

УДК 530:536.75+621.762

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ
НА СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ШУНГИТОВОГО УГЛЕРОДА**

д-р техн. наук, проф. М.Л. ХЕЙФЕЦ, д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, С.В. КУХТА
(Полоцкий государственный университет);
канд. техн. наук В.Т. СЕНИУТЬ
(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск);
канд. пед. наук, доц. С.Н. АНКУДА
(Минский государственный высший радиотехнический колледж);
д-р техн. наук, проф. А.Г. КОЛМАКОВ
(Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва);
д-р физ.-мат. наук, проф. Х. ЦООХУУ, д-р физ.-мат. наук, проф. Л. ЭНХТУР
(Монгольский национальный университет, Улан-Батор)

Представлены результаты исследований влияния отжига в условиях высоких температур и давлений на структуру и фазовый состав шунгитового углерода. Показано, что при высокотемпературном отжиге в восстановительной и окислительной атмосфере и последующей термобарической обработке при высоких давлениях наблюдается трансформация исходных глобул шунгитового углерода в кристаллиты полиэдрической формы. Получено увеличение размеров нанокристаллитов шунгитового углерода при частичном разрушении шунгитовых глобул с их графитизацией.

Введение. Традиционные методы улучшения термомеханических и электрофизических свойств конструкционных и функциональных материалов в значительной мере достигли своего предела. Резерв повышения характеристик качества материалов состоит в целенаправленном формировании в них структуры, например путем введения в матрицу наноразмерных модифицирующих добавок. Широкое применение для этих целей получили углеродные наноматериалы (фуллерены, углеродные нанотрубки, ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза) [1; 2].

Шунгитовый углерод, структуру которого составляют глобулярные или эллипсоидные многослойные частицы размерами 6...10 нм, имеющие внутреннюю полость, также может быть отнесен к данному классу углеродных наноматериалов с ресурсом порядка $25 \cdot 10^{10}$ тонн [3]. Шунгитовые порошки используются в качестве модифицирующей технологически активной добавки при производстве композиционных материалов и способствуют улучшению технических и эксплуатационных характеристик изделий на их основе [4]. Свойства наноматериалов в значительной степени зависят от их микро- и наноструктуры, поэтому значительный научный и практический интерес представляет изучение изменений, происходящих на различных структурных уровнях в шунгитовом углероде в результате его обработки в условиях высоких статических давлений и температур.

Высокая микропористость и развитая поверхность в сочетании с прочностными свойствами определяют широкие возможности промышленного применения шунгитового углерода. Он является эффективным катализатором процессов гидрогенизации при низких температурах и в реакциях кислотно-основного типа, например в дегидротации вторичных спиртов, многофункциональным наполнителем органических полимеров и неорганических связующих. На основе шунгитовых пород разработаны конструкционные строительные материалы: бетон, мастика и кладочный раствор, которые могут быть использованы для экранирования электромагнитного излучения [3; 5].

1. Методика, оборудование и аппаратура исследования, характеристика исходного материала

Оборудование термобарической обработки. Изучались образцы шунгитовой породы месторождения Шуньга (Карелия, Россия) с содержанием углерода 40, 90 и 96...98 %. Термическую обработку образцов шунгита осуществляли в печи «Naber» с программируемой установкой режимов в различных газовых средах: аммиак (NH_3); углекислый газ (CO_2) при температуре 1000 °С, время изотермической выдержки составляло 1 час.

Термобарическую обработку образцов шунгита осуществляли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» в диапазоне давлений 1,0...3,5 ГПа. В качестве среды, передающей давление, служил контейнер из литографского камня, внутри которого помещался трубчатый графитовый нагреватель с исследуемым материалом [5]. Для оценки давления в камере синтеза использовали метод калибровки при комнатной температуре, основанный на сопоставлении усилия пресса и давления полиморфного превра-

шения в реперном веществе. В качестве реперов использовали висмут (Bi). Измерение температуры осуществляли без приложения давления с помощью хромель-алюмелевой термопары.

Аппаратура исследования. Структура поверхности шунгита исследовалась в контактном режиме на атомно-силовом микроскопе (АСМ) ND-206 (ОДО «МикроТестМашины», Беларусь). Рентгеноструктурные исследования выполнялись на дифрактометре общего назначения ДРОН-3.0 в CuK_α -монохроматизированном излучении, вторичная монохроматизация осуществлялась пиролитическим графитом с вращением образца в собственной плоскости. Микроструктурные исследования образцов осуществлялись с помощью оптического микроскопа «Микро-200» (ПО «Планар», Беларусь). Измерение электрического сопротивления образцов шунгита проводили на приборе E7-8 LCR с чувствительностью 0,001 Ом.

Методика мультифрактальной параметризации. Для количественного описания структуры поверхности разрушения образцов шунгита использовали оригинальную методику мультифрактальной параметризации структур [6].

Наиболее информативными мультифрактальными характеристиками являются обобщенные энтропии (размерности) Реньи D_q , которые позволяют оценить термодинамические условия формирования изучаемых структур, а также эффективные количественные характеристики их однородности f_q и упорядоченности Δ_q [7; 8]. При сравнении большие значения D_q соответствуют более неравновесным условиям формирования структур, большие значения f_q – отвечают более равномерному распределению единичных элементов рассматриваемой структуры в евклидовом пространстве, охватывающем эту структуру, а увеличение Δ_q для исследуемой серии структур показывает, что в них становится больше периодической составляющей.

В ходе дискретной аппроксимации составляющие изучаемой структуры выделялись на изображении черным цветом, а остальные – белым. В результате получали компьютерные черно-белые изображения в виде графических файлов формата bmp. Вычисление мультифрактальных характеристик – $f(\alpha)$ -спектров и D_q -спектров размерностей Реньи – с проверкой их корректности производилось для набора величин $q \in [-100, +100]$.

Из исследуемых аппроксимированных изображений поверхности разрушения размером 10×10 мкм вырезали по 3...5 участков (что соответствовало матрице 360×360 пикселей). Мультифрактальные характеристики для структуры получали как средние значения их величин для вырезанных участков. Среднеквадратичные отклонения рассчитывали для вероятности 95 %. Поскольку при мультифрактальном анализе рассматривается распределение заданной величины на геометрическом носителе, то в данном случае изучали распределение единичных элементов структуры поверхности разрушения. Черным пикселям на аппроксимированных изображениях соответствовали границы кристаллитов и поры (минимальная толщина границ составляла 5 пикселей). Перед расчетами все изображения структур приводились к одному масштабу.

Термомеханические и электрофизические характеристики шунгитовых пород. Единственное месторождение шунгитовых пород, Зажогинское, находится в Медвежьегорском районе Республики Карелия (Россия). Производственная мощность предприятия по добыче и переработке шунгита – 200 тыс. тонн в год. Зажогинское месторождение представлено шунгитами следующего состава, масс. %: углерод – 30...98; кварц – до 45; сложные силикаты (слюды, хлориды) – до 20; сульфиты – до 3.

Породы в пределах Зажогинского месторождения достаточно стабильны по составу и физическим свойствам: плотность 2,1...2,4 г/см³; пористость до 5 %; прочность на сжатие 100...150 МПа; электропроводимость до 1500 Ом/м; теплопроводность 3,8 Вт/м·К; среднее значение коэффициента термического расширения в интервале температур 20...600 °С составляло $12 \cdot 10^{-6}$ 1/град.

Поверхность дробленых, молотых и тонкомолотых материалов на основе шунгита Зажогинского месторождения обладает биполярными свойствами, поэтому шунгитовые наполнители способны смешиваться без исключения со всеми связующими как органической, так и неорганической природы.

Шунгитовая порода обладает сорбционными, каталитическими, бактерицидными свойствами, биологической активностью, способностью поглощать и нейтрализовать электромагнитные излучения высоких частот. Благодаря высокой химической стойкости, свойственной стеклоуглероду, и активности, характерной для кокса, шунгитовый углерод может заменить различные углеродные материалы. Однако до настоящего времени не определены режимы обработки шунгита, позволяющие получить стабильные свойства, характерные для стеклоуглерода и кокса [10].

2. Структурное строение шунгитовых пород

Природные шунгиты представляют собой силикатные образования, содержащие естественный углерод в количествах от единиц до 99,6 %. Эти неупорядоченные структуры характеризуются разнообразием состава и наряду с углеродом содержат кварц, оксиды металлов, алюмосиликаты, слюду и др. Все составляющие распределены в шунгитовой матрице равномерно, размер силикатных включений составляет 0,5...5 мкм [3; 10]. Микроскопические исследования позволили установить специфичность структу-

ры шунгитного углерода, которая состоит в том, что вследствие высокоразвитой межфазной границы между основными компонентами шунгитовой породы – углеродом и кремнеземом – эти фазы образуют взаимопроникающие сетки. Поэтому в каждой частице порошка шунгитовой породы присутствуют углеродная и минеральная составляющие (рис. 1).

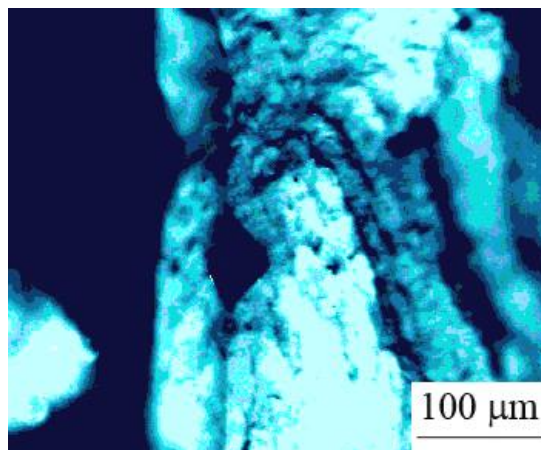


Рис. 1. Микроструктура образца шунгитового углерода

По данным электронно-микроскопических исследований (рис. 2, а, б, в; 3 а, б, в), основным элементом строения шунгитового вещества является глобула, представляющая собой углеродную частицу, по форме близкую к шаровидной, с размерами приблизительно 6...10 нм (рис. 2, а). Глобулы в свою очередь объединяются в сфероподобные образования с размерами 100...300 нм (рис. 2, б). Глобулярный углерод образует полиэдрические агрегаты размерами 0,5...1 мкм (рис. 2, в).

Между глобулами находится углерод, обеспечивающий их связи. Структура глобул подобна «луковичной» форме углерода, образующейся при температуре свыше 1000 °С при отжиге наноалмазов дтонационного синтеза в вакууме [2; 5].

Методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения и масс-спектрометрии в шунгитовом углероде фиксируется присутствие фуллеренов, что подтверждается путем коллоидной экстракции с использованием полярных растворителей следовых количеств фуллерена C₆₀ [3]. Выявлено морфологическое подобие глобулы шунгитового углерода и фуллерена: наличие внутренней полости и двумерная гексагональноподобная ячейка углеродных атомов с характерной анизотропией искажений.

Следует отметить, что указанная «луковичная» форма углерода устойчива к графитизации – при высокотемпературном отжиге вплоть до 2800 °С шунгитовый углерод практически не графитизируется. В общем случае области когерентного рассеяния соответствуют областям однотипного расположения слоев глобулярных элементов, а слои со значительным искажением, обеспечивающие связь между глобулами, образуют случайную сетку [3].

Аппроксимированные по методике мультифрактальной параметризации структуры изучаемых образцов (рис. 2, г, д, е; рис. 3 г, д, е) сравнивали с соответствующими АСМ-изображениями (рис. 2, а, б, в; рис. 3 а, б, в). Основные рассчитанные мультифрактальные характеристики структур приведены в таблице 1.

Таблица 1

Мультифрактальные характеристики поверхности разрушения образцов шунгита

Образец	Мультифрактальные характеристики структуры		
	Δ_{100}	f_{100}	D_{100}
Исходные образцы	$0,27 \pm 0,08$	$0,3 \pm 0,2$	$1,55 \pm 0,04$
Образцы после термобарического спекания при давлении 1,5 ГПа и температуре 1200 °С в течение 10 с	$0,33 \pm 0,04$	$0,3 \pm 0,1$	$1,53 \pm 0,02$
Образцы после отжига в восстановительной атмосфере при 1000 °С с изотермической выдержкой в течение 1 ч и термобарического спекания при 1,5 ГПа и 1200 °С в течение 10 с	$0,29 \pm 0,03$	$0,3 \pm 0,1$	$1,58 \pm 0,07$
Образцы после отжига в окислительной атмосфере при 1000 °С с изотермической выдержкой 1 ч и термобарического спекания при 1,5 ГПа и 1200 °С в течение 15 с	$0,26 \pm 0,07$	$0,29 \pm 0,09$	$1,52 \pm 0,03$

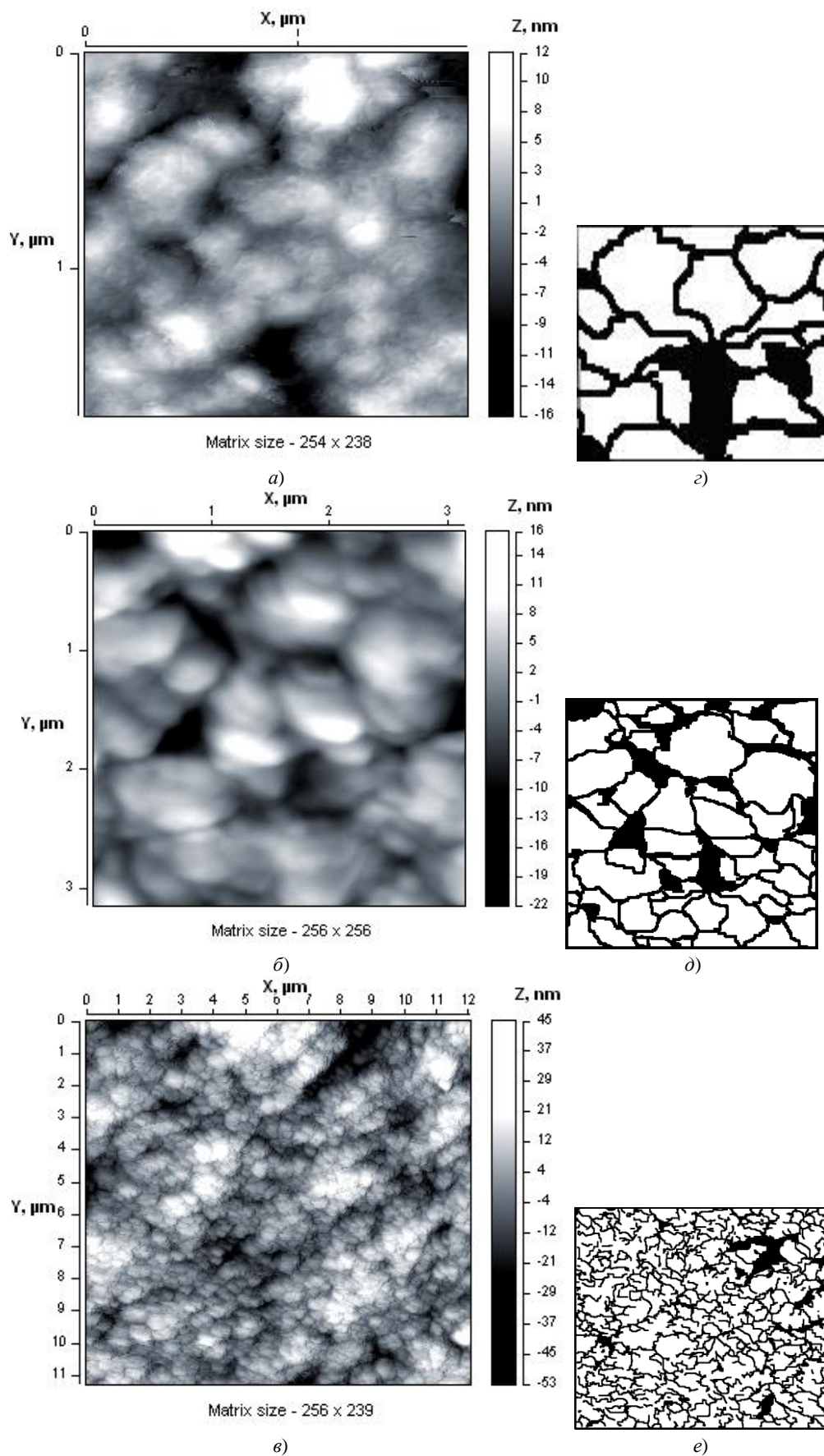


Рис. 2. АСМ-изображения структуры излома (а – в) и аппроксимированные структуры (з – е) исходных образцов шунгита с содержанием углерода 96...98 %; размер поля сканирования: 1,5 мкм (а); 3 мкм (б); 12 мкм (в)

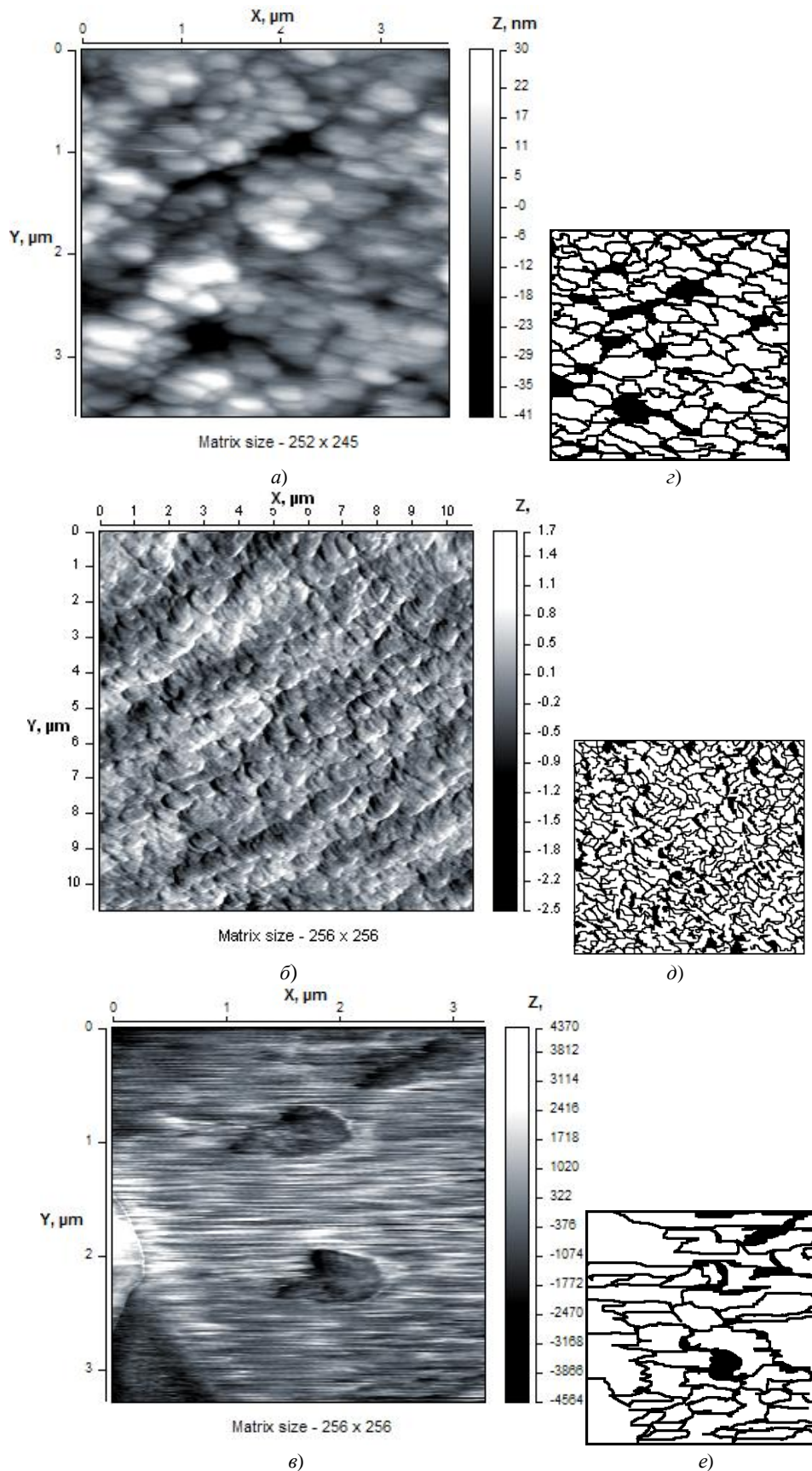


Рис. 3. АСМ-изображения структуры излома (а – в) и соответствующие аппроксимированные структуры образцов шунгита (з – е) после термобарического спекания при давлении 1,5 ГПа и температуре 1200 °С (а, з); после отжига в восстановительной атмосфере и термобарического спекания (б, д); после отжига в окислительной атмосфере и термобарического спекания (в, е); размер поля сканирования: 3 мкм (а, в); 12 мкм (б)

3. Влияние вида обработки на структуру и электрофизические характеристики шунгита

Термобарическая обработка. Термообработка до температуры 1000 °С при нормальном давлении в инертной атмосфере не приводит к изменению структурных параметров шунгитового углерода. Сравнительный анализ структуры исходного образца шунгита и образца после термобарической обработки в аппарате высокого давления при давлении 1,5 ГПа и температуре 1200 °С в течение 10 с показал, что на макроструктурном уровне видимых изменений в материале не произошло [11].

Показатель однородности структуры f_{100} по сравнению с исходными образцами не изменяется (см. табл. 1). При этом после отжига внутри исходных полиэдрических агрегатов размером 1...2 мкм (см. рис. 2, б) наблюдается формирование овализованных частиц на основе глобул размером 100...200 нм (см. рис. 3, а) с направленным характером структуры. Этот эффект вызывает рост периодической составляющей в структуре, что находит отражение в некотором увеличении показателя упорядоченности Δ_{100} . Значение D_{100} остается практически в том же интервале, что свидетельствует о протекании в сходных термодинамических условиях процессов разрушения исходных образцов шунгита и образцов после термобарической обработки.

При исследовании влияния термообработки в восстановительной или окислительной атмосферах на структуры шунгита, установлено, что в ходе предварительного термического отжига может наблюдаться перестройка наноструктурных элементов. Это указывает на метастабильность структур шунгитового углерода.

Термообработка в восстановительной атмосфере. АСМ-изображение структуры скола образца шунгита с содержанием углерода 96...98 % после отжига в восстановительной атмосфере аммиака при температуре 1000 °С в течение 1 ч и последующего термобарического отжига при давлении 1,5 ГПа и температуре 1200 °С в течение 10 с приведено на рисунке 3, б.

Слияние овализованных глобул происходит с образованием полиэдрических частиц порядка 0,5 мкм (см. рис. 3, б). Аналогичные перестройки наблюдаются на частицах углеродных саж, но происходят они при более высоких температурах (1000 и 2800 °С – для шунгита и сажи соответственно).

Внешне структура поверхности разрушения становится похожа на структуру исходных образцов. Дополнительная упорядоченность в структуре, связанная с наличием направленных овализованных частиц, исчезает, и показатель упорядоченности структуры Δ_{100} снижается. Однако вследствие присутствия определенной волновой составляющей в структуре (см. рис. 3, б) значение Δ_{100} выше, чем у остальных образцов. Показатель однородности f_{100} близок к таким у исходных образцов. В то же время разрушение шунгита со структурой полиэдрических частиц, имеющих меньший размер по сравнению с исходными образцами и образцами после термобарической обработки, происходит в более неравновесных условиях (некоторое увеличение показателя D_{100}). Это может быть связано с большей прочностью этих образцов вследствие мелкозернистости (появление разрушающей трещины происходит при больших значениях напряжения и скорости ее роста выше, чем в других образцах). Сходный эффект наблюдался для высокопрочных материалов [12; 13].

Проведенный рентгеноструктурный анализ образцов шунгита показал, что отжиг в восстановительной атмосфере аммиака не приводит к образованию графитоподобного углерода, поэтому рост частиц шунгитного углерода заторможен (рис. 3, б).

Термообработка в окислительной атмосфере. АСМ-изображение структуры скола образца шунгита с содержанием углерода 96...98 % после отжига в окислительной атмосфере углекислого газа (CO_2) при температуре 1000 °С в течение 1 ч и последующего термобарического отжига при давлении 1,5 ГПа и температуре 1200 °С в течение 15 с приведено на рисунке 3, в.

По росту структур (см. рис. 3, в) наблюдаются дальнейшие изменения в материале и образование достаточно крупных частиц призматической формы размером 6...10 мкм с гладкой поверхностью, обладающих четкой огранкой.

Образование крупных частиц призматической формы и без выраженного направленного характера приводит к появлению структуры достаточно похожей на структуру исходных образцов. Показатели упорядоченности Δ_{100} и однородности f_{100} такой структуры разрушения располагаются в том же интервале, что и соответствующие показатели для исходных образцов. Значение D_{100} близко к его значению для исходных образцов и образцов после термобарической обработки в результате того, что процессы разрушения протекают в сходных условиях.

После предварительного отжига в окислительной атмосфере углекислого газа наблюдается появление рефлексов графита, причем с увеличением времени отжига интенсивность рефлексов увеличивается, что свидетельствует о разрушении углеродных глобул в шунгите, формировании графитоподобного углерода и его рекристаллизации при последующей термобарической обработке (см. рис. 3, в).

Электрофизические характеристики шунгита после термобарической обработки. На образцах после предварительного термического отжига в восстановительной атмосфере и термобарической обработки в аппарате высокого давления проводили измерение электросопротивления. Установлено, что

термобарическая обработки шунгита с содержанием углерода 90 % при давлениях до 3 ГПа в диапазоне температур до 1100 °С существенно не влияет на значения электрического сопротивления образцов, равные 0,2...0,3 Ом, что свидетельствует о фазовой стабильности шунгитового углерода в указанных условиях. Рост электросопротивления до 40...80 Ом отмечен в случае использования шунгита с более низким содержанием углерода (40 %), что связано с влиянием включений непроводящих соединений, присутствующих в данном виде шунгита. После предварительного отжига шунгита с различным содержанием углерода в окислительной атмосфере углекислого газа при температуре до 1000 °С наблюдается появление рефлексов графита, причем с увеличением времени отжига с 1 до 3 часов интенсивность рефлексов увеличивается. При этом происходит разрушение углеродных глобул в шунгите, формирование графитоподобного углерода и его рекристаллизация при последующей термобарической обработке, что также приводит к снижению электрического сопротивления материала по сравнению с неотожженными образцами. Данные измерений электрического сопротивления приведены в таблице 2.

Таблица 2

Электрическое сопротивление образцов шунгита после отжига и термобарической обработки

№ образца	Содержание углерода в образце, масс. %	Атмосфера отжига	Режимы термобарической обработки	Сопротивление, Ом
1	40	Восстановительная	P = 3,0 ГПа T = 1100 °С t = 10 с	R _{прямое} = 80 R _{обратное} = 40
2	90	Восстановительная	P = 1,0 ГПа T = 500 °С t = 10 с	R _{прямое} = 0,3 R _{обратное} = 0,2
3	90	Восстановительная	P = 3,0 ГПа T = 1100 °С t = 10 с	R _{прямое} = 0,2 R _{обратное} = 0,25

Разработанная технология термического высокотемпературного отжига шунгитового углерода в окислительной или восстановительной атмосфере в сочетании с термобарической обработкой может быть использована в промышленных условиях при получении наполнителя для полимеров различной полярности с заданными электрофизическими и механическими характеристиками.

Выводы:

1) высокотемпературный отжиг оказывает активное влияние на структуру шунгитового углерода: наблюдается слияние глобул с образованием более крупных, увеличение размеров кристаллитов шунгитового углерода и частичное разрушение шунгитовых глобул с их графитизацией;

2) при высокотемпературном отжиге в восстановительной (NH₃) и окислительной (CO₂) атмосферах с последующей термобарической обработкой при высоких давлениях и температурах наблюдается трансформация исходных глобул в кристаллы кубической (полиэдрической) формы, при этом размер исходных глобулярных образований увеличивается после отжига и обработки более чем на порядок (с 0,1...0,3 до 5...10 мкм);

3) наилучшие сочетания структурных характеристик и ожидаемых прочностных показателей обеспечивает комплексная обработка шунгитовой породы с высоким содержанием углерода (96...98 %), включающая отжиг в восстановительной атмосфере при 1000 °С с изотермической выдержкой в течение 1 ч и термобарическое спекание при 1,5 ГПа и 1200 °С в течение 10 с;

4) высокотемпературный отжиг и термобарическая обработка шунгита с содержанием углерода 90 % при давлениях 1...3 ГПа в диапазоне температур до 1100 °С существенно не влияет на значения электрического сопротивления образцов, равные 0,2...0,3 Ом, что свидетельствует о фазовой стабильности шунгитового углерода в указанных условиях. Рост электросопротивления более чем на два порядка отмечен в случае использования шунгита с содержанием углерода 40 %, что связано с влиянием непроводящих примесей.

Представленные материалы – результат исследований по выполняемому совместно белорусско-монгольскому проекту фонда фундаментальных исследований БРФФИ № Ф10Мн-001 «Физико-химический, мультифрактальный и микроструктурный анализ углеродных материалов для их рационального использования в промышленности».

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / П.А. Витязь [и др.]; под общ. ред. П.А. Витязя и К.А. Солнцева. – Минск: Беларус. наука, 2011. – 283 с.

2. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / П.А. Витязь [и др.]; под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: Беларус. наука, 2011. – 522 с.
3. Шунгитовый углерод и его модифицирование / Н.Н. Рожкова [и др.] // Журнал Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. – 2004. – Т. XLVIII, № 5. – С. 107 – 115.
4. Шунгиты – новое углеродистое сырье / под ред. В.А. Соколова, Ю.К. Калинина, Е.Ф. Дюккиева. – Петрозаводск: КНЦ РАН, 1984. – 239 с.
5. Витязь, П.А. Синтез и применение сверхтвердых материалов / П.А. Витязь, В.Д. Грицук, В.Т. Сеньют. – Минск: Беларус. наука, 2005. – 359 с.
6. Встовский, Г.В. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов / Г.В. Встовский, А.Г. Колмаков, И.Ж. Бунин. – Ижевск: Науч.-изд. центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 116 с.
7. Колмаков, А.Г. Использование положений системного подхода при изучении структуры, особенностей пластической деформации и разрушения металлов / А.Г. Колмаков // Металлы. – 2004. – № 4. – С. 98 – 107.
8. Колмаков, А.Г. Использование концепций системного подхода при изучении деформации и разрушения металлических материалов / А.Г. Колмаков // Нелинейный мир. – 2006. – Т. 4, № 3. – С. 126 – 136.
9. Исследование влияния термобарической обработки на структуру углеродного наномодификатора на основе шунгита / П.А. Витязь [и др.] // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XVIII МНТК, Севастополь, 12 – 17 сент. 2011 г.: в 4 т. Т. 1. – Донецк: Дон НТУ, 2011. – С. 137 – 139.
10. Kovalevski, V.V. The Karelian shungite: unique geological occurrence, unusual structure and properties, new practical applications / V.V. Kovalevski, V.A. Melezhhik // Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture, 2000; D. Rammlmair [et al.] (Eds.). – The Netherlands: A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield. – V. 1. – P. 363 – 366.
11. Влияние термобарической обработки на макро-, мезо- и микроструктуру углеродных материалов шунгитовой породы / П.А. Витязь [и др.] // Вестник фонда фундаментальных исследований. – 2011. – № 3. – С. 75 – 83.
12. Особенности деформации и разрушения композиционного материала на основе высокопрочной мартенситно-стареющей стали с быстрозакаленным поверхностным слоем из сплава $Co_{69}Fe_4Cr_4Si_{12}B_{11}$ / М.А. Севостьянов [и др.] // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – № 3. – С. 28 – 35.
13. Колмаков, А.Г. Влияние магнетронного покрытия из стали 12X18H10T на деформацию и разрушение мартенситно-стареющей стали при статическом растяжении / А.Г. Колмаков // Деформация и разрушение материалов. – 2006. – № 1. – С. 21 – 28.

Поступила 24.02.2012

EFFECT OF TEMPERATURE ANNEALING IN THE CONDITIONS OF HIGH PRESSURES ON STRUCTURAL AND ELECTROPHISICAL CHARACTERISTICS OF SCHUNGITE CARBON

**M. KHEIFETZ, V. ZHELEZNIK, S. KOUKHTA, V. SENYUT,
S. ANKOUDA, A. KOLMAKOV, H. TSOOHUU, L. ENKHTOR**

In the work the results of research of influence of high temperature annealing and high pressure treatment upon structure and phase structure of schungite carbon are presented. It is shown, that at high-temperature annealing in oxidizing atmosphere and following high pressure treatment the transformation of the initial globules of schungite carbon into the polyhedral crystallites is observed. The increase in the sizes of nanocrystallites of schungite carbon and partial destruction of schungite globules and their graphitization is thus taken place.