



Н. В. АНДРИАНОВ, В. А. МАТОЧКИН,  
А. Н. БОНДАРЕНКО, В. А. ТИЩЕНКО, РУП «БМЗ»,  
И. Н. ТИХОНОВ, В. З. МЕШКОВ, В. С. ГУМЕНЮК, Г. Н. СУДАКОВ, ГУП «НИИЖБ»

УДК 621.771

## НОВЫЙ АРМАТУРНЫЙ ПРОКАТ ПРОИЗВОДСТВА РУП «БМЗ»

За годы экономического переустройства в России и ряде других стран на территории бывшего СССР рост объемов капитального строительства существенно опережал рост экономики в целом. Этот процесс сопровождается технологическими изменениями в области строительства и стройиндустрии. Заметно изменились соотношения объемов промышленного и жилищно-гражданского строительства, резко возросла доля уникальных зданий и сооружений. В области железобетонных конструкций лидирующую позицию в техническом отношении начал занимать монолитный железобетон, позволяющий осуществлять самые смелые архитектурные замыслы.

Повышение этажности жилых зданий, усложнение конструктивных схем, характерное для уникальных объектов, предъявляют повышенные требования к надежности железобетонных конструкций, которые зачастую входят в противоречия с жесткими требованиями по себестоимости, диктуемыми экономической конъюнктурой.

Перед металлургическими предприятиями, производящими арматурный прокат, встает проблема обеспечения растущих потребностей строителей в арматурных сталях с улучшенными потребительскими характеристиками (прочностью, пластичностью, надежным сцеплением с бетоном, коррозионной стойкостью) без существенного изменения себестоимости и отпускных цен.

Являясь одним из крупнейших поставщиков арматурной стали на российском строительном рынке, РУП «Белорусский металлургический завод» начал промышленное освоение ряда высокоэффективных видов арматуры, разработанных совместно с ГУП «НИИЖБ».

### Стержневая арматура

С 1990 г. многие металлургические заводы стран СНГ, производящие арматурный прокат для строительства, начали массовое освоение зарубежных рынков сбыта своей продукции, естественно, ориентируясь при этом на требования стандартов стран покупателей арматурной стали.

*The technology of conversion of new kinds of hardware with profile of new type, which will allow to increase considerably the mechanical properties of concrete components and to enhance the steel economy, is considered in the article. The technology of conversion of bale hardware rolled metal, that will allow to increase considerably the solidity and to improve operating abilities of the hardware rolled metal, is also considered.*

*In such a way the given results of work together with NIIZhB and BMZ allowed to receive the new technological decisions, the realization of which along with the steel save will increase the reliability of concrete components of buildings and installations.*

Основные производители арматуры перешли на выпуск нового проката с периодическим профилем европейского образца по СТО АСЧМ 7-93 и ГОСТ 10884-94, который по сравнению с профилем ранее производимого по ГОСТ 5781 проката имеет худшие показатели, характеризующие прочность и жесткость сцепления с бетоном.

Так как освоенная отечественными предприятиями арматура классов А400, А500С и более высоких классов прочности с европейским профилем стала массово и во все возрастающих объемах поставляться и на внутренний рынок, потребовался пересмотр требований норм проектирования к анкеровке и стыкованию стержней внахлестку, основанных на данных исследований арматуры с профилем по ГОСТ 5781. В подготовленной к выпуску новой редакции СНиП по расчету железобетонных конструкций упомянутые требования приближены к требованиям евро норм. Соотношения расчетных длин заделки, определенных согласно новой и действующей редакциям СНиП, в сравнении с евро нормами приведены на рис. 1.

Из рисунка видно, что длины анкеровки, а также нахлестки арматуры, рассчитанные по формулам новой редакции СНиП, увеличились на 5–31% в зависимости от классов бетона и арматуры. При этом максимальное превышение относится к сочетанию арматуры класса А500С и бетона невысоких классов прочности, представляющему широчайшую область применения в монолитном железобетоне и сборных изделиях для жилищного и гражданского строительства.

Экономический анализ проектной документации, относящейся к монолитному домостроению, показывает, что для случая наиболее широко применяемого класса бетона В30 и стержневой арматуры оптимальной мерной длины 9 м изменение длин нахлестки стержней, согласно новым требованиям СНиП, приведет к увеличению общего расхода растянутой арматуры класса А500С в среднем на 3,5%, а класса А400 – на 2,5%. Еще более заметным станет увеличение расхода арматуры в сжатых элементах.

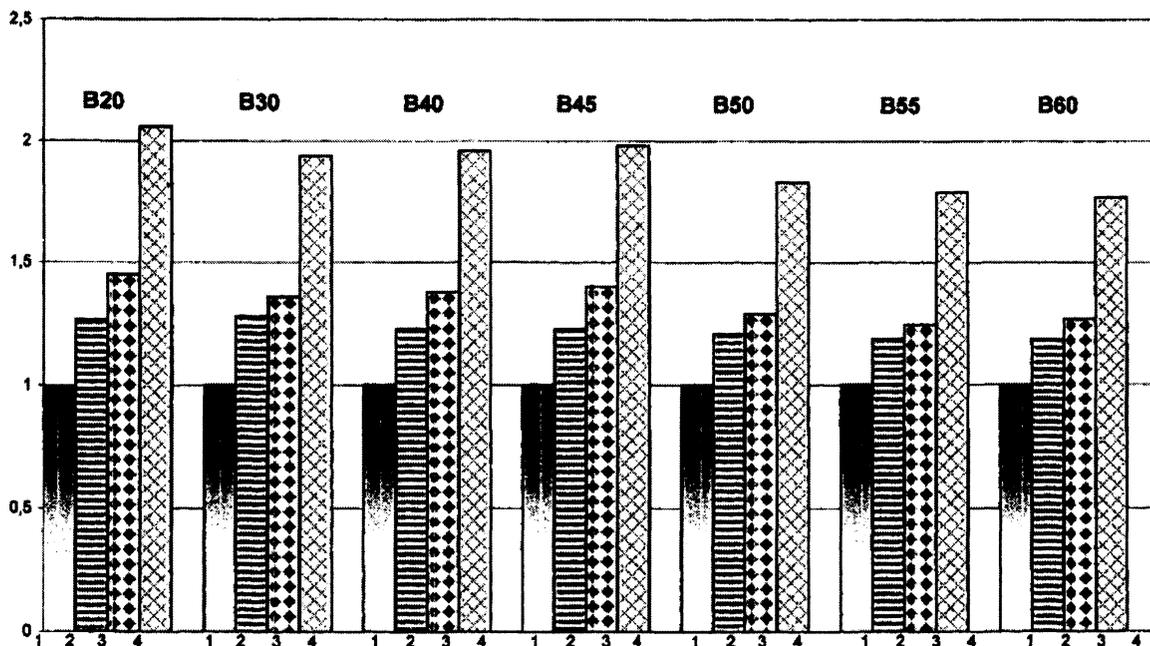


Рис. 1. Сравнение значений длины анкеровки  $l_{an}/d$  для растянутой арматуры класса А500С, вычисленных по СНиП 2.03-01-84 (1), проекту СНиП 52-01-03 (2) и евро нормам EN 1992-1 минимальной (3) и максимальной (4)

Неизбежно также повышение расхода арматуры и за счет увеличения длины анкеровки. Оно может достигать 28–30% для анкеров закладных деталей, а также в опорных зонах и зонах продавливания плитных и балочных конструкций, в прочих ответственных узлах несущего остова зданий.

При производстве такого массового вида продукции заводов ЖБИ, как пустотные предварительно напряженные плиты перекрытий и ряда других, применение высокопрочной арматуры европейского профиля сделало невозможным использование в качестве временных анкеров очень эффективных обжимных спиралей и вынудило к переходу на более металлоемкие и трудоемкие концевые анкерные шайбы.

Нельзя не отметить еще одного негативного аспекта, связанного с переходом большинства прокатных производств на профиль европейского образца, а именно на невозможность визуально отличить стержни класса А500С от класса А400. По этой причине и строители, и проектировщики зачастую отказываются от применения высокоэффективной арматуры класса А500С, опасаясь пересортицы в арматурных цехах и на стройплощадках, и выбирают варианты армирования, ориентированные на арматуру А400 даже при комплектации объекта сталью А500С.

Анализ многочисленных исследований по обоснованию геометрических параметров профилей кольцевого по ГОСТ 5781 и серповидного по АСЧМ 7-93 показал, что как тот, так и другой профиль имеют свои достоинства и недостатки, к сожалению, зачастую взаимоисключающие друг друга [1, 2]. Так, увеличение шага поперечных ребер ведет к повышению прочности сцепления с

бетоном, но снижает его жесткость. Увеличение высоты ребер повышает прочность сцепления, но одновременно возрастает и усилие распора, раскалывающее бетон.

Отсутствие в европейском профиле пересечения продольных ребер с поперечными, которое имеет место в профиле по ГОСТ 5781, вероятно, несколько повышает предел выносливости арматуры, но, несомненно, значительно снижает при одинаковой высоте ребер жесткость и прочность сцепления, что особенно заметно на бетонах низких и средних классов. Увеличение же высоты поперечных ребер европейского профиля, способное компенсировать потери в жесткости и прочности сцепления, ограничено, с одной стороны, возможностями прокатного производства, а с другой – возрастанием однонаправленных усилий распора в окружающем стержень бетоне.

Представляется очевидным, что возможности совершенствования того и другого вида профиля путем простой корректировки геометрических параметров практически исчерпаны.

В результате проведенного патентного исследования и анализа известных профилей была разработана арматура с принципиально новым видом профиля. Главной целью разработки было обеспечение характеристик сцепления, позволяющих оставить в силе требования действующей нормативно-технической документации, основанные на данных исследований арматуры с профилем по ГОСТ 5781, и следовательно, исключение дополнительных расходов, связанных с переработкой действующих типовых проектов и увеличением металлоемкости конструкций. Кроме того, представлялось желательным иметь профиль с формой, дающей возможность

безошибочно различать классы арматуры на стройплощадке.

Как видно из рис. 2, отличительной особенностью нового профиля является то, что верши-

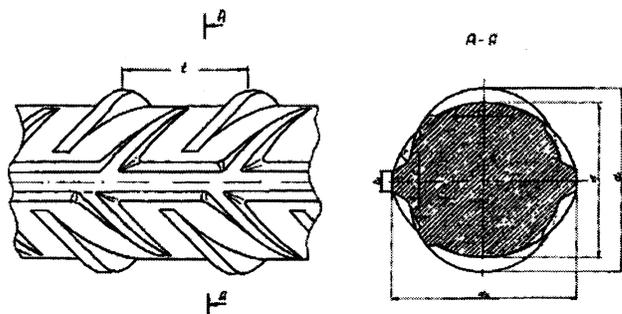


Рис. 2. Арматурный профиль нового типа

ны незамкнутых серповидных ребер располагаются по длине стержня не в одной осевой плоскости, а в двух взаимно перпендикулярных. Разведение вершин смежных пар серповидных выступов на  $90^\circ$  по окружности стержня обеспечивает более плотную компоновку зерен крупного заполнителя вокруг сердечника стержня и придает распределению усилий распора более объемный характер, чем у профиля по СТО АСЧМ 7-93 с серповидными ребрами, ориентированными в одной осевой плоскости. Это наглядно показано на рис. 3, где в схематическом виде изображена картина распределения усилий, передаваемых арматурным стержнем на окружающий бетон.

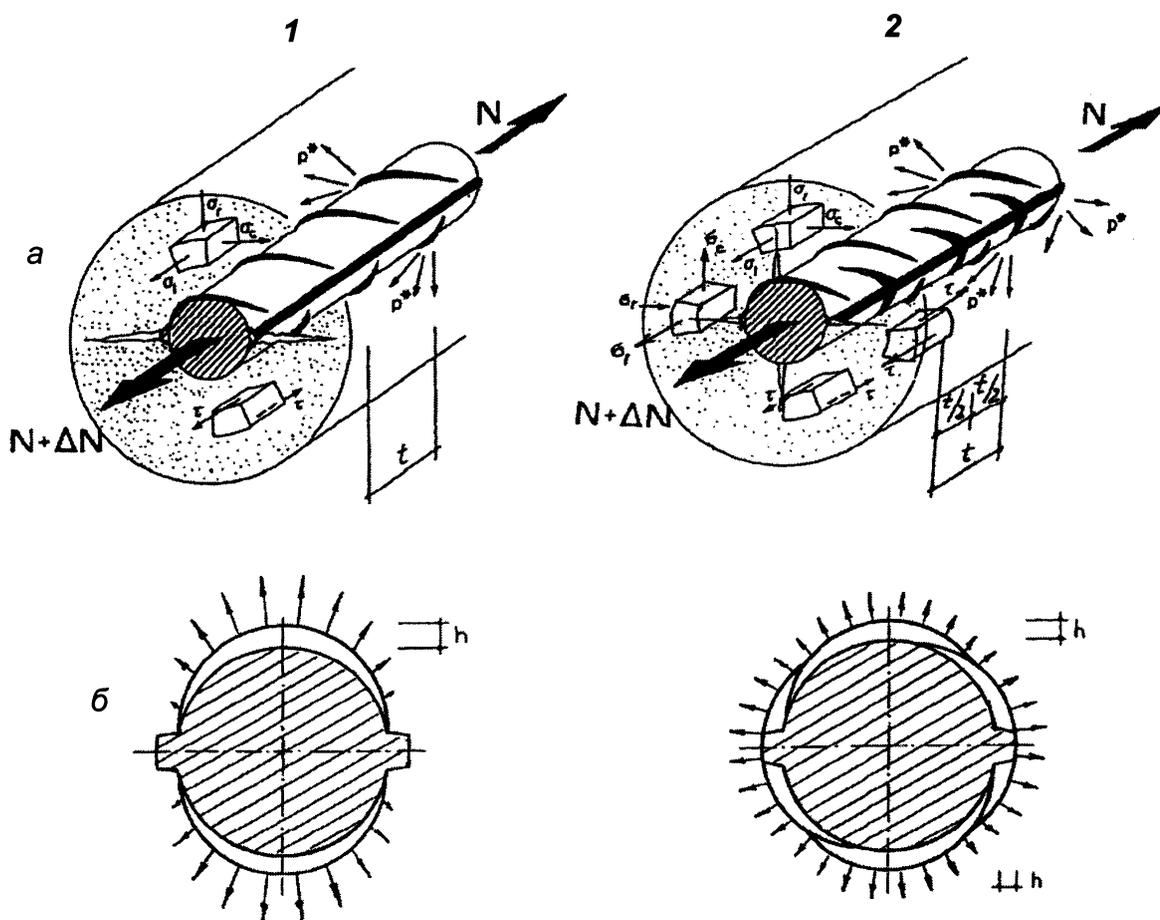


Рис. 3. Схема взаимодействия растянутого арматурного стержня с окружающим бетоном: 1 – европейский профиль с серповидными ребрами; 2 – профиль нового типа; а – усилия в бетоне в зоне передачи напряжений с арматуры на бетон; б – распределение усилий распора в поперечном сечении

Опытные партии арматуры диаметрами 16 и 25 мм с периодическим профилем новой формы были прокатаны на БМЗ и переданы в НИИЖБ для исследования потребительских свойств. Программа исследований сцепления с бетоном включала в себя сопоставительные испытания на вытягивание из бетона серий стержней, в каждой из которых характеристики сцепления образцов с новым профилем сравнивались (при прочих равных условиях) с аналогичными показателями

стержней с профилем европейского образца по СТО АСЧМ 7-93 и профилем с ребрами постоянного сечения по ГОСТ 5781.

Результаты испытаний (рис. 4) показывают преимущество в поведении стержней с новым профилем во всех сериях. Взаимное расположение кривых «нагрузка – смещение» указывает на то, что для стержней диаметром как 16, так и 25 мм, новый профиль обеспечивает значительно большую прочность и жесткость сцепления. Получен-

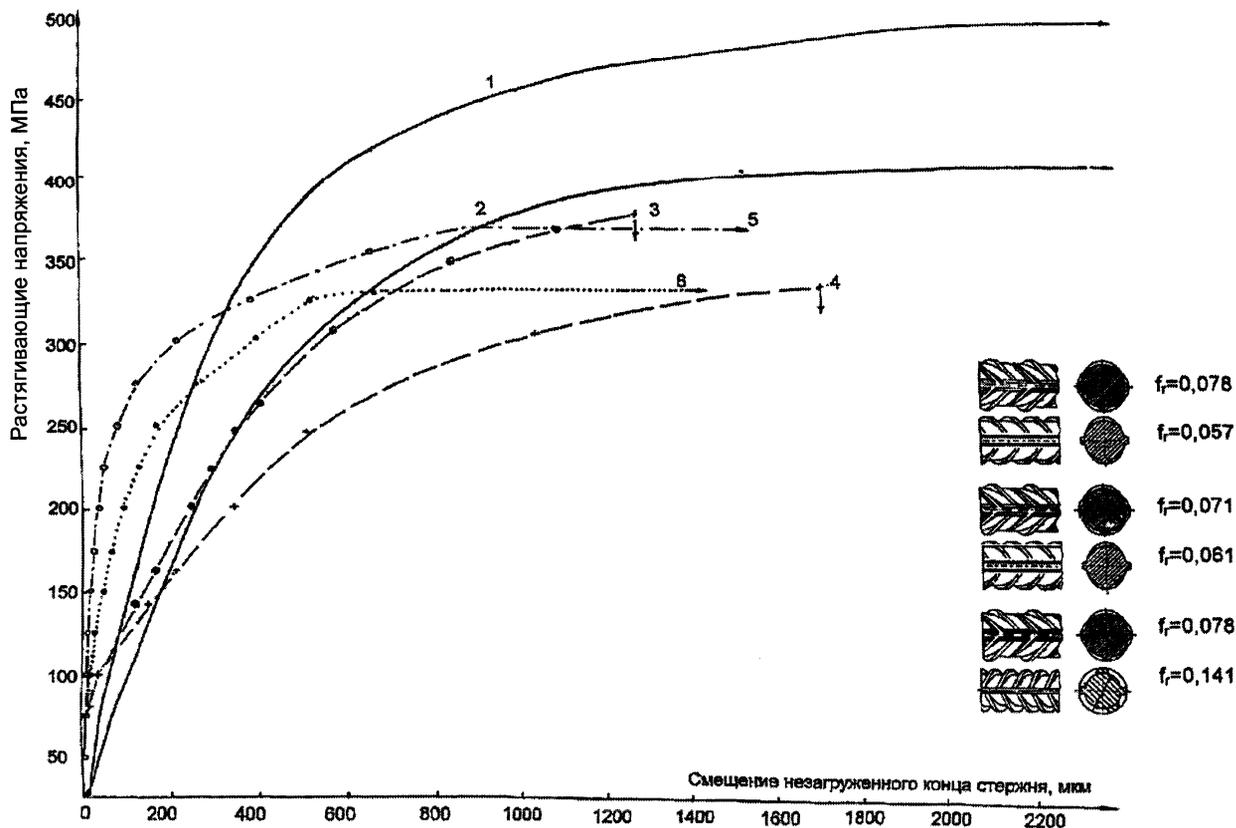


Рис. 4. Результаты испытаний на вытягивание из бетона арматурных стержней с различными типами периодического профиля: 1 – новый профиль диаметром 16 мм,  $R_b=37,4$  МПа; 2 – серповидный профиль диаметром 16 мм,  $R_b=37,4$  МПа; 3 – новый профиль диаметром 25 мм,  $R_b=31,4$  МПа; 4 – серповидный профиль диаметром 25 мм,  $R_b=31,4$  МПа; 5 – новый профиль диаметром 16 мм,  $R_b=26,5$  МПа; 6 – профиль по ГОСТ 5781 диаметром 16 мм,  $R_b=26,5$  МПа

ные данные свидетельствуют также о том, что новый профиль может характеризоваться как менее «распорный», т.е. передающий на окружающий бетон относительно меньшие усилия в плоскостях, нормальных оси стержня (раскалывание образцов со стержнями диаметром 25 мм нового профиля происходило при нагрузке на стержень на 12–15% большей, чем со стержнями серповидного профиля, при равной высоте поперечных ребер). Это обстоятельство приобретает особую важность в связи с тем, что арматура класса А500С имеет на 22% более высокое расчетное сопротивление, чем арматура класса А400 (А-Ш), и, следовательно, раскалывающие напряжения в отдельных частях конструкций могут достигать критических значений. Кроме того, с большой степенью вероятности новый профиль окажется весьма эффективным и для стержневой арматуры классов Ат800 и Ат1000 для предварительно напряженных железобетонных изделий, где решение проблемы предотвращения раскрытия продольных трещин раскалывания в зонах передачи преднапряжения имеет принципиальное значение.

Хотя комплекс проводимых совместно с РУП «БМЗ» исследований нельзя считать завершенным, уже сейчас можно сделать вывод о том, что новый арматурный прокат – достойная альтернатива стержневой арматуре с профилем по СТО АСЧМ 7-93.

### Бунтовой арматурный прокат

Важным направлением экономии стали в строительстве является повышение прочности и улучшение эксплуатационных свойств арматурного проката, в том числе за счет перехода на применение свариваемой стали периодического профиля с пределом текучести не менее 500 Н/мм<sup>2</sup>, изготавливаемой из рядовой углеродистой стали и отвечающей требованиям еuronorm EN10080 и отраслевого стандарта СТО АСЧМ7-93 [3, 4]. Начиная с 1991 г. все европейские страны перешли на использование такой арматуры железобетона, так как она оказалась выгодной в изготовлении и применении [5].

Для армирования железобетонных конструкций в значительных объемах (до 30–40% от общей потребности) применяется арматурная сталь диаметром до 10–12 мм, поставляемая в мотках (бунтовой арматурный прокат). Достоинством бунтового арматурного проката является большая длина, что практически исключает отходы арматуры при ее заготовке, позволяет организовывать непрерывные линии по сварке арматурных сеток и каркасов.

На основе ранее выполненных совместно с НИИЖБ разработок на Белорусском металлургическом заводе начато освоение производства термомеханически упрочненного бунтового арматурного проката с улучшенными эксплуатационными

ми свойствами без существенного изменения технологии прокатки, производительности прокатных станов и себестоимости изготовления продукции. Решение задачи заключается в получении профиля специальной формы поперечного сечения с более развитой поверхностью по сравнению с кругом равновеликой площади поперечного сечения (квадрат, гипоциклоида). Предложенный профиль обеспечивает лучшую прокаливаемость сечения проката, повышает эффективность водяного и воздушного охлаждения. Профиль запатентован в России и Беларуси.

Для проверки малых сечений сортаментного ряда на БМЗ из стали марки СтЗсп (плавка 23190) выполнена прокатка с получением на чистовом стане равновеликих по площади поперечного сечения квадрата и круга диаметром 5,5 мм. Результаты испытания на растяжение полученных образцов термомеханически упрочненного проката приведены на рис. 5. Из рисунка видно, что только за счет изменения формы поперечного сечения у стали СтЗсп предел текучести может быть увеличен на 27,6%, временное сопротивление – на 7,1, полное относительное удлинение при максимальной нагрузке – на 14%.

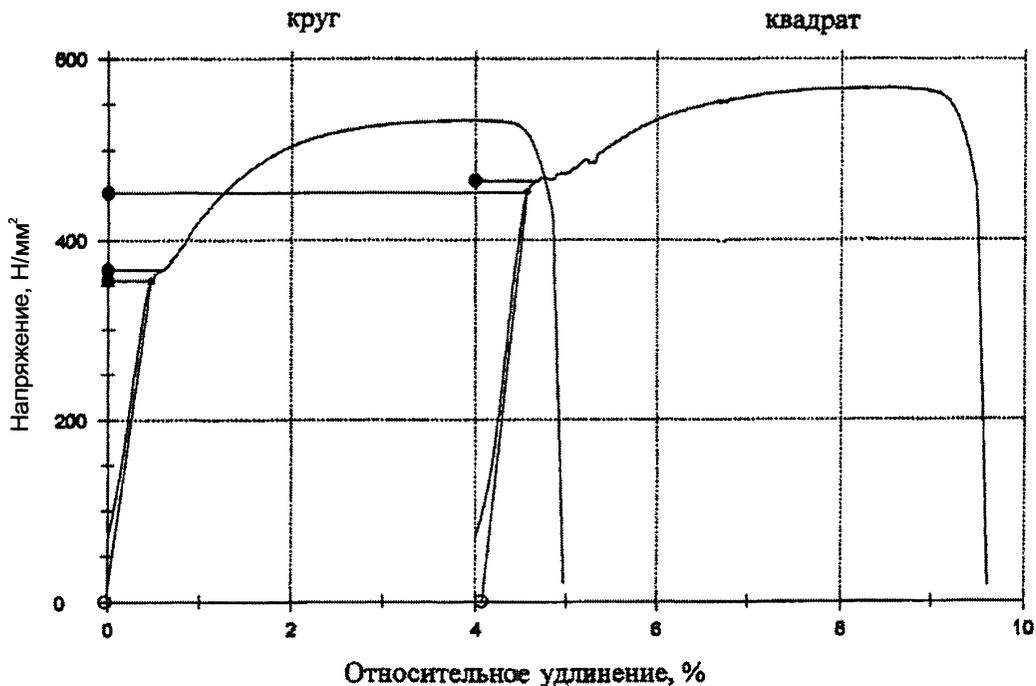


Рис. 5. Диаграммы растяжения термомеханически упрочненной катанки из стали СтЗсп с различной формой поперечного сечения, равновеликого по площади кругу с номинальным диаметром 5,5 мм

С учетом полученных результатов были разработаны технические требования и подготовлены временные технические условия на опытно-промышленные партии термомеханически упрочненного проката с эффективным поперечным сечением. Технические условия предназначены для решения двух задач. Одни технические условия распространяются на подкат с гладкой поверхностью для производства холоднодеформированной арматуры класса А500С номинальным диаметром от 4 до 8 мм, другие – на прокат периодического профиля классов А400С и А500С номинальным диаметром от 5,5 до 12 мм для армирования железобетонных конструкций. Характеристики механических свойств проката отвечают требованиям СТО АСЧМ 7-93 с дополнительным нормированием величины относительного равномерного удлинения после разрыва. Предложенный периодический профиль (рис. 6) обеспечивает величину параметра сцепления с бетоном  $f_r$  (относительную площадь смятия) в диапазоне от

0,048 (для номинального диаметра 5,5 мм) до 0,076 (для номинального диаметра 12 мм).

По временным техническим условиям на РУП «БМЗ» были изготовлены из разных марок стали опытные партии проката с эффективным сечением номинальным диаметром 5,5 мм с гладкой поверхностью и номинальным диаметром 8 мм периодического профиля. Выполненные на заводе и НИИЖБ испытания на растяжение образцов проката опытных партий, отобранных от концов мотков по длине витков и длине мотков, выявили удовлетворительную однородность характеристик механических свойств (коэффициенты вариации для  $\sigma_{0.2}$  – 2–3%, для  $\sigma_b$  – 1–1,5%, для  $\delta_{100}$  – 5,5–6,6%, для  $\delta_p$  – 12–15%). Наилучшие результаты по уровню механических свойств получены у проката из стали следующего химического состава: С–0,241%; Si–0,349; Mn–0,698%, углеродный эквивалент – 0,389. Прокат в состоянии поставки имел следующие характеристики механических свойств, определенные с односто-

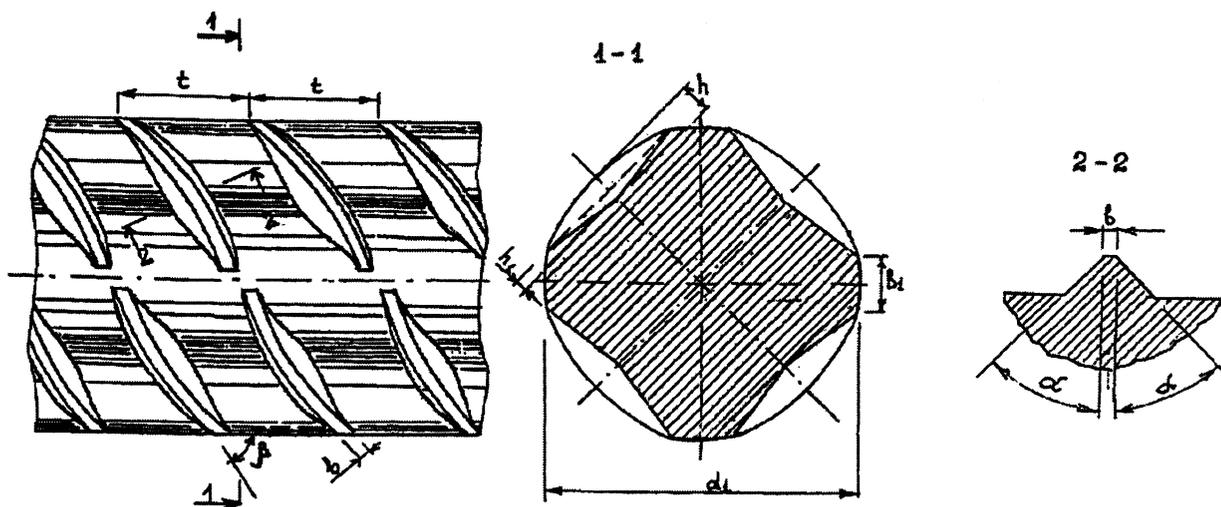


Рис. 6. Периодический профиль термомеханически упрочненной катанки

ронней достоверной вероятностью 0,977:  $\sigma_{0,2}=423$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_b=615$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\delta_{100}=18\%$ ;  $\delta_p=11,3\%$ .

Достигнутый уровень механических свойств проката опытных партий превышает требования к арматуре класса А400С по СТО АСЧМ 7-93, особенно по пластическим свойствам [4]. Значительный запас пластических свойств, характеризуемый параметрами  $\delta_p$  и  $\delta_{100}$ , позволяет, сохраняя требуемый уровень пластичности ( $\delta_p=5\%$ ), повысить условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ . В настоящее время на РУП «БМЗ» осуществляется подготовка к выпуску термомеханически упрочненного арматурного проката периодического профиля с эффективным сечением класса А500С. Следует отметить, что термомеханическое упрочнение стального проката требует большой точности в соблюдении технологических режимов для получения стабильных механических свойств по длине мотка.

Для облегчения внедрения арматурного проката с эффективным поперечным сечением в практику строительства без пересмотра существующих типовых проектов железобетонных конструкций необходимо решить задачу взаимозаменяемости арматуры одного класса прочности на арматуру другого класса с учетом всего комплекса требований, предъявляемых к арматурной стали. С этой целью, учитывая технологические возможности БМЗ, предложено расширить сортамент арматурного проката по сравнению с ГОСТ 5781-82 и СТО АСЧМ 7-93 и принять за критерии взаимозаменяемости арматуры разных классов усилие, соответствующее пределу текучести (физическому  $\delta_T$  или условному  $\delta_{0,2}$ ), и разрывное усилие [4, 6].

Для арматурного проката периодического профиля с учетом допусков на геометрические размеры поперечного сечения введено понятие рас-

четной площади поперечного сечения, которое применяется при проектировании железобетонных конструкций. Расчетная площадь поперечного сечения контролируется при приемке продукции нормированием линейной плотности проката.

В таблице приведены рекомендации по замене в железобетонных конструкциях арматуры класса А400С на арматуру класса А500С, позволяющие получить экономию стали около 16%.

Технико-экономический анализ показал целесообразность замены в ряде железобетонных конструкций арматурной проволоки класса Вр1 диаметром 5 мм по ГОСТ 6727-80 на арматурный прокат номинальным диаметром 5,5 мм из-за низкой пластичности проволоки ( $\sigma_p < 2\%$  против  $\sigma_p \geq 5\%$ ) и более высокой ее стоимости [7]. Опыт применения проволоки класса Вр1 показывает, что вследствие ее низкой пластичности нередко хрупкие разрывы проволоки в местах технологических перегибов и сварных соединений. Применение арматурного проката с повышенной пластичностью позволит исключить хрупкие разрывы при заготовке арматуры и уменьшить риск хрупких разрушений элементов железобетонных конструкций при неблагоприятном сочетании нагрузок и воздействий в процессе эксплуатации. Это также позволит повысить надежность предотвращения прогрессирующих обрушений конструкций зданий и сооружений в случаях возникновения чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, совместная работа НИИЖБ и РУП «БМЗ» позволила получить новые технологические решения при производстве бунтового арматурного проката, реализация которых наряду с экономией стали повысит надежность железобетонных конструкций зданий и сооружений.

Заменяемая арматура класса А400С				Предлагаемая арматура класса А500С				Временное сопротивление разрыву $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_{(0,2)}$ ****, Н/мм <sup>2</sup>	Усилие текучести $P_T(P_{0,2})$ , кН	Разрывное усилие $P_B$ , кН	Предел текучести $\sigma_{(0,2)}$ ****, Н/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивление разрыву $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$F_{n1} \cdot F_{n2} / F_{n1}$ %
Номинальный диаметр (размер) $D_{n1}$ , мм	Номинальная площадь сечения, $F_{n1}$ ***, мм <sup>2</sup>	Усилие текучести $P_T(P_{0,2})$ , кН	Разрывное усилие $P_B$ , кН	Предел текучести $\sigma_{(0,2)}$ ***, Н/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивление разрыву $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Номинальный диаметр (размер) $D_{n2}$ , мм	Расчетная площадь поперечного сечения, $F_p$ ***, мм <sup>2</sup>							
не менее				не менее										
6	28,26	11,30	14,13	400	500	5,5	23,75	11,88	14,25	500	600	15,96		
-	-	=	=	=	=	6	27,78	13,89	16,67	500	600	-		
-	-	=	=	=	=	6,5	32,02	16,04	19,24	500	600	-		
8	50,24	20,10	25,12	400	500	7	42,3	21,15	25,38	500	600	15,8		
-	-	=	=	=	=	8	53,58	26,79	32,15	500	600	-		
10	78,50	31,40	39,25	400	500	9	65,7	32,85	39,42	500	600	16,31		
-	-	=	=	=	=	10	79,8	39,9	47,88	500	600	-		
12	113,04	45,22	56,22	400	500	11	95	47,5	57,0	500	600	15,96		
-	-	=	=	=	=	12	111,15	55,58	66,69	500	600	-		

Примечания. \* Номинальные диаметры  $D_{n1}$  и  $D_{n2}$  — диаметры равноудаленных по площади поперечного сечения круглых стержней.  
 \*\* Номинальная площадь поперечного сечения стержня периодического профиля равноудаленная по площади поперечного сечения круглого стержня того же номинального диаметра.  
 \*\*\* Расчетная площадь поперечного сечения  $F_p$  определена с учетом допусков на геометрические размеры сечения и обеспечения необходимых величин разрывного усилия и усилия, соответствующего пределу текучести, при замене арматуры класса А400С;  $F_p$  применяется при проектировании железобетонных конструкций.  
 \*\*\*\* Предел текучести:  $\sigma_{0,2}$  — условный,  $\sigma_T$  — физический.

**Литература**

1. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1974.
2. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. М.: Воентехлит, 2000.
3. Евронормы EN10080 Steel for reinforcement of concrete.- Weldable ribbed reinforcement steel B500 // Technical delivery conditions for bars, coils and welded.-CEN.
4. СТО АСЧМ 7-93 Прокат периодического профиля из арматурной стали. Технические условия. М.: Ассоциация Черметстандарт, 1993.
5. Семечкин А.Е., Семченков А.С., Мадатян С.А., Тихонов И.Н. Применение арматурной стали класса А500С в строительстве жилых домов из монолитного железобетона // Бетон и железобетон. 2002. №4.
6. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций.
7. ГОСТ 6727-80. Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций.