

改善 34CrNiMo6 含硫电渣钢 B 类夹杂物的工艺实践

马 群¹ 孙常亮² 冯桂萍¹ 张晓磊³

(抚顺特殊钢股份有限公司 1 技术中心; 2 技术处; 3 第三炼钢厂, 抚顺 113001)

摘 要 34CrNiMo6 钢(/% : 0.30 ~ 0.38C, 0.50 ~ 0.80Mn, ≤ 0.40Si, 0.015 ~ 0.035S, ≤ 0.035P, 1.30 ~ 1.70Ni, 1.30 ~ 1.70Cr, 0.15 ~ 0.30Mo) 的冶金流程为 30 t EAF-LF-VD-浇铸 Φ470 mm 电极-3.6 t ESR 锭(Φ610 mm)-锻成 Φ280 mm 棒材。在分析冶炼过程中影响钢中 B 类夹杂物级别因素的基础上, 通过将电极氧含量从 20×10^{-6} 降至 11×10^{-6} 、同时电极 S 含量由 0.035% 提高到 0.045%, 进而减少重熔过程 FeS 等添加剂的添加量, 将萤石-Al₂O₃-SiO₂-MgO 重熔渣系中萤石由 45% 提高到 60% 及 SiO₂ 由 15% 降低到 5% 等措施, 生产钢材的 B 类夹杂物级别由原先的 2.5 级降至 ≤ 1.5 级, 并且钢中硫分布均匀适中, 保证了电渣钢的质量。

关键词 30 t EAF-LF-VD 电渣重熔 含硫钢 34CrNiMo6 化学成分 B 类夹杂物

Process Practice for Improvement of B-Type Inclusions in ESR Sulfur-Bearing Steel 34CrNiMo6

Ma Qun¹, Sun Changliang², Feng Guiping¹ and Zhang Xiaolei³

(1 Technology Center; 2 Department of Technology; and 3 No3 Steelmaking Works, Fushun Special Steel Co Ltd, Fushun 113001)

Abstract The metallurgical flowsheet of steel 34CrNiMo6 (/% : 0.30 ~ 0.38C, 0.50 ~ 0.80Mn, ≤ 0.40Si, 0.015 ~ 0.035S, ≤ 0.035P, 1.30 ~ 1.70Ni, 1.30 ~ 1.70Cr, 0.15 ~ 0.30Mo) is 30 t EAF-LF-VD-casting Φ470 mm electrode-3.6 t ESR ingot (Φ610 mm)-forged to Φ280 mm round bar. Based on analysis the factors to influence rating of B-type inclusions in steel during steelmaking process, with using the measures including decreasing the oxygen content in electrode from original 20×10^{-6} to 11×10^{-6} and increasing the S content in electrode from 0.035% to 0.045% to decrease the adding amount of FeS etc additives during ESR process, increasing the fluorite content in fluorite-Al₂O₃-SiO₂-MgO ESR slag series from 45% to 60% and decreasing the SiO₂ from 15% to 5%, the rating of B-type inclusions in round bar decreases from original 2.5 to ≤ 1.5 and the distribution of sulfur in steel uniform to insure the quality of ESR steel.

Material Index 30 t EAF-LF-VD, ESR, Sulfur-Bearing Steel 34CrNiMo6, Chemical Composition, B-Type Inclusions

电渣重熔具有精炼提纯和顺序凝固成形的双重功能^[1]。从钢厂实际试验生产检验来看, 电渣钢存在的主要问题是钢材 B 类夹杂物检验超标严重。其次电渣重熔过程采用加入一定量 FeS 碎末工艺进行调硫, 致使生产过程中硫含量不易控制, 波动大。

本文以抚顺特殊钢股份有限公司生产的含硫电渣钢 34CrNiMo6 为代表, 针对影响冶炼过程中 B 类夹杂物形成及硫成分控制不稳定的因素, 通过对电极棒母材成分、电渣重熔工艺及渣系进行调整, 生产的含硫电渣钢化学成分满足用户要求。

1 34CrNiMo6 钢主要技术要求和生产工艺流程

抚顺特钢生产 34CrNiMo6 钢(表 1)的工艺流程为: 30 t 电弧炉→30 t LF/VD 精炼→浇 Φ470 mm 电极棒→电渣重熔 3.6 t (Φ610 mm) 电渣锭→罩冷→修磨→墩拔锻造成 Φ280 mm 棒材→退火→超声波探伤→车加工 Φ270 mm 棒材→检验、研究。

棒材按 GB/T10561-2005 中 A 法检验非金属夹杂物, 按 JK 图评定合格级别应符合表 2 规定。实际

表 1 34CrNiMo6 钢的主要化学成分 / %

Table 1 Main chemical composition of steel 34CrNiMo6 / %

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo
0.30 ~ 0.38	0.50 ~ 0.80	≤ 0.40	0.015 ~ 0.035	≤ 0.035	1.30 ~ 1.70	1.30 ~ 1.70	0.15 ~ 0.30

表 2 34CrNiMo6 钢的夹杂物要求 / 级

Table 2 Requirement for rating of inclusions in steel 34CrNiMo6 / rating

A 类		B 类		C 类		D 类	
细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
≤ 2.5	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 1.0

检验结果见表 3。

2 影响因素分析

2.1 氧含量的影响

电渣重熔过程中氧会与部分金属发生反应, 过程反应见式(1):



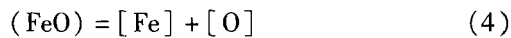
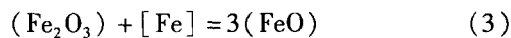
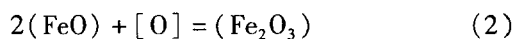
在实际生产过程中, 电渣重熔过程氧^[2]及部分

表 3 工艺改进前 34CrNiMo6 钢夹杂物评级结果/级
Table 3 Examination results of inclusions in steel 34CrNiMo6 before process optimization / rating

炉号	部位	A类		B类		C类		D类	
		细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
570019-1	头部	1.5	0	2.5	0.5	0	0	1.0	0
	尾部	2.0	0	2.5	0	0	0	1.0	0
590028-1	头部	2.0	0	2.0	0	0	0	1.0	0
	尾部	2.5	0.5	2.5	0.5	0	0	0.5	0

氧化物主要是通过以下途径进入熔渣和钢液并与金属发生反应:①原始电极中溶解的氧在高温下与金属的反应;②渣中不稳定氧化物如 FeO/SiO₂ 等所含的氧与金属发生反应;③重熔渣面上方自耗电极表面的原始氧化铁皮或在重熔过程中与空气中的氧反应生成氧化铁皮带入渣中向钢液中传递氧;④空气中的氧在渣池表面吸附,通过扩散与不稳定的变价氧化物传递供氧。

过程发生反应^[3]见式(2)~式(4):



以上可见影响 B 类夹杂物级别因素最大的就是氧以及渣系的配比,从氧的来源来看,途径③和④中氧的传递,其来源主要是大气中的氧,但是因工艺改善前后都是采用电极磨光、起弧前充氩排除结晶器内空气、重熔过程全部采用氩气保护等措施,所以本次研究中均不予以考虑。主要考虑途径①和②中氧的传递,可见在电渣重熔过程中,如降低自耗电极的氧含量,减少渣系中不稳定氧化物的比例含量,则可在一定程度上改善氧化物的级别。

试验初期未采取相关措施对电弧炉冶炼过程的氧含量进行控制,致使成品电极氧含量偏高为 20×10^{-6} 。为此对电弧炉钢液脱氧工艺进行了优化,具体为:(1)将电弧炉出钢终点碳的控制由 $\geq 0.08\%$ 提高至 $\geq 0.12\%$;增加出钢前向熔池喷吹的碳粉量,喷吹量由 200~300 kg 增加至 300~400 kg。(2)提高 LF 精炼炉渣碱度,不用含 SiO₂ 的材料造渣,精炼渣采用优质白石灰,要求满足一级以上质量要求(CaO $\geq 90\%$),生烧率 $\leq 10\%$;LF 全程采用铝粒+碳粉(原工艺为碳粉)进行扩散脱氧,其中铝粒按吨钢 1~2 kg 加入;另外要严格控制精炼过程温度,防止温度过高。(3)增加 VD 软吹时间至 20~30 min(原工艺 10 min)。(4)做好浇注过程中的 Ar 气保护工作。通过上述优化措施,要求后期试验生产电极成

品氧控制在 15×10^{-6} 以下,目标 12×10^{-6} 以下。

为减少电渣重熔过程硫的烧损,生产上需要通过降低渣料碱度来降低渣子的脱硫能力,渣料碱度的计算公式如式(5)^[4],据此重熔生产选用了含 SiO₂ 的四元渣系(CaF₂-Al₂O₃-SiO₂-MgO),但是 SiO₂ 同时作为一种不稳定氧化物加入渣中,易在高温下受热分解向渣池供氧,过程反应见式(6),可见渣中 SiO₂ 含量越高,产生的氧越多,进而影响钢中夹杂物级别。

$$\text{碱度} = \text{CaO} / (\text{SiO}_2 + 1/2\text{Al}_2\text{O}_3) \quad (5)$$

$$(\text{SiO}_2) = [\text{Si}] + 2[\text{O}] \quad (6)$$

由此在渣量一定的前提下,对渣系配比进行优化,提高了所用四元渣系中萤石粉(CaF₂ $\geq 96\%$ 、SiO₂ $\leq 1.5\%$)的比例含量至 60%,降低渣中 SiO₂ 含量至 5%。优化前后渣系比例变化见表 4。

2.2 附加剂的影响

电渣重熔的特点是边熔化边凝固^[3,5]。大量加入附加剂可能会使电渣锭产生如下缺陷:(1)改变渣系。大量加入附加剂的氧化物、氟化物会改变渣子组分,相当于改变渣系,影响金属与渣子的物理化学反应。(2)影响电渣锭的化学成分。目前冶炼使用的电渣炉不能保证附加剂加入的均匀性,也不能保证金属熔池凝固的均匀性,大量加入附加剂会造成电渣锭成分不均匀。(3)会造成电渣钢夹杂。附加剂直接加入渣池,可能会有颗粒较大的未熔化进入金属熔池或产生的氧化物进入金属熔池,造成电渣钢夹杂。部分附加剂也会造成重熔过程电流、电压的异常波动,使电渣锭夹杂物增多。

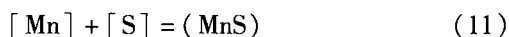
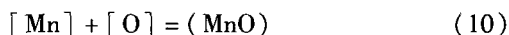
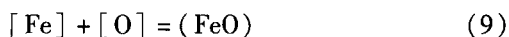
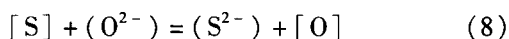
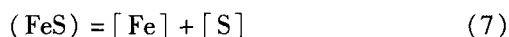
由于渣料本身具有一定的去硫作用,为保证钢中 S 含量合格,生产初期 FeS + Mn 粉附加剂使用量较大,造成电渣锭成分难以控制,钢中 S 含量控制不均匀且波动较大。并且 FeS + Mn 粉附加剂在电渣重熔过程中形成的氧化物较多且复杂,电渣重熔过程不易去除,也是导致钢材夹杂物超标的原因之一。可见在电渣工序内,若减少甚至不添加 FeS + Mn 粉附加剂,则可改善硫成分的不均匀性,同时也降低钢材夹杂物的含量。

使用 FeS + Mn 粉附加剂的电渣锭,重熔过程发

表 4 工艺优化前后重熔渣系组成 / %
Table 4 Ingredient of ESR slag series before and after process optimization / %

工艺	萤石粉	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
优化前	45	35	15	5
优化后	60	30	5	5

生反应见式(7)~式(11):



鉴于以上分析,对电弧炉生产的母材电极硫成分控制进行优化,具体控制范围由试生产时0.030%~0.040%提高到0.040%~0.050%,通过提高电极硫含量,以此来减少重熔过程FeS碎末、Mn粉的添加量。

3 生产效果验证

工艺改进后电弧炉冶炼1炉34CrNiMo6钢电极棒(规格Φ470 mm),电极成分前后变化见表5,由表5可见电极氧含量降至 11×10^{-6} ,硫成分提高至0.045%,其它合金元素基本无变化。应用成分优化后4支电极,采用单支臂电渣炉重熔试验生产4支Φ610 mm电渣锭,重熔渣系比例为:60%萤石粉:30% Al_2O_3 :5% SiO_2 :5% MgO ;重熔过程未添加FeS碎末,Mn粉减半添加,优化前后附加剂FeS、Mn粉末添加量的比对见表6。

表5 工艺优化前后34CrNiMo6钢电极主要化学成分/%

Table 5 Main chemical composition of electrode of steel 34CrNiMo6 before and after process optimization /%

工艺	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	[O]
优化前	0.35	0.71	0.30	0.035	0.004	1.53	1.53	0.23	0.002 0
优化后	0.345	0.72	0.31	0.045	0.006	1.51	1.53	0.24	0.001 1

表6 工艺优化前后附加剂FeS+Mn粉添加量/g

Table 6 Amount of adding FeS and Mn additives before and after process optimization /g

工艺	FeS碎末	Mn粉
优化前	600	1 000
优化后	0	500

表7 工艺优化后重熔生产34CrNiMo6钢中易烧损元素及氧含量/%

Table 7 Content of easy-burning elements and oxygen in ESR steel 34CrNiMo6 before and after process optimization /%

炉号	部位	C	Mn	Si	S	[O]
电极棒母材		0.345	0.72	0.31	0.045	0.001 1
590039-1	头部	0.328	0.66	0.29	0.023	0.001 7
	尾部	0.317	0.68	0.27	0.025	0.001 8
590039-2	头部	0.325	0.67	0.29	0.020	0.001 5
	尾部	0.320	0.69	0.28	0.023	0.001 7
590039-3	头部	0.325	0.65	0.30	0.021	0.001 6
	尾部	0.311	0.67	0.28	0.025	0.001 8
590039-4	头部	0.335	0.66	0.29	0.019	0.001 7
	尾部	0.325	0.68	0.30	0.022	0.001 6

表8 工艺改进后34CrNiMo6钢夹杂物评级结果/级
Table 8 Examination results of inclusions in steel 34CrNiMo6 after process optimization /rating

炉号	部位	A类		B类		C类		D类	
		细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
590039-1	头部	2.0	0	1.0	0	0	0	0	0
	尾部	2.0	0	1.0	0	0	0	0.5	0
590039-2	头部	2.0	0	1.0	0	0	0	0	0
	尾部	2.0	0	1.0	0	0	0	0	0
590039-3	头部	1.5	0	1.0	0	0	0	0	0
	尾部	2.0	0	1.5	0	0	0	0.5	0
590039-4	头部	2.0	0	1.0	0	0	0	0	0
	尾部	2.0	0	1.5	0	0	0	0	0

3.1 化学成分

工艺优化后生产34CrNiMo6钢4支Φ610 mm规格电渣锭的化学成分(易烧损元素)及气体氧含量见表7,由表7数值可知,重熔易烧损元素全部控制在标准要求内,特别是电渣锭头尾硫元素波动较小,且含量适中。仅电渣重熔后钢中氧含量略有增加。

3.2 非金属夹杂物检验

电渣锭经锻制车削成Φ270 mm棒材后,按GB/T10561-2005检验评级的非金属夹杂物检验结果(表8)表明,工艺优化后,钢材B类夹杂物得到明显改善,检验值全部≤1.5级,合格率提升至100%。

4 结论

(1)在电渣重熔全程采用氩气保护的基础上,通过控制降低电极氧含量至 11×10^{-6} ,调整四元渣系比例组成为,60%萤石粉:30% Al_2O_3 :5% SiO_2 :5% MgO 。电渣重熔生产的34CrNiMo6钢B类夹杂物级别改善明显,非金属夹杂物级别满足GB/T10561-2005的技术要求。

(2)通过将电极棒母材硫含量提高按0.040%~0.050%控制,进而停止及减少重熔过程附加剂FeS、Mn粉末添加量的工艺,硫元素不但容易控制、电渣锭头尾成分波动小,且含量适中满足标准要求。

参考文献

- [1] 李正邦. 电渣熔铸[M]. 北京:国防工业出版社,1979:11.
- [2] 耿鑫. 电渣重熔过程中氧含量的控制[J]. 材料与金属学报,2009,3(1):16-20.
- [3] 李正邦. 电渣冶金理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社,2011.
- [4] 陈家祥. 钢铁冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,2006:113.
- [5] 姜周华. 电渣冶金的物理化学及冶金现象[M]. 沈阳:东北大学出版社,2000:150.

马群(1981-),男,工程师,2005年内蒙古工业大学(本科)毕业,合金结构钢工艺技术研究。

E-mail:mqvqq@163.com

收稿日期:2016-08-21