

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И АРМАТУРЫ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ТВЕРДОСТИ СТАЛИ

При обследовании технического состояния строительных конструкций часто возникает необходимость в определении прочности материалов. Для исследований применяются разрушающие методы, связанные с отбором образцов из конструкций и их лабораторным испытанием, а также методы неразрушающего контроля (НК). Методы НК, как правило, являются предпочтительными, так как существует возможность увеличения количества контролируемых участков, снижается трудоемкость работ и отсутствует необходимость в восстановлении поврежденного участка конструкции. Для исследования прочности бетона конструкций используется широкий спектр методов НК, доступна большая приборная база и разработаны регламентирующие нормативные документы [1]. Методы НК прочности, применимые для контроля элементов стальных конструкций и арматуры, распространены гораздо меньше.

Традиционным методом определения прочности металла в конструкциях является отбор проб и их последующее испытание на растяжение по ГОСТ 1497-84 [2]. Главным преимуществом данного метода является то, что полученное в результате значение прочности наиболее близко к истинному. Однако основными недостатками этого метода являются неизбежное ослабление элементов при отборе проб и высокая трудоемкость отбора, испытания и дальнейшего восстановления целостности элемента.

Связь между прочностью металла и его твердостью широко известна, а соотношение между данными параметрами для сталей указано в ГОСТ 22761-77 [3]. Однако в разных источниках приводятся различные аналитические зависимости, описывающие указанную связь. Например, в СТО 22-04-02 [4] приведена формула:

$$\sigma_{\text{в}} = 112 + 2,4 \cdot \text{НВ} \quad (1)$$

При этом зависимость рассматриваемых параметров, указанная в справочнике [5], имеет вид:

$$\sigma_{\text{в}} = 9,81 \cdot K \cdot \text{НВ} \quad (2)$$

где $K = 0,34$ при $\text{НВ} < 175$ и $K = 0,36$ при $\text{НВ} > 175$.

Значения прочности, полученные Табл. 1

Твердость	Прочность				
	по пересчету по эмпирическим зависимостям и таблицам			по данным сертификата	по данным испытания на разрыв по ГОСТ [2]
	по ГОСТ [3]	по СТО [4]	по справочнику [5]		
141,1	493	451	471	480	512,5

по разным зависимостям, имеют существенные отличия. Например, при твердости 100 МПа по шкале Бринелля, временное сопротивление, определенное по зависимости (1), составит 352 МПа, а по зависимости (2) 309 МПа. Помимо этого, полученные значения могут существенно отличаться от истинной прочности испытываемого элемента. В результате одного из проведенных авторами исследований на образце двутаврового сечения из стали СтЗсп были получены значения твердости и прочности, представленные в таблице 1.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, значения прочности, определенные косвенным методом, имеют различия до 9% при разном способе пересчета и отличаются от истинного значения предела прочности на величину до 13%.

Известны исследования ученых, например, М.С.Дрозда [6], В.М.Хомича [7] и других, направленные на уточнение и анализ зависимости «твердость-прочность». Однако большинство исследований основано на измерении твердости в лабораторных условиях по отобраным образцам, что также неизбежно приводит к ослаблению элемента конструкции.

Помимо вышеуказанного, в литературе отсутствуют методические указания по применению методов неразрушающего контроля твердости в по-

левых условиях (на строительной площадке или в эксплуатируемом здании). Нет рекомендаций по учету влияния на результат измерения факторов, возникающих при проведении измерений. К данным факторам, в первом приближении, относятся:

1. Качество обработки испытываемой поверхности;
2. Расположение участка измерения;
3. Габариты и масса испытываемого элемента;
4. Напряженно-деформированное состояние элемента;
5. Наличие и величина остаточных напряжений поверхностного слоя;
6. Химический состав (марка) стали.

Существует большой спектр приборов неразрушающего контроля твердости, позволяющих выполнять измерения в полевых условиях. К таким приборам относятся: ТЕМП-4, ТКМ-459, МЕТ-УД, Equotip и другие. Основные методы, применяемые в них, – это ультразвуковой и динамический. При динамическом методе определяется косвенная характеристика – отношение скорости при ударе и отскоке индентора от поверхности образца. В ультразвуковом методе измеряемым параметром является частота колебаний индентора при его внедрении в образец на определенную глубину под действием постоянного усилия. Значения косвенных характеристик в дальнейшем переводятся в число твердости по градуировочной зависимости, заложенной в приборе.

Цель работы, суть которой изложена в статье, – исследование влияния различных технологических факторов на погрешность измерения и достоверность определения прочности стали по измерению твердости портативными твердомерами.

Для достижения поставленной цели проведены экспериментальные исследования. Они выполнены на образцах из прокатных профилей различного поперечного сечения и марок стали, а также на арматуре разных классов.

Для определения твердости металла в ходе исследований использованы приборы

ТЭМП-4 (динамический метод) и МЕТ-УД (динамический и ультразвуковой методы).

В ходе исследования изучалось влияние нескольких факторов:

1. Способ обработки поверхности участка измерения;
2. Расположение участка измерения;
3. Близость участка измерения к сварному шву (для прокатных профилей).

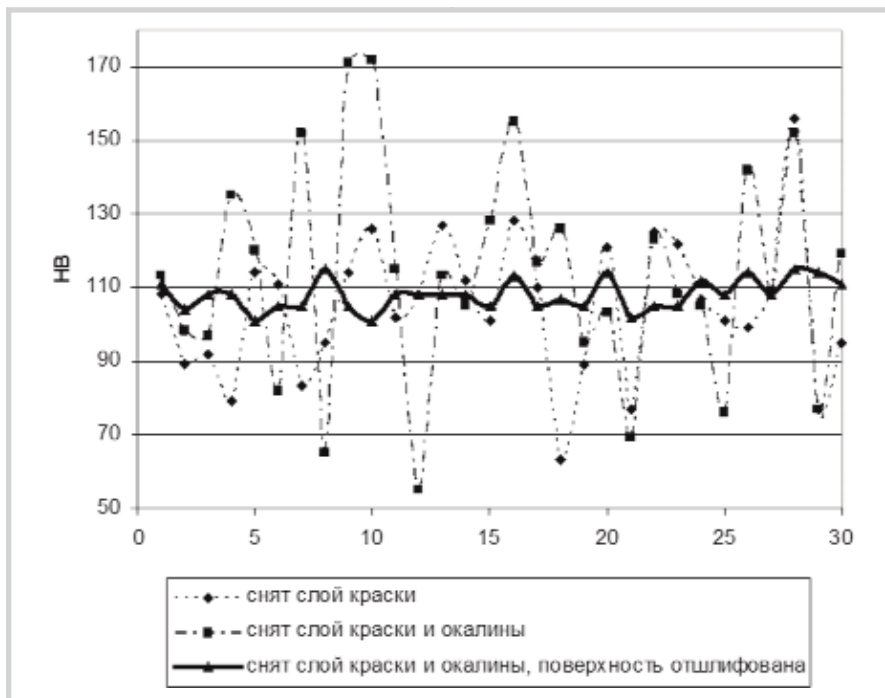


Рис. 1 Разброс результатов измерения твердости при различной обработке поверхности.

Обработка поверхности при применении портативных твердомеров является обязательным условием, а от качества ее выполнения во многом будет зависеть точность результата измерения. Для реализации эксперимента поверхность образцов была обработана тремя различными способами:

1. Зачистка от окрасочного слоя;
2. Зачистка от слоя окалины;
3. Шлифовка поверхности шлифовальными кругами различной зернистости.

Последний вид обработки исследовался более детально для изучения влияния зернистости шлифовальных кругов и шероховатости обработанной поверхности на результаты измерений.

На рис. 1 представлены графики результатов измерений твердости динамическим методом при различных видах обработки. Наглядно представлен разброс значений, характеризующий измерение при различных условиях.

В результате исследований обнаружено, что вид подготовки поверхности оказывает существенное влияние на погрешность твердости (см. рис.1). Коэффициент вариации результатов измерений при первых двух условиях (без шлифовки поверхности) составил 18,4% и 26,3% соответственно. Такой разброс результатов измерения является недопустимым для выполнения исследований, так как свидетельствует о низкой точности и высокой погрешности. Таким образом, шлифовка поверхности перед выполнением измерений является обязательным условием для применения портативных твердомеров.

Выявлено, что зернистость шлифо-

вальных кругов (от Z-40 до Z-120) практически не оказывает влияния на разброс значений. Коэффициент вариации при обработке шлифованием составляет 3,4 - 5,0%. По данным профилометрического анализа, шероховатость обработанной поверхности характеризуется показателем $Ra = 0,36 - 1,84$ мкм при разной зернистости кругов. Указанная величина шероховатости является допустимой для применения как динамического, так и ультразвукового методов (по паспортным данным приборов).

На втором этапе исследована погрешность измерений при различном расположении измеряемого участка по сечению элемента и применении различных методов исследования.

В ходе испытания динамическим методом выявлено, что результат измерений в упругой зоне профиля (край полки, середина стенки) в три-четыре раза ниже, чем в неупругой (зоны со-

пряжения стенки с полкой), и не соответствует фактической твердости стали. В итоге испытаний ультразвуковым методом определено, что результаты измерения твердости изменяются по всему сечению профиля не существенно. В качестве примера на рис.2 приведены результаты исследований на швеллере №22П.

Разброс значений, полученных динамическим методом, вызван упругостью зоны измерений. В паспортах различных приборов приводятся различные минимально возможные толщины измеряемых элементов. У приборов динамического метода пороговое значение толщины составляет 7-12 мм. Для приборов, реализующих ультразвуковой метод, минимальная толщина составляет 1 мм.

Для снижения погрешности измерения динамическим методом необходимо выполнять измерения в зоне, где упругость сечения элемента не оказывает существенного влияния, – в зоне стыка полки и стенки. Другим возможным способом снижения влияния на результат измерений данного фактора является притирка с помощью густой смазки к обратной стороне измеряемого участка массивного стального бруска. Такой способ рекомендуется производителями твердомеров, однако в полевых условиях его выполнение часто бывает затруднительным, а для элементов замкнутого сечения это вообще невозможно.

Кроме того, обнаружено, что применение ультразвукового метода измерения не сопровождается высоким значением погрешности, вызванной различным расположением участка измерения.

Третьим этапом исследована погрешность измерения, вызванная остаточными напряжениями в околошовной зоне сварного шва. Данный фактор особенно актуален при измерениях на профилях сварного сечения, где зона стыка стенки с полками является, с одной стороны, наиболее желательной для измерений, а с другой, может при-

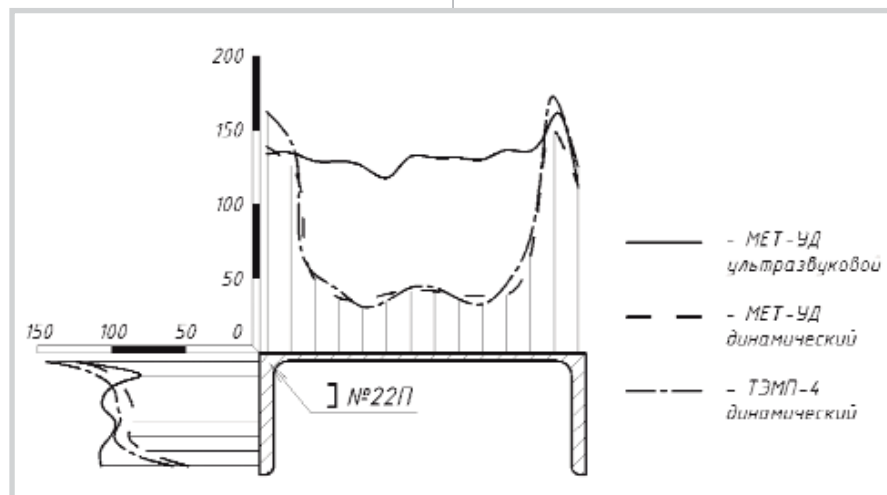


Рис. 2 Распределение результатов измерения твердости по сечению швеллера различными методами и приборами, МПа.

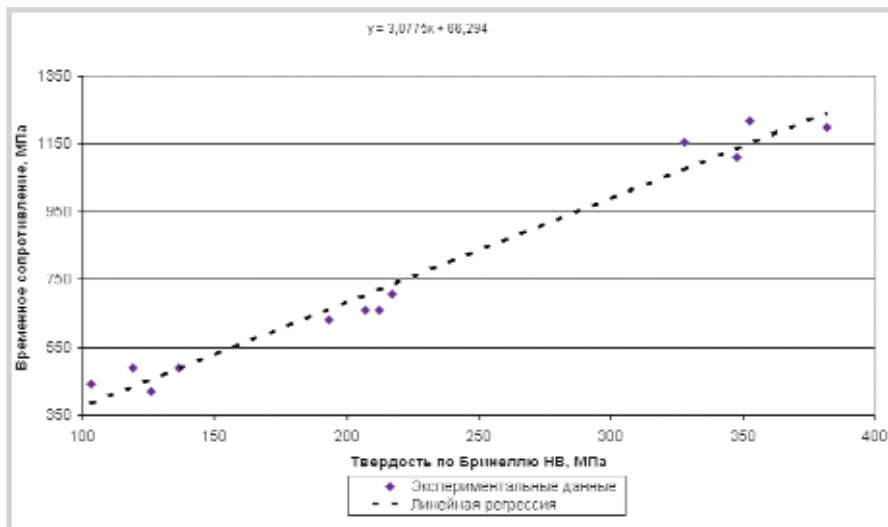


Рис. 3 Результаты исследования зависимости «твердость-прочность» для стальной арматуры

внести погрешность за счет наличия сварного шва. По результатам экспериментов выявлено, что при приближении к сварному шву значения твердости заметно увеличиваются. Сделан вывод о том, что для исключения влияния на результат измерения околошовной зоны участок измерения необходимо располагать вне зоны влияния сварного шва, на удалении, равном трем ширинам (катетам) шва. Однако, данные исследования требуют продолжения и более подробной проработки при разных толщинах образцов и параметрах сварного шва.

Помимо исследований, выполненных на образцах прокатных стальных профилей, проведен эксперимент по выявлению зависимости «твердость-прочность» для арматурной стали, в результате которого получены наиболее результативные данные. Измерения твердости выполнялись на торцевой поверхности образцов арматуры длиной 0,4 м. Исследования проведены для арматуры классов А-I, А-III (А-400), А-V и Ат-800, при диаметре стержней от 12 до 22 мм. Применялся ультразвуковой метод контроля (МЕТ-УД). Поперечный

срез арматуры изготавливался на токарном станке с последующей шлифовкой. На каждом стержне производилось по 10 единичных измерений с последующим осреднением значения твердости.

Прочность арматурных стержней определялась по сертификатам заводов-изготовителей. Результаты экспериментальных исследований, а также линейная регрессионная зависимость представлены на рис.3.

По результатам исследований получено уравнение регрессии вида:

$$\sigma_b = 3,1 \cdot HB + 66,3 \quad (3)$$

что по коэффициенту регрессии близко к аналогичному значению в зависимости (2). 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 выполненных исследований сформулированы следующие выводы:

1. Выполнение обработки поверхности образца шлифовкой является обязательным условием для проведения измерений. При этом зернистость шлифовальных кругов в определенном диапазоне не оказывает существенного влияния на погрешность измерений.
2. Для снижения погрешности участок измерения необходимо располагать в наиболее жесткой части сечения профилей - в зоне стыка полки и стенки. Исключение составляют профили сварного сечения, при измерениях на которых в указанной зоне появляется погрешность, вызванная наличием околошовной зоны. Влияние фактора упругости сечения при использовании ультразвукового метода практически отсутствует.
3. Определена первичная зависимость «прочность-твердость» для арматуры различных классов. Полученная зависимость (рис.3) требует доработки с точки зрения увеличения выборки эксперимента, однако свидетельствует о возможности оценки прочности и класса арматуры по измерению твердости. Применение результатов исследований на практике позволит существенно снизить объем отбираемой пробы из арматуры конструкций и избежать использования дорогостоящего лабораторного оборудования (разрывной машины).

**А. В. Улыбин, к. т. н., доцент,
П. А. Рогозин, ассистент,
Г. А. Кукушкина, инженер
(ФБГОУ СПбГПУ)**

Список литературы:

1. Улыбин А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 10-15
2. ГОСТ 1497-84*. Металлы. Методы испытания на растяжение. - Введ 01.01.86. - 50 с.
3. ГОСТ 22761-77. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия. Введ. 1979.01.01. Издательство стандартов, 1989. - 10 с.
4. СТО 22-04-02. Руководство по отбору микропроб, проб и определению механических свойств сталей в металлических конструкциях неразрушающим методом. Введ. 2002.10.23.- М., 2003.- 11с.
5. Морозов А.С., Ремнев В.В., Тонких Г.П. Организация и проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений. - Москва, 2001. - 212с.
6. Дрозд М.С. Определение механических свойств металла без разрушения. - М.: Металлургия, 1965. - 171 с.
7. Хомич В.М. Экспериментальное исследование взаимосвязи предела текучести и некоторых чисел твердости строительных сталей. Новосибирск.: Известия вузов. Строительство №11, 1999 С.133-137

