

Ордобаев Б.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Ордобаев Б.С.

ТЕМИР-БЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫН АРМАТУРАЛАРЫНЫН КӨРСӨТКҮЧТӨРҮН АНЫКТОО ЖАНА ИЗИЛДӨӨ ЖОЛДОРУНУН НЕГИЗГИ ТАПШЫРМАЛАРЫ

B.S. Ordabaev

STUDY ON CONTROL OF STRENGTH PARAMETERS OF THE WORKING REINFORCEMENT IN CONCRETE STRUCTURES

УДК: 624. 012.

Темир-бетон конструкцияларынын арматураларынын көрсөткүчтөрүн аныктоо жана изилдөө жолдорунун негизги тапшырмалары каралган. Көрсөтүлгөн тапшырмаларды аткаруу үчүн белгилүү болгон негизги аткаруу жолдору анализделген. Арматуранын көрсөткүчтөрүн аныктоо үчүн өтө так жана ишенимдүү усулдары берилген.

**Негизги сөздөр:** темир-бетон конструкциялары, арматура, изилдөө жолдору, усулдар.

Рассмотрены основные задачи по определению параметров арматуры железобетонных конструкций при их обследовании. Проанализированы основные известные пути решения указанных задач. Показаны наиболее достоверные и точные методы определения параметров арматуры. Экспериментально выявлена величина погрешности, сопровождающая магнитный метод контроля, при определении диаметра арматуры и защитного слоя бетона. Приводятся данные, в том числе экспериментальные, о перспективности применения метода измерения твердости для определения класса арматуры.

**Ключевые слова:** железобетонных конструкций, арматура, метода измерения.

The paper deals with the main problem of reinforcement parameters determination of concrete structures in the inspection. The basic well-known tracks of a solution to this problem are analyzed. The most reliable and accurate methods of reinforcement parameters determination are revealed. The magnitude of error of the magnetic inspection method in the determination of the diameter of reinforcement and the coverage is experimentally detected. The availability data of applying the method of hardness measuring for the reinforcement class determination is adduced.

**Key words:** concrete structures, reinforcement, method of measurement

Наиболее важной задачей при обследовании конструкций является определение фактического класса арматуры и, соответственно, ее прочностных параметров. Для решения этой задачи предлагаются различные подходы [1-10].

Основным нормативным методом определения прочности арматуры является испытание на растяжение отобранных образцов по ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжение» и СТО АСЧМ 2-93 «Прокат из арматурной стали. Метод испытания на растяжение». Данный

метод, несмотря на его достоверность, обладает очевидным недостатком - необходимость повреждения и, следовательно, ослабления конструкции. Для изгибаемых и густоармированных элементов (балки, плиты) отбор образца можно произвести из сечения с наименьшими расчетными усилиями (в зоне минимального момента), вплоть до отсутствия напряжений. У колонн такого сечения нет. Трудоемкость работ по отбору проб высока, а сложность восполнения поврежденного стержня еще выше.

По требованиям, приведенным в литературе [1,2], длина отбираемых образцов ( $l$ ) должна быть не менее

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

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

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

Для стержней большого 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.

Минимальное количество образцов для испытания в различной литературе указывается по-разному. Например, в п 8.3.8 СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» указано, что число стержней одного диаметра и одного профиля, вырезанное из однотипных конструкций, должно быть не менее 3. По рекомендациям ВСН 57-88 «Положение по техническому обследованию жилых зданий» прочность рабочей арматуры определяется как среднее

арифметическое значение данных испытания на разрыв не менее 2 образцов.

Во многих нормативных документах, в том числе СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции», и технической литературе [1,3,4] можно встретить рекомендации по определению

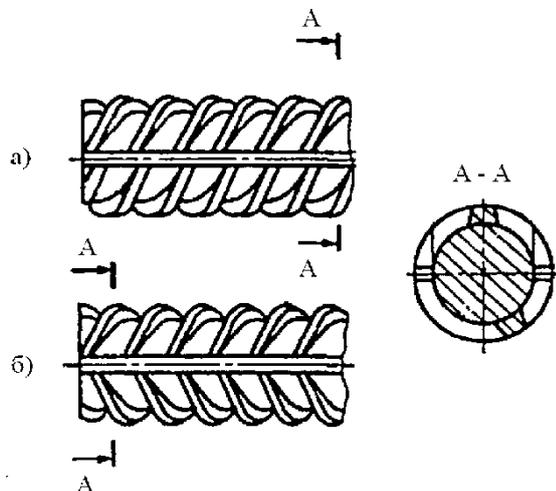


Рис. 1. Внешний вид профилей арматуры по ГОСТ 5781: а) класса А-II(A-240); б) А-III(A-400) ...А-V(A-1000)

Однако, данные рекомендации явно устарели. Уже давно используется высокопрочная арматура классов А-IV (А-600)... А-VI (А-1000), изготавливаемая по ГОСТ 5781-82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия». Отличить по внешним признакам стержни данных классов между собой, а также от арматуры класса А-III, нельзя.

С выходом в 1993 году СТО АСЧМ 7-93 «Прокат периодического профиля из арматурной стали» и введением в 1996 году ГОСТ 10884 арматурные стержни (классы А-400С... А-600С 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 (рис. 2). Требованиями стандарта в качестве отличительных признаков между разными классами рекомендуется выполнение прокатных меток, либо окраска концов прутков. При выполнении последнего подхода, в ходе обследования конструкций арматуру разного класса не отличить. Помимо этого, согласно п. 4.3 ГОСТ 10884 термомеханически упрочненная арматура может изготавливаться сечением, соответствующим горячекатаной арматуре по ГОСТ 5781.

В соответствии с п. 1.2 ГОСТ 5781 по требованию потребителя сталь классов А-II (А300), А-III (А400), А-IV (А600) и А-V (А800) может быть изготовлена гладкого профиля. Такое же условие имеется для арматуры классов Ат-800 и выше в п. 4.3 ГОСТ 10884. Согласно п. 4.5 СТО АСЧМ 7-93 допускается изготовление стержней

класса по внешним признакам.

При реализации данного метода принимается, что арматура класса А-I (А-240) имеет круглое сечение, арматура класса А-II (А-300) в виде винтовой линии, а арматура класса А-III (А- 400) в виде «елочки»

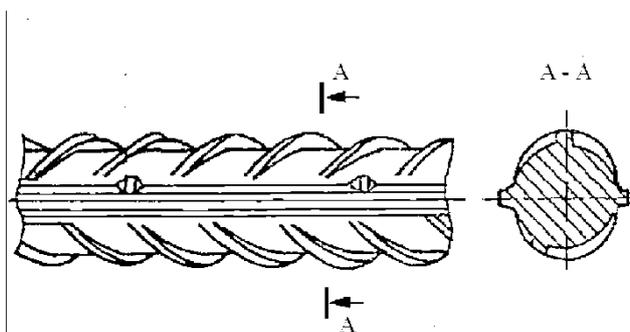


Рис. 2. Внешний вид профилей арматуры класса Ат-400... Ат-1200 по ГОСТ 10884

периодического профиля с формой насечки отличной от указанной в данном стандарте. Указанные пункты полностью перечеркивают применение метода контроля по визуальным признакам для вышеуказанной арматуры.

В последние годы активно внедряется арматура прочностью 500 МПа с новым «эффективным» профилем А500СП, изготавливаемая по требованиям ТУ 14-1-5516-2006. Данный профиль повышает сцепление арматуры с бетоном и, кроме того, делает данную арматуру визуально отличимой от других (рис. 3).

Имеется еще один вид арматуры с профилем, нормируемым требованиями ГОСТ Р 52544-2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций». Это профиль холоднодеформированной арматуры класса В500С, имеющий трехсторонние, или четырехсторонние сегментные серповидные ребра (рис. 4).

По приведенной выше информации можно сделать вывод, что четко отличить по внешним признакам можно только арматурные стержни периодического профиля классов А-II, А-500 СП и В-500С. Однако арматура класса А-II на сегодняшний день применяется редко [9]. Арматура новых профилей еще не так популярна, а при обследовании большинство объектов – это старые здания и сооружения, построенные с использованием арматуры старых типов. Иными словами, **определить класс арматуры только по внешним признакам в большинстве случаев нельзя.**

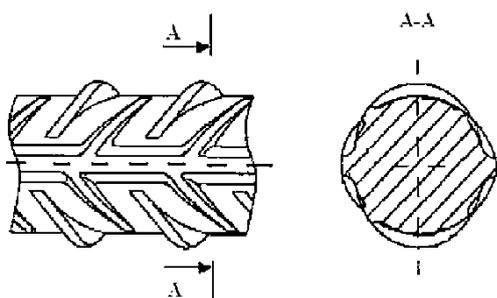


Рис. 3. Внешний вид профилей арматуры класса А-500СП

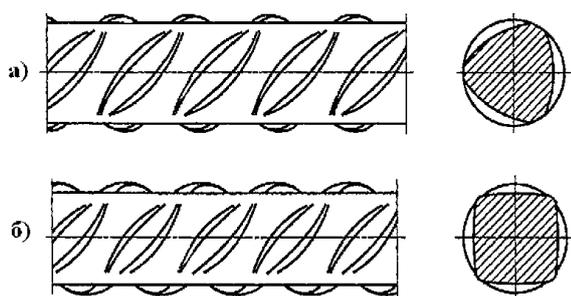


Рис. 4. Внешний вид профилей арматуры класса В-500С по ГОСТ Р 52544:

- а) с трехсторонним серповидным профилем,  
б) с четырехсторонним серповидным профилем

Другим, казалось бы возможным, методом выявления класса арматуры, является определение химического состава арматурной стали. На сегодняшний день, с учетом доступности выявления химического состава стали методом спектрального анализа, данный способ мог бы быть жизнеспособным. Размеры образцов, отбираемых для химического анализа, в десятки раз меньше, чем для испытания на растяжение, и нарушение целостности конструкции не столь существенно. Имеется портативное оборудование, позволяющее выполнять спектральный анализ непосредственно на объекте. Однако, такой подход мог быть реализован только до конца 80-х - начала 90-х годов, т.е. до широкого внедрения термомеханически упрочненной арматуры. По требованиям ГОСТ 5781 различным классам арматуры соответствовали различные марки используемых сталей: от СтЗсп (А-240) до 22Х2Г2АЮ (А-1000). С введением ГОСТ 10884 данная однозначность исчезла. На сегодняшний день сталь одной марки может применяться для изготовления арматурных стержней различных классов, как по разным стандартам, так и в пределах одного. Например, сталь 35ГС используется для изготовления арматуры классов А-III (ГОСТ 5781) А600С, Ат 800, Ат 800к (ГОСТ 10884), А-IIIв, Ат-VI; сталь 25Г2С для изготовления арматуры классов А400 (ГОСТ 5781), Ат800 (ГОСТ 10884). Таким образом, выявление *химического состава и марки стали не позволит сделать однозначный вывод о классе арматуры.*

Перспективным методом определения класса арматуры является определение по измерению твердости стали. Исследованию зависимости между прочностью и твердостью сталей посвящено много работ. основополагающая зависимость для сталей отражена в ГОСТ 22761-77 «Металлы и сплавы. Метод измерения прочности по Бринеллю переносными твердомерами статического действия». На возможность применения данного метода для арматуры железобетонных конструкций при техническом обследовании указывается в пособии [3]. При этом рекомендуется использовать портативные твердомеры. Однако, при практическом применении данного метода возникает ряд проблем и вопросов.

На результат измерений и возможность их выполнения влияет целый ряд факторов:

- расположение участка измерения (торцевой срез, боковая поверхность) и влияние периодичности профиля;
- ограничения применяемых методов измерения (статический, динамический, ультразвуковой);
- шероховатость поверхности участка измерения;
- влияние на твердость исследуемого слоя метода подготовки поверхности (обрезка, зачистка, шлифовка, полировка);
- выбор частной градуировочной зависимости между твердостью и прочностью;
- влияние марки стали на применяемую зависимость;
- влияние вида упрочнения арматуры (термомеханическое, холодная деформация, вытяжка) на используемую зависимость;
- прочие факторы.

Исследованию влияния некоторых из указанных факторов на результат измерения твердости стальных образцов посвящены различные работы [5-10].

Определенные положительные результаты получены в ходе экспериментальных исследований, выполненных автором на арматурных стержнях различных классов. Исследования проведены для арматуры классов А-I, А-III (А-400) и А-V (Ат-800), при диаметре стержней от 12 до 22 мм. Измерения производились на торцевой поверхности образцов арматуры длиной 0,5 м. Для выполнения работ применялся прибор МЕТ-УД, реализующий ультразвуковой метод контроля. На каждом стержне производилось по 10 единичных измерений с последующим осреднением значения твердости.

Поперечный (торцевой) срез арматуры изготавливался 2 способами:

1. Торцовкой с помощью монтажной пилы с абразивным диском и последующей шлифовкой (с термическим влиянием (ТВ));
2. Торцовкой на токарном станке и последующей шлифовкой (условно без термического влияния (без ТВ)).

Прочность арматурных стержней определялась по сертификатам заводов изготовителей. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис.5.

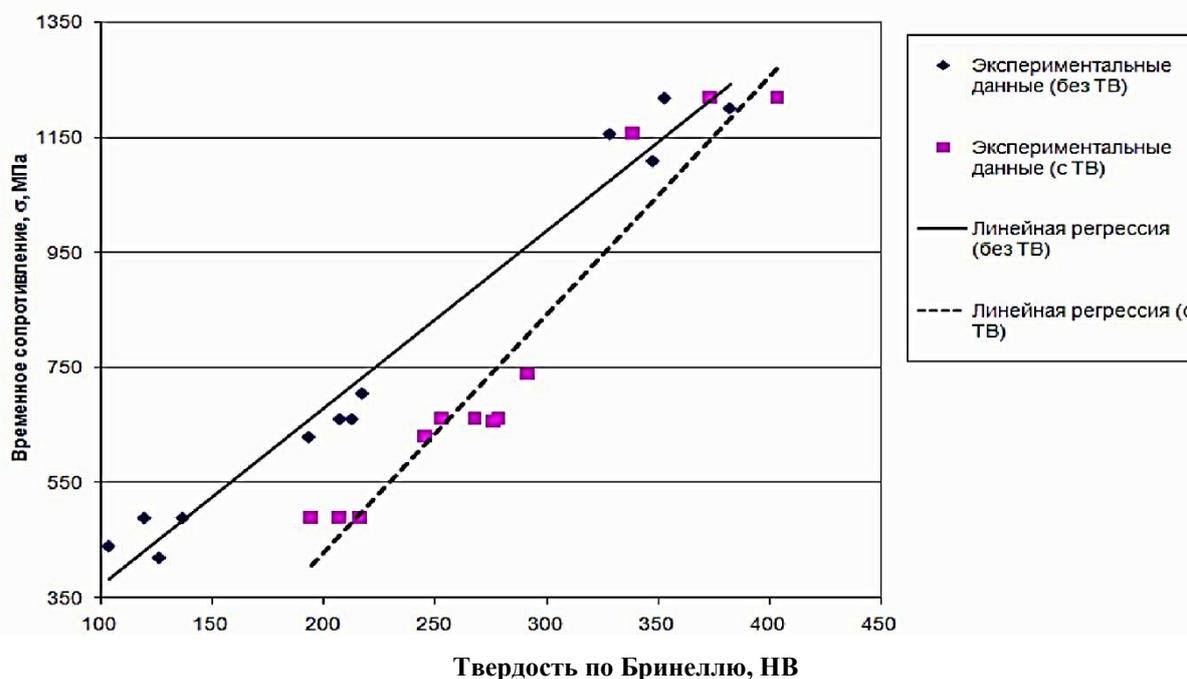


Рис. 5. Зависимость между твердостью и временным сопротивлением арматурной стали.

Как видно по зависимостям на рис. 5, значения твердости, полученные при разных видах обработки торцов арматуры, существенно отличаются. При этом твердость тонкого поверхностного слоя стали, в котором выполнены исследования (особенность ультразвукового метода), после торцовки с повышенным температурным влиянием явно завышены. Это можно утверждать потому, что твердость стали Ст3, из которой выполнена арматура А-I (нижняя группа точек на рис.5), при прочности 420-490 МПа (по данным сертификатов) не может составлять 200 единиц по шкале Бринелля. Также по графикам видно, что с увеличением класса арматуры изменение твердости за счет термического влияния уменьшается. При классе арматуры А-800 результаты измерений практически полностью соответствуют зависимости, полученной при измерениях после холодной торцовки.

По результатам исследований, выполненных на образцах изготовленных, без температурного влияния, получено уравнение регрессии:

$$\sigma_B = 3,1 \cdot HB + 143 \quad (4)$$

Определенный экспериментально коэффициент регрессии близок к аналогичному коэффициенту в зависимостях, указанных в пособиях [1,3]. Коэффициент корреляции по полученной зависимости составил 0,986, что даже при малой выборке эксперимента свидетельствует о наличии тесной корреляционной связи между измеряемым и искомым параметрами.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что использование измерений твердости стали для определения класса арматуры весьма достоверно и обосновано. Необходимо

отметить, что речь идет не об определении точного значения временного сопротивления стали и предела текучести, а об идентификации класса арматуры по попаданию полученных значений твердости (прочности) в тот или иной диапазон значений, соответствующий определенному классу. Проведенные исследования выполнены на образцах арматуры, что не делает указанный способ неразрушающим. Однако, размеры отбираемых проб для реализации метода во много раз меньше, чем требуемые для испытаний на растяжение. Данные условия приемлемы при использовании статического и ультразвукового методов определения твердости.

#### Выводы:

Перспективным представляется применение неразрушающего метода контроля (например, ультразвукового) для измерения твердости в полевых условиях на боковой поверхности арматуры без ее вырезания из конструкции. Реализация данного способа требует выполнения дополнительных исследований, направленных на выявление возможности создания необходимых условий для проведения измерений и их влияния на погрешность. Также необходимо выполнение исследований с существенно большей выборкой для четкого определения диапазонов твердости, соответствующих классам арматуры, применяемой на сегодняшний день в строительстве. Среди методов, позволяющих определить класс арматуры наиболее перспективным представляется метод измерения твердости. При выполнении соответствующих исследований и разработке практических рекомендаций метод можно применять без отбора проб, на поверхности стержней непосредственно на участке вскрытия.

**Литература:**

1. Ремнев В.В., Морозов А.С., Тонких Г.П. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений. // Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. - М.: Маршрут, 2005.-196 с.
2. Обследование и испытание зданий и сооружений. / В.Г. Козачек, Н.В. Нечаев, С.Н. Нотенко и др.; Под ред. В.И. Римшина.- М.: Высшая школа, 2004.-447 с.
3. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. - М.:АО "ЦНИИПРОМЗДАНИЙ", 1997.-179с.
4. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений.- СПб: Издательский Дом KN+, 2001.-140 с.
5. В.М.Хомич, Д.Н.Логвинов Экспериментальное исследование взаимосвязи предела текучести и некоторых чисел твердости строительных сталей // Известия вузов. Строительство, №11, 1999.- С.133-137.
6. Улыбин А.В., Рогозин П.А. Применение зависимости «прочность-твердость» при обследовании стальных конструкций с помощью портативных твердомеров // Стройметалл №4 (23), 2011.- С. 25-27.
7. Галкин Д.С., Патраков А.Н. Определение временного сопротивления стали эксплуатируемых строительных металлоконструкций методами твердометрии при обследовании // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура №1, 2010.- С.85-88.
8. Concrete construction engineering handbook. Chapter 19.- Boca Raton, FL: CRC Press, 1997. - P 47-51.
9. M. A.J. Mariscotti Investigations with reinforced concrete tomography / M. A.J.Mariscotti, P.Thieberger, T. Frigerio, F. Mariscotti, M. Ruffolo // 12th International Conference «Structural Faults & Repairs»/ Edinburgh, 2008 [http://www. thasa.com/ANTECEDENTES/Investigations\\_RCT\\_2.pdf](http://www. thasa.com/ANTECEDENTES/Investigations_RCT_2.pdf)
10. Yong Hao, Zheng Ee, Kee Ee Evaluation of Concrete Structures by Advanced Nondestructive Test Methods - Impact Echo Test, Impulse Response Test and Radar Survey // International Symposium «NDT-CE»/ Berlin, 2003 <http://www.ndt.net/article/ndtce03/papers/v100/v100.htm>

**Рецензент: доктор архитектуры, профессор Смирнов Ю.Н.**