

Анализ характеристик локального НДС соединения металлического фланца с композитным корпусом

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля

Рассмотрена возможность моделирования НДС соединения металлического фланца с композитным цилиндрическим корпусом РДТТ с применением программного комплекса ANSYS. Получены зависимости формы шипа фланца от нагрузки внутренним давлением. Результаты моделирования показали значительное повышение механических характеристик соединения с минимальными расходами на проектирование.

Ключевые слова: композиционные материалы, соединение, напряженно-деформированное состояние, модель, проектирование, фланец.

Прогресс авиакосмической техники за последние 10...15 лет привел к значительному улучшению важнейших параметров летательных аппаратов, в том числе к уменьшению доли пассивной массы корпуса ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ). Значительная роль в этих достижениях принадлежит созданию принципиально новых конструкционных материалов — волокнистых композиционных материалов, обладающих таким высоким уровнем физико-механических свойств, который практически недостижим в традиционных металлических сплавах и полимерных материалах, а также появлению целого ряда программных расчетных средств, позволяющих еще на стадии проектирования получить все необходимые расчетные параметры будущего материала. Одним из таких современных расчетных комплексов является широко известный программный продукт ANSYS. Применение такого тандема сделало возможным создание конструкций с заданными свойствами, наиболее полно отвечающими характеру и условиям работы.

РДТТ представляет собой конструкции преимущественно одноразового применения. Одноразовость применения РДТТ определяющим образом влияет на выбор типов соединений отдельных конструктивных элементов двигателя между собой. Предпочтительными являются неразъемные соединения (сварные, клееные и т. д.). Они обладают существенно меньшей, чем разъемные соединения, пассивной массой конструкции, более дешевы, менее трудоемки и имеют меньшую длительность циклов изготовления [1]. Поэтому создание рациональных конструкций соединений для различных видов нагружения является актуальной проблемой.

Целью работы является создание рационального соединения металлического фланца с композитным цилиндрическим корпусом РДТТ на основе анализа характеристик локального НДС с помощью программы ANSYS.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- создание модели соединения в среде ANSYS;
- определение рациональной конструкции соединения металлического фланца и композитного материала (форма, смещение и расположение шипа).

В конструкциях РДТТ в настоящее время применяются в основном три типа обечаек корпуса: металлические, стеклопластиковые или органикопластиковые и комбинированные (металлические фланцы и композитная оболочка) [2].

С точки зрения расчета на прочность корпуса РДТТ рассматривают как емкости, чаще всего нагруженные кратковременно статическим внутренним давлением один раз или многократно в условиях изменения температуры от отрицательных (окружающей среды) до весьма высоких положительных значений [3].

Статические нагрузки позволяют реализовать высокое массовое совершенство благодаря возможности применения высокопрочных конструкционных материалов при низких уровнях запасов прочности.

При этом механические свойства композиционного материала в изделии обуславливаются схемой расположения волокна и могут сознательно меняться изготовителем изделия, то есть конструкции изготавливаются с регулируемой анизотропией материала. Таким образом, при разработке конструкций из волокнистых композиционных материалов, получаемых методом намотки, проектирование требует одновременного охвата вопросов назначения не только геометрических размеров конструкции, но и внутренней структуры материала – числа и порядка чередования слоев, углов ориентации, вида армирующих нитей и их относительного содержания в объеме композиции. Это требует обеспечения соответствия формы конструкции возможностям композиционных материалов и технологическим возможностям реализации конструкции методом непрерывной намотки [4].

Для исследования модели соединения фланца, используя представленный программный продукт ANSYS, с корпусом были созданы модель фланца (рис. 1) и модель соединения (рис. 2).

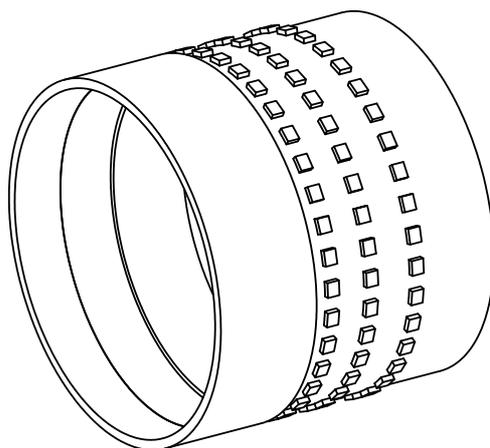


Рис. 1. 3-D модель фланца

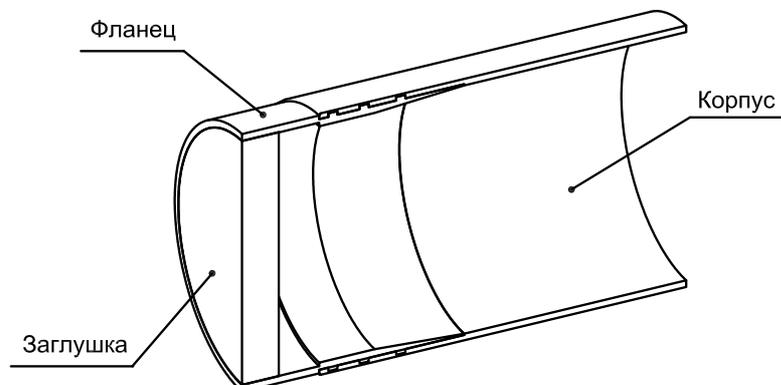


Рис. 2. 3-D модель соединения в разрезе

Характеристики материалов, используемых при расчете нагруженного состояния, представлены в табл. 1.

С целью проверки шипового соединения контакт между фланцем и корпусом принимается с минимальным коэффициентом трения, равным 0,001. Контакт между фланцем и заглушкой принимается неразъемным. Элементы данной модели рассчитывались на внутреннее давление 20 МПа.

Таблица 1

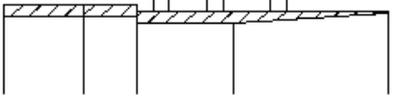
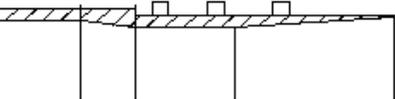
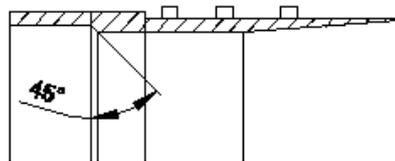
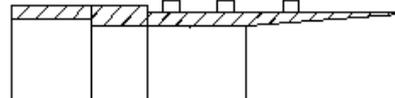
Характеристики используемых материалов

| Наименование элемента (материал) | Модуль упругости, Н/мм ² | Коэффициент поперечной деформации | Плотность, кг/мм ³ |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Фланец, заглушка (сталь) | $2,1 \cdot 10^5$ | 0,3 | $7,85 \cdot 10^{-6}$ |
| Корпус РДТТ (стекловолокно) | $12,5 \cdot 10^5$ | 0,3 | $2,5 \cdot 10^{-6}$ |

Для определения оптимальной формы сечения фланца предложено три варианта: конусная, цилиндрическая с фаской и цилиндрическая со ступенькой (табл.2).

Таблица 2

Формы сечения фланца

| № п/п | Продольная форма | Возникающее напряжение, МПа | Конструктивная схема |
|-------|------------------------------|-----------------------------|--|
| 1 | Начальный вариант | 602 |  |
| 2 | Конусная | 648 |  |
| 3 | Цилиндрическая с фаской | 710 |  |
| 4 | Цилиндрическая со ступенькой | 420 |  |

В результате расчёта установлена форма продолговатого сечения фланца - цилиндрическая со ступенькой, которая снижает максимальное напряжение на 30% и составляет 420 МПа.

Для определения рациональной формы шипа выбрано два параметра – скругление шипа и изменение его длины (рис. 3).

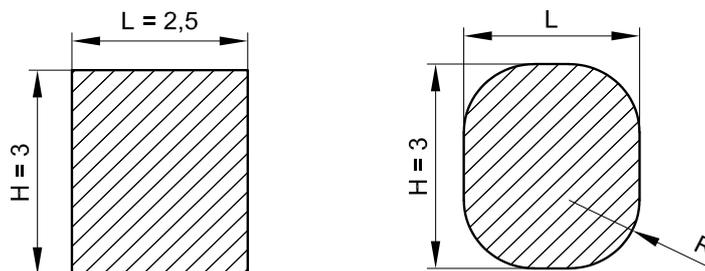


Рис. 3. Начальная и измененная форма шипа

Определено поле распределения эквивалентных напряжений по поверхности фланца от радиуса скругления шипов R (рис. 4) и в продольном сечении фланца от его длины (рис. 5).

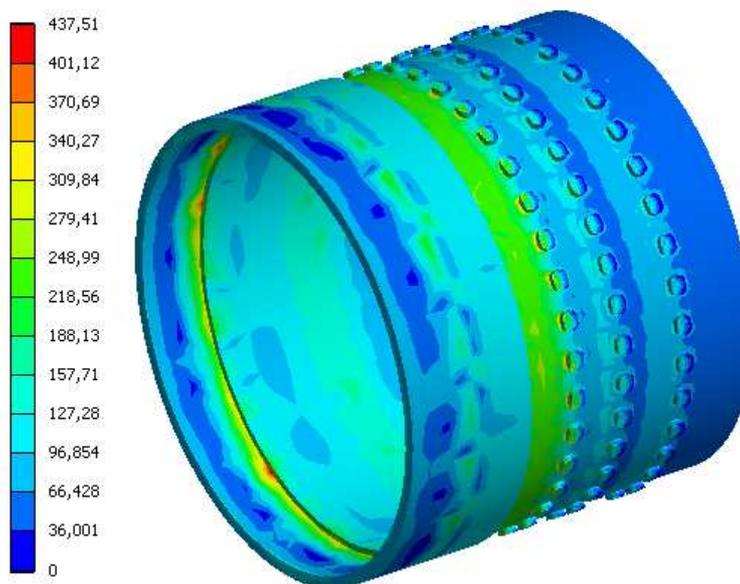


Рис. 4. Поле распределения эквивалентных напряжений по поверхности фланца от скругления шипов

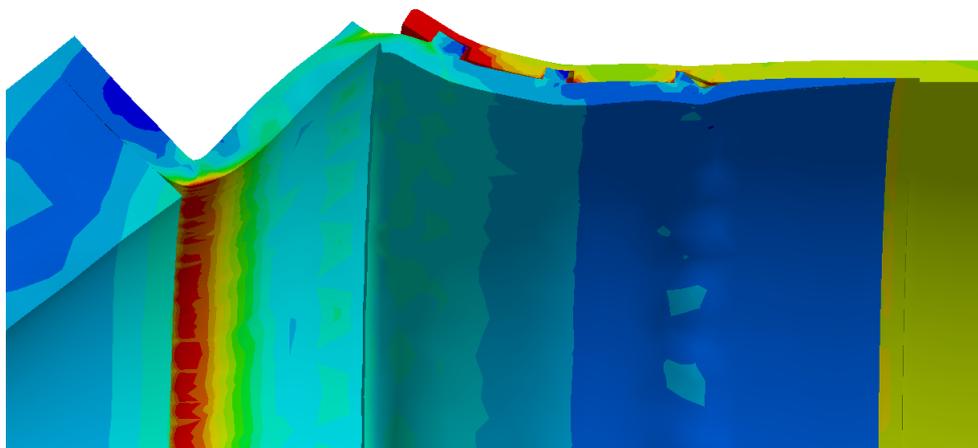


Рис. 5. Поле распределения эквивалентных напряжений в продольном сечении фланца от длины шипов (деформация увеличена в 350 раз)

В результате расчётов определено, что оптимальный радиус скругления равен 1 мм (рис. 6).

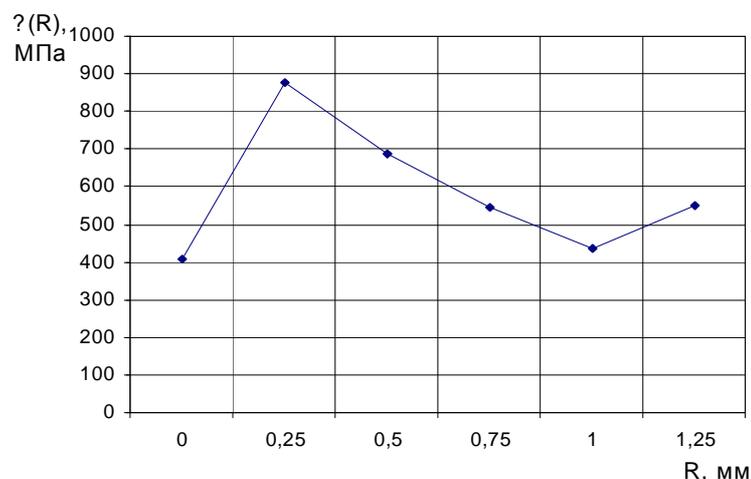


Рис. 6. Зависимость напряжения от скругления шипа

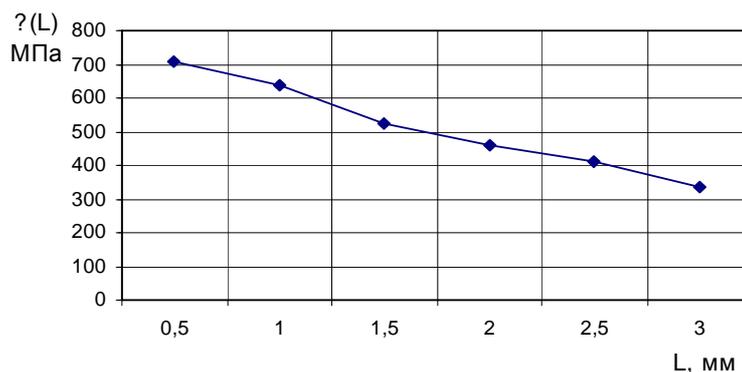


Рис. 7. Зависимость напряжения от длины шипа

Длина шипа L существенно влияет на прочностные характеристики соединения фланца с композитным слоем, однако значительное увеличение длины шипа увеличивает массу фланца и всей конструкции в целом, поэтому исходя из конструктивных соображений длина шипа выбрана величиной 2,5 мм (рис. 7).

Для определения рационального положения шипа используются два варианта:

а) смещение всех рядов шипов на величину K от крайнего положения в зацеплении с композитным слоем;

б) изменение линейного порядка шипов на шахматный.

Характер распределения эквивалентных напряжений – от смещения рядов шипов (рис. 8) и от изменения линейного расположения шипов на шахматный (рис.9).

В результате расчётов определено, что рациональное смещение рядов шипов составляет 5 мм, при этом максимальное напряжение – 409 МПа (рис. 10), а изменение порядка расположения шипов с линейного на шахматный снижает максимальные напряжения до 385 МПа.

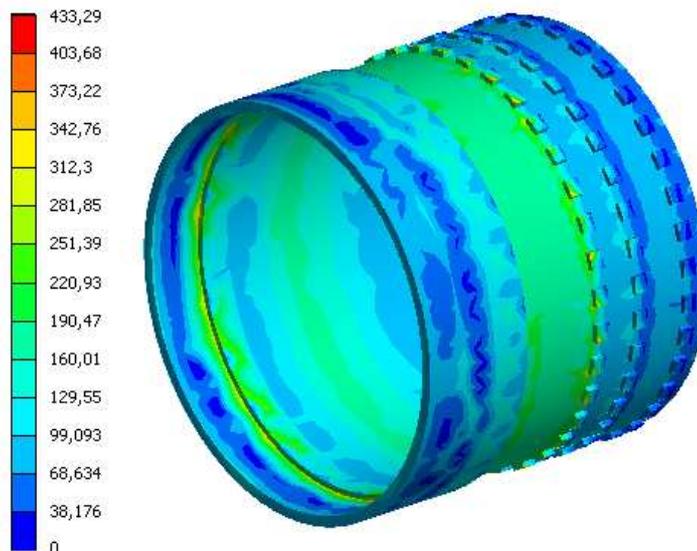


Рис. 8. Характер распределения эквивалентных напряжений от смещения рядов (K = 13 мм)

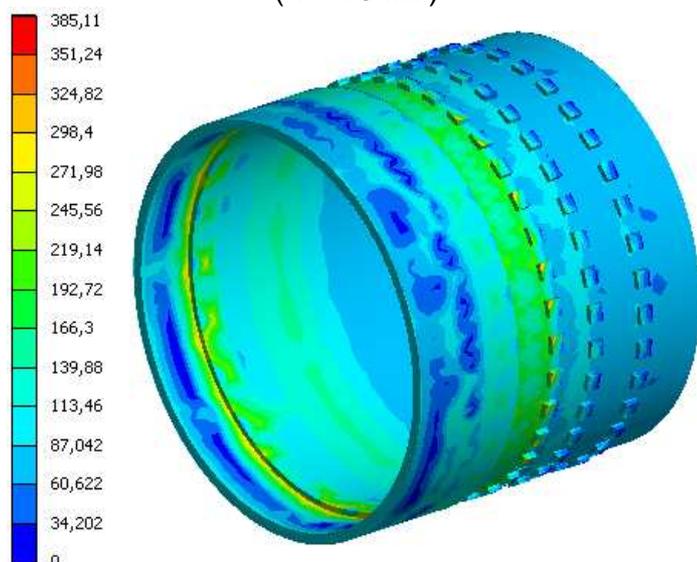


Рис. 9. Характер распределения эквивалентных напряжений в сечении фланца при шахматном расположении шипов

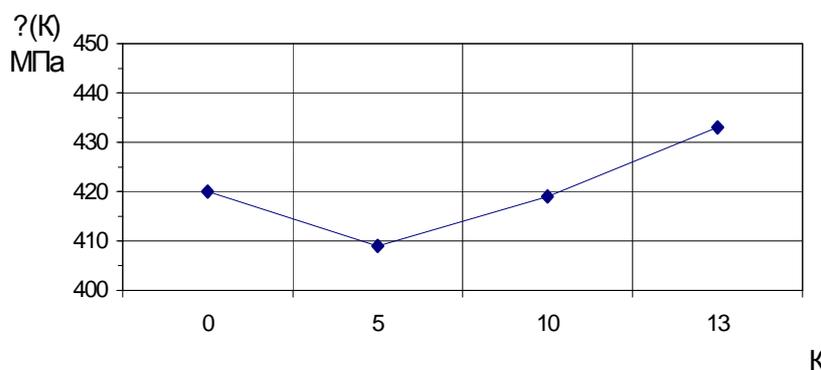


Рис. 10. Зависимость напряжения от смещения шипов

Выводы

1. Применяя программный продукт ANSYS, можно моделировать комбинированное соединение (металл + композиционные материалы) с заданными значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости.
2. Определены конструктивно-технологические параметры, повышающие свойства соединения металлического фланца с композитным материалом:
 - выбрана рациональная форма фланца;
 - определена рациональная форма шипа с радиусом скругления кромок $R = 1$ мм и длиной шипа $L = 2,5$ мм;
 - выбрана рациональная величина смещения рядов от заглушки ($K = 5$ мм);
 - изменен порядок расположения шипов с линейного на шахматный.
3. Благодаря внесенным изменениям формы фланца и шипов снижены максимальные напряжения на 36 % (с 602 до 385 МПа).
4. Уменьшено время проектирования, а соответственно и затраты на создание конструкции с заданными прочностными характеристиками.

Список литературы

1. Фахрутдинов И. Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: учеб. для машиностр. вузов/ И. Х. Фахрутдинов, А.В. Котельников– М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Образцов И. Ф. Актуальные проблемы механики конструкций из композиционных материалов / И. Ф. Образцов // Прикл. математика и механика. – 1986 – Т. 50, № 6 – С. 885 – 889.
3. Абибов А. Л. Применение конструкционных пластмасс в производстве летательных аппаратов / А. Л. Абибов, Б. В. Бойцов, Г. А. Молодцов, И.Ю. Шейдеман. – М.: Машиностроение, 1971. – 192 с.
4. Фахрутдинов И. Х. Ракетные двигатели твердого топлива/ И.Х. Фахрутдинов – М., 1981. – 221 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав.каф. А.Г. Гребеников, Национальный аэрокосмический университет им Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 15.12.10

Аналіз характеристик локального НДС з'єднання металевого фланця з композитним корпусом

Розглянуто можливість моделювання НДС з'єднання металевого фланця з композитним корпусом РДТТ із застосуванням програмного комплексу ANSYS. Отримано залежності форми типу фланця від навантаження внутрішнім тиском. Результати моделювання показали значне підвищення механічних характеристик з'єднання з мінімальними витратами на проектування.

Ключові слова: композиційні матеріали, з'єднання, напружено-деформований стан, модель, проектування, фланець.

The analysis of characteristics of the local VAT of connection of a metal flange with the composite case

In article the considered possibility of modeling of the VAT of connection of a metal flange with composite cylindrical case RDTT with application of program complex ANSYS. Dependences of the form of a thorn of a flange on loading are received by internal pressure. Results of modeling have shown substantial increase of mechanical characteristics of connection with minimum expenditures on designing.

Keywords: composite materials, the compound, stress-strain state, model, design, flange.