Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. В. Игнатушин, О. А. Логинов, Конечно-элементное моделирование поведения шнура-набивки при контактном взаимодействии, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2001, выпуск 12, 186–188

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu81>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.237.59.107

26 апреля 2023 г., 16:29:08

Краткие сообщения

Механика деформируемого твердого тела

УДК 539.3

А.В.Игнатушин, О.А.Логинов

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ШНУРА-НАБИВКИ ПРИ КОНТАКТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Проведен анализ упругопластического тела, моделирующего поведение материала шнура-набивки используемого в манжетном уплотнении. Приведены результаты численного расчета по определению зависимости "нагружение - смещение" для различных значений параметров упругопластической модели. Показана возможность определения указанных параметров из экспериментально полученной кривой нагружения шнура-набивки.

Моделирование поведения элементов конструкций, входящих в состав манжетного уплотнения (МУ), так и всего узла, представляет собой достаточно сложную математическую задачу. Происходит это ввиду необходимости рассмотрения в совокупности целого ряда факторов, обуславливающих надежное функционирование МУ[1], и одним из них является прогнозирование работы шнура-набивки.

Определение реологических соотношений для шнура-набивки, который представляет собой композиционный материал (тканевые нити, в плетеной оболочке, пропитанные графитовой смазкой) является достаточно сложной задачей ввиду отсутствия не только справочных данных о компонентах материалах шнура - набивки, но и отсутствием необходимых методик испытаний для шнура как единого целого.

Для описания в первом приближении поведения материала шнура воспользуемся моделью упругоидеальнопластического тела. Предложенная модель позволяет учесть как обратимые, так и не обратимые деформации, которые происходят в материале, и в то же время в модели используется всего лишь два параметра, которые имеют ясный физический смысл и могут быть определены экспериментально.

Классические методы определения зависимости "нагрузка – смещение" для определения параметров упругопластической модели в настоящем случае неприменимы в виду невозможности получить стандартный образец для нагружения. Следует отметить, что в случае моделирования нагружения шнура растягивающим усилием вдоль образующей возможно использование стандартных методик для нагружения, однако сильная анизотропия материала шнура не позволяет перенести результаты, полученные при приложении растягивающих усилий вдоль образующей, на случай приложения сжимающих усилий перпендикулярно образующей. В связи с чем возникает задача определения констант упругопластической модели (E , σ_r) при использовании как нестандартных образцов для испытаний, так и условий нагружения.

Рассмотрим следующую схему приложения нагрузки к шнуру (рис.1).

Нагружение проводится двумя контактными параллельными поверхностями. Длина шнура должна обеспечивать реализацию плоского деформируемого состояния. Нагружение произ-

Р и с. 1. Схематический вид приложения нагрузки к шнуру при испытании

водится путем увеличения усилия на контактные поверхности при контролируемой величине смещений, что позволяет описать зависимость $P \sim d$ (P – сила, d – смещение). Рассматриваемая схема нагружения достаточно точно моделирует условия функционирования шнура в МУ, однако при определении констант материала (E , σ_T) при таких условиях нагружения представляет собой достаточно сложную в математическом плане задачу [2,3]. Для получения аналитической зависимости $P \sim d$ необходимо решение контактной задачи для упругопластического тела, что представляет определенные математические трудности, связанные с необходимостью использования для решения задачи приближенных методов. Рассмотрим реализацию поставленной задачи с использованием метода конечных элементов, реализованного в пакете ANSYS 5.5.2 (университетская версия).

Построение модели велось при задании опции поведения элемента – плоско деформируемое состояние. Поведение материала – упругопластическое. Нагружение – статическое (отсутствие динамических нагрузок). Диаметр шнура принимался равным 18 мм. Материал контактной поверхности принят абсолютно твердым (модуль Юнга для стали выше на несколько порядков, чем у материала шнура); величиной прогиба у контактных поверхностей пренебрегали.

Учитывая симметричность задачи, при решении можно ограничиться лишь одной четвертью рассматриваемой модели при соответствующем задании граничных условий на линиях симметрии.

. В рассматриваемом случае граничные условия, исходя из условия симметрии, имеют следующий вид: на горизонтальной контактной поверхности смещение в вертикальном направлении отсутствует ($U_y = 0$), на вертикальной поверхности из условия симметрии вводится условие отсутствия горизонтальных смещений ($U_x = 0$); на горизонтальной поверхности четверти к шнуру прилагается вертикальное смещение.

Вид конечно элементной модели с приложенными граничными условиями (в виде стилизованных значков) показана на рис.2. Общее число элементов включая контактные элементы, составило порядка 2000.

Р и с . 2 . Вид КЭ разбиения шнура-набивки и контактной поверхности с приложенными граничными условиями

Р и с . 3. Вид распределения напряжений σ_y по сечению шнура при величине сжимающего усилия 1 кГ/см

Для завершения построения модели задают механические характеристики материала шнура: величину модуля Юнга E и предел текучести σ_T . Время счета имеет существенную вариацию, зависящую от многих параметров, таких, как общее число элементов; число контактирующих элементов; шаг по нагружению; число подшагов и максимально допустимое число равновесных итераций на каждом подшаге. В настоящей работе случае время счета составляло 0.5 - 2 часа на Celeron 366 64 MB RAM. Результаты решения могут быть представлены как в графическом, так и текстовом виде. На рис. 3 представлено распределение напряжений σ_y [кг/см²] по сечению шнура. В стандартной декартовой системе координат XOY.

Как видно из представленного на рис. 3. максимально растягивающие напряжения возникают на поверхности шнура (где располагаются плетенная оболочка шнура), что может привести к ее разрушению. Величина растягивающих напряжений в зоне, примыкающей к поверхности, может служить критерием работоспособности шнура в целом, поскольку в случае разрушения оплетки шнур перестанет функционировать в заданном режиме.

Величина контактных напряжений (в кг/см²), возникающих в зоне контактного взаимодействия шнур - контактная поверхность, представлена на рис. 4.

Р и с. 4. Вид распределения контактных напряжений для величины сжимающего усилия 1 кг/см²

Полученная модель дает возможность из сравнения расчетных с экспериментально полученными данными зависимости $p-\delta$ определить (подобрать) параметры упругопластической модели материала шнура – набивки.

Для этой цели варьируются величины модуля Юнга E и предела текучести σ_t и расчет ведется до тех пор, пока функционал, минимизирующий разность расчетных и экспериментальных зависимостей $p-\delta$, не достигает минимума.

Проведенные численные эксперименты для шнура-набивки, используемого в МУ, дали следующие значения: численные Юнга $E = 1.2$ МПа, $\sigma_t = 0.25$ МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по триботехнике/ Под общ. Ред. М.Хебды, А.В.Чичинадзе. Т1.Теоретические основы. М.: Машиностроение. 1989. 400 с.
2. Галин Л.А. Контактные задачи упругости и вязко упругости.М.: Наука.1980. 304 с.
3. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир. 1989. 510 с.