

КИНЕТИКА АБРАЗИВНО-РЕАКЦИОННОГО ИЗНОСА ГЕОМАТЕРИАЛОВ В МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ**Уракаев Ф.Х., Шевченко В.С.**

Институт геологии и минералогии СО РАН

urakaev@uiggm.nsc.ru.; Факс: (383) 333-2792; Тел: (383) 333-20-07

Ключевые слова: геоматериалы, мехактивация, абразивно-реакционный износ, кинетика

Изучена кинетика абразивно-реакционного износа (АРИ) стального материала шаровых планетарных мельниц "Механобр", АГО-2 и ЭИ2х150 в процессе механически активированной (МА) переработки в нанокompозитные порошки следующих видов минерального сырья:

[1,2] - кварца (получение магнитного композита);

[3] - ильменитного концентрата рукавных фильтров титаномагниевого производства и смеси концентрата с коксом (восстановление концентрата с получением железа, рутила и анатаза);

[1,4-8] - смесей кварца и кварцевого стекла с теноритом (вскрытие с получение медьсодержащего композита), галенитом (с получением свинецсодержащего композита), серой (получение пиритсодержащего композита) и графитом (получение цементита);

- алмаза (получение когенита [9]) и порошковой смеси алмаз-графит-медь (получение высокотеплопроводных композитных материалов).

Кинетика АРИ изучалась двумя методами: весовым, с точностью измерения массы барабанов и шаровой загрузки до и после опытов не менее чем 0.01 г; волюмометрическим, по реакции МА проб с кислотой. Установлен линейный закон возрастания АРИ (в единицах массы) от времени МА при отсутствии явления самофутеровки поверхностей мелющих тел и степенной закон АРИ при наличии явления самофутеровки с показателем степени меньше единицы.

Были получены данные по кинетике АРИ механохимических реакторов в следующих системах:

А) МА кварца. Подробные условия МА кварца в мельнице "Механобр" со скоростью относительного соударения мелющих тел $W = 17$ м/с даны в [1,2]. Объем барабанов составлял $V = 450$ мл, радиус шаров $R = 0.5$ см, число $N = 120$, отношение массы шаровой загрузки M к массе кварца m было принято равным 4 при $M + m = 480 + 120 = 600$ г. Время МА варьировалось от 5 до 90 мин. Величина износа при 5 мин, АРИ (в граммах), составила 1.43, а при 90 мин АРИ = 5.14 г. При этом наблюдается явление самофутеровки поверхностей мелющих тел МА кварцем. Кинетическая кривая АРИ показана на рис. 1.

Б) МА ильменитного концентрата. Условия МА в мельнице "Механобр" были: б1) отношение $M/m = 2$ при $M + m = 166.67 + 83.33 = 250$ г; б2) $M/m = 4$, $M + m = 200 + 50 = 250$ г; б3) $M/(m+m_k) = 4$ при $M + m + m_k = 200 + 42.5 + 7.5 = 250$ г, где m_k - вес кокса. Время МА варьировалось от 15 до 90 мин. Величина АРИ при указанных временах МА для всех случаев не превышала 1 г. При этом заметное явление самофутеровки поверхностей мелющих тел МА материалами наблюдалось только в случае (б3). Кинетические кривые АРИ показаны на рис. 2.

В) Вскрытие галенита (PbS) и тенорита (CuO) методом АРИ [4,5]. МА проводилась в мельнице АГО-2 ($W = 11$ м/с, $V = 140$ мл, $N = 400$, $R = 0.2$ см). В навески дробленного кварцевого стекла (абразив), взятых в количестве 3 г, добавлялись тенорит или галенит в количестве 1.5 г. Время МА варьировалось от 15 до 210 мин. АРИ при 60 мин в исследованных системах составил около 1 г. Эксперименты показали как схожесть, так и существенное отличие в протекании механохимических процессов с участием тенорита и галенита. В обеих системах имеет место АРИ мелющих тел с включением наночастиц железа в восстановительные реакции с образованием металлических частиц свинца или меди [1]. После даже кратковременной (5 мин) МА системы с теноритом имеет место самофутеровка поверхностей мелющих тел. Напротив, в системе с галенитом явление самофутеровки полностью отсутствует. Кинетические кривые АРИ для исследованных систем показаны на рис. 3.

Г) АРИ (мельница АГО-2) в системах графит (1.5 г) - кварцевое стекло или кварц (3 г) [4-6] и сера (1.6 г) - кварцевое стекло (3 г) [4-8]. Время МА до 135 мин. АРИ в исследованных системах не превысил 1.15 г. В обеих системах имеет место включение наночастиц железа в реакции

с графитом и серой с образованием цементита (Fe_3C) и пирита (FeS_2). При МА систем с графитом имеет место самофутеровка, а в системе с серой явление самофутеровки отсутствует. Кинетические кривые АРИ для изученных систем показаны на рис. 4.

Д) АРИ при МА алмаза [9] и порошковой системы алмаз (1.3 г) - графит (1.3 г) - медь (1.3 г). Применялась мельница АГО-2 с $N = 400$ для навески алмаза 2.85 г и с $N = 150$ для навески алмаза 1.75 г. Время МА до 120 мин. При МА алмаза самофутеровки почти нет, АРИ доходит до 1.6 г. Для МА системы алмаз-графит-медь использовалась в мельнице ЭИ2х150 ($V = 148$ мл, $R = 0.2$ см, $N = 400$), см. [10]. Время МА до 60 мин. Есть самофутеровка. АРИ составил около 3 г. Кинетические кривые АРИ для исследованных систем показаны на рис. 5.

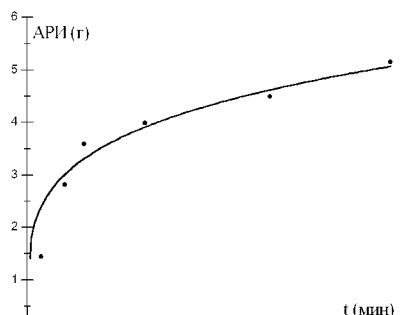


Рис.1. Кинетика АРИ при МА кварца описывается выражением:
 $K \cdot t^n = 1.8 \cdot t^{0.23}$.

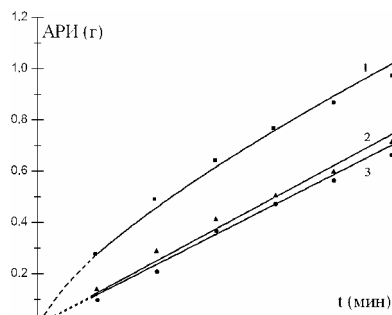


Рис.2. Кинетика АРИ при МА ильменита: 1(б3), $0.038 \cdot t^{0.73}$; 2(б2), $0.083 \cdot t$; 3(б1), $0.078 \cdot t$.

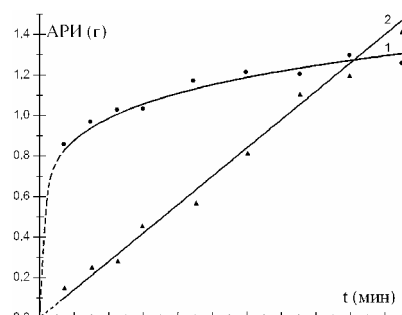


Рис.3. Кинетика АРИ при МА: 1) тенорита, $0.53 \cdot t^{0.17}$; 2) галенита, $0.0070 \cdot t$.

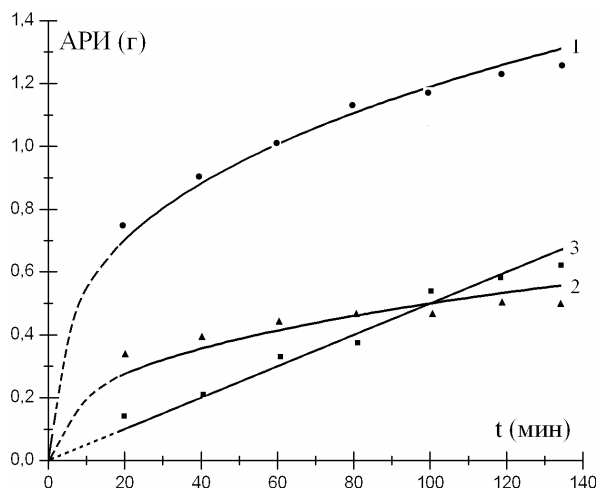


Рис.4. Кинетика АРИ при МА систем:
1) кварцевое стекло-графит $0.26 \cdot t^{0.33}$;
2) кварц-графитом $0.091 \cdot t^{0.37}$;
3) кварцевое стекло-сера $0.0050 \cdot t$.

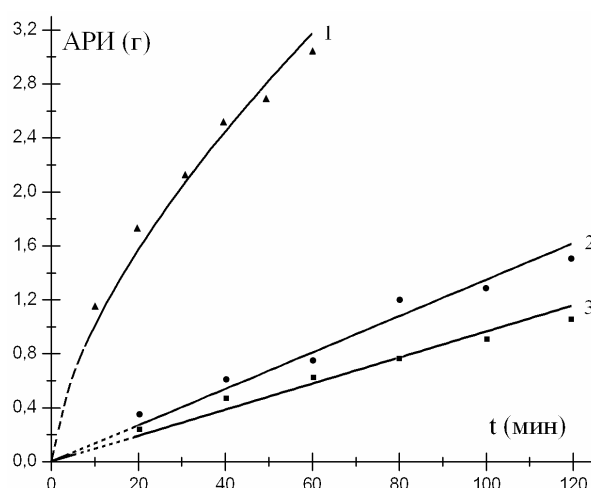


Рис.5. Кинетика АРИ при МА систем:
1) алмаз-графит-медь $0.23 \cdot t^{0.64}$;
2) навески алмаза 2.85 г, $0.0135 \cdot t$;
3) навески алмаза 1.75 г, $0.0097 \cdot t$.

Переходя к обсуждению полученных данных по кинетике АРИ, обратим особое внимание на роль явления самофутеровки поверхностей мелющих тел (внутренних стенок барабана и шаровой загрузки) в протекании механохимических процессов, наличие или отсутствие которого упоминается при описании экспериментов. Опытные данные однозначно подтверждают, что явление самофутеровки мелющих тел препятствует их абразивному износу и, как следствие, протеканию механохимических реакций активируемого образца со стальным материалом износа мелющих тел. Математическая обработка экспериментально измеренных значений АРИ в зависимости от времени МА t (мин) в различных мельницах (Рис. 1-5) дает следующую эмпирическую зависимость: $\text{АРИ (г)} = K \cdot t^n$, где K - константа скорости абразивно-реакционного износа материала мелющих тел, а n - показатель степени. Видим, что как константа скорости (K , от 0.0050 г/мин для МА системы сера - кварцевое стекло до $1.8 \text{ г/мин}^{0.23}$ для МА кварца), так и показатель степени (n , от 0.17 для МА тенорита до 1 для систем в которых не имеет место самофутеровка поверхностей мелющих тел) меняются в достаточно широком численном интервале. На примере опытов по МА активации алмаза и ильменита видно, что K зависит от усло-

вий активации ($n = 1$): $K = 0.0135$ г/мин для навески алмаза 2.85 г и шаровой загрузки $N = 400$; $K = 0.0097$ г/мин для навески алмаза 1.75 г и $N = 150$; $K = 0.0078$ г/мин для отношения навески ильменита m к весу M шаровой загрузки 0.5; $K = 0.0083$ г/мин при $m/M = 0.25$. На примере МА смесей тенорита и галенита с кварцевым стеклом, а также смесей графита с кварцем, графита и серы с кварцевым стеклом выполненных в идентичных условиях МА, видно, что величины K и n существенно зависят также не только от природы и специфики протекающей химической реакции, но и фазового состояния абразива: $K = 0.53$ г/минⁿ и $n = 0.17$ для тенорита; $K = 0.0070$ г/мин и $n = 1$ для галенита; $K = 0.091$ г/минⁿ и $n = 0.37$ для смеси графита с кварцем; $K = 0.26$ г/минⁿ и $n = 0.33$ для смеси графита с кварцевым стеклом; $K = 0.0050$ г/мин и $n = 1$ для смеси серы с кварцевым стеклом. Нами установлено, что $n = 1$ для процессов АРИ, протекающих без самофутеровки, и также показано, что величина n связана с объемной долей абразивного материала в активируемой смеси для процессов АРИ с футеровкой поверхностей мелющих тел: $n = 1 - (V_a/V_0)$, где V_a - объем абразива, V_0 - общий объем активируемой шихты.

Работа поддержана грантом РФФИ № 05-05-64572

Литература

1. Уракаев Ф.Х., Кетегенов Т.А., Петрушин Е.И., Савинцев Ю.П., Тюменцева О.А., Чупахин А.П., Шевченко В.С., Юсупов Т.С., Болдырев В.В. Комплексное изучение абразивно-реакционного модифицирования поверхности частиц кварца аморфными соединениями железа в мельницах со стальной фурнитурой // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2003. № 3. СС. 110-122.
2. Уракаев Ф.Х., Кетегенов Т.А., Тюменцева О.А., В.В. Болдырев. Моделирование реакции материала мелющих тел с обрабатываемым веществом на примере обработки кварца в мельнице со стальной фурнитурой // Журнал физической химии. 2004. Т. 78. № 5. СС. 828-834.
3. Уракаев Ф.Х., Орынбеков Е.С., Назаркулова Ш.Н., Тюменцева О.А., Чупахин А.П., Шевченко В.С., Юсупов Т.С., Кетегенов Т.А. Перспективы применения методов механической активации для получения пигментов на основе диоксида титана из отходов титаномagneйского производства // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 2. СС. 317-323.
4. Urakaev F.Kh., Chupakhin A.P., Ketegenov T.A., Shevchenko V.S. Nanoabrasive wear. Prospects for obtaining new materials // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. Спец. выпуск. Ч. 2. СС. 53-55.
5. Уракаев Ф.Х. Синтез нанокомпозитов методом абразивно-реакционного износа материала мелющих тел механохимического реактора // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. № 8. СС. 1256-1261.
6. Уракаев Ф.Х. Использование абразивных свойств стекол для механохимического получения нанокомпозитов // Физика и химия стекла. 2004. Т. 30. № 5. СС. 604-611.
7. Уракаев Ф.Х., Шевченко В.С., Кетегенов Т.А. Синтез халькогенидных нанокомпозитов // Журнал физической химии. 2004. Т. 78. № 3. СС. 571-574.
8. Urakaev F.Kh. Numerical simulation of a new mechanochemical method for the formation of amorphous solids and nanocomposites // Mendelevov Communications. 2005. V. 15. N. 3. PP. 106-111.
9. Уракаев Ф.Х., Пальянов Ю.Н., Шевченко В.С., Соболев Н.В. Абразивно-реакционный механохимический синтез когенита с применением алмаза // Доклады Академии Наук. 2004. Т. 394. № 5. СС. 677-681.
10. Уракаев Ф.Х., Болдырев В.В. Кинетика механохимических процессов в диспергирующих аппаратах // Неорганические материалы. 1999. Т. 35. № 4. СС. 495-503.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(24) 2006

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2006)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/elaborat-4.pdf

Опубликовано 1 июля 2006 г

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2006

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна