УДК 691.58.688.3 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.161.2016.76787

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДСОРБЦИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Канд. техн. наук С. М. Золотов, аспиранты П. М. Фирсов, К. А. Клиценко (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова)

РЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ АДСОРБЦІЇ МОДИФІКОВАНИХ НАПОВНЮВАЧІВ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Канд. техн. наук С. М. Золотов, аспіранти П. М. Фірсов, К. О. Кліценко (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)

RHEOLOGICAL RESEARCH AND METHYL METHACRYLATE MODIFICATED FILLERS ADSORPTION DETERMINATION

PhD Engineering, associate professor Sergiy Zolotov, post-graduate student Pavlo Firsov, Kseniya Klicenko

Проведена сравнительная характеристика различных модификаторов с целью возможного повышения адгезионной связи поверхности песка с полимером. В ходе исследований было определено, что повышение прочности материала возможно путем химической обработки наполнителя. В результате изучения вязкости композиционной системы в течение процесса полимеризации с наполнителем показано, что песок не является отстраненной частью, а непосредственно участвует в формировании структуры материала. Результаты данных экспериментальных исследований могут быть использованы для последующего улучшения составов полимерных клеевых материалов, широко используемых в промышленном и гражданском строительстве.

Ключевые слова: *полимеризация метилметакрилата, вязкость, концентрация наполнителя, адсорбция, прочность, модифицирующие добавки.*

Проведена порівняльна характеристика різних модифікаторів з метою можливого підвищення адгезійного зв'язку поверхні піску з полімером. В ході досліджень було визначено, що підвищення міцності матеріалу можливо шляхом хімічної обробки наповнювача. В результаті вивчення в'язкості композиційної системи в перебігу процесу полімеризації з наповнювачем показано, що пісок не є відстороненою частиною, а безпосередньо бере участь у формуванні структури матеріалу. Результати даних експериментальних досліджень можуть бути використані для подальшого удосконалення складу полімерних клейових матеріалів, які широко використовуються в промисловому та цивільному будівництві.

Ключові слова: *полімеризація метилметакрилату, в'язкість, концентрація наповнювача, адсорбція, міцність, модифікуючі добавки.*

The central issue of the paper is the viscosity dependence determining from the number of various factors and advanced modifiers selection for further elements constructions and adhesive bonding development. Various modifiers comparative characteristic, to achieve the possibility to increase adhesive bonding parameters at the surface of the sand with a polymer, is given. This research proved that increasing of the polymer material strength characteristics is possible by the way of the filler chemical treatment. The composite system viscosity analysis, at the same time with the polymerization process with the filler, shown that the sand isn't a self-independent part and he is directly involved in the material structure formation. The experimental research results can be used for further polymer adhesive materials, widely applied in industrial and civil engineering, improvement. On the basis of the research results the structural materials durability and heat resistance parameters dependence, mainly from the polymer and filler bonding strength, was determined.

Keywords: *methyl methacrylate polymerization, viscosity, filler concentration, adsorption, strength, modifying additives.*

Вступление. Перспективным материалом для изготовления конструкционных элементов является клеевой материал на основе полиметилметакрилата (ПММА) [1-4]. Сочетание ПММА с песком и различными пигментами дает композицию, которая может успешно конкурировать с традиционными строительными материалами. Данные композиции являются весьма важной группой конструкционных соединений благодаря их быстрому отверждению и высокой прочности. По сравнению с эпоксидными и полиуретановыми составами они отверждаются менее чем за 24 часа при температуре окружающей среды выше 0ºС [4]. Такая способность к быстрому отверждению обеспечивает им значительное преимущество при использовании в отсутствии возможности предоставить все необходимые благоприятные технологические условия.

Свойства твердых полимерных материалов в большей степени зависят от условий и способа полимеризации исходного мономера. Полимерные молекулы содержат большое число атомов и атомных группировок, конфигурации которых играют важную роль в построении надмолекулярной структуры полимера.

Кроме того, на надмолекулярную структуру полимера оказывают влияние внутри- и межмолекулярные связи, обуславливающие многообразие

пространственных конформаций макромолекулярной цепочки.

Технические полимеры не имеют высокой степени стереорегулярности и полностью спиральной структуры. Макромолекулы полимеров могут иметь различную длину, однако при этом возможно перехлестывание цепей и образование складок. Все это сказывается на упорядоченности полимера.

Анализ последних исследований и публикаций. Результаты экспериментов по определению прочности безанкерного крепления технологического оборудования в случае приклейки стальных пластин к поверхности бетона модифицированными акриловыми клеями на основе ПММА приведены в научных работах Золотова С. М., Фирсова П. М., Еремеевой Т. Г. [5,6]. В данных статьях проработаны теоретико-методологические и методические подходы по определению прочностных характеристик модифицированных акриловых композиций в зависимости от типа существующего или планируемого крепежного узла.

Проблематика влияния наполнителя на реологические свойства композиционных материалов была исследована в ряде работ Золотова М. С., Бабаева В. Н., Шутенко Л. Н., Золотова С. М. [7,8]. В результате данных исследований было экспериментально получено значение начальной вязкости акрилового компаунда, а также значения оптимальной и максимальной вязкости, приемлемой для наполнителя компаунда кварцевым песком. Показано, что вязкость состава зависит от температуры окружающей среды, однако ее можно регулировать количественным составом компаунда.

Иностранные ученые Martinez M., Abenojar J., Pantoja M., [9,10,11] Yanmei Wang [12] детально исследовали влияние влажности и температуры на механические свойства модифицированных составов акриловых и эпоксидных композиций, а также их полимеризацию с различными гидроксиламидами в структуре.

Исходя из этого, в данный момент представляет интерес провести измерение вязкости дисперсной системы в процессе полимеризации дисперсионной среды составов ПММА, а также продолжить изучение физико-химических параметров данного композиционного материала.

Определение целей и основных задач исследования. Важное значение имеют исследования, направленные на повышение прочности и термостойкости конструкционных материалов. Данные параметры зависят в большей степени от прочности сцепления полимера с наполнителем.

ИК-спектроскопия полимерных материалов наряду с другими физическими методами изучения структуры молекул является наиболее распространенным методом исследования высокомолекулярных соединений [13,14].

Особое значение приобрела ИК-спектроскопия для исследования кинетики полимеризации, деструкции полимерных материалов, а также механизма стереорегулярной полимеризации. Цепные молекулы могут быть охарактеризованы одномерными пространственными группировками. Взаимодействия между элементарными звеньями вдоль цепи обычно значительно превосходят межмолекулярные взаимодействия.

Измерение вязкости дисперсной системы в процессе полимеризации дисперсионной среды также может предоставить ценную информацию об образовании и формировании структуры композиционного материала.

Основной целью данного исследования является детальное изучение физических и физико-химических параметров композиционного материала на основе ПММА с применением различных модификаторов.

Основная часть исследования. Представляет практический интерес

выяснить влияние значительного количества песка, взятого в качестве наполнителя, на структурообразование в процессе полимеризации метилметакрилата (ММА) в присутствии ПММА. Концентрация ПММА в растворе, в котором растворителем является ММА, растет со временем в результате полимеризации ММА. Поэтому межмолекулярное взаимодействие, а следовательно, и вязкость системы должны сильно возрастать. Если между макромолекулами и наполнителем имеет место взаимодействие хотя бы физического или физико-химического уровня, то наполнитель можно рассматривать как сополимер, активно участвующий в структурообразовании. Реологические свойства системы, в том числе и вязкость, также являются одним из показателей процессов полимеризации и структуро-образования.

Измерения вязкости проводились на ротационном вискозиметре подгруппного типа марки “ВА.1” с воспринимающими элементами типа “цилиндр-цилиндр” (рис. 1). Вискозиметр обеспечивает автоматическую обработку результатов измерения вязкости с цифровой индикацией измеряемой величины.

Рис. 1. Рабочая установка ротационного вискозиметра марки ВА.1

Во внешний цилиндр воспринимающего элемента заливали 9,55 мл полимеризующейся смеси с добавками наполнителя или без них и через определенные промежутки времени снимали показания вязкости.

Данные измерения вязкости представлены в табл. 1 и на рис. 2, 3, 4.

Таблица 1

Зависимость вязкости композиции от времени полимеризации

№ п/п	Состав композиционного материала	Время полимеризации, мин	Вязкость, Па х с
1	2	3	4
1	10 г ПММА + 10 г ММА	10	0,7
		15	1,0
		20	2,0
		25	4,0
		30	7,3
		35	22,4
		40	66,3
		45	124,1
		50	242,3
2	10 г ПММА + 10 г ММА + 5 г (20% SiO_2)	10	3,8
		15	4,2
		20	8,9
		25	11,6
		30	19,7
		35	43,2
		40	112,4
		45	193,2
		50	579,8
3	10 г ПММА + 10 г ММА + 7,5 г (27,3% SiO_2)	10	4,0
		15	5,1
		20	11,2
		25	20,1
		30	51,3
		35	128,4
		40	254,2
		45	737,0
4	10 г ПММА + 10 г ММА + 10 г (33,3 SiO_2)	10	5,0
		15	7,2
		20	12,4
		25	37,0
		30	97,0
		35	231,4
		40	478,6
		45	997,6

На рис. 2 представлена зависимость η от t композиционных материалов, содержащих 0; 20; 27,3 и 33,3% песка (кривая соответственно 0; 1; 2 и 3). Видно, что влияние наполнителя начинает значительно проявляться по мере увеличения концентрации ПММА в процессе полимеризации. Следовательно, песок снижает подвижность макромолекулы ПММА и отдельных участков цепи, что способствует межмолекулярному взаимодействию, а значит, и структурообразованию.

Как показано в предыдущих исследованиях [4,8], мономер адсорбируется на песке, а следовательно, в процессе полимеризации песок может включаться в качестве сополимера в макромолекуле, еще более упрочняя структуру.

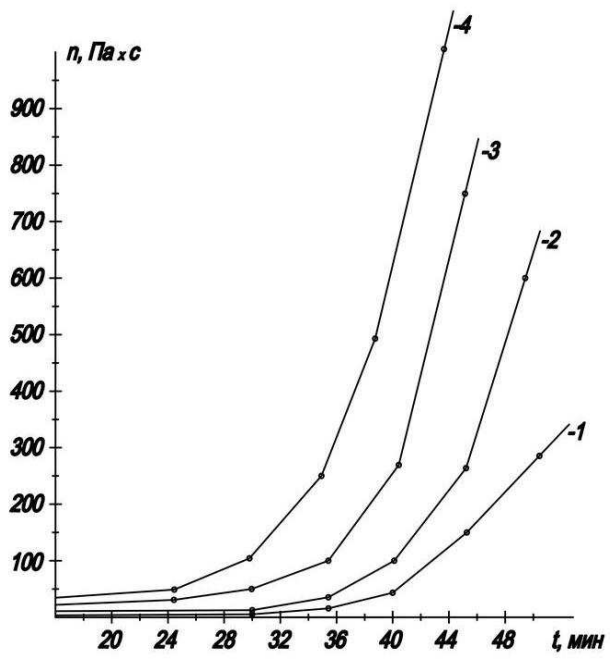

Рис. 2. Зависимость вязкости состава от времени полимеризации композиционных материалов с различной концентрацией песка

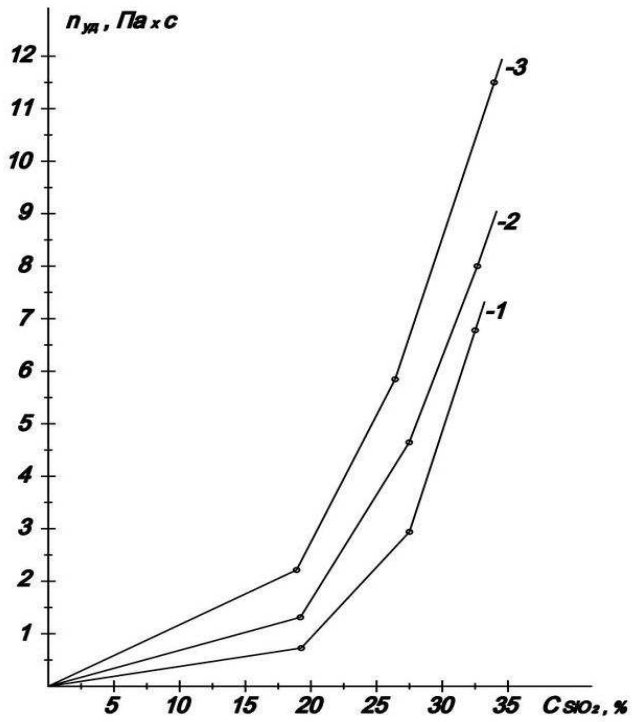

Рис. 3. Изменение удельной вязкости в зависимости от концентрации песка в структуре состава

На рис. 3 и 4 показаны зависимости удельной вязкости от времени и весовой концентрации песка.

На рис. 3 кривые 1, 2, 3 показывают изменения $\eta_{уд}$ в зависимости от концентрации песка соответственно через 30, 35 и 40 мин после начала полимеризации.

Кривые 1, 2, 3 на рис. 4 – это изменение $\eta_{уд}$ со временем для 20; 27,3 и 33,3 % содержания песка в системе. Снижение $\eta_{уд}$ со временем при данной концентрации песка (рис. 4) свидетельствует о том, что вязкость композиционного материала растет главным образом за счет увеличения концентрации ПММА в процессе полимеризации. Рост $\eta_{уд}$ в интервале от 40 до 45 мин после начала полимеризации можно объяснить началом сополимеризации, т.е. включением частиц наполнителя в макроцепи.

Таким образом, изучение вязкости композиционной системы в течение процесса полимеризации и в присутствии наполнителя показывает, что песок не является индифферентной частью системы, а участвует в формировании структуры материала.

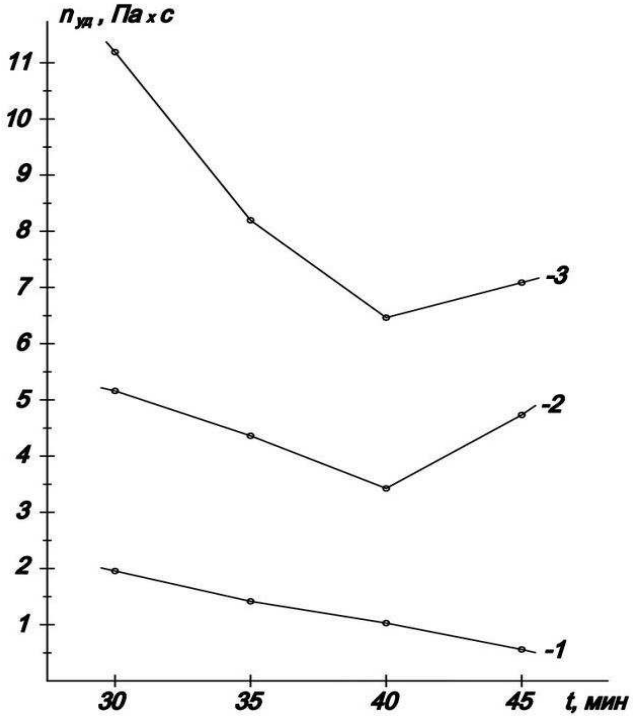

Рис. 4. Изменение удельной вязкости состава в зависимости от времени полимеризации

Как было показано в предыдущих исследованиях, полиметилметакрилат [4,8,10,17] практически не адсорбируется на песке, адсорбция же метилметакрилата (ММА) в сильной степени определяется состоянием поверхности песка и в первую очередь ее химической модификацией. В связи с этим представляло интерес продолжить поиски модификаторов с целью повышения адсорбционной способности поверхности песка и, следовательно, адгезионной связи с ней полимера. Известно, что адсорбция на поверхности твердых тел происходит под действием различных видов межмолекулярных и химических взаимодействий – от слабых вандерваальсовых до донорно-акцепторных связей с последующим образованием ковалентных связей [12,15].

На поверхности оксидов в процессе их приготовления или хемосорбции молекул воды образуются поверхностные гидроксильные группы, которые определяют в значительной степени адсорбционные свойства оксидов. Характерной особенностью этих групп является высокая термическая стабильность (удаляется после обработки в вакууме при температурах выше 700-800 ºС). Кроме того, на поверхности оксидов существуют близкорасположенные и достаточно благоприятно ориентированные для образования между ними водородной связи – связанные гидроксильные группы.

При физической адсорбции молекулы взаимодействуют с поверхностью за счет вандерваальсовых сил и образования водородной связи, сохраняя при этом свою индивидуальность.

Однако часто физическая адсорбция сопровождается хемосорбцией и поверхностными реакциями. Тип взаимодействия определяется особенностями строения и свойств поверхностных химических соединений и взаимодействующих с ними молекул.

Для исследования поверхностных явлений широко используют колебатель-

ную спектроскопию. Большое значение имеют исследования с помощью спектральных методов реакций химического модифицирования наполнителей полимеров.

Спектральные проявления физической адсорбции молекул аналогичны спектральным проявлениям в объемной фазе – в кристаллах, жидкостях и растворах.

Наиболее отчетливые проявления физической адсорбции наблюдаются при взаимодействии с поверхностью симметричных молекул и молекул с легко поляризующимися связями (молекулы ароматические и с сопряженными связями). В этом случае наблюдается сильное увеличение интенсивности некоторых полос поглощения и даже появление новых полос.

В спектрах соединений с двойными связями может наблюдаться и ослабление интенсивности полос поглощения колебаний -CH=CH- при адсорбции кремнеземом ненасыщенных кислот из раствора в тетрахлориде углерода, что указывает на параллельную ориентацию углеводородных цепей молекул. В спектрах карбонилсодержащих полимерных молекул наблюдается изменение интенсивности поглощения валентных колебаний группы -C=0 макромолекул в результате адсорбции на кремнеземе.

В последние годы важное значение приобрели наполнители с заданными свойствами поверхности адсорбента. Например, изменение адсорбционных свойств кремнезема достигается путем поверхностных реакций модифицирования, для получения однородной, неспецифической поверхности адсорбента, обработкой металлами, алкоксисиланами и др.

Адгезионные способности полиметилметакрилата (ПММА) к песку и бетону многие исследователи связывают с хорошей адсорбционной способностью полимера на частичках оксида кремния и соединениях кальция.

Для получения блок-полимеров такая смесь выливается в форму и оставляется на воздухе до затвердевания (рис. 5, 6). В процессе полимеризации ПММА может одновременно протекать и адсорбция на песке любого из присутствующих компонентов.

Рис. 5. Нанесение растворной смеси ПММА на поверхность бетонного образца марки С16/20 в лаборатории кафедры строительных конструкций ХНУГХ имени А.Н. Бекетова

Рис. 6. Заливка образцов растворной смеси ММА в металлическую опалубочную форму в лаборатории кафедры строительных конструкций ХНУГХ имени А.Н. Бекетова

Благодаря исследованиям и разработкам лаборатории Харьковского национального университета городского хозяйства имени А.Н. Бекетова в данный момент составы ПММА широко используются при изготовлении конструкционных материалов, а также при проведении работ по монтажу и установке на возводимых и существующих фундаментах и покрытиях оборудования, технологических линий и других вспомогательных устройств. Начальная стадия технологического процесса приготовления композиционного материала заключается в приготовлении смеси, состоящей из раствора полиметилметакрилата в метилметакрилате (мономер) в соотношении 1:1, наполнителя (песок) и инициируемой добавки.

В связи с этим рассмотрим адсорбцию ММА на песке и влияние модификации песка на его адсорбционные свойства.

Для изучения процесса адсорбции на песке мономера использовали метод спектроскопии в ультрафиолетовой области. Спектры снимались на инфракрасном спектрофотометре марки SPECORD M80 (рис. 7). В качестве универсального растворителя использовался бензол.

Рис. 7. Рабочая установка спектрофотометра SPECORD M80 и снятие показаний ультрафиолетовых спектров поглощения ММА

Для количественного расчета адсорбции были сняты ультрафиолетовые спектры поглощения ММА в бензоле следующих концентраций: 0,01; 0,025; 0,05; 0,075 и 0,1 %. Максимум полосы поглощения 305 нм, которую связывают с группой –С=0, зависит от концентрации и оптическая плотность его взята за количественное определение ММА в растворе. На рис. 8 приведены спектры поглощения ММА в растворе различных концентраций, а на рис. 9 показана калибровочная кривая, связывающая оптическую плотность максимума при 305 нм с концентрацией ММА в растворе.

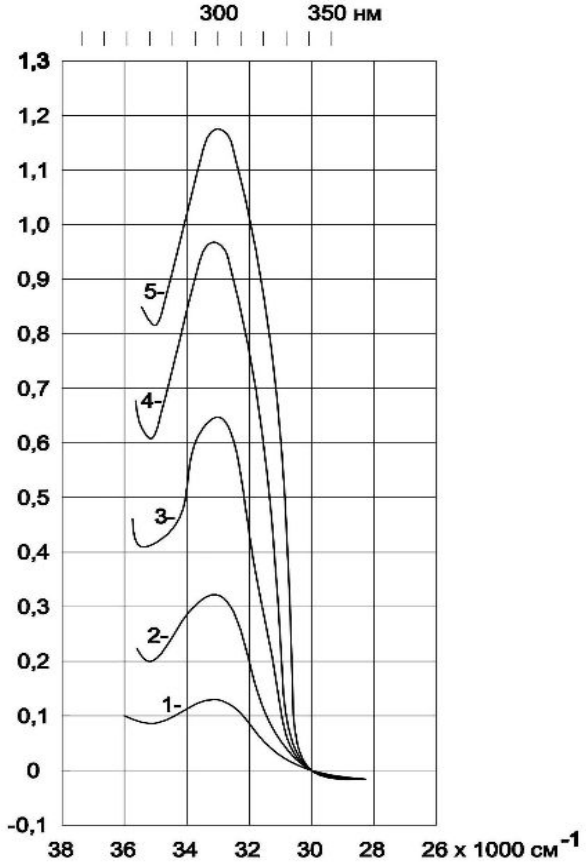

Рис. 8. Спектры поглощения метилметакрилата (ММА) в бензольном растворе

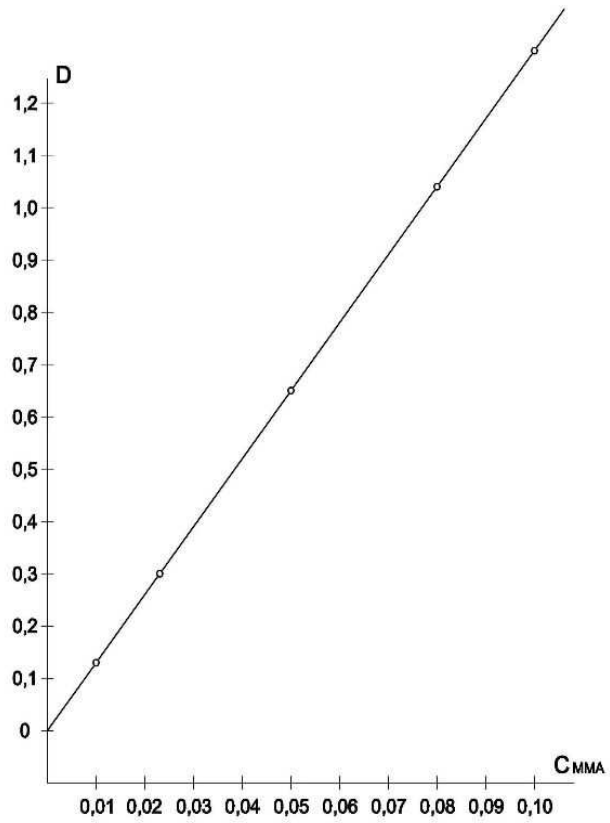

Рис. 9. Калибровочная кривая, указывающая взаимосвязь оптической плотности максимума при 305 нм с концентрацией ММА в растворе

Методика изучения адсорбции, отработанная в предыдущих исследованиях [1,7,8,16], заключалась в следующем: 5 г песка засыпали в стеклянную трубку диаметром 0,6 см и высотой 20 см, 0,1 % раствор ММА в бензоле пропускали через полученную адсорбционную колонку и отбирали первые 5 мл для спектроскопического исследования. Снижение концентрации ММА при прохождении через адсорбет свидетельствует о протекании адсорбции. Исследования показали, что если песок не модифицирован химическими веществами,

то при 305 нм не только не снижается, но и увеличивается. Причем наиболее заметно это наблюдается у неочищенного песка (рис. 8, кривая 3) и в меньшей степени, но все же заметно у песка, промытого горячей водой (рис. 8, кривая 2). Кривая 1 на рис. 8 показывает спектр 0,1 % раствора ММА. Песок, особенно примесь коллоидных частиц, катализирует реакцию взаимодействия бензола с ММА, в результате чего образуется более гидрофобное вещество, обладающее меньшей способностью к адсорбции. Образование его происходит, по-видимому, за счет молекулярных сил, повышающих оптическую активность связи –С=0. При промывании песка удаляется высокодисперсная составляющая его часть, которая снижает данный процесс.

Процесс модифицирования проводился следующим образом. Песок промывали декантацией горячей дистиллированной водой и помещали на сутки в 10%-ный раствор соли. Затем песок тщательно промывали водой, высушивали при 120ºС, охлаждали, засыпали в стеклянную трубку и исследовали адсорбцию ММА из бензольного раствора.

На рис. 8 в том числе приведены спектры поглощения первых 5 мл 0,1% раствора ММА в бензоле, пропущенного через колонку. Кривые 1, 2, 3, 4 и 5 соответственно относятся к 0,1 % раствора ММА до адсорбции и пропущенного через песок, модифицированный растворами.

Адсорбция рассчитывалась по формуле

$$A = (C_н – C_ф) \times 100,12,$$

где $C_н$ = 0,1 – концентрация раствора до адсорбции, которой соответствует оптическая плотность при 305 нм;

$C_ф$ – концентрация раствора после адсорбции, найденная по калибровочной кривой, которой также соответствует плотность раствора при 305 нм;

М – молекулярная масса метилметакрилата, М = 100,12 г/м.

Результаты расчета адсорбции сведены в табличной форме (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчета адсорбции метилметакрилата (ММА)

№ п/п	Модифицирующий раствор	$C_ф$	Г, м/г х 10^6
1	NaCl	0,10	0
2	Na_2SO_4	0,095	0,5
3	$KMnO_4$	0,089	1,1
4	$K_2Cr_2O_7$	0,075	2,5
5	$(NaH_4)_2MnO_4$	0,052	4,8

Выводы и дальнейшие перспективы развития в данном направлении. Механические свойства клеевых материалов в сильной степени определяются адгезией полимера к поверхности наполнителя. Изучение адсорбции ММА поверхностью модифицированного песка показывает возможность повышения прочности материала путем химической обработки наполнителя.

Изучение процесса вязкости композиционной системы в течение процесса полимеризации и в присутствии наполнителя показывает, что песок не является индифферентной частью системы,

а непосредственно участвует в формировании структуры материала.

Влияние наполнителя на структурообразование композиционного материала исследовано по изменению вязкости системы в процессе полимеризации метилметакрилата.

Результаты данных исследований могут быть, в дальнейшем, использованы для существенного улучшения составов клеевых материалов.

Список использованных источников

1. Золотов, С. М. Акриловые клеи для соединения строительных конструкций [Текст]: монография / С. М. Золотов. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2016. – 185 с.

2. Шутенко, Л. М. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці [Текст] : монографія // Л. М. Шутенко, М. С. Золотов, Я. О. Серіков, В. О. Скляров. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2008. – 285 с.

3. Фирсов, П. М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон [Текст] / П. М. Фирсов // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: IV междунар. науч.-техн. интернет-конф.; матер. конф. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2014. – С. 56-61.

4. Золотов, С. М. Полимерные связующие, наполнители и модифицирующие добавки акриловых клеев повышенной адгезионной и когезионной прочности [Текст] / С.М. Золотов, Е. С. Скрипник, М. С. Золотов // Комунальне господарство міст. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – Вип. 110. – С. 8-16.

5. Золотов, С. М. Адгезионная прочность безанкерного соединения сталь-бетон на модифицированных акриловых клеях при равномерном и неравномерном отрыве [Текст] / С. М. Золотов, П. М. Фирсов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2015. – Вип. 4 (82). – С. 102-106.

6. Золотов, М. С. Влияние конструктивных факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления [Текст] / М. С. Золотов, П. М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2015. – Вип. 30. – С. 127-134.

7. Золотов, С. М. Влияние различных факторов на вязкость акрилового компаунда [Текст] / С.М. Золотов, О.Ю. Супрун, А.Х. Дауд // Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства: матеріали IV міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – С. 42-44.

8. Золотов, С.М. Влияние различных факторов на жизнеспособность акриловых клеев [Текст] / С. М. Золотов, О. Ю. Супрун, А. Х. Дауд та ін. // Комунальне господарство міст. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – Вип. 116. – С. 60-63.

9. Abenojar J., Martínez M.A., Velasco F., del Real-Romero J.C. Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of an epoxy reinforced with boron carbide / J. Abenojar, M.A. Martínez, F. Velasco, J.C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. 25 (18), 2445-2460, (Aug/2011).

10. Chamochín R., Cano M., Abenojar J., Pantoja M., Ballesteros Y., del Real-Romero J.C. The effect of surface treatment on the behavior of toughened acrylic adhesive/GRP(epoxy) composite joints / R. Chamochín , M. Cano, J. Abenojar, M. Pantoja, Y. Ballesteros, J.C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. 24 (11-12), 1903-1916, (Aug/2010).

11. del Real-Romero J.C., Cano M., Abenojar J., Martínez M.A. Adhesive bonding of aluminium with structural acrylic adhesives: durability in wet environments / J.C. del Real-Romero,

M. Cano, J. Abenojar, M.A. Martínez // Journal of Adhesion Science and Technology. 20 (16), 1801-1818, (Dec/2006).

12. Yanmei Wang, Mika Kimura, Atsushi Sudo, Takeshi Endo. Polymerization of epoxide with hydroxylamides as thermally latent initiators / Yanmei Wang // Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry. 1 June 2016. – Vol. 54. – Issue 11.

13. Заикин, В.Г. Основы масс-спектрометрии органических соединений [Текст] / В. Г. Заикин, А. В. Варламов, А. И. Микая и др. – М.: МАЙК “Наука/Интерпериодика”, 2001. – 286 с.

14. Заикин, В.Г. Масс-спектрометрия синтетических полимеров [Текст]: монография / В. Г. Заикин. – М.: ВМСО, 2009. – 332 с.

15. Аверко-Антонович, И. Ю. Методы исследования свойств полимеров [Текст]: учеб. пособие / И. Ю. Аверко-Антонович, Р. Т. Бикмуллин. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2002. – 604 с.

16. Strobel M. Contact angle measurements on oxidized polymer surfaces containing water-soluble species / Mark Strobel, Seth M. Kirk, Luke Heinzen, Eric Mischke, Christopher S. Lyons, Jim Endle, Derrick Poirier & Giles Dillingham // Journal of Adhesion Science and Technology. 29 (14), 1483-1502, (Apr/2015).

17. Xin Fan, Lin Niu. Performance of redispersible polymer powders in wall coatings / Xin Fan, Lin Niu // Journal of Adhesion Science and Technology. 29 (4), 296-307, (Dec/2014).

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.П. Шпачук

Золотов Сергій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: +380505511734.
E-mail: zolotov.s.m@mail.ru.
Фірсов Павло Михайлович, аспірант кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: +380950020626.
E-mail: firsov1991@mail.ua
Кліценко Ксенія Олександрівна, аспірант кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел.: +380639516347.
E-mail: bartsagova.kseniia@mail.ru

Zolotov Sergiy, PhD Engineering, Associate Professor, Building Structures Department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: +380505511734. E-mail: zolotov.s.m@mail.ru.
Firsov Pavlo, post-graduate student, Theoretical and Structural Mechanics Department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: +380950020626. E-mail: firsov1991@mail.ua.
Klicenko Kseniya, post-graduate student, Theoretical and Structural Mechanics Department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: +380639516347.
E-mail: bartsagova.kseniia@mail.ru.

Стаття прийнята 25.05.2016 р.