

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ДЕФЕКТОВ

ХАРЛАМОВ Илья Евгеньевич

ассистент

ВАЛЕЕВ Сергей Ильдусович

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
г. Казань, Россия

Методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS проведен анализ влияния дефекта основного металла типа «расслоение», в зависимости от глубины его залегания, на возможную безопасную эксплуатацию технологического оборудования. По результатам исследований установлено, что расслоение не оказывает существенного влияния на несущую способность оборудования, пока оно локально и не распространяется.

Ключевые слова: дефект, метод конечных элементов, эксплуатация, авария, срок службы.

Срок службы большого количества технологического оборудования во многих отраслях промышленности достиг проектного, приближается к нему или его превосходит. В связи с невозможностью и нецелесообразностью замены всего парка такого оборудования на новое, возникают задачи обоснования продления срока его службы и обеспечения безопасной эксплуатации на этот период времени [1; 3; 7; 8; 12].

Сосуды и аппараты в особенности сварные могут изначально содержать протяженные дефекты. Среди множества дефектов такого типа выделяется дефект под названием «расслоение» [2; 4; 11; 13]. Расслоение может появиться как на стадии эксплуатации, так и изначально присутствовать в металле сосудов и аппаратов, незамеченном при входном контроле.

В общем случае расслоение-нарушения сплошности внутри прокатанного металла, представляющие собой раскатанные крупные дефекты слитка (глубокие усадочные раковины, усадочная пористость, скопления пузырей или неметаллических включений). Характерным для расслоения является то, что поверхность нарушения сплошности параллельна плоскости прокатки, раскатанные скопления неметаллических включений дают внутреннюю прослойку, разделяющую лист или профиль на две, три или более частей.

Обычно эксплуатация такого оборудования

разрешается при условии ремонта дефектного участка с применением сварки или периодического обследования дефектного участка неразрушающими методами с целью контроля увеличения размеров расслоения, если размеры и расположение расслоения не позволяет произвести его ремонт [2; 4,6; 8; 13]. Проведение периодического контроля процесс дорогой и трудоемкий, особенно в случае невозможности вывода оборудования из технологического процесса.

При принятии решения о дальнейшей эксплуатации оборудования с дефектом типа расслоение необходимо учитывать в первую очередь глубину его залегания и направленность.

Известные экспериментальные данные [10] не позволяют дать количественную оценку характеристик разрушения элемента, имеющего расслоение. Для аналитических методов эта задача представляет определенную трудность. Перспективным в этом отношении являются численные методы, среди которых ведущая роль отводится методу конечных элементов.

При оценке безопасной эксплуатации элемента оборудования с расслоением необходимо, прежде всего, оценить возможность его хрупкого разрушения или сопротивление хрупкому разрушению, так как разрушения этого вида особенно опасны. Основным критерием для анализа хрупких и квазихрупких разрушений (температура эксплуатации не превышает первую критическую температу-

ру) является коэффициент интенсивности напряжений КИН [5; 9; 10].

Расслоение дефект трещиноподобный, отличается от других дефектов этого типа (трещин нормального отрыва) своим особенным расположением в металле. Как уже отмечалось выше, этот дефект располагается параллельно поверхности стенки элемента.

Над силами нормального отрыва берегов расслоения значительно преобладают силы продольного и поперечного сдвига.

Для подтверждения этого утверждения проведены исследования конечно-элементной модели обечайки с расположенными в ней расслоениями. Размеры обечайки и внутреннее давление постоянны.

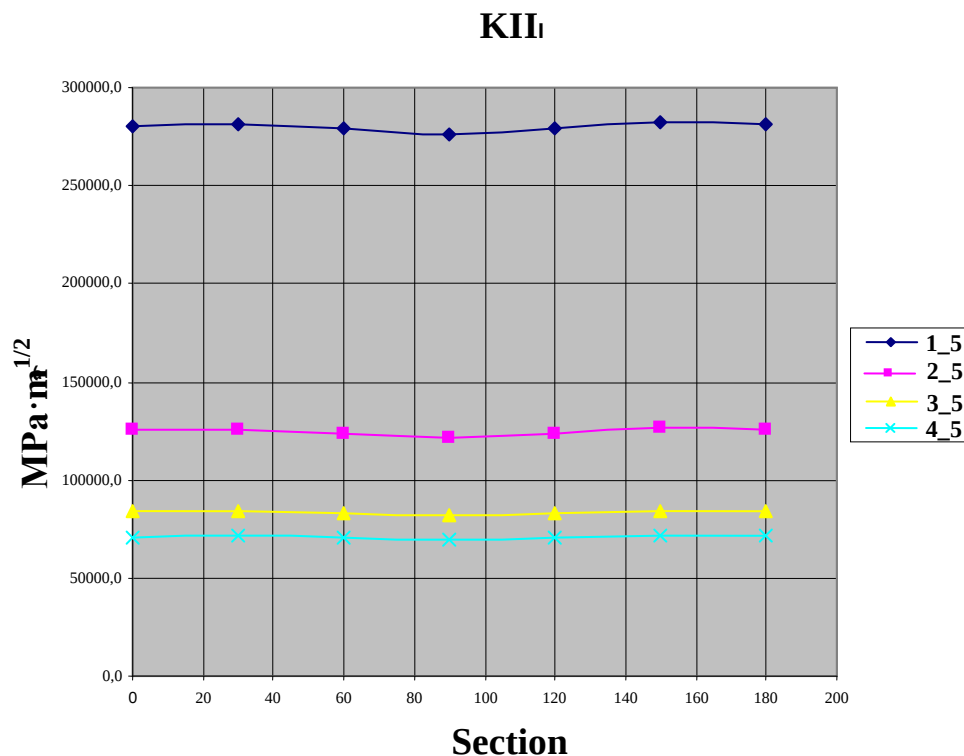


Рисунок 1. Расчетные значения коэффициента интенсивности напряжения КП₁ для различных глубин залегания расслоения

Расчет напряженно-деформированного состояния и вычисление коэффициентов интенсивности напряжений выполнены методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS [4; 5; 9; 12; 13]. Рассмотрена модель половины обечайки с записью соответствующих граничных условий на плоскости симметрии. Для имитации реакции днищ к торцевым плоскостям прикладывались соответствующие растягивающие напряжения. Расслоения моделировались на разных глубинах залегания. Расслоения моделировались параллельно поверхности обечайки. Не учитывалось влияние концентраторов напряжений (швов, штуцеров, опор и

т. д.). Для создания правильной сетки в области фронта расслоения использовались 2-D элементы со смещенными центральными узлами (с целью реализации функции формы с корневой особенностью) PLANE82 и 3-D элементы SOLID186 с добавлением контактных элементов CONTA174 и TAR.

Решалась нелинейная контактная статическая задача без учета пластических деформаций в зоне фронта трещины.

На рисунках 1 показаны расчетные значения коэффициентов интенсивности напряжения (КИН) КП (для KI, КП_{III} графики не показаны) для 7 точек вдоль фронта круглого расслоения расположенных через каждые 30

град от 0 до 90 град относительно оси расслоения, проходящей по нормали к плоскости через его центр. Значения получены при различных глубинах залегания расслоения для отношений глубины залегания к толщине стенки от 1/5 до 4/5. Аналогичные расчеты проведены для коэффициентов интенсивности напряжения (КИН) К_I, К_{III}.

По результатам расчетов установлено, что максимальные значения относительно других коэффициентов интенсивности напряжения достигают коэффициенты интенсивности напряжения второго типа-К_{II} (трещина

продольного сдвига) расположенная ближе к внутренней стенке обечайки.

Таким образом при прочих равных условиях преобладают коэффициенты интенсивности напряжения второго К_{II} типа, которые в свою очередь достигают максимальных значений для расслоений, расположенных ближе к внутренней стенке обечайки.

Проведенные исследования подтверждают [4; 13], что расслоение не оказывает существенного влияния на несущую способность оборудования, пока оно локально и не распространяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А. и др.* Некоторые аспекты обеспечения промышленной безопасности опасных объектов / В.А. Алексеев, С.И. Валеев, П.В. Вилохина, М.А. Зотов, Л.Н. Москалев, А.А. Назаров, А.С. Поникаров, А.С. Поникарова, И.Н. Поникарова Поникаров С.И., Салин А.А., Салина А.А., Старовойтова Е.В., Теляков Э.Ш., Хоменко А.А. – Казань: АН РТ, 2019. – 160 с.
2. *Валеев С.И.* Эксплуатация технологического оборудования на опасном производственном объекте // Современные проблемы теории машин. – 2020. – № 9. – С. 50-52.
3. Деградация свойств металла оборудования установки переработки углеводородного сырья длительное время находящегося в эксплуатации / А.А. Ларин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 20. – С. 257-258.
4. Исследование расслоений различной формы и ориентации в обечайке с определением параметров трещиностойкости / И.Е. Харламов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 20. – С. 267-269.
5. *Каплун А.Б.* ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Едиториал, УРСС. – 2003. – 272 с.
6. *Коновалов Н.Н.* Нормирование дефектов и достоверности неразрушающего контроля сварных соединений. – М.: ФГУП «НТИЦ «Промышленная безопасность», 2006. – 111 с.
7. *Маршалл В.* Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 671 с.
8. Монтаж, техническая диагностика и ремонт основного технологического оборудования химических производств и нефтегазопереработки / И.И. Поникаров [и др.]. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2018. – 798 с.
9. *Морозов Е.М.* Методы конечных элементов в механике разрушения / Е.М. Морозов, Г.П. Никишков. – М.: «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 256 с.
10. *Черепанов Г.П.* Механика разрушения / Г.П. Черепанов, Е.Р. Ершов. – М.: Машиностроение, 1977. – 224 с.
11. *Шакирова Ю.И.* Эксплуатация технических устройств (сосудов и аппаратов) с дефектами типа расслоение / Ю.И. Шакирова, С.И. Валеев, В.А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 16. – С. 157-158.
12. *Valeev S.I., Kharlamov I.E.* Determination of powerful active zones of petrochemical equipment / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. т. 537. в. 032059. С. 1-5.
13. *Kharlamov I.E., Valeev S.I.* Calculation of strength of shell suffering exfoliation // Chemical and petroleum engineering. 2018. Т. 54. № 3-4. С. 278-282.

FORECASTING OPERATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN THE PRESENCE OF DEFECTS

KHARLAMOV Ilya Evgenievich

assistant

VALEEV Sergey Ildusovich

PhD in technical sciences, Associate Professor

Kazan National Research Technological University

Kazan, Russia

Методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS проведен анализ влияния дефекта основного металла типа «расслоение», в зависимости от глубины его залегания, на возможную безопасную эксплуатацию технологического оборудования. По результатам исследований установлено, что расслоение не оказывает существенного влияния на несущую способность оборудования, пока оно локально и не распространяется.

Ключевые слова: дефект, метод конечных элементов, эксплуатация, авария, срок службы.
