

**НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКАЯ
ДИАГНОСТИКА НАНОЖИДКОСТЕЙ**

Иванов В.И., Иванова Г.Д.

*Дальневосточный государственный университет
путей сообщения, Хабаровск, e-mail: valivi@mail.ru*

Метод тепловой линзы широко используется в термооптической спектроскопии, в оптической диагностике материалов [1–5]. В жидких двухкомпонентных средах термолинзовый отклик имеет свои особенности, поскольку кроме обычного теплового отклика, связанного с тепловым расширением среды, здесь могут возникать концентрационные потоки, обусловленные явлением термодиффузии (эффекта Соре) [6–9]. В данной работе теоретически исследован термолинзовый отклик дисперсной жидкофазной среды в тонкослойной кювете.

Рассмотрена однолучевая схема измерения термолинзового сигнала в двухкомпонентной жидкофазной среде, коэффициент поглощения которой α целиком определяется дисперсной компонентой с массовой концентрацией C ($\alpha = \beta C$, где $\beta = (\partial\alpha/\partial C)$ – константа среды), находится в тонкой кювете толщиной d_0 . Для нахождения параметров тепловой линзы решается тепловая задача нагрева среды лазерным пучком. Считая, что для малых толщин слоя среды d и окна кюветы L (при $d, L \ll r_1$) можно пренебречь радиальным (вдоль r) тепловым потоком, решается одномерная тепловая задача.

Для линзовой прозрачности кюветы (стационарного значения) получено выражение:

$$\Theta(t = \infty) = 1 - \frac{2(z_1/l_0) [\Delta\Phi_{nl}^m(0) + \Delta\Phi_{nl}^w(0)]}{(1 + z_1^2/l_0^2)(1 + 3z_1^2/l_0^2)}. \quad (1)$$

где λ – длина волны излучения, r_0 – радиус пучка в перетяжке, $l_0 = \pi r_0^2 / \lambda$, $\Phi_{nl}(0)$ – нелинейный набег фаз в оптической ячейке на оси пучка.

Полученное выражение позволяет рассчитать влияние термодиффузии на величину термолинзового отклика тонкослойной оптической ячейки с двухкомпонентной средой. Результаты проведенного анализа могут быть использованы при экспериментальном определении величин

коэффициентов тепломассопереноса в многокомпонентных жидкофазных средах [3, 10–14].

Список литературы

1. Ivanov V. Thermal lens response in the two-component liquid layer / V. Ivanov, G. Ivanova, V. Khe // Proc. SPIE. – 2015. – V. 9680. – P. 968042.
2. Иванова Г.Д. Нелинейная линза в дисперсной среде / Г.Д. Иванова, С.И. Кирюшина, А.В. Мяготин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. – С. 1779.
3. Иванов В.И. Термолинзовая спектроскопия двухкомпонентных жидкофазных сред / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 39–42.
4. Ivanov V. A thermal lens response of the two components liquid in a thin film cell / V. Ivanov, G. Ivanova // Journal of Physics: Conference Series. 2016. – V. 735. – P. 012037.
5. Крылов В.И. Метод светоиндуцированной псевдо-призмы в наножидкости / В.И. Крылов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей ред. В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – Вып. 7. – С. 329–332.
6. Иванов В.И. Оптическая диагностика полимерных наночастиц / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11–6. – С. 1085–1088.
7. Иванов В.И. Тепловое самовоздействие излучения в тонкослойной жидкофазной среде / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1718; URL: www.science-education.ru/120–17046.
8. Okishev K. The thermal diffusion mechanism of the nonlinear absorbing in nanoparticle suspensions / V. Ivanov, K. Okishev, S. Kliment'ev, A. Kuzin, A. Livashvili // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2010. – V. 23(2). – P. 106.
9. Иванов В.И. Термоиндуцированное самовоздействие гауссова пучка излучения в жидкой дисперсной среде / В.И. Иванов, А.А. Кузин, А.И. Ливашвили // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. – 2010. – Том 5. – № 1. – С. 5–8.
10. Иванов В.И. Обращение волнового фронта при четырехволновом смешении непрерывного излучения в условиях сильного самовоздействия / В.И. Иванов, А.И. Илларионов и др. // Письма в журнал технической физики. – 1997. – Т. 23. – № 15. – С. 60–63.
11. Ivanov V. Thermodiffusion mechanism of dynamic amplitude hologram recording in a two-component medium cell / V. Ivanov, K. Okishev // Tech. Phys. Lett. – 2006. – V.32(11). – P. 967–968.
12. Иванов В.И. Перспективные среды для динамической голографии / В.И. Иванов, Ю.М. Карпец // Вестник ДВО РАН. – 2003. – №1. – С. 93–97.
13. Ivanov V. The concentration mechanisms of cubic nonlinearity in dispersive media / V. Ivanov, G. Ivanova, S. Kirjushina, A. Mjagotin // Journal of Physics: Conference Series. 2016. – V. 735. – P. 012013.
14. Иванов В.И. Нанодисперсные среды для динамической голографии / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова и др. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. – 58. – № 11–3. – С. 153–156.

**«Проблемы экологического мониторинга»,
Италия (Рим, Венеция), 18–25 декабря 2016 г.**

Технические науки

**ИССЛЕДОВАНИЕ
МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ОБЛУЧЕНИЯ**

Абдула Ж., Галагузова Т.А., Каримова А.,
Абдигарипова А., Сыдыкбекова Б., Қасым А.

*Таразский инновационно-гуманитарный
университет, Тараз, e-mail: tamara5024@mail.ru*

В рамках традиционных технологий дезинтеграции руд отсутствуют инструменты се-

лективной подачи энергии в зоны межфазных контактов для разрыва межатомных связей, управления степенью дефектности кристаллической структуры минералов. Поэтому решение этих проблем связано с созданием теории и практики селективной дезинтеграции руд, которое является одним из приоритетных направлений современной науки и техники [1].

Руководящая идея дезинтеграции горных пород применительно к проблеме обогащения

руд состоит в том, чтобы разрушить объект по поверхностям раздела фаз, причем с минимальными энергозатратами.

В связи с этим в данной статье предлагается радиационно-стимулированный способ повышения селективности дезинтеграции руд и понижения энергозатрат на измельчение минералов, так как границы раздела фаз являются стоком радиационных дефектов что ослабляет межатомные связи, а повышение дефектности структуры основных минералов снижает их твердость, пластичность и другие механические свойства.

Исследовано влияние облучения на механические свойства природных соединений основных минералов руды Жайремского свинцово-цинкового месторождения: галенит, сфалерит и барит. Был использован несерийный микротвердомер типа УПМ-1 позволяющий регистрировать кинетику вдавливания, выдержки и извлечения алмазного индентора в координатах «нагрузка-глубина внедрения».

Измерения микромеханических свойств минералов проводились на исходных, необлученных и облученных ускоренными электронами образцах. Дозы облучения изменялись в интервале от 0 до 10 Гр. На каждом минерале производились от 10 до 20 испытаний твердости с регистрацией полного цикла вдавливания, выдержки и извлечения индентора в координатах «нагрузка-глубина». Максимальная нагрузка на индентор достигала 100 кН.

Твердость необлученного галенита из Жайремского месторождения составляет, в среднем, $108 \cdot 10^7$ Дж/м³, что превышает значения твердости галенитов из других месторождений. Облучение галенита вызывает понижение твердости до $(60-80) \cdot 10^7$ Дж/м³ при дозах 10^2-10^4 Гр, а затем твердость восстанавливается до значений $(93-106) \cdot 10^7$ Дж/м³ при дозах выше 10^3 Гр.

Модуль упругости галенита также понижается при дозах 10^2-10^4 Гр с $10,7 \cdot 10^3$ до $3,8 \cdot 10^3$ Дж/мм, дальнейшее увеличение дозы до 10 Гр константа упругости возрастает до $(6-7) \cdot 10^3$ кГ/мм². Механические свойства галенита также зависят от дозы облучения: упругая составляющая наиболее значительно отличается при дозах 10^2 и 10^4 Гр, уменьшаясь с 12% до 7%, однако образцы, облученные при дозах 10 и 10^2 Гр, по упругости близки к исходным. Необходимо подчеркнуть, что модуль упругости и упругая составляющая твердости для одного и того же минерала не связаны между собой, хотя для кристаллов с различным типом связей между атомами может наблюдаться корреляция.

Пластичность галенита, характеризующая склонность минерала пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки, изменяется незначительно, понижаясь с 12,6% до 11,1% при дозе 10^2 Гр, а затем возрастает до 11,7%. Жесткая составляющая твердости,

связанная со способностью минерала упрочняться под действием нагруженного индентора, очень резко изменяется в интервале доз 10–102 Гр, уменьшаясь с 20,4% у исходных образцов до 6–9% у необлученных. Хрупкость галенита при облучении возрастает с 54% до 69–72%.

Анализ результатов статистической обработки выборок показывает, что для галенита наблюдаются колебания значений твердости с ростом дозы облучения, причем максимальное значение твердости имеет необлученный образец. Для исходного галенита также характерны максимальная упругость, пластичность, жесткость. Облучение вызывает падение твердости, уменьшение упругости, жесткости, пластичности и приводит к росту хрупкости.

Облучение приводит в целом к уменьшению всех параметров, за исключением твердости при дозах $10-10^2$ Гр. Совпадение максимумов дисперсии с минимальными ее абсолютными значениями говорит о значительных структурных перестройках в кристаллах, когда наряду с сохранением участков повышенной твердости $(92-103) \cdot 10^7$ Дж/м³ имеются разупрочненные участки $(25-47) \cdot 10^7$ Дж/м³.

Уменьшение твердости, дисперсии среднеквадратичного отклонения механических параметров галенита при облучении свидетельствуют о выравнивании свойств в результате «радиационного отжига» структурных дефектов галенита.

Аналогичные процессы наблюдались при изучении твердости облученного галенита [1], хотя для многих минералов облучение повышает твердость. Противоречивые данные вполне согласуются со сложностью процессов одновременного отжига точечных дефектов при увеличении энергии кристаллической решетки и образованием более крупных скопленных дефектов, упрочняющих минерал, вплоть до образования новых минеральных фаз [1,2].

Таким образом, установлено, что максимальное изменение происходит у образцов галенита, облученных дозами 10^2-10^4 Гр. Вышеизложенные изменения в образце галенита можно объяснить согласно полученным зависимостям механических свойств от дозы облучения и физико-химические процессы, происходящие при этом.

Итак, твердость галенита при дозе до 10 Гр уменьшается, при этом происходит разупрочнение образца, за счет генерации радиационных дефектов, которые диффундируют к межзерновым поверхностям. При облучении процесс разупрочнения образца галенита происходит по межзерновым поверхностям, где наблюдается наиболее высокая концентрация дислокаций и иного рода дефектов. В большинстве случаев границы зерен в поликристаллическом куске руда являются именно теми дефектными зонами, которые «подготовлены» природой для об-

разования зародышевых трещин. В нашем случае облучение создает соответствующие условия их возникновения, так как межзерновые поверхности являются стоком образовавшихся радиационных дефектов (рис. 1).

емой структуры радиолитической фазы металла. Это объясняет ход кривой дозовой зависимости твердости галенита, из которой следует, что начиная с дозы равной 10^4 Гр начинается новое снижение твердости минерала (3).

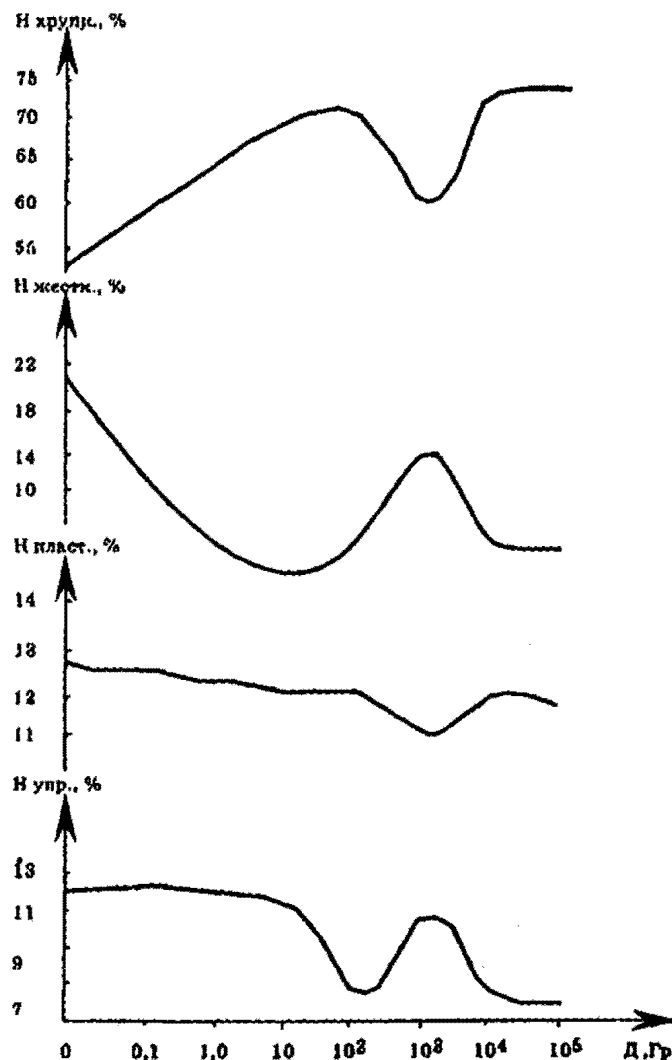


Рис. 1. Влияние облучения на хрупкость, жесткость, пластичность, упругость галенита

Дальнейшее увеличение дозы до 10^5 Гр приводит к радиолизу отдельных молекул сульфида свинца. Связанное с этим явлением снижение твердости минерала продолжается до тех пор, пока увеличение дозы облучения не достигнет определенного значения, после которого начинают преобладать процессы формирования кристаллической структуры новой металлической фазы. Об этом свидетельствует тот факт, что начиная с дозы 10^3 Гр наблюдается увеличение твердости галенита. Повышение дозой облучения величины 10^5 Гр способствует не только дальнейшему разрушению кристаллической структуры сульфида, но и разупорядочению вновь образу-

Предлагаемый механизм также удовлетворительно объясняет и экспериментально полученные зависимости жесткости, хрупкости, упругости от дозы облучения галенита (рис. 2,3).

Проведенные исследования показали, что облученные в одинаковых условиях другие рудные минералы, по-разному взаимодействуя с ионизирующим излучением, увеличивают контрастность механических свойств компонентов сложных полиметаллических руд. Этот факт может быть использован в практических целях для улучшения и дробления руд.

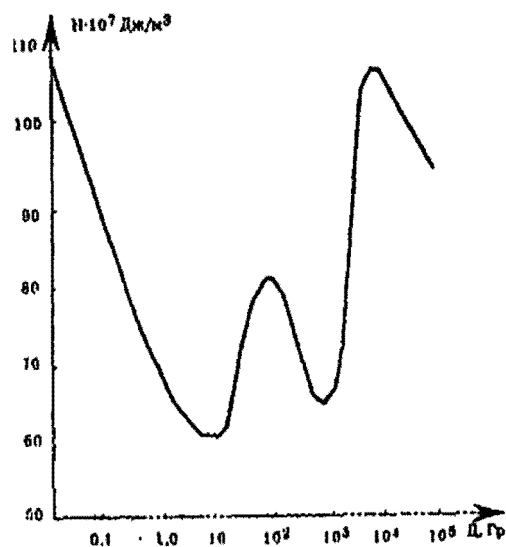


Рис. 2. Зависимость твердости галенита от дозы облучения

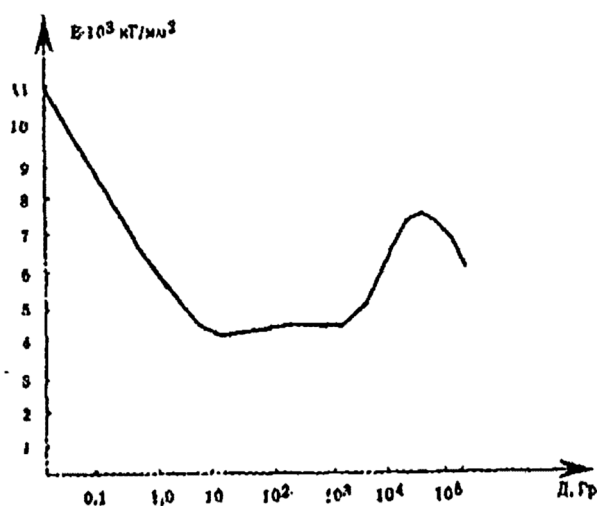


Рис. 3. Зависимость модуля упругости галенита от дозы облучения

Исследования по влиянию радиационной обработки руд на их измельчаемость показали, что снижаются энергозатраты на процесс, в среднем на 30–50%, в зависимости от типа руд и режимов радиационной обработки. Также установлено, что гранулометрический состав облученной и измельченной руды в значительной мере отличается от гранулометрического состава необлученной и измельченной в таких же условиях руды. Таким образом, становится возможным управление процессами обогащения руд, так как эффективность извлечения полезных компонентов зависит от гранулометрического состава флотируемой руды, а также поверхностной энергии частиц.

Список литературы

1. Лебедева СИ. Определение микротвердости минералов. – М.: АН СССР, 1963. – 124 с.
2. Saito K. Relationos between chemical composition and physical properties of galena. G. Jap. ASSOC. Miner. Petr. Econom. Geol. – V.46. – N4. – 1961.
3. Абдула Ж. Мажренова Н. Изучение механизма процесса селективного разрушения. // Моделирование технологических процессов. – 1998. – №2. – С. 169–171.
4. Болдырев В.В. Механическая активация процесса коррозионного растворения галенита в системе пирит-галенит-хлорная кислота // Докл. АН СССР. – 1981. – т.258, №3. – С.639–641.
5. Драго Р. Физические методы в химии. т.2. – М.: Мир, 1981. – 285 с.
6. Горелик С.С. Электронно-микроскопический и рентгено-графический анализ. – М.: Металлургия, 1978. – С. 360–372.