



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТВЕРДОМЕТРИИ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. В. САДИЛО, В. Г. МАКАЦ, А. С. РАХМАННЫЙ

Показана возможность применения метода твердометрии для определения механических свойств металла. Получены результаты контроля по каждому основному несущему элементу грузоподъемных механизмов с учетом факта изготовления различных элементов из сталей с разными механическими свойствами.

Applicability of hardness measurement method for determination of the metal mechanical properties is demonstrated. Testing results were obtained for each main load-carrying element of hoisting mechanisms allowing for the fact of various elements being made from steels with different mechanical properties.

Возможность применения метода твердометрии для определения механических свойств металла рассмотрена рядом авторов [1, 2] и регламентирована соответствующей нормативной документацией [3–6] для ряда объектов повышенной опасности, в том числе: объектов атомной энергетики, сосудов, работающих под давлением, котлоагрегатов, трубопроводов, объектов нефтехимии. С начала 1970-х годов метод динамической твердометрии широко применяется при экспертном обследовании — для определения механических свойств металла (предела текучести и временного сопротивления на разрыв) как функции твердости по Бринеллю (HB). В силу актуальности этот вопрос часто рассматривается в литературе [7].

При экспертном обследовании грузоподъемных механизмов (ГПМ) этот метод еще не нашел широкого применения, однако целесообразность его применения обоснована необходимостью:

получения информации о механических свойствах металла σ_T , σ_B основных несущих металлоконструкций при определении возможности дальнейшей эксплуатации, реконструкции, модернизации эксплуатируемых ГПМ; входном контроле импортируемых ГПМ, механические свойства металла которых неизвестны или нуждаются в уточнении;

определения прочности и пригодности к дальнейшей эксплуатации ходовых колес кранов мостового и башенного типа, для которых нормативные значения изложены в работе [8] ($HB = 320 \dots 390$ МПа) или согласно работе [12] могут быть рассчитаны по формуле:

$$[\sigma_0] = 3,92 HB e^{-HB/800}, \quad (1)$$

где $[\sigma_0]$ — допустимое значение эффективных напряжений; e — основание натурального логарифма;

оценки прочности элементов (рельсов) наземных (наземных) подкрановых путей, необходимая

твердость поверхности которых регламентирована нормативными документами [2, 9], может быть рассчитана по формуле:

$$HB_p \geq HB_k \sqrt[9]{\frac{\pi D z}{L}}, \quad (1a)$$

где HB_p , HB_k , МПа — поверхностная твердость рельса и колеса соответственно; D — диаметр колеса; z — количество ходовых колес на концевой балке; L — длина рабочего участка, м.

При проведении экспертного обследования определить твердость HB поверхности катания практически легче, чем измерить нормированные [10] геометрические браковочные показатели, для определения которых необходимо провести демонтаж колес.

Существующие технологии определения σ_T [$\sigma_{0,2}$] и σ_B , рекомендованные и нормированные [10, 11], имеют определенные недостатки.

1. Метод вырезания проб.

1.1. Необходимость проведения вырезки большого количества заготовок, необходимых для изготовления образцов, при этом их количество возрастает с учетом разных напряжений по сечениям; разные марки сталей, использованные для изготовления металлопроката; отсутствие фактических сведений о действительном (не минимально гарантированном) значении σ_T [$\sigma_{0,2}$], которое является основной расчетной величиной. Ориентировочно количество образцов, согласно требованиям [10] по разным типам ГПМ, приведено в табл. 1.

Меньшее количество образцов ведет к получению неполной информации о состоянии металла основных несущих металлоконструкций ГПМ в целом и увеличению возможной погрешности при проведении проверочных расчетов.

1.2. Изменение свойств металла в процессе его резки, механической обработки при изготовлении образцов с целью приведения их в соответствие с требованиями ГОСТ 1497;



Т а б л и ц а 1. Ориентировочное количество образцов, необходимых для получения достоверных сведений о механических свойствах металла несущих металлоконструкций ГПМ

| Тип крана | Место вырезки согласно работе [10] | Общее количество проб |
|--|--|-----------------------|
| Мостовой однобалочный | Главная балка — 2 (по центру и место постоянного подъема–опускания груза) Вертикальная ферма (при наличии) — 3 Концевая балка — 2 | 7 |
| Мостовой двухбалочный с главными балками коробчатого сечения | Главная балка — 4 (по центру и место постоянного подъема–опускания груза) Концевая балка — 2 (по центру, полка, стенка) Тележка грузовая — 1 | 7 |
| Мостовой двухбалочный ферменной конструкции | Главная балка — 4 (раскосы, пояс) Концевая балка — 2 Тележка грузовая — 1 | 7 |
| Козловой | Главная балка (ригель) — 5...7 в зависимости от типа Стойки — 4 | 11 |

1.3. Возможность ошибки работника (человеческий фактор), проводящего вырезку металла, изготовление образцов, испытание, а также погрешность разрывной машины, невозможность точного определения площадки текучести.

Суммарная погрешность γ при определении σ_T [$\sigma_{0,2}$] этим методом математически не оценивалась в полном объеме, но по оценке работы [12] она достигает 10...12 % (данное значение — ориентировочное, так как невозможно точно определить погрешность, обусловленную п. 1.2. и 1.3.)

2. *Метод магнитного контроля* (коэрцитометрия) согласно работе [13] позволяет определять остаточный ресурс металла основных несущих металлоконструкций.

Метод не может быть использован для проведения проверочных расчетов, так как не определяет значения σ_T [$\sigma_{0,2}$], необходимые для определения возможности изменения грузоподъемности и других основных параметров, а значение зоны эксплуатации (состояния металла) определялось, исходя из гарантированного значения σ_T [$\sigma_{0,2}$] согласно нормативной документации (например, для стали Ст3 $\sigma_T = 2300 \text{ кг/см}^2$ (230 МПа), хотя по графику (рис. 1) приведенное согласно работе [9] значение σ_T ($\sigma_{0,2}$) достигает 3300 кг/см^2 (330 МПа).

По экспериментальным данным, полученным авторами при механических испытаниях образ-

цов, вырезанных из 70 ГПМ мостового типа, эксплуатирующихся 20 лет и более, среднее значение составляет 454,0 МПа.

Преимуществами метода твердометрии являются:

возможность получения результата по каждому основному несущему элементу ГПМ; при этом имеется возможность учитывать факт изготовления различных элементов из сталей с разными (отличными на величину до 20 %) механическими свойствами;

возможность учета погрешности прибора при обработке результатов измерения нормативными методами.

Преимуществом этого метода является невозможность его использования при отклонении результата $S/HB > 0,1$, где S — среднее квадратичное отклонение следствий испытаний; HB — среднее арифметическое значение твердости (по Бринеллю).

Согласно работе [6], возможное минимальное среднее значение измеренной твердости будет

$$HB_0 = HB_{cp} - k_c \Delta_{cp} \tag{2}$$

где k_c — коэффициент, который определяется с помощью распределения Стюдента; Δ_{cp} — среднее квадратичное отклонение величины HB_{cp}

$$HB_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n HB_i \tag{3}$$

где HB_{cp} — среднее значение твердости элемента несущей металлоконструкции (главная балка, концевая балка, элементы фермы–стойка, раскос, пояс).

3. *Практическая легкость подготовки поверхности перед проведением испытаний.* Нужно качество поверхности ($R_a 2,5[R_z 20]$) легко достигается с помощью шлифовальной машинки с обычным кругом. При проведении работ авторами были проанализированы возможные причины по-

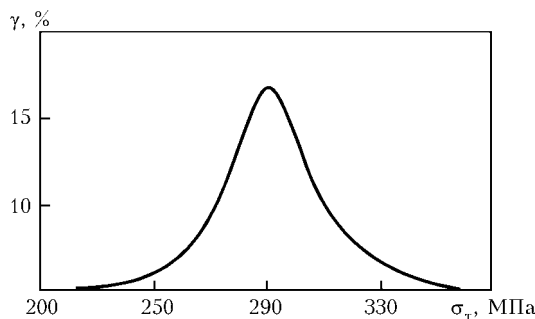


Рис. 1. Распределение значений σ_T ($\sigma_{0,2}$) для стали Ст.3 по результатам экспериментальных испытаний



Таблица 2. Анализ возможных причин возникновения погрешностей при проведении твердомерии

| Источник погрешности | Проявление погрешности | Причина | Примечание |
|----------------------|---------------------------------------|--|--|
| Испытанный объект | Повышенный разброс значений твердости | Крупное зерно* | — |
| | | Неплотное прилегание к опоре | — |
| | | Степень и направление клеветы | Устраняется шлифовальной машинкой |
| | | Значительная шершавость поверхности | |
| | | Наличие окалины | |
| Прибор | Повышенный разброс значений твердости | Низкое качество индентора | Качество индентора, гарантированное изготовителем на определенное количество испытаний |
| | | Отклонение действующей силы от нормали до контролируемой поверхности | Маловероятно в связи с прямолинейностью поверхности проката (кроме трубы) |
| Наблюдатель | Перекручивание результатов измерений | Настройка прибора | В связи с простотой настройки прибора — маловероятно |
| | | Вибрация прибора | Маловероятно |
| | Ошибка при отсчете на приборе | Недостаточная подготовка наблюдателя | Маловероятно в связи с простотой настройки прибора |

* Погрешность при измерении твердости по Бринеллю и Роквеллу для крупного зерна — M , в остальных случаях — не определено.

явления погрешностей согласно табл. 2.12 [14, 15]. Анализ представлен в табл. 2.

Таким образом, вероятность появления основных причин погрешности довольно мала, единственно возможным ее источником может быть непосредственно прибор. Но последние его модификации (например, ТДМ-1(2) производства НПФ «Ультраконсервис») значительно усовершенствованы и обеспечивают разброс значений твердости HB 1...2 %, т. е. допустимый при практическом использовании.

С целью определения практической возможности применения метода твердомерии авторами проведены:

1. Сравнительные испытания результатов, полученных на стационарном твердомере ТШ-2М и приборах ТДМ-2 производства НПФ «Ультраконсервис».

Расхождение между результатами, полученными на стационарном твердомере ТШ-2М и с помощью ТДМ-2, составило, %:

- низкоуглеродистая сталь Ст.3 (всех модификаций — сп, псп, кп) — 8;
- низколегированная сталь 09Г2С — 5.

2. Сравнительные испытания для определения $\sigma_{0,2}[\sigma_T]$ методом твердомерии по схеме:

проведение поэлементной твердомерии приборами ТДМ-2 по схеме рис. 2, а;

определение среднего значения HB по каждому элементу несущей металлоконструкции;

определение $\sigma_{0,2}$ по формулам:

$$\sigma_{0,2} = 0,37HB - 240 \text{ при } HB > 1500 \text{ МПа,} \quad (4)$$

$$\sigma_{0,2} = 0,2HB \text{ при } HB < 1500 \text{ МПа,} \quad (5)$$

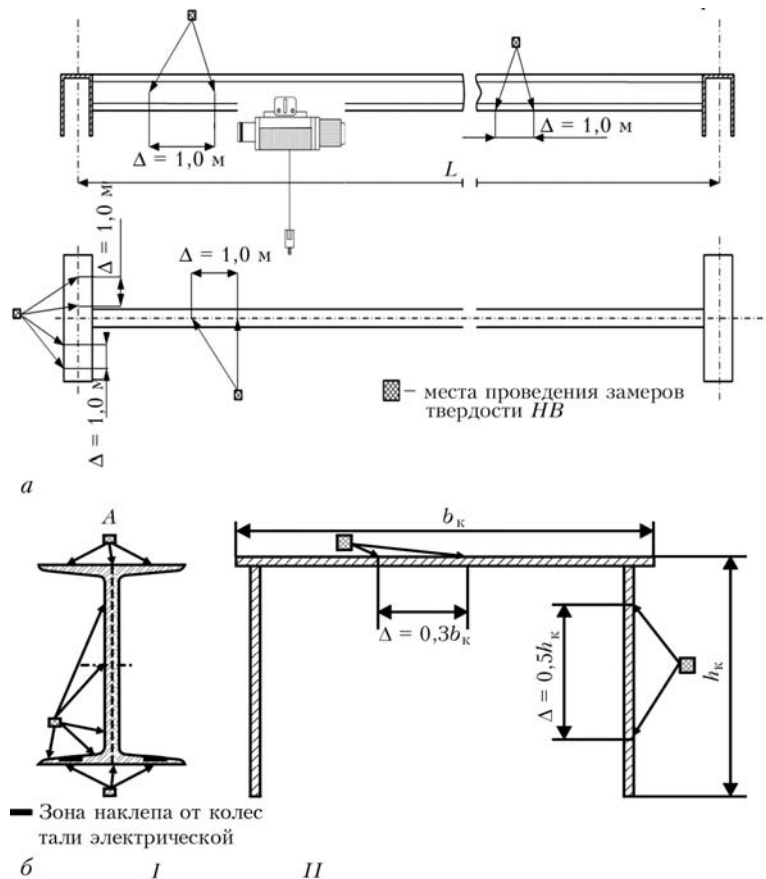


Рис. 2. Схема измерения твердости на мостовом однобалочном кране (а) и по перерезам мостового однобалочного крана (б): I — главная балка (в зоне наклепа измерения не проводились); II — концевая (опорное сечение)

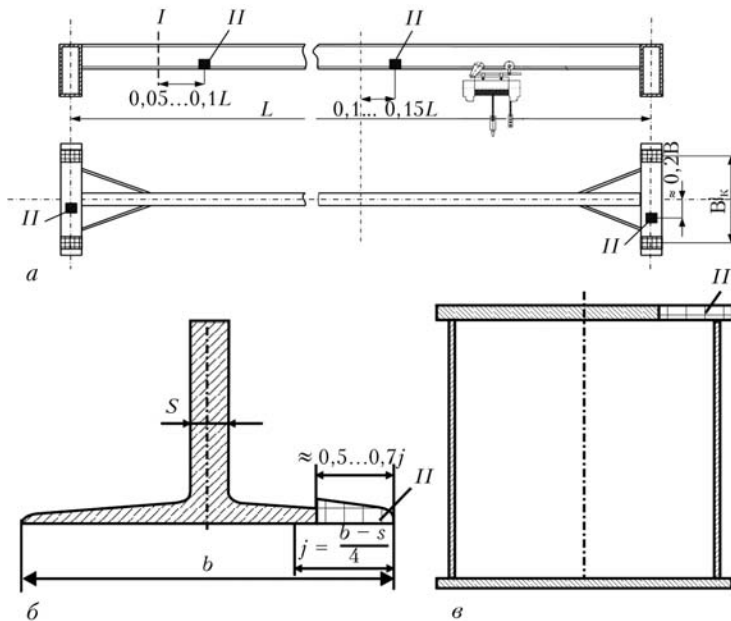


Рис. 3. Место фиксированного подъема–опускания груза (I) и места отбора проб (II) на мостовом кране (а), из главной балки (монорельса) (б) и концевой (в)

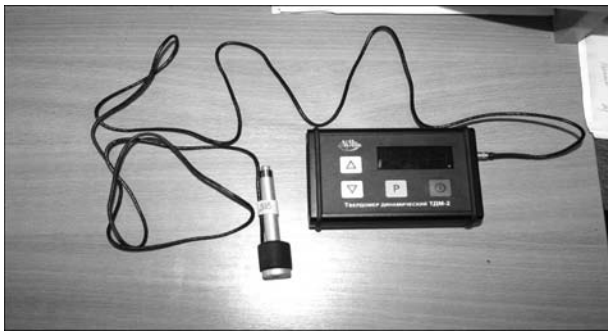


Рис. 4. Прибор ТДМ-2

либо по имеющимся справочным таблицам (например, табл. 13 [17], ГОСТ 22761) с последующим переводом σ_B в $\sigma_{T(0,2)}$;

– определение $\sigma_{0,2}$ классическим способом (вырезка проб), которое было проведено по 70 объектам-кранам мостового типа. Вырезка осуществлена по схемам, приведенным на рис. 2, 3.

При сравнительном анализе результатов испытания образцов на разрывной машине УГ-20 и результатов твердометрии по каждому элементу (главная и концевые балки по каждому ГПМ отдельно) среднее отклонение составило 7,3 % или $\Delta\sigma_{0,2\text{ ср}} = 14$ МПа.

На взгляд авторов, это расхождение является удовлетворительным и результаты твердометрии могут быть использованы в реальной инженерной практике.

Сейчас авторами готовится и проводится повторный эксперимент с использованием усовершенствованного прибора ТДМ-2 2008 г. выпуска (рис. 4), который включает:

– сравнительные испытания с определением $\sigma_{0,2}$ как функции твердости *НВ* на основных эле-

ментах, применяемых в конструкциях ГПМ металлопроката (двутавр, швеллер, уголок, труба) указанным выше прибором и стационарным твердомером ТШ-2М;

– повторную твердометрию металлоконструкций кранов, по которым проведено определение $\sigma_{0,2}$ классическим способом со сравнительным анализом значений $\sigma_{0,2}$, полученных ранее на разрывной машине УГ-20 и описанным зависимостями (4), (5).

Выводы

1. Суммарная погрешность при определении $\sigma_{0,2}$ методом динамической твердометрии не превышает 10 % результатов, полученных классическим методом согласно требованиям ГОСТ 1497, что делает возможным применение значений, полученных этим методом, в инженерных расчетах при определении возможностей

дальнейшей эксплуатации, а также модернизации и реконструкции ГПМ (с изменением основных параметров). При вычислении $\sigma_{0,2}$ как функции *НВ* получены меньшие значения, чем классическим способом, и таким образом, определение прочности, полученное с применением динамических твердомеров, идет «в запас».

2. Для окончательного определения возможностей метода твердометрии при определении значения $\sigma_{0,2}$ необходимо проведение дополнительных испытаний:

– по каждому из основных типов проката отдельно (швеллер, двутавр, уголок, замкнутое трубчатое сечение, листовой прокат);

– на ферменных конструкциях отдельно для растянутых (сжатых) стрелней;

– прочности ходовых колес, элементов (рельсов) подкрановых путей, в том числе при предельных отклонениях их геометрических параметров для определения возможности дальнейшей эксплуатации.

3. Возможности последней версии прибора ТДМ-2 производства ООО «Промприлад» при некоторой его доработке позволяют получить достаточно точный результат, который может быть применен для проведения расчетов при модернизации (реконструкции) ГПМ, а также при проведении расчетно-аналитической процедуры с целью определения возможности их дальнейшей безопасной эксплуатации; входном контроле металлоконструкций импортируемых ГПМ.

4. Наличие отработанного в производстве и эксплуатации парка приборов, низкая трудоемкость, возможность применения методов математической статистики для обработки результатов делает этот метод возможным для легитимизации и применения при:



– проведении расчетов, выполняемых для определения возможности реконструкции (модернизации), в том числе с изменением основных параметров;

– определении возможности дальнейшей безопасной эксплуатации, в том числе в случаях уменьшения толщины прокатных элементов вследствие равномерной коррозии — в соответствии с требованиями [10] и других методических документов;

– определение возможности дальнейшей безопасной эксплуатации колес кранов, элементов (рельсов) подкрановых путей;

– входном контроле импортруемых ГПМ;

– входном контроле металлопроката на предприятиях краностроения и организациях, которые выполняют работы по ремонту и реконструкции ГПМ.

При этом необходима разработка и согласование с надзорными инстанциями соответствующей нормативной документации.

5. Применение твердометрии в комплексе с другими современными методами неразрушающего контроля (в том числе коэрцитометрией [13]) позволяет получить полнообъемную информацию о состоянии металла основных несущих металлоконструкций.

1. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: ИНД-ПРОМ, 1998. — 620 с.
2. ДСТУ 2484–94. Рельсы крановые. Технические требования.
3. Инструкция по экспертному обследованию (техническому диагностированию). Котлы паро- и водогрейные про-

мышленных предприятий / Мин-во пром. политики Украины. — Утв. Приказом № 87 от 09.03.2006 г. — Харьков, 2006.

4. Инструкция по экспертному обследованию (техническому диагностированию). Трубопроводы пары и горячей воды промышленных предприятий / Мин-во пром. политики Украины. — Утв. Приказом № 87 с 09.03.2006 г. — Харьков, 2006.
5. Инструкция по экспертному обследованию (техническому диагностированию). Сосуды, которые работают под давлением на промышленных предприятиях / Мин-во пром. политики Украины. — Утв. Приказом № 87 с 09.03.2006 г. — Харьков, 2006.
6. ДСТУ 4046–2001. Оборудование технологическое нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Техническое диагностирование. Общие технические требования.
7. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. — Киев: Наук. думка, 1988. — 700 с.
8. ГОСТ 28648–90. Колеса крановые. Технические условия.
9. Гайдамака В. Ф. Грузоподъемные машины. — Киев: Вища шк., 1989. — 320 с.
10. ОМД 001.20253.01–2005. Методика проведения экспертного обследования кранов мостового типа.
11. НПАОП 0.00-1.01–07. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.
12. Ярошевич В. Д., Рывкина Д. Г. Влияние способа получения проб для механических испытаний на их результаты // Физика металлов и металловедение. — 1958. — № 2.
13. МВ 0.00-7.01–05. Методические указания для проведения магнитного контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемных сооружений.
14. Должанский П. Р. Контроль надежности металла объектов котлонадзора. Справ. пособие. — М.: Недра, 1985. — 380 с.
15. Неразрушающие методы контроля механических свойств металла энергооборудования в процессе длительной эксплуатации по твердости с использованием современных переносных твердомеров / Э. Я. Векслер, И. В. Замекула, В. Ю. Толстов, Э. В. Семешко // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 1. — С. 39–42.

Дорожний експертно-техн. центр ЮЖД, Харьков
НТУ «ХПИ»

Поступила в редакцию
02.10.2008

15-а Міжнародна науково-технічна конференція ЛЕОТЕСТ-2010

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТА АКУСТИЧНІ МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ

15–20 лютого 2010 р.

с. Славське

Тематика конференції:

- теорія і практика методів неруйнівного контролю матеріалів та виробів;
- діагностичні аспекти застосування методів неруйнівного контролю відповідальних конструкцій в експлуатації;
- електромагнітні та акустичні первинні перетворювачі та методи обробки сигналів, питання метрологічного забезпечення методів НК;
- автоматичні системи та прилади контролю якості виробів;
- науково-організаційні та економічні проблеми, питання акредитації лабораторій, сертифікації продукції, підготовки та атестації персоналу з методів НК.

Тел.: (032) 275-08-69, моб.: 067-9998834 (Учанін Валентин Миколайович).
E-mail: uchanin@ipm.lviv.ua або leotest@org.lviv.net.