

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБЧАТЫХ ШТАНГ ГЛУБИННОГО НАСОСА

Сапожников С.Б., д.т.н., профессор, ssb@susu.ac.ru
г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

Введение

Глубинно-насосный способ добычи нефти является в настоящее время наиболее распространенным, так как обладает более высокой надежностью и взрывобезопасностью по сравнению с ЭЦН, обеспеченной тем, что в скважине работают только механические элементы (колонна штанг и насос), движущиеся с небольшими скоростями, а электрический привод находится на поверхности земли и доступен для обслуживания [1].

Увеличение глубины залегания продуктивных пластов приводит к удлинению колонны штанг, к увеличению напряжений в них, что требует увеличения диаметра колонны штанг или использования материалов с высокой прочностью и низкой плотностью. В этом направлении наибольшими перспективами обладают композиты - стеклопластики - полимеры, армированные высокопрочными стеклянными волокнами. Эти материалы обладают наименьшей среди всех композитов ценой и достаточно высокими механическими характеристиками: плотность $\rho = 1,8...2,0 \text{ г/см}^3$, модуль упругости $E = 2,5...5,0 \text{ ГПа}$, предел прочности $\sigma_B = 400...900 \text{ МПа}$ (зависит от способа укладки волокон и соотношения продольных и кольцевых слоев).

Для производства длинномерных стержневых элементов из композитов используется отработанная пултрузионная технология, в которой основное количество волокон арматуры располагаются вдоль оси стержня.

Постановка задачи

Основной технической проблемой в случае применения стеклопластика является конструкция узла передачи нагрузки. Типовая длина металлических штанг глубинного насоса равна 8 м, а соединения - резьбовые, с помощью муфт [1]. Поскольку колонна лишь частично состоит из облегченных стеклопластиковых штанг, необходимо обеспечить одинаковость стыковочных элементов как на обычных стальных, так и на облегченных штангах. Это требование унификации соединений приводит к необходимости оптимального проектирования узла передачи осевых нагрузок с металлической законцовки на стеклопластиковую часть. Отметим, что труба обладает преимуществом по сравнению со сплошным стержнем за счет ее развитой боковой поверхности, к которой будет крепиться посредством клея металлическая законцовка. Типовое клеевое соединение стальных хвостовиков со стеклопластиковым стержнем по стандарту [2] обладает серьезным недостатком, связанным с неравномерностью распределения касательных напряжений по длине соединения. Очевидно, что наиболее перспективным будет клеевое соединение с коническими заклад-

ными элементами законцовки ("елочка") для передачи осевой нагрузки не только за счет сил адгезии, но и за счет распорных нагрузок, увеличивающих несущую способность клеевых соединений.

Таким образом, задача данного исследования состоит в определении необходимых размеров всех элементов, участвующих в передаче нагрузок, обеспечивающих *равнопрочность* при штатных условиях эксплуатации.

Описание конструкции

Новая конструкция штанги изображена на рис.1, где закладная деталь - четырехсекционный конусный элемент (1) с резьбовым концом и квадратной частью под ключ для стандартного способа скручивания, тело штанги - труба, полученная пултрузией (2), наружная оболочка (3), воспринимающая распорные усилия и клеевая прослойка (4).

Метод и результаты расчета

Моделирование всех деталей и сборки в целом было осуществлено в пакете SolidWorks, который позволяет использовать параметризацию размеров для последующего оперативного изменения геометрии при поиске оптимальной конструкции соединения. На рис.1б показан "скрин-шот" законцовки с елочным хвостовиком, угол конусности которого был одним из параметров оптимизации.

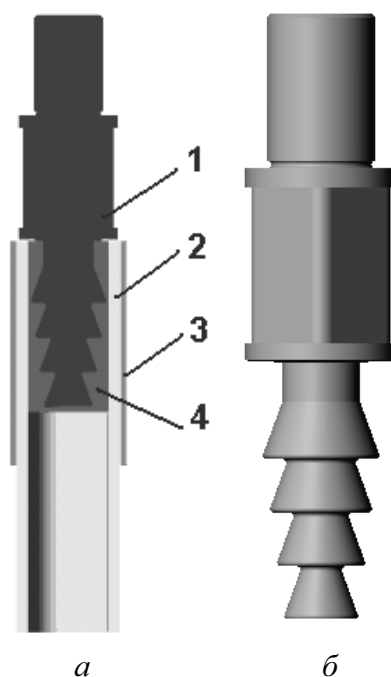


Рис.1.

Для оценки напряженного состояния был использован пакет ANSYS (DesignSpace v.8), который предоставляет пользователю удобный интерфейс традиционного для Windows-приложений вида. Более того, если ранние версии (по седьмую включительно) давали возможность расчета задач лишь в упругой постановке, то в последней, восьмой версии, появилась возможность использовать билинейную модель упруго-пластического материала. В качестве справки следует отметить, что DesignSpace позволяет проводить анализ статических напряженных состояний с учетом больших и малых перемещений, разнообразных

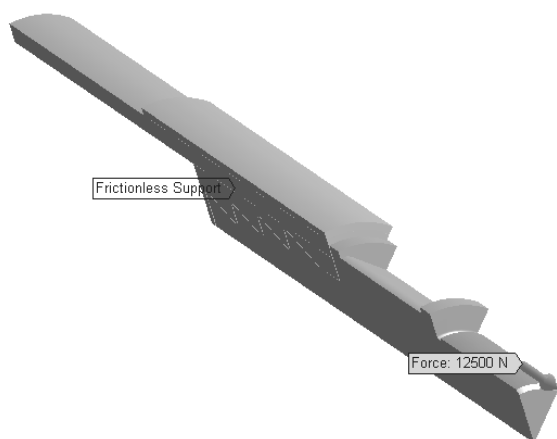


Рис.2

контактных условий, решать температурные задачи (стационарное состояние), определять частоты и формы свободных колебаний, строить АЧХ для вынужденных колебаний, давать оценку запасов прочности, а также проводить оптимизацию геометрии деталей по критерию равнопрочности. Здесь предусмотрен широкий спектр силовых и кинематических граничных условий, что позволяет сокращать объем вычислений за счет использования свойств симметрии и т.п.

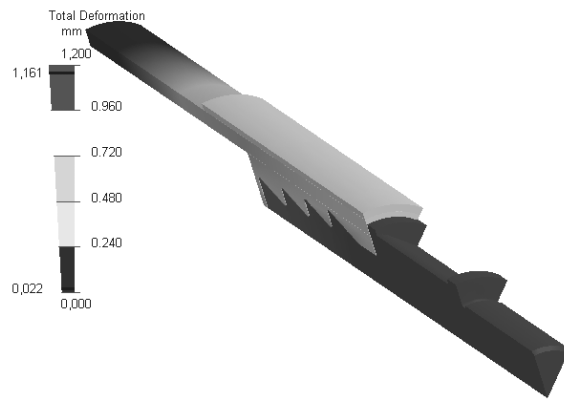
Для рассматриваемой задачи возможно сокращение объема в восемь раз за счет наличия четырех плоскостей симметрии. Поэтому для анализа оставлена лишь 1/8 от полной модели (рис.2).

Нагружение - растягивающее усилие 100 кН, приложенное к резьбовому хвостовику (резьба здесь не моделируется). Между стальной законцовкой и клеем, а также между наружной оболочкой и телом штанги нет идеальной адгезии, что моделируется условием контакта типа *Frictional* с коэффициентом трения 0,2. Во всех остальных контактных парах использован тип *Bonded* (склейка без проскальзывания). Плоскости симметрии обозначены граничными условиями типа *Frictionless Support*.

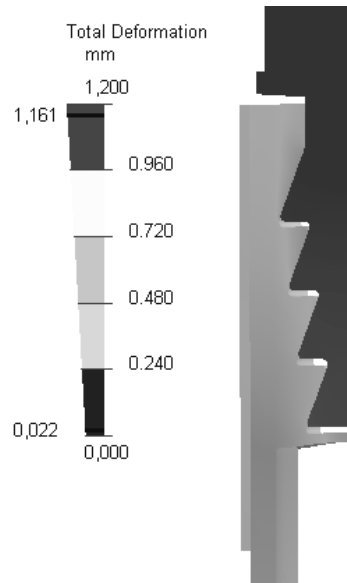
Контакты типа *Frictional* являются нелинейными, их состояние зависит от нагрузки. По определению в DesignSpace предусмотрено определенное число последовательных приближений, по завершению которых расчеты прекращаются. Иными словами, здесь нет понятия "нет сходимости", которое часто нервирует начинающих пользователей классического пакета ANSYS. Здесь следует отметить, что, получив решение, следует проверить его на непротиворечивость, изменив густоту сетки конечных элементов и повторив расчет.

Результаты расчета перемещений приведены на рис.3а, б и напряжений и контактных давлений - на рис.4, 5.

Время расчета одного варианта составило 50 мин на ЭВМ P-IV/2,2ГГц /1Гбайт.



a



б

Рис. 3.

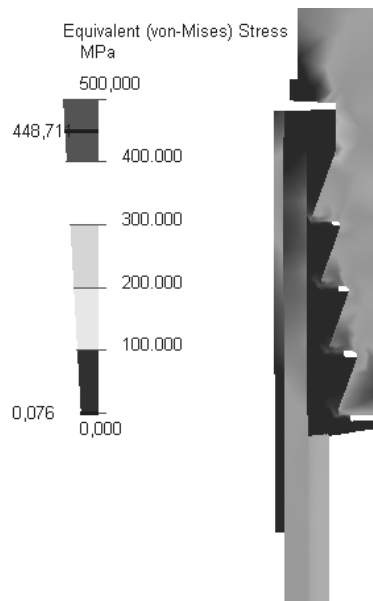


Рис. 4а. Сборка

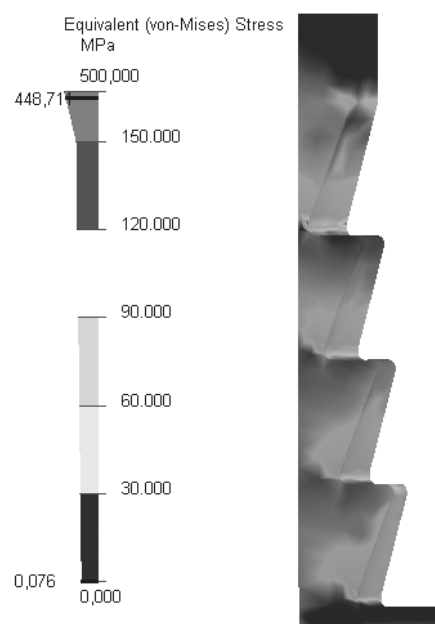


Рис. 4б. Клей

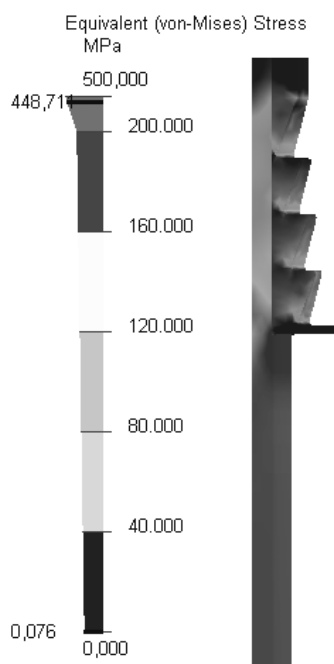
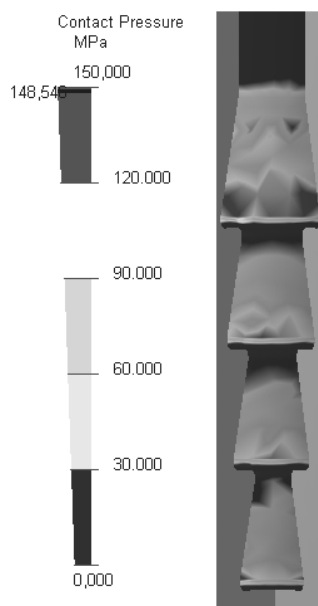
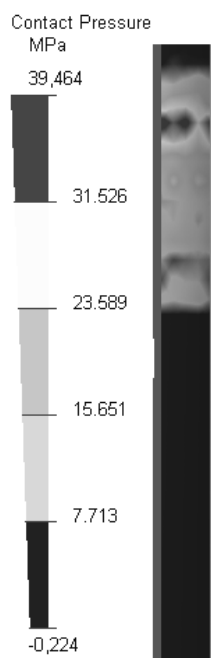


Рис. 4в. Штанга

Рис.4. Напряженное состояние деталей



а - клей



б - поверхность штанги

Рис.5. Распределение контактных давлений на поверхности клея (а) и штанги (б)

Литература

1. Раабен А. А., Шевалдин П. Е., Максutow Н. Х. Ремонт и монтаж нефтепромыслового оборудования. – М.: Недра, 1989. – 383 с.
2. Штанги насосные стеклопластиковые. Технические условия, ГОСТ Р 51161-98.