

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ

к.т.н. Хмелев А.А., студ. Орсич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск

Для оценки пригодности материалов сопротивлению ударным нагрузкам и их склонности к охрупчиванию производят стандартные испытания на ударную вязкость в диапазоне температур от +20 до -40°C. Значение последней зависит от температуры испытания, остроты надрезов и размеров контрольных образцов. В дополнение к указанным факторам, высокая скорость деформирования при разрушении настолько усложняет напряженное и деформированное состояние при разрушении, что теоретический анализ ударной вязкости до сих пор не осуществлен.

Считается, что чем острее надрез, вплоть до усталостной трещины, в контрольном образце и чем больше размер образца, тем ценнее результаты испытаний, которые можно применять к оценке ударостойкости реальных конструкций. Исходя из этой предпосылки, применяют 20 типов стандартных ударных образцов и для каждого из них установлен стандартный оценочный критерий. В дополнение к этому в настоящее время существуют и разрабатываются дорогостоящие мощные копры для ударных испытаний крупногабаритных образцов падающим грузом.

В данной работе предлагается теоретический метод оценки значений ударной вязкости или поглощенной энергии разрушаемым образцом для диапазона температур эксплуатации по результатам испытаний наиболее простого образца (тип I с U-образным надрезом) с привлечением к расчетам сертификатных данных механических характеристик материала. Для этой цели удобно применять известные [1] диаграммы хрупковязкого состояния сталей, рисунок 1.

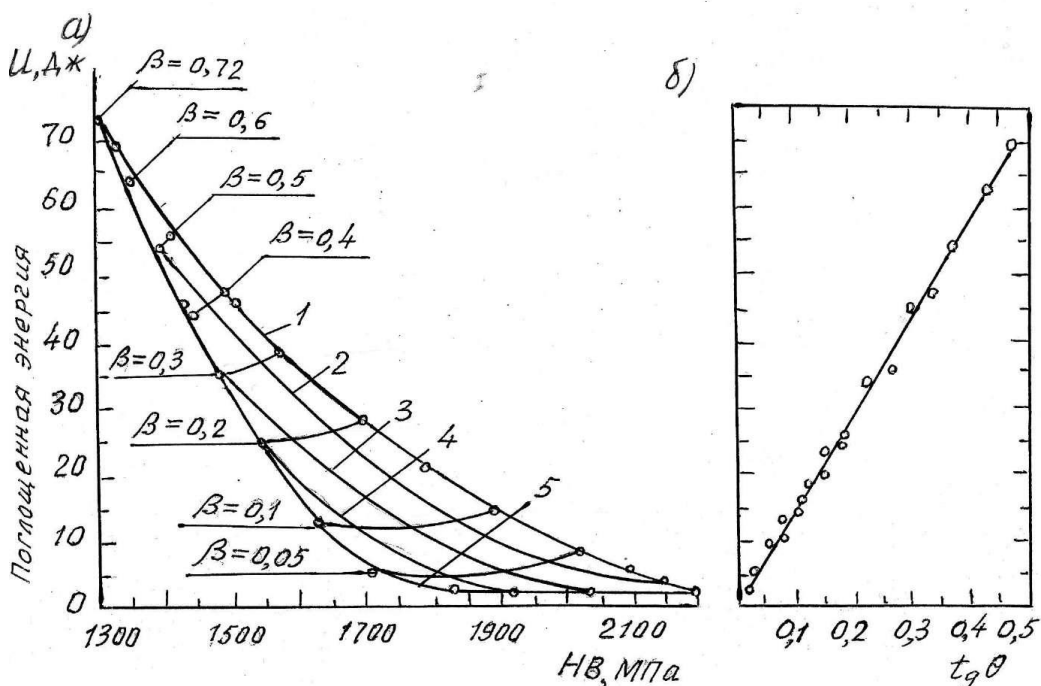


Рисунок 1. - Диаграмма хрупковязкого состояния стали ВСтЗсп5 (а) и зависимость поглощенной энергии от угла изгиба образца θ (б): 1-5 – температуры испытания: +20, 0, -20, -40 и -60°C соответственно.

На данном рисунке показаны диаграммы хрупковязкого состояния сталей, включающие в себя зависимости поглощенной энергии, как критерия энергоемкости

разрушения, от характеристик прочности, пластичности и температуры испытания. В указанных диаграммах характеристики материала проще определить через его твердость, и в связи с тем, что при пластическом прочносте выражены через твердость по Бринеллю. Это вызвано тем, что в реальной конструкции прочность деформировании материала его твердость возрастает, достигая максимального значения на поверхности разрушения.

При этом максимальное значение определяют по формуле

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

где HB_0 и θ – твердость по Бринеллю и относительное сужение стали в состоянии поставки.

Известно [2], что одним из наиболее удобных критериев оценки состояния стали является критерий β , выступающий одновременно как характеристика энергопоглощения и пластичности стали для исследуемого состояния, и определяемый по формуле

$$\beta = \frac{U}{A \cdot HB} = \frac{U \cdot C}{A \cdot \sigma_B} = \frac{a_H}{HB}, \quad (2)$$

где U – поглощенная энергия разрушаемым образцом, Н·мм; A – площадь сечения, мм²; HB – твердость стали для контролируемого состояния, МПа; C – коэффициент пропорциональности между ζ и HB по ГОСТ 22761-7; a_H – ударная вязкость, Н·мм/мм².

Значения β на диаграмме хрупковязкого состояния приведены на рисунок 1. Измеряясь в мм, значение β пропорционально прогибу ударного образца, или

$$y = K_\beta \cdot \beta, \quad (3)$$

где y – прогиб образца, мм; K_β – угловой коэффициент взаимосвязи между y и β .

Из геометрических размеров образца значение его прогиба, определяемого после совмещения его разрушенных половинок, определяется по формуле

$$y = \frac{l}{2} \sin \theta = 20 \sin \theta, \quad (4)$$

где $l = 40$ мм – расстояние между опорами копра; θ – угол изгиба образца.

Из формулы (2) с учетом (3) и (4) получаем формулу для определения поглощенной энергии

$$U = \frac{20 \cdot A \cdot HB}{K_\beta} \sin \theta, \quad (5)$$

С другой стороны известно [2], что полное значение поглощенной энергии разрушаемым образцом описывается уравнением

$$U = K_\Phi \cdot a_v b h^2 \operatorname{tg} \theta, \quad (6)$$

где $K_\Phi = (4 - 4,2)$ – коэффициент формы надреза для стандартного ударного образца типа I; a_v – удельная работа пластического деформирования, являющаяся константой для каждой конкретной плавки стали; $b = 10$, $h = 8$ мм – ширина и высота образца в сечении по надрезу.

Из формул (5) и (6) следует, что значение поглощенной энергии зависит от констант стали, ее прочности, пластичности и геометрических размеров образца. Важнейшим из

указанных факторов является значение угла изгиба образца, величину которого определяют по результатам стандартных испытаний при температуре +20°C, а из линейной зависимости между U и $\text{tg } \theta$ (рисунок 1 б) определяют значение углового коэффициента

$$K_{\theta} = \frac{U}{\text{tg } \theta}, \quad (7)$$

Значение удельной работы пластического деформирования определяем из совместного решения (5) и (7)

$$a_v = \frac{K_{\theta}}{K_{\phi} \cdot bh^2}, \quad (8)$$

Совместное решение (6) и (8) позволяет определить текущее значение угла изгиба образца $\text{tg } \theta$ и значение $\sin \theta$ - по формуле (5).

Для применения изложенного метода по теоретическому определению значений ударной вязкости или поглощенной энергии достаточно при испытании материалов на ударную вязкость при температуре +20°C дополнительно определить значение прогиба образца на длине между опорами копра $l = 40$ мм и значения угловых коэффициентов K_{β} и K_{θ} .

РЕЗЮМЕ

Рассмотрены взаимосвязи сертификатных механических характеристик материалов и их твердости со значениями поглощенной энергии (ударной вязкости) на основе диаграмм хрупковязкого состояния. Приведены теоретические формулы оценки ударной вязкости пригодные для образцов любой формы и размеров. По полученным формулам можно теоретически определять значения ударной вязкости как оценочного критерия состояния конструкции, не прибегая к вырезке образцов из исследуемой конструкции, а лишь используя значения максимальной твердости металла опасной зоны и сертификатные характеристики стали.

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. Жданович Г.М., Хмелёв А.А. //Проблемы прочности. 1981.-№1.-с.85-89.

SUMMARY

Considers the relationships of certificate of mechanical characteristics of materials and their hardness with the values of absorbed energy (toughness) based on the diagrams hрупkovyazkogo state. The theoretical formula assessing toughness suitable for samples of all shapes and sizes.

E-mail: orsi4.julia@gmail.com

Поступила в редакцию 19.09.2012