

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОТВОДОВ ХОЛОДНОГО ГНУТЬЯ ИЗ СТАЛИ КЛАССА ПРОЧНОСТИ K56

Задубровская О.А., Гаврилов Д.А.

Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта, Москва

Ключевые слова: отводы холодного гнутья, трубы, угол изгиба, долговечность, малоцикловая усталость.

Аннотация. В работе приведена оценка долговечности отводов холодного гнутья с увеличенными углами изгиба класса прочности K56 по результатам испытаний на малоцикловую усталость по схеме «жесткого» нагружения при растяжении образцов из недеформированной, растянутой и сжатой зон отводов. Испытания показали, что долговечность изогнутой части отводов класса прочности K56 в растянутой и сжатой зонах не меньше, чем долговечность металла недеформированной зоны.

EVALUATION OF DURABILITY OF COLD BENDING ELBOWS FROM K56 STRENGTH CLASS STEEL

Zadubrovskaya O.A., Gavrilov D.A.

Pipeline Transport Institute, Moscow

Keywords: branches of cold bending, pipes, bending angle, durability, low-cycle fatigue.

Abstract. The authors evaluated endurance of cold bending elbows with increased bending angles from K56 strength class steel according to results of low-cycle fatigue tests by a scheme of loading under tension of specimens made from unstrained, stretched and compressed elbow zones. The tests demonstrated that endurance of the bent part of elbows in the stretched and compressed zones is not lesser than that of metal of the unstrained zone.

В процессе изготовления отводов холодного гнутья с увеличенными относительно нормативных значений (ГОСТ 24950-2019 [1]) углами гибки [2] изогнутая часть отводов претерпевает бо́льшие пластические деформации, вызывающие изменение механических свойств металла в зонегиба. В основном происходит повышение предела текучести относительно значений данного параметра до гибки [3-5]. Изменение базовых механических характеристик требует проверки работоспособности металла отводов при длительной эксплуатации в условиях циклического нагружения. Известно, что повреждения значительной части эксплуатируемых конструкций и объектов вызваны совместным проявлением двух процессов – малоциклового и многоциклового усталости [6-7].

Оценка влияния деформации, возникающей при изготовлении отводов холодного гнутья, изготовленных из стали класса прочности K56, номинальными размерами 1020x17,0 мм и 720x8,0 мм с увеличенными углами гибки 10,05° и 13,35° соответственно, на долговечность проводилась методом испытания на малоцикловую усталость (МЦУ) по ГОСТ 25.502-79 [8] на поперечных гладких образцах круглого сечения диаметром 6 мм с радиусной проточкой R, равной 25 мм, до диаметра 5 мм.

Для проведения испытаний на МЦУ была использована многоцелевая сервогидравлическая испытательная машина, запись диаграмм деформирования образцов осуществлялась по перемещению поршня испытательной машины.

Из каждой зоны отвода испытывались четыре образца:

- первый образец испытывался на растяжение до разрыва с записью диаграммы деформирования (скорость нагружения составляла $5 \text{ Н}/(\text{мм}^2 \cdot \text{с})$);
- второй образец испытывался на МЦУ с максимальным удлинением в цикле, равным $0,2\Delta l_p$;
- третий образец испытывался на МЦУ с максимальным удлинением в цикле, равным $0,5\Delta l_p$;
- четвёртый образец испытывался на МЦУ с максимальным удлинением в цикле, равным $0,5(\Delta l_p + \Delta l_{разр})$,

где Δl_p – полное равномерное удлинение образца (мм), соответствующее максимальному усилию F_{\max} (кН);

$\Delta l_{разр}$ – полное удлинение до разрушения образца (мм), соответствующее усилию разрыва образца $F_{разр}$ (кН);

Δl_p и $\Delta l_{разр}$ определяли по диаграмме деформирования образца с проточкой на растяжение, опуская перпендикуляры на координатную ось удлинения.

Испытания на МЦУ проводились по схеме «жёсткого» нагружения при растяжении образцов из растянутой, сжатой и недеформированной зон отводов. При данной схеме нагружения (частота нагружения образцов составляла 2 Гц при заданном максимальном удлинении и коэффициенте асимметрии удлинения $R_L=0$) испытательная машина подбирает усилие растяжения и сжатия на протяжении всего испытания в зависимости от поведения материала образца. Максимальное удлинение в цикле задавалось исходя из фактических свойств недеформированной, растянутой и сжатой зон отводов.

Оценка долговечности металла проводилась путём сравнения количества циклов до разрушения ($N_{разр}$) образцов, вырезанных из недеформированной зоны отводов и образцов, вырезанных из сжатой и растянутой зон изогнутой части отводов.

По результатам испытаний на МЦУ было определено, при испытании с удлинением до $0,5(\Delta l_p + \Delta l_{разр})$, соответствующим стадии разрушения на диаграмме растяжения, количество циклов до разрушения образцов менялось от 20 до 25 циклов. При циклическом нагружении образцов отводов с удлинением в цикле до $0,5\Delta l_p$, соответствующим стадии упрочнения на диаграмме растяжения до разрушения, количество циклов до разрушения составило от 169 до 439 циклов. При испытании образцов металла отводов с максимальным удлинением в цикле до и $0,2\Delta l_p$, также соответствующим стадии упрочнения, количество циклов до разрушения образцов отводов изменялось от 3,9 тыс. до 54,7 тыс. циклов. При этом для более нагруженных образцов растянутых зон отводов, где модуль усилия сжатия оказался на 9-12 МПа больше, чем при испытании образцов из недеформированных зон, установлено увеличение количества циклов до разрушения. Также при большей амплитуде сжатия на образцы сжатой зоны отводов количество циклов до их разрушения было не менее, чем у образцов из недеформированной зоны

Таким образом, было определено, что долговечность изогнутой части отводов с увеличенными угламигиба класса прочности К56 в растянутой и сжатой зонах не меньше, чем долговечность металла недеформированной зоны.

Список литературы

1. ГОСТ 24950-2019. Отводы гнутые и вставки кривые на поворотах линейной части стальных трубопроводов. Технические условия.
2. Нестеров Г.В., Задубровская О.А., Гаврилов Д.А., Пошибаев П.В. Экспериментальные исследования по изучению возможности изготовления отводов холодного гнутья с увеличенными углами изгиба // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 127-137.
3. Есиев Т.С., Войдер К.А., Глухов М.Г. Анализ влияния холодной пластической деформации, возникающей в процессе изготовления, на механические свойства основного металла и металла сварных соединений отводов холодного гнутья из спиральношовных труб // Вести газовой науки. – 2014. – №1. – С. 98-104.
4. Шабалов И.П., Великоднев Я.В., Настич С.Ю., Чегуров С.А., Пуйко А.В. Изменение свойств труб класса прочности К60 с повышенной деформационной способностью при изготовлении отводов холодного гнутья // Инновации и импортозамещение в трубной промышленности: труды XXII Международной научно-практической конференции "Трубы – 2016". – Челябинск: РосНИТИ, 2016. – С. 42-52.
5. Судзуки Н., Аракава Т., Ямаура Т., Какахира С., Мураока Р. Применение труб с высокой деформационной способностью при изготовлении методом холодногогиба криволинейных отводов с большим углом // Газовая промышленность. – 2017. – № 4. – С.66-71.
6. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчёты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: справ. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
7. Степанов М.Н. Агамиров Л.В., Зинин А.В. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных нагрузках. – М.: МАТИ, 2001. – 216 с.
8. ГОСТ 25.502-79. Расчёты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость.

Сведения об авторах:

Задубровская Ольга Александровна – ведущий научный сотрудник;

Гаврилов Дмитрий Анатольевич – к.х.н., старший научный сотрудник.