

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ «ПРОЧНОСТЬ – ТВЕРДОСТЬ» ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНЫХ ТВЕРДОМЕРОВ

В настоящее время стальные конструкции широко применяются в качестве несущих элементов различных по назначению зданий и сооружений. Для поддержания нормального технического состояния имеется необходимость в контроле работы конструкций в течение всего срока эксплуатации. Особо важную роль данные о состоянии металла конструкций играют при реконструкции сооружений: они позволяют как сократить расход металла на усиление конструкции, так и правильно рассчитать нагрузки, которые обследуемая конструкция может воспринимать. Одним из основных параметров стальных конструкций, определяющих их работоспособность, является прочность материала.

прочности испытываемого элемента. Например, в результате одного из проведенных авторами исследований на двутавре из стали СтЗсп были получены значения твердости и прочности, представленные в табл. 1.

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

Известны исследования различных ученых, например, Дрозд М.С. «Определение механических свойств металла без разрушения», Хомич В.М. «Экспериментальное исследование взаимосвязи предела текучести и некоторых чисел твердости строительных сталей» и другие, 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 полевых условиях (на строительной площадке или в эксплуатируемом здании) (рис. 1). Нет рекомендаций по учету влияния на результат измерения факторов, возникающих при проведении измерений. К данным факторам в первом приближении относятся:

Традиционным методом определения прочности металла в конструкциях является отбор проб и их последующее испытание на растяжение по ГОСТ 1497-84* (Металлы. Методы испытания на растяжение). Данный способ отличается тем, 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 (Метод измерения твердости по Бригеллю переносными твердомерами статического действия). Однако в разных источниках приводятся различные аналитические зависимости. Напри-

мер, в СТО 22-04-02 (Руководство по отбору микропроб, проб и определению механических свойств сталей в металлических конструкциях неразрушающим методом) приведена формула:

$$\sigma_B = 112 + 2,4 \cdot HB \quad (1)$$

При этом зависимость рассматриваемых параметров, указанная в справочнике Морозова А.С., Ремнева В.В., Тонких Г.П. «Организация и проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений», имеет вид:

$$\sigma_B = 9,81 \cdot K \cdot HB \quad (2)$$

где $K = 0,34$ при $HB < 175$ и $K = 0,36$ при $HB > 175$.

Значения прочности, полученные по этим зависимостям, имеют существенные отличия и в ряде случаев значительно отличаются от истинной

Твердость	Прочность				
	полученная пересчетом по эмпирическим зависимостям и таблицам			по данным сертификата	по данным испытания на разрыв по ГОСТ 1497-84
	по ГОСТ 22761-77	по СТО 22-0402	по справочнику*		
141,1	493	451	471	480	512,5

Табл. 1

* Морозов А.С., Ремнев В.В., Тонких Г.П. Организация и проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.



Рис. 1. Применение портативного твердомера на строительных конструкциях в полевых условиях

- расположение участка измерения;
- толщина испытываемого элемента;
- качество обработки испытываемой поверхности;
- напряженно-деформированное состояние элемента;
- наличие и величина остаточных напряжений;
- марка стали.

Имеется большой спектр приборов неразрушающего контроля твердости, позволяющих выполнять измерения в полевых условиях. К таким приборам, в частности, относятся: ТЕМП-4, ТКМ-459, МЕТ-УД, Equotip и другие. Основные методы, применяемые в них – это ультразвуковой и динамический. В динамическом методе определяется косвенная характеристика – отношение скорости при ударе и отскоке индентора. 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.

Цель настоящей работы – изучение влияния различных технологических факторов на погрешность измерения и достоверность определения прочности стали по измерению твердости.

Для достижения поставленной цели произведены лабораторные экспериментальные исследования на образцах из прокатных профилей различного поперечного сечения (двутавр, швеллер, уголок), выполненных из различных марок стали.

Для определения твердости металла в ходе исследований использованы приборы ТЭМП-4 (динамический метод) и МЕТ-УД (динамический и ультразвуковой методы).

На первом этапе исследовалось влияние на результаты измерений вида обработки поверхности исследуемого объекта. 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:

- зачистка от окрасочного слоя;
- зачистка от слоя окалины;
- 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. 2 представлены графики результатов измерений твердости динамическим методом при различных видах обработки. Наглядно представлен разброс значений, характеризующий измерения при различных условиях.

В результате исследований показано, что вид подготовки поверхности оказывает существенное влияние на погрешность измерений твердости (рис. 2). Коэффициент вариации результатов измерений в первых двух испытаниях составил 18,4% и 26,3% соответственно. Выявленный разброс данных недопустим для выполнения исследований. Шлифовка поверхности перед выполнением измерений является обязательным условием для применения портативных твердомеров.

Выявлено, что зернистость шлифовальных кругов (от Z-40 до Z-120) практически не оказывает влияния на дисперсию значений. Коэффициент вариации при обработке шлифованием составляет 3,4...5,0%. При этом шероховатость обработанной поверхности, по данным профилометрического анализа, составила 0,36...1,84 мкм, что является допустимым для применения как динамического, так и ультразвукового методов.

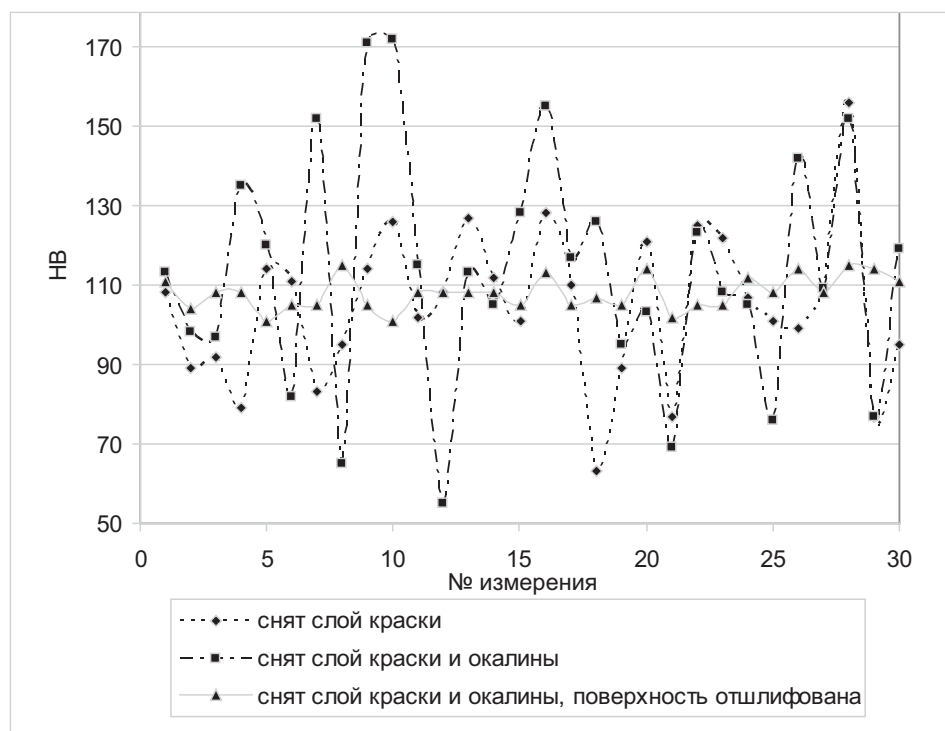


Рис. 2. График распределения значений твердости при различной обработке поверхности

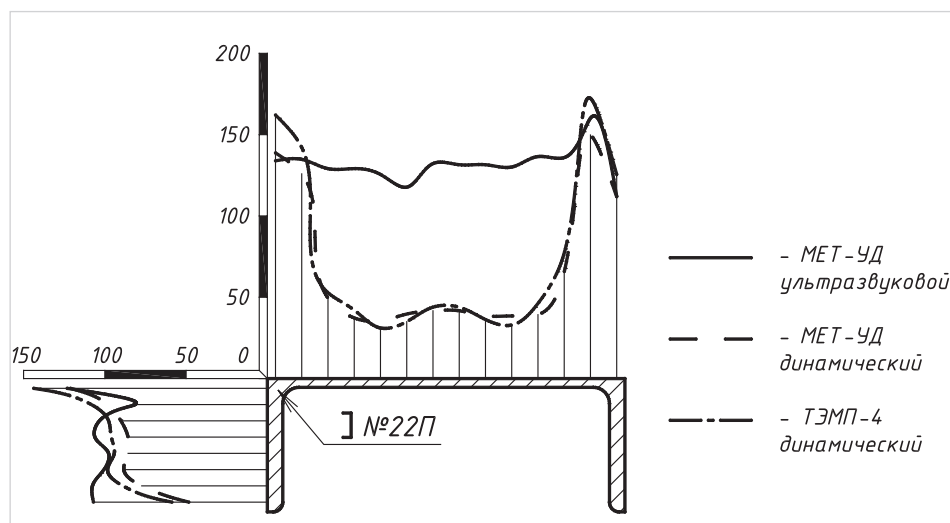


Рис. 3. Распределение результатов измерения твердости по сечению швеллера различными методами и приборами, МПа

На втором этапе исследована погрешность измерений при различном расположении измеряемого участка по сечению элемента и применении различных методов исследования (рис. 3).

В результате испытания динамическим методом было выявлено, что результат измерений в упругой зоне профиля (край полки, середина стенки) в три-четыре раза ниже, чем в неупругой (зоны сопряжения стенки с полкой). В стенке значения выше вблизи полки, однако в остальной части они примерно постоянны. В результате испытаний ультразвуковым методом выявлено, что значения твердости изменяются по всему сечению профиля незначительно.

Разброс значений, полученных динамическим методом, вызван упругостью зоны измерений. Для снижения погрешности необходимо выполнять измерения в зоне, где упругость сечения элемента не оказывает заметного 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 оно невозможно. Кроме того, показано, 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. Для этого исследования на двутавровом образце был смоделирован валик сварного шва шириной 2 см. Испытания проводились на расстоянии 0,5 см от края шва и далее с шагом в 1 см.

Как показано на рис. 4, при приближении к сварному шву значения измеренной твердости заметно увеличиваются. Таким образом, можно сделать вывод, что участок измерения твердости необходимо располагать вне зоны влияния сварного шва, на удалении примерно в три ширины шва. Однако данные исследования требуют продолжения и более подробной проработки при разных толщинах образцов и параметрах сварного шва.

По результатам выполненных исследований сформулированы следующие выводы:

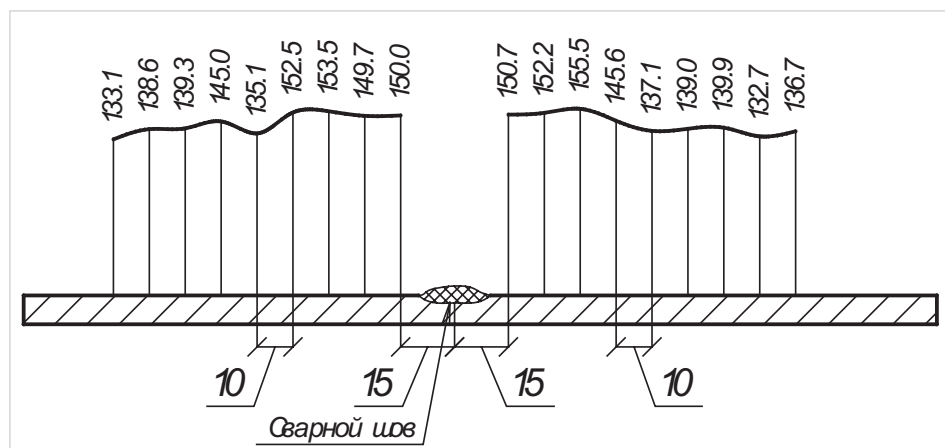


Рис. 4. Распределение результатов измерения твердости вблизи сварного шва, МПа

- 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.

- Меньшей погрешностью характеризуются измерения, выполняемые в наиболее жесткой части сечения профилей – в зоне стыка полки и стенки. Влияние данного фактора при использовании ультразвукового метода практически отсутствует.

- Значение прочности стали наиболее близкое к истинной величине (по результатам испытаний) получено по пересчету твердости по таблице ГОСТ 22761-77.

- Близость участка измерения к сварному шву оказывает значительное влияние на погрешность измерений. Повышенная твердость в зоне сварного шва сохраняется в зоне приблизительно равной трем ширинам шва.

- В последующих этапах исследования планируется изучить влияние толщины элементов, температуры и марки стали на получаемые значения твердости. Конечной целью работы является разработка набора коэффициентов и рекомендаций по определению прочности эксплуатируемых строительных конструкций с помощью портативных твердомеров.

А.В. УЛЫБИН,
начальник отдела

«Обследование зданий и сооружений»
ПНИПКУ «Венчур», канд. техн. наук

П.А. РОГОЗИН,
инженер