

Ивченко А. В. /к. т. н./, Гуль Ю. П. /к. т. н./
НМетАУ

Совершенствование стандартов и методов испытания арматурного проката на растяжение

На основе анализа уровня производства и потребления арматурного проката, а также методик контроля его механических свойств, обоснована необходимость внесения изменений в действующий стандарт на испытание (ГОСТ 12004) путем унификации методик, отказа от определения полного относительного удлинения после разрыва и использования методов экспресс-контроля. Предложен метод испытания арматуры без разрыва образцов. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: арматурный прокат, механические свойства, методы испытаний, растяжение, идентификация, класс прочности

The necessity to change current standard for testing (GOST 12004) by means of standardization of methods, freedom from determination of full tension set and usage of methods of express-control is grounded on the base of analysis of production level and demand of reinforcing bars, and also controlling methods of its mechanical properties. Test method of reinforcing bars without fractures is suggested.

Keywords: reinforcing bars, mechanical properties, testing methods, pulling, identification, strength class

Стандарт на испытание арматурного проката (ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение) введен в действие более 30 лет назад. В то время, в начале восьмидесятых годов прошлого столетия, арматурная сталь в большинстве своем изготавливалась класса прочности 400 МПа (класса А-III по ГОСТ 5781) из низколегированной стали марок 35ГС и 25Г2С в горячекатаном состоянии. Эта арматура сочетала требуемый уровень прочностных свойств с высокой пластичностью, а также характеризовалась наличием физического предела текучести (площадка текучести на диаграмме деформации). Вследствие последнего определение предела текучести по упомянутому стандарту не требовало записи диаграммы деформации.

В настоящее время ситуация в производстве и по контролю свойств арматуры существенно изменилась. Основным видом потребляемой арматуры стал прокат класса прочности А500С по ДСТУ 3760 и В500С по ДСТУ EN 10080 (ГОСТ Р 52544 и др.), который изготавливается с использованием технологий упрочнения – термомеханическая обработка (А500С) или холодное деформирование (В500С). Данный прокат изготавливается из менее легированной стали. Арматура указанных классов имеет более низкие пластические свойства и, что более важно, диаграмма деформации при испытаниях характеризуется плавным переходом от макроупругой деформации к макропластической (рис. 1). Поэтому определяется не физический, а условный предел текучести, что, естественно, услож-

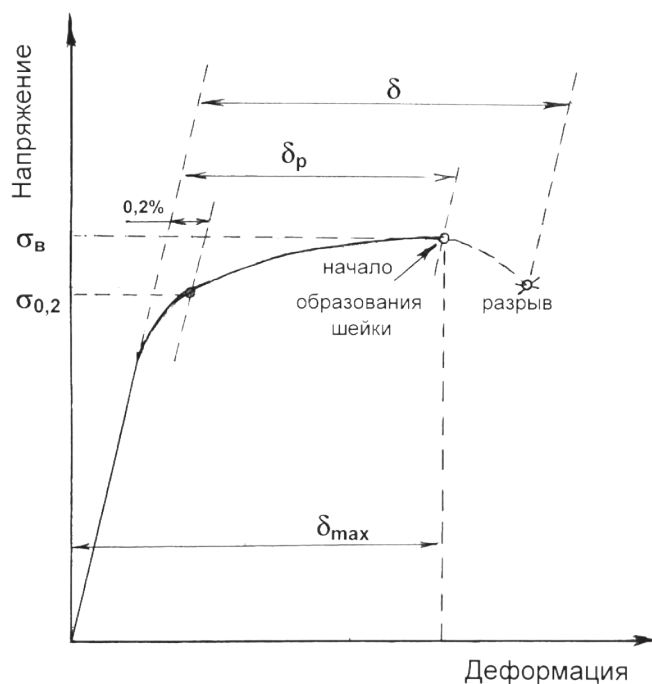


Рис. 1. Схема определения нормируемых свойств арматурного проката по диаграмме деформации образцов при одноосном растяжении:

σ_b – предел прочности; $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести; δ – полное относительное удлинение после разрыва; δ_p – относительное равномерное удлинение; δ_{max} – полное относительное удлинение при максимальной нагрузке

няет определение этой характеристики по сравнению с предшествующим периодом и требует использования соответствующего оборудования.

Не секрет, что многие лаборатории заводов строительной индустрии укомплектованы уста-

ревшими разрывными машинами, на которых диаграммные аппараты несовершенны и в большинстве случаев не работают, вследствие чего осуществить входной контроль всех механических свойств арматуры класса В500С (А500С) и выше на них невозможно. В данной ситуации заводы по изготовлению ЖБК, закупая арматуру класса В500С и А500С, должны применять ее без проведения входного контроля, доверившись сертификату предприятия-изготовителя, нарушая тем самым установленный регламент или прибегать к услугам сторонних испытательных центров, что требует дополнительных затрат и времени. Это обстоятельство является препятствием для широкого применения арматуры класса В500С и А500С в строительстве. Чаще всего многие производители ЖБК просто отказываются от использования нового перспективного вида арматуры класса В500С, пренебрегая всеми ее выгодами [1].

Кроме отмеченного, в действующих стандартах для арматуры с нормируемым уровнем прочности 500 МПа и выше существует недопустимый, на наш взгляд, разнобой в регламентации методов определения относительного удлинения, как основной характеристики пластичности и сопротивления разрушению арматуры [2]. ГОСТ 5781 и ГОСТ 10884 требуют определения относительного удлинения в месте разрыва на базе пяти номинальных диаметров (δ_5) и относительного равномерного удлинения вне участка разрыва (δ_p) на базе 50 или 100 мм. ДСТУ 3760 кроме этого требует определения полного относительного удлинения при максимальной нагрузке (δ_{max}). DIN 488 нормирует десятикратное относительное удлинение (δ_{10}), а ASTM A722 еще и двадцатикратное (δ_{20}). Помимо относительных удлинений, определяемых на базе кратной номинальному диаметру, регламентируется определение удлинения на фиксированных базах. Так, ГОСТ 6727 нормирует относительное удлинение на базе 100 мм (δ_{100}), а CAN/CSA-G30.18 – 200 мм (δ_{200}). Стандарты ASTM A615 и ASTM A370 – на базах 8 и 10 дюймов (соответственно $\delta_{8''}$ и $\delta_{10''}$). Очевидно, что это приводит к определенной путанице и невозможности корректного сопоставления пластических свойств арматурного проката, в то время как во многих публикациях и сертификатах приводятся значения относительного удлинения без указания методов их определения.

Анализ информативности полного (δ) и равномерного (δ_p) относительных удлинений, как характеристик сопротивления разрушению арматуры при эксплуатации, дает основания предпочесть последнюю [см. также 3]. Значения δ_p характеризуют не просто пластичность на

данном этапе деформирования, но и специфическое сопротивление металла макролокализации деформации при нагружении. С наступлением макролокализации деформации развивается нестабильная стадия разрушения, происходящая при снижении нагрузки. Следовательно значение δ_p определяет предельный интервал макропластической деформации выше предела текучести, в котором допустимы возможные перегрузки при эксплуатации без опасности разрушения. С описанных позиций именно δ_p следует оставить как регламентированную характеристику и пластичности, и сопротивления разрушению арматуры.

Далее следует отметить, что влияние существующих методик подготовки образцов (разметка) и проведения замеров при определении характеристик пластичности на величину погрешности слабо учтено. Предлагаемые способы нанесения разметки (офсетный, кернение и др.) и последующие замеры при помощи штангенциркуля вносят погрешность в измерения за счет человеческого фактора. Наглядно это можно продемонстрировать на примере использования разметки офсетным способом (рис. 2). Толщина разметочных линий составляет 0,3-0,5 мм, поэтому уже только от этого фактора в значение величины остаточной деформации, измеренной на базе 50 мм может вкратиться ошибка в 0,5 мм, что вызовет погрешность в 1 % абсолютной величины значения характеристики δ_p . В то время, когда нормируемое значение этого показателя составляют для арматурного проката класса В500С – 2,0; А600С – 4,0; А800 и А1000 – 2,0 %, искажение действительных значений характеристики может составлять 25-50 %. Дополнительные погрешности при определении пластических характеристик вносят такие факторы, как замеры остаточной длины образцов после разрыва, замеренные по меткам (кернениям), расположенным вблизи участка захвата металла плашками разрывной машины, а также ошибки, связанные с замером расстояний по керну, расположенному близко к месту разрушения, или при несовершенстве методов кернения.

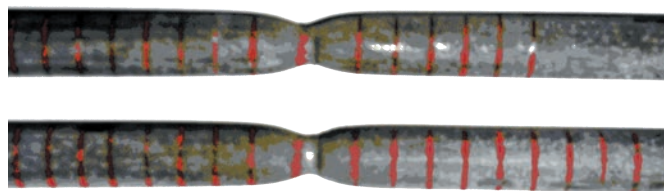


Рис. 2. Внешний вид арматурного проката класса А240С диаметром 10 мм с нанесенной разметкой после испытания на растяжение

Не меньшее, а иногда определяющее значение имеет правильный выбор рабочей длины испытуемого образца. Согласно ГОСТ 12004 она должна составлять не менее десяти диаметров ($10d$) стержня, а для стержней диаметром до 18 мм – не менее 200 мм. В результате для арматурного проката диаметром 20 мм (рабочая длина одна и та же величина в 200 мм) в процессе испытания на растяжение, если разрыв происходит на середине образца, то определение характеристики δ_p не представляется возможным, т. к. невыполнимо требование п. 3.2 стандарта – «... расстояние от места разрыва до ближайшей метки начальной расчетной длины для арматуры диаметром 10 мм и более не должно быть менее $3d$ и более $5d$ ». Следовательно, отступив от места разрыва 60 мм ($3d$), нет возможности провести корректное измерение удлинения на базе 50 мм, т. к. часть этого участка образца будет располагаться в захватах испытательной машины. Кроме того, ГОСТ 12004 допускает конечные длины после испытания образца измерять с погрешностью до 0,5 мм, а полное относительное удлинение после разрыва и равномерное относительное удлинение вычислять с округлением до 0,5 %. При этом доли до 0,25 % отбрасывают, а доли 0,25 % и более принимают за 0,5 %. Это в совокупности отражается на достоверности результатов.

Таким образом, можно обоснованно считать насущной и целесообразной необходимость внесения изменений в соответствующие стандарты на базе, в частности, разработки новых методов контроля свойств при испытаниях на растяжение арматурного проката.

На основании изложенного предлагается вариант нового метода испытания и контроля (идентификации) свойств при растяжении арматурного проката. Для определения основных показателей механических свойств: предела текучести ($\sigma_{0,2}$), временного сопротивления разрыву (σ_b), полного относительного удлинения при максимальной нагрузке (δ_{max}) и относительного равномерного удлинения (δ_p), образец не следует доводить до разрушения (разрыва). Достаточно осуществить нагружение до максимальной нагрузки (P_{max}), а после начала снижения нагрузки (не более чем на 0,5 %) [4] прервать испытание и разгрузить образец [5]. Предварительно нанесенные метки начальной базовой длины в 100 (200) мм позволят оценить деформацию образца и определить относительное равномерное удлинение (δ_p) с высокой точностью. При этом упрощается сам процесс разметки образца, т. к. достаточно нанести только одну базовую длину (две метки). От определения полного относительного удлинения (δ_s)

следует полностью отказаться, ввиду бесполезности данной характеристики для арматурного проката. Вариант такого отказа уже прописан в ГОСТ Р 52544 для проката класса В500С, а также предложен в проекте межгосударственного стандарта «Прокат арматурный для железобетонных конструкций» [6].

Экспресс-метод идентификации свойств был проверен на партиях арматурного проката класса В500С [7]. Метод включал отбор, подготовку, разметку и испытание натуральных образцов периодического профиля на растяжение, регистрацию значений нагрузки и деформации, последующее вычисление значений характеристик прочности и пластичности. При этом растяжение осуществляется в два приема путем первоначального растяжения образца до пробной нагрузки, соответствующей нормируемому напряжению предела текучести в 500 Н/мм^2 , после чего образец разгружается, замеряется значение его остаточного удлинения (Δl_1), далее образец повторно подвергается растяжению до максимальной нагрузки (P_{max}) с фиксированием этого значения. После этого образец разгружали, замеряли значение его остаточного удлинения (Δl_2), после чего вычисляли временное сопротивление (σ_b) и относительное равномерное удлинение (δ_p), а соответствие проката классу В500С устанавливали по величине остаточного удлинения (Δl_1), которое должно быть не более 0,002 от первоначальной длины и характеристикам σ_b и δ_p , которые должны быть не менее 550 Н/мм^2 и 2,0 % соответственно. В случае получения значения остаточного удлинения (Δl_1) после первоначального растяжения до пробной нагрузки более 0,002 от первоначальной длины, образец повторно растяжению не подвергают, а прокат признают не соответствующим классу прочности В500С.

Для опытного опробования метода идентификации В500С отобрали образцы арматурного проката диаметром 5,5; 8,0 и 11,0 мм (по две партии каждого диаметра) длиной по 350 мм и провели их растяжение на испытательной машине FP – 100/1. Расстояние между захватами испытательной машины составляло 220 мм, а на образце при помощи двух меток наносили базовую длину 200 мм. По площади сечения и нормируемому напряжению предела текучести (500 Н/мм^2) вычисляли требуемую пробную нагрузку ($P_{пр}$), до которой осуществляли первоначальное нагружение образцов. После чего образцы разгружали и замеряли остаточную деформацию (Δl_1), которая не должна была превышать 0,40 мм. По данному действию констатировали факт соответствия образца требованию класса В500С по пределу текучести. Далее

образцы повторно нагружали до максимальной нагрузки (P_{max}) и фиксировали это значение. После чего образцы разгружали, замеряли значение его остаточного удлинения (Δl_2), вычисляли временное сопротивление ($\sigma_{в'}$) и относительное равномерное удлинение ($\delta_{р'}$).

Полученные результаты (таблица) свидетельствуют о том, что все образцы подвергнутые испытанию по новой методике, за исключением второй партии образцов диаметром 8,0 мм, соответствуют требованиям стандарта для проката класса В500С. Таким образом, идентификация образцов выполнена без проведения разметки образцов по всей длине, без записи диаграммы растяжения и разрыва самих образцов. Это позволяет сократить время испытания (осуществит экспресс-контроль), а сами испытания могут проводиться на машинах любой конструкции.

Библиографический список

1. Ивченко А. В. Новый эффективный арматурный прокат в мотках класса В500С для железобетонных конструкций / А. В. Ивченко, А. И. Недогибченко, С. А. Матюхов, С. А. Вильдьякин // Бетон и железобетон в Украине. – 2013. – № 5. – С. 17-21.
2. Шеремет В. А. К вопросу о переводе величин относительного удлинения при различных базах / В. А. Шеремет, И. А. Гунькин, И. И. Журавлев, Г. И. Сокурено // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 22, Часть II. – Днепропетровск: ПГСИА, 2003. – С. 111-113.
3. Гольшев А. Б., Бачинский В. Я., Полищук В. П. Железобетонные конструкции. Сопротивление железобетона, Киев: Лотос, 2001. – Т. 1 – С. 418.
4. DIN EN ISO 15630-1:2002 Сталь для армирования и предварительного напряжения бетона. Методы испытания.

Таблица

Идентификация арматурного проката класса прочности В500С

d, мм	F _{0r} , мм ²	P _{пр'} , кН	Δl _{1'} , мм	σ _{0,2'} , Н/мм ²	P _{max} , кН	σ _{в'} , Н/мм ²	Δl _{2'} , мм	δ _{р'} , %	Примечания
–	–	–	≤ 0,40	≥ 500	–	≥ 550	≥ 4,0	≥ 2,0	требования стандарта
5,5	23,50	11,75	0,25	удов.	14,69	625	4,12	2,06	соответствует В500С
5,5	23,80	11,90	0,35	удов.	14,28	600	4,30	2,15	соответствует В500С
8,0	50,30	25,15	0,40	удов.	30,68	610	4,20	2,10	соответствует В500С
8,0	50,10	25,05	0,55	неуд.	–	–	–	–	не соответствует В500С по σ _{0,2}
11,0	95,0	47,50	0,35	удов.	60,80	640	4,40	2,20	соответствует В500С
11,0	94,7	47,35	0,30	удов.	56,35	595	4,80	2,40	соответствует В500С

Выводы*

1. Показана необходимость внесения изменений в действующий стандарт на испытание арматурного проката (ГОСТ 12004), а также в ряд других стандартов на основе определенной унификации методик, отказа от определения полного относительного удлинения после разрыва и использования методов экспресс-контроля.

2. Предложен метод идентификации арматурного проката на соответствие заявляемому классу прочности без разрыва образцов. Новый метод может быть рекомендован для входного контроля механических свойств арматурного проката классов А500С, В500С, А600С, А600 – А1000, что позволит гарантированно идентифицировать его на соответствие требованиям стандартов к продукции конкретного класса прочности при сокращении общей длительности испытаний.

5. Спосіб експрес-контролю механічних властивостей холоднодеформованого арматурного прокату класу В500С [Текст]: пат. № 86896 Україна: МПК G01N 3/00 / Івченко О. В.; власн. НМетАУ; заявл. 07.08.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1/2014.

6. Межгосударственный стандарт ГОСТ «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» (Проект, первая редакция) [Электронный ресурс]: <http://www.cstroy.ru/news/802/>.

7. Спосіб ідентифікації холоднодеформованого арматурного прокату класу міцності В500С: заявка № u201409566 в патентне відомство України: МПК G01N 3/00 / Івченко О. В.; власн. НМетАУ; заявл. 01.09.2014.

Поступила 19.09.2014

Примечание. * – Авторы с благодарностью примут замечания и пожелания относительно материалов и выводов по данной статье на e-mail: armst_2000@mail.ru