

Раевская Л.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) raevskaya@usfeu.ru

ШАГИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ В КОМПЛЕКСЕ ANSYS MATHEMATICAL MODEL`S STEPS AND OPTIMIZATION IN THE ANSYS COMPLEX

В предыдущей работе [1] с использованием метода неопределенных множителей Лагранжа был проведен расчет наиболее рациональных параметров сечения ребра жесткости (рис.1) поршня пневмомотора серии ДАР. Были получены параметры – длины оснований трапецеидального сечения ребра жесткости, равные $gb_1 = 20$ мм (верхнее основание трапеции), $gb_2 = 4$ мм (нижнее основание трапеции, соединенное с телом поршня).

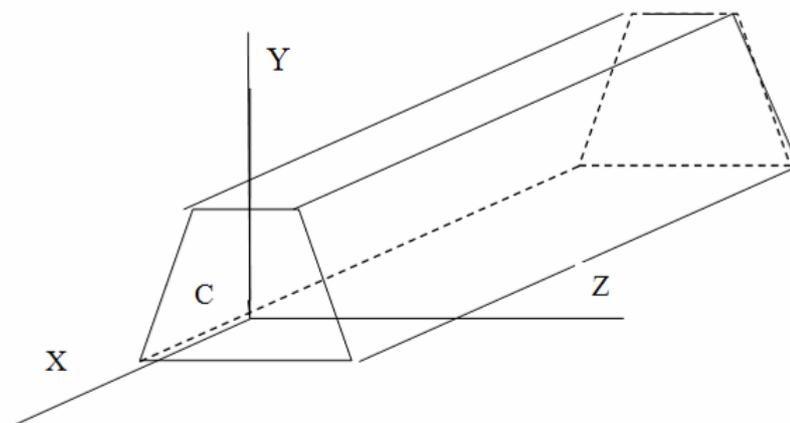


Рисунок 1 – Ребро жесткости (точка С – центр тяжести сечения)

Результаты аналитического расчета сравнивались с результатами компьютерного исследования по оптимизации параметров поршня пневмомотора. Оптимизация параметров проводилась двумя способами с использованием инженерного комплекса программ МКЭ ANSYS.

Первый способ - задание новых параметров модели поршня в программном файле ANSYS из некоторого набора исходных параметров, изменение геометрии сечения, связанное с использованием новых параметров при построении модели поршня. Для каждой новой модели проводился расчет напряженно-деформированного состояния и далее делался выбор тех параметров, которым соответствовали наименьшие значения нормальных напряжений в опасных точках поршня. Это метод довольно громоздкий, так как перебор параметров производился практически «вручную».

Второй способ – создание макроса для автоматического перебора параметров и оптимизации целевой функции. Этим методом получены результаты, описанные в настоящей работе. Остановимся подробнее на некоторых шагах операции оптимизации с помощью программ МКЭ ANSYS, которые не всегда достаточно четко описаны в соответствующей литературе. Полагаем, данный опыт пригодится аспирантам и студентам, работающим в области математического моделирования конструкций и процессов в них.

Прежде всего, строится модель конструкции (в нашем случае - поршня) с исходными в настоящем двигателе параметрами ребра жесткости ($r_{b1} = 8$ мм, $r_{b2} = 16$ мм). В программном файле, создаваемом в комплексе МКЭ ANSYS, задавались половины длин этих оснований, что необходимо при построении геометрической модели, которые были обозначены как $r_{bs1} = 4$ мм, $r_{bs2} = 8$ мм. После построения модели, задания свойств материалов, ограничений и создания матрицы жесткости был проведен статический расчет и найдены все характеристики напряженно-деформированного состояния поршня. В результате были обнаружены узлы, в которых оказались максимальные значения эквивалентных напряжений по Мизесу (к примеру, узел под номером 22010, в котором величина нормального максимального напряжения относительно оси X была равна $0,44 \cdot 10^7$ Н/м², после оптимизации эта величина уменьшилась на 20 с лишним процентов).

Напряжения по Мизесу (von Mises) – одна из теорий прочности (рассматривается та часть потенциальной энергии, которая отвечает за изменение формы). Эта теория дает точное решение для материалов с примерно одинаковыми свойствами при растяжении-сжатии (не хрупкими). Эквивалентные напряжения по Мизесу используются при оценке прочности конструкций, чтобы не связываться со всем тензором напряжений. В нашем исследовании целью было уменьшение изгибной деформации из-за внецентренного растяжения-сжатия.

Далее для целей создания подпрограммы оптимизации необходимо было задать дополнительно переменные, в качестве одной из которых и было выбрано эквивалентное напряжение в найденном узле: Define Add. Element table items → stress → von Mises. Здесь же необходимо не пропустить шаг, где задается пользовательское название выбранного элемента (user label for item). В нашем случае название было выбрано - seqv.

Оптимизация конструкции не должна приводить к увеличению массы деталей, поэтому в процессе расчета необходимо потребовать минимизацию массы, но удобнее потребовать определение объема и сохранение его величины или даже его минимизации при изменении конструктивных параметров. Для этой цели в файле List results надо выбрать Element solution → Geometry → Volume, тогда будет вычисляться объем. Откроется список элементов объема (Element volume listing). И далее в таблице элементов добавить элемент геометрии – элементарный объем: Element table → Add → Geometry → Elem vol VOLU → ОК.

Дальше надо задать следующую инструкцию: полный объем (vtot) должен вычисляться как сумма элементарных объемов (VOLU) и этот полный объем надо описать как скалярный параметр: File → Parameters → Get scalar Parameters → Results data → Element table sums → name of parameter to be defined-vtot, Element table item - VOLU. После этих шагов в списке файлов (List → Log file) появится строка *Get, vtot, ssum, ,item, volu. Этот полный объем и будет при оптимизации играть роль целевой функции, т.е. будет минимизироваться.

Перейдем к следующему параметру, который предполагаем, задать как параметр состояния – эквивалентное напряжение в узле (номер узла в нашей задаче после статического расчета был выбран 22010). Последнее означает, что в процедуре оптимизации этот скалярный параметр – максимальное значение напряжения должен уменьшаться. Наименьшему значению переменной состояния и будут соответствовать наиболее ра-

циональные переменные конструкции. Параметр состояния описывает изменение напряженно-деформированного состояния при переборе программой конструктивных параметров (в нашей задаче – величин оснований трапеции). Итак, следующая цепочка шагов: File → Parameters → *Get scalar par → Results data → Nodal results → Stress → von Mises → seqv; name of parameters to be defined – smax; node number - 22010. В программном файле (Log file) появится строка еще одна строка макроса - *Get, smax, node, 22010, s, eqv.

Далее надо создать файл, который будет назначен в качестве файла для анализа. Для этого существует последовательность- Design Opt → Analysis file → Create → File → Write DB log → далее надо создать какой-то файл и указать к нему путь. Назначить указанный файл как файл анализа надо следующим образом: Design Opt → Analysis file → Assign → Browse → название созданного файла анализа.

Наконец необходимо выполнить шаг, в котором объявляются переменными выбранные в предыдущих шагах, параметры. Такими переменными должны быть «переменные проекта» (Design Variable), «переменные состояния» (State Variable) и «целевая функция» (Objective). Назначить «переменные проекта» - это означает, что надо указать, какие конкретно параметры конструкции будут меняться в процессе оптимизации. В нашем случае это половины длин оснований трапеции, которые уже появлялись в программном файле при построении геометрической модели: rbs1, rbs2. «Переменной состояния» - является та характеристика, которая зависит от «переменных проекта». В нашей задаче – это максимальное значение напряжения (smax). Для переменных проекта и состояния надо задать интервалы изменения. «Целевая функция» - полный объем – VTOT.

После назначения переменных надо определить файл для записи данных оптимизации. Это в шаге Controls [OPDATA] и [OPLOOP]- определение контроля для чтения файла анализа. Здесь же задается чтение с первой строки (Read), и параметры для сохранения – скалярные параметры (PARMS). Активируется суммарный вывод на печать всех циклов [OPPRINT] и задается команда [OPKEEP]-сохранение базы данных и результата для наилучшего проекта в выбранном файле. Остается только выбор метода-команда METHOD/TOOL. В нашей задаче был выбран метод Sub-Problem и запускается команда начала процедуры оптимизации –PUN.

В нашем случае было сделано 30 итераций, и получен результат rbs1= 8,62 мм, rbs2=5,11 мм. После вычисления характеристик напряженно-деформированного состояния в модели поршня с новыми данными по сечению ребра жесткости получили уменьшение максимальных значений нормального напряжения более чем на 20%.

Выяснилось, что аналитические и некоторые компьютерные результаты не совпадают. Причиной различия являлся по нашему мнению выбор (в качестве начального приближения) сечения ребра жесткости в виде трапеции без учета стенок цилиндра в процессе аналитического расчета, что и отмечалось в работе [1]. В пневмомоторе типа ДАР ребро жесткости соединяется со стенкой поршня (рис.1) и необходимость учета всего сечения, а не только ребра жесткости в аналитическом исследовании прочностных характеристик, является следующей актуальной задачей.

Библиографический список

1. Раевская Л.Т. Оптимизация ребра жесткости поршня пневмомотора. Известия вузов «Горный журнал», №6, 2008. С.90-94. Екатеринбург.