

纯净钢冶炼用耐火材料

戴文斌, 于景坤

(东北大学 材料与冶金学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 发展纯净钢冶炼技术的一个重要条件就是提高耐火材料的质量。通过耐火材料对纯净钢冶炼影响的讨论, 得出发展碱性耐火材料可以脱硫和脱氧、无碳和低碳耐火材料可以抑制增碳、用表面处理的方法可以改善镁钙系耐火材料的抗水化性和合理使用耐火材料可以有效地减少钢中的氢含量的结论。

关键词: 纯净钢; 耐火材料; 脱氧; 脱硫; 脱碳; 抗水化

中图分类号: TF12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-6620(2003)01-0003-07

Refractory for clean steel making

Dai Wen-bin, Yu Jing-kun

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang, 110004 China)

Abstract: An important prerequisite to improve the metallurgical technology of clean steel is to make progress in the properties of refractories. Based on the discussion of the effect of the refractories on clean steel making, it is concluded that alkali refractories can reduce oxygen and sulfur contents, carbonless or low-carbon refractories can suppress carbon pick-up of steel; The antihydration property of magnesia calcium system can be improved by surface treatment. The hydrogen content of steel can be effectively reduced by using refractories properly.

Key words: clean steel, refractory, deoxidation, desulphurization, decarburization, antihydration

提高钢铁材料的综合性能, 延长其使用寿命, 是今后钢铁材料发展的主要方向之一; 提高纯净钢冶炼技术是达到此目标的重要途径; 合理选择和正确使用优质的耐火材料是冶炼纯净钢的重要保证。本文就耐火材料对纯净钢冶炼过程的影响讨论如下。

1 耐火材料对纯净钢冶炼的影响

1.1 耐火材料对钢中氧含量的影响

在冶炼温度、脱氧剂种类以及脱氧剂加入量等冶炼工艺条件一定的情况下, 耐火材料是影响钢中氧含量的重要因素之一。但是, 在实际的冶炼过程中, 耐火材料是否对钢液中氧含量产生影响, 即耐火材料是否向钢液中传氧主要取决于钢液的脱氧程度以及所使用的耐火材料的种类和组

成^[1~4]。

图1示出了脱氧剂B的活度 a_B 和钢液中氧活度的关系^[5]。通过该图, 可以求出使用不同脱氧剂和不同脱氧剂加入量时的钢液中氧活度以及在脱氧剂和钢液中氧达到反应平衡状态时的氧分压。例如, 在使用Al脱氧, 当钢液中Al活度为0.04时, 钢液中的氧活度约 2×10^{-4} 。此时的氧分压为 $10^{-14} p^\ominus$ 。

在纯净钢冶炼过程中, 钢中氧含量一般都需要控制在较低的水平上, 如何选择耐火材料才能满足纯净钢的冶炼要求呢? 根据氧化物的氧势图^[6]可以选择在不同冶炼工艺条件下, 即在不同钢液氧含量和不同冶炼温度下可以使用的耐火材料。例如, 如果与钢液平衡的氧分压通过脱氧控制在 $10^{-15} p^\ominus$, 由图可知, 在1600℃的冶炼条件下, 理论上可以作为纯净钢冶炼用耐火材料的有

收稿日期: 2002-12-05.

基金项目: 国家自然科学基金和宝钢联合基金资助项目 (No. 50274021).

作者简介: 戴文斌 (1979—), 男, 硕士研究生.

Al_2O_3 , MgO 和 CaO , 而 Cr_2O_3 , MnO 和 SiO_2 则不能使用, 即这些氧化物作为耐火材料原料使用时将向钢液中传氧, 对钢中的氧含量产生影响。

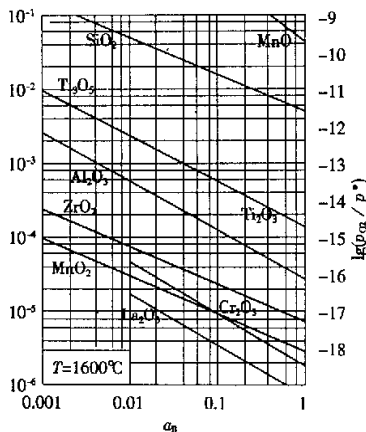


图1 脱氧剂种类和脱氧剂活度对钢液中氧活度的影响

Fig. 1 Influences of deoxidation agents on oxygen activity in molten steel

图2示出了耐火材料种类对深脱氧钢氧含量的影响^[7,8]。图中的纵坐标为钢液中的实测氧含量, 横坐标为耐火材料的氧势指数 (IOP 相对密度)。其计算方法如式 (1) 所示。

$$\text{IOP} = \left[\sum (M_i a_i / \rho_i)^{2/3} \Delta G_i^\circ \right] / \sum (M_i a_i / \rho_i) \quad (1)$$

这里, ΔG_i° 为耐火材料中 i 组分的生成自由能, M_i 为 i 组分的相对分子质量, ρ_i 为 i 组分的密度, a_i 为 i 组分在耐火材料中的摩尔分数。

由图可见, 随着耐火材料氧势指数的增大, 钢液中的氧含量明显增加。

一般来说, 随着耐火材料由碱性→中性→酸性的变化顺序, 耐火材料的氧势指数增大。图3示出了分别使用硅砖和白云石砖所砌筑的钢包时的钢液中氧活度的变化^[9]。使用碱性包衬时, 钢中的氧活度很低, 氧活度在钢包内的分布均匀。而在使用酸性包衬时, 钢中的氧活度升高, 而且氧活度在钢包内的分布极不均匀, 越靠近包壁氧活度越高, 说明钢液中的氧来源于耐火材料中的 SiO_2 的分解。

另外, 耐火材料的构成组分对钢液中氧含量也具有较大影响。图4示出了使用不同化学组成耐火材料时钢液中溶解 Al 的质量分数随时间的

降低值^[10]。钢液中溶解 Al 的降低值越大, 说明耐火材料向钢液中的传氧量越多。可见, 由于实验室合成的耐火材料试样 1~3 中的 Fe_2O_3 , Cr_2O_3 以及 SiO_2 的含量较低, 耐火材料的氧势指数较小, 由耐火材料向钢中的传氧量较少, 钢液中的溶解 Al 可以控制在较低的水平上。

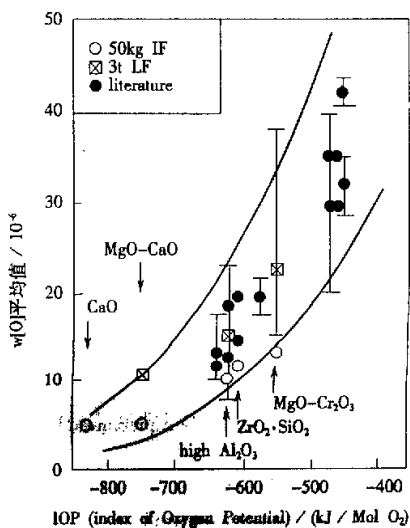


图2 耐火材料种类对钢中氧含量的影响

Fig. 2 Effects of refractories on oxygen content in molten steel

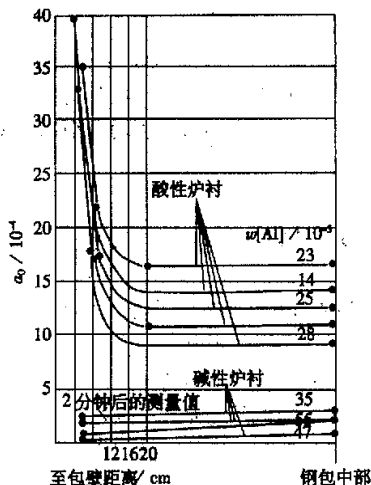
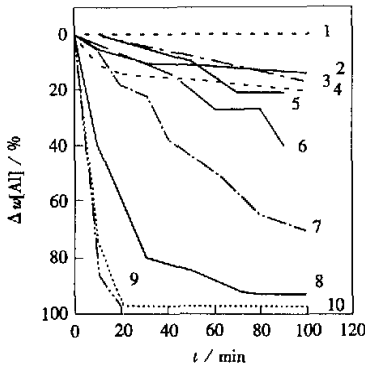


图3 钢包包衬材料对钢中氧活度和溶解 Al 质量分数的影响

Fig. 3 Effect of ladle lining materials on oxygen activity and dissolved aluminum mass fraction in molten steel



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CaO	99.9		2.5	2.5		53.2				
MgO		0.1	31.0	94.0	84.5	38.2			63.2	
Al ₂ O ₃		99.5	65.2		3.3	0.3	86.7	81.0	5.1	6.7
ZrO ₂										49.5
SiO ₂	0.4	0.2	0.8	1.8	3.7	1.8	8.8	12.0	2.3	38.6
Cr ₂ O ₃			1.7		1.2					17.3
Fe ₂ O ₃		0.3	0.5	0.5	0.3	0.4	1.4	1.5	9.3	1.5
TiO ₂						2.4	2.4	3.5		3.5
C					8.0	3.9	3.0			

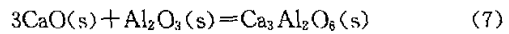
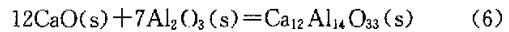
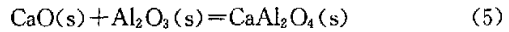
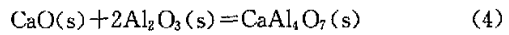
图 4 耐火材料的化学组成 (质量分数/%) 对钢液中溶解 Al 质量分数的影响
Fig. 4 Influence of chemical composition of refractories on dissolved aluminum mass fraction in molten steel

1.2 耐火材料对钢中氧化物夹杂的影响

在纯净钢冶炼过程中，常使用 Al 进行深脱氧。因脱氧产物 Al₂O₃ 熔点较高，且不易聚合，很难通过上浮去除^[11]，为了减少钢中的 Al₂O₃ 夹杂物含量，通常采用将夹杂物改质的办法。即通过耐火材料或其中的某些组分与 Al₂O₃ 夹杂物反应生成复合化合物，达到除去 Al₂O₃ 的目的。因此，耐火材料或其中的某些组分与 Al₂O₃ 夹杂物的反应必须满足下列要求：

- (1) 降低 Al₂O₃ 夹杂物的熔点；
- (2) 改变 Al₂O₃ 夹杂物的形状。

由前面对氧势图的分析已知，在纯净钢冶炼的工艺条件下，能够满足其冶炼要求的耐火材料只有 Al₂O₃，MgO 和 CaO。其中的 MgO 和 CaO 与 Al₂O₃ 反应生成复合化合物的反应如下^[12]。



在上述的复合化合物当中，MgAl₂O₄ 的熔点为 2105℃ 高于钢液温度。即耐火材料中的 MgO 是不能有效去除钢液中 Al₂O₃ 夹杂的。而在 CaO-Al₂O₃ 系复合化合物当中，Ca₁₂Al₁₄O₃₃ 的熔点较低，约为 1400℃ 左右 (见图 5)^[13]。因此，使用 CaO 系耐火材料是降低钢中 Al₂O₃ 夹杂的重要措施之一。

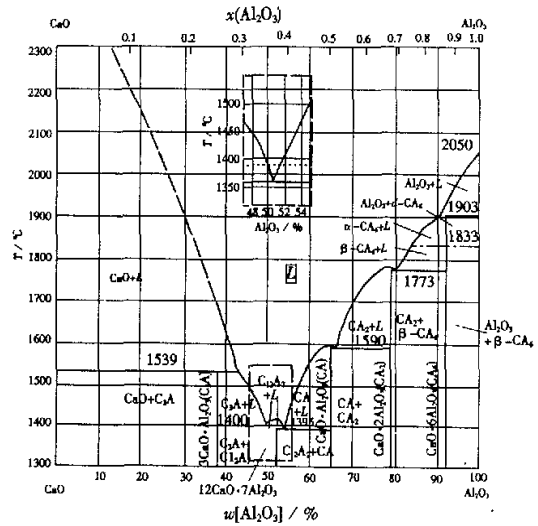
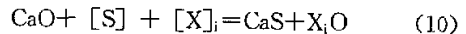
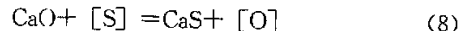


图 5 CaO-Al₂O₃ 系相图
Fig. 5 The phase diagram of CaO-Al₂O₃

图 6 示出了使用 CaO 系和非 CaO 系耐火材料时耐火材料吸收 Al₂O₃ 夹杂含量的变化。可见，使用 CaO 系耐火材料时，耐火材料吸收 Al₂O₃ 夹杂含量明显增加^[14]。

1.3 耐火材料对钢中硫含量的影响

钢的脱硫一般是通过渣-金界面反应进行的，其反应式为^[15]：



式中的 [X]_i 为脱氧元素。

可见，对钢液脱硫有利的热力学条件为：

- (1) 渣中 CaO 含量高；
- (2) 钢液中 [O] 含量低。

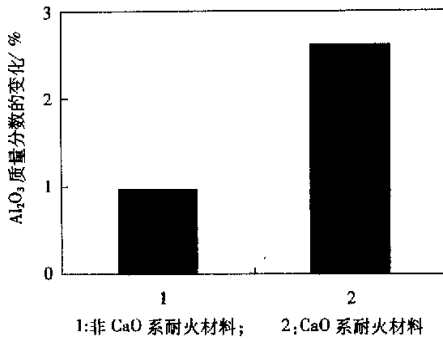


图6 使用CaO系和非CaO系耐火材料时耐火材料中的Al₂O₃含量的变化

Fig. 6 Aluminum contents in CaO containing refractory and non-CaO containing refractory

因此,对于耐火材料的要求是:

- (1) 低氧势、防止耐火材料向钢液中传氧;
- (2) 采用抗熔损的碱性耐火材料。

图7示出了喷吹SiCa粉进行钢包脱硫时包衬耐火材料对钢水脱硫率的影响。可见,包衬耐火材料的材质对于钢水脱硫有很大影响。在相同的冶炼工艺条件下,使用硅砖包衬时的脱硫率为50%~60%,使用粘土砖包衬时为60%~70%,而使用碱性的白云石砖包衬时则可以提高到80%。另外,包衬耐火材料的组成对于钢水回硫也会产生影响。图8示出了将钢液中硫的质量分数脱到 10^{-6} 之后,再将钢水和脱硫渣置于不同组成的耐火材料坩埚时钢液中硫含量的变化^[10]。可见,使用氧势较低的耐火材料时,钢水几乎不回硫并且硫含量可以保持在较低的水平上。但使用Fe₂O₃, Cr₂O₃以及SiO₂含量较高的耐火材料时,由于耐火材料向钢液中传氧而使钢水的氧势升高,渣-金间的硫的分配比降低,结果使钢水产生回硫。

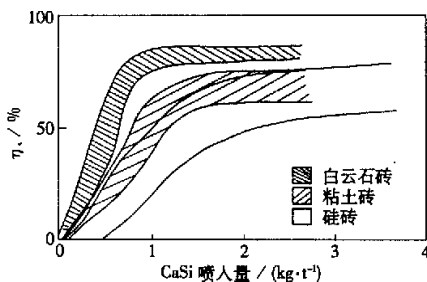
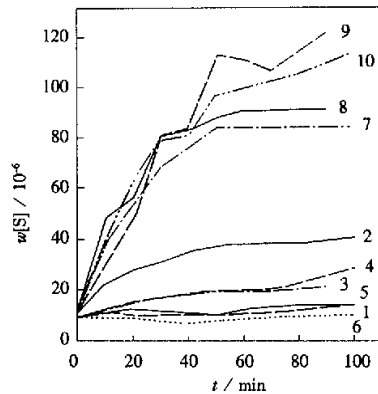


图7 喷吹SiCa粉进行钢包脱硫时包衬耐火材料材质对于钢水脱硫率的影响

Fig. 7 Influence of lining refractory on desulfurization of steel with SiCa powder injection



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CaO	99.9		2.5	2.5		53.2				
MgO		0.1	31.0	94.0	84.5	38.2			63.2	
Al ₂ O ₃		99.5	65.2			3.3	0.3	86.7	81.0	5.1
ZrO ₂										49.5
SiO ₂	0.4	0.2	0.8	1.8	3.7	1.8	8.8	12.0	2.3	38.6
Cr ₂ O ₃			1.7		1.2				17.3	
Fe ₂ O ₃		0.3	0.5	0.5	0.3	0.4	1.4	1.5	9.3	1.5
TiO ₂						2.4	2.4	3.5		3.5
C					8.0	3.9	3.0			

实验室原料

工业原料

图8 耐火材料组成对钢中硫含量的影响

Fig. 8 Influence of refractories compositions on sulphur content in molten steel

1.4 耐火材料对钢中氢含量的影响

耐火材料对钢中氢含量的影响主要来源于两个方面。一是耐火材料中的水分,二是耐火材料中的有机结合剂。因此,充分干燥和烘烤耐火材料,特别对连铸用耐火材料来说是降低钢中氢含量的重要手段。图9示出了浇铸过程中中间包和钢包耐火材料对钢水中氢含量的影响^[16]。由图可见,中间包钢水中的氢含量在第1,第2和第4包钢水浇铸时的氢含量增加较多,而在第3包和第5包时增加较少。第1包钢水在进入中间包之前虽然经过了真空处理,而且水口也进行了烘烤,但在中间包浇铸时钢中氢含量仍然较高,说明在第1包钢水浇铸过程中钢水中的氢主要是来源于中间包耐火材料。在浇铸第2和第4包钢水时,中间包耐火材料的水分已经基本脱除,对钢中氢含量的影响很小,但由于水口没有进行烘烤,中间包浇铸时的钢中氢含量仍然有很大程度的增加。而在浇铸第3包和第5包钢水时,由于

水口已经进行了充分的烘烤，加之中间包耐火材料中的水分已经脱除，因此钢中氢含量得到了充分的控制。

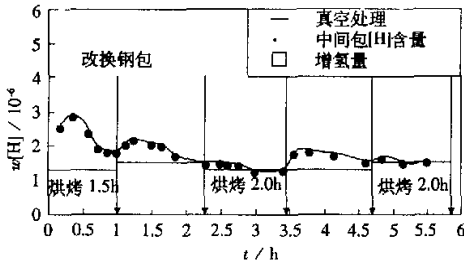


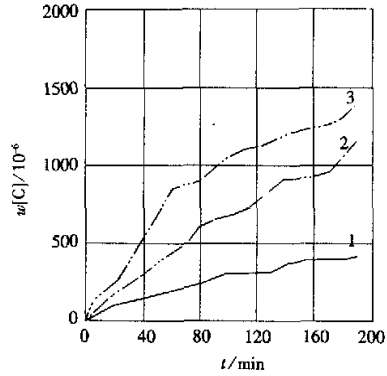
图 9 浇注过程中中间包和钢包耐火材料对钢水中氢含量的影响

Fig. 9 Effects of tundish and ladle linings on hydrogen content in steel during casting

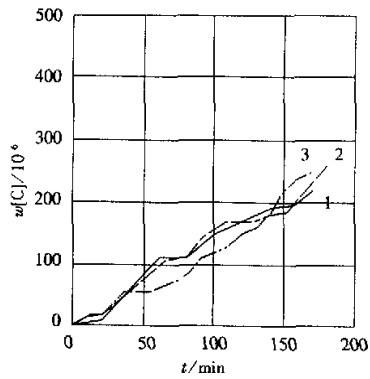
1.5 耐火材料对钢中碳含量的影响

使用含碳耐火材料冶炼低碳或超低碳钢时，耐火材料对钢中的碳含量将产生影响。但是，通过对耐火材料表层的氧化脱碳处理以及避开使用新筑炉窑冶炼低碳或超低碳钢，可以减少耐火材料对钢中碳含量的影响。图 10 (a) 和图 10 (b) 分别示出将表 1 所示的耐火材料经过 1200℃ 真空中预热 10min 和在 1000℃ 空气中预热 120min 的预处理后，然后同钢液接触时对钢中碳含量的影响^[10]。

由图可见，使用真空条件下处理的耐火材料，钢液的增碳量随着耐火材料碳含量的增加而增加。而使用空气下氧化处理的耐火材料由于表层的脱碳而使钢液的增碳得到了明显的抑制。图 11 示出了含碳耐火材料同超低碳钢接触后的钢液增碳量同接触时间的关系^[16]。可见，在耐火材料同钢液第一次接触时，钢液的增碳量较大，但随着同耐火材料接触时间的增加钢液的增碳速度下降。而在第二次接触时，钢液的增碳量明显下降。根据文献 [17] [18] 的研究结果，在使用碳的质量分数小于 20% 的 MgO-C 系耐火材料时，在与钢液接触的耐火材料表面上均会形成一层 MgO 致密层。图 11 的实验结果可以认为是由于耐火材料在与钢液的接触过程中形成了氧化物致密层，而抑制了钢液的增碳。



(a)



(b)

图 10 不同条件下处理后镁质耐火材料对钢液增碳量的影响

Fig. 10 Carbon pick up of steel with magnesia refractories under different heating condition

表 1 试样的化学成分 (质量分数/%)

Table1 Chemical composition of the refractory samples (mass fraction/%)

成分	试样 1	试样 2	试样 3
CaO	1.83	1.87	1.75
MgO	94.26	94.08	96.63
Al ₂ O ₃	2.55	2.31	0.52
SiO ₂	1.08	1.27	0.82
Fe ₂ O ₃	0.25	0.42	0.22
C _{res}	4.95	9.60	13.75

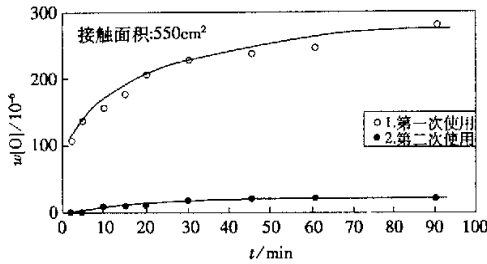


图 11 含碳耐火材料和超低碳钢接触时的钢液增碳量同接触时间的变化关系

Fig. 11 Relation between carbon pick up of steel and contact time with refractories

2 纯净钢冶炼用耐火材料的未来发展趋势

近年来,随着纯净钢和超纯净钢冶炼技术的发展,以CaO系为主的纯净钢冶炼用耐火材料得到了快速的发展。但纯净钢和超纯净钢冶炼技术是一项长远的研究课题,为了满足纯净钢和超纯净钢冶炼技术进一步发展的需要,与其相关的耐火材料研究也必须加强。未来的纯净钢和超纯净钢冶炼用耐火材料的研究方向主要集中在以下几个方面:

- (1) CaO系耐火材料;
- (2) 无碳和超低碳耐火材料;
- (3) 无氧化硅和低氧化硅耐火材料。

上述耐火材料主要应用于炉外精炼和连铸。即:钢包,中间包,连铸水口以及滑板等。根据上述耐火材料的应用特点,其研究重点应分别为:

对于CaO系耐火材料,主要研究耐火材料中的CaO含量对于纯净钢冶炼过程和钢中有害杂质元素脱除的影响,以及CaO系耐火材料自身的防水化问题。而CaO系耐火材料能否得到广泛应用,最关键、最根本的问题还是在于其自身水化问题的解决。目前,采用的防水化方法主要有以下几种:

(1) 含浸处理:对于烧成后的CaO系耐火材料采用沥青或石蜡进行含浸处理,以确保耐火材料在运输和储存期间不水化。这种方法对于CaO质量分数小于40%,特别是对于CaO质量分数小于30%的耐火材料是非常有效的,基本

上可以满足实际生产需要。但是,上述方法一般只适用于定形耐火材料。

(2) 表面涂层:采用金属有机化合物在CaO系耐火材料的表面上涂层,然后通过加热分解使金属有机化合物形成氧化物薄膜并均匀地粘结在耐火材料的表面。这种方法对于处理颗粒状和粉状耐火材料更为有效,因此非常适合于CaO系不定形耐火材料的生产。图12示出了使用钛的有机化合物对CaO进行表面处理时化合物的加入量(按TiO₂进行计算)对于CaO水化速度的影响^[19]。可见,通过表面涂层处理,可以大幅度地提高CaO的抗水化能力。

对于容易引起增碳和增硅的纯净钢和超纯净钢冶炼,一般多采用复合式耐火材料。即,在与钢液接触的部分采用无碳和无硅的耐火材料,而在其外部采用抗热震和抗渣侵性能优良的含碳和含硅耐火材料。另外,在冶炼低碳钢或超低碳钢时,除了可以采用耐火材料表面脱碳处理方法之外,还可以直接使用低碳和超低碳耐火材料。但是,必须选用特殊的含碳材料或对含碳材料进行预处理。

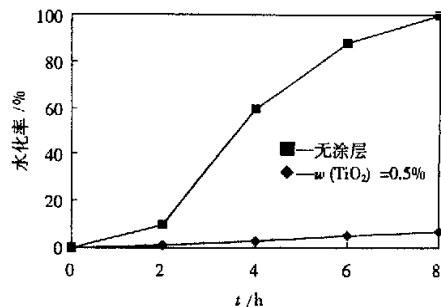


图 12 TiO₂ 的加入量对水化率的影响

Fig. 12 Effect of the added quantity of TiO₂ on the hydration ratio

3 结语

耐火材料的材质和性能是影响纯净钢冶炼过程和纯净钢质量与性能的重要因素。使用碱性耐火材料是降低钢中全氧含量和硫量的重要手段;开发无碳、低碳耐火材料或通过耐火材料表面适当脱碳的方法可以有效地防止或抑制钢水增碳;通过合理使用耐火材料,可以有效减少钢水中氢含量;通过适当的表面处理,可以控制镁钙

系耐火材料在制造、运输和使用过程中的水化速度。

参考文献:

- [1] OETERS F. Metallurgieder stahlerzeugung [R]. Verlag Stahleisen; Springer Verlag, 1989.
- [2] GATELLIER C, OLETTE M. Kinetics of high temperature [J]. Met. 1979, 76: 377~386.
- [3] TURKDOGAN E. Phys. Chem. of surfaces [J]. Arch Eisenhüttenwes, 1983, 54: 1~10.
- [4] NADIF M, GATELLIER C. Review of metallurgie [J]. Met, 1986, 83: 377~394.
- [5] JANKE D. Jahrbuch Stahl 1988 [M]. Düsseldorf: Verlag Stahleisen, 1989: 301.
- [6] 黄希祐. 钢铁冶金原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997. 9.
- [7] YUASA G, SUGIURA S, FUJINE M, *et al.* Oxygen content in refractories [J]. Transactions ISIJ, 1983, 23: 289.
- [8] KISHIDA T, KITAGUWA S, SUGIURA S. Proc. 7th Japan-Germany Seminar [C]. Düsseldorf: Vorein Deutscher Eisenhüttenleute, 1989. 169~180.
- [9] SCHÄFER K. Aluminum injection in steel [J]. Stahl and Eisen, 1979, 99(8): 412~420.
- [10] BANNENBERG N. 纯净钢生产のための耐火物への要求 [J]. 耐火物, 1996, 48(5): 234~251.
- [11] 黄希祐. 钢铁冶金原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997. 212.
- [12] 张圣弼, 李道子编. 相图-原理、计算及在冶金中的应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986. 245.
- [13] 张圣弼, 李道子编. 相图-原理、计算及在冶金中的应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986. 97.
- [14] 于景坤. 耐消化性と介在物吸着性に優れた塩基性耐火材料とその製造方法 [P]. 日本: 000002118, 1992-08-10.
- [15] 黄希祐. 钢铁冶金原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997. 209.
- [16] SCHEEL R, KNOCHÉ C, KUTSCHMANN W, *et al.* ECSC Concluding Report [R]. Luxemborg, 1993.
- [17] 于景坤, 刘承军. 镁碳耐火材料表面 MgO 致密层的形成机理 [J]. 耐火材料, 2002, 36(3): 125~127.
- [18] 于景坤, 刘承军. 影响镁碳耐火材料表面 MgO 致密层形成的因素 [J]. 耐火材料, 2002, 36(4): 190~193.
- [19] 上野覚, 于景坤. チタニアをコーティングしたマグネシア及びカルシアの焼結性および耐水特性 [J]. 耐火物, 2000(2): 54~64.

纯净钢冶炼用耐火材料

作者: [戴文斌](#), [于景坤](#)
作者单位: [东北大学, 材料与冶金学院, 辽宁, 沈阳, 110004](#)
刊名: [材料与冶金学报](#)
英文刊名: [Journal of Materials and Metallurgy](#)
年, 卷(期): 2003, 2(1)
被引用次数: 10次

参考文献(19条)

1. Oeters F [Metallurgieder stahlerzeugung](#) 1989
2. Gatellier C; OLETTE M [Kinetics of high temperature](#) 1979
3. Turkdogan E [Phys. Chem. of surfaces](#) 1983
4. Nadif M; GATELLIER C [Review of metallurgie](#) 1985
5. Janke D [Jahrbuch Stahl 1988](#) 1989
6. 黄希祜 [钢铁冶金原理](#) 1997
7. Yuasa G; SUGIURA S. FUJINE M [Oxygen content in refractories](#) 1983
8. KISHIDA T; KITAGUWA S; SUGIURA S [Düsseldorf: Vorein Deutscher Eisenhüttenleute](#) 1989
9. Schafer K [Aluminum injection in steel](#) 1979(08)
10. Bannenber N [清浄钢生産のための耐火物への要求](#) 1996(05)
11. 黄希祜 [钢铁冶金原理](#) 1997
12. 张圣弼; 李道子 [相图-原理、计算及在冶金中的应用](#) 1986
13. 张圣弼; 李道子 [相图-原理、计算及在冶金中的应用](#) 1986
14. 于景坤 [耐消化性と介在物吸着性にれた塩基性耐火材料とその投造方法](#) 1992
15. 黄希祜 [钢铁冶金原理](#) 1997
16. Scheel R; KNOCH C; KUTSCHMANN W [ECSC Concluding Report](#) 1993
17. 于景坤; 刘承军 [镁碳耐火材料表面MgO致密层的形成机理](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2002(03)
18. 于景坤; 刘承军 [影响镁碳耐火材料表面MgO致密层形成的因素](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2002(04)
19. 上野寛; 于景坤 [チタニアをコーティングしたマグネツア及びカシアの焼結性および耐水と特性](#) 2000(02)

本文读者也读过(10条)

1. 张爱民. 袁松涛 [纯净钢的开发与生产](#)[期刊论文]-[安徽工业大学学报\(自然科学版\)](#)2003, 20(z1)
2. 张爱民. 袁松涛 [纯净钢的开发与生产](#)[会议论文]-2003
3. 刘少芹. 孙宽 [唐钢第一冷轧厂纯净钢生产工艺探讨](#)[会议论文]-2009
4. 王仁贵. 原丽君. 张炯明 [高碳纯净钢生产工艺的开发与应用](#)[会议论文]-2006
5. MATSUMIYA Tooru [纯净钢的生产工艺和应用](#)[会议论文]-2006
6. 高少平 [电炉冶炼纯净钢技术](#)[期刊论文]-[上海金属](#)2001, 23(4)
7. 李敏. 钱先锋 [纯净钢及其有害杂质元素去除的研究进展](#)[期刊论文]-[科技资讯](#)2010(15)
8. 蔡开科. 张立峰. 刘中柱 [纯净钢生产技术及现状](#)[期刊论文]-[河南冶金](#)2003, 11(4)
9. С. Д. З И Н Ч Е Н К О [纯净钢生产工艺的研发](#)[期刊论文]-[鞍钢技术](#)2004(3)
10. 朱光东. ZHU Guang-dong [耐火材料对钢质量的影响](#)[期刊论文]-[天津职业院校联合学报](#)2006, 8(5)

引证文献(10条)

1. 杨红, 孙加林, 谭莹. 钢包用低碳MgO-C砖开发与应用[期刊论文]-冶金能源 2009(3)
2. 辛国强, 苏小利, 梁祥远. 转炉冶炼低碳铝镇静钢时碳的控制[期刊论文]-鞍钢技术 2008(1)
3. 桑绍柏, 李亚伟, 李楠. 21R(AlN多型体)结合镁质耐火材料的制备及性能研究[期刊论文]-耐火材料 2006(4)
4. 桑绍柏, 李亚伟, 杨纯艳, 金胜利, 李楠. 原位反应制备Mg- α -Sialon结合镁质耐火材料研究[期刊论文]-武汉科技大学学报(自然科学版) 2005(4)
5. 阮国智, 李楠, 吴新杰. Al₂O₃-C耐火材料对超低碳钢的增碳作用[期刊论文]-耐火材料 2004(6)
6. 熊玲琪, 尹振江. 钢包耐火材料对钢中夹杂物的影响[期刊论文]-矿冶 2009(4)
7. 梁海明. 转炉冶炼特殊钢工艺简述[期刊论文]-科技情报开发与经济 2007(4)
8. 徐海芳, 王爱东, 吴振刚. 连铸用耐火材料对洁净钢的影响及其发展[期刊论文]-连铸 2007(2)
9. 于景坤, 朱强. 耐火材料向钢液中的传氧机理及影响因素[期刊论文]-东北大学学报(自然科学版) 2005(5)
10. 朱强. 耐火材料与脱氧合金和脱氧产物间反应的研究[学位论文]硕士 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_clyyjxb200301001.aspx