



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ АРМАТУРЫ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассмотрена проблема оценки прочности арматуры в железобетонных конструкциях. Приведены методы определения прочности арматуры при обследовании зданий.

Обследование, железобетонные конструкции, арматура, метод царапания.

В процессе обследования железобетонных конструкций контролируемыми параметрами арматуры являются вид арматуры, диаметры, количество и расположение арматуры, прочность арматуры, нарушение сцепления арматуры с бетоном, степень коррозии арматуры, наличие разрывов арматуры, состояние стыков или узлов сборных конструкций.

Такие параметры, как расположение арматуры, ее диаметр, толщина защитного слоя бетона, можно определить следующими методами: магнитным методом по ГОСТ 22904; радиационным методом по ГОСТ 17625, а также другими неразрушающими методами, приведенными в статье [8]; контрольным вскрытием бетона с обнажением арматуры, замером диаметра и количества стержней, оценкой класса арматуры по рисунку профиля и определением остаточного сечения стержней, подвергшихся коррозии.

Нарушение сцепления арматуры с бетоном за счет коррозии можно установить простукиванием поверхности бетона (при этом прослушиваются пустоты), что достаточно просто выполнить по месту расположения конструкции.

Прочность арматуры в процессе обследования при отсутствии необходимой документации можно ориентировочно визуально определить по ее профилю, но только для арматуры класса А240 (гладкая), А300 (винт) и А400 (елочка), удалив часть защитного слоя в тех местах, где он отсутствует. Для арматуры повышенной прочности класса А600–А1000 такая методика не подходит, так как она имеет такой же профиль, что и арматура класса А400, а расхождение прочности доходит до 40%. В последние годы для армирования железобетонных конструкций стали применять арматуру прочностью 500 Мпа с эффективным профилем А500СП по ТУ 14-1-5526-2006 «Прокат арматурный класса А500СП с эффективным периодическим профилем». Особенность профиля арматуры А500СП – вершины серповидных ребер располагаются не в одной осевой плоскости, а в двух взаимно перпендикулярных, что обеспечивает плотную компоновку зерен крупного заполнителя вокруг сердечника стержня и способствует более равномерному распределению усилий распора по сравнению с серповидным профилем европейского типа. Такой

профиль называют четырехсторонним серповидным (рис. 1).

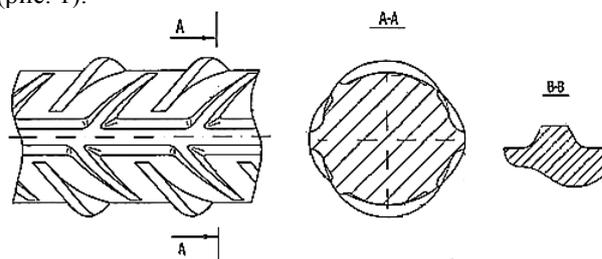


Рис. 1. Внешний вид профилей арматуры А500СП

Кроме этих профилей арматуры выпускается профиль, нормируемый требованиями ГОСТ Р 52544-2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия». Это профиль холоднодеформированной арматуры класса В500С, имеющий трехсторонние или четырехсторонние сегментные серповидные ребра (рис. 2).

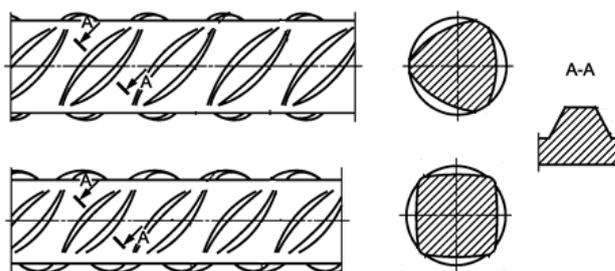


Рис. 2. Внешний вид профилей арматуры В500С

После введения в 1993 году в действие СТО АСЧМ 7-93 «Прокат арматурный периодического профиля. Технические условия» и в 1996 году ГОСТ 10884-94 «Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия» арматурные стержни (классы А400С÷А600С и Ат-400÷Ат-1200) стали выпускать с новым улучшенным профилем, ребра насечки которого имеют серповидную форму и шаг больший, чем у аналогичных горячекатаных стержней по ГОСТ 5781-82

«Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия» (рис. 3).

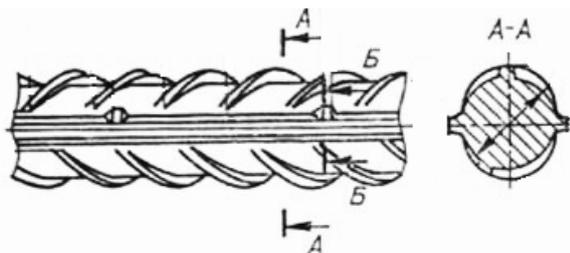


Рис. 3. Внешний вид профиля арматуры А_т-400.....А_т-1200

В настоящее время использование новых профилей в изготовлении железобетонных конструкций применяется редко, а при обследовании конструкций ранее построенных зданий практически не встречается. При ориентировочном определении прочности арматуры по рисунку профиля стержней количество участков, в которых определяется профиль стержней одного и того же диаметра в однотипных конструкциях, должно быть не менее пяти. Число конструкций, в которых определяются диаметр, количество и расположение арматуры принимается не менее трех.

Стержни вырезаются из тех сечений конструкции, где несущая способность обеспечивается и без вырезанных стержней [7]. Испытания должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12004 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение». Для определения прочности арматуры обязателен отбор пробы определенной длины, что сопровождается нарушением целостности защитного слоя и арматуры и требует усиления обследуемой конструкции, что достаточно дорогостоящее и трудоемкое мероприятие.

Арматурные стали одной марки или класса имеют в действовавших в разные годы нормативных документах разные величины нормативных и расчетных сопротивлений; при обследовании необходимо определять годы проектирования и постройки здания или сооружения, а значения нормативных и расчетных характеристик механических свойств следует принимать с учетом действующих норм в период постройки норм (Н и ТУ 123-55, СНиП II-21-75, СНиП II -13.1-62, СНиП II-21-75 до 1986 года; СНиП 2.03.01-01 с 1986 года по 2005 год, а с 2006 по 2012 год в соответствии с СП 52-101-2003, в настоящее время по СП 63.13330.2012), а так же с учетом периода обследования.

Нормативными требованиями [7] при отборе проб должна быть обеспечена несущая способность конструктивного элемента, это достаточно не сложно выполнить длягибаемых элементов, в которых просто определить зоны минимальногогибающего момента и поперечной силы. Однако при обследовании колонн, стоек, несущих стен, стенок резервуаров и т.д. найти такие зоны сложно или практически невозможно. В этом случае отбор проб не только повышает трудоемкость и, следовательно, стоимость обследования, но и усиливает степень повреждения конструкции и может привести к обрушению без дополнительных мероприятий по обеспечению надежности.

По требованиям, приведенным в [1], длина отбираемых образцов l должна быть не менее:

$$l = 8d + 200 \text{ мм}, \quad (1)$$

где d – диаметр стержня.

По требованиям ГОСТ 12004 длина образцов для стержней диаметром менее 20 мм должна определяться, как

$$l = 2a + 200 \text{ мм}, \quad (2)$$

где a – длина стержня, необходимая для захвата разрывной машиной.

Для стержней диаметром более 20 мм длина должна составлять

$$l = 10d + 2a. \quad (3)$$

Для стержней большего диаметра можно минимизировать длину отбираемой пробы за счет изготовления на токарном станке из более короткого стержня цилиндрического образца, соответствующего требованиям для испытания по ГОСТ 1497-84* «Металлы. Методы испытания на растяжение». Несмотря на это, во всех случаях длина отбираемой пробы существенна с точки зрения трудоемкости отбора и повреждения конструктивного элемента.

При обследовании железобетонных конструкций склада ферросплавов в г. Череповце Вологодской области, построенного в 1976 году, были использованы для определения прочности арматуры метод отбора проб, визуальный метод, инструментальный метод.

По конструктивной схеме обследуемое здание – с полным железобетонным каркасом, в плане прямоугольной формы, двухпролетное, одноэтажное, бескрановое, неотапливаемое. В ходе сплошного обследования были осмотрены железобетонные балки покрытия пролетом 9,0 м в количестве 88 штук. Часть балок в количестве 40 штук была изготовлена в условиях строительной площадки, другая – в заводских условиях [2]. Таким образом, потребовалось взятие проб по три из каждого вида изготовления балок. Обмерочный чертеж одной из балок, изготовленных в построечных условиях, показан на рис. 4 (размеры балки приведены с разбросом по всем монолитным балкам).

Рабочие арматурные стержни располагались в два ряда, диаметр нижних составлял 18 мм, при этом смещение положения арматуры от проектного доходило до 80 мм по чертежам соответствующей серии типовых конструкций. Длина образцов составила в соответствии с формулой (2) $l=300$ мм (по формуле (1) требуемая длина составила бы 344 мм). Отбор проб был затруднен тем обстоятельством, что работы выполнялись на отметке низа балки (4,2 м).

По действующим нормам визуально рабочая арматура относится к классу А400 с расчетным сопротивлением растяжению $R_s = 350$ МПа, по [7] может соответствовать двум классам – упрочненной вытяжкой арматурной стали класса АШВ с $R_s = 390$ МПа и арматурной стали класса АШ с $R_s = 335$ МПа, а по СНиП II-21-75 – классу АШ с $R_s = 340$ МПа. Расхождение прочности армирования составило 14% для обычной и упрочненной вытяжкой арматуры по [7], а также около (3÷11)% – по действующим нормам. По результатам испытания образцов на разрывной машине с учетом обработки данных расчетное сопротивление составило $R_s = 356,5$ МПа.

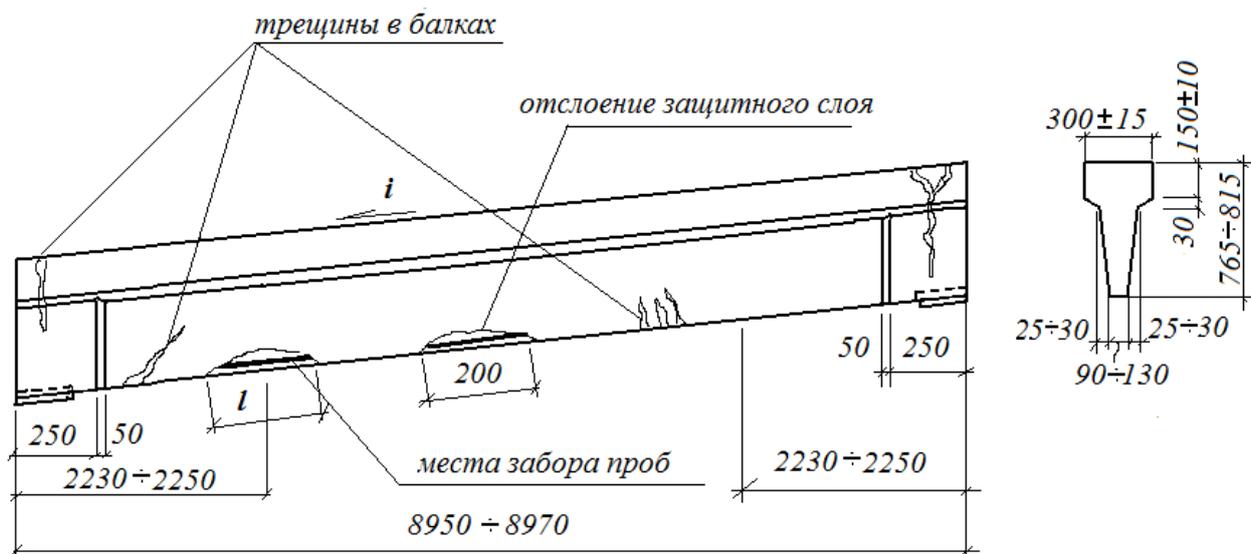


Рис. 4. Монолитная балка

При отборе проб заготовки стараются вырезать из мест с наименьшими или нулевыми напряжениями по условию безопасности. Однако материал при эксплуатации конструкций подвергается наибольшим изменениям в самых напряженных участках конструкции, поэтому результат испытаний будет заведомо неверным и, как правило, в сторону завышения прочности материала. Вырезка заготовок для образцов в наиболее напряженных участках опасна и сложна из-за необходимости усиления конструктивного элемента, а иногда вообще невозможна.

В связи с этим нами предлагается для оценки прочности арматурной стали определять ее твердость методом царапания.

Испытания на твердость отличаются от других механических испытаний тем, что не требуют изготовления образцов специальной формы и связаны с возникновением на поверхности стальных деталей (или образцов) локальных контактных напряжений и деформаций при статическом или ударном внедрении в металл малодеформирующегося индентора (наконечника). Этот наконечник может иметь форму шарика, конуса, пирамиды и др.

Специфика испытания на твердость заключается в местном воздействии на небольшую часть поверхности тела, в малом объеме испытуемого материала, в небольшой доле растягивающих напряжений и удлинений.

Малый объем деформируемого металла и возможность определения твердости непосредственно на поверхности стальных деталей и элементов конструкций делают такие испытания незаменимыми для массового и обычного контроля прочностных и пластических свойств стали. При испытаниях твердости определяются механические свойства металла в пластической области деформирования без разрушения, при этом может быть достаточно точно оценено временное сопротивление стали, и, следовательно, предел текучести.

Методика проведения неразрушающих испытаний методом царапания (когда инденторы осуществляют

царапающее движение) с использованием в качестве индентора алмазной пирамиды достаточно подробно описана в работах [3, 4].

Приборы и устройства для проведения испытаний, в которых в качестве индентора была использована четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине 136° , описаны в [5, 6]. При этом твердость металла царапанием H_u можно определить по формуле:

$$H_u = c \cdot \frac{F}{b^2}, \quad (4)$$

где c – коэффициент, зависящий от вида испытуемого металла (для стали любых классов $c = 3,708$);

F – давление от индентора в виде алмазной пирамиды на металл исследуемого образца, изделия, элемента конструкции (для стали любых классов $F = 80$ Н, значение усилия определяется по специальному тарифовочному графику ($F - \Delta$) или по тарифовочной таблице показаний индикатора часового типа);

\bar{b} – среднее значение ширины царапины ($\bar{b} = \sum_{i=1}^n b_i / n$, n – число измеренных значений b_i).

Предел прочности для стали вычисляется по формуле:

$$\sigma_B = 0,26 H_u - 71, \text{ в МПа.} \quad (5)$$

Сравнение результатов испытаний образцов арматурной стали на разрывной машине и методом царапания приведены в таблице и показывают хорошее совпадение результатов. Перед началом испытаний на заранее подготовленной поверхности арматурного стержня устройством для нанесения царапин наносились царапины на малых скоростях движения алмазной пирамиды (до 1 м/мин) и при отсутствии смазки. При этом по чистоте поверхности образцы были не ниже класса $\nabla 9$. Нагрузка на острие – 80 Н – обеспечивала получение царапин шириной в несколько десятых долей миллиметра с тем, чтобы оценивать сопротивление царапанию не поверхностного слоя, а металла в большем объеме.

**Результаты измерения ширины царапин (индентор – четырехгранная пирамида
с углом при вершине 136°, сила прижатия $F = 80H$)**

№ обр.	Ширина царапины b, мм								Hц МПа	σ _В , МПа	σ _{В, экс} МПа
	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b ср			
1	0,44	0,44	0,44	0,42	0,46	0,44	0,41	0,42	1681,7	366,2	370
2	0,437	0,43	0,42	0,44	0,427	0,44	0,427	0,431	1596,9	344,1	340
3	0,41	0,42	0,43	0,41	0,42	0,42	0,41	0,43	1604,4	346,1	349
4	0,42	0,416	0,42	0,416	0,41	0,42	0,41	0,42	1681,7	366,2	370
5	0,39	0,388	0,4	0,39	0,393	0,4	0,43	0,425	1642,3	355,9	350
6	0,44	0,43	0,44	0,39	0,4	0,44	0,43	0,42	1681,7	366,2	370
7	0,43	0,42	0,42	0,43	0,4	0,42	0,44	0,43	1604,4	346,1	350
8	0,42	0,41	0,4	0,4	0,42	0,44	0,41	0,42	1681,7	366,2	367
9	0,407	0,4	0,394	0,404	0,41	0,41	0,4	0,43	1604,4	346,1	350
10	0,38	0,39	0,39	0,41	0,43	0,41	0,42	0,43	1604,4	346,1	360

Примечание: σ_B – значение временного сопротивления разрыву, полученное по формуле $\sigma_B = 0,26H_{ц} - 71$, МПа; $\sigma_{B, экс}$ – значение временного сопротивления разрыву, полученное по результатам испытаний на разрывной машине.

Приведенный метод определения значения σ_B для сталей, малые размеры и вес испытательных устройств позволяют проводить неразрушающие испытания стальных элементов непосредственно в конструкциях в самых стесненных местах. В любом случае при применении этого метода для определения прочности арматуры размеры образцов могут быть в разы меньше, чем для разрушающих методов, и целостность конструкции будет нарушаться минимально.

Литература

1. Обследование и испытание здания и сооружений: учеб. пособие для вузов / В. Г. Козачек, Н. В. Нечаев, С. Н. Нотенко и др.; под ред. Римшина. – Москва: Высшая школа, 2004. – 447 с.
2. Михалевич, Н. В. К вопросу об эксплуатации железобетонных балок / Ш. Э. Булгаков, Н. В. Михалевич, Л. И. Булгакова // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей VI междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2006. – С. 12–15.
3. Плотникова, О. С. Неразрушающий метод определения механических характеристик материалов с помощью царапания // Сборник статей Международ-

ной научно-технической конференции. – Пенза, 2006. – С. 193–195.

4. Плотникова, О. С. Определение механических характеристик материалов в конструкциях неразрушающим методом (царапанием) / В. С. Уткин, О. С. Плотникова // Конструкции из композиционных материалов. – 2007. – № 4. – С. 45–47.

5. Пат. 2308018, МПК G 01 N 3/46. Устройство для определения твердости материалов методом царапания / В. С. Уткин, О. С. Плотникова, В. В. Русанов; заявитель и патентообладатель Волог. гос. техн. ун-т. – № 2006102641/28; заявл. 30.01.2006; опубл. 10.10.2007. – Бюл. № 28.

6. Пат. 2373515, МПК G 01 N 3/46. Устройство для определения твердости материалов методом царапания / В. С. Уткин, В. Ф. Меньшиков; заявитель и патентообладатель Волог. гос. техн. ун-т. – № 2006102641/28; заявл. 16.06.2008; опубл. 20.11.2009. – Бюл. № 32.

7. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений / Госстрой России. – Введ. 21.08.2003. – Санкт-Петербург: ДЕАН, 2004. – 60 с.

8. Улыбин, А. В. Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций / А. В. Улыбин // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 1. – С. 4–13.

N.V. Mikhalevich, O. S. Plotnikova
Vologda State University

DETERMINATION OF STRENGTH OF THE REINFORCEMENT WHEN INSPECTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

The article deals with the problem of assessing the strength of reinforcement in reinforced concrete structures. The methods of determining the strength of reinforcement during the inspection of buildings.

Inspection, reinforced concrete structures, reinforcement, scratch method.