

攀钢细粒级高品位钒钛磁铁精矿烧结试验研究

王禹键^{1,2}, 胡鹏^{1,2}

(1. 攀钢集团研究院有限公司, 四川 攀枝花 617000; 2. 钒钛资源综合利用国家重点实验室, 四川 攀枝花 617000)

摘要:针对高品位钒钛磁铁矿的理化性能,开展了单烧对比试验、高品位矿不同替代配比试验和最高替代配比条件下烧结燃料配比、混合料水份及料层厚度对烧结技术经济指标的参数寻优正交试验研究,试验研究表明,高品位矿具有高铁、低硅钛、粒度更细的特点,且对混合料水分控制非常敏感。随着烧结中高品位矿配比提高,烧结指标综合评分呈降低趋势,对该种烧结矿的技术经济指标的影响从大到小依次是水分、燃料配比、料层厚度,实验室得到的该种烧结矿最优烧结条件为混合料水 6.5%,燃料比 4.2%,料层厚度 670 mm。工业试验结果表明,在烧结中配加 20% 的该种矿物,烧结矿 TFe 品位提高 0.8 个百分点, TiO₂ 含量降低 0.6 个百分点,转鼓指数基本不变,烧结烟气中 SiO₂ 浓度降低 22%。

关键词:烧结; 细粒级钒钛磁铁矿; 品位; 配比; 转鼓指数

中图分类号: TF046

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2023)06-0126-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2023.06.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者
聊科研

Experimental study on sintering of fine grained high-grade vanadium titanium magnetite concentrate from Pangang

Wang Yujian^{1,2}, Hu Peng^{1,2}

(1. Pangang Group Research Institute Co., Ltd., Panzhihua 617000, Sichuan, China; 2. State Key of Laboratory Vanadium and Titanium Resources Comprehensive Utilization, Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract: In view of the physical and chemical properties of high-grade vanadium titanium magnetite, single firing contrast experiment, different substitute ratio experiment of high-grade ore and orthogonal experimental study on parameter optimization of sintering technical and economic indexes of sintering fuel ratio, mixture moisture and material layer thickness under the condition of highest substitute ratio were carried out. The experimental study shows that the high-grade ore has the characteristics of high iron, low silicon and titanium, finer particle size and is very sensitive to the moisture control of the mixture. With the increase of the ratio of high-grade ore in sintering, the comprehensive score of sintering index shows a decreasing trend. The influence on the technical and economic indexes of this sinter is water, fuel ratio and material layer thickness in descending order. The optimal sintering conditions of this sinter obtained in the laboratory are as follows: mixture water 6.5%, fuel ratio 4.2% and material layer thickness 670 mm. Industrial test results show that the sintered with addition of 20% of the mineral, the sinter high sinter TFe grade is increased by 0.8%, 0.6% lower content of TiO₂, drum index is basically remain unchanged, the concentration of SiO₂ sintering flue gas imports in low 22%.

Key words: sintering, fine grained level vanadium titanium magnetite, grade level, addition amount, drum index

收稿日期: 2022-09-20

作者简介: 王禹键, 1987 年出生, 四川宜宾人, 冶金工程硕士, 高级工程师, 主要从事矿物加工及高炉炼铁研究方向, E-mail: wang2262039@126.com。

0 引言

攀钢高炉以冶炼高钛型钒钛磁铁矿为主, 目前入炉品位约 50.50%, 利用系数 2.45 t/(m³·d)左右, 吨铁燃料比约 570 kg。为确保高炉入炉原燃料质量, 攀钢每年需进口部分铁矿石, 外购周边高品位普通粉矿以及高品质炼焦煤若干。由于地理位置劣势, 这部分外购高品质原燃料物流成本高, 致使攀钢钢材成本较其他港口钢铁企业高出 200 元/t 以上。同时, 因高炉长期低品位冶炼, 与先进企业相比, 攀钢炼铁工序能耗高出近 50 kg/t。随着我国双碳减排政策出台, 钒钛磁铁矿高炉冶炼的节能减排压力剧增, 开展高品位钒钛磁铁矿的相关研究具有重要意义。

理论与实践表明, 提高高炉入炉品位, 可不同程度降低吨铁燃料消耗, 提高生铁产量, 减少碳排放^[1]。现阶段, 自产 TFe 品位超过 60% 的钒钛铁精矿已具备条件, 但尚未在攀钢规模生产应用。为此, 开展 TFe 品位在 60% 以上的钒钛磁铁矿替代现有钒钛矿, 76% 高品位钒钛磁铁矿+9% 中粉配比条件下, 烧结燃料配比、混合料水份及料层厚度对烧结技术经济指标的参数寻优正交试验研究, 对于促进减排降耗具有重要作用。

笔者在实验室开展高品位钒钛铁精矿替代现有钒钛铁精矿生产烧结矿, 优化烧结矿产、质量研究, 打通规模生产烧结工艺, 进一步了解高品位钒钛铁精矿对攀钢烧结矿的影响。

1 试验条件与分析

1.1 试验条件与方法

笔者主要采用烧结杯试验对高品位矿和攀精矿进行烧结性能对比研究。选用的烧结杯尺寸 Ø250 mm×H700 mm, 点火负压 6 kPa, 烧结负压 12 kPa, 点火时间 150 s, 点火温度 1 050 °C±50 °C, 铺底料粒度 10 ~ 16 mm, 厚度 20 mm。

试验采用以下步骤^[2]:

1) 生石灰和活性灰中加入适量水进行充分消化, 紧接着向已消化好的生石灰、活性灰中加入配料, 并加水到试验要求的水分, 经机械混匀 5 min, 然后装料至圆筒混合机(Ø600 mm×1 200 mm, 转速 16.77 r/min)内制粒 5 min, 而后装料烧结。

2) 按烧结杯试验设定的料层厚度记录好装料量。

3) 混合料水分按要求控制, 返矿配比 30.0%(外配), 每轮试验开始前第一杯先烧制返矿, 然后前一杯烧结矿返矿作为后一杯的返矿, 循环进行使用, 返矿需妥善保存, 防止受潮。

1.2 理化性能对比

1) 化学检测

试验选用攀西地区细粒级高品位钒钛磁铁精矿(下称高品位矿)、攀枝花钒钛磁铁精矿(下称攀精矿)、南非粉矿(下称南非粉)、国内高品位粉矿(下称国高粉)、中品位铁精矿(中粉)及常用熔剂, 主要化学成分见表 1。

表 1 试验用含铁原料主要化学成分
Table 1 Main chemical compositions of iron-containing raw materials %

矿石	TFe	SiO ₂	CaO	V ₂ O ₅	TiO ₂	S
攀精矿	53.70	3.60	0.40	0.56	12.25	0.713
高品位矿	61.7	2.80	0.7	0.70	6.08	0.669
南非粉	64.0	4.75	0.22			0.02
国高粉	58.35	7.05	3.69	0.09	1.32	0.74
中粉	42.32	22.77	3.26	0.04	0.30	0.06

高品位矿较攀精矿 TFe 品位高约 8 个百分点, CaO 含量高约 0.3 个百分点, SiO₂ 含量低 0.8 个百分点, TiO₂ 含量低约 6 个百分点。与攀精矿相比, 高品位矿的化学成分特点主要是高“铁”低“硅钛”。

2) 粒度检测

粒度也是影响烧结矿性能和指标的重要因素, 表 2 是铁精矿的粒度组成对比。

表 2 铁精矿的粒度组成对比
Table 2 Comparison of grain size

名称	占比/%			Dcp/mm
	>0.074 mm	0.074 ~ 0.048 mm	<0.048 mm	
攀精矿	33.46	19.94	46.60	0.035 9
高品位矿	1.08	12.85	86.07	0.029 6

据表 2 看出, 高品位矿较攀精矿粒度更细, 其中 <0.048 mm 占比高。

3) MLA 检测

对两种钒钛精矿进行了 MLA 检测, 检测结果如图 1、2 及表 3 所示。由表 3 可知, 高品位矿和攀精矿的主要物相均为钛磁铁矿, 两种矿物主要物相组成及含量差别不明显。

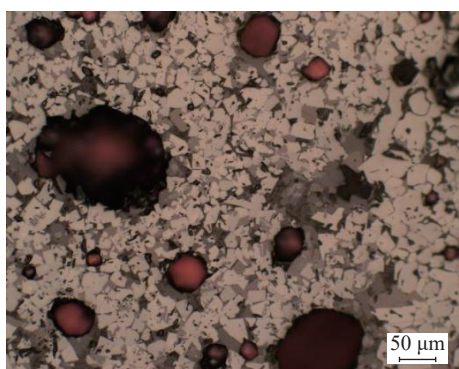


图1 高品位矿形貌

Fig. 1 The high-grade mineral phase morphology

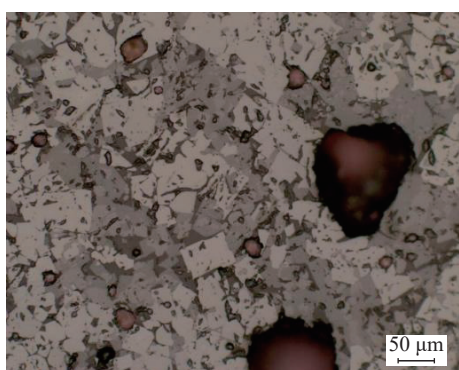


图2 攀精矿形貌

Fig. 2 PG mineral phase morphology

表3 矿物的物相组成及质量分数占比

Table 3 Mineral phase compositions and ratios %

矿名	钛磁铁矿	钛铁矿	钛辉石	钛赤铁矿	铁橄榄石	其他
攀精矿	73	4.6	2.8	6.9	6.9	5.8
高品位矿	80.4	5.1	3.2		2	9.3

2 试验结果

2.1 单烧试验对比

按照单烧试验原则对高品位矿和攀精矿进行烧结单烧试验对比,烧结混合料水分按 7.0%,烧结二元碱度 1.8 倍控制,攀精矿单烧编号为 DD,高品位矿单烧编号为 DG。对两组单烧试验在控制水分一致条件下,进行了混合料粒度湿筛和干筛检测^[3],检测结果见图 3。由图 3 可知,不论是湿筛还是干

筛,单烧高品位矿的混合料粒度中+3 mm 的比例明显高于攀精矿。图 4 为混合料水分 7.1% 时的外观形态。由图 4 可知,单烧高品位矿混合料制粒效果要优于单烧攀精矿,混合料粒度中+3 mm 比例更多,表明高品位矿制粒效果更好^[4]。对图 4(a)中大颗粒进行按压检测,发现其中较大比例为精矿自成球,少数为返矿或中粉颗粒吸附精矿成球,分析认为,这是由于该矿粒度太细,导致在烧结混料过程中易自成球,该种烧结混合料对烧结矿质量不利^[5]。水分是控制烧结混合料制粒效果的关键因素,它对高品位矿制粒效果的影响较攀精矿更显著。

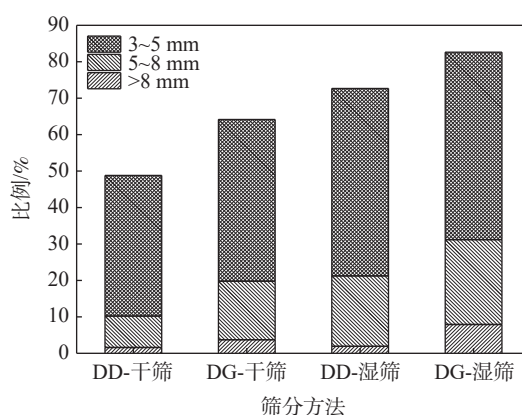
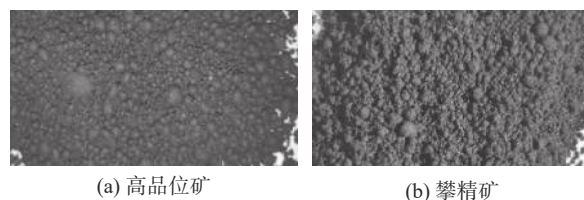


图3 混合料湿筛/干筛粒度组成

Fig. 3 Composition of wet/dry sieve particle size of mixture



(a) 高品位矿

(b) 攀精矿

图4 水分 7.1% 时混合料外观形态

Fig. 4 Diagram of moisture 7.1% mixture

表 4 是两种单烧烧结矿化学分析及指标,由表 4 可知,相比于攀精矿单烧烧结矿,高品位矿烧结矿中铁品位显著提高, SiO₂ 及 TiO₂ 含量降低。高品位矿单烧烧结试验的成品率、烧结速度、利用系数均高于攀精矿,但转鼓强度较攀精矿单烧烧结低 7.66 个百分点。

表4 两种单烧烧结矿化学分析及指标

Table 4 Chemical analysis and index of single sinter

编号	w/%					R ₂	烧结速度/(mm·min ⁻¹)	成品率/%	转鼓强度/%
	TFe	FeO	SiO ₂	CaO	TiO ₂				
DD	49.85	8.34	4.67	8.57	9.60	1.79	8.93	69.60	58.13
DG	53.64	8.44	4.18	8.39	4.98	1.80	13.14	69.67	50.47

两种矿烧结单烧对比试验表明, 相同水分、制粒时间等条件下, 高品位矿制粒效果好, 单烧品位更高, 烧结矿中 SiO_2 、 TiO_2 含量降低。由于烧结速度

过快, 高温区保温时间不够, 烧结矿矿化程度不足, 成品烧结矿强度降低显著^[6]。两组单烧试验冶金性能检测结果如表 5 所示。

表 5 单烧试验烧结矿冶金性能检测
Table 5 Metallurgical properties of single sintering experiment

编号	软化开始温度/℃	软化终了温度/℃	软化区间/℃	压差陡升温度/℃	开始滴落温度/℃	熔滴区间/℃	中温还原率/%
DD	1 092	1 167	72	1 206	1 482	276	78.49
DG	1 081	1 162	81	1 201	1 477	276	80.16

由表 5 可知, 高品位单烧烧结矿中温还原率略高于攀精矿, 是由高品位矿中 SiO_2 含量要低于攀精矿, 还原性好的半硅铁酸盐和 Fe_2O_3 生成量增多引起的^[7]; 两种精矿的高温熔滴性能基本相近。

2.2 不同配比高品位矿烧结试验

为了验证高品位矿替代攀精矿后对烧结矿产质量的影响, 除烧结物料结构外, 保证其他烧结条件不变, 设计了不同配比烧结试验(见表 6), 保证烧结矿碱度、 SiO_2 含量不变, 逐步提高高品位矿比例。

表 6 不同配比烧结试验配料方案
Table 6 Sintering experimental proportioning of different proportions %

方案	高品位矿	攀精矿	进口矿	国高粉	中粉	溶剂	燃料
S0		47.5	10	21	4.3	12.2	5
S1	10	50		16	6.5	12.5	5
S2	20	39.7		16	6.9	12.4	5
S3	30	29.3		16	7.4	12.3	5
S4	40	20.5		16	6.9	11.6	5
S5	50	11.6		16	6.4	11	5
S6	60	2.7		16	6	10.3	5
S7	76.2				8.5	10.3	5

图 5 为不同配比试验烧结矿含量, 由图 5 可知, 本轮试验随烧结中高品位配比增加, 烧结矿 TFe 含量呈先低后高趋势, 使用 60% 的高品位矿, 烧结矿 TFe 品位提高至 52.76%, 烧结矿 TiO_2 含量降低至 4.87%, 在此配料原则和条件下, 可保证烧结矿的 SiO_2 降低可控, 保证了烧结矿有足够的硅酸盐^[8], 而提高烧结矿的 TFe 品位, 降低烧结矿的 TiO_2 含量, 从而降低烧结过程钙钛矿的生成量, 能提高钒钛烧结矿的强度。

烧结试验中 FeO 含量随高品位矿配比增加总体呈升高趋势。分析认为有两个原因: 一是高品位矿配比增加后, 由于粒度细, 易成球的特性, 混

合料制粒效果好, 料层透气性改善, 烧结速度快, 致使磁铁矿的氧化不充分^[9]; 二是高品位矿配比增加后, 磁铁矿(Fe_3O_4)总量多, 烧结过程中磁铁矿氧化放热多, 燃料配比偏高, 烧结过烧。生产实践中, 钒钛烧结矿 FeO 通常控制在 7%~8% 较为适宜, 因此随高品位矿配比提高, 适当降低燃料配比, 高品位钒钛烧结矿可保证最适宜的 FeO 含量。

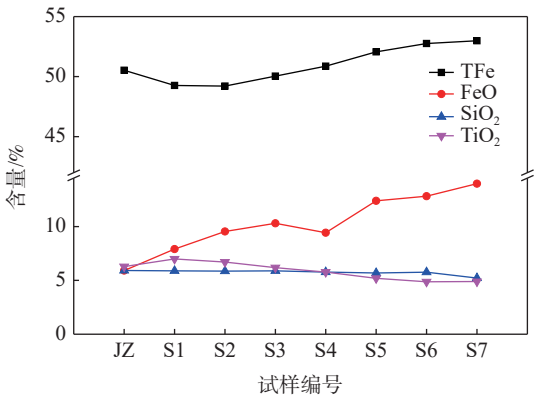


图 5 不同配比试验烧结矿化学成分
Fig. 5 Chemical composition of sinter experimental

为了便于比较和分析, 更直观地找到不同配比高品位矿对烧结主要技术经济指标的影响, 对试验结果进行烧结综合评分分析^[8]。单烧试验结果表明, 高品位矿烧结速度过快, 会导致烧结矿质量急剧恶化, 因此在烧结综合评分对烧结速度指标进行限制, 针对高品位钒钛烧结矿的烧结综合评分权重赋分(100 分)设定为: 烧结速度: 成品率: 转鼓强度=10:45:45, 计算如式(1)所示。

$$\text{烧结综合评分}(Y) = \frac{\text{烧结速度}}{\text{烧结速度均值}} \times 10\% + \frac{\text{成品率}}{\text{成品率均值}} \times 45\% + \frac{\text{转鼓指数}}{\text{转鼓指数均值}} \times 45\% \quad (1)$$

图6是不同配比烧结试验综合评分测算结果,由图6可知,随高品位矿比例提高,综合评分 Y 得分呈降低趋势,40%以内的高品位使用比例综合评分降低幅度较小。

试验选取了几组高品位矿配比进行烧结矿冶金性能检测试验,结果见表7。由表7可知,随高品位矿配比提高,烧结矿开始软化温度、软化终了温度略有升高,软化区间变化不明显;压差陡升温度略有升高,熔化区有变窄趋势,但总体影响不大;烧结矿中温还原度呈升高趋势。在高品位矿配比提高后,其烧结矿在炉内更容易被还原,有利于减少炉内还原剂的消耗。

表7 不同配比烧结试验中各组烧结矿冶金性能检测

Table 7 Metallurgical properties of sinter in each group of sintering experiment

编号	软化开始温度/℃	软化终了温度/℃	软化区间温度/℃	压差陡升温度/℃	开始滴落温度/℃	熔滴区间温度/℃	中温还原率/%
JZ	1 081	1 150	69	1 183	1 465	282	77.67
S4	1 080	1 155	75	1 194	1 467	273	81.77
S6	1 093	1 165	72	1 201	1 450	249	82.79
S7	1 092	1 158	66	1 197	1 461	264	82.39

2.3 最优烧结条件试验

为了找到最优试验条件,正交试验设计思路是在极限高品位矿配比条件下,找到对烧结矿产质量影响明显的参数作为变化因子,开展三因子三水平正交烧结试验。以S7试验组为基础,混合料水分、焦粉配比及料层厚度作为影响因素的三因子三水平进行 L^9 正交试验设计,其他试验条件不变,试验方案见表8。

表8 L^9 正交试验方案

Table 8 L^9 orthogonal experimental scheme

编号	水分/%	焦粉/%	料层厚度/mm
中心点	7.0	4.2	690
Z1	6.5	3.8	650
Z2	6.5	4.2	660
Z3	6.5	4.6	670
Z4	7.0	3.8	660
Z5	7.0	4.2	670
Z6	7.0	4.6	650
Z7	7.5	3.8	670
Z8	7.5	4.2	650
Z9	7.5	4.6	660

正交烧结试验主要技术指标见图7,由图7可看出烧结速度、成品率、转鼓强度三指标情况,将结果带入上述烧结综合评分(式1),中心点组 Y 值最高,

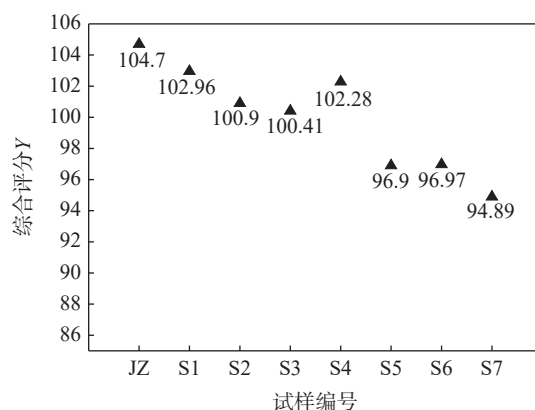


图6 不同配比烧结试验综合评分测算

Fig. 6 Comprehensive score of sintering experiment

故我们认为本次试验的最优组为中心点组。对试验结果进行极差分析(直观比较法)。极差就是平均效果中最大值和最小值的差。有了极差就可以找到影响指标的主要因素,并可以帮助我们找到最佳因素水平组合^[9]。

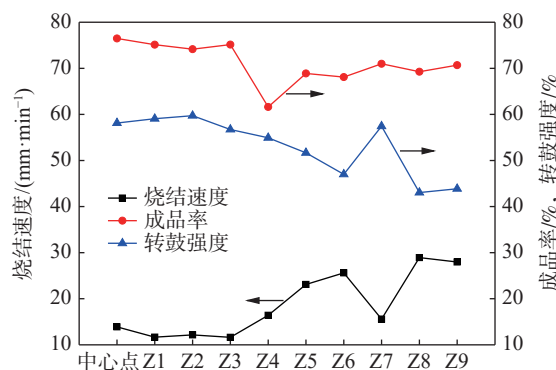


图7 正交试验烧结矿主要技术经济指标

Fig. 7 Main indicators of orthogonal experimental sintering

设定烧结速度、成品率、转鼓强度三项指标在各组试验中相同的赋分权重后对其进行极差分析,结果如表9所示。

直观分析法中 R 极差绝对值越高,说明对试验的影响程度越大, K_n 均值越大,说明该因素在第 n 水平结果最佳。水分 $R_{\text{极差}} >$ 焦粉配比 $R_{\text{极差}} >$ 料层厚

度 $R_{\text{极差}}$, 因此权重值影响排序为: 因素 A(水分)>因素 B(焦粉量)>因素 C(料层); 水分中 K_1 最大, 焦粉配比中 K_2 最大, 料层厚度中 K_3 最大, 因此对应最优水平组合为水分 6.5%, 焦粉配比 4.2%, 料层厚度 670 mm 是本次正交试验的最优平衡点。

表 9 正交试验极差分析
Table 9 Orthogonal experimental analysis

	水分/%	焦粉配比/%	料层厚度/mm
水平(1)均值 K_1	103.23	100.02	98.74
水平(2)均值 K_2	98.93	101.15	100.07
水平(3)均值 K_3	98.19	98.44	101.17
$R_{\text{极差}}$	5.04	2.71	2.42
最优组	水平(1)	水平(2)	水平(3)

根据正交试验结果, 以最优方案随即开展正交验证试验, 试验结果见表 10。从试验结果看, 最优

组试验结果优于中心点组, 水分 6.5%, 配碳 4.2%, 料层厚度 670 mm 为正交试验中的优选结果。

表 10 正交验证试验烧结矿技经指标
Table 10 Orthogonal verification index of experimental sinter

编号	烧结速度/(mm·min ⁻¹)	成品率/%	转鼓强度/%
中心点组	14.37	76.51	58.70
正交最优组	13.89	76.47	58.13

2.4 工业试验及结果

根据实验室研究结果, 按烧结的最优试验条件控制, 在攀钢钒 6[#]烧结机和 4[#]高炉开展烧结配加高品位钒钛精矿工业试验, 第一阶段高品位钒钛精矿配比 5%, 时间 3 天; 第二阶段高品位钒钛精矿配比 10%, 时间为 5 天; 第三阶段高品位钒钛精矿配比 20%, 时间 5 天。烧结矿化学检测结果见表 11。

表 11 工业试验烧结检测结果
Table 11 Results of industrial sintering test

项类	w/%				R_2	点火温度/℃	台时产量/(t·h ⁻¹)	烟气SO ₂ 浓度×10 ⁶	转鼓指数/%
	TFe	FeO	SiO ₂	TiO ₂					
基准期	50.04	7.93	5.63	6.61	1.86	1 085.71	315.48	5 087.03	66.99
阶段1	50.35	7.79	5.61	6.46	1.87	1 076.67	311.68	5 023.70	67.94
阶段2	50.64	8.13	5.62	6.34	1.83	1 100.20	301.30	4 605.36	67.12
阶段3	50.88	8.23	5.56	6.01	1.89	1 123.20	306.71	3 967.30	66.84

工业试验结果(表 11)显示, 随高品位钒钛精矿配比提高, 烧结矿 TFe 品位升高, TiO₂ 含量降低, 烧结矿点火温度需提高^[10], 烧结烟气 SiO₂ 浓度降低。

综合来看, 在采用最优烧结条件下配入 20% 以内高品位钒钛精矿生产烧结矿, 与基准期相比, 烧结产量下降约 2%, 烧结矿 TFe 品位能够提高 0.8 个百分点, TiO₂ 含量降低 0.6 个百分点, 烧结烟气中 SiO₂ 浓度降低 22%, 转鼓指数基本未降低。工业试验结果表明, 配加 20% 以内的高品位钒钛铁精矿除烧结矿产量略有降低外, 不会对烧结矿的质量造成明显不利影响, 反而有利于提高烧结矿铁品位和降低钛含量, 其在工艺上是可行的。

3 结论

- 1)对比攀精矿, 高品位矿的理化特点是高铁低硅钛, 粒度细, 两种钒钛矿的主要物相差别不明显。
- 2)单烧试验表明, 相同试验条件下高品位矿混

合料制粒效果更好, 对混合料水分控制更敏感, 由于烧结速度过快, 高温区保温时间不足, 低熔点液相生成量不够, 成品烧结矿强度降低明显。

3)不同配比高品位矿烧结试验表明, 随着高品位矿配比提高, 烧结矿 TFe 品位提高, TiO₂ 降低, 烧结矿的综合评分呈降低趋势, 在 40% 以内的高品位矿使用比例对烧结的技术经济指标影响较小。

4)本试验条件下的最优烧结条件试验表明: 对高品位钒钛烧结矿技术经济指标影响由大到小依次是: 混合料水分、燃料配比、料层厚度, 通过对正交试验结果进行极差分析, 最优试验条件为: 混合料水分 6.5%, 配碳 4.2%, 料层 670 mm。

5)工业试验结果表明, 烧结配加 20% 以内的高品位矿在技术上是可行的, 有利于提高烧结矿 TFe 品位, 降低 TiO₂ 含量以及烧结 SiO₂浓度。

参考文献

- [1] Zhang Dianbo, Wan Haiming, Zheng Jiang. Analysis on global iron ore resources and China's iron ore supply and demand[J]. China Metallurgy, 2004, (6): 26–29.
(张典波, 万海明, 郑江. 世界铁矿石资源情况及中国铁矿石供需态势[J]. 中国冶金, 2004, (6): 26–29.)
- [2] Tang Xianjue. The progress history of sintering industry in our country[J]. Sintering and Pelletizing, 2008, (4): 3–4.
(唐先觉. 我国烧结行业的技术进步[J]. 烧结球团, 2008, (4): 3–4.)
- [3] Zhou Chuandian. Blast furnace ironmaking production of technical manuals[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2002.
(周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.)
- [4] Chen Yaoming, Chen Rui. Microstructure of sinter and pellet[M]. Changsha: Central South University Press, 2011.
(陈耀铭, 陈锐. 烧结球团矿微观结构[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2011.)
- [5] Bai Dongdong, Han Xiuli, Li Changcun, *et al.* Research on the influence of the mineralization process of vanadium titanium sinter on quality[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2018, 39(5): 111–114.
(白冬冬, 韩秀丽, 李昌存, 等. 钒钛烧结矿矿相结构对其冶金性能的影响[J]. 钢铁钒钛, 2018, 39(5): 111–114.)
- [6] Zhu Deqing, Zhang Kecheng, He Aoping, *et al.* Effect of enhances granulating on high Fe and low SiO₂ sinter[J]. Sintering and Pelletizing, 2003, (1): 9–13.
(朱德庆, 张克诚, 何奥平, 等. 强化制粒对高铁低硅混合料烧结的影响[J]. 烧结球团, 2003, (1): 9–13.)
- [7] Rao Jiating, Zhang Yixian, Yang Xiaodong, *et al.* Experimental study on sintering by adding high grade vanadium-bearing titaniferous magnetite concentrate at Pangang[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2012, 33(2): 44–49.
(饶家庭, 张义贤, 羊小东, 等. 攀钢烧结配加高品位钒钛磁铁精矿试验研究[J]. 钢铁钒钛, 2012, 33(2): 44–49.)
- [8] Lin Wenkang, Hu Peng. Influence of TiO₂ content and basicity level on the metallogenic regularity of V-Ti sinter[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2020, 41(4): 94–99.
(林文康, 胡鹏. TiO₂含量和碱度水平对钒钛烧结矿成矿规律的影响研究[J]. 钢铁钒钛, 2020, 41(4): 94–99.)
- [9] Wang Rongcheng, Fu Juying. Study on production of high Fe and low SiO₂ sinter[J]. Iron and Steel, 2007, 42(6): 17–20.
(王荣成, 傅菊英. 高铁低硅烧结技术研究[J]. 钢铁, 2007, 42(6): 17–20.)
- [10] Wang Fubin, Liu Hefei, He Jianghong, *et al.* Analysis on operation process parameters of sintering and construction of sintering behavior model[J]. Sintering and Pelletizing, 2020, (4): 29–34.
(王福斌, 刘贺飞, 何江红, 等. 烧结运行工艺参数分析及烧结行为模型构建[J]. 烧结球团, 2020, (4): 29–34.)

编辑 唐肖

宝钢全球首发吉帕钢

2023 年 11 月 9 日, 国内首个面向量产采用 1.5 GPa 吉帕钢®冷冲压零件成功试冲, 该零件采用宝钢全球首发吉帕钢®HC1000/1470DP, 是宝钢股份与长安马自达、核心零部件及模具制造企业长期稳定战略合作、持续开展新材料联合研发应用、供应链深度协同攻关结出的创新硕果, 将中国车企、冲压厂、模具厂和钢厂协同创新提升到新的高度, 解决了世界冷冲压最高强度级别 1.5 GPa 从材料、零件设计、模具设计、模具材料、零件成形及量产全产业链卡脖子问题, 实现了先进超高强钢冷冲压技术的全球同步。

该零件联合首发成功, 也是宝钢新能源车整体解决方案 SMARTeX 的又一核心技术突破。作为全球最大的汽车板供应商, 宝钢一直以用户为中心、以车身安全为基础、以质量为根本, 全力以赴协同汽车产业迭代升级创新, 确保车身安全、材料安全、产业安全, 解决材料、工艺和知识产权等“卡脖子”问题, 为汽车及材料行业提供宝钢智慧、中国方案, 引领汽车产业创新发展。

吉帕钢®HC1000/1470DP 是宝钢股份的全球首发产品之一, 是双相钢系列目前最高强度, 与 1180DP、1310DP 等超高强度双相钢相比, 强度等级提升了 10%~30%。该产品填补了国内在该强度级别品种冷成形汽车板的产品空白。

摘自 <https://mp.weixin.qq.com/s/ZzunUecgAnABgk-I3lqOOA>