



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРОЖДЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОР ВЯЗКОГО РАЗРУШЕНИЯ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Е. А. ВЕЛИКОИВАНЕНКО, Г. Ф. РОЗЫНКА, А. С. МИЛЕНИН, Н. И. ПИВТОРАК

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Оценка работоспособности и остаточного ресурса ответственных сварных конструкций с обнаруженными дефектами, в том числе трубопроводов и сосудов давления, предполагает сложный анализ взаимосвязанных многомерных процессов, влияющих на их несущую способность. При этом рациональным является обоснованное снижение консервативности такой оценки, что требует описания предельного состояния конструкции с учетом основных механизмов разрушения. В частности, для магистральных трубопроводов с типичными поверхностными дефектами локального коррозионного утонения стенки без сопутствующих острых концентраторов, основным механизмом развития поврежденности материала является вязкое разрушение. В рамках настоящей работы разработана комплексная методология численного анализа процессов зарождения и развития пор вязкого разрушения металла сварных конструкций, а также критерии для определения их предельного состояния. Так, на основе моделей Гурсона–Твергаарда построена методика расчета напряженно-деформированного состояния конструкции в процессе эксплуатации с учетом изменения несущего нетто-сечения областей конструкции при росте микропористости. Для неизотермического состояния металла, в частности в процессе сварочного нагрева, предложены критерии зарождения пор, а также математическое описание различных механизмов их развития в зависимости от характера внешнего силового воздействия. Применение разработанных подходов продемонстрировано на примере анализа предельного состояния элемента магистрального трубопровода с дефектом локального утонения стенки в области окружного монтажного шва. Показано, что предельное внутреннее давление в трубопроводе с таким эксплуатационным повреждением определяется характером взаимодействия локальных напряжений в зоне сварного шва и геометрической аномалии: чем меньше расстояние между ними, тем меньше нагрузка, необходимая для формирования общей области микроврежденности, в которой впоследствии зарождаются макродефекты. Аналогичным образом показано значительное влияние пор в монтажном сварном шве трубопровода на несущую способность. Общность разработанных подходов численного анализа процессов вязкого разрушения позволяет применять их для оценки предельного состояния и остаточного ресурса сварных сосудов давления из высокопрочных сталей. Библиогр. 18, табл. 1, рис. 3.

*Ключевые слова:* вязкое разрушение, порообразование, напряженно-деформированное состояние, предельная нагрузка, сварное соединение, магистральный трубопровод

Анализ предельного состояния современных сварных конструкций является важным этапом диагностики их фактического состояния и прогнозирования остаточного ресурса безопасной эксплуатации. При этом описание процессов, ведущих к нарушению сплошности материала конструкции в микро- и макромасштабе, зарождению и развитию типичных дефектов, требует совместного использования методик моделирования кинетики напряженно-деформированного состояния в зависимости от величины и природы внешнего силового воздействия, основ механики разрушения и современных представлений о поведении кристаллических структур при предельном силовом воздействии. Кроме того, наличие сварных соединений предполагает необходимость дополнительного учета состояния конструкции в области сварки (термообработки) с позиции остаточного напряженно-деформированного и структурного состояний металла, а также развития рассеянной поврежденности, основанного на моделировании процессов термопластичности сплошной среды. Как показывает опыт, разрушение сварных сосу-

дов давления и трубопроводов из высокопрочных сталей в ряде случаев определяется процессами вязкого разрушения в области сварных швов и геометрических аномалий [1, 2]. При этом большинство существующих моделей вязкого разрушения рассматривают структурно-однородные материалы в изотермическом случае [3–5], тогда как в реальных конструкциях сварные швы являются слабыми местами и анализ их предельного состояния — важный аспект технической диагностики ответственных конструкций. В частности, при описании развития напряженно-деформированного состояния материалов с порами нашли широкое применение подходы Гурсона, Твергаарда и Нидлмана [6–8], которые лежат в основе большинства современных моделей предельного состояния конструкций, склонных к вязкому разрушению. Кроме того, ряд работ посвящен расширению этих моделей применительно к сварным конструкциям, но математическое описание собственно сварочного процесса и его влияния на особенности вязкого разрушения носит скорее феноменологический характер и требует большого



количества экспериментальных исследований. С целью изучения особенностей предельного состояния сварных трубопроводных элементов под внутренним давлением в рамках настоящей работы построена численная методика анализа вязкого разрушения и рассмотрены примеры типичных случаев поврежденности магистральных трубопроводов.

В общем случае рассматриваемый механизм разрушения может быть разделен на несколько последовательных этапов:

- зарождение пор вязкого разрушения при производстве конструкции, в том числе в зоне локального сварочного нагрева и при развитии пластическом течении металла в области физических и/или геометрических концентраторов;

- увеличение размеров пор при пластическом деформировании;

- взаимодействие и объединение пор вязкого разрушения;

- зарождение макродефекта и связанное с ним снижение несущей способности как дефектного участка, так и конструкции в целом;

- развитие макродефекта.

Каждый из этих этапов имеет различную физико-механическую природу, поэтому их описание требует построения соответствующих взаимосвязанных моделей.

Принято считать, что зарождение пор в области структурных дефектов и неоднородностей (первичные поры) связано с существенным развитием пластических деформаций, которое может быть описано посредством параметра Одквиста [9]:

$$\kappa = \int d\varepsilon_i^p, \quad (1)$$

где  $d\varepsilon_i^p = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{d\varepsilon_{ij}^p d\varepsilon_{ij}^p}$ ,  $d\varepsilon_{ij}^p$  — компоненты тензора приращений пластических деформаций ( $i, j = x, y, z$ ).

Соответственно, условием зарождения пор в изотермическом случае является превышение текущим значением параметра Одквиста критической величины  $\kappa_c$ .

В процессе сварки в результате локального сварочного нагрева, фазовых превращений первого рода и сопутствующих ликвационных процессов происходит появление неоднородностей структуры металла, особенно в его межфазной области твердогожидкого состояния (между температурами ликвидуса и солидуса). Для описания зарождения микропор при этом может быть использована обобщенная зависимость критического значения параметра Одквиста  $\kappa_c$  от состояния металла при различных температурах  $T$ :

$$\kappa_c(T) = \kappa_{c0} \exp \left\{ \left[ \frac{F_0 - F(T)}{B} \right]^\beta \right\}, \quad (2)$$

где  $F(T)$  — функция сопротивляемости материала пластическому деформированию;  $\kappa_{c0}$ ,  $B$ ,  $F_0$ ,  $\beta$  — константы.

Если для рассматриваемого металла не характерны выраженный температурный интервал хрупкости и существенное упрочнение, то в качестве функции  $F(T)$  может быть принята температурная зависимость предела текучести  $\sigma_T(T)$ . Таким образом, из (2) следует, что  $\kappa_{c0}$  и  $F_0$  — соответственно значение критического параметра Одквиста рассматриваемого металла при комнатной температуре и его нормативный предел текучести  $\sigma_T$ , а температурную зависимость критического значения параметра Одквиста можно представить в следующем виде:

$$\kappa_c(T) = \kappa_{c0} \exp \left\{ \left[ \frac{\sigma_T - \sigma_T(T)}{B} \right]^\beta \right\}. \quad (3)$$

Для конструкционных сталей  $\beta \approx 3$  [10], значение  $B$  характеризует склонность материала к образованию пор и лежит в пределах  $(1,0 \dots 1,5)\sigma_T$ .

В переменном поле температур при развитой кинетике накопления пластических деформаций критерий зарождения пор в металле может быть описан следующим соотношением:

$$\chi_\kappa = \int \frac{d\kappa}{\kappa_c(T)} \geq 1. \quad (4)$$

При выполнении условия (4) можно считать, что в рассматриваемой области конструкции зарождается несплошность в виде сферических микропор с объемной концентрацией  $f_{pl}$ .

Следует отметить, что вторым характерным механизмом зарождения пор при сварке является формирование пузырьков примесей в сварочной ванне, которые не успевают выделиться в газовую фазу до кристаллизации металла [11]. Моделирование такого процесса является достаточно сложным и в рамки настоящей работы не входит. Влияние указанного процесса может быть учтено как априорное либо заданием сферических макродефектов в области сварного шва, либо при рассмотрении суммарной объемной концентрации зародившихся пор  $f_0$  в конкретном рассматриваемом объеме:

$$f_0 = f_{pl} + f_{ev}, \quad (5)$$

где  $f_{ev}$  — объемная концентрация пор, зародившихся в результате процессов испарения.

Дальнейший рост пор вязкого разрушения зависит от жесткости напряженного состояния и ин-



тенсивности пластического деформирования металла и описывается законом Райса–Трейси [9]:

$$dR = R_0 K_1 \exp \left( K_2 \frac{\sigma_m}{\sigma_i} \right) d\varepsilon_i^p, \quad (6)$$

где  $R, R_0$  — текущий и начальный радиусы пор соответственно;  $\sigma_m = (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})/3$  — мембранное напряжение;  $\sigma_i = (\sigma_{ij}\sigma_{ij}/2)^{1/2}$  — интенсивность напряжений;  $\sigma_m/\sigma_i$  — параметр жесткости напряженного состояния;  $K_1 = 0,28, K_2 = 1,5$  — константы.

Если параметр жесткости напряженного состояния в рассматриваемой области конструкции мал для интенсивного роста пор согласно (6), то существенное развитие пластических деформаций может привести к появлению вторичных несплошностей. Скорость зарождения вторичных сферических пор зависит от концентрации включений в металле конструкции и развития пластических деформаций по следующему закону [9]:

$$f = f_0 + f_i \exp \left( - \frac{\kappa^*}{\kappa - \kappa_c} \right), \quad (7)$$

где  $f_i$  — объемная концентрация включений;  $\kappa^*$  — константа материала, характеризующая максимально возможное приращение параметра Одквиста.

Следует отметить, что значение  $f_i$  в рассматриваемом случае зависит от структурного состояния металла в области сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ), в частности, от количества цементита ( $Fe_3C$ ), а также изначальных и приобретенных в процессе сварки неметаллических включений [12]. Анализ напряженно-деформированного состояния сварной конструкции с позиций вязкого разрушения в данной работе производился на основе численного решения краевой задачи нестационарной термопластичности путем прослеживания упругопластических деформаций с момента начала сварки вплоть до полного остывания конструкции и при последующем нагружении до предельного давления в рамках конечно-элементной модели [13, 14]. Связь напряжений и деформаций определялась законом Гука и ассоциированным законом пластического течения, исходя из следующих соотношений:

$$\Delta\varepsilon_{ij} = \Psi(\sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma_m) + \delta_{ij}(K\sigma_m + \Delta\varepsilon_m + \Delta f/3) - \frac{1}{2G}(\sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma_m)^* + (K\sigma_m)^*, \quad (8)$$

где  $K = \frac{1-2\nu}{E}$ ;  $E$  — модуль Юнга;  $\nu$  — коэффициент Пуассона;  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ ;  $\Psi$  — функция сос-

тояния материала. Функция  $\Psi$  определяется условием пластического течения согласно критерию Мизеса с дополнительным учетом уменьшения несущего нетто-сечения конечного элемента в результате формирования несплошности в рамках модели Гурсона–Твергаарда, а именно:

$$\Psi = \begin{cases} \frac{1}{2G}, & \text{если } \sigma_i < \sigma_s, \\ \frac{1}{2G}, & \text{если } \sigma_i = \sigma_s, \end{cases} \quad (9)$$

$$\sigma_s = \sigma_T \sqrt{1 + (q_3 f^*)^2 - 2q_1 \cosh \left( q_2 \frac{3\sigma_m}{2\sigma_T} \right)},$$

где  $q_1 = 1,5, q_2 = 1, q_3 = 1,5$  — константы;  $f^*$  — эквивалентная объемная концентрация пор, учитывающая их взаимодействие в конечном элементе.

Значение эквивалентной концентрации пор, фигурирующей в (9), определяется из соотношения, предложенного Твергаардом и Нидлманом [7]:

$$f^* = \begin{cases} f, & \text{если } f \leq f_c; \\ f_c + \frac{f_u - f_c}{f_F - f_c}(f - f_c), & \text{если } f > f_c, \end{cases} \quad (10)$$

где  $f_c$  — критическая концентрация несплошностей, до которой отдельные поры не взаимодействуют (принято считать  $f_c = 0,15$ );  $f_F$  — концентрация пор, при которой происходит разрушение конечного элемента;  $f_u^* = 1/q_1$ .

Предельное состояние каждого конечного элемента определяется из двух возможных механизмов разрушения [15]: пластическая неустойчивость в случае  $\Psi \rightarrow \infty$  согласно условию Мак-Клинтока и микроскол.

В качестве примера использования разработанной комплексной модели анализа сварных конструкций рассмотрено предельное состояние трубопроводного элемента (диаметр 1420 мм, толщина стенки 20 мм, материал — сталь 17Г1С, свойства которой приведены, в частности, в [16]) с окружным сварным швом и внешним поверхностным утонением стенки типа потери металла (рис. 1) размером  $2s = 50, a = 5$  мм, которое является допустимым согласно [17]. В качестве входных данных настоящего численного исследования приняты следующие значения параметров и необходимых констант:  $f_0 = 0,01; f_i = 0,01; \kappa^* = 0,1; \kappa_{c0} = 0,05; B = \sigma_T; R_0 = 0,0167$  мм. Следует отметить, что влияние возможных погрешностей в определении значений приведенных констант на результаты исследований существенно снижается при приближении нагрузок к предельным (т. е. в случае, если хотя бы один конечный элемент потерял несущую способность и появился

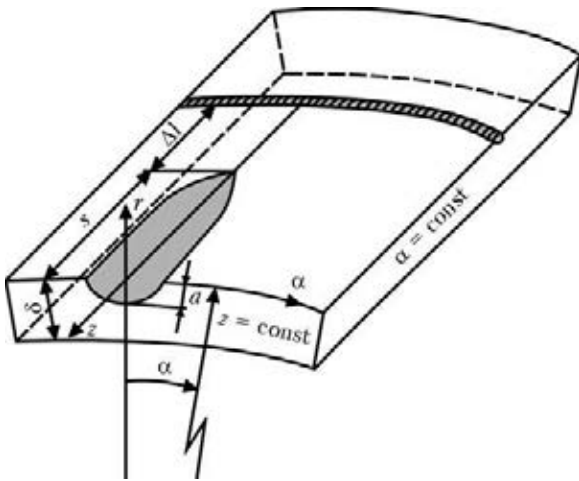


Рис. 1. Схема участка трубопровода с локальным утонением стенки и окружным сварным швом (в цилиндрической системе координат  $r, \alpha, z$ )

макродефект), так как при этом состоянии конструкции характеризуется пластическим деформированием.

Различное взаимное расположение сварного шва с учетом остаточного напряженно-деформированного состояния, а также накопленной в процессе сварки рассеянной поврежденности и концентратора в области геометрической аномалии, предполагает как различные механизмы разрушения [15], так и различное предельное давление в трубопроводе. Как показали результаты численных экспериментов, локальные термические циклы и соответствующая им кинетика напряженно-деформированного состояния металла конструкции в области металла шва и ЗТВ вызвали появление небольшой концентрации пор (порядка 0,05) вдоль линии сплавления. Такая поврежденность незначительно влияет на несущую способность конструкции, так как в отсутствие острых концентраторов параметр жесткости напряженно-

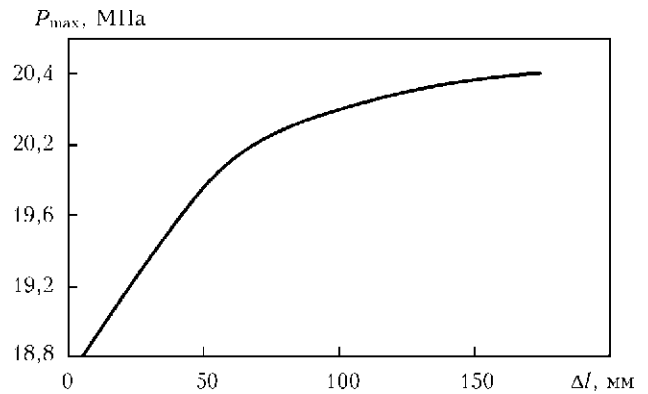


Рис. 3. Зависимость предельного давления в трубопроводе от расстояния между дефектом утонения и окружающим сварным швом

го состояния  $\sigma_m/\sigma_i$  трубопроводного элемента под действием внутреннего давления не достигает существенных значений. Поэтому в рассматриваемом случае пластическое деформирование не вызывает значительного развития зародившихся при сварке пор согласно (6), а превалирующим механизмом развития поврежденности является появление новых пор в области концентратора и вторичных пор от пластического деформирования по (4) и (7) соответственно.

При этом на начальных этапах нагружения конструкции внутренним давлением поврежденность развивается независимо в области максимальной глубины дефекта и в ЗТВ шва. Характерной особенностью предельного состояния является явное взаимодействие между двумя видами рассматриваемых неоднородностей с точки зрения формирования микропористости (рис. 2). При этом, чем больше расстояние между сварным швом и поверхностным утонением  $\Delta l$ , тем больше силовое воздействие, необходимое для формирования объема поврежденности металла между ними, где при последующем увеличении нагрузки

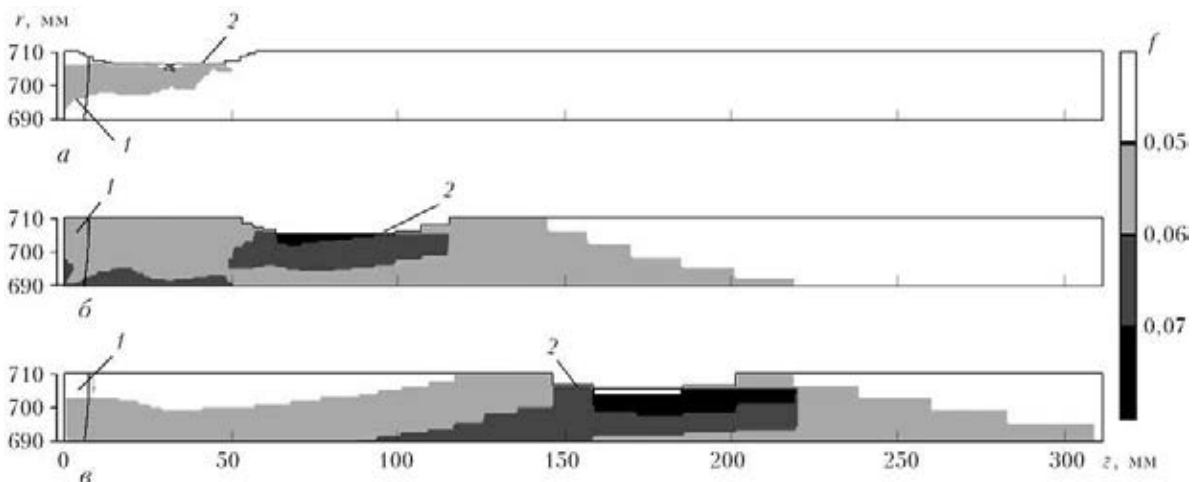


Рис. 2. Распределение объемной концентрации микропор  $f$  на рассматриваемом участке трубопровода при предельной нагрузке  $P_{max}$  в зависимости от расстояния  $\Delta l$  между сварным швом и дефектом утонения стенки:  $a$  —  $\Delta l = 5$  мм,  $P_{max} = 18,8$  МПа;  $b$  —  $\Delta l = 50$  мм,  $P_{max} = 19,8$  МПа;  $v$  —  $\Delta l = 150$  мм,  $P_{max} = 20,2$  МПа; 1 — половина симметричного сварного шва; 2 — дефект



**Концентрация микропор в области сварного шва трубопроводного элемента с учетом наличия макропор при предельной нагрузке 17,6 МПа**

r, мм \ z, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,064	0,052	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,057
6	0,104	0,063	1,0	1,0	0,05	1,0	0,057	0,051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,057	0	0
7	0,102	0,085	0,05	0,05	0,05	0,05	0,058	0,051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,063	0	0	0
8	0,096	0,101	1,0	1,0	1,0	1,0	0,153	0,118	0,089	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,086	0,062	0	0
9	0,101	0,123	0	0	0	0	0,13	0,135	0,143	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,082	0,062	0,05	0
10	0,117	0,163	0	0	0	0	0,088	0,115	0,097	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,05	0,05	0,067	0,062	0,06	0,059
11	0,079	0	0	0	0	0	0,058	0,063	0,063	0	0	0	0	0	0	1,0	1,0	0,09	0,081	0,07	0,073
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,086	0,051	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,074	0,08	0,075
13	0	0	0	0	0	0	0	0,061	0,056	0	0	0	0	0	0	0	0	0,056	0,066	0,07	0,071
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,059	0,06	0,064
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,054	0,06	0,059
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,055

Примечание: серым обозначена область сварного шва

зарождается макроразрушение (рис. 3). Как видно из приведенных данных, близкое расположение допустимого дефекта утонения и сварного монтажного шва может снизить несущую способность трубопровода до 10 %.

Как упоминалось выше, еще одним фактором, влияющим на несущую способность трубопровода, является возможное зарождение пор в сварном шве в результате испарения примесей внедрения в случае, когда пузырьки газа не успевают выйти на поверхность до полной кристаллизации металла. Данная ситуация исследована путем задания пустот (линейный размер 1 мм) около линии сплавления, т. е. являющимися макродефектами и занимающими суммарную объемную долю металла шва около 0,07. Расчет развития микропористости, согласно разработанной методике, результаты которого приведены в таблице, показал ощутимое влияние макропор на несущую способность трубопровода, а именно снижение предельного внутреннего давления от 20,4 до 17,6 МПа. Этот результат коррелирует с известными экспериментальными исследованиями [18] и существующими требованиями к качеству монтажных швов магистральных трубопроводов.

**Выводы**

1. Построена комплексная методика численной оценки предельного состояния сварных конструкций, склонных к вязкому разрушению под воздействием внешних нагрузок. Для этого на основе конечно-элементного решения краевой задачи нестационарной термопластичности предложена модель зарождения, развития, взаимодействия микропор вязкого разрушения, а также критерии формирования макродефектов и наступления предельного состояния конструкционного элемента.

2. На примере участка магистрального трубопровода с внешним дефектом локальной потери металла около монтажного окружного сварного шва рассмотрены закономерности развития поврежденности металла конструкции под действием внутреннего давления. Показано, что предельное состояние дефектной конструкции характеризуется формированием общей области поврежденности между сварным швом и геометрической аномалией. При этом, чем меньше расстояние между дефектом и швом, тем меньше эксплуатационная нагрузка, необходимая для выраженного взаимного влияния между ними и последующего появления макродефектов. Это, в свою очередь, может снизить несущую способность трубопровода до 10 % в сравнении с бездефектной конструкцией.

3. Рассмотрены особенности влияния дефектов сварки типа макропор, сформировавшихся из закристаллизовавшихся в металле шва пузырьков газа. Показано возможное значительное влияние указанных дефектов на работоспособность конструкции: для объемной концентрации произвольно распределенных пор в металле шва 0,07 снижение предельного давления в трубопроводе — до 17,6 МПа.

1. Рыбин В. В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. — М.: Металлургия, 1986. — 224 с.
2. Tvergaard V. Material failure by void growth to coalescence // Adv. Appl. Mech. — 1990. — № 27. — P. 83–151.
3. Hancock L., Mackenzie A. C. On the mechanism of ductile failure of a high strength steel subjected in multi-axial stress state // J. Mech. and Phys. Solids. — 1976. — 24, № 213. — P. 147–149.
4. Xue L. Constitutive modeling of void shearing effect in ductile fracture of porous materials // Eng. Fract. Mech. — 2008. — № 75. — P. 3343–3366.
5. Nahshon K., Hutchinson J. W. Modification of the Gurson Model for shear failure // Eur. J. Mech. Solids A. — 2008. — № 27. — P. 1–17.
6. Gurson A. I. Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: Pt 1. Yield criteria and flow rules for porous ductile media // J. Eng. Mater. and Technol. — 1977. — № 1. — P. 2–15.
7. Tvergaard V., Needleman A. Analysis of the cup-cone fracture in a round tensile bar // Acta Metallurgica. — 1984. — № 32. — P. 157–169.
8. Needleman A. Void growth in an elastic-plastic medium // J. Appl. Mech. — 1972. — № 39. — P. 964–970.



9. Карзов Г. П., Марголин Б. З., Швецова В. А. Физико-механическое моделирование процессов разрушения. — С.-Пб: Политехника, 1993. — 391 с.
10. *Обработка металлов резанием с плазменным нагревом* / А. Н. Резников, М. А. Шатерин, В. С. Кунин и др. — М.: Машиностроение, 1986. — 232 с.
11. *Теоретические основы сварки* / Под ред. В. В. Фролова. — М.: Высш. шк., 1970. — 450 с.
12. *Ductile fracture resistance of the weld metal and heat affected zone in a HSLA steel welded joint* / A. Sedmak, B. Younise, M. Rakinetal et al. // <http://www.structuralintegrity.eu/pdf/esis/TC1/ESIS-TC1-Freiburg/Sedmak%20et%20al.pdf>.
13. Махненко В. И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 320 с.
14. Махненко В. И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. — Киев: Наук. думка, 2006. — 618 с.
15. Махненко В. И. Проблемы экспертизы современных сварных конструкций ответственного назначения // Автомат. сварка. — 2013. — № 5. — С. 22–29.
16. *Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике. Справочник* / Под ред. Б. Е. Неймарка. — М.–Л.: Энергия, 1967. — 240 с.
17. *ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008*. Настанова. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. — 91 с.
18. Избенко В. Ф., Авраменко В. И., Кривошея В. С. Экспериментальное исследование конструктивной прочности соединений сталей 14ХГН2МД и ВМСт.3 методом гидростатического выпучивания // Автомат. сварка. — 1974. — № 3. — С. 26–29.

Поступила в редакцию 20.06.2013



## Международная научно-техническая конференция «СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

16–18 июня 2014 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона (г. Киев) состоится Международная научно-техническая конференция «Сварочные материалы».

### Организаторы:

- Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
- Ассоциация «Электрод» предприятий стран СНГ
- Международная ассоциация «Сварка»

На конференции предполагается обсудить актуальные вопросы разработки, производства и промышленного применения сварочных и наплавочных материалов, включая покрытые электроды, проволоки порошковые и сплошного сечения, ленты, флюсы, порошки. Планируется издание сборника по итогам работы конференции.

Для участия в работе конференции необходимо до 1 марта 2014 г. прислать заявку на адрес: [office@association-electrode.com](mailto:office@association-electrode.com) или [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua).

**Контакты:** 03680, г. Киев, ул. Горького, 54, Дирекция Ассоциации «Электрод».

Тел.: +38 (044) 200-63-02, +38 (044) 200-82-77, +38 (044) 200-80-62.

Факсы: +38 (044) 287-72-35, +38 (044) 200-82-77.

E-mail: [association-electrode.com](mailto:association-electrode.com); [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua). <http://www.association-electrode.com>