

Моделирование напряженно-деформированного состояния неразъемного муфтового соединения композитных металлопластмассовых труб



Т.И. Лаптева, Д.Х. Чумарин (ООО «ВНИИГАЗ»),
А.В. Слюсаренко (ЗАО «ЕМТ Р»),
В.М. Айдуганов (ООО «ИПЦ»)

Modeling of stressedly-deformed state of permanent clutch coupling of composite metal-plastic pipes

T.I. Lapteva, D.Kh. Chumarin (VNIIGAZ LLC),
A.V. Slyusarenko (EMT R ZAO), V.M. Ajduganov (IPC OOO)

The problem of determination of stressedly-deformed state of permanent clutch coupling is considered. The finite-element analysis package ANSYS (ANSYS, Inc) is used. Two-dimensional axially symmetrical idealization is applied at modeling. The distributions of displacement and stress fields are received as a result of pressing process calculation.

Повышение надежности трубопроводных систем остается одним из актуальнейших вопросов для нефтяных компаний. Не менее важным является сокращение сроков строительства трубопроводов без потери качества, особенно в регионах, где короткое лето, болотистые многолетнемерзлые грунты. Для решения этих вопросов в нефтегазодобывающей отрасли применяются композитные металлопластмассовые трубы, которые соединяются с помощью неразъемного муфтового соединения (НМС) [1] методом совместной холодной пластической деформации муфты и трубы.

Моделирование процессов обжатия представляет собой достаточно сложную математическую задачу, которая сводится к исследованию контактного взаимодействия твердых тел с учетом больших деформаций, возникающих в процессе и в результате обжатия.

В настоящее время используемые в различных областях численные методы теории упругости, в частности метод конечных элементов, позволяют выполнять требуемый анализ напряженно-деформированного состояния [2]. Метод конечных элементов применяется для решения различных физических задач, описываемых дифференциальными уравнениями [3]. Его основная идея заключается в том, что любая непрерывная величина (температура, давление, перемещение) аппроксимируется дискретной моделью, которая представляется множеством кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей.

Конкретный метод расчета выбирается с учетом как эффективности процедур вычисления, так и возможностей программного продукта контролировать проведение расчета [4]. Этим требованиям отвечает пакет конечно-элементного анализа ANSYS (ANSYS, Inc.) для персональных рабочих станций, который широко используется для расчетов различных конструкций. В работе использовалась версия 10 пакета ANSYS.

В статье определяется напряженно-деформированное состояние НМС, представленного на рис. 1. Последовательность образования неразъемного муфтового соединения приведена на рис. 2. Такой образец НМС получается, в частности, при реализации способа [5].



Рис. 1. Неразъемное муфтовое соединение

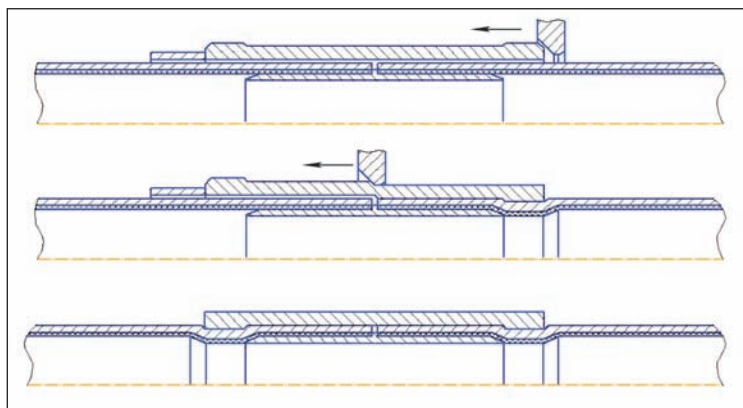


Рис. 2. Последовательность операций для получения НМС [5]

Важно отметить, что материал обжимной муфты должен обладать пластичностью не ниже пластичности материала трубы, а деформирующую силу предпочтительно направлять не под прямым углом к наружной поверхности обжимной муфты, а под углом 70-84°.

Исследуемая модель соответствовала геометрическим размерам реальной контактной пары. При создании конечно-элементной модели существенное внимание было уделено разбиению области, в которой деформирующий элемент непосредственно контактирует с обрабатываемой поверхностью, поскольку для получения адекватного решения методом конечных элементов предпочтительно использовать формы, близкие к правильным геометрическим фигурам. В рассматриваемом случае это приводит к необходимости существенного сгущения сетки элементов в области поверхности контакта.

При выборе опции «вид напряженного состояния» был активизирован вариант «осесимметричное напряженное состояние», а геометрическая модель представляла собой двухмерную осесимметричную идеализацию рассматриваемого объекта (рис. 3). Поэтому в рамках данной двухмерной осесимметричной постановки задачи смоделировать изгибной процесс невозможно.

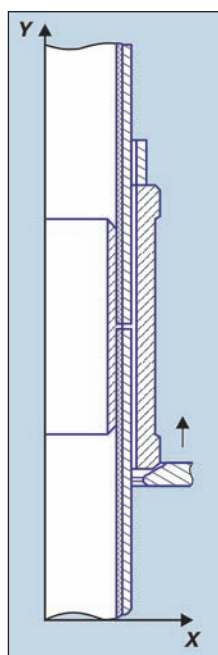


Рис. 3. Двухмерная осесимметричная геометрическая модель НМС

При моделировании процесса в качестве граничных условий конечно-элементной модели приняты следующие допущения:

- запрещение перемещения по оси Y вкладыша;
- запрещение перемещения по оси Y дальней от начала движения пресс-шайбы;
- жесткое защемление (ALL DOF) торцов стальной и полиэтиленовой труб.

Кроме того, задается перемещение пресс-шайбы в направлении оси Y до дальнего торца обжимной муфты. После этого снимается запрещение перемещений обжимной муфты по оси Y , и пресс-шайба перемещается далее до полного прохождения ею обжимной муфты.

При расчетах принималось, что металлическая труба, обжимная муфта и вкладыш выполнены из стали Ст3сп (ГОСТ 8731-74/8732-78) со следующими механическими характеристиками: модуль упругости (модуль Юнга) $E=1,96 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu=0,33$. Полиэтиленовая труба изготовлена из полиэтилена высокой плотности (низкого давления) марки 273-79 (ГОСТ 16338-85).

Механические характеристики полиэтилена ПЭВП 273-79 приведены ниже.

Предел текучести σ_T , МПа	21,6
Предел временной прочности σ_B , МПа	24,5
E , МПа	700
μ	0,3
Плотность, ρ , кг/м ³	960
Зависимость напряжение – деформация для ПЭВП и стали Ст3сп представлена на рис. 4.	

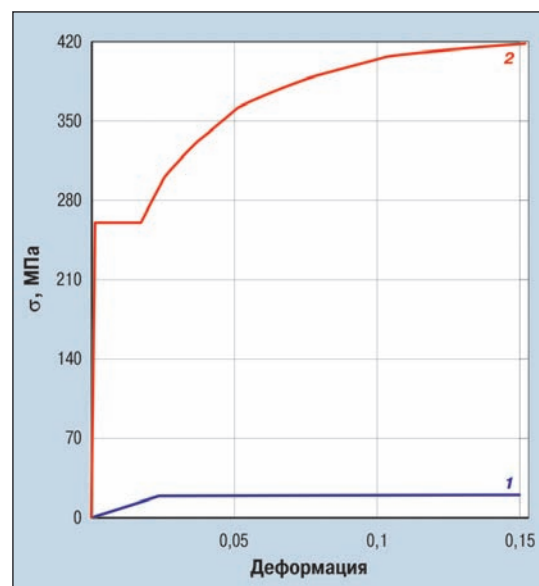


Рис. 4. Зависимость напряжение – деформация для ПЭВП (1) и стали Ст3сп (2)

Для построения конечно-элементной модели выбран двухмерный элемент объемного напряженно-деформированного состояния PLANE182, используемый для двухмерного моделирования осесимметричных конструкций [6]. Элемент определяется четырьмя узлами, имеющими две степени свободы в каждом узле: перемещения в направлении осей X и Y узловой системы координат.

Контактное взаимодействие приводит к неравномерному распределению напряжений, что в свою очередь требует построения соответствующей сетки конечных элементов — в зоне с высоким значением градиента напряжений следует генерировать более мелкие конечные элементы. Необходимо отметить, что все элементы, в том числе и в зоне наибольшего сгущения, имеют форму, близкую к квадрату, что обеспечивает сходимость вычислений.

Моделирование контактного взаимодействия при процессах обжатия проводилось с использованием двухмерного контактного элемента типа «поверхность – поверхность» двух упруго-пластичных тел с тремя узлами CONTA172, имеющими две степени свободы в каждом узле, и двухмерного ответного элемента TARGET169.

Общее число элементов составило более 11500: PLANE182 – 9961 элементов; TARGE169 – 547; CONTA172 – 1038. Время всего процесса компьютерного моделирования на персональном компьютере на базе процессора Intel Pentium 4 составило около 4 ч.

Были получены значения перемещений и напряжений, возникающих в результате процесса обжима. Распределение полей перемещений и напряжений получено как в текстовой, так и в графической формах. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния представлены на рис. 5, 6 (разрез в 3/4 образца). Из рис. 5 видно, что максимальное напряжение достигается на расстоянии 20 мм по ходу движения пресс-шайбы. На рис. 6 приведено распределение вертикальных смещений, причем максимальное смещение по оси Y достигает 3 мм (оно характерно для середины образца, соответствующего соединению двух труб).

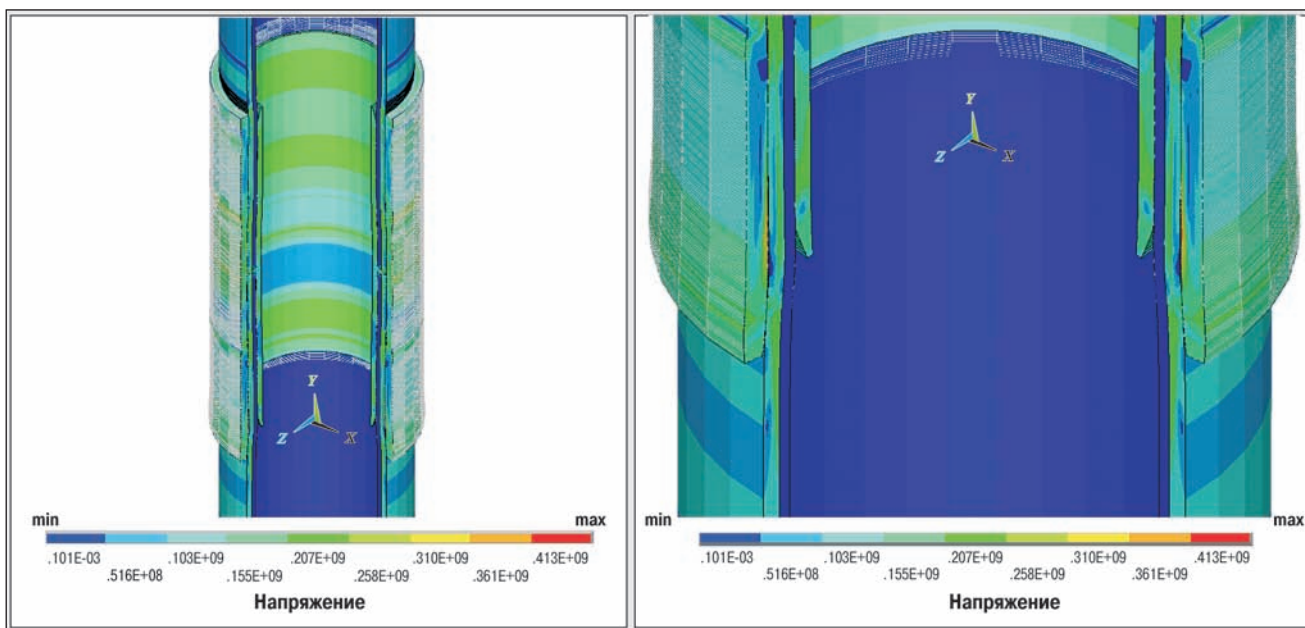


Рис. 5. Поле распределения усредненных эквивалентных напряжений по Мизесу

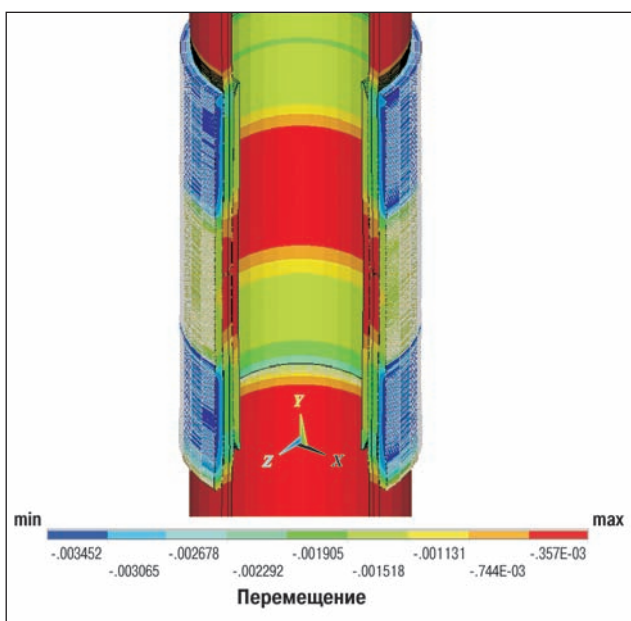


Рис. 6. Вертикальные перемещения

Созданная двумерная численная физически нелинейная модель механического поведения металлопластмассовых труб позволяет изучать эволюцию напряженно-деформированного состояния при контактном взаимодействии деформирующего

инструмента (пресс-шайбы) и обрабатываемой поверхности. Поскольку напряжения на стальной трубе незначительны на расстояниях, сравнимых с размерами обжимной муфты, можно сделать предположение, что возможные при монтажных работах изгибные процессы на этих расстояниях не приведут к потере герметичности и прочности как самого неразъемного муфтового соединения, так и соединяемых труб.

Список литературы

1. Айдуганов В.М., Волкова Л.И., Лаптева Т.И. Опыт строительства и эксплуатации трубопроводов из металлопластмассовых труб – <http://www.ogbus.ru/transport.shtml>. – 21.02.06.
2. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
3. Сызранцев В.Н., Сызранцева К.В. Расчет напряженно-деформированного состояния деталей методами конечных и граничных элементов. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2000. – 111 с.
4. Берсудский А.Л., Логинов О.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при упрочнении поверхностей с покрытием//Вестн. Сам. ун-та. Сер. Механика. – 2003. – № 4 (30). – С. 103-111.
5. Патент РФ 2016338. Способ неразъемного соединения металлических труб/В.М. Айдуганов, А.Э. Бус, И.З. Зарипов и др. – Б.И. – 1994. – № 13.
6. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смлюк А.Ф. ANSYS для инженеров – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.