

Решение задач с учетом кинематической
(контакт) и других видов нелинейности с помощью
программного комплекса MSC.MARC.

ГКНПЦ им. Хруничева
Майоров М.Н.

Москва 2000

Программный комплекс MSC.MARC имеет весьма развитые возможности для моделирования нелинейных процессов, в частности для задач с кинематической нелинейностью – контактных задач.

Среди таких возможностей можно отметить следующие:

автоматическая процедура определения контакта позволяет легко и просто моделировать его, даже в случае трехмерных деформируемых тел сложной формы;

жесткость тел в зоне контакта также вычисляется автоматически, т.е. нет никаких специальных контактных элементов типа *gap* для задания контакта. Вместо них физические тела или их части определяются пользователем как контактирующие тела.

Типы контактирующих тел.

Пре- постпроцессор MENTAT позволяет задавать следующие четыре типа контактирующих тел:

1. деформируемые тела, состоящие из конечных элементов
2. абсолютно жесткие тела, которые могут двигаться в пространстве, представленные геометрическими объектами
3. симметричные – особый тип абсолютно жестких тел, которые представляют собой линию или плоскость симметрии
4. абсолютно жесткие тела с учетом теплопереноса – недеформируемые тела, состоящие из конечных элементов, используются только в связанных термомеханических задачах для моделирования теплового поведения областей тела

Количество контактирующих тел не ограничено, однако как минимум одно деформируемое тело должно присутствовать в задаче.

Автоматическая процедура адаптивного сгущения конечно-элементной сетки также является очень полезной и позволяет получать достаточно точные результаты, оставаясь в пределах относительно небольшой размерности задачи, что решающим образом сказывается на времени счета.

В дополнение к традиционным критериям разбиения можно заказывать адаптивное сгущение КЭ сетки в местах, где тела должны войти в контакт. В таком случае, когда узел входит в контакт, элементы, связанные с тем узлом разбиваются. Это приводит большему числу элементов и узлов на внешней контактной области, но может существенно уточнять решение.

Так, например, одним из контактных условий является условие не проникновения контактирующих узлов, однако там где присутствует высокая кривизна, а также из-за конечной дискретизации пространства, описываемого конечным элементом, выполнение этого условия может быть затруднено или вообще невозможно. Использование адаптивной процедуры генерации КЭ сетки может уменьшить эти проблемы.

Также адаптивная процедура имеет важное значение для контактных задач, потому что если контактный допуск не был определен Вами, новый контактный допуск рассчитывается на базе новой сетки. Это расстояние может быть меньше, чем предварительно рассчитанный допуск, ведя к большему количеству итераций.

Нелинейная, итерационная процедура решения контактных задач предъявляет высокие требования к ресурсам компьютера и занимает продолжительное время. Возможность использования нескольких процессоров

или ресурсов других сетевых рабочих станций позволяет уменьшить время счета для больших (10000 и более узлов) в несколько раз.

Достаточно информативным, с точки зрения оценки результата, является файл вывода MSC.MARC. Он содержит результаты, для деформируемых и абсолютно жестких тел. При выполнении контактного анализа, Вы можете получить три типа результатов. Первое - обычные результаты для деформируемого тела. То есть перемещения, деформации, напряжения, а также меры неупругого поведения, такие как пластические деформации и деформации ползучести. В дополнение к силам реакции при обычных граничных условиях, Вы можете получить контактные силы и силы трения, возникающие благодаря движению тел. Исследуя расположение этих сил, Вы можете наблюдать, где контакт произошел, но MARC также позволяет Вам наблюдать контактное состояние как переменные результирующего файла (значение ноль означает, что узел не в контакте; а значение единица - узел находится в контакте).

Также возможно получить результирующую силу после контакта, на деформируемых телах и результирующую силу и момент на абсолютно жестких телах. Хронология изменения этих результирующих сил имеет существенное значение для различных технических задач. Если заказан расширенный вывод, выходной файл отражает информацию относительно того, когда узел входит в контакт, с каким сегментом абсолютно жесткого тела, когда происходит разделение, смещение в локальной системе координат, и контактную силу в локальной системе координат. Для больших задач, это может приводить к существенному увеличению размеров результирующего файла.

Некоторые возможности по моделированию контактных задач с помощью MSC.MARC2000 и пре- постпроцессора MENTAT2000 можно продемонстрировать с помощью следующих примеров.

Тестовая задача.

Введение.

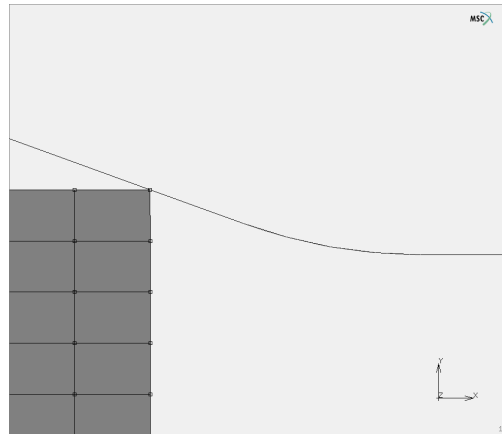
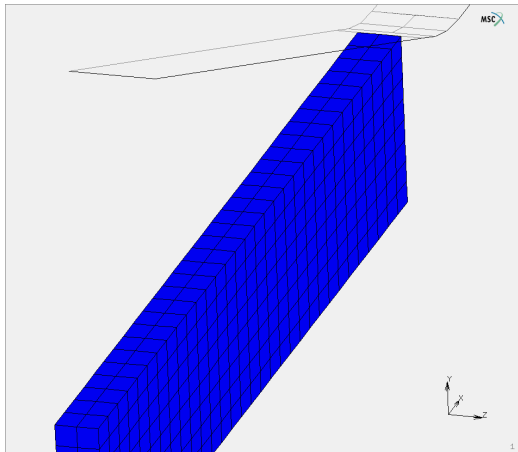
Этот пример описывает типовой технологический процесс деформирования заготовки из алюминиевого сплава - инструментом. Следствием этой операции может быть достижение заданных размеров детали и, возможно, упрочнение металла детали в зоне контакта.

Поскольку задача тестовая и не является для меня практической, производственной, возможной целью решения задачи могут быть:

- определение, отвечает ли деформированная форма детали заданным размерам по чертежу
- определение величины остаточных напряжений и остаточных деформаций
- подбор скоростных режимов движения инструмента.

В задаче моделировался контакт между деформируемым (заготовка) и абсолютно жестким (инструмент) телами, учитывалось нелинейное поведение материала заготовки.

Заготовка из алюминиевого сплава смоделирована объемными КЭ, тип MARCa HEX7.



Идеализации.

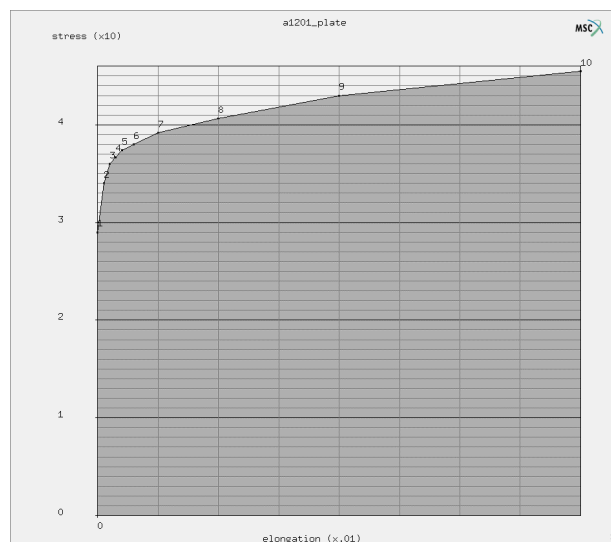
Контакт смоделирован без учета трения между контактирующими телами. Одно из контактирующих тел – инструмент, смоделировано как абсолютно жесткое тело.

Показания для успешного решения задачи.

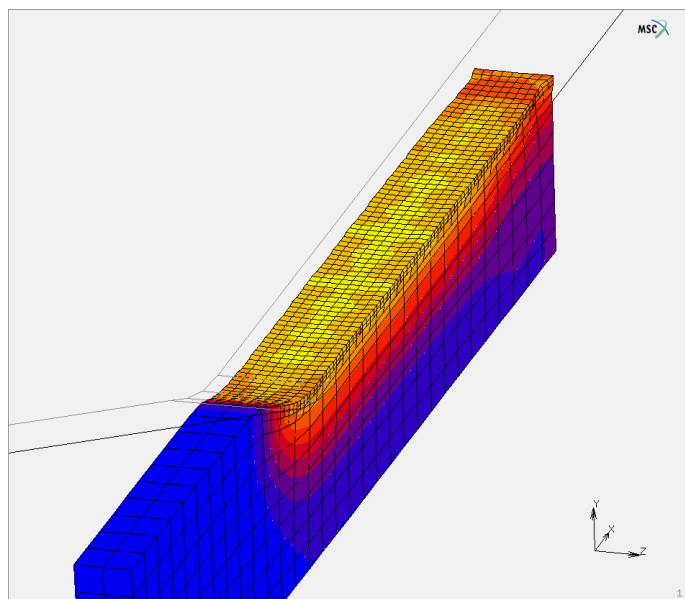
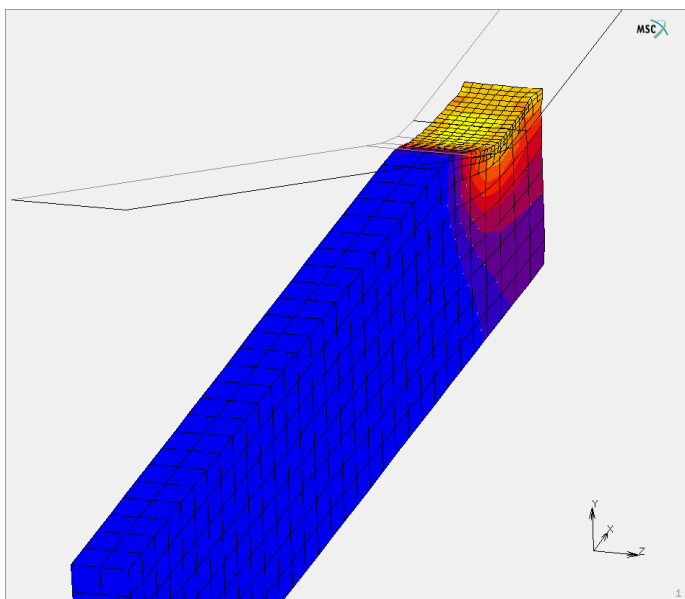
Адаптивное разбиение КЭ сетки в зоне контакта.

Описание задачи.

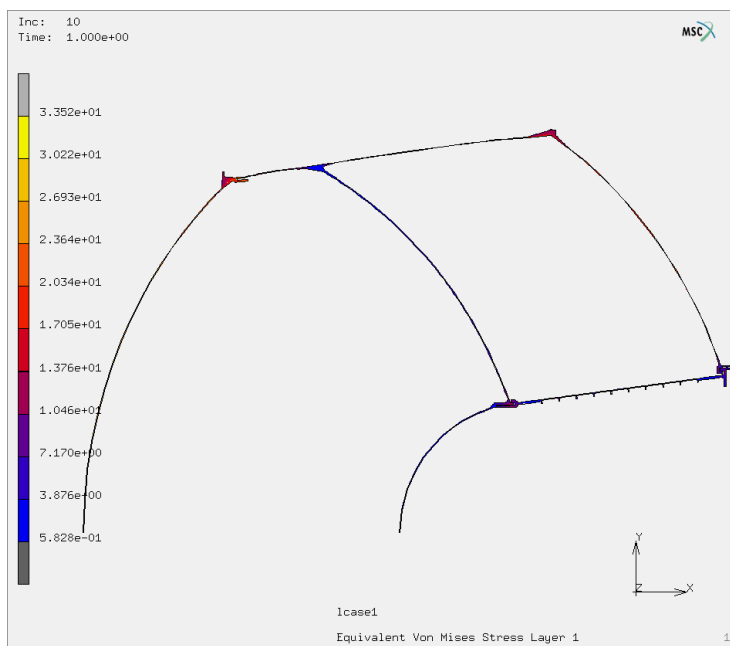
Конечно-элементная модель заготовки из алюминиевого сплава состоит из 496 элементов. Материал конструкции имеет модуль Юнга – 7000 кг/мм^2 , коэффициент Пуассона – 0.3, нелинейное поведение материала описывалось критерием пластичности Фон Мизеса, изотропным законом упрочнения и заданием диаграммы σ - ϵ вида:



В результате решения задачи в этой постановке было определено напряженно-деформированное состояние.

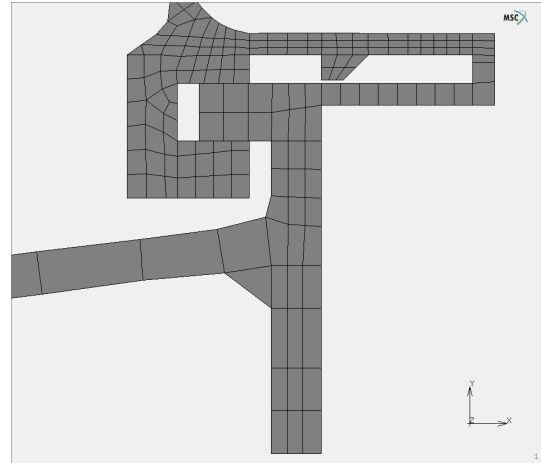
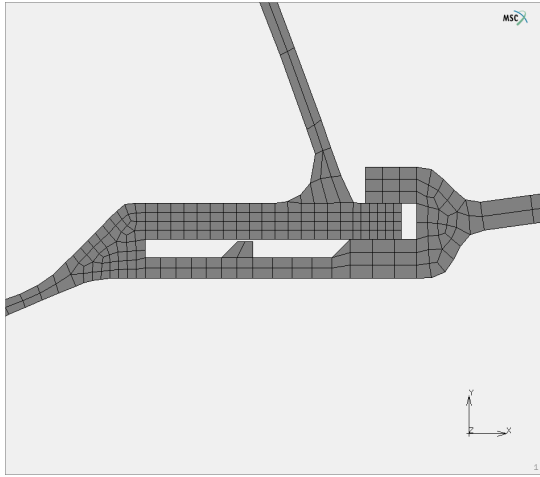


Осесимметричная контактная задача.



Введение.

Моделировался процесс нагружения блока баков РН внутренним давлением. В состав блока баков входят кольцевые шпангоуты, конструкция двух из них допускает самоконтакт в процессе нагружения.



Цель решения задачи: определение несущей способности конструкции.
Решение этой задачи демонстрирует использование всех трех видов нелинейности:

физическая – нелинейное поведение материала конструкции

геометрическая – большие перемещения днищ

кинематическая – контакты деформируемых тел в двух кольцевых шпангоутах.

Блок баков из алюминиевого сплава смоделирован объемными осесимметричными КЭ, тип MARCа TRIA2 и QUAD10.

Идеализации.

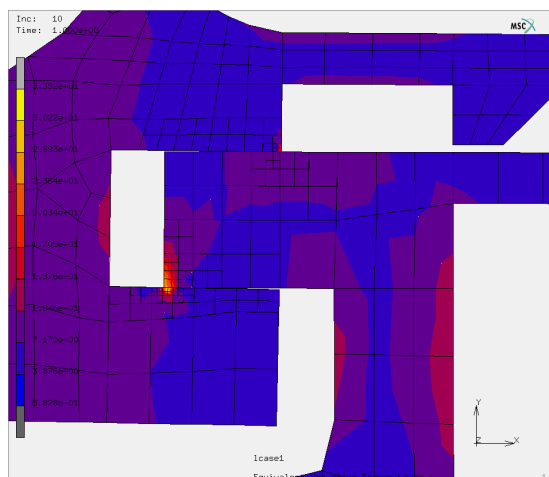
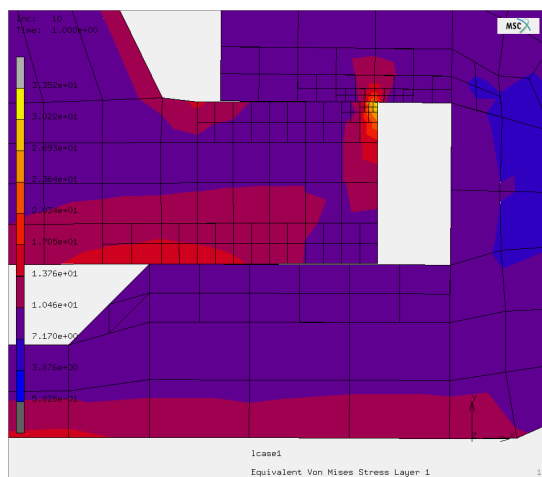
Задача решена в осесимметричной постановке.

Показания для успешного решения задачи.

Адаптивное разбиение КЭ сетки в зоне контакта.

Описание задачи.

Конечно-элементная модель блока баков из алюминиевого сплава состоит из 976 элементов. Материал конструкции имеет модуль Юнга – 7000 кг/мм^2 , коэффициент Пуассона – 0.3, нелинейное поведение материала моделировалось с помощью критерия пластичности Фон Мизеса, изотропного закона упрочнения и задания диаграммы σ - ϵ . Геометрически нелинейное поведение конструкции (днища) учитывалось с помощью параметра LARGE DISP.



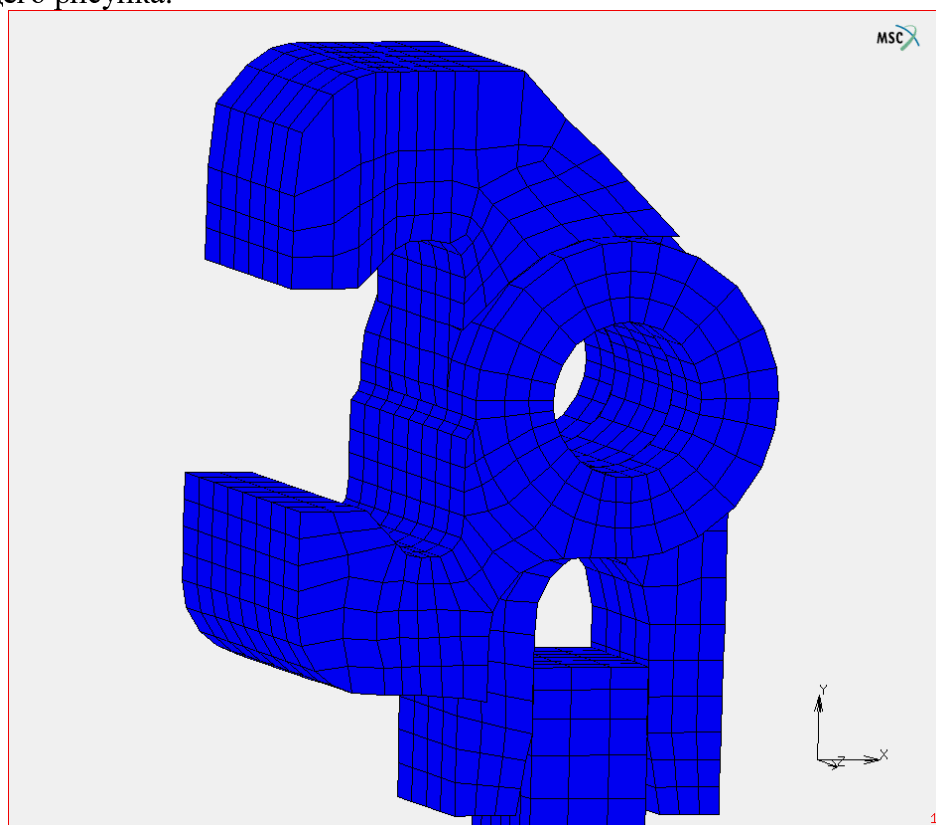
В результате решения задачи в этой постановке было определено напряженно-деформированное состояние, а также то, что внешняя, длинная коническая оболочка теряет устойчивость при действии 83%-ой расчетной нагрузки.

Задача прочности релаксатора.

Введение.

Данный механизм является составной частью системы разделения (так называемой мормоновской ленты) для верхних ступеней РН.

Принцип работы механизма можно продемонстрировать с помощью следующего рисунка:



Две, так называемые "челюсти", являются отдельными деталями и могут свободно вращаться на оси. Они захватывают болт, который находится под воздействием постоянной силы, направленной по оси X в отрицательном направлении. Внизу, между лапками "челюстей", находится сухарь, который препятствует раскрытию "челюстей". После того как сухарь будет удален, "челюсти" раскроются и болт высвободится.

Таким образом, было смоделировано два контакта:

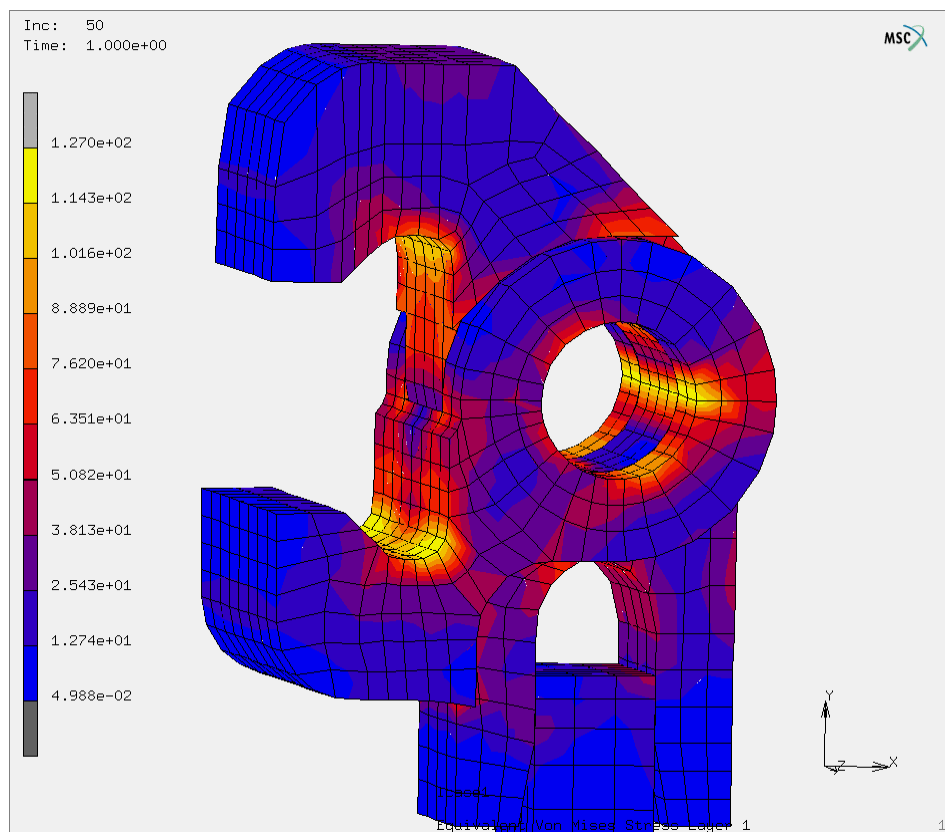
1. между лапками "челюстей" и сухарем
2. между "челюстями" и осью, на которой они вращаются

Расчет должен был подтвердить работоспособность конструкции при действии на болт вырывающей силы в 3т., т.е. гарантированное не раскрытие "челюстей" при наличии сухаря.

Конструкция механизма обуславливает моделирование его трехмерными деформируемыми телами.

Обе "челюсти" заданы как деформируемые тела. Модель была набрана 3-х мерными конечными элементами тип MARC HEX 7.

Материал механизма - достаточно прочная сталь. В задаче было учтено нелинейное поведение материала, которое описывалось критерием пластичности Фон Мизеса, изотропным законом упрочнения и заданием диаграммы σ - ϵ .



В результате решения задачи в этой постановке была подтверждена работоспособность механизма при действии расчетной нагрузки.