



钒渣和石灰石同步混磨对 钙化提钒效果的影响

蒋霖, 伍珍秀, 高官金

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

摘要: 采用轮碾机对钒渣和石灰石粉实施同步混磨, 得到混磨混合料, 并与搅拌混合的普通混合料相比较, 考察两种混合料的粒度分布、粉末形貌及混匀度, 分析焙烧温度和钙钒比对不同预处理混合料焙烧转化率的差异, 研究混磨预处理对熟料酸浸过程初始pH值、酸耗及浸出时间的影响。结果表明: 在相同的钙钒比下, 混磨预处理能显著提高混合料的焙烧转化率; 钙钒比为0.6时, 混磨后的混合料在870℃下焙烧转化率比普通混合料高约2%; 在同一转化率水平下, 采用混磨预处理可降低石灰石用量, 钙钒比为0.4的混磨混合料在870℃下的焙烧转化率为90.18%, 与钙钒比为0.6的常规混合料焙烧转化率(90.76%)相当; 在酸浸过程中, 混磨混合料经焙烧所得熟料浸出初始pH值较常规熟料低, 耗酸量减少约13%, 且可缩短浸出时间。混磨预处理可以降低生产成本、提高生产效率, 具有一定的应用前景。

关键词: 混磨; 钙化提钒; 转化率

文章编号: 1004-0609(2022)-12-3804-07

中图分类号: TG841.3

文献标志码: A

引文格式: 蒋霖, 伍珍秀, 高官金. 钒渣和石灰石同步混磨对钙化提钒效果的影响[J]. 中国有色金属学报, 2022, 32(12): 3804–3810. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2022-39764

JIANG Lin, WU Zhen-xiu, GAO Guan-jin. Effect of simultaneous grinding of vanadium slag and limestone on vanadium extraction by calcification[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2022, 32(12): 3804–3810. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2022-39764

钒作为一种稀有金属, 广泛运用于钢铁、航空航天、石油化工等行业, 是发展现代工业、现代国防和现代科学技术不可缺少的重要战略资源^[1-4]。全世界90%以上的钒资源来自于钒钛磁铁矿^[5-6], 钒钛磁铁矿再经高炉等工序冶炼得到提钒的主要原料, 即钒渣(V_2O_5 含量10%~18%)。

自钒渣中提取氧化钒的主要方法有钠化提钒、钙化提钒和亚熔盐工艺等^[7-10], 其中钠化提钒工艺是比较成熟的产业化技术, 但存在焙烧过程中钠盐分解的有害气体(如 Cl_2 、 HCl 和 SO_2 等)污染环境、低熔点钠盐使物料黏结等问题。相比于钠化提钒,

钙化提钒可以实现绿色清洁的提钒目标, 具有以下优势: 1) 解决了钠盐焙烧过程中的废气污染问题, 且在焙烧过程中对矿石中的硫具有较好的固硫作用; 2) 提钒尾渣中不含钠, 可返回高炉, 综合利用率; 3) 沉钒废水可返回浸出工序, 实现循环利用, 水循环利用率可达90%以上^[11-12]。钙化提钒工艺已在攀钢实现产业化生产, 并逐步成为钒渣提钒主流工艺。

在钒渣钙化提钒工艺中, 钒渣和石灰石作为提钒的主要原料, 在焙烧之前需要进行原料破碎和混合操作, 混合料的质量直接影响到焙烧的转化效率

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2015BAB19B02)

收稿日期: 2020-09-28; 修订日期: 2021-11-20

通信作者: 蒋霖, 研究员, 硕士; 电话: 15181293050; E-mail: pzhl@126.com.

果。与钒渣相比, 石灰石粉的密度较小, 具有吸附性强、易团聚等特点^[13-14]。在现有的产业应用中, 原料的混合多采用干式搅拌混合工艺, 得到的混合料均匀性较差, 存在石灰石结块现象, 不均匀的混料降低了石灰石的利用率, 并且影响焙烧转化率。因此, 解决石灰石的结块问题并改善混合料的均匀度, 对于提升钒渣钙化焙烧转化率具有重要意义。

焙烧物料预处理的方式, 主要有机械活化^[6, 15]和球团化^[16-17]两种。前者可以增大含钒物料的比表面积, 增强矿物的反应活性, 后者通过改变物料焙烧时的形态, 避免焙烧过程的物料黏结, 对于转化率的提升均起到了一定作用。常规的机械活化多采用球磨机对钒渣进行活化预处理, 活化钒渣与添加剂的混料操作仍采用常规搅拌, 混合料的均匀程度并未得到有效改善, 故对于提钒效果的强化作用有限。基于以上问题, 本研究以钒渣精粉和石灰石粉为原料, 采用轮碾机实施同步混磨, 提升混合料的混匀度, 增强钒渣和石灰石的反应活性, 提高焙烧转化率, 取得了良好效果, 对于生产实际具有一定的指导作用。

1 实验

1.1 试验原料

本试验所用的钒渣和石灰石粉均取自于攀西地区某钒厂, 钒渣的化学成分分析见表 1, 石灰石粉中 CaO 含量(质量分数)为 54.27%。

表 1 试验钒渣的主要成分

Table 1 Main composition of vanadium slag (mass fraction, %)

V	Cr	SiO ₂	CaO	TFe	P	TiO ₂	MnO
10.86	0.92	14.58	2.04	33.36	0.05	11.65	6.84

图 1 所示为试验用钒渣粉和石灰石粉的马尔文激光粒度仪粒度分级结果。钒渣粉-75 μm 的颗粒质量占比大于 90%, 细颗粒组分较多; 石灰石粉-380 μm 的颗粒质量占比大于 90%, 存在少许结块。

1.2 试验方法

1) 混料: 称取一定质量的钒渣置于轮碾机中, 然后按设定的混合料钙钒比($m(\text{CaO})/m(\text{V}_2\text{O}_5)$)加入

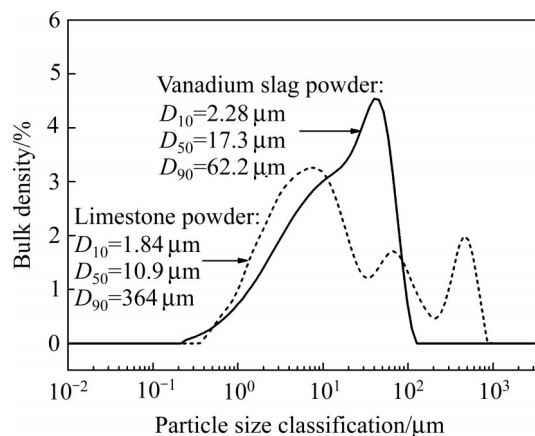


图 1 原料的粒度分级结果

Fig. 1 Classification results of raw material sizes

称量好的石灰石粉, 设置好混磨时间, 启动轮碾机, 得到混磨后的混合料; 取同等质量的钒渣和石灰石粉在强制式混凝土搅拌机中搅拌混合, 混合时间与混磨时间相同, 得到常规混合料。对比混磨及搅拌混合两种方式得到的混合料粒度差异, 采用扫描电镜观察粉末形貌, 并取不同区域混合料样品进行成分分析以考察混匀度。

2) 焙烧: 将称量好的混合料于 300~350 °C 入炉, 炉内通入空气气氛, 再升至高温段温度, 保温 120 min, 然后降温至 600~650 °C 出炉空冷, 熟料破碎后分析钒含量(质量分数)。

3) 转化率分析: 称取熟料 20 g, 液固比(mL/g)采用 25:1, 在 50 °C 下水浴保温并搅拌, 使用 50% (体积分数)H₂SO₄ 酸浸, 在 pH 值约为 2.8 的条件下浸出 60 min; 浸出完毕后过滤, 并用 50 °C 热水洗涤残渣 3 次(洗涤液固比 0.6:1), 残渣烘干后称量质量并分析钒含量, 计算转化率, 用以表征焙烧效果。

$$\eta = \frac{m_1 \times w_1 - m_2 \times w_2}{m_1 \times w_1} \times 100\%$$

式中: η 为转化率, %; m_1 为熟料质量, g; m_2 为残渣质量, g; w_1 为熟料钒含量, %; w_2 为残渣钒含量, %。

2 结果与讨论

2.1 混合料粒度分析

混磨预处理兼顾物料混合及破碎功能, 可以起到进一步细化物料并改善粒度分布的作用。图 2 所

示分别为搅拌混合、混磨 10 min 及 20 min 条件下所得混合料的粒度分级结果。由图 2 可以看出, 常规混合料中 $D_{10}=5.77\ \mu\text{m}$ 、 $D_{50}=28.6\ \mu\text{m}$, 而混合之前 (见图 1) 钒渣粉中 $D_{10}=2.28\ \mu\text{m}$ 、 $D_{50}=17.3\ \mu\text{m}$, 石灰石粉中 $D_{10}=1.84\ \mu\text{m}$ 、 $D_{50}=10.9\ \mu\text{m}$, 说明在搅拌混合过程中可能出现了石灰石粉的团聚现象, 部分颗粒变大。相比之下, 混磨混合料颗粒较细、粒度分级较为集中, 混磨 10 min 及 20 min 的混合料粒度分级差异较小, $-75\ \mu\text{m}$ 的颗粒质量占比均能达到 90% 以上。充足的混磨时间是粉体物料混合均匀的保证, 但时间太长, 可能会出现偏析、过磨等现象^[18], 且混磨时间过长, 会因对辊及物料温度升高而出现黏壁等现象, 最后导致出料困难, 混磨时间以 10 min 为宜。

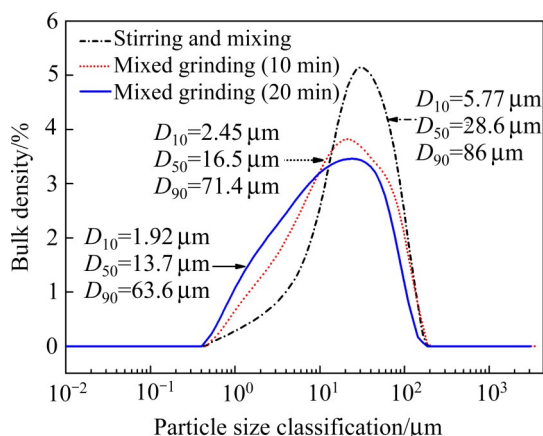


图2 混合料粒度分级结果

Fig. 2 Size-grading results of mixture

2.2 粉末形貌及混匀度

为进一步表征混磨预处理对混合料质量的改善效果, 在扫描电镜下观察了两种混料方式获得的混合料粉末形貌。在相同取样条件下, 两种混合料粉末形貌的 SEM 像如图 3 所示。

由图 3 中可以看出, 两种混料方式获得的混合料的形貌具有比较明显的差异。由图 3(a) 可见, 搅拌混合获得的混合料中可明显分辨出钒渣颗粒(颗粒 1)和石灰石颗粒(颗粒 2), 二者分散度高, 搅拌混合对原来的粒度组成没有太大改变, 形貌中棱角较为分明。由图 3(b) 可见, 混磨后的混合料中钒渣和石灰石区分不明显, 二者形成结合型黏附, 钒渣颗粒表面吸附石灰石细粉, 石灰石颗粒又被钒渣细粉包裹; 在混磨过程中, 物料受到了再一次的研磨

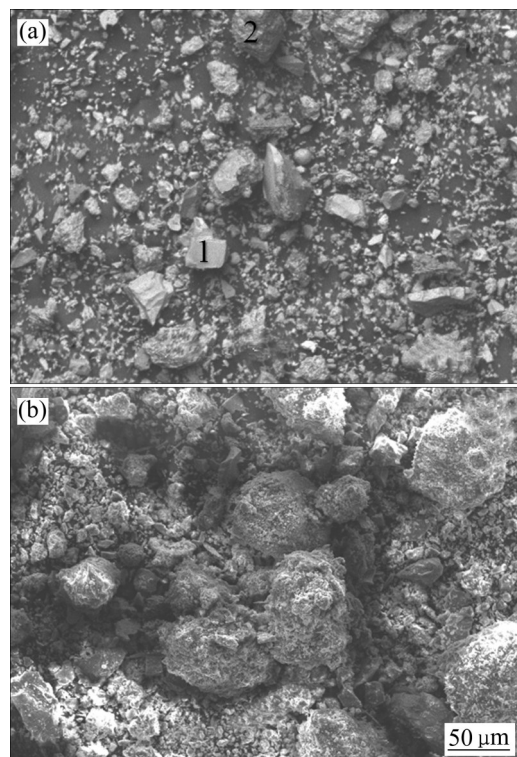


图3 两种混合料粉末形貌的 SEM 像

Fig. 3 SEM images of powder morphologies of two kinds of mixtures: (a) Stirring and mixing; (b) Mixed grinding

破碎, 石灰石粉的团聚现象被消除, 获得的混合料具有更好的质量。

图 4 所示为两种混料方式下得到的混合料的钙钒比抽样分析结果。由图 4 可以看出, 搅拌混合混合料的钙钒比为 0.60~0.66, 均值为 0.62; 混磨混合料的钙钒比为 0.59~0.62, 均值为 0.61, 差异相对更小, 混匀度更好。

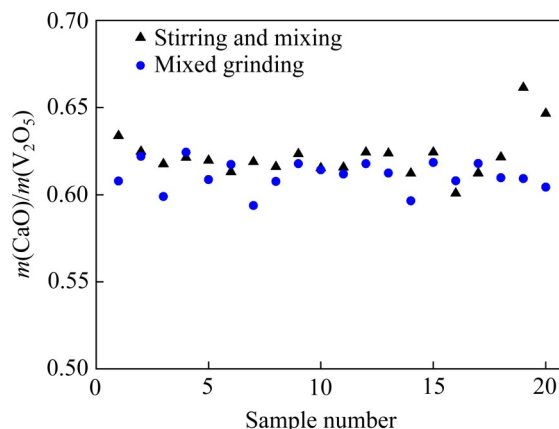


图4 两种混合料的钙钒比抽样分析结果

Fig. 4 Sampling analysis results of $m(\text{CaO})/m(\text{V}_2\text{O}_5)$ values of two kinds of mixtures

2.3 熟料转化率

固定混合料的钙钒比为0.6,分别采用搅拌混合和同步混磨两种方式得到不同混合料,设定同一焙烧温度制度,考察在不同高温段温度下焙烧的两种熟料的转化率差异,结果如图5所示。

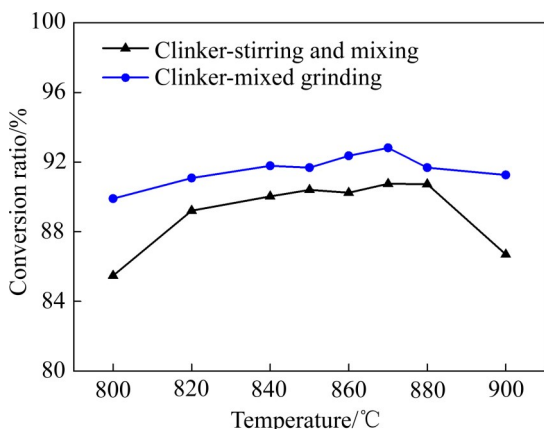


图5 不同温度下熟料转化率

Fig. 5 Conversion ratios of clinkers at different roasting temperatures

从图5可以看出,在800~900 °C范围内,熟料转化率随焙烧温度的提高呈先升高后降低的趋势,并在870 °C下达到最高值;此时,混磨混合料焙烧转化率为92.81%,常规混合料焙烧转化率为90.76%。相比于常规混合料,同一温度下混磨混合料的焙烧效果更好,在设定温度区间转化率受温度影响较小,均在90%以上。适宜的焙烧温度有利于加快钒渣氧化速率,但温度过高时钒渣中的钒可发生二次反应生成难溶性钒酸盐,尤其是玻璃相的溶解会将部分钒裹入其中,这些钒不易被溶出^[19-20]。此外,温度过高时易发生烧结现象,导致钒渣的透气性下降,阻碍了氧的扩散,不利于低价钒的转化。

混合料钙钒比是影响熟料转化率的又一个重要因素,设计不同钙钒比的混合料,固定焙烧温度870 °C,考察两种预处理方式下不同钙钒比混合料的熟料转化率差异,结果如图6所示。由图6可以看出,随着混合料的钙钒比由0.3增加至0.9时,熟料中钒转化率先是逐步升高,并在钙钒比为0.6时达到最高值,继续增加钙钒比,转化率开始下降,在钙钒比达到0.7以后大幅度下降。过大的钙钒比不仅会生成溶解性较差的正钒酸钙($\text{Ca}_3\text{V}_2\text{O}_8$),而且会大大增加硫酸钙的生成量,导致钒浸出率降低。

混磨混合料的钙钒比为0.4时,其焙烧转化率(90.18%)与常规混合料在钙钒比为0.6时的焙烧转化率(90.76%)相当。这是由于原料经混磨预处理后,钒渣和石灰石的接触面积大大增加,提高了石灰石的利用率,有利于钒酸钙的生成,从而降低石灰石用量。在钙钒比为0.7以后,混磨混合料的焙烧转化率下降程度更大,这也是实际参与反应的石灰石量更大所致。

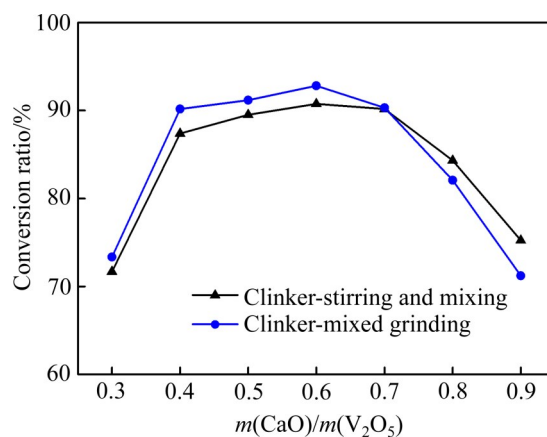


图6 不同钙钒比下熟料转化率

Fig. 6 Conversion ratios of clinkers at different $m(\text{CaO})/m(\text{V}_2\text{O}_5)$ values

2.4 酸浸过程

相比于搅拌混合,混磨预处理可以进一步细化石灰石颗粒,改善混匀度,提高石灰石的利用率,焙烧熟料表观上不见石灰石白色颗粒。在钙钒比为0.6、焙烧温度870 °C时,两种混合料焙烧后熟料的XRD谱如图7所示。

由图7可以看出,混磨混合料经过焙烧后的熟

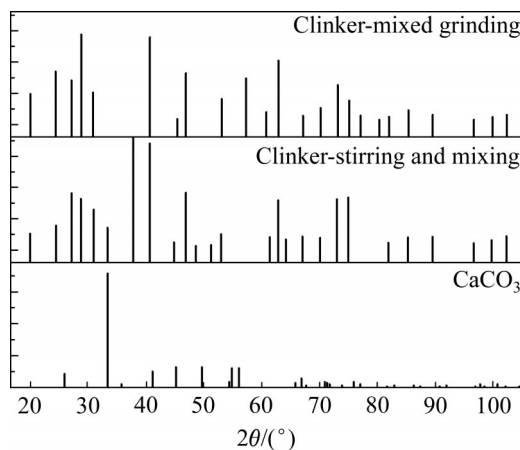


图7 两种熟料的XRD谱

Fig. 7 XRD patterns of two kinds of clinkers

料中石灰石主衍射峰消失,说明石灰石参与反应程度较高,游离的石灰石含量较少,这对于熟料酸浸过程具有积极影响。

图8所示为钙钒比为0.6时不同温度下焙烧熟料在酸浸过程中的初始pH值及酸耗量。由图8可以看出,在相同钙钒比下,随焙烧温度的升高,浸出初始pH值总体呈下降趋势,酸耗量也逐步降低;相比之下,混磨混合料焙烧所得熟料在酸浸时的初始pH值更低、下降幅度更大,酸耗也更小。以870℃时为例,常规混合料及混磨混合料焙烧所得熟料在酸浸时的初始pH值分别为11.55、10.90,后者酸耗比前者节省约13%。在900℃时,两者初始pH值及酸耗下降幅度均较大,这可能是由于产生了高温烧结现象,导致耗酸物质减少的缘故。

对钙钒比为0.6、焙烧温度为870℃时所得两种熟料进行酸浸试验,尾渣中钒含量随浸出时间的变化曲线如图9所示。由图9可以看出,随着浸出

时间的延长,尾渣中钒含量不断降低,混磨混合料焙烧所得熟料在酸浸40 min后,残渣中钒含量开始趋于稳定;而对于常规混合料来说,则需要60 min才能达到最好浸出效果。原料经混磨预处理后,其熟料在酸浸过程中可以缩短酸浸时间,提高生产效率。

3 结论

1) 相比于搅拌混合工艺,混磨预处理可以得到更好的混料效果,混合料粒度分布更为集中,混匀度更好。

2) 对于钒渣钙化提钒工艺,采用钒渣与石灰石粉混磨方式,同一钙钒比下,可以获得更好的熟料转化效果;同一焙烧温度下,实现同水平转化率时可以降低钙钒比,提高石灰石利用率;在焙烧温度为870℃、钙钒比为0.4时,熟料转化率可达90.18%。

3) 相比于常规混合料所制得的熟料,混磨混合料所制得的熟料在酸浸过程中,其初始pH值更低,整个浸出过程可以节约酸耗约13%,同时缩短浸出时间,提高生产效率。

REFERENCES

- [1] 廖世明, 柏谈论. 国外钒冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985: 61-79.
LIAO Shi-ming, BAI Tan-lun. Foreign vanadium metallurgy[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1985: 61-79.
- [2] 杨绍利. 钒钛材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 11-25.
YANG Shao-li. Vanadium and titanium materials[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007: 11-25.
- [3] 常福增, 赵备备, 李兰杰, 等. 钒钛磁铁矿提钒技术研究现状与展望[J]. 钢铁钒钛, 2018, 39(5): 71-78.
CHANG Fu-zeng, ZHAO Bei-bei, LI Lan-jie, et al. Research status and prospect of vanadium extraction from vanadium titano-magnetite[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2018, 39(5): 71-78.
- [4] 任学佑. 稀有金属钒的应用现状及市场前景[J]. 稀有金属, 2003, 27(6): 809-812.
REN Xue-you. Application status and market prospects of

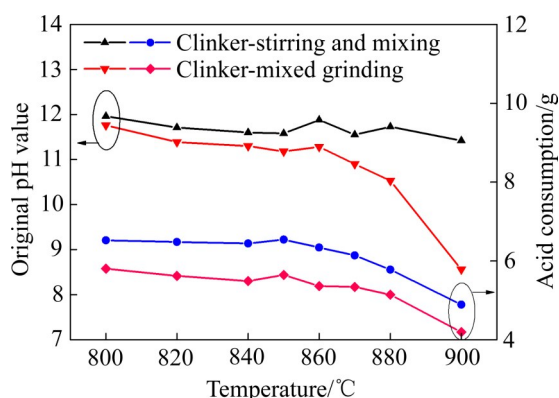


图8 酸浸初始pH值及酸耗差异

Fig. 8 Difference of original pH value and acid consumption during acid leaching

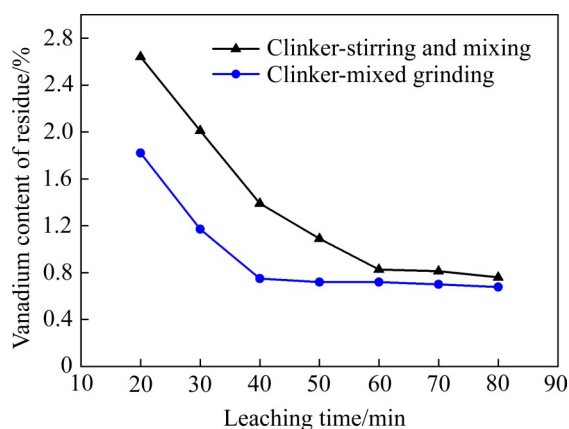


图9 浸出时间对浸出效果的影响

Fig. 9 Influence of leaching time on leaching effect

- rare metal vanadium[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2003, 27(6): 809–812.
- [5] 李兰杰, 陈东辉, 白瑞国, 等. 含钒炉渣碱法水热过程提取钒机理[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(5): 1365–1374.
- LI Lan-jie, CHEN Dong-hui, BAI Rui-guo, et al. Mechanism of vanadium extraction from vanadium-bearing slags using alkaline hydrothermal process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2014, 24(5): 1365–1374.
- [6] 向俊一. 转炉钒渣钙化提钒工艺优化及提钒尾渣综合利用基础研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018: 1–16.
- XIANG Jun-yi. Fundamental study on the optimization of vanadium extraction from LD converter slag by calcification based process and the comprehensive utilization of tailings[D]. Chongqing: Chongqing University, 2018: 1–16.
- [7] 何文艺, 彭毅, 申彪, 等. 钙化提钒清洁生产技术及产业化[C]//中国科协第350次青年科学家论坛——绿色高性能钢铁材料的关键技术摘要集. 马鞍山: 中国金属学会, 2018: 33.
- HE Wen-yi, PENG Yi, SHEN Biao, et al. Clean production technology and industrialization of vanadium extraction by calcification[C]//Summaries of Key Technologies of Green High Performance Steel Materials in the 350th Young Scientists Forum of China Association for Science and Technology. Maanshan: The Chinese Society for Metals, 2018: 31–31.
- [8] 张国权. 无焙烧加压浸出转炉钒渣提钒的基础研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2017: 11–19.
- ZHANG Guo-quan. Extraction of vanadium from converter vanadium slag by high pressure acid leaching without roasting[D]. Shenyang: Northeastern University, 2017: 11–19.
- [9] 闫红, 王少娜, 杜浩, 等. 钒酸钙碳化铵化生产钒氧化物的反应规律[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(9): 2023–2031.
- YAN Hong, WANG Shao-na, DU Hao, et al. Reaction rules of carbonization-ammonium process producing vanadium oxide[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2016, 26(9): 2023–2031.
- [10] WANG Zhong-hang, ZHENG Shi-li, WANG Shao-na, et al. Research and prospect on extraction of vanadium from vanadium slag by liquid oxidation technologies[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(5): 1273–1288.
- [11] 付念新, 张林, 刘武汉, 等. 钒渣钙化焙烧相变过程的机理分析[J]. 中国有色金属学报, 2018, 28(2): 377–386.
- FU Nian-xin, ZHANG Lin, LIU Wu-han, et al. Mechanism analysis of phase transformation process in calcified roasting of vanadium slags[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2018, 28(2): 377–386.
- [12] SONG Wen-cheng, LI Hong, ZHU Fu-xing, et al. Extraction of vanadium from molten vanadium bearing slag by oxidation with pure oxygen in the presence of CaO[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(8): 2687–2694.
- [13] 赵博. 钒渣钙化焙烧机理的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014: 33–43.
- ZHAO Bo. Research on calcification-roasting mechanism of vanadium slag[D]. Shenyang: Northeastern University, 2014: 33–43.
- [14] ZHANG Guo-quan, ZHANG Ting'an, LÜ Guo-zhi, et al. Extraction of vanadium from LD converter slag by pressure leaching process with titanium white waste acid[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2015, 44(8): 1894–1898.
- [15] 黄青云, 向俊一, 裴贵尚, 等. 机械活化强化钒渣钙化提钒工艺[J]. 中国有色金属学报, 2020, 30(4): 858–865.
- HUANG Qing-yun, XIANG Jun-yi, PEI Gui-shang, et al. Mechanical activation on extraction of vanadium from vanadium slag by calcification roasting-acid leaching process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2020, 30(4): 858–865.
- [16] 殷兆迁, 李千文, 付自碧, 等. 钒渣钠化球团化焙烧技术研究[J]. 钢铁钒钛, 2016, 37(1): 12–15, 20.
- YIN Zhao-qian, LI Qian-wen, FU Zi-bi, et al. Technology research on sodium salt roasting of vanadium slag pellet[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2016, 37(1): 12–15, 20.
- [17] 郭继科. 球团化钒渣制备与固化技术研究[J]. 钢铁钒钛, 2019, 40(5): 1–7.
- GUO Ji-ke. Preparation and consolidation technology of vanadium slag pellets[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2019, 40(5): 1–7.
- [18] 欧阳鸿武, 何世文, 陈海林, 等. 粉体混合技术的研究进展[J]. 粉末冶金技术, 2004, 22(2): 104–108.
- OUYANG Hong-wu, HE Shi-wen, CHEN Hai-lin, et al. The evolution in powder mixing[J]. Powder Metallurgy Technology, 2004, 22(2): 104–108.
- [19] 刘勇, 刘牡丹, 刘珍珍, 等. 难处理钒矿高效利用技术研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2019(1): 37–41.
- LIU Yong, LIU Mu-dan, LIU Zhen-zhen, et al. Study on efficient utilization technology for refractory vanadium ore[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2019(1):

37-41.
[20] 闫小满. 高钙钒渣氧化焙烧-碳酸钠浸出提钒的研究[D].
重庆: 重庆大学, 2015: 25-28.

YAN Xiao-man. Extracting vanadium from vanadium slag
with high-calcium content by roasting and soda leaching[D].
Chongqing: Chongqing University, 2015: 25-28.

Effect of simultaneous grinding of vanadium slag and limestone on vanadium extraction by calcification

JIANG Lin, WU Zhen-xiu, GAO Guan-jin

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

Abstract: An experiment was designed to intensify the grinding and mixing of vanadium slag and limestone powder using a kind of wheel mill. The obtained material was compared with the ordinary mixture using agitation mixing method. The size distribution, powder morphology and mixing degree of two kinds of mixtures were investigated. The effects of calcination temperature and calcium vanadium ratio($m(\text{CaO})/m(\text{V}_2\text{O}_5)$) of the mixture on the roasting conversion were analyzed. The initial pH value, acid consumption and leaching time difference owing to agitation mixing during the leaching course were also studied. The results show that the mixed grinding pretreatment can significantly improve the roasting conversion of the mixture under the same calcium vanadium ratio. When the value of $m(\text{CaO})/m(\text{V}_2\text{O}_5)$ is 0.6, the calcination conversion of the mixture after mixed grinding at 870 °C is about 2% higher than that of the ordinary mixture. At the same conversion level, the amount of limestone can be reduced by using mixed grinding pretreatment. The calcination conversion of the mixed grinding mixture with $m(\text{CaO})/m(\text{V}_2\text{O}_5)$ of 0.4 at 870 °C is 90.18%, which is equivalent to 90.76% of the conventional mixture with $m(\text{CaO})/m(\text{V}_2\text{O}_5)$ of 0.6. During the acid leaching process, the initial pH value of the clinker obtained by roasting the mixed grinding mixture is lower than that of the conventional clinker, the acid consumption is reduced by about 13%, as well as the leaching time can be significantly shortened. The mixed grinding pretreatment can reduce the production cost and improve the production efficiency, which has a certain application prospect.

Key words: mixed grinding; vanadium extraction by calcination; immersion rate

Foundation item: Project(2015BAB19B02) supported by the National Science and Technology Support Program of China

Received date: 2020-09-28; **Accepted date:** 2021-11-20

Corresponding author: JIANG Lin; Tel: +86-15181293050; E-mail: pzhjl@126.com

(编辑 何学锋)