



ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА С ЛОКАЛЬНЫМ УТОНЕНИЕМ СТЕНКИ ПРИ РЕМОНТЕ ДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

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

Сварочная наплавка является одним из наиболее рациональных методов ремонта магистральных трубопроводов без вывода из эксплуатации, особенно, в случае необходимости устранения типичных дефектов локальной коррозионной потери металла. При этом использование сварки на трубопроводе, находящемся под высоким внутренним давлением, предполагает тщательную оптимизацию технологических параметров данного процесса с позиции безопасности и эффективности ремонтно-восстановительных работ, в том числе, на основе результатов моделирования кинетики физико-механических процессов при этом. В рамках настоящей работы разработан комплекс средств математического моделирования процесса многопроходной сварочной наплавки дефектов утонения элементов магистральных трубопроводов с целью прогнозирования их технологической прочности и остаточного ресурса после ремонта. Для этого реализован комплексный подход численного анализа кинетики температур, напряженно-деформированного состояния и процессов вязкого разрушения материала трубопровода. Предложен численный критерий, позволяющий с небольшой консервативностью прогнозировать формирование состояния конструкции, близкого к предельному, а также гарантировать необходимую несущую способность трубопровода после устранения обнаруженного дефекта несплошности. На примере многопроходной сварочной наплавки недопустимого дефекта утонения стенки магистрального трубопровода исследованы характерные особенности влияния основных технологических параметров на технологическую прочность конструкции и ее остаточный ресурс. Библиогр. 17, табл. 1, рис. 6.

Ключевые слова: дуговая наплавка, магистральный трубопровод, дефект, локальное утонение стенки, ремонт под давлением, безопасность ремонтно-восстановительных работ, пластическая неустойчивость, вязкое разрушение

Поддержание работоспособности магистральных трубопроводов (МТ) связано с комплексом мероприятий по неразрушающему контролю их фактического состояния, оценкой остаточного ресурса с учетом обнаруженной эксплуатационной поврежденности, а также ремонтно-восстановительными работами на участках с недопустимо низкой статической прочностью. Распространенными дефектами МТ являются внешние поверхностные локальные потери металла коррозионной природы, вызванные действием агрессивных сред в области нарушения целостности изоляционного покрытия. Ввиду существенной протяженности магистральных трубопроводных систем устранение таких дефектов путем капитального ремонта является трудоемким и требует длительных простоев в работе МТ. Одним из технологических приемов, позволяющих с минимальным снижением объемов прокачки продукта устранить обнаруженные при технической диагностике дефекты, является ремонт сваркой под давлением, в частности, сварочная наплавка [1, 2]. Использование локального сварочного нагрева при этом предполагает временное ослабление стенки трубопровода, что делает актуальным вопрос технологической

прочности конструкции при наплавке с позиции гарантирования необходимого уровня безопасности ремонта.

Данной проблеме посвящен ряд зарубежных и отечественных исследований [3–5 и др.], в которых вопросы технологической прочности при ремонтной сварке трубопроводов без вывода из эксплуатации принято подразделять на два условных класса: оценка развития структурных превращений, механических напряжений и диффузионных процессов в металле конструкции с позиции минимизации риска появления сварочных дефектов (прежде всего, холодных трещин); анализ кинетики поля температур и деформаций с целью определения консервативных режимов локального сварочного нагрева, позволяющих избежать прожогов и избыточного деформирования в области ремонта.

Влияние сварочного процесса на склонность стали конструкции к холодному растрескиванию достаточно изучено, и апробированным способом гарантирования отсутствия таких дефектов в области наплавки является предварительный подогрев до 100...150 °С, что нашло свое отражение в актуальных стандартах и нормах [6, 7]. Вто-



рой класс задач является более сложным, так как включает многомерный анализ взаимосвязанных процессов кинетики полей температур, напряжений, деформаций при сварке, а также прогнозирование возможного зарождения и развития микро- и макроразрушения конструкционного элемента. В настоящее время можно выделить два основных критерия оптимизации технологических параметров при наплавке дефектов на действующих МТ.

1. Критерий Баттеля [8]

$$T_{in,max} < T_{in,кр} = 720 \div 980 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где $T_{in,max}$ — максимальная температура на внутренней поверхности трубопровода в процессе наплавки; $T_{in,кр}$ — критическая температура, зависящая от типа используемого электрода.

2. Критерий, основанный на модели 46345 [9]:

$$dr < dr_{кр} \sim 1 \text{ мм}, \quad (2)$$

где dr — максимальное радиальное деформирование стенки в области нагрева в результате действия внутреннего давления; $dr_{кр}$ — критическое значение деформации.

Также существует ряд альтернативных критериев, в частности, предложенный ранее специалистами ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины подход, заключающийся в прослеживании развития изотермической поверхности $T_{деф} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ и оценке допустимости такой области как дефекта утонения [5], аналогично модели CRC/CSIRO [10]. Все перечисленные методики позволяют реализовать простые в практическом применении, но максимально консервативные инженерные критерии, не учитывающие ряд важных аспектов сварочной наплавки, например, внутреннее давление и геометрия трубопровода для условия (1), степень проплавления и температурные зависимости механических свойств конкретной стали для (2). Это связано, в том числе, с проблемой выбора критериальных параметров ($T_{in,кр}$, $dr_{кр}$, $T_{деф}$), которые не являются характеристиками сопротивляемости материала конструкции разрушению и требуют либо экспериментального уточнения для каждого конкретного случая эксплуатационной поврежденности, либо существенной консервативности для достаточно широкой применимости.

В рамках настоящей работы, с целью дальнейшего развития методических основ анализа безопасности и эффективности многопроходной сварочной наплавки на действующих МТ, разработан комплекс моделей кинетики характерных для этой технологии взаимосвязанных физико-механических процессов, а также предложены соответствующие критерии сохранения целостности конструкции. На примере многопроходной наплавки внешнего дефекта утонения стенки МТ,

находящегося под внутренним давлением, проанализированы особенности состояния трубопровода, которые определяют как его технологическую прочность в процессе ремонтной сварки, так и работоспособность при последующей эксплуатации.

В основу численного анализа была положена расчетная кинетика температурного поля, определяемая решением уравнения теплопроводности с зависящими от температуры теплофизическими характеристиками материала [11]. Последующим прослеживанием упруго-пластических деформаций в рамках конечно-элементного решения краевой задачи нестационарной термопластичности вычислялась кинетика напряженно-деформированного состояния конструкции [12]. На каждом шаге прослеживания связь между компонентами тензоров напряжений σ_{ij} и деформаций ϵ_{ij} определялась обобщенным законом Гука и ассоциированным законом пластического течения исходя из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} \Delta\epsilon_{ij} = & \Psi \left(\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma_m \right) + \\ & + \delta_{ij} \left(K \sigma_m + \Delta\epsilon_m + \Delta f / 3 \right) - \\ & - \frac{1}{2G} \left(\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma_m \right)^* + \left(K \sigma_m \right)^*, \end{aligned} \quad (3)$$

где $K = (1 - 2\nu) / E^*$; $G = E / (2(1 + \nu))$; E — модуль Юнга; ν — коэффициент Пуассона; δ_{ij} — символ Кронекера; Ψ — функция состояния материала, определяемая итерированием для удовлетворения условия пластического течения; f — объемная концентрация микронесплошности, зарождающейся в процессе разрушения материала; $\sigma_m = \sigma_{ii} / 3$ — мембранное напряжение, $i, j = \{r, \beta, z\}$ согласно рис. 1; здесь по повторяющимся символам производится суммирование.

В основе оптимизации технологических параметров ремонта лежит способность дефектного участка МТ воспринять комплексную нагрузку от внутреннего гидростатического давления P_r на момент проведения ремонтно-восстановительных работ наряду с временными сварочными напряжениями в области наплавки. Поэтому важным является выбор рациональных критери-

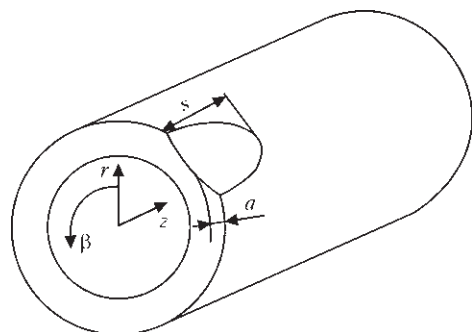


Рис. 1. Схема участка трубопровода с локальным утонением стенки (в цилиндрической системе координат)

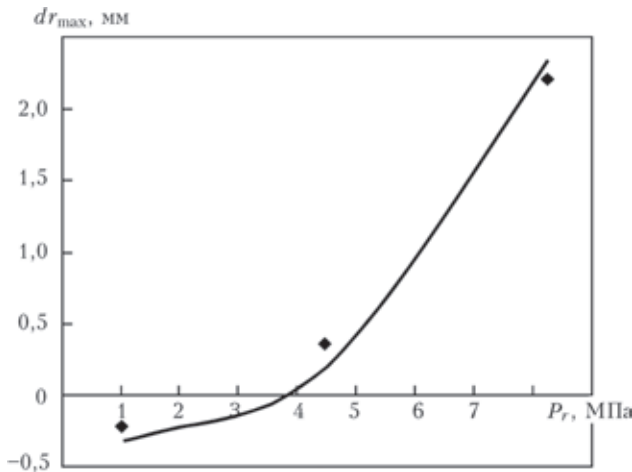


Рис. 2. Сравнение расчетных значений остаточных радиальных деформаций стенки трубопровода после наплавки с экспериментальными данными [11]

ев, гарантирующих целостность стенки трубопровода для рассматриваемого случая. Так как нарушение сплошности материала при сварочной наплавке локального утонения стенки трубопровода имеет место при высоких температурах в отсутствие острых геометрических концентраторов, то преобладающим механизмом разрушения является вязкое разрушение, которое заключается в зарождении и развитии микропор материала при интенсивном пластическом деформировании [13]. Это, в конечном итоге, приводит к формированию макродефектов и нарушению целостности конструкции. Как показано авторами в [14], изменение несущего нетто-сечения материала при достижении им предельных нагрузок необходимо дополнительно учитывать при формулировке задачи нестационарной термопластичности для корректной оценки предельного состояния конструкции. Одним из признанных подходов является использование поверхности текучести материала, учитывающей равномерно распределенную несплошность в рамках модели Гурсона–Твергаарда–Нидлмана [15]:

$$\Psi = \begin{cases} \frac{1}{2G}, & \text{если } \sigma_i < \sigma_s = \sigma_T \times \\ \times \sqrt{1 + (q_3 f)^2 - 2q_1 f \cosh\left(q_2 \frac{3\sigma_m}{2\sigma_T}\right)}, & \\ \frac{1}{2G}, & \text{если } \sigma_i = \sigma_s, \end{cases} \quad (4)$$

где $q_1 = 1,5$, $q_2 = 1$, $q_3 = 1,5$ — константы; $\sigma_i = \sqrt{\sigma_{ij} \sigma_{ij}}/2$ — интенсивность напряжений.

Таким образом, критерием сохранения целостности стенки трубопровода при сварочной наплавке является отсутствие пластической неустойчивости пористого материала, что математически выражается условием:

$$\Psi < \frac{1}{2G} + \frac{\varepsilon_f - \kappa^*}{1,5\sigma_i(\kappa, T) \cdot (1 - 2f/3)}, \quad (5)$$

где κ^* — параметр Одквиста, отнесенный к предыдущему шагу прослеживания упругопластических деформаций; ε_f — предельная деформация металла, зависящая от жесткости напряженного состояния согласно [12].

Кроме того, значительное развитие пористости материала по вязкому механизму вызывает существенное увеличение истинных напряжений в металле конструкции и, как результат, его разрушение. Поэтому с целью формулировки корректного и удобного для численного анализа критерия сохранения целостности МТ может быть добавлено дополнительное к (5) условие:

$$(q_3 f)^2 - 2q_1 f \cosh\left(q_2 \frac{3\sigma_m}{2\sigma_T}\right) \rightarrow 0. \quad (6)$$

Модели зарождения и развития пор вплоть до разрушения в трубопроводных элементах с геометрическими аномалиями приведены, в частности, в [14].

Важным фактором эффективности рассматриваемой методики ремонта, который не учитывается в критериях ее оптимизации (1) и (2), является остаточное послесварочное деформированное состояние конструкции. В процессе локального нагрева под действием внутреннего давления область дефекта получает избыточное радиальное перемещение dr_{res} . Фактически обнаруженный дефект локального утонения стенки трубы после наплавки под давлением преобразуется в дефект формы, допустимость которого определяется расчетом трубопровода на статическую прочность. При этом положение дефекта формы совпадает с наплавочными валиками, что повышает требования к качеству выполнения сварочных работ и к последующему неразрушающему контролю с точки зрения гарантии отсутствия сварочных дефектов.

Допустимость дефекта формы определяется, в частности, отечественным стандартом [16], согласно требованиям которого коэффициент запаса прочности трубы с дефектом n не должен быть меньше допустимого значения k [17]:

$$n \geq k = \frac{0,9k_1 k_n}{m}, \quad (7)$$

где k_1 , k_n — коэффициенты запаса по материалу и назначению, соответственно; m — коэффициент условий работы трубопровода.

Таким образом, комплексным численным критерием оптимизации технологических параметров сварочной наплавки является одновременное выполнение условий (5)–(7). Предложенные ком-

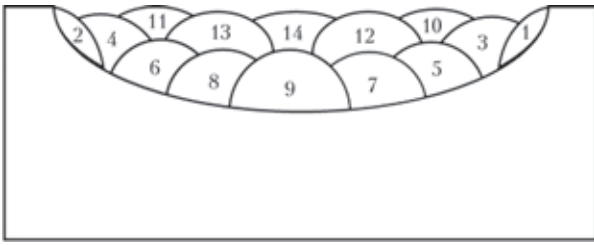


Рис. 3. Схема наплавки дефекта утонения на внешней поверхности трубопровода

плексные модели были верифицированы на основе данных по напряженно-деформированному состоянию модельных трубопроводных образцов (диаметр $D = 219$ мм, толщина стенки $t = 3,2$ мм, материал — сталь API 5L) при различных значениях внутреннего давления ($P_r = 1,03 \dots 8,47$ МПа) при наплавке на них окружающих валиков [9]. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными приведено на рис. 2. Следует также отметить, что согласно разработанной методике оценки предельного состояния трубопровода при наплавке, пластическая неустойчивость для рассмотренного случая имеет место при давлении около 8,6 МПа. Изучение микроструктуры экспериментального образца, наплавленного при давлении 8,47 МПа, показало зарождение несплошностей материала в области максимального деформирования, что соответствует наступлению его предельного состояния. Из вышесказанного можно сделать вывод, что результаты численных исследований в рамках предложенной методики численного анализа с удовлетворительной точностью описывают поведение трубопроводных элементов при сварочной наплавке.

Характерные особенности предельного состояния и эффективность данного подхода, в частности, его консервативность в сравнении с критериями (1) и (2), были исследованы на примере сварочной наплавки дефекта утонения длиной $2s = 140$ мм и глубиной $a = 10$ мм на внешней поверхности трубопровода диаметром $D = 1420$ мм с толщиной стенки $t = 20$ мм из стали 17Г1С ($\sigma_t = 490$ МПа, $\sigma_b = 560$ МПа) с максимальным эксплуатационным давлением $P = 7,4$ МПа. Изолированный дефект локального утонения стенки МТ рассматривался как полуэллиптическая поверхностная геометрическая аномалия, наплавка которой производилась в два слоя по схеме, приведенной на рис. 3. Предполагалось, что участок трубопровода с обнаруженным дефектом предварительно подогревался до температуры $T_{пр}$ во избежание появления холодных трещин. Соответственно, параметрами ремонта являются сварочный ток I , внутреннее давление в трубопроводе при наплавке P_r , а также время между наплавкой каждого из валиков, обеспечивающее

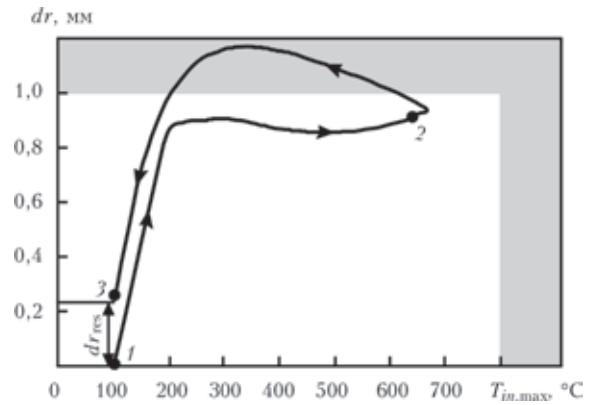


Рис. 4. Зависимость избыточного радиального перемещения внешней стенки трубопровода dr от максимальной температуры на внутренней поверхности $T_{in,max}$ при наплавке валика на дефект утонения. Серым отмечена область недопустимых состояний согласно критериям (1) и (2): 1 — начало наплавки дефекта; 2 — окончание действия источника нагрева; 3 — полное остывание области ремонта

поддержание максимальной температуры металла не ниже требуемой $T_{min} \geq T_{пр}$.

Для иллюстрации соотношения консервативности критериев (1) и (2) с численным критерием (5)–(7) на рис. 4 приведен результат расчета зависимости между величиной максимального радиального деформирования стенки трубопровода dr в области сварочного нагрева и максимальной температурой внутренней поверхности для наплавки одного валика (в центре дефекта) при параметрах ремонта, рекомендованных существующими стандартами: $I = 80$ А, $P_r = 4$ МПа, $T_{пр} = 100$ °С. Как видно из данной зависимости, максимальная податливость стенки внутреннему давлению ($dr_{max} = 1,17$ мм) наблюдается не при максимальных температурах нагрева металла трубы или ее внутренней поверхности, а при определенном распространении тепла на периферию области наплавки. Поэтому контроль степени деформирования стенки во время сварки согласно (2) не является рациональным, т.к. процесс остывания области нагрева является сложно контролируемым после завершения наплавки конкретного валика. Кроме того, баланс между повышающейся прочностью остывающего металла и растущими напряжениями в области локального изгиба стенки трубы, определяющий предельное состояние трубопровода, сложно прогнозировать без соответствующего многомерного анализа термомеханических процессов. Это подтверждает рациональность предложенного подхода оценки предельного состояния с точки зрения минимизации ее консервативности. Кроме того, наплавка валика по центру достаточно глубокого дефекта вызывает локальный перегрев, избыточное деформирование стенки и невыполнение критерия (2), тогда как критерии (1) и (5)–(7) подтверждают целостность трубы при таких параметрах ремон-

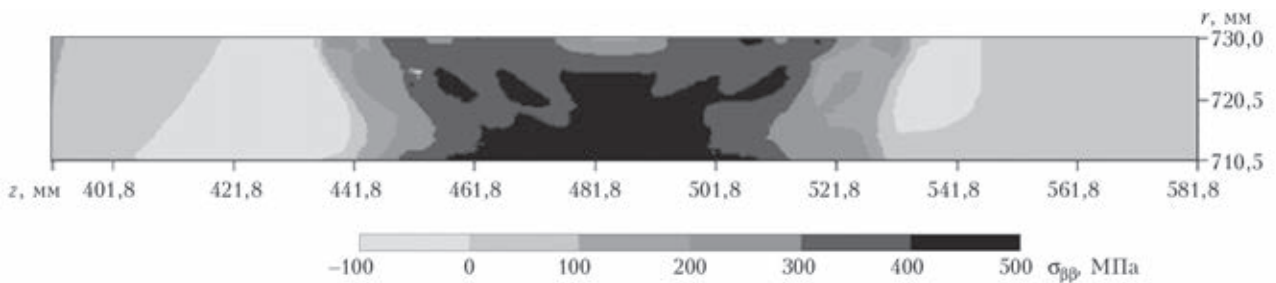


Рис. 5. Распределение остаточных окружных напряжений в области дефекта утонения стенки трубопровода после его устранения методом многопроходной сварочной наплавки

та, из чего можно сделать вывод об их меньшей консервативности.

Изменение напряженно-деформированного состояния в процессе многопроходной наплавки имеет сложный характер, определяемый как различным расположением валиков относительно дефекта утонения, так и изменением профиля поврежденной части трубопровода по мере кристаллизации наплавленного металла (рис. 5). Это, в свою очередь, определяет существенно нелинейные зависимости между параметрами сварочной наплавки с позиции обеспечения безопасности ремонта и работоспособности трубопровода после устранения дефекта утонения. В качестве примера в таблице приведены результаты оценки допустимости некоторых режимов наплавки указанного выше дефекта МТ. Допустимость остаточного деформированного состояния согласно [16] основывается на распределении остаточного радиального перемещения dr_{res} , полученного в результате математического моделирования путем численного прослеживания состояния конструкции. В частности, конкретное значение максимального радиального выпучивания dr_{max} определяется степенью развития пластических деформаций металла трубопровода при совместном воздействии сварочного нагрева и внутреннего давления: область наплавленного дефекта становится более податливой к внешнему силовому воздействию, что интенсифицирует локальное накопление необратимых пластических деформаций.

Влияние некоторых технологических параметров наплавки на предельное и остаточное состояния трубопровода

P_r , МПа	I , А	T_{min} , °С	Вывод о допустимости
4,0	100	300	Наплавка допустима
4,0	100	500	->-
7,5	150	500	Дефект формы, образовавшийся в результате наплавки, умеренный согласно [16], $1,593 = n < k = 1,617$
7,5	170	500	Пластическая неустойчивость $\Psi \sim 1$

Более полно такие данные могут быть представлены в виде двумерных диаграмм, в частности, в координатах «ремонтное давление – сварочный ток», пример которых для рассматриваемого случая (свойства и геометрия трубопровода, степень и характер поврежденности) приведен на рис. 6. Из этих данных можно сделать вывод о том, что при существенном тепловложении преобладающим механизмом, ограничивающим применение сварочной наплавки, является риск пластической неустойчивости, тогда как при относительно небольших мощностях локального нагрева и высоких давлениях опасным является избыточное остаточное деформирование конструкции. Кривые на приведенных диаграммах представляют собой границу, разделяющую область допустимого и недопустимого состояний трубопровода при многопроходной сварочной наплавке дефекта и последующей эксплуатации: область параметров, расположенная ниже кривых I , соответствует выполнению критерия (7), тогда как

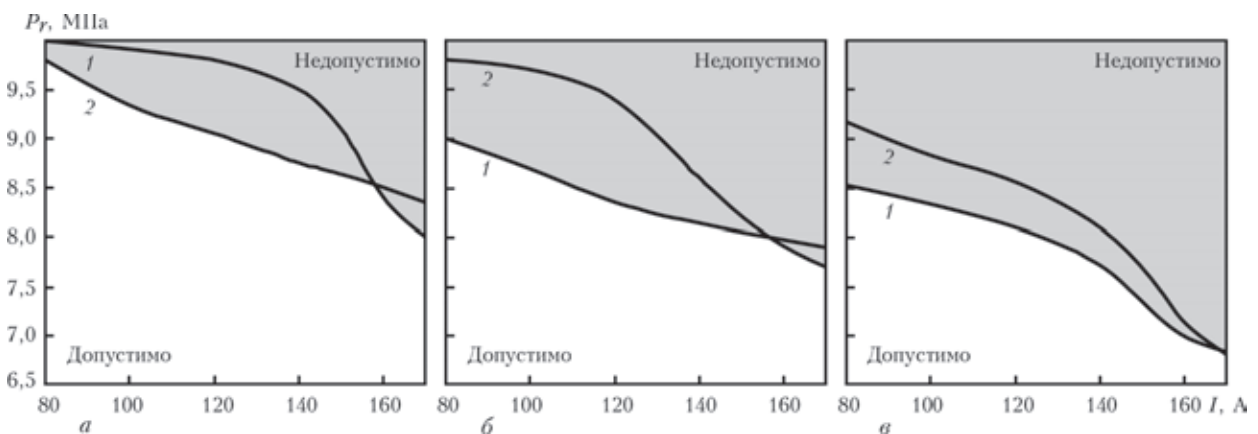


Рис. 6. I-P-диаграмма применимости режимов многопроходной наплавки с учетом допустимости остаточного дефекта формы I и критериев пластической неустойчивости 2: а — $T_{np} = 100$ °С; б — 300; в — 500



область под кривой 2 соответствует параметрам, гарантирующим выполнение критериев (5), (6), согласно результатам комплекса численных расчетов кинетики состояния МТ при наплавке.

Следует также отметить, что при практическом использовании инженерные рекомендации по сварочной наплавке, согласно изложенным методикам численного анализа, должны дополнительно учитывать коэффициенты запаса по отдельным видам входных данных, что может количественно изменить оценку допустимости технологических параметров, исходя из фактического состояния конкретного участка МТ с обнаруженной поврежденностью.

Выводы

1. На основе современных моделей напряженно-деформированного и предельного состояний трубопроводных элементов при комплексном силовом и термическом воздействии разработаны математические модели кинетики физико-механических процессов при многопроходной сварочной наплавке обнаруженного дефекта локального утонения стенки трубопровода. Предложен комплексный численный критерий целостности МТ при наплавке, учитывающий как технологическую прочность трубопровода, так и его работоспособность после проведения ремонтно-восстановительных работ.

2. Показана меньшая консервативность разработанных численных критериев целостности элемента трубопровода с внешним дефектом локальной потери металла в сравнении с существующими подходами: критерием Баттеля и моделью 46345. Снижение консервативности численной оценки в рамках предложенной методологии основано на дополнительном учете процессов вязкого разрушения, которые определяют формирование предельного состояния трубопровода при совместном воздействии внутреннего давления и локального сварочного нагрева при наплавке.

3. На примере многопроходной сварочной наплавки недопустимого дефекта утонения стенки МТ исследованы характерные особенности влияния основных технологических параметров на технологическую прочность конструкции. В частности, показано, что при существенном тепловложении превалирующим механизмом, ограничивающим применение сварочной наплавки, является риск пластической неустойчивости, тогда как при

относительно небольших мощностях локального нагрева и высоких давлениях опасным является избыточное остаточное деформирование конструкции.

1. Amend B., Bruce W.A. Welding on in-service pipelines: dispelling popular myths and misconceptions // *Welding Assoc. J.* – 2013. – № 2. – P. 30–39.
2. LaMorte C.R., Boring M., Porter N. Advanced welding repair and remediation methods for in-service pipelines. Final Report. Columbus: EWI, 2007. – 283 p.
3. Sabapathy P.N., Wahab M.A., Painter M.J. The prediction of burn-through during in-service welding of gas pipelines // *Int. J. Press. Vess. Piping.* – 2000. – № 11. – P. 669–677.
4. Махненко В.И., Миленин А.С. К вопросу ремонта сухопутных магистральных трубопроводов без вывода их из эксплуатации // Сб. докл. науч.-техн. семинара «Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта», 10–11 июня 2009 г., Киев, Украина. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2009. – С. 12–18.
5. Математическое моделирование язвенных дефектов на действующих нефте- и газопроводах и разработка численного метода оценки допустимых режимов дуговой заварки таких дефектов / В.И. Махненко, В.С. Бут, Е.А. Великоиваненко и др. // *Автомат. сварка.* – 2001. – № 11. – С. 3–10.
6. ВБН В.3.1-00013471-07:2007. Магістральні нафтопроводи. Методи ремонту дефектних ділянок. – К.: Міністерство палива та енергетики України, 2007. – 112 с.
7. СТО Газпром 2-2.2-136-2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. Ч. 2. – М.: ВНИИГАЗ, 2007. – 389 с.
8. Kiefner J.F., Bruce W. A., Stephens D.R. Pipeline repair manual. – Houston: Technical Toolboxes, Inc., 1994. – 167 p.
9. Boring M.A., Zhang W., Bruce W.A. Improved burn-through prediction model for in-service welding application // *Proc. of IPC2008 7th Intern. pipeline conf.*, Sept. 29–Oct. 3, 2008, Calgary, Alberta, Canada. – New York: American Society of Mechanical Engineers, 2008, 3. – P. 249–259.
10. Painter M., Sabapathy P. In-service welding on gas pipelines // *Program Report.* – Clayton: CSIRO Manufacturing Science & Technology, 2000. – 38 p.
11. Махненко В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. – Киев: Наук. думка, 1976. – 320 с.
12. Махненко В.И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. – Киев: Наук. думка, 2006. – 618 с.
13. Карзов Г.П., Марголин Б.З., Швецова В.А. Физико-механическое моделирование процессов разрушения. – СПб.: Политехника, 1993. – 391 с.
14. Моделирование процессов зарождения и развития пор вязкого разрушения в сварных конструкциях / Е.А. Великоиваненко, Г.Ф. Розынка, А.С. Миленин и др. // *Автомат. сварка.* – 2013. – № 9. – С. 26–31.
15. Tvergaard V. Material failure by void growth to coalescence // *Adv. in Appl. Mech.* – 1990. – № 27. – P. 83–151.
16. ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 Настанова. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Мінірегіонбуд України, 2008. – 91 с.
17. СНуП 2.05.06-858 Магистральные трубопроводы. Строительные нормы и правила. – М.: ВНИИСТ Миннефтегазстрой, 1997. – 146 с.

Поступила в редакцию 03.07.2014