

Таким образом, для применения предлагаемой методики все же необходимы данные, полученные традиционным аналитическим путем. Однако эти данные требуются только на стадии построения градуировочных графиков и при их периодической корректировке. Сама же съемка спектра занимает всего 3–4 мин, а последующие расчеты на ПК в программе EXCEL – менее 1 мин.

При наличии в окрашенных стеклах хромофорных центров (сульфиды, соединения хрома и других элементов) [4] предлагаемая методика может быть скорректирована с учетом поглощения этих групп на соответствующих длинах волн. Для опалесцирующих и глушенных светотехнических стекол следует учитывать как увеличение поглощения во всем спектральном диапазоне, так и изменение формы спектра в коротковолновой области .

ЛИТЕРАТУРА

1. Аткарская А. Б., Зайцева М. И. Окислительно-восстановительное равновесие железа в силикатных стеклах // Стекло и керамика. – 2005. – № 10. – С. 5–8.
2. Аткарская А. Б. Влияние окислительно-восстановительного потенциала на склонность стекла к образованию пузырей // Стекло и керамика. – 2010. – № 4. – С. 3–8.
3. Контроль химического состава медицинского стекла методом атомно-эмиссионной спектроскопии / В. Л. Сакович, Л. А. Боброва, А. М. Лазарева [и др.] // Стекло и керамика. – 2006. – № 4. – С. 7–9.
4. Гулоян Ю. А. Условия получения янтарных и коричневых стекол // Стекло и керамика. – 2005. – № 10. – С. 3–5.

REFERENCES

1. Atkarskaya A. B., Zaytseva M. I. Redox equilibrium of iron in silicate systems. *Steklo i keramika*, 2005, no. 10, pp. 5–8 (in Russian).
2. Atkarskaya A. B. Influence of redox potential on the tendency of glass to the formation of bubbles. *Steklo i keramika*, 2010, no. 4, pp. 3–8 (in Russian).
3. Sakovich V. L., Bobrova L. A., Lazareva A. M., et al. Control of the chemical composition of medical glass by atomic emission spectroscopy. *Steklo i keramika*, 2006, no. 4, pp. 7–9 (in Russian).
4. Guloyan Yu. A. Conditions for obtaining amber and brown glass. *Steklo i keramika*, 2005, no. 10, pp. 3–5 (in Russian).

ВЯЖУЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАСЕРПЕНТИНА

**И. П. Кременецкая, Б. И. Гуревич, Т. К. Иванова, В. В. Лащук,
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья
им. И. В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Мурманская обл.,
г. Апатиты; Т. П. Бубнова, Институт геологии Карельского научного центра
РАН, г. Петрозаводск**

Ключевые слова: серпентин, метасерпентин, дисперсность, среда хранения, гранулирование
Key words: serpentine, metaserpentine, dispersion, storage environment, granulation

Вяжущие свойства термоактивированных серпентиновых минералов активно изучались в 1950-е годы [1]. Материал, полученный на основе обезвоженного серпентинита, был назван серпентинитовым цементом [2]. Установлено, что в определенном температурном интервале в результате дегидратации серпентиновых минералов происходит образование метастабильной фазы – метасерпентина $MgO \cdot SiO_2$ [3]. Именно наличие этой фазы и является причиной проявления вяжущих свойств у материалов на основе термоактивированных серпентиновых минералов. В то же время термоактивированные серпентины в виде магнезиально-силикатного реагента предложено использовать для очистки воды от тяжелых металлов (ТМ) [4]. Рассмотрено влияние структуры серпентиновых минералов на активность реагента [5], предложена методика определения оптимальных условий обжига [6], определены характеристики процесса взаимодействия реагента с растворами ТМ [7].

Задачей исследований, результаты которых представлены в настоящей работе, является применение вяжущих свойств метасерпентина для получения гранулированного реагента. При постановке работы и интерпретации полученных результатов принято во внимание, что серпентиновые цементы характеризуются низким коллоидообразованием. Такой вывод сделан в работе [2] на основании данных о значительной когезии и малой адгезии по отношению к песку. Процесс гидратации с последующим образованием силикатов магния, которые обуславливают твердение материала, происходит на поверхности частиц метасерпентина. Поскольку лишь небольшая часть исходной фазы переходит в коллоидное состояние, на прочность гранулированных образцов большое влияние будет оказывать гранулометрический состав исходного порошка термоактивированного серпентина. В данной работе рассмотрена зависимость прочности отформованных образцов от степени помола метасерпентина. Кроме того, изучено влияние среды твердения на свойства образцов. Известно, что влажные условия наиболее благоприятны для процесса твердения, причем во влажных условиях с увеличением продолжительности хранения образцы упрочняются, в то время как на воздухе их прочность снижается [8]. В соответствии с областью применения целевого материала – гранулированного магнезиально-силикатного реагента – помимо влажных и воздушных условий твердения применяли выдерживание образцов в воде и в растворе ТМ.

Исследования выполнены на примере хризотила и лизардита. Первый является основным компонентом серпентинито-магнезита – вскрышной породы Халиловского месторождения магнезита (Оренбургская обл.), второй представлен сунгулитом – вмещающей породой Хабозерского месторождения оливинитов (Мурманская обл.). Из серпентинито-магнезита был выделен практически мономинеральный образец хризотила. Лизардит получен в результате обогащения оливинитов по технологии, разработанной в Горном институте Кольского научного центра РАН [9]. Химический состав образцов серпентинов приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Содержание основных компонентов в образцах серпентинов

Вид серпентина	Маркировка	Содержание компонентов, мас. %					
		SiO ₂	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	H ₂ O
Лизардит	К-4, К-5, К-6	42,8	37,3	1,4	0,9	1,3	14,9
Хризотил	К-7, К-8, К-9, К-10	36,7	31,8	0,6	13,9	0,2	14,7

Измельчение серпентинов производили в лабораторной шаровой мельнице при массовом соотношении материала и мелющих тел (фарфоровых шаров) 1:3. Измельченный продукт подвергали термической обработке в муфельной печи. Материал рассыпали тонким слоем на металлический противень и помещали в нагретую до 650 °С печь. Продолжительность обжига составляла 20 мин [6].

Прочностные характеристики вяжущей композиции на основе термоактивированных серпентинов определяли на малых образцах, которые формовали из теста нормальной густоты. Использовали четыре варианта условий твердения образцов: 1) на воздухе (температура 20 ± 2 °С, относительная влажность 60%); 2) во влажных условиях (температура 20 ± 2 °С, относительная влажность 90–95%); 3) в дистиллированной воде; 4) в сульфатном растворе меди и никеля (C_{Cu} = 24,0 мг/л, C_{Ni} = 25,4 мг/л). Опыты с термоактивированным хризотилом проводили в условиях 1 и 2, а с лизардитом – в условиях 2, 3 и 4. Образцы испытывали на прочность в установленные сроки.

Исследование влияния дисперсности исходного термоактивированного серпентина на процесс твердения выполнено для термоактивированного хризотила. До обжига серпентин измельчали до остатка на сите 008 35%, после чего полученный порошок термоактивировали. Степень активации использованного в работе хризотила составила 96%. Вследствие практически полного превращения хризотила в метахризотил полученный материал отличается однородностью, что дает возможность применять его для изучения влияния степени измельчения метасерпентина на прочность вяжущей композиции. В работах [2, 10] показано, что дополнительный помол термоактивированного серпентина улучшает качество серпентинового вяжущего. Исходные образцы измельчали в течение времени от одного до шести часов. Влияние степени измельчения метасерпентина на качество цементного теста исследо-

вали с использованием четырех серий образцов, изготовленных из проб, характеристики которых представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Характеристики проб метакризиола

Маркировка проб	Время помола, ч	Остаток на сите 008, %	$S_{уд}, M^2/Г$	Содержание частиц, %			
				< 1 мкм	1–10 мкм	10–100 мкм	> 100 мкм
К-7	1,00	35,0	57,46	1,23	14,05	52,84	31,88
К-10	2,25	14,7	41,83	2,68	21,03	63,35	11,93
К-8	2,50	0,7	34,93	4,47	30,68	61,72	3,12
К-9	6,00	0,0	43,41	3,53	27,54	63,90	5,03

По мере увеличения продолжительности помола изменяется (уменьшается) такая характеристика материала, как остаток на сите (размер ячеек сита 80 мкм). Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам (рис. 1) показывают, что стабилизация процесса измельчения происходит через 2,5 ч помола.

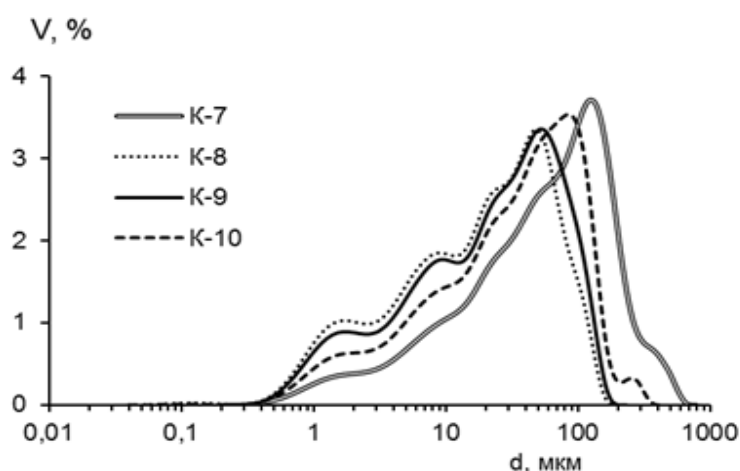


Рис. 1. Результаты гранулометрического анализа образцов метакризиола

Размер частиц в полученных образцах изменяется в широком интервале значений. Наблюдается тенденция снижения величины удельной поверхности, определенной по методу адсорбции азота, по мере уменьшения содержания крупных частиц (> 100 мкм). Поскольку, как отмечено выше, практически весь исходный материал претерпевает трансформацию в новую активную фазу, можно предположить, что пористость присутствует не только на поверхности, но и в объеме крупных частиц. Вероятно, именно развитая внутренняя пористость крупных частиц (а не наличие непористых мелких частиц) определяет величину удельной поверхности термоактивированного хризотила. С увеличением степени измельчения сокращается количество крупных частиц в материале (см. табл. 2) и, как следствие, уменьшается удельная поверхность.

Полученные кривые отличаются от стандартной кривой логарифмически нормального распределения частиц по размерам наличием нескольких локальных максимумов, интенсивность которых увеличивается по мере истирания материала. Такое «фракционирование» можно объяснить микрокристаллическим строением крупных частиц метасерпентина, что, по-видимому, и обуславливает их внутреннюю пористость. Об особенностях макроструктуры частиц метакризиола можно судить также по результатам микроморфологического и микротекстурного анализа образцов термоактивированного и исходного хризотила.

Поверхность скола частиц исходного хризотила характеризуется достаточно плотной однородной фарфоровидной текстурой (рис. 2, а). После измельчения в шаровой мельнице поверхность крупных частиц остается гладкой, а мелкие частицы образуют скопления, в том числе на поверхности крупных частиц (рис. 2, б). Обжиг материала способствует агломерации мелких частиц, поверхность крупных частиц становится разрыхленной, пористой (рис. 2, в). Отметим, что после гидратации частицы метасерпентина покрыты большим количеством новообразований (рис. 2, г).

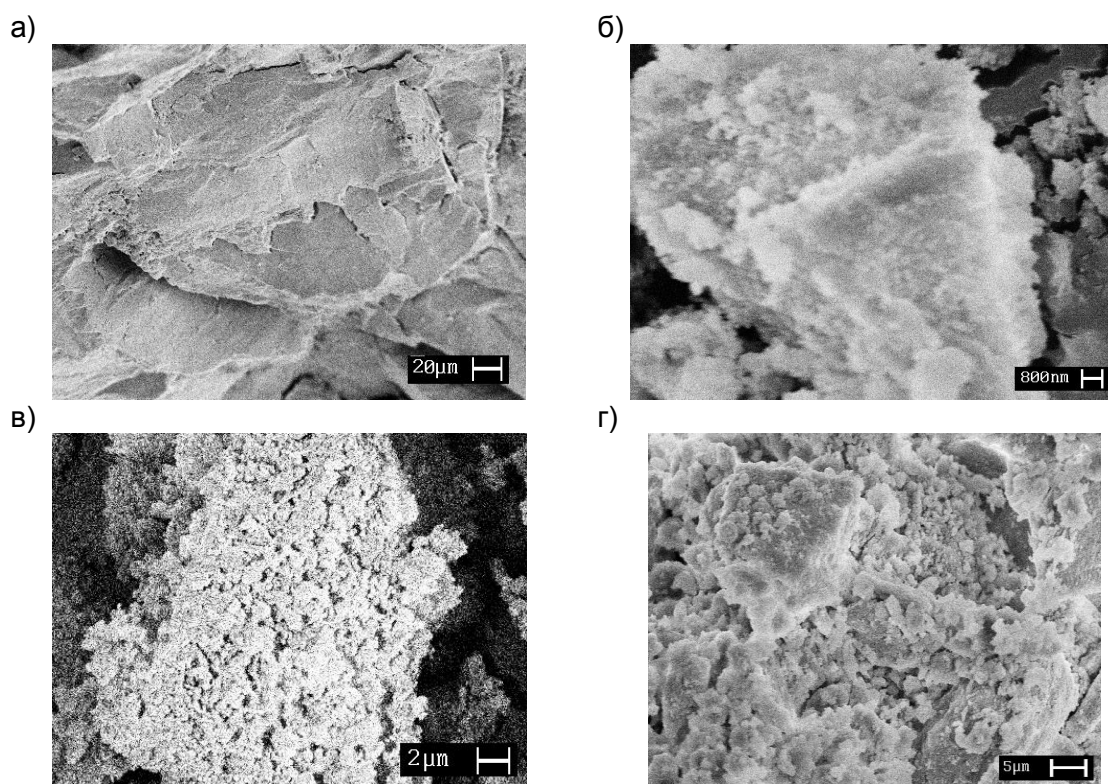


Рис. 2. Микротекстура поверхности частиц хризотила: массивный образец исходного минерала (а); частицы после помола в шаровой мельнице (б), последующей термоактивации (в) и гидратации (г)

Незакономерное увеличение удельной поверхности пробы К-9 можно объяснить, на наш взгляд, экспериментальной погрешностью, которая обусловлена неоднородностью и недостаточной усредненностью материала. По сравнению с пробой К-10 наиболее существенным изменением характеристик пробы К-9 является уменьшение более чем в 2 раза доли наиболее крупных частиц (> 100 мкм); преобладающая доля частиц размером 10–100 мкм практически не изменяется, несколько увеличивается содержание мелких (< 10 мкм) частиц. Величины удельной поверхности проб К-10 и К-9 различаются в пределах погрешности измерения. Незначительные различия в распределении частиц по размерам и в величине удельной поверхности материала проб К-9 и К-10 проявляются и при анализе свойств серпентинового цемента.

Результаты определения прочности образцов, изготовленных из указанных проб, представлены на рис. 3. Общей тенденцией для образцов, твердевших во влажных условиях (К-7, К-8/1, К-9, К-10), является закономерное повышение прочности за счет образования цементирующей фазы при увеличении времени хранения в таких условиях с 7 до 360 сут. Степень измельчения материала, как и следовало ожидать, оказывает существенное влияние на прочностные характеристики: чем больше степень измельчения, тем прочнее образцы, причем в данном случае степень измельчения следует характеризовать исходя из гранулометрического состава материала, а точнее – исходя из содержания мелких частиц (< 10 мкм). Образцы серии К-9 занимают промежуточное положение между образцами серий К-10 и К-8 как по прочности, так и по содержанию мелких частиц в цементе, из которого они изготовлены.

Результаты механических испытаний показали, что прочность образцов, изготовленных из метахризотила, зависит от содержания мелких частиц. С другой стороны, прочность образцов определяется и условиями их хранения. На примере образцов из пробы К-8/2 исследовали влияние воздушного хранения на прочность серпентинового вяжущего. Прочность образцов, твердеющих на воздухе, увеличивается достаточно быстро, что свидетельствует об ускоренном образовании цементирующего материала в результате высыхания (см. рис. 3). Однако с увеличением времени хранения происходит значительное уменьшение прочности, что, скорее всего, связано с появлением усадочных трещин.

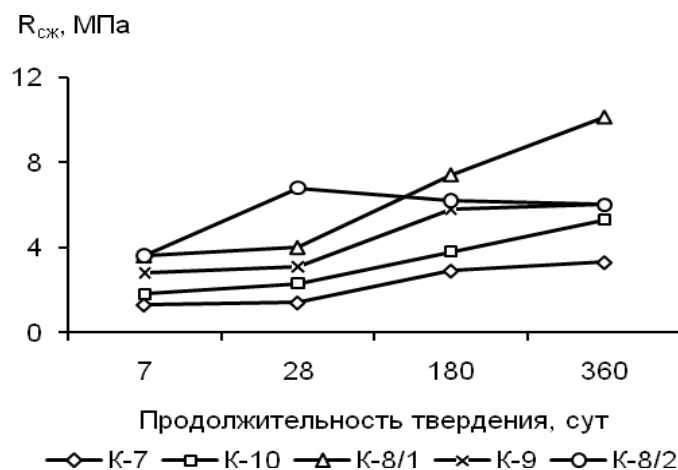


Рис. 3. Изменение прочности образцов, изготовленных из термоактивированного хризотила и твердевших во влажных условиях (K-7, K-8/1, K-9, K-10) и на воздухе (K-8/2) (характеристики исходных порошков представлены в табл. 2)

Влияние среды хранения на прочность вяжущей композиции исследовано с использованием термоактивированного lizardita. В течение первых семи суток отформованные образцы твердели во влажных условиях, затем часть образцов помещали в воду (K-5), часть – в раствор ТМ (K-6), а часть образцов продолжала твердеть во влажных условиях (K-4).

Общей тенденцией для всех вариантов опытов является закономерное повышение прочности. Заметное влияние на прочностные характеристики оказывают условия твердения, причем самая низкая прочность образцов отмечается при хранении в растворе ТМ, а самая высокая – при хранении во влажных условиях (рис. 4). Для образцов, хранившихся во влажных условиях, наблюдается увеличение прочности на протяжении всего срока испытаний (360 сут), в то время как при твердении в воде и в растворе ТМ рост прочности прекращается через 180 сут. Это свидетельствует о том, что образцы разных серий различаются по количеству и скорости образования цементирующей фазы.

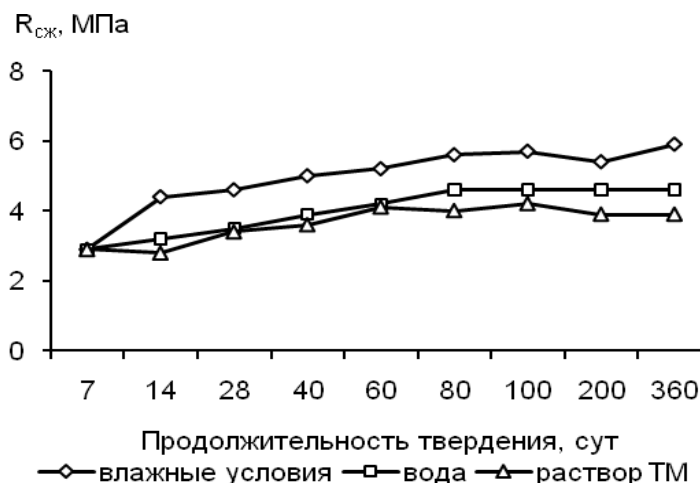


Рис. 4. Изменение прочности образцов, изготовленных из термоактивированного lizardita, в зависимости от продолжительности хранения в различных условиях

Об изменении состава продуктов взаимодействия метасерпентина с водой судили по результатам РФА, ДТА и по текстуре поверхности частиц метасерпентина. Анализ данных РФА и ДТА образцов на основе серпентиновых минералов показывает, что в отличие от исходных метасерпентинов на термограммах образцов, полученных после гидратации, присутствует эндотермический эффект при температуре 110–120 °С, соответствующий удалению физически связанной воды, а в интервале температур 350–600 °С отмечается широкий размытый пик эндотермического эффекта, который можно отнести к процессу дегидратации как брусита $Mg(OH)_2$ (эндозэффект при 480 °С), так и силикатов магния переменного состава.

По данным РФА, в образцах может присутствовать фаза, близкая по составу к антофиллиту $7\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, а также смешаннослойная фаза наподобие керолита, который в геологических породах образуется за счет выветривания серпентиновых минералов. Таким образом, по величине потери массы Δm в интервале температур 350–600 °С можно получить представление о суммарном количестве вяжущего и прекурсора вяжущего ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) в образце. На термограммах серпентинов присутствует также экзотермический эффект при температуре 790 °С, который соответствует образованию вторичного минерала – форстерита.

Потеря массы, определенная по кривой ТГ в интервале температур 350–600 °С, уменьшается как по мере увеличения продолжительности твердения, так и в ряду влажные условия – вода – раствор ТМ (табл. 3). Во влажных условиях может происходить только трансформация гидратированной магнезиально-силикатной фазы, в то время как в воде и в растворе ТМ возможно и выщелачивание ее компонентов. Как видно из представленных данных, растворение происходит быстрее при взаимодействии с кислым раствором солей ТМ, чем с водой.

Т а б л и ц а 3

Результаты термического анализа образцов

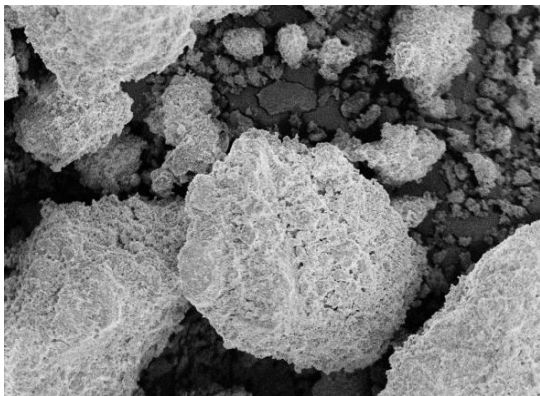
Образец	Δm , мас. %, при продолжительности твердения			
	40 сут		100 сут	
	100–150 °С	350–600 °С	100–150 °С	350–600 °С
К-4 (влажные условия)	21,0	4,5	25,0	3,0
К-5 (вода)	23,0	3,2	34,7	2,7
К-6 (раствор ТМ)	25,6	3,0	37,0	2,5

На термограммах серпентина присутствует экзотермический эффект при температуре 790 °С, который соответствует образованию вторичного минерала – форстерита. Тот факт, что интенсивность данного экзотермического эффекта изменяется в зависимости от продолжительности и условий твердения, свидетельствует о протекании таких процессов трансформации гидратированной активной фазы, которые влияют на содержание магнезиально-силикатной фазы, образующей форстерит [11]. Выполнена оценка количества форстерита, образовавшегося в результате термообработки гидратированных образцов, относительно негидратированного серпентинового цемента, интенсивность экзотермического пика которого принята за единицу.

Сопоставление относительного количества образующегося форстерита и прочности образцов показало, что наблюдается корреляция данных показателей, следовательно, прочность серпентинового цемента определяется количеством образующегося в процессе гидратации магнезиально-силикатного соединения. В образцах, хранившихся во влажных условиях, относительное количество образовавшегося форстерита увеличивается с 0,42 (14 сут) до 0,47 (100 сут), что свидетельствует о протекании процесса трансформации твердой фазы с участием только физически связанной воды. При твердении в воде и в растворе ТМ данный показатель ниже из-за частичного растворения компонентов и составляет для 100-суточных образцов 0,35.

На выщелачивание продукта гидратации указывают и результаты микроморфологических исследований. Микроизображения частиц метасунгулита после твердения в течение 100 сут приведены на рис. 5. Судя по прочности образцов, наиболее интенсивно процесс растворения метасунгулита происходит в образцах, которые взаимодействовали с кислым раствором ТМ (рис. 5, б). Прежде всего следует отметить сильно разрыхленную и менее плотную структуру гранулированного материала. В результате растворения продуктов гидратации магнезиально-силикатного реагента происходит изменение морфологии частиц термоактивированного сунгулита. На рис. 5, а видно, что в материале образца после твердения во влажных условиях присутствуют округлые частицы, покрытые равномерным однородным слоем новообразований, текстура поверхности сглаженная, как будто оплавленная. В образце, который хранился в растворе ТМ, наблюдается более четкая огранка частиц как результат преимущественного растворения по наиболее активным участкам – ребрам микроблоков. Описанные процессы приводят к снижению прочности образцов, твердение которых происходило в агрессивной среде раствора ТМ, по сравнению с образцами, хранившимися во влажных условиях или в воде.

а)



б)

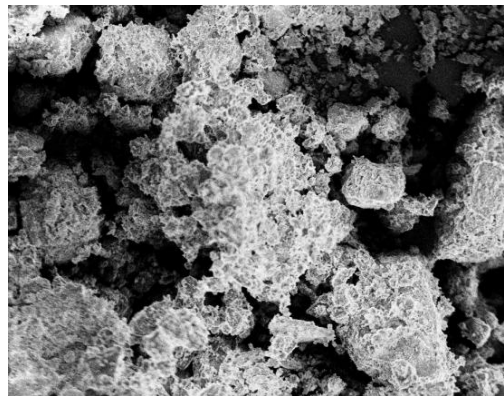


Рис. 5. Микроизображения частиц метасунгулита после твердения в течение 100 сут: твердение во влажных условиях (а) и в растворе ТМ (б)

Таким образом, на формирование макроструктуры цементного камня и, как следствие, на его прочность решающее влияние оказывает гранулометрический состав серпентинового цемента, а именно наличие такого количества мелкой фракции (< 10 мкм), которое обеспечивает плотную упаковку частиц и достаточное количество магнезиально-силикатной фазы, образующейся на поверхности частиц. Общей тенденцией для всех образцов, твердевших в разных условиях хранения, является закономерное повышение прочности по мере увеличения продолжительности твердения, за исключением образцов, твердевших на воздухе. Для серпентинового вяжущего оптимальна влажная среда хранения, в которой на протяжении всего времени твердения происходит образование новой фазы, что обуславливает прочность, достаточную для грануляции метасерпентина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будников П. П., Мчедлов-Петросян О. П. Проявление гидравлических вяжущих свойств у обезвоженного серпентинита // ДАН СССР. – 1950. – № 73 (3). – С. 539–540.
2. Мчедлов-Петросян О. П. Серпентинитовый цемент // Сборник научных работ по химии и технологии силикатов. – М.: Госстройиздат, 1956. – С. 153–166.
3. О процессе форстеритообразования при нагревании дунита / П. П. Будников, Л. Б. Хорошавин, В. А. Перепелицин [и др.] // Журнал прикладной химии. – 1967. – Т. XL, № 6. – С. 1369–1370.
4. Пат. 2136608 Российская Федерация, МПК⁶ C02 F1/62, 1/28, 1/66. Способ очистки воды открытых водоемов от закисления и ионов тяжелых металлов / Макаров В. Н., Кременецкая И. П., Васильева Т. Н. [и др.]. – № 98106699/25; заявл. 09.04.98; опубл. 10.09.99, Бюл. № 25.
5. Аморфизация серпентиновых минералов в технологии получения магнезиально-силикатного реагента для иммобилизации тяжелых металлов / И. П. Кременецкая, А. Т. Беляевский, Т. Н. Васильева [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – Т. 18. – С. 41–49.
6. Кременецкая И. П., Корытная О. П., Васильева Т. Н. Реагент для иммобилизации тяжелых металлов из серпентинсодержащих вскрышных пород // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 4. – С. 33–40.
7. Особенности получения и применения фракционированного магнезиально-силикатного реагента / И. П. Кременецкая, О. П. Корытная, Т. Н. Васильева [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85, № 10. – С. 1553–1561.
8. Гуревич Б. И. Вяжущее из хвостов обогатительной фабрики комбината «Печенганикель» // Химия и технология переработки силикатного сырья. – Л.: Наука, 1975. – С. 43–45.
9. Пат. 2263546 Российская Федерация, МПК⁷ B03B7/00, B03C1/00. Способ обогащения магний-силикатного сырья / Пузырев В. А., Ракаев А. И., Алексеева С. А. [и др.]. – № 2003129848/03; заявл. 07.10.03; опубл. 10.11.05, Бюл. № 31.
10. Минералы: справочник / под ред. Ф. В. Чухрова. – М.: Наука, 1992. – Т. 4, вып. 1. – 599 с.
11. Зулумян Н. О. Термокислотная обработка серпентинизированных ультраосновных пород и выявление структурных особенностей серпентинов: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. – Ереван, 2008. – 37 с.

REFERENCES

1. Budnikov P. P., Mchedlov-Petrosyan O. P. Manifestation of hydraulic binding properties in dehydrated serpentinite. *Doklady AN SSSR*, 1950, no. 73(3), pp. 539–540 (in Russian).
2. Mchedlov-Petrosyan O. P. Serpentinite cement. *Sbornik nauchnykh rabot po khimii i tekhnologii silikatov*. Moscow: Gosstroyizdat, 1956, pp. 153–166 (in Russian).
3. Budnikov P. P., Khoroshavin L. B., Perepelitsyn V. A., et al. About the process of forsterite formation in heated dunite. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 1967, vol. XL, no. 6, pp. 1369–1370 (in Russian).
4. Patent RF 2136608. *Sposob ochistki vody otkrytykh vodoemov ot zakisleniya i ionov tyazhelykh metallov* [A method for water treatment in open water reservoirs from acidulation and heavy-metal ions]. Makarov V. N., Kremenetskaya I. P., Vasil'eva T. N., et al. Declared 09.04.98. Published 10.09.99. Bulletin no. 25 (in Russian).
5. Kremenetskaya I. P., Belyaevskiy A. T., Vasil'eva T. N., et al. Amorphization of serpentine minerals in technology of magnesia silicate reagent for heavy metals immobilization. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2010, vol. 18, pp. 41–49 (in Russian).
6. Kremenetskaya I. P., Korytnaya O. P., Vasil'eva T. N. A reagent from serpentine-containing overburden rock for heavy metals immobilization. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*, 2008, no. 4, pp. 33–40 (in Russian).
7. Kremenetskaya I. P., Korytnaya O. P., Vasil'eva T. N., et al. Peculiarities of production and application of graded magnesia silicate reagent. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2012, vol. 85, no. 10, pp. 1553–1561 (in Russian).
8. Gurevich B. I. A binding agent from dressing tailings of the Pechenganikel combine. *Khimiya i tekhnologiya pererabotki silikatnogo syr'ya*. Leningrad: Nauka, 1975, pp. 43–45 (in Russian).
9. Patent RF 2263546. *Sposob obogashcheniya magniy-silikatnogo syr'ya* [A method for concentrating of magnesium-silicate minerals]. Puzyrev V. A., Rakaev A. I., Alekseeva S. A., et al. Declared 07.10.03. Published 10.11.05. Bulletin no. 31 (in Russian).
10. *Mineraly* [Minerals], edited by F. V. Chukhrov. Moscow: Nauka, 1992, vol. 4, issue 1, 599 p (in Russian).
11. Zulumyan N. O. *Thermal-acid treatment of serpentinitized ultrabasic rocks and disclosing of structural peculiarities of serpentine*. Author's abstract of a Dr. Sc. (Chemistry) thesis. Erevan, 2008, 37 p (in Russian).

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СПЕКАНИЯ В СИЛИКАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**А. П. Зубехин, С. П. Голованова, Е. А. Яценко, Н. Д. Яценко,
Южно-Российский государственный политехнический университет
(Новочеркасский политехнический институт) им. М. И. Платова,
Ростовская обл., г. Новочеркасск**

Ключевые слова: спекание, физико-химические процессы, фазовый состав, структура, поликристаллические материалы, кристаллическая фаза, стеклофаза, пористость, расплав, обжиг портландцементного клинкера, обжиг фарфора

Key words: sintering, physical and chemical processes, phase composition, structure, polycrystalline materials, crystal phase, glass, porosity, melt, the firing of Portland cement clinker, the firing of the porcelain

Для разработки инновационных технологий производства силикатных материалов и изделий необходимы фундаментальные знания физических и физико-химических процессов на всех технологических стадиях, позволяющие управлять формированием фазового состава и структуры. Теоретическая зависимость свойств выражается, как известно, триадой состав – структура – свойства. В учебном пособии «Химическая технология керамики» [1] авторы, констатируя, что свойства керамики в решающей степени зависят от структуры, расширяют схему следующим образом: сырье – технология – структура – свойства – применение. Под структурой керамики, согласно ее определению, приведенному в энциклопедии [2] и учебном пособии [3]: «Керамические материалы, керамика – поликристаллические материалы, получаемые спеканием глин и их смесей с минеральными добавками, а также оксидов металлов и других тугоплавких соединений», понимаются кристаллическая, стекловид-