

УДК 691.58.668.3

к.т.н. Ткаченко Р.Б.,

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ПРОЧНОСТЬ АНКЕРОВКИ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ КЛАССА А500С АКРИЛОВЫМИ КЛЕЯМИ

В работе приведены экспериментальные исследования по определению кратковременной, длительной и усталостной прочности анкеровки арматуры серповидного профиля класса А500С при заделке их в бетон различных марок на акриловых клеях.

Ключевые слова: Акриловый клей; анкерные соединения; арматура А500С; прочность, анкеровка.

В связи с использованием в строительном производстве Украины сортамента арматурной стали ДСТУ 3760:2006 [1] проведены экспериментальные исследования по определению кратковременной, длительной и усталостной прочности анкеровки арматурных стержней класса А500С различных диаметров с использованием акриловых клеев различных составов, а также проведены аналитические исследования геометрических характеристик арматурных стержней классов А500С и А-III.

Исследования по определению кратковременной прочности и деформативности анкеровки арматуры класса А500С [2-8] заключались в выдерживании арматурных стержней класса А500С, установленных с помощью акриловых клеев из бетонных и железобетонных образцов. В первом случае арматурные стержни заделывались в бетонный массив, а во втором – в железобетонные образцы из бетона классов В20 и В30. Таким образом, охватываются все возможные случаи клеевой заделки арматурных стержней в бетон и железобетон на практике. С целью выявления оптимальной глубины анкеровки она изменялась от 10 до 25 диаметров анкера. Глубина заделки увеличивалась с шагом 2.5 диаметров анкера ($l_{анк}=10d_s, 12.5d_s, 15d_s, 17.5d_s, 20d_s, 22.5d_s$ и $25d_s$ – для обычного акрилового клея, и $l_{анк}=10d_s, 12.5d_s, 15d_s, 17.5d_s$ и $20d_s$ для модифицированного акрилового клея с повышенными адгезионными и когезионными свойствами. Индикаторы замеряли смещения $\Delta_{(0)}$ незагруженного и $\Delta_{(l)}$ загруженного концов заделанной части анкера. В случае клеевой анкеровки арматуры А500С в бетон класса В20 на глубину $l_{анк}=10d_s$ значение несущей способности равно 420МПа (70% от предела прочности арматуры класса А500С на растяжение). Разрушение имело смешанный характер: частично по бетону (возле загруженного конца анкера) с

образованием конусного выкола по телу клевого слоя. При $l_{анк}=12.5d_s$ несущая способность равна 450 МПа (75% от предела прочности арматуры А500С). Конус выкола составил около 40% от $l_{анк}$. При $l_{анк}=15d_s$; $17.5d_s$ и $20d_s$ значение несущей способности составило соответственно 471МПа, 492МПа и 520МПа, что около 80-90% от предела прочности арматуры класса А500С. Разрушение анкерного соединения проходило аналогично предыдущему случаю. Конус выкола образовывался на 15-25% от $l_{анк}$. При увеличении $l_{анк}$ до $22.5d_s$ и $25.0d_s$ разрушение анкерного соединения происходило в результате разрыва арматурного стержня. Увеличение прочности бетона до класса В30 влекло за собой незначительное увеличение прочности и некоторое изменение характера разрушения. Конус выкола бетона зависел от прочности бетона и был меньше, чем в первом случае, при глубинах заделки анкера до $l_{анк}=20d_s$. Влияние удаления анкера от обреза бетонного массива на прочность соединения показало, что при приближении анкера к обрезу массива до $l_{анк}=5d_s$ уменьшалась несущая способность анкерного соединения при заделке анкера в бетон класса В20 на глубину $l_{анк}=15d_s$ и $l_{анк}=20d_s$. Значение несущей способности соединения уменьшилось соответственно до 476.0МПа и 478.0МПа, что составило 82% от предела прочности арматурного стержня класса А500С.

Используя модифицированный акриловый клей для анкеровки арматуры класса А500С в бетон класса В20 на глубину $l_{анк}=10d_s$ значение несущей способности составило 460МПа, что около 70% от предела прочности арматуры А500С на растяжение. Разрушение имело смешанный характер: частично по бетону (с образованием конуса выкола у загруженного конца анкера) и частично по телу клевого слоя. Конус выкола составлял по высоте 40% $l_{анк}$. Увеличение $l_{анк}$ до $12.5d_s$ и $15.0d_s$ значения несущей способности анкерного соединения составили соответственно 480МПа и 530МПа, что около 88% от прочности арматуры класса А500С на растяжение. Конус выкола бетона образовывался на 12-20% от $l_{анк}$. При $l_{анк}=17.5d_s$ разрушение анкерных соединений для всех d_s произошло в результате разрыва анкера, что позволило определить конечную $l_{анк}$ арматурного стержня класса А500С с помощью модифицированного акрилового клея. Увеличение прочности бетона до класса В30 влекло незначительное увеличение прочности соединения. Конус выкола бетона зависел от прочности бетона и был несколько меньше, чем для бетона класса В20 при глубинах заделки анкера до $l_{анк}=15d_s$. Анализ экспериментальных исследований показал, что глубина заделки в бетон арматурных стержней класса А500С с помощью обычных акриловых клеев составляет $l_{анк}=22,5d_s$, а модифицированных $l_{анк}=17,5d_s$. В момент разрушения средние значения нормальных осевых растягивающих напряжений на

загруженном конце анкера были равны соответственно 463МПа для первой (обычный клей) и 504МПа для второй серии образцов (модифицированный). Смещения $\Delta_{(0)}$ незагруженного конца анкера наблюдались при $\sigma_s=120$ МПа для первой и $\sigma_s = 160$ МПа для второй серии образцов. При $l_{анк}=12,5d_s$ несущая способность при поперечном армировании железобетонного образца арматурой $\text{Ø}3A240C$ $\sigma_s = 533$ МПа, а при поперечной арматуре $\text{Ø}10A240C$ $\sigma_s = 592$ МПа. Смещения $\Delta_{(0)}$ незагруженного конца анкера наблюдались при $\sigma_s \geq 160$ МПа ($\text{Ø}3A240C$) и $\sigma_s \geq 210$ МПа ($\text{Ø}10A240C$). При $l_{анк}=15d_s$ происходило при анкеровке арматурного стержня в железобетонный образец с поперечным армированием $\text{Ø}3A240C$ при $\sigma_s=562$ МПа, а при поперечной арматуре $\text{Ø}10A240C$ составляла $\sigma_s = 612$ МПа. Смещения $\Delta_{(0)}$ незагруженного конца анкера наблюдались при $\sigma_s \geq 212$ МПа ($\text{Ø}3A240C$) и $\sigma_s \geq 237$ МПа ($\text{Ø}10A240C$). При $l_{анк}=17,5d_s$ разрушение анкерных соединений с поперечным армированием $\text{Ø}3A240C$ происходило при $\sigma_s=578$ МПа, а при использовании поперечной арматуры $\text{Ø}10A240C$ $\sigma_s=632$ МПа. Смещения $\Delta_{(0)}$ незагруженного конца анкера наблюдались при $\sigma_s \geq 234$ МПа ($\text{Ø}3A240C$) и $\sigma_s \geq 261$ МПа ($\text{Ø}10A240C$). Смещения $\Delta_{(l)}$ загруженного конца анкера имели значения подобные анкерному соединению при $l_{анк}= 15d_s$. При $l_{анк}= 20d_s$ в железобетонный образец с поперечным армированием $\text{Ø}3A240C$ разрушение происходило по контакту клей-бетон с конусом выкола вокруг клеевой обоймы; а при анкеровке арматурного стержня класса А500С в железобетонный образец с поперечным армированием $\text{Ø}10A240C$ образцы анкерного соединения разрушались в результате разрыва анкера с образованием конуса выкола вокруг клеевой обоймы. Средние значения нормальных осевых растягивающих напряжений на загруженном конце стержня были равны: при поперечном армировании образца арматурой $\text{Ø}3A240C$ $\sigma_s = 678$ МПа, а при поперечной арматуре $\text{Ø}10A240C$ $\sigma_s = 692$ МПа. Смещения $\Delta_{(0)}$ незагруженного конца анкера наблюдались при $\sigma_s \geq 252$ МПа ($\text{Ø}3A240C$) и $\sigma_s \geq 284$ МПа ($\text{Ø}10A240C$). Наблюдался линейный характер смещений $\Delta_{(0)}$ и $\Delta_{(l)}$. После достижения σ_s значений предела текучести наблюдались значительные смещения $\Delta_{(l)}$ загруженного конца анкера. Разрушение анкерных соединений при $l_{анк}=22,5d_s$ происходило в результате разрыва арматурного стержня без образования конуса выкола бетона вокруг клеевой обоймы и без трещин в бетоне возле загруженного конца анкера. В момент разрушения средние значения нормальных осевых растягивающих напряжений на загруженном конце анкера были равны $\sigma_s \approx 675$ МПа, то есть выше предела прочности арматурного стержня при растяжении. Смещения $\Delta_{(0)}$ и $\Delta_{(l)}$ в случае заделки в железобетонный образец с поперечным армированием $\text{Ø}3A240C$ мм и $10A240C$ почти одинаковые и носят линейный характер: $\Delta_{(0)}$ – до $\sigma_s=510$ МПа; $\Delta_{(l)}$ – до $\sigma_s = 610$ МПа.

Независимо от вида образцов анкеровки разрушение происходило в результате разрыва арматурных стержней при $l_{анк}=17,5d_s$, используя модифицированный акриловый клей. При использовании в образцах акрилового клея обычного состава разрушения наблюдается при $l_{анк}=22,5d_s$. Характер разрушения зависит от $l_{анк}$ стержней, а величина модуля упругости акрилового клея $E_{кл}$ влияет только на его деформативность.

При определении длительной прочности использованы арматурные стержни $\varnothing 12A500C$ и $\varnothing 16A500C$ в бетон класса В20 в возрасте 28 суток. Глубина заделки анкеров составляла соответственно при $l_{анк}=17,5d_s = 210$ и 280мм для модифицированных акриловых клеев и $l_{анк}=22,5d_s = 270$ и 360мм для акриловых клеев обычного состава. Стабилизация длительной прочности наступает через 150 суток. При этом длительные нормальные растягивающие напряжения в анкере на загруженном конце для $\varnothing 12$ и 16мм соответственно составили 246.5 и 240.9МПа. Загружение образцов производилось пяти и восьми тонными пружинами, которые передавали на арматурный стержень постоянно действующее статическое выдерживающее усилие. Уровень нагружения образцов был принят равным расчетному сопротивлению арматуры класса А500С согласно ДСТУ 3760:2006 ($\sigma_s = 450$ МПа). Применялся акриловый клей с различными значениями модуля упругости. В первой партии $E_k = 8,78 \cdot 10^3$ МПа, во второй $E_k = 11,67 \cdot 10^3$ МПа, и в третьей партии $E_k = 13,15 \cdot 10^3$ МПа.

Результаты экспериментов показали три четко выраженные этапа деформативности анкерного соединения. Первый этап характеризуется интенсивным ростом сдвиговых деформаций клеевого слоя. Для первой партии образцов 25 суток, для второй – 20 суток и для третьей 12 суток. Второй этап характеризуется спадом среднесуточных деформаций. Для первой партии образцов он составил 30, для второй – 24 и для третьей – 14 суток. Третий этап характеризуется отсутствием роста сдвиговых деформаций (в пределах точности измерений). Предельная величина деформаций для $l_{анк}=17,5d_s$ при $E_k = 8,78 \cdot 10^3$ МПа составила 0.106мм; при $E_k = 11,67 \cdot 10^3$ МПа – 0.078мм и при $E_k = 13,15 \cdot 10^3$ МПа – 0.062мм. В случае заделки анкера в бетон на глубину $l_{анк} = 22,5d_s$ эти деформации были соответственно равны при $E_k = 8,78 \cdot 10^3$ МПа – 0,088мм; при $E_k = 11,67 \cdot 10^3$ МПа – 0,053мм и при $E_k = 13,15 \cdot 10^3$ МПа – деформации составили в среднем 0,039мм. Во всех случаях деформации носят затухающий характер и стабилизируются в течение 20...30 суток. В случае использования в соединении арматурного стержня диаметром $\varnothing 12A500C$ максимальная деформативность составила 0,094 мм для $l_1 = 20$ ($d_{омв.} = 20$ мм; толщина клеевого слоя $\sigma = 3$ мм); 0.102мм для $l_1 = 18$ ($d_{омв.} = 20$ мм; $\sigma = 4$ мм); и 0.112мм для $l_1 = 16$ ($d_{омв.} = 21$ мм; $\sigma = 5$ мм). Для клеевых анкеров с арматурным стержнем $\varnothing 16$ эти деформации равны: 0,106мм для $l_1 = 20$ ($d_{омв.} = 24$ мм; $\sigma =$

4мм); 0.118мм для $l_1 = 18$ ($d_{омв.} = 27$ мм; $\sigma = 5,5$ мм); и 0.131мм для $l_1 = 16$ ($d_{омв.} = 30$ мм; $\sigma = 7$ мм).

Установлено, что длительная прочность анкеровки арматурных стержней класса А500С акриловыми клеями обычных составов и модифицированных соответственно при глубинах анкеровки арматурных стержней $l_{анк}=17,5d_s$ и $l_{анк}=22,5d_s$ обеспечивается при длительно действующих напряжениях равных $0,9 \sigma_6$. Исследования деформативности показали, что она зависит модуля упругости акрилового клея E_k , глубины заделки арматурного стержня $l_{анк}$ и толщины клеевого слоя. Деформативность анкерного соединения имеет затухающий характер. Стабилизация деформаций ползучести во всех случаях происходит в течении 20-30 суток.

Сопоставление требований различных стандартов, норм и правил по определению усталостной прочности арматурного проката можно установить, что максимальные напряжения цикла в большинстве стандартов принимаются равными $0,6\sigma_y$. Были приняты частоты многократно повторных нагружений $\omega = 10$ Гц и 7Гц (600 и 420 колебаний в минуту) [8].

Глубина заделки арматурных стержней составляла при $l_{анк}=17,5d_s = 210$ мм ($\varnothing 12A500C$) и 280мм ($\varnothing 16A500C$) в случае использования модифицированных акриловых клеев и $l_{анк}=22,5d_s = 270$ мм ($\varnothing 12A500C$) и 360мм ($\varnothing 16A500C$) при использовании клеев обычных составов.

В первой партии образцов анкерного соединения был использован клей с модулем упругости $E_k = 8 \cdot 10^3$ МПа; во второй $E_k = 1 \cdot 10^4$ МПа; третья партия образцов была с модулем упругости $E_k = 1,4 \cdot 10^4$ МПа.

Начальное усилие затяжки анкера $F = 29,5$ кН (204МПа). Затем включали пульсатор и доводили нагрузку чтобы верхний предел напряжения в анкере $\sigma_{max} = 300$ МПа, а нижний $\sigma_{min} = 150$ МПа при асимметрии цикла $\rho=0,5$ и при асимметрии цикла $\rho = 0,33$ верхний предел напряжения в анкере $\sigma_{max} = 300$ МПа, а нижний $\sigma_{min} = 100$ МПа. Коэффициент асимметрии цикла при таком размахе напряжений составил $\rho = \sigma_{min} / \sigma_{max}$. В начальный период загрузки показания тензорезисторов фиксировали через 5000, затем через $2 \cdot 10^4$, а в дальнейшем – через $2 \cdot 10^5$ циклов. Испытания проводили до достижения числа циклов нагружения $n = 2 \cdot 10^6$.

Результаты испытаний по определению усталостной прочности анкерного соединения при многократно повторном нагружении, более $2 \cdot 10^6$ циклов, при глубинах заделки арматурного стержня $l_{анк} = 17,5d_s$, используя модифицированный акриловый клей, как и при глубине заделки стержня $l_{анк} = 22,5d_s$, используя обычный акриловый клей, вне зависимости от диаметра арматурного стержня, коэффициента асимметрии цикла ρ и модуля упругости акрилового клея $E_{кл}$, показали, что разрушение образцов анкерного соединения

не происходило. Акриловый клей, имея модуль упругости $E_{кл}$ меньше, чем у арматуры и бетона, выступает в роли демпфера, при многократно повторном нагружении, тем самым снимая величину нагрузки и увеличивая допустимое количество циклов нагружений.

Результаты эксперимента по определению остаточной прочности образцов анкерного соединения после испытания на усталость показали, что при частоте многократно повторной нагрузки 10Гц и модуле упругости $E_k = 8 \cdot 10^3$ МПа остаточная прочность анкерного соединения составила $\sigma_s = 545$ МПа. При модуле упругости акрилового клея $E_k = 1,0 \cdot 10^4$ МПа остаточная прочность составила $\sigma_s = 522$ МПа, а при модуле упругости акрилового клея $E_k = 1,4 \cdot 10^4$ МПа остаточная прочность анкерного соединения составила $\sigma_s = 512$ МПа.

При частоте многократно повторной нагрузки 7Гц и модуле упругости $E_k = 8 \cdot 10^3$ МПа остаточная прочность анкерного соединения составила $\sigma_s = 552$ МПа. При $E_k = 1,0 \cdot 10^4$ МПа остаточная прочность составила $\sigma_s = 536$ МПа, а при $E_k = 1,4 \cdot 10^4$ МПа остаточная прочность составила $\sigma_s = 532$ МПа.

При достижении данных значений нагружения происходило разрушение анкерного соединения в результате разрыва арматурного стержня класса А500С. Из полученных в ходе эксперимента данных видна четкая зависимость значения прочностных характеристик анкерного соединения от модуля упругости $E_{кл}$ акрилового клея.

Эксперименты по определению остаточной прочности образцов анкерного соединения после испытания их на усталостную прочность при многократно повторном нагружении показали, что при кратковременном статическом нагружении данные образцы имеют более низкую прочность относительно образцов анкерного соединения не подвергавшимся испытанию на усталостную прочность. Её значения находятся в пределах от 522 МПа до 552 МПа и зависят от характеристик акрилового клея и динамического нагружения анкерного соединения.

Исследования позволили определить оптимальную геометрию соединения:

- глубину заделки арматурных стержней класса А500С (ДСТУ 3760:2006) в бетон обычными акриловыми клеями составляет $l_{анк} = 22,5d_s$, а модифицированными $l_{анк} = 17,5d_s$. При указанных глубинах заделки деформативность анкерного соединения имеет линейный характер до достижения предела текучести в арматурном стержне;
- диаметр отверстия под арматурный стержень $d_{скв.} = d_s + (0.8...2)$ см, этот размер удовлетворяет как прочностным, так и технологическим требованиям;
- минимальное расстояние от оси арматурного стержня до края элемента конструкции или обреза фундамента составляет $5d_s$. Удаление арматурного

стержня от края бетонного массива оказывает влияние на деформативность клеевого анкера

Литература

1. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ3760:2006 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. – К.: Госстрой Украины, 2006. – С.39.
2. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О., Ткаченко Р.Б. Усиление сцепления арматуры с бетоном // Материалы II международной науч.-техн. интернет-конференции. Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства. Харьков 2007.с.127-130.
3. Шутенко Л.Н., Макогон Д.А., Ткаченко Р.Б. Влияние некоторых технологических факторов на прочность и деформативность клеевой анкеровки арматурных стержней // Материалы к 46-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'46. Одесская государственная академия строительства и архитектуры. Одесса 2007. с.209 – 210.
4. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Ткаченко Р.Б. Зависимость глубины заделки арматурных стержней класса А500С от прочности акрилового клея. // Коммунальное хозяйство городов.: Науч. – техн. сб. Вып.79.-К.:Техніка, 2007. с.36 – 45.
5. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Ткаченко Р.Б. Длительная прочность анкеровки арматуры класса А500С акриловыми клеями // Науковий вісник будівництва.: Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури. ХОТВ АБУ, 2008. с. 110 – 114.
6. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Ткаченко Р.Б. Прочность анкеровки арматуры класса А500С акриловыми клеями // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.: Збірник наукових праць. Випуск 16, частина 2. Рівне 2008. с.410 – 417.
7. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Ткаченко Р.Б. Деформативность анкеровки арматурных стержней класса А500С акриловыми клеями при кратковременных нагрузках. // Коммунальное хозяйство городов.: Науч. – техн. сб. Вып.81.-К.:Техніка, 2008. с.49 – 57.
8. Ткаченко Р.Б. Кратковременная, длительная и усталостная прочность анкеровки арматурных стержней класса А500С на акриловых клеях // Дисс.. на соискание ученой степени канд. техн. наук :05.23.01. – Харьков, 2010. – 180.

Анотація

В роботі наведено експериментальні дослідження по визначенню короткочасної, тривалої та втомної міцності анкерування арматури серповидного профілю класу А500С при закладанні їх в бетон різних марок на акрилових клеях.

Ключові слова: Акриловий клей; анкерні з'єднання; арматура А500С; міцність, анкерування.

Annotation

Experimentally proved short term, protracted and tireless durability of reinforcement of crescent cross-section armature class А500С by acryl glues

Keywords: Acryl glues; anchor connections; armature А500С; durability.