

**Л.Ж. ГОРОБЕЦ**, д-р техн. наук  
(Украина, Днепр, НТУ «Днепровская политехника»)

## **ЭФФЕКТЫ МЕХАНОАКТИВАЦИИ УГЛЕМАТЕРИАЛОВ ПРИ ТОНКОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ**

*Постановка проблемы.* В природе и различных технологиях обработки материалов в областях малого масштаба (микро– и наноуровня) в отдельные моменты могут концентрироваться энергии, сопоставимые с энергиями активации химических реакций. Это приводит к изменениям энергетического состояния вещества, физико-химических и технологических свойств тонких фракций измельченного материала, которые называют *эффектами механоактивации*.

Динамическая перестройка вещества в процессе измельчения сопровождается генерацией дефектов, электромагнитным и акустическим излучением, эмиссией электронов, атомов, частиц, люминесценцией, что реализует интенсификацию пластической деформации, развития трещин, фазовых превращений. Степень микроискажений кристаллической решетки оценивают по кинетике химического процесса. Отмечают изменения химической активности вещества при нагружении в зависимости от вида воздействия (сжатие, растяжение). В работах Г.Е. Аввакумова, В.В. Болдырева, П.А. Бутягина, Г.С. Ходакова отражены гипотезы и результаты исследований активации материалов при разрушении и диспергировании, рассмотрено действие среды на свежесформированные продукты разрушения с позиций физики поверхностных явлений и физической химии [1-3].

Опыт исследований свойств продуктов измельчения показал, что для оценки механоактивации измельченных минералов кварца и циркона приемлемы степень их аморфизации и выщелачивания, соотношение характерных размеров, коэффициент формы частиц [4-6].

Механохимические явления объясняют действием упругой энергии путем деформирования и разрывов связей в твердых телах. В работах академика П.А. Ребиндера и его школы нашли применение физико-химические методы исследования свойств поверхности твердых тел, такие как рентгеноструктурный и термографический анализ, электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия, масс-спектрометрия [7]. Исследованиями установлено изменение термических характеристик измельченных минералов из-за их аморфизации, различие фазовых превращений вещества при обработке в активаторах различного типа [8]. Например, в измельчительных устройствах газоструйного и планетарного типа (центробежная или дифференциальная мельница), реализуется механизм измельчения ударами высокой энергии в сочетании с истиранием, что приводит к изменениям структуры и реакционной способности диспергированного вещества.

## Підготовчі процеси збагачення

На рис. 1 показаны зависимости извлечения  $\varepsilon_{Cu}$  меди в зависимости от расхода  $G$  осадителя– никелевого концентрата, измельченного в различных активаторах: газоструйной, планетарной мельницах (период измельчения  $\tau = 2; 7$  мин.), дезинтеграторе (частота нагружения  $n = 15 \cdot 10^3; 18 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$ ) [9].

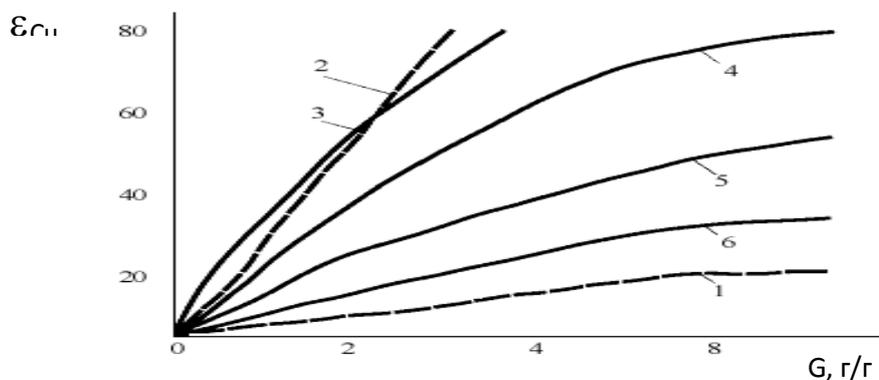


Рис. 1. Влияние способа и режима измельчения на реакционную способность никелевого концентрата в процессе очистки от меди никелевых растворов:

$\varepsilon_{Cu}$  – извлечение меди, %,  $G$  – удельный расход осадителя, г/г меди;

1 – исходный концентрат; 2-6 – измельченный концентрат: 2 – газоструйная мельница; 3,4 – планетарная мельница; 5, 6 – дезинтегратор

Установлено, что в результате измельчения и механоактивации никелевого концентрата газоструйным способом (кривая 2), достигается практически полное осаждение меди из раствора (остаточная концентрация порядка 0,002 г/л) при минимальном расходе концентрата.

Эффекты улучшения технологических свойств угля при обработке измельчением объясняют влиянием деструкции, саморазогрева (до 96 °С) и окисления углематериала. Решающим фактором в процессе измельчения угля является режим нагружения [4, 10, 11]. На примере бурого угля Александрійського месторождения изучено влияние измельчения угля на выход гуминовых кислот в процессе щелочного гидролиза. За счет механоактивации при ударно-истирающем воздействии часть угля переходит в гуматы с увеличением выхода гуминовых кислот на 10-17%. Прямой зависимости между выходом гуминовых кислот и удельной поверхностью измельченного угля не было подтверждено. Исследования, проведенные в Институте физико-органической химии и углехимии АН Украины, показали, что оптимальный вариант механоактивации угля включает совмещение высокоэнергетического ударного с истирающим нагружением, что позволяет перевести в гуминовые кислоты до 90 % сухой беззольной массы бурого угля.

В современной химии считают, что *энергетическое состояние* вещества задает поверхность твердого тела, в частности, ее химическое строение, молекулярная масса, набор функциональных групп, связанных с числом дефектов структуры в виде трещин, пор и других нарушений естественного расположе-

ния атомов. В физике прочности поверхность твердого тела характеризуют как *особое состояние* вещества. Ювенильная поверхность измельченного вещества содержит активные функциональные группы атомов. Согласно *основной теории строения вещества* по В.Б. Алесковскому [12] содержание активных групп  $A$  на поверхности в общем количестве структурных единиц  $B$  остова связано с параметром дисперсности  $S/V$ :  $\frac{A}{B} \approx \frac{S}{V} \approx d^{-1}$  ( $S$  – площадь поверхности вещества). В этой связи прогнозная оценка степени механоактивации материала в процессе измельчения проводится по величине *параметра дисперсности* – приросту  $\Delta S/V$  ( $\Delta S \cong S$ ) удельной поверхности диспергированного продукта.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Согласно представлениям, основанным на новых достижениях физики разрушения и измельчения [4, 13], *механоактивация это одна из форм автовозбуждения активности вещества* на стадии спонтанного разрушения (авторезонанса) нагруженного твердого тела. Для оценки энергетического состояния поверхности тонкодисперсных частиц рекомендуется характеристика их *адсорбционной активности*.

Изменение адсорбционных свойств диспергированных порошков может служить параметром для сопоставления их активности, поскольку свободная энергия адсорбции при прочих равных условиях (близких факторах физической и химической природы) зависит от режима нагружения. Последний изменяет ювенильную поверхность, количество функциональных групп, надмолекулярную структуру, химический состав, теплоту смачивания и растворения вещества. Экспериментально установлено [14,15], что для конкретного энергетического режима нагружения измельчаемых частиц (кварц, циркон) существует предельная величина запасенной веществом энергии, которой соответствует максимальное изменение потенциала  $\Delta\phi$  (а в ряде случаев и водородного показателя  $\Delta pH$ ) в условиях окислительно-восстановительной системы ферро-ферри в процессе адсорбции ионов Fe на поверхности тонкодисперсных фракций (менее 100 мкм). Допускается, что величина условного адсорбционного потенциала  $\Delta\phi$  характеризует величину свободной энергии, запасенной дисперсным веществом при обработке сжатием, ударом, трением, взрывом, измельчением.

Суть применяемой потенциометрической методики (см. рис. 1) состоит в измерении потенциала редокс-системы ферро-ферри ( $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ ) в присутствии навески материала до установления равновесия между концентрацией железа в растворе и на поверхности диспергированного вещества. Начальное значение потенциала, с которого начинается исследование, должно составлять 500-530 мВ. Равновесным значением потенциала считают величину, при которой изменение потенциала за 3 мин. не превысит 1 мВ. Длительность измерения составляет 6-12 мин. Масса исследуемой пробы – 15 мг. В процессе адсорбции ионов трехвалентного железа на поверхности тонкодисперсного материала происходит падение потенциала суспензии. Одновременно проводится регистрация параметра  $pH$  (начальное значение – 2,6-2,7), так как для некоторых пород и ми-

## Підготовчі процеси збагачення

нералов величина  $pH$  может также служить характеристикой их механоактивации. Представляет интерес также наблюдение за скоростью адсорбции: увеличение скорости изменения  $\Delta\varphi$  указывает на повышенные механоактивационные свойства.

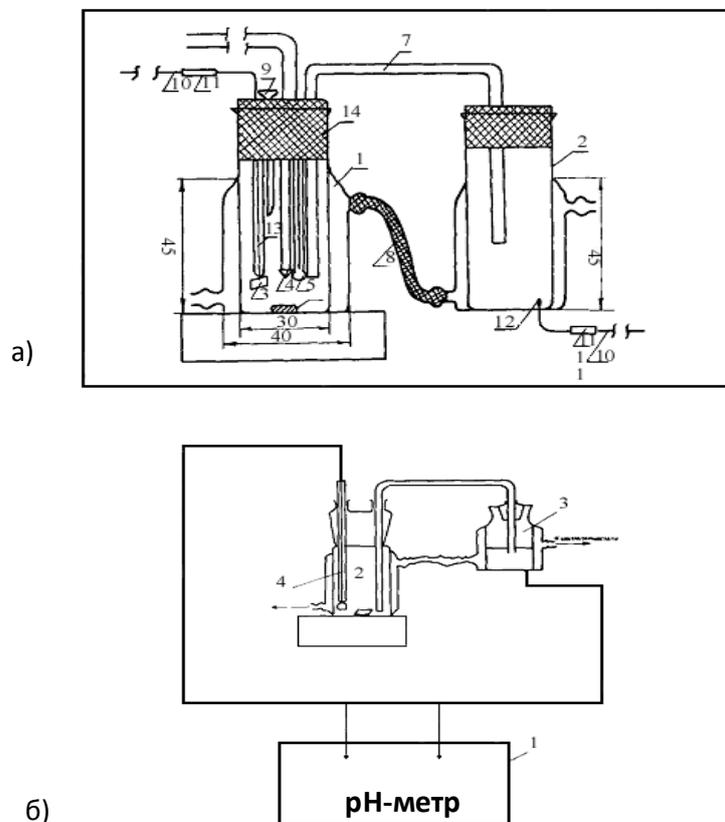


Рис. 2. Схема оценки механоактивации измельченного вещества:

а – ячейка для измерения потенциала:

1 – сосуд с двойными стенками;

2-5 – электроды: 2 – каломельный; 3 – платиновый; 4 – хлорсеребряный;

5 – стеклянный; 6 – мешалка; 7 – электролитический ключ; 8 – резиновый шланг;

9 – воронка; 10 – изолированная медная проволока; 11 – штепсельный разъем.

б – схема потенциометрических измерений; 1 – pH-метр; 2 – электрохимическая ячейка;

3 – каломельный электрод; 4 – платиновый электрод.

*Цель исследования* – обосновать теоретические предпосылки и практические возможности достижения высоких механоактивационных свойств диспергированных продуктов при тонком измельчении углематериалов.

*Изложение основного материала.* Эффекты механоактивации определяются энергетическими параметрами разрушения: средней  $W_V$  и локальной  $W_{\Delta V}$  плотностью энергии [4, 16]. Параметр  $W_V = \sigma_o \varepsilon_o / 2$  – это энергия, приданная телу в процессе нагружения и приходящаяся на единицу его объема, а  $W_{\Delta V} = W_V / \varepsilon_{д}$  – локальная плотность энергии на единицу объема очага разрушения ( $\sigma_o$  – предел прочности,  $\varepsilon_o$ ,  $\varepsilon_{д}$  – деформация соответственно на пределе прочности и на ста-

дии диспергирования). Параметр  $W_{\Delta V}$  характеризует по сути энергетический порог акта диспергирования, при достижении которого срабатывает механизм высвобождения аккумулированной энергии. Стадия диспергирования завершает процесс разрушения с формированием тонкодисперсных активированных фрагментов. Независимо от способа и вида подводимой к нагружаемому твердому телу энергии акт диспергирования включается по достижении уровня плотности энергии  $W_{\Delta V}$ , определяющей величину свежесформированной (новой) поверхности  $\Delta S$ :

$$\frac{\Delta S}{V} \cong W_{\Delta V} \varepsilon_D \frac{\eta}{\gamma}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем деформируемого тела;  $\gamma$  – удельная поверхностная энергия;  $\eta$  – к.п.д диспергирования.

Из (1) следует, что возможная степень диспергирования и механоактивации материала в процессе измельчения ограничена набором его природных энергетических свойств, включающим теоретическую поверхностную энергию  $\gamma$ , локальную плотность  $W_{\Delta V}$  энергии при разрушении и коэффициент  $\eta$  полезного действия диспергирования. Экспериментально подтверждено, что информацию об энергетических свойствах ( $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $W_{\Delta V}$ ) активированного дисперсного вещества, определяющих эффекты механоактивации, возможно получить путем анализа запредельной стадии деформирования и разрушения с использованием диаграмм  $\sigma$ - $\varepsilon$  нагружения модельных образцов трехосным неравнокомпонентным сжатием [4].

Пример диаграммы деформирования угля показан на рис. 3 [4].

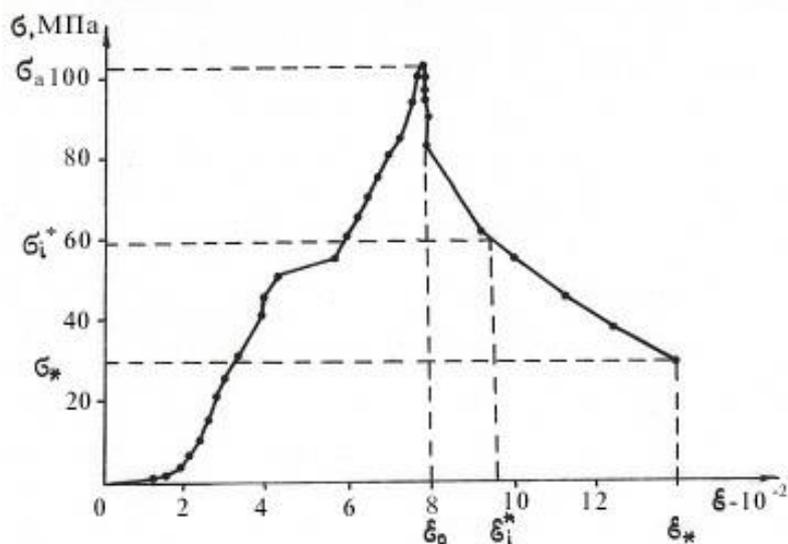


Рис. 3. Диаграмма деформирования угля в режиме трехосного неравнокомпонентного сжатия

## **Підготовчі процеси збагачення**

Из графиков виден стадийный характер деформирования. Начальный участок малой протяженности зависит от степени дефектности материала. Далее следует упругое и неупругое деформирование, переходящие в запредельную стадию, которая начинается с релаксации напряжений после достижения максимальной прочности ( $\sigma_0$ ). За зоной релаксации напряжений (вертикальный участок графика) наблюдается область интенсивного разрушения ( $\sigma_0 - \sigma_i^*$ ) – стадия быстрой разгрузки напряжений (с максимальным модулем спада графика), сопровождающаяся увеличением деформации, разрыхлением структуры с образованием тонкодисперсных частиц. Наиболее важными характеристиками диаграммы являются предел прочности  $\sigma_0$ , остаточная прочность  $\sigma^*$ , деформации  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_i^*$ , отвечающие переходу к разупрочнению и остаточной прочности. На основе информации о запредельном состоянии нагружаемого образца проводится оценка его энергетических параметров: удельной поверхностной энергии (теоретической  $\gamma$  и эффективной  $\Gamma$ ) и величины  $\eta$  к.п.д. диспергирования [4].

Удельную энергию  $\gamma$  на образование единицы поверхности  $\Delta S$  предлагается рассчитывать по величине энергии  $W_i V_i$ , накопленной в единице объема  $V_i$  зоны трещинообразования (трещинных пустот);  $V_i = \varepsilon_i V$ .

$$\gamma \cong \frac{W_i V_i}{\Delta S} \cong \frac{W_i \varepsilon_i}{\Delta S / V} \cong \frac{W_{\Delta V} \varepsilon_i}{\Delta S / V}, \quad (2)$$

где  $W_i = \sigma_i \varepsilon_i / 2$  – работа диспергирования;  $\sigma_i, \varepsilon_i$  – изменение напряжений и деформаций на стадии быстрой разгрузки (см. рис. 3),  $\sigma_i = \sigma_0 - \sigma_i^*$ ;  $\varepsilon_i = \varepsilon_i^* - \varepsilon_0$ ;  $\sigma_i^*, \varepsilon_i^*$  – напряжение и деформация в образце по завершении стадии быстрой разгрузки.

С учетом инициирования диспергирования акустическими волнами [4] оцениваем величину  $\eta$  к.п.д. диспергирования (см. рис. 3) как коэффициента *трансформации упругой энергии*, сконцентрированной в очагах разрушения в критическом состоянии  $W_{\Delta V}$ , в полезную работу диспергирования  $W_i$ , совершаемого на стадии быстрой разгрузки напряжений от  $\sigma_0$  до  $\sigma_i^*$ :

$$\eta = \frac{W_i}{W_{\Delta V}} = \frac{W_i \varepsilon_i}{W_0} = \frac{W_i V_i}{W_0 V}; \quad \eta = \frac{W_i V_i}{W_0 V} = \frac{\int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon_i^*} [\sigma(\varepsilon) - \sigma_i^*] d\varepsilon}{\int_0^{\varepsilon_0} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon} \cdot \varepsilon_i, \quad (3)$$

где  $W_{\Delta V} = W_0 / \varepsilon_i$  – критическая локальная плотность энергии, приходящейся на единицу объема трещин;  $W_0 = \sigma_0 \varepsilon_0 / 2$ . Из (2) и (3) следует:  $\eta = \frac{\gamma}{W_0} \cdot \frac{\Delta S}{V}$ . Все па-

раметры, входящие в формулы для расчета  $\gamma$  и  $\eta$ , определяются на основе полной диаграммы  $\sigma(\varepsilon)$ . Величина  $\gamma$  представляет собой теоретическую оценку удельной поверхностной энергии, как природной энергетической характеристики вещества, оценивающей способность его к диспергированию (образованию ювенильной поверхности).

На основе полной диаграммы деформирования рассчитывается также общий удельный расход энергии на образование тонкодисперсных активированных частиц, если объединить полезную работу диспергирования  $W_i V_i$  с затратами энергии на создание упругих напряжений  $W_o V_o$  и работу пластического деформирования  $W_{nl} V_{nl}$  нагружаемого образца:

$$\Gamma = \frac{W_o V_o + W_i V_i + W_{nl} V_{nl}}{\Delta S} = \frac{W_o \varepsilon_o + W_i \varepsilon_i + W_{nl} \varepsilon_{nl}}{\Delta S / V}. \quad (4)$$

Здесь  $V_o, V_i, V_{nl}$  – объемы зон действия соответственно упругих, разрушающих (диспергирующих) и перемещающих (сдвиговых) напряжений;  $V_o = \varepsilon_o V, V_{nl} = \varepsilon_{nl} V, V_i = \varepsilon_i V$ ;  $\sigma_{nl}, \varepsilon_{nl}$  – изменение напряжений и деформаций на стадии пластической разгрузки;  $\sigma_{nl} = \sigma_i^* - \sigma^*; \varepsilon_{nl} = \varepsilon_i^* - \varepsilon^*, W_{nl} = \sigma_{nl} \varepsilon_{nl} / 2; W_o = \sigma_o \varepsilon_o / 2; W_i = \sigma_i \varepsilon_i / 2$ .

В таблице 1 показано изменение прироста  $\Delta S/V$  удельной поверхности диспергированного угля и других показателей разрушения модельных образцов в форме куба (объем  $V = 175 \text{ см}^3$ ) сжатием (одноосным и трехосным) при различных значениях коэффициента  $K$  концентрации напряжений ( $K=2; 5$ ).

*Таблица 1*

Показатели и эффекты механоактивации в различных режимах нагружения образцов угля одноосным и объемным сжатием

№	Нагружение	$\sigma_o,$ МПа	$\varepsilon_o,$ %	$W_o,$ МДж/м <sup>3</sup>	$W_{\Delta V},$ МДж/м <sup>3</sup>	$\beta$ (%) фракции (мкм) менее		$\Delta S/V,$ м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	$\Gamma,$ Дж/м <sup>2</sup>
						200	500		
1	ООС	11	3,6	0,2	-	2,7	5,5	1970	102,0
2	ТНС, $K=2$	50	2,4	0,6	25,0	0,9	1,7	342	137,0
3	ТНС, $K=2$	40	1,7	0,34	13,0	1,9	2,3	427	39,5
4	ТНС, $K=5$	104	7,7	4,0	210,0	8,2	10,2	7690	45,0
5	ТНС, $K=5$	63	3,4	1,1	46,5	4,8	11,3	955	90,0

**Примечание:**

ООС – одноосное сжатие; ТНС – трехосное неравнокомпонентное сжатие.

На рисунке 4 показан образец угля, подвергнутого трехосному неравнокомпонентному сжатию (опыт № 2).

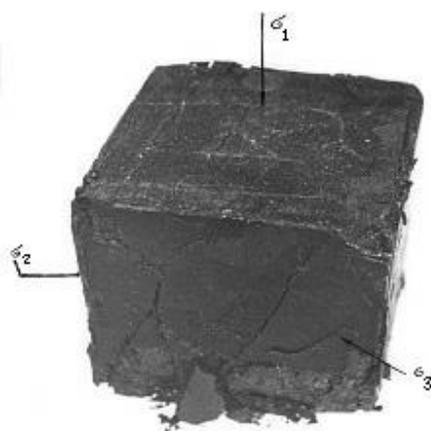


Рис. 4. Образец угля в результате трехосного неравнокомпонентного сжатия:  
 $\sigma_1$  – параллельно напластованию;  $K = 2$ ; предел прочности  $\sigma_0 = 50$  МПа

Из таблицы 1 видно, что эффекты диспергирования и механоактивации угля достигаются энергетически более выгодно в режиме неравнокомпонентного объемного нагружения (ТНС,  $K=5$ , опыт 4): по сравнению с одноосным сжатием увеличивается в 2-3 раза содержание  $\beta$  в измельченном угле тонких и мелких фракций (менее 100 и 500 мкм). При этом величина прироста свежесформированной поверхности составила до  $\Delta S/V = 7690$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> при двукратном снижении удельного расхода энергии на измельчение по сравнению с режимом ООС:  $\Gamma = 45$  Дж/м<sup>2</sup>.

На рис. 5 показано изменение  $\Delta\varphi$  адсорбционного потенциала измельченных фракций угля в зависимости от размера  $d$  частиц и плотности энергии  $W_0$  и  $W_{\Delta V}$  при разрушении образцов объемным сжатием.

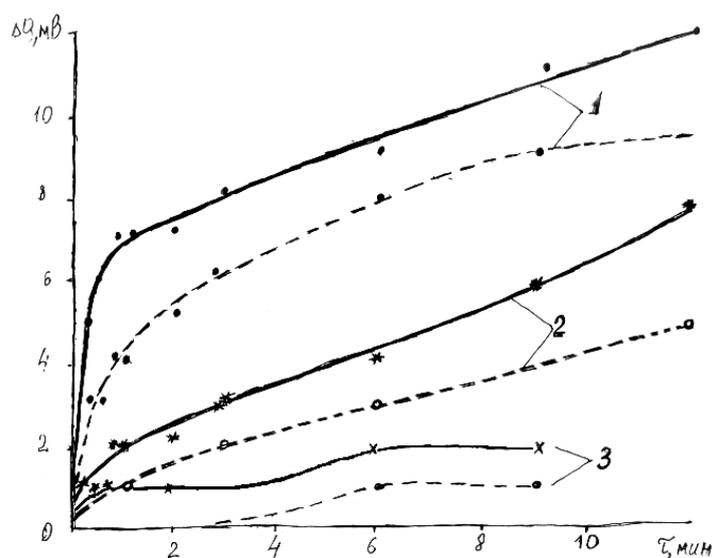


Рис. 5. Кинетика механоактивационного параметра  $\Delta\varphi$  угля:  
 Размер  $d$  фракций (мкм): 1– менее 40, 2– 40-100, 3– 100-200;  
 сплошная линия–  $W_0 = 0,6$  МДж/м<sup>3</sup>;  $W_{\Delta V} = 25$  МДж/м<sup>3</sup>; (опыт № 2);  
 пунктирная–  $W_0 = 0,34$  МДж/м<sup>3</sup>;  $W_{\Delta V} = 13$  МДж/м<sup>3</sup>; (опыт № 3)

Опытные данные рис. 5 и таблицы 1 открывают закономерность влияния плотности энергии (средней  $W_o$  или локальной  $W_{\Delta V}$ ) при разрушении на эффекты механоактивации тонких фракций угля. Видно, что механоактивационные свойства разрушенного (диспергированного) продукта наиболее сильно выражены у тонкодисперсных фракций ( $\sim 40$  мкм):  $\Delta\varphi = 10-13$  мВ по сравнению с  $\Delta\varphi = 1-2$  мВ и  $\Delta\varphi = 2-8$  мВ при размерах порядка или более 100 мкм. Таким образом, изменение адсорбционного потенциала суспензии тонкодисперсного порошка  $\Delta\varphi$  может служить экспериментальной оценкой степени механоактивации измельченного угля (не крупнее 100 мкм).

Проведенное исследование подтверждает правильность обоснованных теоретических положений, позволяет сформулировать теоретические предпосылки и оценить факторы проявления эффектов механоактивации при тонком измельчении углематериалов. Экспериментальные исследования показали достижение повышенных эффектов диспергирования и механоактивации минерального сырья и концентратов в режимах, обеспечивающих высокодинамичное импульсное нагружение частиц со скоростью динамической деформации ( $\cong 10^5 \dots 10^6 \text{с}^{-1}$ ) и частотой воздействия, приближающейся к собственной частоте автоколебательного резонанса разрушаемого тела.

#### *Выводы*

1. Увеличение поверхности измельченного вещества, содержащего активные функциональные группы атомов, определяется видом и энергетикой нагружения материала в актах его механической обработки. Решающим фактором с позиций механоактивации вещества в процессе измельчения является режим нагружения.

2. С позиций *основной теории строения вещества* основой прогнозирования механоактивации материала при измельчении является *параметр дисперсности*, т.е. прирост  $\Delta S/V$  ( $\Delta S \cong S$ ) удельной поверхности измельченного продукта.

3. Возможная степень диспергирования и механоактивации гетерогенных материалов в процессе измельчения ограничена набором его природных энергетических свойств, включающим теоретическую поверхностную энергию  $\gamma$ , локальную плотность  $W_{\Delta V}$  энергии при разрушении и коэффициент  $\eta_d$  полезного действия диспергирования. Информацию о свойствах, задающих эффекты механоактивации, получаем путем анализа запредельной стадии деформирования с использованием диаграмм  $\sigma-\varepsilon$  нагружения модельных образцов трехосным сжатием.

4. Выявлена тенденция усиления механоактивационных свойств тонких частиц угля при более высокой плотности полученной образцом энергии к моменту разрушения.

5. Энергетическое состояние поверхности измельченных частиц угля в области размеров менее 100 мкм можно экспериментально оценить их адсорбци-

онной активностью с применением потенциометрической методики, причем, предельной величине запасенной веществом энергии соответствует максимальное изменение величины адсорбционного потенциала.

6. Оптимальный вариант подготовки угля для изменения его структуры, повышения реакционной способности и улучшения технологических свойств углематериалов включает тонкое измельчение в режиме сочетания высокоэнергетического ударного и истирающего нагружения, например, газоструйным способом. Экспериментально подтверждены высокие механоактивационные свойства ряда диспергированных природных материалов (цирконовый, никелевый, молибденит- и золотосодержащий, вольфрамовый, железорудный концентраты, кварцевый песок) в противоточном режиме газоструйного измельчения.

### **Список литературы**

1. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процес-сов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 253 с.
2. Ходаков Г.С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972.– 307 с.
3. Бутягин П.Ю. Разупорядочение структуры и механохимические реакции в твердых телах // Успехи химии. – 1984. – Т.3., №11. – С. 1769-1789.
4. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореферат дисс. д-ра техн. наук: НГУ: Днепр-ск. – 2004.– 35 с.
5. Влияние механической активации дисперсных материалов на их поверхностные и технологические свойства / Горобец Л.Ж., Юрьевская И.М., Корсаков В.Г. // В кн.: Физико-химическая механика дисперсных систем и материалов. – Киев: Наукова думка, 1983.– С. 6-7.
6. Исследование реакционной способности механически активированного кварцевого песка / Л.Ж. Горобец, И.М. Юрьевская, В.Г.Корсаков // Журн. прикл. химии. – 1986.– № 1.– С. 187-190.
7. Горюнов Ю.В., Перцов Н.В., Сумм Б.Д. Эффект Ребиндера.– М. :Наука, 1966.– 125 с.
8. Пилов П.И., Горобец Л.Ж., Салова Е.В., Пеня Ю.С., Верхоробина И.В. Влияние способа нагружения на механоактивацию измельченного угля. ЗКК, № 21(62), 2005, с. 27-35.
9. Физико-химические свойства никелевого концентрата цеха разделения файнштейна при обработке в различных активирующих устройствах / Кулебакин В.Г., Суцев А.В. Горобец Л.Ж., Кинк А.А. // В кн.: Интенсификация процессов обогащения полезных ископаемых. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР– 1982.– С.75-83.
10. Интенсификация процесса извлечения гуминовых кислот из бурого угля при диспергировании / Гирина Л.В., Думбай И.Н., Горобец Л.Ж. и др.// Химия твердого топлива. – 1985. – № 6. – С. 59-65.
11. Вплив подрібнення бурого вугілля Олександрійського родовища на результати піролізу / В. С. Білецький, О. О. Красілов, Т. Г. Шендрік, В. О. Тамко, Л. Ж. Горобець // Збагачення корисних копалин. – 2009. – Вип. 35 (76). – С.57–63.
12. Алесковский Б.В., Корсаков В.Г. Физико-химические основы рационального выбора активных материалов.– Л.: ЛГУ, 1980.– 159 с.
13. Горобец Л.Ж., Бовенко В.Н. Автоколебательная модель механоактивации // В кн. "Дезинтеграторная технология" / Тез. докл. V Всес. семинара.– Таллинн.– 1987.– С.24-25.
14. Исследование энергетических характеристик поверхности природных дисперсных материалов потенциометрическим методом / Горобец Л.Ж., Юрьевская И.М., Корсаков В.Г. и др. // Тез. докл. 8 Всес. конф. по коллоидной химии и физико-химической механике. – Таш-

кент, 1983. – С. 44-45.

15. Горобец Л.Ж. О методике оценки механоактивационных свойств диспергированных продуктов // Тез. докл. VI Всесоюз. семинара "Дезинтеграторная технология". – Таллинн. – 1989. – С. 24-26.

16. Бовенко В.Н., Горобец Л.Ж. Влияние плотности энергии разрушения на механоактивационную способность диспергированных продуктов // Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых. – 1988. – № 1. – С. 44-49.

17. Об эффективности использования струйного измельчения при подготовке руд и концентратов к обогащению и металлургической обработке / Бортников А.В., Телегин М.О., Беликов В.В., Горобец Л.Ж., Кучаев В.А. // Обогащение руд. – 1996. – № 5. – С. 3-6.

© Горобец Л.Ж., 2019

*Надійшла до редколегії 27.05 2019 р.*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*

УДК 622.775

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21339.92962>

**Т.А. ОЛІЙНИК**, д-р техн. наук,

**П.К. НІКОЛАЄНКО, К.В. НІКОЛАЄНКО**, канд. техн. наук

(Україна, Кривий Ріг, Криворізький національний університет)

## **ВПЛИВ ДРОБЛЕННЯ ГЕМАТИТОВИХ РУД В ВАЛКОВІЙ ДРОБАРЦІ З ВАЛКАМИ ВИСОКОГО ТИСКУ НА КІНЦЕВІ ПОКАЗНИКИ ЇХ ЗБАГАЧЕННЯ**

*Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.* Селективність розкриття мінералів при дробленні є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить знизити втрати рудних мінералів при збагаченні руд і підвищити якість кінцевих концентратів.

*Аналіз досліджень і публікацій.* В даний час проблему розкриття мінералів в процесі переробки вирішують традиційним шляхом поетапного дроблення вихідної руди в щоківних, конусних, валкових на інших дробарках до крупності 20-0 мм та подрібнення в млинах до крупності 1-0 мм і менше. При такій схемі рудопідготовки існує велика ймовірність низької селективності розкриття, з переподрібненням рудних мінералів та зниженням технологічних показників при подальшому збагаченні.

Одним з рішень підвищення селективності розкриття мінералів в процесі рудопідготовки є застосування в схемі валків високого тиску (ролер-пресів), які дозволяють дробити шматки руди крупністю 20-0 мм до крупності 1-0 мм та менше, при високій селективності їх руйнування

*Постановка завдання.* Метою даних досліджень є, порівняння показників збагачення двох проб гематитових руд при дробленні їх в щоківній і валковій дробарках та валках високого тиску.