

Рис. 2. Система нерастворимых компонентов

Если взаимная растворимость компонентов А и В в жидком состоянии не ограничена, а в твердом состоянии отсутствует, то из одной жидкой фазы L при охлаждении выпадают две твердые фазы - кристаллы А и В (рис. 1). Кривая ликвидуса (геометрическое место температур начала кристаллизации) ABC и CD пересекаются в эвтектической точке С.

Жидкость, состав которой отвечает точке Е, затвердевает при постоянной температуре в тонкую смесь кристаллов А и С. Из жидкостей, состав которых лежит между А и С, при охлаждении начинают выпадать кристаллы  $\gamma$  (графит), вследствие чего содержание В ( $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ ) в жидкости увеличивается; когда её состав будет отвечать точке С, процесс закончится кристаллизацией эвтектики.

Точно так же происходит затвердевание жидкостей (железо — углерод), состав которых лежит между С и D', начинается выпадением кристаллов  $\text{Fe}_3\text{C}$  и заканчивается кристаллизацией эвтектики. Прямая ECF линией солидуса (геометрическое место температур конца кристаллизации). Температура эвтектической горизонтали ECF —  $1147^\circ\text{C}$  для расплава  $\gamma \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{C}$  и 17,28 ат %С.

Если взаимная растворимость А и В ( в нашем случае А соответствует железу Fe, а В — углероду С) в жидком состоянии не ограничена, а в твердом — ограничена, то в случае образования эвтектики последняя состоит из смеси двух твердых растворов  $\alpha$  и  $\text{Fe}_3\text{C}$ , предельные концентрации которых отвечают точкам Е и С при эвтектической температуре и точке S при комнатной [11].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников Н.Ф. "Структура и симметрия". Ежегодник. - М. -1969. - 208 с. 2. Блауберг И.В. и др. Становление и сущность системного подхода. - М. - 1973. - 170 с. 3. Аносов В.Я. Основные начала физико-химического анализа. - М. - 1976. - 503 с. 4. Курнаков Н.С. Избранные труды. Металловедение. Т.2. - М.- 1961. - 1961. - 611 с. 5. Гиббс Дж. Термодинамические работы. 6. Дервиинг В.П. и др. Правило фаз с изложением основ термодинамики. 7. Туманов А.Т. "Металловедение и термическая обработка металлов", №4.- 1972. - с.24. 8. Современные композиционные материалы. Пер. с англ. - М. - 1970. - 672 с. 9. Юм-Розери В., Рейнор Г.В. Структура металлов и сплавов. Пер. с англ.- М.- 1959. - 391 с. 10. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем. Т.1-2.- М.- 1962. - 982 с. 11. Шоршов М.Х. и др. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей. - М. - 1981. - 268 с.

УДК 620/178/7:669.14

Хмельёв А.А., Галуза И.М.

## О ЕДИНОЙ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ НАДРЕЗОВ ПРИ УДАРНОМ ИЗГИБЕ

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Испытания на ударный изгиб применяются с целью измерения сопротивления разрушению конструкционных материалов. Считается, что поведение материала в контрольных образ-

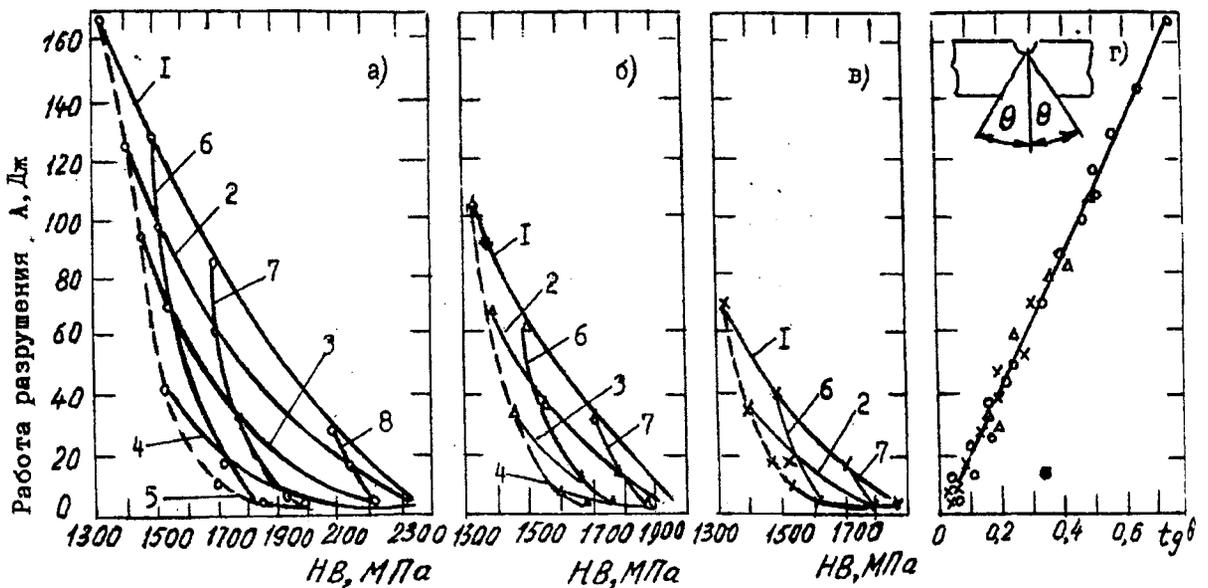
цах соответствует поведению материала у кончика предельно опасной трещины, вследствие чего это имитирует работу материала в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации.

Определяемые при испытаниях значения ударной вязкости, зависящие от температуры испытания, остроты надрезов и размеров образцов, в сочетании с высокой скоростью деформирования при разрушении, настолько усложняют напряжённое и деформированное состояние, что теоретический анализ ударной вязкости до сих пор не осуществлён. Кроме того, само значение ударной вязкости представляет собой лишь значение работы разрушения образца уменьшенное в масштабе на величину площади его сечения в надрезе.

Несмотря на недостаточную ясность прочностной трактовки ударной вязкости, методы её определения широко вошли в стандарты и технические условия на приёмку материалов, контроль готовых изделий, и в исследовании свойств материалов после аварий машин и механизмов.

В данной работе предлагается метод теоретической оценки значения работы разрушения ударных образцов независимо от остроты их надрезов и температуры испытания, исходя из общей энергетической закономерности их разрушения. При этом в качестве исходных данных используются данные сертификатных или послеаварийных исследований наиболее простых в изготовлении и наименее металлоёмких контрольных образцов.

Влияние остроты надреза образца на значение работы его разрушения в зависимости от температуры испытания, уровня предварительной пластической деформации и твёрдости приведены на рис.1 в виде диаграмм хрупковязкого состояния [1], построенных по результатам ударных испытаний образцов из стали 20 с радиусами надрезов в 1 мм, 0,25 мм и с усталостной трещиной (ГОСТ 9454-78 типы: 1, 10 и 15 соответственно).



### Твердость по Бринеллю

Рис.1. Диаграммы хрупковязкого состояния стали 20 для образцов типов I (а), II (б) и 15 (в) по ГОСТ 9454-78 и обобщенный вариант этих диаграмм (г); 1-5-температуры испытания соответственно +20; 0; -40; -60°C; 6-8 - уровни предварительной пластической деформации 5, 10% и до начала образования шейки при растяжении соответственно; --- снижение работы разрушения и повышение твёрдости стали в состоянии поставки от снижения температуры.

Практическое применение указанных диаграмм затруднительно из-за сложной взаимосвязи значений работы разрушения с остальными параметрами диаграмм. Поэтому для практического применения более удобным является вариант этих же диаграмм (рис.1,г) в виде зависимости работы разрушения образца, независимо от остроты его надреза, от тангенса угла изгиба образца, измеряемого путем совмещения половинок после его разрушения. Указанный вариант диаграммы позволяет получить аналитическую взаимосвязь между работой разруше-

ния образца, его размерами и стандартными механическими характеристиками материала.

Представим значение работы разрушения образца как сумму упругой и пластической ее составляющих

$$A = A_y + A_{пл}, \quad (1)$$

где  $A_{пл}$  - пластическая составляющая общей работы разрушения как сумма работ, затраченных на пластическое деформирование части объема образца, на образование и развитие трещины.

По данным [2], значение  $A_{пл}$  можно представить в виде

$$A_{пл} = a_v 4Bh^2 \tan \theta, \quad (2)$$

где  $a_v$  - удельная работа пластического деформирования, пластически деформированной части объема образца, являющаяся константой для каждой конкретной плавки стали, и не зависящая от формы, остроты надреза и размеров образца;  $h$  - высота сечения образца по надрезу;  $\tan \theta$  - угол изгиба образца, определяемый совмещением его половинок после разрушения;  $B$  - ширина образца.

Запас упругой энергии представим - в виде

$$A_y = \frac{\sigma^2}{2E} \cdot V = \frac{\sigma^2}{2E} \cdot LBH, \quad (3)$$

где  $V = LBH$  - объем образца на длине  $L$  между опорами копра.

Уравнение (1) с учётом (2) и (3) запишем в виде

$$A_y = \frac{\sigma^2}{2E} \cdot LBH + a_v 4Bh^2 \tan \theta. \quad (4)$$

Обозначив значение высоты образца в сечении по надрезу как долю его высоты вне надреза

$$h = K \cdot H, \quad (5)$$

и разделив уравнение (4) на объем образца, получаем

$$\frac{A}{V} - \frac{\sigma^2}{2E} = a_v \frac{4K^2 H}{L} \tan \theta, \quad (6)$$

Левую часть уравнения (6) обозначим через  $a_x$ , как удельную работу пластического деформирования всего объема образца

$$a_x = \frac{A}{V} - \frac{\sigma^2}{2E}, \quad (7)$$

и введём понятие коэффициента формы образца

$$K_v = \frac{4K^2 H}{L} = \frac{4 \cdot 0,8^2 \cdot 10}{40} = 0,64, \quad (8)$$

и являющимися постоянным числом для исследованной формы надреза образцов.

Тогда уравнение (6) с учётом (7) и (8) получим в виде

$$a_x = 0,64 a_v \tan \theta. \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что значение удельной энергии поглощённой разрушаемым образцом фактически зависит от двух величин: удельной работы пластического деформирования  $a_v$ , как константы материала, и тангенса угла изгиба образца, имеющего линейную зависимость от поглощённой энергии, рис.1,2.

Из анализа полученных результатов видно, что условие хрупкого или вязкого разрушения целиком обуславливает долей участия в разрушении пластически деформированного объёма образца, зависящего от угла его изгиба при разрушении,  $\tan \theta$ .

Теоретически значение  $\tan \theta$  можно определить из его взаимосвязи с предельной пластичностью стали. Трещина в тонком поверхностном слое надреза образуется тогда, когда максимальное значение деформации в этом слое становится равным истинному относительному удлинению материала при разрыве, связанному с относительным сужением зависимостью

$$\ln \frac{l_x}{l_0} = \ln \frac{1}{1-\psi}, \quad (10)$$

Считая, что нейтральная ось сечения по- надрезу проходит через половину его высоты, из уравнения (10) получаем

$$\tan \theta = \frac{2l_x}{h}, \quad (11)$$

Приняв значение  $l_0$  в уравнении (10), равным радиусу надреза образца  $l_0 = r$ , с учётом уравнения (11), получим

$$\tan \theta = \frac{2re^{\ln \frac{1}{1-\psi}}}{h}. \quad (12)$$

Анализ полученных результатов показывает, что исследованные стали переходят в хрупкое состояние, когда значение  $a_x$  в формулах (6) и (7) становится отрицательным. Что соответствует состоянию, когда запас упругой энергии в единице объёма образца превышает требуемый расход энергии на пластическое деформирование этого объёма.

По значению  $\tan \theta$ , как хрупкое можно оценивать состояние стали при котором  $\tan \theta < 0,1$ .

Для решения задачи о переходе конструкции в хрупкое состояние надо вводить в стандарты и технические условия на приемку материалов значения удельной работы пластического деформирования  $a_v$  и  $\tan \theta$  как сертификатные характеристики.

Применение предлагаемых результатов позволяет теоретически оценивать значения работы разрушения образцов различной формы и с различными концентраторами для оценки вязкости разрушения, и увязать их с поведением материала в конструкции. Это позволяет резко снизить мощность необходимых копров, снизить расходы по изготовлению крупных образцов, позволяя проводить испытания многих материалов на стандартном копре МК-30.

Результаты исследований позволяют сделать важный шаг в направлении получения характеристик разрушения, не зависящих от условий испытания

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев А.А., Сидоров В.А. Анализ хрупких разрушений конструкций из углеродистых сталей с помощью диаграмм хрупковязкого состояния // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сборник научно-методических статей.-Мн.: УП «Технопринт», 2002.-С.181-185.
2. Хмелев А.А., Сидоров В.А. Об удельной работе пластического деформирования стали, как критерии оценки ее качества // Машиностроение.-Вып. 16.-Мн.-2000.-С.260-26