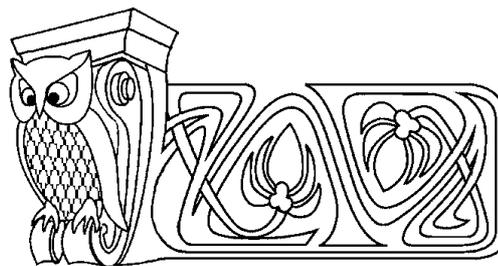




УДК 539.4

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS К РАСЧЕТУ ТОЛСТОСТЕННОГО ТРУБОПРОВОДА, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ



И. Г. Овчинников, С. А. Бубнов*

Саратовский государственный технический университет,
кафедра мостов и транспортных сооружений;

*Балашовский институт (филиал) Саратовского
государственного университета им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: serbubnov@rambler.ru

Рассматривается способ применения программного комплекса ANSYS к решению задач расчета напряженно-деформированного состояния и разрушения цилиндрического конструктивного элемента, находящегося в условиях неоднородной водородной коррозии.

Ключевые слова: водородная коррозия, разрушение конструктивного элемента, локальный прогрев, метод конечных элементов.

Application of Program Complex ANSYS to Calculation of the Thick-Walled Pipeline Which is Exposed to High-Temperature Local Hydrogen Corrosion

I. G. Ovchinnikov, S. A. Bubnov*

Saratov State Technical University,
Chair of Bridges and Transport Constructions;

*Balashov Affiliation of Saratov State University
E-mail: serbubnov@rambler.ru

The way of application of program complex ANSYS to the decision of problems of calculation of the is intense-deformed condition and destruction of the cylindrical constructive element which is in conditions of non-uniform hydrogen corrosion is considered.

Key words: hydrogen corrosion, destruction of a constructive element, local warming up, method of final elements.

Теоретические основы метода конечных элементов (МКЭ) были заложены еще в 1943 г. Курантом [1]. С увеличением производительности вычислительной техники он, как и любой другой численный метод, получил широкое применение в задачах физики и техники. В последнее время появилось достаточное количество программных комплексов, реализующих МКЭ для решения различных типов задач. Одним из таких комплексов является ANSYS. Наличие встроенного языка параметрического программирования (APDL) позволяет адаптировать его к решению нестандартных задач. Например, возможно осуществить учет воздействия водородсодержащей среды на моделируемый конструктивный элемент.

Исследованию влияния водорода и водородсодержащей среды на материалы элементов конструкций посвящен ряд работ [2, 3] и др. В результате водородной коррозии происходит изменение механических свойств материала (в худшую сторону), что сказывается на сокращении срока службы конструкции.

Рассмотрим толстостенную трубу, нагруженную внутренним давлением водородсодержащей среды $P = 24$ МПа и находящуюся в неоднородном и нестационарном температурном поле. Неоднородность создается участком локального прогрева на наружной поверхности, температура которого линейно возрастает с течением времени (рис. 1). Температура на внутренней поверхности $T_1 = 700$ К, на наружной — $T_2 = 720$ К. Температура локального участка возрастает от 750 К до 800 К.

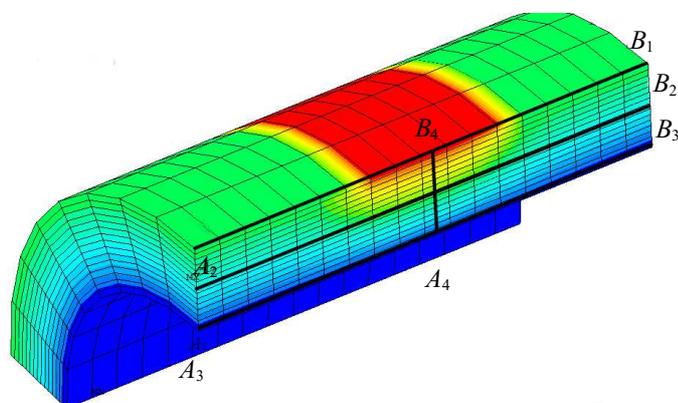


Рис. 1. Распределение теплового поля

Первым этапом для проведения расчета является построение геометрической модели объекта. В нашем случае ограничимся фрагментом объекта для экономии оперативной памяти ЭВМ в дальнейшем (см. рис. 1). Для удобства все построения



выполнены в цилиндрической системе координат, которая активируется командой *csys,1*. Создание модели осуществляется путем твердотельного моделирования, т.е. указываются геометрические границы модели, определяются параметры управления размером и формой элементов, а затем программа автоматически выполняет построение всех узлов и элементов.

Второй этап заключается в выборе типов используемых конечных элементов, соответствующих виду решаемой задачи, и разбивке геометрической модели на конечные элементы. В нашем случае первоначально требуется определить тепловое поле, т.е. решить нестационарную задачу теплопроводности. Для этой цели подойдет двадцатиузловой 3-D элемент Solid90 [4]. Регулярная сетка предпочтительнее свободной, поэтому разобьем все линии геометрической модели на отрезки, длина которых будет соответствовать размеру стороны конечного элемента. При построении упорядоченной сетки необходимо следить за тем, чтобы противоположно расположенные линии состояли из одинакового числа отрезков.

Третий этап включает в себя приложение нагрузок к рассматриваемому образцу и получение решения. Результаты сохраняются в файле для последующего использования их в качестве граничных условий в структурной задаче. На этом этапе необходимо провести вычисление значений параметра химического взаимодействия μ для каждого элемента в соответствующий момент времени, решив уравнение

$$\frac{d\mu}{dt} = k\mu(1 - \mu), \quad \mu(t_0) = \mu_0,$$

методом Рунге – Кутты четвертого порядка, реализованным с помощью макроса. Здесь $k = k(P, T, \Pi)$ — коэффициент, зависящий от давления P , температуры T и параметра поврежденности Π . Его значение рассчитывается на каждом временном шаге на основе решенной тепловой задачи. В ANSYS удобно поступить следующим образом: создать массив параметра μ , номер столбца которого соответствует номеру конечного элемента, а номер строки — моменту времени, для которого получено значение μ . Модуль упругости E^i и коэффициент Пуассона ν^i , а также коэффициенты B^i и n^i в уравнении установившейся ползучести для i -го конечного элемента в фиксированный момент времени будут зависеть от μ следующим образом:

$$E^i = E_0 - \mu^i(E_0 - E_1), \quad \nu^i = \nu_0 - \mu^i(\nu_0 - \nu_1), \quad B^i = B_0 \exp \left[\mu^i \ln \left(\frac{B_1}{B_0} \right) \right], \quad n^i = n_0 - \mu^i(n_0 - n_1),$$

где E_0, ν_0, B_0, n_0 — коэффициенты для исходного состояния; E_1, ν_1, B_1, n_1 соответствуют обезуглероженному состоянию; μ^i — значение параметра химического взаимодействия для элемента i в фиксированный момент времени. Аналогично массиву μ составим массивы для хранения значений E, ν, B, n . Таким образом, получим материал, свойства которого меняются по объему конструктивного элемента и по времени согласно изменению параметра μ .

При неравномерном распределении температуры по объему конструктивного элемента необходимо учитывать зависимости модуля Юнга и коэффициент Пуассона от температуры. Будем считать их нелинейными как для исходного материала, так и для полностью обезуглероженного (рис. 2). За базовую температуру возьмем температуру на внутренней поверхности трубы.

На четвертом этапе необходимо сменить тип элемента на Solid186, чтобы определить напряженно деформированное состояние рассматриваемой трубы. Это можно сделать при помощи команды *ETCHG,tts*. Новые элементы имеют те же размеры, форму и координаты узловых точек, что и предыдущий тип. Решать задачу будем временными шагами от начального момента времени t_0 до момента разрушения, определяемого по достижении параметра поврежденности Π предельного значения в какой-либо точке конструкции [2]. На каждом временном

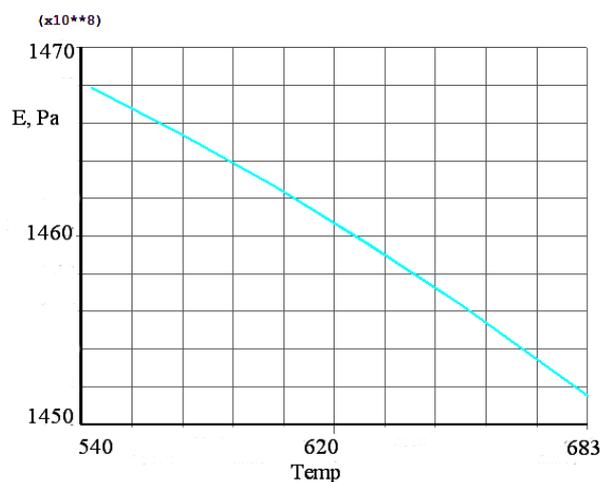


Рис. 2. Зависимость модуля упругости от температуры



шаге решается структурная задача с соответствующим набором характеристик материала, которые берутся из созданных ранее массивов. Промежуточные результаты также сохраняются в соответствующие массивы.

Рис. 3 иллюстрирует движение фронта обезуглероживания по различным направлениям в разные моменты времени.

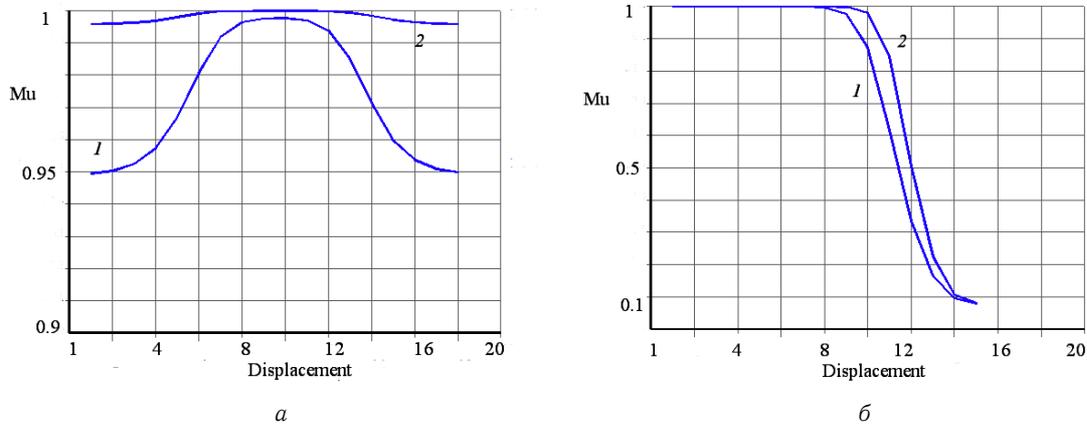


Рис. 3. Значения параметра химического взаимодействия по направлению A_2B_2 (а) и по направлению A_4B_4 (б) в моменты времени: 1 – через 100 ч после начала взаимодействия с водородом, 2 – через 164 ч (момент разрушения)

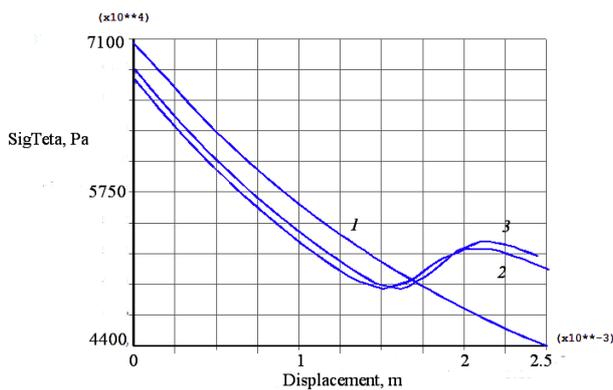


Рис. 4. Распределение окружных напряжений по направлению A_4B_4 : 1 – 1 ч, 2 – 100 ч, 3 – 164 ч

В области повышенных температур процесс обезуглероживания протекает интенсивнее. Это приводит к снижению напряжений в обезуглероженной зоне и к повышению их в граничной необезуглероженной. Параметр поврежденности достигает своего предельного значения на внутренней поверхности трубы напротив зоны локального прогрева.

Окружные напряжения по направлению A_4B_4 претерпевают неравномерное по сечению перераспределение (рис. 4).

Анализ результатов моделирования показывает, что разрушение рассматриваемой толстостенной трубы наступает через 164 ч.

Библиографический список

1. Courant R. Variable methods for the solution of problems of equilibrium and vibration // Bull. Amer. Math. Soc. 1943. Vol. 49, № 1. P. 1–23.
2. Арчаков Ю. И. Водородная коррозия стали. М., 1985. 192 с.
3. Овчинников И. Г. Работоспособность конструкций в условиях высокотемпературной водородной коррозии. Саратов, 1985. 176 с.
4. ANSYS Theory Reference. ANSYS Release 11.0. Documentation Inc., 2007.