

УДК 624.012.404

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ АНКЕРОВКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ЕЕ СТУПЕНЧАТОМ ОТПУСКЕ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛО-ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА

И.И.Шукенов, Р.Р.Зарбиев, Б.М.Чалабаев
ЮКГУ им. М Ауезова, г. Шымкент

Анкеровка арматуры и ее сцепление с бетоном обеспечивают совместную их работу – основную предпосылку работы железобетона как конструктивного материала. Поэтому исследование сцепления арматуры с бетоном имеет большое значение для работы железобетонных изделий.

Исследованиям сцепления арматуры с различными бетонами посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ, выполненных в разные годы в странах СНГ и за рубежом.

Несмотря на большое количество проведенных исследований в области сцепления арматуры с бетоном, до сих пор не существует единой методики его определения и оценки.

Самыми распространенными критериями для характеристики качества сцепления являются следующие закономерности:

- а) изменение нормальных напряжений арматуры и бетона по длине заделки;
- б) изменение касательных напряжений по длине заделки;
- в) изменение величин взаимного смещения арматуры и бетона по длине заделки.

Экспериментальные исследования указанных закономерностей осуществляются в

процессе:

- а) выдергивания арматуры, заделанной в бетонные образцы в виде призм или цилиндров;
- б) выдергивания арматуры из образцов при его растяжении;
- в) поперечного изгиба балок;
- г) передачи предварительных напряжений арматуры на бетон.

Наибольшее распространение, как наименее трудоемкие, получили сравнительные испытания. Эти испытания, в зависимости от характера изучаемых вопросов, отличаются значительным разнообразием. Для получения наиболее достоверных результатов по возможности выбирается тот вид испытаний, при котором напряженное состояние образца наиболее близко к действительному.

Непосредственные исследования натуральных изделий распространены меньше ввиду того, что они дороже и сложнее сравнительных испытаний. Однако, они имеют преимущество, когда исследуется непосредственная зона передачи усилий натяжения арматуры на бетон, а не состояние элементов, имеющих сходную картину распределения напряжений и деформаций. Известно, что при передаче предварительного напряжения арматуры с формы на бетон в зоне самостоятельного заанкеривания наступает новое напряженно-деформированное состояние, характеризующееся наличием депланации сечений и взаимным смещением арматуры и бетона.

Понятие «длина зоны анкеровки» является весьма условным. Оно характеризует область перераспределения деформаций между арматурой и бетоном в случае, когда усилие на арматуру и бетон передается непропорционально их жесткостным характеристикам. Длина зоны анкеровки может быть приблизительно определена по характеру изменения напряжения в арматуре.

Вследствие передачи предварительного напряжения арматуры на бетон, на его контакте с арматурой возникают напряжения, проекцию которых на ось арматуры условно называют касательными напряжениями сцепления (τ_x).

Деформации, вызываемые наличием депланации сечений $\delta'(x)$ и взаимными смещениями бетона и арматуры $\delta''(x)$, условно называют взаимными смещениями, подразумевая под ними смещение арматуры по отношению к наиболее удаленным от нее волокнам бетонного сечения, находящегося на одном уровне с арматурой, т.е.:

$$g(x) = \delta'(x) + \delta''(x) \tag{1}$$

Наибольшее значение $g(x)$ имеет на торце элемента и обозначается g_0 . Между нормальными напряжениями в арматуре и касательными имеется определенная зависимость. Она выводится из рассмотрения элементарного участка арматуры длиной dx (рисунок 1).

С одной стороны на элементарный участок dx действуют напряжения $\sigma_x(x)$, с другой $-\sigma_x(x) + d\sigma_x(x)$, а по боковой поверхности – касательные напряжения $\tau(x)$, которые на участках dx можно принять постоянными. Тогда уравнение равновесия можно записать так:

$$A_s[-\sigma_x(x) + \sigma_x(x) + d\sigma_x(x)] = \tau(x)P_s dx \tag{2}$$

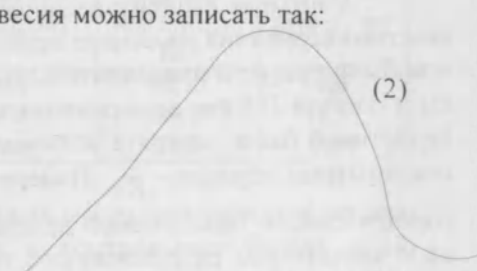
где A_s – площадь сечения арматуры, а P_s – ее периметр.

Из уравнения (2) находим:

$$\tau(x)_* = (A_s/P_s) \cdot (d\sigma_x(x)/dx) \tag{3}$$

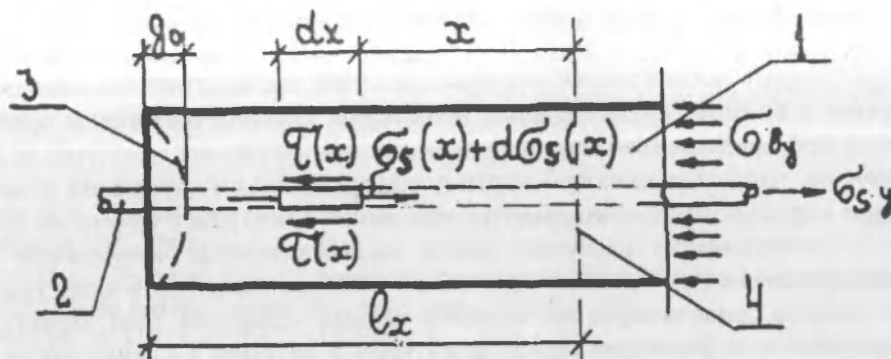
Таким образом, для определения функции $\tau(x)$ надо знать закономерности изменения нормальных напряжений арматуры $\sigma_s(x)$ в зоне анкеровки.

Имеется большое количество предложений по опытному определению закономерности



изменения напряжений в арматуре на участках анкеровки. Они основаны на наклейке тензометрических датчиков сопротивления на специально подготовленные поверхности арматуры зоны анкеровки.

Однако наклейка тензодатчиков с последующей их гидроизоляцией может существенно повлиять на качество сцепления арматуры с бетоном в опытном образце. Кроме того, при взаимном сдвиге арматуры и бетона имеется опасность повреждения тензодатчиков.



1 - бетон; 2 - арматура; 3 - незагруженный торец или начало анкеровки; 4 - загруженный торец или конец зоны анкеровки

Рисунок 1 - Равновесие усилий в зоне самостоятельной анкеровки

Поэтому в практике нашли применение способы размещения их либо внутри арматурного стержня, либо в специальных пазах на его поверхности.

В условиях тепло-влажностной обработки конструкций сохранение тензодатчиков сильно затруднено. Кроме того, в наших опытах исследование зоны анкеровки проводилось в процессе набора бетоном прочности, что отрицательно скажется на достоверности полученных результатов. В этом случае необходимы корректирующие поправки на температурные деформации.

Для нас определенный интерес вызывает работа по исследованию зон самостоятельной анкеровки арматуры предварительно напряженных балок, выполненная М.М. Холмянским и В.М. Кольнером [1]. Они испытывали большое количество (более 200) образцов с различной гибкой арматурой (Вр-II с диаметрами 3; 4,5 мм, витой из 2 проволок класса В-II и 7-ми проволочными канатами). По мнению этих авторов, величина смещения арматуры относительно бетона вполне определяет характер распределения напряжений в зоне анкеровки, и зависимость $g(x) = f[\Delta\sigma_s(x)]$ является надежной характеристикой между проволокой и бетоном.

Учитывая вышеизложенное, нами было принято решение провести исследования зоны самоанкеривания на основе сравнительных натуральных испытаний. В качестве опытных образцов были приняты предварительно напряженные балки с размерами поперечного сечения 12x20 см и длиной 200 см, армированных арматурой Ат-VI диаметром 16 мм. Сравнительной характеристикой была принята величина смещения свободного конца арматуры относительно торцов опытных образцов - g_0 . Измерение величины g_0 осуществлялось с помощью двух индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм, максимально отнесенные от арматуры с помощью специально разработанного приспособления. Это мероприятие позволило нам производить измерение смещения арматуры с учетом деформации сечения. Сравнение величины g_0 производилось при разных режимах ступенчатого отпуска предварительно напряженной арматуры с аналогичной величиной при однократном отпуске по традиционной технологии изготовления предварительно напряженных конструкций, когда прочность бетона достигнет требуемой величины - R_{br} . При этом на балках с размерами 12x20x200 см были апробированы различные режимы ступенчатого отпуска предварительных напряжений в арматуре для выяв-

ления оптимального из них. На натуральных балках БДР был апробирован выбранный режим ступенчатого отпуска предварительных напряжений в арматуре и проведены испытания на нагрузки. Цель этих испытаний – выявление эксплуатационных качеств (прочность, жесткость и трещиностойкость) натуральных балок заводского изготовления и сравнение их с эксплуатационными качествами балки, изготовленной по традиционной технологии с однократным отпуском предварительных напряжений в арматуре.

Было изготовлено 3 серии балок: 2 опытные (Б-1, Б-2) и 1 контрольная (Б-3) (таблица 1).

Таблица 1 – Условия изготовления натуральных балок

№№ серии	Контролируемое напряжение в арматуре, МПа	Конечная передаточная прочность бетона, МПа	Режим отпуска натяжения							Суммарная величина проскальзывания арматуры g_0 , мкм				
			Время отпуска с момента изотермического прогрева в часах/ доля переданного напряжения от контролируемого, %											
Б-1	5510	14,8	1	2	3	4	5	6	7	358				
			8	21	38	54	69	84	100					
Б-2	5770	15,4	2	3	5	7	342							
			9	42	69	100								
Б-3	5590	20,3	11							355				
			100											

После отпуска натяжения арматуры и распалубки образцов они хранились в воздушно-сухих условиях при температуре $18 \pm 3^\circ\text{C}$ в течение 28 суток, после чего подверглись испытанию на прочность, жесткость и трещиностойкость. Выдержка опытных и контрольных балок в течение 28 суток осуществлялось для того, чтобы прочность бетона испытываемых балок была приблизительно одинаковой, так как передаточная прочность бетона (R_{hp}) в момент отпуска натяжения арматуры в них была различна (R_{hp} -15,0 МПа для опытных балок и R_{hp} -21,0 МПа – для контрольных).

Для определения прочности, жесткости и трещиностойкости балки испытывались на изгиб по общепринятой методике.

Опытные и контрольные балки испытывались в эквивалентном возрасте (28 суток). Разрушение всех балок произошло по сжатой зоне, примерно в середине пролета. Моменты разрушения как у опытных балок (серии Б-1 и Б-2), так и у контрольных (серия Б-3) оказались практически одинаковыми (таблица 2).

Таблица 2 – Физико-механические свойства натуральных балок заводского изготовления и контрольной

Серия образцов	Нагрузка трещинообразования, $F_{сгс}$, кН	Момент трещинообразования, $M_{сгс}$, кНм	Ширина раскрытия трещин, $a_{сгс}$, мм	Разрушающая нагрузка, $F_{разр}$, кН	Разрушающий момент, $M_{разр}$, Нм	Прогиб при $M=27$ кНм, t , мм
Б-1	20	12	1,39	50,2	30,15	8,8
Б-2	19,2	11,3	1,81	49,5	29,7	10,17
Б-3	20	12	1,79	49,5	29,7	9,04

Разница в прочности бетона контрольных кубов, имевшая место при передаче предварительного напряжения с арматуры на бетон, в опытных и контрольных балках к 28-мисуточному возрасту исчезла. Размеры и конструкция опытных и контрольных балок идентичны. Поэтому мы не наблюдали различия ни в характере разрушения балок, ни в их несущей способности. Анкерующая способность арматуры оказалась удовлетворительной: ни у одной балки при испытании на изгиб не было отмечено ее проскальзывания относительно торца элемента.

Данные испытания показали, что прочность, жесткость и трещиностойкость опытных и контрольных балок оказались практически одинаковыми.

Предостерегающими моментами в проведении ступенчатого отпуска натяжения арматуры в процессе тепло-влажностной обработки, с полной передачей напряжения с арматуры на бетон при передаточной прочности, равной 50% от проектной марки, были: опасность развития ползучести в молодом бетоне и отсюда потери предварительного напряжения, а также вероятность проскальзывания арматуры на торце элемента, что могло вызвать ослабление его опорной части. Как видно из опытов, этого не произошло. Ранний поэтапный отпуск натяжения арматуры не вызывает значительных изменений в длине зоны анкеровки, а при оптимальном режиме отпуска длина зоны анкеровки может оказаться даже меньше при более низкой передаточной прочности. Это прямо доказано в специальных опытах по определению величины втягивания арматуры в бетон и косвенно - при испытании балок на прочность. Жесткость и трещиностойкость опытных и контрольных балок оказались практически одинаковы.

Проведенные исследования дают основание рекомендовать: производить поэтапный отпуск натяжения арматуры в период ТВО с целью снижения передаточной прочности до 50% от проектной прочности, что повлечет за собой сокращение цикла тепловой обработки и, естественно, расхода пара, а также увеличение оборачиваемости стенда.

Литература

- 1 Холмянский М.М., Кольнер В.М., Серова Л.П. Дифференцированное назначение минимальной прочности бетона // Бетон и железобетон. - №1. -1963.

Қорытынды

Алдын-ала кернелген арматураның кернеуін бетонға саталы беру кезінде, анкерленген аумақты тәжірибелі зерттеу нәтижесі келтіріледі. Ұсынылып отырған алдын-ала кернелген темірбетон конструкцияларын шығару әдісі ылғалды-жылу өңдеу процессін, пайдалану қасиетіне шығын келтірмей, 2 есе кемітуге мүмкіндік береді.

Summary

Experimental researches are ankered zone of before hand of strained armature by step decreasing its handing of. That way may bring down gear-firmness of concrete till 50% of producing before hand of stained ferroconcrete without increasing using operation properties.