

酸性渣重熔含硫高速钢 M35 的质量研究

谢志彬^{1,2} 邵青立^{1,2} 张国平¹ 王凯^{1,2} 何宁^{1,2}

(1. 河冶科技股份有限公司, 石家庄 052165; 2. 河北省高速工具钢工程技术研究中心, 石家庄 052165)

摘要 使用 1 t 双极电渣炉试验研究了大气条件下酸性渣重熔含硫 M35 高速钢(0.015% ~0.030% S)的成分变化和碳化物、非金属夹杂物的质量水平。酸性渣重熔时,钢锭大小头硫、硅、锰、铬有较大的差值,化渣时添加硫化钙和倒渣时加入锰铁粉,可减小钢锭大小头差值。酸性渣重熔的含硫 M35 高速钢轧材碳化物不均匀度、颗粒度质量水平与常规碱性渣系相当,非金属夹杂物 A 类≤1.5 级、B、C、D 类≤1.0 级。

关键词 含硫高速钢 M35 电渣重熔 酸性渣 化学成分 碳化物 非金属夹杂物

Research on Quality of high Speed Steel M35 Bearing Sulfur Remelting by Acid Slag

Xie Zhibin^{1,2}, Shao Qingli^{1,2}, Zhang Guoping¹, Wang Kai^{1,2} and He Ning^{1,2}

(1. Heye Science and Technology Co. Ltd, Shijiazhuang 052165; 2. Hebei High Speed Tool Steel Engineering and Technology Research Center, Shijiazhuang 052165)

Abstract It was studied the quality of carbide, non-metallic inclusions and composition change of sulfur bearing M35 high speed steel (0.015% ~0.030 S) using acid slag remelting in atmospheric conditions using the 1 t double electrode furnace. When the acid slag was remelting, the sulfur, silicon, manganese, chromium have a large difference between the two ends of the ingot, the difference reduced using the method of adding calcium sulfide when slag melting and adding manganese iron when Slag dump. The quality level of carbide nonuniformity, granularity of sulfur bearing M35 high speed steel mill bar is similar to that of conventional alkaline slag, non-metallic inclusions class A is less than 1.5, B, C and D, which are less than or equal to 1.0.

Material Index Sulfur Bearing high Speed Steel M35, Electroslag Remelting, Acid Slag, Chemical Composition, Carbide, Non-metallic Inclusions.

含硫钢具有降低刀具的磨损、提高生产效率的特性,同时对环境污染较小、成本低廉^[1],含硫高速钢在欧美有较好的应用及一定的市场。为保证高速钢的综合性能和质量,大规格钢材需经电渣重熔生产。硫作为活泼性很强的元素,其控制是电渣重熔的难点,电渣钢锭的硫含量波动大、偏差大,同时高速钢钢材对碳化物质量又有较高的要求。为此对电渣重熔含硫高速钢的质量进行了试验研究,研究了酸性渣系重熔含硫高速钢硫、硅、锰等元素的控制,含硫高速钢的碳化物、非金属夹杂物的质量水平。

1 试验方法

1.1 试验钢种及成分

试验钢种为含硫 M35 (W6Mo5Cr4V2Co5) 高速钢,具体成分见表 1。

1.2 试验渣系

高速钢重熔常规采用熔点低、渣皮

薄、成型光滑的渣系^[2] (% : 60CaF₂ : 20Al₂O₃ : 20CaO),渣料要求 SiO₂ 含量低,以进一步脱硫降低钢的硫含量。

为使含硫高速钢硫含量合格,结合用户对氧化物、硫化物夹杂物的要求,电极采用 CaSi 脱氧工艺,电渣重熔选用酸性四元渣系^[3]进行试验。试验渣系基本组成为 CaF₂50% ~ 60%、Al₂O₃10% ~ 20%、CaO5% ~ 15%、SiO₂15% ~ 25%;根据文献[4-5]介绍,电渣重熔初期硫、锰有较大损失,试验考虑了化渣添加硫化钙或倒渣时加入锰铁粉,以弥补硫、锰损失,试验渣系的碱度 R、加入 CaS (S 含量 32%)、FeMn (Mn 含量 72%) 粉量见表 2。

其中碱度用下式表示:

表 1 M35 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel M35/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Co
0.87 ~ 0.95	0.20 ~ 0.45	0.15 ~ 0.40	≤ 0.03	0.015 ~ 0.030	3.80 ~ 4.50	4.70 ~ 5.20	1.70 ~ 2.10	5.90 ~ 6.70	4.50 ~ 5.00

表 2 1 t 电渣炉试验渣系

Table 2 Slag system for testing at 1 t ESR furnace

试验渣系	试验渣成分/%				CaS(外加)%	FeMn(外加)/g	碱度(R)
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂			
A	55	15	10	20	-	-	0.50
B	60	15	5	20	-	-	0.25
C	60	15	5	20	2.5	-	0.25
D	60	15	5	20	2.5	100	0.25

表 3 1 t 电渣炉重熔工艺参数

Table 3 Process parameters of remelting by 1 t ESR furnace

锭型/mm	电极直径/mm	渣量/kg	电压/V	电流/A	熔速/(kg·h ⁻¹)
Φ310	R120	26	60~50	5 300~4 500	270

$$R = (\text{CaO}) / (\text{SiO}_2)$$

式中:(CaO)、(SiO₂)-分别为氧化物百分含量;R < 1 为酸性渣系。

1.3 重熔工艺参数及取样方法

试验在 1 t 电渣炉进行,采用炉外化渣、液渣注入结晶器,大气环境下双极重熔;试验工艺参数见表 3。

成分采用 M10 直读光谱仪检验,取样在钢锭锻制成方坯后在方坯不同位置取样,取样位置相当于钢锭大头 30 mm、60 mm、中部、小头。碳化物不均度按 GB/T14979-1994 方法检验,碳化物颗粒度按 GB/T9943-2008 检验,非金属夹杂物按 GB/T 10561-2005 A 法检验,碳化物、夹杂物检验样为轧制棒材。

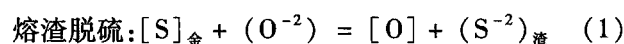
2 试验结果

电渣钢锭锻坯样经过光谱检验,M35 高速钢 C、W、Mo、V、Co 较电极偏差很小,而 Si、Mn、S、Cr 成分较电极有较大的偏差,具体见表 4;同支钢锭不同部位硫渣系 A 差值最大、为 0.010%,硅渣系 B、C、D 差值最大、为 0.01%,锰渣系 B 差值最大、为 0.10%,铬渣系 A 差值最大、为 0.17%。

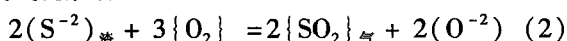
3 结果讨论分析

3.1 渣系对硫含量的影响

电渣重熔钢中硫的损失主要包括:熔渣脱硫和大气气化脱硫。



大气气化脱硫:



试验各渣系重熔钢锭不同部位硫含量变化见图 1。代表性渣系重熔前后组成见表 5。

表 4 试验各渣系电渣重熔钢锭各部位 S、Si、Mn、Cr 元素含量/%

Table 4 S, Si, Mn, Cr content in each parts of ESR ingots remelting by different test slag series/%

试验渣系	项目	S	Si	Mn	Cr
A	电极	0.027	0.31	0.33	4.00
	大头 30 mm	0.011	0.34	0.31	3.92
	大头 60 mm	0.015	0.32	0.32	3.98
	中部	0.021	0.29	0.32	4.01
	小头	0.021	0.28	0.33	4.00
	差值	0.010	-0.05	0.02	0.08
B	大头 30 mm	0.019	0.37	0.23	3.81
	大头 60 mm	0.021	0.30	0.32	3.91
	中部	0.023	0.28	0.32	3.94
	小头	0.023	0.26	0.32	3.98
	差值	0.004	-0.10	0.10	0.17
C	大头 30 mm	0.026	0.36	0.23	3.85
	大头 60 mm	0.024	0.29	0.32	3.93
	中部	0.022	0.27	0.32	4.01
	小头	0.022	0.26	0.32	3.96
	差值	-0.004	-0.10	0.09	0.16
D	大头 30 mm	0.027	0.36	0.34	3.85
	大头 60 mm	0.025	0.28	0.33	3.94
	中部	0.023	0.27	0.33	3.98
	小头	0.022	0.26	0.32	3.96
	差值	-0.005	-0.10	-0.04	0.13

由图 1 可见,渣系 A 重熔的钢锭大头硫含量较渣系 B 低,主要是钢锭重熔初期(钢锭大头)硫的损失主要表现为熔渣脱硫,渣系 A 碱度 R 为 0.5,渣系 B 碱度 R 为 0.25,渣碱度高钢中硫损失偏大。在钢锭重熔至一定高度后,熔渣硫容量与钢中硫含量达到平衡,熔渣不再脱硫,转化为气化脱硫,钢中硫含量趋于稳定。

为提高钢锭大头硫含量,渣系 C、渣系 D 在化渣时加入了 CaS,使重熔初期渣中硫含量提高,但随着重熔进行气化脱硫占主导地位,钢锭中部、小头硫含量与渣系 B 接近。减小了钢锭大小头差值。

3.2 渣系对硅、锰、铬含量的影响

电渣重熔过程中存在如下反应^[6-8]:

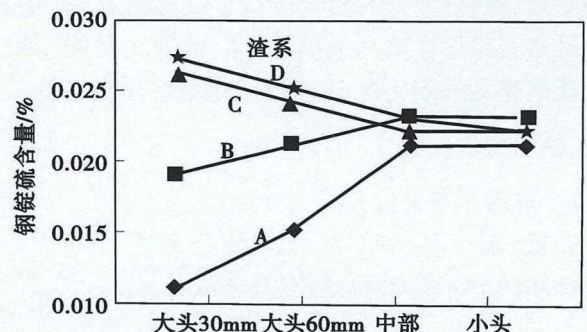


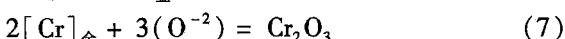
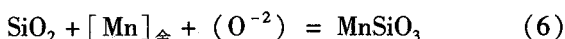
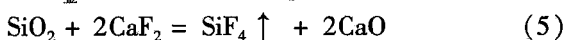
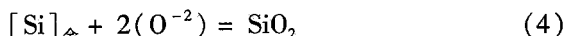
图 1 试验渣系重熔电渣钢锭不同部位硫变化

Fig. 1 Change of sulfur in different parts of ESR ingots remelting by each test slag series

表 5 试验渣系重熔前后化学组成和碱度

Table 5 Chemical composition and basicity of test slag before and after remelting

试验渣系	渣样	试验渣成分/%									碱度 (R)
		CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	CaS	
A	重熔前	53.78	15.12	10.51	19.45	0.51	0.53	0.04	0.05	0.01	0.54
	重熔后	52.32	14.69	12.87	16.85	0.56	0.86	1.29	0.46	0.10	0.76
C	重熔前	58.82	15.24	5.33	19.53	0.31	0.39	0.08	0.04	0.26	0.27
	重熔后	56.77	14.81	7.49	16.92	0.29	0.73	2.13	0.79	0.07	0.44



试验各渣系重熔钢锭不同部位硅含量变化见图 2,重熔初期酸性渣 SiO₂ 含量高达 20%,氧化铁含量很低,会出现(SiO₂)氧化 Mn 的(3)式反应,硅被还原进入钢中^[6],钢锭大头 30 mm 处增硅。在大气环境下重熔时,随熔渣温度升高,熔渣的吸氧、电极表面的氧化使熔渣的氧含量升高,与钢中硅发生(4)式反应,同时高氟渣重熔还发生(5)式反应,使钢锭除大头 30 mm 处外其余部位都有一定的烧损,与常规碱性渣系重熔相同。

试验各渣系重熔钢锭不同部位锰含量变化见图 3,MnO 为弱碱性氧化物,重熔前渣中 MnO 含量很低,酸性渣重熔时发生(3)、(5)式反应造成锰的烧损;渣系碱度越低,重熔初期大头 30 mm 处锰烧损越严重。随重熔进行渣中 MnO 含量及熔渣碱度提高,钢中 Mn 含量趋于稳定,与电极含量接近。渣系 D 在倒渣时添加 FeMn 粉后,弥补了钢锭大头 Mn 的烧损,Mn 含量较电极不但未降还略有上升,减小了钢锭大小头差值。

试验各渣系重熔钢锭不同部位铬含量变化见图 4,钢锭大头 30 mm 处铬有一定的烧损,随熔渣碱度

降低,烧损量增大。随重熔进行渣系碱度提高大头 60 mm 处铬烧损大为减少。

通过以上检验结果及分析,渣系 D 可使钢锭硫、硅、锰、铬合格,且可减小大小头差值。批量生产将选用渣系 D 重熔。

4 酸性渣重熔高速钢轧材非金属夹杂物、碳化物质量

采用渣系 D 进行了批量生产,含硫 M35 电渣钢锭经锻轧加工成 Φ40 ~ 72 mm 棒材。钢锭大小头成分与前述渣系 D 试验结果相同;非金属夹杂物检验结果见表 6,钢中硫化物夹杂物偏多、最高为 1.5 级,钢中未见 C 类硅酸盐类夹杂物;B 类夹杂物为 1.0 级,D 类 0.5 级,与常规碱性渣系相当。

碳化物不均度、大颗粒碳化物尺寸(颗粒度)检验结果见表 7,碳化物形貌见图 5;与非含硫 M35 采用常规碱性渣系重熔的同规格段轧材水平相当。

采用酸性渣重熔含硫 M35 高速钢生产的轧材

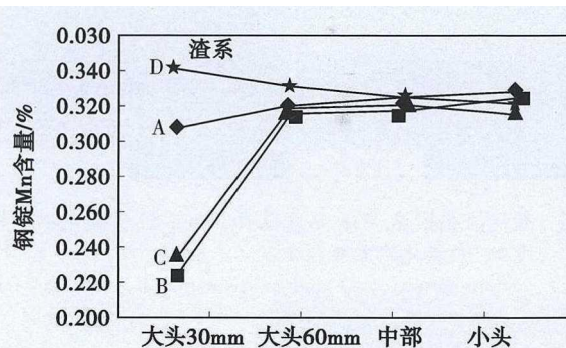


图 3 各试验渣系电渣钢锭不同部位 Mn 含量
Fig. 3 Mn content in different parts of ESR ingots remelting by each test slag series

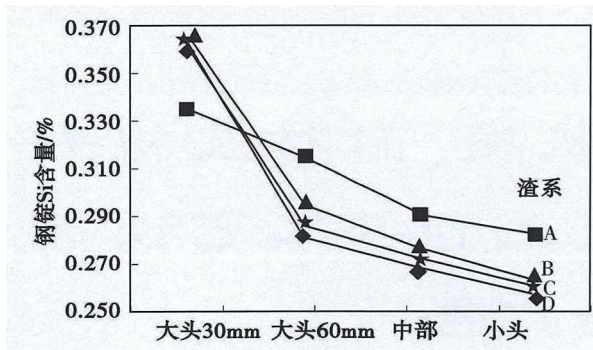


图 2 各试验渣系电渣钢锭不同部位 Si 含量
Fig. 2 Si content in different parts of ESR ingots remelting by each test slag series

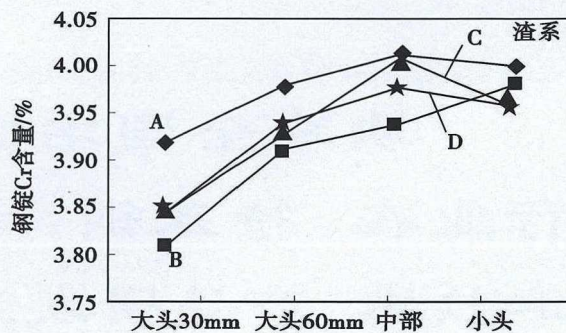


图 4 各试验渣系电渣钢锭不同部位 Cr 含量
Fig. 4 Cr content in different parts of ESR ingots remelting by each test slag series

表 6 酸性渣重熔含硫 M35 高速钢轧材非金属夹杂物评级
 Table 6 Non-metallic inclusion rating of acid slag remelted sulfur-bearing M35 high speed steel rolled bar

规格/ mm	A		B		C		D	
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
Φ61 ~ 72	1.5	0	1.0	0	0	0	0.5	0
Φ40 ~ 56	1.0	0	1.0	0	0	0	0.5	0

表 7 酸性渣重熔含硫 M35 高速钢轧材碳化物不均匀度、大颗粒碳化物尺寸
 Table 7 Carbide Nonuniformity and large particle carbide size of acid slag remelted sulfur-bearing M35 high speed steel rolled bar

规格 /mm	碳化物不均匀度/级			大颗粒碳化物尺寸/ μm		
	均值	最大	最小	均值	最大	最小
Φ61 ~ 72	4.52	5.0	4.0	16.2	20	14
Φ40 ~ 56	3.92	4.5	3.5	14.8	18	12

化学成分、碳化物、非金属夹杂物等质量指标经检验都达到了用户合同要求,用户制作刀具使用良好。

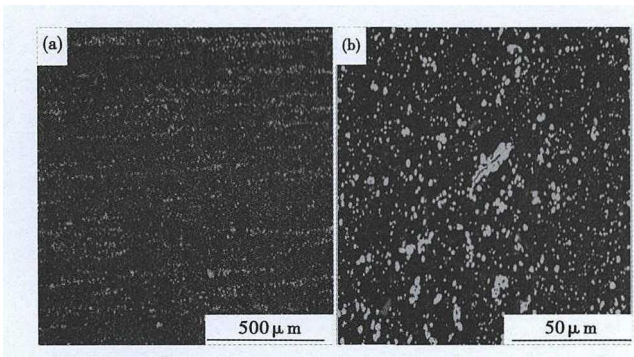


图 5 酸性渣系重熔 M35 高速钢 Φ72 mm 轧材碳化物不均匀度(a)及碳化物形貌(b)

Fig.5 Nonuniformity (a) and morphology (b) of carbide in acid slag remelted M35 high speed steel Φ72 mm rolled bar

5 结论

(1) 大气环境下酸性渣重熔含硫 M35 高速钢, 钢锭大头硫、锰、铬等易氧化元素有一定的损失, 渣系碱度越低, 硫烧损减小, 而锰、铬含量损失加大; 随重熔进行, 硫、锰、铬含量趋于稳定。钢锭大头硅含量有一定的增加, 随重熔进行, 变为烧损并趋于稳定。硅、锰、硫、铬含量钢锭大小头均有较大的差值。

(2) 为使钢锭成分合格, 炉外化渣时添加硫化钙、倒渣时添加锰铁粉, 可使钢锭大头硫、锰含量提高, 可减小钢锭两头差值。

(3) 酸性渣重熔含硫 M35 高速钢钢锭生产的轧材碳化物质量与常规碱性渣系重熔的非含硫 M35 相当, B 类、C 类、D 类非金属夹杂物也相当, A 类夹杂物为 1.5 级, 满足了用户含硫 M35 高速钢要求, 制作刀具使用良好。

参考文献

[1] 曹红福、高德漫. 易切削高硫钢的冶炼工艺探讨[J]. 江苏冶金, 2002, 30(5): 1-5.
 [2] 邓玉昆, 陈景榕, 王世章. 高速工具钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 365.
 [3] 姜周华, 董艳伍, 耿鑫, 等. 电渣冶金学[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 227.
 [4] 马群, 孙常亮, 冯桂萍, 等. 改善 34CrNiMo6 含硫电渣钢 B 类夹杂物的工艺实践[J]. 特殊钢, 2017, 38(1): 39-41.
 [5] 赵鸿燕. 酸性渣 SiO₂ 对电渣重熔 S-Pb-Te 易切削不锈钢冶金质量的影响[J]. 特殊钢, 2016, 37(2): 23-25.
 [6] 冶金工人技术理论培训教材. 电渣重熔炉冶炼(中级本)[M]. 北京: 冶金工业部, 1988: 104.
 [7] 陈家祥. 炼钢常用图表数据手册[M](第 2 版). 北京: 冶金工业出版社, 2010: 664, 690.
 [8] 李正邦. 电渣冶金理论与实践[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 124.

谢志彬(1964-): 男, 高级工程师, 1984 年河北矿冶学院(本科)毕业, 工模具钢冶炼工艺研究。
 E-mail: xiezhibinhg@163.com

收稿日期: 2018-07-02

**欢迎全国冶金、机械、耐材及相关
 行业在《特殊钢》杂志上刊登工艺设备
 和技术、产品研发宣传广告**