

И.Н. ТИХОНОВ, канд. техн. наук, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

Оценка эффективности арматурного проката с различными видами периодического профиля поверхности

Эффективность арматурного проката для железобетона должна оцениваться на стадиях его производства, технологической переработки, применения при проектировании и эксплуатации.

При освоении производства нового профиля арматурного проката определяется технологичность его нарезки в ручьях валков чистовых клетей прокатного стана, стойкость канавок ручьев при прокатке для обеспечения нормативных требований по геометрическим параметрам профиля, эффективность термообработки, зависящая от конфигурации профиля и его оребренности, отсутствие криволинейности стержней после термообработки.

Технологическая переработка арматурного проката выполняется на специализированных арматурных участках (цехах) предприятий по производству железобетонных конструкций, металлотермических центров, а также объектов строительства.

Для выполнения проектных требований к арматурной продукции стержни правятся, гнутся и соединяются электродуговой сваркой в сетки, каркасы и закладные детали. В данном случае высоко оценивается округлость внешнего контура сечения арматуры, так как его овальность вызывает неудобства при гнутье и сварке стержней.

Она же может являться причиной искривления арматурных сеток и каркасов после их контактно-стыковой сварки на автоматическом оборудовании.

Эффективность применения арматуры при проектировании железобетонных конструкций обуславливается в первую очередь ее прочностными и деформативными характеристиками, а также сцеплением с бетоном. От этих характеристик зависит безопасность и экономичность конструктивных решений.

Профиль арматурного проката во многом определяет эффективность его сцепления с бетоном, а следовательно, надежность анкеровки арматуры, трещиностойкость и деформативность железобетонных конструкций при эксплуатационных нагрузках.

Прочностью и жесткостью анкеровки арматуры в бетоне определяется надежность ее нахлесточных бесстыковых соединений, выпусков стержней из фундаментов, анкеров закладных деталей и др.

Надежность сопротивления наклонных сечений плит и балок перекрытия при обрывах рабочей арматуры в приопорных зонах во многом оценивается эффективностью анкеровки концевых участков обрывающейся арматуры в предельной стадии их работы. В данном случае от профиля арматуры будет зависеть сопротивление балок и плит по наклонному сечению после достижения в арматуре этого сечения предела текучести [1]. От вида и геометрических параметров профиля зависит сопротивление арматуры различным видам динамического нагружения.

Известно, что предельные величины ширины раскрытия трещин в железобетоне назначались преимущественно из условий защиты арматуры от коррозии. Наличие трещин и ширина их раскрытия на поверхности железобетонных конструкций при эксплуатационных нагрузках также влияют на их огнестойкость при пожарах. От величины раскрытия трещин при эксплуатационных нагрузках зависит эффективность примене-

ния в изгибаемых железобетонных элементах без предварительного напряжения арматуры повышенной прочности классов А500 и А600 взамен А400, а следовательно, возможность снижения металлоемкости железобетона и его стоимости.

Зарубежными и отечественными исследованиями установлено, что с увеличением относительной площади смятия поперечных ребер f_R — так называемого критерия Рема, оценивающего эффективность сцепления с бетоном периодического профиля арматуры, до значения $f_R=0,075$, трещиностойкость железобетона значительно улучшается [2–4].

В СССР до 1990-х гг. для армирования железобетонных конструкций использовалась арматура с кольцевыми поперечными ребрами поверхности, пересекающимися продольные ребра. Она производилась по ГОСТ 5781–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций» и имела ненормируемое значение критерия Рема $f_R>0,1$ (рис. 1, а).

Форма стержней арматуры по ГОСТ 5781–82 и установленные геометрические размеры профиля обеспечивали:

- постоянную по всей длине стержня расчетную прочность сечения;
- достаточную прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном, благодаря которым можно было использовать стали с высоким значением предела текучести, назначить более низкие по сравнению с зарубежными значения длины анкеровки, нахлестки и зоны передачи усилий обжатия от напрягаемой арматуры на бетон;
- низкие значения ширины раскрытия трещин при их частом расположении на эксплуатационных стадиях нагружения и способность к перераспределению усилий в слабоармированных железобетонных элементах на стадиях, близких к разрушению, при различных видах нагружения.

Все эти преимущества арматуры по ГОСТ 5781–82 позволили обеспечить эффективное развитие сборного железобетона в СССР, что значительно способствовало решению жилищной проблемы страны в первые послевоенные десятилетия.

Производство арматуры с рассматриваемым периодическим профилем, в основном для транспортного строительства, осуществляется металлургическими заводами и в настоящее время. По мере технического раз-



Рис. 1. Основные типы периодического профиля: а – кольцевой, ГОСТ 5781–82, $f_R>0,10$ (не нормируется); б – серповидный двухсторонний, СТО АСЧМ 7–93, $f_R\geq 0,056$; в – серповидный четырехсторонний, ТУ 14-1-5526–2006, $f_R\geq 0,075$

Таблица 1

Выборочные результаты сопоставительного анализа рекомендаций нормативных документов для сочетания: бетон В25; арматура А500; растянутые стержни; нагрузки непродолжительного действия					
Вид расчета	СНиП 2.03.01–84*	СП 52-101–2003	EN 1992-1-1	СП 52-101–2003 в сравнении с СНиП 2.03.01–84* (по основным значениям)	EN 1992-1-1 в сравнении с СНиП 2.03.01–84* (по основным значениям)
Требуемая длина расчетная длина (Ø16 мм)	$l_{an} = [\omega_{an} R_s / R_b + \Delta l_{an}] d_s = 512 \text{ мм} = 32 d_s$; при $\omega_{an} = 0,7$; $\Delta l_{an} = 11$ (для растянутой арматуры в растянутом бетоне), но не менее 20d_s или 250 мм	Базовое (основное) значение $l_{an} = \alpha [R_s A_s / (R_{bond} u_s)] = 663 \text{ мм} = 41,4 d_s$; при $\alpha = 1$ (для растянутой арматуры), но не менее 15d_s; 200 мм; 0,3 l_{o,an}	Базовое (основное) значение значение $l_{b,rgd} = (\sigma_s / f_{bd}) = 46 d_s$, но не менее 10d_s или 100 мм (при благоприятных условиях бетонирования)	+29%	+44%
Длина перепуска в соединениях внахлестку (Ø16 мм)	$l_{an} = [\omega_{an} R_s / R_b + \Delta l_{an}] d_s = 608 \text{ мм} = 38 d_s$; при $\omega_{an} = 0,9$; $\Delta l_{an} = 11$ (в растянутом бетоне), но не менее 20d_s или 250 мм	Базовое (основное) значение $l_{an} = \alpha [R_s A_s / (R_{bond} u_s)] = 796 \text{ мм} = 49,7 d_s$; при $\alpha = 1,2$ (для растянутой арматуры), но не менее 20d_s; 250 мм; 0,4 l_{o,an}	Базовое (основное) значение значение $l_0 = \alpha_1 \dots \alpha_6 l_{b,rgd} = 64 d_s$, но не менее 15d_s или 200 мм (при благоприятных условиях бетонирования)	+31%	+68%
Длина запуска растянутых стержней за внутреннюю грань свободной опоры	$l_a \geq 5 d_s$ при $Q_{max} \leq Q_b$, иначе $l_a \geq 10 d_s$	$l_a \geq 5 d_s$ при $Q \leq Q_b$, иначе $l_a \geq l_{an}$, но не менее 15d_s или 200 мм	–	+50%	–
Длина нормальных анкеров закладных деталей	$l_{an} = [\omega_{an} R_s / R_b + \Delta l_{an}] d_s = (23–32) d_s$; (при $\omega_{an} = 0,5$, $\Delta l_{an} = 8$ для анкеров в умеренно сжатом на 0,25–0,75% бетоне и $\omega_{an} = 0,7$; $\Delta l_{an} = 11$ для растянутых анкеров в растянутом бетоне)	Базовое (основное) значение для: растянутых анкеров $l_{an} = \alpha [R_s A_s / (R_{bond} u_s)] = (29–41,4) d_s$; ($\alpha = 0,7$ при допустимом уменьшении длины анкеров в зависимости от поперечной арматуры, сосредоточенных анкеров и поперечного обжатия; в других случаях $\alpha = 1$)	–	26%	–

вития выявились недостатки этой формы профиля при производстве и применении арматуры.

Частое расположение поперечных ребер, пересекающихся с продольными ребрами арматуры по ГОСТ 5781–82, обуславливает ускоренный износ и, следовательно, большой расход дорогостоящих чугуных валков чистовых клетей прокатного стана. Это связано с тем, что в процессе нарезки формирующих поперечные ребра канавок на поверхности рабочих калибров валков, удары при входе рабочего инструмента способствуют образованию микротрещин в хрупком металле валка. При прокатке арматуры на этих участках калибров происходит постепенное выкрашивание чугуна, искажающее форму поперечных ребер, в результате чего продукция перестает соответствовать стандарту.

Кроме того, в результате исследований усталостной прочности арматуры с кольцевым профилем установлено, что он неблагоприятен с точки зрения работы на выносливость при циклических нагрузках, так как при этой форме профиля на поверхности стержней образуются многочисленные потенциальные очаги концентрации напряжений, приводящие к образованию и развитию усталостных трещин.

В европейских странах в последние несколько десятков лет арматуру (рис. 1, б) производят главным образом с профилем в виде двух рядов серповидных ребер, не пересекающих продольные ребра (обычно его называют серповидным двухсторонним, или европрофилем).

Предполагалось, что этот профиль технологичнее по сравнению с профилем по ГОСТ 5781–81. Однако по

результатам опытных прокаток с участием НИИЖБ на Макеевском металлургическом заводе еще в 1966 г. установлено, что стойкость калибров валков с серповидным профилем даже ниже, чем у калибров с кольцевым профилем. Было сделано предположение, что возможной причиной этого является то, что в случае отсутствия сопряжения поперечных выступов с продольными ребрами формование металла в калибре протекает в стесненных условиях и, таким образом, у концов выступов создается весьма сильное давление, при многократном действии которого металл валка разрушается. К сожалению, доскональные исследования этого вопроса впоследствии не проводились и дать ему какую-либо объективную оценку не представляется возможным.

Предполагалось также, что за счет существенного уменьшения потенциальных очагов концентрации напряжений серповидный профиль обеспечивает лучшие показатели по выносливости при многократно повторяющихся нагрузках.

Исследованиями НИИЖБ подтверждается, что сведение поперечных выступов на нет повышает предел выносливости арматуры. В то же время установлено, что основной причиной значительного снижения выносливости стержней для всех исследованных видов арматуры является повышенная концентрация напряжений у боковых поверхностей поперечных выступов в местах их сопряжения с цилиндрической поверхностью стержня [5], а также замкнутость по периметру поперечных ребер, как у арматуры с кольцевым профилем.

Таблица 2

Оценка эффективности применяемых в РФ типов периодических профилей стержневой арматуры		
Геометрические параметры и оценочные характеристики периодического профиля стержней, определяющие высокие эксплуатационные качества арматуры (нормируемые параметры выделены жирным шрифтом)	Оптимальные уровни значений и показатели	Значения геометрических параметров и оценочных характеристик для применяемых в РФ типов арматурных профилей. Число значков (+) – условно-балльная оценка эксплуатационных качеств
		Серповидный двухсторонний по ГОСТ Р 52544
		Серповидный четырехсторонний по ТУ 14-1-5526
Относительная площадь смятия поперечных ребер f_R	0,07–0,08	Нормируемая не менее 0,043–0,056 (++)
Шаг поперечных ребер (с учетом допусков) t	(0,6–0,8)dn	Табл. 2: (0,4–1,0) dn Прилож. А: (0,42–0,69) dn (++)
Высота поперечных ребер (для серповидных ребер максимальная) h	$\geq 0,065dn$	Табл. 2: (0,065–0,1) dn Прилож. А: (0,067–0,083)dn (+++)
Плавность сопряжения боковых поверхностей поперечных и продольных ребер с поверхностью сердечника (радиус сопряжения r)	Максимально возможный	Не предусматривается и не нормируется (рис. А.1 в прилож. А) (++)
Коэффициент охвата сердечника поперечными ребрами	(0,8–0,9) ρ_{dH}	(0,75–0,80) ρ_{dH} (++)
Отношение расстояния в свету между поперечными ребрами к их высоте c_1 / h	≥ 8	4,72–7,10 (++)
Возможность увеличения высоты поперечных ребер для достижения оптимальной площади смятия ребер f_R	Не требуется до 0,07–0,08	Средняя (++)
Способность при минимальных нормируемых значениях f_R сохранения сцепления с бетоном при пластических деформациях арматуры за пределом текучести	–	Средняя (++)
Возможность усиления сцепления с бетоном при повышении площади смятия ребер (при адекватном поперечном армировании конструкции)	Высокая	Средняя (++)
Способность обеспечения нормируемого уровня сопротивления динамическим, в том числе циклическим, нагрузкам	Высокая	Высокая (++)
Деформативность железобетонных изгибаемых элементов (балок, плит) при нормативной нагрузке	Низкая	Средняя (++)
Трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов (балок, плит) при нормативной нагрузке	Высокая	Средняя (++)
Защита от воздействия агрессивных сред и высоких температур (с учетом строки 12, табл. 2)	Высокая	Средняя (++)
Способность при минимальных нормируемых значениях f_R к обеспечению надежности и жесткости концевых анкеров (обжатых шайб) на предварительно напрягаемых арматурных стержнях с натяжением на упоры форм	Высокая	Средняя (++)
Длина зоны передачи напряжений на бетон при отпуске натяжения арматуры	Малая	Средняя (++)
Распорность профиля на длине зоны передачи напряжений на бетон при значениях f_R : – минимальных нормируемых, – при фактических высоких и близких к оптимальным	Низкая Низкая	Низкая (+++) Средняя (++)
Узнаваемость (простота идентификации) класса арматуры на стройплощадке	Высокая	Средняя (++)
Технологичность в производстве	Высокая	Высокая (+++)
Суммарная условно-балльная оценка эффективности типов периодического профиля арматурных стержней	(+)42	(+)57

В начале 1990-х гг. многие металлургические предприятия стран СНГ, производящие арматурный прокат, начали массовое освоение зарубежных рынков сбыта своей продукции, естественно, ориентируясь при этом на требования стандартов стран – покупателей арматуры для железобетона. С учетом положений международных стандартов в России были разработаны стандарты СТО АСЧМ 7-93 «Прокат периодического профиля из арматурной стали» и ГОСТ Р 52544–2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций». В них как рекомендуемый принят периодический профиль европейского образца. Аналогичный периодический профиль рекомендован в ГОСТ 10884–94 «Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций».

В основном из-за коммерческих соображений большинство отечественных металлургических заводов стали выпускать арматуру класса А400 (А-III) и А500С с двухсторонним серповидным профилем как для внешнего, так и для внутреннего рынка по техническим условиям. В результате была разрушена привычная система идентификации класса арматуры по форме периодического профиля и стала возможным на стройках и заводах ЖБИ подмена проектной арматуры арматурой меньшего класса прочности.

Отсутствие в серповидном двухстороннем (европейском) профиле пересечения продольных ребер с поперечными существенно снижает значения показателя сцепления – относительной площади смятия поперечных ребер f_R по сравнению с кольцевым профилем по ГОСТ 5781–82 при одинаковой высоте ребер. Браковочный минимум критерия Рема для этого вида арматуры установлен $f_R \geq 0,056$.

Сцепление стержней европейского профиля с $f_R \geq 0,056$ с бетоном характеризуется меньшей прочностью и жесткостью. Это особенно заметно на бетонах низких и средних классов прочности. По результатам анализа многочисленных опытов установлено, что $f_R = 0,07–0,073$ являются для всех известных видов профиля арматуры оптимальной величиной [2–4].

Увеличением высоты поперечных ребер европейского профиля можно достигнуть $f_R = 0,07$, что позволит компенсировать потери в жесткости и прочности сцепления. Однако это ограничено, с одной стороны, реальными возможностями прокатного производства, а с другой – возрастанием сконцентрированных, двухсторонне направленных усилий распора в окружающем арматуру бетоне (рис. 2), снижением предела выносливости и ухудшением технологичности переработки из-за овальности поперечного сечения.

Фактически можно заключить, что в рамках общепринятых технологий прокатки возможности совершенствования кольцевого и двухстороннего серповидных профилей арматуры в части улучшения сцепления с бетоном путем корректировки геометрических параметров в значительной степени исчерпаны.

Отмеченные особенности сопротивления в бетоне арматуры с кольцевым по ГОСТ 5781–82 и серповидным двухсторонним (европейским) профилями были учтены в СНиП 2.03.01–84* «Бетонные и железобетонные конструкции» для строительства в республиках СССР и EN 1992-1-1 для стран Евросоюза. Значительно позже, только после массового внедрения металлургической промышленностью стран СНГ европейского серповидного вида профиля, в разделах нормативных документов Украины и Белоруссии, касающихся сцепления с бетоном арматурного проката, были приняты требования, практически не отличающиеся от требований Евроном, а в нормах России по экономическим соображениям эти требования были скорректированы частично (табл. 1).

Из приведенных в табл. 1 материалов, касающихся требований, отражающих только изменения в анкеро-

вке арматуры в бетоне, можно увидеть значительное увеличение (до 30%) расхода арматуры на их выполнение.

Существенные изменения в новой редакции СНиП 2.03.01–84* претерпели также требования, касающиеся трещиностойкости и деформативности железобетонных конструкций.

В СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01–2003» для расчета ширины раскрытия нормальных трещин предложена формула:

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s, \quad (1)$$

где φ_2 – коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры и принимаемый 0,8 – для гладкой арматуры; 0,5 – для арматуры периодического профиля.

Экспериментально установлено, что при $\varphi_2 = 0,5$ расчетные и опытные величины a_{crc} имеют хорошее совпадение у растянутых и изгибаемых железобетонных элементов с арматурой класса А400 и А500С с серповидным двухсторонним профилем ($f_R \geq 0,056$).

В то же время результаты расчетов ширины раскрытия трещин a_{crc} по формуле (1) с $\varphi = 0,35$ практически совпадают с результатами расчетов по СНиП 2.03.01–84*.

Таким образом, можно заключить, что расчеты по СП 63.1333.2012, ставшие обязательными для проектирования железобетонных конструкций с 1.01.2013 г., приведут к значительному (до 30%) увеличению расхода арматуры для обеспечения требований по ее анкеровке, а также для выполнения требований по ширине раскрытия трещин и ограничению прогибов.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева разработан, запатентован в России и других странах, а также внедрен в массовое производство новый профиль арматурного проката с условным названием «серповидный четырехсторонний», или же «профиль НИИЖБ» (рис. 1, в). Этот вид профиля объединяет в себе положительные качества как кольцевого, так и серповидного двухстороннего профилей.

По сравнению с серповидным двухсторонним новым профилем позволяет при той же высоте поперечных ребер за счет их чередующегося четырехстороннего расположения увеличить относительную площадь смятия арматуры f_R в 1,3–1,4 раза при том, что шаг ребер в каждом ряду увеличивается на 10–15%.

Такая конструкция профиля за счет увеличения сопротивления смятию и срезу зигзагообразных, непрерывных по длине междуреберных бетонных шпонок, благодаря эффективной работе внедренных в них зерен крупного заполнителя позволяет значительно повысить прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном, а также энергоемкость ее после достижения пластических деформаций в металле (рис. 3).

Четырехрядная компоновка чередующихся по длине поперечных ребер делает более равномерным по контуру сечения стержня распределение расклинивающих бетон усилий распора, возникающих в зонах анкеровки или нахлестки арматуры, уменьшает опасность возникновения трещин раскалывания и исключает необходимость усиленного поперечного армирования (рис. 2). Прерывистостью по периметру и умеренностью по высоте серповидных ребер арматуры обуславливается выполнение нормативных требований по показателям выносливости при многократно повторяющихся нагрузках.

Новый вид профиля используется для производства арматуры класса прочности А500 и обозначается А500СП. Арматурный прокат класса А500СП производится на ОАО «Евраз-Объединенный ЗСМК» (г. Новокузнецк) по ТУ 14-1-5526–2006 «Прокат арматурный класса А500СП с эффективным периодическим профилем. Технические условия» и применяется в строительстве по СТО 36554501-005–2006 «Применение арматуры класса А500СП в железобетонных конструкциях».

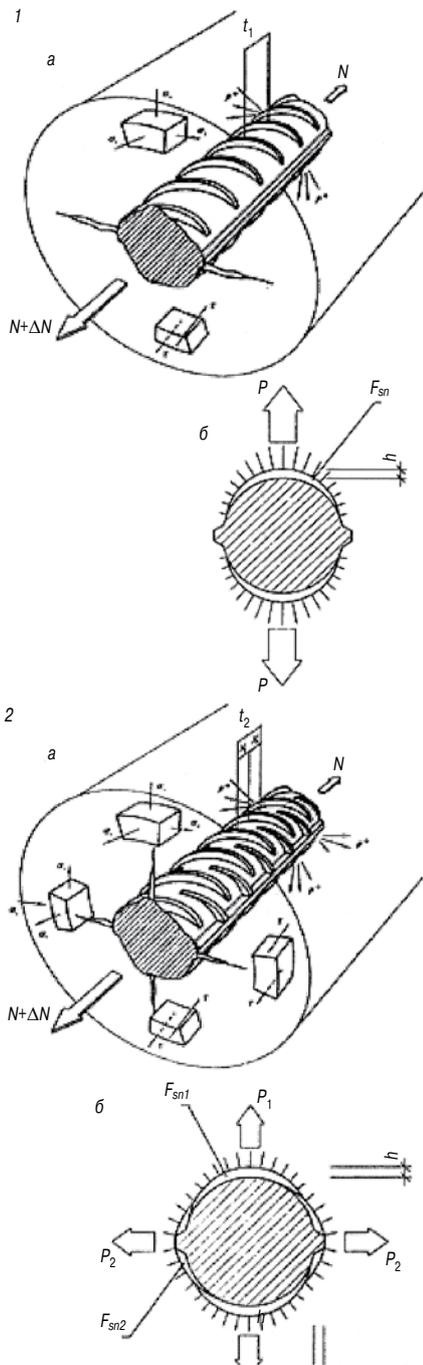


Рис. 2. Схема взаимодействия растянутого стержня с окружающим бетоном: 1 – европейский профиль с серповидными ребрами; 2 – профиль нового типа; а – усилия в бетоне в зоне передачи напряжений с арматуры на бетон; б – распределение усилий распора в поперечном сечении

Общий объем производства арматуры с новым профилем за период 2006–2012 гг. превысил 1,2 млн т.

Одним из преимуществ арматуры класса А500СП с профилем НИИЖБ является ее узнаваемость по виду поверхности, что практически исключает случайное попадание в конструкции арматуры низшего класса прочности. Это позволяет проектировщикам и строителям с гарантированной безопасностью применять арматуру класса А500СП взамен класса А400 с экономическим эффектом.

В НИИЖБ выполнены обширные сопоставительные исследовательские работы по оценке эффективности использования при армировании железобетонных

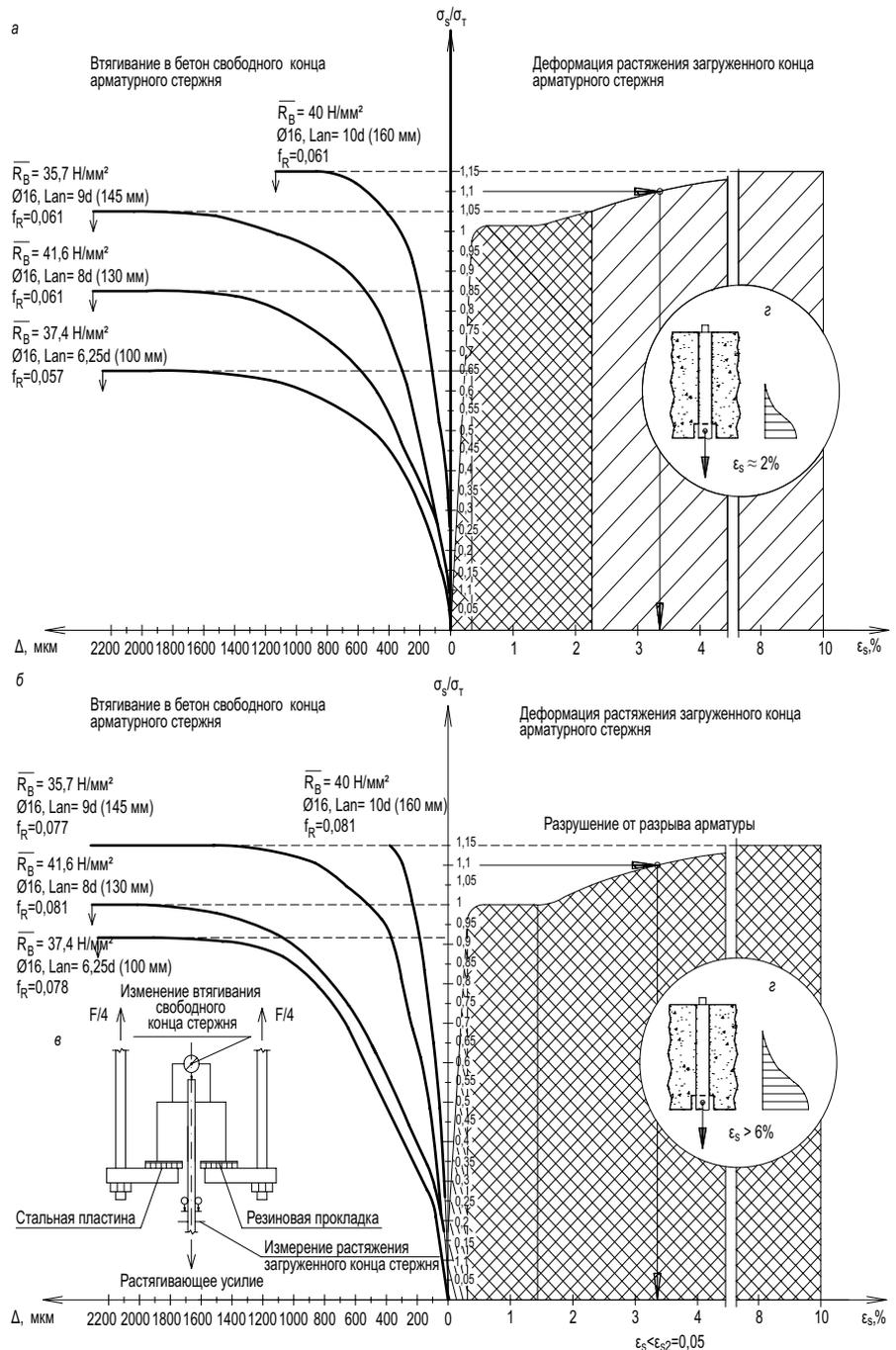


Рис. 3. Деформации втягивания незагруженного конца стержня и энергоемкость разрушения сцепления арматуры Ø16 мм с бетоном: а – А500С; б – А500СП; в – схема испытаний; г – эпюры пластических относительных удлинений стержней в пределах зоны заделки в бетон

конструкций арматуры класса А500СП взамен класса А400 и А500С [1–3].

Результаты исследований использованы при составлении СТО 36554501-005–2006. При использовании арматуры с кольцевым ($f_R \geq 0,1$) и серповидным четырехсторонним профилями ($f_R \geq 0,075$) хорошее совпадение расчетных по формуле (1) и опытных величин $a_{срс}$ имело место при $\Phi_2 = 0,35$.

В последнее время при изготовлении железобетонных конструкций по старым типовым проектам возникает вопрос о возможности замены арматуры класса А400 (А-III) на А500С.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что прямая замена диаметр на диаметр арматуры класса А400 (А-III) с кольцевым профилем по ГОСТ 5781–82 в типовых сериях железобетонных конструкций на арматуру класса А500С с двухсторонним серповидным профилем по ГОСТ Р 52544–2006 без пересчета a_{cr} по формуле (1) неправомерна. Может оказаться, что площади арматуры, в случае ее определения при проектировании по требованиям второго предельного состояния СНиП 2.03.01–84*, будет недостаточно для удовлетворения этих же требований по СП 63.13330.2012, а следовательно, при эксплуатации железобетонных конструкций ширина раскрытия трещин может превысить предельные значения установленные нормами.

Указанная замена, не компенсированная увеличением длины анкеровки (табл. 1), может при неблагоприятных обстоятельствах быть одной из причин катастрофических прогрессирующих разрушений железобетонных конструкций от вырывов анкером закладных деталей и хрупких разрушений по наклонным сечениям и в зонах нахлесточных стыковых соединений.

Принимая во внимание высокую надежность анкерования арматуры с профилем НИИЖБ, возможна замена в типовых проектах диаметр на диаметр арматуры класса А400 (А-III) по ГОСТ 5781–82 на А500СП без перерасчета по СП 63.13330.2012. Это позволит сохранить не только надежность, но и экономическую эффективность таких железобетонных конструкций.

В Центре проектирования и экспертизы НИИЖБ переработано более 15 типовых проектов железобетонных конструкций с заменой арматуры класса А400 (А-III) на А500СП (сваи, перемычки, колонны, дорожные плиты, лотки теплотрасс, опоры ЛЭП и др.). Это позволило обеспечить экономию арматуры для производителя от 5 до 25%. Использование арматуры класса А500СП в конструкциях домов серии И-155 позволило снизить расход арматуры на 15%.

Выводы

Исследованиями НИИЖБ им. А.А. Гвоздева и семилетним опытом массового производства и применения в строительстве установлена высокая эффективность армирования железобетонных конструкций сталью класса А500СП с серповидным четырехсторонним профилем. Это позволяет сделать ряд выводов и предложений для проектирования, которые улучшат эффективность армирования зданий и сооружений из железобетона без снижения их безопасности:

– применение арматуры класса А500СП взамен А400 в ЖБК реально обеспечивает ее экономию до 25%;

– учитывая высокую стабильность механических свойств; надежность анкерования арматуры класса А500СП и эффективность сцепления с бетоном этой арматуры в стадии пластического деформирования, рекомендовать ее использование в качестве предпочтительной для железобетонных конструкций, рассчитываемых по нелинейной деформационной (пластической) модели, в том числе на аварийные нагрузки, с нормированием в этом случае $\varepsilon_{s2} = 0,05$, что будет соответствовать требованиям Евроном к арматуре класса «В»;

– так как при $\varepsilon_{s2} = 0,05$ напряжения в арматуре класса А500СП выше напряжений, соответствующих пределу текучести не менее чем на 10%, ее расчетное сопротивление при $\xi \leq \xi_R$ следует определять, умножая на коэффициент $\gamma_s = 1,1 - 0,1 \frac{\xi}{\xi_R}$, где ξ вычисляют, полагая: $\gamma_s = 1$;

– расчетное сопротивление сцепления арматуры класса А500СП с бетоном определять по формуле:

$$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}, \text{ где } \eta_1 = 2,8; \eta_2 = 1;$$

– длину запуска растянутых стержней класса А500СП за внутреннюю грань свободной опоры принимать

как по СНиП 2.03.01–84* $l_a \geq 5d_s$, при $Q_{max} \leq Q_b$, иначе $l_a \geq 10d_s$;

– в формуле (1) коэффициент Φ_2 представить в зависимости от f_R : для гладкой арматуры $\Phi_2 = 0,8$; для арматуры с периодическим профилем и ($0,056 \leq f_R < 0,075$) – $\Phi_2 = 0,5$; для ($f_R \geq 0,075$) – $\Phi_2 = 0,35$.

Расчетные изменения применительно к арматуре класса А500СП предполагается внести в новую редакцию СТО 36554501–005–2006.

Сопоставительная оценка эффективности применяемых в Российской Федерации видов периодических профилей стержневой арматуры приведена в табл. 2, где показано, что итоговая балльная оценка эффективности арматуры с серповидным четырехсторонним профилем НИИЖБ значительно выше, чем у арматуры с кольцевым по ГОСТ 5781–82 и серповидным двухсторонним (европейским) видами профиля.

Арматура класса А600 и высокопрочная арматура классов А800 и А1000, используемые для изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций, могут также производиться с серповидным четырехсторонним профилем НИИЖБ. Этому способствует подтвержденная экспериментами относительно низкая распорность профиля в бетоне и малая длина зоны передачи напряжений на бетон при отпуске натяжения арматуры [4]. В практике производства предварительно напряженных конструкций уже имеются положительные примеры использования арматуры класса А500СП взамен арматуры класса (А-IIIв) А550.

Отличительными признаками арматуры ненапрягаемой и напрягаемой может быть их обозначение конфигурацией профиля по противоположным сторонам стержня с направлением наклона ребер одинаковым или разным «елочкой». Подобный способ много лет применялся для обозначения классов арматуры А-II и А-III (А-V) по ГОСТ 5781–82.

Арматурный прокат с профилем НИИЖБ при его микролегировании может составить успешную конкуренцию прокату других производителей при использовании в особо ответственных зданиях и сооружениях (энергетическое, транспортное строительство и объекты оборонного значения), а также при экспорте в сейсмоопасные районы мира и районы строительства с низкими отрицательными температурами.

Ключевые слова: эффективность, арматура, сцепление, анкеровка, трещиностойкость, аварийные нагрузки.

Список литературы

1. Тихонов И.Н., Саврасов И.П. Исследования прочности железобетонных балок с арматурой класса А500 при действии поперечных сил // Жилищное строительство. 2010. № 9. С. 2–7.
2. Тихонов И.Н., Саврасов И.П. Экспериментальные исследования предельных состояний железобетонных балок с арматурой класса прочности 500 МПа // Жилищное строительство. 2010. № 8. С. 31–38.
3. Саврасов И.П. Прочность, трещиностойкость и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, армированных сталью класса А500 с различным периодическим профилем. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 22 с.
4. Цыба О.О. Трещиностойкость и деформативность растянутого железобетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматурой, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных ребер. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 2011. С. 24.
5. Городницкий Ф.М., Михайлов К.В. Выносимость арматуры железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1972. 152 с.