

Если построить график уменьшения ( $A_B$ ) и увеличения ( $A_A$ ) диаметров оболочки при работе упруго-пластических деформаций в зоне приложения нагрузки  $F$ , когда  $x_T = y_T = \frac{M_T r^2}{EI} \frac{\pi^2 - 8}{4\pi} = \frac{\sigma_T r^2}{\delta E} \frac{\pi^2 - 8}{2\pi} = 0,075 \frac{\sigma_T 4r^2}{\delta E}$ , где  $\delta$  – расстояние между наружной и внутренней цилиндрическими поверхностями (толщина стенки кольца), то получим вид кривых, соответствующих рис. 4.

#### **Выводы.**

1. В нашей статье речь идёт не столько о новых данных или результатах исследований на основе собственных измерений, сколько об изложении неиспользуемых научно-технических требований механики материалов при проектировании конструкций и сооружений, особенно, при их эксплуатации.

2. Анализ наших расчётных зависимостей и [4] от нагрузки  $F$  по длине кольца в стадии ползучести в сечении  $A - A$  показывает, что изменение диаметров будет резко возрастать.

3. Из проведенного анализа сделан вывод о том, что деформации в кольцевых сечениях с относительно тонкими стенками, изготовленных элементов из сталей, работающих с упрочнением, могут рассчитываться по закону упругой работы до напряжений  $\sigma = 1,5 \sigma_T$ . После достижения этих напряжений величина остаточных деформаций в направлениях вертикального и горизонтального диаметров кольца резко увеличивается [5].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ларченков Л.В. и др. Тестирование деталей рамной конструкции компактного мюонного соленоида методом неразрушающего контроля. / Л.В. Ларченков, О.Н. Протасеня, И.О. Протасеня. – Мн.: «Наука и Техника». – 2013. - № 3. – С. 6-10.

2. Власов В.З. Общая теория оболочек и её приложения в технике / В.З. Власов. - М.-Л.: Госизд. – 1949. – 784 с.

3. Малинин Н.Н. Расчёты на ползучесть элементов машиностроительных конструкций / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение. – 1981. – 220 с.

4. Черных К.Ф. Линейная теория оболочек. / К.Ф. Черных. –Л.: ЛГУ. – 1962. – 274 с.

5. Научно-исследовательские работы по изучению упруго-пластических свойств материалов рам адронного калориметра установки CMS: отчёт о НИР (зключ.) БНТУ; рук. Л.В. Ларченков, исполн. Р.В. Стефанович и др. – Минск, 2001. – 45 с.- ГР № 15/11-01.

**УДК 620.178.7:669.14**

**Хмелев А.А., Реут Л.Е., Сидоров В.А.**

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЙ ПО ЗНАЧЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНОСТИ В**

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

*Предложен и обоснован метод оценки качества и состояния локально деформированных зон конструкций по значению характеристики пластичности  $\beta$  как отношения ударной вязкости к максимальной твердости зоны. Критерием перехода зоны в хрупкое состояние принято значение  $\beta < 0,1$  мм, при котором в реальных конструкциях возникают трещины.*

Известна характеристика пластичности  $\beta$  [1] как отношение ударной вязкости стали к ее твердости по Бринеллю, определяемая по формуле:

$$\beta = \frac{a_H}{HB} = \frac{U}{A \cdot HB}, \quad (1)$$

где  $a_n$  – ударная вязкость;  $HB$  – твердость по Бринеллю;  $U$  – поглощенная разрушаемым ударным образцом энергия;  $A$  – площадь сечения образца по надрезу.

Если размерность поглощенной энергии  $U$  измеряется в  $H \cdot мм$ , площадь сечения – в  $мм^2$ , а твердость – в  $МПа$ , то характеристика  $\beta$  получает размерность в  $мм$ , что подтверждается теоремой Лагранжа, в соответствии с которой отношение энергии к силе равно перемещению. Изложенное подтверждается экспериментально линейной зависимостью значения  $\beta$  от прогиба образца  $y$ , измеряемого путем совмещения его половинок после разрушения:

$$y = k_\beta \cdot \beta, \quad (2)$$

где  $k_\beta$  – угловой коэффициент взаимосвязи  $y$  и  $\beta$ , характерный для каждой конкретной плавки стали.

Характеристика пластичности  $\beta$  является важнейшим критерием оценки качества стали по ее сопротивляемости динамическим нагрузкам и трещиностойкости. Например, для двух сравниваемых сталей, имеющих одинаковую прочность и пластичность, более надежной оказывается та сталь, у которой значение  $\beta$  больше для любого контролируемого состояния.

Так как  $\beta$  взаимосвязано с тремя важнейшими механическими характеристиками стали – твердостью (прочностью), ударной вязкостью и пластичностью, то его значение можно использовать в качестве объективного критерия оценки качества и трещиностойкости малоуглеродистых и низколегированных сталей при их переходе в хрупкое состояние. При этом значение  $\beta$  можно определить по результатам измерения твердости современными портативными приборами, что особенно важно для контроля состояния локально деформированных зон конструкций, которые являются зонами возникновения и роста трещин вплоть до разрушения.

Исходной теоретической базой для практического применения  $\beta$  как оценочного критерия качества и состояния сталей служит известная диаграмма хрупковязкого состояния стали, построенная в координатных осях " $U - HB$ " с нанесенными значениями  $\beta$  [2]. Диаграмма представляет собой взаимосвязь поглощенной энергии стандартного ударного образца с твердостью металла, предварительно деформированного растяжением, от состояния поставки вплоть до полного разрушения в диапазоне температур от  $+20^\circ C$  до  $-60^\circ C$  и ниже. В качестве оси абсцисс принято значение твердости в связи с тем, что по мере пластического деформирования стали ее твердость возрастает, достигая максимального значения на поверхности разрушения, определяемого по формуле:

$$HB_{\max} = HB_0 \cdot e^\Psi, \quad (3)$$

где  $HB_0$  – твердость стали в состоянии поставки при  $T = +20^\circ C$ ;  $\Psi$  – относительное сужение.

В результате на диаграмме получаем три шкалы исходных и минимальных значений  $U$ ,  $HB$  и  $\beta$ . При этом значение  $\beta_{\min}$  определяют по формуле:

$$\beta_{\min} = \frac{U_{\min}}{A \cdot HB_{\max}}, \quad (4)$$

где  $U_{\min}$  как упругая составляющая поглощенной энергии определяется как [2]:

$$U_{\min} = \frac{\sigma_B^2}{2E \cdot V_0}. \quad (5)$$

Значение  $\Psi$  в контролируемой трещиноопасной зоне металла рассчитывают как:

$$\Psi_{\text{пр}} = \ln \frac{HB_{\text{к}}}{HB_0}, \quad (6)$$

где  $\Psi_{\text{пр}}$  – уровень предварительной пластической деформации;  $HB_{\text{к}}$  – максимальное значение твердости контролируемой зоны.

Запас оставшейся пластичности соответствует значению:

$$\Psi_{\text{ост}} = \ln \frac{HB_{\text{max}}}{HB_{\text{к}}}. \quad (7)$$

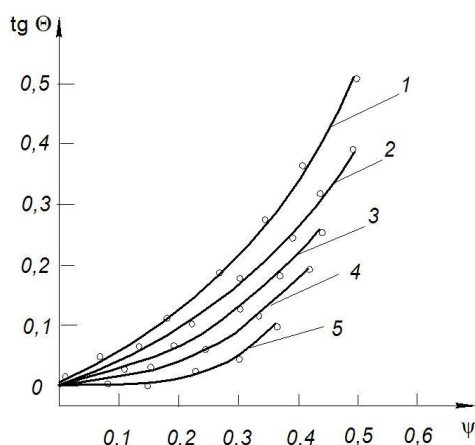


Рис. 1. Зависимость тангенса угла изгиба ударного образца от относительного сужения и температуры испытания: 1, 2, 3, 4, 5 – температура испытания  $+20^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $-60^{\circ}\text{C}$  соответственно

По полученным значениям  $\Psi$  характеристику  $\beta$  определяют через ее взаимосвязь с углом изгиба образца  $\Theta$ , измеряемым путем совмещения половинок после его разрушения. Указанная взаимосвязь  $\beta$  и  $\text{tg } \Theta$  в диапазоне диаграммы хрупковязкого состояния стали ВСт3сп5 приведена на рис. 1.:

Взаимосвязь между значениями  $\beta$  и  $\text{tg } \Theta$  при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  описывается уравнением:

$$\text{tg } \Theta = \text{tg } \Theta_{\text{min}} + \Psi^n, \quad (8)$$

где значение  $\text{tg } \Theta_{\text{min}} = 0,02$  и является константой для исследованной стали, а величину  $n$  определяют по результатам опытных данных для стали в состоянии поставки при  $T = +20^{\circ}\text{C}$  и вычисляют как:

$$n = \frac{\log \Psi}{\log \text{tg } \Theta}. \quad (9)$$

При снижении температуры значение показателя степени  $n$  в выражении (8) возрастает и в диапазоне температуры от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $-60^{\circ}\text{C}$  изменяется в пределах  $n = 1,25 \div 1,96$ . С учетом этого уравнение (8) записывается в виде:

$$\operatorname{tg} \Theta = \operatorname{tg} \Theta_{\min} + \Psi^{n+c\Delta t}, \quad (10)$$

где  $c = \frac{1,96-1,25}{\Delta t^0} = \frac{1,96-1,25}{80} = 0,0088$ ;  $\Delta t^0$  C – градиент снижения температуры ниже уровня  $+20^\circ\text{C}$ .

По результатам измерения твердости контролируемых зон конструкций, используя формулы (6)–(7) и (8)–(9), определяют соответственно значения  $\Psi$  и  $\operatorname{tg} \Theta$ . Значение  $\beta$  как оценочного критерия состояния контролируемого участка стали определяют по формуле:

$$\beta = k_{\Theta} \operatorname{tg} \Theta, \quad (11)$$

где  $k_{\Theta}$  – угловой коэффициент линейной взаимосвязи  $\beta$  и  $\operatorname{tg} \Theta$ .

По полученным значениям  $\beta$  оценивают состояние стали как вязкое или хрупкое. При этом за критическое значение принимается  $\beta \leq 0,1$  мм независимо от марки стали. Значение  $\beta = 0,1$  мм соответствует уровню предварительной пластической деформации, определяемой в момент окончания равномерного растяжения образца и начала образования шейки [2]. Данный критерий подтверждается опытными данными и результатами обследования трещиноопасных зон реальных конструкций, показывающих, что здесь при  $\beta < 0,1$  мм действительно возникают трещины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев А.А., Реут Л.Е. Расширение возможностей оценки качества сталей по результатам исследования на ударную вязкость // Весці НАН Беларусі, сер. физ.-техн. наук. – № 2, 2009. – с. 71-75.
2. Жданович Г.М., Хмелев А.А. О диаграмме хрупковязкого разрушения малоуглеродистых сталей // Проблемы прочности. – №1, 1981. – с. 85-89.

УДК 539

**Якубовский Ч.А., Якубовский А.Ч.**

**МЕТОД «ПЛОЩАДЕЙ»**

**ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛОК**

**Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь**

*Исследован упрощенный метод определения деформаций при изгибе балок (прогиба и угла поворота произвольного сечения), учитывающий площади и координаты центров тяжести фигур лишь грузовой эпюры изгибающих моментов. Этот метод позволяет также точно устанавливать место наибольшего прогиба балки.*

При прямом поперечном изгибе балки ее продольная ось искривляется, оставаясь в силовой плоскости. Изогнутая ось, называемая упругой линией, представляет собой геометрическое место центров тяжести поперечных сечений деформированной балки. Деформации, возникающие в балках при изгибе, характеризуются двумя параметрами: *прогибом*, вызванным перемещением центра тяжести сечения в направлении, перпендикулярном оси балки, и *углом поворота* сечения по отношению к своему первоначальному положению. Определение линейных и угловых перемещений необходимо для расчетов балок на жесткость при изгибе.

Существуют разные методы определения деформаций при изгибе: метод непосредственного интегрирования приближенного дифференциального уравнения упругой линии, метод начальных параметров, энергетические методы (метод Мора, правило Верещагина, теорема Кастилиано) и др.