

板坯结晶器喂稀土对 30CrMnMo 钢夹杂物和低温韧性的影响

陈本文^{1,2} 苏春霞^{1,2} 赵刚^{1,2} 付超^{1,2} 杨晰^{1,2} 杨成^{1,2}

(1 海洋装备用金属材料及其应用国家重点实验室,鞍山 114009;2 鞍钢股份技术中心,鞍山 114009)

摘要 在 300 mm × 1 950 mm 板坯结晶器宽面中心两侧 500 mm 处向 30CrMnMo 钢(/% : 0.31C, 0.48Si, 1.44Mn, 0.011P, 0.001S, 1.20Cr, 0.71Mo, 0.040Als) 喂入 0.017% RE。分析结果表明,稀土收得率 95% 以上,在钢中分布均匀,改变了钢中夹杂物形态,大多数夹杂呈球状,与不加 RE 30CrMnMo 调质钢相比,含 0.017% RE 30CrMnMo 钢 60 mm 板调质后 -40 °C 冲击功(K_{v2})由 50.9 ~ 56.6 J 提高至 77.6 ~ 81.6 J。

关键词 30CrMnMo 钢 300 mm × 1 950 mm 板坯 结晶器喂稀土丝 夹杂物 -40 °C 低温冲击功

Effect of Slab Mold Feeding RE on Inclusions and Low Temperature Toughness of Steel 30CrMnMo

Chen Benwen^{1,2}, Su Chunxia^{1,2}, Zhao Gang^{1,2}, Fu Chao^{1,2}, Yang Xi^{1,2} and Yang Cheng^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Metal Material for Marine Equipment and Application, Anshan 114009;
2 Technology Center, Angang Co Ltd, Anshan 114009)

Abstract 0.017% RE is fed in steel 30CrMnMo (/% : 0.31C, 0.48Si, 1.44Mn, 0.011P, 0.001S, 1.20Cr, 0.71Mo, 0.040Als) at both side distance 500 mm from broad face center of 300 mm × 1 950 mm slab mold. Analysis results show that the yield of RE is more than 95%, the distribution of RE in steel is uniform, the inclusions in steel is modified and most inclusions are spheroidal; as compared with quenched-tempered non-adding RE steel 30CrMnMo, the impact energy (K_{v2}) at -40 °C of quenched-tempered 60mm plate steel 30CrMnMo containing 0.017% RE increases from 50.9 ~ 56.6 J to 77.6 ~ 81.6 J.

Material Index Steel 30CrMnMo, 300 mm × 1 950 mm Slab, Mold Feeding RE Wire, Inclusions, Impact Energy at -40 °C

稀土可显著提高钢的韧塑性、耐磨性、耐腐蚀性等,使微合金钢获得更为优越的综合性能^[1-2]。我国稀土钢主要应用于低碳钢和 Nb、V、Ti 微合金化钢等钢种。鉴于稀土在钢中有净化钢液、变质夹杂和微合金化作用^[3-4],本试验在中碳低合金的 30CrMnMo 钢连铸时从结晶器中喂入稀土丝,以期最终产品获得良好的力学性能,满足用户使用需求。

1 试验条件

选取 30CrMnMo 钢浇次的第 2 罐钢为对比罐次,第 3 罐钢喂入稀土丝,两罐钢的熔炼化学成分见表 1。稀土丝参数见表 2。

在连铸结晶器喂入稀土丝,稀土收得率最高可以达到 95% 左右,一般在 80% ~ 90% 的水平^[5],因此,本次试验选择在连铸结晶器位置喂入稀土丝要求:(1)喂入点:距结晶器宽面中心两侧 500 mm、窄面 1/2 交汇处,双丝同时喂入(图 1);(2)稀土丝喂入速度为 11.5 m/min;(3)连铸工艺要求见表 3。

表 1 30CrMnMo 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel 30CrMnMo / %

罐次	C	Si	Mn	P	S	Als	Cr	Mo	RE	备注
2	0.30	0.49	1.43	0.012	0.002 0	0.039	1.20	0.70	-	对比罐次
3	0.31	0.48	1.44	0.011	0.001 0	0.040	1.20	0.71	0.017	喂入稀土丝罐次

表 2 稀土丝成分和技术参数

Table 2 Composition and technical parameters of RE wire

牌号	化学成分 / %						参数	
	RE	Ce	Fe	Si	S	P	直径 / mm	密度 / (g · m ⁻³)
RE(Ce-48)	≥99	≥48	<0.5	<0.07	<0.02	<0.01	2.5 ± 0.2	33

注:稀土丝外包 08Al 铁皮。

表 3 30CrMnMo 钢连铸工艺参数

Table 3 Parameters of casting process of steel 30CrMnMo

液相线温度 / °C	中间包钢水			拉坯速度 / (m · min ⁻¹)	铸坯断面尺寸 / mm
	目标温度 / °C	过热度 / °C	目标过热 / °C		
1 495	1 520	20 ~ 30	25	0.8 ~ 1.1	300 × 1 950

2 试验结果及分析

2.1 稀土元素分布及收得率

喂入稀土罐次(第 3 罐)铸坯横断面稀土元素分布情况见图 2;轧制的 60mm 厚钢板横断面稀土

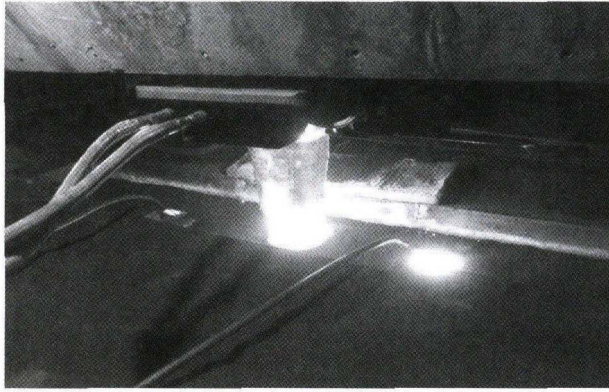


图 1 双稀土丝喂入点距结晶器宽面中心两侧各 500 mm
Fig.1 Double RE wires feeding points at both side distance from mold broad face center 500 mm

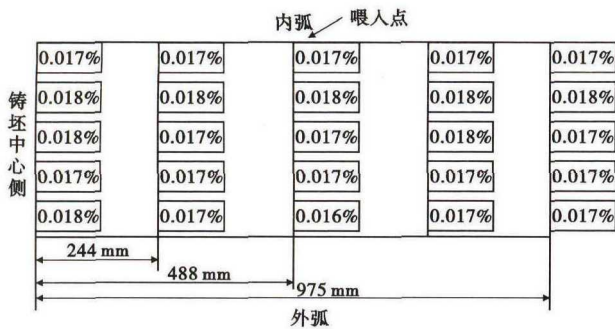


图 2 30CrMnMo 钢铸坯横断面稀土分布
Fig.2 Distribution of RE at cross section of casting slab of steel 30CrMnMo

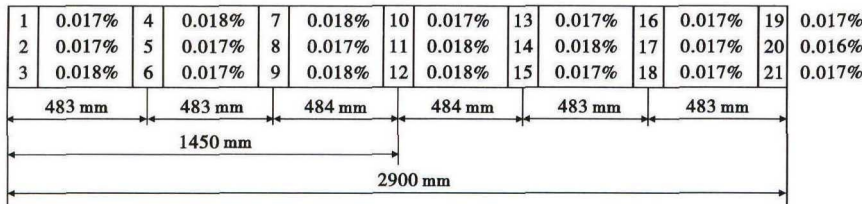


图 3 30CrMnMo 钢 60 mm 板横断面稀土分布
Fig.3 Distribution of RE at cross section of 60 mm plate of steel 30CrMnMo

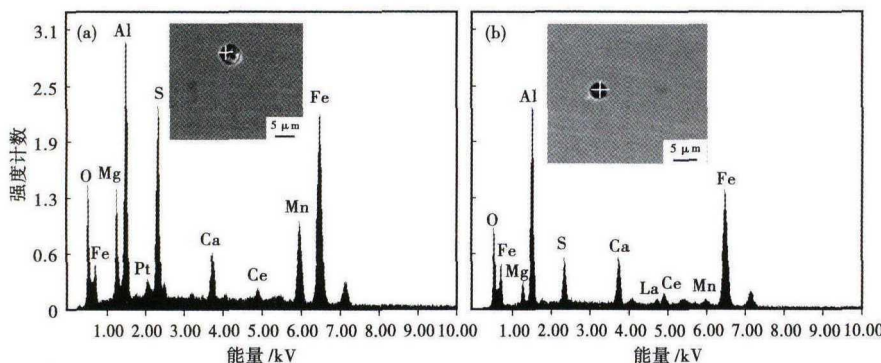


图 4 30CrMnMo 钢铸坯中夹杂物形貌及能谱分析
Fig.4 Morphology and energy spectrum analysis of inclusions in casting slab of steel 30CrMnMo

元素分布情况见图 3。从铸坯和钢板中稀土元素检验结果来看,稀土在铸坯和钢板的厚度、宽度方向上分布较均匀,稀土平均含量为 0.017%。

稀土元素收得率 =

$$\frac{V_{拉}(m/min) \times \text{铸坯单重}(t/m) \times \text{喂入量}(g/t)}{\text{稀土丝单重}(g/m) \times V_{喂}(m/min)} \quad (1)$$

$V_{拉} = 0.95 \text{ m/min}$ 。

铸坯单重 = $195 \times 100 \times 30 \times 7.85 / 10^6 = 4.59 \text{ t/m}$ 。

喂入量:根据铸坯稀土检测结果,稀土平均含量为 0.017%。折算成喂入量为 170 g/t,则单丝喂入量为 85 g/t。

稀土丝单重 = 33 g/m。

$V_{喂} = 11.5 \text{ m/min}$ 。

将以上数值代入公式(1),得铸坯稀土元素收得率为 97.7%。

2.2 稀土对钢中夹杂物的影响

取样位置为距铸坯内弧 1/4 处。夹杂物形貌、组成如图 4(a,b) 所示。从 SEM 检测结果来看,稀土加入后主要与钢中氧化物、硫化物等形成复合夹杂物(组成为 Ce-La-Al-Mg-Ca-O-Mn-S-Fe)。铸坯中夹杂物尺寸均小于 5 μm,且数量较少,含有稀土元素的复合夹杂物尺寸相对较大些,稀土夹杂物熔点高、密度大(与钢水密度相近),不易上浮,容易吸附其

它夹杂物形成尺寸较大的复合夹杂。从铸坯夹杂物形貌和组成来看,稀土加入后,与钢中各类夹杂物均发生反应,改变了夹杂物形态,夹杂物大多呈球状。

喂入稀土丝罐次轧制的 60mm 厚钢板中夹杂物主要为 B 类 1.0 级、D 类 1.5 级,其组成大多为稀土氧化物、硫化物复合夹杂(Ce-Si-Ca-Ti-O-Mn-S-Fe),如图 5(a,b) 所示。钢板中未发现 A 类夹杂,这主要是因为稀土加入后与钢中的硫化物发生反应,形成稀土硫化物,改变了夹杂物的形态,破坏了其连续性。

2.3 稀土对钢板性能的影响

喂入稀土罐次和对比罐次所轧制的 60 mm 厚钢板经调

质后(调质热处理工艺见表 4)的力学性能见表 5。由表 5 可以看出,二者拉伸性能相当, -40 ℃ 冲击功含 0.017% RE 的钢板比未加稀土(RE)的钢板高 26 J,主要是稀土的加入进一步改变了钢中夹杂物的形态,破坏了长条形硫化物的连续性,提高了钢板的横向冲击性能。

喂入稀土罐次钢板(图 6a)和对比罐次钢板(图 6b)的金相组织均为回火索氏体,说明稀土元素加入后,并没有改变其组织形态。

表 4 30CrMnMo 钢 60 mm 板调质热处理工艺

Table 4 Quenching-tempering process of steel 30CrMnMo 60 mm plate

工艺	保温温度/℃	净保温时间/min	冷却方式
淬火	900 ± 10	180	水冷
高温回火	600 ± 10	300	空冷

3 结论

(1)30CrMnMo 钢采用在结晶器两侧喂入稀土丝方法,可使铸坯和钢板中稀土元素在其厚度、宽度方向上分布较均匀,且收得率达 95% 以上。

(2)稀土加入后,改变了夹杂物形态,夹杂物大多呈球状分布,但含稀土元素的夹杂物尺寸稍大些,主要与稀土元素的原子半径较大、稀土夹杂物熔点高、密度大(与钢水密度相近),不易上浮等特点有关。

(3)中碳低合金 30CrMnMo 钢中加稀土,可提高钢板的冲击功,但对强度、硬度值无明显影响。

参考文献

[1] 王 荣,李 凯. 稀土在钢轨中的应用研究[A]. 中国稀土学会稀土在钢中应用委员会. 稀土在钢中应用技术研讨会论文集[C]. 包头:包钢冶金研究所,1999,52-57.
 [2] 林 勤,叶 文,陈 宁,等. 超低硫微合金钢中稀土元素的作用

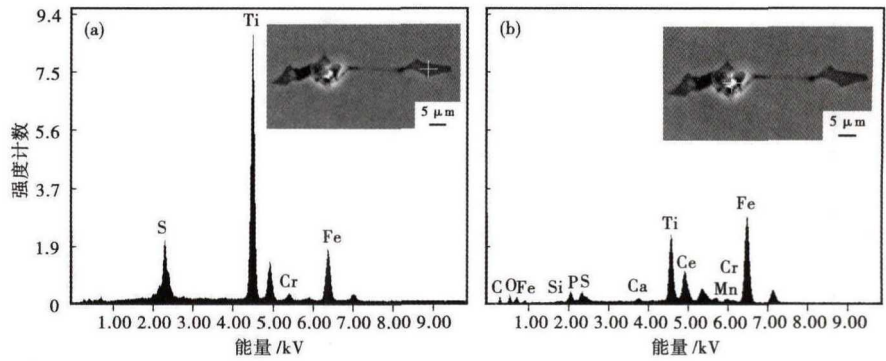


图 5 30CrMnMo 钢 60 mm 板中夹杂物形貌和能谱分析

Fig. 5 Morphology and energy spectrum analysis of inclusions in 60 mm plate of steel 30CrMnMo

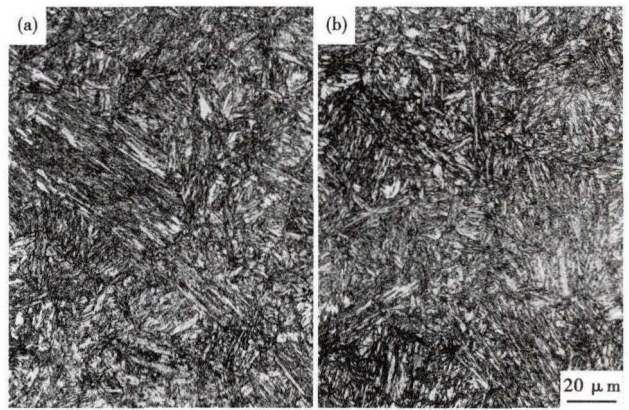


图 6 喂稀土(a)和未喂稀土(b)30CrMnMo 60 mm 钢板的组织形貌

Fig. 6 Morphology of 60 mm plate structure of steel 30CrMnMo adding RE (a) and non-adding RE (b)

表 5 未加稀土和含 0.017% RE 的 30CrMnMo 钢 60 mm 调质板的力学性能

Table 5 Mechanical properties of non-adding RE and containing 0.017% RE steel 30CrMnMo quenched-tempered 60 mm plate

罐次	常温拉伸性能				-40 ℃ 冲击功(K _{v2})/J			平均值	表面布氏硬度(HBW10/3000)			平均值
	R _{p0.2} /MPa	R _m /MPa	A/%	Z/%	N1	N2	N3		N1	N2	N3	
2(未加 RE)	836	973	17	58	50.9	54.9	56.6	54	287	285	288	287
3(含 0.017% RE)	850	985	20	65	80.3	81.6	77.6	80	295	291	291	292

[J]. 中国稀土学报,1997,15(3):228-233.
 [3] 余宗森. 稀土在钢铁中的应用[M]. 北京:冶金工业出版社,1984;251.
 [4] 卢先利. 开发我国稀土微合金钢新品种[J]. 稀土,2001,22(4):25-30.
 [5] 王德永,姚永宽,王新丽,等. 稀土钢连铸喂丝工艺存在的问题及对策[J]. 炼钢,2003,19(5):14-17.

陈本文(1977-),男,硕士(2010年辽宁科技大学),高级工程师,2001年辽宁工学院(本科)毕业,炼钢和金属材料热处理研究。E-mail:cbw_9703024@163.com

收稿日期:2017-04-27