

· 工艺技术 ·

LF(VD) 精炼工艺对控制 28MnCr5 齿轮钢中硫和硫化物的影响

李国忠^{1,2} 王福明¹ 曹红福²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083;2 江阴兴澄特种钢铁有限公司,江阴 214429)

摘要 试验了 45 t LF 精炼渣的碱度、喂硫线和脱氧工艺对 28MnCr5 钢(% :0.25 ~ 0.30C,0.60 ~ 0.80Mn, 0.020 ~ 0.035S,0.80 ~ 1.00Cr) 硫含量的控制、氧化物含量和钢中硫化物的影响。结果表明,LF 精炼渣碱度控制在 2.8 ~ 5.1 喂硫线,VD 后硫的回收率达 80% ~ 90%;钢中氧化物级别 ≤ 1.5 级;精炼结束喂适量 CaSi 线可改善钢中硫化物的形貌。

关键词 45 t LF 精炼工艺 28MnCr5 齿轮钢 硫化物

Effect of LF(VD) Refining Process on Control of Sulphur and Sulphide in Gear Steel 28MnCr5

Li Guozhong^{1,2}, Wang Fuming¹ and Cao Hongfu²

(1 Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Jiangyin Xingcheng Special Steel Co Ltd, Jiangyin 214429)

Abstract The basicity of refining slag, feeding sulphur wire and deoxidation process for a 45 t LF on control of sulphur, oxide content and sulphide in steel 28MnCr5 (0.25 ~ 0.30C, 0.60 ~ 0.80Mn, 0.020 ~ 0.035S, 0.80 ~ 1.00Cr) have been tested. Results showed that as feeding sulphur wire with basicity of LF refining slag - 2.8 ~ 5.1, the yield of sulphur after VD was up to 80% ~ 90% and oxide rating in steel ≤ 1.5; and feeding suitable amount of CaSi wire was available to improve the morphology of sulphide in steel.

Material Index 45 t LF, Refining Process, Gear Steel 28MnCr5, Sulphide

1 冶炼工艺及钢种特点

生产工艺流程:40 t EAF-45 t LF-45 t VD-R8 m CC 180 mm 方坯-轧制 Φ45 mm、Φ50 mm 钢材。

1.1 钢包精炼 + VD

LF 公称容量 45 t,单孔偏心位置吹氩,采用喂 Al 线强制沉淀脱氧与炉渣扩散脱氧相结合的工艺,处理时间 50 ~ 60 min。

在钢包进入 VD 工位之前,降低炉渣碱度,控制吹氩强度及流量,真空处理时间 ≥ 10 min,破真空

前,降低吹氩强度。

1.2 连铸

4 机 4 流 R8 m 弧型连铸机,钢包至中间包、中间包至结晶器全保护浇铸,控制结晶器电磁搅拌参数在合理范围,并控制铸温及铸速。

1.3 钢种特点

28MnCr5 钢的主要技术要求列于表 1。该钢与一般钢种相比,有如下要求:

(1) 含硫量控制在 0.020% ~ 0.035% 范围;在

表 1 28MnCr5 齿轮钢主要技术要求
Table 1 Main technical requirement of gear steel 28MnCr5

化学成分/%							夹杂物/级				淬透性 J10
C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	A	B	C	D	
0.25 ~ 0.30	≤ 0.12	0.60 ~ 0.80	≤ 0.035	0.020 ~ 0.035	0.80 ~ 1.00	0.020 ~ 0.055	≤ 2		≤ 1		28 ~ 35

硫有内控要求的前提下,对 A 类夹杂物的要求没有降低,因此在钢的冶炼过程中必须控制硫化物夹杂的形态与分布才能达到其标准要求。

(2) 硅含量 ≤ 0.12%,比国家标准规定的 Si:0.17% ~ 0.37% 严格。

(3) 为控制夹杂物的含量,故须控制钢中 [O],冶炼时必须经过二次精炼和真空脱气处理。

2 试验结果与分析

2.1 炉渣碱度、增硫工艺对钢中 [S] 的回收率及夹杂物的影响

通过 LF 两种造渣方案,探讨了炉渣碱度对钢中硫及夹杂物的影响。第 1 种方案为 LF 采用造高碱度炉渣工艺,第 2 种方案为 LF 前期造高碱度渣、

后期降低炉渣碱度的工艺。表 2 是两种工艺下的 LF 炉渣组成和碱度对脱硫率和 [O] 的影响,表 3 是在不同的造渣工艺下喂线对硫回收率的影响。

表 2 精炼渣组成和碱度对脱硫率及 [O] 的影响
Table 2 Effect of ingredient and basicity of refining slag on desulphurization and [O]

方案	LF 炉渣组成/%							碱度	脱硫率/ %	[O]/ 10 ⁻⁶
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	S			
1	10.7~15.4	56.0~64.4	8.7~20.1	6.0~7.0	0.21~0.55	0.40~0.60	1.20~1.47	4.0~6.6	79~88	10.6
2 (稀渣后)	11.0~18.0	46.0~54.5	21.2~30.8	6.6~8.7	0.13~0.87	0.42~1.05	1.06~0.56	2.8~5.1	32~77	10.8

表 3 喂线工艺对硫回收率的影响
Table 3 Effect of wire feeding process on yield of sulphur

造渣方案	喂 S 线工艺	试验炉数	喂 FeS 前[S]/ %	S 回收率/ %
1	LF 高碱度渣	6	0.005~0.012	30~50
2	LF 降低碱度	9	0.010~0.018	75~90
2	VD 处理后	6	0.008~0.015	80~90

从表 2、表 3 看出,第 1 种方案采用高碱度炉渣工艺,炉渣的脱硫率高,喂线后硫的回收率低;第 2 种方案在低碱度渣下,无论是 LF 出钢前或是在 VD 处理后,喂线后硫回收率均较高,硫的目标命中率也高。钢中增硫的方式不同对钢中夹杂物有一定影响,表 4 是不同喂硫线工艺对成品材氧化物、不变形夹杂物的影响。

表 4 的试验结果表明,在 VD 处理后钢液已很纯净,此时喂 FeS 线会因 FeS 线中含有 FeO 及带入空气而对钢液造成二次污染,即 VD 处理后喂 FeS 线,氧化物及不变形夹杂物的评级较 LF 稀渣后再喂 FeS 线的高,因为 LF 处理后喂线,可以使这些夹杂物经 VD 处理后得到充分上浮,没有对钢液的二次污染问题,因此,选择在 LF 降低炉渣碱度后再喂硫线的工艺较为合理。

表 4 喂硫线工艺对成品材氧化物、不变形夹杂物的影响/级
Table 4 Effect of feeding sulphur process on oxide, non-deforming inclusion in steel /rating

喂 S 线 工艺	试验 炉数	氧化物(B类)		不变形夹杂物(D类)	
		细	粗	细	粗
LF 稀渣后	9	0.5~1.5	0~0.5	0~1.0	0~0.5
VD 处理后	6	0.5~2.0	0~2.0	0.5~1.5	0~1.0

第 1 种方案由于炉渣碱度高,脱硫率较高,LF (VD)处理后需大量喂入 FeS 线以增[S],会造成钢液的二次污染,试验 6 炉钢中 [O] 平均为 10.6 × 10⁻⁶。第 2 种工艺通过控制炉渣的组成及碱度,较好地控制了[S],可以达到少加甚至不加 FeS 线的目

的,使钢液更纯净,试验钢平均 [O] 为 10.8 × 10⁻⁶,与高碱度渣下生产的钢 [O] 相当。从试验结果看出,第 2 种造渣方案下,LF 稀渣后与 VD 处理后喂 FeS 线硫的回收率相当。因此认为在 LF 稀渣后喂 FeS 线工艺较好,经 VD 处理后可以少加甚至不加 FeS 线,避免对钢液的二次污染。

硫为表面活性物质,易聚集在钢渣界面,阻碍氧穿过渣层进入炉渣,钢水含硫量高对脱氧不利,因此在脱氧过程中不易向钢中加硫,加硫的合适时间应是覆盖渣下精炼的后期,此时各个脱氧环节已发挥了应有的脱氧作用,加硫对脱氧不会再起阻碍作用。在精炼炉渣后期通过降低炉渣碱度和熔点,防止精炼后期炉渣卷入钢水中不能排出,同时也减少因渣中 CaO 含量过高导致真空处理后增加的点状夹杂物。炉渣的流动性和熔点对钢的脱氧效果有一定的影响,本渣系含有 MgO、Al₂O₃、SiO₂ 等多种组元,与之相近组成的炉渣熔点较低^[1]。

2.2 脱氧制度对硫化物夹杂的影响

表 5 是 28MnCr5 钢 3 种不同脱氧工艺方案的试验结果。图 1 是 3 种脱氧工艺生产的 Φ50 mm 的钢材硫化物级别图片。从图 1 可以看出,不同的脱氧剂会使钢中 MnS 起到不同的变性效果,工艺 2 和工艺 3 使硫化物变性为棒状或球状,从而达到改善硫化物级别的目的。

钙与氧的结合力大于与硫的结合力,在钢液中 Al、Ca、Mn 同时存在,其相互反应及形成氧化物、硫化物的反应方程式为:3MnS + 3CaO + 2Al = 3CaS + Al₂O₃ + 3Mn - 4 117.5 kJ。因此,在钢中同时加入 Al、Ca、Mn,则应生成 Al₂O₃ 和 CaS。但如果 Al 量不够,上述反应方程式的平衡将被破坏并生成 CaO 和 MnS 相;同时 CaO 和 Al₂O₃ 之间的反应就会增强。钙的加入在于其能溶于 MnS,难于变形钙、锰、硫化物,高度稳定的合金硫化物的熔点比 MnS 要高得

表5 脱氧工艺对钢中硫化物的影响
Table 5 Effect of deoxidation process on sulphide in steel

工艺	EAF 钢包	LF	VD	成品[S]/%	硫化物/级	
					A 细	A 粗
1	加 Mn、Al	Al 线、渣面 C 粉脱氧	-	0.020	3.0	0
2	加 Mn、Al、BaSi 1 kg/t	喂 Al 线、渣面 C 粉脱氧	喂 CaSi 线 1 m/t	0.022	2.0~2.5	1.5~1.0
3	加 Mn、Al、BaSi 1 kg/t	Al 线、渣面 C 粉及铝粉脱氧	CaSi 线 4 m/t	0.028	2.0~1.5	1.0

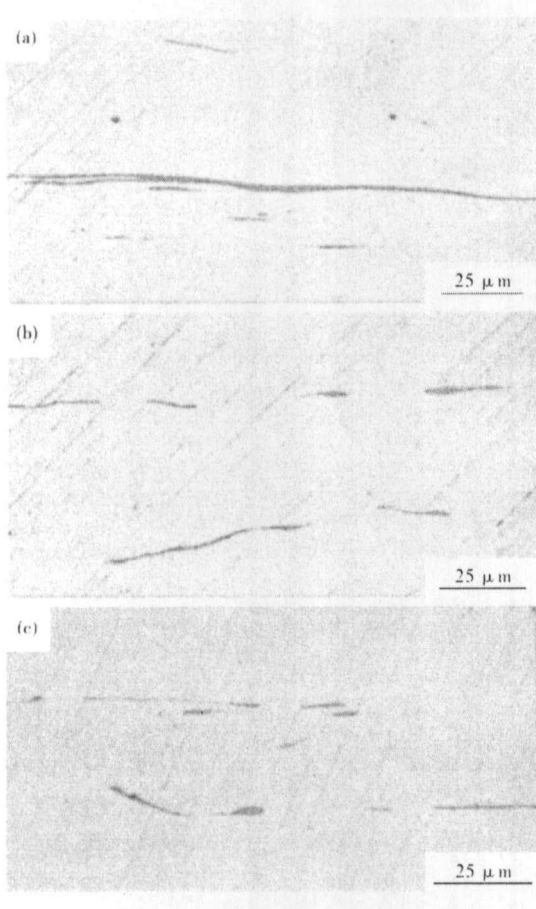


图1 脱氧工艺对钢中硫化物形貌的影响:(a) 工艺1;(b) 工艺2;(c) 工艺3
Fig.1 Effect of deoxidation process on morphology of sulphide in steel: (a) process 1; (b) process 2; (c) process 3

多。经扫描电镜能谱分析,在图1(c)中的硫化物夹杂内存在一定的残余钙,图1(b)含钙量较少,而图1(a)则未发现钙,这就是采用第3种脱氧工艺方案下硫化物级别得以改善的原因。

2.3 软吹氩制度对硫及硫化物夹杂行为的影响

图2是采用第2种造渣方案LF喂FeS线后,各阶段[S]的变化过程示意图,表6是轧制成Φ45mm、Φ50mm的材统计的软吹氩时间与硫化物夹杂评级的关系(以试片数统计)。

从表6看出,随着软吹氩时间的延长,硫化物夹杂的细系级别≤2.0的频率越高。软吹氩搅拌钢液是在钢水经LF或VD处理后,在不冲破渣层的前提

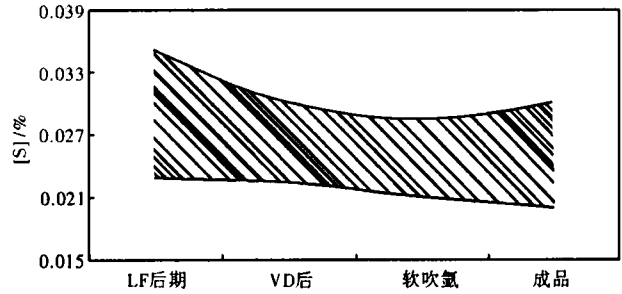


图2 钢中[S]在不同工位的变化情况
Fig.2 Change of [S] at different procedure

表6 软吹氩时间和硫化物级别出现频率的关系/%
Table 6 Relation between soft blowing argon time and occurrence frequency of sulphide rating / %

软吹 Ar 时间/ min	2.5~3.0 级硫化物		≤2.0 级硫化物	
	A 细	A 粗	A 细	A 粗
10~20	82	0	18	100
21~30	50	0	50	100
>30	25	0	75	100

下的低强度搅拌。它一方面使钙处理对硫化物球化作用得以充分进行;另一方面,由于搅拌改善了硫化物夹杂上浮的动力学条件,提高了炉渣对夹杂物的吸附能力,从而使硫化物夹杂级别得以降低。

3 结论

(1)生产含硫齿轮钢时,LF造低碱度渣可使LF(VD)后和喂FeS线后的硫回收率分别达到75%~90%和80%~90%,且钢中氧含量与高碱度渣基本相同。

(2)用含钙合金脱氧或精炼结束喂适量的CaSi线,可以使钢中硫化物夹杂得到一定程度的变性处理,从而改善硫化物的级别。

(3)随着软吹氩时间的增加,硫化物夹杂≤2.0的级别出现频率增高,软吹氩时间在保证浇钢温度的前提下至少保持30min。

参考文献

1 Shalimov A G, Kosoi L F. Clean Steel. Balatontured, 1981:232

李国忠(1967-),男,高级工程师,《特殊钢》编委。

收稿日期:2006-12-25