

## Усадочные деформации акрилового композиционного материала для ремонта бетонных сооружений

Л. В. Трикоз<sup>1\*</sup>, С. Н. Камчатная<sup>1</sup>, О. М. Пустовойтова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

<sup>2</sup> Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Харьков, Украина

\*Corresponding author E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Paper received 07.05.18; Revised 12.05.18; Accepted for publication 15.05.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-171VII9-14>

**Аннотация.** В статье рассмотрены деформативные свойства композиционного материала, содержащего полимер и наполнитель. В качестве полимерного связующего использован полиметилметакрилат, в качестве наполнителей – кварцевый песок и портландцемент. Приведены результаты экспериментальных исследований усадочных деформаций образцов акрилового полимерраствора. Установлено, что наименьшую величину усадочных деформаций имеет материал с наполнителем кварцевым песком.

**Ключевые слова:** усадочные деформации, полимерраствор, полиметилметакрилат, наполнитель, кварцевый песок, портландцемент.

**Введение.** Одной из важнейших задач при эксплуатации конструкций зданий и сооружений является обеспечение их долговечности. Первоисточником всех органических, механических и химических процессов, вызывающих разрушение строительных конструкций, является вода. Борьба с ее воздействием необходима при использовании сборных конструкций, бетонов, кирпича, камня, т.е. в ремонтной и реставрационной практике. Защитные мероприятия, включающие в себя герметизацию швов, нанесение гидроизоляционных и антикоррозионных покрытий, могут быть выполнены на основе традиционных и новых, синтетических, материалов, в том числе полимеров. Традиционные материалы, в первую очередь битум и гудрон, применяемые для строительства и ремонта зданий и сооружений в качестве гидроизоляционных, особенно кровельных покрытий, многократно показали свою непригодность для этих целей. Так, при температуре ниже 5°C, когда, например, кровельные панели уменьшаются в объеме, а кровельное покрытие подвергается растяжению, битум теряет способность к деформации. Вследствие этого происходят разрывы кровельного покрытия и, как следствие этого, гниение уплотнителя и превращение его в "мостик холода", коррозия железобетонного перекрытия, повреждения отделки интерьера и, конечно, дискомфорт пребывания в помещении. При повышенных температурах летнего времени битум оплывает, засоряя водоотводящие системы, и тем самым вызывает еще большие разрушения, так как прочистить внутренний трубопровод довольно сложно. Приклеивание рубероида битумом и гудроном является причиной разрывов зимой и оплывания (сползания) кровельного ковра летом. В подземных конструкциях битумная изоляция также недолговечна и разрушается под воздействием микроорганизмов. Битумная окраска фундаментов часто повреждается при выполнении обратной засыпки из-за низкой прочности на продавливание. Важнейшим показателем гидроизоляции является ее деформативность – относительное удлинение при растяжении. При этом важны те показатели деформативности, когда еще не проявляется остаточная деформация. Чем ниже у материала величина остаточной деформации, тем выше его упругие свойства, а следова-

тельно, он лучше сохраняется при частых сменах растяжения-сжатия. В связи с вышеизложенным, актуальным является применение синтетических полимеров, имеющих более высокие технологические и физико-механические свойства.

**Обзор предыдущих исследований.** В последнее время растет интерес к акриловой смоле в качестве нового ремонтного материала [7]. Акриловая смола характеризуется высоким качеством, низкой вязкостью, высоким процентом удлинения и т.д. Было проведено несколько исследований по ремонту трещин с использованием акриловой смолы, но мало известно о влиянии акриловой смолы на материал для ремонта трещины для бетона. Целью исследования [7] было изучение применимости акриловой смолы для использования в качестве материала для ремонта трещин для бетонных конструкций. Были исследованы основные механические свойства акриловой смолы в качестве материала для ремонта трещин с помощью испытаний на изгиб бетонного элемента, восстановленного методом впрыскивания трещин. В результате акриловая смола могла регулировать вязкость с использованием сверхлегкого порошка, а процент удлинения акриловой смолы был выше эпоксидной смолы. Эффекты восстановления трещины акриловой смолы были эквивалентны эпоксидной смоле в условиях сушки поверхности трещины бетонного элемента.

Цементный раствор, армированный короткими углеродными волокнами, был улучшен в [4] за счет использования акриловой дисперсии в качестве примеси в количестве 15% по массе цемента. Улучшение свойств растяжения (особенно прочности и пластичности) было больше, чем при использовании метилцеллюлозы, стирола или латекса в качестве добавок. Акрил был эффективным, независимо от того присутствовала кремнеземная пыль или нет. Результаты, приведенные в [1], показывают влияние модификации полимера на поведение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в железобетонных изделиях. Бетон, модифицированный полимером, получали с использованием акрилового эмульсионного полимера при различных соотношениях полимер-цемент. Для образцов определяли прочность на сжатие, на изгиб, растяжение и модуль упругости. Небольшие образцы, которые формовали, подвергались

рентгеновской дифракции. По результатам испытаний сделан вывод о том, что образование  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в модифицированном полимером бетоне, армированном стальным волокном, уменьшается, возможно, из-за поглощения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  на полимерных пленках, образованных в бетоне. Степень уменьшения количества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  зависит от соотношения полимер-цемент, типа полимерного связующего или того и другого. Как было установлено, смеси с 2,5% полимер-цементным соотношением является более эффективным, чем другие с 1,0% и 4,0% акриловым эмульсионным полимером при снижении количества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Модификаторы цемента не вызвали какого-либо отрицательного влияния на степень гидратации.

Для улучшения ударной вязкости акрилового композиционного материала в [3] использовали диоксид кремния. Ударная вязкость исходного композита не изменилась, в то время как значительное улучшение наблюдалось в модифицированном эластомером составе. Разность была обнаружена на поверхности трещины с помощью сканирующего электронного микроскопа и элементного анализа, который был получен с помощью энергодисперсного рентгеновского микроанализатора. В результате было высказано предположение, что отверждаемый эластомер переносит фазу разрушения из поверхности раздела диоксида кремния/матрица внутрь матрицы. Считалось, что основным вкладом эластомера в этот перенос является адгезионная прочность на границе кремний/полимер, в то время как частица кремния упрочняет только матрицу. Следовательно, эластомерный модифицированный акриловый композит был значительно упрочен за счет частиц кремния, поскольку разрушение произошло в упрочненной фазе матрицы, а не на границе раздела. Благодаря этой работе была разработана концепция упрочнения в акриловом композите с силикагелем, и был предложен эффективный метод упрочнения.

Целью исследования [2] было исследование влияния акрилового полимера на физические свойства цветного раствора. Для этого проводили оценку цвета на цементном растворе, смешанном с полимером, путем изменения доли цемента и соотношения акрилового полимера. Результаты показывают, что добавление полимера существенно влияет на эффективность цветового эффекта в цветном растворе. Это связано с уменьшением общего количества микропор. Эти полимерные пленки предотвращают перенос растворимого кальция в сторону поверхности и уменьшают выцветание.

Влияние добавки акрила на морозостойкость бетона было исследовано в [5]. Использование антифриза в бетонной конструкции может не только уменьшить температуру замерзания жидкости в бетоне, способствовать коагуляции и добиться снижения воды, но и улучшить раннюю прочность бетона. Испытания образцов показали, что антифриз, в основном состоящий из акрилового полиакрилоксилатного суперпластификатора, может обеспечить хорошую текучесть, низкие потери на усадку, раннее повышение прочности и многих других рабочих характеристик.

Большинство бетонных сооружений, особенно в прибрежных средах, часто страдают как от хлоридов,

так и от атмосферных карбонатных атак. Применение полимерного бетонного поверхностного покрытия является одним из решений для долговременной защиты арматурной стали от коррозии. В статье [6] рассматривается процесс разрушения бетонных плит, покрытых акриловым покрытием, от хлоридов и атмосферных выбросов углекислого газа. С этой целью полные и частично покрытые акрилом плиты подвергались повторному циклическому смачиванию раствором хлорида натрия с последующей сушкой. После завершения циклического режима воздействия плиты были подвергнуты лабораторной сушке, а затем исследованы на предмет обнаружения признаков коррозии. Экспериментальные результаты практически не обнаружили признаков проникновения хлора в бетон под поверхностным покрытием на акриловой основе даже после длительного воздействия. С другой стороны, для бетона без покрытия было обнаружено, что количество хлоридов и их глубина проникновения в бетон зависят от водоцементного соотношения бетона. Количество хлоридов, проникающих в боковом направлении, и расстояние, которое они проникают из непокрытого бетона в прилегающий бетон ниже поверхностного покрытия на основе акрила, также зависит от удельного веса бетона. Кроме того, как рентгеновские дифракционные исследования, так и испытания на распыление фенолфталеина показали, что покрытие на акриловой основе очень эффективно контролирует карбонизацию бетона под ним, особенно когда покрытие наносится распылением. Покрытие сохраняло хорошую адгезию с бетоном подложки даже после длительных повторяющихся циклов смачивания и сушки.

Таким образом, возможно применение акриловых полимеров для устройства гидроизоляции. В основной состав композиционного материала входят связующее, наполнитель и добавки. Связующее состоит из метилметакрилата (ММА) в виде жидкости и суспензионного полиметилметакрилата (ПММА) в виде порошка. Для удешевления стоимости материала в него вводятся минеральные наполнители: портландцемент, кварцевый песок, коалин, оксиды металлов и т.д. Однако вопрос необходимого количества такого наполнителя и его вида исследован недостаточно.

**Целью** данной работы является изучение зависимости усадочных деформаций, возникающих в процессе формирования полимерных материалов и развивающиеся во времени при их последующей эксплуатации, поскольку это один из важнейших критериев, определяющих долговременную прочность материалов.

**Материалы и методы.** Для выбора типа наполнителя испытывали три серии образцов покрытий из акрилового пласто-раствора. Первая серия образцов была изготовлена из акрилового полимера без наполнителя, вторая – с наполнителем в виде кварцевого песка и третья – с наполнителем в виде портландцемента.

Усадочные деформации при отверждении пласто-раствора в свободном состоянии исследовали по двум методикам. В первом случае использовали стальное кольцо толщиной 3,65 мм и внутренним диаметром 100 мм. Кольцо смазывали машинным маслом и уста-

наливали в горизонтальном положении на стекло, также смазанное маслом. В кольцо заливали исследуемый состав. После отверждения пластораствора образец освобождали от кольца и замеряли усадку его во времени. Усадка характеризовалась изменением диаметра диска (в процентах). Во втором случае акриловый пластораствор заливали в стальной цилиндр с внутренним диаметром 50 и высотой 90 мм. Усадочные деформации замеряли в процессе отверждения пластораствора с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм.

При отверждении пластораствора в стесненных условиях исследования усадочных деформаций производили следующим образом. На полосу из специальной стали толщиной 0,35, длиной 200 и шириной 50 мм наносили акриловый пластораствор рассматриваемого состава. На свободной поверхности стальной пластины вдоль и поперек наклеивали тензорезисторы. Величину деформаций пластины измеряли через каждые 10 мин вплоть до отверждения. В этом случае толщина покрытия образцов первой серии была от 0,2 до 1,0 мм, второй и третьей серий – 5...7 мм.

Для определения необходимого количества наполнителя и его влияния на деформативность состава определяли усадку ненаполненной композиции и с наполнением кварцевым песком крупностью 0,14 мм от 50 до 200 массовых частей. Исследовали по три образца каждого состава.

**Результаты и обсуждение.** Экспериментальная зависимость величины усадки для ненаполненного акрила и композиций с наполнением приведена на рис. 1.

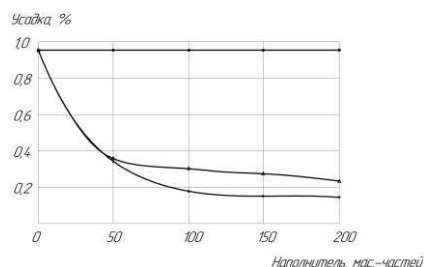


Рис. 1. Зависимость усадки акриловой композиции от вида и количества наполнителя

Эксперименты показали, что при отверждении акрилового пластораствора в свободном состоянии образцы первой серии имели усадку 0,95, второй – 0,14...0,35 и третьей – 0,22...0,36% (в зависимости от количества наполнителя). При отверждении акрилового пластораствора в стесненных условиях усадочные деформации имели следующие значения. В покрытиях первой серии образцов величина усадки была 0,0506 и 0,0608 соответственно для покрытий толщиной 0,6 и 1,0 мм. В покрытиях образцов второй серии усадка составляла 0,0149...0,0213, третьей – 0,0337...0,0475% (в зависимости от количества наполнителя).

Величины усадочных деформаций акриловых пласторастворов, полученные по первым двум методикам, оказались значительно выше, чем по третьей методике для тех же составов. Различие названных величин позволяет сделать вывод о том, что пластораствор, нанесенный на жесткую поверхность, имеет на

порядок меньше значения усадки, чем образцы-отливки.

Результаты, полученные по всем трем методикам, подтвердили, что наибольшую усадку имеют покрытия из ненаполненного акрилового пластораствора, а наименьшую – покрытия из акрилового пластораствора, наполненного кварцевым песком.

Из рис. 2 видно, что увеличение степени наполнения кварцевым песком приводит к уменьшению величины усадки от 0,95% для ненаполненной пластмассы до 0,35, 0,18, 0,15 и 0,14% соответственно при введении 50, 100, 150 и 200 мас.частей кварцевого песка.

Появление усадочных деформаций в составе (100:100:150 - мономер:полимер:песок), наполненном 150 массовых частей песка (кривая 1 на рис.2), было отмечено через 105 минут с момента приготовления смеси, а в составе (120:100:180), наполненном 200 массовых частей песка (кривая 2 на рис. 2), – через 110 минут. В последующие 10 минут наблюдалось резкое увеличение усадки – соответственно до 0,15 и 0,13%. Затем в течение 30 минут независимо от степени наполнения усадка увеличилась на 0,04%. К этому времени акриловый полимерраствор переходит в твердую фазу. В дальнейшем нарастание усадки не отмечалось.

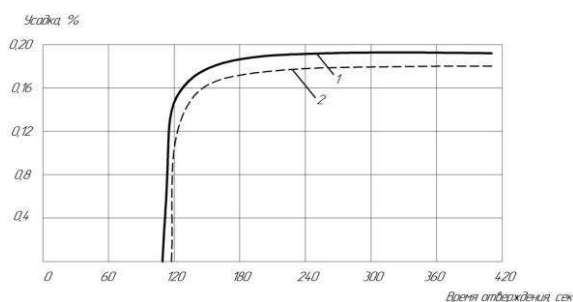


Рис. 2 – Кинетика усадки при отверждении образцов акрилового полимерраствора в зависимости от количества песка крупностью 0,14 мм

Таблица 1. Деформации, вызванные усадкой акрилового полимерраствора

№ П/П	Толщина покрытия, мм	Деформации ( $\times 10^5$ ) после перехода композиции в твердую фазу						
		сразу после отверждения	время, ч					
			1	2	4	6	24	48
1	5	138	146	118	153	153	156	156
2	8	144	149	153	158	174	166	168
3	10	160	170	182	190	181	174	172

Для изучения деформаций в стесненных условиях исследуемый состав (100:100:150) одновременно наносили слоями толщиной 5, 8 и 10 мм на поверхность бетонных образцов. Средние величины деформаций, полученные по данным тензодатчиков, приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы, с увеличением толщины покрытия усадка составила 0,156, 0,168 и 0,172%, что в 2-2,5 раза ниже усадки полимеррастворов на основе фурановых, полиэфирных, карбамидных связующих. Кроме того, оптимальной толщиной покрытия является толщина 5 мм, для которой усадочные деформации имеют наименьшую величину. Это связано с ориентирующим действием ионов поверхности на слой мо-

лекул полимера, которое вызывает упрочнение ближайших слоев, но убывает с расстоянием от поверхности. С увеличением толщины покрытия силы когезии оказываются меньше растягивающих напряжений, что и вызывает растрескивание более толстых слоев.

**Выводы.** Для уменьшения стоимости полимерного композиционного материала и снижения усадочных деформаций наиболее подходящим наполнителем

является кварцевый песок крупностью 0,14 мм в количестве 150 массовых частей. Его усадочные деформации в 5 раз меньше, чем у ненаполненной композиции, и на 10 % меньше, чем при наполнении портландцементом. Однако, применение портландцемента как очень энергозатратного материала может наоборот повысить стоимость ремонтной композиции. Применение кварцевого песка является наиболее рациональным вариантом.

#### REFERENCES

1. Hazimmah D.S., Muthusamy K. Characterization of Steel Fiber Reinforced Acrylic Emulsion Polymer Modified Concrete (SFRPMC) through X-Ray Diffraction (XRD) Analysis. Applied Mechanics and Materials. 2016. 833:87-93.
2. Inoue M., Khamhou S., Kojima T. Fundamental Study of Acrylic Resin as Crack Repair Material for Concrete. Journal of the Society of Materials Science, Japan. 2007. 56(12):1183-1188.
3. Jang H., So S. The Properties of Colored Mortar Using Different Inorganic Pigment and Acrylic Polymer. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2017. 17(10):7700-7705.
4. JingyaoCao D., Chung D.L. Carbon fiber reinforced cement mortar improved by using acrylic dispersion as an admixture. Cement and Concrete Research. 2001. 31(11):1633-1637.
5. Masaoka H., Kohmoto S., Yamamoto M. Toughening of Silica Filled Acrylic Composite. Journal of The Adhesion Society of Japan. 2000. 36(2):62-69.
6. Swamy R.N., Suryavanshi A.K., Tanikawa S. Protective Ability of an Acrylic-Based Surface Coating System against Chloride and Carbonation Penetration into Concrete. ACI Materials Journal. 1998. 95(2):101-112.
7. Wang C. Discussion on the Influence of Acrylic Series Antifreeze upon Main Performance of Concrete. Applied Mechanics and Materials. 2012. 174-177:1353-1356.

#### Shrinkage deformations of acrylic composite material for repair of concrete structures

**L. V. Trykoz, S. N. Kamchatnaya, O. M. Pustovoitova**

**Abstract.** In the article the deformation properties of the composition material which contains a polymer and a filler are considered. As a polymer binder the polymethylmethacrylate is used. The fillers are quartz sand and portlandcement. The experimental results of investigation the shrinkage deformations of acrylic polymer-mortar are represented. It is established that the material with the quartz sand filler has the least value of the shrinkage deformations.

**Keywords:** shrinkage deformations, polymer-mortar, polymethylmethacrylate, filler, quartz sand, portlandcement.