



СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ОБРАЗЦОВ ШАРПИ И МЕНАЖЕ ПРИ ВЯЗКОМ РАЗРУШЕНИИ

В. П. ДЯДИН, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрен подход к аналитическому сопоставлению работ вязкого разрушения образцов Менаже и Шарпи и их составляющих. Предложена простая зависимость, позволяющая оценивать значения ударной вязкости образцов Шарпи по результатам испытания образцов Менаже на верхнем шельфе.

Ключевые слова: сварное соединение, ударная вязкость, удельная работа, образцы Шарпи и Менаже, содержание волокна в изломе, деформационное упрочнение, верхний шельф

Разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона новые подходы к определению характеристик вязкости разрушения (K_{Ic} , δ_{Ic} , T) по результатам стандартных испытаний образцов Шарпи [1–4] позволяют значительно расширить практическое применение критериев механики разрушения при проектировании и расчете конструкций на прочность. В этой связи особенно актуальной становится задача перехода на сдаточные испытания конструкционных материалов образцов Шарпи вместо образцов Менаже, что позволит, с одной стороны, привести в соответствие отечественные стандарты с европейскими и американскими нормами на изготовление конструкционных сталей, а с другой, разработать научно обоснованные требования к допускаемым минимальным значениям ударной вязкости основного металла и сварных соединений, необходимые для обеспечения надежности конструкции.

В отечественной практике обязательное определение ударной вязкости до недавнего времени осуществляли на образцах Менаже, что требовало проведения дополнительных испытаний образцов Шарпи. На практике последнее не всегда возможно, особенно, если это касается уже действующего оборудования.

В настоящей статье предпринята попытка на базе существующих экспериментальных и корреляционных зависимостей, полученных для удельных работ разрушения стандартных ударных образцов Шарпи и Менаже, проанализировать возможность существования стабильной связи между ними.

Работу в этом направлении можно разделить на две группы. К первой — относятся исследования, непосредственно направленные на установление корреляционной зависимости между ударной вязкостью стандартных образцов с концентраторами различной остроты. Ко второй — исследования, имеющие косвенное отношение к рассматриваемой задаче, но включающие результаты изучения общих закономерностей работ зарождения a_3 и распространения разрушения a_p при испытании на ударный изгиб.

Экспериментальному методу нахождения корреляционных связей между результатами ударных испытаний образцов этих типов посвящено значительное количество работ, некоторые из них представляют особый интерес. Так, в работе [5] по результатам исследования низколегированных сталей шести марок (09Г2С, 10Г2С1, 10ХСНД, 15ХСНД, 16Г2АФ) с толщиной листа 20 и 30 мм (ГОСТ 19282–73) и 12ГН2МФАЮ с толщиной листа 12 мм (ТУ 14-1-1772–76), а также их сварных соединений, выполненных проволоками Св-10НМА, Св-08ГА и Св-08ХН2ГМЮ, получена зависимость

$$a_V = (1,6 \cdot 10^{-5})a_U^3 - (1,5 \cdot 10^{-3})a_U^2 + (4,8 \cdot 10^{-1})a_U, \quad (1)$$

где a_V и a_U — ударная вязкость, определенная на стандартных образцах, изготовленных по ГОСТ 9454–78, соответственно типа 11 и 1. На рис. 1 представлены результаты испытаний. Здесь каж-

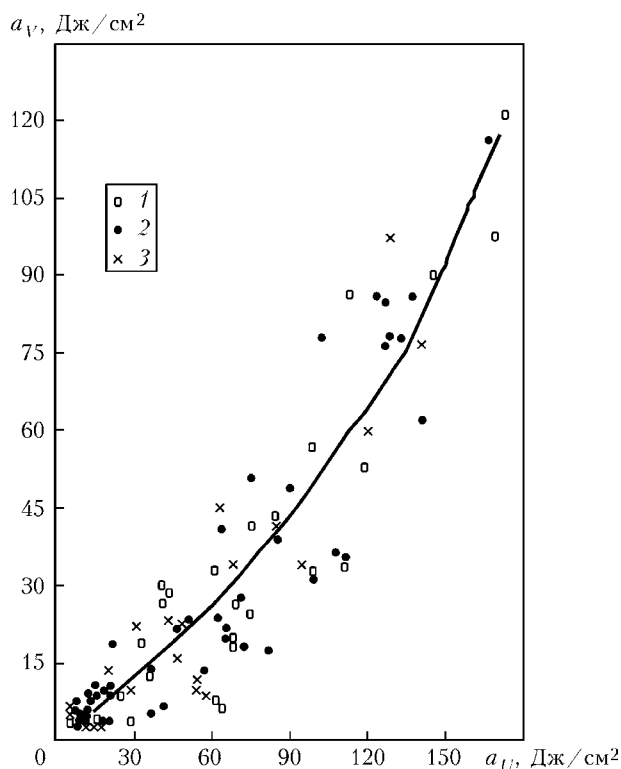


Рис. 1. Корреляционная зависимость (1) между ударной вязкостью образцов Шарпи и Менаже [5]: 1 — основной металл; 2 — металл шва; 3 — металл ЗТВ

дой точке соответствуют значения ударной вязкости при определенной температуре испытаний. Как видно из рис. 1, предложенная зависимость (1) в переходной области хрупкости дает неоправданно завышенные (в 4–5 раз) значения ударной вязкости a_V , что может привести к существенной ошибке, при расчете допускаемых напряжений в элементах конструкций с позиций механики разрушения [1–4]. Последнее находит свое подтверждение в работе [6], где доказано, что с понижением температуры испытаний чувствительность к остроте надреза исследуемых низколегированных сталей повышается, причем степень повышения зависит от марки стали. При этом значения ударных характеристик с повышением температуры испытаний понижаются (рис. 2). На основании полученных данных авторы работы [6] пришли к выводу о невозможности установления единого переходного коэффициента K , имеющего вид $a_V = Ka_U$. По всей видимости, это связано с рядом факторов, основным из которых является нарушение условия плоской деформации при испытании ударных образцов Менаже в переходной области температур. Результаты ударных испытаний образцов при хрупком разрушении показали, что относительное изменение отношений ударных характеристик также должно понижаться в связи с уменьшением работы зарождения разрушения. Это вытекает из более детального анализа результатов испытаний [6] при сопоставлении характера изменения минимальных значений ударной вязкости в зависимости от температуры (рис. 2).

Более простая корреляционная зависимость, связывающая изменение значений ударной вязкости стандартных образцов Шарпи и Менаже, дана в работе [7]:

$$a_U = 1,2a_V + b_{cp}, \quad (2)$$

где $b_{cp} = 32,5 \text{ Дж/см}^2$. С помощью зависимости (2), как считает ее автор, можно описать всю совокупность экспериментальных данных (исследовано более 15 марок низколегированных сталей) с отклонением от среднего $\Delta b = \pm 25,5 \text{ Дж/см}^2$. Аналогичная линейная корреляционная связь предлагается в работе [8], где излагаются результаты исследований корпусных листовых сталей марок R44-4a и R52-6a. Следует отметить, что зависимости типа (2) имеют ограниченное применение. Это связано с тем, что авторы вводят ограничение на значения ударной вязкости образцов Менаже — $a_U \geq 32,5 \text{ Дж/см}^2$. Кроме того, указанные корреляционные зависимости строили на основании обработки и анализа средних значений результатов испытаний на ударный изгиб, что также вносит дополнительную погрешность при оценке их минимальных значений.

В поисках новых методов определения работоспособности стали часто используется разделение ударной вязкости на составляющие [9–15]. В основном принято считать, что ударная вязкость a состоит из двух слагаемых, которые отражают основные этапы процесса разрушения: $a = a_z + a_p$. Так, некоторые авторы [9, 10] полагают, что удар-

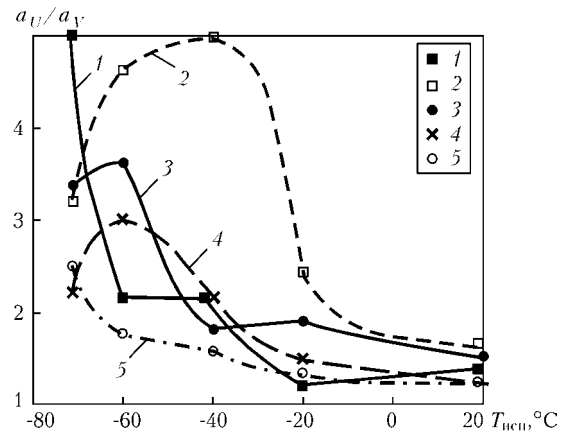


Рис. 2. Изменение отношений минимальных значений ударной вязкости a_U/a_V стандартных образцов Менаже и Шарпи в зависимости от температуры испытания: 1 — сталь 14Г2АФД; 2 — 15ХСНД; 3 — 12Г2МФТ; 4 — 15Г2АФД; 5 — 10ХСНД

ная вязкость образца с усталостной трещиной представляет собой работу развития разрушения, т. е. $a = a_p$. Однако, как отмечается в [11], разница между значениями работы a_p , определенными по методикам [9, 10], составляет 20...30%. По-видимому, это связано с тем, что принятая прямая зависимость между ударной вязкостью и радиусом надреза не всегда имеет место. Это находит подтверждение в работе [12], где показано, что в области надрезов с радиусом закругления менее 1 мм в ряде случаев наблюдается дискретный переход от вязкого к хрупкому разрушению.

Иной подход к разделению ударной вязкости предложили А. С. Рахманов и Л. С. Лившиц [13], которые считали, что образец сначала только деформируется (работа деформации), а затем только разрушается (работа разрушения). Интерес с точки зрения физического понимания процесса разрушения ударного образца и определения работы его развития представляют также работы [14, 15].

Особо следует отметить исследования Физико-механического института НАН Украины влияния структурных параметров на работу зарождения разрушения в зонах концентраторов напряжений различной остроты [16].

Рассмотренные выше работы отражают основные подходы к установлению возможных связей как для полных удельных работ разрушения между различными ударными образцами, так и для их составляющих. Выводы из полученных результатов можно свести к следующему.

Прежде всего следует ожидать, что соотношение удельных работ разрушения ударных образцов с различными концентраторами напряжений должно

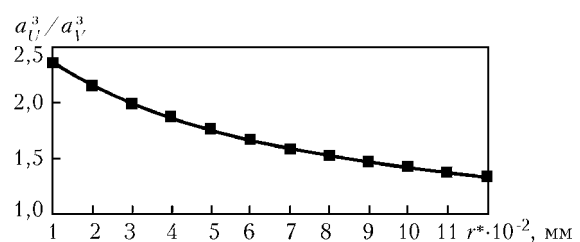


Рис. 3. Изменение удельных работ зарождения вязкого разрушения образцов Шарпи и Менаже в зависимости от структурного элемента r^*



зависеть от вида разрушения (вязкого, смешанного или хрупкого). При этом доминирующую роль, особенно в случае относительно «мягких» концентраторов напряжений, будут играть условия зарождения разрушения того или иного вида и соответственно удельная работа, затрачиваемая на этот процесс.

В случае, если распространение разрушения происходит по смешанному механизму (квазихрупкому), соотношение полных работ разрушения образцов Шарпи и Менаже может существенно отличаться прежде всего в силу того, что на своей начальной стадии развитие трещины в образце Менаже происходит в менее жестких условиях. Об этом свидетельствует различие в характере уменьшения значений ударной вязкости в зависимости от содержания волокна в изломах образцов Менаже и Шарпи в переходной области температур, что целесообразно учитывать при установлении соответствующих корреляционных связей.

Дополнительные трудности также связаны с тем, что в переходной области температур зарождение разрушения носит смешанный характер. В этом случае, как отмечал Г. А. Владимирский [12], наблюдается бимодальное «скачкообразное» изменение работы разрушения. Причем температура, при которой происходит это явление, в основном зависит от нарушения состояния условия плоской деформации. Естественно, что для образцов с различной остротой надреза эти процессы протекают по-разному. Если в образцах Шарпи скачкообразное изменение работы разрушения проявляется слабо и в инженерных целях может аппроксимироваться единой температурной кривой ударной вязкости, то в образцах Менаже имеет место ярко выраженный перелом этой кривой [12]. Последнее ставит под сомнение возможность установления единой корреляционной и аналитической связи во всем температурном интервале для ударных образцов Менаже и Шарпи.

Однако, поскольку при зарождении вязкого разрушения степень объемности напряженного состояния вблизи надреза не должна играть существенной роли, можно ожидать, что работа зарождения вязкой трещины будет зависеть от концентрации пластических деформаций в вершине надреза образца. В этом случае вполне допустимо существование достаточно устойчивых связей между работами зарождения вязкой трещины в образцах различных типов. Если при этом работа развития разрушения, связанная с фрактографическими особенностями изломов, не имеет существенных различий, то данное допущение может быть отнесено к полной удельной работе разрушения образцов. Имеющиеся результаты [6] (см. рис. 2) в качественном отношении как раз и являются подтверждением этого предположения.

Исходя из современных представлений, процессы зарождения и распространения вязкого разрушения характеризуются различными характеристиками трещиностойкости материала. В первом случае это могут быть деформационные характеристики механики разрушения, во-втором — критический угол раскрытия вязкой трещины T . Учи-

тывая также, что критический угол раскрытия вязкой трещины T определяется соотношением раскрытия трещины δ_{Ic} и размером зоны предразрушения [3], появляется возможность аналитического выражения полной работы разрушения ударного образца с различными радиусами закругления через деформационную характеристику вязкости разрушения [4].

На первом этапе рассмотрим решение данной задачи в квазистатической постановке.

Как отмечалось в работе [17], соотношение Нейбера, в соответствии с которым произведение коэффициентов концентрации напряжений и деформаций в нелинейной области равно квадрату концентрации упругих напряжений, может быть использовано для анализа условий вязкого разрушения образца Шарпи. Критические деформацию и угол изгиба $\theta_{1к}$ образца Шарпи в момент зарождения вязкой трещины можно выразить следующим соотношением:

$$(\epsilon_f/\epsilon_T)^{1+n} = K_V^2(1 + 4r^*/\rho_V)^{-1} [\theta_{1к}/(3\epsilon_T)]^{1+n}, \quad (3)$$

где ϵ_f — критическая локальная пластическая деформация на расстоянии r^* от вершины надреза образца Шарпи (значение r^* принимается в работе [17] равным характерному размеру структурного элемента — 0,06 мм); ϵ_T — деформация, соответствующая пределу текучести; K_V — коэффициент концентрации упругих напряжений в вершине надреза образца Шарпи, равный 3,44 [18]; ρ_V — радиус надреза образца Шарпи, равный 0,25 мм; n — деформационное упрочнение материала.

В этом случае после определения изгибающих моментов при условии общей текучести и распространении разрушения удельную работу зарождения разрушения образца Шарпи и удельную работу распространения вязкой трещины с учетом [2] можно представить в виде следующих зависимостей [17]:

$$a_V^3 = [\theta_{1к}/(3\epsilon_T)]^{1+n}(B-L)k_13\epsilon_T\sigma_{0,2}/[4(1+n)], \quad (4)$$

$$a_V^p = [\theta_{1к}/(3\epsilon_T)]^n(B-L)k_2\sigma_{0,2}(\sigma_B/\sigma_{0,2})^n/[4(1-n)^2], \quad (5)$$

где a_V^3 — удельная работа в момент зарождения разрушения образца Шарпи при статическом нагружении; a_V^p — удельная работа распространения вязкой трещины в образце Шарпи; $(B-L)$ — высота образца под надрезом, равная 8 мм; k_1 — коэффициент стеснения для образца Шарпи, равный 1,25 [9]; k_2 — средний коэффициент стеснения для образца Шарпи в момент развития разрушения, равный 1,26.

Подходы, используемые для получения данных зависимостей, могут быть применимы и для анализа разрушения образца Менаже. Так, с учетом того, что коэффициент концентрации упругих напряжений в вершине надреза образца Менаже $K_U = 2,1$ [18], а радиус закругления составляет 1 мм, соотношение Нейбера для образца Менаже в случае достижения критических деформаций можно записать в виде



$$(\varepsilon_f/\varepsilon_T)^{1+n} = K_U^2(1 + 4r^*/\rho_U)^{-1}[\theta_{2k}/(3\varepsilon_T)]^{1+n}, \quad (6)$$

где θ_{2k} — критический угол изгиба образца Менаже в момент зарождения вязкой трещины.

Предполагая, что зарождение разрушения должно происходить при одинаковых деформациях в некотором объеме материала (в данном случае принимается равным r^*), из равенства левых частей зависимостей (3) и (6) можно определить связь между критическими углами изгиба образцов Менаже и Шарпи:

$$\theta_{2k}/\theta_{1k} = [(K_V^2(1 + 4r^*/\rho_U))/(K_U^2(1 + 4r^*/\rho_V))]^{1/(1+n)}. \quad (7)$$

Принимая во внимание, что коэффициент стеснения для образца Менаже $k_3 = 1,225$ [19], удельная работа зарождения может быть выражена следующей зависимостью:

$$a_U^3 = [\theta_{2k}/(3\varepsilon_T)]^{1+n}(B - L)k_3^3\varepsilon_T\sigma_{0,2}/[4(1+n)]. \quad (8)$$

С учетом (7) соотношение между удельными работами зарождения разрушения образцов Менаже и Шарпи представляется в виде

$$a_U^3/a_V^3 = (k_3/k_1)(K_V/K_U)^2(1 + 4r^*/\rho_U)/(1 + 4r^*/\rho_V). \quad (9)$$

Как видно из (9), отношение удельных работ зарождения вязкого разрушения образцов Менаже и Шарпи зависит только от размера структурного элемента r^* . Зависимость отношения удельных работ зарождения вязкого разрушения образцов Шарпи и Менаже от r^* , полученная по (9), показана на рис. 3.

Следующим шагом в определении аналитической связи между работами разрушения образцов Шарпи и Менаже является рассмотрение удельных работ распространения вязкой трещины в образцах этих типов при статическом нагружении. В этом случае для анализа развития вязкого разрушения в качестве критерия сопротивления материала распространению вязкой трещины используется критический угол раскрытия стабильной трещины [2]. Тот факт, что его значение практически остается постоянным при стабильном развитии трещины существенно облегчает решение данной задачи и позволяет работу развития разрушения образца Шарпи описать с помощью (5). Как видно из данного выражения, удельная работа развития разрушения зависит от критического угла прогиба образца, соответствующего моменту зарождения разрушения. Отсюда следует, что выражение (5) также может быть использовано и для анализа работы развития вязкого разрушения образца Менаже:

$$a_V^p = [\theta_{2k}/(3\varepsilon_T)]^n(B - L)k_2\sigma_{0,2}(\sigma_B/\sigma_{0,2})n/[4(1 - n)^2]. \quad (10)$$

Из (5) и (10) с учетом зависимости (7) следует

$$a_U^p/a_V^p = [(K_V/K_U)^2(1 + 4r^*/\rho_U)/(1 + 4r^*/\rho_V)]^{n/(1+n)}. \quad (11)$$

Как видно из (11), отношение удельных работ развития вязкого разрушения в образцах Шарпи и Менаже зависит от коэффициентов концентрации упругих напряжений в вершинах надрезов и размера структурного элемента r^* . Что касается оп-

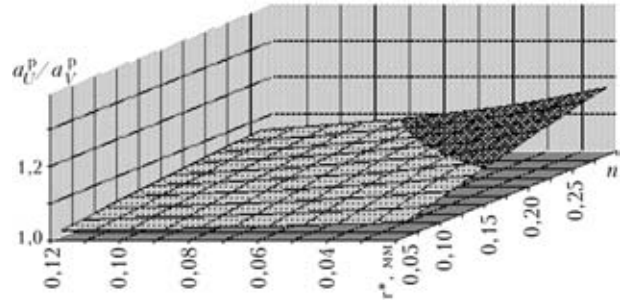


Рис. 4. Изменение удельных работ развития вязкого разрушения образцов Шарпи и Менаже в зависимости от структурного элемента r^* и деформационного упрочнения n по (11)

ределения характерного размера структурного элемента r^* , то здесь необходимо учитывать некоторую условность, связанную с неопределенностью понятия «зарождение вязкого разрушения», которое может включать различные стадии нарушения сплошности материала, начиная от образования отдельных микротрещин или пор и их систем и кончая развитием макроскопической трещины, экспериментально фиксируемой при испытании материалов на трещиностойкость. В этих случаях размеры таких дефектов незначительны и для большинства конструкционных сталей и их сварных соединений составляют от 40 до 120 мкм.

Так, учитывая, что характеристика деформационного упрочнения материала $n < 0,25$, правая часть выражения (11) близка к 1,0 (рис. 4). Это подтверждает примерное равенство удельных работ распространения вязкого разрушения в образцах Менаже и Шарпи.

Исходя из зависимостей (4), (5) и (8), (10) полные работы разрушения соответственно образцов Шарпи и Менаже могут быть выражены через их удельные работы развития разрушения:

$$a_V = a_V^3 + a_V^p = a_V^p[(k_1/k_2)(\sigma_{0,2}/\sigma_B)[(1 - n)^2/(n(1 + n))]\theta_{1k} + 1]; \quad (12)$$

$$a_U = a_U^3 + a_U^p = a_U^p[(k_3/k_2)(\sigma_{0,2}/\sigma_B)[(1 - n)^2/(n(1 + n))]\theta_{2k} + 1]. \quad (13)$$

С учетом соотношений (7) и (11) связь между удельными работами развития вязкого разрушения образцов Шарпи и Менаже при статическом нагружении можно записать следующим образом:

$$a_U/a_V = \left[\frac{K_V^2}{K_U^2} \frac{1 + 4r^*/\rho_U}{1 + 4r^*/\rho_V} \right]^{1+n} \times \frac{\frac{k_3\sigma_{0,2}(1 - n)^2}{k_2\sigma_B n(1 + n)} \left[\left(\frac{K_V^2}{K_U^2} \frac{1 + 4r^*/\rho_U}{1 + 4r^*/\rho_V} \right)^{\frac{1}{1+n}} \theta_{1k} + 1 \right]}{\frac{k_1\sigma_{0,2}(1 - n)^2}{k_2\sigma_B n(1 + n)} \theta_{1k} + 1}. \quad (14)$$



Из зависимости (6) и работы [2] (в этом случае за ϵ_f принимается деформация, соответствующая потере пластической устойчивости материала) вытекает

$$\theta_{1к} = [3n/(1-n)][(1+4r^*/\rho_V)/K_V^2]^{1/(1+n)} \quad (15)$$

Подставляя (15) в выражение (14), получаем

$$a_U/a_V = \left[\frac{K_V^2}{K_U^2} \frac{1+4r^*/\rho_U}{1+4r^*/\rho_V} \right]^{1+n} \times \frac{3k_3 \left(\frac{1+4r^*/\rho_U}{K_U^2} \right)^{1+n} + \frac{\sigma_B(1+n)}{\sigma_{0,2}(1-n)}}{\frac{3k_1 \left(\frac{1+4r^*/\rho_V}{K_V^2} \right)^{1+n} + \frac{\sigma_B(1+n)}{\sigma_{0,2}(1-n)}}} \quad (16)$$

Как видно из (16), отношение удельных работ вязкого разрушения образцов Шарпи и Менаже в этом случае зависит от структурного элемента r^* , механических характеристик $\sigma_{0,2}$, σ_B и деформационного упрочнения n . Что касается последнего, то, как уже отмечалось в работах [2, 20], эта характеристика может быть определена с достаточной для инженерных целей точностью из зависимости:

$$n = 0,222 \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} - 0,182 \quad (17)$$

Следует отметить, что выражение (17) является эмпирическим и применимо при $n \geq 0,04$. Это необходимо учитывать при дальнейшем анализе.

Таким образом, используя (17), а также, подставив числовые значения упругой концентрации напряжений в вершинах надрезов и радиусов кривизны в выражение (16), можно записать

$$a_U/a_V = \left[2,683 \frac{1+4r^*}{1+16r^*} \right]^{1+n} \times \frac{2,916 \left(\frac{1+4r^*}{2,1^2} \right)^{1+n} + \frac{(n+0,182)(1+n)}{0,222(1-n)}}{2,976 \left(\frac{1+16r^*}{3,44^2} \right)^{1+n} + \frac{(n+0,182)(1+n)}{0,222(1-n)}} \quad (18)$$

Характер поведения данной зависимости представлен на рис. 5. Как видно из рис. 5, в диапазоне возможных изменений значений деформационного упрочнения n и параметра r^* отношение полных удельных работ вязкого разрушения образцов Менаже и Шарпи изменяется в довольно узком диапазоне — 1,13...1,33.

Полученная квазистатическая зависимость (18) распространяется и на случай динамического нагружения исходя из следующих соображений: кри-

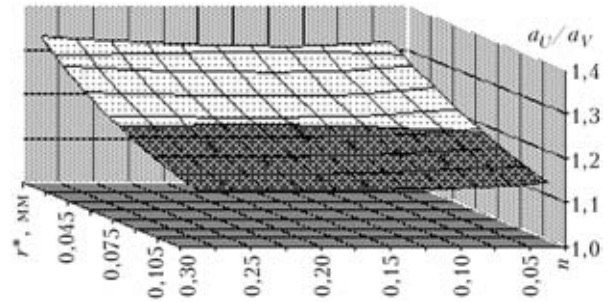


Рис. 5. Изменение значений отношения ударной вязкости разрушения стандартных образцов Менаже и Шарпи в зависимости от структурного элемента r^* и деформационного упрочнения n

тическая деформация, соответствующая зарождению вязкой трещины, слабо зависит от скорости нагружения; как следует из рис. 5, отношение a_U/a_V практически не зависит от значений деформационного упрочнения n .

В качестве примера достаточно показательными могут быть экспериментальные данные, полученные в ИЭС им. Е. О. Патона при исследовании сварных швов, выполненных проволоками Св-08А, Св-08Г2С, Св-10Г2 и Св-10ГСМТ под флюсом АН-43 при сварке рулонной стали 08Г2СФБ. Механические свойства рассмотренных сварных соединений приведены в таблице. Сопоставление изменений отношений минимальных и максимальных значений ударной вязкости образцов Менаже и Шарпи в зависимости от содержания волокна в изломе образцов Шарпи при одинаковых температурах испытаний F_V представлены на рис. 6.

Как видно из рис. 6, относительное изменение значений ударной вязкости a_U/a_V рассматривае-

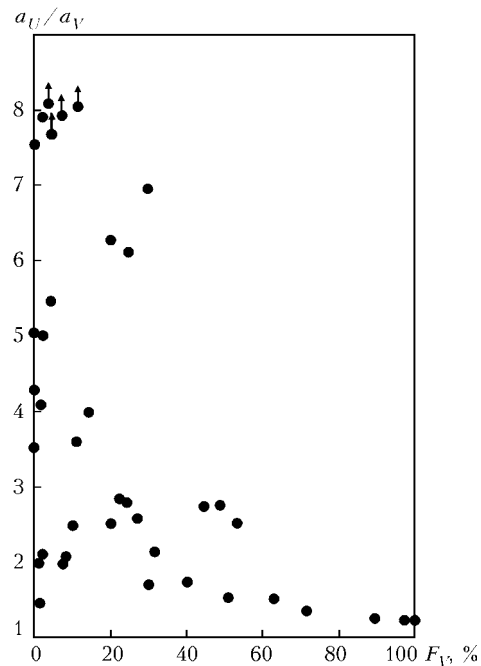


Рис. 6. Изменение отношения значений ударной вязкости стандартных образцов Менаже и Шарпи, изготовленных из сварных соединений, выполненных различными малоуглеродистыми и низколегированными проволоками (Св-08А, Св-08Г2С, Св-10Г2 и Св-10ГСМТ) под флюсом АН-43 при сварке рулонной стали 08Г2СФБ, в зависимости от содержания волокна F_V в изломе образцов Шарпи



Механические свойства металла шва сварных соединений, полученных при сварке под флюсом АН-43 ($T_{исп} = 20\text{ }^\circ\text{C}$)

Сварочные материалы	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Св-08Г2С	610	487	25,3	67,9
Св-10ГСМТ	574	464	26,6	72,5
Св-10Г2	482	387	28,5	70,8
Св-08А	532	436	22,8	60,9

мых образцов в области с содержанием волокна в изломе образца Шарпи более 60 % достаточно хорошо согласуется с расчетными значениями.

Выводы

1. Полученные аналитические зависимости позволяют проанализировать изменения удельных работ зарождения и распространения вязкого разрушения в образцах Шарпи и Менаже в зависимости от структурного элемента r^* и деформационного упрочнения n .

2. Аналитически подтверждено наличие связи между удельными работами вязкого разрушения образцов Менаже и Шарпи и получена простая инженерная зависимость.

1. Гиренко В. С., Дядин В. П. Зависимости между ударной вязкостью и критериями механики разрушения δ_{IC} , K_{IC} конструкционных сталей и их сварных соединений // Автомат. сварка. — 1985. — № 9. — С. 13-20.
2. Гиренко В. С., Дядин В. П. Корреляция характеристик трещиностойкости материалов и сварных соединений с результатами стандартных механических испытаний // Там же. — 1990. — № 6. — С. 1-4.
3. Girenko V. S., Dyadin V. P. Relationships between the impact strength and fracture mechanics criteria δ_{IC} and K_{IC} of structural steels and their welded joints // Fracture mechanics: Successes and problems: coll. of abstr. of ICF-8, Kiev, July 8-14, 1993. — Lviv, 1993. — P. 2. — P. 564.
4. Гиренко В. С. Некоторые подходы к оценке статической трещиностойкости металлических материалов и сварных соединений // Автомат. сварка. — 1995. — № 9. — С. 74-77.
5. Сравнение критических температур хрупкости, определенных на образцах с различными концентраторами напряже-

ний / В. Е. Башмаков, М. Н. Георгиев, В. П. Колодюк, Н. Я. Межова // Завод. лаб. — 1983. — № 9. — С. 77-81.

6. Шишкин В. Ю., Макурин В. А., Ефимов П. И. О форме надреза в ударных образцах и значениях ударной вязкости // Там же. — 1987. — № 3. — С. 71-74.
7. Баско Е. М. Влияние остроты надреза на ударную вязкость и критические температуры хрупкости строительных сталей // Там же. — 1989. — № 7. — С. 73-77.
8. Сафта В., Бернат А., Мойса Т. Связь между характеристиками динамической вязкости разрушения // Там же. — 1981. — № 7. — С. 72-75.
9. Дроздовский Б. А., Фридман Я. Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей. — М.: Металлургиздат, 1960. — 324 с.
10. Гуляев А. П. Разложение ударной вязкости на ее составляющие по данным испытания образцов с разным надрезом // Завод. лаб. — 1967. — № 4. — С. 43-47.
11. Георгиев М. Н., Попова Л. В. Сравнение методов разделения ударной вязкости // Там же. — 1969. — № 5. — С. 605-611.
12. Владимировский Т. А. К вопросу о разложении ударной вязкости на ее составляющие // Там же. — 1969. — № 5. — С. 612-615.
13. Рахманов А. С., Лившиц Л. С. О роли остроты надреза при испытании на ударную вязкость // Там же. — 1959. — № 12. — С. 1502-1504.
14. Шермазан И. В., Зеленова В. Д. Сопоставление различных методов разделения ударной вязкости // Там же. — 1969. — № 5. — С. 611-612.
15. Гуляев А. П. Об определении работы распространения трещины // Там же. — 1970. — № 12. — С. 1494-1497.
16. Panasyuk V. V., Romaniv O. M. Charpy and fracture toughness data: limitations and advantages in evaluation of the embrittlement of metals // ESSIS, Charpy centenary conf., poitiers, Oct. 2-5, 2001, Paris. — Paris, 2001. — Vol. 2. — P. 603-610.
17. Гиренко В. С. Расширение областей применения механики разрушения при оценке трещиностойкости элементов сварных конструкций в условиях статического нагружения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / АН Украины. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. — Киев, 1997. — 35 с.
18. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений. — М.: Мир, 1977. — 302 с.
19. Качанов Л. М. Основы теории пластичности. — М.: Гостехиздат, 1956. — 324 с.
20. Дядин В. П. Разработка метода оценки сопротивления материалов и сварных соединений стабильному росту трещин в условиях статического нагружения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / АН Украины. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. — Киев, 1998. — 20 с.

Approach to analytical comparison of tough fracture energies of Mesnager and Charpy specimens and their components is considered. Simple relationship allowing the values of impact toughness of the Charpy specimens to be determined from the results of testing the upper shelf of the Mesnager specimens is suggested.

Поступила в редакцию 14.03.2003,
в окончательном варианте 30.05.2003