

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА, ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.7+622.73.001:622.341.1

Е.Ю. Светкина, канд. хим. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: bvvin@mail.ru

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ ПРИ ВИБРОУДАРНОЙ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛОВ

Ye.Yu. Svetkina, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “National Mining
University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: bvvin@mail.ru

INTENSIFICATION OF CONCENTRATION PROCESS THROUGH MINERALS VIBROACTIVATION

Цель. Изучение образования твердых растворов при виброударной активации, а также влияния их на интенсификацию процесса обогащения минералов.

Методика. Виброактивацию окисленных кварцитов и гидраргиллита проводили в вертикальной вибрационной мельнице. Компоненты смешивались и совместно измельчались в соотношениях $Fe_2O_3:Al_2O_3$, составляющих 1:8, 1:1, 8:1. Помольная камера заполнялась мелющими телами в виде шаров из стали ШХ15 различных диаметров. Материал пропусклся через помольную камеру определенное количество раз для набора общего пути измельчения 1, 2 и 3 м. Исходные, промежуточные и конечные продукты измельчения подвергались рентгенофазовому анализу. Одновременно измерялись энергетические характеристики активированной поверхности методом потенциометрического титрования, а также для системы $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ проведено сопоставление электрических и рентгенофазовых характеристик сложных шпинельных систем. Статистико-термодинамическим анализом рассчитывались параметры процесса.

Результаты. Показано, что особенностью виброударного воздействия на минералы является образование твердых растворов различного характера. Именно эти твердые растворы отвечают за повышение или понижение электропроводности. Таким образом, при виброударной активации минералов наблюдается изменение электропроводности не только за счет смещения уровня Ферми в результате возникновения объемных и поверхностных дефектов (структурных и химических) при введении второго компонента, но и за счет образования новой фазы – твердого раствора или химического соединения как продукта взаимодействия компонентов системы. Для системы $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ проведены сопоставления электрических и рентгенофазовых характеристик сложных шпинельных систем. Определены термодинамические функции смешения твердых растворов, образованных при виброударном нагружении.

Научная новизна. При виброударной активации наблюдается улучшение металлургических свойств руд – понижение температуры восстановления. Это происходит в результате образования твердых растворов алюминия и железа – алюминатов железа, а также дополнительной (объемной) ионизации, возникающей на активной поверхности минерала.

Практическая значимость. Полученные экспериментальные данные и термодинамические расчеты позволяют создать условия для предварительной активации бедных и комплексных руд с целью их последующего обогащения и разделения на составляющие компоненты.

Ключевые слова: виброударная активация, электропроводность, твердые растворы, шлаки, вертикальная вибрационная мельница

Постановка проблемы. Постоянный рост потребления металлов ведет к истощению запасов руд-

ного сырья, пригодного для переработки существующими эффективными технологиями. Ситуация с железорудным сырьем усложняется тем, что изменяется структура запасов, т.е. начинают преобладать относительно бедные и комплексные руды.

В связи с этим возникает необходимость создания новых, оптимизации известных технологических процессов обогащения бедных и разделения комплексных руд.

Анализ последних исследований. Известно, что при механической активации смеси реагентов [1] возможна интенсификация процессов взаимодействия молибденита с нитратом калия. Механизм такой активации включает образование молекулярно плотных контактов между реагентами в результате их пластической деформации, что приводит к снижению температуры окисления до 150–310°C и ускорению процесса.

В работе [2] исследовано влияние радиационно-термической обработки на сепарацию руд. В результате такой предварительной обработки железных руд происходит интенсификация магнитной сепарации не только железных руд, но и железосодержащих оловянных продуктов.

Подготовка слабомагнитных руд к магнитной сепарации заключается, обычно, в магнетизирующем обжиге. Она состоит в том, что исходную руду или продукт обогащения после соответствующего дробления или измельчения нагревают в присутствии восстановителей до температуры восстановления окислов и выдерживают при этой температуре в течение нескольких часов [3]. Таким образом переводят намагниченные или слабомагнитные окислы железа в магнетит, магеллит и другие магнитные соединения.

В последнее время появились работы, в которых оценены возможные перспективы использования закономерностей быстрого ионного („суперионного“) переноса кислорода в решетках оксидов. Это дает возможность путем изменения условий стимулировать в оксидных решетках образование нанодфектов и реализовать быстрый ионный перенос в реальных технологических процессах. Перспективным представляется также использование сублимационноконденсатного метода получения субоксидов и промежуточных продуктов восстановления в виде наноматериалов, подобных известным и уже широко используемым углеродным нанотрубкам, с сильно искаженной и дефектной структурой. Анализ литературных данных и результаты выполненных исследований свидетельствуют также о необходимости и целесообразности создания альтернативной современному аглодоменному процессу технологии бескоксовой переработки комплексных железосодержащих руд. Наиболее удачным представляется деление процесса на две стадии – твердофазную металлизацию руд при умеренной (1100...1300°C) температуре за счёт сжигания низкокачественного твёрдого или газообразного топлива – восстановителя и разделительную плавку в электрических печах. При этом плавку в электрических печах целесообразно проводить быстро и только с целью жидкофазного разделения продуктов твердофазного восстановления. Внедоменным процессом переработки сидеритовых руд можно получить высококачественный чугун, при этом, как показали расчеты, за счет твердофазной ме-

таллизации кусковых руд можно сократить расходы на подготовку рудного сырья и в два раза уменьшить расход электроэнергии на плавку. Из титаномагнетитовых металлизированных руд быстрой разделительной плавкой удастся полностью разделить железо и титан с получением ванадийсодержащего чугуна и титанатных шлаков. Ванадийсодержащий чугун может быть использован для получения природнолегирующей стали или стали и ванадийсодержащего шлака для последующего извлечения ванадия. Титанатные шлаки можно использовать для получения ферротитана, других титановых сплавов или пигментного диоксида титана.

Однако реализация процессов бескоксowego производства металла требует существенной перестройки основного оборудования металлургического производства, больших капитальных затрат и связана с резким увеличением потребления электрической энергии. По этой причине внедоменное производство пока представляется менее эффективным по сравнению с традиционной схемой получения металла из традиционного железорудного сырья.

При виброударной обработке в результате измельчения происходит не только изменение удельной поверхности, но и объемная ионизация минералов [4]. В связи с этим были проведены эксперименты по предварительной активации минералов перед процессом сепарации. Было выявлено, что виброударное нагружение смеси „окисленная руда + полевой шпат“ позволяет значительно интенсифицировать термические процессы. Появление магнетита и дальнейшее его восстановление происходит при температурах на 200–250°C ниже, чем для неактивированной методом виброударного воздействия руды. В связи с этим представляет интерес предварительная обработка руд в вертикальных вибрационных мельницах.

Поэтому, **целью статьи** является изучение образования твердых растворов при виброударной активации, а также влияния их на интенсификацию процесса обогащения минералов.

Материалы и методика исследований. Объектом испытаний являлась железная руда (окисленные кварциты). За результатами виброударного воздействия на минералы следили по данным рентгенофазного (РФА) и дифференциального термического анализ (ДТА).

Эксперименты по измельчению исследуемых материалов проводились в непрерывном и периодическом режимах, для чего использовались помольные камеры разной конструкции.

Процесс измельчения на лабораторной мельнице был организован таким образом, чтобы полностью исключить выделение пыли. Работы проводились как с сухим порошком, так и с мокрым. В каждом случае при измельчении в периодическом режиме камеры вскрывались только после их остывания до комнатной температуры.

Компоненты смешивались и совместно измельчались в соотношениях $Fe_2O_3:Al_2O_3$, составляющих 1:8, 1:1, 8:1. Помольная камера заполнялась мелющими

телами в виде шаров из стали ШХ15 различных диаметров. Материал пропускался через помольную камеру определенное количество раз для набора общего пути измельчения 1, 2 и 3 м. Таким образом регулировалось время нахождения его в рабочем органе мельницы. Исходные, промежуточные и конечные продукты измельчения подвергались рентгенофазовому анализу. Одновременно измерялись энергетические характеристики активированной поверхности методом потенциометрического титрования, а также для системы $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ были проведены следующие экспериментальные исследования: сопоставления электрических и рентгенофазовых характеристик сложных шпинельных систем. Такие системы получены виброударным нагружением при совместном измельчении окисленных руд и гидрагиллита.

Исследования проводились на дериватографе Q-1000 фирмы „МОН“ (Венгрия) со скоростью нагревания 80–100 град/мин, масса образца 20–100 мг.

Кроме того статистико-термодинамическим анализом рассчитывались параметры процесса.

Экспериментальные результаты. При добавлении к окисленным кварцитам полевого шпата в количестве 8% по мере увеличения нагружения наблюдается образование гетита, а затем при добавлении к окисленным кварцитам полевого шпата в количестве 16% наблюдается появлением магнетита (Fe_2O_3). Виброударную активацию проводили в неизометрических условиях до завершения соответствующих эффектов на ДТА.

Рентгенограмма продукта виброударной активации содержит уширенные линии: гетита и $\alpha-Fe_2O_3$. На рис. 1 представлен рентгеноструктурный спектр.

На рентгенограмме, активированных в течение 10 минут виброударным нагружением образцов, содержащих 8% полевого шпата, присутствуют линии гетита, относительная интенсивность которых падает, а ширина увеличивается с возрастанием содержания гетита в смесях.

При дальнейших исследованиях, по совместному виброударному воздействию на смесь окисленных

кварцитов и полевого шпата, нами было выяснено, что при 16% полевого шпата появляются пики, соответствующие Fe_3O_4 .

Экспериментальные данные показывают, что алюмосиликаты обладают каталитическим действием относительно $\alpha-Fe_2O_3$. В связи с этим была найдена оптимальная концентрация полевого шпата, при которой наблюдали максимальное образование магнетита. Зависимость имеет экстремальный характер.

Методом ДТА был исследован продукт виброударной активации окисленных кварцитов и полевого шпата. Нами было выяснено, что гетит в присутствии каталитических количеств полевого шпата дегидратируется при температуре ниже 300°C. В результате чего имеющиеся в нем ионы трехвалентного железа немедленно восстанавливаются до аморфной Fe_3O_4 , которая, в свою очередь, рекристаллизуется в магнетит в интервале температур 300–360°C.

Данные результаты показывают, что каждый из рассматриваемых окислов железа (Fe_3O_4 и $\alpha-Fe_2O_3$) может изменять состав, приближаясь к одному или даже двум другим окислам, без существенной ломки структуры, а лишь за счет перераспределения ионов между тетраэдрическими и октаэдрическими пустотами.

Таким образом, происходит изменение кислородного индекса при переходе октаэдрической структуры, характерной для $\alpha-Fe_2O_3$, к структуре „обращенной“ шпинели, характерной для Fe_3O_4 .

Особенностью виброударного воздействия на минералы является образование твердых растворов различного характера. Именно эти твердые растворы будут отвечать за повышение или понижение электропроводности. Для получения корреляций между механической активностью и электронной энергией активированного минерала, полученного методом виброударного нагружения, исходили из допущения, что сдвиг уровня Ферми в объеме сдвигает уровень Ферми на поверхности в ту же сторону, т. е. существенно не изменяет систему поверхностных уровней.

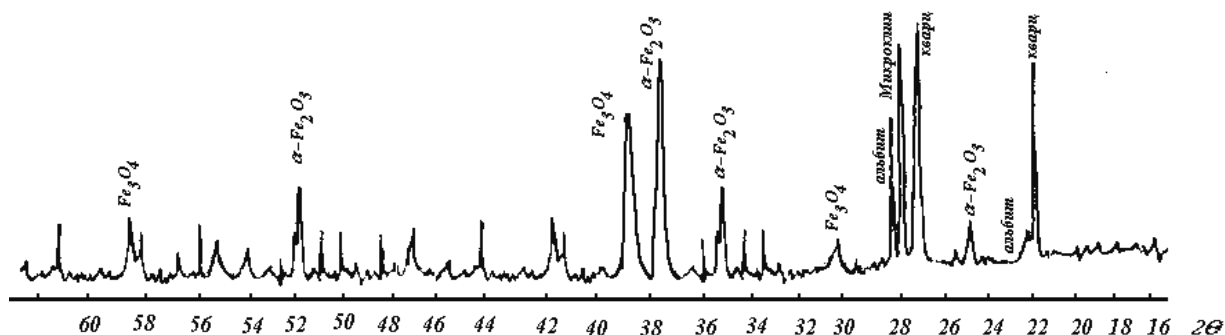


Рис. 1. Спектр рентгенофазового анализа совместной виброударной активации полевого шпата и окисленных кварцитов в течение 10 минут

С практической точки зрения, наиболее удобным способом смещения объемного уровня Ферми оказалось замещение ионов в узлах решетки на чужеродные ионы иной валентности (т. е. создание „чужеродных“ дефектов, которые, однако, с электронных

позиций принципиально не отличаются от дефектов за счет изменения валентности собственных ионов решетки). При этом, согласно правилу контролируемой валентности, электропроводность, соответственно, уменьшится в случае полупроводника n -типа

(электронного) и возрастает в случае полупроводника *p*-типа (дырочного). При виброударном нагружении окисленных кварцитов в присутствии полевого шпата наблюдается изменение электропроводности смеси. В присутствии 2–3% Al_2O_3 , а это примерно 8–10% полевого шпата, происходит образование твердых растворов внедрения – алюминатов.

На рис. 2 представлена зависимость удельной электропроводности системы $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ от состава при времени виброударного нагружения, равном 30 минут.

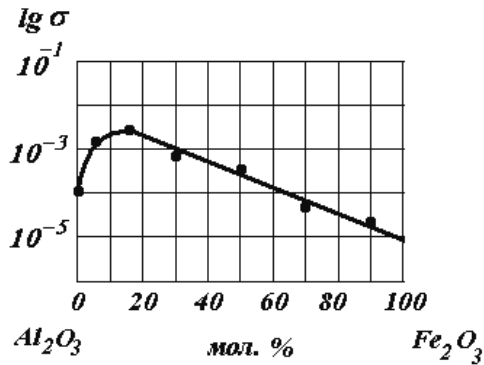


Рис. 2. Изменение удельной электропроводности системы $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ в зависимости от ее состава при виброударной активации в течение 30 минут

Для системы $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ были проведены следующие экспериментальные исследования: сопоставления электрических и рентгенофазовых характеристик сложных шпинельных систем. Такие системы получены виброударным нагружением при совместном измельчении окисленных руд и гидраргиллита.

На рис. 3 представлена зависимость электропроводности системы „окисленные кварциты-гидраргиллит“ от объемного состава и времени виброударного нагружения.

Рентгенофазный анализ показал следующий состав фазовых областей:

- I – смесь $Fe_2O_3 + \beta\text{гемит}$;
- II – твердый раствор $FeAl_2O_4$ в $Fe_{1-x}O$;
- III – шпинельный раствор $FeAl_2O_4$ в магнетите;
- IV – два твердых раствора нормальной и обращенной шпинели $FeAl_2O_4$;
- V – твердый раствор Al_2O_3 в тетрагональной шпинеле $FeAl_2O_4$;
- VI – твердый раствор $FeAl_2O_4$ в Al_2O_3 .

При статистико-термодинамическом анализе бинарных шпинельных растворов показано, что активности простых шпинелей, выбранных за компоненты, зависят как от состава, так и от степени обращенности λ (параметр, показывающий количественное распределение катионов по тетраэдрическим и октаэдрическим междуузлиям кристаллической шпинельной решетки). Следовательно, при определении зависимости активности от состава необходимо знать явный вид функции $\lambda(c)$.

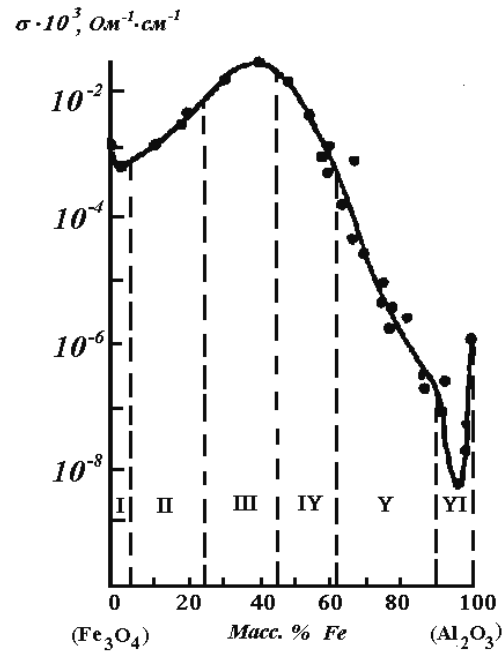


Рис. 3. Зависимость электропроводности системы $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ от ее объемного состава, определенного рентгенографически

Нами была вычислена, с учетом $\lambda(c)$, намагниченность насыщения твердых растворов $FeAl_2O_4$ с обращенным магнетитом. Определены методом непосредственной обработки эксперимента и по статистическим формулам термодинамические функции смешения при образовании этих растворов.

Концентрационная зависимость изменения интегральной внутренней энергии ΔU и энтропии ΔS смешения твердых растворов алюминатов железа с магнетитом имеют следующий вид

$$\Delta U = RT \left[\alpha_1 (c - 2\lambda c + \lambda^2) + c(1-c)(\alpha_2 + \alpha_3) \right]$$

$$\Delta S = -R \left\{ c \ln \lambda + 2c \ln c + (1-c) \ln(1 + \lambda + 2c) + \right. \\ \left. + 2(1-c) \ln(1 - \lambda) \right\}.$$

На рис. 4 (кривые 4 и 5) представлены эти зависимости для $600^\circ C$.

На рис. 4 также нанесены концентрационные зависимости интегральных значений изменения энтропии (кривая 3), энтальпии (кривая 2) и свободной энергии по Гиббсу (кривая 1) при образовании твердых растворов из алюмината железа и магнетита. На рисунке видно, что полные энтропии смешения положительны. Избыточная же интегральная энтропия смешения этих растворов хотя и мала, но положительна.

Представляют интерес линейные корреляции энергии активации проводимости с энергетическими параметрами реакций образования твердых растворов в случае полупроводниковых соединений, содержащих одноименные металлы, образующие шпинельные структуры: переход типа $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$. На

рис. 5 такая зависимость представлена для системы алюмосиликатов и окисленных кварцитов.

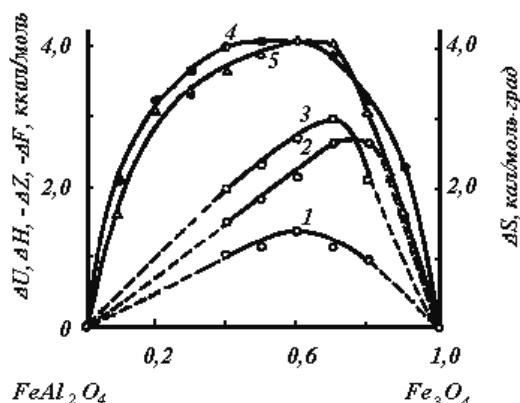


Рис. 4. Термодинамические функции смешения: 1 – свободная энергия по Гиббсу ΔZ (линия), полученная экспериментально, по Гемгольцу ΔF (точки) – статистический расчет; 2 – энтальпия ΔH ; 3 и 4 – интегральная энтропия ΔS ; 5 – полная внутренняя энергия ΔU

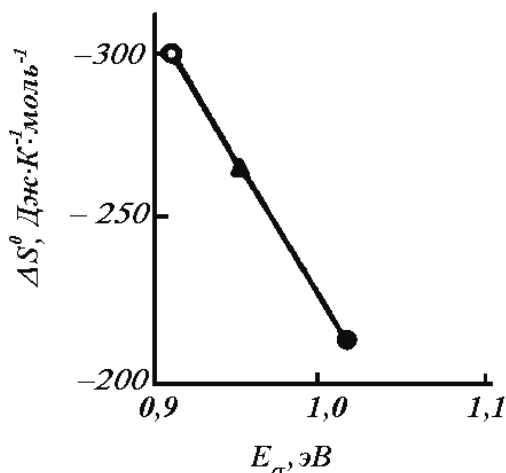


Рис. 5. Соотношение между энтропией активации и энергией активации проводимости шпинельных твердых растворов

Итак, корреляция активность – электропроводность связывает возникновение активированного состояния в твердом теле с электронными переключениями, т. е. с переходами типа металл-изолятор или металл-полупроводник. При виброударном нагружении в результате активации происходит рекомбинация атомов O , протекающая на ферритах $M_xFe_{3-x}O_4$ ($M=Cu, Cd$ и Ti) с максимальной скоростью в области составов с $x=0,4-0,6$, обладающих металлическим характером проводимости. Таким образом, при сопоставлении экспериментальных данных со статистико-термодинамическим анализом можно объяснить магнитный фазовый переход, т.е. переход из антиферромагнитного в парамагнитное состояние с изменением

энергий активации электропроводности шпинелей, происходящих при виброударном нагружении

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при виброударной активации минералов наблюдается изменение электропроводности не только за счет смещения уровня Ферми, в результате возникновения объемных и поверхностных дефектов (структурных и химических) при введении второго компонента, но и за счет образования новой фазы – твердого раствора или химического соединения как продукта взаимодействия компонентов системы.

В этом ракурсе можно рассматривать изменение магнитного момента смеси при виброударной активации окисленных кварцитов с алюмосиликатами. Это связано с фазовыми переходами в твердых телах, в результате которых структуры двух фаз оказываются близкими, а одну субрешетку можно трансформировать в другую. Однако, наряду с фазовым переходом, при котором характерные черты атомного распределения остаются неизменными, происходят переходы „порядок-беспорядок“. Примером такого перехода могут служить переходы, обусловленные разупорядочиванием в ориентации положительно заряженных частиц и их слегка искаженного окружения в шпинелях, содержащих асимметрические ионы переходного металла. С другой стороны, в результате виброударного нагружения могут происходить упорядочивания ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} (т.е. электронов) в b -узлах закиси-окиси железа, что приводит к низкой проводимости этого соединения, что затрудняет дальнейшее выделение магнетита из железных руд.

Выводы. Интенсификация процесса обогащения путем предварительного виброударного нагружения заключается в активации минералов до заданных параметров намагничиваемости и электропроводности.

Список литературы / References

1. Применение механически стимулированных реакций горения для переработки геологических материалов / Ф.Х. Уракаев, В.С. Шевченко, А.П. Чупахин [и др.] // ФТПРПИ – 2001. – №6. – С. 78–88.
Urakaev, F.Kh., Shevchenko, V.S., Chupakhin, A.P., Yusupov, T.S. and Boldyrev, V.V. (2001), “The use of mechanically stimulated combustion reactions for processing of geological materials”, *FTPRPI*, no.6, pp. 78–88.
2. Болдырев В.В. Механохимия и механохимическая активация твердых веществ / В.В. Болдырев // Успехи химии – 2006. – Т. 75. – №3. – С. 203–216.
Boldyrev, V.V. (2006), “Mechanochemistry and mechanochemical activation of solids”, *Uspekhi khimii*, vol.75. no.3, pp. 203–216.
3. Рошин А.В. Оценка возможности пирометаллургического разделения компонентов титаномангнетитовых руд / А.В. Рошин, Н.В. Мальков, В.Е. Рошин // Электрометаллургия. – 2006. – №8. – С. 23–28.
Roshin, A.V. (2006), “Evaluation of the possibility of pyrometallurgical separation of the components of titanium-magnetite ores”, *Electrometallurgiya*, no.8, pp. 23–28.

4. Франчук В.П. Объемная ионизация в процессе виброударного воздействия на минералы / В.П. Франчук, Е.Ю. Светкина // Вісник національного технічного університету „ХПІ“. Тематичний випуск „Хімія, хімічна технологія і екологія“. зб. наук. пр. – Харків, 2004. – №40. – С. 126–132.

Franchuk, V.P. and Svetkina, Ye.Yu. (2004) “Volume ionization in the process of vibroshock influence on minerals”, *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universitetu “KhPI”, special issue “Khimiya, khimichna tekhnologiya, i ekologiya”*, Kharkov, no.40, pp. 126–132.

Мета. Вивчення утворення твердих розчинів при віброударній активації, а також впливу їх на інтенсифікацію процесу збагачення мінералів.

Методика. Віброактивацію окислених кварцитів і гідраргіліта проводили на лабораторному вертикальному вібраційному млині. Компоненти змішувалися й спільно подрібнювалися у співвідношеннях $Fe_2O_3:Al_2O_3$, що становлять 1:8, 1:1, 8:1. Помольна камера заповнювалася тілами, що мелють, у вигляді куль зі сталі ШХ15 різних діаметрів. Матеріал пропускався через помольну камеру певну кількість разів для набору загального шляху подрібнення 1, 2 і 3 м. Початкові, проміжні та кінцеві продукти подрібнення піддавалися рентгенофазовому аналізу. Одночасно вимірювалися енергетичні характеристики активованої поверхні методом потенціометричного титрування, а також для системи $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ проведено зіставлення електричних і рентгенофазових характеристик складних шпинельних систем. Статистико-термодинамічним аналізом розраховувалися параметри процесу.

Результати. Особливістю віброударної дії на мінерали є утворення твердих розчинів різного характеру. Саме ці тверді розчини відповідають за підвищення або пониження електропровідності. Таким чином, при віброударній активації мінералів спостерігається зміна електропровідності не тільки за рахунок зсуву рівня Фермі, у результаті виникнення об’ємних і поверхневих дефектів (структурних і хімічних) при введенні другого компоненту, але й за рахунок утворення нової фази – твердого розчину або хімічної сполуки як продукту взаємодії компонентів системи. Для системи $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ проведено зіставлення електричних і рентгенофазових характеристик складних шпинельних систем. Визначені термодинамічні функції змішення твердих розчинів, утворених при віброударному вантаженні.

Наукова новизна. При віброударній активації спостерігається поліпшення металургійних властивостей руд – пониження температури відновлення. Це відбувається в результаті утворення твердих розчинів алюмінію та заліза – алюмінатів заліза, а також додаткової (об’ємної) іонізації, що виникає на активній поверхні мінералу.

Практична значимість. Отримані експериментальні дані та термодинамічні розрахунки дозволяють

створити умови для попередньої активації бідних і комплексних руд з метою їх подальшого збагачення й розділення на складові компоненти.

Ключові слова: *віброударна активація, електропровідність, тверді розчини, шлаки, вертикальний вібраційний млин*

Purpose. To study the sosoloids formation through the shock-vibrating activation, and its influence on intensification of mineral concentration process.

Methodology. Shock-vibrating activation of the oxidized quartzite and hydrargillite was conducted by means of laboratory vertical vibration mill. The components were mixed up and grinded together in proportion of $Fe_2O_3:Al_2O_3$ equal to 1:8, 1:1, and 8:1. The grinding chamber was filled with balls made of steel ShKh15. The material was passed through the grinding chamber several times to reach the length of grinding distance of 1, 2 and 3 m. The initial, intermediate and final products of grinding were exposed to the X-ray phase analysis. The power features of the activated surface were measured by the method of potentiometric titration. For the system of $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ the comparison of electric and X-ray phase features of the complicated spinel systems were carried out. The parameters of the process were calculated by statistical-thermodynamic analysis.

Findings. The feature of the shock-vibrating affecting minerals is formation of sosoloids of different type. These very sosoloids will cause the increase or the decrease of conductivity. Thus, the conductivity changes during the shock-vibrating activation of minerals not only due to the Fermi level change and appearance of volume and superficial defects (structural and chemical) caused by introduction of the second component but also due to the formation of new phase, sosoloid, or compound as a product of components interaction in the system. For the system of $Fe_2O_3 - Al_2O_3$ comparison of electric and X-ray phase descriptions of the complicated spinel systems was conducted. The thermodynamics functions of mixing of sosoloids formed through the shock-vibrating activation are determined.

Originality. The metallurgical properties of ores are improved and the temperature of restoration falls due to the shock-vibrating activation. It becomes possible through formation of ferrum aluminate sosoloids and also through additional (volume) ionization appearing upon the active surface of mineral.

Practical value. The experimental data and thermodynamics calculations allow creating terms for the preliminary activation of poor and complex ores with the purpose of their subsequent concentration and dividing into components.

Keywords: *shock-vibrating activation, conductivity, sosoloid, slag, vertical vibration mill*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук І.К. Младецьким. Дата надходження рукопису 07.12.12.