



保护渣添加剂组成对M2高速钢模铸锭表面质量的影响

忽金钊

(河冶科技股份有限公司炼钢分厂, 石家庄 052165)

摘要:介绍了模铸对保护渣的要求及常用添加剂的作用,并根据M2高速钢的成分、熔点等特性,通过向通用型模铸保护渣中添加萤石粉、碱粉和可膨胀石墨,对保护渣的熔点、黏度、铺展性进行调整,在生产中进行了大量试验。当单独添加萤石粉7%以上或同时添加萤石粉、碱粉各4%以上时,M2高速钢模铸锭表面粘渣面积比例降低至2%,但锭身恶化严重,出现超5%的凹坑;当萤石粉、碱粉及可膨胀石墨均添加4%时,铸锭表面粘渣面积比例降低至0%,锭身表面良好,满足了M2模铸高速钢的使用要求。适合M2系列高速钢模铸保护渣的化学成分为((18~21)%TC,(29~34)%SiO₂,(14~17)%Al₂O₃,(12~15)%CaO,(4~7)%Na₂O,(2~4)%Fe₂O₃,(1~3)%MgO,(2~4)%F,(0.5~2)%K₂O。

关键词:保护渣;添加剂;模铸;M2高速工具钢;表面质量

DOI:10.20057/j.1003-8620.2022-00204

Influence of Additive Composition of Protective Slag on Surface Quality of M2 High Speed Steel Mold Ingot

Hu Jinzhao

(Steelmaking branch plant, Heye Science and Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 052165)

Abstract: This paper introduces the requirement of mold casting on protection slag and the function of commonly used additives, and according to the character such as composition, melting point of M2 high speed steel, fluorite powder, alkali powder and expandable graphite are added to the universal mold casting protective slag, and the melting point, viscosity and spread of the protective slag are adjusted, and a lot of tests have been carried out in the production. When fluorite powder is added more than 7% alone, or fluorite powder and alkali powder are added more than 4% at the same time, the proportion of slag area on the surface of M2 high speed steel mold ingot is reduced to 2%, but the ingot body deteriorates seriously, more than 5% of the pits appear. When fluorite powder, alkali powder and expandable graphite are added 4%, the proportion of slag area on the ingot surface is reduced to 0%, and the surface of the ingot body is good, which meets the requirements of M2 Die casting high-speed steel. Suitable for M2 series of die casting high-speed steel protective slag, its chemical composition is (18-21)%TC, (29-34)%SiO₂, (14-17)%Al₂O₃, (12-15)%CaO, (4-7)%Na₂O, (2-4)%Fe₂O₃, (1-3)%MgO, (2-4)%F, (0.5-2)%K₂O.

Key Words: Protecting Slag; Additive; Mold Casting; M2 High-Speed Tool Steel; Surface Quality

高速工具钢简称高速钢,是一种可塑性很差的高碳高合金莱氏体钢^[1],在锻造过程中容易出现裂纹缺陷。裂纹源主要分为两种,一种为内部组织中固有的冶金缺陷在拉应力作用下形成的显微裂纹,另一种为铸锭表面的夹渣、凹坑等缺陷在锻压时形成的宏观裂纹。而铸锭的表面缺陷主要受模具内腔表面和保护渣的影响,其中又以保护渣的影响程度最大,因此,使用适合模铸高速钢的保护渣是减少铸锭表面缺陷的重要手段。但是由于高速钢年产量低,保护渣用量小,目前国内保护渣生产厂家均没有研制模铸高速钢专用的保护渣。为改善模

铸高速钢的表面质量,有必要研制专用保护渣。

1 模铸保护渣简介

1.1 模铸对保护渣的基本要求

模铸保护渣要求具有低密度、低熔点、合适的熔速及良好的铺展性,使其在钢水注入铸模时可瞬间熔化铺展并覆盖在整个钢液面上,且不能粘模,不能卷入钢液贴附于或嵌入激冷层。此时,保护渣本身应能形成粉渣层、烧结层和液渣层的三层结构,以达到对钢液的保温、防止氧化的作用。同时,保护渣液渣的黏度和表面张力要有利于钢液中夹

杂物的分离,使其具有良好的吸收钢液中夹杂物的能力^[2]。

1.2 模铸保护渣中的添加剂

以天然硅灰石为基料的保护渣,其基料熔点约为 1 400 °C,密度约 2.8 g/cm³,CaO/SiO₂约为 1.0。为满足模铸保护渣基本要求,首先要结合其它辅料的熔点配入适量助熔剂以降低保护渣的熔点,常用的助熔剂为萤石粉和碱粉。其次,为获得较轻的容重,良好的铺展性、保温性及合适的熔速,需配入较轻的膨胀珍珠岩、石墨、蛭石等配料。最后,为保证保护渣不粘模,需要将 CaO/SiO₂降至 0.5 以下,通常加入一定量的电厂灰^[3]。

1.3 添加剂对保护渣特性的影响机理

1.3.1 萤石、纯碱对保护渣熔点的影响^[4]

萤石成分为 CaF₂,纯碱成分为 Na₂CO₃。保护渣熔点由熔渣中质点间的键能决定,熔化温度随着质点间键能结合牢固程度的增大而升高。由于 Na⁺ 静电势小于 Ca²⁺、F⁻ 静电势小于 O²⁻,随着萤石、纯碱含量增加,保护渣整体静电势降低,大量离子键向共价键转移,是导致保护渣熔点降低的主要原因;另一方面萤石和纯碱能与高熔点氧化物 CaO、MgO、Al₂O₃ 形成低熔点共晶体,从而也能降低保护渣的熔点。

1.3.2 萤石、纯碱对保护渣黏度的影响^[4]

保护渣的黏性特征主要由 Si-O 四面体网络结构的连接程度决定。由于基料矿物石英(SiO₂)、硅灰石(CaSiO₃)能够为保护渣提供更多的骨架状 Si-O 四面体,这使得熔渣的网络结构更加坚固,所以黏度会随石英、硅灰石含量增加而升高。相反,熔剂矿物萤石和纯碱能够更多的提供破坏 Si-O 四面体网络结构的一角成键,一定程度上抑制了 Si-O 四面体网络机构链的形成。因此,随着萤石、纯碱含量的增加,保护渣黏度会表现出逐渐下降的趋势。

1.3.3 可膨胀石墨对保护渣铺展性的影响^[5]

可膨胀石墨为特殊处理后的石墨,在浇注过程

中保护渣中的可膨胀石墨在钢液温度作用下逐渐产生体积膨胀,促使渣的体积膨大 2~5 倍,使保护渣的渣层结构发生明显变化。浇注初期,当钢液进入模底时,渣中受热的可膨胀石墨晶格发生突变,使渣很快铺展开来,避免了钢液的二次氧化。同时,由于渣的体积膨胀,也促使成渣速度加快,因而得到良好的钢锭尾部质量。伴随着钢液在锭模内上升,可膨胀石墨在自身膨胀过程中,对熔渣层的形成起到阻隔作用,可有效延缓半凝固状态锭壳冷却收缩,消除了普通渣浇注所产生的渣沟等缺陷,使钢锭表面光洁。

2 工艺条件

2.1 生产钢种及铸锭规格

我公司生产模铸高速钢主导产品为 M2(钢号:W6Mo5Cr4V2),化学成分见表 1,本研究全部围绕 M2 展开。M2 浇注温度 1 480~1 490 °C,规格有八角锭和方锭。八角锭重 850 kg/支,方锭重 500 kg/支。

浇注温度是影响铸锭内部质量的重要因素,浇注温度较低时钢液来不及补缩就发生凝固,浇注温度较高时缩孔缺陷更为严重^[6],并且偏析情况加重,因此,应控制合适的浇注温度,不可随意调整。

2.2 设备参数

2.2.1 生产设备

生产流程:中频炉(20 t)→LF(25 t)→VD(25 t)→浇注(60 t),浇注周期:1 h/炉。

2.2.2 保护渣检测设备

熔点、熔速检测设备:全自动炉渣熔点熔速测定仪;型号:Rds-04;测试范围:800~1 600 °C。

黏度检测设备:保护渣高温熔点黏度测定仪;型号:RTW-10。

2.3 当前保护渣情况

2.3.1 保护渣理化指标

成分组成要求见表 2,物理指标要求见表 3。

当前所用保护渣为通用型模铸保护渣,主要原

表 1 M2(W6Mo5Cr4V2)钢的主要化学成分(质量分数)
Tab. 1 Main Chemical Composition of Steel M2(W6Mo5Cr4V2) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W
0.83~0.90	0.21~0.40	0.28~0.40	≤0.030	≤0.010	3.90~4.40	4.70~5.15	1.75~2.10	5.60~6.30

表 2 通用型模铸保护渣成分(质量分数)
Tab. 2 Composition of general mold protecting slag %

适用钢种	TC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	F	K ₂ O
M2(W6Mo5Cr4V2)系列	13~19	33~39	12~18	10~16	2~7	2~4	1~3	1~3	0.5~2

表3 通用型模铸保护渣物理指标
Tab. 3 Physical indexes of general mold protecting slag

适用钢种	水分/%	粒度/目	容重/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	熔速/s	黏度/($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
M2(W6Mo5Cr4V2)系列	≤ 0.5	过100目 $\geq 90\%$	≤ 0.75	1 160 ~ 1 250	65 ~ 70	0.24 ~ 0.30

注: 1 保护渣水分 $>0.5\%$ 时要进行烘烤, 烘烤后的保护渣进行水分检验和每15天抽检一次;

2 熔速为 $\Phi 4\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 渣柱在 $1\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 炉中熔为半球形的时间。

料为矿物硅酸盐, 辅料为纯碱、萤石、石墨等, 经过烘烤制粉混合制成, 外观为松散的粉状物料, 不得有结块或块状物料。保护渣水分以保护渣在马弗炉里 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘烤前后重量差测量计算。TC为保护渣全部固定碳含量

2.3.2 保护渣用量及加入要求

保护渣使用前在干燥房存放时间大于12 h, 温度设置 $60\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。预放保护渣最好的办法是距模底 $150\sim 200\text{ mm}$ 的吊包法, 用量一般在 2.5 kg/t 钢左右^[7], 我司采用的预放保护渣为: 方锭用量 1 kg/支 , 其中模底放置 0.5 kg , 使用塑料袋吊挂 0.5 kg ; 八角锭用量 1.5 kg/支 , 其中模底放置 0.8 kg , 使用塑料袋吊挂 0.7 kg 。保护渣在出钢前1 h内准备完毕, 不可过早准备, 防止吸潮, 浇注过程如有露亮可补加保护渣。

2.3.3 各批次通用型保护渣成分及使用效果

当前通用型保护渣成分及使用效果见表4。主要表现为铸锭小头表面粘渣严重, 粘渣深度可达 5 mm , 如图1所示, 锻打前需要人工修磨, 粘渣面积超 10% 时报废处理, 对劳效和成材率均造成很大影响。

3 试验方法

3.1 第一轮试验

铸锭小头粘渣严重, 是因为高速钢熔点及浇注时钢水过热度比较低(工艺条件限制, 浇注温度不可调整), 保护渣遇到钢水时不能瞬间熔化导致的,

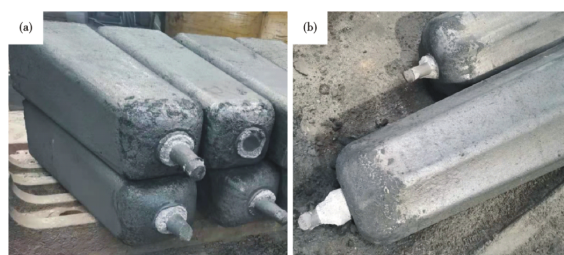


图1 通用型保护渣铸锭表面质量:(a)方锭,(b)八角锭
Fig. 1 Surface quality of general slag protection ingot : (a) square ingot, (b) octagonal ingot

因此, 需要降低通用型模铸保护渣的熔点。在一定碱度条件下, 随着萤石配入量的增加, 保护渣的熔化温度、黏度及平均热流密度均降低, 每提高 2% 萤石含量, 熔化温度降低 $6.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 黏度降低 $0.02\text{ Pa}\cdot\text{s}$, 平均热流密度降低 0.0178 MW/m^2 。向保护渣中加入一定比例的萤石粉, 使用搅拌机搅拌均匀, 模底部分使用新配比保护渣, 吊挂部分使用原渣^[8]。试验结果见表5, 试验铸锭铸身凹坑情况, 如图2所示。

3.2 第二轮试验

加入萤石粉后的铸锭中上部出现凹坑, 是因为萤石粉在降低保护渣熔点的同时降低了其黏度, 随着浇铸时间的增加, 保护渣液渣层厚度增加, 黏度降低, 同时生成了高熔点的枝晶石粘附在模壁上。通过查阅资料^[3]发现, 常用助熔剂中对降低保护渣熔点的作用 $\text{Na}_2\text{O} > \text{CaF}_2$, 而对降低保护渣粘度的作用 $\text{CaF}_2 > \text{Na}_2\text{O}$, 并且单一熔剂加入量过多会产生高

表4 各批次通用型保护渣成分及在M2使用效果
Tab. 4 Ingredients of each batch of general protective slag and its application effect in M2

批次	化学组成/%									M2铸锭表面粘渣面积比例/%
	TC	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	Fe_2O_3	MgO	F	K_2O	
1	19.0	33.4	17.7	15.8	2.27	4.38	3.51	1.3	0.67	8~9
2	19.3	33.0	17.1	14.9	3.26	4.43	2.86	1.81	0.87	8~9
3	19.6	33.1	17.1	12.9	5.8	4.48	2.05	1.88	0.85	6~7
4	19.0	32.9	18.1	16.6	2.76	3.83	2.13	1.48	0.82	8~9
5	18.7	33.4	17.8	17.5	3.46	2.85	1.51	1.4	0.84	7~7
6	19.7	33.3	17.2	12.5	6.6	4.27	2.03	1.16	0.88	8~9
7	19.8	32.9	17.7	15.1	3.96	3.42	2.81	1.13	0.98	8~9

表 5 第一轮保护渣试验结果
Tab. 5 Results of the first round of protecting slag test

序号	萤石粉加入比例/%	保护渣熔点/°C	保护渣黏度/(Pa·s)	M2 铸锭小头表面质量	M2 锭身表面质量	试验/支	缺陷/支	缺陷率/%
1	2	1 208	0.27	无改善	无变化	20	20	100
2	3	1 205	0.26	有改善, 仍有 5%~7% 粘渣	略显恶化, 中部以上出现 2% 点状凹坑	20	20	100
3	5	1 198	0.24	有改善, 仍有 3%~5% 粘渣	有恶化, 中部以上出现 2%~4% 条状凹坑	20	20	100
4	7	1 191	0.22	有明显改善, 仍有 2%~3% 粘渣	恶化严重, 中部以上出现 4%~5% 成片凹坑	20	20	100

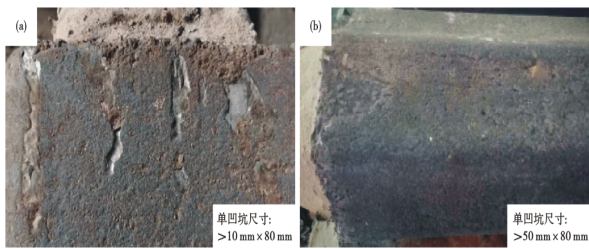


图 2 试验铸锭锭身凹坑:(a)方锭,(b)八角锭

Fig. 2 Ingot body pits of test ingot:(a) square ingot, (b) octagonal ingot



图 3 彻底改善后的铸锭表面质量

Fig. 3 Surface quality of the thoroughly improved ingot

熔点物质, 为避免此现象, 熔剂加入的原则是种类多而种量小。因此, 第二轮试验将萤石粉与碱粉同时配入保护渣, 模底部分使用新配比保护渣, 吊挂部分使用原渣。试验结果见表 6

3.3 第三轮试验

同时配入萤石粉和碱粉对锭身凹坑有改善, 但仍不能达到小头与锭身同时无缺陷。通过观察浇注时模内保护渣状态, 发现保护渣燃烧时火苗不均匀, 粉渣层有聚集、开裂情况, 说明保护渣透气性不好, 铺展性能差。因此, 配入适量可膨胀石墨进行第三轮试验, 试验结果见表 7, 铸锭表面质量明显改善, 如图 3 所示。

3.4 质量检测

碳在熔渣中的溶解度很低, 而在钢水中的溶解度为 5.1%, 因此, 当碳与钢水接触时就会产生增碳。虽然含碳保护渣被熔渣隔开, 但由于模壁摩擦阻

力, 在保护渣上升过程中, 钢水弯月面处渣料会不断翻塌, 部分含碳较高的原始渣料被卷入钢水, 或进入模壁间隙中, 卷入的碳一部分凝固在表层, 在钢锭中形成不均匀的增碳^[9]。根据邸天成等人对 430 不锈钢连铸保护渣渣圈成分分析结果^[10], 得知钢液与保护渣之间不会发生合金元素的交换。

对第三轮试验铸锭表面彻底改善的第 7、8、12 组铸锭帽口端进行取样, 检测成分, 经与同炉次原保护渣铸锭取样进行对比, 第 8、12 组中的碳含量增幅较大, 第 7 组中的碳含量、合金含量波动均小于 0.03%, 满足铸锭成分条件。因此, 只有第 7 组的配比满足要求。

4 试验结果

通过现场大量试验, 最终确定了适于模铸高速

表 6 第二轮保护渣试验结果
Tab. 6 Results of the second round of protecting slag test

序号	萤石粉加入比例/%	碱粉加入比例/%	保护渣熔点/°C	保护渣黏度/(Pa·s)	M2 铸锭小头表面质量	M2 锭身表面质量	试验/支	缺陷/支	缺陷率/%
1	2	2	1 192	0.25	有改善, 不明显	无变化	20	20	100
2	3	3	1 185	0.24	有改善, 仍有 4%~6% 粘渣	无变化	20	20	100
3	4	4	1 177	0.22	有明显改善, 仍有 3%~4% 粘渣	略显恶化, 中部以上出 1%~2% 现点状凹坑	20	20	100
4	5	5	1 168	0.20	有明显改善, 仍有 1%~2% 粘渣	有恶化, 中部以上出现 2%~3% 条状凹坑	20	20	100

表7 第三轮保护渣试验结果
Tab. 7 Results of the third round of protecting slag test

序号	萤石粉加入比例/%	碱粉加入比例/%	可膨胀石墨加入比例/%	保护渣熔点/°C	保护渣黏度/(Pa·s)	铸锭小头表面质量	M2锭身表面质量	试验/支	缺陷/支	缺陷率/%
1	3	3	2	1 186	0.24	有改善,仍有5%~7%粘渣	无变化	20	20	100
2	3	3	3	1 186	0.24	有改善,仍有4%~7%粘渣	无变化	20	20	100
3	3	3	4	1 185	0.24	有明显改善,仍有2%~4%粘渣	无变化	20	20	100
4	3	3	5	1 185	0.24	有明显改善,仍有1%~2%粘渣	无变化	20	20	100
5	4	4	2	1 178	0.22	有改善,仍有4%~7%粘渣	略显恶化,中部以上出现1%~2%点状凹坑	20	20	100
6	4	4	3	1 178	0.22	有明显改善,仍有1%~2%粘渣	无变化	20	20	100
7	4	4	4	1 177	0.22	彻底改善,无粘渣	无变化	20	0	0
8	4	4	5	1 177	0.22	彻底改善,无粘渣	无变化	20	0	0
9	5	5	2	1 168	0.20	有改善,仍有1%~2%粘渣	有恶化,中部以上出3%~4%现条状凹坑	20	20	100
10	5	5	3	1 168	0.20	有明显改善,无粘渣	略显恶化,中部以上出现2%~3%点状凹坑	20	20	100
11	5	5	4	1 167	0.20	彻底改善,无粘渣	略显恶化,中部以上出现1%~2%点状凹坑	20	16	80
12	5	5	5	1 167	0.20	彻底改善,无粘渣	无变化	20	0	0

钢的保护渣需在通用型模铸保护渣基础上新增添加剂萤石粉、碱粉、可膨胀石墨的比例均为4%。并根据新配比后的保护渣成分,结合原渣的成分、原料组成,形成了适于相关钢种的《模铸高速钢保护渣技术条件》,技术条件中理化指标见表8

5 结论

(1)在通用型模铸保护渣基础上配入萤石粉

4%、碱粉4%、可膨胀石墨4%,可彻底改善M2(W6Mo5Cr4V2)系列高速钢铸锭表面质量,且不对钢锭成分造成影响。

(2)适合M2(W6Mo5Cr4V2)系列的模铸高速钢保护渣,其化学成分为(18~21)%TC,(29~34)%SiO₂,(14~17)%Al₂O₃,(12~15)%CaO,(4~7)%Na₂O,(2~4)%Fe₂O₃,(1~3)%MgO,(2~4)%F,(0.5~2)%K₂O。

表8 模铸高速钢保护渣理化指标

Tab. 8 Physical and chemical indexes of protection slag of mold cast HSS slag

适用钢种	化学组成/%									物理特性		
	TC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	F	K ₂ O	熔点/°C	熔速/s	黏度/(Pa·s)
M2系列	18~21	29~34	14~17	12~15	4~7	2~4	1~3	2~4	0.5~2	1 130~1 180	55~62	0.2~0.25

注:熔速为Φ4 mm×4 mm渣柱在1 300 °C炉中熔为半球形的时间;配入的各种添加剂粒度要求≤100目,可膨胀石墨的膨胀倍数要求≥130倍。

参考文献

- [1] 邓玉昆,陈景榕,王世章. 高速工具钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2002:1.
- [2] 陈济源. 硅灰石质模铸保护渣研制探讨[J]. 非金属矿. 1990,(6):31-33.
- [3] 蔡燮鳌,缪新德,吴小林. 特钢厂模铸用保护渣[J]. 特殊钢. 1999,20(4):54-56.
- [4] 刘磊,韩秀丽,张均,等. 矿物原料对保护渣物理化学性能的影响[J]. 特殊钢. 2016,37(2):4-7.
- [5] 李广田,郭东章,肖玉光. 复合型模铸保护渣浇钢[J]. 东北工学院学报. 1993,14(1):104-108.
- [6] 黄婷,李京社,唐海燕,等. 铸锭凝固过程缩孔缺陷的数值模拟[J]. 铸造. 2013,62(7):633-640.
- [7] 杨福伦,刘启辉. 鞍钢模铸保护渣的技术进步[J]. 鞍钢技术. 1989,(6):41-45.
- [8] 王凯强,韩秀丽,刘丽娜,等. 萤石含量对结晶器保护渣物理性质和渣膜矿相结构的影响[J]. 特殊钢. 2016,37(1):9-12.
- [9] 陈洪文. 使用模铸保护渣时钢的增碳研究. 湖南冶金. 1998,(3):11-14.
- [10] 邸天成,王杏娟,刘增勋,等. 430不锈钢用连铸保护渣渣圈形成长机理分析和控制措施[J]. 特殊钢. 2022,43(5):63-67.