

УДК 691.58.688.3

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ФАКТОРОВ КРЕПЕЖНОГО УЗЛА НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ БЕЗАНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ КРІПІЛЬНОГО ВУЗЛА НА МІЦНІСТЬ КЛЕЙОВОГО З'ЄДНАННЯ БЕЗАНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ

THE INFLUENCE OF TIMBER KNOT CONSTRUCTIVE FACTORS ON THE STRENGTH OF GLUED JOINT WITHOUT ANCHORS

Золотов М.С., к.т.н., проф., Фирсов П.М., асп. (Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, г. Харьков)

Золотов М.С., к.т.н., проф., Фирсов П.М., асп. (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків)

M.S. Zolotov, PhD Engineering, Professor, P.M. Firsov, post-graduate student (O.M. Beketov Kharkiv national university of urban economy, Kharkiv)

Приводятся результаты экспериментов по определению конструктивных характеристик крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления.

Наводяться результати експериментів з визначення конструктивних характеристик кріпильного вузла на міцність клейового з'єднання безанкерного кріплення.

The results of the experiments on determining of timber knot constructive characteristics on the strength of glued joint without anchors are given.

Ключевые слова:

Безанкерное крепление, стальная пластина, бетон, акриловый клей, толщина стальной пластины, прочность.

Безанкерне кріплення, сталевая пластина, бетон, акриловий клей, товщина сталевій пластини, міцність.

Joint without anchor, steel plate, concrete, acrylic glue, steel plate thickness, strength.

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.

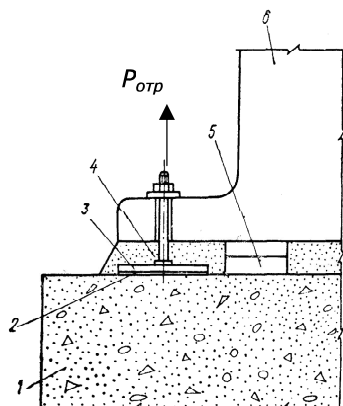


Рис. 1. Схема безанкерного крепления оборудования на готовых фундаментах:

- 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] 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].

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

Экспериментальные образцы для исследования влияния на прочность клеевого соединения величины удаления крепежного узла от обреза фундамента были представлены в виде кубов из бетона класса С16/20 с размером сторон 100, 150, 200, 250 мм, а также в виде ранее указанных восьмерок со стороной 70 мм.

Стальные квадратные пластины с размером стороны 70 мм (площадь приклейки 49 см^2) и толщиной 16 мм наклеивали на бетонные образцы таким образом, что расстояния их центров до края образца были равны $l = 3,5; 5,0; 7,5; 10$ и $12,5$ см, что соответствовало отношениям $l / a = 0,5; 0,714; 1,07; 1,43; 1,78$.

Следовательно, соотношения площади поверхности бетона и площади клеевого соединения составили $A_b / A_{пл} = 1; 2,04; 4,58; 8,16; 12,95$. Всего испытано 60 образцов клеевых соединений по 12 образцов для каждого случая удаления пластины от обреза бетонного образца. Был использован акриловый клей согласно рекомендациям [5,6]. 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 и 2, 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 [7].

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	2,46	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 v , 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

Таблица 2

**Зависимость прочности клеевого соединения от
удаления стальной пластины от обреза фундамента**

Значения вариационного ряда	Пределы прочности клеевого соединения при различных удалениях центра стальной пластины от края бетонного образца (отношение площадей поверхности бетона и стальной пластины)				
	$0,5a = 3,5$ см; $A_b / A_{пл} = 1,00$	$0,714a = 5,0$ см; $A_b / A_{пл} = 2,04$	$1,071a = 7,5$ см; $A_b / A_{пл} = 4,58$	$1,428a = 10,0$ см; $A_b / A_{пл} = 8,16$	$1,784a = 12,5$ см; $A_b / A_{пл} = 12,75$
Среднее значение	27,00	34,50	41,40	45,10	45,20
Среднее квадратическое отклонение σ	1,94	2,45	2,78	2,49	2,71
Вариационный коэффициент v , проц.	7,19%	7,10%	6,72%	5,52%	6,00%
Средняя ошибка m	$\pm 0,56$	$\pm 0,71$	$\pm 0,78$	$\pm 0,72$	$\pm 0,78$
Показатель точности P	2,07%	2,06%	1,88%	1,59%	1,73%
Коэффициент однородности $K_{одн}$	0,785	0,788	0,795	0,833	0,814

На основании экспериментальных данных построены графики зависимости изменения предела прочности клеевых соединений при равномерном отрыве от жесткости приклеиваемых пластин (рис. 2, а) и от величины отношения A_{σ} / A_{nl} (рис. 2, б).

Как видно из рис. 2, 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 $A_{nl} = 49 \text{ см}^2$ соответствовал значению

$$\sigma_{кл}^{np} = 3,43 \text{ МПа.}$$

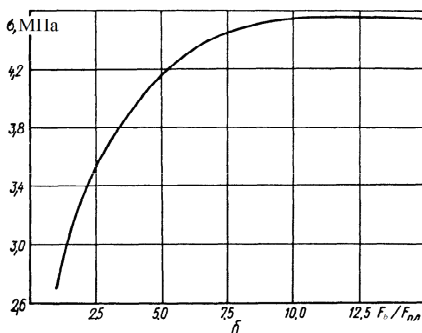
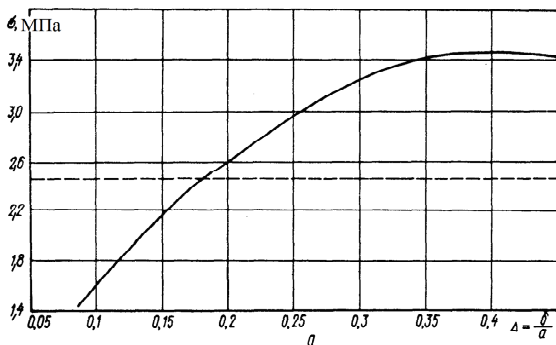


Рис. 2. Зависимость прочности клеевого соединения при равномерном отрыве от: а – относительной жесткости стальных пластин; б – величины отношения A_{σ} / A_{nl}

Полученная закономерность изменения прочности клеевого соединения в зависимости от жесткости пластины подтвердила ранее проведенные исследования, где предельное значение прочности также было достигнуто при относительной жесткости пластин $\Delta = 0,33$.

Рост прочности клеевого соединения с увеличением относительной жесткости стальной пластины следует объяснить тем, что с увеличением жесткости пластин происходит выравнивание эпюры растягивающих

напряжений по всей площади приклейки. Очевидно, при этом уменьшается концентрация напряжений в месте приложения нагрузки, т. е. в центре пластины, и при жесткости $\Delta \geq 0,33$ эпюра растягивающих напряжений под пластиной приобретает прямоугольный вид. Бетон полностью по всей площади приклейки включается в работу на растяжение. Это и приводит к достижению максимальной прочности соединения при жесткости пластин $\Delta \geq 0,33$.

Анализ данных графика на рис. 2 также позволил установить совпадение значений предела прочности бетона при растяжении и предела прочности клеевого соединения при равномерном отрыве стальной пластины жесткостью $\Delta = 0,18$. Это значение $f_{ctk} = 2,46$ МПа отмечено на графике пунктирной линией.

При других значениях жесткости пластин, отличающихся от $\Delta = 0,18$, прочность клеевого соединения при равномерном отрыве может быть учтена понижающим либо повышающим коэффициентами перехода от значения предела прочности бетона при растяжении.

Значения коэффициента K_{Δ} , учитывающего относительную жесткость стальных пластин:

$\Delta \dots 0,06$	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33
$K_{\Delta} \dots 0,40$	0,57	0,74	0,85	1,00	1,11	1,16	1,28	1,33	1,37

Изменение соотношения площадей пластин и бетона в зоне приклейки существенно сказывается на прочности клеевого соединения. Так, при увеличении отношения $A_{\sigma} / A_{пл}$ до 8,16 раза прочность клеевого соединения возрастает более чем в 1,5 раза, после чего роста прочности соединения не наблюдалось.

Таким образом, в реальных условиях работы клеевого соединения в случае приклеивания крепежных узлов к бетонным или железобетонным конструкциям необходимо учитывать возможность повышения прочности по отношению к величине сопротивления бетона на растяжение в зависимости от удаления крепежного узла от обреза фундамента (конструкции).

Воздействие приклеенной стальной пластины на часть поверхности рассматриваемого бетонного образца (в реальных условиях – фундамента или конструкции) в данном случае в некоторой степени подобно местному сжатию бетона. Поэтому при расчете клеевого соединения можно расчетное напряжение привести к виду, аналогичному при расчете на местное сжатие, и выразить зависимостью

$$\sigma_{кл} = \gamma_1 \times f_{ctk},$$

где $\gamma_1 = \sqrt[3]{A_{\sigma} / A_{пл}}$.

Значение γ_1 не должно превышать значений коэффициента γ_1 , приведенного в ДБН В.2.6-98:2009 при учете воздействия только местной нагрузки.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы при проектировании безанкерного крепления. Поскольку разрушение клеевого соединения во всех случаях происходило по бетону, то расчет его рекомендуется выполнять, исходя из расчетного сопротивления бетона растяжению. Тогда прочность клеевого соединения при равномерном отрыве составит

$$P_{\text{кст}} \leq K_{\Delta} \times \gamma_1 \times f_{\text{ctk}} \times A_{\text{пл}},$$

где K_{Δ} – коэффициент, учитывающий относительную жесткость стальной пластины; γ_1 – коэффициент, учитывающий местный характер приложения нагрузки; f_{ctk} – расчетное сопротивление бетона растяжению, кг/см² по ДБН В.2.6-98:2009; $A_{\text{пл}}$ – площадь стальной пластины, см².

Эта зависимость относится к случаю применения стальных пластин квадратной формы. При использовании пластин другой формы необходимо дополнительно учитывать соответствующие повышающий и понижающий коэффициенты, значения которых в настоящее время уточняются.

Кроме того, необходимо провести теоретические исследования и решить задачу о влиянии конструктивных характеристик крепежного узла, прочности бетона. Математическая модель данного соединения разработана [8].

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. 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. 5. 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. 6. 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. 7. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінеріонбуд України, 2011. 8. 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.