

УДК 691.58.668.3

В.Н.БАБАЕВ, д-р наук гос. управл., М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук,
М.В.ШАПОВАЛ

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н.Бекетова

УСИЛИЯ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛЬ-БЕТОН БЕЗАНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ НА АКРИЛОВЫХ КЛЕЯХ

Приводятся результаты экспериментов по определению прочности безанкерного крепления технологического оборудования при приклейке стальных пластин к поверхности бетона акриловыми клеями различной толщины и величины эксцентриситета отрывающего усилия.

Наводяться результати експериментів з визначення міцності безанкерного кріплення технологічного обладнання при приклеюванні сталевих пластин до поверхні бетону акриловими клеями різної товщини та величини ексцентриситету відриваючого зусилля.

Results over of experiments are brought on determination of durability of the безанкерного fastening of technological equipment at gluing of steel plastins to the surface of concrete by acrylic glues of different thickness and size of excentricity of tearing away effort.

Ключевые слова: безанкерное крепление, стальная пластина, бетон, акриловый клей, отрывающие усилия, эксцентриситет, толщина стальной пластины, прочность.

При строительстве, эксплуатации, реконструкции промышленных предприятий приходится проводить 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 физико-механическими свойствами.

Разработке и исследованию конструкции безанкерного способа крепления оборудования посвящено достаточно работ [1-5]. Вместе с тем, 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 [4,5].

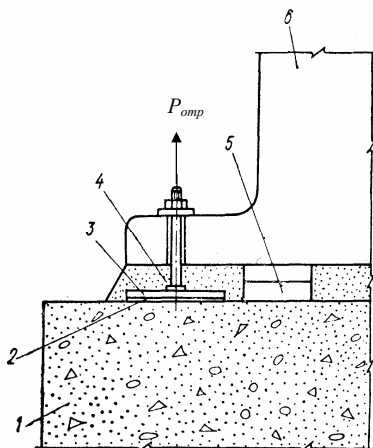


Рис. 1 – Схема безанкерного способа крепления оборудования на готовых фундаментах: 1 – фундамент; 2 – клеевой слой; 3 – узел крепления; 4 – подливка; 5 – монтажные подкладки; 6 – оборудование торцам призмы акриловым клеем. Площадь приклейки $F_{кл} = F_{пл} = 49 \text{ см}^2$.

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 [6,7]. Толщина клеевого слоя во всех образцах 2 мм.

Испытания экспериментальных образцов клеевого соединения на равномерный отрыв проводились по схеме (рис. 1), на прессе типа

В связи с указанным 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 C20/25 с поперечным сечением 70 x 70 мм и квадратные пластины размером в плане 70 x 70 мм ($F_{пл} = 49 \text{ см}^2$) разной толщины из стали марки Ст. 3, которые приклеивались к

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 значительно выше коэффициента однородности бетона, приведенного в ДБН В.2.6.98:2009 «Бетонные и железобетонные конструкции».

Таблица 1 – Зависимость прочности клеевого соединения 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 m	$\pm 0,044$	$\pm 0,032$	$\pm 0,053$	$\pm 0,054$	$\pm 0,058$	$\pm 0,056$	$\pm 0,0102$	$\pm 0,056$	$\pm 0,086$	$\pm 0,059$
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 $F_{пл} = 49 \text{ см}^2$ соответствовал значению $\sigma_{пл}^{пр} = 3,43 \text{ МПа}$.

Влияние жесткости стальных пластин крепежных узлов на прочность клеевых соединений определяли вторым способом. В этом случае использовались пластины толщиной $\delta = 4, 8, 12, 16, 20, 24, 27 \text{ мм}$ при постоянных ее размерах в плане $a \times a = 90 \times 90 \text{ мм}$. 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 Ст. 3. Бетонные образцы изготовляли в виде

кубов размерами 200 x 200 x 200 мм из бетона класса В20. Для получения одинаковых результатов пластины наклеивали на те стороны бетонного куба, которые находились при бетонировании в одинаковых условиях. На каждый куб наклеивали четыре пластины.

Было проведено по двенадцать испытаний для каждого типоразмера пластин. Эксперименты показали следующее. Разрушение всех образцов клеевых соединений сталь-бетон происходило по бетону. Характер разрушения клеевого соединения представлен на рис. 2.

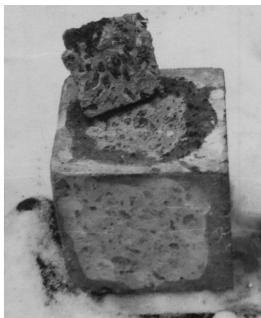


Рис. 2 – Характер разрушения клеевого соединения сталь-бетон

По результатам статистической обработки данных эксперимента построен график изменения прочности клеевого соединения сталь-бетон при равномерном отрыве стальных пластин, различных по жесткости (рис. 3).

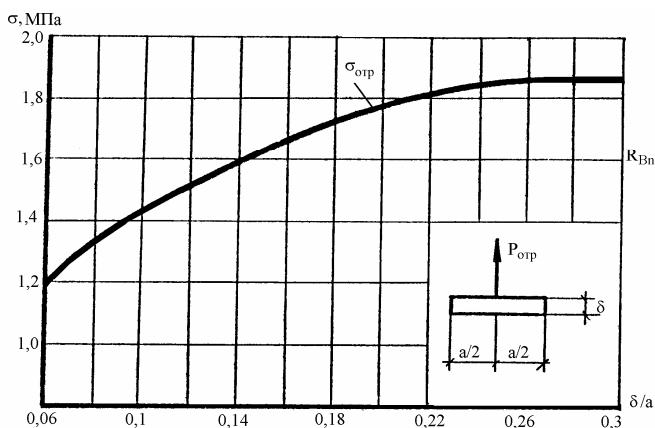


Рис. 3 – График зависимости прочности клеевого соединения сталь-бетон от жесткости стальных пластин

Из графика следует, что изменение жесткости пластин крепежно-го узла существенно влияет на предел прочности клеевого соединения. Так, при условной жесткости пластин $\Delta = 0,05$ предел прочности составляет $\sigma_{omp} = 1,1$ МПа, в то время как при $\Delta = 0,14$ он достигает нормального сопротивления бетона при растяжении $\sigma_{omp} = 1,6$ 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. 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.

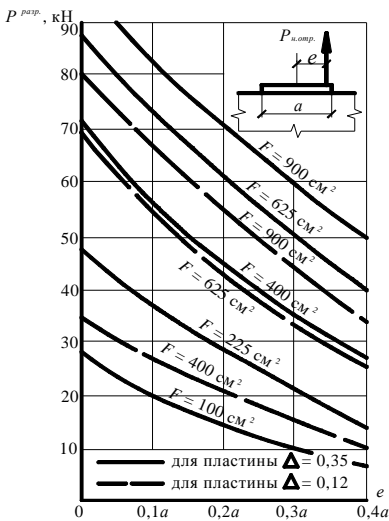


Рис. 4 – Схема испытаний клеевого соединения на неравномерный отрыв и графики зависимости разрушающих усилий от эксцентриситета приложения отрывающего усилия

Испытания образцов клеевых соединений на неравномерный отрыв проводились по схеме, показанной на рис. 4. Неравномерный отрыв создавался путем внецентренного приложения отрывающего усилия к образцам крепежных узлов. Образец крепежного узла состоял из пластины, изготовленной из стали марки Ст.3, 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 ($a \times a = 150 \times 150$; 250×250 , 300×300 мм) и с жесткостью $\Delta_2 = 0,33$ – пяти типоразмеров ($a \times a = 100 \times 100$; 150×150 ; 200×200 ; 250×250 ; 300×300 мм).

В качестве образцов строительных конструкций принимались плиты с габаритными размерами $1200 \times 1000 \times 200$ мм, изготовленных из бетона класса C20/25. Поверхность бетона под приклейку очищалась шлифовальной машинкой. Образцы крепежных узлов приклеивали на поверхность, представляющую собой низ бетонирования.

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 клеевого соединения. Такое количество образцов клеевого соединения было принято в целях набора достаточного количества результатов, позволяющих достоверно определить влияние неравномерного отрыва на прочность клеевого соединения.

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

На основании результатов экспериментов с использованием методов математической статистики обработки экспериментальных данных построены графики зависимости значения разрушающих усилий для клеевых соединений от эксцентриситета приложения отрывающего усилия при неравномерном отрыве (рис. 4).

Таблица 2 – Значения разрушающих усилий клеевого соединения в зависимости от величины эксцентриситета призмы P_{omp} .

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 клеевого 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 клеевого соединения происходило по бетону. Согласно полученным экспериментальным данным можно определить границы применения безанкерного способа крепления на акриловых клеях взамен традиционных.

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. – К.: Техніка, 1995. – Вип. 4. – С. 13-15.
2. Сидоренко В.Г. Конструкции безанкерных креплений и их проектирование / В.Г. Сидоренко, М.С. Золотов // Коммунальное хозяйство городов: респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1997. – Вип. 9. – С. 35-38.
3. 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. – Х.: ХНАМГ, 2008. – 285 с.
4. Золотов М.С. Влияние различных факторов на прочность клеевого соединения безанкерного крепления // М.С. Золотов, М.В. Шаповал // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2012. – Вип. 23. – С. 525-531.
5. Золотов М.С. Прочность клеевого соединения безанкерного крепления при равномерном и неравномерном отрыве / М.С. Золотов, М.В. Шаповал // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. – С. 239-241.
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: Зовнішнєрекламсервіс, 2009. – Вип. 33. – С. 218-224.

Получено 05.06.2013