

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. Вольмир. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984 с.
2. И.Г. Терегулов. Сопротивление материалов и основы теории упругости и пластичности. – М.: Высшая школа, 1984. – 472 с.

УДК 621.762.4:539

В.А. Сидоров, А.А. Хмелев

ОБ ОЦЕНКЕ ЗНАЧЕНИЙ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Сосуды, работающие под давлением, элементы металлических конструкций грузоподъемных сооружений и некоторые 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 элементов. 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 для испытаний на ударную вязкость. По результатам последних испытаний принимается решение о выбраковке.

В данной работе предлагается метод теоретической оценки значений ударной вязкости, как браковочного критерия металла контролируемых элементов, только по результатам измерения твердости, без вырезки контрольных образцов для ударных испытаний. Для этого применяют известные диаграммы хрупковязкого состояния малоуглеродистых и низколегированных сталей при ударном изгибе [1].

На рис. 1, а такая диаграмма приведена для стали СтЗсп5. Она построена в координатных осях твердость по Брюнеллю – работа разрушения ударного образца.

Заготовки для образцов предварительно подвергаются растяжению при температуре +20°C до получения остаточной пластической деформации в 5, 10, 15% и до начала образования шейки. Испытания на ударный изгиб проводят на образцах из металла в состоянии поставки и для всех уровней предварительной деформации в интервале температур от +20 до минус 60°C.

Снижение работы разрушения и повышение твердости стали в состоянии поставки только от снижения температуры испытания характеризуется штриховой кривой диаграммы, на которой указаны температуры испытания. Аналогичные зависимости

для предварительно деформированного металла характеризуются кривыми 1–5. Начала кривых уровней предварительной пластической деформации отмечены на верхней кривой 1 диаграммы.

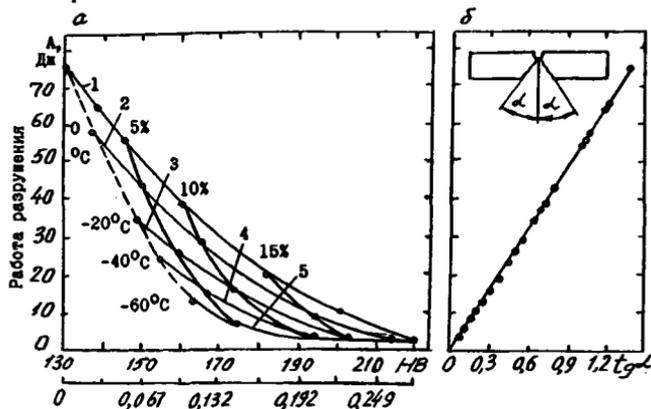


Рис. 1. Зависимость работы разрушения A от твердости по Бринеллю (а); и от тангенса угла α при ударном изгибе (б); 1–5 – температура испытания соответственно $+20, 0, -20, -40, -60^\circ\text{C}$; --- снижение работы разрушения и повышение твердости стали в состоянии поставки при снижении температуры

Дополнительно на оси абсцисс отложены значения уровней предварительной пластической деформации, вычисленных по формуле [2]

$$\epsilon_{np} = \delta_\alpha = \frac{d_0 - d_1}{d_1}, \quad (1)$$

где d_0 – диаметр отпечатка при измерении твердости по Бринеллю стали в состоянии поставки при температуре $+20^\circ\text{C}$, мм; d_1 – контрольный диаметр отпечатка, мм.

При контрольном измерении твердости можно определить уровень накопленной пластической деформации по формуле (1) и оставшийся ресурс пластичности

$$\epsilon_{oc} = \delta_3 - \delta_\alpha,$$

где δ_3 – сертификатное, или полученное в результате дополнительных исследований, значение относительного удлинения стали в состоянии поставки.

Результат расчета по формуле (2), в свою очередь, может служить браковочным критерием, если такой критерий предусмотрен соответствующей нормативно-технической документацией.

Практическое применение диаграммы хрупковязкого состояния (рис. 1а) для теоретического определения значений ударной вязкости затруднительно из-за сложной

нелинейной взаимосвязи между работой разрушения образца, температурой испытания, уровнем предварительной деформации и оставшейся пластичностью стали. поэтому для практического применения более удобным является вариант этой же диаграммы (рис. 1б). Здесь значение работы разрушения представлено в виде линейной зависимости от тангенса угла α в, так называемом, "потерянном объеме образца после совмещения его половинок после испытания [3].

Из рис. 1б, и по данным [3] следует, что значение работы разрушения ударного образца можно записать в виде зависимости

$$A = a_0 b h^2 \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где

$$a_0 = \frac{A}{b h^2 \operatorname{tg} \alpha} \quad (4)$$

– удельная работа пластического деформирования, Дж/м³; b и h – ширина и высота образца в сечении по надрезу, мм; $b h^2 \operatorname{tg} \alpha$ – объем пластически деформированной части образца в виде в виде клина после составления разрушенных половинок, мм³ (рис. 1б).

Для построения диаграммы (рис. 1б.) достаточно иметь результаты ударных испытаний стали в состоянии поставки только при температуре +20°C. По этим данным определяют и максимальное значение угла α после совмещения половинок образца, как показано на рис. 1б. После определения α определяют значение удельной работы пластического деформирования a_0 по формуле (4).

В свою очередь, значение a_0 является отдельной самостоятельной характеристикой стали, как величина ее энергоемкости, и является величиной постоянной для каждой конкретной плавки стали, не зависит от формы образца, скорости деформирования и температуры испытания, и может выполнять роль самостоятельного критерия качества стали [3].

Текущее значение $\operatorname{tg} \alpha$ в формуле (3) можно определить только экспериментальным путем. Поэтому для теоретической оценки значений ударной вязкости значение $\operatorname{tg} \alpha$ в указанной формуле следует заменить параметром, который можно определить непосредственно по результатам контрольных измерений твердости. В качестве такого параметра удобно принять значение истинного относительного удлинения, при котором происходит разрушение образца, и определяемого по формуле

$$e = \ln \frac{l_k}{l_n}, \quad (5)$$

где l_k, l_n – конечная и начальная длина базового участка, измеряемого по дну надреза ударного образца, мм.

Многочисленные исследования, по результатам которых построены диаграммы хрупковязкого состояния аналогичные приведенной на рис. 1,а показали, что на базе $l_k = 0,5$ мм истинное относительное удлинение практически совпадает со значением относительного поперечного сужения ψ , что дополнительно подтверждается и данными [4]. Значение ψ можно определить по результатам измерения твердости по Брюнеллю по формуле

$$\psi = \ln \frac{h_k}{h_{\min}}, \quad (6)$$

где h_k – глубина лунки отпечатка при контрольном измерении твердости, мм; h_{\min} – глубина лунки отпечатка, соответствующая максимальной твердости диаграммы (220 НВ, рис. 1,а), мм.

Взаимосвязь между ϵ и ψ для исследованной стали приведена в табл. 1.

Таблица 1

Взаимосвязь между истинным относительным удлинением ϵ и относительным поперечным сужением ψ , определяемым по значениям твердости

НВ	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
Глубина лунки, мм	0,74	0,68	0,63	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43
$\epsilon = \ln \frac{l_k}{l}$	0,56	0,45	0,35	0,32	0,25	0,20	0,15	0,08	0,04	0
$\psi = \ln \frac{h_k}{h_{\min}}$	0,53	0,45	0,37	0,32	0,25	0,199	0,14	0,08	0,036	0

Взаимосвязь между ψ и $\text{tg}\alpha$ приведена на рис. 2, которая описывается зависимостью

$$\text{tg}\alpha = 2,22\psi = k_\alpha \psi \quad (7)$$

С учетом зависимости (7), значение работы разрушения для образца из контролируемой по твердости зоны металла можно определить по формуле

$$A = k_\alpha a_0 b h^2 \psi, \quad (8)$$

где k_α – коэффициент, определяемый по данным рис. 1.2, отдельно для каждой конкретной плавки стали.

При экспериментальной проверке досоверности формулы (8), надрез в ударном образце следует наносить только по точкам измерения твердости, по которым определяли значение ψ .

В итоге, используя сертификатные данные механических свойств исследуемой стали, и по результатам измерения твердости контролируемых зон можно определить

значение ударной вязкости металла этих зон, как браковочного критерия. не прибегая к разрушающим методам контроля.

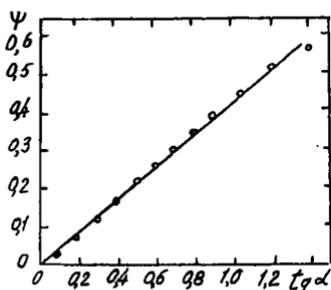


Рис. 2. Зависимость относительного поперечного сужения ψ от $tg\alpha$

ЛИТРАТУРА

1. Жданович Г.М., Хмелев А.А. О диаграмме хрупковязкого состояния малоуглеродистых сталей при ударном изгибе // Проблемы прочности.– 1981.– №1.– С.85–89.
2. Хмелев А.А., Сидоров В.А. Оценка остаточного ресурса пластичности стали методом измерения твердости//Материалы международной научн. техн. конф.– Мн., 2000.– Ч.5.–С. 28.
3. Хмелев А.А., Сидоров В.А. Об удельной работе пластического деформирования стали, как критерия оценки ее качества // Машиностроение. – Мн., 2000.– Вып.16.– С. 260–262.
4. Быков В.А. Пластичность, прочность и разрушение металлических судостроительных материалов. – “Судостроение”.– Л., 1974.– С. 38.

УДК 621.523:538.632

В. Г. Шепелевич

ДАТЧИК УГЛА ПОВОРОТА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

Современное развитие автоматизированных систем контроля и управления различными технологическими процессами, технологическое оснащение робототехнических комплексов характеризуется широким использованием разнообразных измерительных преобразователей для сбора информации о состоянии внешней среды, а также внутренним состоянием системы. Они разрабатываются на основе различных физических явлений [1]. В последнее время значительно вырос интерес к измерительным преобразователям на основе эффекта Холла. Благодаря им удается создать датчики, у