

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ РАЗРУШЕНИЮ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

А.Е. ЗОРИН, инж.

Рассмотрены вопросы, связанные с влиянием уровня пластической деформации на сопротивляемость зарождению и развитию усталостного разрушения от трещиноподобных концентраторов напряжений применительно к трубным сталям.

Ключевые слова: пластическая деформация, сопротивляемость материала, долговечность.

PLASTIC DEFORMATION LEVEL UNFLUENCE UPON PIPE STEEL FAILURE RESISTANCE UNDER NON-STATIONARY LOADING

A.E. ZORIN, engineer

This paper is devoted to the problems, which are connected with plastic deformation level influence upon resistance to occurrence and development of endurance failure from crack-similar stress concentrators as applied to pipe steel.

Key words: plastic deformation, material resistance, life duration.

Существует большое количество методик расчета напряженно-деформированного состояния стенки оболочковой конструкции в упругой области. Основным недостатком этих методик является предположение, что при достижении в стенке конструкции напряжений, превышающих значение условного предела упругости материала, наступает предельное состояние, после которого дальнейшая эксплуатация невозможна.

Эти методики также не учитывают, что с увеличением продолжительности эксплуатации оболочковой конструкции при нестационарном нагружении меняются все прочностные и пластические показатели из-за непрерывного накопления рассеянной поврежденности в металле и особенно в зоне конструктивно технологических (например, сварное соединение, место вварки патрубков, отводов и т.д.) и эксплуатационных концентраторов напряжений. Чем выше уровень напряжений, приложенных к материалу, тем интенсивней в нем протекают деградационные процессы и выше вероятность аварийного хрупкого разрушения.

Все существующие разработки, связанные с оценкой несущей способности конструкции и ее предполагаемого остаточного ресурса, базируются на первоначальном выявлении трещин, трещиноподобных концентраторов напряжений, утонений стенок и т.п. Используя расчетные методики, различные подходы, существующие в механике разрушения, а зачастую и просто опыт эксплуатации данного класса конструкций, делается вывод о возможности или невозможности их дальнейшей эксплуатации. При этом ошибочно предполагается, что упругопластические характеристики материала остаются неизменными, вне зависимости от срока и условий эксплуатации конструкции.

Одним из показателей снижения сопротивляемости металла конструкции хрупкому коррозионно-механическому разрушению является уровень пластической деформации в процессе эксплуатации. Это объясняется тем фактом, что протекание пластической деформации в условиях двухосного нагружения активно разрыхляет металл, стимулирует появление новых и рост имеющихся микро- и макротрещин, что способствует снижению сопротивляемости материала хрупкому разрушению осо-

бенно при переменном нагружении в области низких климатических температур.

Однако при некоторых небольших значениях предварительной пластической деформации снижения сопротивляемости циклическому разрушению не происходит. Это связано с тем, что в зоне дефектов докритических размеров протекает пластическая деформация, которая позволяет увеличить радиус при вершине дефекта и, как следствие, снизить концентрацию напряжений и увеличить инкубационный период зарождения эксплуатационной трещины от этого концентратора напряжений при длительном нестационарном нагружении.

В нашей стране практикуются режимы гидротестирования трубопроводов на 15–20 % выше рабочих давлений, что создает напряжение в стенке, не превышающее 0,8 от условного предела текучести материала.

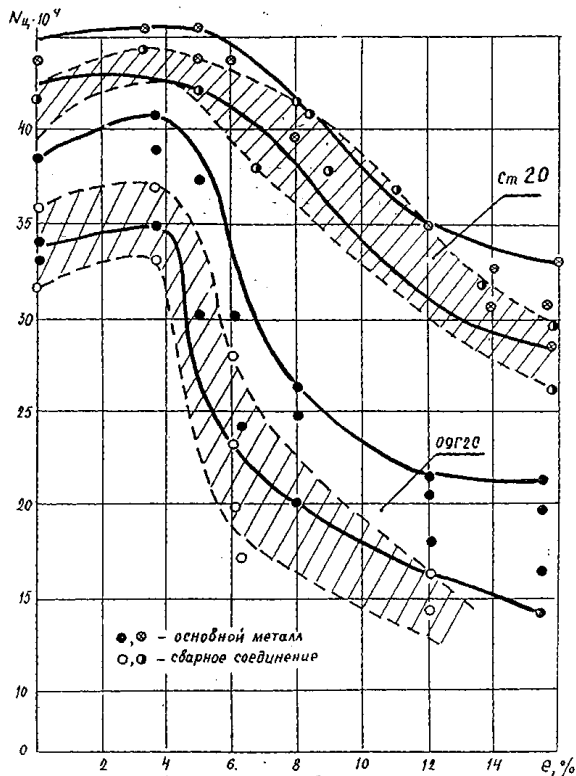
С помощью создания таких напряжений выявляется не более 20 % дефектов. В то же время создание напряжений внутренним давлением на 10–15 % выше предела текучести позволяет выявить до 80 % имеющихся дефектов [1, 2, 3]. Кроме того, опрессовка оболочковых конструкций из пластичных сталей при напряжении на 10–15 % выше условного предела текучести позволяет снизить остаточные сварочные напряжения (ОСН).

Для оценки влияния уровня предварительной пластической деформации на сопротивляемость стенки сварной оболочковой конструкции усталостному разрушению был поставлен следующий эксперимент (см. рисунок).

Изготовлены две партии крупномасштабных образцов из сталей 20 и 09Г2С. По три образца из каждой стали получают предварительную пластическую деформацию на уровне 3,0–3,5 %, 5,0–6,0 % и 7,5–8,0 %, соответственно.

Образцы были вырезаны из листового проката, рабочая длина образцов – 300 мм, ширина – 70 мм, толщина – 10 мм. Уровень пластической деформации фиксировали по реперным точкам в рабочей части образца на базе 60 мм. Нагружение вели на разрывной машине УДМ-100 (Германия). Максимальное напряжение в цикле $\sigma_{max} = 0,9\sigma_T$, асимметрия цикла $R = 0,5$, частота нагружения – 120 цикл/мин. При испытаниях образцы доводились до разрушения. Уровень предварительной пласти-

ческой деформации фиксировали по изменению расстояния между реперными точками, поставленными в рабочей части образца. Стыковые сварные соединения были выполнены для стали 20 электродами УОНИ 1345, для стали 09Г2С – электродами УОНИ 1355.



Зависимости циклической долговечности крупногабаритных образцов от уровня предварительной пластической деформации

После внесения различного уровня предварительной пластической деформации, в центральной

части образца наносили поверхностный трещиноподобный концентратор напряжений фрезой толщиной 0,2 мм. Глубина надреза во всех случаях составляла 2,0 мм, протяженность – 25 мм. Ширина рабочей части была не менее 6 толщин испытываемого листового материала. Закономерности, ранее обнаруженные на сварных образцах, полностью повторяются и на образцах из основного металла.

Заключение

В результате проведенного эксперимента установлено, что предварительная пластическая деформация до 3,0–3,5 % несколько увеличивает циклическую долговечность образцов из стали 09Г2С, а при 5,0–6,0 % отмечается резкое снижение циклической долговечности (в 1,5–1,7 раза). На стали 20 регистрируется более плавное снижение циклической долговечности образцов с повышением уровня предварительной пластической деформации.

Таким образом, создание внутренним давлением напряжений, вызывающих в стенке оболочковой конструкции пластическую деформацию до 2,0–2,5 %, позволит не только выявить значительно большее число дефектов, но и на 10–15 % поднять циклическую трещиностойкость сварных конструкций из стали 09Г2С.

Список литературы

1. Айнбиндер А.Б., Камерштейн А.Г. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость. – М.: Недра, 1982.
2. Конструктивная надежность газопроводов: сб. ст. – М.: ВНИИГАЗ, 1992.
3. Иванцов О.М. Надежность строительных конструкций магистральных трубопроводов. – М.: Недра, 1985.