

– с увеличением нагрузки происходило одновременное возрастание напряжений сцепления во всех точках по длине забетонированного участка;

– напряжения сцепления возрастали с расстоянием от нагруженного конца образца (т.е. от края бетонного куба к анкеру), что аналогично возрастанию напряжений сцепления от края трещины в конструктивных элементах;

– точка наибольших напряжений сцепления располагается примерно во второй трети участка между анкером и гранью бетонного куба при всех уровнях нагрузки. Наибольшие напряжения сцепления при растягивающей нагрузке $N=100\text{кН}$ находятся для образцов 1-5 (состав 1) в пределах 3,1-4,15 Н/мм²; для образцов 6-10 (состав 2) этот интервал несколько больше и составляет 3,2-4,5 Н/мм²;

– максимальные напряжения сцепления, после достижения которых произошел срез бетона под выступами профиля, истощение сцепления и, соответственно, разрушение бетонной части образца, для обоих составов примерно равны и находятся в интервале 6,0-6,8Н/мм².

ВЫВОД:

При одинаковой прочности бетона образцов и одинаковом диаметре и профиле арматурных стержней напряжения сцепления несколько отличаются, что свидетельствует о влиянии состава бетона на величину напряжений сцепления. Для состава 1 (Ц:П:Щ=1:1,6:2,5), с большим содержанием щебня напряжения сцепления оказались несколько меньше, чем для состава 2 (Ц:П:Щ=1:1,7:1,9). Это означает, что для более однородных составов бетонов характерны большие напряжения сцепления, вследствие их лучшего контакта с арматурой и образование меньшего количества полостей в контактных зонах.

С увеличением диаметра арматурного стержня и прикладываемой к нему нагрузки, напряжения сцепления уменьшаются, из чего следует, что для лучшего сцепления арматуры с бетоном при конструировании железобетонных элементов диаметр растянутых стержней необходимо ограничивать.

Состав бетона не оказывает существенного влияния для арматуры серповидного профиля на величину максимальных напряжений сцепления, возникающих в зоне контакта арматуры с бетоном; определяющим параметром является сопротивление бетона срезу, так как нарушение сцепления происходит после среза бетонных консолей на уровне вершин выступов арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции.
2. Charles. K. Kankam. Relationship of Bond Stress, Steel Stress, and Slip in Reinforced Concrete // Journal of Structural Engineering. – 1997. – V.123 – p.79-85.

УДК 624.012.46

ДРАГАН А.В.

Научный руководитель: Тур В.В., д.т.н., профессор

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ СЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ АРМАТУРЫ СЕРПОВИДНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Под сцеплением арматуры с бетоном понимают связь по поверхности контакта между арматурой и бетоном, которая обеспечивает их совместную работу. Значение сцепления или сопротивления сдвигу арматуры в бетоне зависит от следующих факторов:

– **механического зацепления в бетоне специальных выступов или неровностей арматуры** – составляет 75% общего сопротивления скольжению арматуры в бетоне и, соответственно, является определяющим фактором;

– *сил трения от обжатия арматуры бетоном в результате его усадки* (уменьшения в объеме при твердении на воздухе). Усадка бетона (поперечная) вызывает обжатие арматуры, тогда при смещении арматуры возникнут силы трения, но их величина оказывается небольшой. Она обычно не превышает 15-20% предельного сопротивления смещению;

– *сил молекулярного взаимодействия (склеивания) арматуры с бетоном* – склеивание цементного камня с арматурой в период схватывания и твердения бетона определяется химическими и физическими процессами, которые приводят к возникновению на контактной поверхности капиллярных и молекулярных сил притяжения. Силы адгезии нарушаются при сравнительно небольших напряжениях сцепления и величинах взаимного смещения стержня и бетона, поэтому они не играют решающей роли.

Сцепление обеспечивает передачу усилий от арматуры на бетон или в обратном направлении вплоть до разрушения конструкции, предопределяя тем самым работу железобетона как конструктивного материала. Сцепление обуславливает перераспределение усилий между арматурой и бетоном в случае развития в последнем пластических деформаций, а также при возникновении и развитии трещин.

В основном сцепление арматуры с бетоном определяется следующими параметрами:

– характеристиками арматурной стали (состояние ее поверхности, профилей, диаметров и механическими свойствами);

– характеристиками бетона (его прочностью, возрастом, составом, свойствами цемента, заполнителей);

– технологией приготовления бетона;

– способом укладки и уплотнения бетона;

– условиями твердения;

– напряженным состоянием железобетонных элементов, вызывающем передачу и распределение усилий между арматурой и бетоном.

В настоящее время существует множество методов по определению напряжений сцепления для арматуры различных профилей. Одним из методов, наиболее полно моделирующих реальную работу арматуры при выдергивании ее из бетона и позволяющий точно получить распределение напряжений сцепления, является метод предложенный Ч. Канканом (*Университет науки и технологий города Кусами, Гана*)[1]. Согласно этому методу напряжения сцепления для арматуры горячекатаной арматуры периодического профиля напряжения сцепления определяются следующей зависимостью:

$$f_b = (35-0,3)\Delta^{0,5} \quad (1);$$

где f_b – напряжения сцепления (Н/мм²); x – расстояние от центра стержня, мм;

Δ – локальные перемещения (мм);

Для определения величины сцепления арматуры с бетоном при статическом нагружении растягивающей нагрузкой была выбрана арматура серповидного профиля класса S400 Ø28мм. Арматура с данным видом профиля наиболее часто используется в железобетонных конструкциях в настоящее время в Республике Беларусь. Данный профиль состоит из двух чередующихся элементов: полукруглых пологих углублений и выступов, каждый из которых выполняет свою определенную функцию. Пологие углубления (впадины) обеспечивают плавный переход к цилиндрическому телу стержня. Этим достигается понижение уровня концентраций напряжений и создаются благоприятные условия для вовлечения выступов в работу стержня. Поперечные выступы (гребни) в сочетании с впадинами обеспечивают надежное сцепление с бетоном. Выступы имеют «серповидную» форму – высота их у середины стержня наибольшая, а затем снижается по мере

приближения к продольным ребрам, до которых выступы не доходят. Этим и устраняется пересечение выступов и ребер, а тем самым и концентрация напряжений [2].

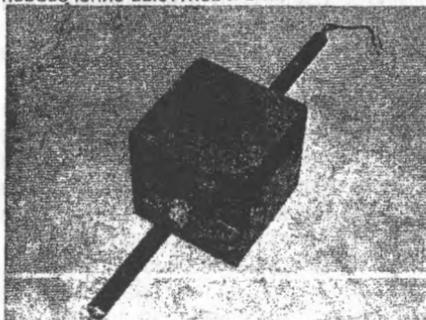


Рис.1. Экспериментальный образец

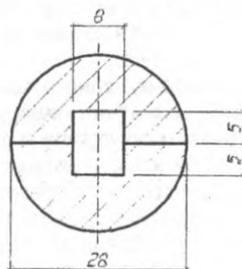


Рис.2. Поперечное сечение арматурного стержня

Для определения величин напряжений сцепления были изготовлены десять образцов (рис.2.), состоящих из арматурного стержня $\varnothing 28$ мм и бетонного куба с размером грани 200 мм. Арматурные стержни были подвергнут следующей доработке:

- стержни были распилены вдоль на две части;
- в каждой из частей был пропилен паз глубиной 5,0 мм и шириной 8,0 мм и отфрезерован с чистотой поверхности Rz 20 (рис.2.);
- посередине каждого стержня было сделано отверстие диаметром $\varnothing 8,0$ мм для установки, в последствии, в него шпильки, которая будет служить анкером после бетонирования стержня.

На каждую половину стержня наклеивалось по 12 тензорезисторов марки 2ПКБ-10-200X (по 6 штук в каждую сторону от отверстия). Спустя 24 часа после наклейки производилась припайка проводов, которые выводились примерно на 20-25 см за пределы стержня и при проведении испытаний соединялись, с помощью специальных разъемов, в регистрирующей аппаратуре.

Наибольшее влияние на показание тензорезисторов оказывают солнечная радиация и влажность воздуха. Попавшая на бумажную основу (подложку) и впитавшаяся в клей влага вызывает его набухание, что приводит к изменению механических и диэлектрических свойств. Проникание влаги отмечается даже в лабораторных условиях, поэтому при проведении испытаний необходима обязательная гидроизоляция как самих тензорезисторов, так и примыкающих к ним проводов на длине 10-15 мм. Так как испытываемая арматура подлежала бетонированию, то была проведена более тщательная гидроизоляция: вся поверхность паза стержня была заполнена универсальным силиконом Barton's, вулканизирующимся под воздействием влажности воздуха. Длительность отверждения силикона - 24ч.

Затем производилась сборка двух половинок стержня с помощью шпильки-анкера с нарезанной с двух сторон резьбой и двух обжимных колец, расположенных в обе стороны от анкера на расстоянии 120 мм.

Размер грани поперечного сечения бетонного образца составлял 200 мм, длина была выбрана на основании расчета среднего расстояния S_m между трещинами, нормальными к продольной оси, в изгибаемых и растянутых элементах [3], который приведен ниже. Такая длина образца позволяет смоделировать действительную работу растянутой арматуры между двумя трещинами в конструктивных бетонных элементах. Среднее расстояние S_m между трещинами (мм), нормальными к продольной оси в растянутых элементах определяются по формуле:

$$S_{sm} = 50 + 0,25k_1 k_2 \frac{d}{\rho_{eff}}, \quad (2);$$

где $d=28\text{мм}$ – диаметр стержня;

k_1 – коэффициент, учитывающий условия сцепления арматуры с бетоном равный для стержней периодического профиля $k_1=0,8$;

k_2 – коэффициент, учитывающий вид напряженно-деформированного состояния и принимаемый равным при осевом растяжении $k_2=1,0$;

ρ_{eff} – эффективный коэффициент армирования, определяемый для железобетонных элементов по формуле:

$$\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}, \quad (3);$$

$A_s = A_s \varnothing_{28} - 0,8 \cdot (0,5 + 0,5) = 5,358 \text{ см}^2$ – площадь сечения арматуры (площадь одного стержня $\varnothing_{28\text{мм}}$ минус ослабление под паз (см.рис.2)), заключенной внутри эффективной площади растянутой зоны сечения $A_{c,eff}$;

$A_{c,eff}$ – эффективная площадь растянутой зоны сечения;

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff} = 20,0\text{см} \cdot 6,67\text{см} = 133,4\text{см}^2;$$

где $h_{c,eff}$ принимается равным меньшему из значений:

1. $2,5(h-d) = 2,5(200-100) = 250\text{мм}$;

d – расстояние от центра тяжести арматуры до противоположной грани элемента;

2. $(h-x)/3 = (200-0)/3 = 66,7\text{мм}$;

x – расстояние от нейтральной оси до сжатой грани элемента ($x=0$, т.к. элемент подвержен осевому растяжению);

3. $h/2 = 200/2 = 100\text{мм}$;

$$\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{5,358\text{см}^2}{133,4\text{см}^2} = 0,04;$$

$$S_{sm} = 50 + 0,25k_1 k_2 \frac{d}{\rho_{eff}} = 50 + 0,25 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot \frac{28}{0,04} = 190\text{мм} = 19,0\text{см};$$

Было изготовлено две партии образцов по 5 штук каждая. Бетон для двух партий соответствовал классу бетона по прочности на сжатие С16/20 [3], но отличался по количественному соотношению составляющих его материалов (табл. 1.). В качестве вяжущего для двух состав был выбран портландцемент марки 500Д0, в качестве мелкого заполнителя использовался песок с модулем крупности $M_{кр}=2,3-2,4$, в качестве крупного заполнителя – щебень фракции 5-20. Приготовление бетона осуществлялось вручную, бетон уплотнялся с помощью вибробулав в металлической разборной опалубке. Образцы твердели первые сутки в воздушно-сухих, а начиная со 2-х и до 28 суток во влажных условиях ($w \approx 100\%$) при температуре $t=16-18^\circ\text{C}$. Образцы распалубивались на следующие сутки после бетонирования.

Таблица 1. Составы бетонных смесей

	состав 1 (на 1м ³)	состав 2 (на 1м ³)
Цемент (Ц), кг	440	480
Вода (В), л	180	195
В/Ц	0,41	0,41
Щебень (Щ), кг	1100	930
Песок (П), кг	690	800

Кубиковая прочность бетона определялась в соответствии с ГОСТ 26633 и СТБ1310. Опытные данные о прочности бетона получены в возрасте 28 суток по результатом испытаний 6 кубов с размером ребра 100мм (по 3 кубика для каждого состава бетона соответственно).

Испытание образцов статической растягивающей нагрузкой производилось на разрывной машине ИР-5145-500-11 (рис.3.). В качестве регистрирующей аппаратуры для фиксации показаний по тензорезисторам применялся автоматический измеритель деформаций (АИД-4). Подключение образцов к АИД-4 производилось по полумостовой схеме. К образцам прикладывалась возрастающая растягивающая нагрузка ступенями по 10кН вплоть до разрушения бетонной части образца, при этом после каждого приложения нагрузки фиксировались показания тензорезисторов и отсчеты по индикатору часового типа с ценой деления 0,001мм, установленному в нижней части образца на арматурном стержне и опертому на бетон.

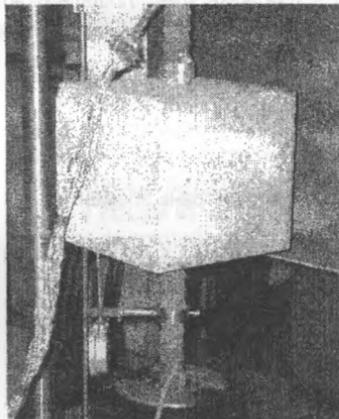


Рис.3. Экспериментальный образец в разрывной машине ИР 5145-500-11

По результатам показаний с тензорезисторов, полученных при испытании образцов, были получены графики распределений относительных деформаций по длине забетонированного участка арматурного стержня.

Распределение перемещений по длине участка, находящегося в бетоне, определяются численным интегрированием с использованием распределения относительных деформаций. Точка, где находится анкер, принималась за начало отсчета и перемещения в ней принимались равными нулю.

Зная изменения локальных перемещений по длине забетонированного участка можно используя зависимость (1), получить эпюры распределения напряжений сцепления, соответствующие разным уровням прикладываемой растягивающей нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Charles. K. Kankam. Relationship of Bond Stress, Steel Stress, and Slip in Reinforced Concrete // Journal of Structural Engeneering. – 1997. – V.123 – p.79-85.
2. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М.: Стойиздат. 1974. – 232 с.
3. СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции.
4. Золотухин Ю.Д. Испытание сооружений. – Мн.: «Вышэйшая школа», 1992. – 271с.

УДК 728.8

КОНЯЕВ П.Н.

Научный руководитель: Ширяева Л. А.

ДВОРЦОВО-ПАРКОВЫЙ АНСАМБЛЬ В Г.КОССОВО

В последнее время возрос научный и практический интерес к архитектурным памятникам национального наследия. Коссовская земля, овеянная легендами, имеет ценнейшую сокровищницу – Дворцово –парковый ансамбль. Ее историческое прошлое связано с наиболее знатными и богатыми шляхецкими родами. Героическая личность Тадеуша Костюшки связана также с этими землями. Загадочное имя одного из самых силь-