



钢渣中磷元素在不同种类有机酸中溶出行为的研究

杨金星, 吕宁宁, 苏畅, 桂德培, 孔辉, 王海川

(安徽工业大学冶金工程学院, 冶金减排与资源综合利用教育部重点实验室, 安徽
马鞍山 243002)

摘要: 为了促进钢渣中磷资源的回收利用, 本文首先对钢渣的物相成分组成进行了分析, 之后通过试验研究了不同碱度钢渣中磷在柠檬酸中的溶出率, 并分析了磷在不同种类有机酸中的溶出行为。结果表明: 钢渣中的磷主要赋存于 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ 固溶体中; 随着钢渣碱度的增大, 磷的溶出率呈先升高后降低的趋势; 降低柠檬酸溶液的浓度不利于磷的溶出; 磷在苹果酸及柠檬酸溶液中的溶出率最高, 但很难在酒石酸、乙酸和乳酸溶液中溶出。

关键词: 钢渣; 有机酸溶液; 碱度; 磷; 溶出率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.01.032

中图分类号: TD989; TF09 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 01-0157-06

钢渣是炼钢过程的副产物, 其产率约为粗钢量的 10% ~ 15%, 据统计, 我国 2017 年的钢渣排放量约为 1 亿 t^[1-2], 大部分钢渣经过选铁后被弃置或填埋, 仅有少数钢渣被用于建材或冶金领域, 其综合利用率仅为 25% ~ 30%^[1], 大量的钢渣累积不仅占用土地, 也造成环境的污染。目前, 企业多选择将钢渣破碎研磨后用作水泥生产原料, 而未考虑钢渣中大量 CaO 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 P_2O_5 等有价值组分的充分利用, 产品的附加值较低, 造成了资源的浪费。近年来, 钢渣中有价资源的回收利用已逐渐受到重视, 其中磷元素被认为是最有回收价值及利用前景的组分^[3-4], P_2O_5 含量通常在 3% ~ 5% 左右, 每年排放的钢渣所蕴含的磷资源量巨大, 相当于我国每年开采的磷矿中 P_2O_5 总量的 20%^[5]。因此, 为了循环利用钢渣中的磷资源, 一些学者研究了钢渣中各元素在海水中的溶出行为^[6-9], 但总体而言, 磷元素的溶出率不高且随着海水 pH 值的

升高而降低。另外, 也有学者研究了钢渣在 HNO_3 中的溶解行为^[10-12], 然而, 由于渣中 Fe^{3+} 在 HNO_3 中的溶出速率高于 PO_4^{3-} , 因此不利于磷的回收。

此外, 有学者发现钢渣中的磷不溶于水, 但易溶于有机酸, 枸溶性较好^[13-15], 并对磷在柠檬酸等有机酸中的溶出过程进行了研究^[16-24], 发现低浓度有机酸可以实现钢渣中磷的高效溶出, 而且浸出液中铁元素含量较低。但前人的研究大多选择一组成分的渣样进行研究, 而钢渣化学成分变化对磷溶出影响的研究较少。另外, 大多数研究选择柠檬酸和草酸作浸出剂, 鲜有钢渣在其他有机酸中溶出行为的研究报道^[24-25]。为此, 本文以不同成分的现场钢渣为研究对象, 分析了钢渣碱度对磷溶出的影响, 之后又研究了磷在不同有机酸中的溶出情况, 可为促进磷在有机酸溶液中的溶出, 进而实现钢渣资源的高效利用提供理论依据。

收稿日期: 2019-01-09; 改回日期: 2019-03-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51604003, 51704010); 冶金减排与资源综合利用教育部重点实验室开放基金 (JKF18-02)

作者简介: 杨金星 (1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为钢渣中有价元素的高效利用。

通讯作者: 吕宁宁 (1985-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为冶金废渣的资源化利用, E-mail:lvning198565@163.com.

1 试 验

1.1 试验原料

本试验选取某钢厂的转炉钢渣为原料，其化学成分见表 1，渣中 $w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$ ，即二元碱度在 2.58 ~ 4.02 范围内变化。

表 1 钢渣的化学组成 /%
Table 1 Chemical compositions of steel slags

渣样	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	二元碱度
1 [#]	41.44	16.04	27.07	6.28	3.7	2.65	1.41	1.17	2.58
2 [#]	45.27	15.37	25.43	5.85	3.36	2.42	1.29	1.01	2.94
3 [#]	45.32	13.63	26.17	6.21	3.76	2.37	1.44	1.10	3.32
4 [#]	47.56	11.81	26.61	6.15	3.42	2.11	1.37	0.97	4.02

1.2 仪器及试剂

电子天平；JJ-4C 数显六联电动升降搅拌器；SHB-III 型台式循环水多用真空泵；扫描电子显微镜；X- 射线衍射仪；电感耦合等离子体原子发射光谱仪。

柠檬酸、苹果酸、琥珀酸、酒石酸、乙酸、乳酸、草酸（均为分析纯），去离子水。

1.3 试验方法

首先将不同碱度的渣样进行粉碎、研磨处理，筛分出粒径 <48 μm 的样品，利用 X 射线衍射仪 (XRD) 和扫描电子显微镜 (SEM) 对钢渣的物相组成进行分析。然后取 1 g 钢渣（粒径 <48 μm）加入含 400 mL 柠檬酸溶液（柠檬酸的质量浓度分别为 0.1% 和 0.2）的烧杯中，将烧杯放入电动搅拌器中，在常温下以 500 r/min 的速度搅拌 120 min。试验过程中每隔 10 min 取 5 mL 溶液进行过滤，利用电感耦合等离子体原子发射光谱仪 (ICPS-7510) 测定滤液中磷元素的浓度，并利用式 (1) 计算磷在有机酸溶液中的溶出率。最后，按照上述试验方法，以 1[#] 渣为研究对象，分析磷在草酸、苹果酸、乳酸、乙酸、酒石酸及琥珀酸（质量浓度为 0.2%）中的溶出行为。

$$R_p = \frac{C_p \cdot V}{m_p} \times 100\%$$
 (1)

式中： R_p 为磷元素的溶出率，%； C_p 为反应液中磷质量浓度，mg/L； V 为最终溶液体积，L； m_p 为钢渣中磷质量，g。

2 试验结果及讨论

2.1 钢渣的物相组成

图 1 是钢渣中所含物相的 XRD 分析结果。

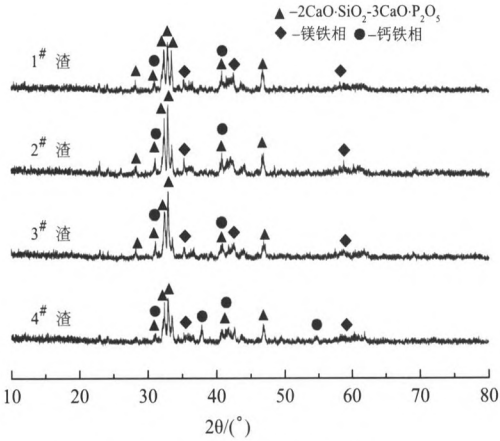
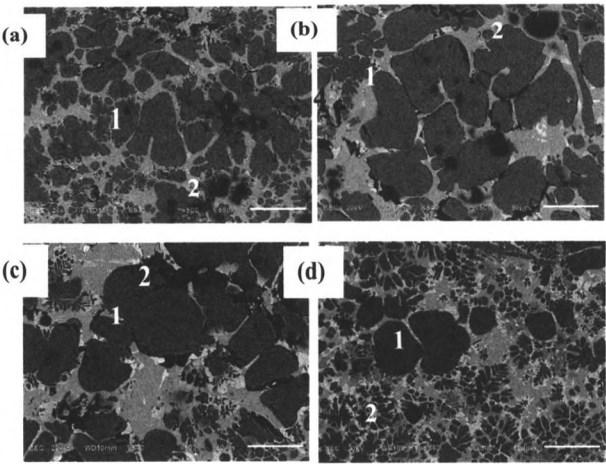


图 1 钢渣的 XRD 分析结果
Fig. 1 XRD analysis results of steel slags

由图可知，钢渣中主要含 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 固溶体、镁铁相及钙铁相。其中，2[#] 及 3[#] 渣中 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 固溶体的衍射峰强度要比 1[#] 和 4[#] 渣样高，因此，该含磷固溶体的生成量也相对较多。

图 2 为钢渣的 SEM 分析结果，各物相中元素的能谱分析结果见表 2。



(a)-1[#] 渣样；(b)-2[#] 渣样；(c)-3[#] 渣样；(d)-4[#] 渣样

图 2 钢渣的扫描电镜图像
Fig.2 Scanning Electron Microscopic Images of Steel Slags

表 2 钢渣中各物相的成分组成
Table 2 Compositions of Phases in Steel Slags

渣样	位置	Si	Fe	Mg	P	Mn	Al	Ti	O	物相
1 [#]	1	32.04	13.63	0	0	2.88	0	0	51.45	C2S-C3P 相
	2	2.87	0	13.50	40.52	0	1.17	0	41.95	镁铁相
	3	27.23	12.22	14.12	0	0.72	0.64	2.72	41.01	基质相
2 [#]	1	32.85	13.69	0	0	2.91	0	0	50.55	C2S-C3P 相
	2	2.95	0	10.81	46.78	0	1.29	0	40.17	镁铁相
	3	9.04	2.38	39.54	3.42	0	2.56	0	43.02	钙铁相
	4	25.36	14.28	12.45	0.96	0.54	0.84	2.56	41.89	基质相
3 [#]	1	33.14	13.52	0.54	0	3.07	0	0	49.73	C2S-C3P 相
	2	0.56	0.35	8.54	48.67	0	1.12	0	40.76	镁铁相
	3	8.71	0.44	37.89	2.45	0	1.89	0	48.62	钙铁相
	4	26.75	15.64	13.42	0.81	0.46	0.33	2.12	39.43	基质相
4 [#]	1	29.56	12.91	0	0	2.58	0	0	54.95	C2S-C3P 相
	2	0.38	0.23	9.05	47.57	0.45	1.32	0.14	40.86	镁铁相
	3	9.23	0.46	36.77	2.56	0.33	1.82	0	48.83	钙铁相
		25.33	14.67	15.27	0.87	0.88	0.33	2.52	39.27	基质相

由图 2 及表 2 可知，深灰色区域中磷元素的含量较高，且钙硅的原子比接近 3，因此为 2CaO·SiO₂-3CaO·P₂O₅(C₂S-C₃P) 固溶体相；白色区域所代表的物相为钙铁相；黑色区域为镁铁相，而浅灰色区域为基质相。相比于 1[#] 及 4[#] 渣，2[#] 和 3[#] 渣中 2CaO·SiO₂-3CaO·P₂O₅ 固溶体粒径明显增大，而且磷元素的含量也较高。综合 XRD 及 SEM 的分析结果，随着钢渣碱度 (2.58 ~ 4.02) 的升高，2CaO·SiO₂-3CaO·P₂O₅ 固溶体的生成量呈先升高后降低的趋势；碱度为 2.94 和 3.32 的钢渣中固溶体的生成量要明显高于碱度为 2.58 和 4.02 的钢渣。这主要是因为当钢渣碱度较低时，CaO 含量较少，导致 2CaO·SiO₂ 生成量也较少；而当钢渣的碱度较高时，熔渣的粘度增大，各元素的传质困难，2CaO·SiO₂-3CaO·P₂O₅ 固溶体生成的动力学条件变差。

2.2 钢渣碱度对磷溶出的影响

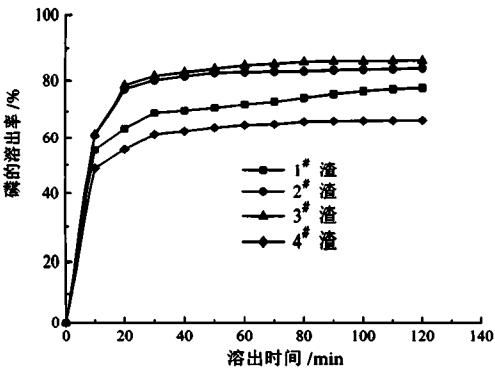


图 3 钢渣中磷在 0.2% 柠檬酸溶液的溶出率
Fig. 3 Dissolution rate of phosphorus in steel slags in 0.2% citric acid solution

图 3 是不同碱度钢渣中磷在 0.2% 柠檬酸溶液中的溶出率，由图 3 可知，120 min 后，四组钢渣中磷的溶出率都在 60% 以上，2[#] 和 3[#] 钢渣中磷的溶出率要高于 1[#] 和 4[#] 钢渣中磷的溶出率，在 80% 左右。不同碱度钢渣中磷在 0.1% 柠檬酸溶液的溶出情况见图 4，相比于在 0.2% 柠檬酸溶液中，钢渣中磷的溶出率明显降低，2[#] 和 3[#] 钢渣中磷的溶出率依然高于 1[#] 和 4[#] 钢渣中磷的溶出率，但均小于 40%。以上的结果说明，2CaO·SiO₂-3CaO·P₂O₅ 固溶体含量高的钢渣中磷的溶出率较高；降低有机酸的浓度时，溶液中的氢离子减少，钢渣中磷的溶出率也会降低。

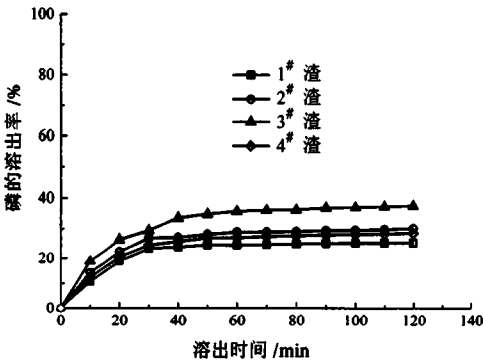


图 4 钢渣中磷在 0.1% 柠檬酸溶液的溶出率
Fig.4 Dissolution rate of phosphorus in steel slags in 0.1% citric acid solution

2.3 钢渣中磷在不同有机酸中的溶出行为

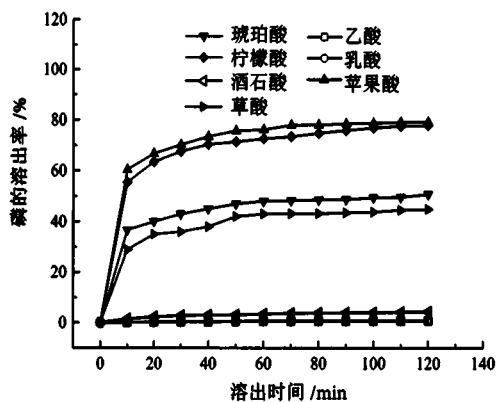
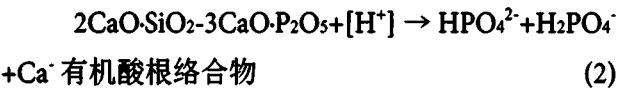


图 5 钢渣中磷在不同有机酸中的溶出率

Fig.5 Dissolution rate of phosphorus in steel slag in different organic acids

图 5 是 1[#] 钢渣中磷在不同种类有机酸 (质量浓度为 0.2%) 中的溶出率, 由图可知, 磷在不同有机酸中的溶出率差异较大, 其在苹果酸及柠檬酸溶液中的溶出率较高, 达到 80% 左右, 在琥珀酸和草酸溶液中的溶出率约为 40%, 但很难在酒石酸、乙酸和乳酸溶液中溶出, 钢渣中磷的溶出反应可用下式表示:



由上式可知, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ 固体中磷的溶出行为与有机酸解离出的氢离子浓度关联性较大, 为此, 本文依据表 3 中各有机酸的解离常数^[26], 通过式 (3) 计算了不同有机酸解离出的初始氢离子浓度^[27], 结果见图 6 和图 7。

表 3 不同有机酸在水溶液中的解离常数^[26]
Table 3 Dissociation constants of different organic acids in aqueous solutions^[26]

有机酸	解离常数		
	pKa1	pKa2	pKa3
柠檬酸	3.13	4.76	6.40
苹果酸	3.46	5.10	-
琥珀酸	4.21	5.64	-
草酸	1.25	4.27	-
酒石酸	3.04	4.37	-
乳酸	3.86	-	-
乙酸	4.76	-	-

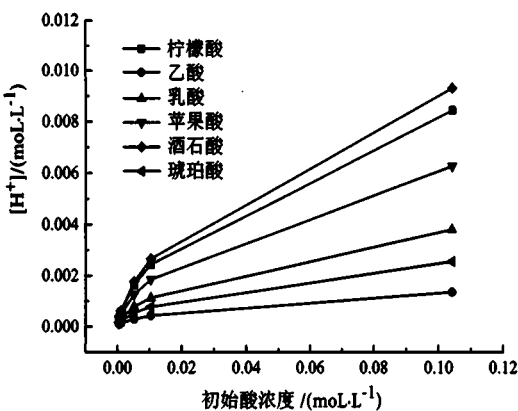


图 6 不同浓度的有机酸溶液解离出的初始 H⁺ 浓度

Fig. 6 Initial H⁺ concentration of dissociated organic acid solutions with different concentrations

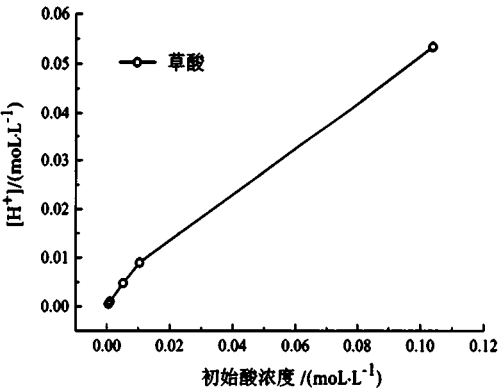


图 7 不同浓度的草酸溶液中解离出的初始 H⁺ 浓度

Fig. 7 Initial H⁺ concentration dissociated from oxalic acid solution of different concentrations

$$[\text{H}^+] = \frac{-K_a + \sqrt{K_a^2 + 4c_a K_a}}{2}$$

(3)

由图 6 和图 7 可知, 在相同浓度下, 草酸解离出的氢离子浓度最高, 其次是酒石酸、柠檬酸及苹果酸, 而琥珀酸、乳酸及乙酸中电离出的氢离子则相对较少。对比试验结果, 尽管草酸和酒石酸中氢离子的初始浓度较高, 但磷的溶出率却较低, 这主要是因为溶液中的草酸根及酒石酸根极易与钙离子形成草酸钙和酒石酸钙沉淀^[24,28], 从而附着在钢渣颗粒的表面, 阻碍磷元素的溶出; 而柠檬酸是一种优良的螯合剂, 可利用氢离子取代金属离子, 然后柠檬酸根离子通过螯合作用将金属固溶成可溶性金属配体配合物, 与钙离子形成 $\text{CaC}_6\text{H}_5\text{O}_7^-$, 避免了钙盐沉淀影响溶出反应的进行^[24], 苹果酸根离子与可以与溶液中的钙离子生成苹果酸钙, 苹果酸钙能够在弱酸性条件下溶解, 同样避免了钙盐沉淀, 从而使得苹果酸和柠檬酸具有高效溶出钢渣中磷的能力。而磷在琥珀酸、乳酸及乙酸中溶出率低的主要原因则是溶液中的氢离子浓度较低。

3 结 论

(1) 钢渣中主要存在 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ 固溶体、镁铁相、钙铁相及基质相, 磷主要赋存于 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ 固溶体中。

(2) 随着钢渣碱度的增大, 磷的溶出率呈先升高后降低的趋势, 碱度为 2.94 和 3.32 的钢渣中磷的溶出率较高; 随着柠檬酸浓度的降低, 钢渣中磷的溶出率也明显降低。

(3) 当有机酸溶液的质量浓度为 0.2% 时, 磷在苹果酸及柠檬酸溶液中的溶出率在 80% 左右, 在琥珀酸和草酸溶液中的溶出率约为 40%, 但很难在酒石酸、乙酸和乳酸溶液中溶出。

当前, 钢铁企业面临着降本增效及节能减排的双重压力, 而钢渣的利用率长期在低位徘徊, 高效利用其中的有价值元素已成为科研工作者的共识和研究热点。本文通过对钢渣碱度和有机酸种类的相关性质研究得出: 调节钢渣碱度 (2~4), 可促进渣中含磷固溶体地生成; 除柠檬酸溶液能够高效溶出钢渣中的磷外, 苹果酸溶液溶出效果也较好, 可为促进钢渣中磷资源进行提取回收提供了更多理论依据。

参考文献:

- [1] 谯勇. 转炉钢渣浸出脱磷及含磷浸出液吸附除磷研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- [2] 黄涛. 浅议中远期我国钢铁产业演变趋势与发展形态[J]. 冶金管理, 2018(2):4-12.
- [3] 于先坤, 杨洪, 华绍广. 冶金固废资源化利用现状及发展[J]. 金属矿山, 2015, 44(2):177-180.
- [4] 李辽沙. 转炉渣资源化利用的历史沿革及趋势展望[J]. 世界钢铁, 2011, 11(4):61-67.
- [5] 鲍荣华, 姜雅. 2015 年世界磷矿资源现状及开发利用[J]. 磷肥与复肥, 2017, 32(4):1-4.
- [6] Zhang X, Matsuura H, Tsukihashi F. Dissolution Mechanism of Various Elements into Seawater for Recycling of Steelmaking Slag[J]. ISIJ International, 2011, 52(5):928-933.
- [7] Zhang X, Atsumi H, Matsuura H, et al. Influence of Gluconic Acid on Dissolution of Si, P and Fe from Steelmaking Slag with Different Composition into Seawater[J]. Transactions of the Iron & Steel Institute of Japan, 2014, 54(6):1443-1449.
- [8] Zhang X, Matsuura H, Tsukihashi F. Enhancement of the Dissolution of Nutrient Elements from Steelmaking Slag into Seawater by Gluconic Acid[J]. Journal of Sustainable Metallurgy, 2015, 1(2):134-143.
- [9] Zhang X, Matsuura H, Tsukihashi F. Dissolution Mechanisms of Steelmaking Slag-Dredged Soil Mixture into Seawater[J]. Journal of Sustainable Metallurgy, 2016, 2(2):123-132.
- [10] Sugiyama S, Shinomiya I, Kitora R. Recovery and Enrichment of Phosphorus from the Nitric Acid Extract of Dephosphorization Slag[J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 2014, 47(6):483-487.
- [11] Numata M, Maruoka N, Kim S J, et al. Fundamental Experiment to Extract Phosphorous Selectively from Steelmaking Slag by Leaching[J]. ISIJ International, 2014, 54(54):1983-1990.
- [12] Teratoko T, Maruoka N, Shibata H, et al. Dissolution Behavior of Dicalcium Silicate and Tricalcium Phosphate Solid Solution and other Phases of Steelmaking Slag in an Aqueous Solution[J]. High Temperature Materials & Processes, 2012, 31(4-5):329-338.
- [13] 王永红, 谢兵, 刁江, 等. 氟对脱磷渣中磷的赋存形式及枸溶性的影响[J]. 中国稀土学报, 2010, 28(spec): 684-687.
- [14] Lin L, Bao Y P, Wang M, et al. P_2O_5 solubility behavior and resource utilization of P-Bearing slag[J]. ISIJ International, 2014, 54(12):2746-2753.
- [15] 王永红, 谢兵, 刁江, 等. 高磷铁水脱磷渣枸溶性[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(3):323-327.
- [16] Diao J, Jiang L, Wang Y, et al. P_2O_5 Solubility of Dephosphorization Slag in Citric Acid[J]. Phosphorus & Sulfur & the Related Elements, 2015, 190(3):387-395.
- [17] Lin L, Bao Y P, Wang M, et al. P_2O_5 Solubility Behavior and Resource Utilization of P-Bearing Slag[J]. Transactions of the Iron & Steel Institute of Japan, 2014, 54(12):2746-2753.
- [18] Qiao Y, Diao J, Liu X, et al. Dephosphorization of Steelmaking Slag by Leaching with Acidic Aqueous Solution[J]. JOM, 2015, 68(9):1-9.
- [19] Du C M, Gao X, Ueda S, et al. Effect of Na_2O Addition on Phosphorus Dissolution from Steelmaking Slag with High P_2O_5 Content[J]. Journal of Sustainable Metallurgy, 2017, 3(4):1-12.
- [20] Du C M, Gao X, Ueda S, et al. Effects of Cooling Rate and Acid on Extracting Soluble Phosphorus from Slag with High P_2O_5 Content by Selective Leaching[J]. ISIJ International, 2017, 57(3):487-496.
- [21] Du C M, Gao X, Kim S J, et al. Optimum Conditions for Phosphorus Recovery from Steelmaking Slag with High P_2O_5 Content by Selective Leaching[J]. ISIJ International, 2018, 58(5):860-868.
- [22] Du C M, Gao X, Ueda S, et al. Recovery of Phosphorus from Modified Steelmaking Slag with High P_2O_5 Content via Leaching and Precipitation[J]. ISIJ International, 2018, 58(5):833-841.
- [23] Du C M, Gao X, Ueda S, et al. Effects of Cooling Rate and Acid on Extracting Soluble Phosphorus from Slag with High P_2O_5 Content by Selective Leaching[J]. ISIJ International, 2017, 57(3):487-496.

[24] Du C M, Gao X, Kim S J, et al. Effects of Acid and Na_2SiO_3 Modification on the Dissolution Behavior of $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ Solid Solution in Aqueous Solutions[J]. ISIJ International, 2016, 56(8):1436-1444.

[25] 杨金星, 笪亚玲, 吕宁宁, 等. 用草酸从转炉钢渣中溶解磷的试验研究 [J]. 湿法冶金, 2018, 37(3).

[26] 宋金凤, 崔晓阳. 森林土壤中低分子有机酸研究进展 [J]. 林业科学, 2008, 44(6):118-124.

[27] 李华昌, 符斌. 实用化学手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

[28] 沈晴映, 傅柏平. 酒石酸对羟基磷灰石和牙本质化学吸附的研究 [J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2003, 13(7):381-384.

Study on the Dissolution Behavior of Phosphorus from Steelmaking Slags in Different Kinds of Organic Acids

Yang Jinxing, Lv Ningning, Su Chang, Gui Depei, Kong Hui, Wang Haichuan

(School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Key Laboratory of Metallurgical Emission Reduction & Resources Recycling, Ministry of Education, Maanshan, Anhui, China)

Abstract: In order to promote the recovery and utilization of phosphorus resources in steelmaking slags, the phase compositions of steelmaking slags were analyzed firstly, and then the dissolution ratio of phosphorus from different basicity steelmaking slags in citric acid solution was studied through experiments, and the dissolution behavior of phosphorus in different kinds of organic acids was also analyzed. The results showed that phosphorus mainly exists in the form of $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ solid solution in steelmaking slags. With increasing steel slag basicity, the dissolution ratio of phosphorus increases at first and then decreases. Reducing the concentration of citric acid solution is not beneficial for the dissolution of phosphorus. Phosphorus in malic acid and citric acid solutions has the highest dissolution ratio, but it is difficult to dissolve in tartaric acid, acetic acid and lactic acid solutions.

Keywords: Steelmaking slag; Organic acid solution; Basicity; Phosphorus; Dissolution ratio

////////////////////////////////////
(上接 193 页)

Effect of Firing Temperatures on Properties of Ferrochromium Slag and Characterization

Qiu Boxin, Gu Xingyong, Dong Weixia, Luo Ting, He Mengke, Wu Peiyi

(Department of Material Science and Engineering, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen, Jiangxi, China)

Abstract: Effect of firing temperature on properties of the ferrochromium slag including bulk density, linear shrinkage, flexural strength and optical property were investigated and characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), energy dispersion spectroscopy (EDS) and ultraviolet-visible spectrophotometer (UV-Vis). With the increase of firing temperature, when the firing temperatures were more than 1000°C , liner expansion of ferrochromium slag was increased leading to decrease of bulk density, which were attributed to the expansion effect of the formation of spinel crystals and decomposition of gas in ferrochromium slag. The optimal flexural strength could be obtained when the firing temperature was 1250°C due to the increased amount of crystals and suitable content of liquid phase that resulted in reduction of large pore amounts between particles. The ferrochromium slag was over-heated with the properties of bulk density and flexural strength declined sharply when the firing temperature was 1300°C . With the increase of firing temperature, the intensity of absorption at 460, 580 and 690 nm increased due to the presence of d-d transitions of Fe^{3+} , ${}^4\text{A}_2(4\text{F}) \rightarrow {}^4\text{T}_2(4\text{F})$ and ${}^4\text{A}_2\text{g} \rightarrow {}^4\text{T}_{1\text{g}}$ of Cr^{3+} in spinel structures leading to a rise in a^* and b^* values of ferrochromium slag.

Keywords: Ferrochrome slag; Pigment and glaze; Spinel; UV-Vis