

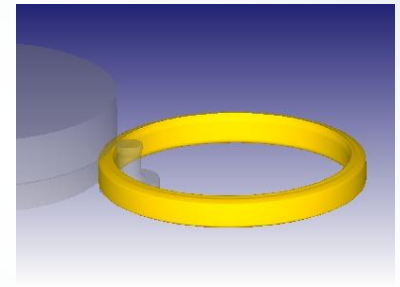
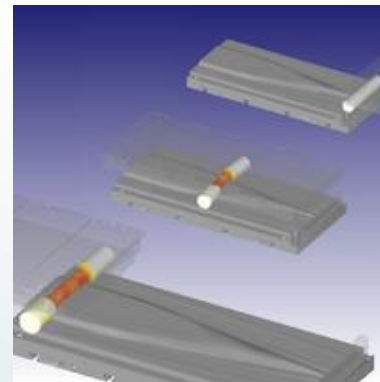
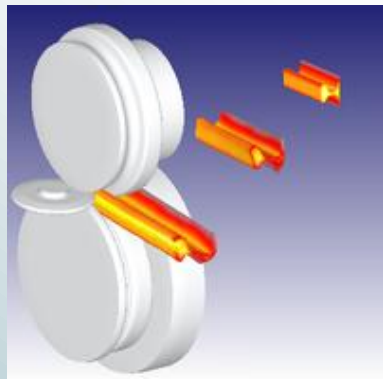
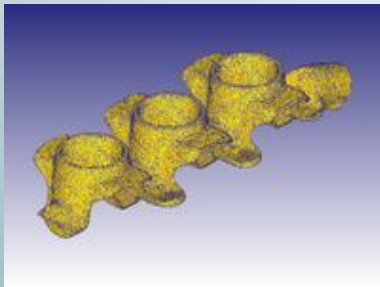
Пакет инженерного анализа **DEFORM**

Введение

Назначение

➤ Обработка материалов давлением

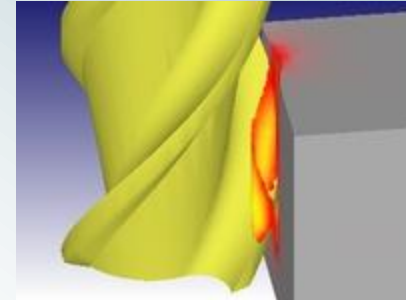
- Горячая ковка, объёмная штамповка и прокатка
- Холодная объёмная и листовая штамповка и прокатка
- Кольцевая раскатка
- Волочение
- Экструзия
- Процессы спекания под давлением порошковых материалов



Назначение

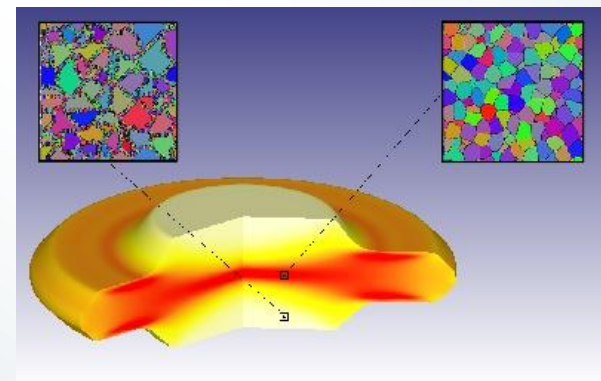
➤ Обработка металлов резанием

- Сверление
- Фрезерование
- Токарное точение



➤ Термодинамика технологических процессов

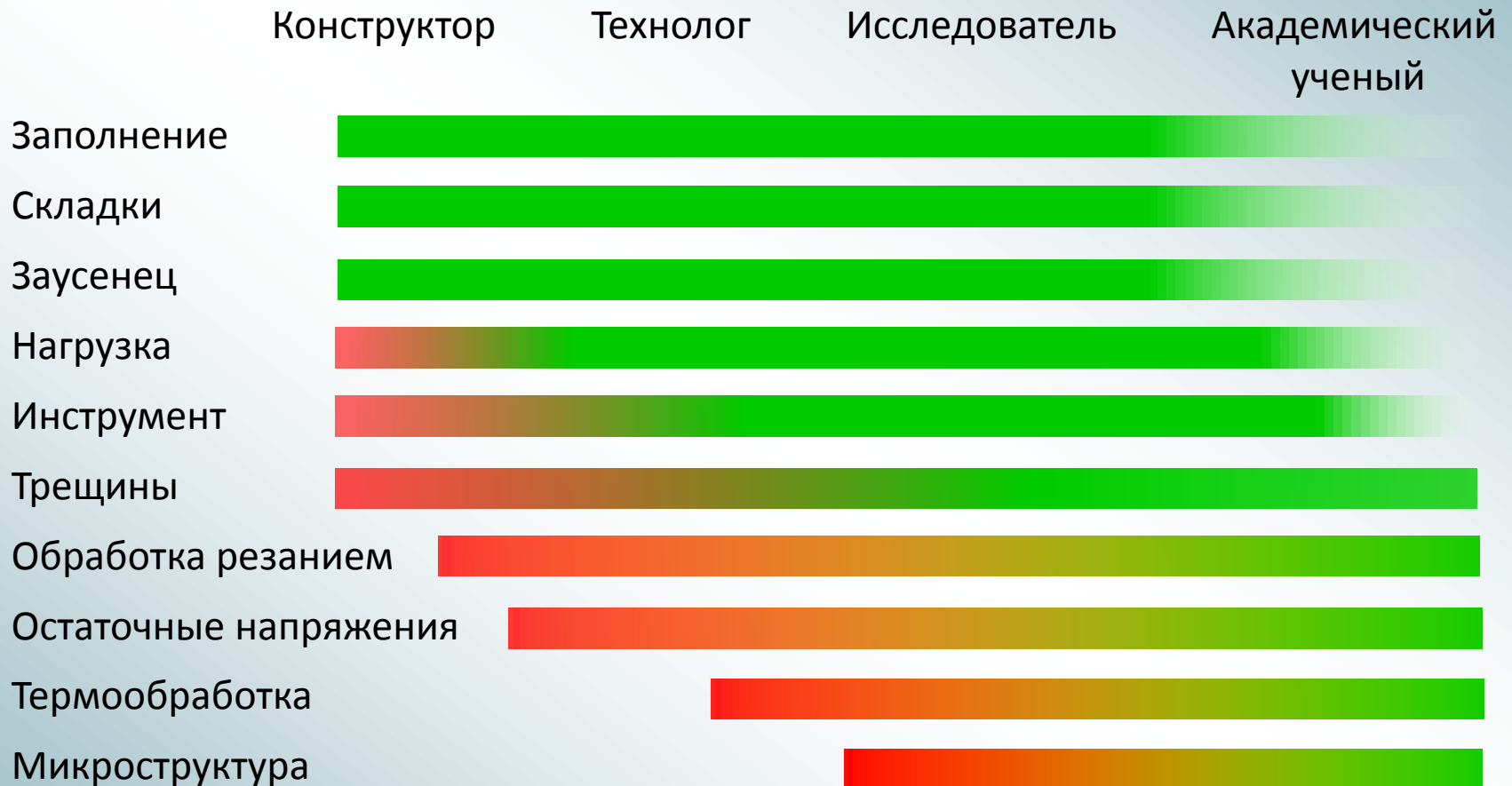
- Теплообмен с инструментом и окружающей средой
- Индукционный и резистивный нагрев
- Термообработка
 - Закалка
 - Отпуск
 - Отжиг



Пользователи DEFORM™

Alcoa	Delphi	American Axle	General Electric
Wyman-Gordon	Ladish	Textron	Pratt & Whitney
Bosch	Ellwood Group	Toyota	Nissan
Daimler Chrysler	Interstate Forgings	Hilti	Presta
Firth-Rixon	Metaldyne	Shimano	National Machinery
Schuler	ITW	Caterpillar	SPS Technologies
GKN	Ivaco Rolling Mills	Honeywell	Kamax
Shultz Steel	Eaton	MacLean-Fogg	Jernberg
Sifco	TRW	Midwest Forge	Meritor Automotive
Nippert	Torrington	Timken	Fabristeel
Bohler Steel	Uddeholm	Firth Rixon	Avdel
Aisin Group	Honda	Hundai	Bharat Forge
Nippon Steel	NTN	Skoda Auto	Mitsubishi
Stadler	Yamanaka	Tata Iron & Steel	Bohler Group
Holzer	Kropp	Danaher	Carlton Forge
NTN	NSS	Weber Metals	Accuride
Carpenter Technologies	Special Metals	Voest	...

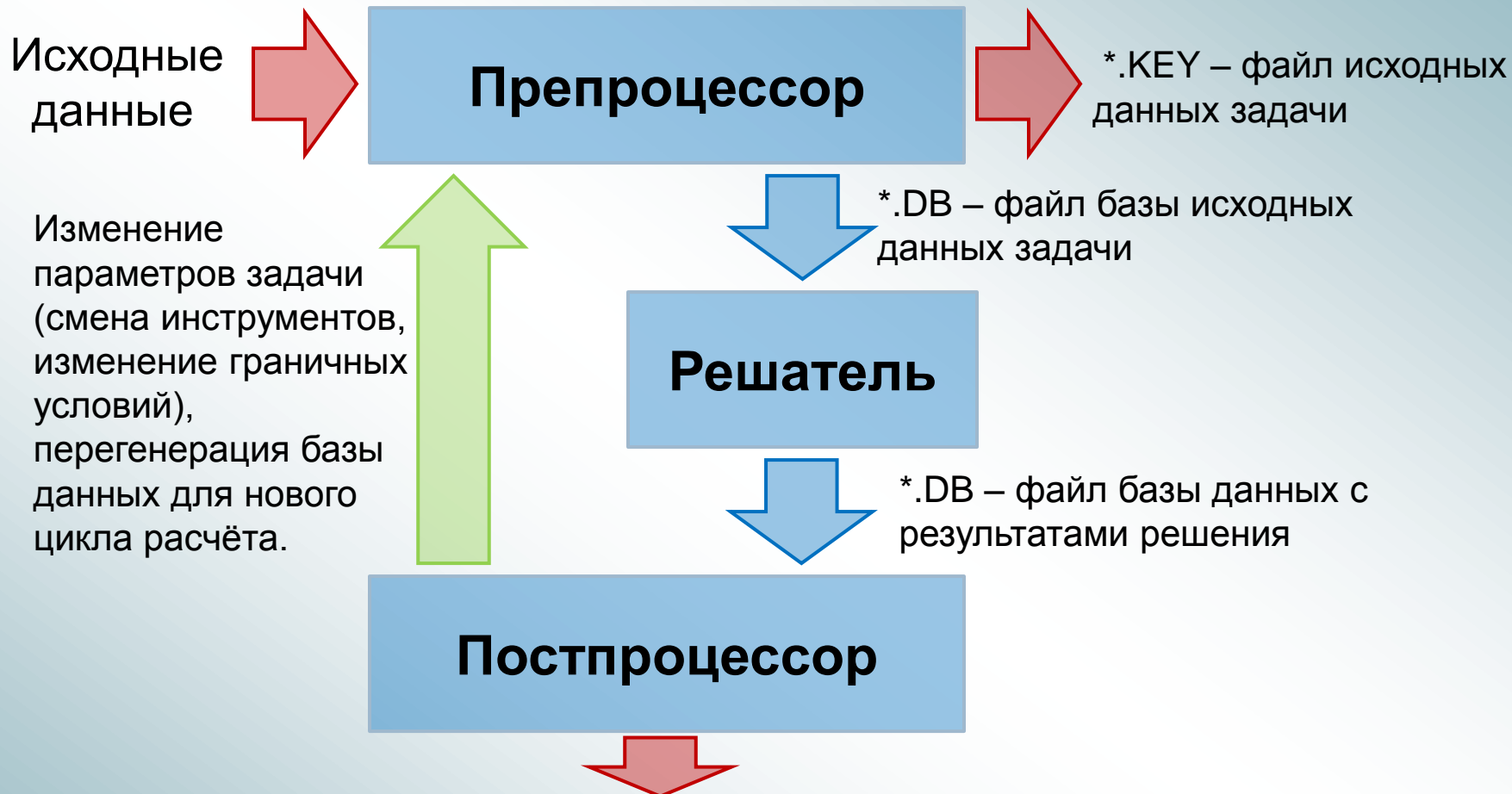
Уровни сложности



Состав пакета

- DEFORM™-3D – гибкая и открытая (Fortran, Python), кросс-платформенная (UNIX/Windows) система конечно-элементного анализа механики и термодинамики процессов деформирования материалов при трёхмерной постановке задачи.
- DEFORM™ -2D – то же при двухмерной (осесимметричной и плоской) постановке задачи.
- Шаблоны:
 - DEFORM™ -F3/ DEFORM™ -F2 – моделирования процессов ковки и штамповки.
 - Machining [Cutting] – резание металлов (сверление, точение, фрезерование).
 - Die Stress Analysis – анализ нагрузок на инструмент.
 - Shape Rolling – прокатка.
 - Ring Rolling – кольцевая раскатка.
 - Heat Treatment – процессы теплообмена.

Структура и процесс моделирования



*.PNG, *.BMP, *.JPG – графическое представление результатов (по шагам)

*.DAT – текстовое представление результатов (по шагам для узлов и элементов)

*.AVI, *.WMV – пошаговое протекание процесса в видеофайле

Исходные данные

➤ Геометрия

- Создание встроенными средствами пакета:
 - 2D – дуги, прямые;
 - 3D – параллелепипед, цилиндр, полый цилиндр с/без скруглений на кромках;
 - Прокатные ролики O и V – профиля, сверло;
 - Экструзия и вращение из плоского сечения произвольной формы (*.IGS);
- Импорт из CAD-систем (*.STL, *.PDA, *.IGS).

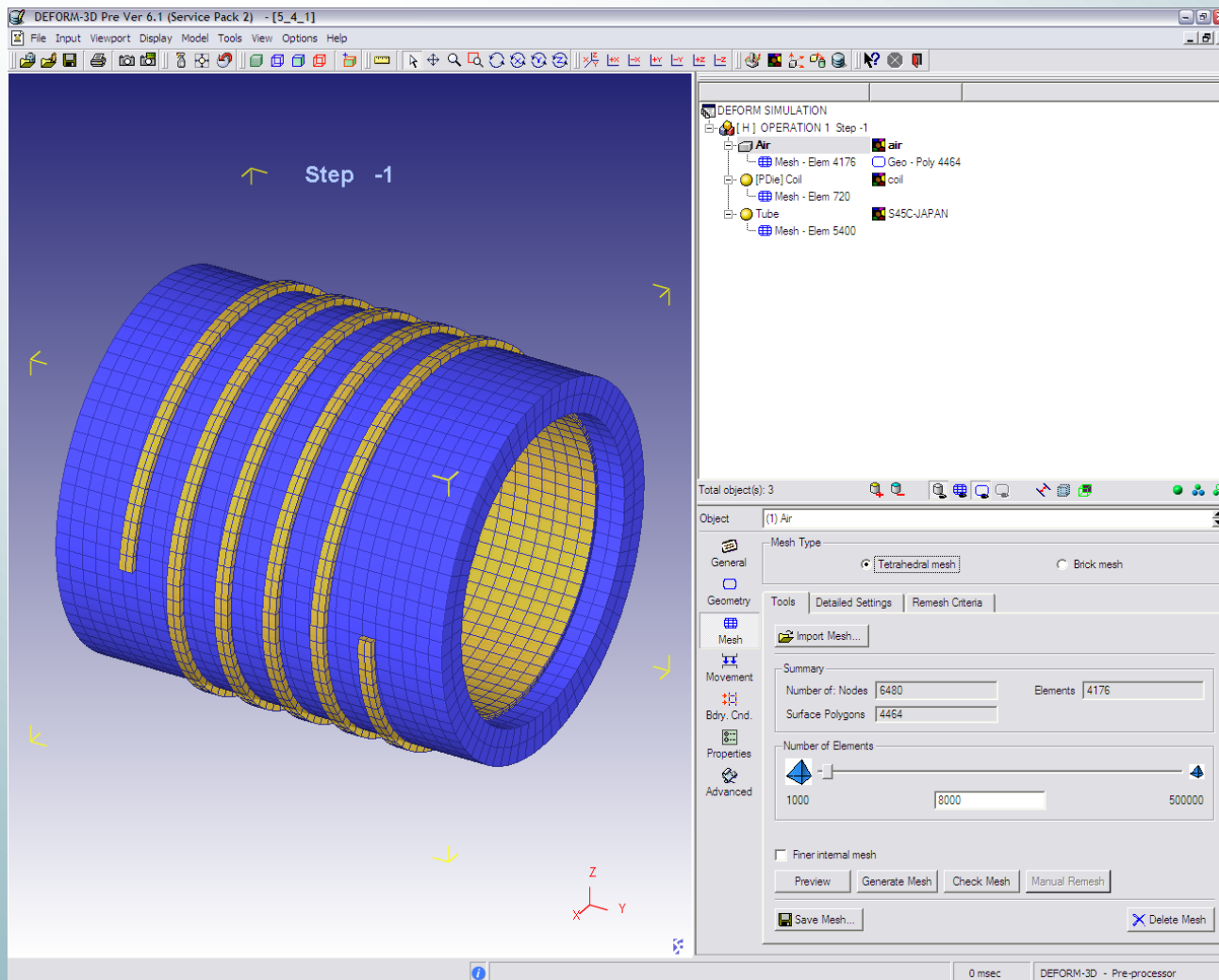
➤ Модель материала

- Библиотека материалов (250 наименований AISI, DIN, JAPAN стандарты)
- Материалы, создаваемые пользователем

➤ Начальные и граничные условия

- Условия контакта
- Модель трения
- Условия теплообмена
- Фазовый состав
- Размер зерна
- Содержание углерода

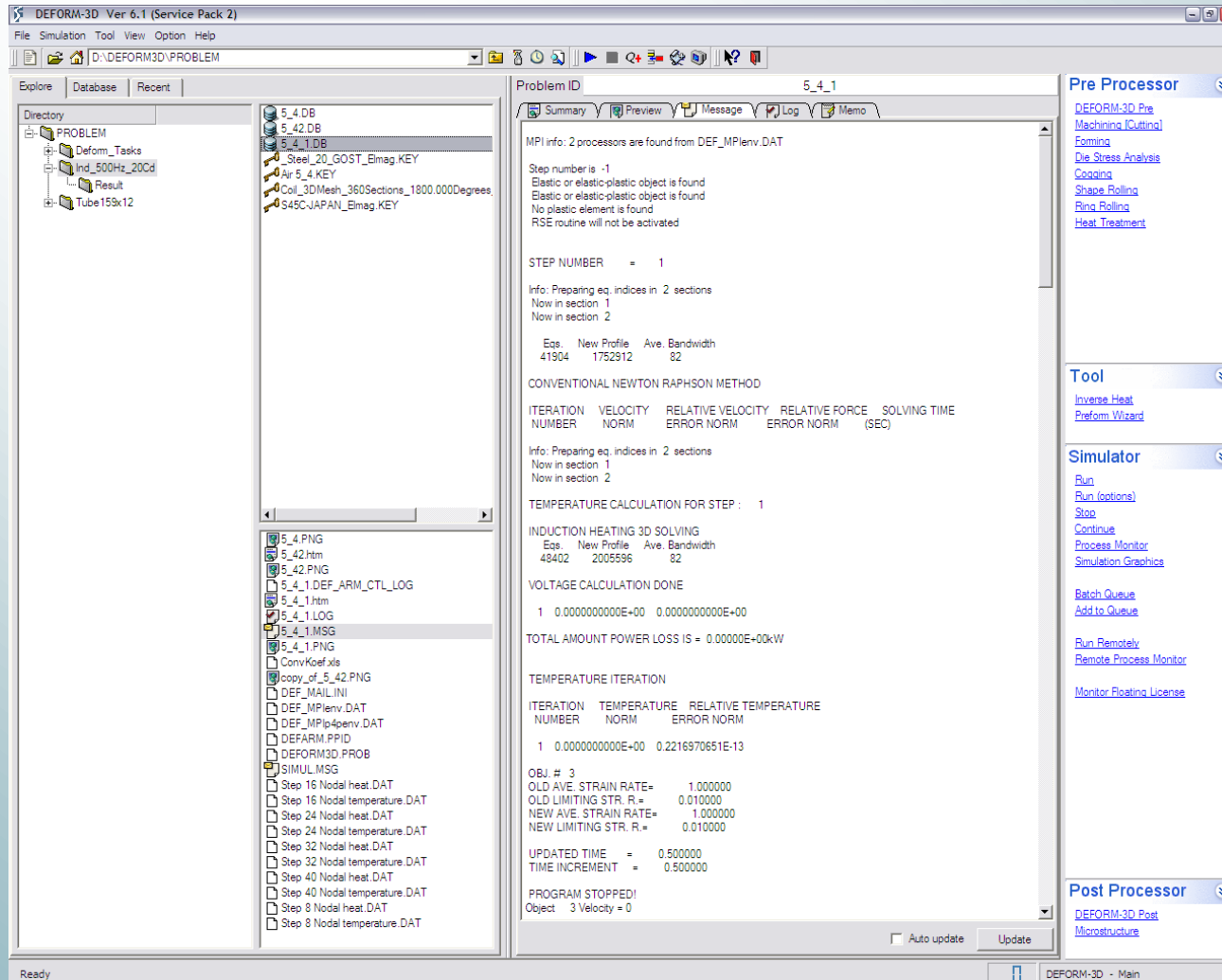
Препроцессор (Pre-processor)



ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕПРОЦЕССОРА

- Создание простейшей и импорт из CAD-систем сложной геометрии;
- Создание собственных и импорт сеток конечных элементов из сеточных генераторов сторонних пакетов (PATRAN, ANSYS ICEM);
- Библиотека материалов с возможностью добавления новых материалов;
- Выбор критериев и моделей исследуемых процессов из перечня известных в области ОМД и подготовка данных для них;
- Библиотека энергосиловых параметров стандартного оборудования для ОМД;
- Задание начальных и граничных условий, исследуемого процесса;
- Установка параметров моделирования: количество шагов, шаг сохранения результатов, алгоритмы решения уравнений, критерии остановки процесса и переразбиения сетки.

Решатель (Solver)



ВОЗМОЖНОСТИ РЕШАТЕЛЯ

- Автоматическое перестроение сетки
- Распараллеливание процесса решения
- Управление очередью задач

АЛГОРИТМЫ РЕШАТЕЛЯ

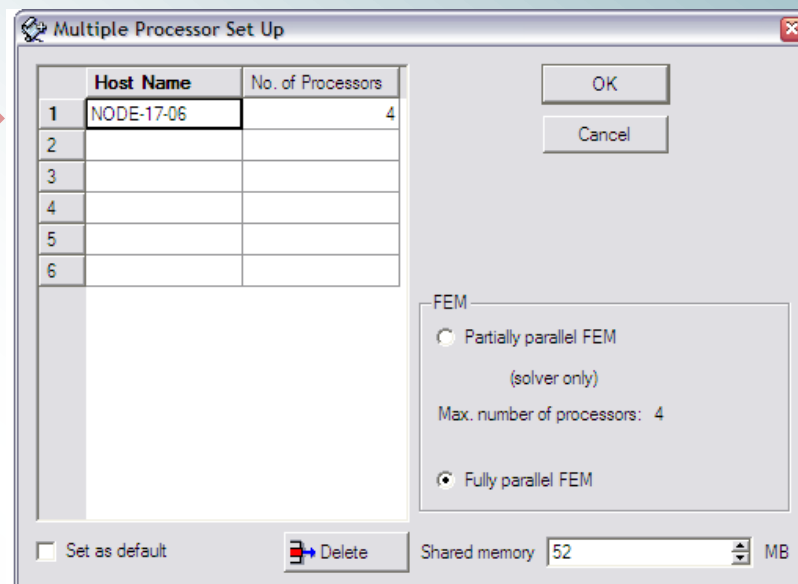
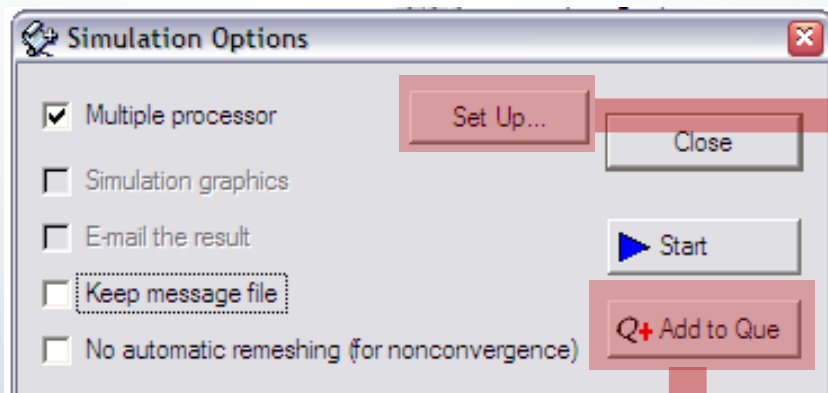
- Задачи деформирования
 - Метод сопряженных градиентов
 - Метод разреженных матриц
- Задачи теплообмена
 - Метод сопряженных градиентов
 - Метод разреженных матриц
 - Skyline storage метод
- Итерационные методы
 - Ньютона-Рефсона
 - Прямой

ВЫХОДНЫЕ ФАЙЛЫ

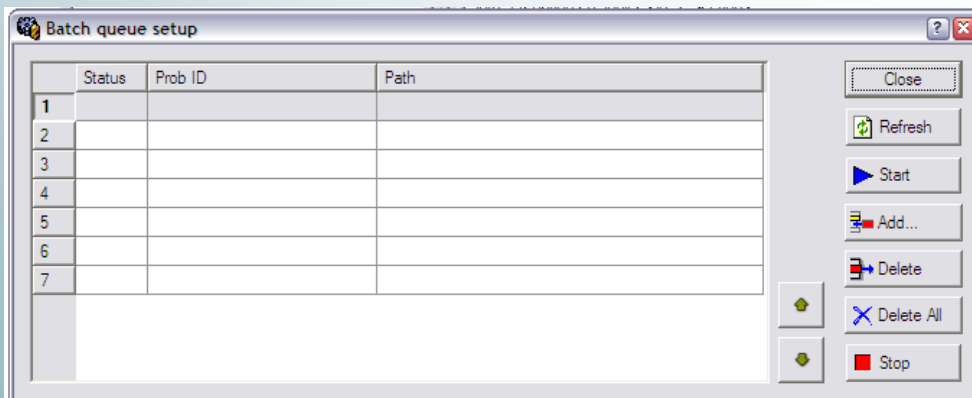
- *.MSG – файл сообщений
- *.LOG – лог-файл
- *.ERR – файл ошибок
- *.DB – файл базы данных задачи

Решатель (Solver)

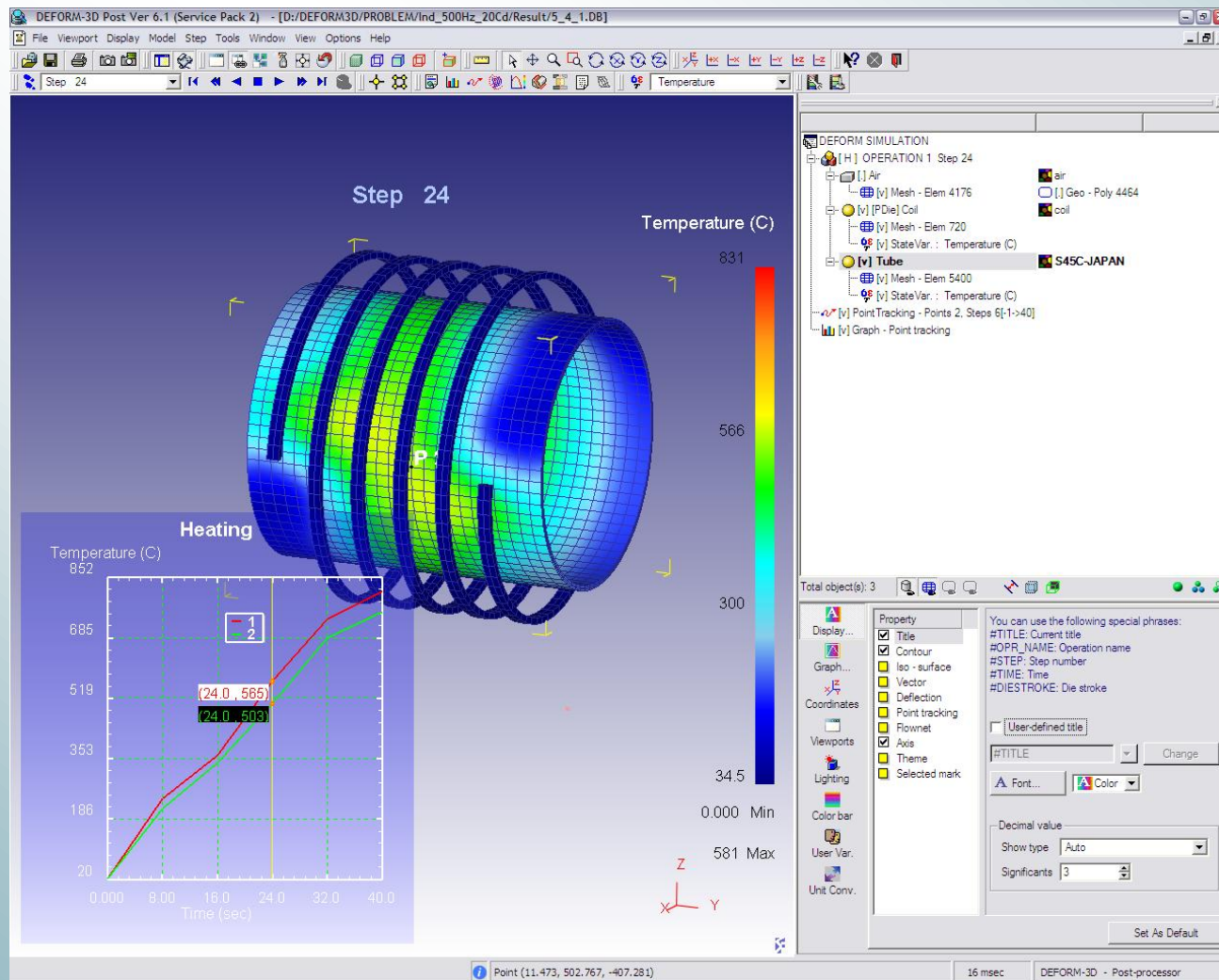
НАСТРОЙКИ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ



ОЧЕРЕДЬ ЗАДАЧ



Постпроцессор (Post-processor)



ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТПРОЦЕССОРА

- Графическое представление результатов вычислений по шагам
 - Общее
 - Между двумя точками
 - В указанных точках
- Определение направления течения материала с использованием линий и сеток Лагранжа
- Вывод информации в виде:
 - Графических файлов
 - Видеофайлов
 - Текстовых файлов (изменение параметров по шагам, элементам и узлам).

Реализованные модели

- Расчёт напряженно-деформированного состояния заготовки
В истинных напряжениях и деформациях определяемых по текущим размерам и форме заготовки
- Модели трения Кулона и Зибеля, модели износа инструмента
- Критерии разрушения: Кокрофта и Лазама, Мак Клинтока и др.
- Критериев ползучести
- Модели стационарного и нестационарного теплообмена: теплопроводность, теплопередача, излучение.
- Набор моделей диффузии углерода
- Модели статической, мета-динамической и динамической рекристаллизации
- Модели фазовых переходов на основе изотермических кривых распада аустенита, модели диффузионной кинетики
- Модели индукционного и резистивного нагрева материала

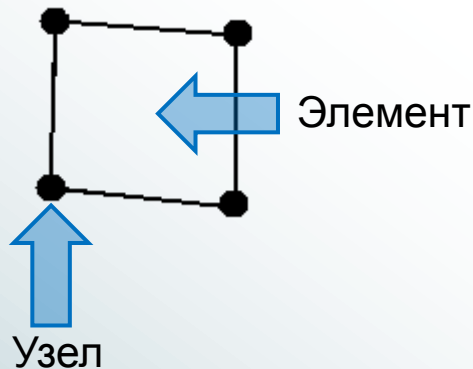
Взаимодействие моделей



Типы конечных элементов

DEFORM-2D

4-х узловые
плоские

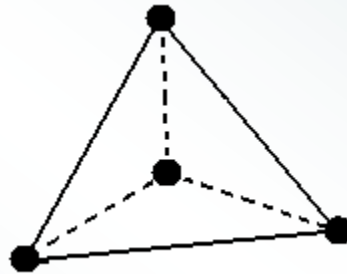


В узлах задаются и рассчитываются:

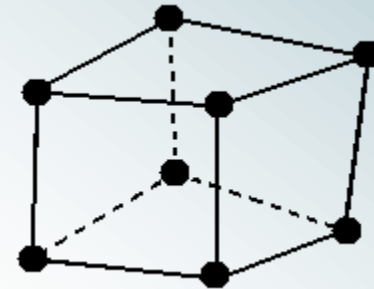
- Координаты, скорости, силы;
- Температура, запасённое тепло, поток тепла;
- Содержание атомов, диффузионный поток;
- Напряжение, ток, граничные условия по сопротивлению;

DEFORM-3D

4-х узловые
тетраэдры



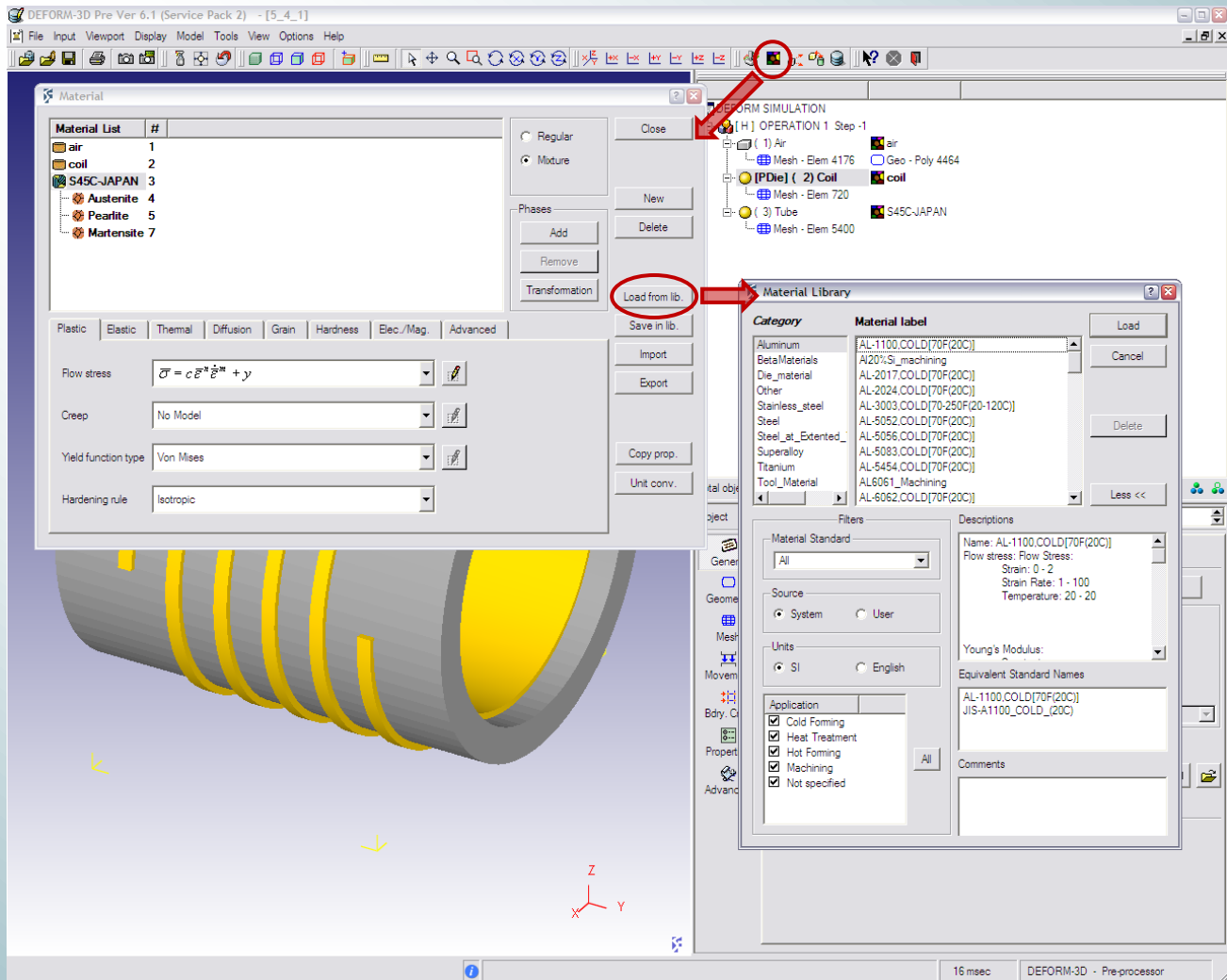
8-ми узловые шестигранники



В центре элемента задаются и рассчитываются:

- Материал, относительная плотность, накопленные повреждения;
- Упругая энергия и энергия пластической деформации;
- Деформации и напряжения различной природы;
- Твёрдость;
- Фазовый состав, размеры зерна;
- Электромагнитное поле (отдельно каждая из компонент);

Библиотека материалов



Библиотека материалов

The screenshot displays the DEFORM-3D Pre Ver 6.1 (Service Pack 2) interface. The main window shows a 3D model of a yellow coil on a grey tube. The 'Material' panel on the left lists materials: air (1), coil (2), S45C-JAPAN (3), Austenite (4), Pearlite (5), and Martensite (7). The 'Phases' section has a 'Transformation' button circled in red. A 'Phase Transformation' dialog box is open, showing 'Austenite' as the Mother Phase and 'Pearlite' as the Child Phase. The dialog lists transformation types: Austenite -> Martensite, Austenite -> Pearlite, Martensite -> Austenite, and Pearlite -> Austenite. The 'Model' is set to 'Martensitic Function' with the following equation and parameters:

$$\xi_{\alpha} = 1 - \exp(\psi_1 T + \psi_2 (C - C_0) + \psi_{31} C_N + \psi_{32} \bar{\sigma} + \psi_4)$$

ψ_1	0.016	ψ_2	0
ψ_{31}	-0.0012237	ψ_{32}	-0.0010303
ψ_4	-5.18	C_0	0.45

Библиотека материалов

The screenshot displays the DEFORM-3D software interface. The 'Material' window is open, showing a list of materials: air, coil, S45C-JAPAN, Austenite, Pearlite, and Martensite. The 'Advanced' tab is selected, showing Young's modulus, Poisson's ratio, and Thermal expansion properties. A red arrow points to the edit icon for Young's modulus. The 'Function' window is open, showing a graph of Young's Modulus vs Temperature and a data table.

Material List

Material	#
air	1
coil	2
S45C-JAPAN	3
Austenite	4
Pearlite	5
Martensite	7

Advanced Properties

Young's modulus: $f(\text{Temp.})$

Poisson's ratio: Constant, 0.3

Thermal expansion: Constant, $2e-05$

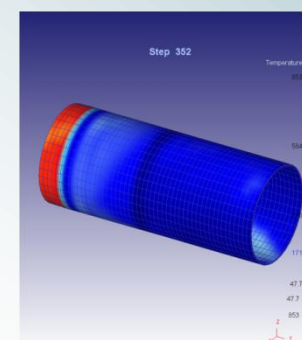
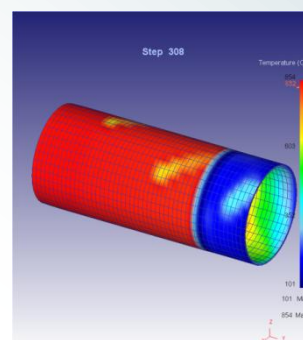
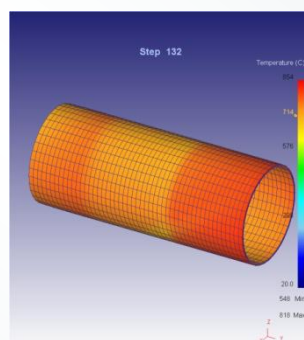
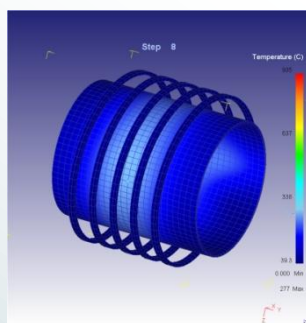
Reference temp: 20

Function Window: Young's Modulus = f(Temperature)

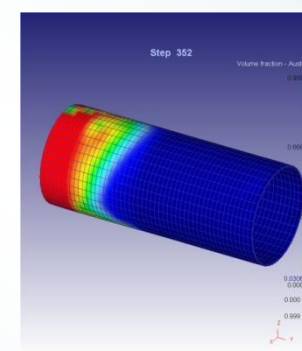
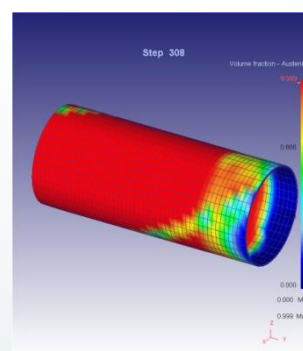
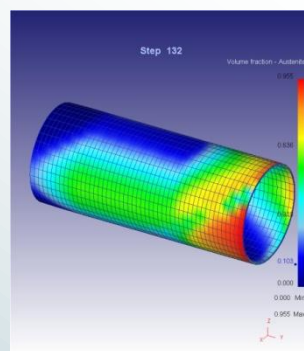
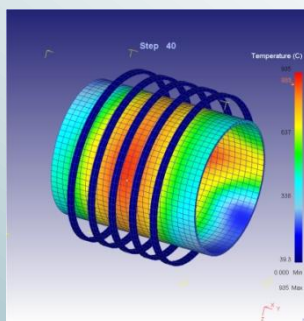
Temperature	Young's Modulus
0	186329.7
50	181965.8
100	177601.8
150	173237.9
200	168873.9
250	164510
300	160146
350	155782.1
400	151418.1
450	147054.2
500	142690.2
550	138326.3
600	133962.3
650	129598.4
700	125234.4
750	120870.5
800	116506.5
850	112142.6
900	107778.6

Практика использования пакета

Моделирование процесса термообработки тонкостенных горячедеформированных труб



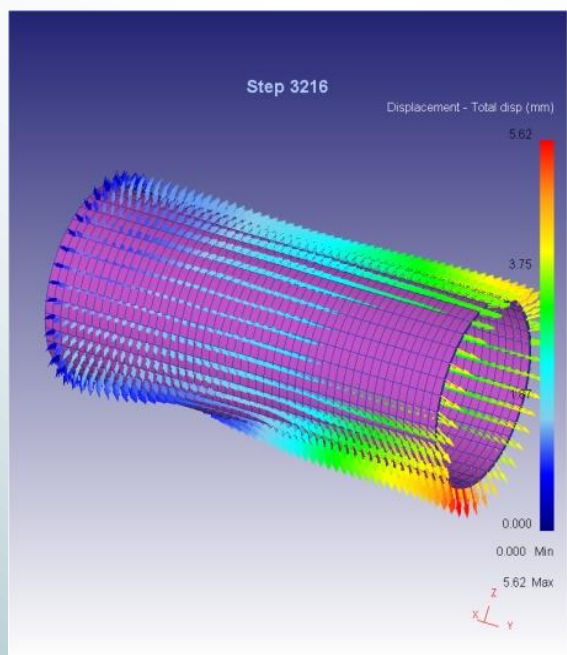
Индукционный нагрев Температурные поля при нагреве и охлаждении трубы



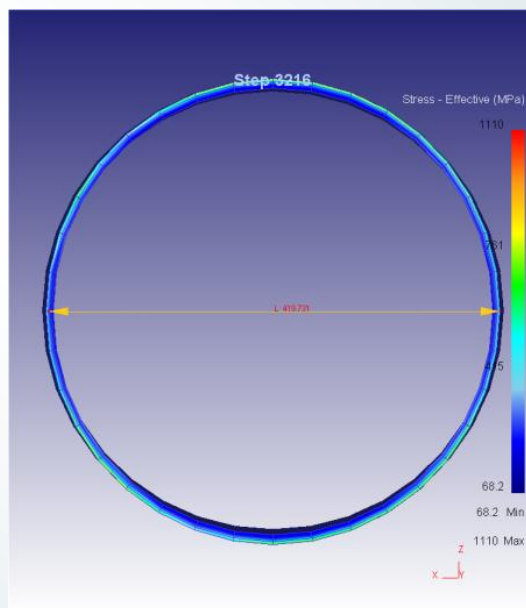
Образование и распад аустенита при нагреве и охлаждении трубы

Практика использования пакета

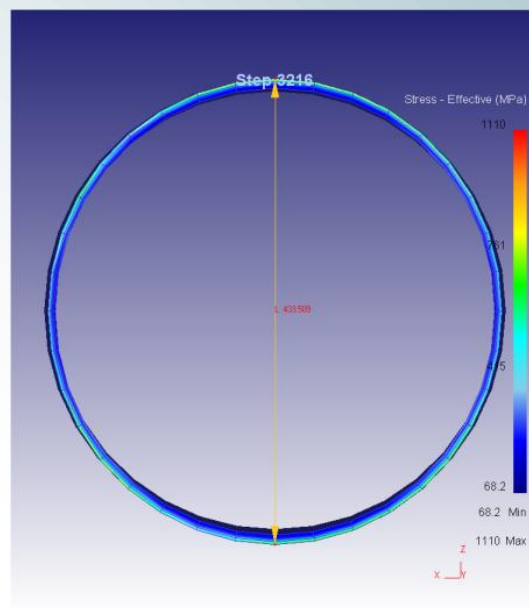
Искажение геометрии при термообработке трубы



Векторное поле перемещений при охлаждении трубы на воздухе

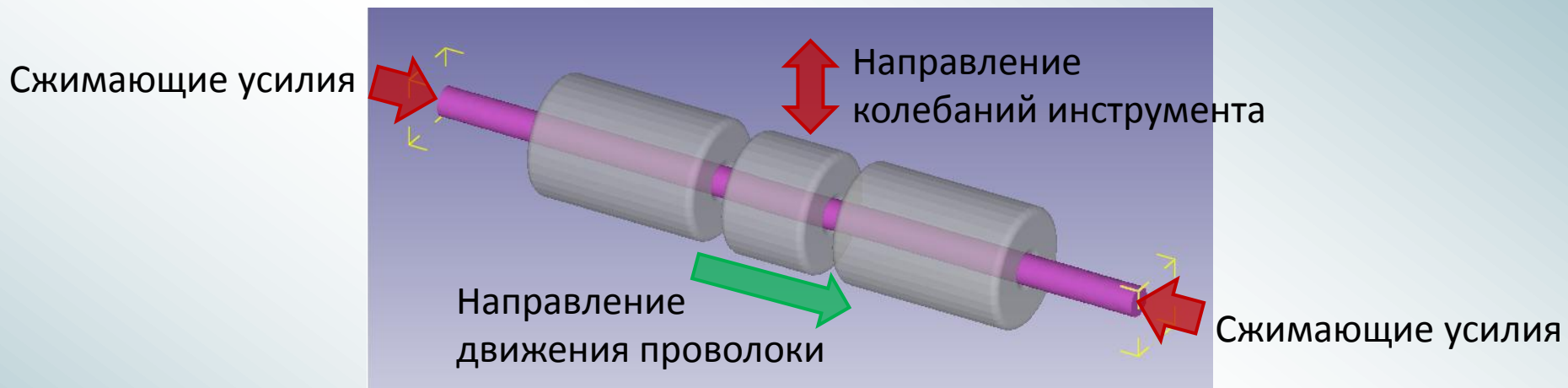


Остаточные деформации типа овализация после охлаждения трубы на воздухе



Практика использования пакета

Моделирование процесса ультразвуковой обработки проволоки

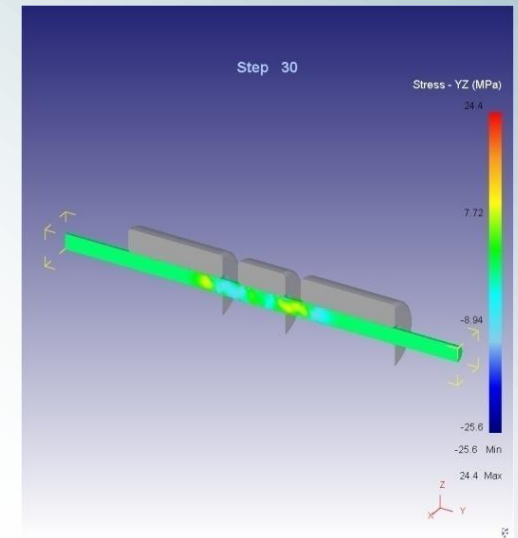
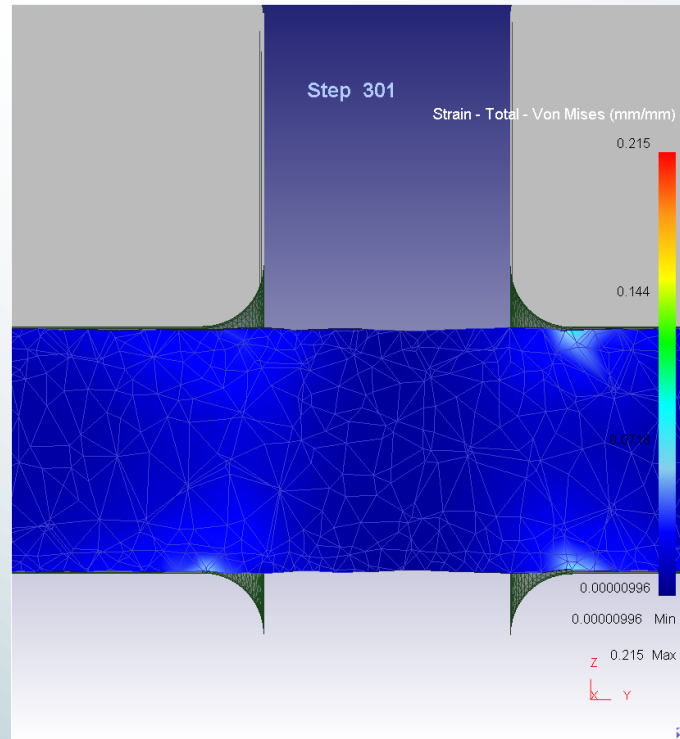
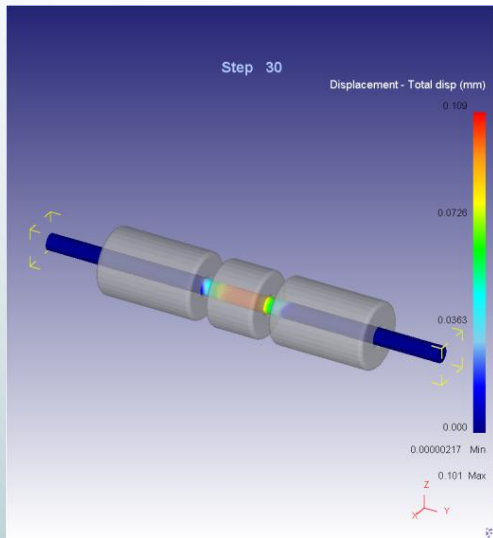


Скорость протяжки проволоки 5 мм/с
Частота колебаний инструмента 18000 Гц
Количество шагов расчёта на 1 период: 100
Общее число шагов: 300
Длительность шага по времени: $5.5e-7$ с
Время процесса: $1.65e-4$ с

Количество элементов в модели: 39554
Тип элемента: объемный 4-х узловой
Время расчёта на кластере: 45 минут

Практика использования пакета

Моделирование процесса ультразвуковой обработки проволоки



Недостатки версии 6.1sp2

- Не гибкий встроенный генератор сеток;
- Тип системы координат в препроцессоре жестко задан;
- Заготовка может состоять только из одного материала;
- Не возможно задать контакт типа «жесткой связи»;
- При индукционном и резистивном нагреве не рассчитываются перемещения узлов;
- Сообщения решателя не всегда позволяют точно идентифицировать причины ошибки;
- Библиотека материалов не полна и не адаптирована под ГОСТ;
- Система единиц измерения не соответствует СИ

Управление лицензиями

СКЦ ЮУрГУ

СЕРВЕР ЛИЦЕНЗИЙ

- *.PVD - файл сервера лицензий
- Ключ аппаратной защиты

СКИФ-Урал

- DEFORM Solver

INTERNET

ПК

- DEFORM Pre/Post-processor

ПК

- DEFORM Pre/Post-processor

.....

Полезные ссылки и литература

ССЫЛКИ

- <http://deform.com> – официальный сайт компании SFTC
- <http://matweb.com>
- <http://rsusu1.rnd.runnet.ru/tutor/templates/report.html>
- http://w0.sao.ru/precise/Midas_doc/doc/94NOV/vol1/vol1.html

ЛИТЕРАТУРА

- Ковка и штамповка: Справочник в 4-х томах/Под ред. Е.И. Семёнова и др.- М.: Машиностроение, 1985.
- Kobayashi, S., Oh, S.I. and Altan T. *Metallforming and the Finite-Element Method*. Oxford University Press, 1989.
- Gorni, A.A. Steel forming and heat treating handbook - Brazil, São Vicente, 2009.- 102p.
- Steel heat treatment: Metallurgy and technologies/Edited by Georg E. Totten. – USA, Oregon, Portland: Portland State University, 2006.- 832p.

Контактная информация

СКЦ ЮУрГУ

Директор: проф., д.ф.-м.н. Леонид Борисович Соколинский
Адрес: 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 87, ауд. 102/3г
Web-страница: <http://supercomputer.susu.ru>
E-mail: supercomputer@susu.ru

ООО «Урал-Грид»

Директор: Виктор Викторович Юрков
Web-страница: <http://www.ural-grid.ru/>
E-mail: info@ural-grid.com
Вопросы по DEFORM:

- ✓ Дорохов Валентин Александрович (инженер)
E-mail: dorohovv85@mail.ru
- ✓ Иванов Василий Александрович (инженер)
E-mail: iva@susu.ru
