

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ АРМАТУРЫ

Е. М. Быкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель А. М. Урбанович

Холоднодеформированная арматурная сталь в бунтах широко применяется в строительной индустрии в виде сеток, плоских и объемных каркасов.

Это обусловлено ее комплексом пластических и прочностных свойств, которые являются оптимальными для железобетонных конструкций без предварительного напряжения. Преимущества холоднодеформированной арматуры в сравнении с горячекатаной: отсутствие окалины; более высокая коррозионная стойкость; меньший износ правильного оборудования за счет отсутствия продольных ребер; возможность производства в узких диапазонах по линейной массе; меньше удельные затраты на единицу прочности; выше качество намота в бунте.

Основными качественными характеристиками арматуры, которые обеспечивают безопасную эксплуатацию таких конструкций, являются номинальный диаметр, отношение временного сопротивления разрыву к условному пределу текучести ($\sigma_b / \sigma_{0,2}$), полное относительное удлинение при максимальной нагрузке (Agt), условный предел текучести. В качестве приведенной характеристики для оценки сцепления арматуры и бетона используют относительную площадь смятия (Fr), величина которой зависит от ее геометрических параметров. Минимально допустимая величина условного предела текучести устанавливает класс прочности арматуры.

В соответствии с евростандартом DIN 488–2009 определены два класса пластичности арматуры. Для того чтобы понять разницу в классах пластичности, необходимо обратиться к общей норме, регламентирующей свойства арматурной стали EN 1992 (Еврокод 2), где определены 3 класса пластичности арматуры (табл. 1). При этом способ производства арматуры и конфигурация профиля не описывается.

Основные характеристики арматурной стали

Класс пластичности арматуры	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Условный предел текучести	400–600		
Полное относительное удлинение, %	≥2,5	≥5,0	≥7,5
Отношение предела прочности к пределу текучести	≥1,05	≥1,08	≥1,15≤1,35

Приведенные характеристики арматуры должны быть обеспечены с учетом падения пластических свойств после механической правки. Класс *A* – нормальная пластичность, *B* – повышенная пластичность, *C* – арматурная сталь для сейсмически активных зон.

Одним из наиболее востребованных видов арматуры является арматура трехстороннего серповидного периодического профиля класса прочности 500 МПа (рис. 1).



Рис. 1. Арматура трехстороннего серповидного периодического профиля

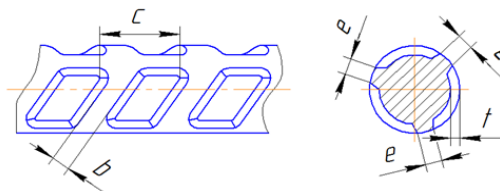


Рис. 2. Профилированная арматура

Основной технологической операцией при изготовлении холоднодеформированной арматуры является нанесение необходимого профиля на горячекатаную заготовку (катанку) из низкоуглеродистой стали обыкновенного качества в не приводных прокатных клетях.

Для обеспечения необходимого уровня относительной площади смятия суммарное обжатие при нанесении профиля составляет 15–30 %, что приводит к существенной потере пластичности по отношению к уровню пластичности катанки. Данная традиционная технология позволяет получать арматурную сталь только класса пластичности *A*, что ограничивает ее применение и нивелирует все достоинства перед горячекатаной арматурой, описанные выше.

В связи с этим потребители для увеличения конкурентоспособности холоднодеформированной арматуры вносят дополнительные требования в контракты, а именно более жесткие, чем описанные в стандартах требования по полному относительному удлинению и по параметру отношение временного сопротивления разрыву к условному пределу текучести. Кроме этого потребители вносят требования по отгрузке арматуры только с минусовым допуском линейной массы, что еще больше увеличивает степень относительного обжатия.

В настоящее время для обеспечения требований потребителей специалистами БМЗ была разработана и запатентована марка стали *Арх-В*. Это низкоуглеродистая марка стали микролегированная бором, которая позволяет обеспечивать необходимый минимум пластических свойств класса пластичности *A* холоднодеформированной арматуры минусовым допуском линейной массы.

Очевидно, что тенденция европейских рынков направлена на получение арматурной стали в бунтах, имеющей все преимущества холоднодеформированной арматуры с пластическими характеристиками, идентичными классу *B*, т. е. горячекатаной.

Существует несколько направлений по получению бунтовой арматуры класса *B*:

- «растяжение – знакопеременный изгиб» горячекатаной арматуры;
- уменьшение суммарных обжатий до 6–10 % при сохранении необходимого уровня относительной площади смятия;
- дополнительная обработка готовой арматуры.

Способ «растяжение – знакопеременный изгиб», или «stretching – bending with rebending» (аббревиатура SBR), – это растяжение в устройствах со знакопеременным изгибом с малой степенью деформации (5–8 %) арматурного проката с готовым периодическим профилем, полученным при горячей прокатке. Данный способ производства устраняет ряд недостатков горячекатаной арматуры, но экономические не целесообразны при производстве арматуры малых диаметров.

Уменьшение степени обжатия при нанесении профиля до 6–10 % возможно за счет изменения рисунка профиля с серповидного на профилированный, обеспечивающий необходимый уровень относительной площади смятия при малых обжатиях (рис. 2).

С точки зрения экономической привлекательности данный способ имеет существенные преимущества перед SBR процессом, так как не требует больших капитальных вложений в оборудование – достаточно произвести замену профилирующего инструмента. Существенным недостатком данного способа является высокие требования к геометрическим параметрам катанки для обеспечения удельных обжатий в пределах 6–10 %.

Для получения арматурной стали класса *B* специалистами БМЗ было предложено использовать «возврат» готовой арматурной стали. То есть нагрев до температуры не более 450 °С. При таком нагреве снимается большая часть внутренних напряжений холоднодеформированной стали без изменения ее микроструктуры.

Первоначальные эксперименты по термообработке арматуры позволили сделать определенные выводы:

1. Нагрев до температуры 250 °С не оказывает существенного влияния на пластические и прочностные характеристики арматуры.

2. Нагрев до температуры 350 °С позволяет повысить в 1,7–1,8 раза относительное удлинение при максимальной нагрузке и на 0,07 единиц отношение временного сопротивления разрыву к условному пределу текучести. Данные свойства арматуры фактически соответствуют классу пластичности *B*.

3. Нагрев до температуры 450 °С позволяет повысить в 2,5 раза относительное удлинение при максимальной нагрузке и на 0,12–0,15 единиц отношение временного сопротивления разрыву к условному пределу текучести. Данные пластические свойства арматуры соответствуют не только классу пластичности *B*, но и *C*.

4. Время выдержки при всех режимах термообработки на свойства арматурной стали заметного влияния не оказывает.

Для окончательной оценки целесообразности использования индукционного нагрева в линии стана и применения ускоренного охлаждения проводились дополнительные эксперименты с применением скоростного нагрева (индукторов).

Нагрев производили на фирме-изготовителе устройств индукционного нагрева ЗАО «Белтехнология и М» при участии представителей БМЗ. Для проведения работы произвели отбор образцов арматуры диаметром 6,0 мм марок стали *Apx-1* и *Apx-B*.

**Результаты физико-механических испытаний арматуры
при различных режимах термообработки**

Режим термообработки	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Условный предел текучести, Н/мм ²	Отношение предела прочности к условному пределу текучести	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке Agt , %
Арх-1 / Арх-В				
Без термообработки	$\frac{620-628}{624} / \frac{682-689}{686}$	$\frac{568-579}{572} / \frac{580-593}{587}$	$\frac{1,08-1,10}{1,09} / \frac{1,08-1,09}{1,08}$	$\frac{4,3-5,0}{4,6} / \frac{3,6-4,0}{3,8}$
Нагрев 350–450 °С. Охлаждение на воздухе до комнатной температуры	$\frac{598-608}{600} / \frac{640-647}{643}$	$\frac{509-518}{520} / \frac{508-508}{566}$	$\frac{1,15-1,17}{1,16} / \frac{1,13-1,14}{1,14}$	$\frac{7,6-10,2}{9,2} / \frac{6,4-7,0}{6,8}$
Нагрев 350–450 °С. Охлаждение в воде до комнатной температуры	$\frac{617-628}{622} / \frac{647-660}{657}$	$\frac{524-544}{531} / \frac{560-570}{570}$	$\frac{1,15-1,19}{1,17} / \frac{1,15-1,16}{1,15}$	$\frac{7,6-9,6}{8,3} / \frac{6,4-9,6}{9,6}$
Нагрев 350–450 °С. Охлаждение в воде до 100–150 °С	$\frac{610-625}{618} / \frac{660-665}{662}$	$\frac{527-534}{530} / \frac{571-578}{574}$	$\frac{1,16-1,17}{1,17} / \frac{1,15-1,16}{1,15}$	$\frac{7,6-8,4}{7,3} / \frac{8,9-9,9}{9,9}$

Из табл. 2 видно отсутствие различий в пластических характеристиках арматуры при различных режимах охлаждения. Сравнивая результаты, очевидно, что основным фактором является температура нагрева, а не время выдержки. Пластические характеристики арматуры, изготовленной из стали марки *Арх-1*, выше, чем из стали марки *Арх-В*. При этом вся арматура после термообработки соответствует классу пластичности *B*, а арматура марки *Арх-1* соответствует классу пластичности *C*.