

Г.А.МОЛОДЧЕНКО, канд. техн. наук, В.А.СКЛЯРОВ
Харьковская государственная академия городского хозяйства

КРАТКОВРЕМЕННАЯ ПРОЧНОСТЬ АНКЕРНЫХ БОЛТОВ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ АКРИЛОВЫХ КЛЕЯХ

Приводятся результаты экспериментов по определению прочности заделки в бетон анкерных болтов диаметрами от 12 до 56 мм модифицированными акриловыми клеями.

В связи с созданием новых составов акрилового клея с модифицирующими добавками [1, 2], которые повысили его адгезионные и когезионные свойства, возникла необходимость определения глубины заделки в бетон гладких анкерных болтов и прочности крепления при статическом кратковременном нагружении.

Как показали предварительные исследования, использование модифицированных акриловых композиций с более высокими адгезионными и когезионными свойствами при анкероустановочных работах приводит к уменьшению глубины заделки анкеров, а, следовательно, к значительному экономическому эффекту.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с рекомендациями [3, 4]. Заключались они в выдергивании гладких анкерных стержней, установленных на модифицированных акриловых клеях, из бетонных кубов. Для выполнения испытаний использовали образцы в виде кубов, которые изготавливали в дерево-металлической опалубке из бетона класса В15. Образование отверстий в кубах производили при бетонировании с помощью пуансонов, диаметры которых принимали с учетом толщины клеевого слоя (табл.3-6).

Анкеры изготавливали из стали марки Ст3кп (ДСТУ 2651-94, ГОСТ 380-94) в виде стержней диаметрами от 12 до 56 мм и пределами текучести от 220 до 239 МПа. Диаметры анкеров и их физико-механические характеристики приведены в табл.1.

Таблица 1 - Физико-механические свойства стальных анкеров

Диаметр анкера d_s , мм	Предел прочности σ_b , мм	Предел текучести σ_y , МПа	Модуль упругости E , МПа	Коэффициент Пуассона μ
12	450,0	239	2,0·10 ⁵	0,25
16	446,0	237		
20	442,0	235		
24	440,0	232		
30	438,0	230		
36	426,0	227		
42	415,0	225		
48	408,0	223		
56	398,0	220		

В качестве клея использовали модифицированные акриловые композиции, физико-механические характеристики которых представлены в табл.2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства модифицированных акриловых клеев

Модификатор обычного акрилового клея	Предел прочности, МПа			Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона, μ
	при сжатии	при срезе	адгезионная при равномерном отрыве		
ZnO	98,61	33,78	18,6	$0,553 \cdot 10^4$	0,20
Метакриловая кислота	97,43	28,19	17,9	$0,521 \cdot 10^4$	
Молотая слюда	96,34	30,83	18,1	$0,528 \cdot 10^4$	

После достижения бетонными кубами возраста 28 суток изготавливали образцы анкерных соединений. Для этого стальные гладкие стержни обезжиривали ацетоном, из отверстий в бетонных кубах с помощью сжатого воздуха удаляли пыль. Анкеры устанавливали и центрировали в отверстиях (скважинах) бетонных кубов, после чего заливали в скважины модифицированный акриловый клей. Отверждение клея происходило при температуре среды 15-20 °С в течение 3-5 суток. В качестве модифицирующих добавок применяли окись цинка, метакриловую кислоту и молотую слюду [1, 2].

Диаметр скважин, которые были образованы в бетонных кубах, определяли из условия сохранения геометрического подобия размеров анкерного соединения и приведены в табл.3-6. Следует отметить, что исследовались анкера, диаметры которых охватывают практически весь возможный диапазон их применения [5, 6].

Таблица 3 – Геометрические параметры анкерных соединений в зависимости от диаметра анкера при глубине его заделки $10 d_s$

Диаметр анкера d_s , см	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Сохранение геометрического подобия размеров анкерного соединения $l_0 = \frac{l_{анк}}{r_s} = 20$; $l_1 = \frac{l_{анк}}{r_{ск}} = 10,9$	
		$d_{ск}$, мм	$\delta_{кл}$, мм
12	120	22	5,0
16	160	29,4	6,7
20	200	36,6	8,3
24	240	40	10,0
30	300	55	12,5
36	360	66	15,0
42	420	77	17,5
48	480	88	20,0
56	560	102,6	23,3

Таблица 4 – Геометрические параметры анкерных соединений в зависимости от диаметра анкера при глубине его заделки $9 d_s$

Диаметр анкера d_s , см	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Сохранение геометрического подобия размеров анкерного соединения $l_0 = \frac{l_{анк}}{r_s} = 18; l_1 = \frac{l_{анк}}{r_{ск}} = 9,82$	
		$d_{ск}$, мм	$\delta_{кл}$, мм
12	108	22	5,0
16	144	29,4	6,7
20	180	36,6	8,3
24	216	40	10,0
30	270	55	12,5
36	324	66	15,0
42	378	77	17,5
48	432	88	20,0
56	504	102,6	23,3

Таблица 5 – Геометрические параметры анкерных соединений в зависимости от диаметра анкера при глубине его заделки $8 d_s$

Диаметр анкера d_s , см	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Сохранение геометрического подобия размеров анкерного соединения $l_0 = \frac{l_{анк}}{r_s} = 16; l_1 = \frac{l_{анк}}{r_{ск}} = 8,73$	
		$d_{ск}$, мм	$\delta_{кл}$, мм
12	96	22	5,0
16	128	29,4	6,7
20	160	36,6	8,3
24	192	40	10,0
30	240	55	12,5
36	288	66	15,0
42	336	77	17,5
48	384	88	20,0
56	448	102,6	23,3

Установленная из геометрического подобия размеров сталеклевого соединения толщина клевого слоя позволяет исключить влияние поперечных размеров анкера на напряженное состояние. Из анализа результатов расчета, приведенных в табл.3-6, следует, что при соблюдении геометрического подобия независимо от глубины заделки анкера толщина клевого слоя для одного и того же диаметра остается постоянной величиной. Это позволяет определить влияние глубины заделки анкера на предел прочности клевого соединения при кратковременном действии выдергивающего усилия.

Таблица 6 – Геометрические параметры анкерных соединений в зависимости от диаметра анкера при глубине его заделки $7 d_s$

Диаметр анкера d_s , см	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Сохранение геометрического подобия размеров анкерного соединения $l_0 = \frac{l_{анк}}{r_s} = 14$; $l_1 = \frac{l_{анк}}{r_{ск}} = 7,64$	
		$d_{ск}$, мм	$\delta_{кл}$, мм
12	84	22	5,0
16	112	29,4	6,7
20	140	36,6	8,3
24	168	40	10,0
30	210	55	12,5
36	252	66	15,0
42	294	77	17,5
48	336	88	20,0
56	392	102,6	23,3

Исследования прочности анкерных соединений в зависимости от состава модифицированного клея и геометрических размеров соединения (глубина заделки от 10 до 7 диаметров анкера) проводили на отдельных сериях образцов. Схема испытаний образцов клеевой анкеровки при кратковременном воздействии на анкер выдерживающего усилия приведена на рисунке. Испытания выполняли на гидравлическом прессе УИМ-50 и ПГ-100. Скорость приложения нагрузки составляла 25-30 МПа за секунду. В процессе испытаний определяли максимальное усилие, соответствующее либо адгезионному разрушению клевого соединения, либо разрыву анкерного болта.

Полученные в результате экспериментальных исследований величины кратковременной прочности анкерных соединений обрабатывали с помощью методов математической статистики. В табл.7-10 приведены результаты исследования влияния глубины заделки анкера на прочность соединения. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что величина предельных (разрушающих) напряжений $\sigma_{разр}$ убывает с уменьшением глубины заделки анкера $l_{анк}$ и увеличением его диаметра d_s при геометрическом подобии анкерного соединения. В то же время на несущую способность анкерного соединения (см. табл.7-10) практически не оказывают влияния составы использованных при проведении экспериментальных исследований модифицированных акриловых клеев. Так, при составах акриловых клеев с добавками окиси

цинка, молотой слюды и метакриловой кислоты при диаметре анкеров 12 мм, глубине заделки $10d_s$ и одной и той же толщине клеявого слоя средние величины прочностей соединения соответственно равны 475,5, 468,2 и 468,2 МПа (табл.7) и отличаются между собой на 1,52 и 1,54%. Следует сказать, что за 100% приняты величины предела прочности соединения для клея с добавкой ZnO . Кроме того, во всех исследованиях была принята толщина клеявого слоя с учетом соблюдения геометрического подобия анкерного соединения (табл.3-6).

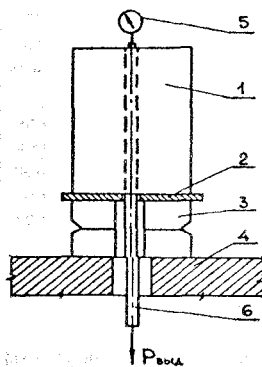


Схема испытаний образцов сталеклеевых анкерных соединений при кратковременном воздействии на анкер выдергивающего усилия:
1 - бетонный образец; 2 - металлическая прокладка; 3 - шарнир; 4 - траверса пресса;
5 - анкерный стержень

Таблица 7 – Прочностные характеристики анкерных соединений при $l_{зад} = 10d_s$

Диаметр анкера, d_s , мм	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Пределы прочности, МПа					
		+ молотая слюда		+ ZnO		+ метакрил. кислота	
		прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения
12	120	468,3	разрыв анкера	475,5	разрыв анкера	468,2	разрыв анкера
16	160	457,5	разрыв анкера	471,4	разрыв анкера	463,1	разрыв анкера
20	200	449,7	разрыв анкера	467,8	разрыв анкера	459,2	разрыв анкера
24	240	445,9	разрыв анкера	458,6	разрыв анкера	455,2	разрыв анкера
30	300	443,1	разрыв анкера	451,5	разрыв анкера	452,0	разрыв анкера
36	360	437,8	разрыв анкера	448,4	разрыв анкера	448,8	разрыв анкера
42	420	426,7	разрыв анкера	444,8	разрыв анкера	444,1	разрыв анкера
48	480	417,6	разрыв анкера	441,5	разрыв анкера	440,7	разрыв анкера
56	450	415,1	разрыв анкера	438,6	разрыв анкера	434,6	разрыв анкера

Таблица 8 – Прочностные характеристики анкерных соединений при $l_{зад} = 9d_s$

Диаметр анкера, d_s , мм	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Пределы прочности, МПа					
		+ молотая слюда		+ ZnO		+ метакрил. кислота	
		прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения
12	108	353,1	смешанное	349,5	смешанное	342,7	смешанное
16	144	350,9	смешанное	345,4	смешанное	341,9	смешанное
20	180	348,5	смешанное	341,1	смешанное	338,2	смешанное
24	216	343,8	смешанное	337,2	смешанное	336,9	смешанное
30	270	339,1	смешанное	333,5	смешанное	334,7	смешанное
36	324	335,6	смешанное	330,4	смешанное	331,4	смешанное
42	378	331,5	смешанное	327,3	смешанное	328,7	смешанное
48	432	328,7	смешанное	326,5	смешанное	326,1	смешанное
56	504	326,9	смешанное	324,8	смешанное	323,5	смешанное

Примечание: В табл. 8 показано, что характер разрушения образцов анкерного соединения смешанный, т.е. у 39,5-42,5% образцов произошел разрыв анкера, а в остальных случаях – по контакту клей-анкер.

Таблица 9 – Прочностные характеристики анкерных соединений при $l_{зад} = 8d_s$

Диаметр анкера, d_s , мм	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Пределы прочности, МПа					
		+ молотая слюда		+ ZnO		+ метакрил. кислота	
		прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения
12	96	295,4	по контакту клей-анкер	291,5	по контакту клей-анкер	282,0	по контакту клей-анкер
16	128	288,9	по контакту клей-анкер	286,5	по контакту клей-анкер	279,2	по контакту клей-анкер
20	160	283,7	по контакту клей-анкер	284,7	по контакту клей-анкер	274,8	по контакту клей-анкер
24	192	280,3	по контакту клей-анкер	283,9	по контакту клей-анкер	273,4	по контакту клей-анкер
30	240	277,6	по контакту клей-анкер	281,5	по контакту клей-анкер	272,0	по контакту клей-анкер
36	288	274,4	по контакту клей-анкер	278,3	по контакту клей-анкер	268,2	по контакту клей-анкер
42	336	271,3	по контакту клей-анкер	277,6	по контакту клей-анкер	263,5	по контакту клей-анкер
48	384	267,6	по контакту клей-анкер	270,8	по контакту клей-анкер	261,9	по контакту клей-анкер
56	448	263,8	по контакту клей-анкер	265,2	по контакту клей-анкер	258,7	по контакту клей-анкер

Таблица 10 – Прочностные характеристики анкерных соединений при $l_{зад} = 7d_s$

Диаметр анкера, d_s , мм	Глубина заделки анкера $l_{анк}$, мм	Пределы прочности, МПа					
		+ молотая слюда		+ ZnO		+ метакрил. кислота	
		прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения	прочность	характер разрушения
12	84	234,9	по контакту клей-анкер	236,3	по контакту клей-анкер	229,2	по контакту клей-анкер
16	112	232,7	по контакту клей-анкер	232,8	по контакту клей-анкер	226,8	по контакту клей-анкер
20	140	230	по контакту клей-анкер	231,5	по контакту клей-анкер	223,1	по контакту клей-анкер
24	168	227,8	по контакту клей-анкер	229,8	по контакту клей-анкер	221,9	по контакту клей-анкер
30	210	223,9	по контакту клей-анкер	227,9	по контакту клей-анкер	220,7	по контакту клей-анкер
36	252	220,1	по контакту клей-анкер	225,9	по контакту клей-анкер	217,9	по контакту клей-анкер
42	294	217,2	по контакту клей-анкер	221,9	по контакту клей-анкер	215,3	по контакту клей-анкер
48	336	213,7	по контакту клей-анкер	219,9	по контакту клей-анкер	211,9	по контакту клей-анкер
56	392	209,8	по контакту клей-анкер	215,9	по контакту клей-анкер	208,1	по контакту клей-анкер

При диаметре анкеров $d_s = 56$ см и глубине их заделки $l_{анк} = 10d_s$ разница в величине прочности в зависимости от состава клея (табл. 7) соответственно составляет 5,6 и 1,14% при коэффициенте однородности соответственно $k_{одн} = 0,918...0,896$. Для диаметра анкеров $d_s = 16$ мм и $l_{анк} = 8d_s$ (для трех использованных составов модифицированного клея) величина предела прочности клеевого соединения равна 286,5, 288,9 и 279,2 МПа (табл.9) и отличается соответственно на 2,55 и 0,84%. Отличие в величине предела прочности клеевых соединений на тех же составах клеев при $l_{анк} = 8d_s$ и $d_s = 30$ мм составляет соответственно 0; 1,38 и 3,37%.

Анализ результатов опытов (табл.7-10) свидетельствует, что использованные составы модифицированных акриловых клеев не оказывают заметного влияния на предел прочности клеевого соединения независимо от глубины заделки анкера. Этот вывод вполне закономерен, так как акриловые клеи с модифицирующими добавками окиси цинка, молотой слюды и метакриловой кислоты имеют близкие по величине прочностные и деформативные характеристики (см. табл. 2).

Увеличение диаметра анкера d_s с 12 до 56 мм приводит к снижению величины разрушающих напряжений при всех рассмотренных глубинах заделки анкера, а именно 7, 8, 9 и $10d_s$. Так, при $l_{анк} = 10d_s$ для $d_s = 12$ мм прочность соединения на акриловом клее с модифицирующей добавкой ZnO равна 475,5 МПа, при $l_{анк} = 10d_s$ для $d_s = 56$ мм составляет 435,6 МПа, т.е. 91,60% (табл.7) от прочности анкера $d_s = 12$ мм. При этом разрушение соединения во всех случаях вызывалось разрывом анкера, а $\sigma_{разр}$ превышало предел прочности металла анкера (см. табл. 1) от 3 до 10%.

Уменьшение глубины заделки анкера с $l_{анк} = 10d_s$ до $l_{анк} = 7d_s$ при $d_s = const$ приводит к снижению несущей способности соединения. Например, для $d_s = 16$ мм при глубине заделки $l_{анк} = 10d_s = 160$ мм предел прочности клеевого соединения равен $\sigma_{разр} = 471,4$ МПа, а при $l_{анк} = 9d_s = 144$ мм, $l_{анк} = 8d_s = 128$ мм, $l_{анк} = 7d_s = 112$ мм он соответственно составил $\sigma_{разр} = 345,4$ МПа, $\sigma_{разр} = 286,5$ МПа и $\sigma_{разр} = 232,8$ МПа, что равно 105,69, 77,44, 64,23 и 52,19% от предела прочности свободного анкера (табл.1, 7-9). Необходимо отметить, что при $l_{анк} = 9d_s$ до 39,5% образцов соединения акриловым клеем с модифицирующими добавками разрушались от разрыва анкера, а остальные – по контакту клей-анкер. В то же время предел прочности анкерных соединений при глубине заделки $l_{анк} = 7d_s$ при всех рассмотренных диаметрах анкеров (табл.10) на модифицированных акриловых клеях был ниже предела текучести (табл.1) аналогичных диаметров свободных анкеров. Так, прочность соединения на модифицированном клее с ZnO для $d_s = 12$ мм $\sigma_{пред} = 236,3$ МПа, что составляет 98,887% от $\sigma_y = 239$ МПа свободного анкера, а для $d_s = 30$ мм $\sigma_{пред} = 227,9$ МПа (табл.10), что равно 99% σ_y (табл.1).

При глубине заделки $l_{анк} = 8d_s$ увеличение диаметра анкера с $d_s = 12$ мм до $d_s = 56$ мм с соблюдением геометрического подобия сталеклевого соединения приводит к снижению его предела прочно-

сти при кратковременном статическом нагружении (табл.9) на 9,02, 10,69 и 8,26% соответственно для акриловых клеев, модифицированных ZnO , молотой слюдой и метакриловой кислотой. В то же время различие в величине прочности соединений для использованных модифицированных клеев при $l_{анк} = 8d_s$ для одного и того же диаметра анкера незначительное. Так, для болтов $d_s = 30$ мм и $l_{анк} = 8d_s$, заделанных указанными клеями, пределы прочности составили 281,5, 277,6 и 272,0 МПа (табл.9) и отличались между собой на 1,4 и 3,49%. Такое незначительное отличие кратковременных пределов прочности соединений говорит о том, что исследования статической длительной и динамической прочности анкерных соединений в дальнейшем правомерно проводить на одном из указанных выше составов клея.

Отметим, что при $l_{анк} = 10d_s$ (табл.7) наступает стабилизация прочности анкерного соединения и его разрушение независимо от диаметра анкера d_s и состава модифицированного акрилового клея происходит вследствие разрыва стальных стержней.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что оптимальная глубина заделки в бетон анкерных болтов из стали ВСт3кп2 с помощью модифицированных акриловых клеев составляет $l_{анк} = 8d_s$.

1.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Ресурсосберегающий модифицированный акриловый клей с повышенной адгезионной прочностью и термостойкостью // Вісн. Рівненського держ. техн. ун-ту. Вип. 3. – Рівне, 1999. – С. 57-63.

2.Патент № 20538А. Украина. Полимерная композиция для крепления анкерных болтов в бетоне // Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О.: Оpubл. Бюл. 1, 1998.

3.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Паги Б.Ю. Крепление оборудования к готовым фундаментам. – Харьков, ХИИКС, 1882. – 57 с.

4.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Черкасский И.Г. Крепление соединений древесины и бетона в строительстве. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

5.Инструкция по креплению технологического оборудования фундаментными болтами. СН 471-75. – М.: Стройиздат, 1976.

6.Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования. – М.: ЦНИИПромзданий, 1993. – 105 с.

Получено 31.08.2000