

**АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ БЕЗАНКЕРНОГО СОЕДИНЕНИЯ
СТАЛЬ-БЕТОН НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ АКРИЛОВЫХ КЛЕЯХ
ПРИ РАВНОМЕРНОМ И НЕРАВНОМЕРНОМ ОТРЫВЕ**

При строительстве, эксплуатации, реконструкции промышленных предприятий проводятся работы по монтажу и установке на возводимых и существующих фундаментах оборудования, технологических линий и других вспомогательных устройств. Поэтому важное значение имеет использование рациональных методов крепления к фундаментам, бетонным или железобетонным конструкциям различного технологического оборудования. Кроме традиционных способов крепления оборудования существует еще безанкерный. Крепление по этому способу осуществляется путем приклейки крепежных узлов или опорных частей оборудования к поверхности бетона (рис. 1). Для этого можно использовать любые клеи, обладающие необходимой адгезией к бетону и стали, а также высокими физико-механическими свойствами.

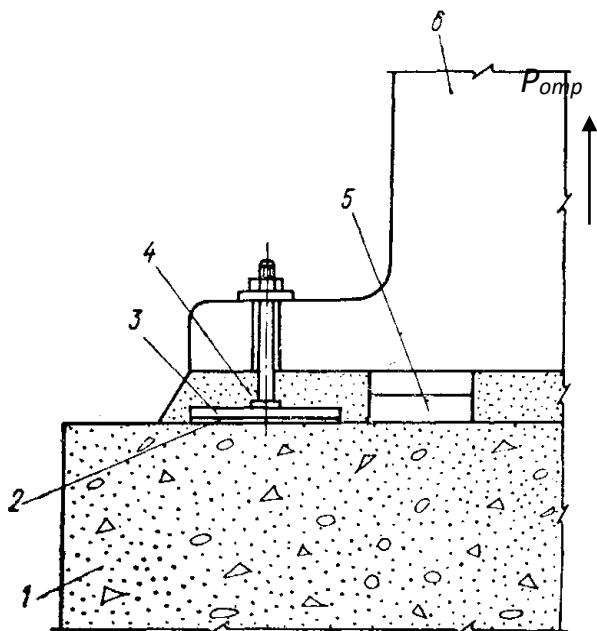


Рис. 1. Схема безанкерного крепления оборудования на готовых фундаментах: 1 – фундамент, 2 – клеевой слой, 3 – узел крепления, 4 – подливка, 5 – монтажные подкладки, 6 – оборудование

Разработке и исследованию конструкции безанкерного способа крепления оборудования посвящено достаточно работ [1-5]. Вместе с тем, что в связи с широким применением в строительстве акриловых клеев авторы предлагают в конструкции безанкерного крепления использовать указанные клеи. К тому же ряд исследований приведенных в работах [6,7] показали, что акриловые клеи имеют высокую адгезию к бетонам и стали. При этом разрушение клеевого соединения сталь-бетон при равномерном отрыве не зависимо от состава акрилового клея происходило по бетону [7,10].

В связи с указанными авторами были проведены эксперименты по определению влияния жесткости стальных пластин, а также влияние на прочность клеевого соединения величины эксцентриситета приложения отрывающего усилия.

В качестве экспериментальных образцов для исследования влияния жесткости стальных пластин на прочность клеевого соединения были изготовлены призмы из бетона класса С16/20 с поперечным сечением 70 x 70 мм и квадратные пластины размером в плане 70 x 70 мм ($A_{пл} = 49 \text{ см}^2$) разной толщины из стали марки 30ХГСА, которые приклеивались к торцам призмы акриловым клеем. Площадь приклейки $A_{кл} = A_{пл} = 49 \text{ см}^2$.

Для изготовления бетонных призм использовали формы стандартных восьмерок, разделенные в поперечном направлении на две равные части. С одной стороны призма была снабжена анкером для установки в захватном приспособлении испытательного пресса, с другой стороны торцевая плоскость была предназначена для приклейки.

Одновременно из того же замеса бетона были изготовлены восьмерки для определения прочности бетона при растяжении. Полученные данные использовали

для сопоставления с результатами прочности при отрыве пластин от бетонных призм. Толщина стальных квадратных пластин была принята равной 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 28 и 32 мм, что соответствовало значениям их относительной жесткости $\Delta = \delta / a = 0,086; 0,114; 0,147; 0,172; 0,229; 0,286; 0,343; 0,400$ и $0,457$.

Всего было изготовлено и испытано 198 образцов клеевого соединения (по 12 образцов на каждый типоразмер стальной пластины) и 12 образцов бетонных восьмерок. Был использован акриловый клей

согласно рекомендациям [7]. Толщина клеевого слоя во всех образцах 2 мм.

Испытания экспериментальных образцов клеевого соединения на равномерный отрыв проводились по схеме (рис. 1), на прессе типа МУФ-20. Разрушение всех типов образцов клеевого соединения происходило по бетону. Результаты испытаний и статистической обработки, приведенные в табл. 1, показали достаточно высокую точность полученных данных. Так, коэффициент однородности клеевых соединений оказался несколько выше коэффициента однородности бетона, приведенного в ДБН В.2.6-98:2009 [8].

Таблица 1 - Зависимость прочности клеевого соединения на модифицированных акриловых клеях от толщины стальных пластин

Значения вариационного ряда	Предел прочности бетона при растяжении, МПа	Толщина, мм, и относительная жесткость стальных пластин								
		6; 0,086	8; 0,114	10; 0,143	12; 0,172	16; 0,229	20; 0,285	24; 0,343	28; 0,4	32; 0,457
Среднее значение	24,6	1,43	1,81	2,08	2,37	2,7	3,22	3,433	3,432	3,434
Среднее квадратическое отклонение σ	0,152	0,111	0,184	0,187	0,201	0,194	0,353	0,293	0,3	0,204
Вариационный коэффициент ν , проц.	6,18	7,75	10,16	9,00	8,50	7,19	10,95	5,62	8,74	5,94
Средняя ошибка t	$\pm 0,044$	$\pm 0,032$	$\pm 0,053$	$\pm 0,054$	$\pm 0,058$	$\pm 0,056$	$\pm 0,0102$	$\pm 0,056$	$\pm 0,086$	$\pm 0,059$
Показатель точности P	1,79	2,24	2,93	2,60	2,45	2,07	3,17	1,63	2,51	1,72
Коэффициент однородности $K_{одн}$	0,815	0,767	0,683	0,731	0,746	0,785	0,671	0,832	0,738	0,823

Как видно из данных табл. 1, с увеличением жесткости пластин возрастает прочность клеевого соединения. При относительной жесткости пластин $\Delta \geq 0,33$ дальнейшее увеличение прочности соединения не наблюдалось и для данной площади

пластины $F_{пл} = 49 \text{ см}^2$ соответствовало значению $\sigma_{кл}^{пр} = 3,43 \text{ МПа}$.

Влияние жесткости стальных пластин крепежных узлов на прочность клеевых соединений определялась следующим способом. В этом случае использовались пластины толщиной $\delta = 4, 8, 12, 16, 20, 24,$

27 мм при постоянных ее размерах в плане $a \times a = 90 \times 90$ мм. Относительная жесткость для принятой серии пластин имела значения: $\Delta = 0,045; 0,09; 0,133; 0,178; 0,223; 0,267; 0,3$. Образцы металлических пластин выполняли из стали марки 30ХГСА. Бетонные образцы изготовляли в виде кубов размерами 200х200х200 мм из бетона класса С8/10. Для получения одинаковых результатов пластины наклеивались на стороны бетонного куба, которые находились при бетонировании в одинаковых условиях. На каждый куб наклеивалось по четыре пластины.

Было проведено по двенадцать испытаний для каждого типоразмера пластин. По результатам эксперимента построен график изменения прочности клеевого соединения сталь-бетон при равномерном отрыве стальных пластин, различных по жесткости (рис. 2).

Из графика следует, что изменение жесткости пластин крепежного узла существенно влияет на предел прочности модифицированного клеевого соединения. Так, при условной жесткости пластин $\Delta = 0,05$ предел прочности составляет $\sigma_{отр} = 1,1$ МПа, в то время как при $\Delta = 0,14$ он достигает нормального сопротивления бетона при растяжении $\sigma_{отр} = 1,6$ МПа. Далее предел прочности увеличивается до значения условной жесткости $\Delta = 0,267$, после чего возрастание прочности клеевого соединения стабилизируется. Эти данные подтверждают результаты предыдущих экспериментов о том, что при равномерном отрыве прочность клеевых соединений сталь-бетон находится в зависимости от жесткости пластин крепежных узлов [7,10]. При этом повышение жесткости свыше определенных значений не приводит к дальнейшему нарастанию прочности клеевого соединения.

Экспериментальные исследования показали, что прочность клеевого соединения сталь-бетон при равномерном отрыве определяется прочностью бетона на растяжение.

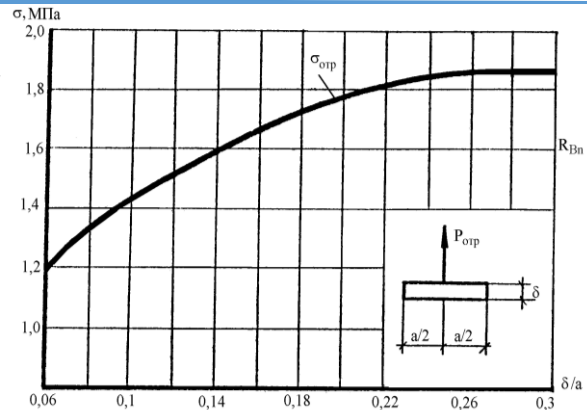


Рис. 2. График зависимости прочности клеевого соединения сталь-бетон от жесткости стальных пластин

Испытания образцов клеевых соединений на неравномерный отрыв проводились по схеме, показанной на рис. 3. Неравномерный отрыв создавался путем внецентренного приложения отрывающего усилия к образцам крепежных узлов. Образец крепежного узла состоял из пластины, изготовленной из стали марки 30ХГСА, и приваренных втулок с резьбой. Втулки располагались на пластине таким образом, чтобы обеспечивались эксцентриситеты приложения отрывающего усилия по отношению к геометрическому центру от 0,25a до 0,4a (где a – размер стороны пластины крепежного узла). К пластинам были также приварены втулки в геометрическом центре для возможности испытаний клеевых соединений на равномерный отрыв, т.е. при $e = 0$.

Условная жесткость стальных пластин образцов крепежных узлов была принята $\Delta_1 = 0,12, \Delta_2 = 0,33$. Пластины с жесткостью $\Delta_1 = 0,12$ были изготовлены трех типоразмеров ($a \times a = 150 \times 150; 250 \times 250, 300 \times 300$ мм) и с жесткостью $\Delta_2 = 0,33$ – пяти типоразмеров ($a \times a = 100 \times 100; 150 \times 150; 200 \times 200; 250 \times 250; 300 \times 300$ мм).

В качестве образцов строительных конструкций принимались плиты с габаритными размерами 1200х1000х200 мм, изготовленных из бетона класса С8/10. Поверхность бетона под приклейку очищалась шлифовальной машинкой. Образцы крепежных узлов приклеивали на поверхность, представляющую собой низ бетонирования.

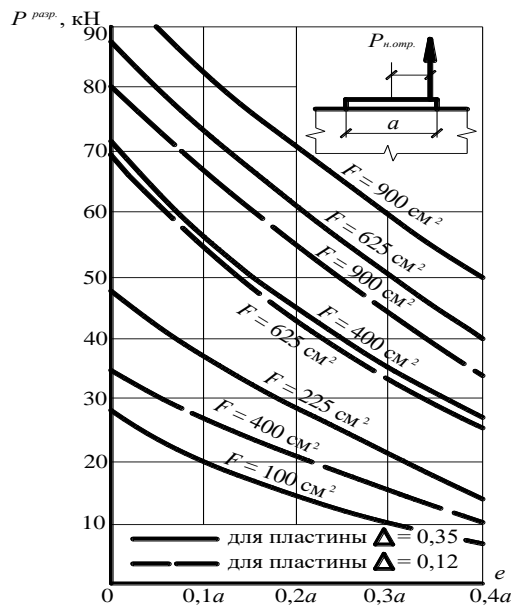


Рис. 3. Схема испытаний клевого соединения на неравномерный отрыв и графики зависимости разрушающих усилий от эксцентриситета приложения отрывающего усилия

При испытаниях отрывающее усилие прикладывалось с эксцентриситетом $e = 0$, $e = 0,25a$, $e = 0,4a$. Для каждой величины эксцентриситета была изготовлена серия, состоящая из шести образцов клевого соединения. Такое количество образцов клевого соединения было принято в целях набора достаточного количества результатов, позволяющих достоверно определить влияние неравномерного отрыва на прочность клевого соединения.

Образцы клевого соединения разрушались по бетону при всех значениях e . Результаты статической обработки экспериментальных данных приведены в табл. 2.

На основании экспериментальных данных с использованием корреляции экспериментальных данных построены графики зависимости значения разрушающих усилий для клеевых соединений от эксцентриситета приложения отрывающего усилия при неравномерном отрыве (рис. 3).

Таблица 2 - Значения разрушающих усилий клевого соединения в зависимости от величины эксцентриситета призмы $P_{отр.}$

Размер пластин крепежных узлов $a \times a$, мм	Значение разрушающих усилий, кН, при эксцентриситете		
	$e = 0$	$e = 0,25a$	$e = 0,4a$
$\Delta = 0,12$			
150x150	32,40	18,9	12,90
250x250	67,08	36,8	25,80
300x300	78,40	49,4	33,80
$\Delta = 0,33$			
100x100	26,20	14,7	9,65
150x150	46,20	25,6	16,90
200x200	68,60	37,5	26,60
250x250	85,00	55,2	29,75
300x300	93,95	65,3	48,90

Анализ полученных результатов показал, что несущая способность клеевых соединений уменьшается с увеличением эксцентриситета приложения отрывающего усилия. Причем разрушающее усилие при $e = 0,25a$ уменьшается в 1,8 раза, а при $e = 0,4a$ – в 2,4-2,6 раза по сравнению с равномерным отрывом для всех принятых образцов клеевых соединений. Например, образцы клевого соединения с пластинами $a \times a = 250 \times 250$ мм и $\Delta_1 = 0,12$

при $e = 0$ разрушались при среднем значении разрушающего усилия $P_{cp}^{разр} = 67,08$ кН, при $e = 0,25a$ – $P_{cp}^{разр} = 35,4$ кН, и при $e = 0,4a$ – $P_{cp}^{разр} = 25,8$ кН.

На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы. В случае нагружения пластин крепежных узлов при безанкерном креплении оборудования равномерным и неравномерным отрыве, разрушение клевого соединения происходило по бетону.

Согласно полученным экспериментальным данным можно определить границы применения безанкерного способа крепления на акриловых клеях взамен традиционных.

Кроме того, необходимо провести теоретические исследования и решить задачу о влиянии конструктивных характеристик крепежного узла, прочности бетона. Математическая модель данного соединения разработана [9].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Золотов М.С. Технология установки крепежных узлов с помощью акриловых клеев / М.С. Золотов, Л.Н. Шутенко, В.Г. Сидоренко // Коммунальное хозяйство городов: респ. межвед. науч.-техн. сб. – Київ: Техніка, 1995. – Вип. 4. – С. 13-15.
2. Морковская Н.Г. Технология безанкерного крепления на акриловых клеях / Н.Г. Морковская // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: IV укр. науч.-техн. конф.; тез. докл. – Харьков, 1996. – С. 91-92.
3. Золотов М.С. Конструкции безанкерных креплений и их проектирование / М.С. Золотов, В.Г. Сидоренко // Коммунальное хозяйство городов: респ. межвед. науч.-техн. сб. – Київ: Техніка, 1997. – Вип. 9. – С. 35-38.
4. Золотов С.М. Зависимость адгезионных свойств акриловых клеев от их состава / С.М. Золотов // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: VII Международная науч.-техн. интернет-конференция; матер. конф. – Харьков: ХНУГХ, 2008. – С. 12-14.
5. Шутенко Л.М. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці: монографія // Л.М. Шутенко, М.С. Золотов, Я.О. Серіков, В.О. Склярів. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 285 с.
6. 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. – С. 192-196.
7. Золотов С.М. Влияние различных факторов на адгезионные свойства и прочность акриловых клеев / С.М. Золотов // Вісник державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – Вип. 33. – С. 218-224.
8. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011.
9. Фирсов П.М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон / П.М. Фирсов // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: IV Международная научно-техническая интернет-конференция; матер. конф. – Харьков: ХНУГХ, 2014. – С. 56-61.
10. Золотов М.С., Фирсов П.М. Влияние конструктивных факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления / М.С. Золотов, П.М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 30 - С. 127-134.

УДК 539.3

Сізова Н.Д., Гречко Н.В.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОПРУЖНОГО СТАНУ СТЕРЖНЕВОЇ КОНСТРУКЦІЇ В ПК ЛІРА

Вступ. При проектуванні об'єктів будівельної галузі розглядаються питання, пов'язані з дослідженнями процесів, які виникають при експлуатації конструкцій і елементів, що знаходяться під зовнішніми

впливами. Це дозволяє визначити найбільш істотні фактори впливу на працездатність, надійність і стійкість конкретних елементів всієї конструкції. Дослідження таких процесів як температурні, дозволя-