

Расширение возможностей комплексного нелинейного анализа конструкции изделий с применением системы Marc

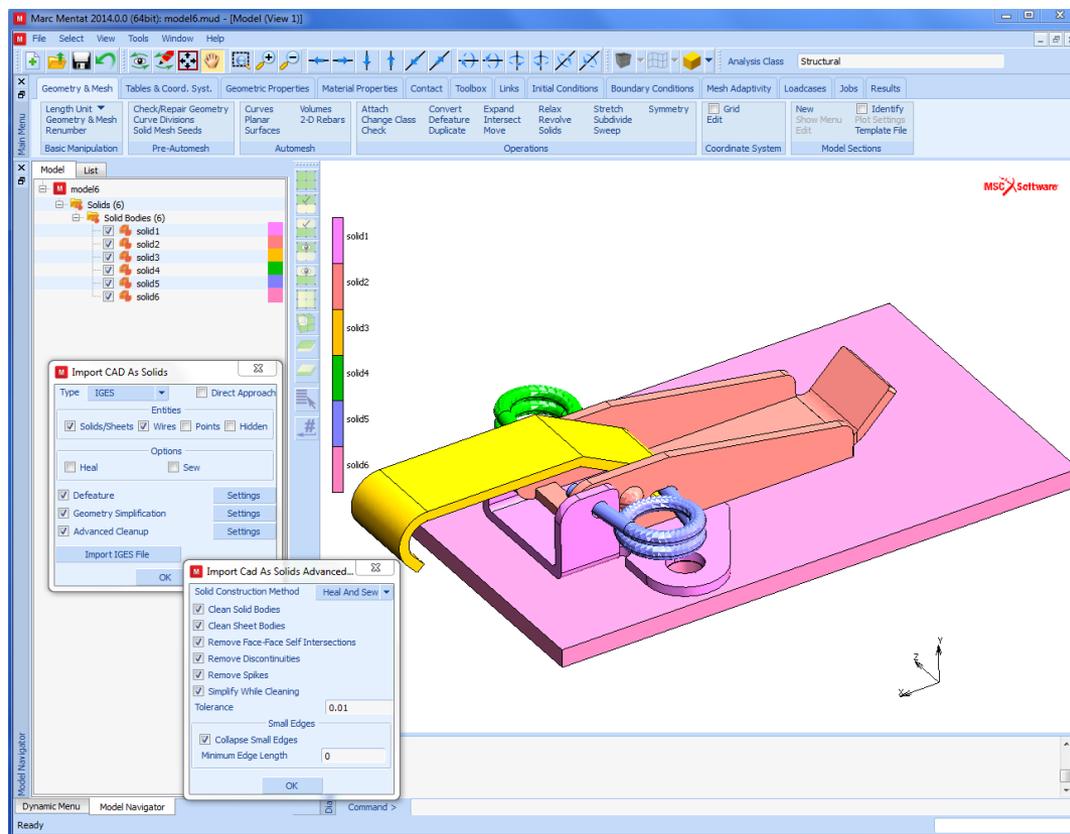
Князев Эдуард Юрьевич

Руководитель технического отдела MSC Software

Форум MSC, 08-09 Октября 2014

Новые возможности Marc в области:

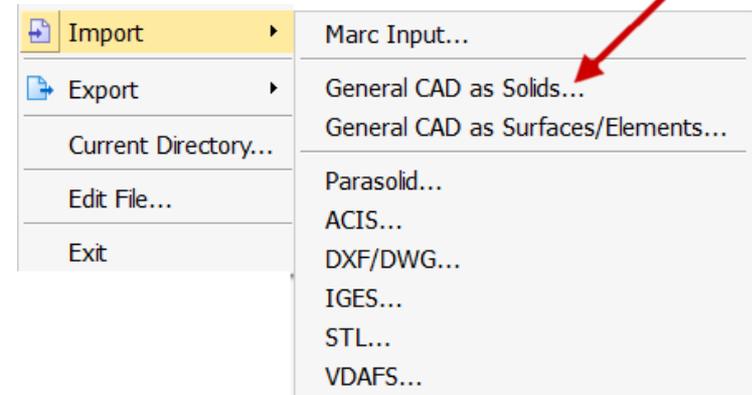
- Работа с геометрией
- Работа с КЭ сетками
- Контакт
- Давление в полости
- Гиперупругие материалы
- Механика разрушений
- Динамические задачи
- Сварка с использованием индукционного нагрева
- Поддержка аппаратных платформ, 3D мыши, лицензирование



Работа с геометрией

Импорт геометрии из CAD систем и твердотельное моделирование

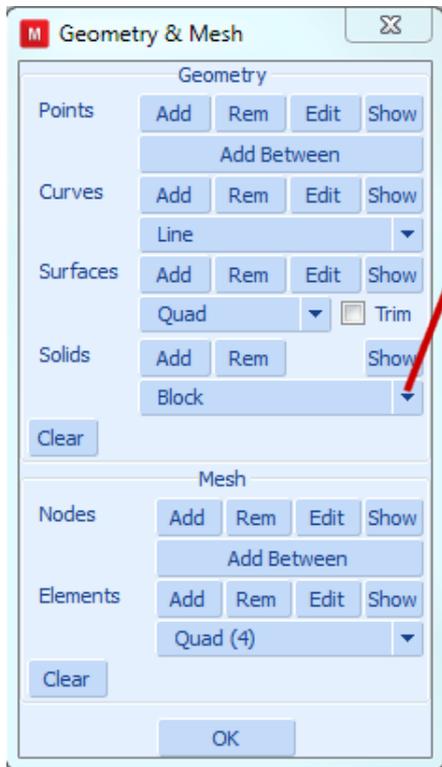
- **Marc Mentat до версии 2011:**
 - Твердотельное моделирование базировалось на ядре ACIS
 - Основные универсальные форматы конвертировались в формат NURBS, поскольку это требовалось генераторам КЭ сетки
- **Marc Mentat версии 2011:**
 - Поддерживался импорт основных CAD форматов, включая операцию «починки» геометрии
 - Геометрия конвертировалась либо в формат NURBS либо в формат «tessellated surfaces», поскольку это требовалось генераторам КЭ сетки
- **Marc Mentat версии 2013.1:**
 - Ядро ACIS заменено на ядро Parasolid
 - Поддерживалась прямая генерация КЭ сетки на 3-D телах
- **Marc Mentat версии 2014:**
 - Новые опции при импорте CAD
 - Преобразование в формат Parasolid
 - Поддержка дополнительных примитивов Parasolid (2D и 1D)



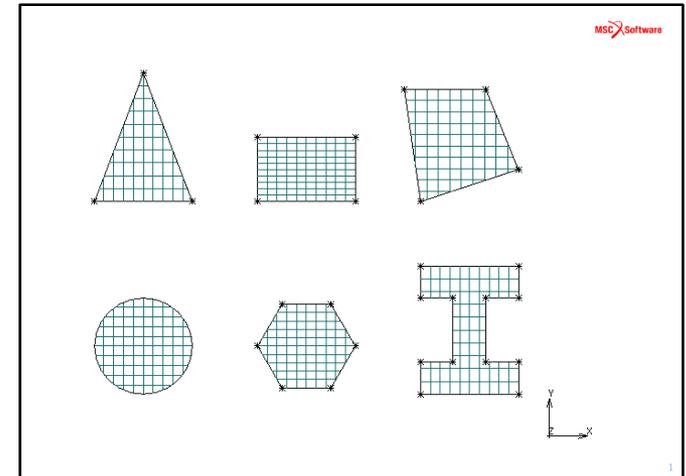
Импорт геометрии из CAD систем и твердотельное моделирование

- **Типы твердотельных примитивов**

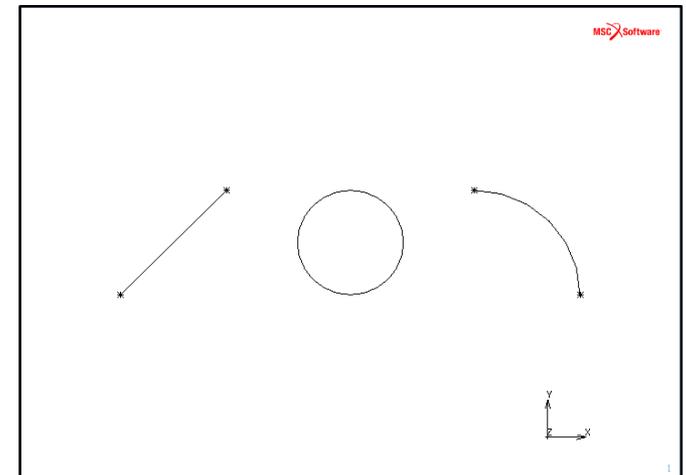
- Объемные тела
- Поверхности (**НОВОЕ**)
- Линии (**НОВОЕ**)



Block
Cylinder
Prism
Sphere
Torus
Triangle (Sheet)
Rectangle (Sheet)
Quad (Sheet)
Circle (Sheet)
Regular Polygon (Sheet)
Arbitrary Polygon (Sheet)
Line (Wire)
Circle (Wire)
Arc (Wire)



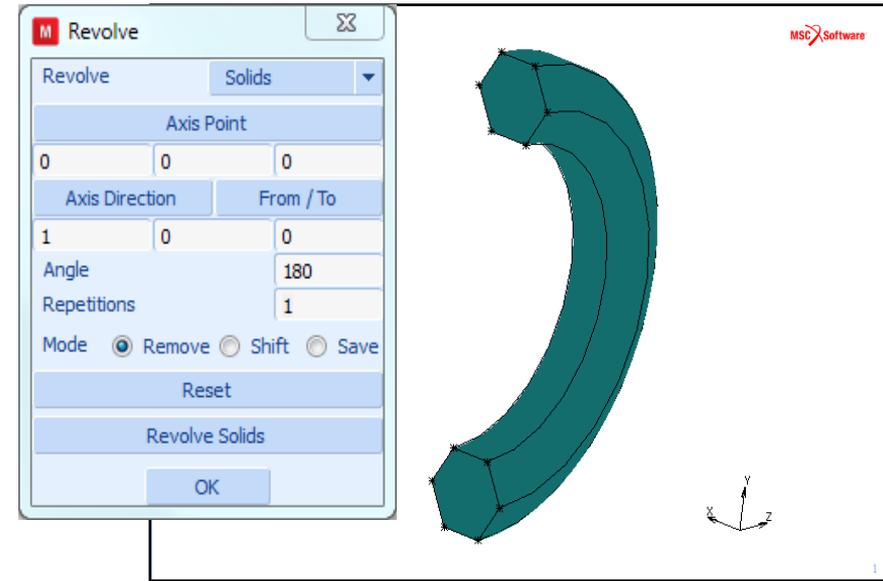
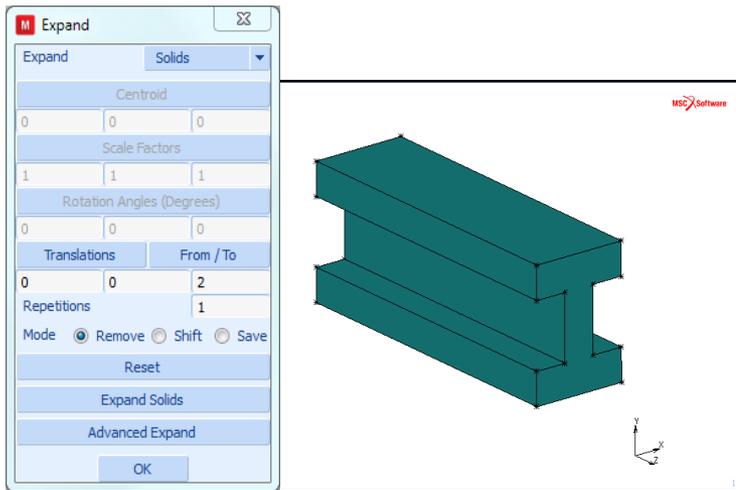
Sheets



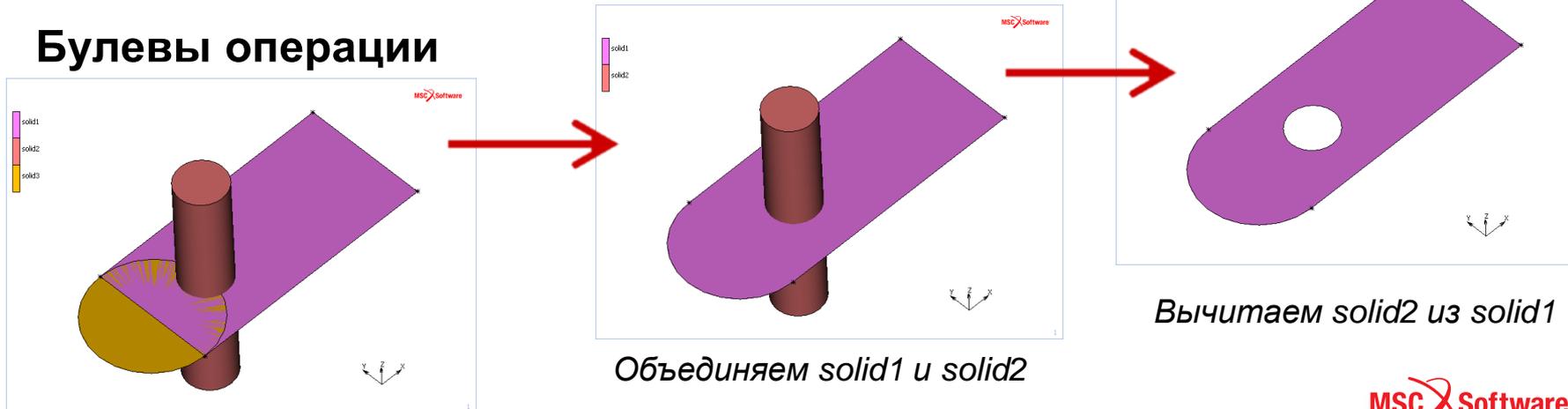
Wires

Импорт геометрии из CAD систем и твердотельное моделирование

- **Выдавливание и вращение**
 - Линии → Поверхности
 - Поверхности → Объемные тела

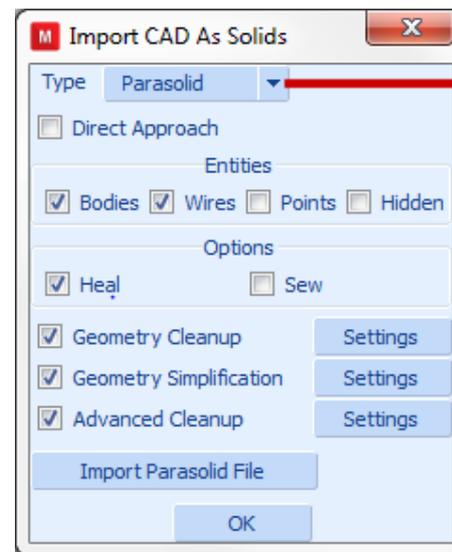


- **Булевы операции**



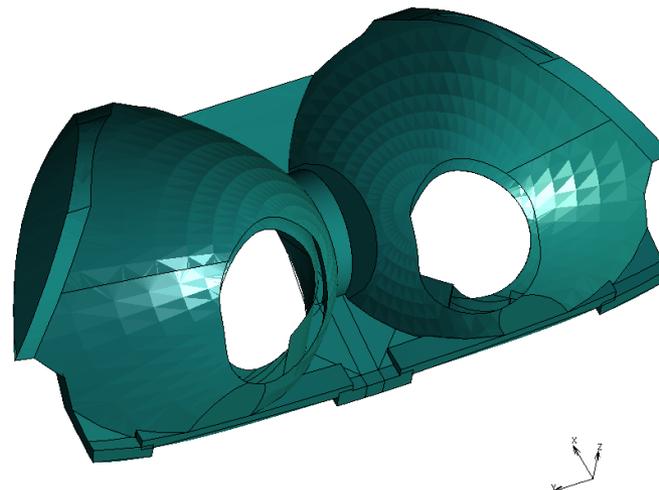
Импорт геометрии из CAD систем и твердотельное моделирование

- Новые возможности позволяют импортировать CAD модели в Mentat как геометрию в формате Parasolid
- Поддержка новых форматов CAD систем
 - Catia V5, Solid Works, Inventor на платформе Linux
 - JT
- «Очистка» CAD геометрии
 - Лечение, Сшивка, Связка
- Возможности по удалению:
 - Отверстий
 - Скруглений
 - Фасок
 - Малых поверхностей и 3D тел
- Редактирование геометрии с использованием Булевых операций

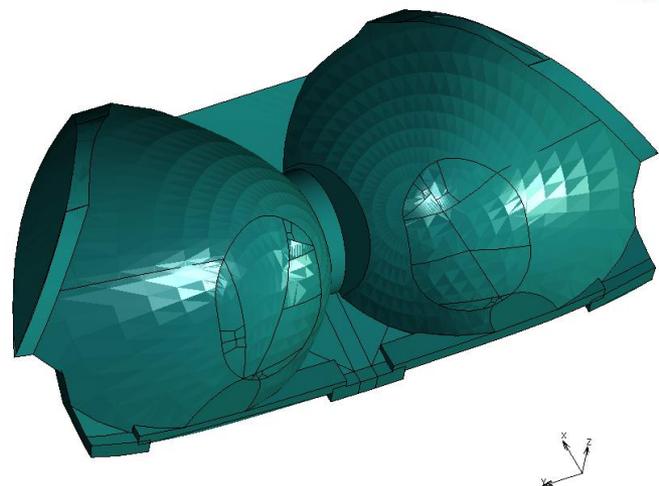


ACIS
Catia V4
Catia V5
IGES
Inventor
JT
Parasolid
Pro/Engineer
Solid Works
STEP
Unigraphics

«Очистка» CAD геометрии при импорте:



Без «лечения» и сшивки



С «лечением» и сшивкой

Идентификация и удаление отверстий:

Command > *highlight_solid_holes solid1:hole1 #
Command > *highlight_solid_holes solid1:hole2 #
Command > *highlight_solid_holes solid1:hole3 #
Command > *highlight_solid_holes solid1:hole4 #
Command > *highlight_solid_holes solid1:hole5 #
Command > *highlight_solid_holes solid1:hole6 #
Command > *highlight_solid_holes solid1:hole7 #

Command > *highlight_solid_holes solid1:hole6 #
Command > *highlight_solid_holes solid1:hole6 #
Command > @set(solid_defeature_holes_remove) #
Command > *remove_solid_holes solid1:hole6 #
Number of holes removed: 1

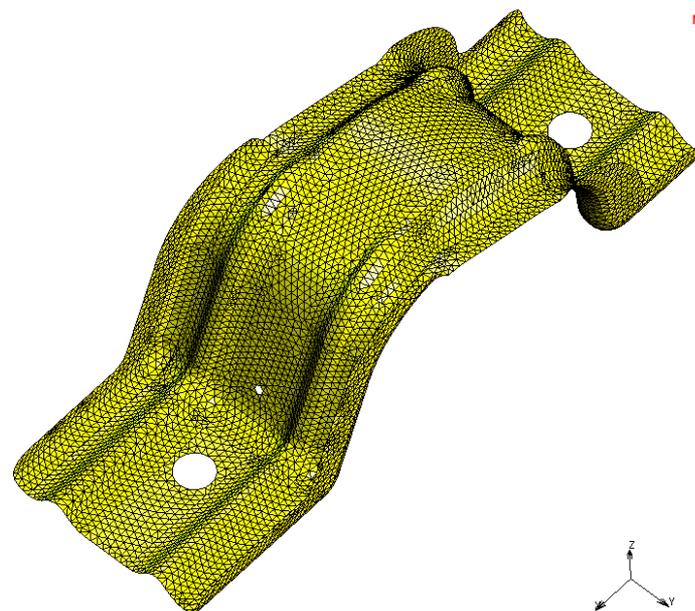
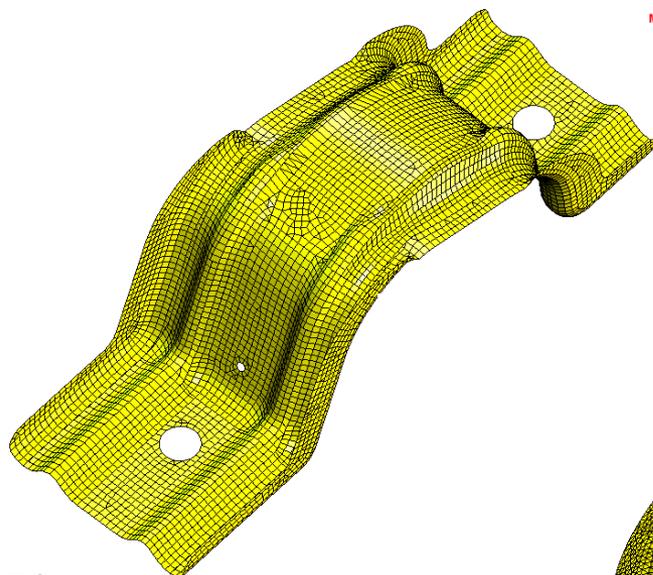
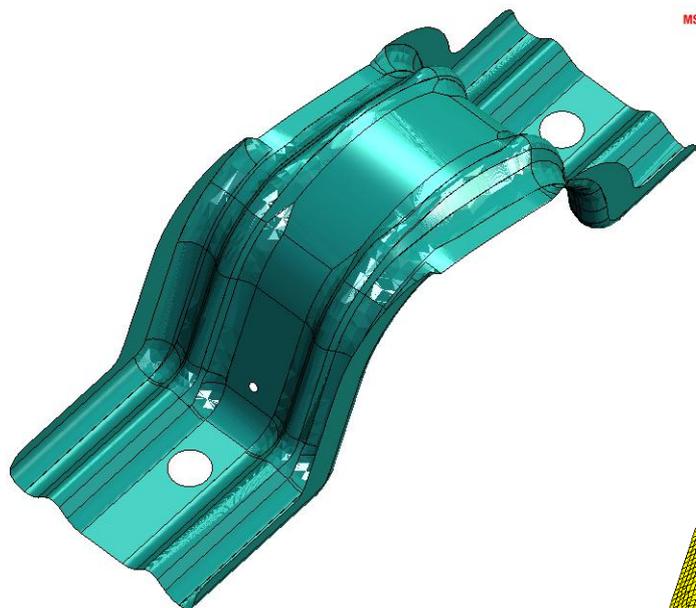
Command > *set_global_element_size_factor 0.25
Command > *set_meshing_solid quadratic
Enter solid list for volume meshing: all_existing
Fail on volume meshing complete (39971, hole-to-diameter)
Enter solid list for volume meshing: *set_solids off
Command > *preparemesh
Command >

КЭ сетка из элементов второго порядка

RMB на дереве модели может использоваться для выбора и удаления отверстия

Работа с КЭ сетками

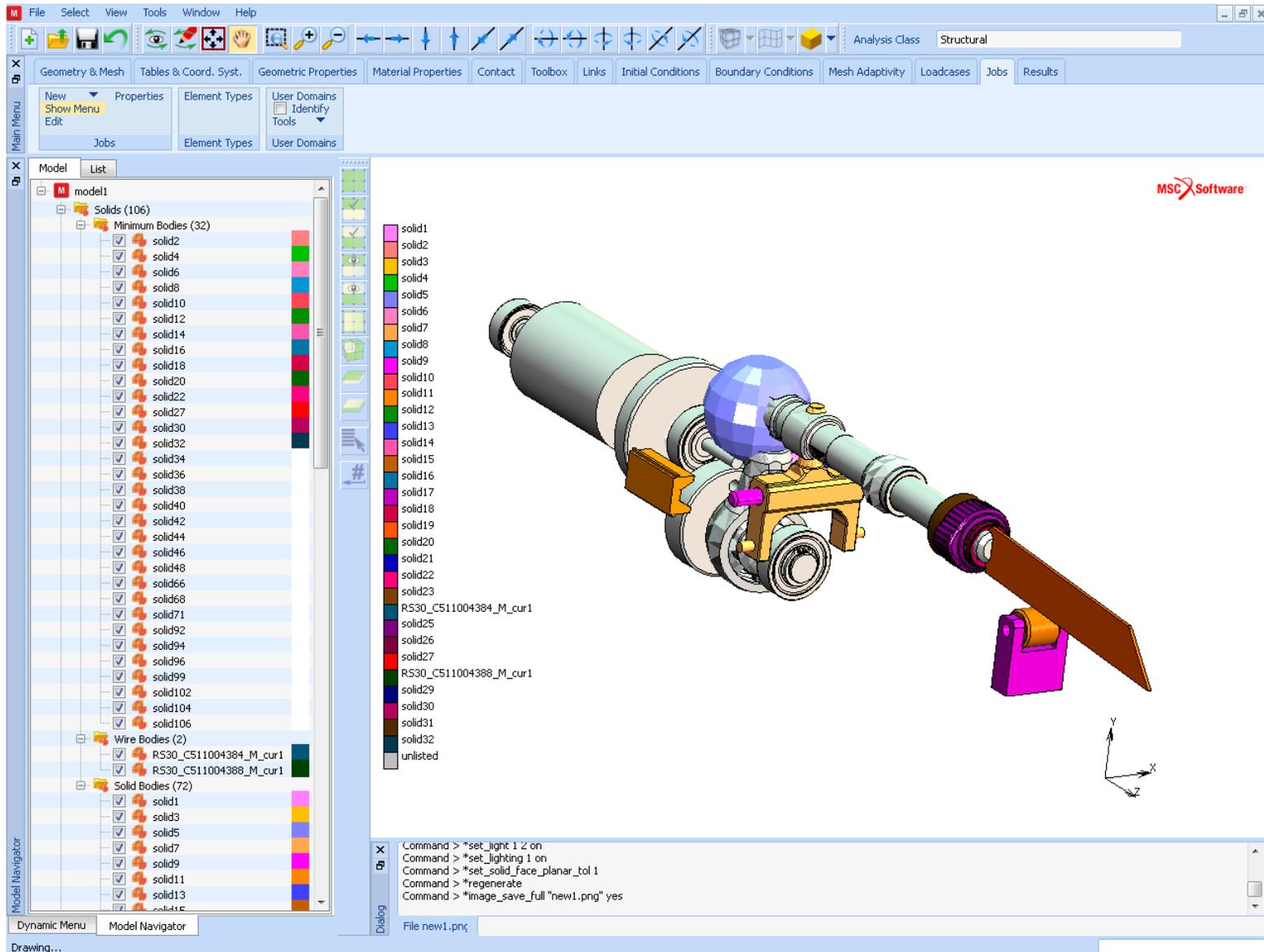
2D КЭ сетки



Генерация КЭ сетки по
одному нажатию кнопки
мыши, с включённым
контролем кривизны



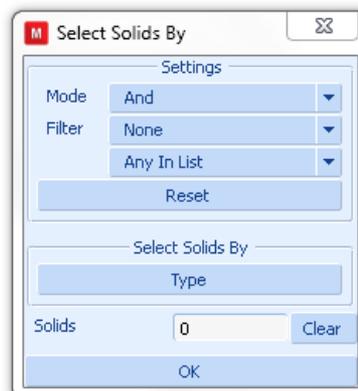
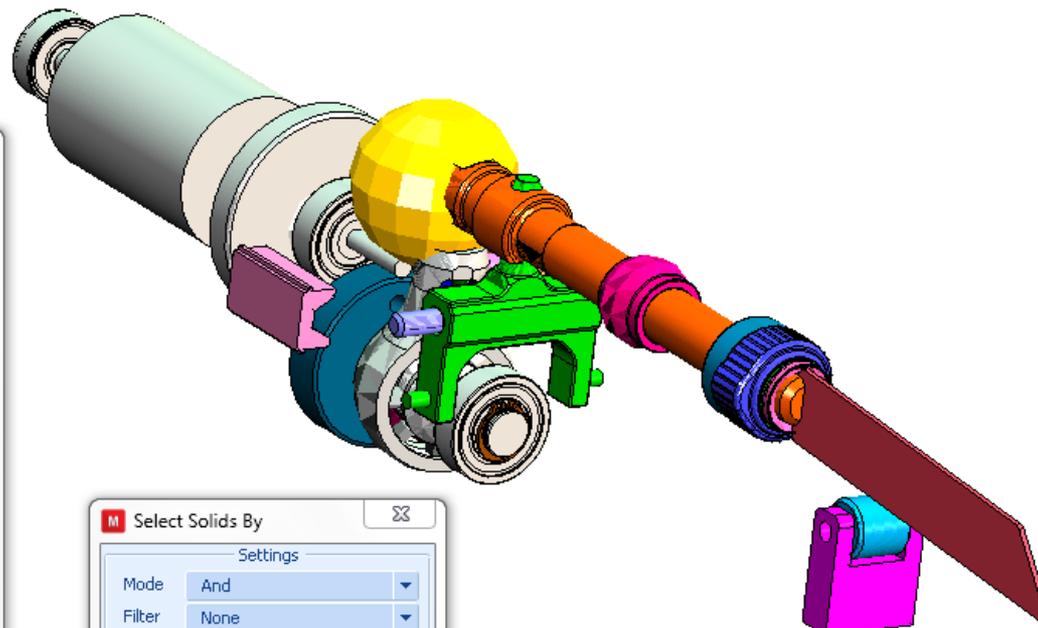
3D КЭ сетки на сборках



MSC Software

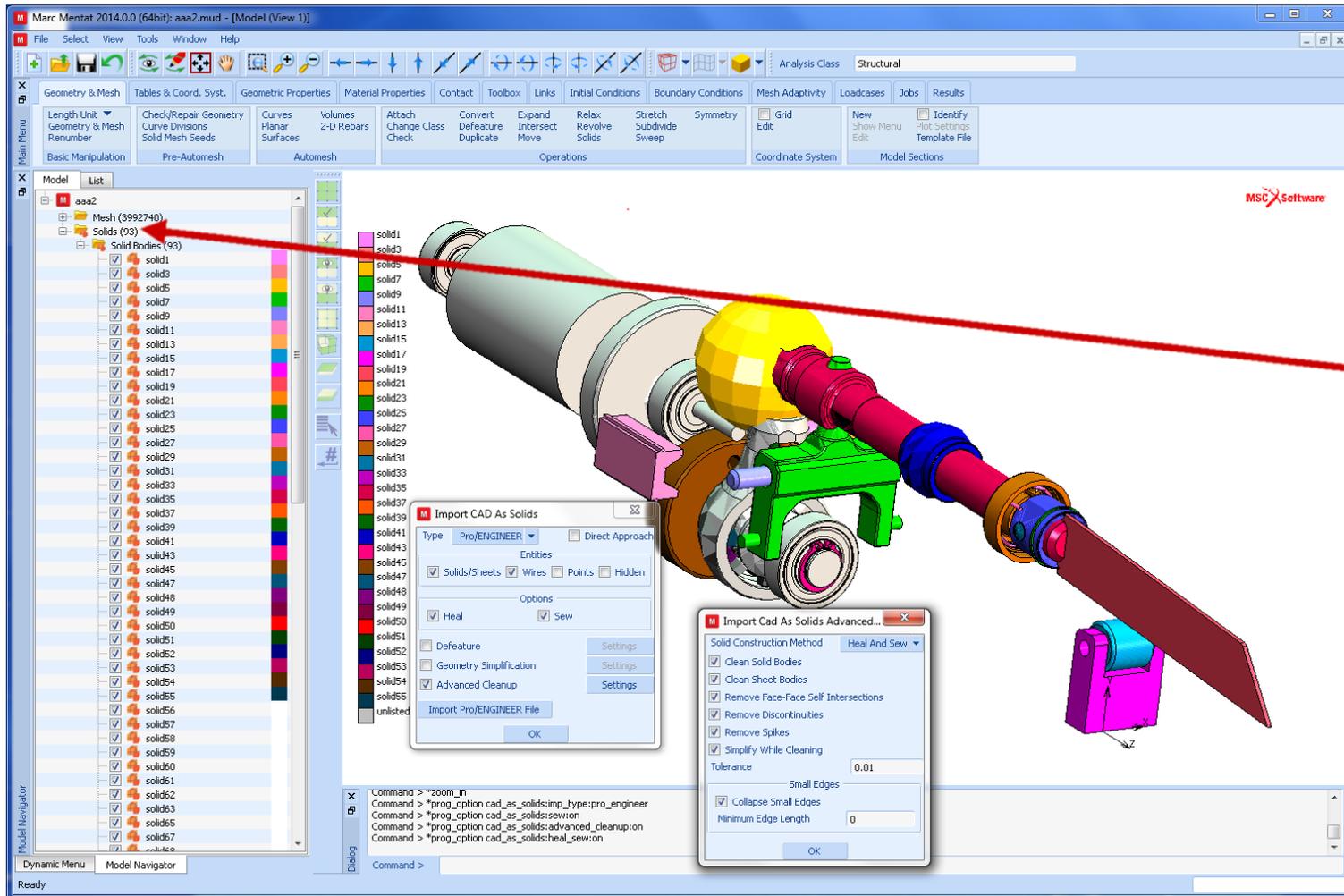
3D КЭ сетки на сборках

- solid1
- solid3
- solid5
- solid7
- solid9
- solid11
- solid13
- solid15
- solid17
- solid19
- solid21
- solid23
- solid25
- solid26
- solid29
- solid31
- solid33
- solid35
- solid37
- solid39
- solid41
- solid43
- solid45
- solid47
- solid49
- solid50
- solid51
- solid52
- solid53
- solid54
- solid55
- solid56
- unlisted



Выбор и удаление точек и кривых

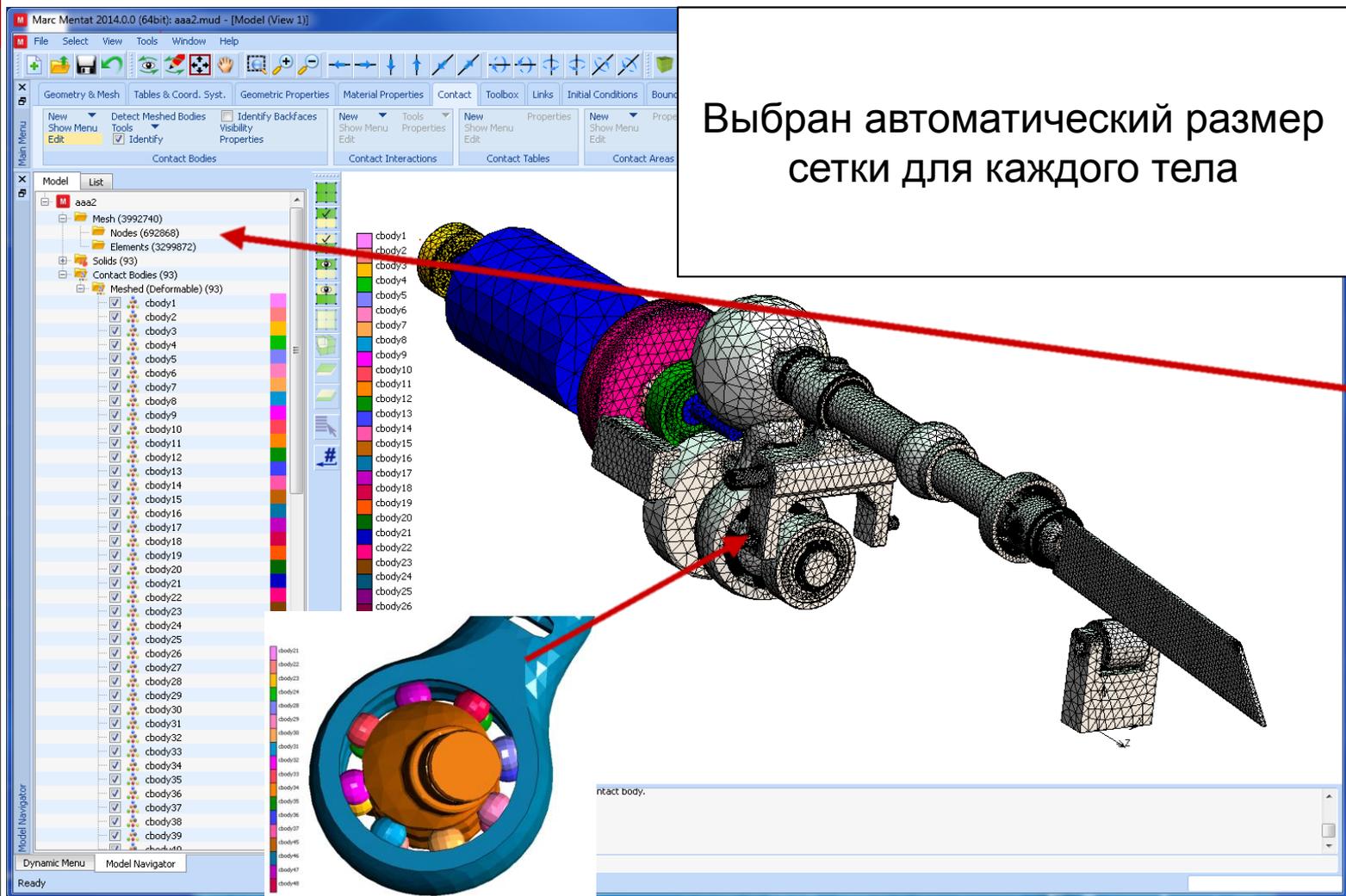
3D КЭ сетки на сборках



93 тела

Дополнительная очистка «лечение» и сшивка

3D КЭ сетки на сборках



Выбран автоматический размер сетки для каждого тела

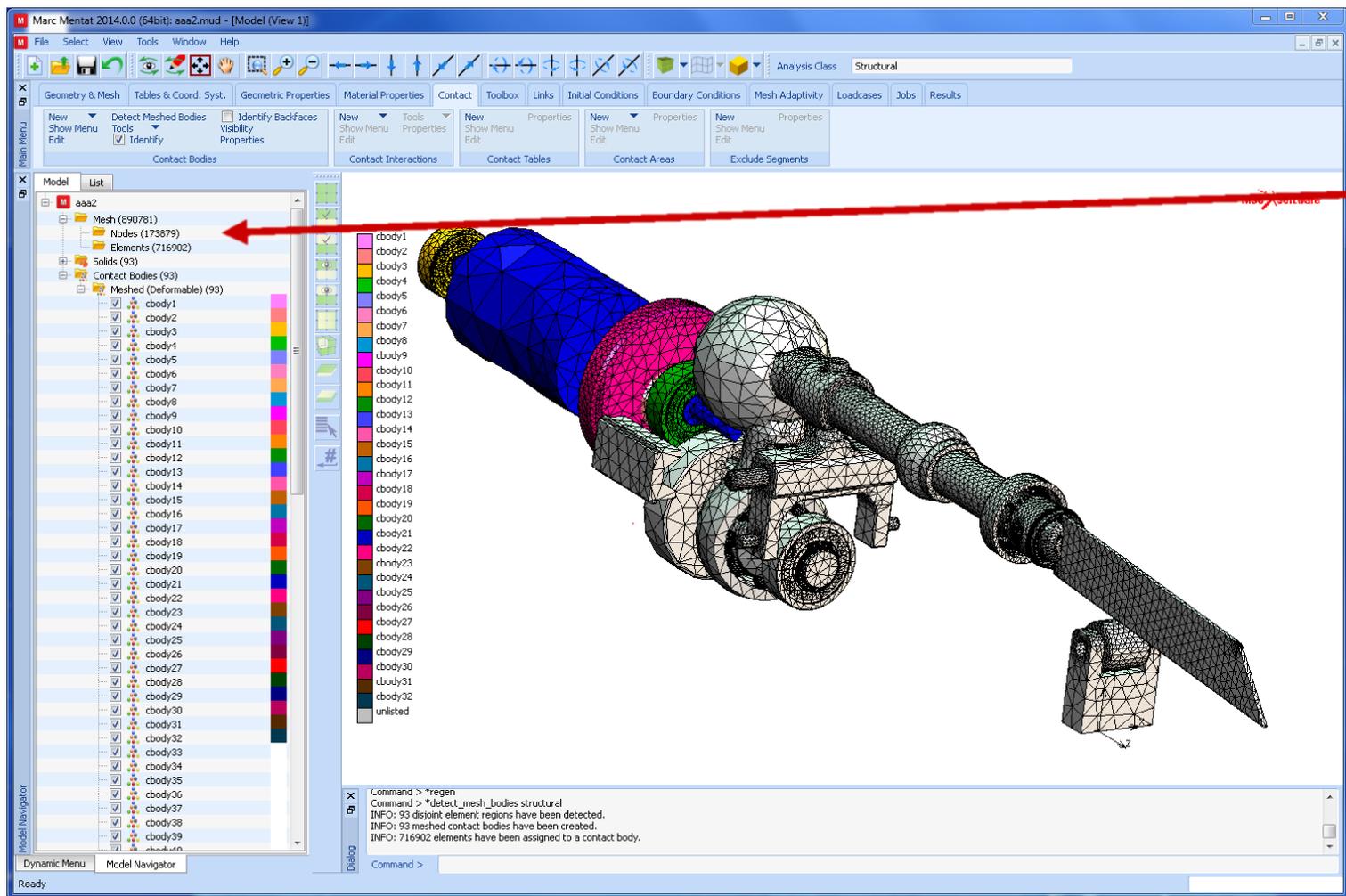
93 тела
3,299,872
элемента
692,868
узлов

Импорт и
создание
сетки
заняло
3 минуты
на Лаптопе

Увеличено

Генерация сетки

3D КЭ сетки на сборках



93 тела
716,902
элемента
173,902
узла

Импорт и
создание
сетки
заняло
70 секунд
на Лаптопе

Контакт

Улучшено задание контактного взаимодействия

- Новый способ задания контактного взаимодействия позволяет пользователям более просто задавать взаимодействие между контактными телами
- Этот способ наиболее полезен для работы с большими сборками, поскольку позволяет значительно сократить ввод данных

The image displays a 3D CAD model of a bolt assembly with various components highlighted in different colors. To the right, two software dialog boxes are shown. The 'Contact Table Properties' dialog box features a table with columns for 'First Body', 'Second Body', 'Contact Interaction', 'Contact Type', and 'Detection'. The 'Contact Interaction Properties' dialog box shows settings for a specific contact pair, including 'Name', 'Type', 'Contact Type', 'Contact Tolerance', and 'Bias Factor'.

В модели содержится большое количество контактных пар, однако настройки контакта у них похожие

Все параметры контакта сохранятся под заданными именами и назначаются на контактные пары

Контакт – Видимые тела - Фильтр

The image displays a 3D mesh model of a bolt, pin, and insulation assembly. A legend on the left identifies the components: bolt (pink), pin (red), and insulation (yellow). The bolt and pin are shown in a purple mesh, while the insulation is yellow. The bolt is positioned vertically through the pin, which is inserted into a hole in the insulation.

The **Contact Table Properties** dialog box is open, showing the contact table for `table_press_bolt`. The **View Mode** is set to **Entry Matrix**. The **Show Visible Bodies Only** checkbox is checked. The contact table is as follows:

First	Body Name	Body Type	Second		
			1	2	3
1	bolt	Meshed (Deformable)		T	
2	pin	Meshed (Deformable)			
3	insulation	Meshed (Deformable)	T		

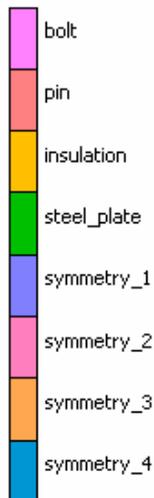
The **Contact Body Visibility** dialog box is also open, showing a list of bodies and their visibility status:

Visibility	Type	
<input checked="" type="checkbox"/>	bolt	Meshed (Deformable)
<input checked="" type="checkbox"/>	pin	Meshed (Deformable)
<input checked="" type="checkbox"/>	insulation	Meshed (Deformable)
<input type="checkbox"/>	steel_plate	Meshed (Deformable)
<input type="checkbox"/>	symmetry_1	Symmetry
<input type="checkbox"/>	symmetry_2	Symmetry
<input type="checkbox"/>	symmetry_3	Symmetry
<input type="checkbox"/>	symmetry_4	Symmetry

The **Contact Table Properties** dialog box also includes buttons for **Shown Entries**, **Activate**, **Deactivate**, **Remove**, **Detection**, **Remove Inactive**, **Add/Replace Entries**, **Full Default Contact**, **Touching**, and **Glued**.

В таблице контакта можно показывать
ТОЛЬКО ВИДИМЫЕ ТЕЛА

Таблица Контакта – Контакт с выбранным телом



Contact Table Properties

Name: table_press_bolt View Mode: Body

Featured Body: bolt Meshed (Deformable) Pick

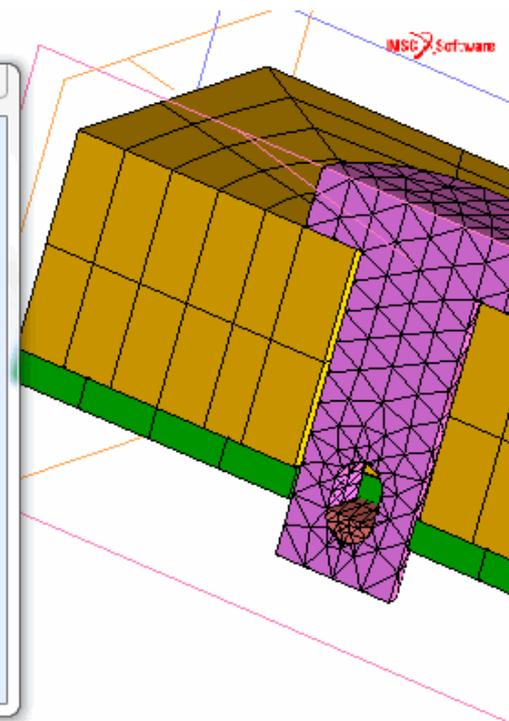
Show Visible Bodies Only

	Body Name	Body Type	Contact Interaction	Contact Type	Body Role	
<input checked="" type="checkbox"/>	pin	Meshed (Deformable)	interact1	Touching	Master	Edit
<input checked="" type="checkbox"/>	insulation	Meshed (Deformable)	interact2	Touching	Slave	Edit
<input checked="" type="checkbox"/>	symmetry_1	Symmetry	interact3	Touching	N/A	Edit
<input checked="" type="checkbox"/>	symmetry_2	Symmetry	interact3	Touching	N/A	Edit
<input checked="" type="checkbox"/>	symmetry_3	Symmetry	interact3	Touching	N/A	Edit
<input checked="" type="checkbox"/>	symmetry_4	Symmetry	interact3	Touching	N/A	Edit

Shown Entries Activate Deactivate Remove Remove Inactive Make Bodies Visible

Add/Replace Entries

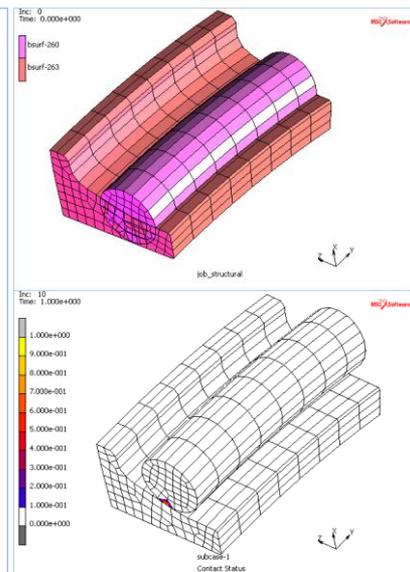
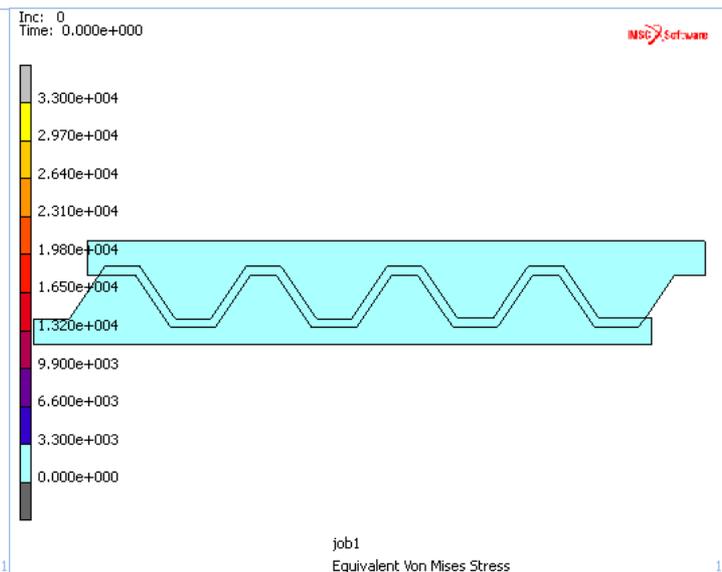
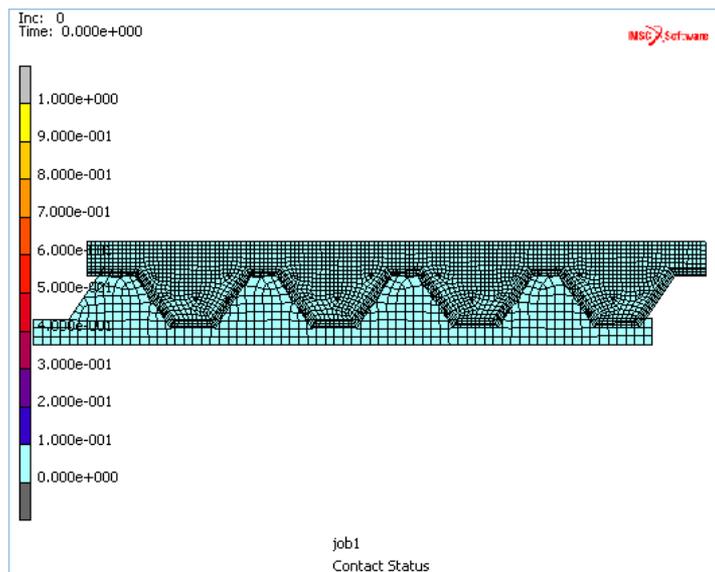
OK



В таблице контакта можно показывать только тела, которые контактируют с выбранным телом

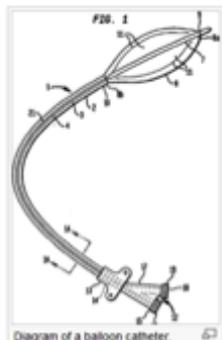
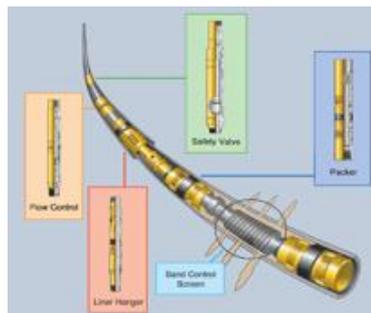
Моделирование Натяга

- Расширены возможности по моделированию сборок, с возможностью значительного изначального наложения деталей
- Очень эффективно при моделировании сборок
- Этот подход позволяет автоматически сдвигать детали на нужную позицию. Поэтому не требуется ручное изменение координат деталей перед проведением расчета. Так же не требуется задание большой величины параметра точности контакта что приводило бы к снижению точности расчёта

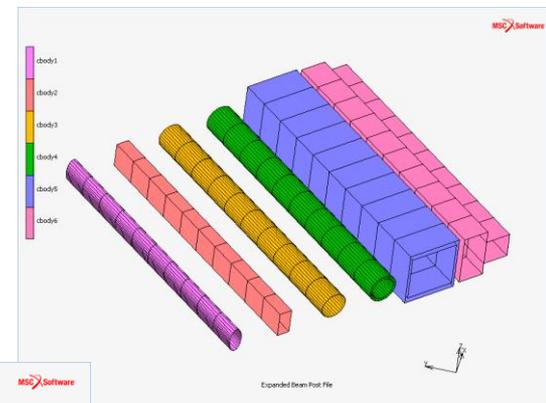


Контакт балочных элементов

- Начиная с Marc 2013 для балочных элементов включена поддержка контакта **Сегмент-по-Сегменту**
- Эта новая возможность позволяет точно моделировать 3-D контакт в моделях с балочными элементами
- Широко используется в различных отраслях: аэрокосмической, нефтегазовой, автомобильной, биомедицине



Открытые и закрытые сечения произвольной формы

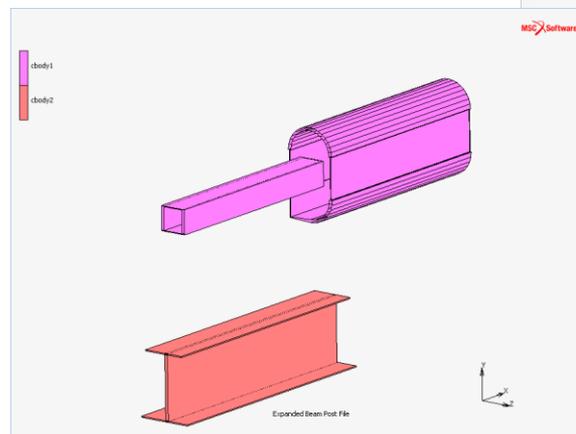


Буровые трубы

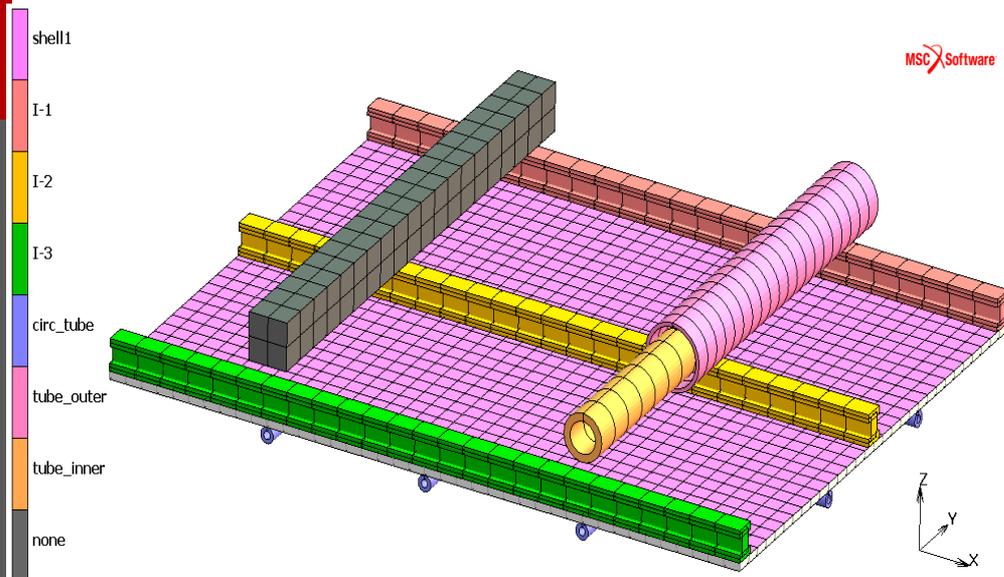
Пластика сосудов



Трос Бодена



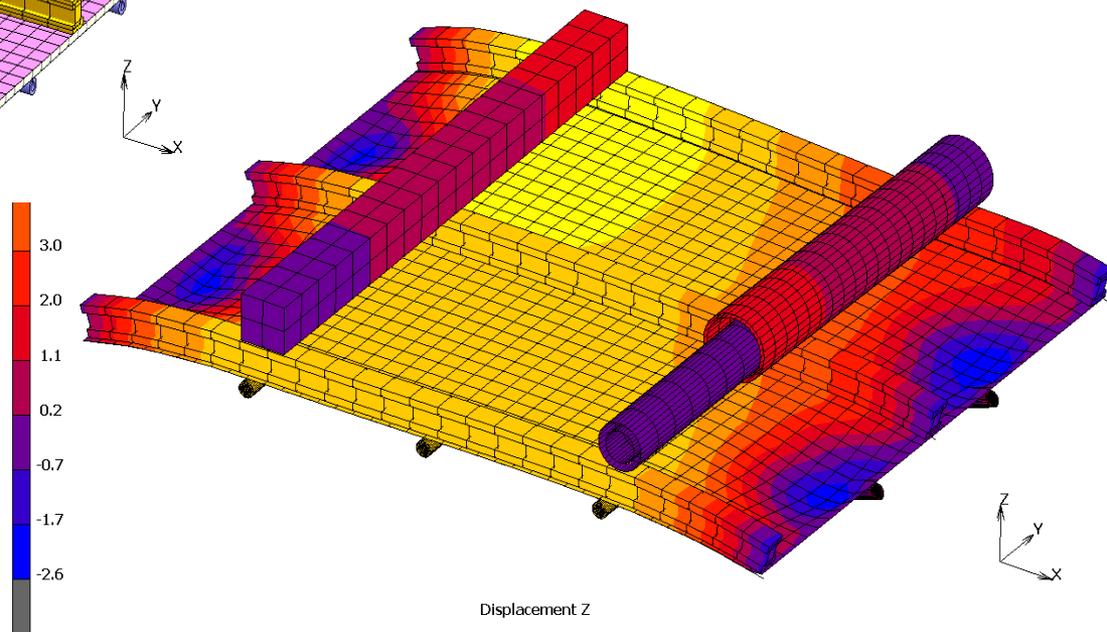
Контакт балочных элементов



MSC Software

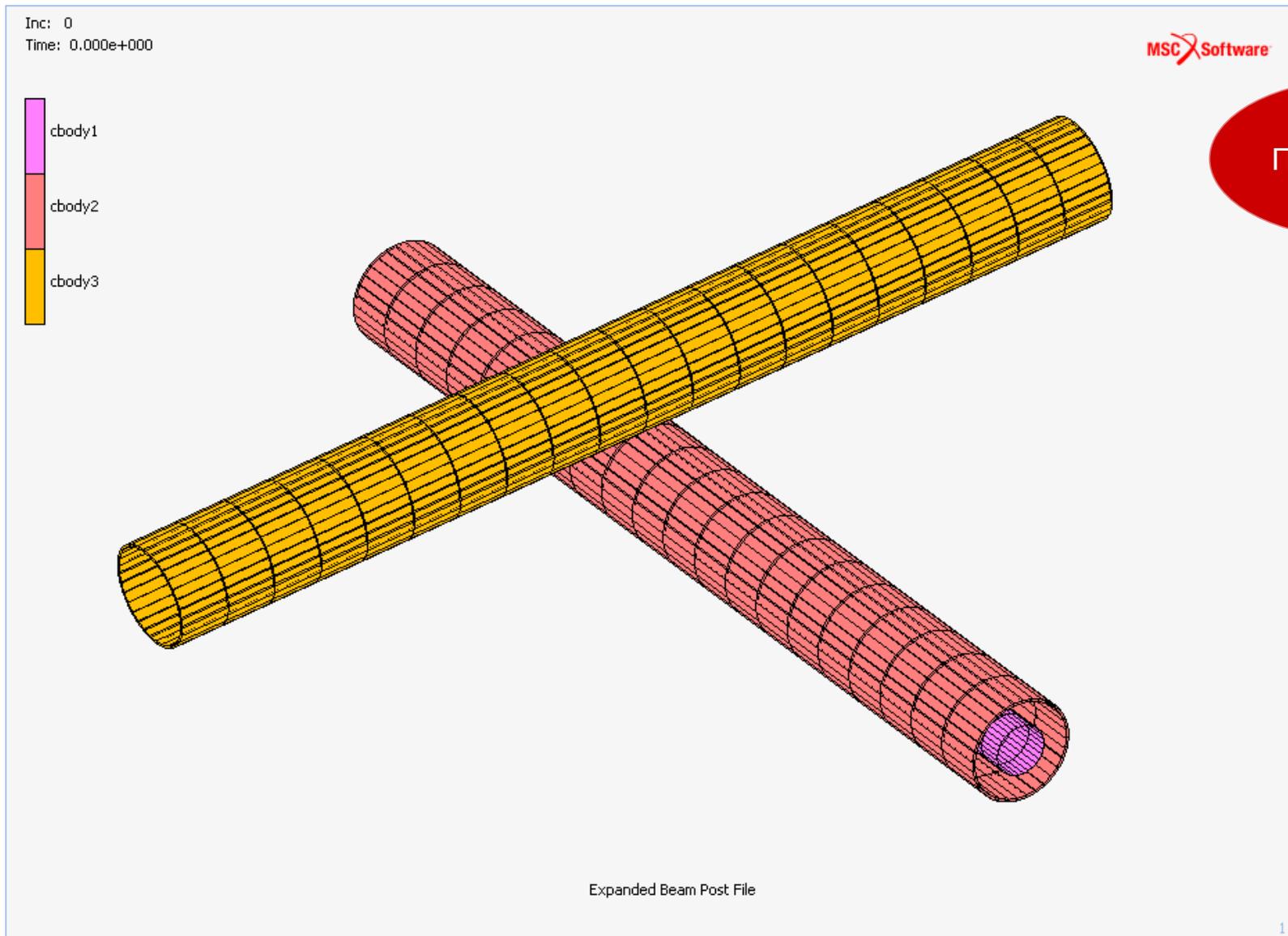
MSC Software

Учитываются:
Отступы для оболочек
Отступы для балок
Формы балочного сечения
Ориентация балок



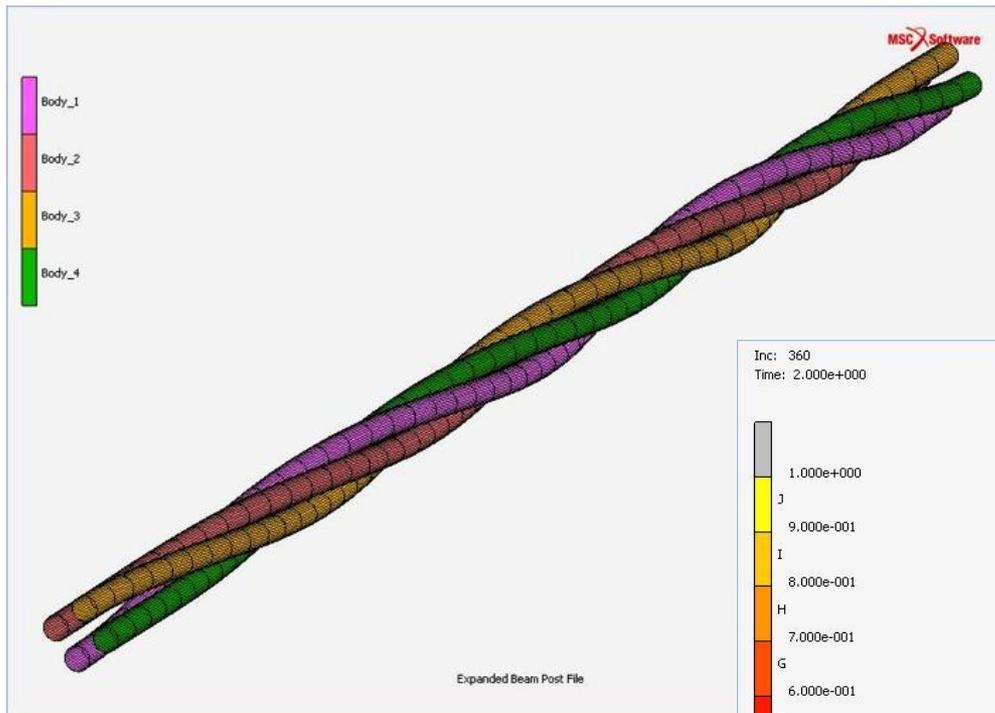
Displacement Z

Контакт труба в трубе с внешней трубой

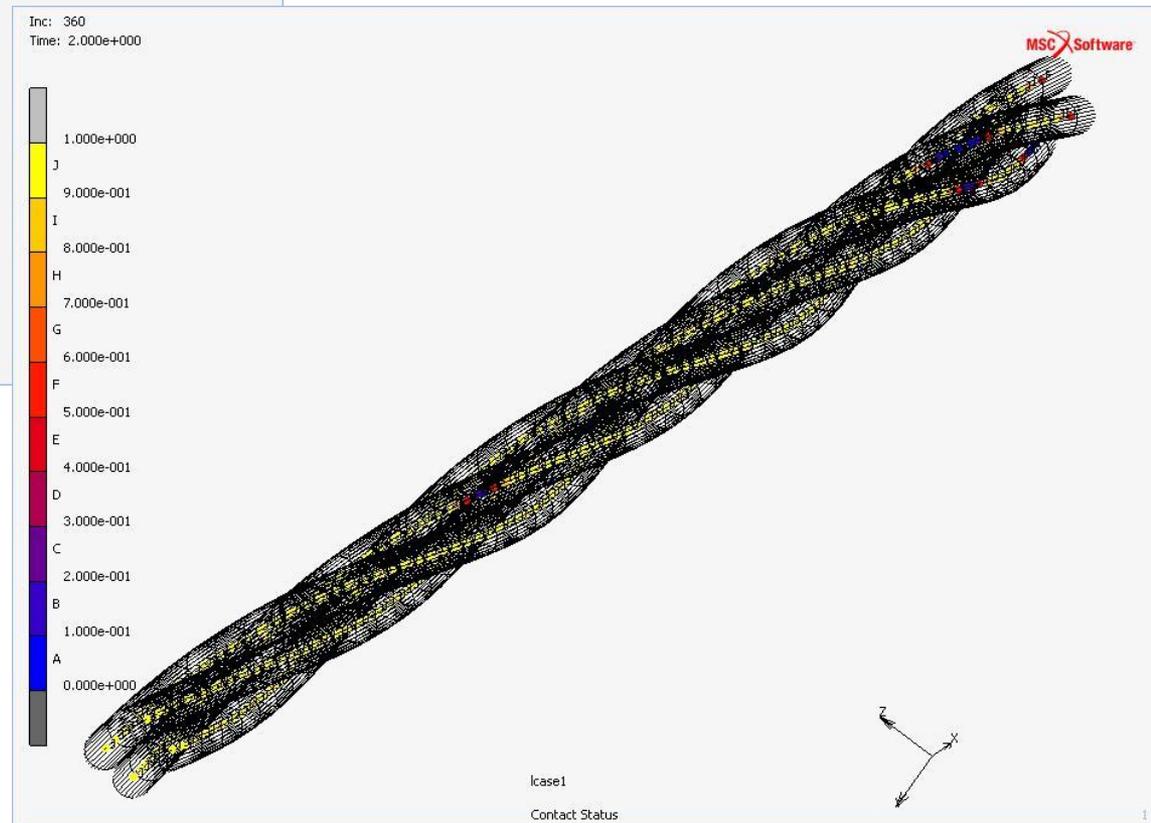


Патентуется

Скручивание кабелей – Статус контакта

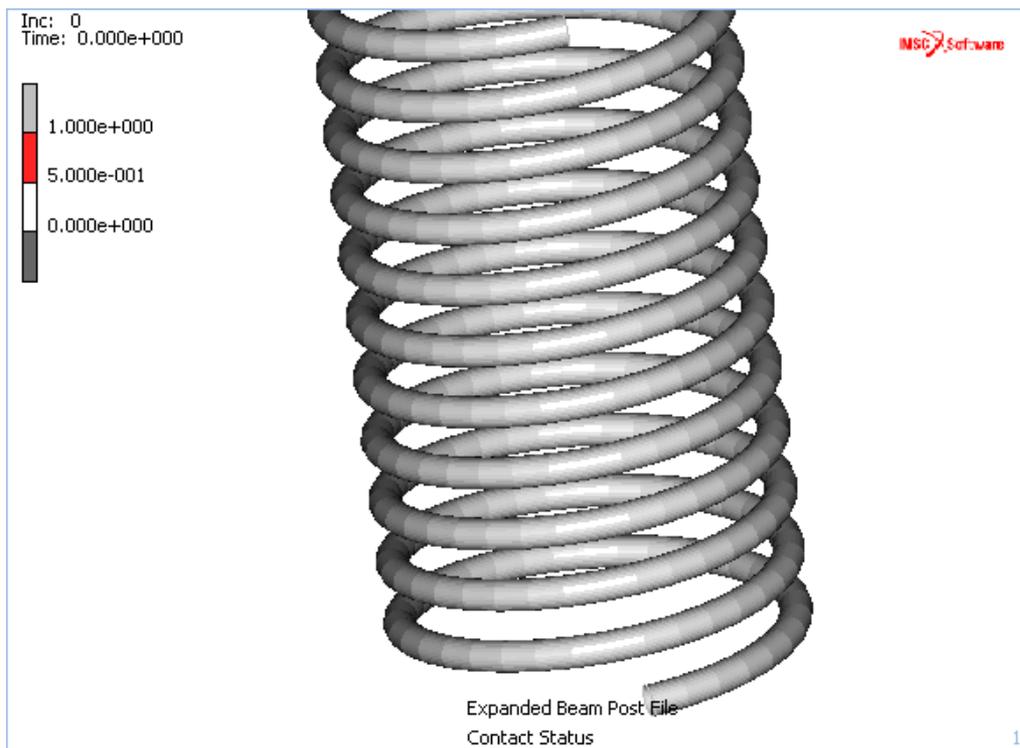
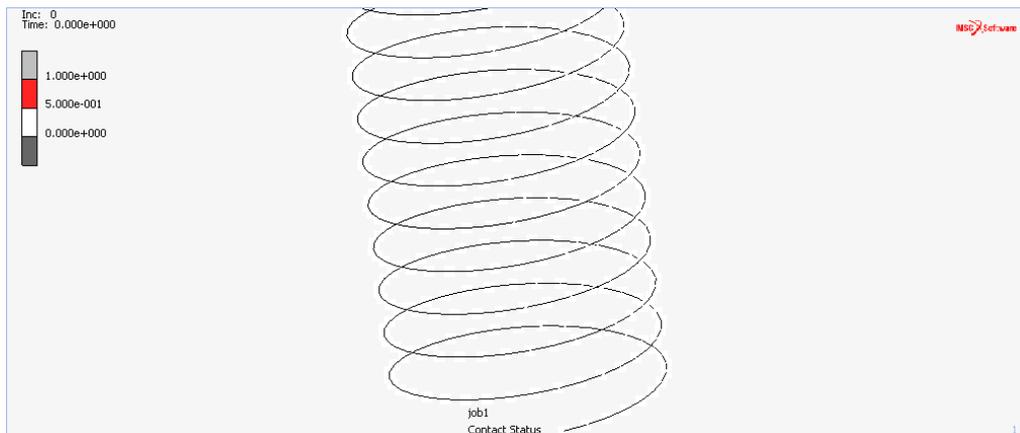


Патентуется

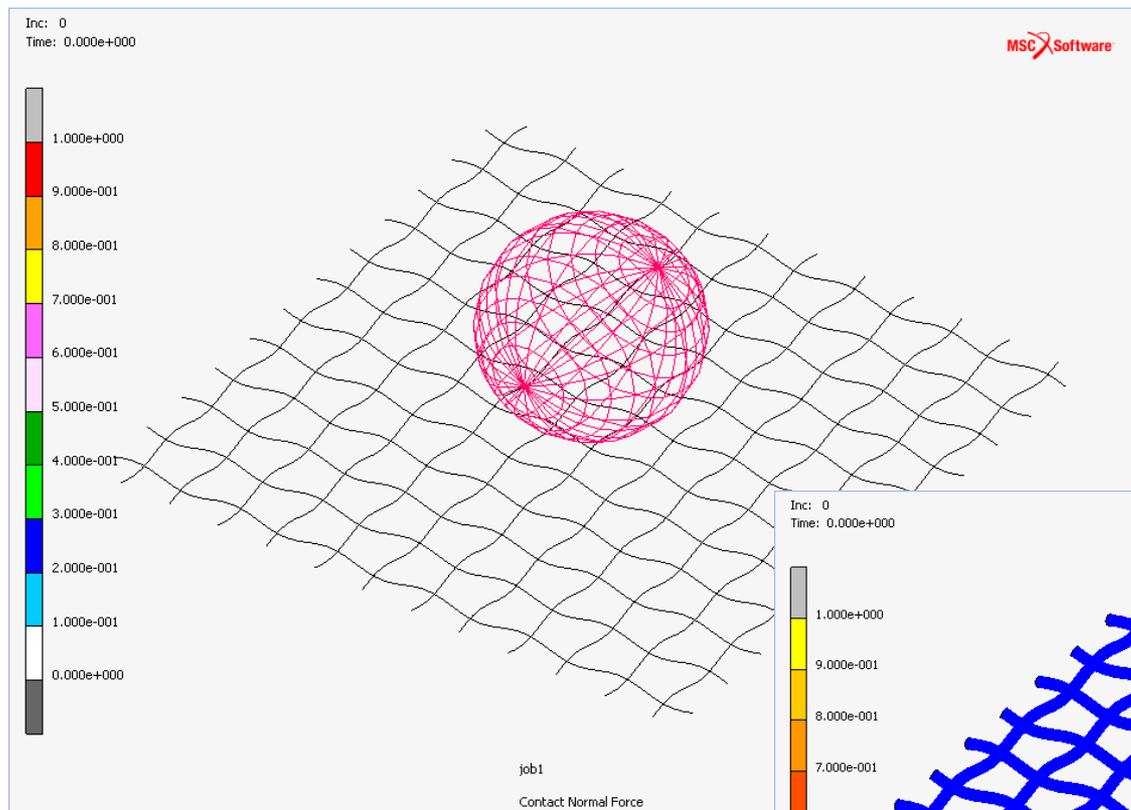


Балочный контакт - спиральная пружина

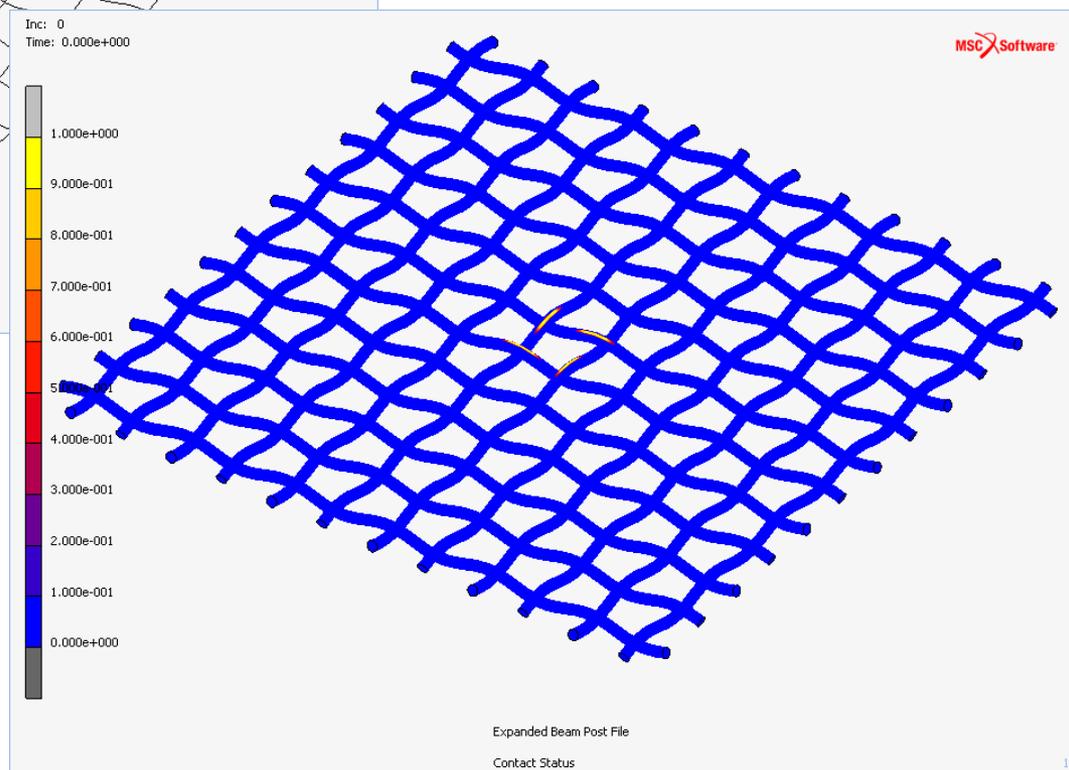
Патентуется



Балочный контакт – динамический удар

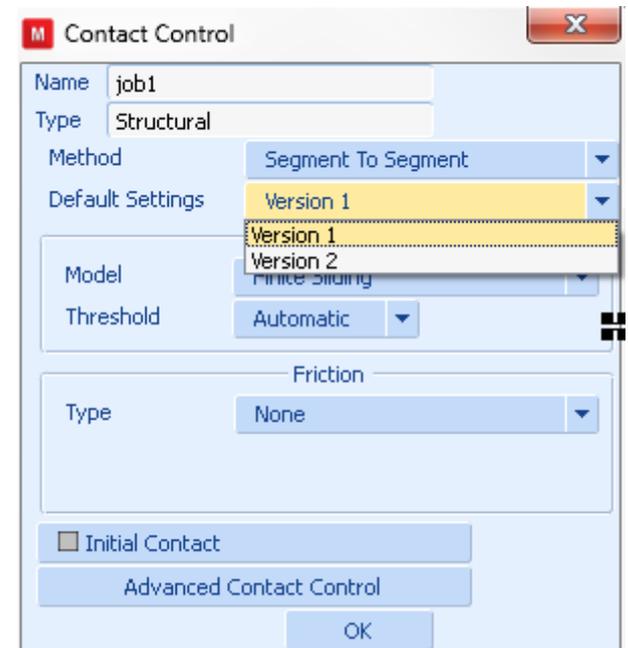


Патентуется



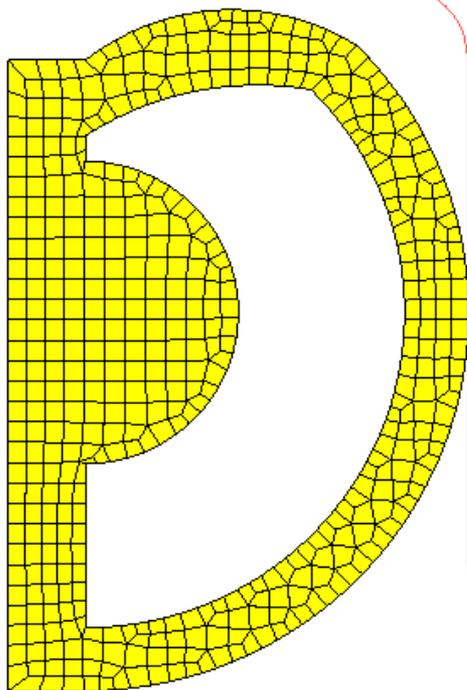
Контакт Сегмент-по-Сегменту

- **Март 2013** и более ранние версии использовали набор методов для контроля поведения контактных тел и численных методов для решения контактных задач - это **Version 1** в установках **Mentat**
- **Март 2014** представляет новый набор методов – **Version 2**
 - Выбор Штрафной функции
 - Активация метода Прироста для увеличения точности вычислений
 - Новая процедура при вычислении Трения
 - Новый метод по вычислению Разделения тел



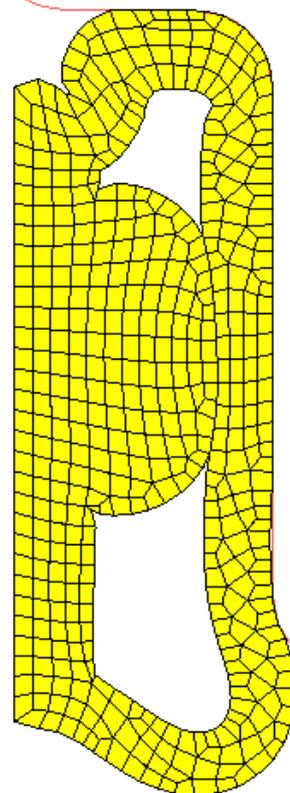
Контакт Сегмент-по-Сегменту

Inc: 0
Time: 0.000e+000



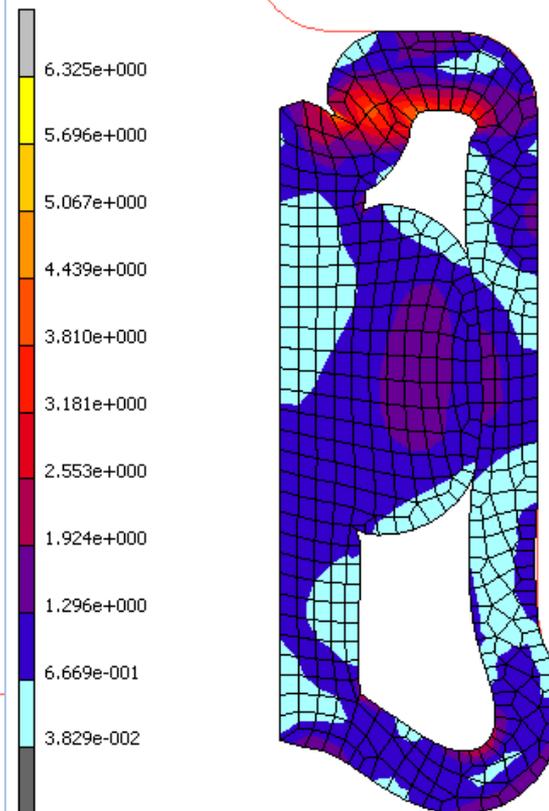
Исходное положение icb1

Inc: 50
Time: 4.000e+000



Деформированное icase1

Inc: 50
Time: 4.000e+000

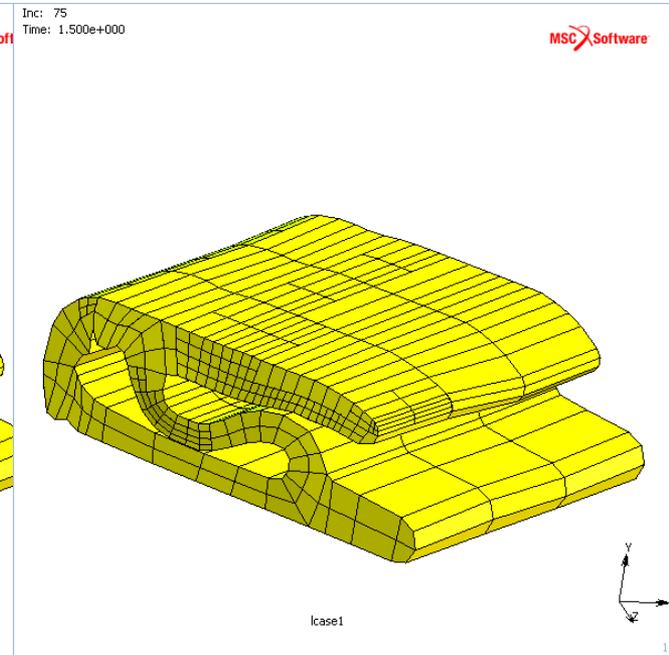
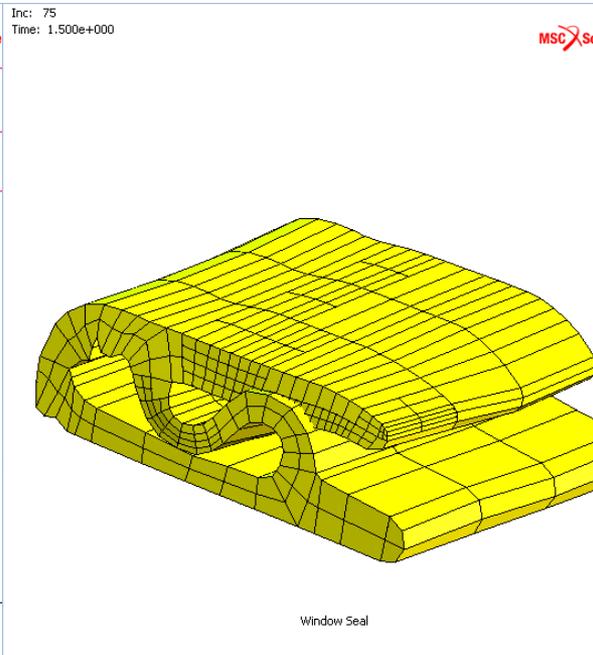
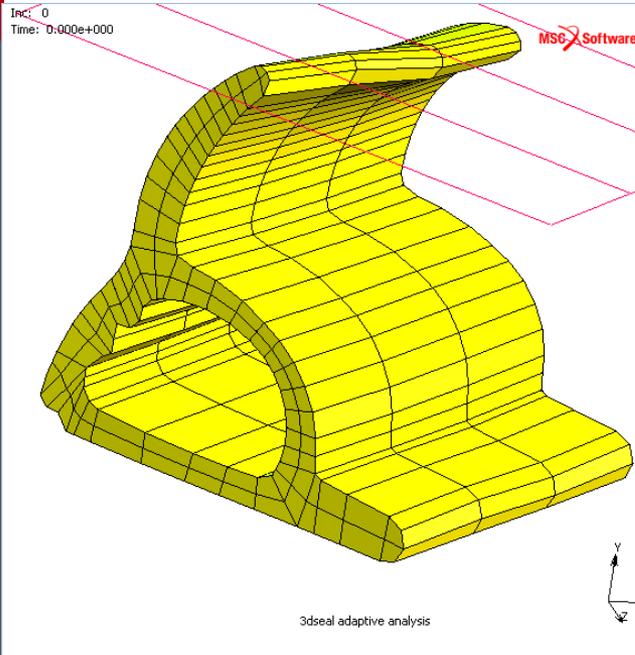


Напряжения icase1

Equivalent of Cauchy Stress

Method	Number of Iterations
Node-to-Segment	276
Segment-to-Segment Standard Augmentation	246
Segment-to-Segment Modified 2014	71

Контакт Сегмент-по-Сегменту

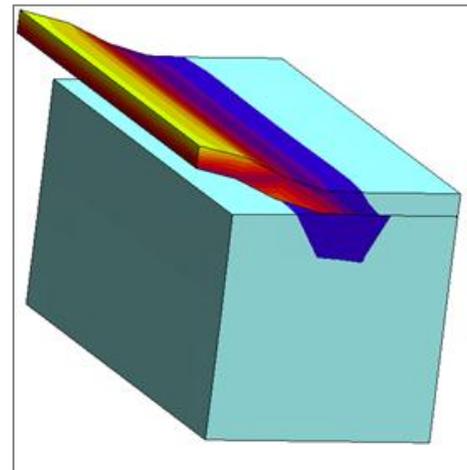
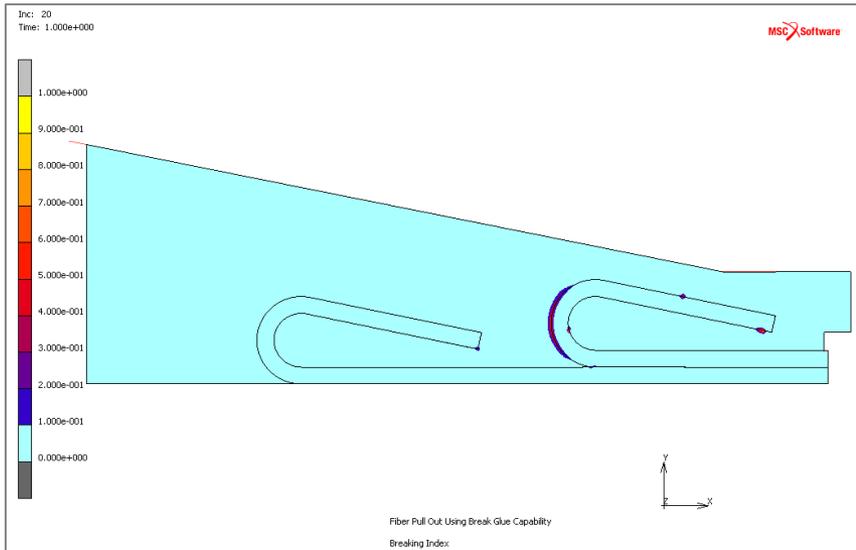
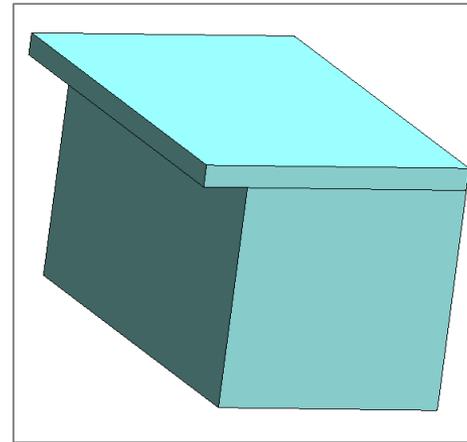
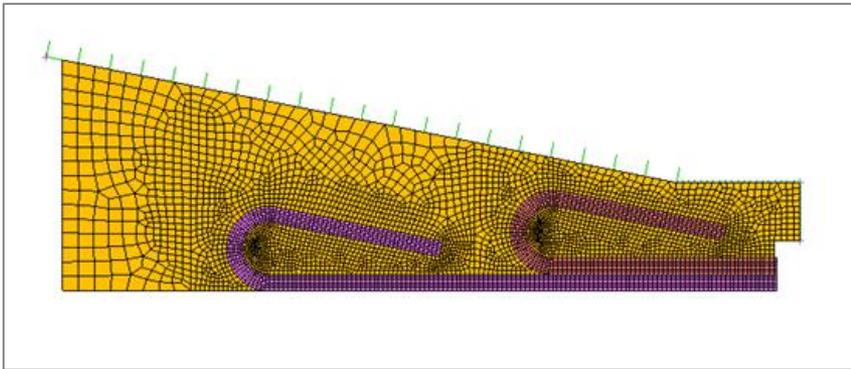


Method	Analysis Behavior
Node-to-Segment	Mesh penetration
Segment-to-Segment Standard Augmentation	Fails to converge
Segment-to-Segment Modified 2014	Successful analysis

Клеевой контакт Сегмент-по-Сегменту с ВОЗМОЖНОСТЬЮ разрыва

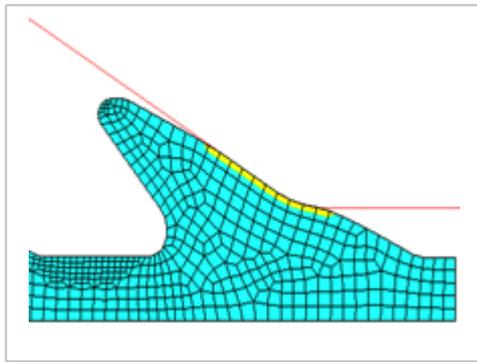
- Для контакта STS добавлена возможность задания Breaking Glue контакта по заданному критерию

$$\left(\frac{\sigma_n}{S_n}\right)^m + \left(\frac{\sigma_t}{S_t}\right)^n > 1$$



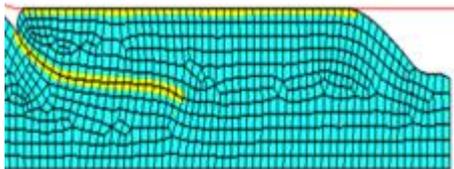
Адаптивная сетка при контакте

- Алгоритмы адаптивной перестройки КЭ сетки были расширены на задачи контакта Сегмент-по-Сегменту, что позволило получать более точные результаты для задач с большими деформациями



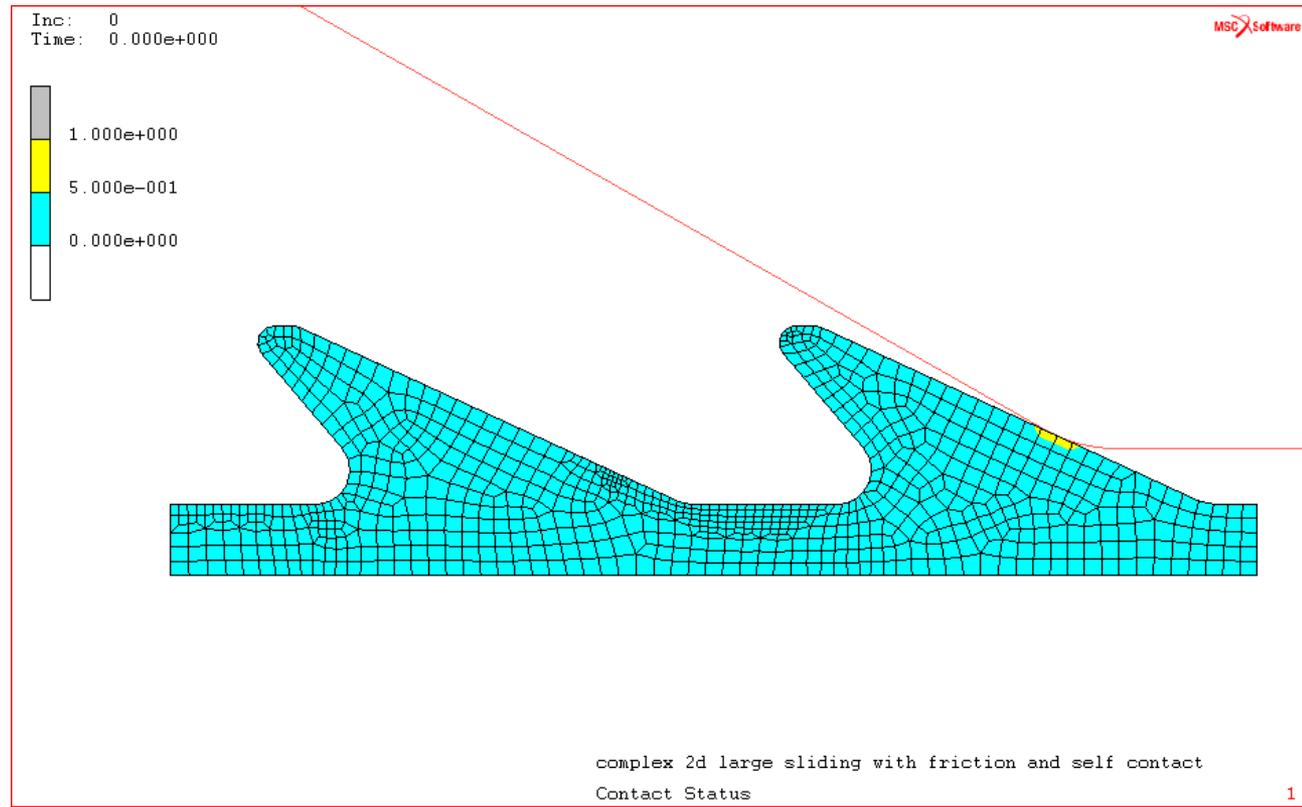
Стеклоочиститель

Исходное положение



Стеклоочиститель

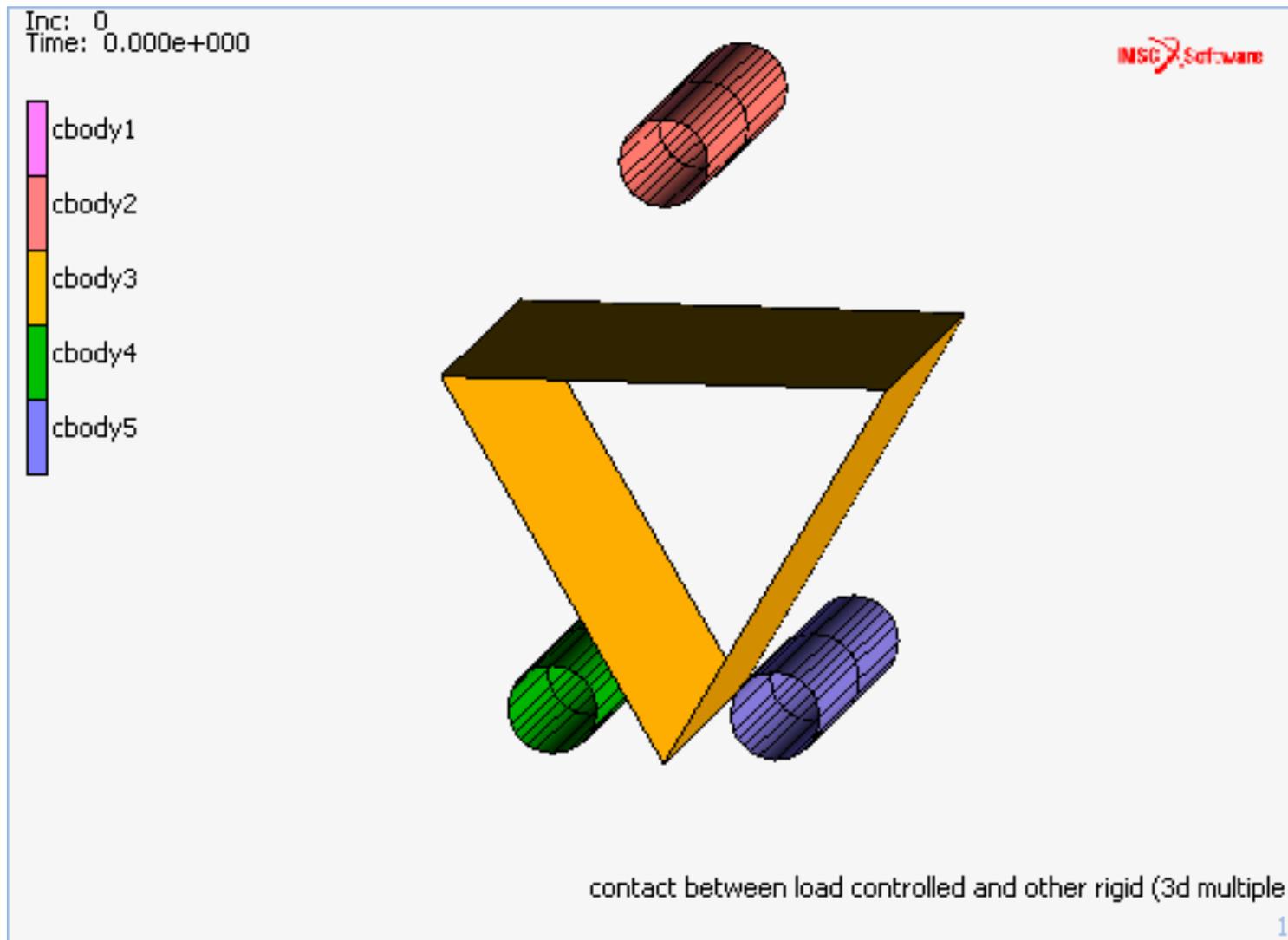
Деформированное положение



Большие деформации, контакт и самоконтакт резины

Контакт нескольких Абсолютно жестких тел

- Новая возможность позволяет моделировать контакт RIGIT тел между собой



Давление в замкнутой полости

Давление в замкнутых полостях

- Поддержка задания давления в полости доступна для плоской, осесимметричной и 3-D постановки задачи
- Можно моделировать не только идеальный газ, но и практически несжимаемую жидкость.
- В любом случае, полость считается полностью заполненной
- Более точное вычисление давления - не только по один раз на приращение по нагрузке, но на каждой итерации

Cavity Properties

Name: cavity1
Type: 2-D Cavity

Properties

Cavity Pressure

Enclosed Fluid: Gas

Ref. Pressure: 1
Ref. Temperature: 1
Ref. Density: 1

Entities

Edges: Add Rem 0
Curves: Add Rem 0

OK

Cavity Properties

Name: cavity1
Type: 2-D Cavity

Properties

Cavity Pressure

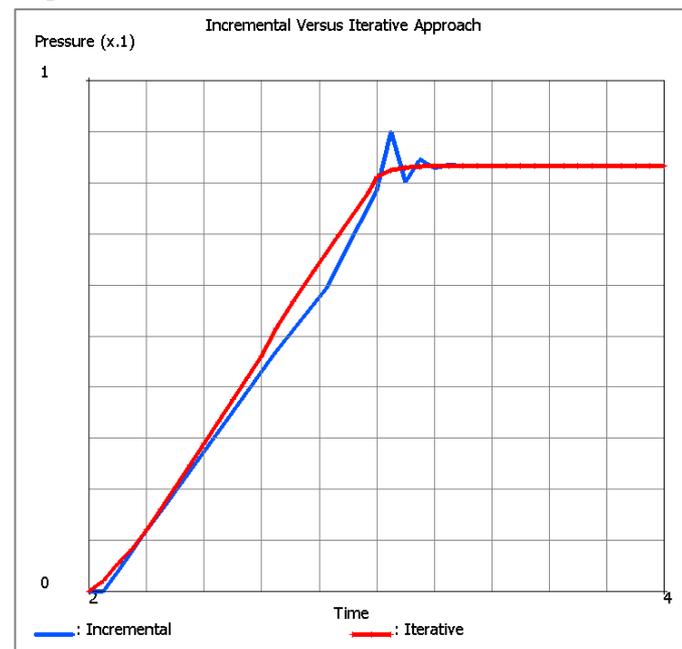
Enclosed Fluid: Liquid

Bulk Modulus: 0 Table
Stabilization Factor: 0.001
Ref. Density: 1

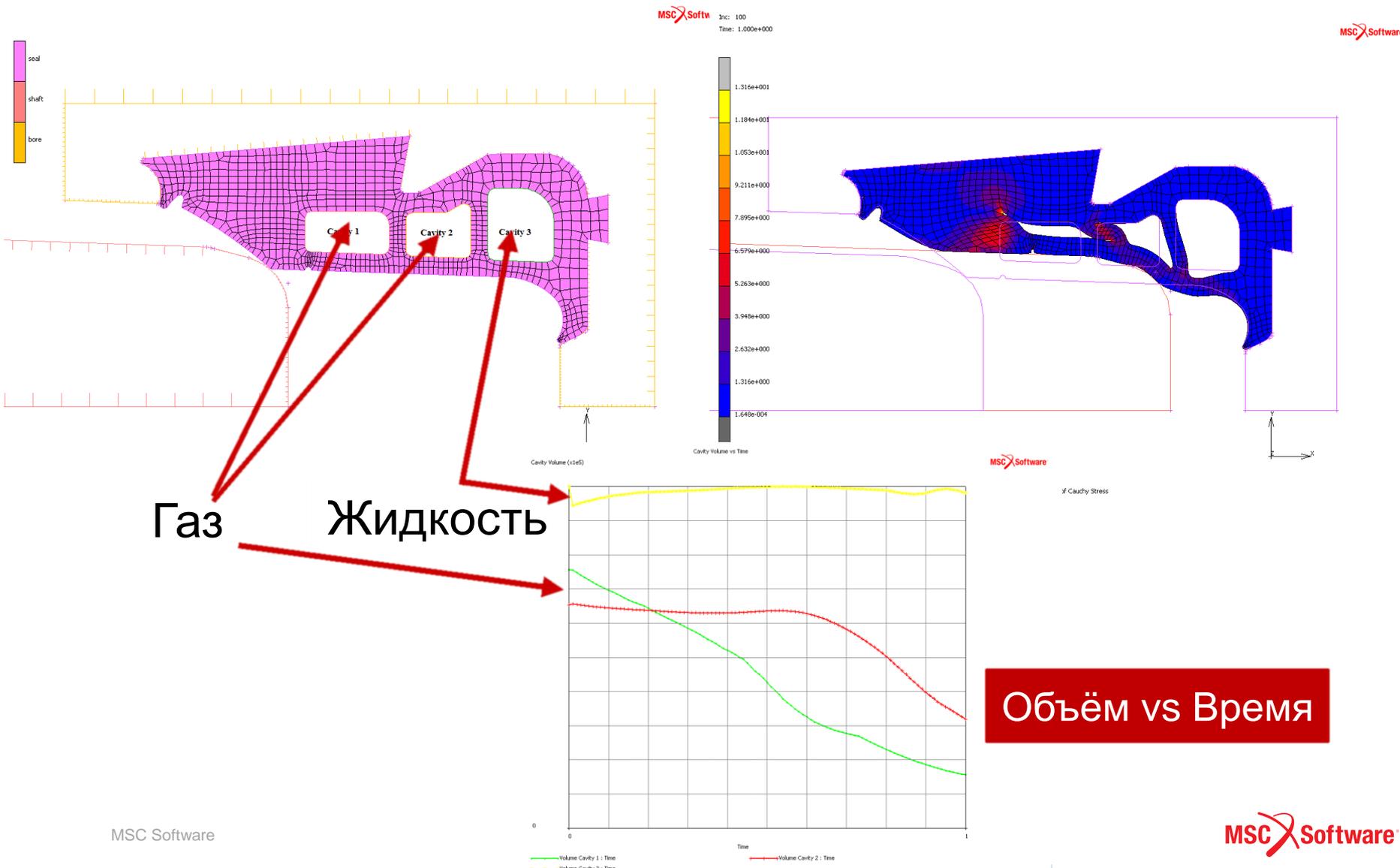
Entities

Edges: Add Rem 0
Curves: Add Rem 0

OK



Резиновый уплотнитель с полостями, заполненными газом и жидкостью



Газ

Жидкость

Объём vs Время

Гиперупругие материалы

Частотно зависимое демпфирование

- Позволяет точно вычислять частотный отклик конструкций содержащий материалы в который демпфирование зависит от деформаций и частоты
- Может включать эффекты предварительного напряжения и частотнозависимые динамические эффекты для всех упругих и гиперупругих моделей материалов Marc. Это модель демпфирования базируется на динамическом модуле упругости и модуле потерь
- Даная возможность в первую очередь предназначена для пользователей в автомобильной промышленности, которые используют резиновые втулки для изоляции от механические колебаний
- Новая модель является гораздо более мощной, чем существующие ранее модели, которая была применимы только для материалов Муни-Ривлина.



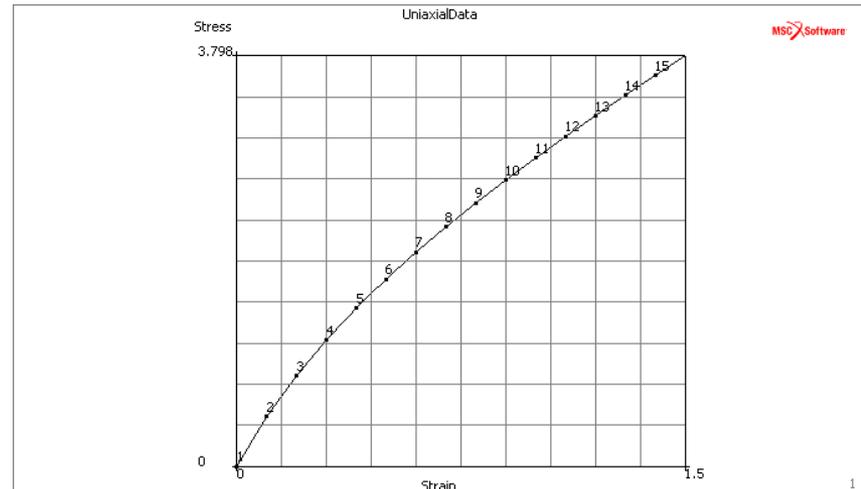
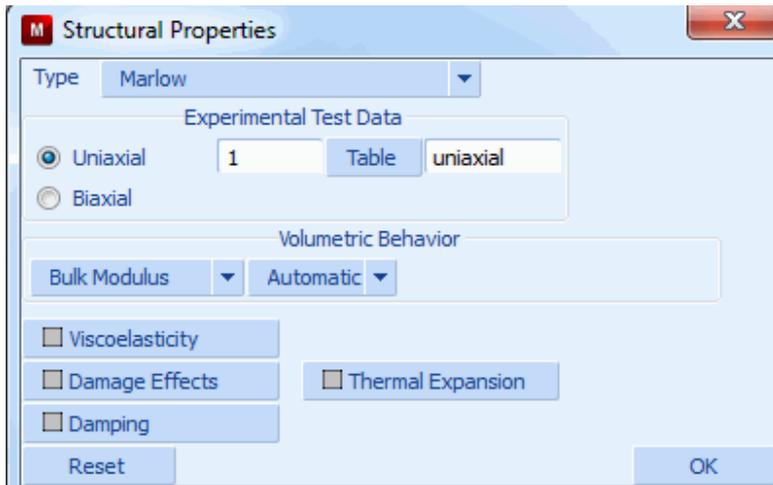
Сайлентблок



Резина / Сталь
Строительство

Упрощенная Марлоу (Marlow) Модель

- Новая гиперупругая модель материала Марлоу была добавлена в Marc
- Предназначена для всех, кто работает с резинами
- Эта простая в использовании модель, где данные по материалу могут быть непосредственно введены в виде таблицы

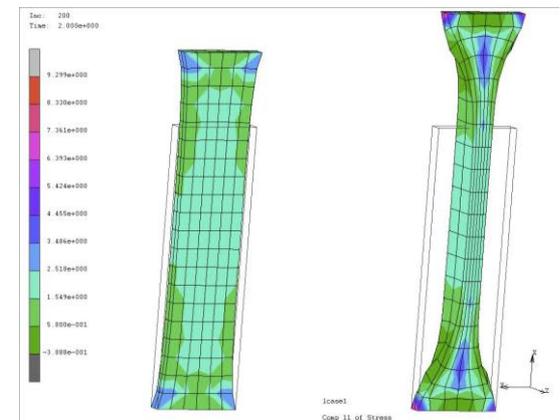


Инженерные напряжения и Деформации

Анизотропные гиперупругие модели материалов

- В Marc было добавлено три новых модели для анизотропных гиперупругих материалов
- Первая модель – это расширение для стандартной модели армированного материала была предложена Qiu и Pence [1]. Это модель позволяет учитывать семейства армированных волокон
- Вторая модель – была предложена Brown and Smith [2]. Это модель, аналогично первой модели так же позволяет учитывать семейства армирующих волокон
- Третья модель - Gasser [3] предназначена для биологических материалов. Она позволяет моделировать магистральные слои с различной ориентаций коллагеновых волокон

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + k \sum_{i=1}^n (I_4^{ii} - 1)^2$$



Результаты для k = 0 и k = 0.266

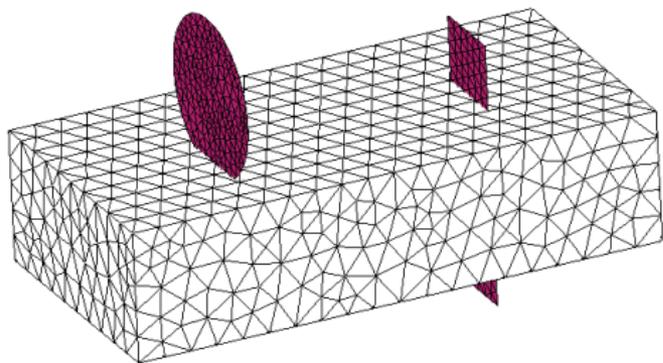
Ссылки:

1. G.Y. Qiu and T.J. Pence, "Loss of ellipticity in plane deformation of a simple directional reinforced incompressible nonlinearly elastic solid", Journal of Elasticity, 1997 (49), 31-63.
2. L.W. Brown and L.M. Smith, "A simple transversely isotropic hyperelastic constitutive model suitable for finite element analysis of fiber reinforced elastomers", Journal of Engineering Materials and Technology (ASME), 2011(133), 021021:1-13
3. T. C. Gasser, R.W. Ogden and G.A. Holzapfel, "Hyperelastic modeling of arterial layers with distributed collagen fiber orientations", J. R. Soc. Interface 2006 (3), 15-35.opic Hyperelastic (Rubber) Model

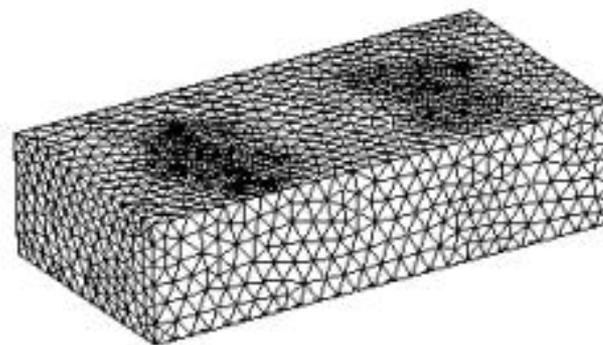
Механика разрушений

Инициализация Трещины

- Определение Коэффициентов Интенсивности Напряжений (КИН) стало более точным.
- Изначальная трещина легко позиционируется в КЭ модели
- Данный подход даёт лучшие результаты при использовании элементов высокого порядка. Пользователи так же могут взять существующую модель и сделать предположение откуда начнет расти трещина



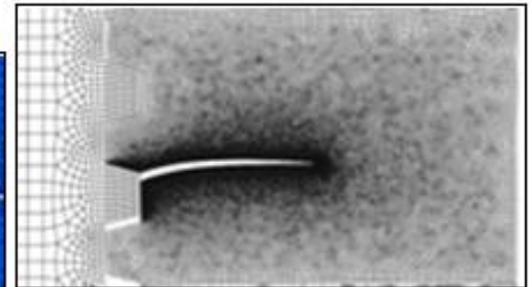
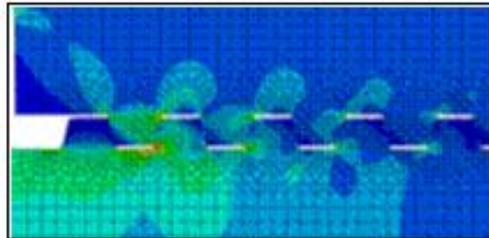
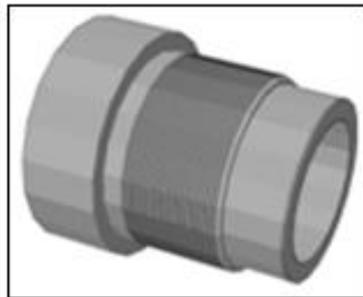
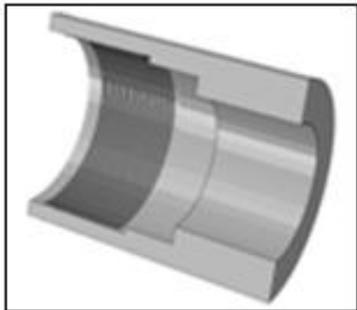
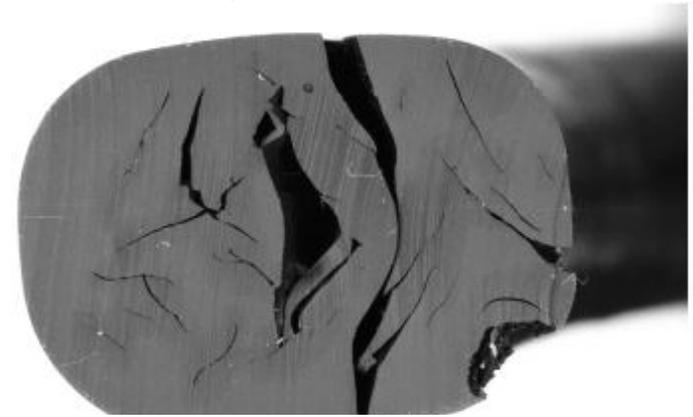
Местоположение начальной трещины задаётся с использованием поверхности, не зависящей от КЭ сетки на детали



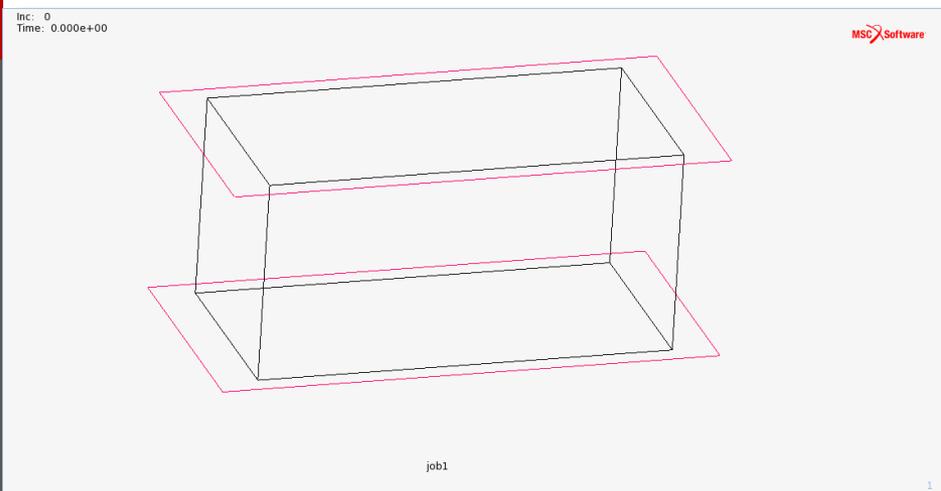
Высококачественная сетка

Механика разрушений в 3D

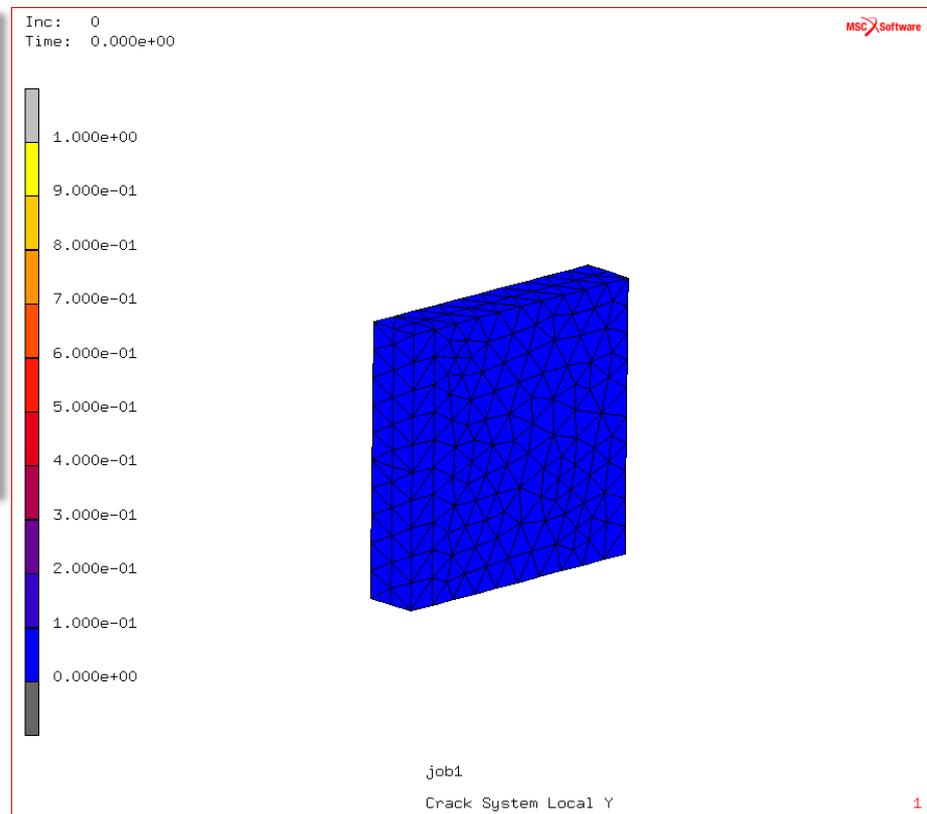
- Улучшен метод VCST для объемных элементов высокого порядка
 - Улучшено вычисление площади для общего фронта трещины
 - Поддерживаются TET элементы высокого порядка
 - Для 3D элементов используется $\frac{1}{4}$ представление (срединный узел располагается в позиции $\frac{1}{4}$ вместо $\frac{1}{2}$)
- Рост трещины в 3-D моделях
 - Вдоль граней элементов
 - С использованием глобальной адаптивной перестройки сектки



Рост Трещины

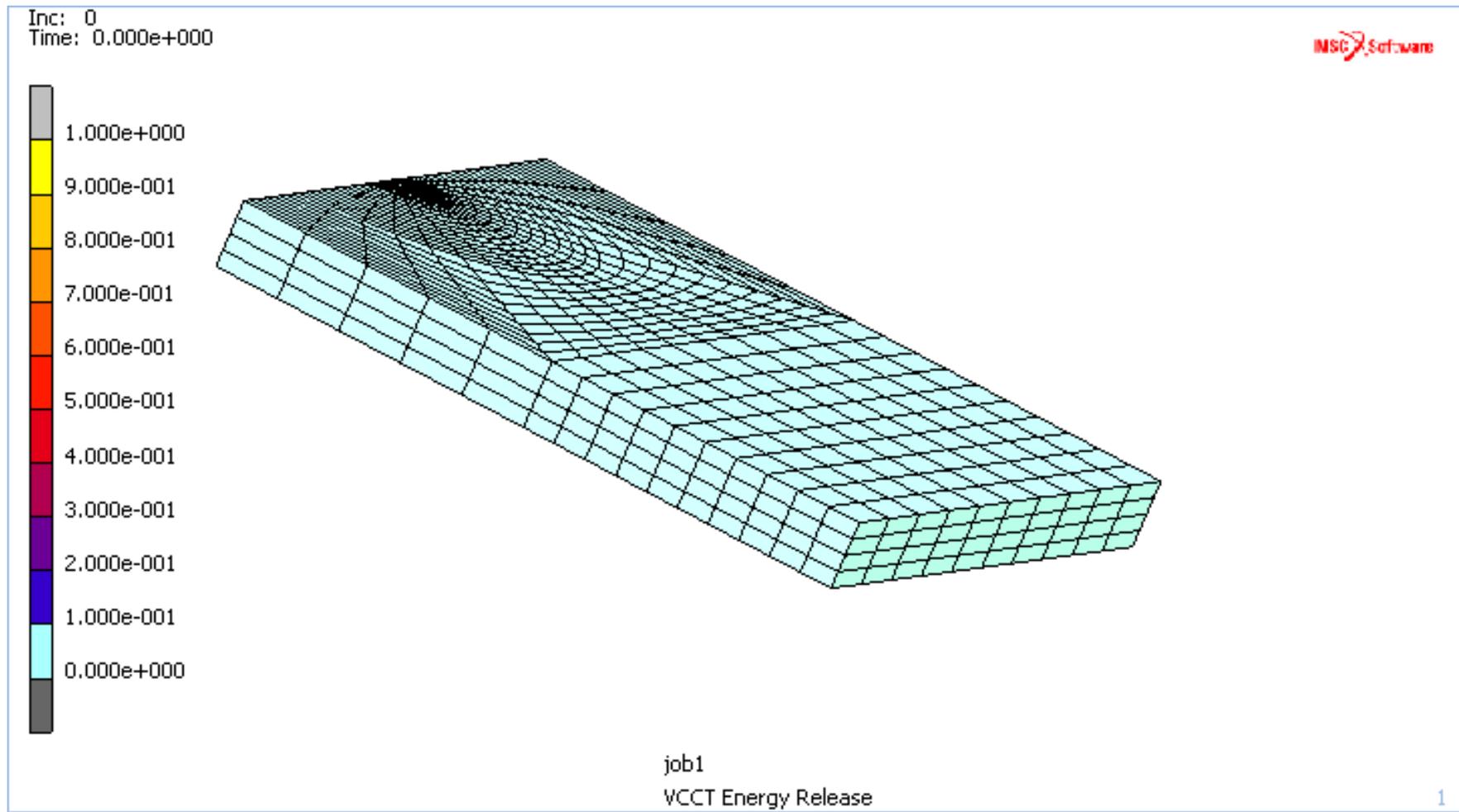


Рост трещины определяется законом
Пэриса - используется глобальная
адаптивная
перестройка КЭ сетки

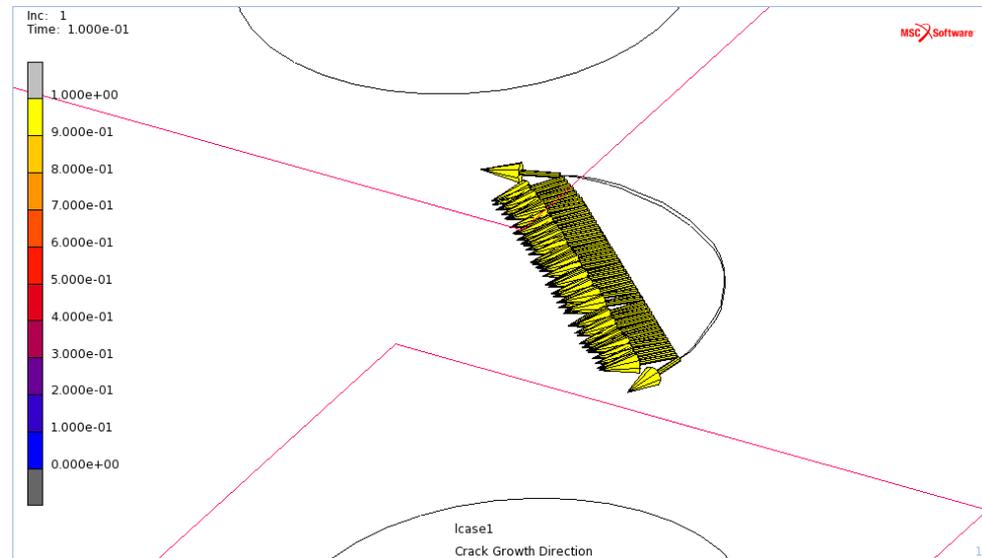
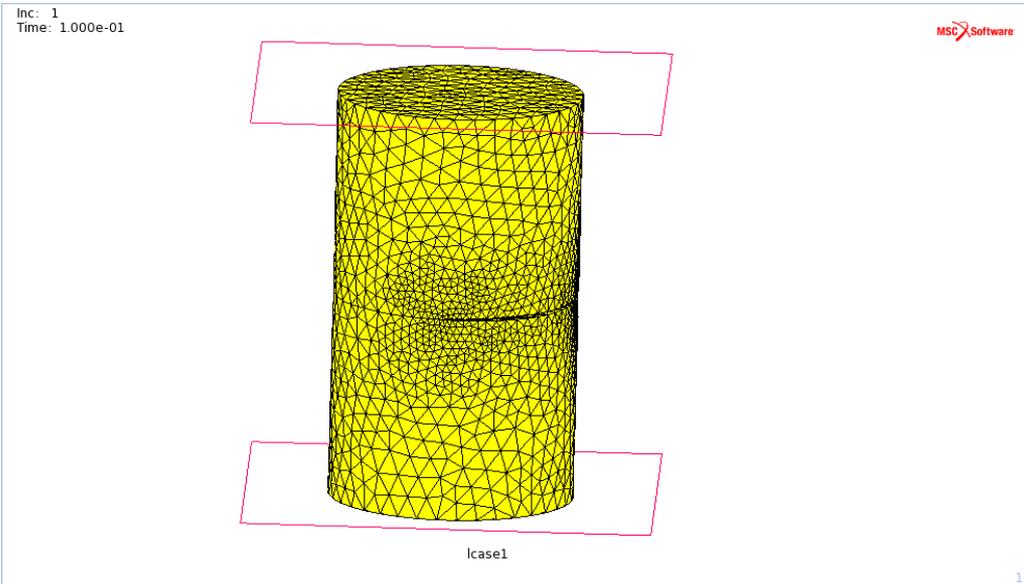


Рост трещины
происходит вдоль
граней элементов

Рост Трещины вдоль граней элементов или по границе материала



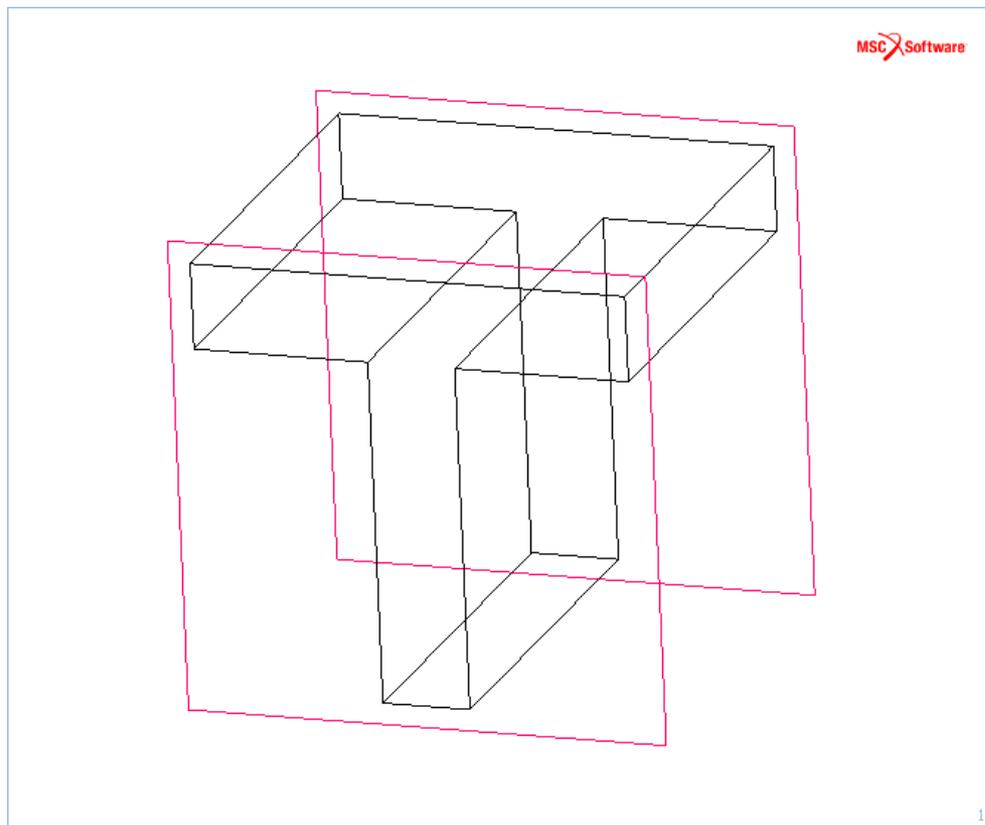
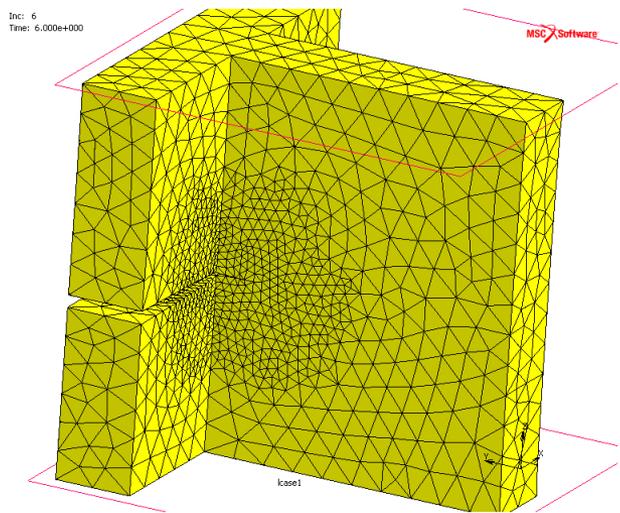
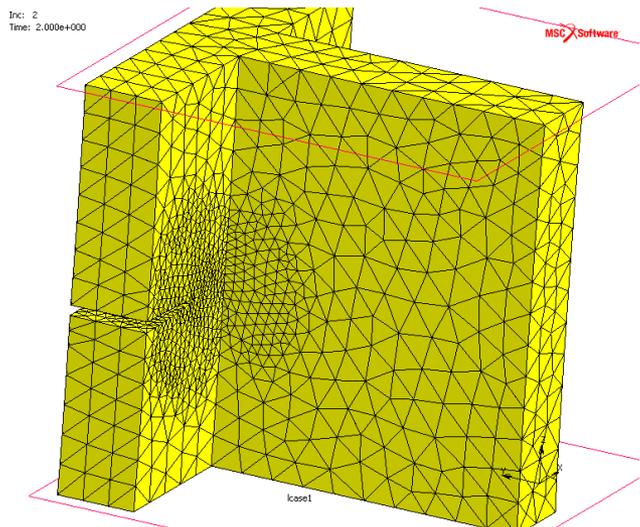
Рост трещины при кручении с глобальной адаптивной перестройкой КЭ сетки



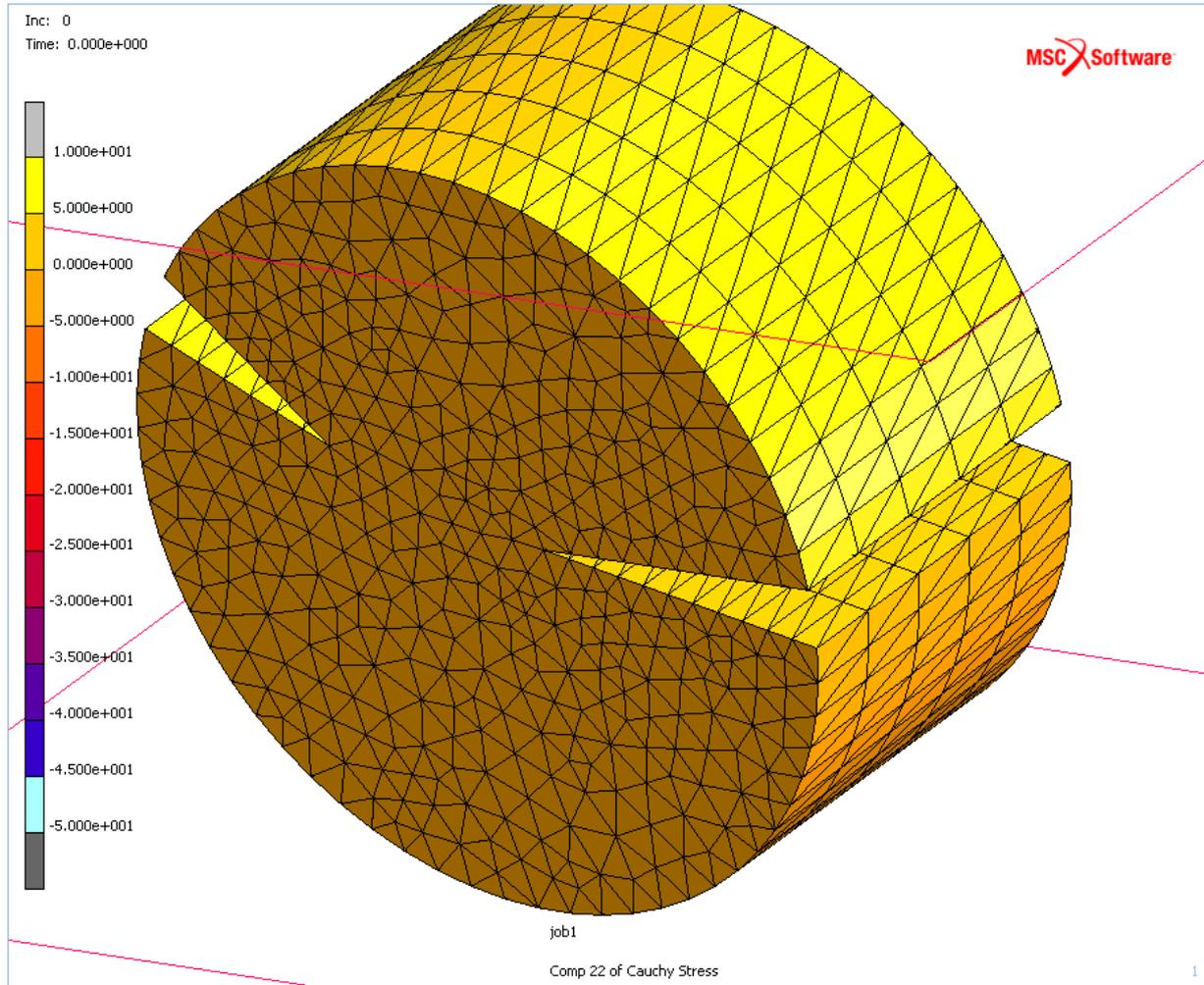
Улучшения в Механике разрушения

- **Различная скорость роста трещины вдоль и поперек фронта**
- **Вычисление долговечности с большим количеством циклов**
 - Производится вычисление небольшого количества полных циклов по долговечности
 - Используется закон Пэриса для вычисления реального количества циклов
 - Предполагается линейный рост КИН
 - Чем большее количество циклов просчитано, тем точнее результат
 - Вычисление производится цикл-за-циклом
 - Пользовательская подпрограмма `ucrack_fatigue_law.f` для других законов
- **Улучшен расчет роста 3D трещины у острых ребер**
- **Улучшен 3D самоконтакт с ремешингом в моделях с трещиной**
- **Допускается прекращение вычисления текущего шага по нагрузке при инициализации деламинации**

Рост трещин через острые ребра



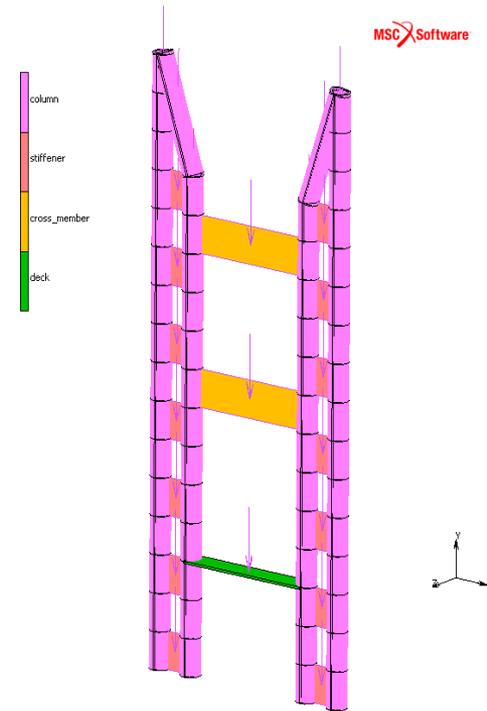
3D самоконтакт с ремешингом



Динамические задачи

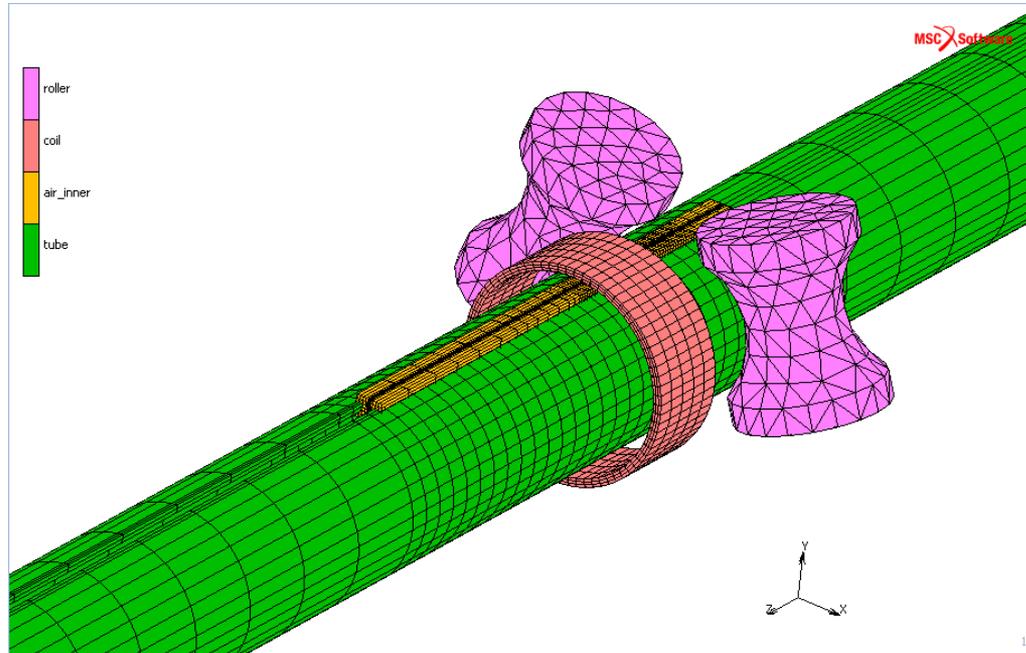
Спектральный отклик

- Улучшено моделирование Спектрального отклика и отклика на гармоническое воздействие
- Обычно используется для моделирования землетрясений, что особенно важно для Высотных зданий, Дамб, Туннелей и Атомных электростанций
- **Задание спектральной плотности**
 - Зависимость спектральной плотности от скорости / ускорения
 - Разная спектральная плотность по каждому направлению
- **Расчётные параметры**
 - Различные методы комбинирования мод
 - Возможность сочетания пространственных откликов
 - Множественные спектральные отклики
 - Спектр в зависимости от демпфирования
 - Контроль включения мод по модальной эффективной массе
- **Вывод результатов**
 - Вывод напряжений для спектрального отклика
 - Вывод результатов по модам (частота, фактор участия, эффективная масса, комбинирующий коэффициент и коэффициент демпфирования)



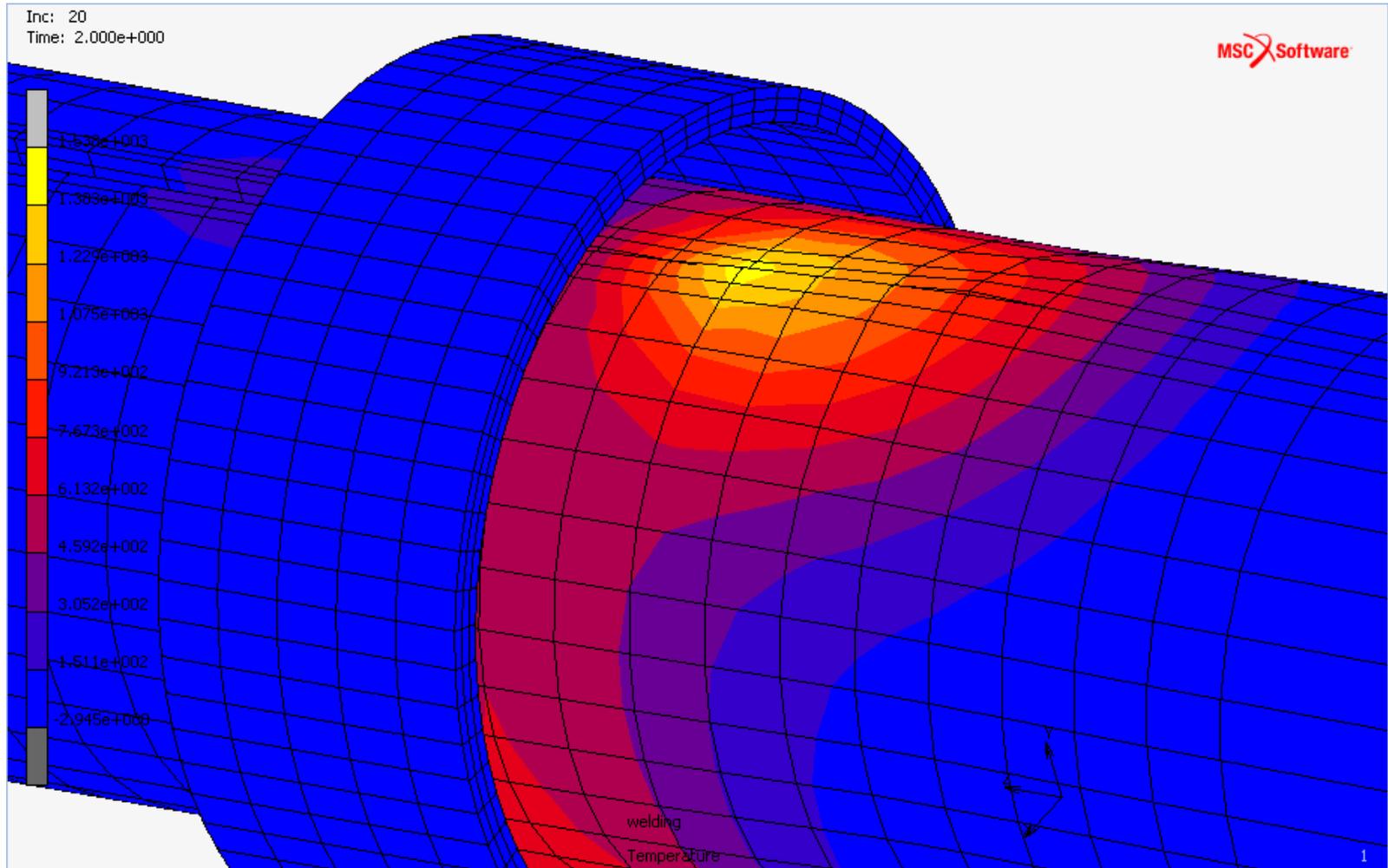
Сварка с использованием индукционного нагрева

Сварка с использованием индукционного нагрева



- **Используется подход с двойной сеткой**
 - На трубе и роликах – структурная сетка
 - На деталях и окружающем воздухе - электромагнитная сетка
- **Сначала стартует процесс нагрева и ролики прижимают две части трубы друг к другу. Затем ролики толкают трубу**

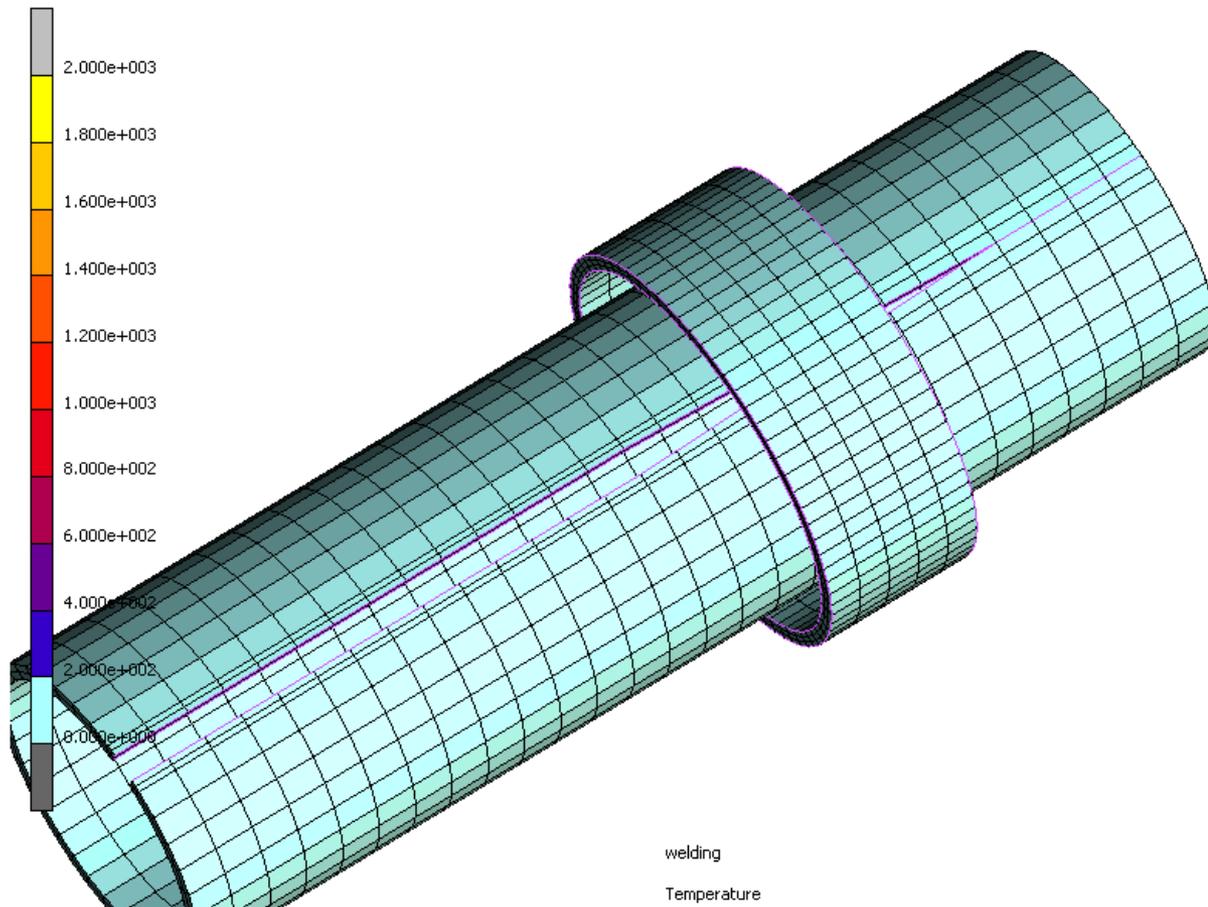
Сварка с использованием индукционного нагрева



Индукционный нагрев - Температура

Inc: 0
Time: 0.000e+000

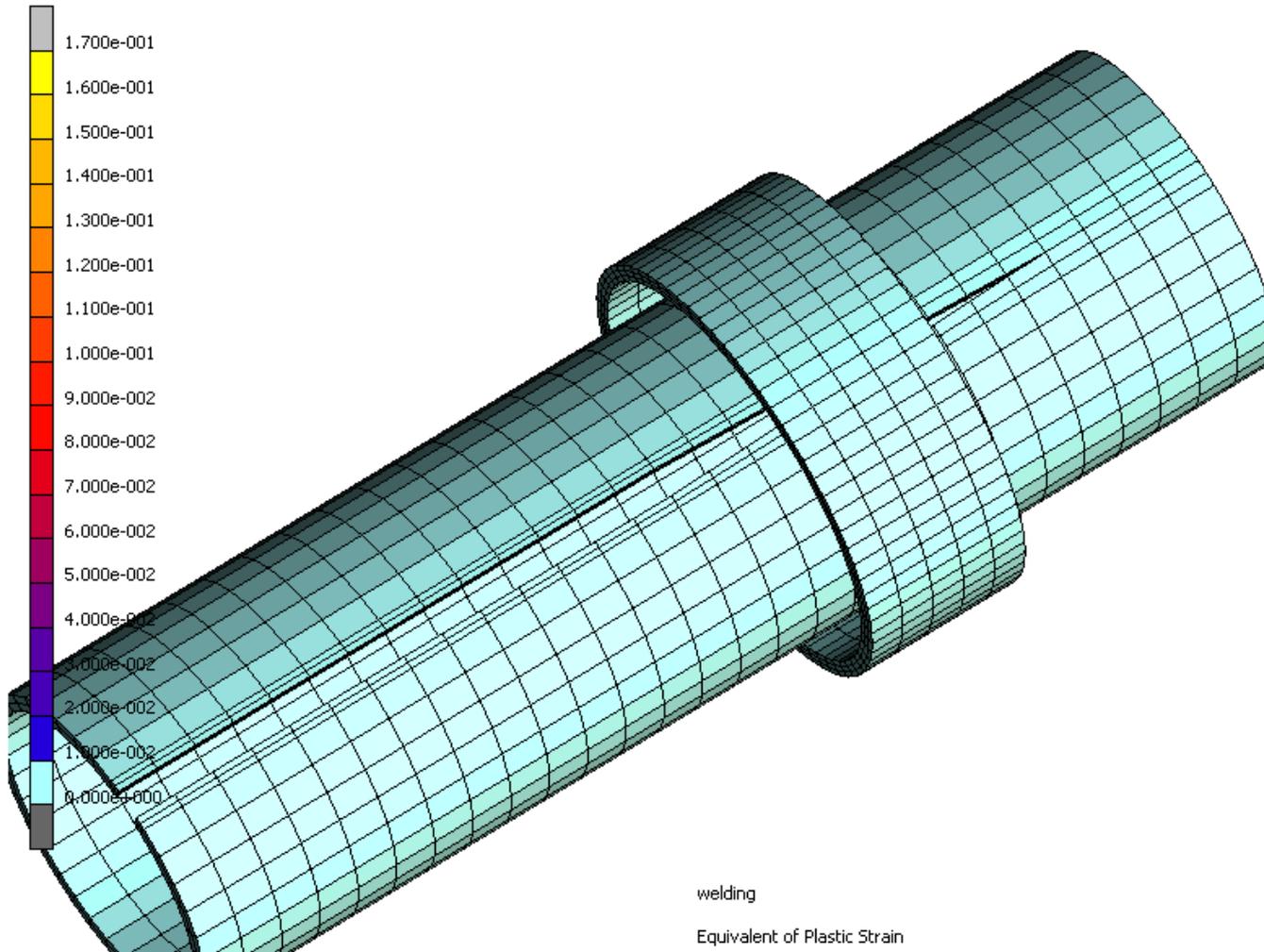
MSC Software



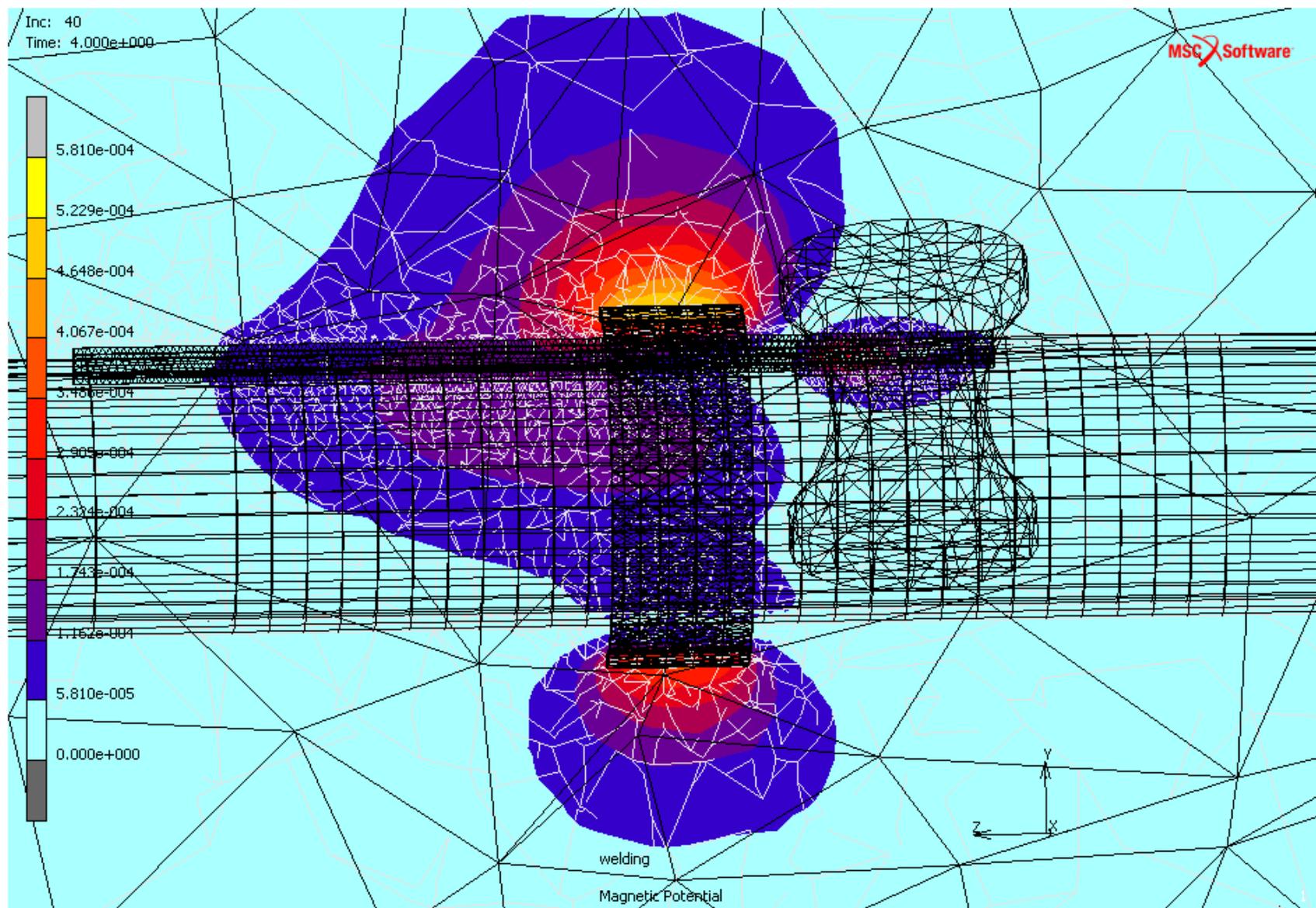
Индукционный нагрев - Пластические деформации

Inc: 0
Time: 0.000e+000

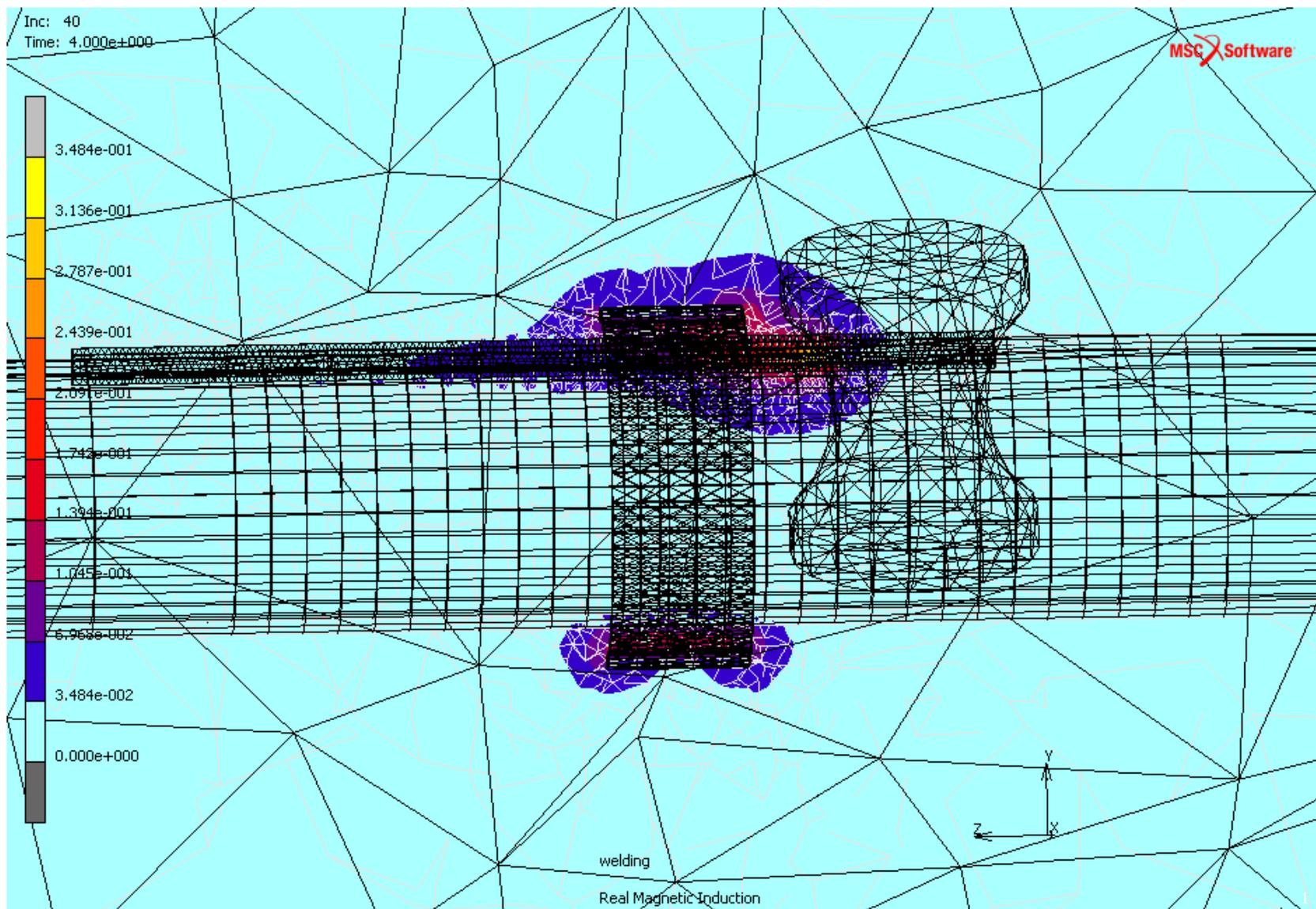
MSC Software



Магнитный потенциал в кольце и воздухе



Магнитная индукция в кольце и воздухе



Поддержка аппаратных
платформ, 3D мыши,
лицензирование

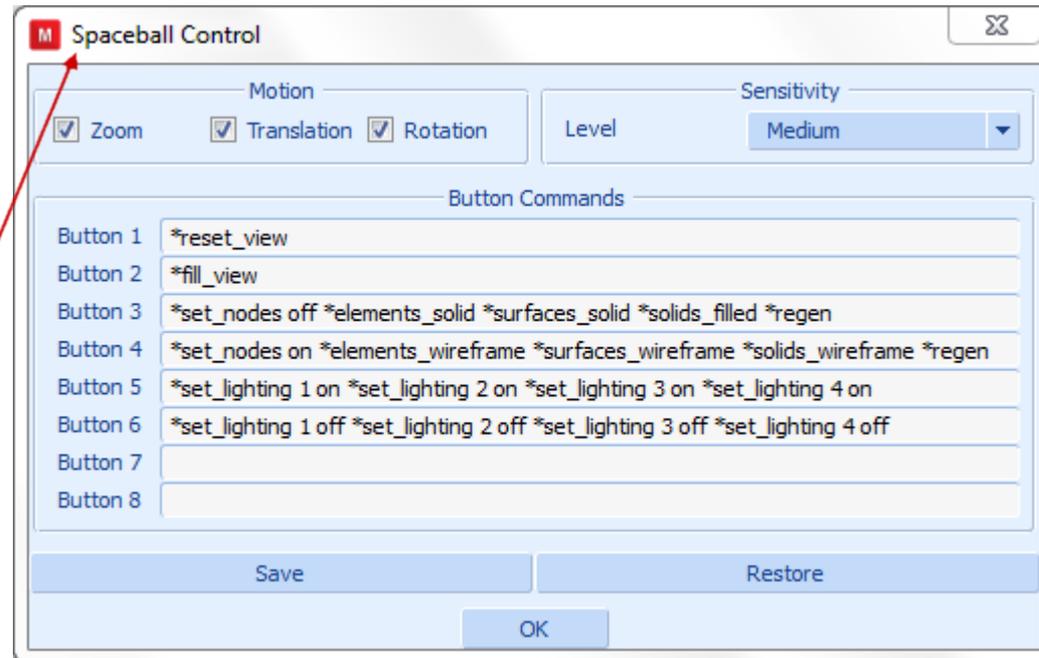
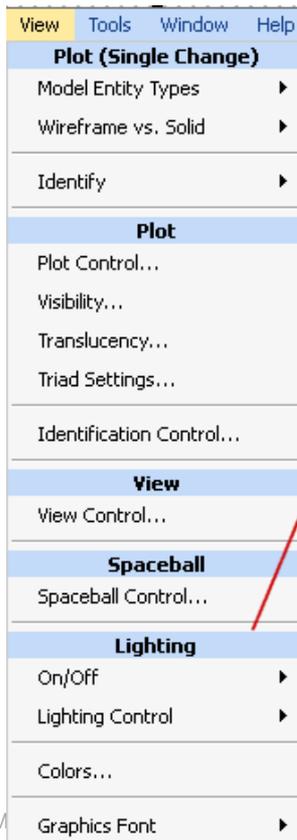
Поддержка аппаратных платформ

Платформа	Fortran	C
Win 7- 32 bit	Intel XE 2013	MS Visual Studio 2012
Win 7- 64 bit	Intel XE 2013	MS Visual Studio 2012
Linux Red Hat 5.7 - 64 bit	Intel XE 2013	Intel XE 2013

- **Intel XE 2013 так же известен как Intel Fortran 13**
- **На Win 7 – 32 bit и 64 bit а так же Linux RH 5.7 64-bit пользовательские подпрограммы, скомпилированные с использованием Intel XE2011, ip5+ или Intel Fortran 12, так же работают**
- **Для Marc 2013 и Marc 2013.1 используется Intel Fortran 12**

3D Мышь (spaceball)

- В Marc 2014 добавлена поддержка 3-D мыши (spaceball)
 - Определяемая пользователем чувствительность
 - Отдельные настройки на перемещение, вращение и масштабирование
 - До восьми программируемых кнопок



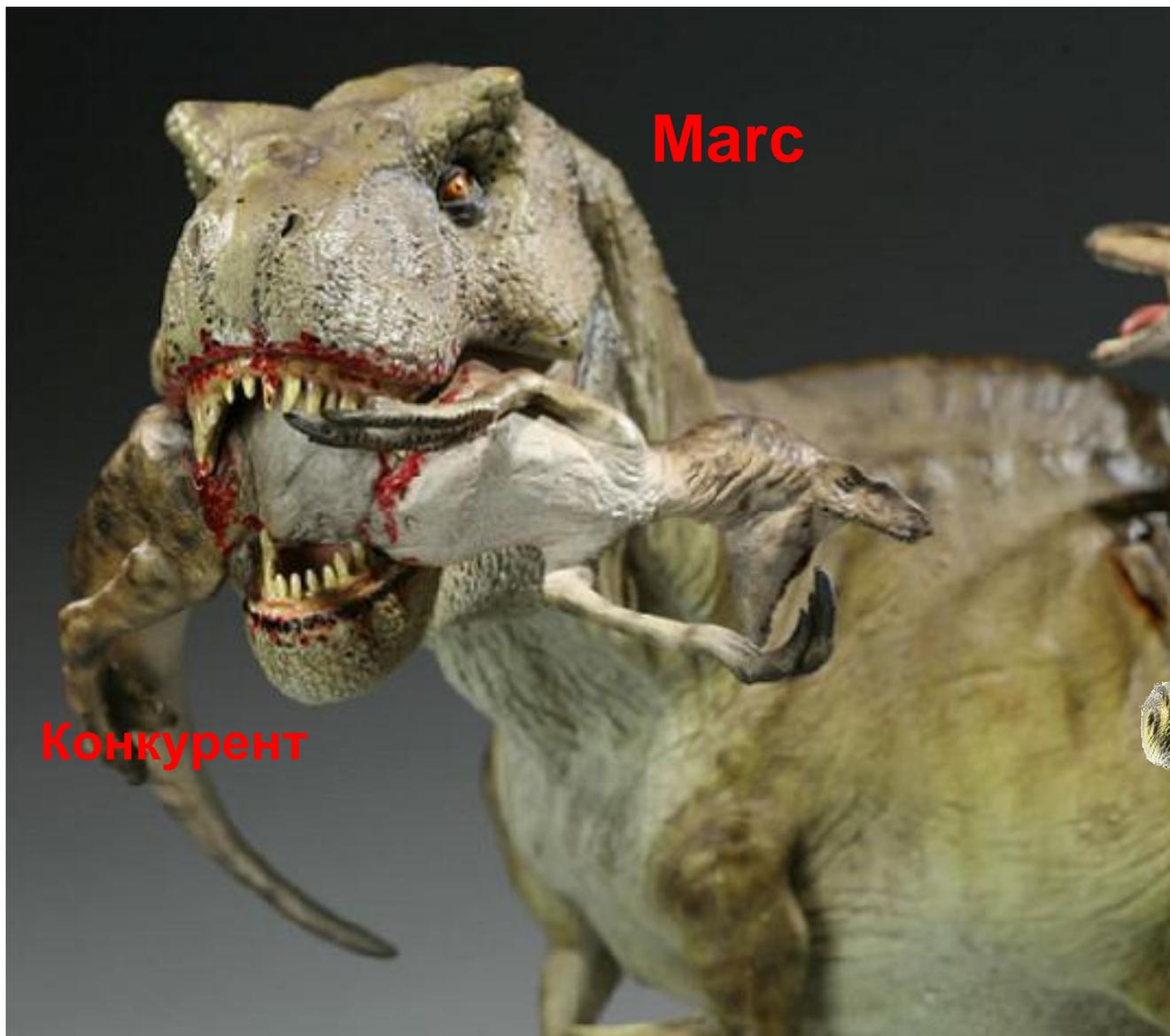
Лицензирование

CAD Format	Basic – no Geometry Clean-up		General CAD as Solid		General CAD as Surfaces/Elements	
	Win 32/64	Linux	Win 32 / 64	Linux	Win 32/64	Linux
IGES	5.3	5.3	3 & 5	3 & 5	5.3	5.3
VDAFS	2.0	2.0	N A	N A	2.0	2.0
Parasolid	V 27	V 27	V 25	V 25	V 25	V 25
STEP	203 & 214	203 & 214	203, 214, 242	203, 214, 242	203 & 214	203 & 214
STL	Yes	Yes	N A	N A	N A	N A
ACIS	R22	R22	R21	R21	R23	R23
DXF	Yes	Yes	N A	N A	Yes	Yes
Catia V4	N A	N A	4.XX	4.XX	4.1	4.2
Catia V5	N A	N A	R10 to R24	R10 to R24	R22	N A
Pro/Engineering Wildfire 3 to 5	N A	N A	13 to Creo 2	13 to Creo 2	3 to 5	3 to 5
SolidWorks	N A	N A	All to 2014	All to 2014	All to 2013	N A
Unigraphics	N A	N A	All to 9.0	All to 9.0	NX 8	NX 8
Inventor	N A	N A	All to 2014	All to 2014	All to 2013	N A
JT	N A	N A	7.0 to 9.5	7.0 to 9.5	N A	N A

Legend

NA	Not available in the Marc 2014 release.
	There is an additional charge for this CAD-to-solid import and clean-up capability. It also requires as a prerequisite a Mentat_Geometry_Translators license.
	There is an additional charge for this CAD import and clean-up capability.

Мэрс – хищный динозавр на рынке КЭ расчётов



Мэрс

Конкурент

MSC Apex



Спасибо за внимание

Эдуард Юрьевич Князев
Руководитель технического отдела

eduard.knjazev@mscsoftware.com