ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ

© 2012 В.А. Ворков, Е.О. Капралова, М.А. Федотенко, А.В. Агафонов

ОАО «Гипровостокнефть», г. Самара

Поступила в редакцию 23.03.2012

Учет влияния коррозионных дефектов является необходимым фактором при анализе прочности и надежности трубопроводов. В статье приведены результаты исследования влияния коррозионных дефектов на прочность трубопроводов, определены характерные критические размеры коррозионных пятен, а также влияние взаимного расположения пятен на напряженно-деформированное состояние трубопровода.

Ключевые слова: коррозионные дефекты, трубопровод, конечно-элементное моделирование, прочность, напряженно-деформированное состояние

Коррозия – это самопроизвольное разрушение металлов под воздействием химического или физико-химического влияния окружающей среды [1]. В широком понимании коррозии подвергаются не только металлы, но и любые материалы, будь то бетон, пластмасса, резина или керамика. Причиной возникновения и протекания процессов коррозии является термодинамическая неустойчивость материалов к определенным компонентам, находящихся в окружающей их среде. Результатом коррозии являются продукты коррозии, испорченное оборудование, разрушение конструкций [2]. Ежегодно коррозия наносит огромнейший ущерб народному хозяйству каждой страны. В промышленно развитых странах убытки от коррозии за год составляют в среднем около 3-5% от внутреннего валового продукта, а потери металла достигают 20%. Ущерб от коррозии складывается не только от стоимости материалов, но и от затрат на изготовление пришедших в негодность конструкций, оборудования и различных изделий [2].

Цель работы: исследование влияния коррозионных дефектов на прочность трубопроводов и рассмотрение различных вариантов расположения коррозионных пятен по трубопроводу.

При расчете рассматривался трубопровод с параметрами, представленными в таблице 1. Геометрия рассматриваемого трубопровода представлена на рис. 1. Механические характеристики материала трубы представлены в таблице 2.

Таблица 1. Исходные данные

<i>D</i> _н , мм	<i>б</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>р</i> , МПа	<i>Т</i> , °С	<i>Т_{зам}</i> , °С	$\delta_{\scriptscriptstyle \kappa o p}, \ { m MM}$
426	10	10000	4	70	-20	3

где D_{μ} – наружный диаметр трубопровода; δ – толщина трубопровода; L – длина трубопровода; p – внутреннее давление в трубопроводе; T – температура продукта в трубопроводе; T_{3am} – температура замыкания трубопровода; δ_{kop} – прибавка на коррозию.



Рис. 1. Геометрия трубопровода

Таблица 2. Механические характеристики материала трубы

Класс проч- ности стали	Предел теку- чести <i>σ_m</i> , МПа	Сопротивление разрыву σ _в , МПа
К48	338	470

Для решения поставленной задачи был выбран многофункциональный программный комплекс конечно-элементных расчетов ANSYS. При расчете использовался объёмный 20-узловой изопараметрический конечный элемент SOLID 186. Дефект трубопровода в виде коррозионного пятна моделируется следующим образом: из цилиндра, представляющего трубопровод, вырезается

Ворков Виталий Александрович, инженер отдела металлоконструкций и прочностных расчетов. E-mail: vvorkov@yandex.ru

Капралова Екатерина Олеговна, техник отдела металлоконструкций и прочностных расчетов. E-mail: katerina280789@mail.ru

Федотенко Максим Андреевич, инженер отдела металлоконструкций и прочностных расчетов. E-mail: maksim-fedotenko@yandex.ru

Агафонов Андрей Валерьевич, главный специалист отдела металлоконструкций и прочностных расчетов. E-mail: andrey.agafonov@giprovostokneft.ru

эллипсоид, смещенный на некоторое расстояние к центру цилиндра в поперечном направлении. Параметры эллипсоида представлены на рис. 2-4.



Рис. 2. Геометрия коррозионного пятна в плане. Параметром *с'* обозначается половина реальной длины пятна



Рис. 3. Геометрия пятна в меридиональном сечении трубы. Параметром *b'* обозначается реальная глубина пятна



Рис. 4. Геометрия пятна в поперечном сечении трубы

Согласно безмоментной теории оболочек вращения в трубопроводе в меридиональном и продольном сечениях возникают напряжения, представленные на рис. 5.



Рис. 5. Направление напряжений в продольном и поперечном сечениях трубы

В работе рассматриваются эквивалентные напряжения по Мизесу:

$$\sigma_{M0} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \right]}$$
(1)

^{где}
$$\sigma_1 = \frac{pR}{2\delta}, \ \sigma_2 = \frac{pR}{\delta}$$

Таким образом, получаем по формуле (1): σ_1 =40,6 МПа, σ_2 =81,2 МПа, σ_{M0} =73,79. Рассмотрим распределение главных и эквивалентных напряжений вокруг коррозионного пятна (см. рис. 6-7). В продольном направлении имеем один максимум, в окружном и максимум и минимум напряжений.



Рис. 6. Распределение напряжений вокруг коррозионного пятна в продольном направлении





Для определения $c_{\kappa p}$ фиксируем значения *b* и *a*. Значения параметра *c* изменяются от 5 мм до 1000 мм. Так как эллипсоид смещённый, то реальное значение длины пятна *c'* следует искать из формулы:

$$\frac{(b')^2}{b_0^2} + \frac{(c')^2}{c^2} = 1.$$
 (2)

График зависимости максимальных напряжений от параметра *с* представлен на рис. 8.



Рис. 8. Зависимость σ_M от параметра *с*

Так как с увеличением длины пятна напряжения «выравниваются», то определения значения параметра $c_{\rm kp}$ становится затруднительным. Для определения критической глубины коррозионного пятна рассмотрим пятно с шириной 68 мм (a_0 =34 мм) и длиной 200 мм (c'=100 мм). Для построения дефекта необходимо знать параметр c, его находим из формулы для эллипса. Получаем $b_{\rm kp}$ =9 мм, т.к. при b=10 мм $\sigma_{\rm M}>[\sigma]=$ $\sigma_{\rm T}$. При этом глубина пятна составляет 7 мм. График зависимости напряжений от глубины b'представлен на рис. 9.



Рис. 9. Зависимость $\sigma_{\rm M}$ от параметра b'

Для определения критического поперечного размера коррозионного пятна рассмотрим пятно с глубиной 3 мм (*b*=3 мм) и длиной 200 мм (*c*'=100 мм). Для построения дефекта необходимо знать параметры *b* и *c*, их находим из формулы для эллипса. За критическое значение поперечного размера эллипсоида примем $a_{\rm kp}$ =115 мм, т.к. при *a*=120 мм $\sigma_{\rm M}>[\sigma]=\sigma_{\rm T}$. При этом ширина пятна составляет 230 мм. График зависимости напряжений от параметра *a* представлен на рис. 10.



Рис. 10. Зависимость σ_M от параметра *а*

Резкое изменение значения эквивалентного напряжения связано с тем, что геометрия коррозионного пятна в поперечном сечении трубы представляет собой эллипс. На рис. 11-12 показано, как изменяется ширина пятна.



Рис. 11. Ширина пятна 68 мм



Рис. 12. Ширина пятна 140 мм

Как видно из рис. 12, при параметре *a*=70 мм в точках А и В толщина имеет минимальное значение, следовательно и максимальные напряжения будут именно в этих точках. Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

 на величину эквивалентных напряжений в большей степени влияет глубина коррозионного пятна, это связано с уменьшением толщины трубы;

 ширина пятна также существенно влияет на значение эквивалентных напряжений, это связано с выбранным способом моделирования дефекта;

– при увеличении длины пятна эквивалентные напряжения «выравниваются» (ширина и глубина пятна имеют постоянные значения). Это связано с тем, что при большой длине коррозионного пятна в трубе появляется участок, на котором трубопровод имеет постоянную толщину стенки равную (δ -*b*').



Рис. 13. Распределение напряжений σ_M в окружном направлении при ширине пятна 68 мм



Рис. 14. Распределение напряжений σ_M в окружном направлении при ширине пятна 140 мм

Рассмотрим влияние двух одинаковых коррозионных пятен на прочность трубопровода, расположенных в продольном направлении. Определим минимальное линейное расстояние l_{\min} , при котором напряжение σ_M в трубопроводе от двух пятен будет равным напряжению от одного $\sigma_{0Mизес}$ =149,3 МПа при данных параметрах эллипсоида. Расстояние определяется между центрами дефектов. График зависимости напряжений от расстояния l между пятнами представлен на рис. 15.



Рис. 15. Зависимость σ_M от расстояния *l* между пятнами

Также было рассмотрено распределение напряжений вокруг пятен в продольном направлении. Распределение представлено на рис. 16, 17.







Рис. 17. Распределение напряжений вокруг пятен в продольном направлении при *l*=2000 мм

Рассмотрено как в отдельности глубина, длина и ширина пятен сказываются на взаимное влияние пятен друг на друга. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на распределение напряжений вокруг пятен в продольном направлении в рассматриваемом трубопроводе оказывает длина дефекта, то есть от длины пятен зависит расстояние, на котором они перестают оказывать взаимное влияние друг на друга.

Далее рассматривалось влияние двух одинаковых коррозионных пятен на прочность трубопровода, расположенных в окружном направлении. Определим минимальное угловое расстояние ϕ_{min} , при котором напряжение σ_M в трубопроводе от двух пятен будет равным напряжению от одного пятна $\sigma_{0Mизеc}$ =149,3 МПа при данных параметрах эллипсоида. Расстояние характеризуется углом между центрами дефектов. График зависимости напряжений от угла ϕ между пятнами представлен на рис. 18.



Рис. 18. Зависимость ом от угла ф между пятнами



Рис. 19. Распределение напряжений вокруг пятен в окружном направлении при φ=60°



Рис. 20. Распределение напряжений вокруг пятен в окружном направлении при φ=90°

Рассмотрим распределение напряжений вокруг пятен в окружном направлении (см. рис. 19, 20). Для данного трубопровода при R/б=21,3 при наличии двух коррозионных пятен с размерами: *a*=68 мм, *b*'=3 мм, *c*'=173 мм, напряжения σ_М в окружном направлении выравниваются, когда угол между центрами пятен составляет 90°. Если сравнить результаты с одиночным пятном, то видно, что напряжения выравниваются при меньшем угловом расстоянии. Наибольшее влияние на распределение напряжений вокруг пятен в окружном направлении в рассматриваемом трубопроводе оказывает ширина дефекта, то есть от ширины пятен зависит расстояние, на котором они перестают оказывать взаимное влияние друг на друга.

Выводы: полученные результаты дают представление о картине распределения напряжений вокруг коррозионного пятна и групп пятен при различном их взаимном расположении и являются необходимыми исходными данными при определении срока службы трубопровода, расчета надежности и оценки допускаемых эксплуатационных параметров на различных сроках службы трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов – М.: «Металлургия», 1976. 473 с.
- Пригоровский, Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. – М.: Машиностроение, 1982. 248 с.

RESEARCH THE INFLUENCE OF CORROSION DEFECTS ON DURABILITY OF PIPELINES

© 2012 V.A. Vorkov, E.O. Kapralova, M.A. Fedotenko, A.V. Agafonov

JSC "Giprovostokneft", Samara

The accounting of corrosion defects influence is a necessary factor in the analysis of durability and reliability of pipelines. Results of research the influence of corrosion defects on durability of pipelines are given in article, the characteristic critical sizes of corrosion spots, and also influence of the relative positioning of spots on stress-strained state of a pipeline are defined.

Key words: corrosion defects, pipeline, finite-element modeling, durability, stress-strained state

Vitaliy Vorkov, Engineer at the Department of Metal Constructions and Durability Calculations. E-mail: vvorkov@yandex.ru Ekaterina Kapralova, Technician at the Department of Metal Constructions and Durability Calculations. E-mail: katerina280789@mail.ru Maxim Fedotenko, Engineer at the Department of Metal Constructions and Durability Calculations. E-mail: maksim-fedotenko@yandex.ru Andrey Agafonov, Main Specialist at the Department of Metal Constructions and Durability Calculations. E-mail: andrey.agafonov@giprovostokneft.ru