

钒钛分离与提取

钒钛磁铁矿高效综合利用新工艺研究

谢志诚¹ 胡兵^{2,3} 胡佩伟^{1,4}

(1. 武汉科技大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081; 2. 中冶长天国际工程有限责任公司, 湖南 长沙 410205; 3. 国家烧结球团装备系统工程技术研究中心, 湖南 长沙 410205; 4. 冶金矿产资源高效利用与造块湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430081)

摘要: 为实现钒钛磁铁矿低温还原、铁粉高值化利用及富钒钛料清洁利用, 提出了磨选除杂—矿、煤、钠盐混合—直接还原—磨选—二次还原铁粉—钠法提钒的新工艺。结果表明, 对钒钛磁铁矿进行磨选处理, 能够有效去除杂质, 为后续生产优质铁粉和高效提钒打下基础。钠盐的加入可以大幅降低直接还原温度, 改善还原效果。一次还原铁粉经磨选—二次还原, 得到品位为 98.72% 的二次还原铁粉, 其化学成分和工艺性能全面达到行业一级铁粉标准; 富钒钛料经钠化氧化焙烧—水浸—酸性铵盐沉钒—煅烧脱氨可获得纯度 98.12% 的 V_2O_5 产品, 浸出渣经稀硫酸浸出可获得 TiO_2 品位 49.61% 的富钛料。在所选条件下, 从磨选除杂后的钒钛磁铁矿精矿到二次还原铁粉、 V_2O_5 产品和富钛料的铁、钒、钛的总回收率分别为 90.75%、82.71%、89.63%。

关键词: 钒钛磁铁矿; 直接还原; 磨选; 综合利用

中图分类号: TF55 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2020)05-0014-08

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2020.05.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Research on New Technology of High-efficiency Comprehensive Utilization of Vanadium-titanium Magnetite

Xie Zhicheng¹, Hu Bing^{2,3}, Hu Peiwei^{1,4}

(1. College of Resources and Environment Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China; 2. Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China; 3. National Engineering Research Center of Sintering and Pelletizing Equipment System, Changsha 410205, Hunan, China; 4. Hubei Key Laboratory for Efficient Utilization and Agglomeration of Metallurgical mineral Resources, Wuhan 430081, Hubei, China)

Abstract: In order to achieve low-temperature reduction of vanadium-titanium magnetite, high-value utilization of iron powder, and clean utilization of vanadium-rich titanium materials, a new process which includes grinding and removal of impurities, ore-coal-sodium salt mixed to make agglomerates, direct reduction-grinding, secondary reduction of iron powder, sodium roasting to extract vanadium for efficient and comprehensive utilization of vanadium-titanium magnetite was proposed. The results show that the grinding treatment of vanadium-titanium magnetite concentrate can effectively remove impurities, laying the foundation for the subsequent production of high-quality iron powder and efficient vanadium extraction. The addition of sodium salt can greatly reduce the direct reduction temperature and improve the reduction effect. After grinding and selecting the primary reduced iron powder and secondary reduction, the reduced iron with 98.72% grade can be obtained, and its chemical compositions and process performances reach the industrial first-level iron powder standard. V_2O_5 with 98.12% of purity can be obtained from the vanadium-titanium enriched material by sodium oxidation roasting-water leaching-acid ammonium salt vanadium precipitation-calcination and deamination. A titanium-rich material with a TiO_2 grade of 49.61% can be obtained from the leaching residue through dilute sulfuric acid leaching. Under the selected conditions, the total recovery rates of Fe, V_2O_5 and TiO_2 from vanadium-titanium magnetite concentrates to secondary reduced iron powder, V_2O_5 products and titanium-rich materials are 90.75%, 82.71% and 89.63% respectively.

Key words: vanadium-titanium magnetite; direct reduction; grinding and magnetic separation; comprehensive utilization

收稿日期: 2020-08-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51304149); 湖北省教育厅科学技术研究项目(D20191106); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201810488021)。

作者简介: 谢志诚(1995—),男,硕士研究生,主要从事清洁冶炼减排技术的研究。通讯作者: 胡佩伟(1983—),男,博士,副教授,主要从事材料及环境矿物学、固废资源化利用的研究, E-mail: pwu@wust.edu.cn。

0 引言

钒钛磁铁矿是一种典型的铁、钒、钛多金属共生矿,是我国钒、钛资源的重要来源。目前,钒钛磁铁精矿最为成熟的利用方法为高炉法。攀钢集团利用高炉—转炉流程处理钒钛磁铁矿资源,从原矿到钢坯、片状五氧化二钒和钛白产品,仅能获得铁、钒、钛元素回收率分别为 60%、39% 和 10% 的指标^[1],该流程仅回收铁和钒,大部分钛进入高炉渣。由于含钛高炉渣熔点高, TiO₂ 品位低,经济回收性差,造成含钛高炉渣的大量堆积和浪费。此外高炉转炉流程长、能耗高,给钒钛磁铁矿的冶炼带来了诸多不利影响,从资源高效清洁利用的角度来看,高炉法不适合作为钒钛磁铁矿综合利用的发展方向。

近年来,采用非高炉工艺处理钒钛磁铁矿,实现铁钒钛有效分离成为研究热点^[2-3],其中,直接还原—磨选法具有流程短、能耗小,获得的还原铁粉品位高,金属化率高,同时铁钒钛分离较好的特点,具有很好的发展前景。其原理是在低于矿石融化温度下,利用铁钒钛氧化物还原性之间的差异选择性还原出铁,并使金属铁颗粒长大到一定粒度,通过磨矿磁选得到还原铁粉和富钒钛料。Chen 等^[4]对攀枝花某钒钛磁铁矿进行了直接还原—磨选试验,在 1 350 ℃ 下还原 60 min,铁、钒和钛的回收率分别为 91.19%、61.82% 和 85.31%。由于采用磁选分离,直接还原钒钛磁铁矿需要获得金属化率高的产品,其还原温度要比普通矿高很多,适量的添加剂能够有效地降低还原温度。Zhao 等^[5]在采用直接还原—磁选法处理某高铬钒钛磁铁矿时,添加 2.5% Na₂CO₃ 在 1 200 ℃ 的条件下还原 2 h,得到铁品位 94.57% 的还原铁粉,富钒钛料经过酸浸提钒,酸浸尾渣提取钛。在试验条件下,钒钛磁铁矿精矿到还原铁粉、富钛渣和含钒液的铁、钒和钛的总回收率分别为 88.3%、81.7% 和 93.7%。吕亚男^[6]通过添加硼砂降低还原温度,还原温度可降低至 1 050 ℃,磨选后得到铁品位 90.32% 的还原铁粉,铁回收率 95.20%,以及含 1.72% V₂O₅ 和 29.68% TiO₂ 的富钒钛料。高本恒等^[7]对印尼钒钛磁铁海砂矿进行直接还原时,使用助还原剂、烟煤和钒钛磁铁海砂矿混合配矿后,在还原温度 1 150 ℃ 条件下,磨选得到铁品位 91.06% 还原铁粉,回收率达 97.27%。前苏联对还原—磨选法进行过较为深入的研究,添加 15% 的氯化钠进行直接还原(还原温度为 1 050

℃),然后对还原产品进行磨矿—磁选,可以获得含铁 90% 以上的还原铁粉、TiO₂ 含量 75% 以上富钛料的小型试验结果,但未见有半工业或工业试验成功的报道^[8]。安登气^[9]以某低品位钒钛磁铁矿为原料,通过磨选得到钒钛磁铁精矿和粗钛精矿,再分别对两种原料进行直接还原—磨选以及钠法提钒,最终得到 TFe 品位 92.27% ~ 96.28% 的还原铁粉,98.80% 的 V₂O₅ 和 TiO₂ 品位 55.47% ~ 59.56% 的富钛料,整个工艺铁、钒、钛的回收率为 65.68%、53.94%、73.93%,大幅提高钒钛综合利用率。

目前研究中直接还原的还原温度在 1 050 ~ 1 350 ℃,但大多数还原温度偏高,还原铁粉中杂质多,铁品位不高,多为 90% 左右,钒钛回收率偏低,整体的利用率不高,同时大多研究停止于铁与钒钛的分离,对产物还原铁粉及富钒钛料的利用研究较少。针对该问题,笔者对钒钛磁铁矿进行杂质去除、直接还原—磨选工艺中低温还原、铁粉高值化利用、钒钛的清洁高效利用的全面研究,以期钒钛磁铁矿综合利用提供参考。

1 原料性能及试验方法

1.1 原料性能

试验所用矿样为某钢铁厂经初步选矿富集后的钒钛磁铁精矿,粒度为 -0.045 mm,约占 50%,其多元素分析结果见表 1,还原剂烟煤的工业分析见表 2,添加剂氯化钠为分析纯试剂。

表 1 钒钛磁铁精矿多元素分析结果
Table 1 Chemical compositions of vanadium-titanium magnetite concentrate %

TFe	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃
55.79	45.41	30.86	8.96	0.61	5.01	3.16
MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P	S
2.23	0.63	0.07	0.01	0.28	0.013	0.71

由表 1 可以看出,该钒钛磁铁精矿铁品位为 55.79%, TiO₂ 含量为 8.96%,属中钛型钒钛磁铁精矿, V₂O₅ 含量为 0.61%,具有提钒价值, (CaO + MgO) / (SiO₂ + Al₂O₃) = 0.35,该精矿属于酸性钒钛磁铁矿,此外还含有 0.71% 的 S 及少量的 P、Na、K 等有害杂质。

由表 2 可以看出,该烟煤固定碳含量为 72.21%,灰分质量分数为 8.47%,挥发分质量分数为 19.32%。该煤粉中固定碳含量较高,是一种良好的还原剂。

表2 烟煤成分分析
Table 2 Chemical compositions of bituminous coal %

固定碳	灰分	挥发分	全硫
72.21	8.47	19.32	0.26

1.2 试验方法

将钒钛磁铁精矿经锥形球磨机磨至粒度 $-0.045\text{ mm}>90\%$,使用筒式永磁强磁选机在一定的磁场强度下分离,得到铁品位较高的钒钛磁铁精矿。取100 g铁精矿与煤和钠盐按一定比例均匀压块后,进入马弗炉中还原,在设定温度下保温一定时间,在炉内冷却后取出,所得的直接还原矿

经破碎后,棒磨机磨至粒度 -0.045 mm 占95%左右,使用筒式永磁强磁选机经粗选、精选、扫选,可获得一次还原铁粉、富钒钛料和中矿。其中一次还原铁粉经棒磨机磨至粒度 -0.045 mm 占95%左右,使用筒式永磁强磁选机在一定的磁场强度下分离得到一次还原铁精粉,置于电热式回转窑内,于氢气流中进行二次还原,得到二次还原铁粉;富钒钛料加一定比例的碳酸钠,在马弗炉中钠化氧化焙烧,冷却后磨细水浸得到含钒液和浸出渣,含钒液经铵盐沉钒—煅烧工艺得到 V_2O_5 ,浸出渣经稀硫酸浸出得到富钛料。新工艺流程与传统流程对比,如图1所示。

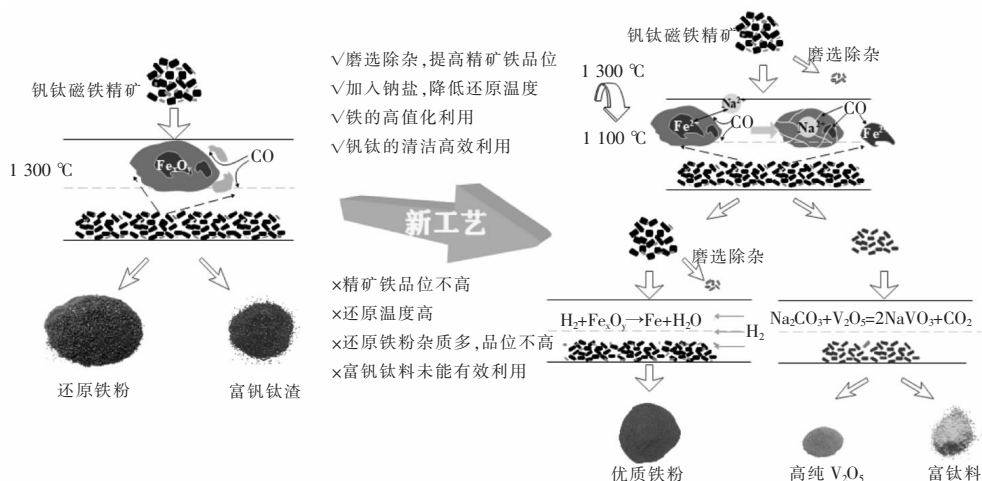


图1 钒钛磁铁矿高效综合利用新工艺

Fig. 1 New technology for efficient comprehensive utilization of vanadium-titanium magnetite

2 研究结果及讨论

2.1 钒钛磁铁精矿除杂

为提高钒钛磁铁精矿品位,将TFe55.79%钒钛磁铁精矿进行磨矿后磁选除杂,图2为磨矿时间对钒钛磁铁精矿除杂的影响规律,试验时,磨矿时间为变量,磁选的磁场强度为80 mT。

从图2可以看出,随着磨矿时间的增加,钒钛磁铁精矿的磨矿细度和TFe含量逐渐提高,由于15 min后磨矿细度足够高, -0.045 mm 占90%以上,继续增加磨矿时间其效果将不明显,因此磨矿时间选择15 min,此时钒钛磁铁精矿中TFe含量为60.12%,表3为60.12%钒钛磁铁精矿多元素分析结果。

通过对比表3和表1可以看出,磨选工艺的加入对钒钛磁铁精矿除杂具有显著效果,其有价值物质含量均有提升,TFe含量由55.79%提高至60.12%, V_2O_5

含量由0.61%提高至0.75%;杂质则明显降低, Al_2O_3 降低了0.95%、 SiO_2 降低了3.03%、 MgO 降低了0.52%,从而有利于提高后续产品的质量和产量。

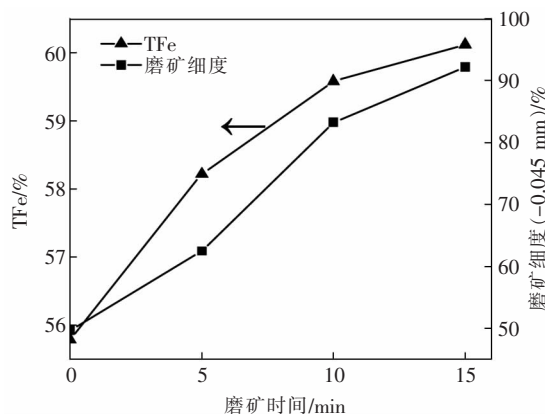


图2 磨矿时间对钒钛磁铁精矿除杂的影响规律

Fig. 2 Influence of grinding time on impurity removal of vanadium-titanium magnetite concentrate

表 3 TFe60.12% 钒钛磁铁矿多元素分析结果

Table 3 Chemical compositions of TFe60.12% vanadium titanium magnetite concentrate %

TFe	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃
60.12	50.74	31.63	7.98	0.75	1.98	2.21
MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P	S
1.71	0.61	0.07	0.01	0.27	0.01	0.61

2.2 低温还原磨选分离

2.2.1 还原温度试验

试验分析加入钠盐 NaCl 前后,还原温度对钒钛磁铁矿还原分离的影响,矿/煤/盐 = 100/18/15,还原温度为变量,保温时间 3 h,磨矿时间 20 min,磁场强度:粗选 50 mT、精选 40 mT、扫选 120 mT,结果如图 3 所示。

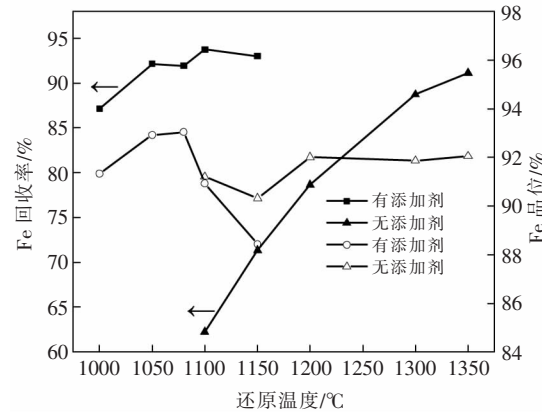


图 3 温度对钒钛磁铁矿还原的影响

Fig. 3 Effect of temperature on reduction of vanadium-titanium magnetite concentrate

由图 3 可以看出,钠盐的加入,能够显著降低还原温度。在有钠盐情况下,1 050 ℃左右的还原温度下即可达到 90% 的铁回收率;而无钠盐情况下,还原温度需要 1 300 ℃左右才能达到相同效果。加入钠盐在一定程度上降低了钒钛磁铁矿的直接还原难度,一方面是添加钠盐能够与 Al₂O₃ 和 SiO₂ 反应生成铝硅酸钠,避免 FeO 到 Fe 还原过程中铁橄榄石相的生成,此外 NaCl 熔点低,熔化后释放的 Na⁺ 可以与难还原矿物结构中的 Fe²⁺ 或 Ca²⁺ 换位^[10],引起矿物晶格点阵的畸变,使界面还原反应活化能降低^[11],从而改善 Fe 的还原;另一方面氯原子可显著降低煤与 CO₂ 气化反应的能垒,促进煤的气化反应,提高 CO 气体浓度,从而强化铁氧化物的还原^[12]。

此外一次还原铁粉的品位和回收率随着温度的

提高逐步上升,在有钠盐情况下,还原温度在 1 100 ℃时铁品位明显下降,可能与铁晶粒较粗,在固定磨矿条件下单体解离不好有关,还原温度以 1 050 ~ 1 080 ℃为宜。

2.2.2 烟煤用量试验

为了优化烟煤用量,对煤的不同配比进行了试验,试验时,矿/盐 = 100/15,煤用量为变量,还原温度 1 080 ℃,保温时间 3 h,磨矿时间 20 min,磁场强度:粗选 50 mT、精选 40 mT、扫选 120 mT,结果如图 4 所示。

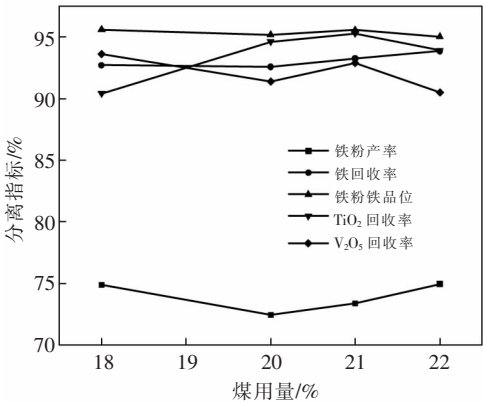


图 4 煤用量对钒钛磁铁矿还原分离的影响

Fig. 4 Effect of coal consumption on reduction and separation of vanadium-titanium magnetite concentrate

由图 4 可知,随着煤用量的增加,一次还原铁粉的产率变化不大,铁回收率、富钒钛料中的 TiO₂ 回收率均随之增加,但富钒钛料中 V₂O₅ 的回收率随之有所降低,当煤用量超过 21% 后,一次还原铁粉产率增加,铁品位保持稳定,但钒钛料中 V₂O₅、TiO₂ 回收率降低,可能是还原过程中煤用量增加,CO 浓度升高,致使钒氧化物也发生还原,部分钒钛进入铁粉。综合考虑一次还原铁粉中铁回收率和富钒钛料中钒钛回收率,煤用量为 21%。

2.2.3 磨矿时间试验

在焙烧产物进行磁选过程中,粒度的减小提高了金属铁颗粒的单体析出。磨矿是有效回收金属铁颗粒的关键,图 5 为磨矿时间对钒钛磁铁矿还原分离的影响规律,试验时,矿/煤/盐 = 100/21/15,还原温度 1 080 ℃,保温时间 3 h,磨矿时间为变量,磁场强度:粗选 50 mT、精选 40 mT、扫选 120 mT。

由图 5 可知,当磨矿时间由 20 min 延长到 40 min,其一次还原铁粉的产率及铁品位变化不大,但富钒钛料中钒、钛含量随着磨矿时间的延长而增加,延长磨矿时间有利于降低铁粉中 TiO₂ 的含量,当磨

矿时间为 40 min 时,一次还原铁粉中铁回收率降低,应为微细粒铁损失所致,合适的磨矿时间应控制在 30 min 为宜。

综合试验条件为:矿/煤/盐 = 100/21/15,还原温度 1 080 ℃,保温 3 h,磨矿 30 min,磁选强度为粗选 50 mT、精选 40 mT、扫选 120 mT,其结果见表 4。

由表 4 可知,将 TFe 品位为 60.12% 的钒钛铁精矿还原磨选后可以获得产率为 60.03% 的一次还原铁粉产品以及产率为 21.47% 的富钒钛料,其中一次还原铁粉 TFe 品位为 95.02%,回收率 94.88%,TiO₂ 和 V₂O₅ 分别为 0.42%、0.09%;富钒钛料中 TiO₂ 和 V₂O₅ 品位分别为 35.91%、3.23%,回收率分别为 96.62%、92.46%。

表 4 钒钛磁铁矿低温还原分离效果

Table 4 Low-temperature reduction and separation effect of vanadium-titanium magnetite

名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅
一次还原铁粉	60.03	95.02	0.42	0.09	94.88	3.16	7.20
富钒钛料	21.47	12.43	35.91	3.23	4.44	96.62	92.46

注:产率为一次还原铁粉、富钒钛料对 TFe60.12% 钒钛磁铁精矿的产率。

2.3 铁的高值化利用

2.3.1 一次还原铁粉再磨选

一次还原的铁粉铁品位为 95.02%,其中 TiO₂ 含量达 0.42%,会造成后续铁粉中的盐酸不溶物含量偏高,根据磨选时间对钒钛磁铁精矿还原分离的试验结果,延长磨选时间有利于降低 TiO₂ 的含量。因此,为制备优质铁粉,首先对一次还原铁粉进行时间 30 min,磁场强度 50 mT 的再磨选,得到一次还原铁精粉,其品位为 95.43%,回收率为 95.65%,TiO₂ 含量由 0.42% 降至 0.23%。

2.3.2 二次还原

将一次还原铁精粉于还原炉中进行还原时间试验,还原介质为氢气。由图 6 可知,随着还原温度的提高和时间的延长,其铁品位相对有所上升,在还原温度为 800 ℃,还原时间为 60 min 时,铁粉铁品位最高,取该条件下的样品进行检测,其铁品位为 98.72%,金属化率 99.58%,化学成分及工艺性能见表 5。

一次还原铁粉经磨选—二次还原后,得到的二次还原铁粉中 TFe 为 98.72%,其中 Si、S、Mn、P、酸不溶物杂质均很低,通过对比还原铁粉行业标准 YB/T 5308—2011,其化学成分和工艺性能均能达到大多数牌号的一级铁粉要求,同时还含有 V、Ti、Co、Ni 等有益元素,具有较高的价值。此外根据检测,其粒度分

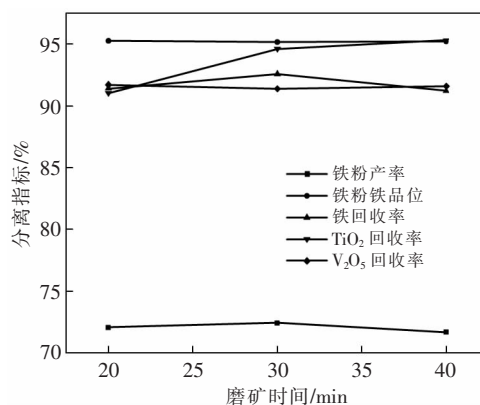


图 5 磨选时间对钒钛磁铁精矿还原分离的影响

Fig. 5 Effect of grinding time on reduction and separation of vanadium-titanium magnetite concentrate

布为: +0.074 mm 29.82%, -0.074 ~ +0.045 mm 占 33.36%, -0.045 mm 占 36.82%,铁粉粒度可控,可以根据市场需求调节铁粉粒度,对生产成本并不会增加,适合生产粒度较细的铁粉。

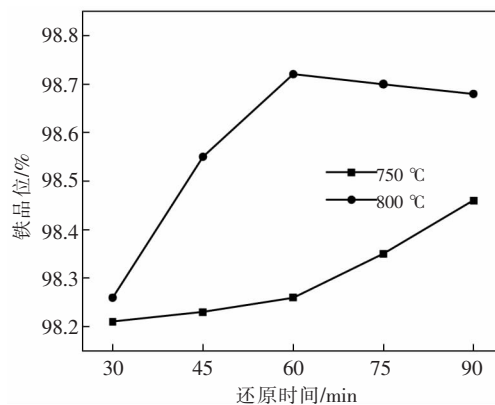


图 6 一次还原铁粉二次还原试验

Fig. 6 Secondary reduction test for primary reduction iron powder

2.4 钒钛的清洁高效利用

2.4.1 钒的利用

钒的回收采用传统的钠化氧化焙烧—水浸法,由图 7 可知,在 1 050 ~ 1 200 ℃ 的范围内,钒浸出率以 1 150 ℃ 为最佳,1 200 ℃ 出现烧结现象,导致钒

浸出率有所回降; 焙烧时间以 2 h 最佳; Na_2CO_3 用量在 16% ~ 20% 范围内提升显著, 在 20% ~ 22% 范围内提升缓慢, Na_2CO_3 用量为 20% 即可达到较理想的钒浸出率。在最佳工艺条件: 富钒钛料/ Na_2CO_3 = 100/20, 150 ℃ 焙烧时间 2 h, 液固比为 5, 100 ℃ 浸出 1 h 下, 得到含钒液中钒浓度为 5.06 g/L, 回收率为 91.27%; 浸出渣中 TiO_2 含量为 35.45%, 回收率为 93.78%。

表 5 二次还原铁粉化学成分及工艺性能
Table 5 Chemical compositions and process performances of secondary reduced iron powder

名称	化学成分 / %							工艺性能		
	TFe	Mn	Si	C	S	P	酸不溶物	松装密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	流动性 (50 g) / s	压缩性 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
一级铁粉标准	≥98.5	≤0.35	≤0.10	≤0.05	≤0.02	≤0.02	≤0.30	2.60 ~ 2.80	≤30	≥6.70
二次还原铁粉	98.72	0.003	0.09	0.023	0.02	0.013	0.28	2.63	30	6.87

注: 一级铁粉标准来源于 YB/T 5308—2011 中牌号为 FHY-100·270 铁粉的 I 级要求。

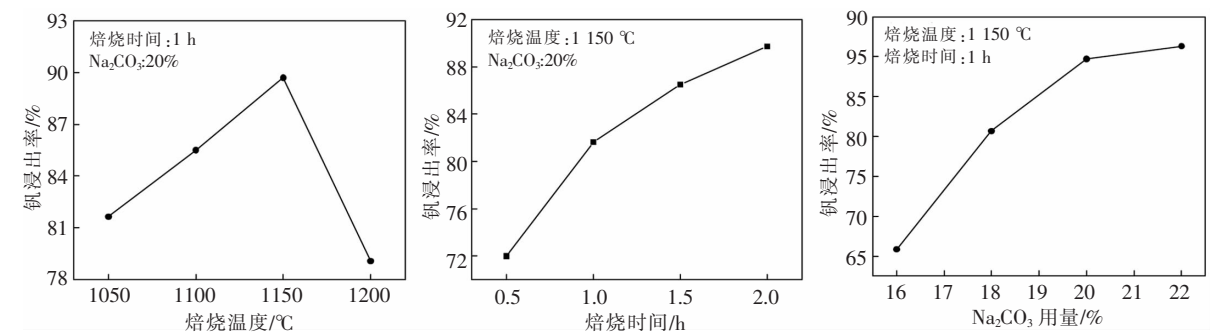


图 7 富钒钛料钠化焙烧提钒影响因素试验

Fig. 7 Factors affecting vanadium extraction from vanadium-rich titanium material by sodium roasting

含钒液浓缩至 15 g/L 后, 调节 pH=2.2, 加入晶种及硫酸铵 ($\text{NH}_3/\text{V}=0.3$), 在 100 ℃ 水浴中加热 30 min, 得到沉淀经水洗过滤后干燥煅烧得到 98.12% V_2O_5 产品, 相对 TFe60.12% 钒钛磁铁矿回收率为 82.71%, 其化学成分见表 6。

表 6 V_2O_5 产品化学成分分析
Table 6 Chemical compositions of V_2O_5 product %

V_2O_5	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	S
98.12	0.03	0.48	0.04	0.02	0.09

通过对比国家标准五氧化二钒 GB3283—1987, 该 V_2O_5 符合牌号为 V_2O_597 的化工用产品标准。若 S 含量降低至 0.03 后, 则可符合牌号为 V_2O_598 的冶金用产品标准。

沉钒废液经阴离子交换树脂处理后, 得到上清液可返回沉钒作业, 以提高 V_2O_5 回收率, 废液加入石灰中和处理后可达排放标准。

2.4.2 钛的利用

浸钒渣用 15% 稀硫酸进行浸出, 其固定条件为: 固

液比 1/6, 浸出温度 80 ℃, 浸出时间 60 min, 得到富钛料, 其中 TiO_2 品位由 35.45% 提高到 49.61%, 相对 TFe60.12% 钒钛磁铁矿回收率为 89.63%, 对其进行酸性溶解性试验, 其酸解率为 78% 左右。浸钒渣经稀硫酸浸出后 TiO_2 品位虽可以达到 49% 以上, 但由于酸溶性不高, 可以考虑将浸钒渣直接配入一定量的钛精矿或钒钛磁铁矿制成高钛冷固球团供高炉护炉使用。

3 新工艺流程

新工艺的流程如图 8 所示, 图 8 中还列出了新工艺中主要元素的回收率。该工艺具有以下优点: ①综合利用率, Fe、V、Ti 的总回收率分别为 90.75%、82.71%、89.63%, 且整个过程基本无固体废料产生; ②产品质量高, 铁粉可满足行业大多数牌号一级铁粉标准, V_2O_5 满足化工用产品国家标准; ③清洁环保, 磁选水可循环使用, 到一定浓度时处理, 还可回收钠盐, 浸出液经离子交换处理后加入石灰能达到排放标准, 提钒时钠化剂采用 Na_2CO_3 , 无大气污染问题。综上所述该工艺具有较好的应用前景。此外, 如何有效利用富钛料, 获得附加值高的产品, 值得进一步的研究。

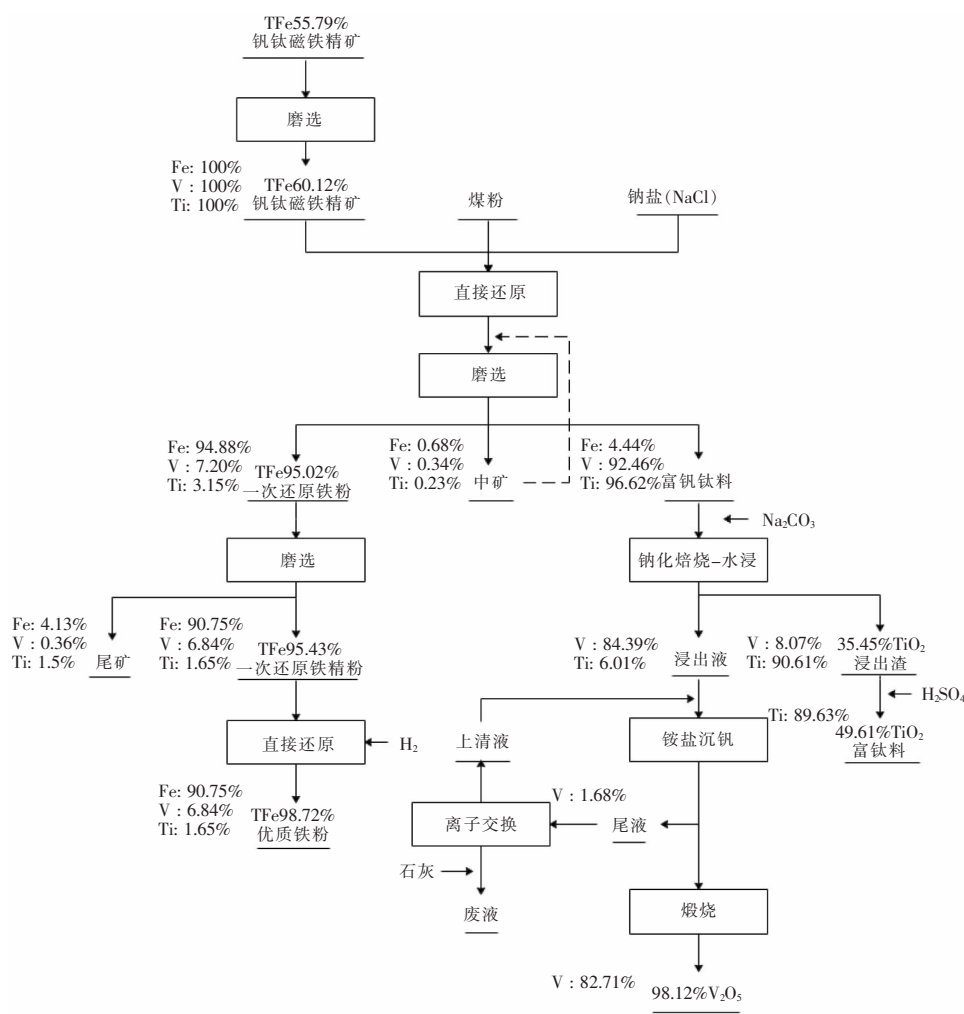


图 8 钒钛磁铁矿高效综合利用新工艺流程

Fig. 8 New technological process for efficient comprehensive utilization of vanadium-titanium magnetite

4 结论

1) 提出了一种钒钛磁铁矿高效综合利用的新工艺, 工艺流程包括: 磨选除杂矿、煤、钠盐混合, 直接还原—磨选, 二次还原铁粉, 钠法提钒。

2) 对钒钛磁铁精矿进行磨选处理, 能够有效去除杂质, 为后续生产优质铁粉和高效提钒打下基础。采用矿、煤、钠盐(NaCl)混合—直接还原—磨选分离的方式处理除杂后的钒钛磁铁精矿, 能够有效地降低还原温度, 节约能耗, 同时实现铁与钒钛的高效分离。

3) 一次还原铁粉经磨选—氢气流还原, 得到品位为 98.72% 的二次还原铁粉, 其化学成分和工艺性能全面达到行业标准一级铁粉水平, 可用于高密度铁基材料和制品; 富钒钛料经钠化氧化焙烧—水浸—酸性铵盐沉钒—煅烧脱钒可获得纯度 98.12% 的 V_2O_5 产品, 尾液处理后能够达到排放标准, 浸出渣经稀硫酸浸出可获得 TiO_2 品位 49.61% 的富钛料。在所选条件下, 从钒钛磁铁矿精矿到二次还原铁粉、富钛料和 V_2O_5 的铁、钒、钛的总回收率分别为 90.75%、82.71%、89.63%。

参考文献

- [1] Deng Jun, Xue Xun, Liu Gongguo. Current situation and development of comprehensive utilization of vanadium-bearing titanomagnetite at Pangang[J]. Journal of Materials and Metallurgy 2007(2): 83-86 93.

- (邓君,薛逊,刘功国.攀钢钒钛磁铁矿资源综合利用现状与发展[J].材料与冶金学报,2007(2):83-86,93.)
- [2] Guo Ke, Zhang Zhiqiang, Wang Shaoyan *et al.* Study on separation technology of titanium and iron from vanadium-titanium magnetite concentrate [J]. Metal Mine, 2019(8): 113-119.
(郭客,张志强,王绍艳,等.钒钛磁铁精矿中钛铁分离技术研究[J].金属矿山,2019(8):113-119.)
- [3] Wang Xun, Han Yuexin, Li Yanjun *et al.* Research status on comprehensive development and utilization of vanadium-titanium magnetite [J]. Metal Mine, 2019(6): 33-37.
(王勋,韩跃新,李艳军,等.钒钛磁铁矿综合利用研究现状[J].金属矿山,2019(6):33-37.)
- [4] Chen Shuangyin, Chu Mansheng. Metalizing reduction and magnetic separation of vanadium titanite-magnetite based on hot briquetting [J]. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials, 2014, 21(3): 225-233.
- [5] Zhao Longsheng, Wang Lina, Qi Tao *et al.* A novel method to extract iron, titanium, vanadium and chromium from high-chromium vanadium-bearing titanomagnetite concentrates [J]. Hydrometallurgy, 2014, 149: 106-109.
- [6] Li Yanan, Guo Yufeng, Chen Dong. Study on recovery of iron from vanadium-titanium magnetite ore with coal-based direct reduction-ball mill magnetic separation process [J]. Sintering and Pelletizing, 2016, 41(2): 58-61.
(吕亚男,郭宇峰,陈栋.煤基直接还原-球磨磁选分离钒钛磁铁精矿中铁的研究[J].烧结球团,2016,41(2):58-61.)
- [7] Gao Benheng, Wang Huajun, Qu Yuan *et al.* Experimental research on extracting iron from beach placer concentrate in indonesia by direct reduction-grinding-magnetic [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2012, 32(5): 44-46, 53.
(高本恒,王化军,曲媛,等.印尼某海滨砂矿精矿直接还原-磨矿-磁选提铁试验研究[J].矿冶工程,2012,32(5):44-46,53.)
- [8] Liang Diande. Discussion on the application of direct reduction technology in the separation and extraction of vanadium from iron and titanium from vanadium-titanium magnetite [J]. CISC Technology, 2002, 45(3): 1-6.
(梁典德.直接还原技术在钒钛磁铁矿铁钛分离和提钒工艺中的利用探讨[J].重钢技术,2002,45(3):1-6.)
- [9] An Dengqi. Comprehensive reclaiming of iron, titanium and vanadium minerals in a vanadium-titanium magnetite ore from guangdong [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2014, 34(3): 51-53.
(安登气.广东岗霞钒钛资源综合回收铁、钛、钒新工艺研究[J].矿冶工程,2014,34(3):51-53.)
- [10] Wang Xufeng, Hong Lukuo, Sun Caijiao. Effect of NaOH on direct reduction of vanadium titanite-magnetite [J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2020, 41(2): 89-93.
(王旭峰,洪陆阔,孙彩娇.NaOH对钒钛磁铁精矿直接还原的影响研究[J].钢铁钒钛,2020,41(2):89-93.)
- [11] Zhou Lanhua, Zeng Fuhong. Statistical analysis of the effect of Na_2CO_3 as additive on the reduction of vanadic-titanomagnetite-coal mixed pellets [J]. Advanced Materials Research, 2010, 97-101: 465-470.
- [12] Zhong Ronghai, Huang Zhucheng, Yi Lingyun *et al.* Reduction enhancement mechanisms of low iron grade ore-coal composite pellets by sodium salt [J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2019, 50(3): 506-513.
(钟荣海,黄柱成,易凌云,等.钠盐强化某低品位铁矿含碳球团还原机理[J].中南大学学报(自然科学版),2019,50(3):506-513.)

编辑 杨冬梅

国内首条航空级钛合金棒线材生产线热试车成功

2020年8月15日,陕西天成航空材料有限公司(以下简称“天成航材”)完成钛合金棒线材生产线首次热负荷试车,标志着中国首条航空级钛合金棒线材生产线正式建成,大大推动了钛产业的高质量发展。

据悉,天成航材此条产线出品的高性能钛合金棒线材完美填补了国内航空标准件、发动机叶片、高品质医疗钛等多项高端应用方向的材料空白,也突破了相关材料依赖进口的制约,为我国航空航天、军工产业升级发展提供坚实的支撑。打破了国内钛合金棒线材生产工艺落后、品质出产不稳定的短板,更是突破了国际相关技术封锁,将国内钛合金棒线材生产水平提升至可与国际同行比肩。此外,在工艺路线复杂、首台套设备占比大的情况下,天成项目团队仅用时7d就实现热负荷试车成功,用极快的“天成速度”跑出了国际水准。

摘自 <https://www.cnmn.com.cn/ShowNews1.aspx?id=422272>