

## Особенности сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей

А.С. Семченков, В.З. Мешков, А.А. Квасников, (НИИЖБ),  
А.Э. Белоусов, Е.С. Савохин (Мосгосэкспертиза)

В настоящее время металлургические комбинаты нашей страны выпускают стержневую ненапрягаемую арматуру классов А400 (80%) и А500С (20%) двух профилей: старого кольцевого профиля по ГОСТ 5781-82 (рис. 1а) и двухстороннего серповидного «европрофиля» по ГОСТ 52544-2006 (рис. 1б), при этом прокатная маркировка класса (в виде трудно читаемых шифров) наносится обычно только на арматуру, поставляемую на экспорт, что затрудняет определение класса ее прочности при входном контроле на стройплощадках и предприятиях стройиндустрии, приводит к пересортировке арматуры, а зачастую к перерасходу металла.

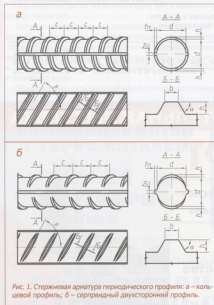


Рис. 1. Стержневая арматура периодического профиля: а – кольцевой профиль; б – серповидный двухсторонний профиль.

Кольцевой профиль в СССР начали применять в конце 40-х годов прошлого столетия. Его конфигурация соответствовала профилям арматуры, используемым в то время в Германии и США, однако геометрические параметры, заложенные в стандарт на арматурный прокат (ГОСТ 5781-61), были скорректированы на основании отечественных исследований, исходя из преимущественно индустриального производства ЖБИ (табл. 1). Отечественная арматура кольцевого профиля обеспечивала более высокие прочность и жесткость сцепления. Однако к недостаткам можно

отнести:

– малые расстояния между ребрами, препятствующие плотной компоновке частиц крупного заполнителя вокруг сердечника стержня;

– в стержнях большого диаметра из-за работы на восприятие осевых усилий исключается до 7% металла вследствие частого расположения ребер;

– ускоренный износ валков чистой клети из-за частого расположения пересечений поперечных ребер с продольными; – возможность концентрации напряжений в точках пересечения поперечных ребер с продольными.

Практически все недостатки кольцевого профиля связаны с малым шагом поперечных ребер, пересекающихся с продольными.

В 90-х годах крупные металлургические заводы, ориентированные в основном на экспорт продукции, стали выпускать арматуру всех классов с так называемым европрофилем с серповидными поперечными ребрами. Этот профиль, заложенный в большинство западноевропейских стандартов более технологичен в производстве, чем кольцевой, он позволяет увеличить скорость прокатки и долговечность формирующих валков.

Испытания на вытягивание показали, что двухсторонний серповидный периодический профиль по сравнению с кольцевым обладает меньшей прочностью и большей податливостью сцепления, поскольку в поперечном сечении до 25% периметра стержня не имеет поперечных ребер, у которых на столько же больше шаг. Это обуславливает применение значительно больших (до 30 – 50%), чем по СНиП 2.03.01-84\*, расчетных длин анкеровки и наклести стержней.

Кроме того, в рамках технологических возможностей горячей прокатки при соблюдении расстояния между поперечными ребрами и ограничении их высоты не гарантировано получение необходимого уровня индекса сцепления  $f_s$  более 0,056, что подтверждают данные зарубежных стандартов и ГОСТ 52544.

Предложенный Рэмом в 1969 г. индекс сцепления  $f_s$  характеризует геометрические параметры периодического профиля, гарантирующие необходимый уровень сцепления. Его определяют из выражения:

$$f_s = kF_p / (nd), \quad (1)$$

где  $k$  – количество вертикальных рядов поперечных ребер, равное 2 (рис. 1а, б);  $n = 3,14$ ;  $d$  – номинальный диаметр стержня;  $c$  – шаг поперечных ребер;  $F_p$  – проекция площади одного поперечного ребра на плоскость поперечного сечения стержня. Для стержней кольцевого профиля с постоянной высотой поперечных ребер (рис. 1а) проекция площади поперечного ребра определяется по формуле

$$F_p = b (nd / 2 - b), \quad (2)$$

а для стержней серповидного профиля с высотой поперечных ребер, изменяющейся по параболе (рис. 1б),

$$F_p = 0,25b \cdot nd, \quad (3)$$

где  $h$  – максимальная высота ребра;  $b_1$  – ширина продольного ребра.

Считается, что геометрические параметры периодического профиля и объединяющий их индекс сцепления  $f_R$  в пределах 0,05-0,1 обеспечивают приемлемое сочетание таких показателей сцепления, как максимальная прочность, ограничение прогибов и раскрытия трещин в конструкциях, а также минимальный распор, вызывающий откалывание защитного слоя и продольное раскалывание. Недостатком формулы Рэма является то, что она не оценивает возможность хрупкого разрушения от среза при изменении прочности бетона (рис. 2).

С развитием производства и распространением высокоэффективной арматуры класса А500С при сохранении значительного объема арматуры класса А400 на стройплощадках и заводах ЖБИ возникла проблема распознавания класса арматурных стержней. В связи с этим представлялось целесообразным для арматуры класса А500С разработать технологичный в прокатке периодический профиль, визуально легко отличимый и не уступающий по силе сцепления с бетоном (усилию вытягивания) профилю, выпускаемому по ГОСТ 5781, с тем чтобы при проектировании не требовалось увеличивать длину анкеровки и нахлестки стержней по сравнению с установлениями СНиП 2.03.01-84\*.

Разработанный в НИИЖБ четырехсторонний (четырёхрядный) профиль имеет серповидное (как у европрофиля) оребрение всей поверхности сердечника в каждом ряду (рис. 3, 4).

Коэффициент Рэма для четырехрядного профиля можно определить по формуле:

$$f_R = (kF_R / \pi dc) \cdot (1 + \gamma \cdot h/h_1) \quad (4)$$

где  $h_1$  и  $b_1$  – высота и ширина серпов двух дополнительных рядов ребер;  $\gamma$  – коэффициент, равный

$$1 - 4b_1 / (\pi d) \quad (5)$$

При одинаковой высоте основных и дополнительных поперечных ребер вычисленный осредненный индекс  $f_R$  для диаметров от 10 до 40 мм составляет 0,1008, а при уменьшенной вдвое высоте дополнительных ребер  $f_R = 0,078$ . Высокое значение  $f_R$  у четырехстороннего профиля обеспечивается не за счет увеличения высоты ребер и уменьшения их шага, а вследствие отсутствия условий для опасного развития усилий распора.

Геометрические параметры профилей приведены в табл. 1.

По характеру разрушения сцепления с бетоном типы арматурных профилей можно условно подразделить на жесткие и мягкие. При жестком профиле стержень продергивается в бетоне при  $N = T_{cp}$  резко при деформации сдвига  $a$  меньше граничного  $a$  вследствие хрупкого среза бетонных выступов (рис. 4а). При мягком профиле стержень продергивается в бетоне при  $N = T_{cm}$  плавно при деформации сдвига  $a$  больше граничного значения  $a$  в результате постепенного смятия бетонных выступов (рис. 4б), образования поперечных трещин, отслоения бетона от арматуры и раскалывания образца с образованием продольных трещин от среза.

Определим качественную характеристику профиля (жесткий или мягкий), проанализировав теоретически характер возможного разрушения (срез или смятие) бетонных выступов (шпонок) между поперечными ребрами (дальнейшие выкладки для упрощения выполнены без учета влияния у поперечных ребер арматурных профилей углов наклона, смягчающих профиль).

Теоретически для исключения влияния скольжения поперечных ребер по бетону необходимо, чтобы было выполнено условие:

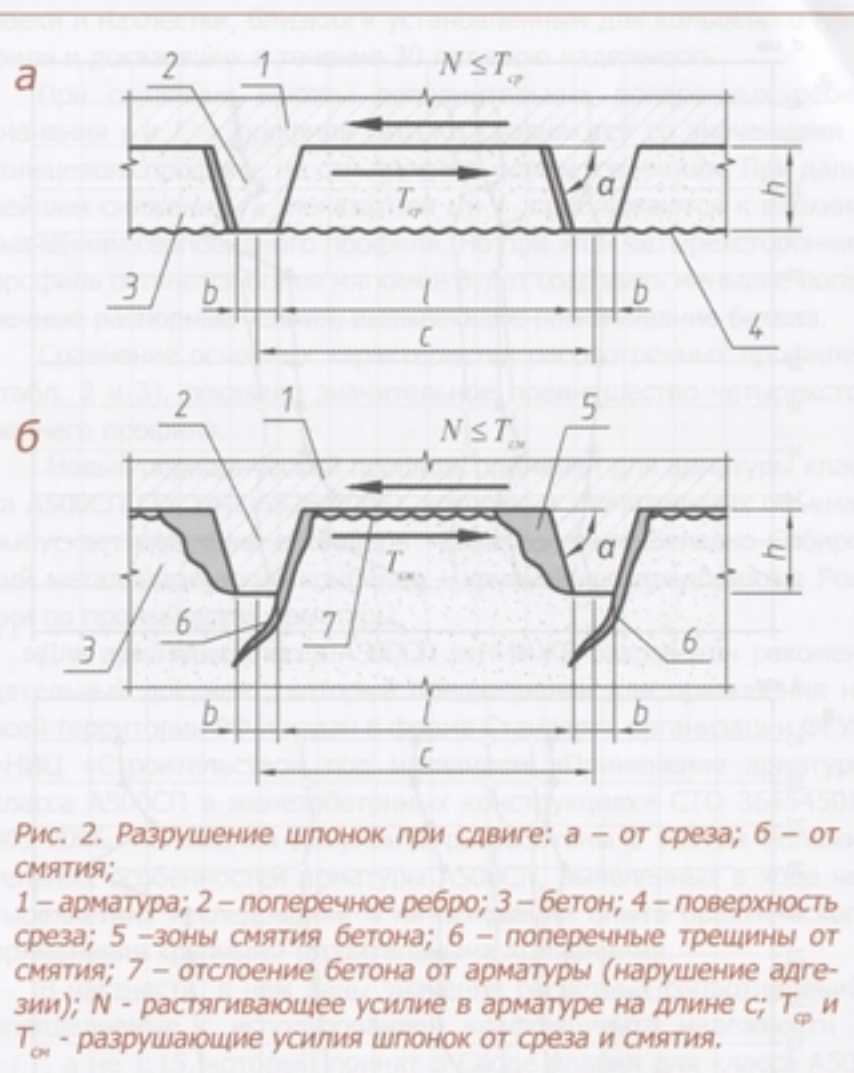


Рис. 2. Разрушение шпонок при сдвиге: а – от среза; б – от смятия; 1 – арматура; 2 – поперечное ребро; 3 – бетон; 4 – поверхность среза; 5 – зоны смятия бетона; 6 – поперечные трещины от смятия; 7 – отслоение бетона от арматуры (нарушение адгезии);  $N$  – растягивающее усилие в арматуре на длине  $s$ ;  $T_{cp}$  и  $T_{cm}$  – разрушающие усилия шпонок от среза и смятия.

$$\varphi > \text{ctg}\beta \cdot \text{ctg}\alpha \quad (6)$$

где  $\varphi$  – коэффициент трения стали по бетону.

Приведенная далее методика оценки прочности сцепления более универсальна, чем оценка сцепления только по значению коэффициента Рэма, так как позволяет определить характер сцепления различных видов профилей при различных классах прочности бетона.

Прочность сцепления арматуры при сдвиге определяется по формуле:

$$T = T / (\pi dc) \quad (7)$$

где  $T$  – разрушающая сдвигающая нагрузка, равная:

$$\text{при срезе } T_{cp} = A_{cp} \cdot R_{cbp} = A_{cp} \cdot R_{bp} \cdot q_{cp} \quad (8)$$

$$\text{при смятии } T_{cm} = A_{cm} \cdot R_{cm} = A_{cm} \cdot R_{bp} \cdot q_{cm} \quad (9)$$

где  $A_{cp}$  и  $A_{cm}$  – площади среза и смятия шпонок на длине шага

Таблица 1  
Диапазоны нормируемых геометрических параметров профилей и фактические значения индекса сцепления  $f_R$  для стержней диаметром 10 - 40мм.

Профиль	Нормируемые параметры				Фактические значения $f_R$	
	высота ребра, $h$	шаг ребра, $c$	угол наклона ребер к оси, $\beta$	угол наклона боковых граней ребер, $\alpha$	интервал	среднее
Кольцевой (ГОСТ 5781)	(0,05-0,1) d	(0,3-0,83) d	–	–	0,109-0,159	0,134
Серповидный (ГОСТ Р 52544)	(0,065-0,1) d	(0,4-1) d	35° - 60°	≥ 45°	0,05-0,071	0,060
Четырехсторонний (НИИЖБ)	(0,064-0,08) d	(0,6-0,8) d	55° - 65°	55° - 80°	0,075-0,082	0,078

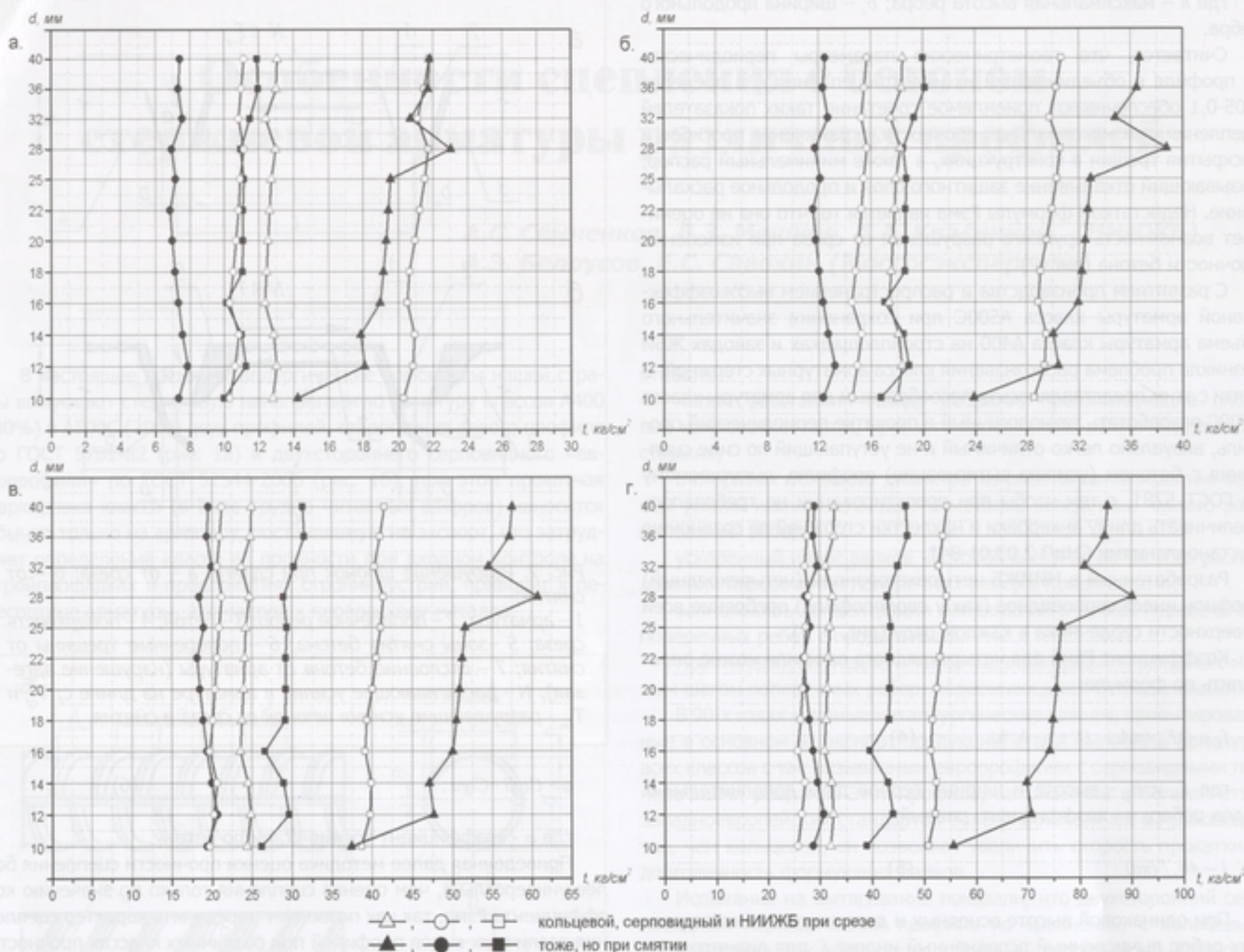


Рис.3. Графики зависимости прочности сцепления при сдвиге от диаметра и профиля арматурных стержней при различных классах бетона: а – В15; б – В25; в – В40; г – В60.

ребер  $c$ , равные

у кольцевого профиля:  $A_{cp} = (c - b) \cdot (\pi d - 2b)$  (10)

$$A_{cm} = 2 \cdot F_{cp}$$

у серповидного профиля:  $A_{cp} = 0,75 \cdot (c - b) \cdot \pi d$  (11)

$$A_{cm} = 2 \cdot F_{cp}$$

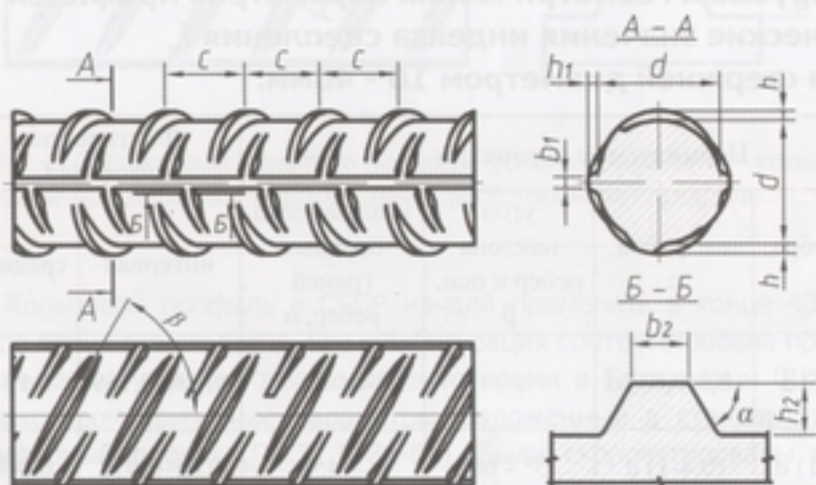


Рис.4. Серповидный четырехсторонний профиль НИИЖБ.

у четырехстороннего (НИИЖБ):  $A_{cm} = 0,5 \pi d \cdot (h + h_2) F_{cp}$  (12)

$$A_{cp} = (c - b) \cdot (1,5 \pi d - 2b)$$

где  $R_{cp}$  и  $R_{cm}$  – нормативные значения сопротивления бетона шпонок при срезе и смятии;

$q_{cp}$  и  $q_{cm}$  – коэффициенты прочности бетона шпонок при срезе и смятии.

Если принять, что шпонка работает как короткая бетонная консоль, то  $q_{cm} = \cos^2 \xi$ , где  $\xi = \arctg [h / (c - b)]$ , а  $q_{cp}$  согласно разным источникам, варьирует от 1,5 до 2. Характеристика профиля определяется по меньшему из значений, полученных из выражений 8 и 9. Если  $T_{cp}$  меньше, то профиль жесткий, а если  $T_{cm}$  меньше, то профиль мягкий.

Поэтому из условия  $T_{cm} < T_{cp}$  выведем формулу, гарантирующую мягкость профиля,

$$T = A_{cm} / A_{cp} < R_{cp} / R_{cm} = q \cdot R_{cp} / R_{cm} \quad (13)$$

где  $q$  – коэффициент, определяемый из испытаний, теоретически или на основании численных исследований

$$q = q_{cp} / q_{cm} \quad (14)$$

Чем меньше  $h$  по сравнению с  $m$  и чем меньше  $T_{cm}$  по сравнению с  $T_{cp}$ , тем мягче профиль.

На основании проводимых ранее испытаний шпоночных сопряжений и учитывая малое значение угла  $\xi$ , примем  $q_{cm} = 1$ ,  $q_{cp} = 1,5$ .

тогда для бетонов классов В15, В25, В40, В60 значения граничной величины  $m$  (13) соответственно равняются:

$$m = 0,15 - 0,126 - 0,109 - 0,096 \quad (15)$$

Осредненные значения  $n$  (13) для диаметров 10 - 40мм равняются:

$$\text{для кольцевого профиля} \quad n - n_c = 0 < 229 > m, \quad (16)$$

для серповидного профиля  $n = n_c = 0,102 < m$  для В15, В25 и В40;

$$n = n_c = 0,102 > m = 0,096 \text{ для В6040.} \quad (17)$$

Следовательно, все бетонные шпонки, образуемые кольцевым профилем независимо от класса бетона должны разрушаться от среза, и профиль является безусловно жестким, а бетонные шпонки, образуемые серповидным профилем, должны разрушаться от смятия при В15, В25 и В40, а при В60 – от среза. При увеличении прочности бетона у кольцевого профиля наблюдается смягчение сцепления, а у серповидного – ужесточение.

Из графиков (рис.3), построенных по формуле (5) при разрушении от среза (6) и от смятия (7) видно, что прочность сцепления серповидного профиля даже при явно завышенном для него  $f_R \approx 0,066$  ниже, чем у кольцевого в среднем от 1,75 раза при В15 и до 1,18 раза при В60.

Для нового профиля, разработанного в НИИЖБ, в диаметрах от 10 до 40мм и  $h_2 = h$  осредненные значения  $n$  равняются:

$$n_c = 0,079, \quad (18)$$

что меньше  $m$ (15) и соответствует мягкому профилю, для которого характерно разрушение сцепления от смятия бетона. Из графиков следует, что наибольшая прочность сцепления арматуры с бетоном у четырехстороннего профиля по смятию для высоких классов В40 и В60, а у кольцевого профиля – по срезу для классов В15 и В25. Новый профиль НИИЖБ превосходит серповидный по прочности сцепления от 1,52 при В15 до 1,61 при В60. Это обусловлено тем, что благодаря более равномерно распределенной по периметру сечения площади смятия поперечных ребер достигается более равномерное распределение напряжений распора, вызывающих раскалывание бетона при прочих равных условиях. По этому показателю новый профиль превосходит обычный серповидный профиль, что в сочетании с улучшенным сцеплением позволяет уменьшить необходимую длину анкеровки стержней по сравнению со стержнями серповидного профиля и приравнять ее к стержням с кольцевым профилем. Это подтвердилось сравнительными испытаниями на вытягивание стержней Ø25 мм из бетонных призм, разрушившихся от раскалывания бетона. Раскалывание образцов со стержнями с двухсторонним серповидным профилем происходило при меньшей осевой нагрузке на стержень, чем образцов со стержнями, имеющими четырехсторонний профиль. В настоящее время это явление экспериментально проверяется по другим методикам. В частности, первые данные в начатой серии испытаний по определению длины зоны передачи напряжений при отпуске натяжения также свидетельствуют о меньшей распорности четырехстороннего профиля.

Из графиков (рис.3) и таблицы 2 следует, что четырехсторонний периодический профиль НИИЖБ при  $h_2 = h$  имеет по осредненным показателям наиболее мягкий профиль  $n$ , оптимально-высокое значение  $f_R = 0,1$ , максимальную величину сцепления  $t$  и соответственно минимальную длину анкеровки арматуры  $l_{ан}$ . Это дало основание сделать вывод о возможности применения к арматуре нового профиля требований к длинам анкер-

ровки и нахлестки, близких к установленным для кольцевого профиля и доказавших в течение 30 лет свою надежность.

При снижении высоты дополнительных поперечных ребер значения  $t$  и  $l_{ан}$  у профиля НИИЖБ сравниваются со значениями у кольцевого профиля, но сам профиль останется мягким. При дальнейшем снижении  $h_2$  показатели  $t$  и  $l_{ан}$  приближаются к верхним значениям серповидного профиля. Но при этом четырехсторонний профиль останется более мягким и будет создавать меньшие поперечные распорные усилия, вызывающие раскалывание бетона.

Сравнение основных характеристик рассмотренных профилей (табл. 2 и 3), показало значительное преимущество четырехстороннего профиля.

Новый периодический профиль применен для арматуры класса А500СП (ТУ 14-1-5526-2006), которую в значительных объемах выпускает входящий в концерн «ЕвразХолдинг» Западно-Сибирский металлургический комбинат – крупнейшее предприятие России по производству арматуры.

Для арматуры класса А500СП в НИИЖБ разработан рекомендательный документ, который предназначен для применения на всей территории РФ и издан в форме Стандарта организации ФГУП «НИЦ «Строительство» под названием «Применение арматуры класса А500СП в железобетонных конструкциях» СТО 36554501-005-2006. Положения документа разработаны с учетом положительных особенностей арматуры А500СП, выявленных в ходе четырехлетних исследований и на основании опыта практического применения крупными строительными компаниями.

В частности, в нем даны значения расчетных сопротивлений, определяемые с использованием коэффициента надежности  $\gamma_s = 1,1$ , а не 1,15, который принят в Своде правил для класса А500 обобщенно для продукции всех заводов. Иными словами для арматуры класса А500СП могут быть приняты значения  $R_s$  и  $R_{sc}$ , равные 450 МПа вместо 435 МПа, которые согласно Своду правил следует применять для арматуры А500С.

В формуле для определения базовой длины анкеровки  $l_{ан}$  принято значение  $R_{bond} = 2,8\eta_2 R_{bt}$  вместо  $2,5\eta_2 R_{bt}$  по Своду правил, что позволяет сократить длину анкеровки и нахлестки арматурных стержней на 11-12%. Новая исправленная и дополненная редакция СТО 36554501-005-2006\* предусматривает расширение производимого сортамента (10 - 40 мм), допускает применение арматуры класса А500СП в конструкциях, подвергающихся динамическим нагрузкам, снимает ограничения по применению этой арматуры при расчетных температурах ниже 40°C.

Проиллюстрируем на примерах, как могут быть реализованы при проектировании преимущества применения арматуры классов А500С и А500СП с новым профилем взамен АШ (А400).

Если взамен класса арматуры А400 применяется класс А500С с обычным серповидным или кольцевым профилем, то при расчете

Таблица 2

**Средние характеристики арматурных профилей диаметром 10 - 40 мм ( $d_{сп} = 2,5$  м) при среднем классе бетона  $B_{сп} = 35$**

Профиль	$H_{сп}$ , мм	$c_{сп}$ , мм	$b_{сп}$ , мм	$b_{1сп}$ , мм	$f_R$	$n_{сп}$	$t_{сп}$ , кг/см <sup>2</sup>	$t_{св}$ , кг/см <sup>2</sup>	$l_{ан}$
Кольцевой	1,67	8,67	1,5	2,21	0,1772	0,229	21,71	44,96	100%
Серповидный	1,6	12,08	1,5	-	0,0664	0,102	18,34	16,84	78%
Четырехсторонний	1,54	14,17	1,50	2,21	0,1008	0,079	35,94	25,58	118%

Таблица 3

**Сравнение различных профилей стержневой арматуры**

Профиль	Мягкость профиля, $n$	Прочность сцепления, $t$	Технологичность производства	Итоговая оценка
Кольцевой	-	+	-	-
Серповидный	о	-	+	о
Четырехсторонний	+	+	о	++

и конструировании следует пользоваться положениями СП 52-101-2003 или ТСН 102-00\*, согласно которым расчетное сокращение площади арматуры может составить  $(435/355-1)100=22\%$ . Однако фактическая реализация расчетной экономии металла в этом случае затруднена, поскольку такое соотношение расчетных сопротивлений не допускает прямой замены стержней большего диаметра на стержни меньшего диаметра. Единственное исключение - возможность замены  $\varnothing 22$  на 20 мм.

Если же с учетом недозагрузки заменяемого стержня по расчету все-таки окажется возможным перейти на меньший диаметр, то придется длину анкеровки заменяющего стержня увеличить в пропорции  $\varnothing_{A400}/\varnothing_{A500}$  т.е. в среднем на 11-12%, что не всегда удобно в конструктивном отношении. При этом проектировщик учитывает риск пересортицы металла на пути от металлургического завода до строительного участка и конструкций возводимого объекта.

В случае же применения взамен класса А400 арматуры с новым профилем класса А500СП определенное с использованием положений СТО 36554501-005 расчетное сокращение площади поперечного сечения арматуры составит  $(450/355-1)100=26,5\%$ . Это позволяет при диаметрах заменяемых стержней 18 мм и более переходить на один номер сортамента ниже, даже если стержень класса А400 по расчету воспринимал напряжение, равное  $R_s=355$  МПа, т.е. был установлен без запаса. Возможна автоматическая замена диаметров 18 на 16, 20 на 18, 22 на 20, 28 на 25, 36 на 32, 40 на 36. Кроме того, нет необходимости увеличивать длину анкеровки заменяющего стержня, так как требуемая базовая длина анкеровки  $l_{анк}$  стержней класса А500СП с новым профилем, определяемая согласно СТО 36554501-005, меньше на 11-12%. А в случае перехода с диаметра 36 на 32 мм значение  $l_{анк}$  может быть даже уменьшено на 10%, поскольку для стержней 36 и 40 мм длина анкеровки как по СП, так и по СТО принимается увеличенной на 10%. Пересортица классов арматуры на стройке в этом случае практически невозможна, так как профиль арматуры класса А500СП однозначно этот

класс идентифицирует.

Одним из преимуществ нового четырехстороннего профиля арматуры А500СП является также то, что если при проведении технадзора, приемке или обследовании конструкций объекта потребуется определить, что применена арматура именно класса прочности 500 МПа, нет необходимости вырезать из конструкций образцы арматуры для испытаний. Достаточно лишь оголить небольшой участок арматуры и зафиксировать тип профиля.

#### Выводы

1. Разработан метод оценки качества и прочности сцепления арматуры различного профиля с бетоном с учетом его прочности.
2. Созданный в НИИЖБ четырехсторонний серповидный профиль имеет следующие преимущества:
  - по прочности сцепления с тяжелым бетоном классов В15-В60 не уступает арматуре с кольцевым профилем и превосходит арматуру с двухсторонним серповидным профилем;
  - имеет оптимальную величину коэффициента Рема, легко достигаемую при промышленном изготовлении;
  - является наиболее мягким профилем, исключая хрупкий срез даже в высокопрочном бетоне.
3. Новый профиль применен для арматурной стали класса А500СП, массово выпускаемой Западно-Сибирским металлургическим комбинатом и поставляемой практически во все регионы России.
4. Применение арматуры класса А500СП взамен класса А400, как правило, не требует сложных конструктивных изменений и позволяет при диаметре заменяемой арматуры 18 мм и выше переходить на один номер сортамента ниже, не увеличивая при этом длины анкеровки и нахлестки. Условия применения арматуры класса А500СП регламентированы стандартом организации «НИЦ «Строительство» СТО 36554501-005-2006\*.

г. Сургут

14 - 15 ноября

## Ярмарка недвижимости Инвестиции. Ипотека

Сургутский краеведческий музей  
ул. 30 лет Победы, 21/2

II-я международная ярмарка недвижимости

- \* Объекты жилой недвижимости
- \* Загородная недвижимость
- \* Зарубежная недвижимость
- \* Инвестиционные проекты для юридических лиц и частных инвесторов
- \* Ипотека. Консультации. Советы.
- \* Оценка и страхование имущества
- \* Юридические и риэлторские консультации
- \* Дизайн и отделка

**КУПЛЯ. ПРОДАЖА. АРЕНДА**

Организаторы проекта:  
ООО РВС "Лидер"  
т./ф.: (383) 363-07-73



Информационный спонсор

MSOLZ.RU МАРКЕТИНГ СОЮЗ

Официальный интернет-партнёр

LENТА.RU НЕДВИЖИМОСТЬ

Rambler.RU НЕДВИЖИМОСТЬ

ИНДИКАТОРЫ РЫНКА ИРН.RU НЕДВИЖИМОСТИ

METRINFO.ru КВАДРУМ

Информационная поддержка:

Артсат СтройМАРКЕТ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК