

Виды предельных состояний металлических сварных конструкций при эксплуатации при проведении экспертизы промышленной безопасности

Зубко О. В.¹, Выдрин В. Н.²

¹Зубко Ольга Викторовна / Zubko Olga Viktorovna - эксперт по промышленной безопасности, производственно-коммерческий директор;

²Выдрин Владимир Николаевич / Vydrin Vladimir Nikolaevich - эксперт по промышленной безопасности, директор, ООО «ВВЗ», г. Тула

Аннотация: в статье рассмотрены предельные состояния металлических сварных конструкций, возникающие при эксплуатации, рассматриваемые при проведении экспертизы промышленной безопасности.

Abstract: the article considers the limit state of welded metal construct arising from the operation, consider implementing the research Institute of industrial safety expertise.

Ключевые слова: предельное состояние, нагружение, металлические сварные конструкции.

Keywords: limit load, loading, metal welding innovative design.

Экономическое развитие страны в первую очередь обеспечивается за счет деятельности предприятий, на которую оказывает существенное влияние обеспечение промышленной безопасности. А одним из наиболее значимых этапов в обеспечении безопасности и жизнеспособности производственного объекта является экспертиза его промышленной безопасности, которая проводится на основании требований статьи 13 Федерального закона РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1] с целью определения соответствия объекта экспертизы предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности [2]. В ходе выполнения экспертизы промышленной безопасности возникает вопрос об эксплуатационной оценке сварных конструкций.

Для оценки работоспособности сварной конструкции необходимо сопоставить ее текущее состояние со всеми возможными предельными состояниями, при которых работоспособность нарушается. Условия наступления предельных состояний определяются путем сопоставления параметров напряженно деформированного состояния (величины напряжений и деформаций, коэффициента интенсивности напряжений, показателей объемности напряженного состояния) с соответствующими им параметрами материалов (пределами текучести и прочности, фактическими разрушающими напряжениями, вязкостью разрушения). Выбор сопоставляемых параметров напряженно деформированного состояния и внутренних свойств материалов соответствует принятому методу оценки предельных состояний. В значительной степени возможность достижения конструкцией того или иного предельного состояния устанавливается по результатам диагностирования технического состояния элементов и всей конструкции в целом. Предельные состояния, используемые в нормативных документах, могут быть приведены к нескольким основным группам, характерным как для сварных, так и не сварных конструкций. Эти группы отличаются по степени повреждения конструкций и степени опасности предельного состояния. В зависимости от среды эксплуатации, проходящих деградационных процессов в конструкциях, можно выделить основные виды предельных состояний:

- вязкое разрушение или пластическая деформация по всему сечению элемента конструкций;
- хрупкое разрушение элемента или всей конструкции;
- потеря устойчивости элемента или всей конструкции;
- усталостное разрушение элемента конструкции;
- течь или разгерметизация конструкции;
- предельная деформация и перемещение, определяющие необходимость прекращения эксплуатации конструкции;
- потеря герметичности фланцевых соединений вследствие релаксации напряжений.

В пределах каждой группы существует несколько предельных состояний, отличающихся причинами и условиями наступления.

1. Достижение предельного уровня геометрической изменяемости вследствие развития пластической деформации или потери устойчивости. Например – в подкрановых балках, в магистральных трубопроводах, в паропроводах возможно образование вмятин и гофр как при монтаже, так и при сдвиге грунта. Возможно образование концентраторов напряжения в местах крепления на опорах и, как следствие, можно наблюдать вязкое разрушение сечения в виде местного утонения - трубопроводы.

2. Появление трещин в сварных швах и конструктивных элементах. Например: трубопроводах, резервуарах, подкрановых балках.

3. Недопустимое раскрытие трещин при эксплуатации, развитие разрушения.

Наиболее опасными являются группы 2 и 3 при оценке остаточного ресурса, безопасности конструкций. В процессе эксплуатации конструкций в них происходят деградиционные процессы: изменение геометрии элемента конструкции; поверхностное и внутреннее коррозионное повреждение конструкций; образование и развитие макродефекта; старение механических свойств материалов.

При этом значительна роль химического состава и структуры сталей в развитии коррозионных процессов. Коррозию подразделяют на общую и локальную. Локальная коррозия представляет особую трудность диагностирования при выявлении методами ультразвуковой толщинометрии в условиях одностороннего доступа к поверхности конструкций. Рост трещин от исходных дефектов наряду с коррозионными повреждениями и деградацией свойств материала является основным фактором, определяющим ресурс. Уровень недопустимого размера трещины зависит от особенности конструкции и характера ее работы. Наиболее сложным для анализа является нагружение конструкции, в процессе которого изменяются по времени и напряжению, и температура. Начиная с момента изготовления сварных конструкций, конец предыдущей стадии является исходным для следующей стадии. При эксплуатации сварных конструкций исходным является состояние после их изготовления (сварка и термообработка). Классификация предельных состояний по уровню сложности их анализа позволяет сделать вывод, что они образуют иерархическую многоуровневую структуру. Появление дополнительных факторов – переменная температура, агрессивная среда - приводят к усложнению анализа предельного состояния конструкций.

Можно выделить несколько предельных состояний [3]:

- первое предельное состояние - вязкое разрушение вследствие потери пластической устойчивости при статическом нагружении (монотонном и медленном росте нагрузки) и однородном напряженно деформированном состоянии – входит в группу 1. Вязким называется такой вид разрушения твердого тела (элементов или всей конструкции), при распространении трещины в котором размер зоны пластической деформации у вершины трещины сравним с величиной трещины или поперечником твердого тела (элемента конструкции). Это область классической механики материалов. Имеются определенные сложности в связи с большими пластическими деформациями перед разрушением. При этом однородность напряженно деформируемого состояния обычно нарушается перед разрушением после потери пластической устойчивости и локализации деформации (например, утонение стенки трубопровода). Применительно к конструкционным материалам можно выделить следующее [4]:

- зарождение микропоры на границе раздела матрица–частица в результате пластической деформации матрицы или растрескивания самой частицы;
- стабильный рост микропоры с образованием полости вокруг частицы;
- ускоренный рост микропоры до встречи с соседними порами или поверхностью тела с образованием поры (полости или ямки).

В результате действия этого механизма разрушения на поверхности разрушения формируется ямочный рельеф. При наличии в структуре стали неметаллических включений, вокруг них происходит образование микропор, а затем и ямок – происходит зарождение и распространение вязкой трещины.

При испытании стандартных образцов на ударный изгиб наблюдается сдвиговый тип разрушения по ГОСТ 9454-78 [5]. В общем случае зарождение вязкой трещины связано с предварительной пластической деформацией образца.

- второе предельное состояние – разрушение материалов с малой пластичностью от острой трещины при статической нагрузке, перпендикулярной к фронту трещины, можно отнести к группам 2 или 3, так как после появления трещины может происходить разрушение. В трубопроводах наступление такого состояния возможно после длительной эксплуатации под действием коррозионной среды, в интервале температуры хрупкости.

Наступление предельного состояния конструкций вследствие хрупкого разрушения возможно при применении любых марок стали и происходит оно при малых деформациях как при расчетных, так и при нормативных нагрузках. Хрупким называется такой вид разрушения твердого тела (элементов или всей конструкции), при распространении трещины в котором размер зоны пластической деформации у вершины трещины пренебрежительно мал по сравнению с размером трещины или поперечником твердого тела (элемента конструкции).

Хрупкое разрушение стали происходит при номинальных растягивающих напряжениях $\sigma_p \leq \sigma_{0.2}$ в форме самопроизвольного распространения трещины под воздействием запасенной упругой энергии, накопленной конструкцией. Оно не прогнозируется при традиционных расчетах на прочность конструкций по пределам текучести и временному сопротивлению.

$\sigma_{0.2}$ – условное напряжение, при котором остаточная деформация достигает 0.2 %.

Появлению хрупкого разрушения способствуют следующие факторы: низкая температура, объемно-напряженное состояние, концентраторы напряжений и др. факторы (например - ударные воздействия, охрупчиваемость стали, неудачные конструктивные решения).

Смена вязкого вида разрушения хрупким – суть хладоломкости материалов.

Третье предельное состояние – многоцикловое усталостное разрушение от исходной острой трещины – относится к группе 3. Разрушения происходят при меньших нагрузках, чем в условиях статического нагружения, сложности связаны с суммированием повреждений при смене знака нагрузки. Этот вид разрушения происходит сравнительно медленно. Субмикроскопические трещины усталости зарождаются на ранней стадии развития полос скольжения. Влияние этих трещин на характеристики прочности материала очень мало. Суммарный период развития усталостных трещин составляет 90-97 % от общей долговечности. Стандартным методом определения сопротивления разрушению при циклических нагрузках является экспериментальное определение номинального размаха (амплитуды) напряжения, которое не вызывает разрушения гладкого или надрезанного образца за бесконечно большое число циклов нагружения. Для гладких образцов этот размах напряжения называется «пределом выносливости» $\sigma_{ц}$. Его определяют на базе заданного числа циклов (обычно от 10^7 до 10^9). Этот метод испытаний приведен в ГОСТ 25.502-79 [6].

Широкий спектр действующих механизмов распространения усталостных трещин выявляется в сварных соединениях. Это обусловлено как вариацией в большом диапазоне типа структурных составляющих, их количественных параметров, так и наличием высокого уровня остаточных сварочных напряжений.

Литература

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» принят Государственной Думой 20 июня 1997 года № 116-ФЗ.
2. Федеральные нормы и правила в области «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 года № 538.
3. *Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф.* Техническая диагностика опасных производственных объектов. М.: Наука, 2010. 415 с.
4. *Горицкий В. М.* Диагностика металлов. – М. Металлургиздат, 2004. 408 с.
5. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
6. ГОСТ 25.502-79 Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость.