

5. ГОСТ Р МЭК 61511-3-2011. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности; введ. 18.10.2011. — М.: Стандартинформ, 2012. — 46 с.

hanin@safety.ru

Материал поступил в редакцию 15 октября 2015 г.

УДК 621.873.3

© Коллектив авторов, 2015

## Прогнозирование степени деградации телескопических стрел по параметрам твердости при оценке остаточного ресурса кранов

**В.Б. Дедков,**

гл. инженер

**Ю.В. Колбин,**

директор

**В.С. Лисин,**

дефектоскопист

**К.П. Позынич,**

канд. тех. наук, доцент

ООО «СМК ПС ИТЦПТМ»

Тихоокеанский государственный университет

**Рассмотрен метод индентирования для оценки остаточного ресурса автокранов по величине деформации металлоконструкций телескопических стрел на основе комплексной оценки параметров структуры и свойств сталей.**

**Ключевые слова:** кран, телескопическая стрела, деформация, метод индентирования, твердость, остаточный ресурс.

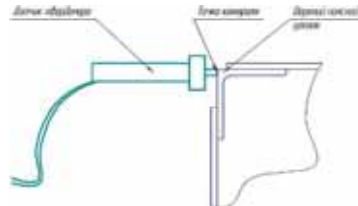
**В** процессе длительной нормальной эксплуатации крановые телескопические стрелы и их отдельные секции подвергаются малоцикловым нагрузкам, вызывающим остаточную деформацию секций (отклонение осей секций от прямолинейности), что в числе других причин приводит к деградации стрел в целом — отклонению вниз от прямолинейности осей стрел в рабочем положении без груза. Известно, что при циклическом нагружении пластически деформируется прежде всего поверхностный слой конструкции.

Был проведен неразрушающий контроль стрел автокранов КС-3577-2-1 и КС-3574, эксплуатировавшихся около 15 лет каждый, т.е. по полтора нормативных срока службы. Предварительно при техническом диагностировании состояние стрел было оценено как неудовлетворительное из-за сверхнормативного отклонения осей стрел в вершинах от прямолинейности, хотя при этом и отсутствовали другие видимые повреждения, влияющие на ресурс.

Как известно, деформации неразрывно связаны с упрочнением, благодаря которому физико-механические свойства и структура приобретают более высокие показатели. Так, в зависимости от степени деформации предел текучести может увеличиться в 2–4 раза, предел прочности в 1,5–2 раза. Для оценки текущей степени накопленных повреждений

элементов металлоконструкции при появлении нарастающих со временем упругопластических и пластических деформаций были исследованы закономерности изменения некоторых физических свойств крановой стали в целях установления зависимости фактической твердости от величины деформации.

Измерение твердости металлоконструкции корневой секции стрелы проводилось электронным малогабаритным переносным программируемым твердомером динамического действия ТЭМП-4 на уровне обухов верхних поясных уголков стрелы (рис. 1), так как верхний пояс работает на растяжение, а его уголки, кроме того, взаимодействуют изнутри с роликами каретки выдвижной секции, установленной в корневой секции стрелы.

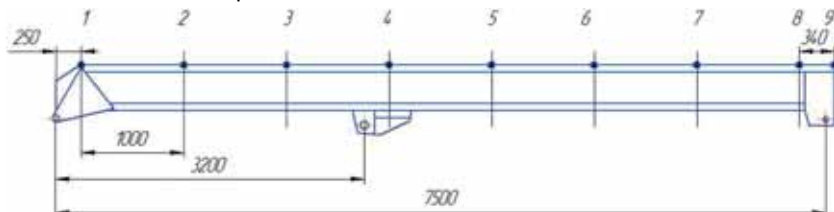


**Рис. 1.** Схема проведения измерений твердости корневой секции стрелы

Этим учитывалось наличие дополнительных местных пластических деформаций полок уголка в результате трения качения роликов выдвижной секции. В вершине корневой секции стрелы на верхнем поясе возникает локальная зона перегрузки, которая образуется при длительном нахождении в этой зоне роликов выдвижной секции, что приводит кроме общей деформации и к местной деформации корневой секции.

При контроле механических свойств использовался метод индентирования. Этот метод, известный под названием «безобразцовый метод», позволяет определять не только характеристики твердости, но и показатели других механических свойств металла, например, предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ), временное сопротивление ( $\sigma_b$ ) и др. В основе безобразцового метода лежат корреляционные связи характеристик твердости с характеристиками прочности.

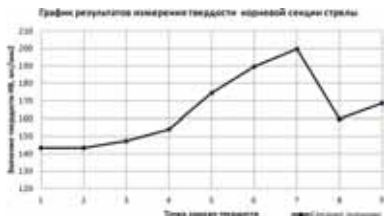
Расположение точек измерений на корневых секциях стрел кранов КС-3574 показано на рис. 2.



**Рис. 2.** Расположение точек измерений на корневых секциях стрел кранов КС-3574 и КС-3577-2: 1, 2, 3...9 — точки контроля

По данным паспорта крана секции стрел изготовлены из металла марки 10ХСНД-12 по ГОСТ 19281—89 с пределом текучести  $\sigma_T = 390$  Н/мм<sup>2</sup>. Подготовка поверхности для проведения контроля выполнялась шлифовальной машинкой со снятием защитного лакокрасочного покрытия с размерами пятен 2×2 см с зашлифовкой до обеспечения шероховатости

поверхности не более 2,5. Результаты измерений твердости верхнего пояса корневой секции стрелы автокрана КС-3574 на уровне обушка его правого верхнего поясного уголка представлены на рис. 3.



**Рис. 3.** График результатов измерения твердости корневой секции стрелы автокрана КС-3574

Анализ данных, представленных на рис. 3, показал следующее.

1. Накопленная в результате циклического нагружения деформация влияет на твердость сталей.

2. С увеличением величины общей деформации растет величина твердости стали секции, т.е. чем больше отклонение оси секции от прямой линии (прогиб секции), тем больше измеренная твердость.

3. Максимальной величине деформации секции соответствует максимальная величина твердости. Так, на рис. 3 максимум твердости соответствует зоне верхнего пояса корневой секции, где кроме общей остаточной деформации образуется участок с местной деформацией поясных уголков от их контакта с роликами каретки выдвигной секции, когда эта секция максимально выдвинута.

4. Малые значения твердости в корне и вершине соответствуют участкам секции, где с поясными уголками нет контакта роликов выдвигной секции, т.е. участкам, подвергшимся только общей деформации от изгиба стрелы.

5. Подтвердилась связь деформации с упрочнением стали.

6. Замеренная твердость металла в большинстве мест не соответствует нормативной величине. Средние значения твердости согласно Приложению 2 ГОСТ 22761-77 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия» соответствуют значениям предела прочности от 553 до 707 МПа, что в большинстве случаев превышает нормативную величину предела прочности для стали 10ХСНД-12.

7. Основываясь на полученных данных, можно оценивать напряженно-деформированное состояние секций стрелы при прогнозировании остаточного ресурса крана.

Поскольку физическая природа твердости определяется зависимостями, связывающими ее с характеристиками прочности, пластичности и разрушения, можно утверждать, что контроль твердости позволит при незначительных затратах определить без повреждения элемента ряд его основных механических характеристик, качество, а также его ресурс.

Величину приобретенной деформации металлоконструкций можно оценивать путем измерения комплекса соответствующих параметров непосредственно на эксплуатируемом объекте без вырезки образцов. Рассмотренный подход может иметь практическую значимость при оценке величины деформации металлоконструкций на основе комплексной оценки параметров структуры и свойств сталей.

**kolbin@itc-ptm.ru**

Статья поступила в редакцию 19 октября 2015 г.