稀土钢钢水对保护渣理化性能及物相组成的影响*

王爱兰[1,2],智建国[1,2],刁望才[1,2],韩春鹏[1,2],张晓峰[1,2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区稀土钢产品研发企业重点实验室,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 在稀土钢浇铸过程中,稀土钢钢水与结晶器保护渣相互作用,使保护渣的理化性能发生改变,影响和限制了保护渣冶金性能的正常发挥。文章系统的分析了稀土钢钢水对保护渣理化性能及物相组成的影响。结果表明,进入到渣中的稀土氧化物主要以稀土硅酸盐的形式存在。生成的高熔点稀土钙硅酸盐是保护渣熔化温度、黏度升高的主要原因。稀土钢钢水与结晶器保护渣反应时间越长,保护渣熔渣中吸收溶解的稀土氧化物越多,熔渣中析出的晶质矿物越多,熔渣的结晶率越高。

关键词: 稀土钢钢水; 结晶器保护渣; 性能及组成
中图分类号: TF777 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0016-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.013

Effects of Molten Steel of Rare Earth Steel on Physical and Chemical Properties and Phase Composition of Mould Flux

Wang Ai-lan[1,2], *Zhi Jian-guo*[1,2], *Diao Wang-cai*[1,2],
Han Chun-peng[1,2], *Zhang Xiao-feng*[1,2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Enterprise Key Laboratory of Rare Earth Steel Products Research & Development, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the casting process of rare earth steel, the interaction between molten steel of rare earth steel and mould flux makes the physical and chemical properties of mould flux change so that the metallurgical properties of mould flux are affected and limited. In this paper, the effects of molten steel of rare earth steel on physical and chemical properties and phase composition of mould flux are systematically analyzed. The results show that the rare earth oxide entered slag mainly exists in the form of rare earth silicate. The generated rare earth calc silicate with high melting point is the main reason for the increase of melting temperature and viscosity for mould flux. The longer the action time of molten steel of rare earth steel and mould flux, the more the rare earth oxide is absorbed and dissolved in the slag of mould flux, the more the crystalline mineral is precipitated in the slag and the higher the crystallization rate of slag.

Key words: molten steel of rare earth steel; mould flux; performance and composition

* **收稿日期:** 2021-10-13
作者简介: 王爱兰(1968-),女,内蒙古包头市人,工程师,现从事炼钢工艺研究工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

随着稀土在钢中应用技术的不断进步，稀土作为一种钢的改质剂和微合金化元素，能有效提高或改善钢材特殊性能(耐磨性、冲击性能、耐腐蚀性能等)。稀土钢钢水的可浇性是当前生产面临的重大难题，严重阻碍了稀土在钢中的应用和发展。作为影响因素之一的结晶器保护渣越来越受到重视。在稀土钢生产过程中，由于稀土元素活泼易氧化，在浇铸过程中，钢中的稀土及其氧化物必有部分与熔融的保护渣发生反应，使熔渣的组分和性能发生明显的变化，影响和限制其冶金功能的正常发挥[1]，严重影响连铸工艺顺行和铸坯质量的稳定。为此，本文对稀土钢钢水与结晶器保护渣相互作用后熔渣的理化性能及物相组成进行了系统分析，讨论了稀土钢钢水与结晶器保护渣相互反应时间的长短对熔渣物相组成的影响，找出了保护渣的熔化温度、黏度升高的原因，为提高稀土钢钢水可浇性和铸坯质量提供重要的理论依据。

1　试验用原料

试验所用坯料为低碳钢 Q345E 宽厚板坯料，成分见表 1。所用保护渣为宽厚板低碳钢用结晶器保护渣，理化性能见表 2、表 3。

表 1　Q345E 钢种化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S
0.07	0.41	1.41	0.01	0.002

表 2　低碳钢保护渣化学成分及碱度

化学成分(质量分数)/%										碱度
SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	F	MnO	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	固定碳	
32.46	31.4	1.94	5.47	7.6	0.283	<0.5	0.251	8.18	3.5	0.97

表 3　低碳钢保护渣物理性能

熔化温度/℃			1 300 ℃粘度/(Pa·S)
软化点	半球点	流动点	
1 088	1 138	1 153	0.33

通过以上分析可知，宽厚板低碳钢用保护渣碱度为 0.97，使用的助熔剂主要成分为 Na_2O，是一种中高碱度、较低黏度保护渣。试验所用稀土合金为 10% Ce－Fe 合金。

2　试验方案

把破碎好的钢坯料加入到 100 kg 中频炉内，送电升温，待坯料完全熔化后，将稀土合金加入到熔化的钢液中，大约 1 min 后将 1 kg 结晶器保护渣加入到钢液面上，按保护渣熔渣在钢液面上停留时间进行取样。试验过程所取熔渣样对应的编号如表 4 所示。

表 4　稀土加入量及熔渣停留时间

编号	稀土加入量/%	熔渣停留时间/min
1#熔渣	0.1	2
2#熔渣	0.1	4

3　试验结果分析

3.1　试验钢化学成分

试验钢化学成分见表 5。

表 5　试验钢化学成分(质量分数)　%

项目	C	Si	Mn	P	S	RE
试验钢 1	0.069	0.15	1.42	0.012	<0.002	0.018
试验钢 2	0.080	0.13	1.35	0.012	<0.002	0.012

从表 5 可知，两炉试验钢中稀土含量分别为 0.018% 和 0.012%，试验时中频炉没有进行抽真空操作。

3.2　熔渣理化性能的分析

两次所取保护渣熔渣试样，外观多为黄褐色非玻璃体，化学成分见表 6。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表6 熔渣化学成分及碱度

渣样	化学成分(质量分数)/%										碱度
	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	F	FeO	MnO	K_2O	Na_2O	REO	
原渣	32.46	31.40	1.94	5.47	7.6	<0.50	0.28	0.28	8.18		0.97
1#熔渣	36.46	9.30	14.69	4.97	2.1	1.94	0.82	0.12	2.31	2.08	0.26
2#熔渣	36.16	10.80	13.68	6.99	2.4	0.81	1.16	0.11	2.65	4.48	0.29

从表6可知,加入到稀土钢液面上的保护渣熔渣成分与原渣相比,发生了明显变化,停留2 min的熔渣溶解吸收了2.08%的稀土氧化物,停留4 min的熔渣溶解吸收了4.48%稀土氧化物。说明稀土钢钢水与保护渣反应时间越长,进入到熔渣中的稀土氧化物越多。熔渣中MgO含量的大幅增加,是由于试验时钢水温度保持在1 500 ℃左右,随时间的延长,侵蚀了镁质炉衬,使MgO含量增加。

熔渣物理性能见表7。

由表7可知,1#熔渣和2#熔渣的熔化温度和黏度比原渣都有大幅提高。停留时间短的1#熔渣比停留时间长的2#熔渣的熔化温度和黏度有所提高。

表7 熔渣物理性能

	熔化温度/℃			1 300 ℃黏度/(Pa·S)
	软化点	半球点	流动点	
原渣	1 088	1 138	1 153	0.33
1#熔渣	1 157	1 270	1 297	2.13
2#熔渣	1 162	1 236	1 275	1.14

3.2 熔渣矿相结构分析

为进一步分析熔渣的物相组成,对所取两个熔渣试样进行了XRD衍射图谱分析,见图1。

由图1可知,1#和2#熔渣的物相组成基本一样,组成见表8。

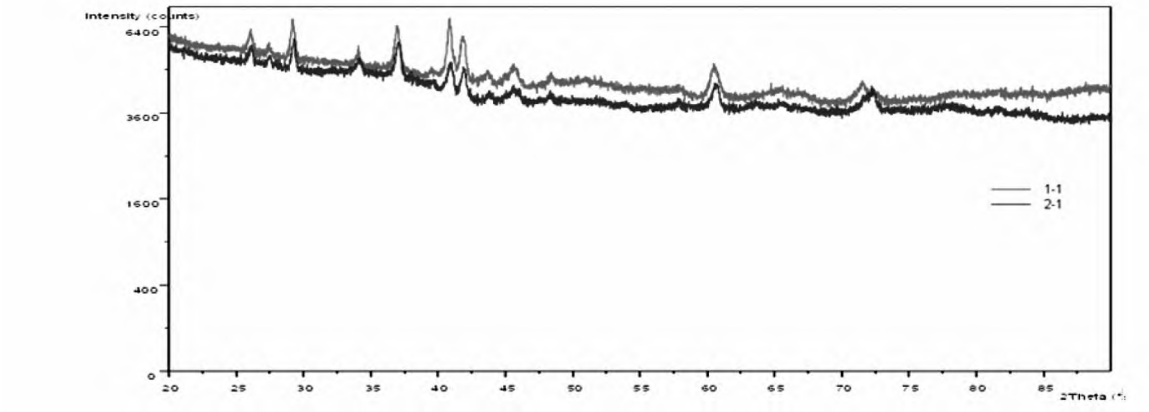


图1 1#熔渣和2#熔渣X射线衍射图谱

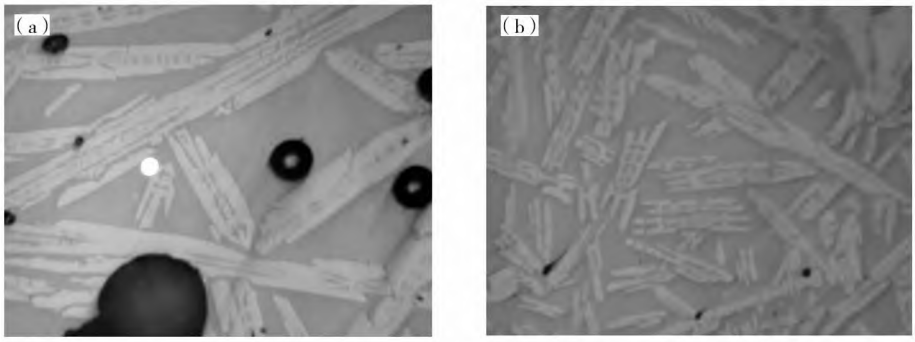
表8 熔渣组成及含量(质量分数) %

渣样	$Ce_2O_3 \cdot CaO \cdot 2SiO_2$	$Ce_2O_3 \cdot 3Al_2O_3 \cdot 12SiO_2$	$Na_2O \cdot Ce_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	$MgFe(SiO_4)$
1#熔渣	11.0	56.0		33.0
2#熔渣	6.0	61.0	8.0	25.0

从表8中看出,1#、2#熔渣主要由稀土硅酸盐组成。反应时间短的1#熔渣中稀土铝硅酸盐为56.0%,稀土钙硅酸盐(铈钙硅石)为11.0%。反应时间长的2#熔渣中稀土铝硅酸盐为61.0%,稀土钙硅酸盐(铈钙硅石)为6.0%。随反应时间的延长,2#熔渣中又生成了稀土钠铝硅酸盐。1#、2#熔渣中较高的镁铁橄榄石也是由于镁质炉衬受高温冲刷造成的。

对1#和2#熔渣样进行岩相分析,结果见图2。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) 1#样熔渣形貌(反射光，320×)　　(b) 2#样熔渣形貌(反射光，320×)

图 2　熔渣岩相分析

由图 2 可知，反应时间短的 1#熔渣，岩相组织中晶质矿物约占 70% 左右，且粗壮，玻璃相约占 20% 左右。反应时间长的 2#熔渣中，岩相组织中晶质矿物约占 80% 左右，且细小，玻璃相约占 10% 左右，可见 2#熔渣的结晶率较高。

通过以上分析可知，稀土钢钢水与保护渣相互反应生成高熔点含稀土的复合硅酸盐，使其熔化温度和黏度升高。随反应时间的延长，部分高熔点稀土钙硅酸盐(铈钙硅石)逐渐被液态渣溶解[2]，生成含 Al 和 Na 的稀土硅酸盐，使熔渣的熔化温度和黏度有所降低，这也是 2#熔渣熔化温度及黏度降低的原因。对相同稀土含量的钢水，稀土钢钢水与保护渣反应时间越长，熔渣中生成的高熔点稀土硅酸盐越多，随温度的降低析出的晶质矿物增加，结晶率提高。

4　结论

(1) 稀土钢钢水与结晶器保护渣反应时间越长，保护渣熔渣中溶解吸收的稀土氧化物越多，进入到渣中的稀土氧化物主要以稀土硅酸盐形式存在。

(2) 生成的高熔点稀土钙硅酸盐是保护渣熔化温度、黏度升高的主要原因。

(3) 相同稀土含量的钢水，稀土钢钢水与结晶器保护渣反应时间越长，熔渣中析出的晶质矿物越多，熔渣结晶率越高。

参　考　文　献

[1] 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.

[2] 孙长悌. 连铸保护渣在熔化过程中的分熔现象[J]. 钢铁，1981，(6)：12.

(上接第 3 页)

进行了简单探究。包钢(集团)公司财务信息化已经走过了几个不同的时期，初步具备了建立财务共享服务中心的条件。财务共享服务中心对于提升集团公司的核心竞争力至关重要，建议集团公司尽快构建自己的财务共享服务中心。虽然在实施过程中一定会遇到各种各样的困难和问题，但从集团公司的长远发展来看，财务共享服务中心的建设是势在必行的。

参　考　文　献

[1] 王云. 财务共享服务模式浅析[J]. 管理学家，2013，(11)：103.

[2] 曾雨露. 财务共享中心的必要性和紧迫性分析[J]. 企业改革与管理，2017，(8)：129.

[3] 陈阳，程昔武. 集团公司财务共享服务中心的构建策略[J]. 财会月刊，2017，(7)：19－23.

[4] 孙雅林. 财务共享服务中心优势与障碍探析[J]. 中国总会计师，2017，(5)：72－74.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net