

**А.В.УЛЫБИН** канд. тех. наук, доцент  
**С.Д.ФЕДОТОВ** инженер  
(Санкт-Петербургский государственный  
политехнический университет)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ АРМАТУРЫ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

При обследовании железобетонных элементов наиболее трудной задачей является определение параметров стальной арматуры. Среди них самым сложным в определении и важным для результатов расчета является определение прочности арматурной стали и класса арматуры.

В работе [1] подробно изложены возможные методы определения класса арматуры, указаны их основные недостатки и преимущества. Перспективным представляется использование методов неразрушающего контроля и оценка прочности арматуры по измерению твердости стали. Остановимся более подробно на особенностях данного подхода и ограничениях по его применению.

Применение метода основано на известной зависимости, параметров прочности стали (временное сопротивление  $\sigma_B$ , предел текучести  $\sigma_T$ ) с твердостью по шкале Бринелля, например:

$$\sigma_B = 0,34HB, \text{ (кг/мм}^2\text{)}. \quad (1)$$

Твердость по шкале Бринелля можно определить как испытанием на прессе Бринелля по требованиям ГОСТ, так и измерением твердости по другим шкалам (Роквелла, Виккерса, Шора) и пересчетом в твердость по Бринеллю. Имеется большой выбор портативных приборов, позволяющих определять твердость стали в полевых условиях. Приборы реализуют различные методы, например: динамический – серия приборов ТЭМП (аналог измерений по Шору), ультразвуковой – приборы серии МЕТ-У (по Виккерсу), статический – Equostat (по Роквеллу) и другие.

При использовании стационарных твердомеров обеспечить точность измерений гораздо проще. Это связано как с меньшей погрешностью стационарных приборов по сравнению с портативными, так и с возможностью качественной подготовки поверхности отобранных образцов. Но последний плюс включает в себе и основной недостаток – необходимость отбора образцов, что является самым трудоемким мероприятием и не всегда возможным. Поэтому, несмотря на

увеличение погрешности, предпочтение отдается использованию портативных приборов, позволяющих избежать отбора образцов.

Однако, несмотря на наличие теоретической и приборной базы правильно выполнить измерения твердости на арматуре, заключенной в бетоне конструкций, а также произвести однозначный пересчет в прочность стали не так просто.

Имеется ряд трудностей, основными из которых являются:

- ✓ подготовка на боковой поверхности арматурного стержня (в зоне вскрытия защитного слоя бетона) участка заданной площади, ровности и шероховатости, необходимого для применения метода контроля;
- ✓ подготовка поверхности без привнесения изменений твердости поверхностного слоя обработанного участка;
- ✓ выбор зависимости для пересчета твердости в прочность из множества имеющихся или определение новой зависимости для арматурных сталей.

Для применения всех методов неразрушающего контроля твердости необходимо соблюсти определенные требования к участку измерения и его поверхности. К этим требованиям относятся:

- радиус кривизны поверхности, который для применения динамического метода должен быть более 10 мм, а для ультразвукового более 5 мм (по паспортным данным прибора МЕТ-УД);
- минимальная площадка измерения для установки датчика должна быть диаметром более 7-10 мм (в зависимости от метода измерения);
- шероховатость измеряемой поверхности, которая при использовании большинства методов измерения твердости, как портативными, так и стационарными приборами, должна быть менее 2,5 мкм ( $R_a$ ).

Обеспечить выполнение описанных условий можно с помощью обработки абразивными дисками, установленными на угловую шлифовальную машинку (УШМ). После среза части сечения арматуры и создания площадки необходимых размеров и ровности производится дообработка поверхности с помощью наждачной бумаги и соответствующих насадок на УШМ.

Как видно из указанных выше параметров кривизны и площади участка выполнять измерение без среза части арматурного профиля можно только на гладкой арматуре диаметром более 10 мм. Также это

возможно на арматуре с «улучшенным» периодическим профилем (по ГОСТ 10884 и более новым стандартам) большого диаметра, в которой ребра несечки имеют шаг больше, чем у арматуры, выпускаемой по ГОСТ 5781. Однако в любом случае измеряемую поверхность необходимо очищать от окалины, что наиболее удобно производить шлифовкой.

Как показывают экспериментальные данные, для создания поверхности с параметром шероховатости Ra менее 2,5 целесообразно применение наждачной бумаги с зернистостью в диапазоне P60- P180 при механической обработке.

При использовании обработки шлифовкой механические свойства и структура поверхностного слоя стали изменяются. В основном это происходит за счет влияния двух факторов: высокой температуры и наклепа вследствие пластических деформаций металла поверхностного слоя.

При шлифовке малогабаритными устройствами типа УШМ в режиме работы с перерывами температура нагрева стали достигает 100 – 200 °С, что подтверждается тепловизионными измерениями. При работе без перерывов и периодического охлаждения поверхности температура может достигать 300 °С и более, о чем свидетельствует появление оксидной пленки с цветами побежалости. При достижении указанных температур сталь может подвергаться низкотемпературному и среднетемпературному отпуску. При этом прочность, пластичность и твердость поверхностного слоя могут изменяться.

Помимо высоких температур, в зоне реза (шлифования) металл поверхностного слоя претерпевает существенные пластические деформации, которые после обработки являются остаточными. Эти деформации приводят как к образованию остаточных напряжений в поверхностном слое элемента, так и к изменению параметров прочности и твердости за счет наклепа. Глубина измененного слоя зависит от скорости реза, силы подачи инструмента, направления шлифовки, зернистости абразива и других факторов. Известно, что толщина слоя с этими изменениями может колебаться от десятков до сотен микрон.

Таким образом, применяя портативные приборы с малой глубиной проникновения индентора (статический, ультразвуковой), результат измерения может иметь существенное отличие от истины. С другой стороны, указанные методы (например, ультразвуковой) характеризуются большей универсальностью для применения в поле-

вых условиях, так как измерения можно производить на элементах меньших размеров по площади и толщине, меньшей массы и большей кривизны.

Исходя из вышесказанного, для применения портативных твердомеров на боковой поверхности арматурных стержней необходимо исследовать влияние видов обработки на арматурную сталь и подобрать оптимальный вид и режим.

После решения проблем с подготовкой поверхности измерения и выбора метода контроля возникает немаловажный вопрос: какую зависимость применять для определения прочности стали по твердости?

В технических источниках предлагаются различные зависимости между твердостью по шкале Бринелля и временным сопротивлением стали. Вот некоторые из них.

В учебном пособии [2] указана зависимость

$$\sigma_B = 9,81 \cdot K \cdot HB, \text{ (МПа)}, \quad 2)$$

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

В СТО 22-04-02 [3] предлагается использовать зависимость

$$\sigma_B = 11,2 + 0,24HB, \text{ (кг/мм}^2\text{)}. \quad 3)$$

В издании [4] имеется зависимость

$$\sigma_B = 10,55(\sqrt{122 + HB} - 11,05), \text{ (кг/мм}^2\text{)}. \quad 4)$$

По результатам исследований, выполненных авторами при измерениях твердости ультразвуковым твердомером (5) и на прессе Бринелля (6), также получены различные зависимости:

$$\sigma_B = 3,1HB + 143, \text{ (МПа)} \quad 5)$$

и

$$\sigma_B = 3,73HB - 112, \text{ (МПа)}. \quad 6)$$

Обе указанные зависимости характеризуются значениями коэффициента корреляции близкими к единице.

Все указанные зависимости представлены на рисунке. По графикам видно, что использование той или иной зависимости для пересчета приведет к значительному различию между полученными значениями прочности. Указанные зависимости (2,3,4) получены при исследовании сталей прокатных профилей (швеллер, двутавр и др.),

применяемых для элементов стальных строительных конструкций. Эти стали характеризуются относительно узким диапазоном прочности, небольшим разнообразием марок и простыми способами термического улучшения. Всего этого нельзя сказать об арматурной стали различных классов. Не ясно, как будет влиять разнообразие марок стали, видов термо-механического упрочнения арматуры, а также напряженное состояние и другие факторы на используемую зависимость.

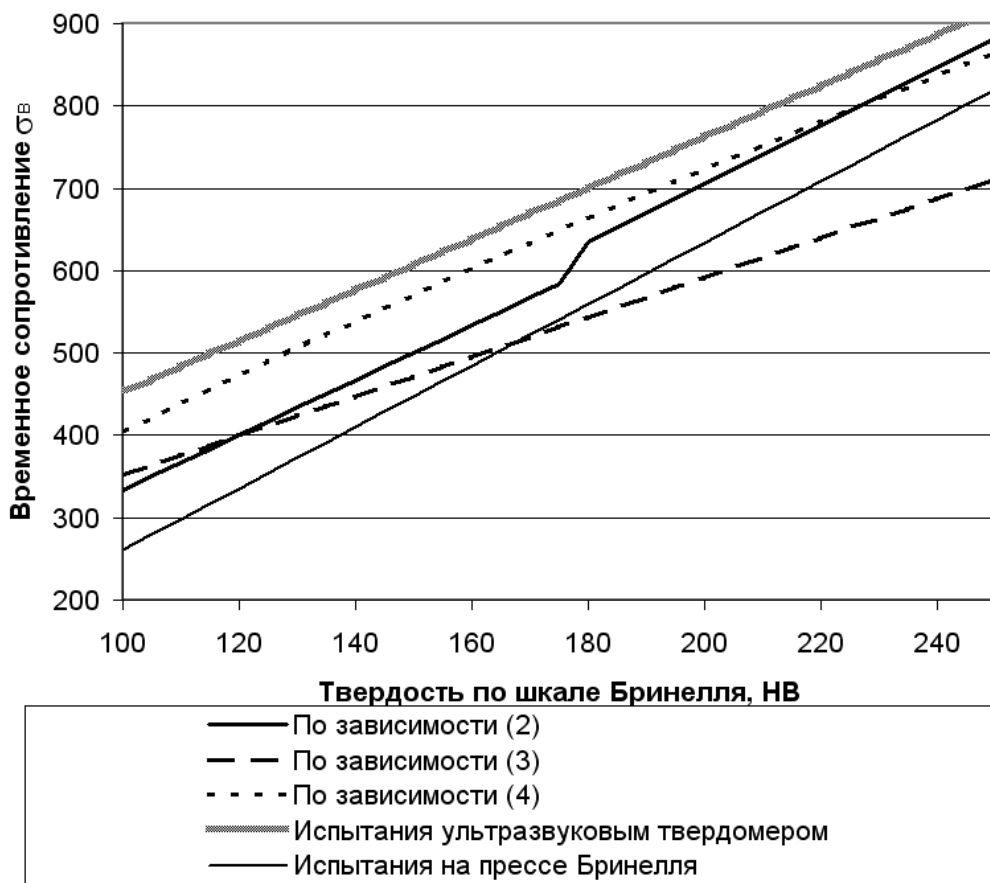


Рис. 1. Зависимости твердость - прочность

В ряде отечественных исследований экспериментально определялась взаимосвязь твердости и предела текучести сталей. При этом получены линейные регрессионные зависимости с коэффициентами регрессии отличающимися для сталей разных марок в 2 и более раз [5]. Учитывая различное соотношение пределов прочности и текучести для арматур разных классов, а также то, что у высокопрочной арматуры последний зачастую физически отсутствует, исследование взаимосвязи «предел текучести – твердость» для арматуры вряд ли целесообразно.

### **Выводы:**

1. Несмотря на наличие большого спектра приборов для измерения твердости и предварительной обработки поверхности арматуры в полевых условиях, выбор конкретного вида оборудования и определение условий его применения требуют детального исследования.

2. Рекомендуемые литературой зависимости, характеризующие связь прочность стали и ее твердость имеют существенные отличия. Получаемые по ним результаты могут различаться на величину более 20%.

3. Для корректного использования на практике метода контроля прочности арматуры по измерению твердости стали необходимо выполнить всестороннее исследование. В ходе исследования необходимо рассмотреть факторы, влияющие на результат измерений, их значимость, а также определить мероприятия по их устранению, снижению их влияния или учету в аналитических выражениях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Улыбин А. В. Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2011. №1(27). С. 4-13

2. 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.

3. СТО 22-04-02. Руководство по отбору микропроб, проб и определению механических свойств сталей в металлических конструкциях неразрушающим методом.

4. Валь В. Н., Горохов Е. В., Уваров Б. Ю. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции. М.: Стройиздат, 1987. 220с.

5. Хомич В.М., Д.Н.Логвинов Экспериментальное исследование взаимосвязи предела текучести и некоторых чисел твердости строительных сталей. Новосибирск.: Известия вузов. Строительство №11, 1999 С.133-137