

УДК 621.762.4.539

А. А. ХМЕЛЕВ, Л. Е. РЕУТ, В. А. СИДОРОВ

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЛОКАЛЬНО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗОН СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Белорусский национальный технический университет

(Поступила в редакцию 28.11.2013)

Техническое состояние грузоподъемных кранов, относящихся к опасным производственным объектам, характеризуется техническим состоянием несущих металлоконструкций, составляющих до 80% от общей массы крана. Надежность и работоспособность крана определяются напряженно-деформированным состоянием этих несущих конструкций, связанным с конструктивными и технологическими особенностями, а также условиями эксплуатации. Наиболее ответственными участками таких конструкций, требующими постоянного наблюдения и контроля качества, являются сварные соединения, вблизи которых возникают зоны пластического повреждения металла, потенциально опасные для прочности материала.

Известно, что первостепенным и главным фактором при выборе марки стали для конкретных конструкций является конструкционная прочность материала, которая обеспечивает долгосрочную, надежную и безопасную работу элементов и узлов. Однако помимо прочности для многих элементов конструкций немаловажным, а иногда и определяющим фактором является также пластичность выбираемой стали. Пластичность – это одно из самых уникальных и желаемых свойств для любого материала, поскольку пластические свойства определяют такие ценные качества элементов, как способность претерпевать большие деформации без нарушения целостности конструкции, безопасно воспринимать ударные нагрузки, обрабатываться, выравнивать дефекты изготовления и сварки, выдерживать возникающую концентрацию напряжений, препятствовать хрупкому разрушению и распространению трещин.

Однако в зависимости от конструкции и вида ее нагружения пластичность материала иногда нарушается и при некоторых неблагоприятных условиях пластичная сталь приводится в хрупкое состояние. Такая ситуация возникает в сварных соединениях на границах ребер жесткости или раскосов ферм грузоподъемных кранов и подкрановых балок (рис. 1), когда привариваемый к пластине элемент заканчивается на поле этой пластины, не доходя до другого конструктивного элемента или узла. Причиной охрупчивания и как следствие трещинообразования является появление в этих областях локально пластически деформированных зон, возникающих от продольной усадки сварных швов, которыми указанные конструктивные элементы приварены к пластине. Эти зоны представляют потенциальную опасность, так как именно здесь возникают трещины, появляющиеся иногда сразу после заводского изготовления конструкции, но чаще в процессе ее эксплуатации.

Многочисленные исследования подтверждают, что локально пластически деформированные области, по каким бы причинам они ни возникали, являются зонами повышенной опасности трещинообразования. Например, изучение случаев возникновения и распространения трещин в стенках подкрановых балок в участках окончания парных ребер жесткости подтверждает наличие такой зоны с максимальным значением пластического повреждения порядка 20%. Изменение размеров указанной области имеет пиковый характер и пик остаточной деформации находится на расстоянии порядка 1,5–3 мм от кромки сварного шва (рис. 2).

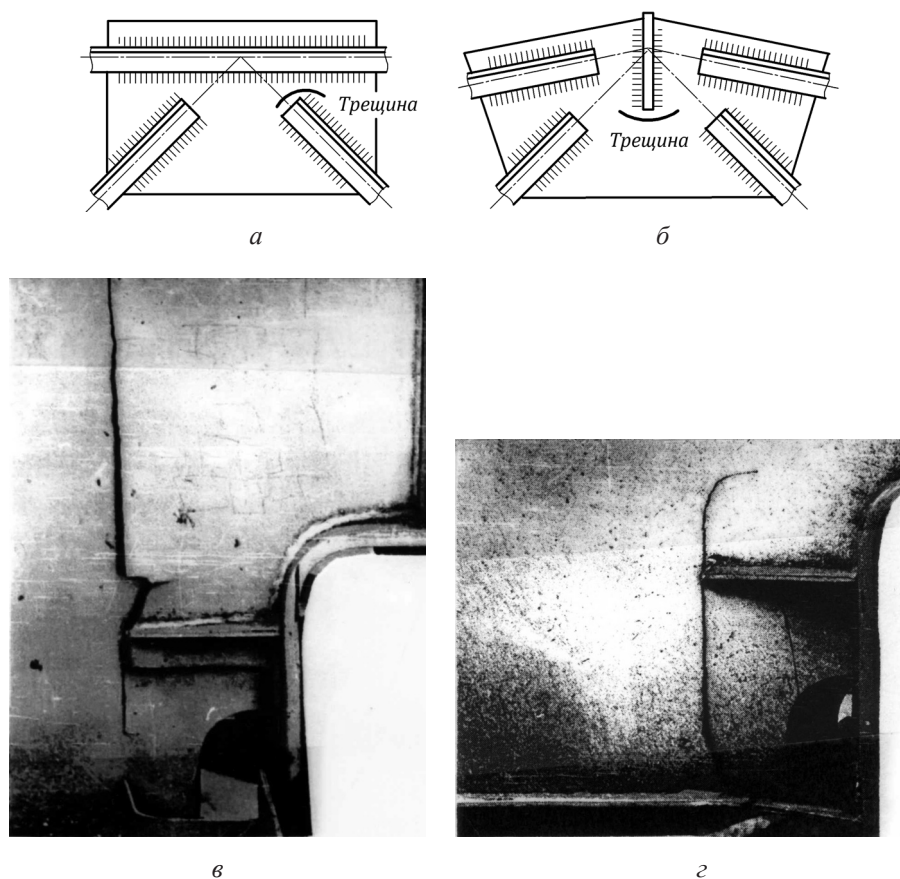


Рис. 1. Трещины на границах раскосов ферм (а, б) и ребер жесткости концевых балок мостовых кранов (в, г)

В настоящей статье предлагается метод оценки пластичности и трещиностойкости локально деформированных зон путем измерения твердости металла по Бринеллю на этих участках.

Известно [1], что при пластическом деформировании твердость стали возрастает от значения HB_0 в состоянии поставки до максимальной величины HB_{max} на поверхности разрушения. Пластичность же в указанном диапазоне изменения твердости снижается от максимального значения в состоянии поставки до величины, близкой к нулю в той же области разрушения. Предлагаемый метод позволяет через определение твердости, измеренной в локально деформированной зоне конструкции, вычислить уровни накопленной пластической деформации и остав-

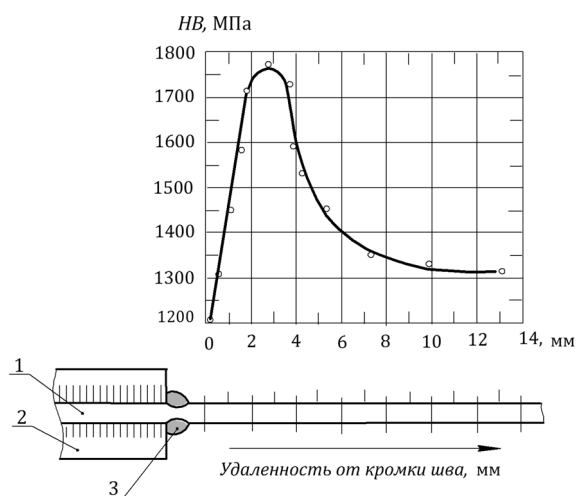


Рис. 2. Распределение HB в стенке подкрановой балки в зоне окончания парных ребер жесткости: 1 – стенка балки; 2 – ребро жесткости; 3 – сварной шов

шегося запаса пластичности, прогнозируя тем самым возможное трещинообразование и разрушение в данной области. Для измерения твердости предлагается использование портативных приборов типа ТПЦ-4, ИТ 5160 и других, позволяющих производить замеры и определять значение твердости для точек, расположенных на расстоянии 1–2 мм друг от друга, что соответствует ширине пика твердости и остаточной деформации, который в указанных зонах является величиной такого же порядка – 1,5–2 мм (рис. 2). Данные приборы способны выявить изменения твердости на расстояниях малого порядка.

Предложенный метод оценки пластичности позволяет определить ее значение по двум характеристикам – относительному удлинению ε и относительному сужению ψ . При этом за основу берутся исходные сертификатные характеристики механических свойств стали – предел прочности σ_B и относительное удлинение ε , а значение ψ , если оно не приведено в сертификатных данных, определяют расчетным путем.

Известно [1], что максимальная твердость стали в общем случае определяется как

$$HB_{\max} = HB_0 e^{\psi}, \quad (1)$$

где HB_0 , ψ – твердость по Бринеллю, относительное сужение стали в состоянии поставки соответственно.

Значение HB_0 определяем по взаимосвязи твердости с пределом прочности σ_B [2]:

$$HB_0 = \sigma_B / c, \quad (2)$$

где $c = 0,36 \div 0,365$ для малоуглеродистых и низколегированных сталей.

Определим расчетным путем величину относительного сужения ψ по значению HB для случая, когда эта характеристика пластичности не входит в сертификатные данные.

Согласно методу Бринелля, значение HB определяется делением силы F , задаваемой прессом Бринелля, на площадь сферического отпечатка вдавливаемого шарика диаметром D :

$$HB = \frac{F}{\pi d h} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (3)$$

где h , d – глубина и диаметр отпечатка (в мм) соответственно.

На основании формулы (3) значение глубины отпечатка h_0 и его диаметр d_0 для твердости стали в состоянии поставки HB_0 можно определить таким образом:

$$h_0 = \frac{F}{\pi D HB_0}, \quad (4)$$

$$d_0 = 2\sqrt{h_0(D - h_0)}. \quad (5)$$

Минимальный диаметр отпечатка d_{\min} , соответствующий максимальному значению твердости HB_{\max} , находим через вычисленное значение d_0 (5) и сертификатную величину ε [3]:

$$d_{\min} = \frac{d_0}{e^{\varepsilon}}. \quad (6)$$

Значение HB_{\max} с учетом выражений (3) и (6) получаем в виде:

$$HB_{\max} = \frac{F}{\pi D h_{\min}} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d_{\min}^2})}. \quad (7)$$

Совместное решение формул (1), (4) и (7) дает значение ψ :

$$\psi = \ln \frac{HB_{\max}}{HB_0} = \ln \frac{h_0}{h_{\min}}. \quad (8)$$

Приведенные выше теоретические расчеты можно использовать для определения величины остаточной пластической деформации, накопленной в локально деформированной зоне. Для этого в исследуемой области с помощью указанных выше портативных приборов определяем максимальное значение HV и вычисляем соответствующие ему величины диаметра отпечатка d_k и его глубины h_k . По этим значениям при использовании формул (6) и (8) получаем

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \ln \frac{d_0}{d_k}, \quad (9)$$

$$\psi_{\text{пр}} = \ln \frac{h_0}{h_k}. \quad (10)$$

Соответственно оставшийся запас пластичности оцениваем как

$$\varepsilon_{\text{ост}} = \varepsilon - \varepsilon_{\text{пр}}, \quad (11)$$

$$\psi_{\text{ост}} = \psi - \psi_{\text{пр}}. \quad (12)$$

Из экспериментальных исследований на растяжение стандартных образцов из малоуглеродистой и низколегированной сталей известно, что при достижении остаточной пластической деформации значения порядка $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,19 \div 0,20$ равномерное удлинение образца заканчивается и начинается процесс образования шейки. В реальных же конструкциях такое значение остаточной деформации соответствует возникновению внутренних микро- и макротрещин, которые под действием рабочих растягивающих напряжений увеличиваются и в результате становятся сквозными. Это особенно опасно для конструкций кранов и кранового оборудования, работающих в условиях усталостного режима. Опасным является также снижение температуры, при которой твердость стали увеличивается, а пластичность и трещиностойкость уменьшаются, что особенно касается локально пластически деформированных зон.

Литература

1. Хмелев А. А., Реут Л. Е. // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2009. № 2. С. 71–75.
2. Марковец П. М. Определение механических свойств металлов по твердости. М., 1979.
3. Хмелев А. А., Галуза И. М. В сб.: Машиностроение. Мн., 2012. Вып. 26, Т.2. С. 234–236.

A. A. HMELEV, L. E. REUT, V. A. SIDOROV

AN ESTIMATION OF RESIDUAL PLASTICITY AND CRACK RESISTANCE OF LOCALLY DEFORMED ZONES OF WELDED DESIGNS

Summary

The technical condition of the load-lifting cranes, belonging to the dangerous industrial objects, is defined by a technical condition of bearing metalworks and demands constant quality assurance of connections and units. Special danger is represented by welded seams near to which there are the local plastically deformed zones leading to the brittle behavior of metal and to crack formation. A method of an estimation of crack resistance, based on measurement in the specified zones of hardness on Brinell and definition on its value of level of plastic damage of metal, and also of the remained stock of plasticity, is offered. The method differs in simplicity of execution, profitability and high reliability of results of research. It allows to carry out the current control of a condition for the purpose of definition of degree of danger and an establishment of a deadline of service of a design.