

**Ю. Н. Головачёв**

ГОУ ВПО «МОСКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА»

Москва, Россия

## **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХЛАДОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ДАЛЬНЕГО СЕВЕРА**

В статье изложены методы оценки прочности металлоконструкцией порталных кранов, работающих в условиях низких температур.

Не для кого не секрет, что парк грузоподъемной техники, в частности порталных кранов, достаточно старый. А учитывая климатические особенности России делает эксплуатацию этих машин еще более сложной.

Как показывает анализ, в большинстве своем в портах и перевалочных пунктах работают машины в климатическом исполнении У1, т.е. в диапазоне  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , советского производства. А также краны импортного производства, такие как: Кондор, Альбатрос, Альбрехт, Ганц и др. в аналогичном исполнении.

Среднегодовая температура воздуха за 25 лет на Таймырском полуострове (данные наблюдений до 1989 г.) колебалась от минус  $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до минус  $13,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Самая низкая температура минус  $57\text{ }^{\circ}\text{C}$  была в 1957 году, а самая высокая – плюс  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  в июле 1958 года. Таким образом, амплитуда среднемесячных температурных колебаний достигает  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Средняя продолжительность периода с отрицательными температурами составляет 286 дней. В 1989 году количество дней с температурой ниже минус  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  составило 16 дней. Т.е. согласно нормативной документации, в период с такой температурой эксплуатировать данные краны запрещено, что конечно приводит к убыткам, простою техники и задержкам грузооборота.

В табл. 1 представлены температурные режимы эксплуатации техники в условиях Норильского региона в зимний период. Приведенные данные позволяют оценить параметры распределения числа циклов низких температур для последующей оценки риска эксплуатации исследуемых грузоподъемных кранов, установленных в данном регионе.

Табл. 1. Температурные режимы эксплуатации техники в условиях Норильского региона в зимний период

Годы	Количество суток в году с температурой ниже минус 30 °С					Абсолютная минимальная температура, минус °С
	30...35	36...40	41...45	46...50	50 и >	
1980	28	25	20	2	-	45
1981	31	24	19	2	-	46
1982	23	23	27	7	2	51
1983	22	17	8	2	2	51
1984	22	38	29	13	-	48
1985	11	16	7	2	-	50
1986	24	20	7	5	-	47
1987	19	28	15	6	-	47
1988	22	23	9	5	-	49
1989	23	22	11	13	3	56
Среднее число суток, ежегодно						
	22,5	23,6	15,2	5,7	0,7	
Итого, дней с низкой температурой за 10 лет наблюдений						
	225	236	152	57	7	
Вероятность воздействий соответствующей низкой температуры на краны в рабочем и нерабочем состояниях						
	0,0616	0,0646	0,0416	0,0156	0,0019	

Президентом экспертной компании ОАО «РосЭК», д-р техн. наук Липатовым Анатолием Степановичем была установлена удовлетворительная хладостойкость малоуглеродистых сталей толщиной до 10 мм как минимум до предельной температуры минус 40 °С. Для кранов из сталей марок 09Г2 и 09Г2С 12-ой категории нижним пределом температуры рабочего состояния можно считать минус 45 °С.

Подтверждено, что хладостойкость конструкции определяется свойствами металла, уровнем напряженного состояния, толщиной металла и типами сварных швов, использованных при ее производстве.

В настоящее время появилась необходимость обоснования работоспособности кранов импортного производства при низких температурах.

Опыт эксплуатации кранов в условиях низких температур (т.е. в течение длительного времени при температурах ниже –30 °С) показывает наличие большого количества хрупких разрушений. Разрушения не зависят от длительности воздействия отрицательных температур на металлоконструкцию крана. Статистика разрушений подъемно-транспортных машин (далее – ПТМ) показывает, что 50 % аварий происходит в первые 2 месяца эксплуатации машин, 70 % – за первый год, 80 % – за первые 5 лет, а далее остается на низком уровне.

Наиболее опасным влиянием отрицательных температур является значительно увеличивающийся предел текучести  $\sigma_T$  и уменьшающийся предел прочности  $\sigma_B$ . Пластичность стали в первом приближении, как известно, оценивается соотношением  $\sigma_T / \sigma_B$ .

Чем меньше это соотношение, тем выше пластичность стали:

– для малоуглеродистых сталей обычного качества, как Ст3,

$$\sigma_T / \sigma_B \leq 0.6 ;$$

– для низколегированных сталей повышенной и высокой прочности обычно

$$\sigma_T / \sigma_B > 0.7 .$$

Таким образом металлоконструкции подвержены хрупкому разрушению, и факторы необходимые для зарождения хрупкого разрушения можно разделить на 2 условных вида:

– высокие локальные растягивающие напряжения (концентраторы напряжений (в том числе от некачественной сварки), остаточные напряжения, динамическая составляющая;

– низкая пластичность материала (объемность напряженного состояния, высокая скорость нагружения, изменение свойств из-за наклепа, старение, особенностей структуры и т.п.).

Возможность различных видов разрушения всякого металла при изменении температуры и скорости деформации вытекает из схемы А.Ф. Иоффе (см. рис.1)

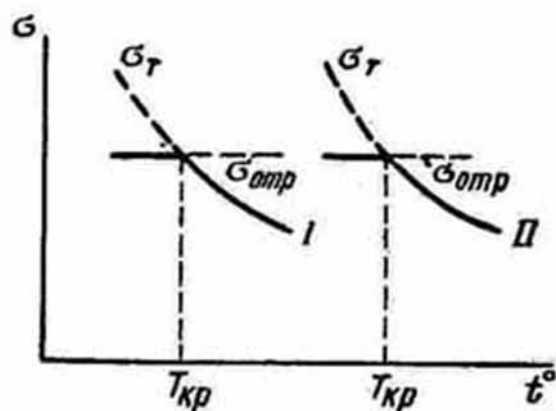


Рис. 1. Схема перехода из вязкого в хрупкое состояние: 1 – статическая нагрузка; 2 – динамическая нагрузка

Сопротивление отрыву  $\sigma_{отр}$  практически не зависит от температуры и скорости нагружения, тогда как предел текучести  $\sigma_T$  при понижении температуры и/или при увеличении скорости нагружения сильно возрастает. Если предел текучести достигается раньше, чем сопротивление отрыву, то разрушение – вязкое, в противном случае – хрупкое.

Также необходимо отметить, что хрупкому разрушению способствуют сварные швы. Особенно большое влияние оказывают остаточные на-

пряжения, а также дефекты сварки, такие как подрезы, непровары корня шва, несплавления и др.

Методы оценки хладостойкости металлоконструкции. Сам метод целесообразно разделить на три этапа.

Первый представляет собой расчет напряженно-деформированного состояния конструкции.

Второй носит экспериментальный характер.

Третий этап относится к расчетно-аналитическому анализу.

Первый этап. До настоящего времени оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкции проводилась крайне мало и в большинстве своём отдельных элементов, основным образом для научных работ, которые редко находили отражение в практической эксплуатации конструкций. Оценка производилась тензометрированием наиболее нагруженных элементов. Сама операция крайне трудоемкая да и не дающая полной картины нагружения крана в виду ее сложности.

В настоящее время с появлением достаточно мощных ЭВМ, способных рассчитать матрицы в миллионы элементов, получил новую жизнь метод конечных элементов, реализованный в программах прочностных расчетов, созданных как российскими, так и зарубежными специалистами. Данные программы позволяют поэлементно «собрать» конструкцию крана, и наглядно показывают общую картину нагружения крана, т.е. учитывают сопряжения элементов, их податливость, коэффициенты трения, сварку и другие механические свойства металлов. Огромный плюс этих программ – это возможность расчета сложных профильных сопряжений крана, т.к. такие места не поддаются расчету, а также тензометрированию, в силу их труднодоступности, а чаще сложности конфигурации.

Второй этап. Как известно, склонность стали к хладноломкости, т.е. к хрупкому разрушению при низкой температуре, оценивается критической температурой хрупкости ( $T_k$ ), характеризующей переход от пластичных изломов к хрупким или полухрупким.

Критическая температура определяется или по удельной работе деформации (ударной вязкости  $-a_k$ , или по виду излома).

Наиболее распространенным способом оценки склонности стали к хрупкому разрушению является метод серийных испытаний Н. Н. Давиденкова, заключающийся в испытании на удар серий стандартных надрезанных образцов (образцов Менаже) при различных температурах.

Зона резкого падения величины ударной вязкости определяет критическую температуру. При отсутствии резкого перехода стали в хрупкое состояние (испытание по ГОСТ 9454-78 с V-образным надрезом) на кривой «ударная вязкость – температура» за критическую принимают температуру  $T_u$ , при которой ударная вязкость составляет 40 % от максимальных значений (по Н. Н. Давиденкову), либо при которой ударная вязкость достигнет заданного порогового значения, принимаемого обычно равным 2–3 кг·м/см<sup>2</sup>.

Что же касается оценки хладостойкости сварного соединения, то в настоящее время не существует единого универсального метода испытаний, дающего однозначную оценку надежности того или иного сварного соединения.

Несмотря на широкое распространение в инженерной практике метода оценки хладостойкости металлов по результатам испытаний на ударную вязкость, он имеет существенные недостатки, которые сводятся в основном к следующему:

- как полная ударная вязкость КС, так и ее составляющие (работа зарождения КСз и работа распространения трещины КСР) не связаны с расчетными характеристиками конструкции;

- малые размеры образца не позволяют учитывать влияние масштабного фактора, не обеспечивают развития разрушения в наиболее опасных для конструкции условиях.

В настоящее время предложен ряд экспериментально – расчетных методов определения хладостойкости стальных элементов по результатам анализа следующих показателей:

- минимально допустимых величин полной ударной вязкости КС и ее составляющих КСз и КСР;

- температурного запаса вязкости;

- критических температур хрупкости;

- вида излома образцов из исследуемых элементов (% кристаллической составляющей излома, сужение дна надреза);

- других дополнительных критериев, характеризующих сопротивление элементов хрупкому разрушению.

Однако, как показывает анализ статистики отказов деталей и узлов машин, эксплуатируемых при низких температурах, в общем случае оценивать и прогнозировать хладостойкость традиционными методами, основываясь только на результатах исследования их способности сопротивляться возникновению хрупких разрушений, невозможно.

Третий этап. Проверки, необходимые при проектировании металлоконструкций для обеспечения их безопасности, обычно включают оценку запаса по текучести, устойчивости и усталости, однако они не гарантируют безопасности от хрупкого разрушения.

В этой связи, для обеспечения безопасности от хрупкого разрушения, качество стали должно быть выбрано с учетом условий, которые бы гарантировали эту безопасность.

Наиболее важными факторами, определяющими чувствительность стальной металлоконструкции к хрупкому разрушению, являются:

- А – сочетание отношения величины предела прочности к напряжениям от номинального груза, в т.ч. и от воздействия собственного веса металлоконструкции;

- В – толщина элемента металлоконструкции;

- С – учет влияния холода.

Каждая из этих составляющих А, В и С учитывается своим коэффициентом. Сумма этих трех коэффициентов и определяет требуемое качество стали (или требования к качеству стали), из которого должна быть изготовлена металлоконструкция. А также с помощью данных коэффициентов возможно оценить работоспособность существующих металлоконструкций.