

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF PLASMA GASIFICATION OF CARBON-CONTAINING MEDIA: EVALUATION CRITERIA AND COMPUTATIONAL PROCEDURE

S.A. Oparin ^a, L.T. Holyavchenko ^b, S.L. Davydov ^b

^a Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

^b The Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine

The paper reports the evaluation criteria and computational procedure of the performance parameters of the plasma gasification process in carbon-containing media. This method allows determining parameters of the gasification process at various temperatures and establishing their optimum values on the basis on the composition carbonaceous media and the type of gasification process. The temperature dependences of qualitative and quantitative indicators of the coal gasification process are given, they being obtained as a result of the thermodynamic calculations. The optimum temperature of the process of steam-plasma gasification is close to 1700–1800 K at which a maximum output of gas is observed. The dependences of specific energy consumption of coal gasification process on the process temperature are established on the basis of the calculations performed by means of the developed method for determining the performance parameters. The specific power input in terms of coal consumption and the volume power input are 3.16 kWh/kg and 0.933 kWh/m³, respectively, when the process of steam-plasma gasification is carried out at the temperatures of 1700 to 1800 K. The method of calculating the production cost of gas synthesized by steam-plasma gasification is reported.

Keywords: carbon-containing environ, steam-plasma gasification, specific energy consumption, costs.

УДК 620.22

Д.А. Орешкин ^a, Ю.Р. Колесник ^b, О.В. Черваков ^c

СНИЖЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ СТЕКЛОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКОЙ ОРГАНОСИЛОКСАМИ

^a Технологическая группа «Экипаж», г. Харьков

^b ООО НПП КРОК, г. Киев

^c ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепро

В работе исследован процесс поверхностной защиты композитной арматуры раствором органосилоксана, с целью снижения её водопоглощения и повышения химстойкости и морозостойкости. Установлено, что при циклическом водонасыщении – высушивании водопоглощение стеклокомпозитов существенно возрастает, также и при кипячении в воде или щелочной модели поровой жидкости бетона, что связано с деструкцией и гидролизом компонентов. Указанное явление практически нивелируется после поверхностной обработки образцов раствором олигоорганосилоксана. ИК-спектроскопия позволяет предположить о взаимодействии молекул органосилоксана с поверхностью стекла по концевым гидроксильным группам. Выявлено, что поверхностная обработка стеклокомпозитных образцов раствором олигоорганосилоксана существенно снижает их водопоглощение и повышает химстойкость.

Ключевые слова: стеклокомпозиты, водопоглощение, олигоорганосилоксаны, ИК-спектроскопия, водонасыщение – высушивание.

REFERENCES

1. Rozovskiy A.Ya. Novoe toplivo iz prirodnogo gaza [Novel fuel from natural gas]. *Khimiya i Zhizn'*, 2002, no. 5, pp. 5-10. (in Russian).
2. Mokrienko P.V. Kompleksnaya otsenka ekonomicheskoi effektivnosti pererabotki burykh uglei primorskogo kraya v metanol [Complex evaluation of economic efficiency of the treatment of brown coals from Primorye territory into methanol]. *Mezhdunarodnyi Zhurnal Prikladnykh i Fundamentalnykh Issledovaniy*, 2013, no. 10, pp. 55-59. (in Russian).
3. Bulat A.F., Holyavchenko L.T., Davydov S.L., Oparin S.A. Termodinamika plazmennoi gazifikatsii shahtnykh metanovozdushnykh smesei, problemy i perspektivy ikh pererabotki [Thermodynamics of plasma gasification of mine aeromethane mixtures: problems and perspectives of their treatment]. *Geotekhnicheskaya Mekhanika*, 2012, vol. 102, pp. 121-128. (in Russian).
4. Holyavchenko L.T., Osenniy V.Ya., Davydov S.L., Narivskiy R.N. Problemy i perspektivy razvitiya ekologicheskoi chistykh tekhnologii pererabotki nizkosortnykh uglei i otkhodov ugolnoi promyshlennosti [Problems and perspectives of eco-friendly treatment of grizzle and waste products of coal industry]. *Ekologiya i Pryrodokorystuvann'ya*, 2012, vol. 15, pp. 144-152. (in Russian).
5. *Khimicheskaya Entsiklopediya* [Encyclopedia on chemistry]. Sovetskaya Entsiklopediya Publishers, Moscow, 1988, vol. 1, pp. 878-879. (in Russian).
6. Kasatkin A.G., *Osnovnyie protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii* [Basic processes and apparatus in chemical engineering]. Khimiya, Moscow, 1971. 784 p. (in Russian).
7. Buyantuev S.L., Shishulkin S.Yu., Sharonov K.S. Voprosy optimizatsii teplofizicheskikh parametrov plazmennogo gazifikatora uglei [Problems of the optimization of thermalphysic parameters of coal plasma gazification]. *Vestnik BGU: Khimiya i Fizika*, 2009, vol. 3, pp. 146-152. (in Russian).

Введение

Конструкционная композитная арматура, представляющая собой полимерные композиционные материалы армированные волокнами различной природы, в процессе эксплуатации подвергается воздействию ряда внешних факторов: воды, водно-солевых и кислотных агрессивных сред, знакопеременных температур, вибрационных нагрузок, радиации. Эти факторы, последствия которых во многом зависят от их сочетания и интенсивности, могут действовать в отдельности, совокупности и различной последовательности. Долговечность и эксплуатационные свойства (прочность, химическая стойкость, электрическое сопротивление) композитов в этих условиях во многом зависят от их водопоглощения [1]. Вода, проникая в объем композита, вызывает не только его физико-химическую деструкцию, но и транспортирует агрессивные среды, вступающие с ним в химическое взаимодействие, что нарушает его целостность.

Разрушение композита, подвергающегося атмосферной коррозии, водонасыщению и сушке, замораживанию и оттаиванию, начинается с появления микротрещин. Периодическое изменение температур, а следовательно, и напряжений ускоряет усталостные процессы и приводит к образованию трещин [2]. Первоначально они развиваются преимущественно по границе фаз между волокном и полимерным связующим в местах действия максимальных структурных напряжений, постепенно объединяясь в более протяженные трещины, пролегающие как по границам волокон, так и через полимерную матрицу, что приводит к разрушению композита.

Большое количество работ посвящено получению композитных материалов. В то же время недостаточно исследована их атмосферо- и химстойкость композитов, остается малоизученным вопрос о влиянии степени их водонасыщения на физико-механические свойства.

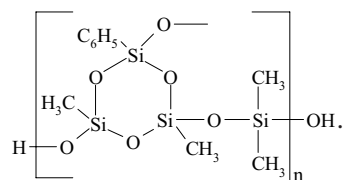
Известно [3], что перенос воды в непористых материалах происходит по типу молекулярной диффузии, которую обычно представляют как последовательность единичных скачков (сорбция-десорбция) диффундирующих молекул в свободном межмолекулярном пространстве твердого тела. Массоперенос в композитном материале обусловлен суммарным действием механизмов, характерных как для капиллярно-пористых, так и непористых материалов.

При отрицательных температурах поглощенная вода замерзает и за счет увеличения объема создает растягивающие напряжения в структуре композита. С ними суммируются напряжения, возникающие от разности коэффициентов температурного расширения компонентов, составляющих композитный материал. Со-

гласно работе [4], образование льда вызывает лишь частичное повреждение материала. Основным же источником разрушения, по мнению ее авторов, является процесс миграции воды и возникающее при образовании льда гидравлическое давление жидкости. Вода начинает переходить в лед, в первую очередь в крупных порах и полостях при температуре 0 и -1°C . При дальнейшем понижении температуры лед начинает образовываться в капиллярах меньшего диаметра.

Композитная арматура предназначена для использования в цементобетонах, поровая жидкость которых имеет pH 12–13. Столь высокощелочная среда способна вызывать растворение алюмоборосиликатного стекловолокна и гидролиз связующих в композитных материалах. Для обеспечения долговечности композитной арматуры в цементобетонах применяют волокна из щелочестойкого стекла. На наш взгляд перспективным направлением снижения водопоглощения и, соответственно, повышения химстойкости, морозостойкости и в конечном итоге долговечности композитной арматуры может быть технология ее защиты кремнийорганическими покрытиями [5,6], широко применяемыми в различных отраслях.

Целью настоящей работы является снижение водопоглощения стеклокомпозитных материалов поверхностной обработкой органосилоксанами. Нами изучено влияние поверхностной пропитки стеклокомпозитных арматурных стержней защитной смесью торговой марки «Силол» (ТУ У В.2.7-24.1-31911658.001-2002 Суміші «Силол». Технічні умови), которая представляет собой 15%-ный раствор в уайт-спирите продукта гидролитической совместной конденсации метилтрихлорсилана, фенилтрихлорсилана и диметилдихлорсилана, общей формулы, с молекулярной массой до 10000 ед.:



Ранее в работе [7] было показано, что при пленкообразовании такого типа олигоорганосилоксанов на защищаемой поверхности происходит образование пространственно-сшитых продуктов. При этом было установлено, что в отличие от линейных аналогов, пространственно-сшитые органосилоксаны обеспечивают получение пленок покрытий с более высокими показателями адгезии, атмосферостойкости, прочности, а также износостойкости. Кремнийорганические пленкообразователи, в отличие от

традиционных органических, построены из чередующихся силоксановых фрагментов обладающих высокой энергией межатомных связей. Так, энергия С–С связи в органических соединениях составляет 344 кДж/моль, в то же время энергия Si–O–Si связи равна 432 кДж/моль [9]. Столь высокая энергия межатомных связей в силоксанах обеспечивает им уникальную атмосферостойкость, стойкость к действию ультрафиолетового облучения, воды, нуклеофильных и электрофильных агентов.

Ранее проведенные испытания [7] пленок покрытий на основе кремнийорганического состава «Силол» в климатической камере ИП-3 (в условиях действием ультрафиолетового облучения, воды и температуры в течение 3600 ч – эквивалент 10 лет атмосферного воздействия) показали снижение краевого угла смачивание гидрофобной поверхности на 8%. Ожидается, что применение этого состава для защиты стеклонеполненных композитов позволит существенно увеличить срок эксплуатации последних

Методы исследования

Объектом исследования был стеклянные волокна – ровинг производства ОАО «ОСВ Стекловолокно», полученный из Е-стекла содержащего 59–61% окиси кремния, 0,5–1,5% окиси титана, без окиси бора, волокон диаметром 10–15 мкм.

ИК-спектроскопические исследования проводили с использованием спектрофотометра TENSOR 37 фирмы Bruker. Спектры отвержденных образцов полиэфирной и кремнийорганической смол сняты на пропускание в таблетках бромистого калия. ИК-спектроскопия образцов стекловолокна исследовалась на отражение.

Стекловолокно перед спектроскопическими исследованиями двукратно промывали в толуоле в течение суток с последующим кипячением 24 ч.

Для ИК-спектроскопических исследований использовали защитную смесь «Силол» (ТУ У В.2.7-24.1-31911658.001), представляющей собой раствор кремнийорганической смолы в уайт-спирите, и терморезистивную ненасыщенную полиэфирную изофталевою смолу в стироле марки НПС-9502 (ТУ 05758799-033-98).

Смолы или их смеси (в массовом соотношении по сухому остатку 1:1) наносили на ровинг методом окунания с последующей их сушкой и вакуумированием.

Водопоглощение (W, %) стеклокомпозитных материалов определяли по ГОСТ 4650-2014 (ISO 62:2008) на цилиндрических образцах с высотой равной диаметру, мм: 36×36 (рис. 1). Цилиндры вырезали абразивным кругом из стеклокомпозитных стержней марки АСКГ (ТУ 2296-

02-22271231-2015).



Рис. 1. Стеклокомпозитные цилиндрические образцы для исследования водопоглощения

Защитное покрытие на стеклокомпозитных образцах получали методом окунания в раствор кремнийорганической смолы и взвешиванием образца. При этом наносили два слоя с сушкой каждого слоя при комнатной температуре. Средняя норма расхода защитного состава – 110 г/м².

Для моделирования поровой жидкости цементобетона использовали состав по ГОСТ 32487: раствор 8,0 г гидроокиси натрия и 22,4 г гидроокиси калия на 1 л дистиллированной воды с рН 12,6 – 13,0.

Результаты и обсуждения

На ИК-спектре пропускания отвержденной олигометилсилоксановой смолы – основы пропитки «Силол» (рис. 2, спектр 1) – в области длин волн 4000–2900 см⁻¹, наблюдается широкий максимум поглощения.

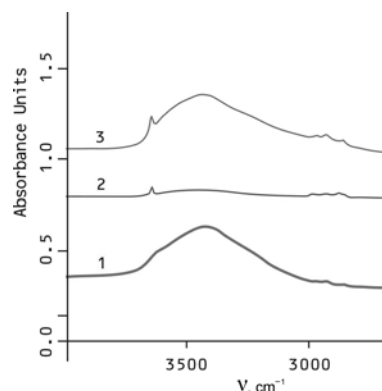


Рис. 2. ИК-спектры отвержденных олигодиметилсилоксановой смолы (1), полиэфирной смолы (2) и продукта совмещения кремнийорганической и полиэфирной смол (3), взятых в массовом соотношении 1:1 (по сухому остатку)

Для него характерным является наличие валентных колебаний (ν) ассоциированных гидроксильных групп с различной энергией [9], причем доля н кристаллогидратных групп не

велика, преобладают –ОН групп (3420 см^{-1}) связанных водородными связями. Спектр в данной области поглощения является типичным для олигодиметилсилоксанов с концевыми –ОН группами [8,9].

В указанной области поглощения ИК-спектр отвержденной полиэфирной смолы (рис. 2, спектр 2) имеет незначительный максимум при 3648 см^{-1} характерный для свободных остаточных ОН групп [9].

ИК-спектр отвержденной на воздухе смеси олигодиметилсилоксановой и полиэфирной смол (рис. 2, спектр 3) является спектром наложения спектров 1 и 2, входящих его состав исходных веществ. Данный факт может свидетельствовать об ожидаемом отсутствии химического взаимодействия между смолами, отвержденных при комнатной температуре.

На ИК-спектре стекловолокна, отмытого от замазливателя (рис. 3, спектр 3) наблюдается широкий спектр валентных колебаний ОН групп в области $3800\text{--}2800\text{ см}^{-1}$.

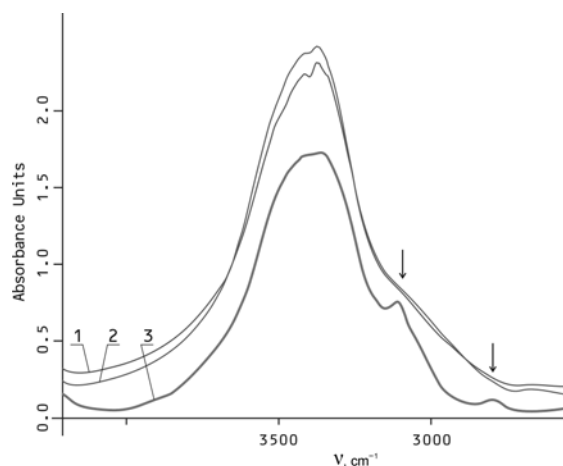
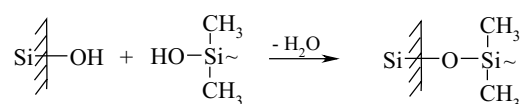


Рис. 3. ИК-спектры стекловолокна (3), отмытого от замазливателя и его продуктов взаимодействия с олигодиметилсилоксановой (1) и олигодиметилсилоксановой смолой (2)

Согласно данным работы [10] широкий максимум при $3750\text{--}3250\text{ см}^{-1}$, можно отнести к валентным колебаниям силанольных групп Si–ОН входящих в состав стекла. Экстремумы при 3090 см^{-1} и 2810 см^{-1} следует отнести к колебаниям –ОН групп адсорбированных молекул воды, находящихся в различных условиях ассоциации. ИК-спектр отражения твердых образцов олигодиметилсилоксановой смолы (рис. 3, спектр 2) характеризуется широким максимумом поглощения характерным для гидроксиорганосилоксанов [8,9].

Интересно, что после обработки стекловолокна жидким составом «Силол» и сушки его

при нормальных условиях из спектра композиции исчезают полосы при 3090 и 2810 см^{-1} (рис. 3, спектр 1) отнесенные нами согласно [10] к гидратированным молекулам воды и при этом происходит расщепление основного пика поглощения. Можно предположить, что обработка стекловолокна олигодиметилсилоксаном вызывает вытеснение адсорбированной на поверхности стекла воды, а расщепление основного пика поглощения при $3410\text{--}395\text{ см}^{-1}$ вероятно, свидетельствует о протекании ассоциации и химического взаимодействия по схеме:



Результатом взаимодействия является прививка к поверхности стекловолокна олигодиметилсилоксановой смолы по концевым реакционноспособным гидроксильным группам.

Учитывая пултрузионную технологию изготовления погонажных композитных профилей, арматуры и труб [11], их наружная поверхность покрыта защитным слоем полимерного связующего. В связи с этим в первую очередь химической деструкции подвергаются торцевые срезы и внешние слои погонажного изделия, в то время как в их внутренних слоях практически никаких изменений не происходит. Разрушение композитов, под действием воды и водных растворов начинается с шелушения и появления микротрещин.

При определении водопоглощения композитных образцов установлено, что в течение 48 ч происходит насыщение образцов 0,57% воды, однако судя по зависимости 1 (рис. 4) предельного насыщения в течение трех суток не происходит. Данное явление характерно для композитов.

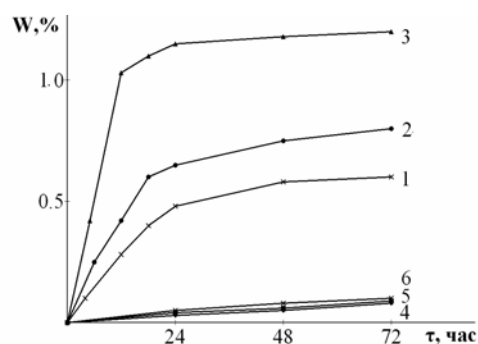


Рис. 4. Водопоглощение композитных образцов стержней марки АСКГ не обработанных (1–3) и обработанных защитной смесью «Силол» (4–5), после первого (1,4), второго (2, 5) и третьего (3, 6) цикла погружения в дистиллированную воду

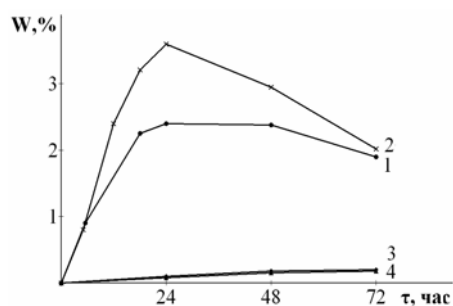


Рис. 5. Водопоглощение композитных образцов стержней марки АСКГ не обработанных (1, 2) и обработанных защитной смесью «Силол» обработанных защитной смесью «Силол» (3, 4) при кипячении в дистиллированной воде (1, 3) и модельной поровой жидкости (2, 4)

Достижение максимума водопоглощения обычно наблюдается в течение длительного периода [3].

Высушивание до постоянной массы образца после первого цикла исследования водопоглощения и повторное его погружение в дистиллированную воду (рис. 3, зависимость 2) свидетельствует о возрастании способности композитного материала поглощать воду. Причем поглощение основной части влаги происходит примерно в два раза быстрее (за первые сутки), чем при первом погружении образца. Наблюдаемый факт может быть объяснен вымыванием из исследуемого образца отдельных компонентов при цикле исследований. Указанное явление поясняется как «раскачивание структуры материала» [12].

Данное предложение подтверждается дальнейшим экспериментом. Так, при третьем цикле исследования водопоглощения образца (рис. 3, зависимость 3), предварительно прошедшего два цикла водопоглощения–высушивания максимальное поглощение влаги происходит уже в течение первых 10–14 ч и за время эксперимента достигает максимального значения – 1,21%. Необходимо отметить, что присутствие в композитах поглощенной воды существенно влияет на их свойства. Манделл с сотр. [13] показали, что даже незначительное количество влаги может вызывать развитие поверхностных дефектов на стекловолокне в композитах, находящихся в напряженном состоянии.

В условиях реальной эксплуатации композитные материалы, подвергаясь многократному циклическому процессу увлажнения–сушки, способны изменять комплекс своих физико–механических свойств, что в конечном итоге может отрицательно сказаться на надежности и долговечности конструкций на их основе.

Нами оценено водопоглощение защищенных образцов. Обработка поверхности компо-

зитных материалов водоотталкивающей кремнийорганической смесью «Силол» (вторичная защита) позволяет существенно снизить их водопоглощение (рис.4, зависимость 4) и сделать их не восприимчивыми к циклическому увлажнению (рис. 4, зависимость 5, 6).

При ужесточении эксперимента: при кипячении в дистиллированной воде предельное водонасыщение образца при первом погружении достигает 2,4% за 24 ч (рис. 5, зависимость 1). Затем наблюдается некоторое падение величины водопоглощения, что, очевидно, связано с наложением процесса деструкции (гидролиза) композита и вымыванием его компонентов.

В модели поровой жидкости цементобетона (рН 12,6–13,0) водопоглощение за первые сутки достигает 3,76% (рис. 5, зависимость 2) с появлением чешуйчатых отслоений по поверхности образца, на торцевых частях образца появляются поры.

В аналогичных условиях, при кипячении в водной и водно-щелочной среде, образцы стеклокомпозита защищенные кремнийорганической смесью «Силол» в течение 1–3 суток (рис. 5, зависимости 3, 4) показали водопоглощение в пределах (0,11–0,20)%, что свидетельствует о его высоких протекторных свойствах.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено:

1. При обработке стеклокомпозитного материала раствором олигоорганосилоксана в уайт-спирите происходит пленкообразование на его поверхности. При этом возможна прививка органосилоксановых молекул к поверхности стеклянного армирующего наполнителя.

2. Установлено, что с увеличением циклов увлажнения–высыхания водопоглощение композитов возрастает, вероятно за счет гидролиза и вымывания компонентов стеклокомпозитного материала.

3. При кипячении стеклокомпозита в водном и воднощелочном растворе наблюдается повышение интенсивности водопоглощения.

4. Показано, что поверхностная обработка стеклокомпозитных образцов раствором олигоорганосилоксана существенно снижает их водопоглощение при циклическом, температурном и щелочном воздействиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *The effect of moisture on the fatigue behavior of a glass/vinyl ester composite* / M.D. Hayes, K. Garcia, N. Verghese, J. Lesko // International Conference ICCI-98. – Tucson. – 1998. – P.1-12.
2. *Cosenza E., Manfredi G., Nanni A. Composites in*

Construction: A Reality // Proceedings, International Workshop. – Capri: Italy. – 2001. – 277 p.

3. Рудобахта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. – М.: Химия, 1980. – 248 с.

4. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Новичков П.И. Влияние плотности структуры композитов и степени их насыщения водой на изменение прочности при замораживании и оттаивании // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2014. – № 2(19). – С.61-67.

5. Пащенко А.А. Полифункциональные элементоорганические покрытия. – К.: Вища шк., 1978. – 198 с.

6. Соболевский М.В., Музовская О.А., Попелева Г.С. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов. – М.: Химия, 1975. – 296 с.

7. Колесник Д.Ю. Підвищення корозійної стійкості бетонів поверхневою обробкою олигоорганосилоксанами: Дис...канд. техн. наук: 05.23.05. – К., 2007. – 152 с.

8. Воронков М.Г., Милешкевич В.П., Южелевский Ю.А. Силоксановая связь. – Новосибирск: Наука, 1976. – 413 с.

9. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. – М.: Изд. иностр. л-ры, 1963. – 590 с.

10. Колебательные спектры в неорганической химии / Под ред. Ю.Я. Харитонов. – М.: Наука, 1971. – 79 с.

11. Пат. 98513 Україна, МПК E04C5/07. Композитна арматура // Д.О. Орешкін, І.В. Дмитрієва, В.А. Чемуранов (UA). –N201006185; Заявл. 21.05.2010; Опубл. 25.05.2012. Бюл. N 10. – 5 с.

12. Механика композиционных материалов / Под ред. Дж. Сендецки. – М.: Мир, 1978. – 568 с.

13. Mandell J.F., Meier U. Effects of stress ratio frequency and loading time on the tensile fatigue of glass-reinforced epoxy / Long term behavior of composites. – 1983. – P.55-77.

Поступила в редакцию 24.05.2016

REDUCTION IN WATER ABSORPTION OF GLASS COMPOSITE MATERIALS BY SURFACE TREATMENT WITH ORGANOSILOXANES

D.A. Oreshkin ^a, Yu.R. Kolesnik ^b, O.V. Chervakov ^c

^a Technological Group EKIPAGE, Kharkov, Ukraine

^b Limited Company «KROK», Kiev, Ukraine

^c Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The durability and performance of glass composites depend on their water absorption. This paper reports the process of surface protection of composite reinforcement by organosiloxane solution with the purpose of reducing its water absorption and increasing chemical and frost resistance. It was established that the water absorption of glass composites increases significantly during cyclic water saturation-drying as well as during boiling in water or in base model of concrete pore liquid, this is due to the destruction and hydrolysis of the components. This phenomenon is almost eliminated after the surface protective treatment of samples with oligomeric organosiloxane solution. The examination of IR spectra of some model systems (i.e. oligomeric dimethylsiloxane, polyester resin and fiberglass) allows suggesting the interaction of organosiloxane molecules with glass surface by terminal hydroxyl groups. On the basis of experimental data, we revealed that the surface treatment of glass composite samples with oligomeric organosiloxane solution reduces significantly their water absorption during cyclic, temperature and alkali exposure,

which allows recommending glass composite reinforcement for the application in cement-concrete structures.

Keywords: glass composites; water absorption; oligomeric organosiloxanes; IR spectroscopy; water saturation-drying.

REFERENCES

1. Hayes M.D., Garcia K., Verghese N., Lesko J., The effect of moisture on the fatigue behavior of a glass/vinyl ester composite. *Proceedings of the International Conference ICCI-98*. US, Tucson, 1998, pp. 1-12.

2. Cosenza E., Manfredi G., Nanni A., Composites in Construction: A Reality. *Proceedings of the International Workshop*, Italy, Capri, 2001. 277 p.

3. Rudobashta S.P., *Massopereenos v sistemax s tverdoy fazoy* [Mass transfer in the systems with solid phase]. Khimiya, Moscow, 1980. 248 p. (in Russian).

4. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Novichkov P.I. Vliyaniye plotnosti struktury kompozitov i stepeni ikh nasyshcheniya vodoi na izmeneniye prochnosti pri zamorazhivaniy i ottaivaniy [The influence of the composites structure density and the extent of their imbibition upon the change of durability at freezing and defrosting]. *Vestnik Inzhenernoi Shkoly DVFU*, 2014, vol. 19, pp. 61-67. (in Russian).

5. Pashchenko A.A., *Polifunktsionalnie elementoorganicheskie pokritiia* [Polyfunctional hetero-organic coatings]. Vyshcha Shkola, Kyiv, 1978. 198 p. (in Russian).

6. Sobolevskiy M.V., Muzovskaia O.A., Popeleva G.S., *Svoistva i oblasti primeneniya kremniorganicheskikh produktov* [Properties and fields of application of organosilicon substances]. Khimiya, Moscow, 1975. 296 p. (in Russian).

7. Kolesnik D.Yu., *Pidvyshchenniya korozijnnoi stiiikosti betoniv povepkhnevoyu obrobkoyu oligoorganosyloksanamy* [Improvement of corrosion stability of concretes by oligomeric organosiloxane surface treatment]: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences, Kyiv, 2007. (in Ukrainian).

8. Voronkov M.G., Milieshevsch. V.P., Yuzhelevskii Yu.A., *Siloksanovaya sv'iaz'* [Siloxane bond]. Nauka, Novosibirsk, 1976. 413 p. (in Russian).

9. Bellami L., *Infrakrasnye spektry slozhnykh molekul* [IR spectra of complex molecules]. Inostrannoi Literatury Publishers, Moscow, 1963. 590 p. (in Russian).

10. Kharitonov Yu.Ya., *Kolebatelnye spektry v neorganicheskoi khimii* [Vibrational spectra in inorganic chemistry]. Nauka, Moscow, 1971. 79 p. (in Russian).

11. Oreshkin D.A., Dmitrieva I.V., Chemuranov V.A., *Kompozitnaya armatura* [Composite reinforcing elements]. Patent UA, no. 98513, 2012. (in Ukrainian).

12. Sendetsky D., *Mekhanika kompozitsionnykh materialov* [Mechanics of composite materials]. Mir, Moscow, 1978. 568 p. (in Russian).

13. Mandell J.F., Meier U. Effects of stress ratio frequency and loading time on the tensile fatigue of glass-reinforced epoxy. *Long Term Behavior of Composites*, 1983, pp. 55-77. Available at: <http://dx.doi.org/10.1520/STP31816S>.