

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОМД В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM**

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» в качестве методического указания для подготовки магистров по направлению 15.04.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2017

УДК: 621.431.75

Составители: А. В. Сотов, В. Г. Смелов, А. В. Агаповичев, Р. Д. Карташов

Рецензенты: д.т.н., проф. Н.Д. Проничев

**Моделирование процессов ОМД в программном комплексе Deform:** методические указания / А. В. Сотов, В. Г. Смелов, А. В. Агаповичев, Р. Д. Карташов. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. - 47 с.

В методических указаниях к лабораторной работе представлена разработка технологии изготовления деталей с использованием процессов ОМД, проведена оптимизация параметров объемной штамповки, исследованы поля распределения температур по объему заготовки, напряжения и деформации, возникающие в ходе процесса.

Методические указания предназначены для подготовки магистров, обучающихся по направлению 15.04.05, изучающих дисциплины «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Подготовлена на кафедре технологий производства двигателей.

© Самарский университет, 2017

## **ВВЕДЕНИЕ**

DEFORM – специализированный инженерный программный комплекс, предназначенный для анализа процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки. DEFORM позволяет проверить, отработать и оптимизировать технологические процессы непосредственно за компьютером, а не в ходе экспериментов на производстве методом проб и ошибок. Благодаря этому существенно сокращаются сроки выпуска продукции, повышается ее качество и снижается себестоимость.

Моделирование процесса штамповки рассмотрим на примере традиционной технологии получения детали «Лопатка». Реализация процесса штамповки в программном продукте позволит усовершенствовать профиль штамповой оснастки, осуществить целенаправленный, научно обоснованный поиск рациональных технологических параметров процесса. На основе анализа и расчета штамповки появится возможность получить ряд рекомендаций по рациональному выбору форм заготовок, по конфигурации пуансонов и матриц штампов для получения конечного изделия прогнозируемой формы в соответствии с требованиями промышленного производства.

### **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Цель работы – получение практических навыков в разработке технологического процесса изготовления детали типа «Лопатка» методом ОМД.

Задачи:

– ознакомиться с основными операциями технологического процесса изготовления лопатки;

– ознакомиться с основными элементами программного продукта Deform 3D;

– приобрести практические навыки визуализации процессов ОМД при разработке технологического процесса изготовления детали типа «Лопатка».

## **2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Изучить методические указания по выполнению данной лабораторной работы.

2. Ознакомиться с основными операциями технологического процесса изготовления лопатки.

3. Изучить основную последовательность действий при работе, а также ознакомиться с основными элементами в программном продукте Deform 3D.

4. Выполнить компьютерное моделирование процесса ОМД.

5. Оценить полученные результаты.

## **3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ В РАБОТЕ**

### **Программное обеспечение:**

– программный продукт Deform 3D предназначенный для анализа процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки.

## **4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM-3D**

Заготовка будущей лопатки отрезается из проточенного прутка. Диаметр заготовки 28 мм, длина 255 мм с фасками 3x45<sup>0</sup>. Материал – титановый деформируемый сплав ВТ 9. Начальная температура после нагрева в печи 975<sup>0</sup>С, скорость движения пуансона 100 м\с.

В программном продукте Deform-3D будут рассмотрены следующие операции технологического процесса получения детали:

- 1) Нагрев заготовки в печи.
- 2) Перенос заготовки в клещах от печи к штампу.
- 3) Высадка:
  - а) Набор конуса в  $I^{om}$  ручье.
  - б) Формовка.
- 4) Штамповка.

Для реализации процесса штамповки в Deform-3D необходимо построение следующих моделей оснастки:

- 1) Заготовка-пруток.
- 2) Клещи.
- 3) Пуансон наборный.
- 4) Матрица наборная.
- 5) Пуансон формовочный.
- 6) Матрица формовочная.

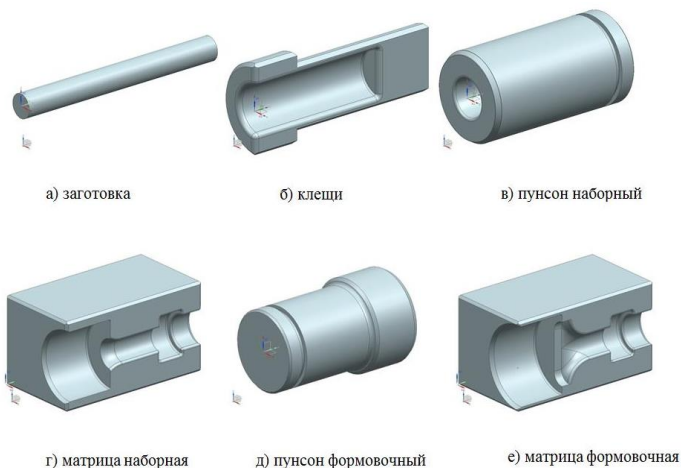
Штамповка:

- 7) Вкладыш верхний.
- 8) Вкладыш нижний.

Построение 3D-моделей произведено в программном продукте Siemens NX 8.5. Для распознавания 3D-моделей оснастки программой Deform необходимо:

- название файлов моделей сохранять только с использованием латинских букв;
- форматы файлов обязательно перевести в STL.

Результаты моделирования необходимой оснастки представлены на рис. 1.



*Рис. 1. 3D-модели инструмента*

#### **4.1 Перенос заготовки в клещах от печи к штампу**

Для переноса заготовки от печи к штампу будут использоваться клещи, состоящие из двух одинаковых половинок. 3D-модель одной половинки клещей изображена на рис.1, б.

##### **4.1.1 Создание новой базы данных**

Для решения задачи ОМД в программном продукте Deform-3D необходимо создать новую базу данных, содержащую все условия, при которых протекает процесс. После запуска программы: **Пуск – Все программы – Deform-3D V6.1 – Deform-3D** появится главное окно программы. Для настройки программы в систему СИ выбираем **Настройки – Конфигурация – Единицы СИ** (рис. 2). Перезапускаем Deform-3D.

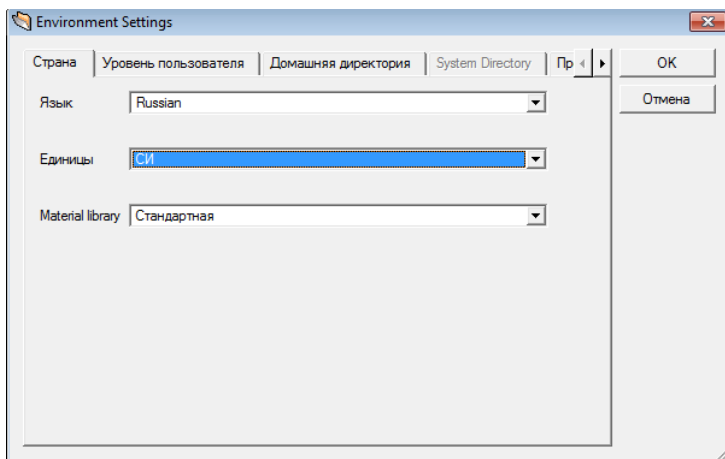


Рис. 2. Окно настройки программы

Создаем новую задачу нажатием **Файл – Новая задача**, появится диалоговое окно, изображенное на рис. 3. Здесь можно выбрать шаблоны постановки задачи. Не выбираем ни один из шаблонов, а жмем **Next**.

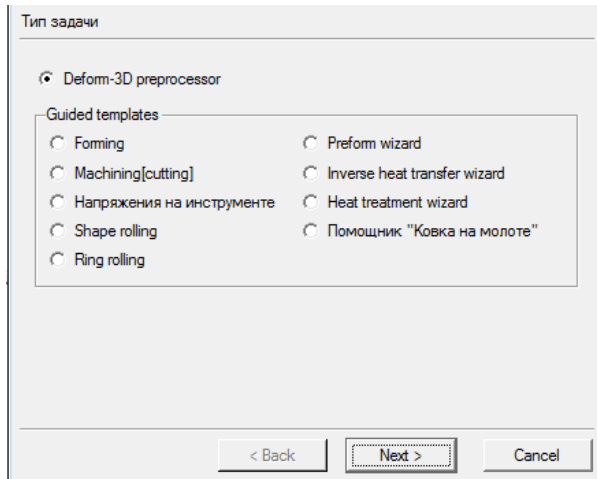


Рис. 3. Окно выбора типа задачи

Появится окно с выбором расположения файла. Если необходимо задать ручную размещение файла, то нажимаем **Other location**

(рис. 4). Оставляем по умолчанию сохранять «в домашней директории», нажимаем **Next**.

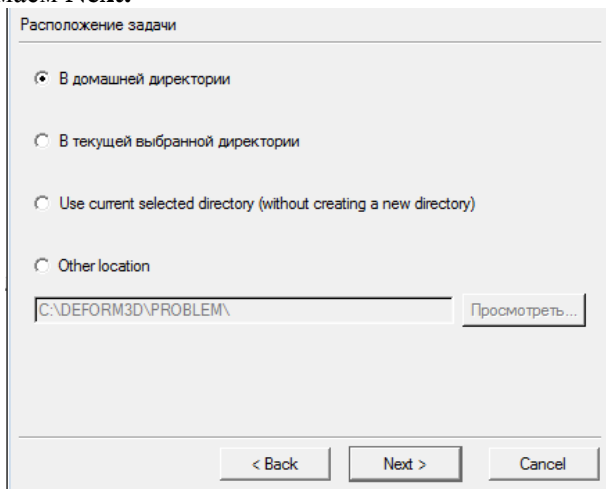


Рис. 4. Выбор места расположения файла базы данных

Далее, в окне **Название задачи**, задаем название базы данных. Оно может состоять из 80 символов, что подробно описывает саму задачу, её условия и цель расчета. Назовем задачу **Perenos\_zagotovki** (рис. 5). Далее клавиша **Finish**.

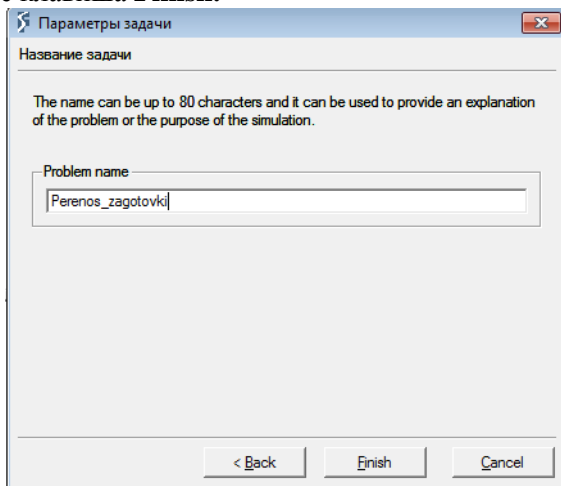



Рис. 5. Окно названия задачи



## 4.1.2 Установка параметров расчета

Откроемся окно препроцессора, основные элементы которого были рассмотрены выше. Войдем в меню **Параметры моделирования**  на панели параметров. Изменим заголовок задачи на **Perenos**, название операции на **Perenos ot pechi**. Убедимся, что выбрана система СИ и активирован режим **Теплопередача** (рис. 6).

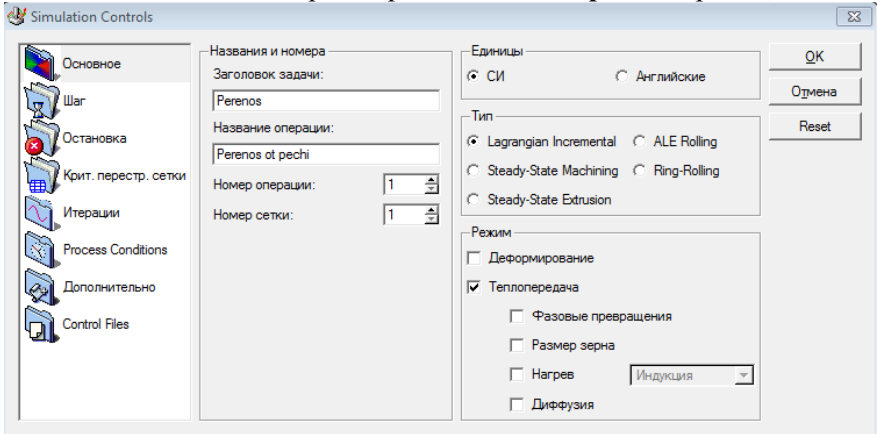


Рис. 6. Меню параметров моделирования

Время переноса заготовки в клещах от печи к штампу 15 секунд. Шаги будем определять, как функцию от времени. Разделим операцию на 100 шагов, получим значение одного шага 0,15 секунд. Введем полученные данные в закладке **Шаг** панели параметров моделирования (Simulations Controls). Сохранять процесс моделирования будем через 10 шагов. В области **Задание шагов решения (Solution Step Displacement)** выбираем с **Постоянным временным шагом (With Time Increment)** 0,15 сек. Результат ввода данных представлен на рис. 7.

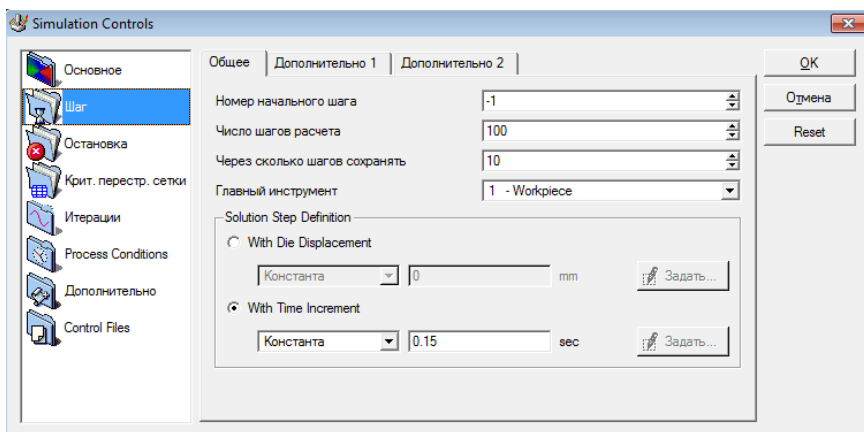



Рис. 7. Ввод данных в закладке **Шаг** панели параметров моделирования

### 4.1.3 Импорт заготовки, построение сетки КЭ

Для моделирования процесса переноса заготовки от печи к штампу необходимо определить геометрию заготовки и инструментов. Для этого будем использовать ранее смоделированные в программе NX 8.5 модели оснастки, сохраненные в формате STL.

**Заготовка (Workpiece).** Выбираем в дереве объектов заготовку. В закладке **Общее**  устанавливаем тип объекта, как **Пластичный**, начальная температура заготовки 975 °С, так как она достается из печи (рис. 8).

Тип объекта определяет то, как будет моделироваться деформация для данного объекта. Тип объектов:

- жесткий – данный тип будет определять объект как недеформируемый. В задаче представлен только присвоенной ему геометрией. Используется для задания инструмента в большинстве задач;
- пластичный – данный тип объекта рекомендуется определять для заготовок при больших значениях напряжений и деформаций. Поведение материала моделируется достаточно точно;
- упругий – данный тип объекта используется, когда во время ОМД малые значения деформаций очень важны;

- пористый – объекты, с выбранным типом, будут моделироваться как пластичные за тем исключением, то будет вычисляться еще и плотность во время расчета;

- упруго-пластичный – все части объекта, которые достигнут предела текучести, будут моделироваться пластичными, остальные части объекта – упругими. Для горячих процессов ОМД с большими деформациями использовать не рекомендуется, т.к. значительно увеличивает время решения задачи.

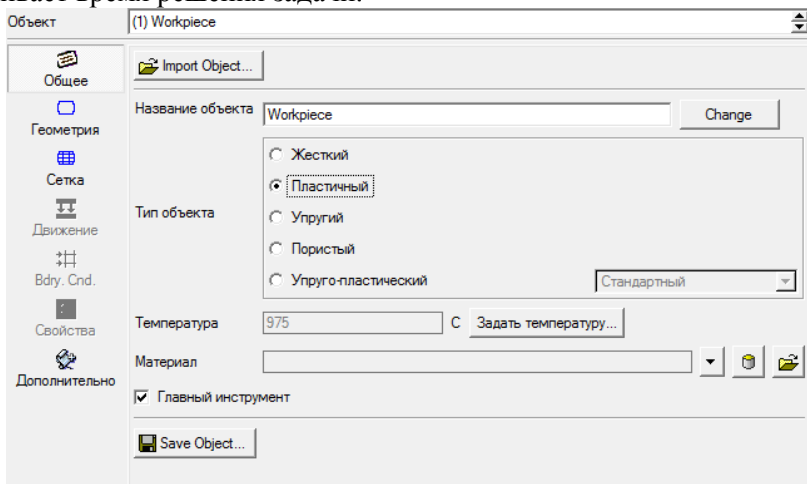

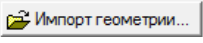



Рис. 8. Закладка **Общие** для ввода исходных данных

Для определения геометрии заготовки нажмем клавишу  Геометрия, далее  и выбираем из папки с сохраненными 3D-моделями файл prutok.STL. Открываем его , геометрия заготовки отразится на Экране (рис. 9).

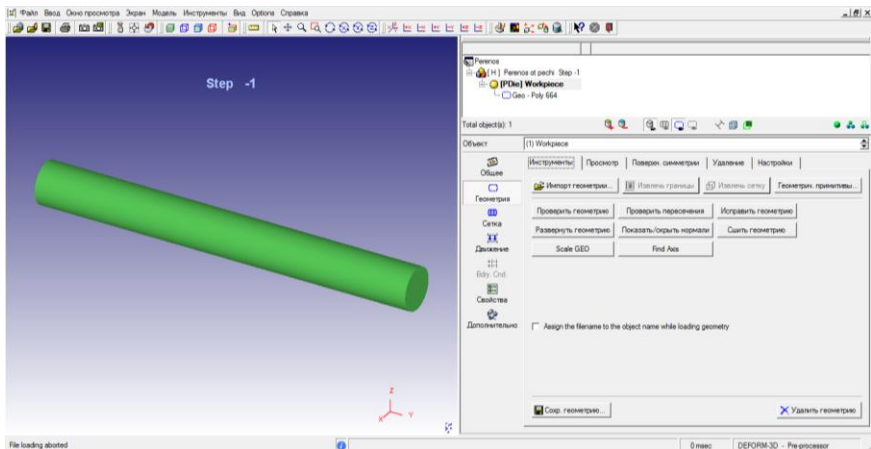


Рис. 9. Импорт геометрии заготовки

Чтобы убедиться в том, что геометрия не имеет ошибок, необходимо ее проверить нажатием клавиши **Проверить геометрию**. В появившемся окне **Geometry Checking Results** для объекта, имеющего закрытый объем, должна быть 1 поверхность, 0 свободных граней, и 0 неправильных элементов. Результат проверки геометрии на рис. 10.

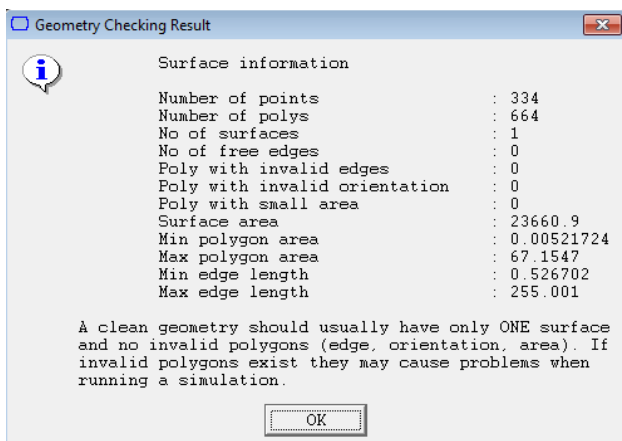



Рис. 10. Проверка геометрии заготовки

После того как геометрия заготовки была определена, необходимо наложить сетку конечных элементов. Перейдем на закладку  **Сетка** в поле **Свойства объекта**. Сетка конечных элементов детали оказывает наибольшее влияние из всех параметров на скорость расчета. Грубая сетка позволит увеличить время расчета, но поверхностное разрешение будет неполно. Большее количество элементов сетки увеличит поверхностное разрешение, но скорость расчета при этом снизится.

Построение сетки в программном продукте Deform-3D проводится двумя способами:

- абсолютная – общее количество элементов сетки будет определено системой, но распределение останется постоянным;
- относительная сетка – общее количество элементов задается пользователем и остается постоянным, поверхностное распределение изменится в процессе расчета. В сравнении сеток, абсолютная сетка показывает лучшие характеристики, так как моделирование использует меньше элементов в начале, и добавляет элементы по мере необходимости, чтобы сохранить разрешение. Оба вида сетки имеют адаптивное автоматическое измельчение сетки, т.е. более мелкие элементы используются в областях, где требуется большее разрешение.

Выберем абсолютный тип сетки в **Настройках** на закладке **Сетка**. Минимальный размер элемента поставим = 1 мм, коэффициент отношения = 3. На вкладке **Весовые факторы**, передвигая ползунок, установим значение Кривизны поверхностей 0,9, Распределение деформаций 0,1, Распределение скорости деформации 0,1. Все эти параметры оказывают относительное влияние на определение сетки (рис. 11).

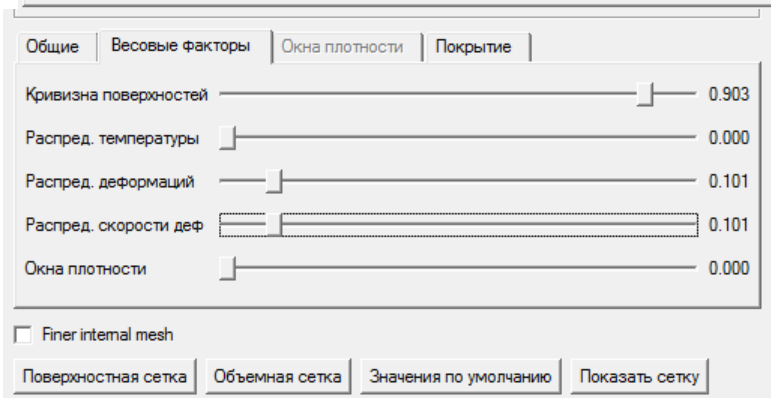
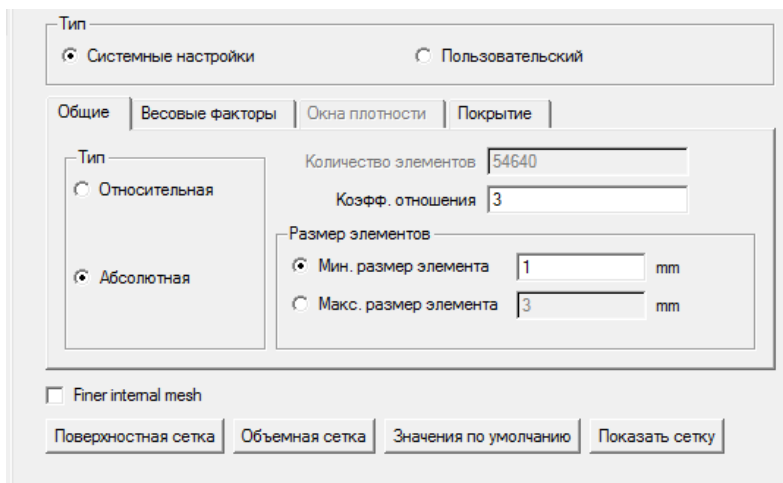


Рис. 11. Установка значений параметров сетки

После нажатия клавиши **Поверхностная сетка** будет сгенерирована поверхностная сетка на заготовке для предварительного просмотра, далее необходимо создать объемную сетку КЭ **Объемная сетка**. Результат построения представлен на рис. 12.

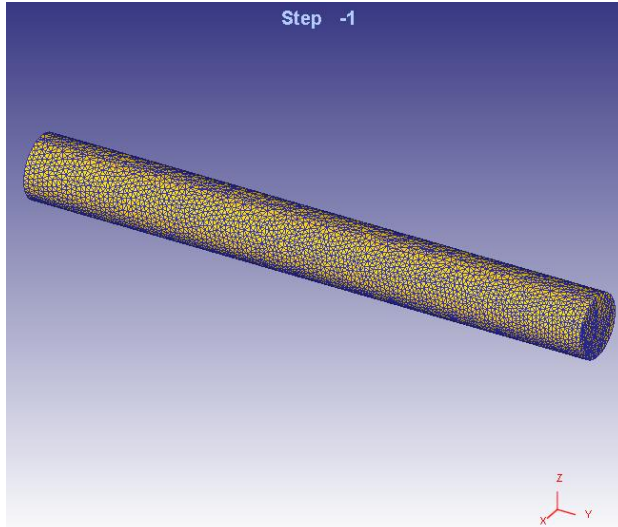




Рис. 12. Результат построения объемной сетки

Следующим шагом определим граничные условия теплопередачи. На вкладке  Bdry. Cnd. выберем **Heat Exchange with Environment** (Теплообмен со средой). Установим температурное граничное условия для всех поверхностей. Выбранные поверхности окрасятся зеленым цветом. Используя кнопку , назначим граничные условия. Результат отразится в списке граничных условий под надписью **Heat Exchange with Environment** (рис. 13).

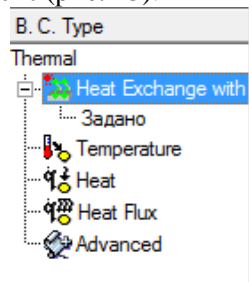




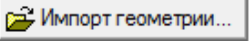
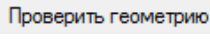
Рис. 13. Назначение граничных условий

#### 4.1.4 Импорт оснастки, построение сетки КЭ

В переносе заготовки от печи к штампу участвуют три объекта – заготовка (пруток), правая и левая составные части клещей. Для реализации моделирования переноса необходимо добавить клещи.

Нажатием клавиши  добавим 2 элемента и, выбрав его в Дереве объектов, на вкладке **Общее** в окне **Название объекта** переименуем на **KlesiPrav**, нажав **Change**. Таким же способом переименуем левую половину клещей **KlesiLev**.

Далее необходимо определить геометрию новых объектов.

Выбрав в Дереве объектов **KlesiPrav**, на вкладке геометрия  импортируем  необходимый файл **klesi\_prav.STL** 3D-модели оснастки. Проверяем геометрию  загруженных файлов. Геометрию левой половины клещей загрузим таким же способом (рис. 14).

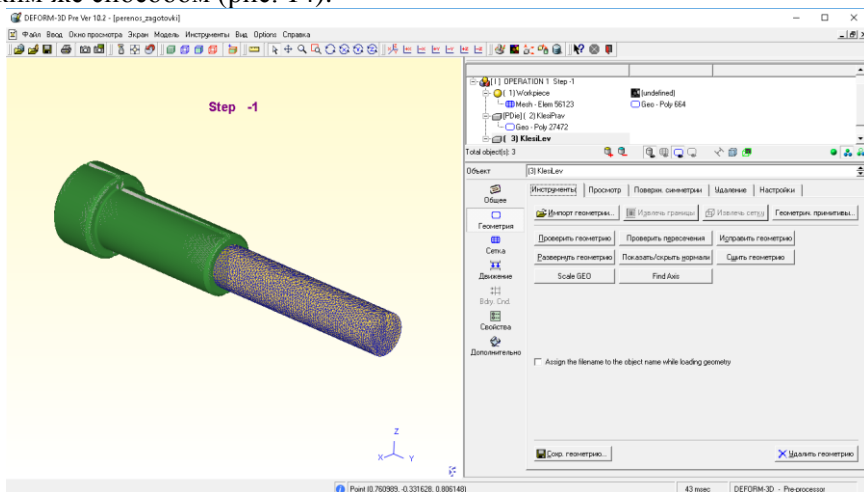


Рис. 14. Импорт геометрии клещей

С учетом того, что клещи взаимодействуют с заготовкой необходимо назначить температуру оснастки. Температура назначается двумя способами:

1. Постоянная температура – наличие сетки в данном случае не требуется, температура оснастки остается постоянной во время опе-



рации. Значение температуры задается во вкладке **Общее**  
**Задать температуру...**

2. Непостоянная температура – требуется наличие сетки на объекте, температура оснастки изменяется в ходе расчета.

При моделировании нашей операции будем использовать второй способ, требующий наличие сетки на объекте. В дереве объектов выбираем **KlesiPrav**. Температуру оснастки оставим по умолчанию

**Задать температуру...** (20 °С). Выбираем вкладку **Сетка**, далее **Настройки** тип сетки будем использовать Относительный, количество элементов 50000, коэффициент отношения 2. Далее создаем **Поверхностную сетку**, после **Объемную**. Нанесение сетки на **KlesiLev** произведем по аналогии. Результат разбивки клещей представлен на рис. 15.

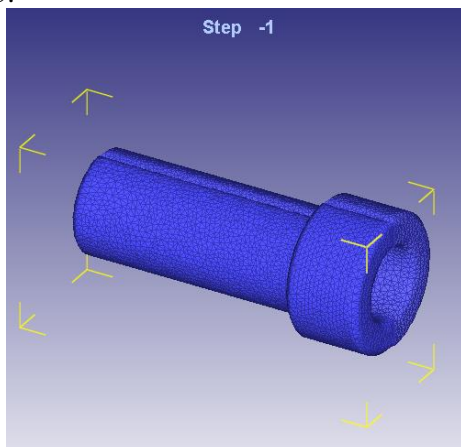





Рис. 15. Разбивка клещей на сетку конечных элементов

После получения сетки на клещах зададим для них граничное условие Теплообмена с окружающей средой (**Heat Exchange with Environment**). Выбираем **KlesiPrav**, для удобства нажмем на клавишу

 в нижнем правом углу Деревя объектов. На экране отразится только правая половина клещей. Далее переходим на вкладку

**Boundary conditions** (Граничные условия)  и выберем **Heat Exchange with Environment** (Теплообмен с окружающей средой). В

области Экран щелчком клавишей на внутренней криволинейной поверхности клещей, выбранная поверхность окрасится зеленым цветом. Нажатием клавиши  добавим граничное условие (рис. 16). Аналогично для левой половины клещей **KlesiLev**.

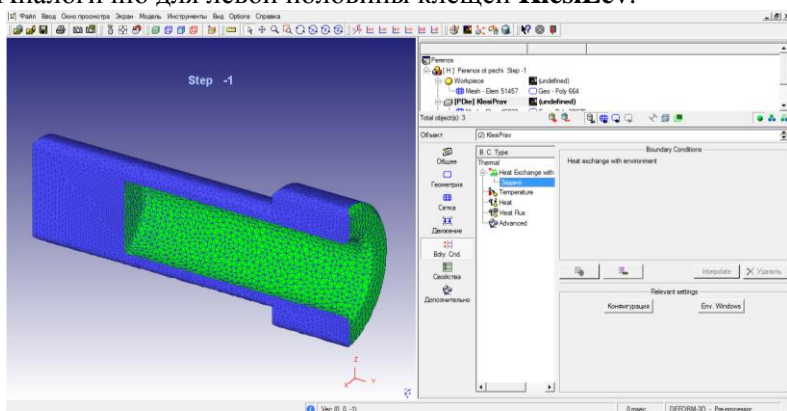



Рис. 16. Назначение граничных условий для клещей

#### 4.1.5 Назначение материала заготовки и оснастки

Данные о свойствах материала играют очень важную роль в достижении необходимой точности решения задачи. В препроцессоре пользователь имеет возможность задавать следующие свойства материала:

1. Свойства пластичности;
2. Тепловые свойства;
3. Упругие свойства;
4. Свойства для определения размера зерен структуры металла;
5. Диффузионные свойства;
6. Электрические и магнитные свойства.

Данные о свойствах материала вводятся в окно (рис. 17) после нажатия клавиши **Материал**  в верхнем правом углу основного окна препроцессора.

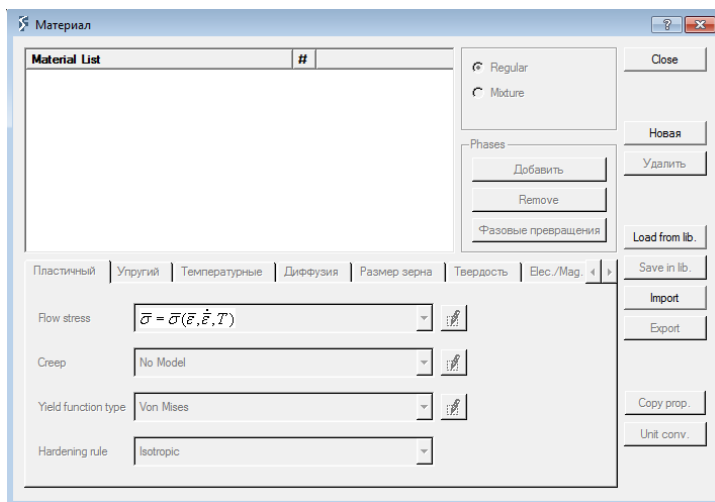


Рис. 17. Окно данных о свойствах материала

Все данные находят широкое применение при моделировании процессов ОМД, за исключением электрических и магнитных свойств, т.к. последние необходимы только при индукционном нагреве или при нагреве в печи сопротивления.

В программном продукте Deform-3D имеется своя библиотека материалов. В ней можно найти большое количество черных и цветных металлов. Загрузим материал для заготовки из библиотеки с помощью клавиши **Load from lib.** (рис. 18), выберем титан ВТ 9 и нажатием клавиши **Загрузить** перенесем его в основной список материалов.

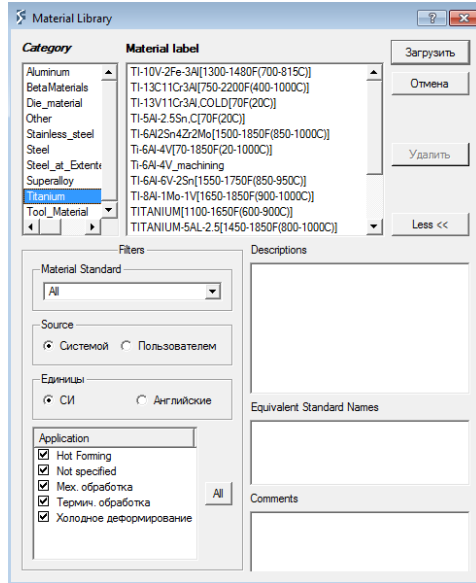


Рис. 18. Окно библиотеки материалов

Для материала оснастки будем использовать сталь инструментальную штамповую 5XHM (AISI-L6). Загрузим его в основной список.

Закроем  окно данных о свойствах материала. Выберем в **Дереве объектов** заготовку (Workpiece), на вкладке **Общее** в разделе **Материал** из всплывающего меню  выбираем титан BT 9, загруженный из библиотеки программы. Результат выбора отразится в **Дереве объектов** рядом с названием объекта. Для клещей выбираем AISI-L6. Выбранные материалы импортируются в задачу моделирования (рис. 19).

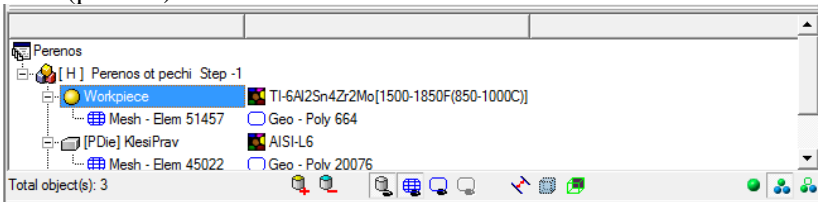



Рис. 19. Импорт материала в БД моделирования

## 4.1.6 Позиционирование объектов

Объекты, загруженные в программу, должны быть определенным образом спозиционированы друг относительно друга. Расположение объектов задается нажатием клавиши **Позиционирование объектов** (Object positioning) , расположенной в **Панели инструментов** в верхнем правом углу. Окно позиционирования объектов изображено на рис. 20.

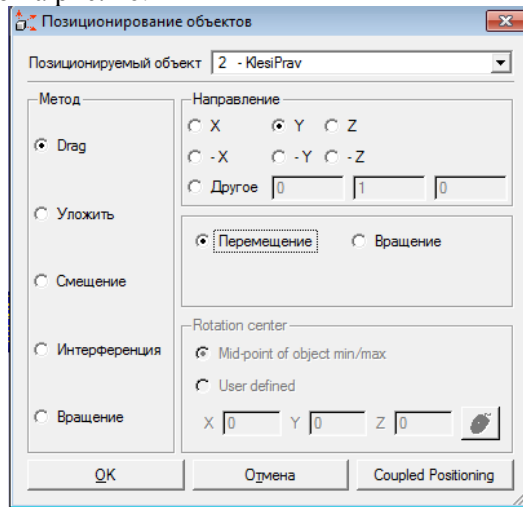


Рис. 20. Окно позиционирования объектов

Окно позиционирования содержит 5 методов:

1. Позиционирование с помощью мыши (Drag) – перемещение или вращение объекта вокруг выбранной оси, используя левую кнопку мыши.
2. Уложить – объект будет перемещаться относительно другого объекта как бы под действием силы тяжести.
3. Смещение – метод перемещения заготовки на определенное расстояние, заданное вектором по трем координатам или отрезком по двум точкам.
4. Интерференция – перемещение одного объекта до соприкосновения с другим объектом.

5. Вращение – вращение объекта с указанием оси, точки и угла вращения.

В нашей операции спозиционируем клещи относительно заготовки (Workpiece), используя метод «Интерференция». Позиционируемым объектом будут являться клещи относительно заготовки. В области **Направление перемещения** (Approach direction) укажем ось Y, точность наложения оставим по умолчанию 0,0001 (рис. 21). (Если при импорте геометрии для клещей модели стоят наоборот, их стоит сначала повернуть на 180 градусов относительно оси X, а затем применять интерференцию).

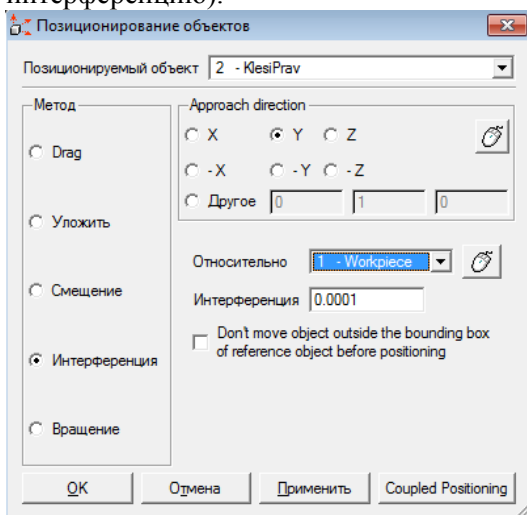


Рис. 21. Позиционирование объектов (интерференция)

Результат расположения объектов друг относительно друга представлен на рис. 22.

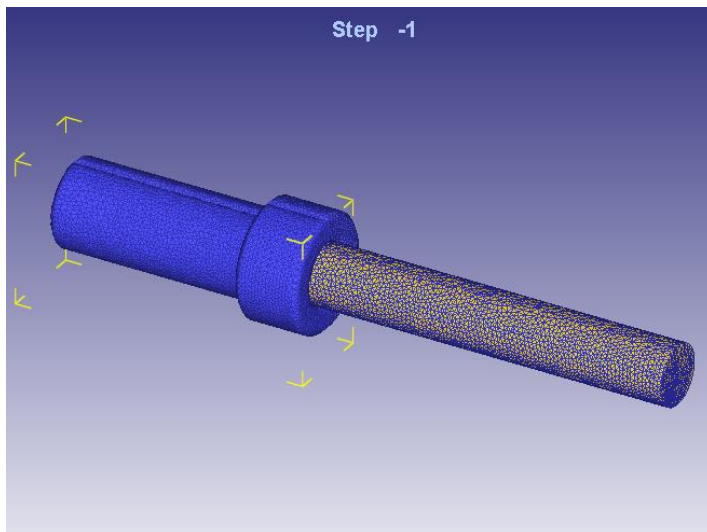



Рис. 22. Позиционирование клещей относительно заготовки

#### 4.1.7 Параметры взаимодействия объектов

После того, как объекты спозиционированы друг относительно друга, определены материалы, заданы свойства объектов, там, где необходимо, создана сетка КЭ, следующим важным шагом является определение параметров взаимодействия объектов. Вызов окна параметров производится нажатием кнопки  **Взаимосвязь между объектами** (Inter-Object). После нажатия клавиши система оповестит о том, что «В настоящее время отношений между объектами не существует. Хотите ли вы, чтобы система по умолчанию установила связь?». Жмем **YES**. Окно назначения параметров связи представлено на рис. 23.

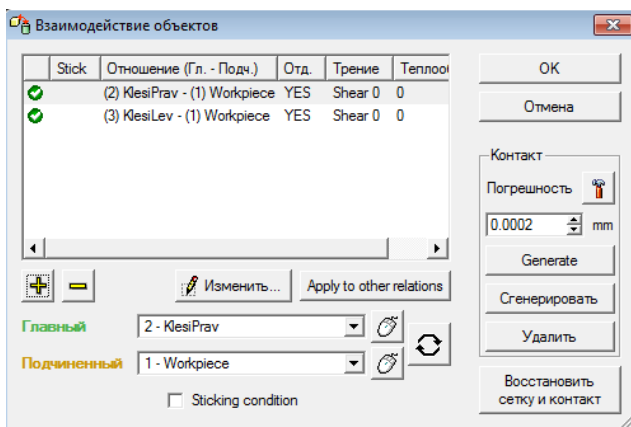




Рис. 23. Окно параметров взаимодействия объектов

Система автоматически установила взаимосвязь между парой объектов. Таким образом, каждое взаимодействие характеризуется парой объектов. Этих пар должно быть создано столько, сколько в моделировании инструментов.

Выберем из списка отношение **KlesiPrav – Workpiece** и нажмем клавишу **Изменить**  **ИЗМЕНИТЬ...**. Так как в данном примере моделируется тепловая задача, на вкладке **Температурные** из всплывающего меню  выберем **Свободное положение (Free resting)** (рис. 24).

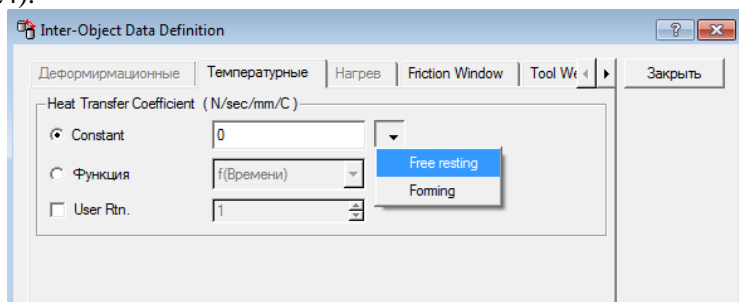
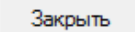



Рис. 24. Установка температурных параметров взаимодействия объектов

Нажатием клавиши  **Закреть** возвращаемся в основное окно установки параметров взаимодействия между объектами. Для уста-



новки такого же температурного коэффициента для других отношений между объектами нажмем **Apply to other relations**. Значение для второй пары изменится автоматически.

Для генерации величины точности, с которой компьютер создаст контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** , после этого нажмем кнопку **Сгенерировать** для создания поверхностей контакта (рис. 25). Нажмем **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

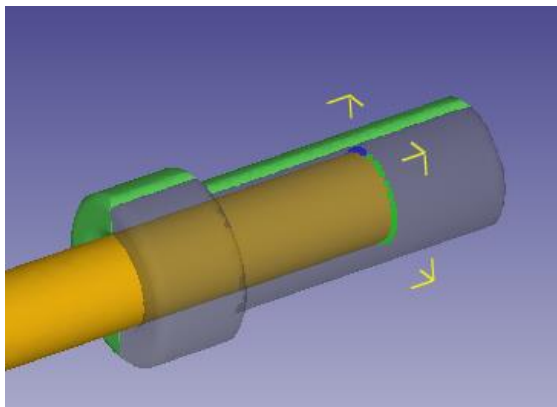



Рис. 25. Контактные пары между объектами взаимодействия

## 2.8 Запись базы данных и ее расчет

Для начала расчета в компоненте программы **Процессор** (Simulator) необходимо произвести запись файла базы данных. Нажатием клавиши  активируем окно **Генерация базы данных**.

Далее необходимо провести проверку имеющейся заготовки базы данных на наличие ошибок нажатием клавиши **Проверить**. В окне **Генерация базы данных** появится отчет о проверке базы. Если система не найдет ошибок, то заданные данные отобразятся зеленым цветом. В отчете появится строка **База данных может быть сгенерирована** (рис. 26).

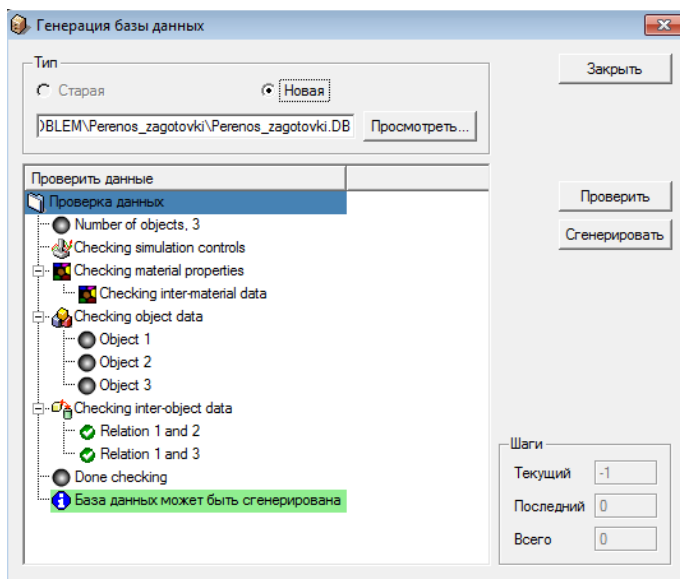




Рис. 26. Окно генерации базы данных

После проверки базы данных на наличие ошибок необходимо её сгенерировать нажатием кнопки **Сгенерировать**. После успешного выполнения данной операции в отчете появится строка **Завершено создание базы данных** (Done writing database).

Выйдем из **Препроцессора**  и в основном окне программы Deform-3D в компоненте **Процессор** нажмем **Старт**. Программа запустит расчет. За ходом расчета можно наблюдать на панели, отображающей краткую информацию моделируемой задачи, сообщения и просмотр процесса моделирования.

#### 4.1.8 Результат моделирования переноса заготовки от печи к штампу

Выберем нужную базу данных и нажатием клавиши [DEFORM-3D Постпроцессор](#) в окне компонента **Постпроцессор** войдем в модуль. Открывшееся окно отображает первоначальное состояние процесса.

Для просмотра всех шагов процесса нажмем  и выберем **All** (рис. 27).

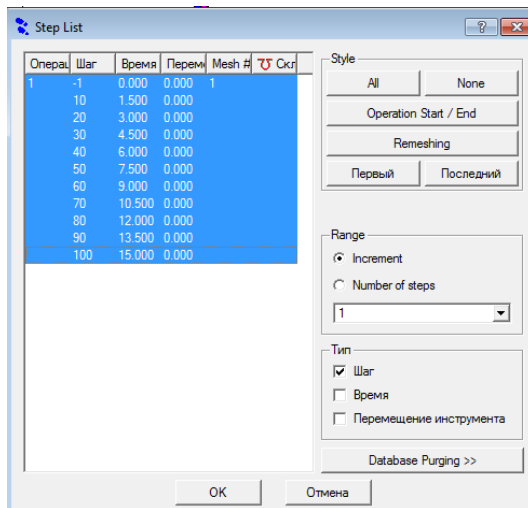




Рис. 27. Выбор всех шагов моделирования

В дереве объектов выберем **Заготовка (Workpiece)** в режиме одного объекта  для просмотра охлаждения заготовки. В верхнем правом углу из всплывающего меню **Параметров**  выберем **Температура (Temperature)**. В нижнем правом углу на вкладке **Shaded** в **Цветовом типе (Colour type)** из всплывающего меню выберем **Temperature**.

Переходим по шагам расчета и наблюдаем, как меняется цвет **Заготовки**, когда она охлаждается при переносе от печи к штампу. Также можно наблюдать, что за счет контакта с клещами основание заготовки остывает быстрее (рис. 28). Выбрав в дереве объектов **KlesiPrav** или **KlesiLev** можно увидеть, как происходит нагрев оснастки (рис. 29).

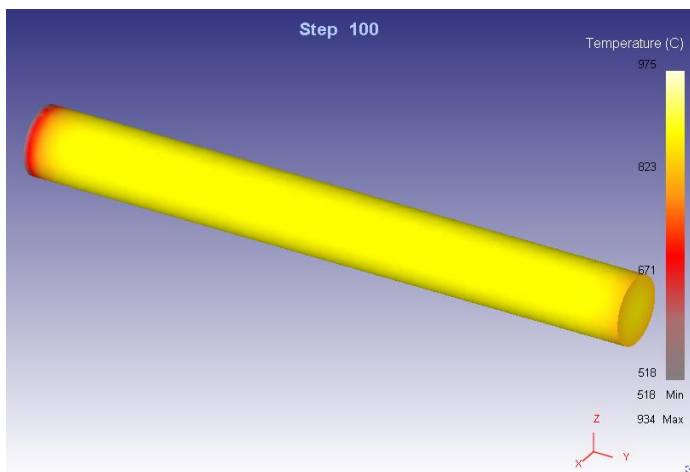


Рис. 28. Охлаждение заготовки

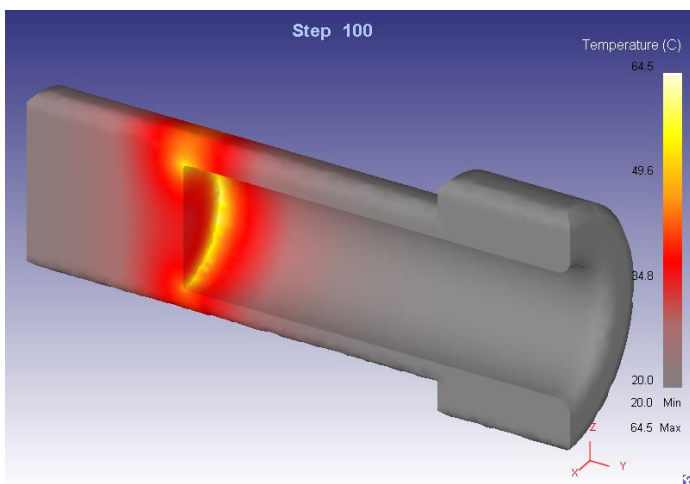


Рис. 29. Нагрев клещей

## 4.2 Высадка – набор конуса в $\Gamma^{\text{ом}}$ ручье

Загрузим в **Препроцессор** последний шаг переноса заготовки от печи к штампу. В основном главном меню программы Deform-3D выберем созданную ранее базу данных и нажатием клавиши [DEFORM-3D Препроцессор](#) загрузим шаг под номером 100 (рис. 30).

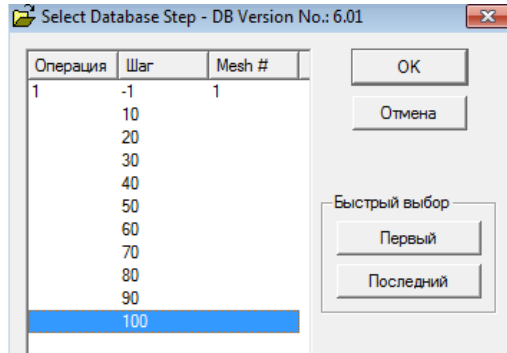

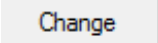

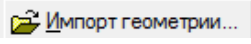


Рис. 30. Загрузка последнего шага в препроцессор

#### 4.2.1 Загрузка оснастки для операции высадки

В **Препроцессоре** в дереве объектов добавим  три новых элемента. Выберем один из элементов и во вкладке **Общее** переименуем выбранный объект на **Puanson\_nabor**, 2 остальных – **Matrica\_nabor1** и **Matrica\_nabor2**. Для принятия изменения нажмем .

Сделаем активным **Puanson\_nabor** и перейдем к закладке **Геометрия** , где нажатием клавиши  **Импорт геометрии...** загрузим геометрию инструмента. Тоже самое сделаем и для **Matrica\_nabor**, состоящей из двух половинок, левой и правой. Результат импорта представлен на рис. 31.

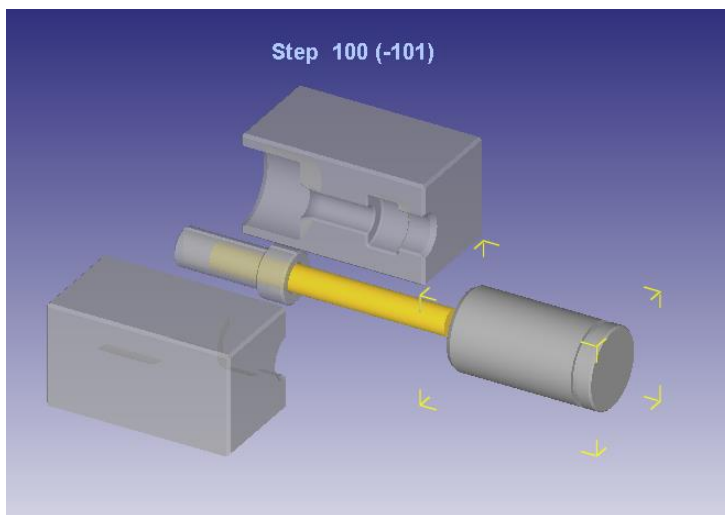



Рис. 31. Загрузка оснастки для высадки

После запуска препроцессора необходимо нажать **Simulation controls** , где изменим заголовок задачи на **Visadka**, а название операции на **Nabor\_ruchei\_1**. Убедимся, что в качестве системы измерения установлена система «СИ». Для данной операции нужно активировать режим **Деформирования** и **Теплопередачи** (рис. 32).

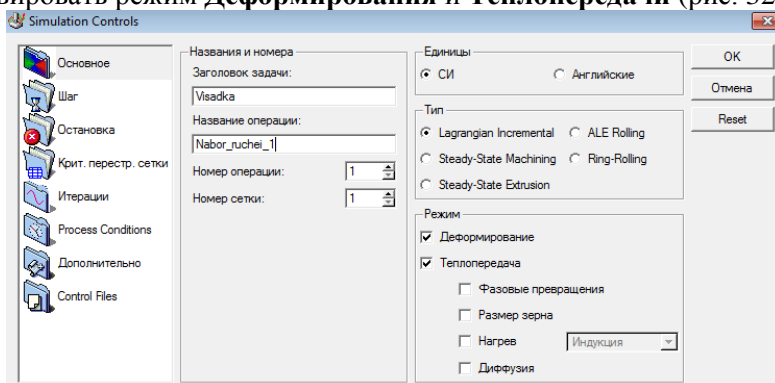
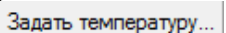


Рис. 32. Установка параметров расчета

Во вкладке **Шаг** в качестве **Главного инструмента** выберем **Puanson\_nabor**. Назначим значение ход/шаг 1 мм/шаг и количество шагов 100.

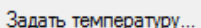
Далее необходимо назначить температуру штампа. Температура назначается двумя способами:

1. Постоянная температура – наличие сетки в данном случае не требуется, температура оснастки остается постоянной во время операции. Значение температуры задается во вкладке **Общее**



2. Непостоянная температура – требуется наличие сетки на объекте, температура оснастки изменяется в ходе расчета.


В нашей операции будем использовать второй способ, требующий наличия сетки на объекте. В дереве объектов выбираем **Puanson\_nabor**. В начальный момент времени оснастка имеет температуру 20 °С. Температуру оснастки оставим по умолчанию




(20 °С). Выбираем вкладку 


тип сетки будем использовать **Относительный**, количество элементов 50000, коэффициент отношения 2. Далее создаем **Поверхностную сетку**, затем **Объемную**. Нанесение сетки на обе половинки **Matrica\_nabor** произведем по аналогии.

Далее зададим граничное условие Теплообмена с окружающей средой (**Heat Exchange with Environment**). Выбираем **Pu-**

**anson\_nabor**, для удобства нажмем на клавишу  в нижнем правом углу Древа объектов. На экране отразится только пуансон. На

вкладке **Boundary conditions** (Граничные условия)  выберем

**Heat Exchange with Environment** (Теплообмен с окружающей средой). В области Экран щелкнем клавишей на поверхность, которая взаимодействует с заготовкой, выбранная поверхность окрасится

зеленым цветом. Нажатием клавиши  добавим граничное условие. Аналогично сделаем и для двух половинок **Matrica\_nabor**

(рис. 33).

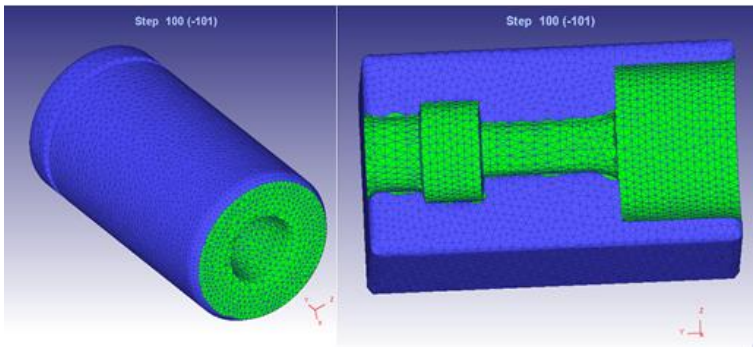



Рис. 33. Задание граничных условий оснастки

Выберем в **Дереве объектов** рабочий инструмент (Puncon\_nabor), на вкладке **Общее** в разделе **Материал** из всплывающего меню выбираем AISI-L6, загруженный из библиотеки программы. Результат выбора отразится в Дереве объектов рядом с названием объекта. Для матрицы выполняем тоже самое, что и для пуансона. Выбранные материалы импортируются в задачу моделирования.

Далее необходимо спозиционировать объекты, загруженные в программу, друг относительно друга. Расположение объектов задается нажатием клавиши **Позиционирование объектов** (Object positioning) , расположенной в **Панели инструментов** в верхнем правом углу. Положение заготовки (Workpiece) необходимо задать относительно штампа. Выберем метод позиционирования **Интерференция**, в качестве позиционируемого объекта укажем **Puncon\_nabor** относительно **Workpiece**. Направление перемещения (Approach direction) зададим **-Y** и клавишей **Применить** спозиционируем пуансон. Также зададим положение и для других деталей задачи. Если возникают проблемы с расположением, то используем другие методы позиционирования и располагаем детали штампа в верном положении друг относительно друга. Результат позиционирования представлен на рис. 34.



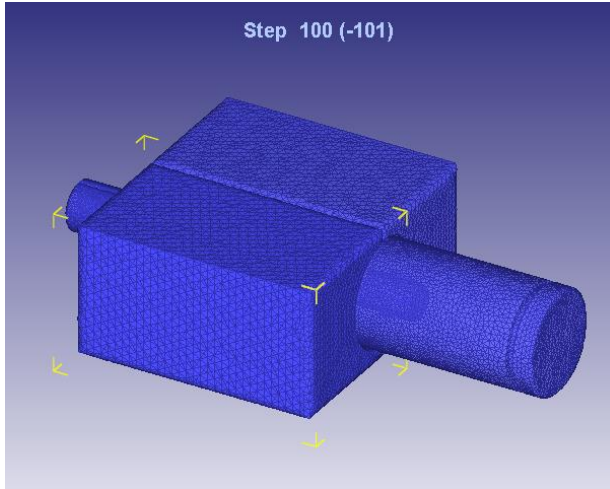



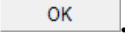


Рис. 34. Позиционирование оснастки относительно заготовки

Следующим шагом назначим условия останова штампа. Моделирование задачи будет остановлено, когда расстояние между пуансоном и матрицей будет равно 0 мм. Выберем **Параметры расчета** (Simulation Controls)  и перейдем на вкладку **Остановка**  , далее на **Расстояние между инструментом**. Нажмем кнопку  и в окне Экран выберем две точки останова, как на рис. 35. Установим **Расстояние 0 мм** в качестве остановки. Выходим из меню **Параметры расчета** .

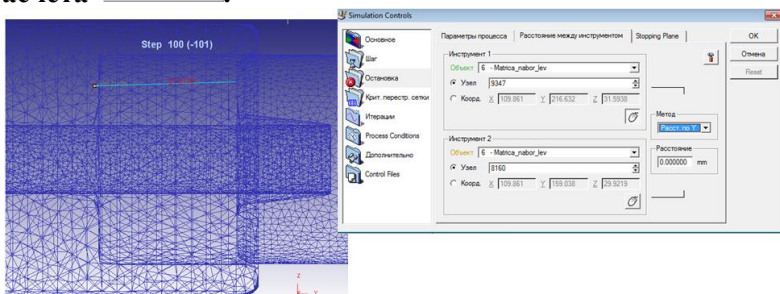



Рис. 35. Назначение условий останова

В данном расчете пуансон движется, для этого необходимо определить его перемещение. В **Дереве объектов** выберем **Пу-**

**ancon\_nabor.** Пуансон является главным инструментом, поэтому нужно поставить галочку  **Главный инструмент** во вкладке **Общее**. Пе-

рейдем на вкладку **Движение**  **Движение**, где зададим направление перемещения –Y, постоянные значения скорости (Constant value) 100 мм/сек (рис. 36).

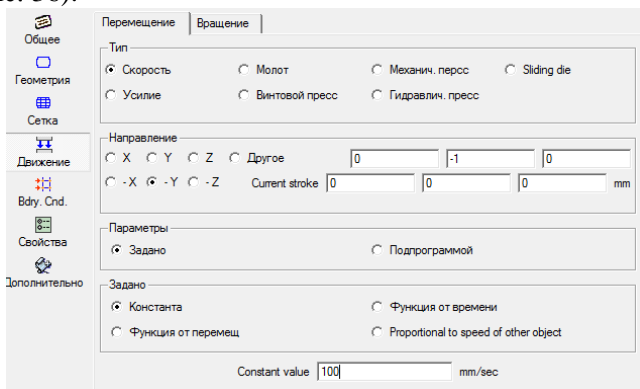






Рис. 36. Задание значений перемещения


Далее важным шагом является определение параметров взаимодействия объектов. Вызов окна параметров производится нажатием кнопки  **Взаимосвязь между объектами (Inter-Object)**. После нажатия клавиши система оповестит о том, что «В настоящее время отношений между объектами не существует. Хотите ли вы, чтобы система по умолчанию установила связь?». Жмем **YES**. Система автоматически установила взаимосвязь между объектами.

Связи в DEFORM определяются в отношении **Главный – Подчиненный** объект. В этом расчете, деформируемая заготовка размещена между пятью жесткими инструментами. Жесткие инструменты определяются как **Главные объекты**, а деформируемая заготовка как **Подчиненный объект**.

Выберем из списка отношение **Puancon\_nabor – Workpiece** и нажмем клавишу **Изменить**  **Изменить...**. Так как в данном примере моделируется тепловая задача и процесс деформирования, на вкладке **Температурные** из всплывающего меню  выберем **Коэффи-**

**коэффициент формовки** (Forming), а на вкладке **Деформационные** в области **Value** выберем коэффициент Hot forming (lubricated) (Горячая ковка со смазкой). Клавишей **Заккрыть** возвращаемся в основное окно установки параметров взаимодействия между объектами. Для установки такого же температурного и деформационного коэффициентов для других отношений между объектами нажмем **Apply to other relations**.

Перед созданием контакта между заготовкой и инструментом, необходимо определить значение точности. Большое значение точности приведет к тому, что слишком много узлов попадет в контакт с поверхностью инструмента, что может разрушить сетку заготовки. Маленькое значение точности приведет к тому, что некоторые узлы не попадут в контакт и контакт не будет создан. При нажатии на кнопку  в разделе Точность (Tolerance), DEFORM определит приемлемое значение точности.

Для генерации величины точности, с которой компьютер создаст контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** . После этого нажмем кнопку **Сгенерировать** для создания поверхностей контакта (рис. 37). Нажмем **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

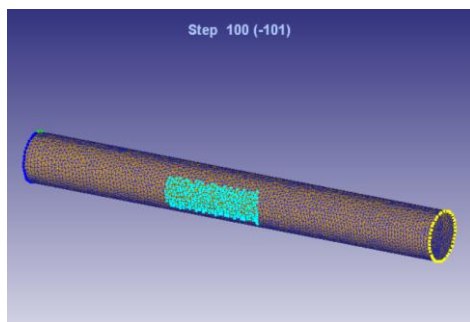



Рис. 37. Контакт заготовки с инструментом

Перед тем как компонент программы **Процессор** (Simulator) начнет расчет необходимо произвести запись файла базы данных.

Клавишей  активируем окно **Генерация базы данных**.

Проведем проверку имеющейся заготовки базы данных на наличие ошибок нажатие клавиши **Проверить**. В окне **Генерация базы данных** появится отчет о проверке базы. Если система не найдет ошибок, то заданные данные отобразятся зеленым цветом. В отчете появится строка **База данных может быть сгенерирована**.

Далее сгенерируем базу данных нажатием кнопки **Сгенерировать**. После успешного выполнения данной операции в отчете появится строка **Завершено создание базы данных** (Done writing database).

Запустим расчет задачи. Для этого выйдем из **Препроцессора** и в компоненте **Процессор** нажмем **Старт**. Программа запустит расчет.

#### 4.2.2 Перенос результата моделирования в Постпроцессор

После окончания расчета задачи заходим в **Постпроцессор** программы **Post Processor**. В левом верхнем углу нажмем **Настройки шагов** и в появившемся меню выберем все шаги **All**. В Дереве объектов укажем на **Заготовку** (Workpiece) и выберем **Single object mode**. В нижней части Древа объектов выберем **Show contact nodes** для просмотра контакта между заготовкой и инструментом (рис. 38).

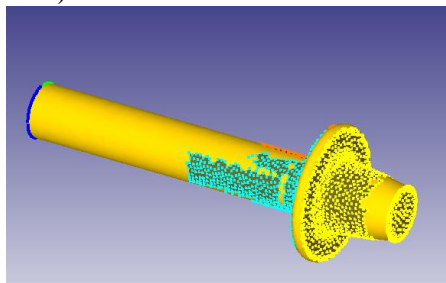




Рис. 38. Контакт между заготовкой и инструментом

Перемещаясь по шагам расчета, можно увидеть изменение параметров в процессе операции.

Изменение **Температуры** (Temperature) и **Эффективных деформаций** (Strain-Effective) можно наблюдать, нажав , и в сплывающем меню выбрав нужный параметр. С помощью клавиши  можно выполнить необходимый разрез заготовки для анализа параметров. Изменение температуры и эффективных деформаций представлено на рис. 39 и 40 соответственно.

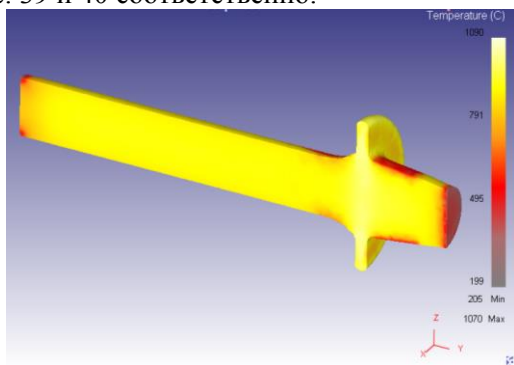


Рис. 39. Изменение температуры

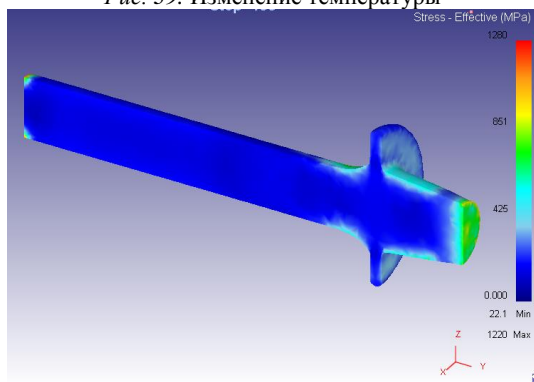



Рис. 40. Эффективные деформации

Для отображения параметра **Температура** бывает полезно нанести данные на гистограмму. Гистограмма – есть график, на котором в виде столбцов показано, сколько узлов сетки КЭ попадает в данный интервал выборки. Таким образом, на гистограмме можно подсчитать объемы детали с теми или иными параметрами. Для вывода данных о параметре в виде гистограммы, в меню **Параметры**  в самом низу окна, поставим галочку напротив **Гистограмма** (Histo-

gram) и введем параметр **Количество интервалов** (Bin width). На рис. 41 представлена гистограмма распределения температуры объекта.

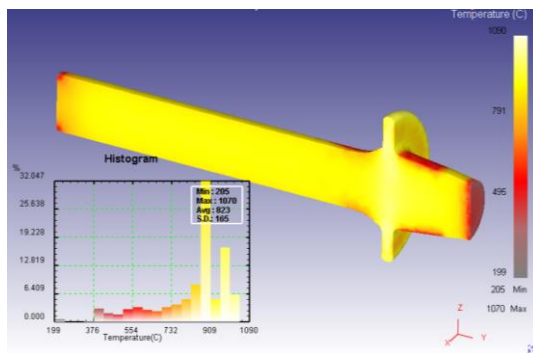



Рис. 41. Гистограмма распределения температуры

С помощью клавиши **График (Усилия-Перемещения)**  можно посмотреть графики зависимости усилий, действующих на объекты моделирования. В появившемся меню в левой верхней области **Изображаемые объекты** (Plot objects) выберем **Puanson\_nabor**. Для выбранного объекта будут построены графики изменения усилия. В правой области **Ось абсцисс** (X-axis) выберем величину **Перемещение главного инструмента** (Stroke), откладываемой вдоль оси OX в будущем графике. В области **Ось ординат** (Y-axis) выберем величину **Усилие на инструмент** в направлении оси OX (X-load). Пример графика изменения усилия, действующего на пуансон, представлен на рис. 42.

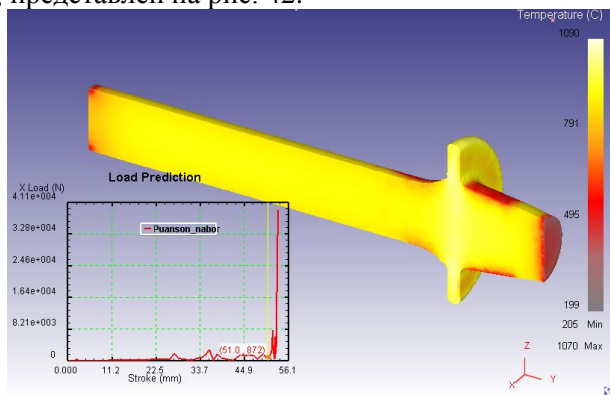


Рис. 42. График усилия на инструмент


## 4.3 Высадка – набор конуса во П<sup>ом</sup> ручье


### 4.3.1 Замена штамповочной оснастки



Для моделирования операции высадки набора конуса во П<sup>ом</sup> ручье необходимо заменить пуансон и матрицу на формовочные и произвести настройку задачи.

Перейдем в главное окно программы Deform-3D. Выберем файл базы данных **Perenos\_zagotovki** и загрузим **Препроцессор**, выбирая последний шаг первой формовочной операции.


Для замены пуансона и матрицы в **Дереве объектов** выберем **Puancon\_nabor** и на вкладке сетка **Mesh** удалим ее клавишей


 Удалить сетку

. Для замены геометрии выберем вкладку **Геометрия**  и клавишей **Импорт геометрии** перенесем новую геометрию пуансона в формате STL. Те же действия выполним и для матрицы.


На вкладке **Общее**  переименуем выбранный объект на **Puancon\_form**, применим изменения  **Change**. Разбиение на сетку

КЭ  **Сетка** и назначение материала  проводится аналогично первой формовочной операции.



Далее необходимо переопределить граничные условия теплообмена. Для этого выберем **Puancon\_form** и на вкладке **Boundary conditions** (Граничные условия)  выберем **Heat Exchange with Environment** (Теплообмен с окружающей средой). В области **Экран**



щелкнем клавишей на поверхность, которая взаимодействует с заготовкой, выбранная поверхность окрасится зеленым цветом. Нажатием клавиши  добавим граничное условие. Аналогично сделаем и для двух половинок **Matrica\_form**.

Так как были загружены новые объекты моделирования, то их необходимо спозиционировать друг относительно друга. Клавишей



**Позиционирование объектов** (Object positioning) , расположенной в **Панели инструментов** в верхнем правом углу, зададим

положение заготовки (Workpiece) относительно штампа. Также зададим положение и для других деталей задачи.

Следующим шагом будет создание контакта между заготовкой и инструментами. Вызов окна параметров взаимодействия производится нажатием кнопки  **Взаимосвязь между объектами** (Inter-Object). Установим связь между объектами и клавишей **Погрешность** , создадим контактные пары, затем сгенерируем связь для создания поверхностей контакта. Нажмем **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

Произведем запись файла базы данных клавишей . Проведем проверку имеющейся заготовки базы данных на наличие ошибок нажатием клавиши **Проверить**. Далее сгенерируем базу данных нажатием кнопки **Сгенерировать**. Запустим расчет задачи. Для этого выйдем из **Препроцессора**  и в компоненте **Процессор** нажмем **Старт**. Программа запустит расчет.

### 4.3.2 Перенос результата моделирования в Постпроцессор

После того как закончится расчет задачи заходим в **Постпроцессор** программы **Post Processor**. В **Настройках шагов**  выберем все шаги **All**. С помощью клавиши **Show contact nodes**  посмотрим контакт между заготовкой и инструментом. Перемещаясь по шагам расчета, можно увидеть изменение параметров в процессе операции. Также рассмотрим изменение **Температуры** (Temperature) и **Эффективных деформаций** (Strain-Effective) (рис. 43 – 47).



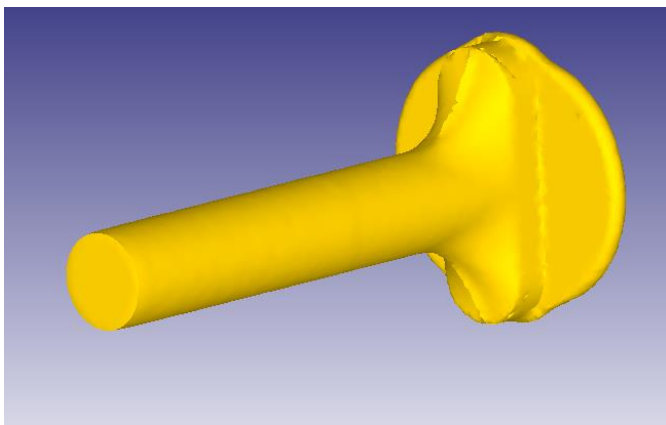


Рис. 43. Формовка-набор конуса во  $\Pi^{\text{ом}}$  ручье

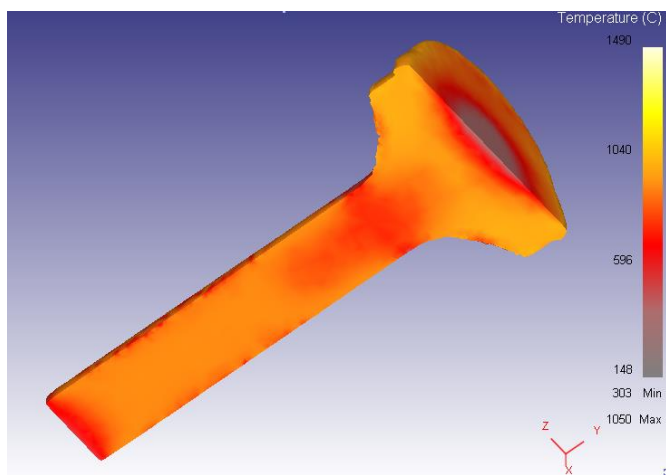


Рис. 44. Распределение температуры в заготовке

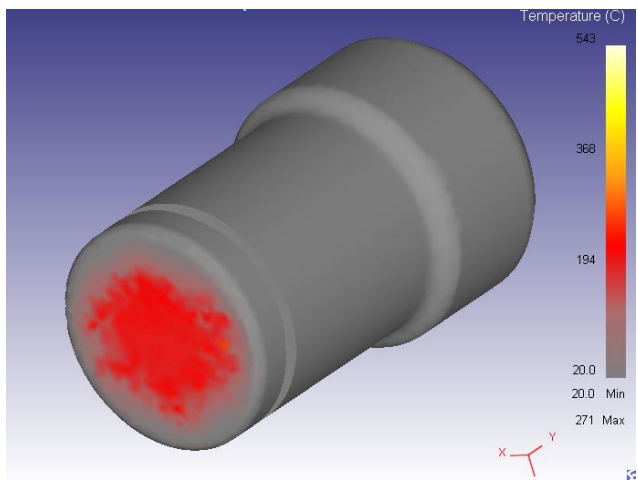


Рис. 45. Нагрев пуансона после контакта с заготовкой

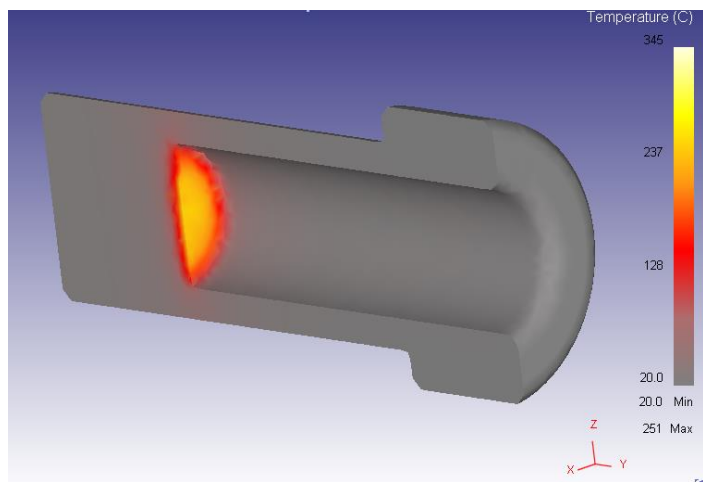


Рис. 46. Нагрев клещей после контакта с заготовкой

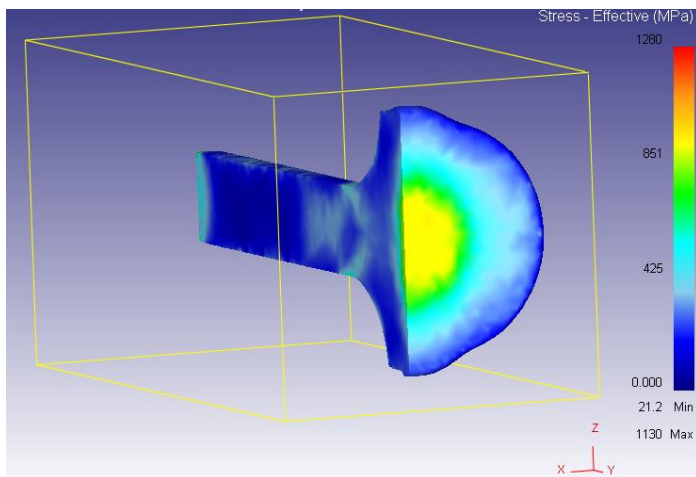






Рис. 47. Эффективные деформации

#### 4.4 Штамповка лопаток

Для расчета последнего этапа моделирования осуществляем загрузку задачи в препроцессоре с последнего шага второй формовочной операции. Геометрию инструмента  Геометрия, используемого на этапе формовки, заменяем на нижний и верхний вкладыши штампа.

Далее для расчета осуществляем позиционирование  инструмента относительно заготовки и создание новых контактных взаимодействий . Следующим шагом задаем настройки расчета ,

генерацию базы данных  и выполнение расчета.

С помощью программы NX 8.5 построим верхнюю половину штампа (рис. 48), к которому был достроен облойный мостик, и нижняя половина штампа (рис. 49).

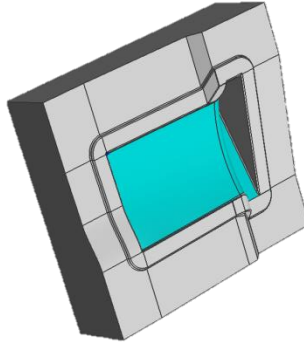


Рис. 48. Верхняя половина штампа

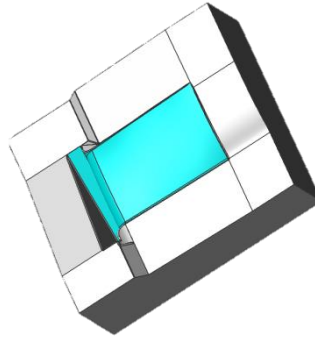



Рис. 49. Нижняя половина штампа

Для передачи построенной геометрии верхней и нижней половин штампа в программу DEFORM используем формат STL. Импорт геометрии осуществляем через панель Geometry  Геометрия. Результат интегрирования представлен на рис. 50.

Загруженные данные о геометрии инструмента были проверены на наличие ошибок, связанных с трансляцией данных через формат STL.

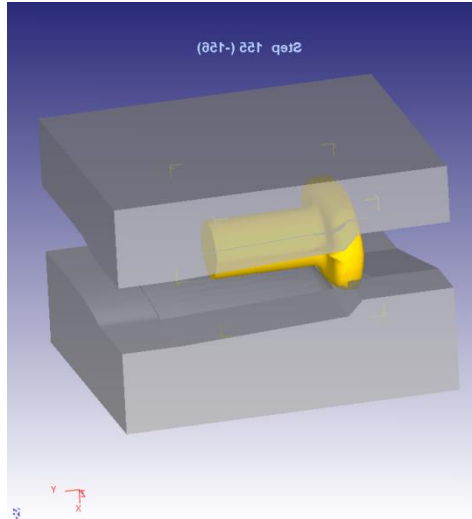


Рис. 50. Расположение заготовки в штампе

Результат моделирования операции штамповки изображен на рис. 51, где наиболее интенсивное деформирование металла наблюдается на облойном мостике. Центральная часть пера, наиболее нагруженная в ходе работы, испытывает деформации менее 15%. Интенсивность деформаций составила более 80%.

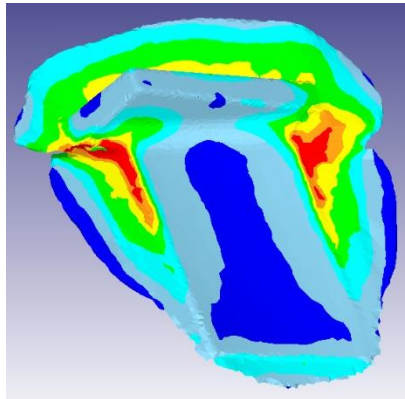


Рис. 51. Интенсивность деформаций

На рис. 52 показано поле значений критерия разрушения материала, следовательно, в теле лопатки разрушение не прогнозируется.

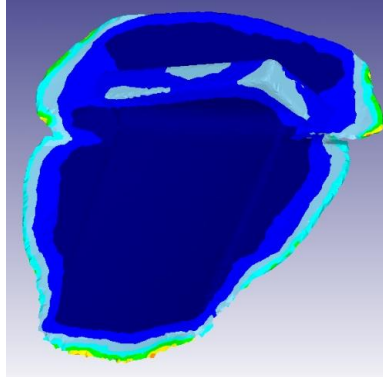


Рис. 52. Критерий разрушения

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие способы позиционирования объектов Вы знаете?
2. Как создать контактные поверхности и определить условия трения?
3. Какие форматы построения геометрии могут быть использованы в DEFORM-3D?
4. Как задать граничные условия на поверхности по которой осуществляется теплообмен?
5. Какие способы Построения сетки КЭ Вам известны?
6. Как влияют варианты разбиения сетки КЭ на результат расчета?
7. Как присвоить материал из библиотеки рассматриваемому объекту?
8. Как задать температуру заготовки или любого объекта используемого при моделировании?
9. По каким характеристикам описываются материалы в библиотеке программы?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харламов, А.А. DEFORM-2D: лабораторные работы [Текст] / А.А. Харламов – М.: Артех, 2000. -93 с.
2. Шляпугин, А.Г. Моделирование процессов ОМД в программе DEFORM 2D: методические указания к лабораторным работам [Текст] / А.Г. Шляпугин, С.Ю. Звонов - Из-во: Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 90 с.
3. Охрименко, Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства [Текст] / Я.М. Охрименко – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.

Учебное издание

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОМД В ПРОГРАММНОМ  
КОМПЛЕКСЕ DEFORM**

*Методические указания к лабораторной работе*

Составители: ***Сотов Антон Владимирович***  
***Смелов Виталий Геннадиевич***  
***Агаповичев Антон Васильевич***  
***Карташов Роман Дмитриевич***

Редактор

Доверстка

Подписано в печать . Формат

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ.л.

Тираж экз. Заказ . Арт. -

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С.П. КОРОЛЁВА»  
(Самарский университет)  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского университета. 443086, Самара, Московское шоссе, 34