УДК 621.926.47/621.928.6/621.35
DOI: http://dx.doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-52-56

Доцент М.А. Васечкин, аспирант И.В. Кустов,
аспирант Н.С. Титов, профессор Е.Д. Чертов
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технической механики.
тел. (473) 255-47-20
E-mail: vmax77@mail.ru

Associate professor M.A. Vasechkin, graduate I.V. Kustov,
graduate N.S. Titov, professor E.D. Chertov
(Voronezh state university of engineering technologies) Department of technical mechanics.
phone (473) 255-37-51
E-mail: vmax77@mail.ru

Дезинтеграционно-волновой способ рекуперации промышленных отходов предприятий металлургической промышленности

Disintegration-wave method of recovery of industrial waste iron and steel industry enterprises

Реферат. Рациональное использование сырья и отходов является одним из важнейших факторов, определяющих эффективность любого перерабатывающего предприятия. Промышленные отходы предприятий горно-обогатительной и металлургической промышленностей являются ценным источником многих элементов. Однако малая активность минеральной части и непостоянный химический и фазовый состав отходов снижает их привлекательность для использования в качестве вторичного сырья, а присутствие в них тяжелых металлов и водорастворимых соединений является серьезной экологической угрозой. Фракционное выделение элементов, составляющих шлаки, можно осуществить при помощи их рекуперации дезинтеграционно-волновым способом. В работе приведены машинно-аппаратурная схема для реализации процесса рекуперации шлаков и конструкция дезинтегратора. При проведении исследований, на примере образцов шлаков предприятий Ставропольского и Красноярского краев, установлено, что наблюдается обогащение шлаков по составу железа, увеличивается его физико-химическая активность, которая сохраняется в течение длительного промежутка времени. Данные факты были отмечены при изучении микроструктуры и результатов спектрального анализа исходных шлаков и подверженных рекуперации дезинтеграционно-волновым способом. Анализ результатов позволил сделать вывод о возможности рекуперации отходов предприятий горно-обогатительной и металлургической промышленностей с использованием дезинтеграционно-волнового способа. Полученные в ходе обработки материалы, имеющие повышенную активность минеральной части и определённый химический и фазовый состав, могут использоваться как сырье для производства продукции металлургической, цементной и других отраслей.

Summary. Rational use of raw materials and waste is one of the most important factors determining the effectiveness of any processing enterprise. Industrial wastes of mining and metallurgical industries are a valuable source of many elements. However, little activity of the mineral and inconsistent chemical and phase composition of the waste reduce their attractiveness for use as a secondary raw material, and the presence of heavy metals and water-soluble compounds is a serious environmental threat. Fractional excretion of elements that make up the slag can be carried out with the help of their recovery by disintegration-wave method. The paper presents a machine-hardware circuits for the implementation of recovery process of slag and disintegrator design**.** In conducting research on the example of slag samples of the enterprises in Stavropol and Krasnoyarsk territories, it was found out that the observed enrichment of slags on the composition of iron takes place, its physical and chemical activity increases and persists for a long period of time. These facts were noted in the study of the microstructure and the results of spectral analysis of the initial slags and subjected to recovery by disintegration-wave method**.** The results analysis led to the conclusion about the possibility of waste recovery of mining and metallurgical industries with by disintegration-wave method. Resulting in the processing materials with enhanced activity of the mineral part and certain chemical and phase composition, can be used as raw material for the production of metallurgical, cement and other industries.

Ключевые слова: рациональная переработка, рекуперация шлаков, дезинтеграционно-волновой метод, металлургическая промышленность.

Keywords: rational recycling, recovery of slags, disintegration-wave method, metallurgical industry

© Васечкин М.А., Кустов И.В.,
Титов Н.С., Чертов Е.Д., 2016

Для цитирования

Васечкин М.А., Кустов И.В., Титов Н.С., Чертов Е.Д. Дезинтеграционно-волновой способ рекуперации промышленных отходов предприятий металлургической промышленности // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 1. С. 52-56. doi:10.20914/2310-1202-2016-1-52-56.

For cite

Vasechkin M.A., Kustov I.V., Titov N.S., Chertov E.D. Disintegration-wave method of recovery of industrial waste iron and steel industry enterprises *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij.* [Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies]. 2016, no. 1, pp. 52-56. (In Russ.). doi: 10.20914/ 2310-1202-2016-1-52-56.

Разработка способов и технологий рациональной переработки сырья относится к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

Рациональная переработка сырья и отходов является одним из важнейших факторов, определяющих эффективность любого перерабатывающего предприятия [1].

Ориентация предприятий горно-обогатительной и металлургической промышленностей на внедрение систем управления качеством на основе принципов международных стандартов ISO подразумевает управление отходами различного происхождения, применение экологически безопасных и целесообразных способов их утилизации, а также возможность рекуперации фракционных составляющих шлаков и других отходов.

Большинство горнорудных месторождений и предприятий металлургической промышленности ориентированы на добычу и производство одного, реже двух-трех элементов. Весь остальной материал относится к отходам и шлакам. На различных этапах технологического процесса и производства металлов в зависимости от объема перерабатываемой руды образуется от 5 % до 80 % отходов. Так при производстве 1 тонны стального проката образуется от 17 до 30 тонн отходов. Ежегодный выход металлургических шлаков составляет сотни миллионов тонн, в том числе доменных − 50 млн тонн, сталелитейных 23 млн тонн, ферросплавных – 5 млн тонн. Металлургические шлаки являются сложными системами. Основу металлургических шлаков составляют оксиды CaO, $Si0_2$, MgO и FeO, также в них присутствуют оксиды Mn, Ba, Cr, P. В отдельных случаях шлаки содержат оксиды Ti, B, V и ряд других соединений [2]. Повышенное содержание SiO_2 в шлаках приближает их к кислым, а извести - к основным. Кислотные шлаки состоят главным образом из SiO_2 (50–65 %) и некоторого количества основных оксидов FeO (10–20 %) и MnO (10–30 %).

Следует отметить негативное влияние отходов предприятий металлургического комплекса на окружающую среду из-за наличия в них водорастворимых форм металлов и эмиссии тяжелых металлов [3].

Вопросами утилизации и вторичного использования отходов горно-обогатительного и металлургического комплексов занимаются не только в России, но и в ряде европейских стран. Одним из традиционных потребителей таких отходов является цементная промышленность, которая использует до 7,4 млн тонн металлургических отходов ежегодно при производстве цемента. Однако малая активность минеральной части и непостоянный химический и фазовый состав отходов снижает их привлекательность для использования [2].

Разработка и промышленное внедрение способов рекуперации шлаков на основе инновационной технологии переработки позволит выделить дорогие и редкие элементы из общего числа шлаков без использования дорогостоящих и энергоемких плавильных и химических производств.

Анализ образцов шлаков Красноярского и Ставропольского краёв показал, что шлаки являются ценным источником многих элементов. Фракционное выделение элементов, составляющих шлаки, можно осуществить при помощи их рекуперации дезинтеграционно-волновым способом [4].

Рекуперация шлаков дезинтеграционно-волновым методом является подготовительной операцией при утилизации отходов предприятий металлургической промышленности [1].

При разработке дезинтеграционно-волновых методов преобразования минералов и шлаков Ставропольского и Красноярского краев металорудных и перерабатывающих производств была установлена возможность рекуперации шлаков и других отходов в составляющую их элементную базу, которая может быть использована для высокоэффективных технологий, в материаловедении, в строительстве и других отраслях.

В основе дезинтеграционно-волновой переработки лежит метод диспергирования материалов в условиях низко температурной плазмы и атмосферного давления [5]. Эти условия реализуются при определенных режимах работы и формах поверхностей измельчителя, отличающихся от обычно применяемых в дезинтеграторах.

При проведении исследований установлено, что при внешнем управляющем воздействии, например - слабым СВЧ-КВЧ сигналом, меняется структура и фрактальная форма диспергируемого материала на микроскопическом уровне, что позволяет в дальнейшем сепарировать его по фракционному составу гравитационно-воздушным методом.

На рисунке 1 представлена машинно-аппаратурная схема для реализации процесса рекуперации шлаков. Машинно-аппаратная схема содержит дезинтегратор 1, блок СВЧ-КВЧ излучения 2, пневмотранспортер, состоящий из системы циклонов 3, воздушного фильтра 4 и воздуходувки 5. Шлаки поступают через загрузочный бункер в дезинтегратор 1, где при помощи билл происходит их измельчение. Далее измельченный шлак, при помощи созданного воздуходувкой 4 воздушного потока, направляется в разгрузочную батарею циклонов 2. Циклоны 2 предназначены для очистки воздуха и разделения по фракциям измельченного шлака. Окончательная очистка воздуха от пыли осуществляется при помощи фильтра 3. Представленная схема позволяет выделять из общего объема пылевоздушной смеси необходимые элементы с заданной концентрацией.

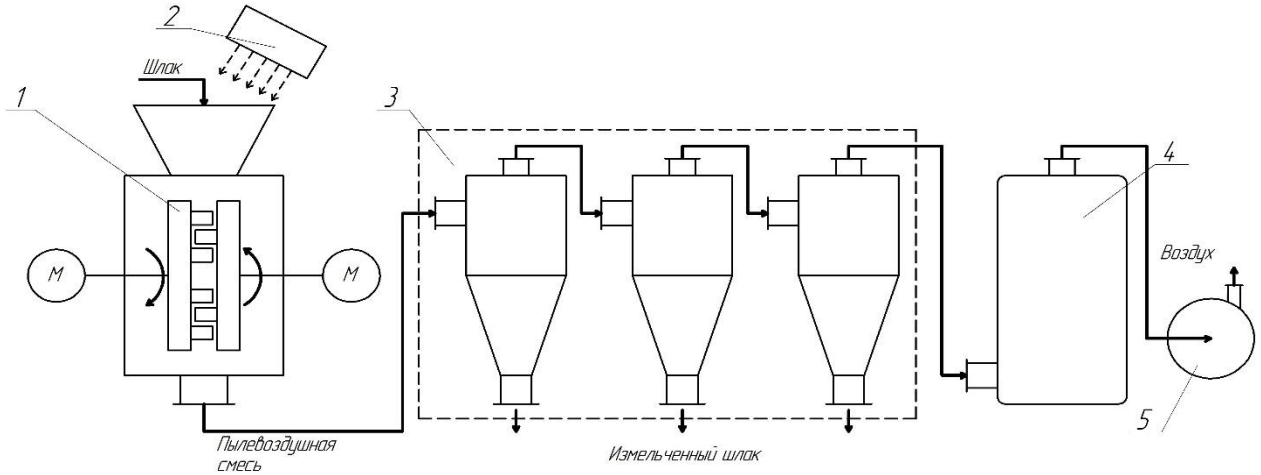


Рисунок 1. Машинно-аппаратурная схема рекуперации шлаков: 1 – дезинтегратор; 2 – блок СВЧ-КВЧ излучения; 3 – система циклонов; 4 – воздушный фильтр; 5 – воздуходувка

На рисунке 2 представлена конструкция дезинтегратора. Дезинтегратор состоит из корпуса 1 с откидной крышкой 2. Внутри корпуса расположены, установленные на приводных валах 6 и 7, диски 3 и 4, изготовленные из стали 12Х18Н10Т. Биллы 5, выполненные из закаленной стали ВК, установлены в дисках 3 и 4 по окружностям таким образом, чтобы биллы при вращении дисков не соударялись. Для загрузки измельчаемого материала в дезинтегратор предусмотрен загрузочный бункер 8. Измельченный материал выгружается через разгрузочный патрубок 9.

При работе дезинтегратора диски 3 и 4 вращаются в противоположные стороны, что обеспечивает более качественное измельчение материала. Исходный материал засыпают в загрузочный бункер 8, откуда он поступает через отверстие в корпусе 1 и специальные каналы диска 3, в зазор между дисками 3 и 4. Частицы материала движутся в закрученном потоке и за счет центробежной силы перемещаются в направлении от оси вращения дисков к их периферии. Измельчение частиц в более мелкую фракцию происходит при их соударении с биллами 5, а также друг с другом. Конечный продукт выводится из дезинтегратора через разгрузочный патрубок 9 и направляется для разделения по фракциям в систему разгрузочных циклонов.

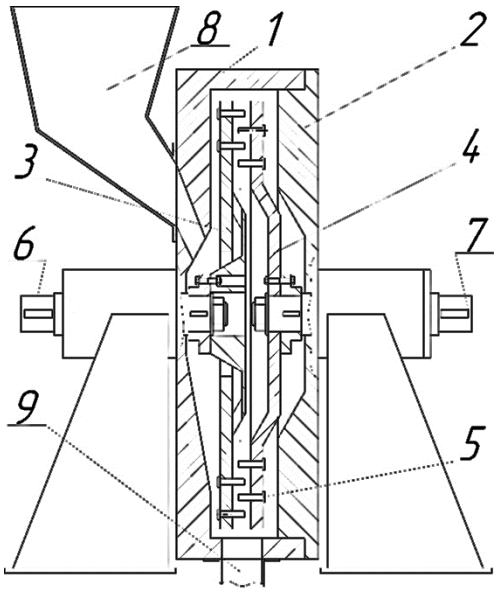


Рисунок 2. Дезинтегратор: 1 – корпус; 2 – откидная крышка; 3 – первый диск; 4 –второй диск; 5 – биллы; 6, 7 – приводные валы; 8 – загрузочный бункер; 9 –разгрузочный патрубок

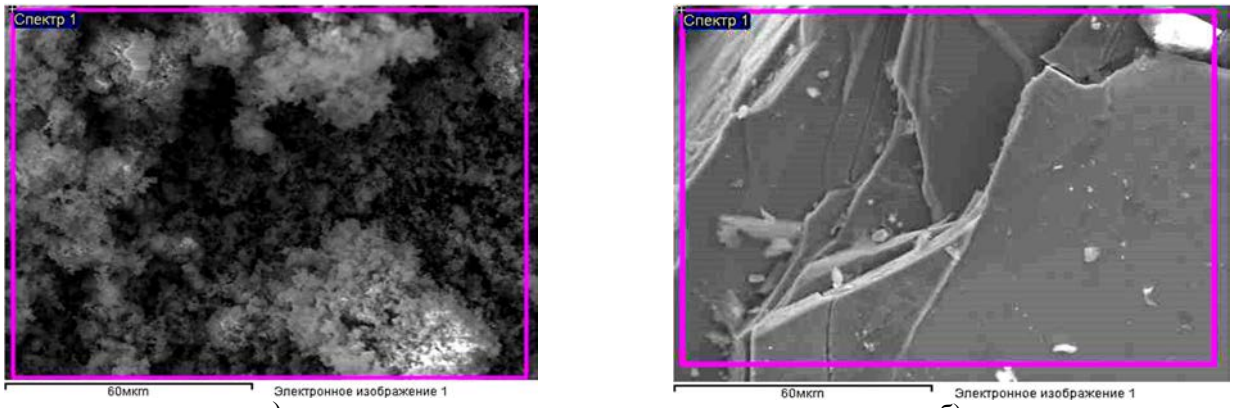
Представленный способ был использован при рекуперации шлаков Красноярского и Ставропольского краёв. В таблице 1 представлен элементный состав исходного материала и после его рекуперации дезинтеграционно-волновым способом. При анализе полученных результатов следует отметить, что при обработке исходных шлаков имеет место обогащение выделенной фракции по составу железа. Так для шлаков Ставропольского края концентрация железа увеличилась с 18,38 % до 94,19 %, а для шлаков Красноярского края – с 37,75 % до 97,44 %. Кроме того, наблюдается и увеличение атомного веса данного элемента.

Таблица 1

Элементный состав шлаков Ставропольского и Красноярского края до и после рекуперации дезинтеграционно-волновым способом

N п.п.	Элемент	Ставропольский край				Красноярский край			
		концентрация элементов в исходном шлаке		концентрация элементов после рекуперации шлака		концентрация элементов в исходном шлаке		концентрация элементов после рекуперации шлака	
		весовая	атомная	весовая	атомная	весовая	атомная	весовая	атомная
1	Mg	2.15	4.40	0.51	1.10	3.89	6.90	-	-
2	Si	2.33	4.13	3.90	7.32	12.51	19.23	1.58	3.06
3	S	2.56	3.97	-	-	0.90	1.21	-	-
4	Cl	7.06	9.92	-	-	1.34	1.63	-	-
5	K	4.55	5.79	-	-	1.31	1.45	-	-
6	Ca	14.39	17.88	-	-	18.81	20.26	-	-
7	Mn	3.02	2.73	-	-	5.48	4.31	-	-
8	Fe	18.38	16.39	94.19	88.86	37.75	29.18	97.44	94.96
9	Cu	2.13	1.67	-	-	1.07	0.73	-	-
10	Zn	43.45	33.11	-	-	11.18	7.38	-	-
11	Al	-	-	1.40	2.72	3.77	6.04	0.98	1.98
12	Ti	-	-	-	-	0.58	0.53	-	-
13	Cr	-	-	-	-	1.42	1.18	-	-

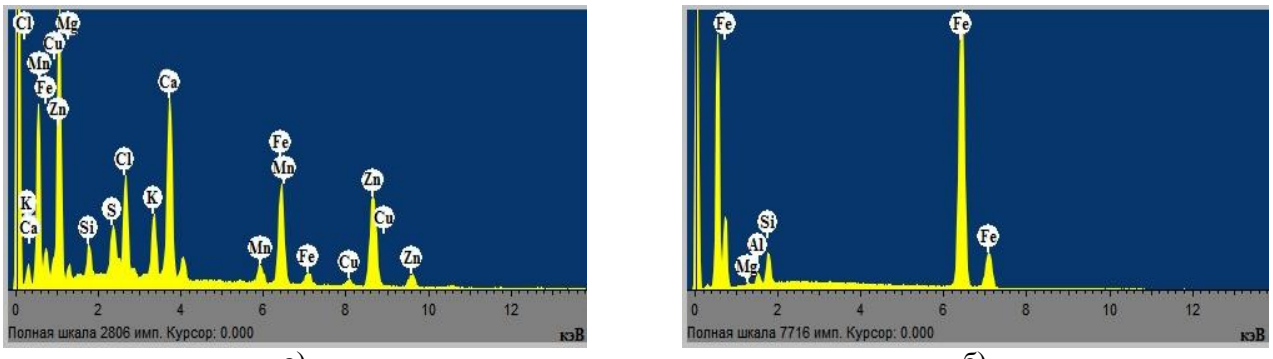
При изучении микроструктуры шлаков (рисунок 3) установлено, что при рекуперации шлаков дезинтеграционно-волновым способом происходит изменение структуры материала. В частности, аморфное состояние исходного шлака преобразовалось в паракристаллическое.



а) б)

Рисунок 3. Изображение микроструктуры: а – исходный материал; б – после рекуперации

На рисунке 4 представлены результаты спектрального анализа исходного материала и после его обработки дезинтеграционно-волновым способом. Следует отметить, что после рекуперации шлаков дезинтеграционно-волновым способом увеличилась не только концентрация железа, но и его атомная масса, что влечет к увеличению физико-химической активности железа. Исследования показали, что данное состояние сохраняется в течение длительного промежутка времени, что позволяет сделать вывод о стабильности этого элемента.



а) б)

Рисунок 4. Результаты спектрального анализа: а – исходный материал; б – после рекуперации

Таким образом, анализ результатов позволяет сделать вывод о возможности рекуперации отходов предприятий горно-обогатительной и металлургической промышленностей с использованием дезинтеграционно-волнового способа. Полученные в ходе обработки материалы, имеющие повышенную активность минеральной части и требуемый химический и фазовый состав, могут использоваться как сырье для производства продукции металлургической, цементной и других отраслей.

ЛИТЕРАТУРА

1 Васечкин М.А., Прибытков А.В. Принципиальная схема подготовки отходов к утилизации// Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса. Конференция приурочена к 85-летию ВГУИТ и проводится в рамках реализации технологической платформы "Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания". 2015. С. 433-434.

2 Пугин К.Г., Вайсман Я.И. Методические подходы к разработке экологически безопасных технологий по использованию твердых отходов черной металлурги // Гигиена и санитария. 2013. № 4. С. 54-59.

3 Пугин К.Г. Негативное воздействие шлаковых отвалов черной металлургии на объекты окружающей среды на примере города Чусового // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 2. С. 86–90.

4 Комаров В.И., Кустов В.Ю., Чертов Е.Д., Шишов С.В. и др. Доминирующая роль СВЧ-КВЧ излучения в бифуркационных состояниях дезинтеграционно-волнового преобразования биопродуктов и минералов // Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2012. № 5. С. 60-63.

5 Чертов Е.Д., Кустов И.В., Кустов В.Ю., Пономарева Е.И. Информационное структурирование паракристаллических объектов при слабом электромагнитном СВЧ-КВЧ и электронном воздействии. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 2. С. 95-99.

REFERENCES

1 Vasechkin M.A., Pribytkov A.V. Schematic diagram of the preparation of wastes for disposal. Sistemnyi analiz i modelirovanie protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa [System analysis and modeling of quality control processes in the innovative development of agriculture. The conference is devoted to the 85th anniversary of VSUET and is held as part of the technology platform "Technologies of food processing industry of agro-industrial complex - healthy food"], 2015, pp 433-434. (In Russ.).

2 Pugin K.G., Vaisman Ya.I. Methodological approaches to the development of environmentally sound technologies for the use of solid waste iron and steel industry. *Gigiena i sanitariya.* [Hygiene and sanitation], 2013, no. 4, pp 54-59. (In Russ.).

3 Pugin K.G. The negative impact of slag dumps of iron and steel industry on the environmental objects on the example of the city Chusovoy. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii.* [Ecology of the urbanized territories], 2011, no. 2, pp. 86-90. (In Russ.).

4 Komarov V.I., Kustov V.Yu., Chertov E.D., Shishov S.V. The dominant role of the microwave - UHF radiation in the bifurcation states of disintegration-wave conversion of bioproducts and minerals. *Vestnik Saratovskogo Gosagrouniveriteta im. N.I. Vavilova* [Journal of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov], 2012, no. 5, pp. 60-63. (In Russ.).

5 Chertov E.D., Kustov I.V., Kustov V. Yu., Ponomareva Ye.I. Information structuring of paracrystalline objects with weak electromagnetic microwave - UHF and electronic exposure *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij.* [Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies], 2013, no. 2, pp. 95-99 (In Russ.).