

ВЫБОР КОНТРОЛЬНЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ

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

Предложен новый подход к оценке величины критического раскрытия трещины в зависимости от величины предварительного деформирования материала трубопровода при вязком разрушении с учетом разработанных ранее критериев механики разрушения применительно к определению характеристик трещиностойкости и стабильного роста трещины. Проведен анализ полученных аналитических зависимостей и определены основные параметры, характеризующие их изменения. Предложена инженерная зависимость, позволяющая оценить возможный рост дефекта по результату ударной вязкости образца Шарпи на верхнем шельфе в зависимости от степени пластического деформирования конструкционных сталей и их сварных соединений. На базе разработанных зависимостей предложен принципиально новый подход к выбору мест шурфования при диагностическом обследовании магистральных трубопроводов.

A new approach is proposed for assessment of the value of critical crack opening displacement, depending on the extent of pre-deformation of pipeline material at tough fracture, allowing for earlier developed fracture mechanics criteria for determination of crack resistance characteristics and stable crack growth. Analysis of the derived analytical dependencies was performed and main parameters characterizing their changes were determined. An engineering dependence is proposed that allows assessment of possible defect growth by the result of impact toughness of Charpy sample on the upper shelf, depending on the degree of plastic deformation of structural steels and their welded joints. Proceeding from the developed dependencies, a fundamentally new method is proposed for selection of points for digging holes at diagnostic study of main pipelines.

В настоящее время существенно ужесточены требования к срокам остановки газопроводов для проведения капитального ремонта по результатам диагностики. Так, некоторые участки газопроводов могут быть остановлены лишь на короткий период и в сроки, определяемые не готовностью к проведению ремонтных работ, а возможностью обеспечения транспортировки необходимых объемов газа. В то же время в связи со старением трубопроводной системы и для обеспечения надежности и безопасности ее эксплуатации необходимо увеличивать объемы диагностических и ремонтных работ.

В сложившейся ситуации разработка оптимальных подходов к поиску потенциально опасных участков трубопроводов имеет первостепенное значение. Правильный выбор таких участков повысит надежность и сократит сроки простоя магистралей.

Вместе с тем существует множество факторов, которые являются причиной аварий в трубопроводном транспорте. Так, в Японии [1] был проведен анализ 384 случаев аварий трубопроводов и металлоконструкций различного назначения, эксплуатируемых в течение 30–50 лет. Основные причины повреждений исследованного оборудования, находящегося в критическом состоянии, и их количество по состоянию на 2008 г. показаны на рис. 1.

По оценке специалистов доля повреждений оборудования и трубопроводов по причине фи-

зического характера и человеческого фактора значительно доминируют над остальными.

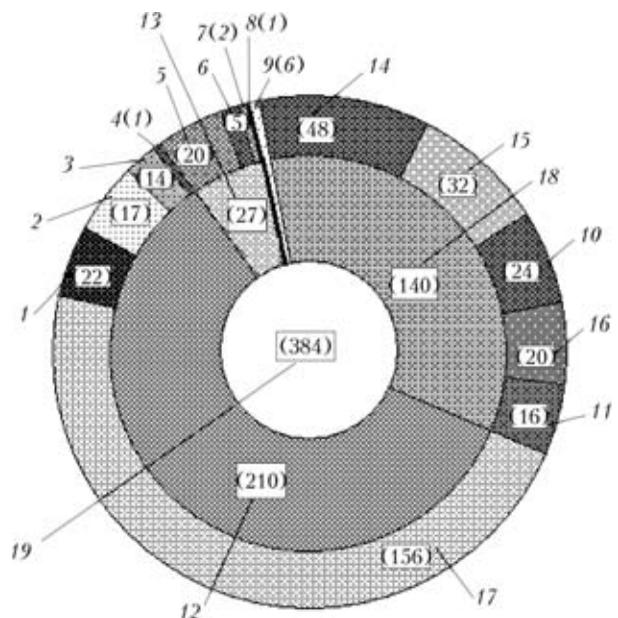


Рис. 1. Причины повреждения оборудования, находящегося в критическом состоянии, и их количество (в скобках) [1]: 1 — поломка; 2 — авария; 3 — неудовлетворительное качество работ; 4 — ошибки в проектировании; 5 — коммуникации; 6 — хулиганство; 7 — землетрясение; 8 — не выяснены; 9 — при проверке; 10 — нарушение гарантированных условий; 11 — неправильное проведение работ; 12 — причины физического характера; 13 — другие причины; 14 — несоблюдение правил приемки; 15 — неудовлетворительный визуальный контроль; 16 — неправильная эксплуатация; 17 — коррозионные повреждения; 18 — человеческий фактор; 19 — количество аварий

В общем случае, если исключить человеческий фактор, практически все дефекты можно разбить на две основные группы: технологические — связанные с изготовлением и монтажом трубопровода, и эксплуатационные — развивающиеся в процессе эксплуатации.

В подавляющем большинстве случаев возникновения предаварийных и аварийных ситуаций в трубопроводном транспорте происходит из-за наложения технологических и эксплуатационных причин.

Так, анализ результатов диагностических работ показывает, что стресс-коррозионные и коррозионные дефекты располагаются вдоль газопроводов не равномерно, а группируются на отдельных локальных участках протяженностью от 20...30 м до нескольких километров. Практически на всех таких участках при детальном их обследовании наблюдаются отклонения прочностных свойств труб, связанные с нарушениями технологии их изготовления или монтажа.

В случае своевременного обнаружения этих отклонений от нормы более 90 % таких дефектов могут быть устранены без выбраковки труб (контролируемой шлифовкой или заваркой), что позволило бы значительно сократить трудоемкость, время ремонта и количество заменяемых труб.

Коррозионные повреждения как одна из причин аварии чаще всего наблюдаются в трубопроводах с тепловой изоляцией, что затрудняет их контроль в процессе эксплуатации и требует новых эффективных способов [2, 3], например, так называемых низкочастотных методов УЗ-контроля, не требующих сканирования поверхности протяженного объекта [3].

Даже использование диагностического оборудования в полном объеме по всей протяженности газопровода не дает гарантии выявления всех типов дефектов. Например, несплошности, расположенные по линии сплавления продольных сварных швов с основным металлом труб и залегающие на различных глубинах, плохо выявляются внутритрубными снарядами-дефектоскопами, которые являются основными средствами технической диагностики магистральных трубопроводов. Отсюда следует, что даже при применении современных средств диагностики для всей магистрали существует достаточно большая вероятность пропуска отдельных, в том числе и опасных дефектов. Поэтому важно проанализировать особенности монтажа и условия эксплуатации трубопровода и выделить участки, где возможно развитие того или иного типа дефекта.

Выделение таких областей позволит минимизировать выбор необходимого диагностического оборудования, сконцентрировать его на определенных участках трубопровода, уменьшить вероятность пропуска опасного дефекта.

В настоящее время выбор мест шурфования для диагностического контроля трубопроводов определяется состоянием его изоляции и интуицией инспектора без учета технологических и эксплуатационных особенностей. Это касается как трубопроводов, так и других ответственных сооружений.

В данной статье предлагается с учетом существующих критериев механики разрушения учесть некоторые технологические особенности изготовления и монтажа трубопровода, которые могут вызвать как появление, так и рост дефекта в процессе его эксплуатации.

Известно, что наиболее распространенной проблемой сварных конструкций является не только наличие дефектов в сварном шве, но и снижение прочностных свойств, значений ударной вязкости в околосварной зоне сварного соединения. К основным причинам, вызывающим данные изменения, в первую очередь следует отнести влияние термического воздействия и термопластических деформаций, протекающих в околосварной зоне, подгибку кромок при их вальцовке и возможную деформацию труб при монтаже. Все это является причиной появления основной массы дефектов в процессе эксплуатации именно в этих зонах.

Частично данная проблема рассмотрена в работе [4], где дана оценка величины ударной вязкости a_v образца Шарпи в зависимости от степени предварительного пластического деформирования металла.

Работа [4] является продолжением работ [5, 6], где исследуется влияние предварительного деформирования материала на характеристику вязкости разрушения δ_{IC} , и позволяет связать все характеристики воедино.

Исходя из данных, приведенных в работах [5, 6], деформационные характеристики вязкости разрушения δ_i и δ_g на верхней полке (в вязком состоянии) определяются зависимостями:

$$\delta_i = 0,5A a_{v,max}/\sigma_{0,2} \quad (1)$$

$$\delta_g = \delta_i + \Delta L (\sigma_B/\sigma_{0,2})(n/(1-n)^2), \quad (2)$$

где δ_i — критическое раскрытие трещины в момент ее срагивания в вязком состоянии; δ_g — значение критического раскрытия, определенное с учетом стабильного роста трещины на величину ΔL ; A — коэффициент корреляции (для низколегированных и малоуглеродистых сталей для простоты дальнейших выкладок принимаем его равным 0,1); $\sigma_{0,2}$ — предел текучести материала (кгс/мм²); $n = \varepsilon_B/(1 + \varepsilon_B)$ — величина деформационного упрочнения материала; $a_{v,max}$ — значение ударной вязкости на верхнем шельфе стандартного образца Шарпи (Дж/см²).

Выражения (1), (2) с физической точки зрения позволяют оценить сопротивление трубных сталей стабильному росту вязкой трещины в зависимости от расчетных перемещений берегов трещины δ_g . Так, на рис. 2 представлен график сопротивления различных классов трубных сталей стабильному росту трещин в вязком состоянии в зависимости от их прочностных характеристик. Как видно, сопротивление сталей росту стабильной трещины резко падает с ростом характеристики $\sigma_{0,2}/\sigma_B$.

В случае предварительного деформирования материала на величину ϵ характеристики трещиностойкости $\delta_i^{(\epsilon)}$, $\delta_g^{(\epsilon)}$ в момент инициирования вязкого разрушения и стабильного роста трещины по аналогии с (1), (2) определяются следующими зависимостями:

$$\delta_i^{(\epsilon)} = 0,5A a_{v,max} / \sigma_{0,2}^{(\epsilon)}, \quad (3)$$

$$\delta_g^{(\epsilon)} = \delta_i^{(\epsilon)} + \Delta L (\sigma_B^{(\epsilon)} / \sigma_{0,2}^{(\epsilon)}) (n^* / (1 - n^*)^2), \quad (4)$$

где $\delta_i^{(\epsilon)}$ — критическое раскрытие трещины в момент ее страгивания после предварительного деформирования материала образца на величину ϵ ; $a_{v,max}^{(\epsilon)}$ — удельная ударная вязкость на верхней полке образца Шарпи после предварительного деформирования материала на величину ϵ ; $s_g^{(\epsilon)}$ — значение критического раскрытия, определенное с учетом стабильного роста трещины на величину ΔL после предварительного деформирования материала на величину ϵ ; $\sigma_{0,2}^{(\epsilon)}$ — предел текучести после предварительного одноосного деформирования материала на величину ϵ ; $\sigma_B^{(\epsilon)}$ — временное сопротивление после предварительного одноосного деформирования материала на величину ϵ ; $n^* = (\epsilon_B - \epsilon) / (1 + \epsilon_B - \epsilon)$.

Следует ожидать, что в случае предварительного деформирования металла характеристика $\delta_i^{(\epsilon)}$ должна падать с ростом ϵ . Так, сопоставляя выражения (1), (3) с учетом зависимостей работы [4] и используя степенной закон упрочнения материала, можно записать:

$$\frac{\delta_i}{\delta_i^{(\epsilon)}} = \frac{\epsilon_B \sigma_B (1 + \epsilon_B)}{(\epsilon_B - \epsilon) \sigma_{0,2}} \times \frac{k_2 \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} \right) (1 + \epsilon) \left((1 + 4r/\rho) / K_V^2 \right)^{\frac{-(1 + \epsilon_B)}{1 + 2\epsilon_B}}}{k_2 \left(\frac{\epsilon_B}{\epsilon_{0,2}} \right)^{\frac{\epsilon_B / (1 + \epsilon_B)}{((1 + 4r/\rho) / K_V^2)^{1 + 2\epsilon_B - 2\epsilon^*}}}} \dots \frac{+ 3k_1 (1 + \epsilon_B) / (1 + 2\epsilon_B)}{+ 3k_1 (1 + \epsilon_B - \epsilon) / (1 + 2\epsilon_B - 2\epsilon)} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_B} \right)^{\frac{\epsilon_B}{1 + \epsilon_B}}, \quad (5)$$

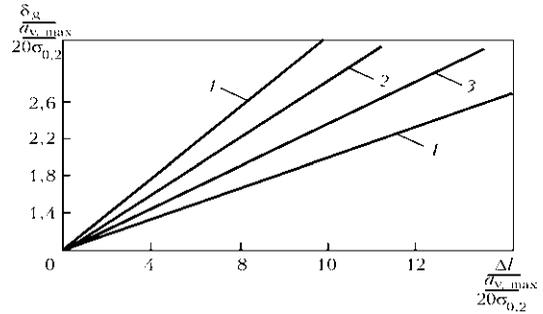


Рис. 2. Сопротивление трубных сталей стабильному росту трещины в зависимости от расчетных перемещений берегов дефекта: 1 — углеродистые стали ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$); 2 — низколегированные стали ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,8$); 3 — дисперсионно-твердеющие стали ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,85$); 4 — стали контролируемой прокатки ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,9$)

где ρ — радиус надреза образца Шарпи ($\rho = 0,25$ мм); r — расстояние от вершины надреза, соизмеримое с характерным средним размером структурного элемента ($r = 0,05 \dots 0,1$ мм); n — величина деформационного упрочнения материала; K_V — коэффициент концентрации упругих напряжений в вершине надреза образца Шарпи ($K_V = 3,44$); ϵ_B — деформация, соответствующая условному временному сопротивлению материала σ_B ; $\sigma_{0,2}$ — предел текучести материала; k_1 — коэффициент стеснения для образца Шарпи, равный 1,25; k_2 — средний коэффициент стеснения для стандартного образца Шарпи в момент развития разрушения, равный 1,26.

Из формулы (5) следует, что отношение деформационных характеристик $\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ зависит от четырех параметров ϵ_B , ϵ/ϵ_B , $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ и r , что несколько затрудняет детальный ее анализ.

Вместе с тем, как было отмечено в работе [4], изменение величины r в представленном диапазоне ($0,05 \dots 0,1$ мм) незначительно влияет на значения $a_{v,max}/a_{v,max}$, что позволяет в ряде случаев для упрощения дальнейших оценок принять ее равную некоторому среднему размеру ($r \approx 0,06$ мм). Кроме того, для наиболее распространенных конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей параметр $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ можно выразить следующей упрощенной зависимостью через деформацию ϵ_B [4]:

$$\sigma_B/\sigma_{0,2} = 4,5 \epsilon_B / (1 + \epsilon_B) + 0,82. \quad (6)$$

В этих случаях зависимость (6) может быть еще более упрощена.

Зависимость (5) представлена в графическом виде на рис. 3, из которого видно, что с ростом относительной пластичности материала ϵ/ϵ_B , величина отношения критических раскрытий трещины $\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ может значительно возрасти, что не учитывается при выборе материала при проектировании и последующей эксплуатации различного оборудования и сварных конструкций.

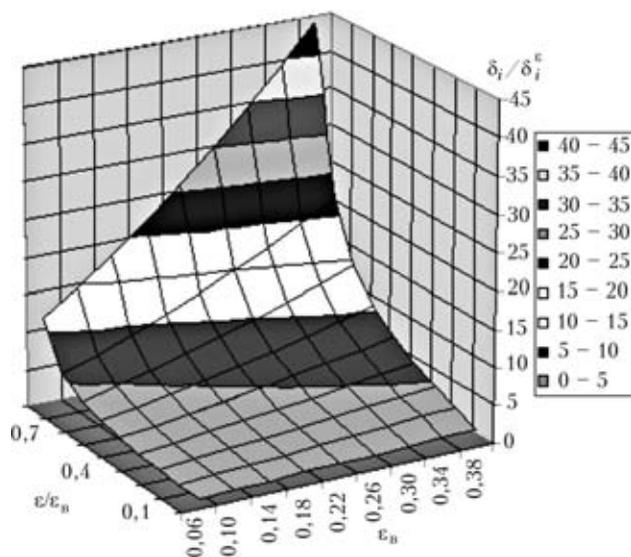


Рис. 3. Отношения критических раскрытий трещин $\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ в зависимости от величин ϵ_B и ϵ/ϵ_B по формуле (5) с учетом (6)

Особенно это касается сварных соединений и катанных по различным технологическим режимам баллонов и трубопроводов, поскольку отсутствие площадок текучести в этих случаях и без того существенно снижает запас по пластичности ϵ_B материала и, как следствие, приводит к резкому росту ϵ/ϵ_B даже при незначительных пластических деформациях ϵ .

Как пример в табл. 1 представлены результаты испытаний на растяжение образцов МИ-12, изготовленных из листовой стали марки 09Г2С-Ш (ГОСТ 6996–66) после предварительного деформирования заготовок на различные значения ϵ . Диаметр рабочей части образца составлял 6 мм, определение деформации осуществлялось на базе 30 мм при помощи датчиков перемещения.

В данном случае за нулевую предварительную пластическую деформацию принимается значение $\epsilon = 0,2\% + \epsilon_{упр}$, соответствующее деформации при стандартном определении предела текучести $\sigma_{0,2}$.

Из таблицы видно, что даже при начальном значительном пластическом запасе на равномерную пластичность $\epsilon_B = 0,19$ отношение критичес-

ких раскрытий трещины $\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ в рассматриваемом диапазоне ϵ меняется более чем в четыре раза.

С позиций механики разрушения физический смысл негативного роста отношения $\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ можно пояснить следующим образом. Несмотря на то, казалось бы, положительный рост прочностных свойств материала после его предварительного деформирования, такой участок в конструктивном элементе может попасть в зону высоких локальных упругопластических деформаций (сварные соединения, подвижка грунта в местах пролегания трубопроводов, подгибка кромок при сварке и т. д.), где сопротивление материала характеризуется уже его деформационной способностью к «сглаживанию» пиковых напряжений в местах концентраций. Деформационный критерий δ_i как раз и характеризует эту способность материала. При этом принято считать, что в случае удовлетворения требованиям критерия δ_i при «сглаживании» пиковых напряжений в зонах концентрации не должно происходить дальнейшего нарушения сплошности металла. Что же будет происходить в нашем случае?

Для того, чтобы раскрытие трещины $\delta_g^{(\epsilon)}$ удовлетворяло начальному требованию δ_i трещина должна подрасти. Из полученной ранее зависимости (4) это условие можно записать в следующем виде:

$$\delta_i - \delta_i^{(\epsilon)} = \Delta L (\sigma_B^{(\epsilon)} / \sigma_{0,2}^{(\epsilon)}) (n^* / (1 - n^*))^2. \quad (7)$$

Для упрощения дальнейших выкладок обозначим правую часть выражения (5) через $F(\epsilon, \epsilon_B)$.

Используя (5), условие (7) может быть представлено уравнением:

$$\frac{\delta_i}{\Delta L} = \epsilon_B \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_B}\right) \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_B}\right)^{\frac{\epsilon_B}{1 + \epsilon_B}} \frac{F(\epsilon, \epsilon_B)}{F(\epsilon, \epsilon_B) - 1}. \quad (8)$$

Зависимость (8) в графическом виде показана на рис. 4, из которого видно, что при увеличении ϵ/ϵ_B , значение $\delta_i/\Delta L$ стремительно уменьшается. Так, при $\epsilon/\epsilon_B = 0,5$ в зависимости от ϵ_B , величина ΔL достигает $20 \delta_i$, что, в свою очередь, свидетель-

Таблица 1. Прочностные и деформационные характеристики исследуемой заготовки из стали 09Г2С-Ш после различных предварительных деформаций

Предварительная пластическая деформация ϵ , %	$\sigma_{0,2}^{(\epsilon)}$, МПа	$\sigma_B^{(\epsilon)}$, МПа	$\epsilon_B^{(\epsilon)}$	$\epsilon_B^{(0)}$	$\epsilon/\epsilon_B^{(0)}$	$\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ по ф.(5)	Относительное удлинение $\delta^{(\epsilon)}$, %	$\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$
$0,2 + \epsilon_{упр}$	280	450	0,190	0,190	0,021	1,00	39,1	0,201
5	392	475	0,145	0,140	0,263	2,55	35,6	0,211
7,5	435	483	0,106	0,115	0,395	3,38	28,6	0,180
10	474	502	0,096	0,09	0,526	4,54	26,6	0,170

Примечание: $\epsilon_B^{(\epsilon)}$ — фактическая равномерная деформация после предварительного деформирования материала на величину ϵ ; $\delta^{(\epsilon)}$ — относительное удлинение после предварительного деформирования материала на величину ϵ ; $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$ — составляющая неравномерной деформации в относительном удлинении после предварительной деформации материала на величину ϵ ; $\epsilon_B^{(0)}$ — равномерная деформация при $\epsilon = 0$. В дальнейшем $\epsilon_B^{(\epsilon)} = \epsilon_B - \epsilon$; $\epsilon_B^{(0)} = \epsilon_B$.

ствует о возможном значительном росте стабильной трещины.

Для большей наглядности на рис. 5 представлен график зависимости $\Delta L/\delta_i$ от величины ϵ_B при предварительном деформировании материала на 2, 4 и 5 %. Из рисунка видно, что чем больше запас по равномерной пластичности ϵ_B , тем выше сопротивление металла росту трещины после его предварительного деформирования.

В приведенных в отечественной нормативной документации требованиях к величине относительного удлинения $\delta^{(\epsilon)}$ запас по равномерной пластичности учитывается только формально. Это связано с тем, что в данный параметр входит и составляющая неравномерной деформации $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$, которая по своему значению может значительно превышать характеристику $\epsilon_B^{(\epsilon)}$ что, в свою очередь, не дает возможности определить точки перегиба представленных на рис. 5 кривых в связи с большой погрешностью оценки характеристики ϵ_B по характеристике $\delta^{(\epsilon)}$ (%).

В общем виде связь между относительным удлинением $\delta^{(\epsilon)}$, % и $\epsilon_B^{(\epsilon)}$, %, $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$, % можно записать:

$$\delta^{(\epsilon)} = \epsilon_B^{(\epsilon)} + \epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}. \quad (9)$$

На рис. 6 представлена гистограмма распределения составляющих $\epsilon_B^{(\epsilon)}$, %, $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$, % в относительном удлинении $\delta^{(\epsilon)}$, % из табл. 1.

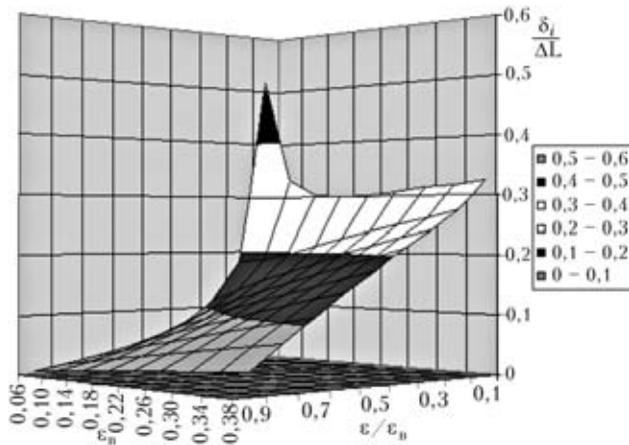


Рис. 4. Зависимость $\delta_i/\Delta L$ от величин ϵ_B и ϵ/ϵ_B при условии стабильного роста трещины по формуле (8)

Таблица 2. Механические свойства металла швов, выполненных проволоками Св-08Г2С, Св-10ГСМТ, Св-10Г2, Св-08А под флюсом АН-43

Сварочные материалы	$T_{исп.}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	Относительное удлинение $\delta, \%$	Относительное сужение $\delta_{\psi}, \%$	ϵ_B , по формуле (6)	δ_i , по формуле (1)
Св-08Г2С	+20	610	487	25,3	67,9	0,105	0,17
Св-10ГСМТ	+20	574	464	26,6	72,5	0,101	0,2
Св-10Г2	+20	$\frac{484...481}{482}$	$\frac{402...378}{387}$	$\frac{30,7...25,6}{28,5}$	$\frac{75,0...66,0}{70,8}$	0,104	0,21
Св-08А	+20	$\frac{551...512}{532}$	$\frac{470...403}{436}$	$\frac{25,0...21,0}{22,8}$	$\frac{62,0...59,9}{60,9}$	0,092	0,19

Как видно из табл. 1 и рис. 6 составляющая неравномерной деформации $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$ в общем относительном удлинении слабо зависит от величины предварительного деформирования материала, из которого были изготовлены образцы на растяжение, в то время как величина $\epsilon_B^{(\epsilon)}$ значительно

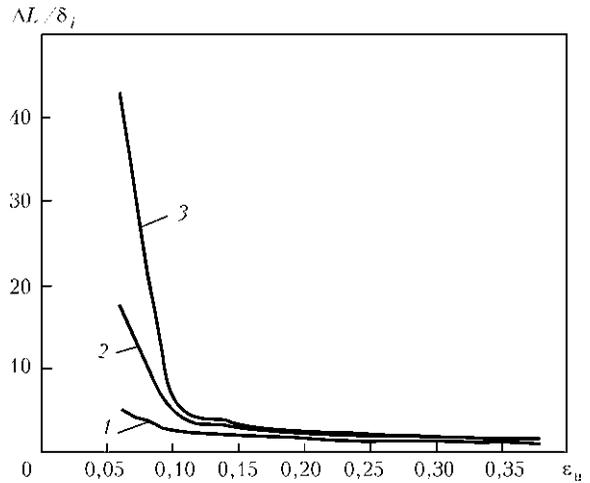


Рис. 5. Расчетные кривые по формуле (8) значений $\Delta L/\delta_i$ в зависимости от величины временной деформации ϵ_B при различном предварительном деформировании материала: 1 — на 2; 2 — на 4; 3 — на 5 %

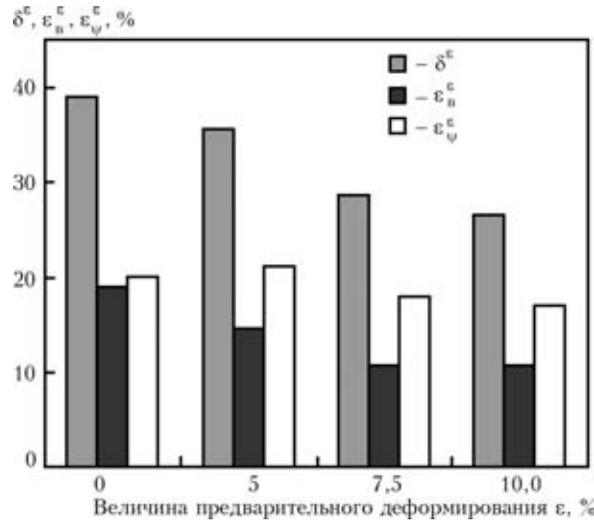


Рис. 6. Гистограмма распределения равномерной $\epsilon_B^{(\epsilon)}$ и неравномерной $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$ деформаций в относительном удлинении $\delta^{(\epsilon)}$ после предварительного деформирования стали 09Г2С-Ш на 0, 5, 7,5 и 10 %

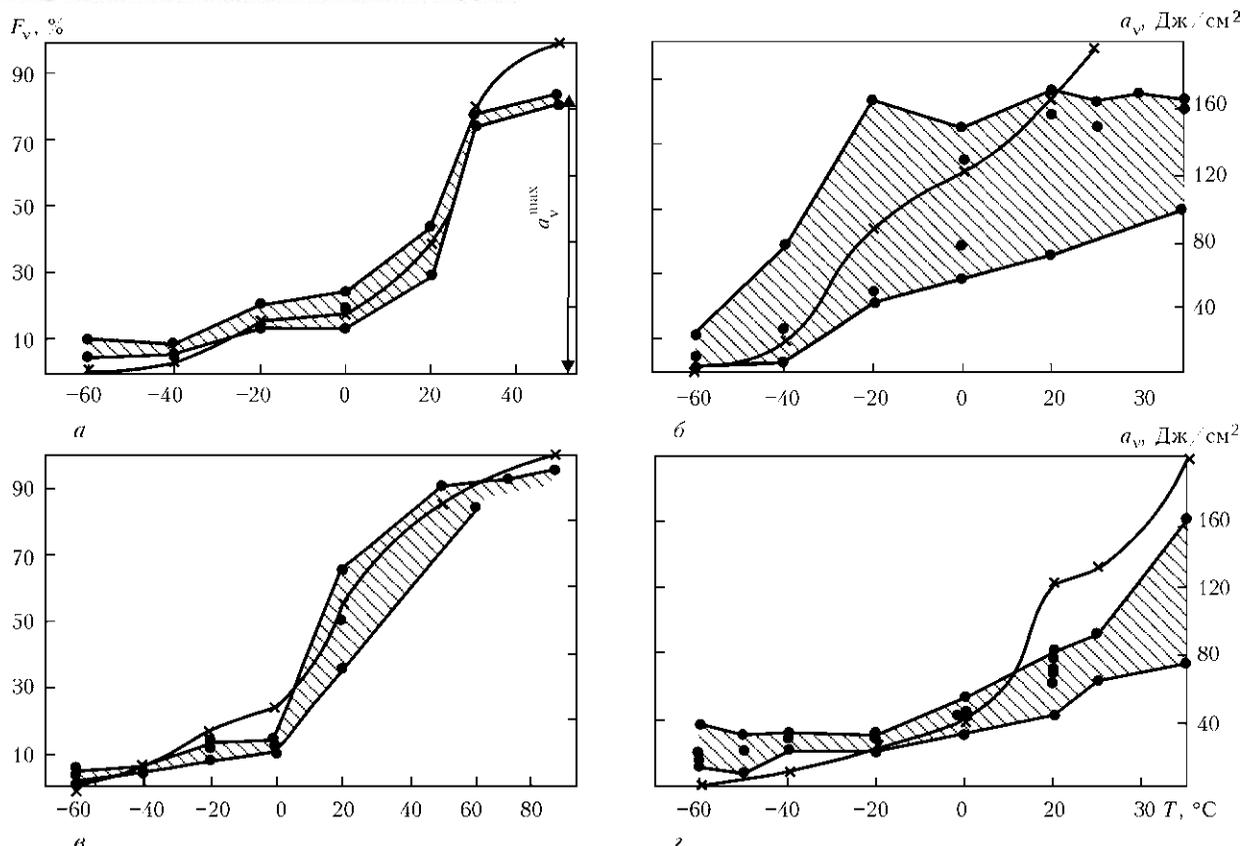


Рис. 7. Температурные зависимости ударной вязкости и процент волокна в изломе при испытании сварных швов на стандартных образцах Шарпи, выполненных различными проволоками под флюсом АН-43: а — Св-08Г2С; б — Св-10Г2; в — Св-10ГСМТ; г — Св-08А; ● — экспериментальные значения; х — средние значения процента волокна в изломе образца Шарпи $F_v, \%$

уменьшается. При предварительном деформировании материала на 10 % величина неравномерной составляющей $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$ практически превышает значение $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$ в два раза, в то время как при $\epsilon = 0$ они близки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что для материалов, претерпевших предварительное пластическое деформирование, при изготовлении различного вида деталей и оборудования без последующей нормализации и глубокого отпуска к характеристике относительного удлинения $\delta^{(\epsilon)}$ необходимо относиться крайне осторожно. Это же относится и к возможным деформациям конструкций при их монтаже и эксплуатации.

В табл. 2 и на рис. 7 представлены результаты стандартных механических испытаний и ударной вязкости образцов Шарпи наиболее широко используемых сварных соединений, выполненных проволоками Св-08Г2С, Св-10ГСМТ, Св-10Г2, Св-08А под флюсом АН-43.

Как видно из табл. 2 и рис. 5, уже в случае 5 % предварительного деформирования исследуемых сварных швов сварное соединение, выполненное из проволоки Св-08А, значительно уступает остальным на предмет возможного сопротивления росту трещины в процессе эксплуатации. Так, для сварного шва, выполненного проволокой

Св-08А, характеристика $\Delta L/\delta_i$ в этом случае достигает 20.

Для магистральных трубопроводов выражение (8) дает возможность внести поправочные коррективы в проектные расчеты по выбору конструкционных сталей и сварных соединений с необходимыми свойствами, учитывающими возможность предварительного деформирования стенки трубы как при ее изготовлении, так и в процессе эксплуатации. Кроме того, для диагностики трубопроводов выражение (8) позволяет еще на стадии ознакомления с проектной документацией выявить наиболее предрасположенные его участки к возможному росту дефектов.

Выводы

Показано, что еще на стадии изучения проектной и эксплуатационной документации, применяя законы механики разрушения, можно выявить участки трубопроводов с пониженными сопротивлениями стабильному росту трещин.

Выполнен аналитический анализ сопротивления трубных сталей и их сварных соединений стабильному росту трещин в зависимости от степени предварительного пластического деформирования металла.



Полученные результаты показывают, что для вскрытия участков трубопроводов необходимо, кроме сведений, полученных от внутритрубных снарядов, данных по изоляции, учитывать возможные изменения прочностных свойств металла и сварных соединений при изготовлении, монтаже и эксплуатации труб.

При ремонте дефектных зон необходимо учитывать остаточную пластичность трубопровода, поскольку термопластические деформации в процессе сварки могут существенно снизить сопротивляемость трубной стали и сварных соединений возможному росту трещин.

1. *Hidou R.* Screening corrosion inspection for thermal insulation piping // J. of Japanese Society for Non-Destructive Inspection. — 2010. — 59, № 12. — P. 606–609.

2. *Troitskij V. A., Beloiev M., Mihovaki M.* Alternative solutions for nondestructive testing of pipeline welds // 2-nd South East European IIV International Congress. — Oct. 2010, Sofia. — P. 301–311.

3. *Jackson P., Luidge P., Daniel I.* Pipeline corrosion control: a historical perspective and guided wave approach to the future // Ibid. — Oct. 2010, Sofia. — P. 118–123.

4. *Дядин В. П.* Влияние предварительного деформирования на ударную вязкость образца Шарпи // Автомат. сварка. — 2007. — № 1. — С. 28–34.

5. *Гиренко В. С., Дядин В. П.* Зависимости между ударной вязкостью и критериями механики разрушения K_{IS} и K_{IC} конструкционных сталей и их сварных соединений // Там же. — 1985. — № 9. — С. 13–20.

6. *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.

Поступила в редакцию
29.03.2011

КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК по НК на 2011–2012 гг.

September 2011	7–9	Edinburgh, UK	International Conference on Advances in Experimental Mechanics: Integrating Simulation and Experimentation for Validation (ISEV)	johnedwards@bssm.org www.bssm.org/conf2011
Вересень 2011	20–23	Тернопіль, Україна	II Міжнародна науково-технічна конференція «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування»	snt@tu.edu.te.ua; maruschak.tu.edu@gmail.com http://www.tntu.edu.ua/dmdp/ http://www.tu.edu.te.ua/dmdp/
September 2011	19–21	Ioannina, Greece	5th International Conference on Emerging Technologies in NDT	etndt5@cc.uoi.gr www.etech-ndt5.uoi.gr
October 2011	2–6	Cancun, Mexico	5th Pan-American Conference for Non-Destructive Testing	info@copaend5.com www.copaend5.com
Октябрь 2011	3–7	Ялта, Україна	19-я Международная конференция и выставка «Современные методы и средства НКІД»	office@conference.kiev.ua www.conference.kiev.ua (044) 573-30-40 (067) 708-93-95
November 2011	2–4	Montreal, Canada	International Workshop on Smart Materials & Structures and NDT in Aerospace and NDT in Canada Conference	events@cinde.ca events.cinde.ca
	2–5	Split, Croatia	MATEST2011 International NDT Conference	hdkbr@hdkbr.hr www.hdkbr.hr
	3–4	Singapore	SINCE 2011 — Singapore International Non-Destructive Testing Conference and Exhibition	ndtss@live.com.sg www.ndtss.org.sg
Ноябрь 2011	22–25	Киев, Україна	X Международный промышленный форум — 2011	Международный выставочный центр www.tech-expo.com.ua
March 2012	19–23	Dallas, Texas	21st Annual ASNT Research Symposium and Spring Conference	conferences@asnt.org www.asnt.org
April 2012	18–20	Durban, South Africa	18th World Conference on NDT	saint@acenet.co.za www.saint.org.za
Май 2012	Дата уточняется	Киев, Україна	7-я Национальная конференция и выставка «НКІД-2012»	usndt@ukr.net www.usndt.com.ua