

Если известны уровни предварительной пластической деформации $\varepsilon_{\text{сп}}$ и $\psi_{\text{сп}}$, то запас оставшейся пластичности определяется по формулам:

$$\varepsilon_{\text{ос}} = \varepsilon - \varepsilon_{\text{сп}}, \quad (6)$$

$$\psi_{\text{ос}} = \psi - \psi_{\text{сп}}. \quad (7)$$

Если состояние контролируемой конструкции оценивается по значению относительного удлинения ε , то необходимо определить значение твердости контролируемой зоны, соответствующее началу образования шейки, т.е. окончанию равномерной деформации растяжения равной, 0,19÷0,20 для малоуглеродистых и низколегированных сталей. Тогда диаметр контрольного отпечатка для указанного состояния определяется из формулы:

$$\ln \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{к}}} = \varepsilon^{0,2}. \quad (8)$$

По значению $d_{\text{к}}$ далее определяется значение твердости по Бринеллю в шейке $HB_{\text{ш}}$.

Необходимость такого определения твердости заключается в том, что если твердость металла в контрольной зоне соответствует твердости ниспадающего участка диаграммы растяжения, то в этом состоянии в деформированном металле образуются внутренние пустоты, поры и микротрещины. Указанные дефекты потом под действием рабочей нагрузки сливаются образуя макротрещину, приводящую к разрушению.

Применяя изложенный метод оценки состояния конструкций по ее пластичности можно достоверно оценить уровень накопленной пластической деформации (уровень пластического повреждения) и оценить оставшийся запас пластичности по результатам измерения твердости по Бринеллю. При этом измерение твердости необходимо проводить портативными приборами типа ТПЦ-4.

Если измерением твердости выявлено, что локально деформированная зона по уровню предварительной деформации соответствует ниспадающему участку диаграммы растяжения, то другими методами контроля необходимо выявлять и определять минимальные размеры внутренних трещин. По выявленным размерам трещин дальнейшее состояние конструкций можно оценивать по законам линейной механики разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелёв А.А., Реут Л.Е. Расширение возможностей оценки качества сталей по результатам исследования на ударную вязкость// Весці НАН Беларусі.-2009.-№2.-с.71-75. 2.Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. - М.: Машиностроение, 1979.-с.6.

УДК 621.762:658.562

Хмелев А.А., Сидоров В.А

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ТВЕРДОСТИ ЛОКАЛЬНО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗОН

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Сосуды, работающие под давлением, элементы металлических конструкций грузоподъемных сооружений, трубопроводы и другие конструкции периодически подвергаются диагностированию для оценки остаточного ресурса работоспособности и пригодности к дальнейшей эксплуатации. При этом одним из видов контрольных испытаний является измерение твердости

в зонах максимальных силовых и тепловых нагрузок контролируемых конструкций. Если полученный результат показывает, что твердость металла в контролируемой зоне не соответствует требованиям нормативно-технической документации, то металл такого участка подлежит исследованию с вырезкой образцов с целью определения характеристик прочности, пластичности и ударной вязкости. По результатам последних испытаний принимается решение о выбраковке.

В настоящей работе предлагается метод теоретической оценки характеристик прочности, пластичности и ударной вязкости металла контролируемых зон только по результатам измерения твердости по Бринеллю.

Известно [1], что твердость сталей при их деформировании от состояния поставки вплоть до разрушения возрастает, а значения пластичности и ударной вязкости уменьшаются. При этом максимальная твердость имеет место на поверхности разрушения. Поэтому для каждой конкретной плавки стали существует шкала твердости, с максимальным значением ее в состоянии поставки и максимальным на поверхности разрушения.

Для получения расчетных формул прочности, пластичности и ударной вязкости металла контролируемых зон связывают значения его сертификатных характеристик с результатами измерений твердости.

Максимальное значение твердости по Бринеллю определяют по формуле:

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

где HB_0 – твердость стали в состоянии поставки МПа, ψ – относительное сужение в том же состоянии.

Уровень накопленный пластической деформации:

$$\psi_{\text{пр}} = \ln \frac{HB_{\text{к}}}{HB_0} = \ln \frac{h_0}{h_{\text{к}}}, \quad \varepsilon_{\text{пр}} = \ln \frac{d_0}{d_{\text{к}}}, \quad (2)$$

где $HB_{\text{к}}$ – значение твердости, полученной при контроле;

$d_0, d_{\text{к}}, h_0, h_{\text{к}}$ диаметр и глубина отпечатка при измерении твердости для состояния поставки и контроля соответственно;

Значения d и h в формулах (2) определяют [2]:

$$h = \frac{F}{\pi D HB}, \quad (3)$$

$$d = 2\sqrt{h(D-h)}, \quad (4)$$

где $F = 30$ кН – нагрузка на пресс Бринелля для шарика диаметром $D = 10$ мм;

Если известны уровни накопленной пластической деформации $\varepsilon_{\text{пр}}$ и $\psi_{\text{пр}}$, то запас оставшейся пластичности определяют по формулам:

$$\varepsilon_{\text{ос}} = \varepsilon - \varepsilon_{\text{пр}}, \quad (5)$$

$$\psi_{\text{ос}} = \psi - \psi_{\text{пр}}. \quad (6)$$

Если состояние пластичности контролируемой зоны оценивается по значению относительного удлинения, то необходимо определить соответствует ли полученное значение пла-

стичности ниспадающему участку диаграммы растяжения. Диаметр отпечатка соответствующий началу указанного участка диаграммы можно определить из формулы:

$$\ln \frac{d_0}{d_k} = e^{0,2}. \quad (7)$$

Необходимость такого определения твердости заключается в том, что если твердость металла в контрольной зоне соответствует твердости ниспадающего участка диаграммы растяжения, то в этом состоянии в деформированном металле образуются поры и внутренние трещины. Указанные дефекты потом под действием рабочей нагрузки сливаются, образуя трещину, выходящую на поверхность. В этом состоянии размер внутренних дефектов можно определить другими неразрушающими методами контроля, а по выявленным размерам трещин оценивают состояние локально деформированных зон конструкций по законам линейной механики разрушения.

Значение ударной вязкости, как оценочного критерия состояния исследуемого узла, оценивают по значению поглощенной энергии при разрушении стандартного ударного образца типа I, по формуле:

$$U = \frac{\sigma^2}{2E} V_0 + a_v \cdot 4Bh^2 \operatorname{tg} \theta, \quad (8)$$

где σ предел прочности стали, МПа; $V_0 = 3964,3 \text{ мм}^3$ – объем ударного образца на длине между опорами копра; E – модуль Юнга, a_v – удельная работа пластического деформирования, $B = 10 \text{ мм}$ – ширина образца; $h = 8 \text{ мм}$ – высота в сечении по надрезу; $\operatorname{tg} \theta$ – угол изгиба образца при его разрушении.

Значение a_v определяют по формуле

$$a_v = \frac{U_0}{V_0 \psi}, \quad (9)$$

где U_0 – сертификатное значение поглощенной энергии ударного образца при его разрушении при температуре $+20^\circ\text{C}$.

Значение $\operatorname{tg} \theta$ определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \theta = \psi^n, \quad (10)$$

где $n = 1,2$ для малоуглеродистых и низколегированных сталей при температуре $+20^\circ\text{C}$

Для применения изложенного метода оценки состояния конструкций для измерения твердости их локально деформированных зон необходимо применять портативный малогабаритный прибор типа ТПЦ-4, позволяющий производить измерение твердости в производственных и полевых условиях в любом пространственном положении исследуемой поверхности. Прибор позволяет выявлять изменение твердости на расстоянии между отпечатками не менее 2мм. Это позволяет выявлять локально деформированные зоны металла с пиковой формой изменения твердости, а из таких зон, как правило, возникают и распространяются трещины.

Данный метод оценки состояния конструкций значительно упрощает и заменяет ныне существующие методы. Он позволяет избавиться от операций по вырезке проб для изготовле-

ния лабораторных образцов и последующих лабораторных испытаний. Это приводит к существенному снижению трудовых и энергетических затрат при выполнении указанных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев А.А., Реут Л.Е. Расширение возможностей оценки качества сталей по результатам исследования на ударную вязкость. Вести НАН Беларуси .-2009 №2 –с.71-75.
2. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости.—М. Машиностроение 1979.-с.6.