



The carried out team-work of NIIZHB and RUP "BMZ" enabled to receive new technological decisions at production of bale reinforcing bar, realization of which will increase reliability of reinforced-concrete constructions of buildings and installations.

В. А. МАТОЧКИН, В. В. САВИНКОВ, А. В. ГОНТАРЬ, В. И. ЩЕРБАКОВ, РУП «БМЗ»

УДК 621.771

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ УПРОЧНЕННОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТА С ЭФФЕКТИВНЫМ И ЭКОНОМИЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ, ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ДИАМЕТРОМ 5,5–8,0 мм И ПРЕДЕЛОМ ТЕКУЧЕСТИ БОЛЕЕ 500 Н/мм²

До 1990 г. металлургическая промышленность производила в прокатном производстве бунтовую арматуру классов А-I, А-II, А-III диаметром 6,8,10 и 12 мм по ГОСТ 5781-82. Эта арматура широко использовалась в практике проектирования и строительства. За годы перестройки в России объем строительства значительно уменьшился, а объем производства железобетона снизился примерно в 3 раза. Соответственно уменьшилась потребность в бунтовой арматуре малых диаметров. Бунтовая арматура по причине низкой рентабельности производилась в небольших объемах. Из-за отсутствия на внутреннем рынке России и стран СНГ бунтовой арматуры диаметром 6 и 8 мм класса А400 производители сборного и монолитного железобетона вынуждены были перейти на массовое применение арматурной проволоки класса Вр-1 диаметром 5 мм взамен арматуры №6 класса А400 и стержневой арматуры №10, 12 класса А400 взамен бунтовой арматуры №8 класса А400. Такая замена привела к увеличению трудоемкости, металлоемкости и, как следствие, стоимости строительства. Опыт применения арматурной проволоки класса Вр-1 показывает, что вследствие ее низкой пластичности нередки хрупкие разрывы в местах технологических перегибов и сварных соединениях.

Высокая пластичность арматурной стали является важным показателем при выборе класса арматуры для массового потребления. Применение арматурной стали с повышенной пластичностью значительно снижает риск прогрессирующего (лавинообразного) разрушения элементов железобетонных конструкций, что позволяет повысить надежность зданий и сооружений.

В последние годы наметился рост производства железобетона, в том числе и для сборного строительства. Освоено производство и применение в железобетонных конструкциях свариваемой арма-

туры класса А500С, внедрение которой взамен широко используемой арматуры класса А400 позволяет экономить в среднем 10% арматурной стали. Освоенный в России и странах СНГ сортмент арматуры класса А500С не включает диаметры 6 и 8 мм, потребность в которой достаточно велика.

Наиболее распространенным способом получения арматуры периодического профиля класса А500С диаметром 3–12 мм является холодное деформирование стали, которое, как правило, совмещенно с изготовлением арматурных сеток и других готовых изделий.

Получение холоднодеформируемой арматуры класса А500С диаметром 5,5, 8,0, 10,0, 12,0 мм из катанки низкоуглеродистой марки стали достаточно сложно. Как показали проведенные в НИИЖБ исследования, при достижении требуемого уровня прочности удлинения оказываются существенно ниже допустимых.

Наряду с освоением производства холоднодеформированной арматуры класса А500С на ряде металлургических предприятий делаются попытки прокатного производства этой арматуры (АО "Северсталь", Молдавский металлургический завод).

На РУП «БМЗ» на основе ранее выполненных совместно с НИИЖБ разработок начато освоение производства термомеханически упрочненного бунтового арматурного проката без существенного изменения технологии прокатки и производительности. 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 охлаждения. Для оценки эффективности нового профиля на РУП «БМЗ»

была выполнена опытная прокатка равновеликих по площади поперечного сечения квадрата и круга диаметром 5,5 мм из стали марки СтЗсп. Результаты механических испытаний показали, что только за счет изменения формы поперечного сечения у термомеханически упрочненной катанки номинальным диаметром 5,5мм предел текучести может быть увеличен на 60–70 Н/мм². С учетом полученных результатов были разработаны технические требования и подготовлены временные технические условия на опытные партии термомеханически упрочненного проката с эффективным поперечным сечением. Значения предела текучести и предела прочности в технических условиях должны быть не менее 420 и 550 Н/мм² соответственно. Влияние нового профиля на механические свойства термоупрочненного арматурного проката решено было проверить на разных марках стали, а именно СтЗсп, СтЗГсп, 460В, 25Г2С.

В соответствии с техническими условиями на РУП «БМЗ» была осуществлена опытная партия арматурного проката с эффективным профилем номинальному диаметру 5,5 и 8,0 мм. Наилучшие результаты по уровню механических свойств получены у проката из стали марки 460В. Значения предела текучести арматурного проката диаметром 5,5 и 8,0 мм в среднем составляли 470 и 465 Н/мм² соответственно. Относительный разброс (разница между максимальной и минимальной величинами, отнесенная к минимальной величине), характеризующий однородность свойств по длине витка, для предела текучести и временного сопротивления наименьший у проката из стали 460В (для 5,5 мм $\sigma_T/\sigma_B=24/15$ Н/мм²; для 8,0 мм $\sigma_T/\sigma_B=21/16$ Н/мм²) и наибольший из стали 25Г2С (для 5,5 мм $\sigma_T/\sigma_B=66/84$ Н/мм²; для 8,0 мм $\sigma_T/\sigma_B=37/99$ Н/мм²). Обращает внимание высокий уровень относительного удлинения, среднее зна-

чение которого превышает 30% у арматуры из стали 460В, что свидетельствует об определенном запасе пластичности полученного проката. В то же время у арматуры из стали 25Г2С средняя величина относительного удлинения составляет 20%. Достигнутый уровень механических свойств арматурного проката опытных партий превышает требования к арматуре класса А400 по СТО АСЧМ–7-93, особенно по части пластических свойств. Значительный запас пластических свойств позволяет, сохраняя требуемый уровень пластичности ($\delta_3 \geq 14\%$), повысить условный предел текучести.

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 РУП «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 и разрывное усилие. Для арматурного проката периодического профиля с учетом допусков на геометрические размеры поперечного сечения введено понятие расчетной площади поперечного сечения, которое применяется при проектировании железобетонных конструкций. Расчетная площадь поперечного сечения контролируется при приемке продукции нормированием линейной плотности проката. В табл. 1 приведены рекомендации по замене в железобетонных конструкциях арматуры класса А400С на арматуру класса А500С. Применение арматурного проката без пересчета сечений позволит получить экономию стали около 16%.

Таблица 1. Рекомендации применения арматуры класса А500С взамен арматуры класса А400С

Замениваемая арматура класса А400С						Предлагаемая арматура класса А500С						
Номинальный диаметр (размер) $D_{н1}$, мм	Номинальная площадь сечения $F_{н1}$, мм ²	Усилие текучести $P_T (P_{0,2})$, кН	Разрывное усилие P_B , кН	Предел текучести $\sigma_T (\sigma_{0,2})$, Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву σ_B , Н/мм ²	Номинальный диаметр (размер) $D_{н2}$, мм	Расчетная площадь поперечного сечения F_p , мм ²	Усилие текучести $P_T (P_{0,2})$, кН	Разрывное усилие P_B , кН	Предел текучести $\sigma_T (\sigma_{0,2})$, Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву σ_B , Н/мм ²	$F_{н1}-F_p/F_{н1}$, %
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			-
-	-	-	-	-	-	6,5	32,02	16,04	19,24			-
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			-
10	78,50	31,40	39,25	400	500	9	65,7	32,85	39,42			-
-	-	-	-	-	-	10	79,8	39,9	47,88	-	-	16,31
12	113,04	45,22	56,22	400	500	11	95	47,5	57,0	-	-	15,96
-	-	-	-	-	-	12	111,15	55,58	66,69	-	-	-

Освоение производства бунтового арматурного проката с эффективным поперечным сечением проводилось при меньшей примерно на 20–30% относительно проектной скорости прокатки, что обусловлено техническими возможностями существующего оборудования. Высокое гидросопротивление на первой стадии охлаждения водой при увеличении скорости прокатки и соответственно дополнительной интенсивности охлаждения приводит к увеличению разницы между скоростями прокатки и истечения воды и, как следствие, к ухудшению стабильности процесса – раскатывается. Опробованная технология не обеспечивала выхода на проектную производительность стана при прокатке арматурного стали класса А500С.

Производство арматурного проката возможно различными способами в зависимости от технических возможностей производителя. Но на данном этапе наиболее приемлемым способом производства арматурного проката повышенной прочности для БМЗ является метод горячей прокатки стали, микролегированной ванадием в пределах 0,04–0,10%, что позволит обеспечить повышение уровня прочности на 10–30%. Получение мелкого зерна и равномерно распределенных дисперсных частиц карбонитрида ванадия позволяет достигать высоких показателей прочности, что приносит заметные преимущества для строительной индустрии без ущерба другим эксплуатационным свойствам.

Отмечена малая чувствительность механических свойств к температуре окончания прокатки стали, микролегированной ванадием. Ванадийсодержащие стали хорошо свариваются и сохраняют повышенный уровень вязкости в зоне термического влияния. Замена углеродистых сталей ванадийсодержащими с повышенной прочностью должна быть выгодна как производителю (получение более высокой прибыли), так и потребителю (продукция с более высокой прочностью, дающая возможность уменьшить массу конструкции).

Для производства опытной партии была проведена прокатка арматуры с эффективным и экономичным профилем в бунтах №7 стали, микролегированной ванадием.

При прокатке заготовок изменяли режимы охлаждения арматуры водой перед и после проволочного блока, интенсивность воздушного охлаждения, а также скорость прокатки. Вес погонного метра образцов арматуры изменялся в пределах 0,300–0,313 кг при допустимых значениях 0,287–0,317 кг. Для определения изменчивости механических свойств бунтового арматурного проката были проведены испытания образцов по длине одного витка от бунтов, прокатанных при наиболее экстремальных режимах охлаждения. Результаты механических испытаний бунтового арматурного проката приведены в табл. 2.

Таблица 2. Механические свойства арматурного проката №7 по длине витков

Статистический показатель	Предел текучести, Н/мм ²		Предел прочности, Н/мм ²		Относительное удлинение δ _s , %	
	Бунт 1н	Бунт 10н	Бунт 1н	Бунт 10н	Бунт 1н	Бунт 10н
	541	559	689	703	29,1	26,0
	547	556	695	701	24,3	27,1
	545	559	698	700	27,1	27,7
	540	549	696	685	27,4	28,0
	537	556	688	694	25,1	26,9
	544	541	685	698	24,6	26,5
	545	554	689	689	25,6	26,6
	545	540	698	692	25,1	26,9
	550	544	700	688	25,7	28,6
	542	544	699	686	25,4	26,9
	546	540	693	695	25,4	28,6
	546	540	688	697	27,1	27,1
	544	544	692	699	26,3	26,6
Макс	550	559	700	703	29,1	28,6
Мин	537	540	685	685	24,3	26
Разброс	13	19	15	18	4,8	2,6
Среднее	544	548	693	694	26,0	27,2
Ст. отклон.	3,34	7,61	4,96	5,95	1,34	0,80

Механические свойства арматурного проката по длине витка изменяются мало. Так, предел текучести и прочности изменялся в пределах 13–19 Н/мм² при среднем значении 546 Н/мм², а относительное удлинение δ_5 — в пределах 2,6–4,8% при среднем значении, равном 26,6%.

Более того, для оценки эффективности микролегирования стали ванадием часть заготовок были прокатаны на стане 320 тройным слиттингом на стержневую арматуру №12. Для сравнения в табл. 3

приведены статистические данные результатов механических испытаний аналогичной марки стали плавки №25732 (без ванадия), прокатанной на стане 320 с заготовками плавки №25733 по одному режиму.

Из таблицы видно значительное влияние микролегирования стали на механические свойства арматуры №12. Разница механических свойств между максимумом и минимумом значений на арматуре из стали, микролегированной ванадием, значительно меньше.

Таблица 3. Сравнительные статистические данные механических свойств арматуры №12, прокатанной на стане 320

Статистический показатель	Предел текучести σ_t , Н/мм ²		Предел прочности σ_b , Н/мм ²		Относительное удлинение δ_5 , %		Полное удлинение δ_p , %	
	№25732	№25733	№25732	№25733	№25732	№25733	№25732	№25733
Макс.	577	661	652	736	25,5	22,3	14,2	11,7
Мин.	519	643	606	721	22,3	17,3	10,0	8,7
Среднее	542	653	627	729	23,8	19,6	12,1	9,6
Разброс	58	18	46	15	3,2	5,0	4,2	3,0

Кроме того, данные таблицы показывают резерв увеличения предела текучести (класса арматуры) при использовании микролегирования стали ванадием. При максимальном использовании водяного охлаждения на стане 150 можно получить результаты, сопоставимые с результатами, полученными на стане 320. Однако существующие на стане 150 водяные форсунки оказывают заметное тормозящее действие при охлаждении периодической арматуры, приводят к «бурежке» раската в проволочном блоке и тем самым ограничивают увеличение подачи воды.

Использование стали, микролегированной ванадием, позволяет получить арматурный прокат с эффективным профилем номинальному диаметру 5,5–8,0 мм класса А500С в приемлемом для оборудования стана 150 температурном диапазоне и практически при номинальной производительности.

Таким образом, совместная работа НИИЖБ и РУП «БМЗ» позволила получить новые технологические решения при производстве бунтового арматурного проката, реализация которого повышает надежность железобетонных конструкций зданий и сооружений.