

基础特性对含铬型钒钛烧结矿粉化性能的影响

杨松陶, 周 密, 姜 涛, 薛向欣
(东北大学 材料与冶金学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 承德地区含铬型钒钛烧结矿的黏结相不充分、强度差、低温还原粉化指数低,严重影响烧结矿的质量.研究了4种不同成分的含铬型钒钛磁铁精矿粉的烧结基础特性:连晶强度、黏结相强度、液相流动性、同化温度,并与4种铁精矿粉的单烧实验结果进行比较分析,探究含铬型钒钛磁铁精矿粉基础特性对烧结矿低温还原粉化指数 $RDI_{+3.15}$ 的影响规律.结果表明:含铬型钒钛磁铁烧结矿的 $RDI_{+3.15}$ 随铁精矿粉同化温度的上升而降低,随黏结相强度的上升而升高,液相流动性和连晶强度对其影响很小.

关 键 词: 含铬型钒钛磁铁矿;烧结矿;基础特性;低温还原粉化指数;优化配矿

中图分类号: TF 046

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)04-0498-05

Effect of Sintering Basic Characteristics on Reduction Degradation Index for Cr-Bearing Vanadium and Titanium Magnetite

YANG Song-tao, ZHOU Mi, JIANG Tao, XUE Xiang-xin

(School of Materials & Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: XUE Xiang-xin, professor, E-mail: xuexx@mail.neu.edu.cn)

Abstract: The content of binding phase in Cr-bearing vanadium and titanium magnetite is insufficient, which makes the sintering strength and low temperature reduction degradation index (RDI) bad. The sintering basic characteristics, i. e., crystal intensity, self-intensity of adhere phase, fluidity of liquid phase, assimilation temperature, were studied in four kinds of Cr-bearing vanadium and titanium magnetites, which were compared with the single burning test results of four kinds of iron ore concentrate, to explore the effect of the sintering basic characteristics on $RDI_{+3.15}$. The results showed that the $RDI_{+3.15}$ of sinter decreases with increasing the assimilation temperature, and increases with increasing the strength of binding phase, but the fluidity of liquid phase and crystal intensity have little influence on it.

Key words: Cr-bearing vanadium and titanium magnetite; sinter; basic characteristics; RDI (reduction degradation index); optimization ore matching

烧结基础特性作为衡量铁矿粉烧结性能的一项指标已被广泛应用,通过铁矿粉的烧结基础特性研究,不仅能为科学合理优化配矿提供依据,也能为高效环保利用铁矿粉资源提供参考.烧结基础特性是基于微型烧结原理,研究铁矿粉在高温烧结的条件下呈现出的自身特有的高温物理化学性质,它能基本反映铁矿粉在烧结中的高温行为及其作

用规律,可用它来评估铁矿石对烧结矿质量的影响大小^[1].铁矿石的烧结基础性能主要包括连晶固结强度、黏结相强度、液相流动性和同化性等.

承德地区含铬型钒钛磁铁矿与普通的铁矿粉相比,最主要的特点是含有较高的钒钛铬成分、混合料透气性不佳、垂直烧结速度较慢、烧结矿的黏结相不足、强度差、低温还原粉化严重及返矿率较

收稿日期: 2014-05-16

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2012AA062302,2012AA062304);国家自然科学基金重大项目(51090384);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N110202001);科技部重大国际合作项目(2012DFR60210).

作者简介: 杨松陶(1984-),男,重庆人,东北大学博士研究生;姜 涛(1973-),男,辽宁本溪人,东北大学教授,博士生导师;薛向欣(1954-),男,辽宁沈阳人,东北大学教授,博士生导师.

高,导致产量和利用系数相对较低^[2]. 为此,本文对承德地区 4 种不同成分的含铬型钒钛磁铁精矿粉的烧结基础特性进行了研究,查明 4 种铁精粉烧结基础特性的特点及影响因素;然后在烧结杯中进行 4 种铁精矿粉的单烧实验,测定烧结矿低温还原粉化指数,并将其与铁精矿粉基础特性研究结果进行综合比较与分析,探讨铁矿粉基础特性对烧结矿低温粉化指数的影响,为含铬型钒钛磁铁矿烧结优化配矿提供理论与实验依据.

1 实验原料与方法

本文选取了承德地区 4 种不同成分的含铬型钒钛磁铁矿粉为主要原料进行实验研究,分别是大阪通运(DB)、恒伟矿业(HW)、远通矿业(YT)和建龙矿业(JL),其化学成分如表 1 所示. 4 种含铬型钒钛磁铁精矿粉用制样机研磨为直径小于 0.162 mm 的粉末,使用微型烧结机进行基础特性

实验. 使用自动退模制样器将铁矿粉(20 MPa, 2 min)制成圆饼,根据实验要求升温,在 1 280 ℃时恒温烧结 4 min,实验完毕后用抗压强度测定仪确定连晶固结强度;按碱度 1.95 配置铁矿粉和 CaO 纯试剂,混匀后使用自动退模制样器(15 MPa,2 min)制成圆饼,根据实验要求升温,在 1 280 ℃时恒温烧结 4 min,实验完毕后用抗压强度测定仪确定黏结相强度;按碱度 3.0 配置铁矿粉和 CaO 纯试剂,混匀后使用自动退模制样器制成(15 MPa,2 min)圆饼,根据实验要求升温,在 1 250 ℃时恒温烧结 4 min,以圆饼实验前后面积之差与实验前面积之比为液相流动性指数;使用自动退模制样器将 0.8 g 铁矿粉压制成(15 MPa, 2 min)φ8 mm×5 mm 的圆饼,将 2.0 g 化学纯试剂 CaO 压制成(15 MPa,2 min)直径为 20 mm 的圆饼. 将铁矿粉圆饼重叠放在 CaO 圆饼上,按实验要求升温,当两圆饼接触面上生成反应物时,确定采矿粉的同化温度.

表 1 含铬型钒钛磁铁矿粉的化学成分(质量分数)
Table 1 Chemical compositions of Cr-bearing vanadium and titanium magnetite %

矿名	TFe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅	P	Cr ₂ O ₃	烧损率
DB	63.08	4.41	1.73	1.52	1.44	1.98	0.42	0.0340	0.03	1.45
HW	63.81	3.84	0.77	0.74	1.95	3.15	0.59	0.0364	0.11	0.84
YT	63.62	3.20	1.28	1.12	1.82	2.61	0.53	0.0464	0.04	1.00
JL	63.52	3.30	1.69	1.76	1.23	1.45	0.37	0.0060	0.12	1.16

确定铁矿粉的基础特性后,再进行铁矿粉单烧实验,并对烧结矿进行低温还原粉化测定. 实验用烧结杯尺寸为 φ320 mm×700 mm,烧结参数控制为:实验点火温度 1 150 ℃,烧结点火负压 6 kPa,点火时间 2 min,烧结负压 10 kPa. 按照碱度 1.9,配碳质量分数 3.2%,返矿质量分数 28% 的实验方案进行单烧烧结杯实验. 烧结矿的低温还原粉化测定按国标 GB/T 24235—2009 进行.

2 实验结果与分析

2.1 铁精矿烧结基础特性及其影响因素

连晶固结强度表征的是烧结过程中未生成液相的区域固结的能力,黏结相强度表征的是烧结过程中生成的黏结相对附近核矿石固结的能力. 根据铁矿粉的连晶强度和黏结相强度,能够评价铁矿粉烧结造块能力的大小,一般要求大于 2 kN.

通过实验测得铁矿粉 DB 的连晶固结强度为 8 074 N,HW 为 4 554 N,YT 为 8 028 N,JL 为 7 506 N,连晶固结强度良好. 在含铬型钒钛磁铁矿粉的化学成分对连晶固结强度影响的研究中,

尚未发现明显规律.

图 1 为 4 种含铬型钒钛磁铁矿粉的黏结相强度和铁矿粉烧损率之间的关系. 由图 1 可知,4 种含铬型钒钛磁铁矿粉的黏结相强度良好,DB 为 3 547 N,HW 为 3 365 N,YT 为 5 484 N,JL 为 4 310 N. 随着烧损率的增大,黏结相强度呈现下降的趋势,这是因为铁矿粉中结晶水在高温时分解,易使黏结相形成裂纹,并且在其内部留下气孔,黏结相内部结构变疏松,从而导致黏结相自身强度降低^[3]. 图 1 中 HW 矿粉烧损率最小,但其黏结相强度并不高,原因是由于 HW 矿粉中 CaO 质量分数仅为 0.77%,配为碱度 1.95 的小饼后其 TFe 质量分数下降,导致烧结后黏结相中铁酸钙等强度较高的矿物较少,黏结相强度较其他 3 种矿粉小.

图 2 为 4 种含铬型钒钛磁铁矿粉的液相流动性和 SiO₂ 质量分数之间的关系. 铁矿粉的液相流动性表征的是高温烧结过程中生成液相的流动能力. 液相流动性的高低以流动性指数表示,一般认为合理的流动性指数在 0.7~1.6 之间. 由图 2 可知,4 种含铬型钒钛磁铁矿粉的流动性指数极低,

最高的大阪通运也仅为 0.12, 而 HW 为 0.09, YT 为 0.04, JL 为 0.04, 流动性非常差. 铁矿粉的液相流动性随着 SiO_2 质量分数的下降而降低, 这是因为 SiO_2 质量分数较高时, 其参与形成液相的机会也相应增加, 因此产生的液相量相对较多, 导致液相的流动性有所增大^[4-5].

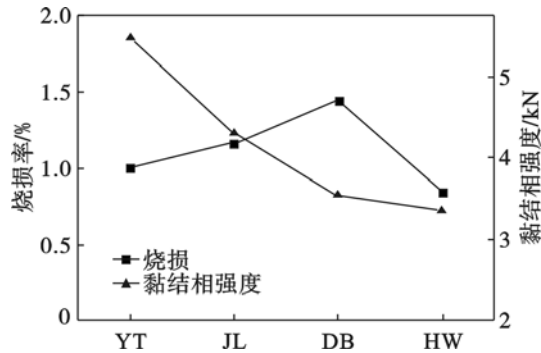


图 1 铁矿粉烧损与黏结相强度之间的关系

Fig. 1 Relationship between ignition lost of iron-ore fines and self-intensity of adhere phase

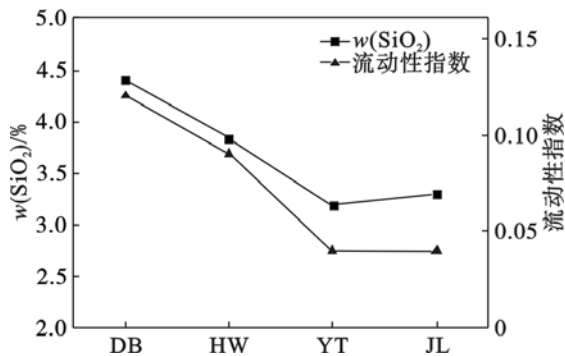


图 2 铁矿粉 SiO_2 质量分数与流动性指数之间的关系

Fig. 2 Relationship between $w(\text{SiO}_2)$ of iron-ore fines and fluidity index

图 3 为铁矿粉成分与烧结矿同化温度之间的关系. 铁矿粉的同化性表征的是铁矿粉在烧结过程中生成低熔点液相的难易程度, 一般将同化温度分为高同化性 ($< 1200^\circ\text{C}$)、较高同化性 ($1200 \sim 1250^\circ\text{C}$)、中等同化性 ($1250 \sim 1280^\circ\text{C}$)、弱同化性 ($> 1280^\circ\text{C}$) 4 种程度^[6]. 由图 3 可知, DB (1250°C) 和 JL (1240°C) 具有较高同化性, HW (1270°C) 和 YT (1255°C) 具有中等同化性; 铁矿粉中 TiO_2 质量分数越高, 烧结矿的同化温度也越高. 原因是 TiO_2 在铁矿粉中以钛铁晶石等难熔的物质形态出现, 使同化温度升高, 同化性变差; 除 HW 矿粉外的 3 种含铬型钒钛磁铁矿粉的 SiO_2 质量分数较高时, 同化温度较低, 铁矿粉的同化性能较好. 原因是 SiO_2 质量分数较高时, 进行液相反应的机会较大, 液相生成的能力就较强. HW 矿粉的 SiO_2 质量分数较 YT 粉高,

但同化温度比 YT 粉高, 这是因为 HW 矿粉中 CaO 质量分数很低, 配成碱度 1.95 的圆饼后, 圆饼中 MgO 和 Al_2O_3 质量分数很低, 不利于形成低熔点化合物, 从而使同化温度很高. 除 JL 矿粉外的 3 种含铬型钒钛磁铁矿粉同化温度随着烧损率的减小, 呈现出逐渐升高的趋势, 原因是铁矿粉在实验温度下烧结时, 结晶水发生分解, 在矿粉内部留下许多气孔, 导致矿石内部变疏松, 和 CaO 的反应接触面积增加, 动力学条件提高, 这有利于铁矿物离子和 CaO 间的相互扩散. 因此, 铁矿粉有较大的烧损率, 对低熔点液相的快速生成和同化性能的升高有利^[7]. JL 矿粉的烧损率较大但同化温度并不高, 原因是 JL 矿粉中 MgO 质量分数为 1.76, 为 4 者中最高, 这有利于形成低熔点液相, 导致 JL 矿粉的同化温度最低.

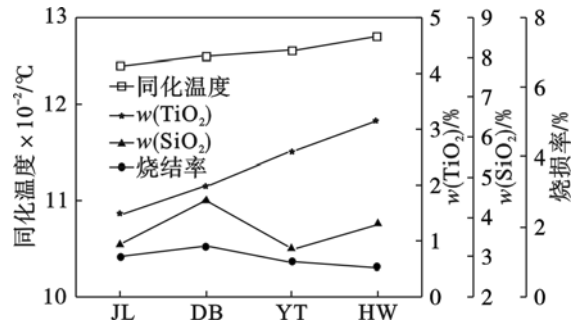


图 3 铁矿粉成分与烧结矿同化温度之间的关系

Fig. 3 Relationship between chemical composition of iron-ore fines and assimilation temperature

2.2 基础特性对烧结矿低温还原粉化的影响

表 2 为铁矿粉单烧实验烧结技术指标. 由表 2 可知, 混合料的水分质量分数在 7.5% 左右, 垂直烧结速度在 $13 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 左右, 烧成率在 85% 左右, 烧结矿的小粒度 ($< 10 \text{ mm}$) 较多, 大于 5 mm 成品率在 80% 左右.

图 4 为铁矿粉的基础特性与烧结矿 $\text{RDI}_{+3.15}$ 之间的关系. 国内其他企业使用非钒钛矿冶炼的烧结矿, $\text{RDI}_{+3.15}$ 一般都在 75% 以上. 由图 4 可知, 含铬型钒钛烧结矿的 $\text{RDI}_{+3.15}$ 总体指标较低, 4 种矿粉中 HW 的粉化指标最差仅为 35.68%, JL 的粉化指标最好, 但也只有 51.68%, DB 为 41.72%, YT 为 40.65%.

由图 4a 与 4e 可知, 连晶固结强度与 $\text{RDI}_{+3.15}$ 之间无明显变化规律. 含铬型钒钛烧结矿中发生固相固结的区域较少, 因此连晶固结强度对烧结矿的粉化指标影响不大.

由图 4b 与 4e 可知, 黏结相强度与 $\text{RDI}_{+3.15}$ 之间关系较紧密, 随着黏结相强度升高, 烧结矿的粉化指数有变好的趋势. 黏结相的数量越多, 相应的

烧结矿固结就越好,但黏结相自身强度也是烧结矿固结的一个重要因素^[8].

表 2 单烧烧结指标
Table 2 Sinter parameters of single-sinter test

矿名	$w_{\text{H}_2\text{O}}/\%$	烧结速度 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	烧成率/ $\%$	粒度组成 / $\%$						成品率 $<5\text{ mm} (>5\text{ mm})/\%$
				$>40\text{ mm}$	$40\sim 25\text{ mm}$	$25\sim 16\text{ mm}$	$16\sim 10\text{ mm}$	$10\sim 5\text{ mm}$	$<5\text{ mm}$	
DB	7.54	13.00	85.42	11.98	19.72	15.34	18.17	18.04	16.75	83.25
HW	7.44	12.62	86.18	15.74	17.26	13.32	14.59	20.18	18.91	81.09
YT	7.78	13.00	86.82	12.87	18.19	12.75	15.22	20.92	20.05	79.95
JL	7.62	12.75	85.59	8.66	19.55	13.37	16.46	22.77	19.18	80.82

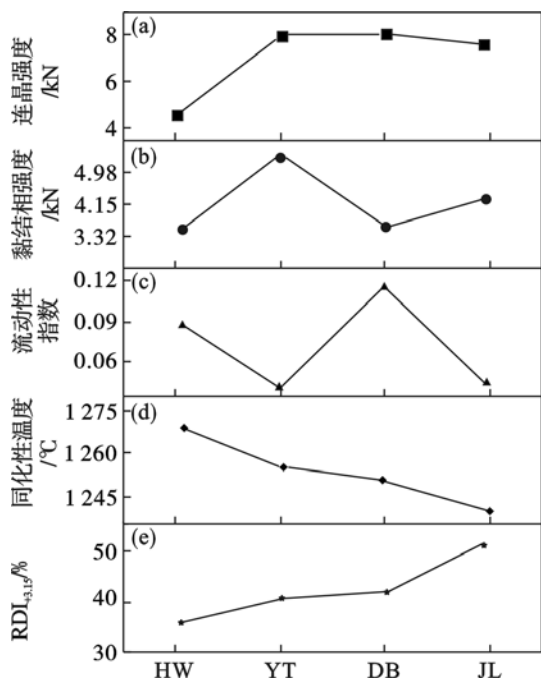


图 4 铁矿粉基础特性与烧结矿 $\text{RDI}_{+3.15}$ 之间的关系
Fig. 4 Relationship between sintering basic characteristics and $\text{RDI}_{+3.15}$ of single-sinter

由图 4c 与 4e 可知,流动性指数与 $\text{RDI}_{+3.15}$ 之间无明显变化规律. 4 种含铬型钒钛磁铁矿的液相流动性指标均过低,这表明铁矿粉的液相与周围核矿石的黏结能力差,易导致烧结矿气孔率增加,内部结构疏松,强度变差,粉化严重.

由图 4d 与 4e 可知,同化温度与 $\text{RDI}_{+3.15}$ 之间关系密切,随着同化温度降低, $\text{RDI}_{+3.15}$ 升高. 在含铬型钒钛磁铁矿烧结过程中,烧结矿黏结相的形成始于 TiO_2 , CaO 和 Fe_2O_3 的固相反应,而最终得到以铁酸钙和钙钛矿为主的矿物组成. 黏附层中的同化反应所形成的初相的性质决定着形成黏结相的结构,对烧结过程起着重要的作用^[9]. 4 种含铬型钒钛磁铁矿的同化性均良好,易与 CaO 发生反应产生液相,从而对烧结矿粉化指数的改善起到促进作用,因此同化温度越高时 $\text{RDI}_{+3.15}$ 就越低.

因此,在配矿过程中为改善含铬型钒钛磁铁烧结矿的 $\text{RDI}_{+3.15}$,应重点考虑同化温度,其次是黏结相强度,兼顾流动性指数和连晶固结强度.

3 结 论

1) 含铬型钒钛磁铁矿粉的化学成分对烧结基础特性有显著影响. 随着烧损和 SiO_2 质量分数的增加,同化温度呈现出逐渐降低的趋势,而随 TiO_2 质量分数的升高,其又呈现出明显上升的趋势;液相流动性随着 SiO_2 质量分数的降低而降低;黏结相强度随着烧损的增加呈降低趋势.

2) 含铬型钒钛磁铁矿的同化性能较好,烧结矿的 $\text{RDI}_{+3.15}$ 随着铁矿粉的同化温度升高而降低. 含铬型钒钛磁铁矿的黏结相强度较高,烧结矿的 $\text{RDI}_{+3.15}$ 随着铁矿粉的黏结相强度升高而升高.

3) 在配矿过程中为改善含铬型钒钛磁铁烧结矿的 $\text{RDI}_{+3.15}$,应重点考虑同化性温度,其次是黏结相强度,兼顾流动性指数和连晶固结强度等指标.

参考文献:

[1] 吴胜利,刘宇,杜建新,等. 铁矿石的烧结基础性能之新概念[J]. 北京科技大学学报,2002,24(3):254-257.
(Wu Sheng-li, Liu Yu, Du Jian-xin, et al. New concept of iron ore sintering basic characteristics [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2002,24(3):254-257.)

[2] Wang W Z, Meng Q L, Yang C G. Experimental research on comprehensive recovery of iron and titanium from the vanadium-titanium magnetite ore [J]. Advanced Materials Research, 2013,641/642:381-384.

[3] Wu S L, Zhang G L, Chen S G, et al. Influencing factors of assimilation characteristic of iron ores in sintering process[J]. ISIJ International,2014,54(3):582-588.

[4] Francik P, Jan M. Ability for self-pelletization of iron ores and magnetite concentrates [J]. Journal of Iron and Steel Research, International,2011,18(6):1-7.