

УДК 693.554.3

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ, ЗАКОНЫ СЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

Седляр Татьяна Николаевна,

*Белорусско – Российский университет, г. Могилев, Беларусь,
аспирант.*

Семенюк Славий Денисович,

*Белорусско – Российский университет, г. Могилев, Беларусь,
доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское
строительство».*

Аннотация

Статья посвящена законам сцепления арматуры с тяжелыми бетонами, сделаны попытки обобщить уже имеющиеся экспериментальные данные с данными моделирования.

Ключевые слова: арматура, сцепление, закон, бетон.

ANALYTICAL REVIEW OF REINFORCEMENT ADHESION, ADHESION LAWS FOR HEAVY CONCRETE

Sedlyar Tatiana Nikolaevna,

*Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus,
post-graduate student.*

Semenyuk Slavy Denisovich,

*Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus,
Doctor of Sciences, Professor of the Department «Industrial and Civil Engineering».*

Abstract

The article is devoted to the laws of adhesion of reinforcement to heavy concretes; attempts have been made to generalize the experimental data that already exist with the simulation data.

Keywords: armature, coupling, law, concrete.

Вопросами сцепления арматуры и бетона начали заниматься очень давно. Впервые про оценку прочности анкеровки арматуры заговорили немецкие исследователи. При этом сцепление рассматривалось в качестве силовой характеристики, зависящей от многих факторов, удельное значение которых оценивалось учеными неоднозначно. Тем не менее, в середине двадцатого века Столяров Я.В. предположил, что сцепление напрямую зависит от клеящей способности цементного геля и трения, возникающего между материалами под действием радиального давления от усадки бетона [1].

Столяров Я.В. [1] выделил в своих трудах две группы факторов. Первая группа отражает ряд факторов, которые влияют на сопротивление скольжению арматуры в бетоне. К ним относятся зацепление выступов за бетон, трение от усадки и склеивание арматуры с бетоном. Вторая группа количественно определяет факторы первой группы, не влияя при этом на сцепление. К ней относят класс и возраст бетона.

Причиной повышенного внимания к вопросу сцепления в СССР в 1950-1960 гг. стало активное внедрение предварительно напряженных армированных конструкций. Вследствие чего были проведены под руководством Холмянского М.М. и Оатула А.А. фундаментальные экспериментально-теоретические исследования по проблеме сцепления.

Для определения силовых и геометрических величин, определяющих напряженно-деформированное состояние участка активного сцепления, Холмянский М.М. [3] предлагает принимать ряд упрощающих допущений:

1. Принимается модель «арматура – контактный слой – оболочка» (рисунок 1). Сущность допущения состоит в выделении контактного слоя, к

которому отнесен бетон, находящийся в зоне высоких напряжений. Считается, что деструктивные процессы, в частности контактные трещины, развиваются в пределах слоя небольшой толщины, близкой к шагу профилировки.

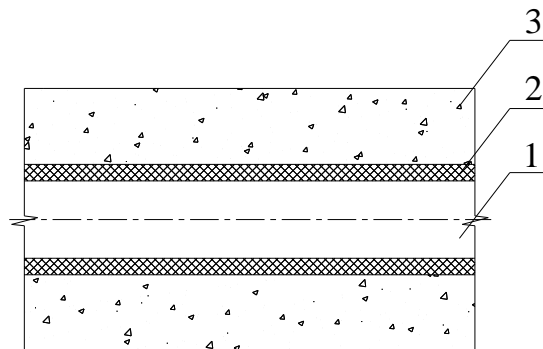


Рисунок 1 – Модель «арматура – контактный слой – оболочка» [3]

1- арматура; 2 – контактный слой; 3- бетонная оболочка

2. Для деформаций оболочки принимается предположение об упругости и справедливости гипотезы плоских сечений.

3. В качестве характеристик контакта принимаются «условные взаимные смещения», определяемые как перемещения арматуры относительно бетонной оболочки.

4. Допущение о неизменности соотношения между τ_{bond} и g по длине зон контакта, из которого и вытекает основной закон сцепления.

Исходя из указанных допущений, смещения арматуры относительно бетона, согласно Холмянскому М.М. [3], определяются решением следующего равенства:

$$\frac{d^2 g}{dx^2} = \frac{C_{bond}}{2} \cdot F(g), \quad (1)$$

где: g - смещение арматуры относительно бетона в сечении с координатой x

$$C_{bond} = 2 \cdot (1 + n \cdot \mu) \cdot P / E_s \cdot A_s$$

здесь:

$n = \frac{E_s}{E_B}$ - отношение начальных модулей упругости арматуры и бетона;

$\mu = \frac{A_s}{A_B}$ - коэффициент армирования;

P – периметр сечения арматурного стержня;

A_s - площадь сечения арматурного стержня;

A_B - площадь бетонного сечения,

$F(g)$ - зависимость смещений арматуры относительно бетона g от напряжений сцепления (τ_{bond}).

Т.е. для того чтобы решить уравнение (1), необходимо располагать еще одной зависимостью, имеющей вид:

$$\tau_{bond} = F(g) \quad (2)$$

Эту зависимость, определяемую экспериментальным путем и равносильную утверждению о том, что напряжения сцепления (τ_{bond}) однозначно определяются только величиной смещения g , обычно называют законом сцепления или основным законом.

Рядом исследователей предлагались различные варианты аналитической формы связи силовых (τ_{bond}) и геометрических (g) величин [4,5]. Однако наиболее точные результаты дает так называемый «нормальный закон» сцепления, соответствующий наблюдаемому экспоненциальному характеру роста смещений (g):

$$\tau_{bond} = B \cdot \frac{\ln(1 + \alpha \cdot g)}{1 + \alpha \cdot g} \quad (3)$$

где: B и α - параметры закона сцепления, определяемые экспериментальным путем.

После определения смещений (g), по зависимости (3) определяются напряжения сцепления τ_{bond} в различных сечениях по длине заделки.

Напряжения в арматуре σ_{Sx} определяются по формуле:

$$\sigma_{Sx} = -\frac{E_s}{1+n\cdot\mu} \cdot \frac{dg}{dx} - \sigma_{S,ycm} \quad (4)$$

где: $\sigma_{S,ycm} = \frac{1}{1+n\cdot\mu} (\sigma_{sp} + n\cdot\sigma_{b0} + n\cdot\mu\cdot\sigma_{S0})$ - так называемые

«установившиеся» напряжения в арматуре.

где: σ_{sp} - предварительные напряжения в арматуре,

σ_{b0} - напряжения в бетоне на нагруженном конце элемента (в сечении $x=0$),

σ_{S0} - напряжения в арматуре на нагруженном конце элемента (в сечении $x=0$).

Напряжения в бетоне σ_{bx} определяются по формуле (5):

$$\sigma_{bx} = -\mu \cdot (\sigma_{Sx} - \sigma_{S,ycm}) - \sigma_{b,ycm} \quad (5)$$

где: $\sigma_{b,ycm} = \frac{1}{1+n\cdot\mu} \cdot (\sigma_{b0} + \mu \cdot (\sigma_{S0} - \sigma_{sp}))$ - так называемые

«установившиеся» напряжения в бетоне.

Для случая выдергивания арматуры из бетонной призмы опертой торцом «установившиеся» напряжения в арматуре и бетоне равны нулю.

Принципиально другое предложение по построению теории сцепления развил в своих работах А.А. Оатул [6]. Им предложен так называемый дифференцированный закон сцепления:

$$\tau_{bond} = f(x; y) \quad (6)$$

где y - удлинение арматуры в сечении x .

Каждому значению x закона соответствует одна из кривых семейства, показывающих зависимость напряжений сцепления τ_{bond} от удлинений арматуры y . Вид каждой из кривых дифференциального закона сцепления определяется уравнением:

$$\tau_{bond} = y \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (7)$$

где α - параметр, определяемый экспериментальным путем.

Однако, знание одного лишь дифференциального закона сцепления недостаточно для построения теории сцепления. Для того чтобы судить о деформациях бетона, не вводя допущения об упругости и справедливости гипотезы плоских сечений, Оатул А.А. предлагает использование дополнительных физических зависимостей, устанавливаемых опытным путем [6]:

$$\begin{aligned} g &= g(x; y) \\ \Delta_{ba} &= \Delta_{ba}(x; y) \\ \Delta_{bb} &= \Delta_{bb}(x; y) \end{aligned} \quad (8)$$

Система всех указанных физических зависимостей названа им развернутым (или полным) законом сцепления.

Предложения других авторов по построению теории сцепления арматуры с бетоном либо изменяют некоторые положения вышерассмотренных теорий, либо вообще не устраняют недочетов этих теорий.

Попытка построить теорию, свободную от этих недостатков, принадлежит Н.И. Карпенко [5]. Им применена модель, позволяющая прямым образом учитывать наличие контактных трещин. Существенно важно, что в его

работе впервые сделана попытка практически полного моделирования контакта. Условные взаимные смещения в модели рассматриваются Н.И. Карпенко как перемещения концов консольных элементов, на которые трещины разделяют бетон контактного слоя.

Бенин А.В, Семенов А.С., Семенов С.Г., Мельников Б.Е. [2] предложили использовать программные комплексы ANSYS, ABAQUS и PANTOCRATOR. В рамках исследования ими были выполнены для сравнения 7 классов моделей процессов разрушения связей сцепления арматуры с бетоном, перечисленных ниже в порядке усложнения реализации:

- 1) модели без учета несплошности соединения (гетерогенная среда, идеальное сцепление);
- 2) модель с введением фиктивного интерфейсного слоя;
- 3) модель с явным учетом несплошности и с использованием пружинных элементов;
- 4) модели с применением алгоритма «выключения» элементов;
- 5) модель с учетом микрорастрескивания в бетоне;
- 6) модель упруго-поврежденного материала;
- 7) модель упруго-поврежденно-пластического материала.

Прежде всего, для решения задач сцепления арматуры с бетоном с помощью ЭВМ необходимо описать математические модели, то есть определить факторы, которые больше всего оказывают влияние на сцепление. Такими факторами, по мнению авторов [2] являются:

- 1) сопротивление бетона смятию и срезу вследствие механического зацепления, возникающего из-за искусственно созданных неровностей и выступов (рифления) на поверхности арматуры (70–75% от общего сопротивления сдвигу арматуры);
- 2) трение, возникающее на поверхности арматуры вследствие обжатия арматурных стержней при усадке бетона (15–20% от общего сопротивления сдвигу);

3) адгезионное и молекулярное сцепление («склеивание») арматуры с бетоном вследствие клеящей способности цементного геля (около 10% общего сопротивления сдвигу).

В настоящее время проблема, связанная со сцеплением арматуры и бетона, достаточно актуальна. Данная тема имеет фундаментальное значение для проектирования железобетонных конструкций, совершенствования различных типов арматуры и улучшения технологии изготовления бетона.

Библиографический список:

1. Столяров, Я.В. Введение в теория железобетона. Стройиздат Наркомстроя. 1941. С. 447.

2. Бенин, А.В. Математическое моделирование процесса разрушения сцепления арматуры с бетоном Часть 1. Модели с учетом несплошности соединения / А.В. Бенин, А.С. Семенов, С.Г. Семенов, Б.Е. Мельников // Magazine of Civil Engineering. 2013. №5. С. 86-99

3. Холмянский М.М., Ерин М.Н. Исследование механизма сцепления арматуры периодического профиля с бетоном при помощи испытания бетона на местное смятие // Анкеровка арматуры в бетоне. Сб. тр. М. 1969. С. 38 – 49.

4. Кольнер, В.М., Алиев Ш. А., Гольдфайн Б. С. Сцепление с бетоном и прочность заделки стержневой арматуры периодического профиля // Бетон и железобетон. 1965. №11. С.25–27.

5. Карпенко Н.И. К построению модели сцепления арматуры с бетоном, учитывающий контактные трещины // Бетон и железобетон. 1973. № 1. С. 19-23.

6. Оатул А.А. Основы теории сцепления арматуры с бетоном // Исследования по бетону и железобетона. Сб.тр. № 46 Челябинского политехнического института. Челябинск. 1967. С.6–26.