

СССР и ЧССР / Е.Горачек, В.Лишак, Д.Пуме и др.; Под ред. В.Лишака – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с.

Получено 30.08.2007

УДК 691.58.668.3

Л.Н.ШУТЕНКО, д-р техн. наук, М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук,
Р.Б.ТКАЧЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ЗАВИСИМОСТЬ ГЛУБИНЫ ЗАДЕЛКИ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТ ПРОЧНОСТИ АКРИЛОВОГО КЛЕЯ

Приводятся результаты экспериментов по определению глубины заделки в бетон арматурных стержней класса А500 в зависимости от прочности акрилового клея.

В связи с использованием в Украине в строительном производстве нового сортамента арматурной стали согласно ДСТУ 3760-98 [1] авторами проведены сравнительные аналитические исследования геометрических характеристик арматурных стержней классов А500С и АШ, а также определена прочность клеевой анкеровки стержней при использовании акриловых клеев различных составов. Исходя из результатов экспериментов определена глубина заделки арматурных стержней класса А500С модифицированными акриловыми клеями, обеспечивающими надежность работы железобетонных конструкций.

Как показали исследования [2-4], преимуществами арматуры класса А500С перед арматурой класса А-Ш являются: высокая пластичность, исключение хрупких разрушений сварных соединений, высокий предел текучести и расчетное сопротивление, позволяющее получать более 20% экономии стали (в среднем экономия составляет 10%); более низкая себестоимость производства, поэтому цена арматуры класса А500С не превышает цены арматуры класса А-Ш при значительно более высокой прочности. Арматура класса А-Ш (А-400), изготавливается из сталей марок 25 Г2С и 35 ГС по ГОСТ 5781. НИИЖБ (г.Москва) совместно с металлургическими предприятиями выполнен комплекс работ по созданию и освоению промышленного производства арматуры класса А500С из стали с содержанием углерода не более 0,74% и углеродным эквивалентом не более 54%. К этому времени почти все страны Европы полностью перешли на производство и применение арматуры класса А500С. В последние годы и на Украине в строительстве широко используется арматура указанного класса, в связи с чем возникла необходимость исследовать прочность анкеровки арматурных стержней класса А500С в бетон акриловыми

клеями.

Исследованиям прочности анкерного соединения на акриловых клеях различных составов при воздействии на арматурный стержень кратковременного выдергивающего усилия посвящены работы Л.Н.Шутенко, М.С.Золотова [5-9], Фам Минь Ха [6], А.О.Гарбуз [7-9]. Однако в указанных работах использовалась арматура класса АШ, геометрия которой в значительной мере отлична от арматурного проката класса А500С. В ходе аналитических исследований [10] получены модульные значения шага ребер арматурных стержней (табл.1).

Таблица 1

№ профиля	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25
Шаг по ДСТУ	4,5	6,0	6,3	7,5	8,8	10,0	11,3	11,6	12,8	14,5
Шаг по ГОСТ	5,0	5,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
λ в шаге	0,5	1,0	0,7	0,5	1,8	2,0	3,3	3,6	4,8	6,5

В поперечном разрезе стержня для определения площади зацепления непосредственно самих ребер получены следующие значения:

- Ø 25 АШ ГОСТ 5781-82* $S=1,201 \text{ см}^2$;
- Ø 25 А500С ДСТУ 3760-98 $S=0,605 \text{ см}^2$;
- Ø 20 АШ ГОСТ 5781-82* $S=0,966 \text{ см}^2$;
- Ø 20 А500С ДСТУ 3760-98 $S=0,420 \text{ см}^2$;
- Ø 16 АШ ГОСТ 5781-82* $S=0,777 \text{ см}^2$;
- Ø 16 А500С ДСТУ 3760-98 $S=0,263 \text{ см}^2$;
- Ø 10 АШ ГОСТ 5781-82* $S=0,323 \text{ см}^2$;
- Ø 10 А500С ДСТУ 3760-98 $S=0,105 \text{ см}^2$.

На условную принятую погонную длину стержня, равную 10 его диаметрам $L=10d_s$ площадь зацепления ребер имеет следующие значения:

- Ø 25 АШ ($L=10d_s=25 \text{ см}$) $S=1,201 \text{ см}^2 \times 31 = 37,23 \text{ см}^2$;
- Ø 25 А500С ($L=10d_s=25 \text{ см}$) $S=0,605 \text{ см}^2 \times 17 = 10,29 \text{ см}^2$;
- Ø 20 АШ ($L=10d_s=20 \text{ см}$) $S=0,966 \text{ см}^2 \times 25 = 24,15 \text{ см}^2$;
- Ø 20 А500С ($L=10d_s=20 \text{ см}$) $S=0,420 \text{ см}^2 \times 17 = 7,35 \text{ см}^2$;
- Ø 16 АШ ($L=10d_s=16 \text{ см}$) $S=0,777 \text{ см}^2 \times 20 = 15,54 \text{ см}^2$;
- Ø 16 А500С ($L=10d_s=16 \text{ см}$) $S=0,263 \text{ см}^2 \times 16 = 4,21 \text{ см}^2$;
- Ø 10 АШ ($L=10d_s=10 \text{ см}$) $S=0,323 \text{ см}^2 \times 14 = 4,52 \text{ см}^2$;
- Ø 10 А500С ($L=10d_s=10 \text{ см}$) $S=0,105 \text{ см}^2 \times 16 = 1,68 \text{ см}^2$.

Такое сравнение геометрических параметров кольцевого и серповидного арматурного проката показывает, что площадь сцепления арматуры класса АШ значительно больше, чем арматуры класса А500С.

В кольцевом профиле по ГОСТ 5781-82* наличие концентраторов напряжений в местах пересечения поперечных ребер с продольными является одной из основных причин снижения прочностных характеристик арматуры класса АШ. По сравнению с кольцевым, серповидный профиль способствует формированию более высоких (выше на 4-8%) прочностных и пластических свойств, не имеет концентраторов напряжений в виде пересечений продольных ребер с поперечными, однако имеет худшие показатели, характеризующие площадь сцепления с бетоном и акриловыми клеями.

Экспериментальные исследования прочности анкеровки арматурных стержней периодического профиля класса А500С при кратковременном воздействии на клеевой анкер выдерживающего усилия проводили для двух случаев заделки стальных стержней акриловыми клеями: без модифицированных добавок и с ними [11-14]. В качестве бетонных образцов использовали бетонные блоки размером 50×60×240 см, которые изготавливали в заводских условиях и выдерживались в пропарочных камерах. При проведении экспериментов исследовали зависимость прочности клеевой анкеровки от глубины заделки арматурного стержня и прочности бетона. К моменту проведения экспериментов прочность бетона соответствовала проектной – классов В10, В20 и В30. Скважины для анкеровки арматурных стержней образовались путем сверления бетона буровым инструментом.

С целью выявления необходимой глубины анкеровки арматурных стержней она изменялась от 10 до 25 диаметров анкера (глубина заделки увеличивалась с шагом 2,5 диаметров анкера). Расстояние от грани бетонной конструкции до центра анкера было принято 250 мм. Минимальное значение глубины заделки стержня ($10d_s$) принято по результатам экспериментальных и теоретических исследований, выполненных ранее [5-9]. Толщину клеевого слоя принимали исходя из подобия анкерного соединения для всех принятых диаметров арматурных стержней.

В качестве образцов-анкеров использовали арматурные стержни периодического профиля класса А500С диаметрами $d_s=16, 20, 22, 25$ со следующими техническими характеристиками: предел текучести – 500 МПа, предел прочности – 600 МПа.

Для подтверждения соответствия технических свойств арматуры выполнены испытания на разрыв арматурных стержней, подготовленных для анкеровки в бетон. Результаты, полученные в ходе испытаний, подтвердили технические характеристики по ГОСТ 3760-98 и действительно соответствуют сертификату качества выданного заво-

дом-изготовителем. Перед заделкой арматурных стержней поверхности скважин в бетонных образцах очищали от пыли с помощью сжатого воздуха, а арматуру обезжировали ацетоном.

Приготовление акрилового клея и его отверждение проходило в естественных условиях при температуре воздуха 10-15°C. Акриловый клей при наборе прочности усаживался, вследствие чего вокруг анкера образовывались воронки глубиной 2-3 мм, в которые доливали акриловый клей. Такая существенная усадка клея свидетельствует о значительном модуле обжима анкерного стержня. Основные геометрические характеристики анкерных соединений в случае заделки арматурного стержня в бетонный массив представлены в табл.2.

Таблица 2

№ серии		Ø стержня, мм	Ø сква- жины, мм	Глубина заделки стержня		Толщина клеявого слоя δ, мм
акриловый клей				$l_{анк}$, мм	$l_{анк}/d_s$	
обыч- ный	модифи- цированный					
1	29	16A500C	30	160	10	8
2	30	16A500C	30	200	12,5	8
3	31	16A500C	30	240	15	8
4	32	16A500C	30	280	17,5	8
5	33	16A500C	30	320	20	8
6		16A500C	30	360	22,5	8
7		16A500C	30	400	25	8
8	34	20A500C	40	200	10	10
9	35	20A500C	40	250	12,5	10
10	36	20A500C	40	300	15	10
11	37	20A500C	40	350	17,5	10
12	38	20A500C	40	400	20	10
13		20A500C	40	450	22,5	10
14		20A500C	40	500	25	10
15	39	22A500C	45	220	10	10
16	40	22A500C	45	275	12,5	10
17	41	22A500C	45	330	15	10
18	42	22A500C	45	385	17,5	10
19	43	22A500C	45	440	20	10
20		22A500C	45	495	22,5	10
21		22A500C	45	550	25	10
22	44	25A500C	50	250	10	12,5
23	45	25A500C	50	312,5	12,5	12,5
24	46	25A500C	50	375	15	12,5
25	47	25A500C	50	437,5	17,5	12,5
26	48	25A500C	50	500	20	12,5
27		25A500C	50	562,5	22,5	12,5
28		25A500C	50	625	25	12,5

Испытания на прочность образцов анкерного соединения проводили через 5 суток отверждения клея в естественных условиях.

Было изготовлено 48 серий образцов анкерных соединений с заделкой арматурных стержней обычным акриловым клеем на глубину $l_{анк}= 10d_s, 12,5d_s, 15 d_s, 17,5 d_s, 20 d_s, 22,5 d_s$ и $25 d_s$, модифицированным, имеющим повышенные адгезионные и когезионные свойства – на глубину $l_{анк}= 10 d_s, 12,5 d_s, 15 d_s, 17,5 d_s$ и $20 d_s$. Количество образцов клеевой анкеровки для каждой серии определялось планированием эксперимента. В каждой серии было шесть образцов клеевой анкеровки. Всего было испытано 288 образцов клеевой анкеровки. Каждая серия образцов состояла из двух партий: в первой партии использовался обычный акриловый клей, а во второй – с модифицирующей добавкой, имеющий повышенные адгезионные и когезионные свойства.

В качестве силового устройства использовали 50-тонный гидравлический домкрат. Во время испытаний предусматривалось удаление опорных узлов установки от оси заделанного стержня с тем, чтобы в бетоне была возможность образования конуса выкола бетона или его разрушения при малой глубине заделки анкера. Крепление арматурных стержней в захватах установки осуществляли при помощи цанговых захватов таким образом, чтобы не ослаблять сечение свободного конца анкера надрезкой. Скорость загрузки не контролировалась. Масло подавали в домкрат с помощью ручного насоса. Схема установки для испытания образцов показана на рис.1.

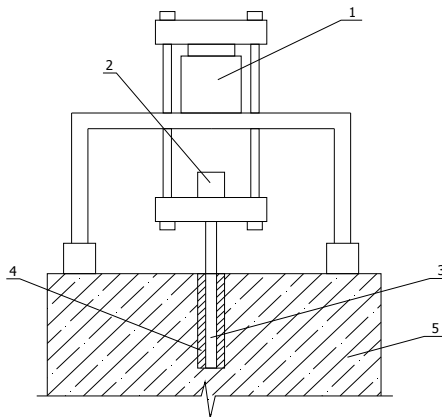


Рис.1 – Установка для испытаний на выдергивание арматурных стержней из бетонного массива:
 1 – гидравлический домкрат; 2 – цанговый зажим; 3 – арматура из стали класса А500С;
 4 – клеевая прослойка; 5 – бетонный блок.

Параллельно с клеевой анкерровкой стержней изготавливали контрольные образцы из применяемого акрилового клея с целью определения его прочности при сжатии и срезе.

Анализ результатов экспериментов показал следующее. Прочность и характер разрушения клеевой анкерровки арматуры существенно зависит от класса бетона, глубины заделки стержня и состава акрилового клея.

В случае анкерровки арматурных стержней в бетон обычными акриловыми клеями [11-14], прочность которых на сжатие составила 80 МПа и срез – 25,8 МПа, несущая способность при различных глубинах заделки имела следующие значения.

В случае клеевой анкерровки арматурных стержней в бетон класса В10 на глубину $l_{анк} = 10d_s$ значение несущей способности было равно 420 МПа, что составило 70% от предела прочности арматуры на растяжение. Разрушение анкерного соединения имело смешанный характер: частично по бетону (возле загруженного конца анкера) с образованием конусного выкола и по телу клеевого слоя. При этом конус выкола образуется практически на половину глубины заделки арматурного стержня. Разрушение по телу клея проходило в результате его среза вдоль ребер арматуры.

При увеличении глубины заделки до 12,5 диаметров анкера значение несущей способности составило 450 МПа, что составляет 75% от предела прочности арматуры на растяжение. Разрушение анкерного соединения происходило аналогично предыдущему. При этом конус выкола составлял около 40% глубины заделки анкера.

При глубине заделки до 15; 17,5 и 20 диаметров анкера значение несущей способности составило соответственно 471, 492 и 520 МПа, что составляет около 85% от предела прочности арматуры на растяжение. Разрушение анкерного соединения проходило аналогично предыдущему случаю. Конус выкола образовывался на 15-25% глубины заделки анкера.

При дальнейшем увеличении глубины заделки анкера до 22,5 и 25,0 его диаметров разрушение анкерного соединения произошло в результате разрыва стержня (рис.2).

Увеличение прочности бетона до классов В20 и В30 влекло за собой незначительное увеличение прочности и некоторое изменение характера разрушения анкерного соединения. Конус выкола бетона зависел от прочности бетона и был значительно меньше, чем в первом случае, при глубинах заделки анкера до $l_{анк} = 20d_s$.

Следует отметить три характерных случая разрушения анкерного соединения в случае заделки в бетон арматурных стержней класса

A500С с помощью акриловых клеев.



Рис.2 – Характер разрушения клеевой анкеровки арматурных стержней класса А500С при заделке их в бетон акриловыми клеями на глубину $l_{анк} = 17,5d_s$ и $22,5d_s$

В первом случае разрушение анкерных соединений имело смешанный характер и характеризовалось образованием конуса выкола бетона почти на 50% глубины заделки анкера и среза клеевого слоя вдоль ребер арматуры. Такое разрушение характерно для случаев заделки стержня на глубину от 10 до 12,5 диаметров в бетон класса В10.

Во втором случае разрушение анкерных соединений имело также смешанный характер. Разрушение проходило с образованием конуса выкола бетона вокруг клеевого анкера почти на 25% глубины заделки арматуры. Такое разрушение характерно для случаев заделки арматурных стержней на глубину 15 и 17,5 диаметров в бетон класса В10 и 10-12,5 диаметров – в бетон класса В20 и В30.

В третьем случае разрушение анкерных соединений проходило в результате разрушения арматурных стержней. Такое разрушение характерно для случаев заделки арматурных стержней в бетон на глубину 22,5 диаметров и более.

В результате проведенных экспериментов можно сделать вывод, что глубина заделки в пробуренных скважинах арматурных стержней класса А500С в бетонный массив с помощью немодифицированных акриловых клеев равна 22,5 диаметров. В этом случае обеспечивается

прочность клеевой анкеровки арматурных стержней класса А500С равной их прочности на растяжение.

В случае анкеровки арматурных стержней в бетон модифицированными клеями, прочность которых составила при сжатии 96,0 МПа и срезе 36 МПа [11-14], несущая способность при различных глубинах заделки имела следующие значения.

В случае клеевой анкеровки арматурных стержней класса А500С в бетон класса В10 на глубину $l_{анк} = 10d_s$ значение несущей способности было равно 460 МПа, что составило около 70% от предела прочности арматуры на растяжение. Разрушение анкерного соединения имело смешанный характер: частично по бетону (с образованием конуса выкола у загруженного конца анкера) и по телу клеевого слоя. При этом конус выкола составлял по высоте около 40% глубины заделки анкера.

При увеличении глубины заделки до 12,5 и 15,0 диаметров анкера значения несущей способности составили соответственно 480 и 530 МПа, что составило около 88% от прочности арматуры на растяжение. Характер разрушения анкерного соединения имел предыдущий вид. Однако конус выкола образовывался на 12-20% глубины заделки анкера.

При дальнейшем увеличении глубины заделки арматурного стержня до 17,5 и 20,0 его диаметров разрушение анкерных соединений для всех диаметров анкера произошло в результате разрыва стержня (рис.2).

Аналогично предыдущему случаю увеличение прочности бетона до классов В20 и В30 влекло незначительное увеличение прочности и некоторое изменение характера разрушения анкерного соединения. Конус выкола бетона зависел от прочности бетона и был несколько меньше, чем для бетона класса В10 при глубинах заделки анкера до $l_{анк} = 15d_s$.

Анализ данных выполненных экспериментальных исследований показал, что глубина заделки в бетон арматурных стержней класса А500С с помощью обычных акриловых клеев составляет $22,5d_s$, а модифицированных – $17,5d_s$. Следующим этапом исследования клеевой анкеровки арматурных стержней класса А500С предполагается исследование деформативности анкерных соединений при их кратковременном нагружении.

1.Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. – К.: Госстрой Украины, 2002. – 39 с.

2.Семечкин А., Семченков А., Мадатян С., Тихонов И. Применение арматурной

стали класса А500С в строительстве жилых домов из монолитного железобетона // <http://www.gvozdik.ru/analit/3100.html>.

3.Румянцева З. Арматура нового класса // <http://www.niizhb.ru>.

4.Стеблов А., Дуброва И., Ленартович Д. Строительная арматура – применение и тенденции развития // <http://www.AIS.by>.

5.Шутенко Л.Н., Золотов М.С. Крепление башенных сооружений к фундаментам анкерными болтами и арматурными стержнями на акриловых клеях // Вісник ДДАБА. Вып.5. – Макеевка, 2001. – С.176-178.

6.Shutenko L.N., Zolotov M.S., Pham Minh Ha. Reinforcement of grooved steel in concrete by acrylic glue // Construction. – № 1. – Hanoi, 2000. – P. 10-11.

7.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Кратковременная прочность анкеровки арматурных стержней модифицированными акриловыми клеями // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.7. – Рівне: РДТУ, 2001. – С. 238-243.

8.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Влияние геометрии анкерного соединения на прочность и напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурных стержней // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. Вип.59. – К.: НДІБК, 2003. – С.79-86.

9.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Влияние на прочность глубины заделки арматурных стержней периодического профиля модифицированными акриловыми клеями в железобетонном элементе // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.13. – Рівне: НУВГП, 2005. – С.295-301.

10.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О., Ткаченко Р.Б. Усиление сцепления арматуры с бетоном // Материалы II Междунар. науч.-техн. интернет-конференции «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства». – Харьков, 2007. – С.127-130.

11.Золотов С.М. Акриловые клеи для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. Вип.59. – К.: НДІБК, 2003. – С.440-447.

12.Zolotov S. Adhesive on the Basis of Acrylic Compound to Join Concrete and Reinforced Concrete Elements // Science, Education and Society: 11 International Scientific Conference University of Zilina. – Slovak Republic, part I, 2003. – P. 323-325.

13.Золотов С.М. Зависимость когезионной прочности акриловых клеев от различных факторов // Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Баштові споруди і матеріали, конструкції, технології: Зб. наук. праць. Т.2. – Макіївка: ДонДАБА, 2003. – С.222-226.

14.Золотов С.М. Инновационные материалы на основе акриловых полимеров для восстановления и ремонта конструкций объектов строительства и транспорта // Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта: Сб. науч. тр. Вып.30. – Днепропетровск: ПГАБА, 2004. – С.192-196.

Получено 30.10.2007