

УДК 691.58.688.3

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ УЛУЧШЕННЫХ СОСТАВОВ АКРИЛОВЫХ КЛЕЕВ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

к.т.н., доц. Золотов С.М.

Харьковская национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

Разработка и внедрение рациональных методов строительства и реконструкции зданий и сооружений способствует повышению производительности труда, экономии материальных, трудовых и энергетических ресурсов, а также сокращению ручного труда в строительстве.

Одним из таких методов является применение клеев в строительном производстве. Использование клеев позволяет снизить сроки строительства и реконструкции промышленных, гражданских зданий и сооружений, уменьшить их материалоемкость и трудоемкость. Для реконструкции и ремонта некоторых зданий и сооружений применение клеев иногда является единственным способом выполнения работ.

Каждая тонна клеев высвобождает 4,5-10 т металла. Удельная трудоемкость клеевых соединений в 1,5-3 раза меньше, чем традиционных (сварных, болтовых и т.п.). Это позволяет получить на 1 т клеев от 700 до 1500 чел.-дней экономии трудозатрат. Применение клеев дает возможность механизировать ряд процессов в строительстве. Например, использование эпоксидных, силоксановых и акриловых клеев для установки 1000 анкерных болтов сокращает расход стали на 3,5-5 т (болты диаметром 24 мм), дает возможность механизировать процессы создания скважин под болты в бетоне и приготовления клея.

Исследованиями, посвященными созданию и модернизации полимерных клеев и соединений на их основе, занимались научные организации Украины, Российской Федерации и др. зарубежных стран. В результате этого разработаны полимерные клеи и на их основе конструкции клеевых соединений бетонов (старого со старым, старого с новым), клеевой анкеровки арматурных стержней и анкерных болтов, приклейки крепежных узлов оборудования и инженерных коммуникаций.

Достаточно глубоко изучены когезионные и адгезионные свойства различных клеев, а также их физико-химические свойства. Разработаны рекомендации по использованию предлагаемых клеев для соответствующих строительных конструкций. Однако эти исследования касаются клеев на основе эпоксидных смол [1].

Для создания клеевых соединений строительных конструкций в Харьковской национальной академии городского хозяйства при участии автора разработаны составы акриловых клеев. Компоненты их изготавливаются в Украине. Клеи эти значительно дешевле эпоксидных и др. полимерных клеев. Акриловые клеи малокомпонентны, просты и надежны в приготовлении, менее токсичны, их можно приготовить непосредственно на месте производства работ. Когезионная и адгезионная прочность акриловых

клеев не ниже эпоксидных.

В этих акриловых клеях было использовано связующее в виде акриловой самотвердеющей пластмассы АСТ-Т. Это значительно суживало их применение, особенно при температуре среды выше 50⁰С. Кроме того, когезионная и адгезионная их прочности имели значения, не позволяющие экономить материалы строительных конструкций: бетон, металл и т.п. [2,3]

Анализ свойств и опыт применения акриловых клеев ранее позволил создать улучшенные составы акриловых клеев с повышенными адгезионными и когезионными свойствами, термостойкостью для надежного и экономного соединения бетонных и железобетонных конструкций, крепления оборудования и строительных конструкций анкерными болтами и арматурными выпусками, заделанными в бетон. Названные конструкции эксплуатируются при температуре окружающей среды до 130⁰С [1].

В результате экспериментов были определены физико-механические и деформационные свойства клеев и характер их разрушения при кратковременном нагружении и различных видах нагрузок (сжатие, изгиб, сдвиг, растяжение). Было также установлено влияние на прочность и деформативность акриловых клеев длительных и динамических нагружений.

Экспериментально были определены влияние количества и вида наполнителей и добавок на адгезионную прочность акриловых клеев, а также влияние на наполняемость клеев состава связующего, вида и количества наполнителя и добавок. Были также определены факторы, влияющие на технологические свойства акриловых клеев (вязкость, жизнеспособность и время отверждения).

При разработке улучшенных составов акрилового клея основой связующего был принят порошкообразный полимер, представляющий собой суспензионный полиметилметакрилат, содержащий инициатор 2,0% пероксида бензоила. Жидкая мономерная часть состоит из метилметакрилата, дополнительно содержащая активатор отверждения (3,0% диметиланалина) и ингибитор (0,02% гидрохинон). В качестве наполнителя принимался кварцевый песок модулем 0,14...0,63 мм, а также отходы металлургического и литейного производства. В качестве добавок использовались поливинилхлоридная хлорированная смола, стирольно-инденевая смола, оксид цинка, глицидилметакрилат и др. (табл. 1).

Разработанные составы акриловых клеев были разбиты на три группы (табл. 1).

Первая группа имеет повышенную когезионную прочность [4-5], вторая – адгезионную [6,7] и третья обладает повышенной теплостойкостью [8-10].

Важной характеристикой, определяющей свойства любого клея, в том числе акрилового, является когезионная прочность. Когезионная прочность акриловых клеев исследовалась испытанием образцов кратковременной статической нагрузкой при сжатии, растяжении, изгибе и сдвиге (рис. 1). Одновременно определялись физико-механические свойства указанных клеев.

Были испытаны все разработанные составы акриловых клеев (табл. 1). Одновременно определялся модуль упругости клеев на образцах 40x40x160 мм. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 1

Составы улучшенных акриловых клеев

Составы	Полиметакрилат	Метакрилат	Перехватывающая	Дицианалани	Смола	Копировальная	Полиэтиленовая	Стирольно-акриловая	После ил. шпатель	Акриловая	Метакрилат	Глицерин	Алкоголь	Смолы	Кипрический	Сополномер	Пара-К	Винил	Метил	Диглицерин	Глицерин	Металл	Акриловый	Фурфурол	Стерил	Поливинил	2,5-ди			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
Когезия																														
1	20	20	0,5	0,5	11	43	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	24	24	0,5	0,4	-	47,6	1	-	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3	20-30	20-30	0,5-1,0	0,3-0,5	-	-	2-4	решка	4-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4	20	14	0,5	0,3	8	49,2	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5	20	15	0,5	0,3	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	15	42,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	20	14	0,5	0,3	-	54,2	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-		
7	20	15	0,5	0,5	-	55	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-		
Адгезия																														
8	20-30	20-25	0,5-1	0,3-0,5	-	-	2-4	7-10	решка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	20	16	0,5	0,3	-	56,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	20	20	0,5	0,3	-	-	-	5	48,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	
11	20	15	0,5	0,3	6	51,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Теплостойкость																														
12	20	15	0,5	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	56,2	-	-	-	-	-	-	-	-
13	20	20	0,5	0,5	6	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	20	17	0,5	0,3	8	48,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-
15	20	12	0,5	0,3	6	53,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2	-	-	-	-	-	-
16	20	15	0,5	0,3	8	48,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2	-	-	-	-	-
17	20	20	0,5	0,3	11	43,2	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	20	15	0,5	0,3	8	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	20	20	0,5	0,3	-	2	-	53,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

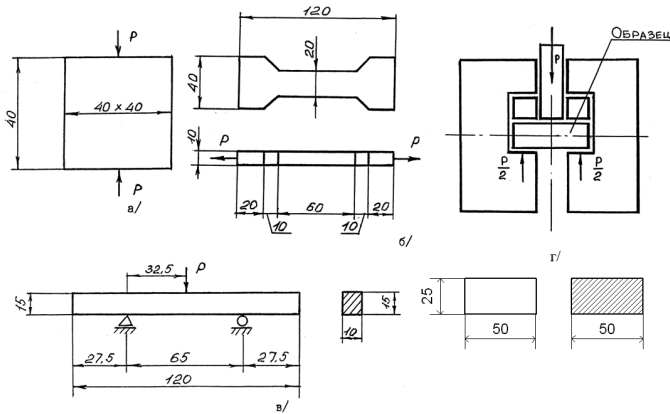


Рис. 1. Схемы испытаний образцов акрилового клея на сжатие (а), растяжение (б), изгиб (в) и срез (г)

Анализ результатов экспериментов показал, что введение подобранных добавок позволяет увеличить когезионную прочность акриловых клеев на 45% - при сжатии, на 70% - при растяжении, на 47% - при срезе и на 52% - при изгибе. Особенно важен показатель прочности при срезе, так как он позволяет снизить глубину заделки арматурного стержня в бетон.

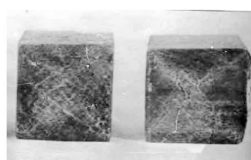
Разрушения образцов акрилового клея при указанных видах нагружения имели хрупкий характер (рис. 2).

Экспериментально также были исследованы закономерности изменения деформативности акриловых клеев, что позволило определить величины их модулей упругости и другие характеристики деформативности. Для испытаний был принят акриловый клей состава № 1 (табл. 1).

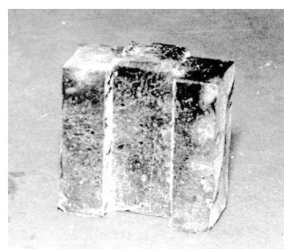
Таблица 2

Прочность и модули упругости составов акриловых клеев

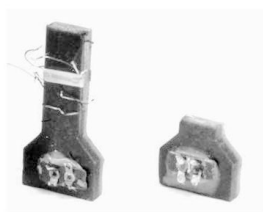
№№ состава	Предел прочности, МПа				Модуль упругости E_k , МПа
	при сжатии	при растяжении	при сдвиге (срезе)	при изгибе	
1	2	3	4	5	6
1	96,34	20,15	30,83	40,46	$5,28 \cdot 10^3$
2	98,61	22,42	33,78	41,41	$5,58 \cdot 10^3$
3	97,28	21,64	32,48	40,95	$5,48 \cdot 10^3$
4	97,63	21,72	33,26	40,81	$5,32 \cdot 10^3$
5	98,2	22,46	33,38	42,52	$5,38 \cdot 10^3$
6	95,84	20,08	31,88	40,25	$5,48 \cdot 10^3$
7	97,28	21,72	33,12	40,65	$5,62 \cdot 10^3$
8	82,44	16,52	28,83	33,82	$5,16 \cdot 10^3$
9	78,65	15,73	26,78	32,21	$5,26 \cdot 10^3$
10	81,76	16,35	27,28	34,01	$5,68 \cdot 10^3$
11	83,82	16,82	28,68	34,78	$5,58 \cdot 10^3$
12	83,26	16,61	28,44	34,96	$5,58 \cdot 10^3$
13	92,38	18,54	30,21	39,72	$5,32 \cdot 10^3$
14	93,62	18,78	30,42	39,13	$5,3 \cdot 10^3$
15	89,36	17,87	30,2	37,82	$5,36 \cdot 10^3$
16	94,72	19,24	31,18	40,26	$5,28 \cdot 10^3$
17	95,28	19,62	30,66	40,78	$5,22 \cdot 10^3$
18	96,46	19,29	32,88	41,48	$5,38 \cdot 10^3$
19	80,38	16,76	27,46	33,44	$5,16 \cdot 10^3$
20	82,56	16,51	27,82	34,58	$5,08 \cdot 10^3$
Контроль ый	68,24	12,92	22,84	27,96	$5,12 \cdot 10^3$



а)



в)



б)

Рис. 2. Характер разрушения образцов акриловых клеев при: а) сжатии; б) растяжении; в) сдвиге

При кратковременном нагружении усилия прикладывались со скоростями, вызывающими в образцах напряжения равные 0,6 МПа/с, 0,3 МПа/с и 0,1 МПа/с.

Испытания на сжатие и растяжение образцов акрилового клея при различных скоростях нагружения (рис. 3) показали, что деформации носят линейный характер до напряжений равных 80-86% от разрушающих. При нагружении образцов акрилового клея до величины равных 0,8 от предела прочности происходила их релаксация по указанным графикам и не зависимо от скорости нагружения. Очевидно эти деформации являются упругими.

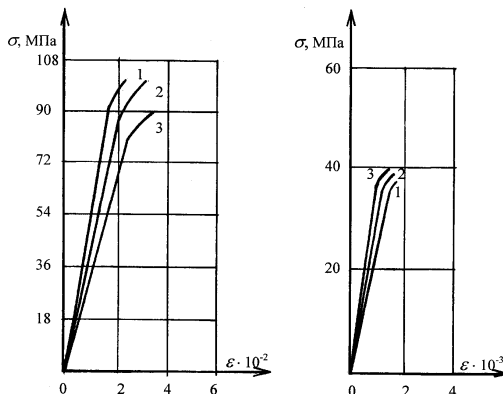


Рис. 3. Диаграмма сжатия (а) и растяжения (б) образцов акрилового клея при скоростях нагружения:
1 – 0,6 МПа/с; 2 – 0,3 МПа/с; 3 – 0,1 МПа/с

Кроме упругих деформаций, при нагрузках выше 80% от разрушающих возникали пластические деформации, не исчезающие при неограниченно большом времени после полной разгрузки. Величина и скорость развития во времени такой деформации зависят от величины и времени действия нагрузки.

Так как образование предельной упругой и полной деформаций при разрушении зависят от величины действующей нагрузки и интервала времени ее воздействия, то пределы упругости и прочности зависят также от времени воздействия нагрузки. Таким образом, предел упругости и предел прочности материала изменяются во времени от границы пределов прочности (максимальное значение) до предела длительного сопротивления (минимальное значение).

В связи с указанным автором были проведены эксперименты по определению развития деформаций в образцах акрилового клея, когда постоянно действующая длительная нагрузка не изменялась во времени и становилась постоянной. Величины этих нагрузок составляли 0,2; 0,3; 0,42; 0,68 и 0,85 от разрушающих. Диаграммы развития таких деформаций представлены на рис. 4.

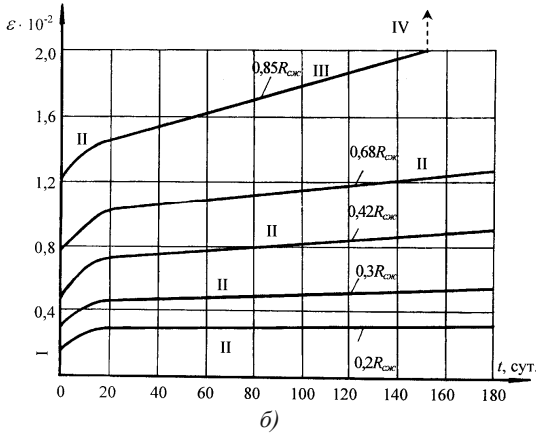
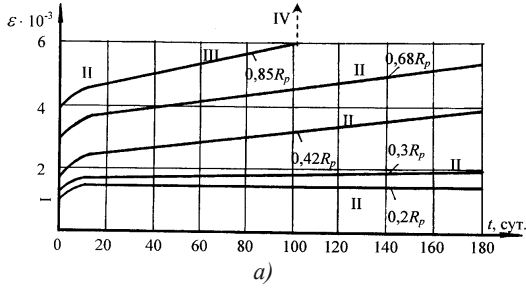


Рис. 4. Диаграммы ползучести акрилового клея при растяжении (а) и сжатии (б)

Анализ этих диаграмм показал, что если постоянное по величине напряжение ниже предела длительного сопротивления, кривая деформаций во времени разбивается на два участка: 1) участок образования мгновенных деформаций и 2) участок образования вязких деформаций, развивающихся во времени.

Если же постоянное по величине напряжение выше предела длительного сопротивления, то возникают деформации, развивающиеся в течение ограниченного интервала времени и приводящие в конце этого интервала к разрушению акрилового клея. Кривая деформации в указанном случае разбивается на четыре участка во времени (рис. 4). На I участке возникает мгновенная деформация, на II – пластическая деформация, развитие которой во времени начинается со скоростью, равной скорости роста мгновенной деформации на I участке, и продолжается с постепенно уменьшающейся скоростью. Далее пластическая деформация растет пропорционально времени со скоростью, равной скорости развития предельной упругой деформации (III участок кривой развития деформаций во времени). В конце III участка сопротивляемость материала исчерпывается, и на IV участке имеет место

лавинообразный процесс разрушения материала, заканчивающийся разрушением образцов.

Так как на IV участке преимущественно имеет место изменение предельной длины образцов, а не деформация образцов в целом, это не учитывается в определении сопротивляемости и деформативности клеевых анкеров.

Анализ полученных результатов говорит также о том, что предел длительного сопротивления составляет около 85% от кратковременного разрушающего усилия. Как видно из диаграмм (рис. 4), независимо от величины длительно действующих нагрузок деформации ползучести имели линейный характер.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування, технологія влаштування: монографія / Л.М. Шутенко, М.С. Золотов, В.О. Склярів, Н.М. Золотова. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 204 с.
2. Золотов С.М. Акриловые клеи для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций / С.М. Золотов // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С.440-447.
3. Золотов С.М. Инновационные материалы на основе акриловых полимеров для восстановления и ремонта конструкций объектов строительства и транспорта / С.М. Золотов // Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2004. – Вип. 30. – С. 192-196.
4. Патент на винахід № 61781. Україна. МПК СО9J/01. Самотвердіюча композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов та інш.; Опубл. 2003 р.; Бюл. № 11.
5. Патент на винахід № 41266. Україна. МПК СО8L. Акрилова самотвердіюча композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов та інш.; Опубл. 2009 р.; Бюл. № 9.
6. Патент на винахід № 70687. Україна. МПК СО9J. Самотвердіюча клейова композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов та інш.; Опубл. 2004 р.; Бюл. № 10.
7. Патент на винахід № 88250. Україна. МПК СО9J. Акрилова композиція для кріплення анкерних болтів / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов та інш.; Опубл. 2009 р.; Бюл. № 18.
8. Патент на корисну модель № 45427. Україна. МПК СО9J. Співполімерна самотвердіюча композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов та інш.; Опубл. 2009 р.; Бюл. № 21.
9. Патент на корисну модель № 48964. Україна. МПК СО9J. Композиція для клейової анкерувальних болтів / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов та інш.; Опубл. 2010 р.; Бюл. № 7.
10. Патент на корисну модель № 53872. Україна. МПК СО9J. Клейова акрилова композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов та інш.; Опубл. 2010 р.; Бюл. № 20.