CaSi 线与 98.5% 混合稀土同时加入钢水的脱氧方式,稀土回收率达到 31%。

1.2 试样的制备

为了分析实验钢中夹杂物的变性及对钢力学性

表 1 09CuPTiRE 实验钢的化学成分/%
Table 1 Chemical compositions of test steel 09CuPTiRE /%

处理工艺	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti	Ca	Al	RE	O
加 RE	0.06	0.25	0.39	0.083	0.005	0.28	0.020	-	0.024	0.005	0.003 0
CaSi-RE	0.06	0.39	0.40	0.089	0.006	0.28	0.022	0.003 2	0.042	0.013	0.002 6

能的影响,将钢锭锻造成65 mm × 150 mm的板坯后,在单辊轧机上进行轧制,加热温度1 200 ℃,终轧温度830 ℃,轧成14 mm厚钢板于580 ℃模拟卷取。实验钢取样部位为沿轧制方向的宽度1/4处取样,磨制金相试样后,在金相显微镜下观察夹杂物形貌,采用S4200扫描电子显微镜及能谱仪对稀土夹杂物的形貌及其微观成分进行分析,利用LEICA Q600S图象仪测定不同类型夹杂物的面积百分比。利用DSS-10T-S型号的拉伸机和AHC-30-SPA7型号的冲击试验机测定轧态强度、延伸率和夏比系列温度冲击功。

2 实验结果与讨论

2.1 钢中夹杂物类型和形态

同一稀土加入量下,比较了两种脱氧方式对钢中夹杂物形态的影响。稀土夹杂物能谱分析结果见表2。表2中数据表明,CaSi线-混合稀土复合脱氧效果优于混合稀土单独脱氧效果,更有利于净化钢质。图1(a)为混合稀土单独脱氧实验钢的夹杂物

扫描电镜照片,当RE/S比值为1.0时,试样整个截面多见链状成串的稀土夹杂物,夹杂物为RE₂O₂S和RE₂O₃;图1(b)为CaSi线-混合稀土复合脱氧后实验钢中夹杂物扫描电镜照片。RE/S比为1.0~2.2,Ca/S比为0.53~0.64时,钢中夹杂物的形态已发生了明显的变化,多角状的大块夹杂物变为球状或近似圆球的细小颗粒,且其分布状态由聚集分布变为弥散均匀分布,夹杂物为RE(Ca,Si,...)O₃低熔点稀土氧化物、RE₂O₂S和(RE,Ca)S,基本没有延伸状的硫化物(MnS)。

表2 能谱分析(EDS)09CuPTiRE钢中稀土(RE)夹杂物元素含量/%

Table 2 Energy dispersive X-ray spectroscopic analysis of RE inclusions in steel 09CuPTiRE /%

处理工艺	O	S	Fe	La	Ce	Ca
RE	9.46	7.29	28.77	22.85	30.91	-
CaSi-RE	11.70	14.80	3.92	25.55	32.87	11.16

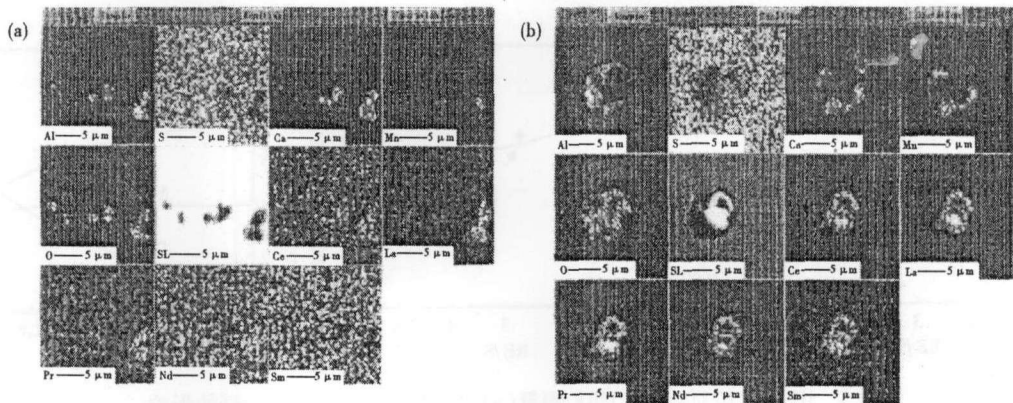


图1 09CuPTiRE钢稀土夹杂物的形貌,SEM:(a) RE处理,0.005% RE,RE/S=1.0;(b)喂CaSi线-RE处理,0.013% RE,RE/S=2.2
Fig.1 Morphology of RE inclusions in steel 09CuPTiRE, SEM: (a) Adding RE, 0.005% RE, RE/S = 1.0; (b) Feeding CaSi wire - adding RE, 0.013% RE, RE/S = 2.2

2.2 钢的力学性能

表3示出脱氧工艺对钢力学性能的影响。实验结果表明,脱氧工艺对钢屈服强度、抗拉强度和延伸率影响不大,其主要反映在钢的冲击韧性上。混合稀土脱氧后钢的冲击韧性的各向异性严重,CaSi线-混合稀土复合脱氧后钢的横向冲击功明显提高,冲击韧性的各向异性显著降低。

表3 处理工艺对09CuPTiRE钢力学性能的影响

Table 3 Effect of treatment process on mechanical properties of steel 09CuPTiRE

处理工艺	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	20℃冲击功/J	
				横向	纵向
RE	320	455	37.5	112	176
CaSi-RE	315	450	38.0	130	150

综合实验室实验结果,混合稀土单独脱氧和CaSi线-混合稀土复合脱氧工艺都对09CuPTiRE钢的强度、延伸率无明显的影响,其影响主要反映在冲击功上。当CaSi线和混合稀土同时加入,在保证一定的RE/S比和Ca/S比的情况下,一方面能获得更理想的夹杂物组成和形态,避免钢冲击韧性上的各向异性,提高钢的横向冲击韧性;另一方面减少高熔点稀土夹杂物含量,形成低熔点稀土钙硅酸盐和稀土氧硫化物复合夹杂,有利于钢中夹杂物的充分上浮净化钢质,从而减少或者避免浇注时结瘤。

3 工业生产RE/S比值对钢中氧、硫、夹杂物数量的影响

09CuPTiRE钢工业性数据表明,采用CaSi线-

混合稀土复合脱氧,钢中RE/S比值低于2.5时,10 mm和12 mm厚钢板-40℃的横向冲击韧性随RE/S比值增加而提高;当RE/S比值大于2.5后,钢的横向冲击韧性呈下降趋势(图2)。

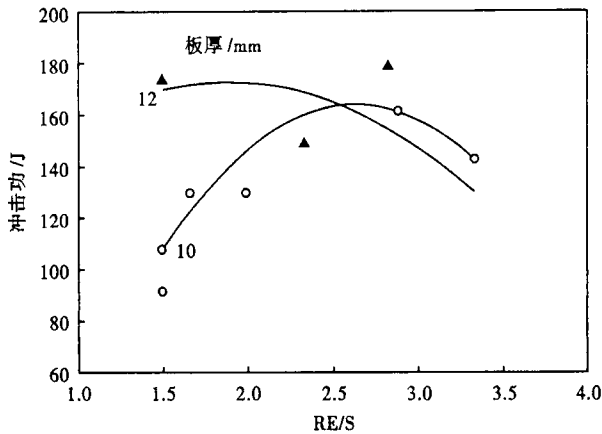


图2 钢中RE/S比值对09CuPTiRE钢10 mm和12 mm厚钢板-40℃横向冲击韧性的影响
Fig. 2 Effect of RE/S ratio on transversal impact energy of 10mm and 12mm plate of steel 09CuPTiRE at -40℃

钢中夹杂物的变性与钢中硫、氧和RE/S比值存在一定的关系^[3]。在实验室研究基础上,通过对工业性实验数据的统计,研究了09CuPTiRE耐候钢以CaSi线-混合稀土复合脱氧后,钢中氧、硫、夹杂物数据与RE/S比值的关系统计于图3(a)~(c)。实验数据表明,当钢中Ca/S比值一定时,硫含量随RE/S比值增加而降低;钢中氧含量随RE/S比值的变化趋势是先降后增,当RE/S比值为2.5时钢中氧含量达到最低值。借助钢的热力学公式也可以证明稀土脱氧平衡曲线与相对应的RE/S比值存在最低点^[4]。钢中夹杂物类型分A型硫化物(MnS)、B型氧化物(Al₂O₃)、C型硅酸盐和D型弥散分布的球状或点状夹杂物。从图3(c)夹杂物面积百分数与RE/S比值关系表明:RE/S比值在1.0~1.5范围内,A型(MnS)夹杂物面积百分数变化不大,RE/S比值超过1.5时,A型(MnS)夹杂物数量急剧减少并消失;B型氧化物(Al₂O₃)也随RE/S比值增大逐渐减少;D型混合球状或点状夹杂物(稀土硫氧化物和稀土硫

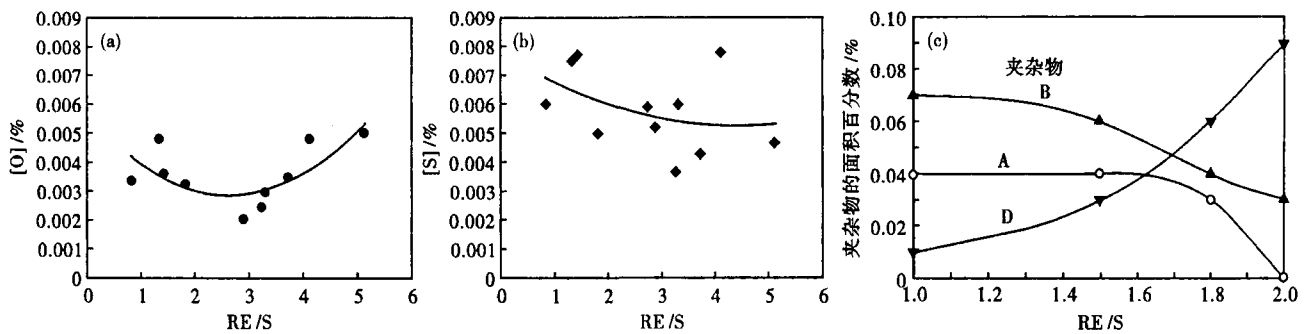


图3 RE/S比值对09CuPTiRE钢氧(a)、硫(b)和夹杂物(c)含量的影响
Fig. 3 Effect of RE/S ratio on oxygen (a), sulphur (b) and inclusion (c) content in steel 09CuPTiRE

化物)则随RE/S比值的增加而增加。

4 结论

(1)实验室用混合稀土单独脱氧时,当RE/S比值1.0时,钢中变性夹杂物多以链状稀土氧硫化物和稀土氧化物存在;以CaSi线-混合稀土复合脱氧钢中,当RE/S比1.0~2.2、Ca/S比为0.53~0.64时,变性夹杂物多以球状或近似圆球的细小颗粒、低熔点稀土钙硅酸盐和稀土氧硫化物复合夹杂存在。

(2)钢中硫、氧含量和夹杂物的面积百分数与RE/S比值存在一定的关系。当09CuPTiRE(Cu-P耐候钢)钢中Ca/S比值一定时,硫含量随RE/S比值增加而降低;当RE/S比值为2.5时,钢中氧含量达到最低值时,长条状MnS消失。

(3)采用CaSi线-混合RE复合脱氧,钢的横向

冲击韧性显著提高。当钢中RE/S比值为2.5时,在-40℃的横向冲击功达到峰值。

参考文献

- 岳丽杰,王龙妹,徐成海,等. Cu-P耐候钢中稀土对夹杂物的耐腐蚀性的影响. 东北大学学报(自然科学版), 2004, 25(12): 1179
- 余宗森,褚幼义,贺信莱,等. 钢中稀土. 北京:冶金工业出版社, 1982
- 李为缪. 钢中非金属夹杂物. 北京:冶金工业出版社, 1988
- 魏寿昆. 冶金过程热力学. 上海:上海科技出版社, 1980

华蔚(1963-),女,工程师,2004年东北大学毕业,特殊钢新产品开发。

收稿日期:2007-09-10