

转炉尘泥炼钢造渣冷却剂试制及应用研究

任中兴 许晓东 唐志勇

阎占辉

(首钢技术研究院)

(首钢第二炼钢厂)

摘 要 利用转炉炼钢尘泥较低的塑性,研究了改善转炉炼钢尘泥的塑性的方法,改制了成型设备,建设了轮窑,研究了轮窑烧结工艺参数。在首钢第二炼钢厂 210 t 转炉上进行了转炉尘泥造渣冷却剂替代进口铁矿石的造渣冶炼试验和生产应用。结果说明使用该工艺生产的转炉尘泥造渣冷却剂全铁、氧化钙含量较高,用于炼钢生产可以替代铁矿石,并且可以促进化渣,降低炼钢石灰及钢铁料消耗,降低炼钢成本,经济效益显著,是一种新型的炼钢造渣冷却剂。该项目工艺可行,社会、经济效益显著。

关键词 转炉尘泥 轮窑 烧结 造渣冶炼

1 概述

首钢炼钢转炉每炼 1 t 钢产出 20~25 kg 尘泥,其含铁、钙较高,是很好的钢铁原料,但因其含水高、粒度细难以回收利用。1998 年前,大部分外销或堆置,即浪费了资源,也造成了较严重的环境污染。

1998 年首钢通过炼钢工艺调整,出钢温度大幅度降低,需要加入富铁矿石或转炉尘泥造渣冷却剂进行冷却。但我国富铁矿资源短缺,大部分需要依靠进口,以铁精矿粉为主要原料的转炉尘泥造渣冷却剂成本较高。

1999 年 12 月,“用转炉炼钢尘泥生产炼钢造渣冷却剂研究”,列入了北京市国家重点技术创新项目。

在 2000 年底,完成了转炉尘泥挤压成型,轮窑烧结,转炉炼钢应用等各项试验,建设了转炉尘泥造渣冷却剂生产线,产品全部被首钢第二炼钢厂使用,取得了明显的社会效益及经济效益。

2 转炉炼钢尘泥的成型工艺试验研究

2.1 转炉炼钢尘泥的塑性

转炉炼钢尘泥中含有较多的细粒状物料及以胶体形式存在的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。细粒度物料的吸附水和毛细水含量较高、胶体物质可以持有较高的吸附水,因而转炉炼钢尘泥经过真空压滤、抽滤等手段脱水处理后,其水含量仍有 25%~35% 或更高。如此高的含水量给转炉炼钢尘泥的综合利用造成了很大困难。国内外多以转炉尘泥为原料,使用烧结机生产高炉、

炼钢使用烧结矿,或将转炉尘泥与石灰混合消化生产炼钢用冷固烧结球团^[1~5]。以往的发明,例如我国专利 93105875.9、92109406、93109712 等大多都使用添加石灰粉或加热的方法消解或减少尘泥所含水分,使其变成粉状或块状,再加以处理利用。

使用粘土塑性测定仪检测转炉炼钢尘泥,可以发现,在适当的含水量范围之内,转炉炼钢尘泥具有塑性。使用建材行业标准,测得转炉炼钢尘泥的塑性指数在 5~8 之间,属中低水平的塑性,使用普通挤压机成型有一定难度。

2.2 改善转炉炼钢尘泥塑性的研究

2.2.1 及时使用炼钢厂新产出的转炉湿泥

新产出的转炉炼钢尘泥中 CaO 多以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 胶体形式存在,它可以吸附大量的水,形成较厚的水膜,是转炉尘泥带有塑性的重要原因。放置后,转炉尘泥的塑性大幅度降低。采用新鲜转炉尘泥较容易成型。

2.2.2 添加增塑剂

在转炉炼钢尘泥中添加细粒度粉尘,增加其中小于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 粒级含量,可以提高转炉尘泥的塑性。在转炉炼钢尘泥中加入膨润土都可以提高转炉尘泥的塑性。

2.3 挤出成型工艺和设备研究

2.3.1 半干法成型工艺及设备

在试验研究过程中,曾进行过半干转炉尘泥的成型试验,生产了 6 000 多吨转炉尘泥造渣冷却剂。其压制制度为:初始压力 6 MPa,最高压力 15 MPa,加压

时间 0.5 s。使用不同的压力,原料的压缩比及砖的密度差异较大。试验证明,半干法挤压机故障较多,活塞等重要部件磨损快,泥坯分层现象严重,给后步烧结工艺造成一定难度。转炉炼钢尘泥使用半干法成型工艺时,必须选用性能优良的压制设备。

2.3.2 塑性挤压设备的改制

普通塑性螺旋挤出机由打泥板、泥缸、螺旋绞刀、机头、机口等部件组成。

螺旋绞刀的主要功能是输送,并同时将泥料加压破碎、揉练、混合,其结构与转炉尘泥能否顺利成型密切相关。经过大量的试验,确定了适合转炉尘泥成型的较合理的绞刀螺距、导角、转速等参数。

挤出机泥缸与机口之间的连接件叫做机头,机头呈前圆后方(矩形)状,其作用是调整泥料的运动速度、将泥料断面面积减小、由圆型改变成矩形、使泥料紧密、并将泥料均匀地供给机口。在泥料压缩紧密过程中,放出热量,对泥料运动产生较大阻力,塑性较差的转炉尘泥往往被卡在机头处,不能正常挤出。为适应转炉尘泥塑性较低的特点,研制了短机头,选择了较合理的面积压缩比、导角形状及机头与绞刀的相对位置。

在机口处泥料进一步被压缩,并在出口形成泥条。为适应转炉尘泥成型的要求,研究试验了短机口,并加大了出口处的面积。

砖坯的物理性能如表 1。由表 1 看出,所选砖机挤压出的砖坯密度高,有较好的强度。

表 1 螺旋挤出转炉尘泥砖坯的密度及水分

项目	1 号砖机砖坯	2 号砖机砖坯
重量/g	6 728	5 009
体积/mm	250×125×110	240×115×75
湿砖坯密度/g·cm ⁻¹	2.0	2.4
水分/%	24.1	23.6

3 转炉尘泥砖的轮窑烧结工艺

3.1 转炉尘泥砖坯的荷重软化试验

将干燥后的转炉尘泥砖坯以直、横、斜等形式及不同间距码放在轮窑窑室内的工序称为码窑。

为了确定合理的码窑高度及轮窑生产的最高烧结温度,必须测定砖坯的荷重软化性能。按试验轮窑条件,坯垛最高点为 2.9 m,考虑到转炉尘泥砖坯的容重比粘土砖大,所以选择荷重 0.07 MPa 进行荷重软化试验,见表 2。

测试结果说明:以 4 % 收缩值相比,转炉尘泥中配加燃料后荷重软化温度较低,3 号比 4 号试样降低了 114 ℃;同样荷重条件下,挤压砖坯的软化温度较粒状干转炉尘泥压制试样低 65 ℃。所以在转炉尘泥造渣冷却剂生产过程中,采用转炉尘泥配加燃料挤压成型工艺,可以降低烧成温度,降低能耗,保护窑体,提高窑炉寿命。

为保证转炉尘泥炼钢造渣冷却剂有较高的成品率及强度,选择是荷重 0.07 MPa、压缩比 40 % 的荷重软化温度为轮窑最高烧成温度。由表 4 可以看出,此温度在 1 128 ℃ 以下。

表 2 转炉炼钢尘泥的荷重软化温度 ℃

试样	含碳砖坯	不含 碳砖坯	含碳半 干料	不含 碳半干料
荷重值/MPa	0.07	0.05	0.07	0.07
压缩量 1 %	752	879	853	926
压缩量 2 %	772			958
压缩量 4 %	815	938	880	994
压缩量 10 %	900	980	920	1 045
压缩量 15 %	930	995	981	1 078
压缩量 40 %	982	1 088	1 002	1 128

3.2 转炉尘泥砖坯在轮窑中的焙烧

依据转炉尘泥砖坯在轮窑窑道中的加热或冷却状况,将其分成预热带、焙烧带、保温带和冷却带。

在干燥带,砖坯在热气流作用下,水分蒸发,砖坯被干燥。

在预热带,转炉尘泥砖坯中的消石灰等水化物开始分解,温度升高直至煤的燃点(约 600 ℃),转炉尘泥砖坯的预热带长度约为 25 m。

从开始添煤起,到停止添煤止的区段叫做焙烧带。在焙烧带中,砖坯中的煤和外加煤燃烧,窑温达到最高烧成温度;转炉尘泥砖坯中的碳酸钙等碳酸盐开始分解,铁矿物与 CaO 等开始反应。焙烧带的长度约为 12 m。

由停止添煤起,到揭开火眼的区段,叫做保温带。在保温带中,转炉尘泥砖坯内部的燃料被烧尽,转炉尘泥中的铁矿物氧化,并于 CaO、SiO₂ 等成分反应生成多元铁酸钙;多元铁酸钙熔点较低,砖坯熔融,气孔融合,坯垛发生塌落。延长保温带长度,可以提高转炉尘泥造渣冷却剂的成品率,增加转炉尘泥造渣冷却剂的强度;反之,可以提轮窑的产出量。通常,保温带的长度约为 10~15 m。

从揭开火眼起,到出窑处为止的区段叫做冷却

带。在冷却带要打开窑门,使烧成的砖坯冷却。转炉尘泥造渣冷却剂的冷却速度较慢,冷却带的长度一般大于 30 m。

4 转炉尘泥造渣冷却剂的性能

4.1 转炉尘泥造渣冷却剂的理化性能

目前,国内外还没有应用于转炉尘泥造渣冷却剂的专门技术标准,根据首钢转炉炼钢尘泥性能及首钢转炉炼钢工艺要求,提出理化性能如下,见表 3。

表 3 转炉尘泥造渣冷却剂的理化性能

品级	化学成分/%			粒度/mm
	TFe	FeO	S	
一级	≥50	≤10	≤0.15	10~50,其中<10 的<10 %

使用烧结厂试验室 JIS 转鼓,测定了转炉尘泥造渣冷却剂及炼钢石灰的强度,其转鼓指数分别为:成品转炉尘泥造渣冷却剂 76 %,个别(占总量的 10 %左右)没有烧透的砖坯 51 %,炼钢石灰 64 %。我公司高炉使用的铁精矿烧结矿的试验转鼓指数约为 80 %。由此看来,只要控制好轮窑烧结制度,并且做好产品的破碎筛分,就可以得到强度较好的转炉尘泥造渣冷却剂。

4.2 转炉尘泥造渣冷却剂的物相组成

转炉尘泥造渣冷却剂的矿物组成以铁酸钙、赤铁矿和磁铁矿(Fe₃O₄)为主。铁酸钙大多与磁铁矿相互熔蚀,在局部区域有较完整的板柱状结晶,在显微镜下观测到的最大的板柱状铁酸钙晶体为 1.4 mm×0.7 mm。赤铁矿多以自形晶或半自形晶出现,磁铁矿大都呈它型晶或熔蚀结构,在反射光下带有蓝色色调,说明其中熔有钙的成分,也就是说它是含钙磁铁矿。试样中含有少量硅酸二钙,它结晶较完整,大多以长条状或纺锤状局部集中出现。观测到的最大晶体 0.6 mm×0.05 mm。

5 首钢 210 t 转炉使用转炉尘泥造渣冷却剂

5.1 试验条件

矿石和转炉尘泥造渣冷却剂做冷却剂时转炉的加料方式为:第一批料,加入总量的 70 %~80 %,预留量在返干期加入,每批不大于 500 kg。

5.2 使用转炉尘泥造渣冷却剂和进口矿石的冶炼效果

5.2.1 冶炼操作对比

试验期间主要炼钢工艺参数如表 4。由表 4 可

以看出:使用转炉尘泥造渣冷却剂冶炼时除因含铁低,冷却强度低,使出钢温度较高外,其余几项技术指标均较好,说明使用转炉尘泥造渣冷却剂对冶炼操作没有影响。

表 4 炼钢工艺参数表

参数	转炉尘泥造渣 冷却剂 26 炉	进口矿 23 炉
拉碳温度/℃	1 694	1 670
	1 622~1 736	1 539~1 736
均方差	26.4	44.5
出钢温度/℃	1 687	1 681
	1 652~1 731	1 657~1 712
均方差	19.0	14.6
冶炼最高温度/℃	1 697	1 689
	1 652~1 741	1 657~1 736
均方差	22.6	22.4
后吹比例(%) 及原因	3/26=11.54 温度低:3 炉	9/26=39.13 温度低:7 炉 等钢包:2 炉
降温出钢炉次比 明显的喷溅/炉	12/26=46.15	3/26=11.54
	0	1

5.2.2 脱硫、脱磷能力分析

1998 年统计考察了首钢 210 t 转炉脱硫、脱磷及渣中 TFe 的变化关系,得到以下回归方程式:

(TFe)=0.379/[C]+2.65 R -0.323(MgO) -
0.000 844 T +4.92 (1)

L_s = 2.66 R - 0.282(TFe) - 0.125(MgO) +
0.004 345 T - 3.93 (2)

L_p = 40.5 R - 1.64(MgO) + 0.236(TFe) +
6.29 (3)

式中:L_s:脱硫率 L_s = (S)/[S]

L_p:脱磷率 L_p = (P)/[P]

[C][S][P]:终点钢水成分,(%)

(TFe)、(MgO):终渣 TFe 及 MgO 含量,(%)

R:终渣碱度,R = (CaO/SiO₂)

T:吹炼终点取样温度,(℃)

根据使用转炉尘泥造渣冷却剂和进口矿石时炉渣、钢水的化学成分及钢水温度情况。以 TFe 试、L_s 试和 L_p 试分别代表这次使用转炉尘泥造渣冷却剂及进口铁矿石冶炼造渣时钢渣的氧化性、脱硫率和脱磷率,与使用(1)(2)(3) 计算得出的 TFe 计、L_s 计和 L_p 计进行了比较,结果见表 5。

设 ΔL_s = L_s 试 - L_s 计。则由表 5 可以看出,用转炉尘泥造渣冷却剂造渣的 ΔL_{soe} 大于用进口铁矿石

造渣的综合折算 ΔL_s ,说明从炉渣的脱硫能力考察,转炉尘泥造渣冷却剂优于进口矿石。

设 $\Delta L_p = L_p \text{ 试} - L_p \text{ 计}$ 。则由表 5 可以看出,除其中 1 炉因渣中 TFe 较低造成 ΔL_p (0 以外,其余几组试样的脱磷能力全部大于按(3)式计算的结果,用转炉尘泥造渣冷却剂造渣时,综合折算 $\Delta L_p = 84.9$ (扣除 9B2067 炉次)。用进口铁矿石造渣的试样综合折算 $\Delta L_p = 102.14$ 。因此,从炉渣的脱磷能力来考察,转炉尘泥造渣冷却剂优于不使用矿石造渣工艺,但比进口铁矿石稍差。随着操作的适应,通过调节氧枪枪位,及时化炉底,这一点已经克服。

由于转炉尘泥造渣冷却剂本身碱度较高,因此,在石灰加入量大致相同的情况下,其终渣碱度高于进口巴西铁矿石。

5.2.3 炉渣的氧化性

可以将式(1)简化为:

$(TFe) = 0.379/[C] + 8.04$ (4)

按式(4)作图,便可以得到冶炼时炉渣的氧化性分布图,如图 1。由图 1 可以看出,在终点钢水碳含量相同的条件下,渣中 TFe 含量,使用转炉尘泥造渣冷却剂炉次的偏高,使用进口矿石的炉次偏低。这是因为使用进口矿石的炉次时炉底上涨及终点枪位偏低所致。

5.2.4 冷却能力

转炉尘泥造渣冷却剂的冷却能力比进口铁矿石低 6~7℃/t,因此在使用 3 t/炉转炉尘泥造渣冷却剂时,终点温度要升高 18~24℃,这与上述的考察相符。

表 5 试验数据分析表

	炉号	$L_s = (S)/[S]$	$L_s \text{ 计}$	$L_s - L_s \text{ 计}$	$L_p = (P205)/[P]$	$L_p \text{ 计}$	$L_p - L_p \text{ 计}$	TFe 计	TFe - TFe
转炉尘泥造渣冷却	9B2046	5.93	7.14	-1.21	144.44	107.82	36.63	17.11	-1.25
	9B2045	5.11	7.23	-2.13	100.71	95.44	5.27	14.91	-0.03
	9B2067	6.54	10.19	-3.66	47.41	114.75	-67.34	13.21	-5.27
	9A1649	8.46	8.44	0.02	110.00	104.20	5.80	12.41	-0.56
	9A1650	4.80	5.89	-1.09	154.44	74.05	80.40	9.96	4.50
	9A1675	8.33	9.20	-0.87	>276.00		>143.29	17.33	-1.73
	9B2121	5.93	7.58	-1.66	>318.00	>79.89	>238.11	10.24	1.27
	平均	6.48	7.95	-1.48	>164.43		>63.16	12.57	0.59
南非矿石	9C2112	5.86	6.45	-0.58	221.43	69.73	151.69	16.39	-4.39
	9B2265	4.64	8.27	-3.62	151.00	79.47	71.53	13.65	-4.71
	9B1957	6.43	6.93	-0.50	168.00	84.80	83.20	14.00	-1.30
	平均	5.64	7.21	-1.57	180.14	78.00	102.14	14.41	-3.19

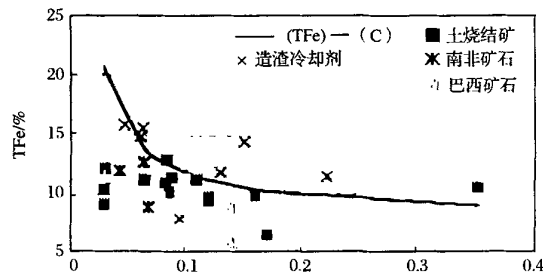


图 1 两种矿石炉渣氧化性分布

5.2.5 供氧能力

转炉中加入矿石所提供的氧气量主要与以下因素有关:铁矿含 Fe_2O_3 的含量;铁矿石中非铁物的含量,主要是 SiO_2 含量;吹炼终点碳及其(TFe)含量;铁矿石的粒度和利用率。

矿石中的铁氧化物可以提高炉渣的氧化性,减少吹炼过程中金属铁氧化所需要的氧气量。首钢 210 t 转炉

使用转炉尘泥造渣冷却剂时,提供的氧量受铁水硅含量及炼钢终点碳含量影响,大约为 122~129 m³/t。

5.3 转炉尘泥造渣冷却剂的熔点与冶炼的关系

据测定,首钢 210 t 转炉开吹后 6 min 之内,熔池温度仅有 1290~1359℃。为保证冶炼顺行,促进前期化好渣,就必须使用低熔点的转炉尘泥造渣冷却剂做熔剂。

统计转炉尘泥造渣冷却剂成分及熔点,得出回归方程式(5)。

$T(℃) = 1.44(FeO) - 13.48R - 5.38(TFe) + 1593.38$ (5)

由式(5)可以看出,在试验范围内,高碱度、低 FeO 转炉尘泥造渣冷却剂的熔点较低,高 FeO、低碱度转炉尘泥造渣冷却剂的熔点较高。由转炉尘泥造渣冷却剂的岩矿相分析得知,高碱度、FeO 的转炉尘泥造渣冷却剂的矿物组成以铁酸钙、赤铁矿和磁铁矿

(Fe_3O_4)为主,试样中硅酸二钙含量较少。铁酸钙的熔化温度为 1216°C ,磁铁矿中熔入了钙成分后熔点也会降低,少量的硅酸二钙对熔点影响不大,所以对化渣有利。

低碱度(1.7~2.8)、高 FeO ($>20\%$)转炉尘泥造渣冷却剂矿物组成以磁铁矿和硅酸二钙为主,磁铁矿的熔点为 1597°C 硅酸二钙的熔点为 2130°C ,初期化渣困难,渣子粘,冶炼难度较大。

转炉炼钢尘泥自身的碱度较高,再加上轮窑生产过程中有很强的氧化气氛,所以使用轮窑工艺可以生产出替代进口铁矿石的高碱度、低 FeO 、低熔点的转炉尘泥造渣冷却剂。

5.4 经济效益分析

由于 1t 炉转炉尘泥造渣冷却剂的冷却能力比进口铁矿石低 $6\sim7^\circ\text{C}$,所以在相同的生产条件下,转炉尘泥造渣冷却剂的使用量将比南非矿石多。按现有炼钢原料价格及铁水条件,按南非矿石的单耗为 15kg/t 左右,若全部替换成转炉尘泥造渣冷却剂则需要 20kg/t ,计算:

① 采用南非矿石需要补加石灰所增加的费用为 0.45元/t ;

② 南非矿石降低钢铁料消耗费用 8.42元/t ;

③ 南非矿石节约氧气费用 1.55元/t ;

④ 南非矿石原料费用 5.09元/t ;

⑤ 按转炉尘泥造渣冷却剂 $\text{TFe } 50\%$ 计算其原料费用 4.94元/t ;

⑥ 转炉尘泥造渣冷却剂的降低钢铁料消耗费用 8.44元/t ;

⑦ 转炉尘泥造渣冷却剂节约氧气费用 1.38元/t 。

综合效果:⑤-⑥-⑦-(④-③-②+①)=- 0.99元/t

即使用转炉尘泥造渣冷却剂全部替代进口南非矿石可降低成本 0.99元/t 。按首钢第二炼钢厂全年产钢 365万t 计算,则可创效益 361.35万元 。按首钢全年产钢 760万t 计算全年可以降低钢水成本 760

$\times 0.99 = 752.4\text{万元}$ 。

回收转炉尘泥,返回炼钢厂使用,可以减少转炉尘泥堆存过程中造成的二次污染,充分利用首钢的二次资源,减少含铁原料的运量等,具有很好的环保和社会效益。

6 结论

(1) 该技术从转炉尘泥的塑性研究入手,引进砖瓦行业的挤出成型和轮窑设备生产出转炉尘泥造渣冷却剂。使用该研究工艺处理转炉尘泥,不需要将其干燥,也不需要配加石灰消化,在尘泥处理工艺上是一个创新,在国内外尚属首次。做为一种转炉尘泥的回收利用新技术已基本成熟。

(2) 截止到 2001 年 8 月,首钢第二炼钢厂共使用转炉尘泥造渣冷却剂 7.75万t ,产钢约 387万t ,替代了进口铁矿石约 5.8万t 。使用该工艺生产的转炉尘泥造渣冷却剂全铁、氧化钙含量较高,用于炼钢生产可以替代铁矿石,并且可以促进化渣,降低炼钢石灰及钢铁料消耗,降低炼钢成本,经济效益显著,是一种新型的炼钢造渣冷却剂。

(3) 该项目,2001 年 7 月通过北京市经委验收,获 2000 年北京市技术进步三等奖,2001 年冶金科技成果三等奖,获专利授权,发明专利号 99125177。并已建成一条生产线。到 2001 年 8 月底止,采用该技术应用转炉尘泥共生产转炉尘泥造渣冷却剂近 8万t ,实现产值 1123万元 ,税金 196万元 。已具备了处理首钢产出的全部转炉尘泥($12\sim15\text{万t/a}$),制成转炉尘泥造渣冷却剂的能力。

(4) 该工艺设备简单,投资少、见效快,生产成本低。将转炉尘泥转化为炼钢的冷却剂和造渣剂,对资源回收利用和污染治理有显著的效益,对同行业类似的尘泥处理有很好的参考价值。

(5) 建议进一步完善挤出成型和烧结工艺及装备,进一步稳定产品质量,降低生产成本,改善生产环境,提高环保水平。

参 考 文 献

- 1 张启溶. 宝钢炼钢厂转炉尘泥回收利用新工艺. 钢铁,1995,(1):77~80.
- 2 彭佩辉. 武钢烧结厂综合利用冶金粉尘的实践. 烧结球团,1997,(4):52~53.
- 3 庞 勇. 烧结冷返矿与转炉炼钢尘泥混合配用实践. 柳钢科技,1996,(1):12~14.
- 4 宾晓燕. 台湾省中钢公司厂内废料的利用. 烧结球团,1992,(6):45~49.
- 5 Noda H, Kishimoto S. 福山厂利用粉尘预造球的铁矿石烧结工艺. 冶金环保情报,1995,(1):12~21.