

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одним из наиболее распространенных критериев оценки состояния конструкций является значение ударной вязкости металла контролируемых зон конструкций, как наиболее чувствительного критерия к температурным и деформационным изменениям свойств металла. При этом одним из обязательных видов контрольных испытаний является измерение твердости в зонах максимальных силовых и температурных нагрузок. Если полученный результат показывает, что твердость металла в контролируемой зоне не соответствует требованиям нормативно-технической документации, то металл такого участка подвергается дополнительным исследованиям с вырезкой контрольных образцов или отбраковывается.

Цель настоящей работы — показать, что по результатам измерения твердости исследуемых зон конструкций можно получить самостоятельный объективный оценочный критерий состояния, или по этим же результатам оценить значение ударной вязкости, так как надежность работы материала определяется по назначенной минимальной величине ударной вязкости или по значению критической температуры перехода в хрупкое состояние.

Кроме того, в данной работе приводится теоретический анализ ударной вязкости, не осуществленный до сих пор.

Представим значение работы разрушения стандартного ударного образца в виде суммы работ, затраченных на его упругое и пластическое до разрушения деформирование

$$A = \frac{\sigma^2}{2E} V_0 + a_v V_m, \quad (1)$$

где $\frac{\sigma^2}{2E}$, a_v — удельная работа упругого и пластического деформирования соответственно; $V_0 = lbh$ — объем образца (без учета объема надреза) длиной между опорами копра l , шириной b и высотой сечения вне надреза h ; V_m — величина пластически деформированного объема разрушенного образца.

Известно [1], что значение пластической составляющей общей работы разрушения образца описывается формулой

$$A_{пл} = a_v K_\phi b h_1^2 \operatorname{tg} \theta, \quad (2)$$

где K_ϕ — коэффициент, зависящий от формы надреза ударного образца. Так, для образца типа I ГОСТ 9454-78 $K_\phi = 3$; h_1 — высота образца в сечении по надрезу; $\operatorname{tg} \theta$ — угол изгиба образца, определяемый путем совмещения половинок образца после разрушения.

С учетом (2) формулу (1) запишем в виде

$$A = \frac{\sigma^2}{2E} l b h + a_v K_\phi b h_1^2 \operatorname{tg} \theta \quad (3)$$

Известно [2], что охрупчивание сталей происходит в основном за счет снижения пластичности, значение которой можно оценить по величине отношения ударной вязкости к твердости по Бринеллю для исследуемого состояния.

Для получения такой характеристики пластичности разделим уравнение (3) на произведение твердости по Бринеллю на величину $b h_1^2$, т.е. величину пропорциональную значению момента сопротивления сечения образца по надрезу, приняв значение

$$h_1 = k h, \quad (4)$$

где $k < 1$ — коэффициент, учитывающий глубину надреза образца.

$$\beta_1 = \frac{\sigma^2 l}{2 E k^2 h H B} + \frac{a_v K_\phi \operatorname{tg} \theta}{H B} \quad (5)$$

В связи с тем, что значение удельной работы пластического деформирования a_v при ударном изгибе и ударном растяжении одинаково, то его значение можно представить в виде [3]

$$a_v = \eta \sigma_{\text{вд}} \varepsilon_{\text{д}}, \quad (6)$$

где $\eta = 0,8 + 0,9$ — коэффициент полноты диаграммы динамического растяжения; $\sigma_{\text{вд}}$ — динамический предел прочности стали; $\varepsilon_{\text{д}}$ — относительное удлинение при динамическом растяжении.

Известно [4], что как при динамическом, так и при статическом нагружении между характеристиками прочности и твердостью по Бринеллю существуют устойчивые зависимости типа

$$\sigma_s = c H B \quad (7)$$

С учетом (6) и (7) уравнение (5) записывается в виде

$$\beta_1 = \frac{\epsilon l}{2C_1 K^2 h} + \eta \frac{\epsilon_{nn}}{C_2} \operatorname{tg} \theta \quad (8)$$

или с учетом размеров стандартных ударных образцов

$$\beta_1 = \frac{2\epsilon}{C_1 K^2} + \eta \frac{\epsilon_m}{C_2} \operatorname{tg} \theta \quad (9)$$

получаем безразмерную характеристику пластичности, как сумму ее упругой и пластической составляющих, где C_1 и C_2 — коэффициенты взаимосвязи между пределом упругости и пределом прочности при динамическом нагружении соответственно.

При вязком состоянии значением упругой составляющей общей деформации можно пренебречь.

Состояние, при котором упругая и пластическая составляющие деформации становятся равными между собой оценивается как критическое. В этом случае при образовании трещины в тонком, максимально пластически деформированном, и наиболее удаленном от нейтральной оси слое, освобождающаяся запасенная упругая энергия становится разрушающей.

Из формулы (3) видно, что критическое состояние может наступить при одновременном увеличении запаса упругой энергии, и при малых затратах энергии на пластическое деформирование малых объемов металла, что имеет место при ударном и статическом изгибе крупногабаритных образцов с глубокими острыми надрезами даже при положительных температурах.

Для практического применения данной теории при оценке состояния конструкций по значениям ударной вязкости удобно пользоваться формулой (3). Для чего необходимо в значение сертифицированных характеристик сталей ввести значения удельной работы пластического деформирования a_v и угла изгиба образца после разрушения $\operatorname{tg} \theta$, определяемых для состояния поставки при температуре $+20^\circ\text{C}$.

При этом, в качестве характеристики пластичности стали удобнее использовать значение относительного сужения при растяжении u , которое уменьшается при снижении температуры, но остается не изменяемым при статическом и ударном нагружении [3]. Значение u для контролируемого состояния стали можно определить по результатам измерения твердости по Бринеллю по формуле

$$\psi_h = \psi_0 - \ell_n \frac{h_0}{h_t}, \quad (10)$$

где ψ_0 — относительное сужение стали в состоянии поставки; h_0 — глубина отпечатка при измерении твердости по Бринеллю в состоянии поставки; h_1 — глубина отпечатка при контрольном измерении.

В итоге, используя сертификатные данные механических свойств исследуемой стали, и по результатам измерения твердости контролируемых зон можно оценить значение ударной вязкости металла этих зон, как браковочного критерия, не прибегая к разрушающим методам контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев А.А., Сидоров В.А. Неразрушающий метод оценки состояния конструкций // Машиностроение. — Мн., 2003. — Вып.19. — С. 565–568.
2. Жданович Г.М., Хмелев А.А. О диаграмме хрупковязкого состояния малоуглеродистых сталей при ударном изгибе// Проблемы прочности. — 1981. — №1. — С. 22–24.
3. Васильев В.И., Рошин М.Б., Товстых Е.В. Судостроительные материалы. — Л.: «Судостроение», 1971. — С.13.
4. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. — М.: «Машиностроение», 1979. — 192 с.

УДК 621.83.062.6

А.А. Цереня

РАБОТА КУЛАЧКОВО-ЗУБЧАТОЙ МУФТЫ СВОБОДНОГО ХОДА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*Военная академия Республики Беларусь
Минск, Беларусь*

На кафедре механики ВА РБ разработана муфта, которая является логическим продолжением предложенных в тогда еще Белорусском политехническом институте муфт [1].

Достоинством этих муфт является отсутствие предварительного поджима тел заклинивания к ведомой полумуфте, то есть, устранен контакт тел заклинивания при свободном ходе. Однако имеет место некоторая неопределенность поведения тел заклинивания. Например, если угловая скорость ведомой полумуфты существенно снизится и станет ниже угловой скорости ведущей полумуфты, то муфта может не заклинить при условии постоянства угловой скорости ведущей полумуфты. Кроме того, нельзя ожидать от этой муфты высокого быстродействия за счет увеличенного угла относительного