

По результатам испытания на конструктивную прочность кольцевого сварного соединения предел текучести $\sigma_{0,2}$ не изменяется от уровня дефектности сварного шва и его среднее значение превышает минимально допустимое для стали S355J2G3 по [2] в 1,25 раза.

При увеличении доли площади несплавления в сечении образца происходит падение предела прочности сварного соединения. Пороговый уровень дефектности, при котором изменение предела прочности не опускается ниже среднего предела прочности основного металла, составляет $\eta_1 = 0,10 - 0,12$. При уровне дефектности до $\eta_2 = 0,26$ падение предела прочности сварного шва не опускается ниже допускаемого минимального значения $\sigma_{Dmin} = 470$ МПа.

Проведенные исследования позволяют рассчитать статическую прочность и оценить безопасность эксплуатации сосудов, изготовленных из стали S355J2G3 или аналогичных марок сталей, при наличии несплавления в роликовом кольцевом соединении.

Литература

1. СТБ П ЕН 13445-3-205. Сосуды, работающие под давлением. Ч. 3. Проектирование.
2. EN10025. Нелегированная конструкционная сталь.
3. СТБ ЕН 1708-1-2004. Сварка. Соединения сварные стальных деталей. Ч. 1. Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений сосудов и оборудования, работающих под давлением.

УДК 621.124

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ЗОНЕ ВМЯТИНЫ ОБОЛОЧЕЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

С.М. Красневский, В.Г. Калиниченко, В.В. Васильков
ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск

При эксплуатации трубопроводов нередко встречаются дефекты, связанные с изменением геометрической формы трубы: вмятины, гофры, овальность и выпучины. Эти дефекты вызывают повышенную концентрацию напряжений, что существенным образом влияет на надежность эксплуатации оболочечной конструкции – трубопроводов. Наиболее часто встречающийся дефект формы трубы – вмятина. При нагружении в упругой области концен-

трация напряжений в зоне вмятины зависит только от геометрических параметров: наружного диаметра D_n и толщины стенки трубы, длины, ширины и глубины прогиба вмятины, от ее ориентации относительно продольной оси трубопровода (угол наклона наибольшей оси вмятины к оси трубы). При упруго-пластическом нагружении дополнительно влияют механические характеристики материала: предел текучести $\sigma_{0,2}$ и параметры кривой упрочнения.

Анализ норм браковки вмятин показывает, что допускаемая глубина прогиба плавной вмятины без дополнительных концентраторов напряжений (сварные швы, механические и/или коррозионные повреждения и др.) для магистральных трубопроводов с уровнем нагруженности $0,72 \sigma_{0,2}$ (проектное давление) может составлять по различным источникам от 2 до 7 % от D_n . Последняя величина следует из расчетной методики ASME [1] и критерия, основанного на полномасштабных испытаниях фактических вмятин до разрушения [2]. Отечественные нормативные документы предписывают удалять вмятины с прогибом более 3 % от D_n и тем не менее эксплуатируются трубопроводы, содержащие вмятины с глубиной прогиба 5 и даже 8 % от D_n .

Для определения влияния вмятины на прочность трубы выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния методом конечно-элементного моделирования в линейной и нелинейной постановке трубопровода $\varnothing 720 \times 9$ из стали X60 нагруженного внутренним давлением. Расчеты производились как для бездефектного трубопровода, так и с вмятинами различной ориентации. Моделирование выполнялось пространственными тетраэдральными элементами с использованием симметрии относительно трех плоскостей. Перераспределение напряжений после развития пластических деформаций в нелинейном анализе выполнялось с учетом физической нелинейности и параметра нелинейности геометрии, учитывающего большие смещения. Не учитывался параметр геометрической нелинейности – обновление направления нагрузки при больших перемещениях. Эмпирическое соотношение, описывающее истинную диаграмму деформации, представляли в виде выражения: $\sigma_i = A \cdot \epsilon_i^n$, где σ_i – интенсивность напряжений; ϵ_i – интенсивность деформаций; A, n – постоянные материала, которые определялись из экспериментальной кривой деформирования растяжением трубной стали X60 (предел текучести 436 МПа, предельная деформация 1,6).

Исследовались три типа вмятин: круговая диаметром 270 мм, поперечная эллиптическая 135 на 270 мм и продольная эллиптическая 270 на 135 мм (наибольшая ось вмятины направлена вдоль оси трубы). Максимальный прогиб для всех вмятин был одинаков и составлял 38 мм, т.е. 5 %

от D_n . Эти размеры были выбраны для реальных вмятин, которые длительное время работали в штатном режиме на газопроводе.

Результаты расчетов максимальных значений σ_i и ϵ_i представлены на рис. 1 и 2. Анализ расчетных данных по рис. 1 показывает, что начало образования зоны пластичности для продольной вмятины наступает при давлении 1,6 МПа, для круговой – 2,4 МПа, для поперечной – 3,8 МПа. По мере роста внутреннего давления в трубе происходит выравнивание напряжений и увеличение зоны пластичности без существенного превышения предела текучести материала.

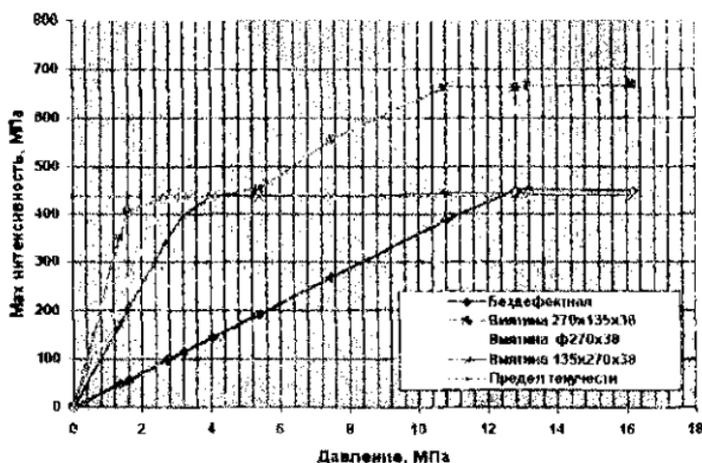


Рис. 1. Зависимость σ_{max} от внутреннего давления для трубы $\varnothing 720 \times 9$ сталь X60

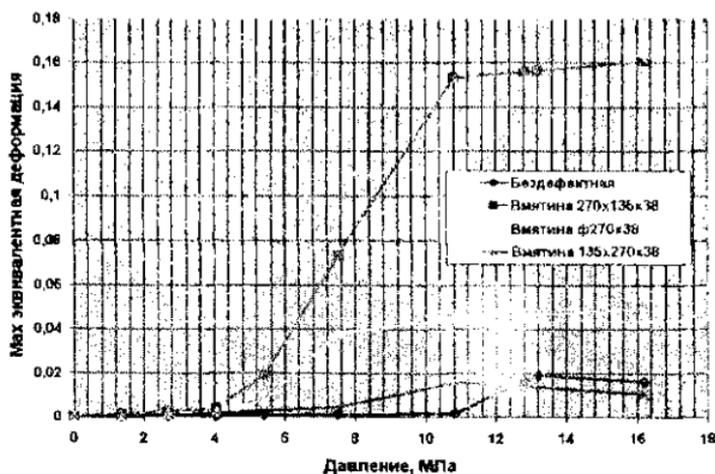


Рис. 2. Зависимость $\epsilon_{\text{экв. max}}$ от внутреннего давления для трубы $\varnothing 720 \times 9$ сталь X60

Из расчетных данных рис. 2 видно, что увеличение внутреннего давления в трубе вызывает монотонное возрастание локальной накопленной интенсивности деформаций, причем наибольшее уменьшение запаса пластичности (наибольшее возрастание накопленной деформации) наблюдается для продольной вмятины. Необходимо отметить, что при рабочем давлении в трубе 5,4 МПа для данных типоразмеров вмятин металла сохраняет высокий уровень остаточной пластичности и обладает достаточным запасом работоспособности по деформационному критерию разрушения.

Рост зон пластичности для исследованных вмятин представлен на рис. 3. Верхний ряд – поперечная эллиптическая вмятина, средний ряд – круговая вмятина, нижний ряд – продольная эллиптическая вмятина и слева направо при давлении в трубе соответственно 2,7, 5,4 и 7,5 МПа. Размеры вмятин показаны штриховой линией. Видно, что области перехода материала в пластическое состояние возникают на продольных осях вмятин в зоне перехода от вмятины к гладкой трубе. Эти пластические области монотонно расширяются как вдоль, так и поперек трубы при увеличении нагрузки. Из расчетов следует, что наибольшую опасность представляет продольная вмятина.

Расчеты напряженно-деформированного состояния при учете параметра геометрической нелинейности – обновления направления нагрузки при больших перемещениях, дают увеличение максимальных перемещений при нагружении давлением 7,5 МПа для поперечной вмятины на ~ 2 % для круговой и продольной вмятин – до 11 – 12 %.

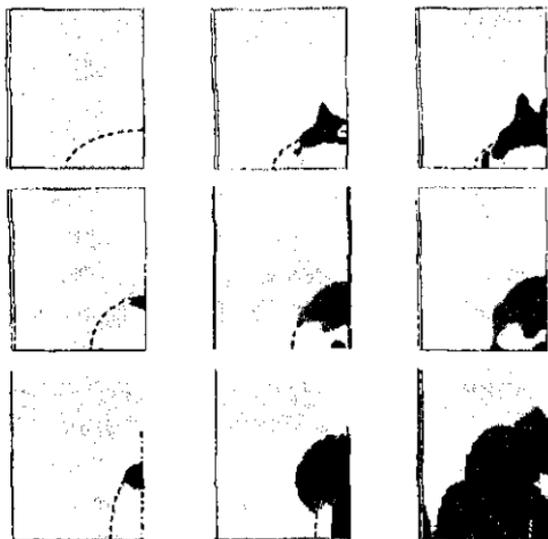


Рис. 3. Рост зон пластичности $\sigma_{\max} \geq 0,9\sigma_{02}$ для различных типов вмятин

Величина расчетного разрушающего давления для конкретной вмятины сильно зависит от фактических служебных свойств металла (пластичности/ударной вязкости) и наличия дополнительных концентраторов напряжений на поверхности вмятины. При упруго-пластическом деформировании трубы с дефектами формы (вмятины) напряжения перераспределяются в области концентрации напряжений и уже после второго цикла нагружения разгрузка и повторное нагружение происходят практически упруго. Для этого сталь должна обладать определенным запасом пластичности. Правда, уровень нагруженности в отдельных зонах вмятины составляет 0,9 – 0,95 от $\sigma_{0.2}$.

Литература

1. IPC 02-27067. The pipeline defect assessment manual.
2. EPRG Method for Assessing the Tolerance and Resistance of Pipelines to External Damage. Part 1, 2. / P. Roovers [et al]. – 1999.

УДК 621.796.65-52

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАЗГРУЗКИ СКЛАДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Н.А. Антанович, П.Н. Севрук

ЧУП «Институт горной автоматики», Солигорск

Введение. В настоящее время в РУП «НЮ «Беларуськалий» для хранения гранулированного концентрата КС1 и руды (далее – сыпучих материалов) используют арочные склады. Для загрузки такого склада используется подвесной конвейер с перемещающейся разгрузочной тележкой. Управляет загрузкой склада машинист-оператор, который находится непосредственно возле разгрузочной тележки. Задача оператора – контроль заполнения склада сыпучим материалом по зонам с разным качеством.

Для разгрузки арочного склада используется порталный кратцер-кран. Управление краном осуществляет машинист-оператор. Задача оператора:

- отгрузка сыпучего материала из зоны с заданным качеством;
- контроль массы отгружаемого сыпучего материала;
- контроль технических параметров кратцер-крана.