

洁净钢炉外精炼与连铸用耐火材料及其发展

洪学勤 李具中 易卫东 宋泽啟 雷中兴 易献勋

武汉钢铁集团耐火材料有限责任公司 湖北武汉 430080

摘要: 简述了洁净钢炉外精炼与连铸用耐火材料的现状及发展方向, 主要介绍了精炼钢包系统、RH 精炼系统、中间包系统用耐火材料的材质选择及技术进步, 同时强调了耐火材料的管理及创新在洁净钢生产中的作用。

关键词: 洁净钢; 炉外精炼; 连铸; 管理创新; 耐火材料

中图分类号: TQ175.71

文献标识码: A

文章编号: 1001-1935(2012)02-0081-06

世界各工业领域的发展与技术进步以及人们生活水平的日益提高, 对钢材性能的要求日益苛刻。洁净钢的市场需求量在不断增大, 钢的洁净度要求也越来越高^[1]。耐火材料作为钢水冶炼过程中的功能材料, 与钢水直接接触。如果材质选择不合理, 质量低劣或管理不善, 耐火材料就有可能以非金属夹杂物等形式存在于钢水之中, 从而影响钢水的洁净度^[2]。因此, 研究洁净钢用耐火材料具有重要的现实意义。

虽然洁净钢的冶炼是从铁水预处理开始, 但考虑到篇幅等多方面因素, 在本文中, 主要涉及洁净钢炉外精炼与连铸用耐火材料及其发展, 从耐火材料材质及其技术进步、管理及其创新两个方面来讨论。

1 耐火材料材质及其技术进步

耐火材料的材质选择, 首先要满足冶炼工艺要求, 要结合不同工序的特征, 同时也要尽可能地兼顾耐火原料资源情况及其相应产品的性价比^[3]。下面对精炼钢包系统、RH 精炼系统和中间包系统逐一讨论。

1.1 精炼钢包系统

目前, 国内大多数精炼钢包采用含碳材料, 如镁碳砖、铝镁碳砖、镁铝碳砖等, 其碳含量一般在 8% (w) 以上。随着洁净钢要求的不断提高, 近几年, 相继出现多种低碳和无碳钢包耐火材料, 如无碳刚玉-尖晶石预制块、机压刚玉-尖晶石无碳砖、低碳镁碳砖、刚玉-尖晶石浇注料、镁钙砖等。

1.1.1 无碳刚玉-尖晶石预制块

无碳刚玉-尖晶石预制块是以超低水泥或 ρ - Al_2O_3 结合的刚玉-尖晶石浇注料在耐火材料企业预制成型并经过热处理的产品。该产品用于洁净钢的冶炼取得了良好的效果, 例如在武钢三炼钢的 300 t

钢包使用, 寿命达 250 次。一种典型的刚玉-尖晶石预制块的理化指标如表 1 所示。与之配套使用的无碳材料还有包底刚玉质冲击块、包底刚玉浇注料、包壁修补料、包底修补料和高纯铝镁火泥等, 其性能如表 2 所示。

表 1 刚玉-尖晶石预制块的性能
Table 1 Properties of corundum-spinel precast block

项 目	数 值	
$w(Al_2O_3)/\%$	87.59	
抗折强度/MPa	110 °C 24 h	9.2
	1 600 °C 3 h	9.5
耐压强度/MPa	110 °C 24 h	54
	1 600 °C 3 h	82
加热永久线变化/%	1 600 °C 3 h	0.41
重烧永久线变化/%	1 600 °C 3 h	-0.06
显气孔率/%	110 °C 24 h	12

表 2 钢包无碳预制块及配套产品性能
Table 2 Properties of carbon free ladle precast block and ancillary products

项 目	包底刚玉 质冲击块	包壁、包 底修补料	包底刚玉 浇注料	高纯 铝镁火泥
$w(Al_2O_3)/\%$	≥ 80.0	≥ 70.0	≥ 70.0	≥ 50.0
体积密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	110 °C 24 h ≥ 2.90	≥ 2.60	≥ 2.80	
加热永久 线变化/%	1 600 °C 3 h ± 0.5		± 0.1	
耐压强度/MPa	110 °C 24 h ≥ 30.0	≥ 2.0	≥ 30.0	
抗折强度/MPa	110 °C 24 h ≥ 5.0	≥ 0.5	≥ 5.0	

钢包刚玉-尖晶石预制块具有不含碳、纯度高、使用寿命长的优点, 目前正在宝钢、武钢等推广用于洁净钢冶炼, 并取得良好效果。但该产品也存在一些

* 洪学勤: 男, 1963 年生, 教授级高级工程师。

E-mail: hxq@rcwisco.com

收稿日期: 2011-07-29

编辑: 张子英

问题与不足:①产品生产过程中,人工成本高,生产效率低;②产品原料成本高;③配套材料较多,需要人工修补;④抗热震性能有待进一步提高。

1.1.2 机压刚玉-尖晶石砖

为了解决生产效率低下的问题,人们开发了一种材质相当的机压刚玉-尖晶石砖,该产品用于90 t精炼钢包,侵蚀速率 $<0.6 \text{ mm} \cdot \text{次}^{-1}$,取得了较好的使用效果。机压刚玉-尖晶石砖与刚玉-尖晶石预制块的性能比较如表3所示。

表3 机压刚玉-尖晶石砖与刚玉-尖晶石预制块的性能比较
Table 3 Properties comparison between corundum-spinel pressed bricks and corundum-spinel precast blocks

项目	机压刚玉-尖晶石砖		刚玉-尖晶石预制块		
	树脂结合	无机物结合	A厂	B厂	
$w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/\%$	96.5	97.2	97.1	97.7	
体积密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	3.26	3.27	3.08	3.15	
显气孔率/%	8.7	9.2	14	12	
加热永久线变化/%	1 100 °C 3 h	0.10	0.18	0.05	0.03
	1 600 °C 3 h	0.48	0.56	0.41	0.38
高温抗折强度/MPa	1 400 °C 0.5 h	8.0	2.8	1.4	1.7
耐压强度/MPa	220 °C 24 h	87	82	54	69
	1 100 °C 3 h	72	92	62	78
	1 600 °C 3 h	103	127	82	109
抗折强度/MPa	220 °C 24 h	23.0	12.1	9.2	10.9
	1 100 °C 3 h	9.6	23.1	8.7	12.8
	1 600 °C 3 h	33	35	9.5	28

机压刚玉-尖晶石砖提高了生产效率,并有较好的使用效果,但同时也存在一些问题和不足,如:机压模具寿命较低,抗热震性不好的问题更加突出。因此,提高机压刚玉-尖晶石砖的使用效果至少要注意如下3点:①确保钢包有较快的周转速度;②大幅提高模具寿命,尽可能采用液压成型;③较大幅度地提高其抗热震性能。

1.1.3 低碳镁碳砖

为了防止钢包渣线镁碳砖对钢水增碳,宝钢、武钢等钢厂先后开发出抗热震性能和抗侵蚀性能优良的低碳镁碳砖应用于300 t钢包渣线^[4],侵蚀速度为 $0.7 \sim 0.9 \text{ mm} \cdot \text{次}^{-1}$,与碳含量14%(w)的镁碳砖的使用效果相当,其性能如表4所示。

表4 低碳镁碳砖的性能
Table 4 Properties of low-carbon MgO-C bricks

项目	产品1	产品2
化学组成(w)/%	MgO	>90
	C	<7
体积密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	>3.10	>3.10
显气孔率/%	<3	<3
耐压强度/MPa	>60	>60
高温抗折强度/MPa 1 400 °C 0.5 h	>20	>20

1.1.4 刚玉-尖晶石浇注料

刚玉-尖晶石浇注料是以高纯合成原料为基础的,低水泥或超低水泥结合高纯刚玉-尖晶石浇注料。最初由日本开发并大量使用,国内以宝钢为代表率先采用该技术,均取得了良好的使用效果。宝钢在300 t钢包使用达到250炉的水平。该浇注料的性能指标如表5所示。

表5 整体钢包浇注料性能指标
Table 5 Properties of ladle castables

项目	包壁浇注料	包底浇注料	
体积密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	110 °C 24 h	3.15	3.13
	1 000 °C 3 h	3.10	3.10
	1 500 °C 3 h	3.05	3.05
显气孔率/%	110 °C 24 h	15	16
	1 000 °C 3 h	18	19
	1 500 °C 3 h	20	21
抗折强度/MPa	110 °C 24 h	42	39.5
	1 000 °C 3 h	35	29.1
	1 500 °C 3 h	125	101.8
加热永久线变化/%	1 000 °C 3 h	0	0
	1 500 °C 3 h	+0.55	+0.45
热态抗折强度/MPa 1 450 °C 3 h	6.8	9.1	

刚玉-尖晶石浇注料具有以下几个方面的优点:①整体性好,使用寿命长;②不含碳、高纯、低氧化硅、低氧化铁杂质,可避免钢水增碳或对钢水的总氧含量产生不利影响^[5];③便于机械化、自动化施工。同时,也存在一些问题和不足,如:对烘烤条件要求高;如果钢包壳变形,则导致浇注层厚度不一,从而影响寿命等。为了充分发挥该浇注料的优势,节约材料,可能有如下两方面工作要做:①采取合适的措施,尽可能减少钢包壳的变形;②采取清渣补浇工艺。

1.1.5 不烧镁钙砖

不烧镁钙砖是由天然烧白云石、人工合成镁钙砂等为原料,与无水结合剂混合后机压成型并热处理所制得^[3]。这种产品在欧美、东南亚地区应用较为普遍。随着矾土、镁砂资源的紧缺和涨价以及不锈钢、帘线钢等洁净钢的发展,国内使用不烧镁钙砖的企业在不断增多。最初依赖进口,目前国内有少数几家企业开发成功。国内开发的不烧镁钙砖和不烧镁钙碳砖在武钢100 t钢包上使用,用于冶炼帘线钢、重轨钢等,使用寿命可达100次左右,成功替代了进口产品,其理化指标如表6所示^[3]。

不烧镁钙砖与其他产品相比,具有如下优势:原料资源极为丰富,价格低廉;对于洁净钢冶炼,不但不易形成非金属夹杂,还可能在一定程度上起到净化钢液的作用。据资料介绍,它不仅能起到脱硫、脱

磷的效果,在铝镇静钢冶炼中能降低钢的总氧含量。不烧镁钙砖最突出的问题和不足是易水化,因此,在生产、储运、使用过程中都要严格按照合理制度执行。

表6 不烧镁钙砖的理化性能^[3]

Table 6 Chemical compositions and physical properties of unfired MgO-CaO bricks

项 目		MG-30	MG-10	MCT-10	MGT-10A
化学组成 (w)/%	CaO	33.13	12.3	12.7	13.3
	MgO + CaO	91.8	93.95	89.42	91.22
常温耐压强度/MPa		82	65.0	54	59
体积密度/(g·cm ⁻³)		3.05	3.10	3.05	3.07
加热永久 线变化/%	1 600 ℃ 3 h	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1

不烧镁钙砖作为洁净钢冶炼的优势耐材产品,要真正做到有足够的竞争力,笔者认为首先是要开发出优质而廉价的原料,如土耳其某钢厂利用 $w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) < 1.0\%$ 的镁钙砂生产的镁钙砖,用于100 t电炉钢包,其使用寿命达150次以上。

1.2 RH 精炼系统

1.2.1 镁铬砖

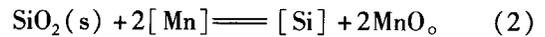
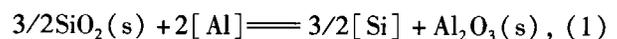
RH 精炼炉作为对钢水质量有保障的精炼装置,近十几年发展很快。由于相关耐火材料承受着急冷急热、强冲击力、高真空条件及各种碱度渣、合金成分的强烈化学作用等严峻的考验,人们一直没有停止耐火材料使用寿命的攻关。一般来说,浸渍管和真空槽底部耐材的使用寿命决定了RH炉的使用寿命^[6]。2010年,武钢耐火厂开发的低硅镁铬砖使RH炉的寿命从原来使用传统镁铬砖的110次左右上升到130次以上。低硅镁铬砖与传统镁铬砖的性能对比如表7所示。

表7 传统镁铬砖与低硅镁铬砖性能比较

Table 7 Chemical compositions and physical properties comparison between traditional MgO-Cr₂O₃ bricks and low-silicon MgO-Cr₂O₃ bricks

项 目	传统镁铬砖	低硅镁铬砖	
化学组成 (w)/%	MgO	≥60	63.18
	Cr ₂ O ₃	≥20	24.05
	SiO ₂	≤2.0	0.69
	Fe ₂ O ₃	≤12	6.83
	CaO		0.68
荷重软化温度/℃(0.2 MPa, T _{0.6})	1 750	1 750	
体积密度/(g·cm ⁻³)	≥3.20	3.30	
显气孔率/%	≤18	15.8	
常温耐压强度/MPa	≥45	86	
抗热震性/次(1 100 ℃,水冷)	4	12	

传统镁铬砖中的SiO₂含量较高,易与砖内Cr₂O₃、MgO、Fe₂O₃以及钢液中非金属夹杂形成多元低熔点化合物,在钢液的冲刷下,加剧侵蚀^[7]。另外,也会与钢液中的[Mn]、[Al]反应,造成钢液增Si与氧化物夹杂并加剧侵蚀^[8],其反应如下:



当然,由于RH真空系统条件较复杂,在镁铬砖中SiO₂含量相当的情况下,镁铬砖的生产工艺,RH真空装置的砌筑方式和质量以及处理的钢种也可能对RH炉的寿命有一定的影响。

1.2.2 无铬化

由于六价铬对环境的危害,人们一直致力于找到一种替代镁铬砖的材料,先后试验了镁铝砖、镁锆砖、镁碳砖等^[9]。虽然取得了一些有益的成果,但就性价比而言,均未能超过镁铬砖。然而,日本人开发的低碳镁碳砖在RH炉上应用的结果似乎把无铬化的进程向前推进了一步。低碳镁碳砖在日本JFE钢铁公司300 t钢包的RH下降管试用,其侵蚀速度为0.6 mm·炉⁻¹,比直接结合镁铬砖小10%。这种低碳镁碳砖与传统镁铬砖性能比较如表8所示。

表8 低碳镁碳砖与传统镁铬砖性能比较

Table 8 Chemical compositions and physical properties comparison between low-carbon MgO-C bricks and traditional MgO-Cr₂O₃ bricks

项 目	低碳镁碳砖	传统镁铬砖	
化学组成 (w)/%	MgO	92	62
	Cr ₂ O ₃		18
	C	3	
体积密度/(g·cm ⁻³)	3.15	3.22	
显气孔率/%	3.4	14.3	
常温耐压强度/MPa	51	74	
常温抗折强度/MPa	25	14	
抗渣侵蚀指数(1 750 ℃ 3 h,采用CaO与SiO ₂ 质量比为4的渣)	68	100	
抗氧化指数(1 200 ℃ 20 min,空气)	52	12	
抗热震性/次(1 580 ℃ 60 s,水冷)	72	100	

1.3 中间包系统

中间包系统作为钢水进入结晶器的最后一道工序,愈来愈引起人们的重视。从某种程度上,其钢水的洁净度直接反映在连铸坯的质量上^[10]。在连铸系统,为促进夹杂物上浮,采用了大容量中间包,上、下挡渣堰结构,垂直结晶器,浇铸过程中还采取了密封浇注技术。因此,连铸中间包已从一种简单的钢液缓冲过渡容器转变成一种重要的钢液精炼装置^[11]。中间包耐火材料自然就引起了人们关注和重视。下面简单介绍一下中间包涂料、挡渣堰、钢水过滤器和浸入式水口。

1.3.1 中间包涂料

目前,中间包工作衬从施工方式上来分,有人工涂抹料、喷涂料和干式振动料或自流料;从材质上来分,主要是镁质和镁钙质。宝钢、武钢、鞍钢中间包涂

料的理化指标如表9所示。

表9 宝钢、武钢、鞍钢中间包涂料理化指标
Table 9 Chemical compositions and physical properties of tundish coatings in Baosteel, Wuhan Steel and An-shan Steel

项目		武钢		鞍钢		宝钢	
		镁质涂料	镁质涂料	镁质涂料	镁质涂料	镁质涂料	镁钙涂料
化学组成(w)/%	MgO	87.56	≥80	85.15	≤40		
	CaO				≥50		
体积密度/(g·cm ⁻³)	110℃ 24 h	2.06	≥2.00	2.10	2.10		
耐压强度/MPa	110℃ 24 h	4	≥10				
加热永久线变化/%	1500℃ 3 h	-0.5	-2.5~2.5				

对于高CaO的MgO-CaO质涂料来说,首先要通过技术措施控制镁钙的水化问题。其次,为增加使用中涂料的游离CaO含量,还需加入一定量的Ca(OH)₂和CaCO₃。由此研制成功的高CaO的MgO-CaO质中间包涂料性能如表10所示^[10]。使用试验结果表明,使用前后,涂料中的Al₂O₃质量分数由1%提高到5.5%~5.6%,有效吸收了钢水中的Al₂O₃。

表10 高CaO中间包涂料的性能^[10]
Table 10 Chemical compositions and physical properties of tundish coating with high CaO

项目		规定值	典型值
化学组成(w)/%	CaO	>54	54.05
	MgO	>36	38.58
体积密度/(g·cm ⁻³)	110℃ 24 h	>1.80	1.93
耐压强度/MPa	110℃ 24 h	>5.0	11.8
	1500℃ 3 h	>2.0	3.4
加热永久线变化/%	1500℃ 3 h	-1.0~4.0	-2.3

另外,试验表明,MgO-CaO涂料可明显降低铝镇静钢的总氧含量;在MgO-CaO材料为容器的试验中,当CaO含量(w)为20%~25%时,钢中的硫、磷也明显降低。

综合考虑,控制水化因素、施工、吸收夹杂等因素,镁钙涂料中CaO含量(w)控制在20%左右较为适宜。

1.3.2 中间包挡渣堰

为了防止钢水卷渣而形成非金属夹杂,在优化设计或水模拟试验的基础上,在中间包里设置了挡渣堰^[12]。发展初期用高铝材料,现在已经较普遍使用镁质挡渣堰。为了提高挡渣堰本身吸附钢水夹杂物的作用,有人提出要发展镁钙质挡渣堰^[11]。

1.3.3 氧化钙钢水过滤器

借鉴欧洲经验,将氧化钙过滤器安装在镁质挡渣堰板上,随挡渣堰板一起放入中间包,经过烘烤后投入使用,寿命与挡渣堰板同步。国内某厂生产的过

滤器的典型理化指标如表11所示。这种过滤器在宝钢、武钢、首钢等使用,有报道称,与不用过滤器的相比,钢液中夹杂物降低10%^[13];另有报道称与无挡墙相比,装有含过滤器的挡墙效果显著,结果如表12所示。能取得如此显著效果,一方面是因为CaO吸附了钢中夹杂物,另一方面通过安装过滤器优化了钢水的流场,从而使夹杂物上浮^[14]。

表11 氧化钙钢水过滤器理化指标
Table 11 Chemical compositions and physical properties of CaO steel filter

项目	典型值	
化学组成(w)/%	CaO	92.2
	MgO	0.65
	SiO ₂	0.06
	Al ₂ O ₃	0.02
	Fe ₂ O ₃	<0.1
体积密度/(g·cm ⁻³)	2.41	
显气孔率/%	27	
常温耐压强度/MPa	18	
常温抗折强度/MPa	25	

表12 挡墙前后总氧量分析结果
Table 12 Total oxygen content analysis before/after steel filter

炉号	w/%		去除效率/%
	过滤前	过滤后	
2-4-24	0.027	0.019	29.60
3-3-532	0.026	0.020	23.08
3-3-534	0.025	0.020	20.00
1-7-709	0.019	0.015	21.05
2-8-517	0.024	0.015	37.50

1.3.4 气幕挡墙试验

有人通过中间包气幕挡墙的结构优化及其夹杂物去除的数学物理模拟,以及气幕挡墙中间包夹杂去除的水模型研究后认为,通过中间包吹氩形成气泡而使钢水夹杂上浮,有可能取消挡渣堰^[15-16]。图1示出了武钢炼钢总厂三分厂中间包使用弥散型气幕挡墙对中间包中不同粒径夹杂物去除率的影响。

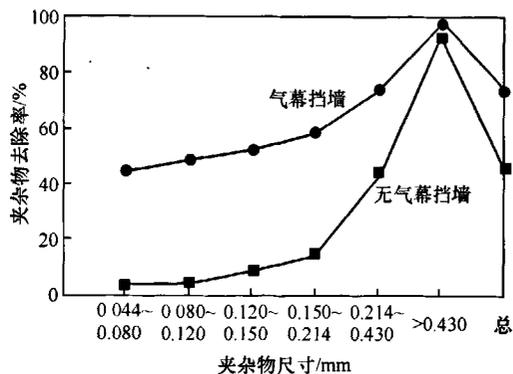


图1 气幕挡墙对中间包中不同粒径夹杂物去除率的影响
Fig. 1 Influence of bubble curtain on removal rate of inclusion with different sizes in tundish

1.3.5 中间包的保温

目前中间包永久层一般采用重质高铝浇注料,虽然能满足工艺要求,但保温效果不好,导致中间包钢壳表面温度偏高,钢水降温较快。如果能开发出保温效果好、满足工艺要求的永久层,同时注重覆盖剂和工作层的保温效果,则钢水在中间包内的温降会明显降低,有利于连铸生产稳定运行。有人认为,如果同时重视钢包和中间包保温问题,按照目前的技术能力,至少可使转炉出钢温度降低 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这样,对稳定钢厂生产运行,降低钢厂成本和减少非金属夹杂都有重要意义。

1.3.6 连铸“三大件”

随着连铸技术的发展,连铸“三大件”在不断进步,尤其是浸入式水口。人们重点围绕渣线高抗侵蚀,防止对钢水增碳以及 Al_2O_3 的结瘤堵塞等方面做了大量工作。其中,高抗侵蚀的渣线有 $\text{ZrO}_2\text{-C}$ 、 $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2\text{-C}$ 、 $\text{ZrB}_2\text{-C}$ 等材质。在防止结瘤和 Al_2O_3 堵塞方面,开发了 $\text{CaZrO}_3\text{-C}$ 、 BN-AlN-C 、 $\text{O}'\text{-SiAlON-ZrO}_2\text{-C}$ 以及无硅无碳材质等^[11,17-18]。日本人 Yochiro Kawabe 等率先开发的铝镁尖晶石和 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 材料用于内衬,从根本上减少了水口内壁网状氧化铝来源,是一种非常具有前景的防氧化铝堵塞的内衬材料,有利于洁净钢的冶炼^[17]。其材料的化学组成及物理性能如表13所示。

表13 铝碳本体材料和内衬材料的理化性能
Table 13 Chemical compositions and physical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ body and linings

项 目	铝碳本 体材料	尖晶石 内衬	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 内衬
化学组成 (w)/%	Al_2O_3	65.9	76.0
	SiO_2		63.0
	MgO		35.0
	C	28.6	23.0
	SiC	4.6	
显气孔率/%	16.5	23.5	20.1
体积密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	2.55	2.68	2.55
抗折强度/MPa	9.8	7.5	7.2
热导率/($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	35.0	4.3	2.7

将以尖晶石材质为内衬的浸入式水口用于 MnO 系非金属夹杂物多的高氧钢,与原来的 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 质浸入式水口相比,熔损量减少到 $1/10$, Al_2O_3 结瘤明显降低,浇铸后水口内壁工作面平滑。

以组成相近的 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 尖晶石材质为内衬的浸入式水口用于深冲钢、无取向硅钢和超低碳钢,连浇7炉,水口内衬无 Al_2O_3 沉积,明显降低了对钢液的污染。浇注超低碳钢时钢液平均增碳 $1.1\times 10^{-4}\%$,比用普通铝碳水口增碳 $3.8\times 10^{-4}\%$,明显下降^[19]。

目前,国内的连铸“三大件”生产企业至少在30家以上,其生产的大多数材料能满足连铸工艺的要求(质量稳定性有待进一步提高)。而薄板坯浸入式水口能满足要求的国内厂家很少,其主要原因有以下几个方面:①水口壁厚受到结晶器宽度的限制;②高拉速下,低黏度和低熔点的结晶器保护渣加速了水口侵蚀;③高纯材料的使用需要更好的防氧化保护;④复杂的水口设计,使其对热震更加敏感。

笔者认为,随着时间的推移,这些对我国的耐材技术人员来说,肯定不是所谓的技术障碍。

1.3.7 耐火材料形状设计

随着钢的洁净度要求的提高,耐火材料企业除了改善耐火材料材质外,还在不断优化形状设计,以提高钢水洁净度。如:以中间包防湍流冲击砖取代传统的平板冲击砖就能明显优化流场,有利于夹杂物上浮^[20-21]。有人认为,设计形状合理的防湍流冲击砖的使用,有可能达到取消挡渣堰的水平。再如,将浸入式水口的出口由向下方向改为水平方向也有利于夹杂物的上浮,减少铸坯中的非金属夹杂。

2 管理及其创新

耐火材料的材质选择和技术进步在洁净钢的炉外精炼和连铸等方面起着重要的作用,同时耐火材料的管理及创新工作也不能低估,因为它可能对钢材的质量、成本甚至钢厂的安全产生重要的影响。下面就从合理调整耐火材料方案,降低耐火材料消耗以及耐火材料管理模式等方面来讨论。

2.1 根据钢种要求,合理调整耐火材料方案

对于大多数钢厂,都是多品种组织生产,要兼顾钢的质量和成本就必须随时调整耐火材料方案。如:

(1)生产钙处理钢时,要选用 MgO-C 、 ZrO_2 等材质的滑板,尽可能不要选用 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-C}$ 等系列滑板。

(2)生产铝镇静钢时,选择“防堵”浸入式水口。

(3)生产超低碳钢时,选择无碳钢包工作衬、无碳中间包工作衬以及低碳滑板、无碳内衬的浸入式水口等。

(4)生产帘线钢等高级别线材时,选择镁钙钢包工作衬、镁钙质中间包涂料、 CaO 质钢水过滤器等。

这些表面上是一般性的技术问题,实际上是一个严肃的管理问题,要有合理制度,要不折不扣地落实。

2.2 尽可能降低耐火材料消耗

降低耐火材料消耗,不仅能降低钢的生产成本,

对于洁净钢来说,更重要的是降低了钢中非金属夹杂。以下几项措施都有可能达到降低消耗之目的:

(1)细化综合砌筑方案。目前,大多数钢包包壁的材质分为渣线、非渣线两部分,然而透气砖侧的条件较为苛刻。多数情况下,因为透气砖侧包壁首先达到下线终点,而其他部位仍有较厚的工作层。如果进一步细化综合砌筑,强化透气侧,则钢包寿命会大大提高,从而达到降低耐材消耗之目的。RH真空精炼装置等也存在类似的情况。

(2)提高砌筑质量,准确判断钢包下线终点。提高砌筑质量,防止砖缝处侵蚀过快,使包壁呈现“馒头状”,从而影响钢包安全性以及对钢包衬残余厚度的判断。另外,对钢包下线终点的判断,要从目前的肉眼观察、经验判断法尽快过渡到仪器检测数据分析与经验判断相结合的方法上来。这样既可以充分利用钢包衬,降低消耗,又可以达到确保钢包安全运行之目的。同时,充分利用钢包衬对洁净钢的冶炼是有利的,因为中后期的钢包衬表面形成的渣层、反应层不仅能降低耐火材料对钢水的污染,甚至可能在一定程度上起到净化钢液的作用。

(3)合理调度,加速周转。这对提高耐火材料寿命,降低耐火材料消耗是有利的,很多钢厂的实践都证明了这一点,如某钢厂在其他因素几乎不变的情况下,通过合理调度、加速周转,钢包寿命从120次提高到150次左右。

2.3 从耐材总包到全面耐材管理

耐材总包(Global contract)对耐火材料企业来说,是一种较先进的营销模式;对钢厂来说,是一种较先进的管理模式。它将设计、供货、施工、维护一体化,实现了由吨耐材结算向吨钢消耗结算模式的转变。这一模式在我国已经运行了10年左右,在很多钢厂进行了推广,并取得了良好效果。由于这种模式强调的是合同关系,加之有些缺乏设计和持续改进能力的企业参与恶性竞争,搅乱市场,使这一模式的先进性受到严峻的挑战。

近两年,国外出现了一种新的耐材管理模式——“全面耐材管理”(Total refractory)。这种模式是在耐材总包模式基础上发展起来的,它不是强调合同关系,而是强调管理。管理不仅要具备能力,如设计能力,持续改进的能力,超前的技术储备能力等,而且要有责任感和主人翁的意识,要使钢厂从管理耐火材料的锁事中解脱出来,它的意义不仅表现在钢厂降低并锁定耐火材料成本,更重要的是使耐火材料供应商向服务商和管理者转变,耐火材料企业与钢厂

具有共同的价值取向并实现了“无缝”连接。耐火材料企业可通过技术进步和管理创新,在确保钢厂安全运行的前提下,减少耐火材料浪费,降低耐火材料用量,这样客观上减少了耐火材料对钢水的污染,有利于洁净钢的生产,从而达到双赢之目的。武钢耐火在宁波钢铁和鄂城钢铁的项目就是全面耐材管理的典型案例。

3 结语

(1)洁净钢炉外精炼与连铸用耐火材料及其发展不仅与材质及技术进步有关,同时与相应的管理及其创新有关。

(2)就材质及其技术进步而言,洁净钢炉外精炼与连铸要选择高寿命、低污染,甚至具有一定净化钢液能力的耐火材料。

(3)管理及其创新对洁净钢冶炼的影响应当引起高度重视。

致谢:对武汉科技大学朱伯铨教授的认真审阅,表示诚恳的谢意!

参考文献

- [1] 蒋国昌. 纯净钢及二次精炼[M]. 上海:上海科学出版社,1996:30-34.
- [2] 陈荣荣,何平显,牟济宁,等. RH真空炉衬用无铬耐火材料抗渣性能的研究[J]. 耐火材料,2005,39(5):357-360.
- [3] 张兴业. 我国连铸中间包内衬耐火材料的发展及应用[J]. 山东冶金,2009,31(5):24-29.
- [4] 田守信,牟济宁. 连铸用耐火材料及其发展[J]. 中国冶金,2003,65(5):41-44.
- [5] 闫世宽,张作路. RH底部耐火材料损毁原因分析及改进[J]. 鞍钢技术,2009(6):48-50.
- [6] 郭伏安,刘开琪,彭达岩,等. 洁净钢连铸用长寿无碳耐火材料的发展动态[C]//2005年中国钢铁年会论文集:第3卷,北京,中国,2005:577-580.
- [7] 李楠. 耐火材料与钢铁的反应及对钢质量的影响[M]. 北京:冶金工业出版社,2005:40-42.
- [8] 阮国智,李楠. MgO-C耐火材料对钢水的增碳作用及机理的研究进展[J]. 材料导报,2003,17(7):26-28.
- [9] 程贺明,李红霞,杨彬,等. 碳复合材料对熔钢增碳作用的研究进展[J]. 耐火材料,2007,41(3):244-248.
- [10] 熊珍琪,尹振江. 钢包耐火材料对钢中夹杂物的影响[J]. 矿冶,2009,18(4):47-49,82.
- [11] 战东平,姜周华,王文忠. 耐火材料对钢水洁净度的影响[J]. 耐火材料,2003,37(4):230-232.
- [12] 国际钢铁协会. 洁净钢:洁净钢生产工艺技术[M]. 中国金属学会,译. 北京:冶金工业出版社,2006:50-52.

(下转95页)

- 2001,21(16):2879-2885.
- [9] 卫晓辉,孙加林,孙庚辰.莫来石的低温合成[J].耐火材料,2008,42(3):229-231.
- [10] 熊继全,代洁,彭云涛,等.硅溶胶结合刚玉-莫来石浇注料的研制及应用[J].耐火材料,2011,45(2):110-111.
- [11] 曾伟,王玺堂,张保国.添加剂对硅溶胶结合刚玉浇注料流动性和常温物理性能的影响[J].武汉科技大学学报,2008,31(6):570-573.
- [12] Dos A R, Ismael M R, De O I, et al. Workability and setting parameters evaluation of colloidal silica bonded refractory suspensions[J]. Ceramics International, 2008, 34(1):165-171.
- [13] Risbud S H, Pask J A. SiO₂-Al₂O₃ metastable phase equilibrium diagram without mullite [J]. Journal of Materials Science, 1978, 13(11):2449-2454.
- [14] 陈桂华,杨辉,王家邦,等.莫来石结合莫来石-刚玉质高温推板的研制[J].硅酸盐学报,2002,30(S1):105-108.

Properties of silica sol bonded corundum and corundum-mullite castables/Li Zhigang, Zhang Zhenyan, Ren Gangwei//Naihuo Cailiao. -2011,46(2):90

Abstract: Silica sol bonded corundum castables, microsilica bonded corundum castables, and silica sol bonded corundum-mullite castables were prepared using white fused alumina, fused mullite, ultra-fine alumina, microsilica and silica sol as main starting materials. Conventional properties, cold and hot modulus of rupture and elastic modulus of the castables after firing at different temperatures were researched. Some specimens were analyzed by DTA, XRD and SEM. The results show that: (1) compared with microsilica, silica sol can significantly improve the modulus of rupture of the castables below 800 °C, and the bonding mechanisms of silica sol and microsilica and their variation tendencies with temperature are basically the same; (2) at high temperatures most of the sodium oxide from the decomposition of β-Al₂O₃ in fused alumina aggregate enters into the liquid to increase the sodium oxide content in the liquid which is disadvantageous for the formation of *in-situ* mullite and hot modulus of rupture; (3) elastic modulus of the silica sol bonded corundum castables is decreased by adding mullite, and the mullite network forms due to the mass transfer of liquid phase at high temperatures and reinforces the structure of the castables.

Key words: castables; silica sol; corundum; corundum-mullite; mullite

First author's address: State Key Laboratory of Advanced Refractories, Sinosteel Luoyang Institute of Refractories Research Co., Ltd., Luoyang 471039, Henan, China

(上接 86 页)

- [13] 戴文斌,于景坤.纯净钢冶炼用耐火材料[J].材料与冶金学报,2003,2(1):3-9.
- [14] 张兴业,李宗英.我国钢包用耐火材料的品种及应用[J].山东冶金,2007,29(2):11-15.
- [15] 林育炼.洁净钢生产技术的发展与耐火材料的相互关系[J].耐火材料,2010,44(5):377-382.
- [16] 黄奥,汪厚植,顾华志,等.气幕挡墙中间包夹杂去除的水模型研究[J].特殊钢,2009,30(1):7-9.
- [17] 张美杰.中间包气幕挡墙的结构优化及其夹杂物去除的数学物理模拟研究[D].武汉:武汉科技大学,2006.
- [18] 程智.炉外精炼用无铬材料的研究[D].天津:天津大学,2008.
- [19] 元显玲.洁净钢新技术与高品质钢生产[J].山东冶金,2009,31(1):5-8.
- [20] 刘浏.RH真空精炼工艺与装备技术的发展[J].钢铁,2006(8):10-12.
- [21] 何晓俊,王礼玮,赵玲娣,等.一种低碳镁碳砖.制作方法及其应用:中国,200810205107[P].2009-07-08.

Status and development of refractories for clean steel secondary refining and continuous casting/Hong Xueqin, Li Juzhong, Yi Weidong, Song Zeqi, Lei Zhongxing, Yi Xianxun//Naihuo Cailiao. -2012,46(2):81

Abstract: The current status and development trend of the refractories for clean steel secondary refining and continuous casting were briefly reviewed. The selection and technical progress of refractories for ladle refining system, RH refining system and tundish system were mainly introduced. The role of management and innovation on refractories in clean steel production was emphasized.

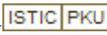
Key words: clean steel; secondary refining; continuous casting; management and innovation; refractories

First author's address: Refractories Co., Ltd., Wuhan Iron and Steel (Group) Corporation, Wuhan 430080, Hubei, China

洁净钢炉外精炼与连铸用耐火材料及其发展

作者: [洪学勤](#), [李具中](#), [易卫东](#), [宋泽敏](#), [雷中兴](#), [易献勋](#), [Hong Xueqin](#), [Li Juzhong](#), [Yi Weidong](#), [Song Zeqi](#), [Lei Zhongxing](#), [Yi Xianxun](#)

作者单位: [武汉钢铁集团耐火材料有限责任公司](#) 湖北武汉430080

刊名: [耐火材料](#) 

英文刊名: [Refractories](#)

年, 卷(期): 2012, 46(2)

本文读者也读过(2条)

1. [何天雄](#). [He Tianxiong](#) 我国陶瓷工业用耐火材料现状与发展[期刊论文]-[耐火材料](#)2012, 46(2)
2. [郑吉红](#). [洪学勤](#). [雷中兴](#). [田先明](#). [王志强](#). [姚亚双](#) ρ -Al₂O₃与纯铝酸钙水泥结合的刚玉质浇注料性能的比较[会议论文]-2011

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhc1201202001.aspx