

УДК 621

Баскевич А.С., канд. физ.-мат. наук, старш. науч. сотр.,
Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепр;
Билан Н.В., канд. геол. наук, доцент кафедры общей и структурной геологии,
Кузнецов Э.С., студент гр. 184м-19-1ФБ, кафедра СГГМ,
*Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»,
г. Днепр, Украина*

О ВОЗМОЖНОМ УЧАСТИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В МЕТАМОРФИЗМЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Первые экспериментальные результаты, полученные при исследовании воздействия слабых электрических полей на термически и механически активированные технологические продукты промышленного синтеза, состоящие из металлического сплава с включениями графита и алмаза [1], металло-алмазные порошки для обработки материалов [2-4], металлические сплавы [5-7], минералы [8-12] и горные породы [13-20], являются во многих случаях неожиданными. Особенность предварительной активации материалов состоит в таких режимах, которые обеспечивают некоторый запас дополнительной энергии за счет деструкции микроструктуры (разрыв связей, увеличение концентрации линейных и точечных дефектов, увеличение внутренней удельной поверхности и др.). Задача предварительной обработки материалов состоит в том, чтобы увеличить степень их метастабильности, не допуская принципиальных изменений свойств материалов, характерных для результатов энерго-насыщенных воздействий. После первичной обработки микроструктура материала с избыточной энергией (рис. 1) заимствован из [21]) является своеобразным источником дополнительной энергии, потенциально способной в случае незначительной активации снизить барьер химической реакции и задействовать неадекватно большие объемы вещества. Из рис. следует, что чем больше степень метастабильности микроструктуры (рис. 1, б), тем больше движущая сила процесса перехода и тем меньше требуется свободной энергии для преодоления энергетического барьера реакции активации реакции, чем в случае рис. 1, а.

Впервые обсуждаемое явление было изучено, применено и описано В.В. Соболевым в докторской диссертации (1990). Наиболее известные научные и практические результаты – принципиально новые технические решения в области выращивания монокристаллов алмаза, производства металлов-катализаторов для синтеза алмаза в камерах высокого давления (КВД), способов получения металлоалмазных композитов, электротермического разделения друз и сростков алмазных монокристаллов, синтезированных в КВД. Главная идея состояла в том, чтобы использовать энергию, запасенную микроструктурой вещества в результате первичной

обработки. Научноэкономными являются работы [21-27], в которых решаемые задачи все еще не исчерпаны и остаются актуальными.

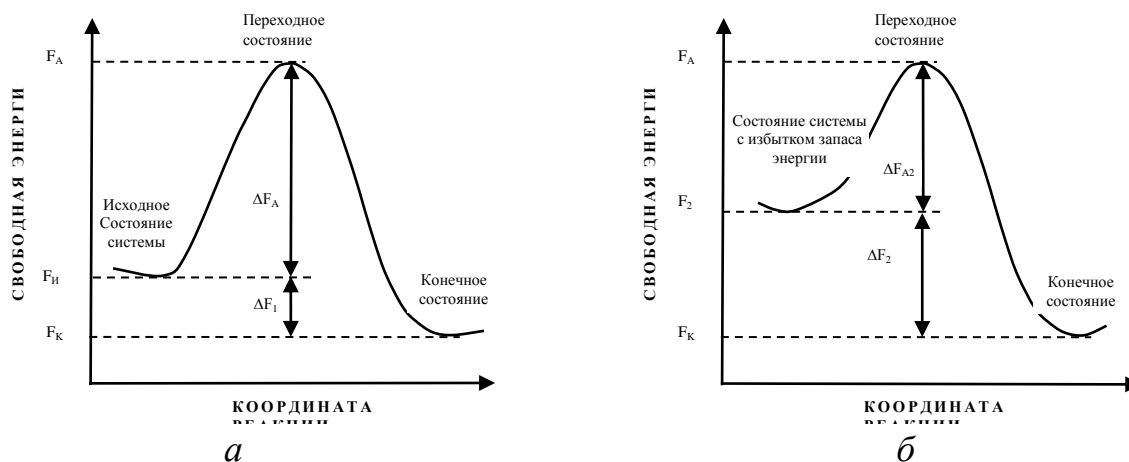


Рис. 1. Изменение свободной энергии (физической либо химической) системы при переходе ее в стабильное состояние: а – без первичной обработки; б – система с дополнительным запасом энергии; ΔF_{A1} и ΔF_{A2} – свободная энергия активации реакции, ΔF_{A1} больше ΔF_{A2} ; ΔF_1 и ΔF_2 – движущая сила процесса перехода, ΔF_1 меньше ΔF_2 . Координата реакции – любая переменная величина как мера развития реакции

Явление снижения энергии активации реакции обусловлено выделением энергии метастабильной микроструктурой, стимулирующей переход системы в термодинамическое состояние с минимальной энергией (состояние с энергией F_k , рис. 1). Другими словами, тот запас энергии, который накопила система в результате каких-либо внешних воздействий, выделяется, «облегчая» переход в конечное состояние.

Основные физико-химические эффекты, которые впервые обнаружены и неоднократно экспериментально подтверждены, следующие.

1. Твердофазный синтез метастабильных монокристаллов алмаза в случае предварительного пластического деформирования чугуна (или нагревания) с последующим воздействием ударных волн. Либо предварительное воздействие ударной волной на сплав металла с углеродом и последующее термоциклирование либо пластическое деформирование.
2. Образование новых фаз преимущественно с электронным типом проводимости в сидерите, порошках кальцита с кремнием, в яшме при нагревании и воздействии электрического поля слабой напряженности.
3. При воздействии электромагнитного поля и термической активации получены нано- и микроразмерные композиты алмаз-металл для инструментальной промышленности.
4. Растворение предварительно деформированных микрочастиц кварца в различных водных растворах.
5. Скачкообразное уменьшение вязкости металла в результате удара микрочастицы, разогнанной до скорости, лежащей в определенном диапазоне значений.

Вышеперечисленные эффекты могут проявляться в земной коре. Например, в районах тектонически активных зон. Идея о значительной роли естественных электрических полей в процессах рудообразования не нова. М.П. Воларович и Э.И. Пархоменко, А.А. Курдюков, А.А. Воробьев рассмотрели в своих работах вопросы генерации электрических полей глубинными разломами. О.В. Орлинская, В.В. Соболев и А.В. Чернай [9] показали, что наиболее мощные электрические поля в докембрийских породах возникают за счет развития пьезоэффекта при тектонических активизациях разломных структур. А влияние электрических полей на процессы рудообразования детально описаны Я.М. Нюссиком и И.Л. Комовым, И.А. Хайретдиновым и др. Так, М.С. Сахарова и И.К. Лобачева обосновали осаждение золота на сульфидах за счет градиента электрохимических потенциалов сульфидов. Известно, что карбонаты входят в состав минеральных ассоциаций предрудных и иногда рудных стадий формирования золотого оруденения в Сурской и Белозерской зеленокаменных структур Украинского щита. То есть практический интерес карбонаты представляют как минералы, сопровождающие рудную минерализацию, а по своей структуре они аналогичны ионным кристаллам-диэлектрикам, что, в свою очередь, может явиться причиной проявления различных поляризационных эффектов при воздействии электрического поля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sobolev V.V., Slobodskoi V.Ya., Sharabura A.D., Gorbachevskii D.G., Pozdnyak O.F. Treatment of Ni-Mn-C composition in pulsed electro-magnetic field // *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov* Issue 3, May 1992, Pages 138-139.
2. Соболев В.В., Слободской В.Я., Шарабура А.Д. Композиционные сверхтвердые материалы на основе синтетических алмазов // 5-е Всесоюзное совещание по детонации. Т. 2, Красноярск, 5-12 августа 1991. – С.264-267.
3. Фурсова В.Л., Соболев В.В., Зегжда Г.Д. Металлические покрытия на сверхтвердых материалах для алмазо-абразивных инструментов // *Высокоэнергетическая обработка материалов. Сб. науч. тр. / Редкол.: Соболев В.В. (Отв. ред.) и др. - Днепропетровск: Арт-Пресс, 1997. – С. 179-184.*
4. Фурсова В.Л., Шарабура А.Д., Соболев В.В. Новый метод активирования поверхности алмаза в процессе химического осаждения металлов // *Состояние и перспективы развития алмазно-бриллиантового комплекса России. Тез. докл. – Смоленск. 1998. – С. 147-149.*
5. Соболев В.В., Слободской В.Я., Шарабура А.Д., Горбачевский Д.Г. (1993) Изменение зеренной структуры армко-железа при электромагнитном воздействии // *Физика и химия обработки материалов. – №1. – С. 113-121.*

6. Соболев В.В., Орлинская О.В. Электромагнитный метаморфизм в металлах // В кн.: Закономерности эволюции земной коры. Тез. докл. в 2-х т. – Т.2. Санкт-Петербург, 1996. – С. 280.

7. Соболев В.В., Таран Ю.Н., Губенко С.И. Синтез алмаза в чугунах // *Металловедение и терм. обработка металлов.* – 1993. – №1. – С.3-6

8. Соболев В.В., Орлинская О.В., Черная А.В. и др. Влияние температуры и электрического поля на электропроводность образцов минералов и горных пород. 1. Яшма // *Минералог. ж.* – 1998. – №4. – С. 90-95.

9. Термоэлектрическая обработка минералов и горных пород /О.В. Орлинская, В.В. Соболев, А.В. Черная. —Д.: НГА Украины, 1999. – 93 с.

10. Соболев В.В., Черная А.В., Орлинская О.В., Камков Р.Б., Билан Н.В. Влияние температуры и электрического поля на электропроводность горных пород и минералов. 2. Сидерит // *Минералог. ж.* – 2003. – №1. – С. 91-94.

11. Соболев В.В., Билан Н.В., Баскевич А.С. Образование новых минеральных фаз при электротермической обработке сидерита // *Сборник научных трудов НГУ.* – 2003. – №18. – С. 31-38.

12. Соболев В.В., Черная А.В., Орлинская О.В. Явление скачкообразного увеличения электропроводности минералов класса карбонатов при воздействии температуры и электрического поля// *Проблемы комплексного освоения недр // Сб. науч. тр. НГА Украины.* – №2. Д.: РИК НГА Украины, 1998. – С.215-224.

13. Фізика гірських порід / В.В. Соболев, О.В. Скобенко, С.Я. Іванчишин. – Дніпропетровськ: Поліграфіст, 2003. – 255 с.

14. Соболев В.В. Образование новых фаз в измельченном кальците с добавками кремния при нагревании и пропускании электрического тока // *Минералогический журнал.* – 2008. – №4. – С. 25–32

15. Pivnyak, G.G., Sobolev, V.V., Filippov, A.O. (2012). Phase transformations in bituminous coals under the influence of weak electric and magnetic fields // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* Volume 5, Pages 43-49.

16. Sobolev V., Bilan N., Samovik D. Magnetic stimulation of transformations in coal // *Mining of Mineral Deposits.* Leiden: CRC Press/Balkema, 2013, p. 221-225

17. Molchanov, O., Rudakov, D., Sobolev, V., Kamchatnyi, O. (2018) Destabilization of the hard coal microstructure by a weak electric field. *E3S Web of Conferences*, 60, 00023 (2018); DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000023>

18. Sobolev V., Bilan N., Filippov A., Baskevich A. Electric stimulation of chemical reactions in coal // *Technical and Geoinformational systems in Mining*, 2011. – P. 125-130.

19. Rudakov D., Sobolev V. A Mathematical Model of Gas Flow during Coal Outburst Initiation // *International Journal of Mining Science and Technology*, Available online 7 March 2019, p. 791-796.

20. Sobolev V.V., Rudakov D.V., Molchanov O.M., Stefanovych L.I., Kirillov A.K. (2019) Physical and chemical transformations in gas coal samples influenced by the weak magnetic field // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019, № 6, 52-58.

21. Sobolev V.V., Baskevich A.S., Shiman L.N., Usherenko S.M. (2016) Mechanism of thick metal walls penetration by high-speed microparticles // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2016, – №6.–P. 74-82

22. Sobolev V.V., Bilan N.V., Khalimendik A.V. (2017) On formation of electrically conductive phases under electrothermal activation of ferruginous carbonate. / *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, №4, p. 53-60.

23. Соболев В.В., Билан Н.В. Механізми накопичення енергії під час деформування кристалів на прикладі кварцу // *Науковий вісник НГУ*. – 2010. – №7-8. – С. 43-48

24. Рузина М.В., Билан Н.В., Соболев В.В. Воздействие электротермических полей на перераспределение минерального вещества рудоносных метасоматитов // *Науковий вісник НГУ*, 2011, №4. – С.5-9

25. Пивняк Г.Г., Соболев В.В., Филиппов А.О. Электрохимическая активация наноструктурных компонентов каменного угля // *Доп. НАН Украины*. – 2012. – №1. – С. 89-94.

26. Sobolev V.V., Bilan N.V., Khalimendik A.V On formation of electrically conductive phases under electrothermal activation of ferruginous carbonate // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2017. – №4. – С. 27-35.

27. Кравченко В.М., Соболев В.В. Условия и процессы рудообразующей усадки железистых кварцитов в зонах дислокационного метаморфизма // *Доп. НАН України*. –2002. – №4. – С.129-132.

28. Соболев В.В., Билан Н.В. К вопросу о механизме формирования металлического золота в гидротермальных системах // *Науковий вісник НГУ*. – 2003. –№9. – С.21-23.

29. Соболев В.В. Экспериментальное моделирование ударного метаморфизма // *Высокоэнергетическая обработка материалов*. Т.1. – Днепропетровск: ГГАУ, 1995. – С. 96-101.

30. Орлинская О.В., Соболев В.В., Хоменко Ю.Т. О влиянии механической активации твердых тел на процессы минералообразования // *Проблемы геологической науки и образования в Украине*. – Львов, 1995. – С. 128-129.

31. Соболев В.В., Чернай А.В. Применение ударных волн в экспериментальной минералогии // *Минералог. ж.* – 1995. – №3. – С.15-25.

32. Соболев В.В. Об исследованиях ударного метаморфизма в металлических сплавах // *Химическая физика процессов горения и взрыва*. ЧИХФ РАН. Черногловка – Т.1. Часть 2. – 1996. – С. 358-359.

33. Frolkov, G.D., Fandeev, M.I., Malova, G.V. et al. Effect of natural mechanical activation on coal blow up hazards // *Khimiya Tverdogo Topliva*, Issue 5, September 1997, Pages 22-33.

34. Sobolev, V.V., Usherenko, S.M. (2006) Shock-wave initiation of nuclear transmutation of chemical elements // *Journal De Physique. IV: JP Volume 134*, August 2006, Pages 977-982 8th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading; Dijon; France; 11 September 2006 до 15 September 2006; Код 68460.