

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЁВА»

**А. Г. Шляпугин, И. Н. Хаймович, Е. Г. Демьяненко**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОМД  
С ПОМОЩЬЮ CAE-СИСТЕМ**

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЁВА»

А. Г. Шляпугин, И. Н. Хаймович, Е. Г. Демьяненко

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОМД С ПОМОЩЬЮ САЕ-СИСТЕМ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

УДК 658.52.011.56(075)  
ББК 34.6  
Ш705

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. Е. А. Носова,  
канд. техн. наук, доц. А. И. Хаймович

**Шляпугин А. Г.**  
**Ш705 Моделирование процессов ОМД с помощью CAE-систем / А. Г. Шляпугин, И. Н. Хаймович, Е. Г. Демьяненко.** – Самара : Изд-во Самарского государственного аэрокосмического ун-та, 2007. – 48 с. : ил.

**ISBN 978-5-7883-0565-3**

Учебное пособие знакомит студентов с возможностями CAE-систем SuperForge и Deform. В нем рассмотрены общие принципы работы с базами данных: физических, механических и реологических свойств штампуемого материала; приведены примеры моделирования операцийковки и штамповки, с учётом влияния температуры заготовки, температуры штампа, трения, параметров оборудования.

Рекомендуется для студентов, обучающихся по специальностям 150106 и 150201, но может быть полезно и студентам других факультетов вуза.

Составлено на кафедре «Обработка металлов давлением».

УДК 658.52.011.56(075)  
ББК 34.6

**ISBN 978-5-7883-0565-3**

© Шляпугин А. Г., Хаймович И. Н.,  
Демьяненко Е. Г., 2007  
© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2007

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Моделирование операции свободнойковки с помощью программы Deform 2D.....	6
1.1. Создание новой задачи.....	6
1.2. Интерфейс препроцессора.....	7
1.3. Предварительная установка настроек препроцессора.....	9
1.4. Работа с объектами.....	9
1.5. Задание геометрии объекта.....	11
1.6. Работа с изображением модели.....	13
1.7. Сохранение данных.....	15
1.8. Создание новых объектов и импортирование геометрии для них.....	15
1.9. Позиционирование объектов.....	17
1.10. Назначение контактных поверхностей.....	18
1.11. Задание движения верхнего инструмента.....	20
1.12. Установка настроек задачи.....	21
1.13. Создание файла базы данных.....	22
1.14. Запуск задачи на расчёт.....	24
1.15. Оценка полученных результатов.....	25
Контрольные вопросы.....	28
2. Моделирование процесса штамповки зубчатого колеса в открытом штампе в системе SuperForge.....	30
2.1. Описание данных используемых для расчёта в программе SuperForge.....	30
2.1.1. Температура заготовки.....	30
2.1.2. Температура инструмента.....	31
2.1.3. Условия трения на контактных поверхностях.....	32
2.1.4. Задание параметров используемого оборудования (условий силового воздействия на заготовку).....	33
2.2. Последовательность действий, осуществляемая при моделировании процесса штамповки в программе SuperForge.....	36
2.3. Оптимизационный расчёт размеров заготовки.....	43
Контрольные вопросы.....	45
Заклочение.....	46
Рекомендуемая литература.....	47

## ВВЕДЕНИЕ

Задачами дисциплины «Ковка и горячая объёмная штамповка» являются анализ и разработка технологических процессов, позволяющих обеспечивать изготовление поковок и готовых деталей, требуемой формы. Для разработки технологического процесса необходимо знать:

- закономерности формоизменения заготовки на основных операциях ковки и штамповки;
- виды, особенности, преимущества и недостатки основных и вспомогательных операций типовых технологических процессов;
- конструктивно-технологические особенности основных типов кузнечно-штамповочного оборудования;
- типовые методики расчёта технологических параметров распространённых процессов ковки и объёмной штамповки и их связь с конструктивными особенностями применяемого оборудования.

Большинство предприятий нашей страны проектирование инструмента и выбор режимов обработки для выполнения операций штамповки и формирования всего технологического процесса все еще проводят методом проб и ошибок. С точки зрения достижения необходимых качеств конечного продукта такой метод зачастую не является ни оптимальным, ни экономичным. Однако существует и альтернативный метод – численное моделирование процесса штамповки в специализированных программных пакетах (CAE-системах), которые позволяют представить особенности процесса до принятия окончательных решений по технологической оснастке и организации самого процесса. В плане экономии времени и затрат этот метод обладает значительными преимуществами.

Для описания широкого набора технологических задач CAE-системы предусматривают различные модели, описывающие поведение материала, задание взаимодействия контактных поверхностей, методы расчёта конечно-элементной модели. Приводимые в пособии примеры позволяют продемонстрировать возможность использования CAE-систем для моделирования процессов ковки и объёмной горячей штамповки. Каждая из таких программ имеет свои особенности задания исходных данных и исследования полученных результатов.

Deform и SuperForge являются наиболее «дружелюбными» системами, позволяющими технологу в кратчайшие сроки освоить и быстро получить требуемое решение, при этом от технолога не требуется фундаментальных знаний в области метода конечных элементов и умения программировать. Для использования Deform и SuperForge достаточно лишь базовых навыков работы на персональном компьютере и знания специфики обработки металлов давлением.

Проектирование процессов ОМД, не толькоковки, но и штамповки, прежде всего, основывается на рассмотрении отдельных операций. В данном пособии рассматриваются вопросы, связанные с моделированием операцииковки и штамповки с помощью САЕ-систем.

Первый раздел пособия посвящен проектированию операцииковки в программе Deform 2D, второй – операции штамповки зубчатого колеса в системе SuperForge. Оба раздела содержат информацию о последовательности действий, которые необходимо выполнить для моделирования рассматриваемой операции.

Студенты, изучающие дисциплину «Ковка и объёмная горячая штамповка», после ознакомления с приводимыми ниже примерами, могут осуществлять самостоятельный расчёт отдельных технологических операций, рассчитываемых в курсовом проектировании.

# 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ СВОБОДНОЙ КОВКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ DEFORM 2D

## 1.1. Создание новой задачи

Запустите Deform 2D, указав левой кнопкой мыши (ЛКМ) последовательно ПУСК / ПРОГРАММЫ / Deform 2D. Будет вызвано Главное окно Deform 2D (см. рис. 1.1).

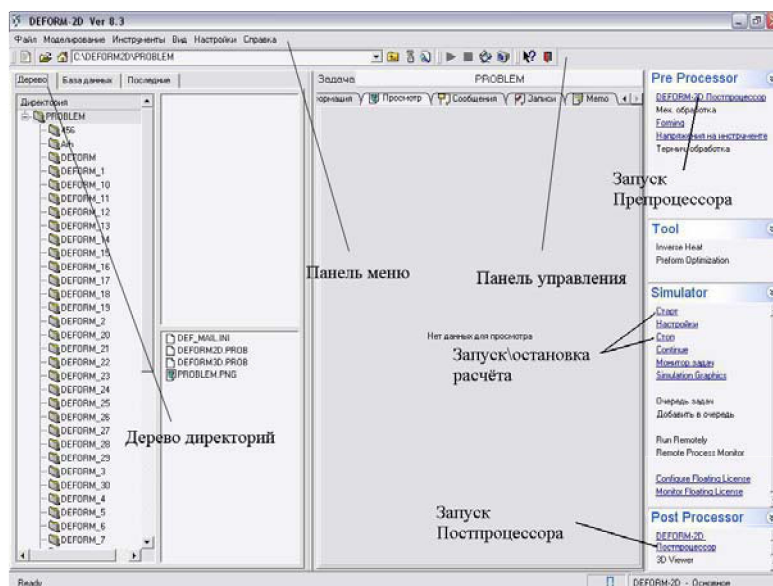




Рис. 1.1. Главное окно Deform 2D



Рассмотрите расположение панелей и кнопок. В верхней части окна находится **Панель меню**, содержащая меню: **Файл**, **Моделирование**, **Инструменты**, **Вид**, **Настройки**, **Справка**. Рассмотрим наиболее часто используемые меню – **Файл** и **Моделирование**.

Меню **Файл** содержит команды, используемые для создания новых задач и перемещения между директориями каталога операционной системы.



Команда **Новая задача** (New Problem, ) позволяет создать новую задачу и запустить препроцессор, позволяющий задавать исходные данные.


Команда **изменить Директорию в дереве** ) позволяет перемещаться по различным директориям операционной системы.

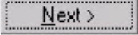
Команда **Выход**  позволяет выйти из программы.

Меню **Моделирование** необходимо для запуска задачи на расчёт и управления задачами в ходе расчёта. Для запуска задачи на расчёт и аварийной остановки расчёта используются команды **Старт**  и **Стоп** . Команды этих меню для более быстрого доступа вынесены на **Панель управления**, расположенную непосредственно под **Панелью меню**.

В левой части экрана в **Главном окне** расположено **Дерево директорий**, которое отражает текущее расположение задачи по отношению к **Дереву каталогов**, используемому в операционной системе.

Создайте новую задачу, выбрав из меню **Файл** пункт **Новая задача** , или нажав кнопку **Новая задача**  на **Панели управления**.

Появится окно **Параметры задачи**, в котором необходимо определить особенности моделируемого процесса. Не указывая тип решаемой задачи, нажмите кнопку , для того чтобы запустить препроцессор (тип задачи можно определить в препроцессоре).

В следующем активном окне снова нажмите на кнопку , приняв, что задача создается в «домашней» директории (по умолчанию это директория PROBLEM, расположенная в папке Deform 2D).

Название задачи должно быть набрано арабскими цифрами. Допускается набор названия английскими литерами без пробелов. Вместо пробелов можно использовать символ подчеркивания.

Дайте название задачи, набрав номер группы.

Нажмите кнопку .

Произойдет запуск препроцессора Deform 2D. Рассмотрим его интерфейс (рис. 1.2).

## 1.2. Интерфейс препроцессора

Интерфейс препроцессора состоит из нескольких частей, а именно: Окна **Дисплей** (DISPLAY window), **Дерева Объектов** (Object Tree) и области **Данные Объекта** (Object Data). Также вверху экрана находится **Панель меню** и **Панель управления**, содержащие ряд кнопок.

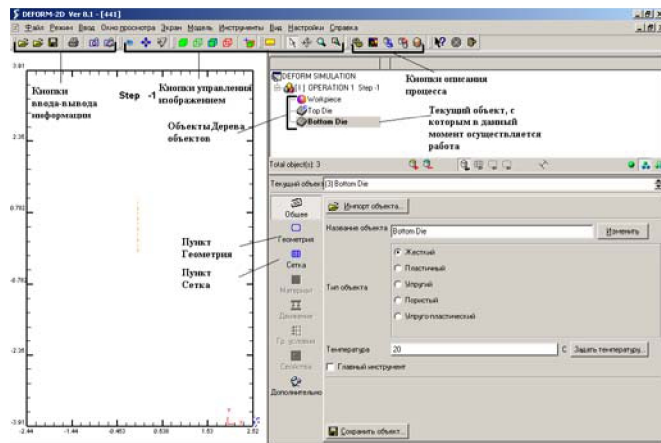


Рис. 1.2. Интерфейс препроцессора

Наиболее часто используемые кнопки, расположенные на **Панели управления** представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Кнопки **Панели управления**

Кнопка		Название	Назначение
Версия 8.0	Версия 8.3		
		<b>Настройки задачи</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором осуществляется задание параметров моделирования и определение критериев его остановки.
		<b>Материал</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором определяются свойства материалов.
		<b>Расположение объектов</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором осуществляется управление расположением объектов относительно начала координат и друг друга.

		<b>Связи объектов</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором определяются отношения между объектами (контактные поверхности и их характеристики).
		<b>Создание базы данных</b>	Обеспечивает доступ к меню, в котором создается база данных, требующаяся для расчёта задачи.
		<b>Выход</b>	Выход из препроцессора и возврат в Главное окно.

### 1.3. Предварительная установка настроек препроцессора

Нажмите кнопку **Настройки задачи** . Появится окно **Настройка задачи**, в котором по умолчанию будет активна закладка **Основное** (рис. 1.3). Убедитесь в том, что в качестве системы измерения установлена система СИ (напротив надписи «СИ» должен стоять флажок), выбран режим расчета деформаций (галочка напротив надписи «Деформирование»), а решаемая задача обладает геометрической осевой симметрией (флажок напротив «Осесимметричная»).

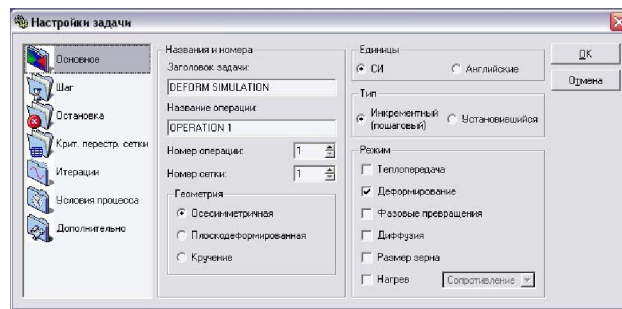


Рис. 1.3. Окно **Настройки задачи**

Для завершения работы с окном **Настройки задачи** нажмите кнопку **OK**.

#### 1.4. Работа с объектами

Обратите внимание на то, что в **Дереве объектов**, после создания задачи, был создан всего один исходный объект, а именно **Заготовка (Workpiece)**. Этот объект выделен в **Дереве объектов**, и на **Панели инструментов** активен пункт **Общее** (рис. 1.4). Рассмотрим данный пункт более подробно.

Пункт **Общее** позволяет:

- выбрать тип объекта, участвующего в расчёте (жёсткий, упругий, пластичный, пористый и упруго-пластичный);
- указать исходную температуру объекта;
- сохранять в отдельном файле и импортировать объект из задач, которые решались ранее.

Измените имя объекта с **Workpiece** на **Billet**. Для этого в строке **Название объекта** вместо **Workpiece** наберите **Billet** и нажмите на клавиатуре клавишу **Enter**. Измените тип объекта на «Жёсткий», обратите внимание на изменение значка, находящегося справа от надписи **Billet** в **Дереве объектов**. Измените тип объекта на «Пластичный».

Под «пластичным» объектом понимается объект, испытывающий только пластические деформации. По аналогии могут быть заданы «упругий» и «упруго-пластичный» объекты.

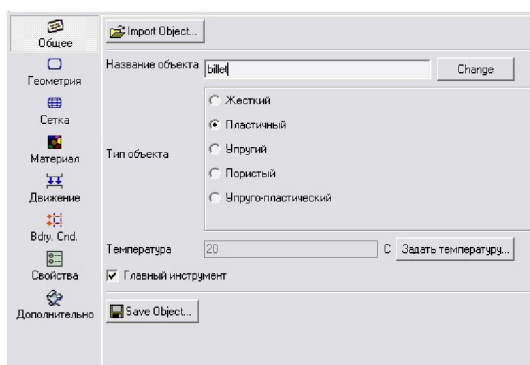




Рис. 1.4. Пункт **Общее** из **Панели Инструментов**

Все типы объектов, используемые в Deform 2D, кроме жёсткого объекта, должны иметь сетку конечных элементов.

Непосредственно под пунктом **Общее** на **Панели инструментов** располагается пункт **Геометрия**, позволяющий

работать с геометрией моделируемых объектов. Геометрия объекта может быть создана в Deform 2D или импортирована как из \*.dxf или \*.igs файла.


### 1.5. Задание геометрии объекта

Пункт **Геометрия**  содержит три закладки. По умолчанию осуществляется переход на закладку **Инструмент**, которая позволяет импортировать геометрию объекта из других программ, сохранять уже имеющуюся геометрию и т. д. Для создания и редактирования геометрии с помощью средств Deform 2D служит закладка **Edit (Редактирование)** , содержащая **Поле ввода геометрии** (пустая табличка) и вспомогательные кнопки. Построение геометрии может осуществляться по точкам (формата ввода XYR) или с помощью отрезков-дуг (формата ввода line-arc).

Перейдите к закладке **Edit** (рис. 1.5). Нажмите ЛКМ на верхнюю левую ячейку **Поля ввода геометрии**, после чего последовательно введите значения, представленные на рис. 1.6. После ввода очередного значения, соответствующего данной ячейке, нажимайте на клавишу **Enter**, для перехода к следующей ячейке.

Разделение десятых долей осуществляется с помощью точки. При правильном вводе информации введенные ранее значения должны выравниваться по правому краю ячейки.

После окончания ввода данных нажмите ЛКМ на кнопку **Применить**.

Нажмите ЛКМ на кнопку **Во весь экран**  для автоматического масштабирования изображения (функция этой команды будет объяснена ниже).

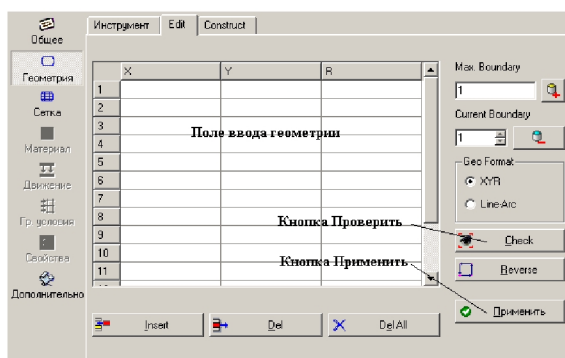


Рис. 1.5. Пункт Геометрия из Панели инструментов

	X	Y	R	
1	0	0	0	0
2	1.5	0	0.12	
3	1.5	4	0.12	
4	0	4	0	
5				

Рис. 1.6. Данные для ввода

Рассмотрите полученную геометрию заготовки (рис. 1.7).

Обратите внимание на то, что с внешней стороны поверхности располагается серая полоса, которая показывает направление обхода от начальной точки к конечной (определяет внутреннюю область объекта). В случае правильного ввода геометрии серая полоса должна располагаться внутри объекта.

После того как геометрия импортирована, её необходимо проверить.

Нажмите кнопку **Проверить**  **Check** и в появившемся окне нажмите на кнопку **Проверить и исправить геометрию** .


Появится сообщение «Geometry is legal», которое сообщает о том, что геометрия была построена верно. Для возвращения к пункту **Геометрия** нажмите последовательно в активных окнах ЛКМ кнопку .



Рис. 1.7. Геометрия построенной заготовки

Автоматическое исправление геометрии не только устранил любые проблемы с неточностями, возникающими при построении геометрии, но также и исправит ориентацию геометрии если необходимо. В Deform 2D

принято, что правильным направлением является направление против часовой стрелки.

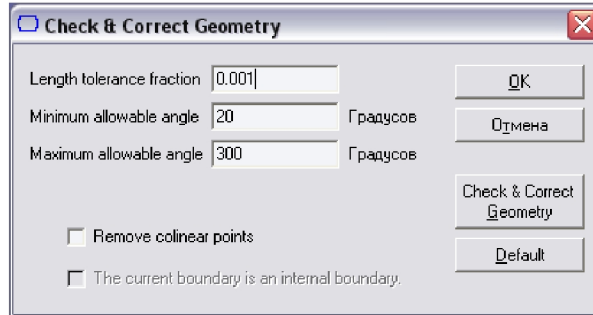


Рис. 1.8. Окно Проверить и исправить геометрию

### 1.6. Работа с изображением модели

Краткое описание команд, позволяющее работать с изображением модели (см. табл. 1.2).

Большинство команд работы с изображением имеет «кнопки быстрого доступа», позволяющие с клавиатуры вызвать требуемую команду.

Таблица 1.2

Кнопки управления изображением на экране



Кнопка		Название	Назначение	Быстрый доступ
Версия 8.0	Версия 8.3			
		<b>Панорама (Pan)</b>	Позволяет динамически перемещать объекты в окне DISPLAY вверх, вниз, влево или вправо с помощью перемещения мыши при удерживании левой кнопки мыши.	Shift + ЛКМ
		<b>Масштабировать (Zoom)</b>	Позволяет динамически масштабировать окно DISPLAY при удержании левой кнопки мыши и перемещении мыши вверх или вниз.	Alt + ЛКМ

		<b>Приблизить (Magnify)</b>	Часть окна DISPLAY может быть увеличена. Для этого необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши и, не отпуская ее, растянуть рамку на всю увеличиваемую область.	Ctrl + Alt + JKM
		<b>Заштрихованные (View shaded objects)</b>	Полутонное изображение объектов без сетки.	
		<b>Только сетка (View mesh only)</b>	Изображаются только контуры объектов и сетка.	
		<b>Заштрихованные и сетка (View shaded mesh)</b>	Полутонное изображение объектов с наложением сетки.	
		<b>Только грани (View surface patch)</b>	Изображаются только контуры объектов.	
		<b>Обновить (Refresh)</b>	Перерисовать окно DISPLAY и отчистить экран от предыдущих линий измерения.	
		<b>Вписать (View Fit)</b>	Вписать все объекты в окно DISPLAY.	
		<b>Предыдущий вид (View Back)</b>	Возврат к предыдущему виду.	
		<b>Захват экрана (Capture Image)</b>	Копировать содержимое окна DISPLAY и сохранить его в файл.	
		<b>Печать (Print)</b>	Вывести содержимое окна DISPLAY на принтер.	


В ходе работы иногда возникает необходимость осуществить замер расстояния между различными элементами или указать объект. Для этого служат команды, приведенные в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Команды, используемые для работы с объектами


Кнопка	Название	Описание
	<b>Измерить (Measure)</b>	Позволяет осуществлять замер расстояния между любыми двумя точками. Линия измерения останется на экране до тех пор, пока не будет нажата кнопка <b>Обновить (Refresh)</b> .
	<b>Выбор (Select)</b>	Это основной режим работы, он используется для выбора и получения информации о границах элемента и узлах. Это также режим, используемый при измерении.

### 1.7. Сохранение данных



Сохраните Ваши данные. Для сохранения данных выберите из меню **Файл** команду **Сохранить** или нажмите кнопку **Сохранить** , которая располагается на **Панели Управления** (верхняя часть экрана). Отличие команды **Сохранить**, расположенной на **Панели Управления**, от команды **Сохранить объект**, расположенной на **Панели инструментов**, заключается в том, что в первом случае сохраняется информация обо всех объектах, присутствующих в моделируемом процессе, в то время как во втором случае сохраняется информация только об объекте, активном на текущий момент (т. е. выделенном в **Дереве Объектов**).


### 1.8. Создание новых объектов и импортирование геометрии для них

Обратите внимание на то, что в **Дереве объектов** после создания задачи был создан всего один исходный объект, а именно заготовка (**Billet**).

Для добавления в решаемую задачу дополнительного объекта воспользуйтесь кнопкой **Вставить объект (Insert object)** , которая находится

под **Деревом объектов**. После добавления объекта в **Дерево объектов** появится объект **Top Die** (Верхний инструмент).


Нажмите кнопку **Геометрия** на **Панели инструментов**, затем кнопку **Импорт геометрии**, укажите путь к файлу **Spike\_Top Die.IGS**, который расположен в директории **C:\DEFORM2D\V8\_1\LABS**. Для поиска и открытия этого файла пользуйтесь стандартными командами Windows **Открыть**  и **Подняться выше** на директорию . Проверьте правильность геометрии и убедитесь в ее корректности (см. пункт 1.5.).

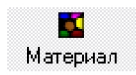

По аналогии, нажав ЛКМ на кнопку **Вставить объект** , создайте **Bottom Die** (Нижний инструмент) в **Дерево объектов** и создайте для него геометрию, загрузив файл **Spike\_Bottom Die.IGS**, расположенный по адресу **C:\DEFORM2D\V8\_1\LABS**.

Укажите ЛКМ на надпись **Billet** в **Дерево объектов**. Обратите внимание, что серая полоса, указывающая на то, что текущим объектом является **Bottom Die** «перескочила» на **Billet**, при этом произошло выделение геометрии заготовки в окне DISPLAY с помощью жёлтых уголков.

Укажите ЛКМ на **Top Die** в **Дерево объектов**. Обратим внимание на то, что текущим стал верхний инструмент, и стали доступны для редактирования свойства именно этого объекта.

Вызовите для редактирования заготовку (укажите ЛКМ в **Дерево объектов** заготовку **Billet**) и убедитесь в том, что в пункте **Общее** стоит тип объекта «Пластичный».

Выберите пункт **Сетка** и нажмите на кнопку **Сгенерировать**, для того чтобы создать сетку конечных элементов с атрибутами, установленными по умолчанию. Обратите внимание на то, что после создания сетки конечных элементов напротив надписи **Billet** появилась надпись **Undefined**. Значок  (**undefined**) означает, что необходимо присвоить материал заготовке (определить свойства материала заготовки).

Нажмите на кнопку **Материал** , расположенную на **Панели инструментов** под **Деревом объектов**. Выберите из меню, разворачивающееся нажатием на значок «+», алюминиевый сплав Al-1100, после этого нажмите ЛКМ на кнопку **Задание материала** , расположенную под **Деревом объектов**. Обратите внимание на то, что вместо надписи «Undefined» в **Дерево объектов** появилось название марки материала.

## 1.9. Позиционирование объектов

Для расположения объектов по отношению друг к другу необходимо воспользоваться пунктом **Позиционирование объектов**, который располагается на **Панели управления**. Описание команд данного пункта приведено в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Команды, используемые для перемещения объекта


Кнопка	Название	Описание
 Мышкой	<b>Перемещение мышкой</b>	Размещение объекта осуществляется с помощью мышки.
 Смещение	<b>Смещение</b>	Объекты перемещаются на заданное расстояние определением вектора перемещения или с помощью указания начального и конечного значений перемещаемой точки объекта.
 Интерференция	<b>Интерференция</b>	Перемещение объектов до создания наложения их друг на друга. Данная команда используется для быстрого определения контактных поверхностей.
 Вращение	<b>Вращение</b>	Позволяет поворачивать объекты относительно заданной точки на любой угол.
 Перевернуть	<b>Перевернуть</b>	Позволяет зеркально отразить объекты относительно осей X, Y или какой-либо заданной оси.

Для наиболее точного и быстрого расположения объектов (см. рис. 1.9) воспользуйтесь командой **Интерференция**.

Для использования команды необходимо нажать на кнопку **Интерференция**, затем нужно выбрать объект, относительно которого будут размещены другие объекты. В качестве такого объекта, в нашем случае, удобно использовать заготовку (**Billet**). Определите объект, который будет размещаться или позиционироваться нажатием ЛКМ

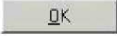
на треугольник  в пункте **Позиционируемый объект**  **Позиционируемый объект**  2 - Top Die 

и выберите **Top Die**.

В пункте **Относительно** с помощью меню, вызываемого нажатием ЛКМ, на треугольнике  выберите объект **Billet**. Далее необходимо определить часть позиционируемого объекта. Это касается объекта, относительно которого осуществляется позиционирование (часть **Top Die**, которая касается **Billet**).

Поскольку верхний инструмент (**Top Die**) касается заготовки (**Billet**) своей нижней частью, то необходимо поставить флажок напротив надписи «-Y». Нажмите ЛКМ кнопку **Применить**.

Аналогично осуществляется позиционирование нижнего инструмента (**Bottom Die**). Только за направление выбирается «Y», а в качестве позиционируемого объекта **Bottom Die**.

По окончании позиционирования объектов нажмите кнопку  **OK**. Изображение на экране должно принять вид (см. рис. 1.9).

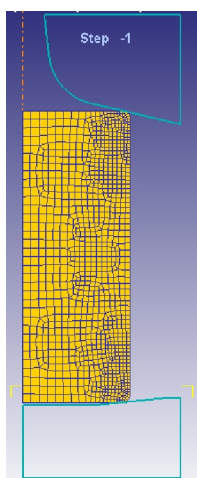



Рис. 1.9. Правильное расположение объектов

### 1.10. Назначение контактных поверхностей

Нажмите на кнопку **Взаимодействие объектов** , расположенную на **Панели управления**, и на запрос системы о необходимости создания контактных пар в появившемся окне ответьте положительно.

В появившемся окне **Взаимодействие объектов** (рис. 1.10) нажмите кнопку **Изменить**, в появившемся окне **Inter-Object Data Definition** поставьте флажок напротив надписи «Coulomb» (закон трения по Кулону) и укажите коэффициент трения 0,3 (рис. 1.11).

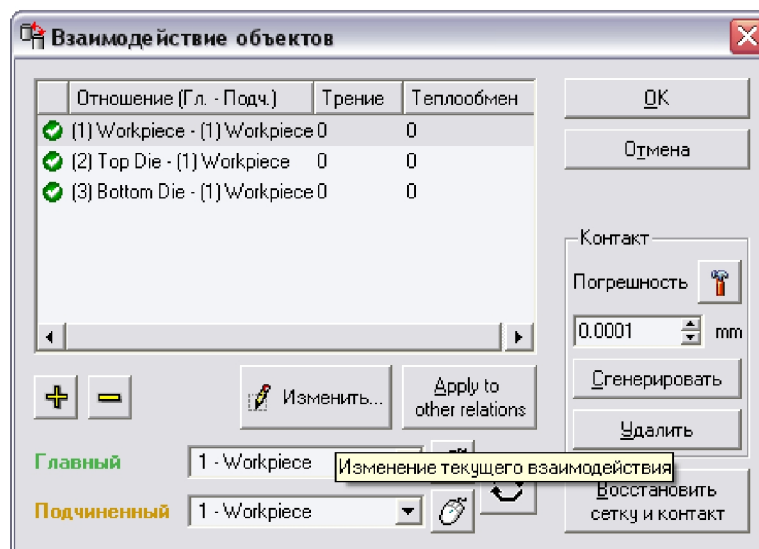


Рис. 1.10. Окно **Взаимодействие объектов** до задания исходных данных

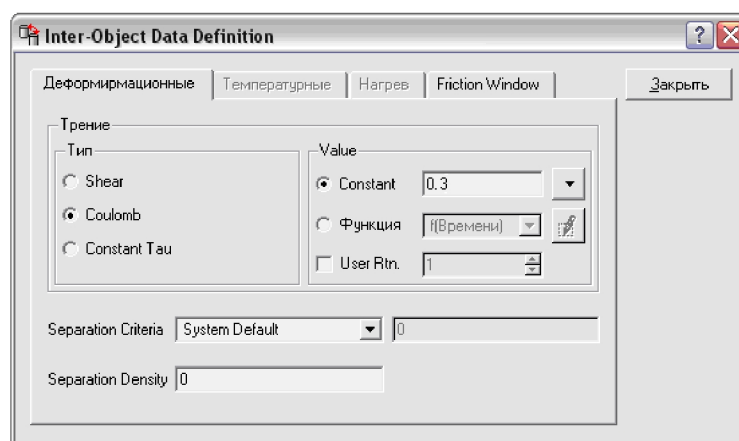
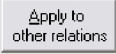
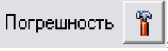



Рис. 1.11. Окно **Inter-Object Data Definition**

Нажмите кнопку **Заккрыть** в окне **Взаимодействие объектов**.

Нажмите на кнопку , для того чтобы присвоить значения коэффициента трения (условия взаимодействия объектов) всем контактным парам.

Для генерации величины точности, с которой компьютер может создать контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** , после этого нажмите кнопку **Сгенерировать** для создания поверхности контакта, при этом в окне DISPLAY появится изображение мест контакта (разноцветные точки в местах взаимодействия объектов). Нажмите ЛКМ на кнопку  для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

### 1.11. Задание движения верхнего инструмента

Сделайте активным верхний инструмент (**Top Die**) для задания характеристики приложенного к верхнему инструменту усилия (укажите **Top Die** в **Дереве Объектов**).

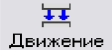
В программе Defor2D двигаться может любой объект, причём нет ограничений по количеству двигающихся объектов. Двигаться объекты могут как под действием приложенного усилия (т. е. двигаться с определённым усилием), так и с заданной скоростью.

По умолчанию все объекты являются неподвижными, т. к. приложенные к ним усилия и скорость равны нулю.

Если в программе рассматривается процесс деформирования, то обязательно необходимо определить перемещение **Главного инструмента**. **Главным инструментом** называется инструмент, под непосредственным перемещением которого осуществляется деформация заготовки.

В рассматриваемой нами задаче **Главным инструментом** является **Top Die**, о чём свидетельствует значок в виде буквы «Р», расположенный рядом со значком **Top Die** в **Дереве объектов**. При необходимости сделать **Главным инструментом** можно любой объект с помощью постановки галочки в пункте **Главный инструмент** на закладке **Общее**

 **Общее**

Нажмите кнопку **Движение**  на **Панели инструментов**. Убедитесь, что напротив надписи **Скорость** стоит флажок, введите в активное окно, расположенное чуть ниже, 1 мм/с (см. рис. 1.12).

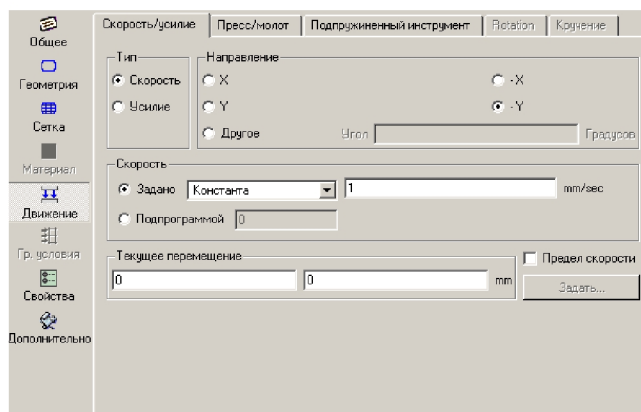



Рис. 1.12. Закладка **Движение**

В соответствии с заданными условиями нагружения, верхний инструмент будет перемещаться вниз с постоянной скоростью 1 мм/с.

### 1.12. Установка **Настроек задачи**

Нажмите на кнопку **Настройки задачи**  , и в появившемся окне **Настройки задачи** перейдите на закладку **ШАГ** для того, чтобы задать шаг квазистатической задачи. Задание шага решения задачи может быть ограничено по времени и по перемещению **Главного инструмента**. Для задания величины шага решения по перемещению **Главного инструмента** необходимо произвести замер наименьшего размера сетки конечных элементов заготовки, данное значение разделить на три и ввести частное от деления в ячейку, расположенную правее надписи «With Equal Die Displacement». В нашем случае будем считать, что верхний инструмент сместится на 2 мм. Размер ребра конечного элемента измеряем при помощи **Линейки** . Этот размер будет зависеть от построенной сетки и в каждом случае будет свой. Пример заполнения закладки **ШАГ** приведён ниже.

По аналогии с данным примером выполните заполнение этой закладки, но вместо приводимых в примере значений введите свои.

#### **Пример заполнения закладки ШАГ**

*В результате замеров рёбер конечных элементов сетки получилось, что длина наименьшего ребра равна 1 мм. Следовательно, шаг по перемещению инструмента будет равен 0,33 мм. Это значение и*

необходимо внести в ячейку напротив фразы «With Equal Die Displacement».

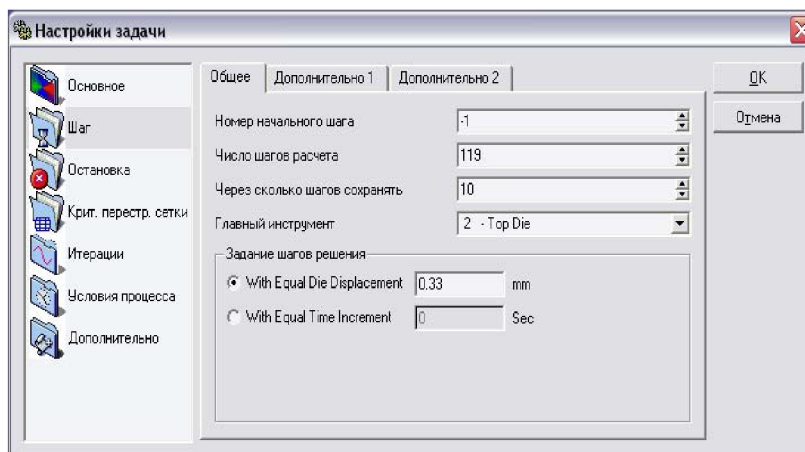





Рис. 1.13. Окно **Настройки задачи**

Для того чтобы задать **Число шагов расчёта**, необходимо перемещение **Главного инструмента** разделить на размер шага по перемещению и полученное значение внести в ячейку напротив надписи **Число шагов расчёта**. Допустим, что для полного деформирования заготовки необходимо переместить инструмент на 39 мм, тогда 39 делим 0,33 и получаем примерно 119 шагов. Данное значение вносим в соответствующую ячейку (см. рис. 1.13).

### 1.13. Создание файла базы данных

Нажмите кнопку **Генерация базы данных** . В появившемся окне **Генерация базы данных** нажмите на кнопку **Проверить**. В случае если постановка задачи произведена корректно, то после проверки заданных данных появится сообщение «База данных может быть сгенерирована» (рис. 1.14).

Нажмите ЛКМ на кнопку **Заккрыть** для выхода из окна **Генерация базы данных**.

Сохраните данные, нажав на кнопку **Сохранить** , расположенную в верхней левой части экрана. Выйдите из препроцессора, нажав ЛКМ на кнопку **Выход** .

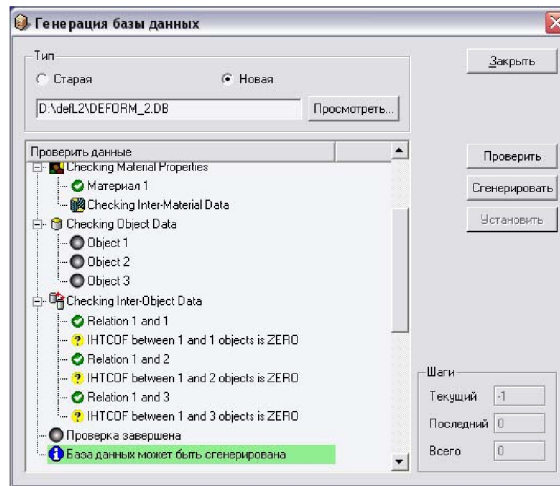


Рис. 1.14. Окно **Генерация базы данных** после проверки исходных данных

Обратите внимание на то, что работа осуществлялась только с файлом с расширением «KEY» (он показан на рис. 1.15 стрелкой). Название файла будет соответствовать тому названию, которое вы давали задаче при создании новой задачи. На рис. 1.15 файл назван **DEFORM\_2.KEY**.

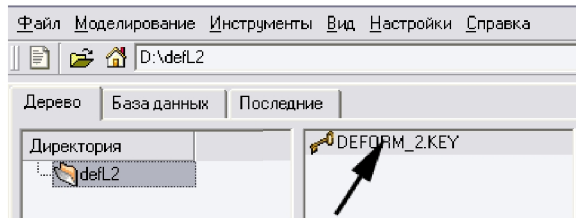




Рис. 1.15. Файл с расширением «KEY»

Для расчёта задаваемых в препроцессоре данных необходимо сохранить их в виде файла базы данных, который имеет расширение \*.db. Особенности работы с файлом расширения \*.db будут рассмотрены в следующих лабораторных работах.

Откройте в препроцессоре решаемую ранее задачу. Для этого нужно в правой верхней части экрана нажать на надпись «Постпроцессор», расположенную непосредственно под надписью **Pre Processor**. Нажмите кнопку **Генерация базы данных**  ,  . В появившемся окне **Генерация базы**

данных нажмите на кнопку **Сгенерировать**, произойдет автоматическое создание базы данных (рис. 1.16), в поле создания базы данных появится сообщение «Запись базы данных завершена», свидетельствующее о том, что база данных была успешно создана.

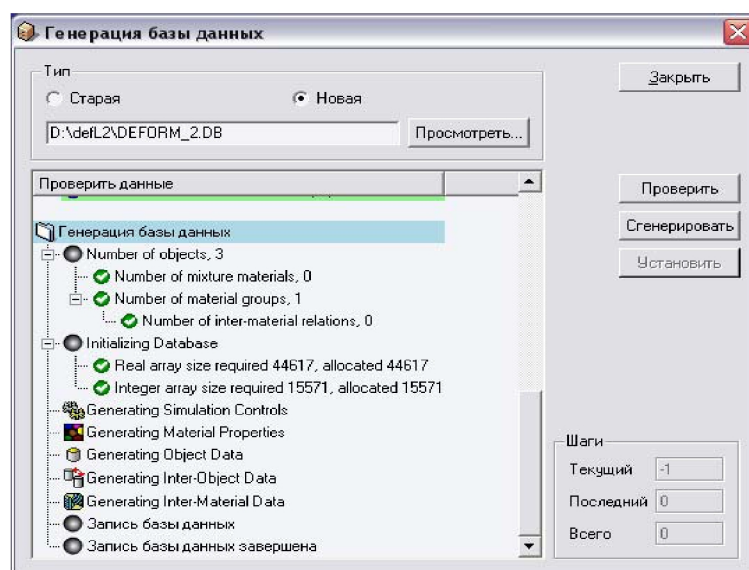


Рис. 1.16. Окно **Генерация базы данных** после создания базы данных

Выйдите из препроцессора и убедитесь в том, что рядом с файлом с расширением «KEY» появился файл с расширением «Db».

#### 1.14. Запуск задачи на расчёт

В пункте **Simulator** в **Главном окне** нажмите кнопку **Старт**. В появившемся окне с сообщением «The simulation has been submitted» нажмите ЛКМ на кнопку **ОК**.

Нажмите на закладку **Сообщения** для вывода информации о том, какой шаг рассчитывается в настоящий момент. Обратите внимание на то, что файл базы данных (файл с расширением \*.db) скрыт зелёной полосой с красной надписью “Running...”, которая означает, что в данный момент задача рассчитывается. Прежде чем перейти к следующему пункту работы, дождитесь, пока расчёт закончится, т. е. исчезнет зелёная полоска и надпись “Running...”.




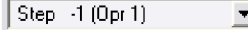

### 1.15. Оценка полученных результатов


Для вывода информации, полученной в ходе расчёта, используется постпроцессор. Чтобы открыть решаемую задачу в постпроцессоре, нажмите ЛКМ в пункте **Post Processor** на надпись «Deform-2D Постпроцессор».

После загрузки задачи в постпроцессоре, с помощью кнопок (см. табл. 1.5), оцените полученные результаты.

Таблица 1.5

Команды, используемые для управления анимацией

Кнопка	Описание
	Воспроизведение анимации назад / вперёд.
	Пошаговое воспроизведение анимации назад / вперёд.
	Перемещение в начало и конец последовательности рассчитанных шагов.
	Окно доступа к произвольному шагу базы данных.
	Настройка последовательности вывода шагов расчёта из базы данных.

Для вывода интересующих данных, полученных в результате расчёта, используется команда **Параметры** , которая позволяет вызвать окно **Параметры** (рис. 1.17).

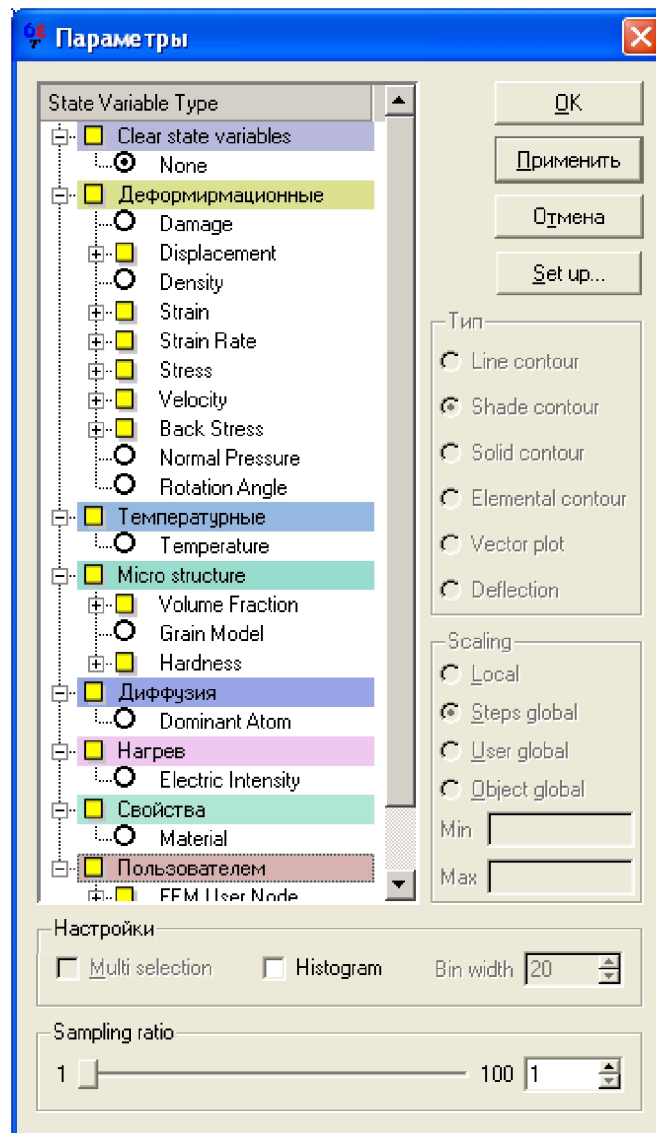


Рис. 1.17. Окно **Параметры**


Список наиболее часто используемых при исследовании задач обработки металлов давлением параметров (см. табл. 1.6) .

Таблица 1.6

## Параметры процессов ОМД

Величина	Перевод	Параметр	Перевод
Stain	Деформация	Effective	Интенсивность
Stain Rate	Скорость деформации	Mean	Среднее значение
Stress	Напряжение	Max Principal	Главное наибольшее
Velocity	Скорость	Min Principal	Главное наименьшее
Temperature	Температура	X/R	Действующее в направлении X в декартовой системе координат или R, если система координат полярная

Для просмотра интересующего параметра его необходимо указать в окне **Параметры** и нажать ЛКМ на кнопку **Применить** (Apply). После этого, используя кнопки, представленные в таблице 1.5, можно отследить изменение рассматриваемого параметра по мере протекания процесса деформирования заготовки.

Для того чтобы отследить изменение положения точки деформируемого тела, используется команда, расположенная на **Панели инструментов Point Tracing** , после вызова которой открывается окно **Отслеживание точек**, в котором необходимо указать координату точки деформируемого тела, положение которой будет отслеживаться (рис. 1.18).

Задание координаты точки можно осуществить непосредственным указанием её положения в окне DISPLAY с помощью ЛКМ. В общем случае таких точек может быть несколько. По окончании ввода точек необходимо нажать ЛКМ на кнопку **Next**.

Результатом выполнения команды **Point Tracing** станет появление на экране графика, на котором будет отображаться текущее значение указан-

ной в окне **Параметры** величины. Число выводимых графиков будет соответствовать числу указанных точек.

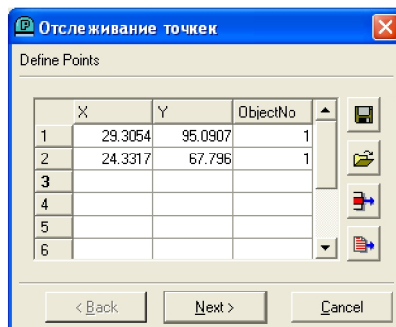



Рис. 1.18. Окно **Отслеживание точек**

Для вывода данных по усилию процесса, действующего на объекты, используется команда **График (Усилие-перемещение)** , после вызова которой появляется окно **Graf (Load-Stroke)** (рис. 1.19).

В окне **Graf (Load-Stroke)** необходимо указать:

- объект, с которого будет сниматься усилие,
- по какой оси интересуется усилие,
- в зависимости от чего (времени или перемещения) необходимо осуществить построение графика.

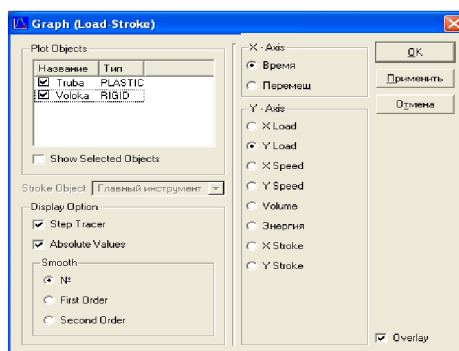



Рис. 1.19. Окно **Graf (Load-Stroke)**

По окончании указания данных необходимо нажать ЛКМ на кнопку , после чего в окне DISPLAY появится график.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные особенности работы в САЕ-системах вы знаете?
2. Можно ли построить геометрию объекта в Deform 2D?
3. Какие кнопки управления изображением Вы знаете?
4. Как используется команда **Измерение**?
5. Каковы особенности **Контекстного меню** вызываемого правой кнопкой мыши при использовании команды **Измерение**?
6. Как определить направление обхода?
7. Зачем нужна автоматическая корректировка геометрии?
8. Как создать дополнительный объект?
9. Где указывается тип моделируемого объекта?
10. Какие типы моделируемых объектов используются в программе?
11. Как осуществляется построение **Сетки конечных элементов**?
12. Как определить, какой объект является текущим?
13. Как изменить имя объекта?
14. Где задаются свойства материала?
15. За что отвечает окно **Настройка задачи**?
16. Какие данные задаются в пункте **Общее**?
17. Как осуществляется расположение объектов по отношению друг к другу?
18. Как определяется размер шага задачи по перемещению?
19. Зачем нужно создавать базу данных?
20. Как создать контактные поверхности и определить условия трения?

## 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА В ОТКРЫТОМ ШТАМПЕ В СИСТЕМЕ SuperForge

### 2.1. Описание данных используемых для расчёта в программе SuperForge

#### 2.1.1. Температура заготовки

На рис. 2.1 показано окно, используемое для задания температуры заготовки. Ниже описаны данные задания, которые необходимы для расчёта задачи.

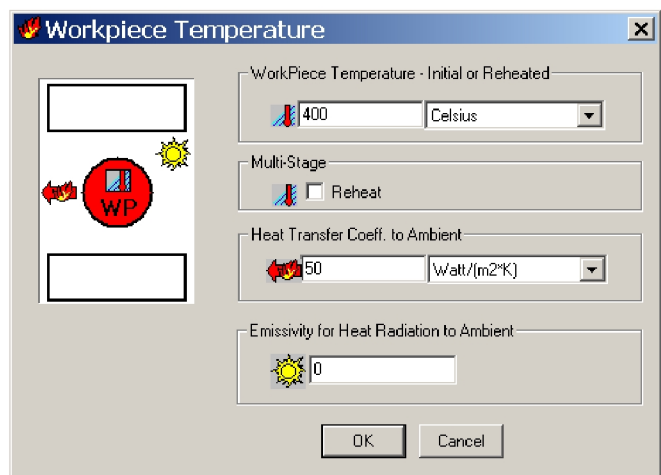


Рис. 2.1. Ввод данных о температуре заготовки

**НАЧАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ЗАГОТОВКИ** (WP TEMPERATURE 1 – Initial or reheated). Начальная температура нагрева заготовки зависит от вида сплава и особенностей технологического процесса. В первом приближении необходимо выбрать рекомендуемый температурный интервал штамповки сплава и задать температуру начала деформации (наибольшее значение). Однако для получения мелкой, не рекристаллизованной структуры в поковке для быстротечных процессов иногда целесообразно снижать температуру нагрева заготовки, чтобы закончить процесс при температуре близкой к нижнему пределу деформации. Выбрать рациональный температурный интервал можно путем моделирования процесса, варьируя температурой нагрева заготовки.

**ПОВТОРНЫЙ (МНОГОСТУПЕНЧАТЫЙ) НАГРЕВ** (MULTI – STAGE). Промежуточный нагрев (подогрев) заготовок чаще всего приме-

няется при свободной ковке, что объясняется длительностью операций и, следовательно, остыванием заготовки до нижнего предела. При штамповке обычно процесс проходит с одного нагрева, поэтому эту позицию не открывают.

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ** (HEAT TRANSFER COEFF. To Ambient). До начала деформации и в паузах между операциями нагретая заготовка остывает при контакте с воздухом. Интенсивность остывания зависит от величины коэффициента теплоотдачи. Численные значения коэффициента зависят от материала и могут быть приняты  $\alpha \approx (6-15)$  (Вт/м<sup>2</sup> \*К).

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ** (EMISSIVITY FOR ...). Излучательная способность тела зависит от марки материала, шероховатости поверхности, слоя окалины и других факторов. Ориентировочно можно пользоваться следующими данными:

Алюминиевые сплавы – 0,08...0,15; Стальные сплавы – 0,4...0,6.

### 2.1.2. Температура инструмента

На рис. 2.2 показано окно, используемое для задания температуры инструмента. Ниже описаны данные задания, которые необходимы для расчёта задачи.

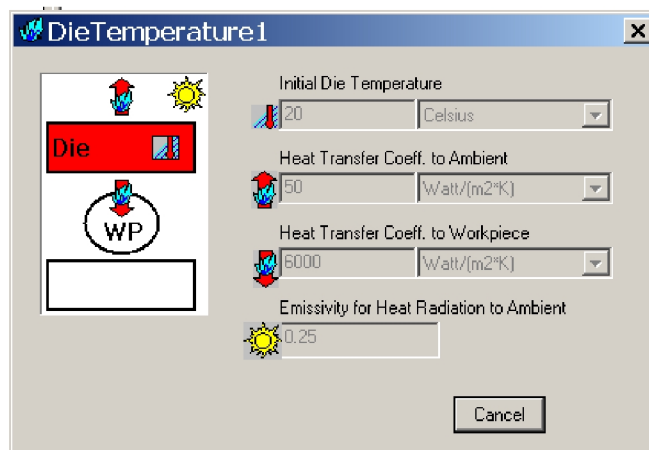


Рис. 2.2. Ввод данных о температуре штампа

**НАЧАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ШТАМПА (INITIAL DIE TEMP).** Предварительный подогрев штампов необходим для повышения их стойко-

сти и создания оптимальных условий деформации заготовки. Штампы ПВМ (паровоздушных молотов) и КГШП (кривошипных горячих штамповочных прессов) нагревают до 200-400 °С, гидравлических прессов – до 300-400 °С, ГКМ и ковочных валцов – до 150-200 °С. Штампы из сталей 5ХНМ, 5ННВ, ТХЗ и других относительно пластичных сталей нагревают до 200-300 °С. Из сталей 3Х2В8Ф, 4Х2В5ФМ и других менее пластичных сталей можно нагревать до 500 °С.

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ** (HEAT TRANSFER ...). Эта величина аналогична описанному коэффициенту для заготовки. В данном случае он несколько выше, что связано с движением штампов во время деформации. Для определения его величины можно воспользоваться выражением:

$$\alpha = 5,6 + 4V,$$

где  $V$  – скорость движения штампа (м/с).

Для некоторых типов оборудования скорость можно принять в следующих пределах:

- гидравлические пресса – 0,01-0,1 м/с;
- кривошипные пресса – 0,5-0,7 м/с;
- паровоздушные молота – 5-7 м/с.

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ** (HEAD TRANSFER COEFF ...). Это наиболее интенсивный путь обмена теплом между заготовкой и штампом. Величина этого коэффициента (измеряемого в Вт/м<sup>2</sup>\*К) зависит от большого числа факторов: вид смазки, её обильность, плотность контакта, окалина, величина нормальных давлений и др. В литературе мало данных о численных значениях этих коэффициентов для различных условий. В реальных процессах коэффициент теплопередачи изменяется в широких пределах: от (20000...30000) Вт/м<sup>2</sup>\*К при эффективном экранировании смазкой (например, стеклянная смазка постоянной толщины) до (75000...80000) Вт/м<sup>2</sup>\*К – при отсутствии смазки.

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ** (EMISSIVITY FOR...). Численные значения аналогичны приведённым выше для заготовки.

### *2.1.3. Условия трения на контактных поверхностях*

Для расчёта с помощью программы могут быть использованы три вида законов трения (рис. 2.3).

**ПЕРЕМЕННОЕ ТРЕНИЕ 1.** В этом случае касательные напряжения пропорциональны нормальному давлению, т. е.  $\tau = \mu * p_n$ . Такая зависимость обычно используется при небольших нормальных давлениях.

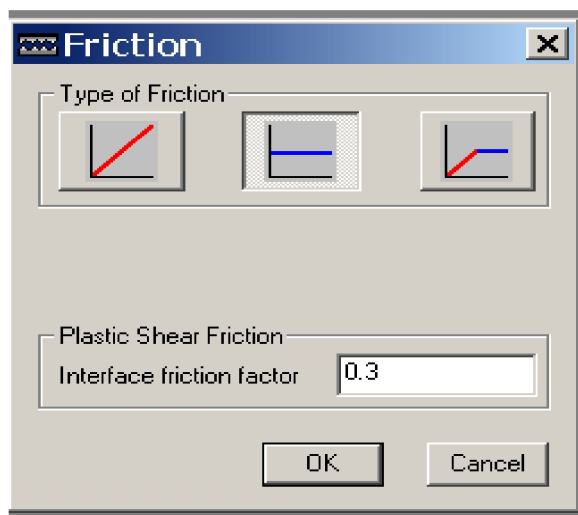


Рис. 2.3. Окно ввода законов трения: Plastic Shear Friction – пластическое сдвигающее трение; Interface friction factor – коэффициент трения

**ПОСТОЯННОЕ ТРЕНИЕ.** Задаётся выражением:  $\tau = \mu * \sigma_s$ ,  
 где  $\mu$  - коэффициент трения,  
 $\sigma_s$  – истинный предел текучести деформируемого материала при заданных термомеханических условиях.

**ПЕРЕМЕННОЕ ТРЕНИЕ 2.** Принимается комбинированное распределение касательных напряжений на различных участках деформируемой заготовки.

При горячей объёмной штамповке практически всегда принимается постоянное трение. Величина коэффициента трения может изменяться в зависимости от марки штампуемого материала и типа смазки.

#### 2.1.4. Задание параметров используемого оборудования (условий силового воздействия на заготовку)

Программа позволяет моделировать процессы, осуществляемые на различных видах оборудования. Выбор вида оборудования осуществляется заданием его требуемых технических данных.

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС.** На рис. 2.4 показано окно, позволяющее определить параметры гидравлического пресса.

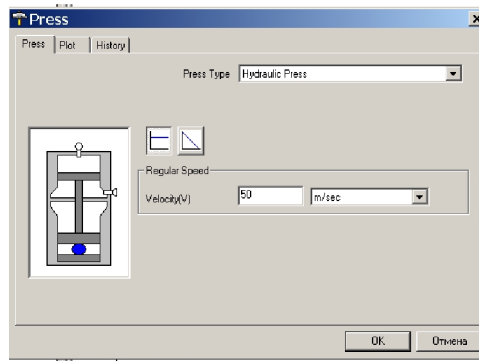


Рис. 2.4. Параметры гидравлического пресса

Необходимо задать скорость движения ползуна. Обычно скорость принимается постоянной в соответствии с паспортными данными оборудования.

**КРИВОШИПНЫЙ ПРЕСС.** На рис. 2.5 показано окно, позволяющее определить параметры кривошипного пресса. Длина кривошипа ( $R$ ) может быть принята, как половина величины хода ползуна. Длина шатуна ( $L$ ) принимается из паспорта оборудования или из соотношения  $L = K \cdot R$ . Скорость вращения кривошипа равна числу ходов пресса в минуту. Исходя из этого, выбирается наиболее удобный способ ввода скорости вращения.

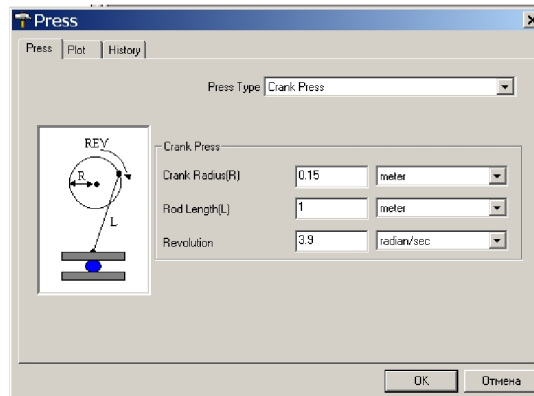


Рис. 2.5. Параметры для кривошипного пресса

После ввода данных можно посмотреть график изменения скорости движения ползуна в течение рабочего хода, выраженного в секундах (рис. 2.6).

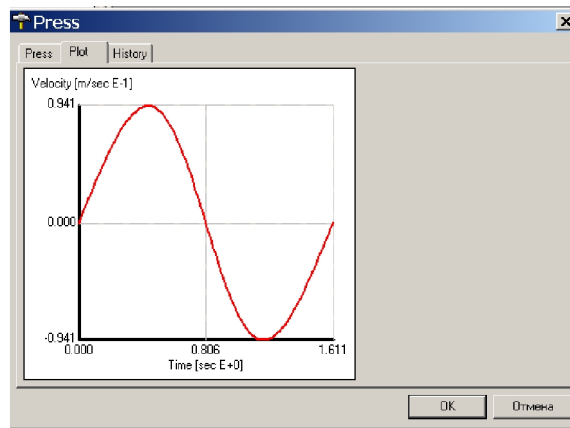


Рис. 2.6. График изменения скорости движения ползуна

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ЭКСЦЕНТРИКОВЫЕ ПРЕССА.** На рис. 2.7 показано окно, позволяющее определить параметры механического эксцентрового пресса.

Из паспортных данных задается максимальный ход пресса ( $S$ ), численно равный удвоенному значению эксцентриситета. Скорость вращения, эквивалентная числу ходов пресса в минуту, вводится в удобном наименовании.

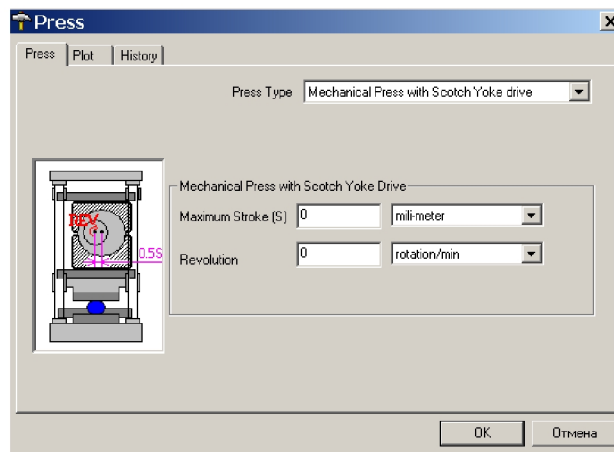


Рис. 2.7. Параметры для механического эксцентрового пресса

## 2.2. Последовательность действий, осуществляемая при моделировании процесса штамповки в программе SuperForge

В меню **FILE** выберите команду новый проект New Project.

В меню **INSERT** последовательно укажите Model-From File, затем выделите файлы с расширением STL VERH4713, NIZ, ZAG200X4713, расположенные в папке STL. LKM, нажмите на кнопку **Открыть**. Эти файлы появятся в панели **NAME**.

Для того чтобы добавить материал штампа в меню **INSERT**, последовательно укажите **MATERIAL – LIBRARY – OOLSTEEL** (сталь идентичная 5XHM) – **L6 – LOAD**.

Добавьте материал для заготовки, (алюминиевый сплав) который можно нагреть до температуры 400 градусов. Для этого в меню **INSERT** укажите **MATERIAL – LIBRARY – ALUMINIUM – AA\_5052** [T = 240-480 градусов] – **LOAD**. Материалы появятся в панели **NAME**.

Для задания свойств используемого оборудования в меню **INSERT** последовательно укажите **PRESS – MANUAL**.

В появившемся окне заполните следующие поля: **PRESS TYPE** (тип прессы) – **HYDRAULIC** (гидравлический).

Постоянная подача. **VELOCITY (V)** (скорость) – 0,1 м/с.

Для задания условий трения вызовите окно **FRICITION**, для этого последовательно укажите **INSERT – FRICITION – MANUAL**.

В появившемся окне задайте: **TYPE OF FRICITION** – постоянный. **INTERFACE FRICITION FACTOR** (коэффициент трения) – 0,3.

Задайте температуру для штампа для этого в меню **INSERT** укажите **TEMPERATURE – DIE** (штамп) – **MANUAL – 400 CELSIUM –**

По аналогии задайте температуру заготовки: **INSERT – TEMPERATURE –WORKPIECE** (заготовка) – **MANUAL – 400 CELSIUM –**

В случае верного выполнения пункта в панели **NAME** появятся поля: **DIE TEMPERATURE 1, WP TEMPERATURE 1**.

Окно задания температуры должно принять вид, показанный на рис. 2.8:

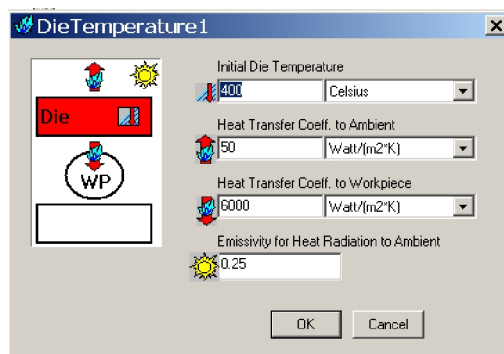


Рис. 2.8. Параметры температуры

Добавьте требуемые свойства к объектам процесса горячей штамповки для этого:

- в панели **PROCESSES** (процессы) к **UPPER DIE** (верхний штамп) добавьте объекты VERH4713, PRESS1, FRICTION, DIE Temperature1, материал DB.L6, перетаскивая их мышью из панели **NAME**.

- в панели **PROCESSES** (процессы) к **LOWER DIE** (нижний штамп) добавьте объекты NIZ, FRICTION1, DIE Temperature1, материал DB.L6, перетаскивая их мышью из панели **NAME**.

- в панели **PROCESSES** (процессы) к **WORKPIECE** (заготовка) добавьте объекты 200x4713 (модель заготовки), WP Temperature1, материал DB.AA\_5052 (T = 240-480), перетаскивая их мышью панели **NAME**.

По окончании добавления свойств объектов панель **PROCESSES** должна принять вид, показанный на рис. 2.9.

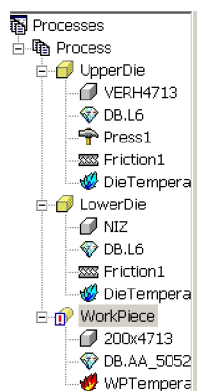


Рис. 2.9. Панель **PROCESSES** после присвоения свойств объектам

В окне **PROCESS** должен появиться вид штампа с заготовкой (см. рис. 2.10).

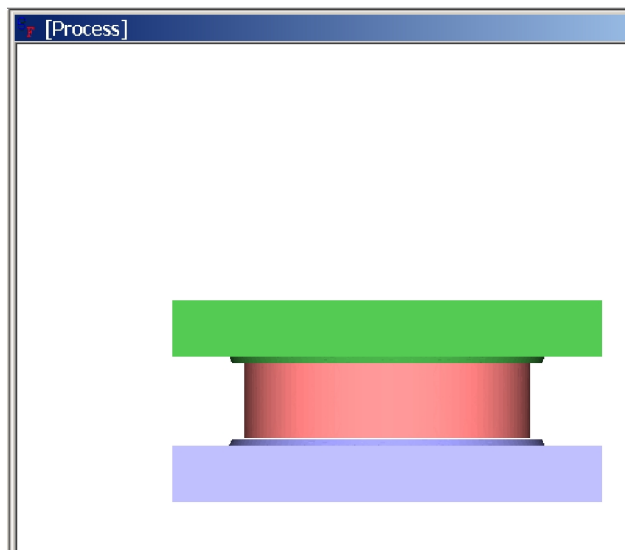


Рис. 2.10. Вид штампа с заготовкой

Если между заготовкой и штампом существует зазор (рис. 2.11), то требуется провести позиционирование.

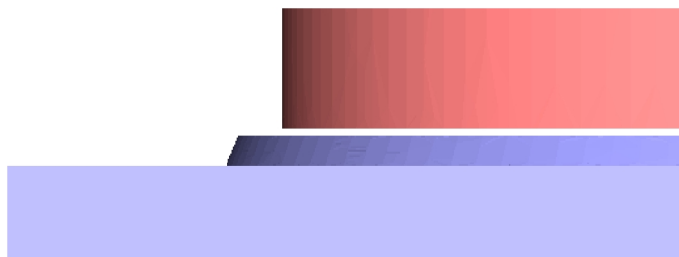


Рис. 2.11. Зазор между штампом и заготовкой

Для осуществления позиционирования, в верхней **Панели инструментов** выбираем меню **TOOLS** команду **POSITIONER** (рис. 2.12).

В выпадающем окне выбираем стрелку вниз, программа автоматически перемещает заготовку к нижнему штампу.

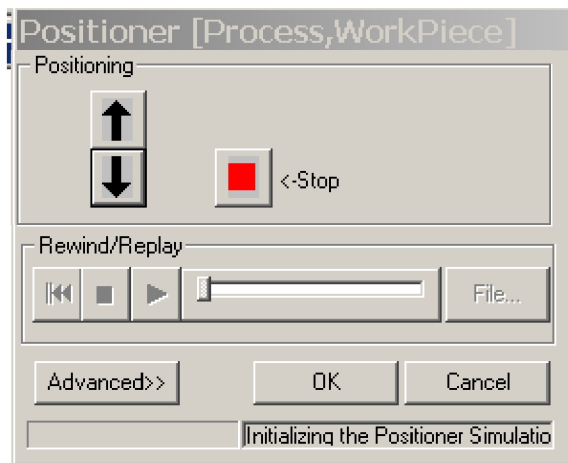


Рис. 2.12. Позиционирование заготовки

Задайте параметры для процесса штамповки. Для этого в **Панели инструментов** на объект **Process** нажимаем правую клавишу мыши, и в выпадающем меню последовательно выбираем следующие пункты: **INSERT – SIMULATION CONTROL – FORMING** (Решение) (см. рис. 2.13).

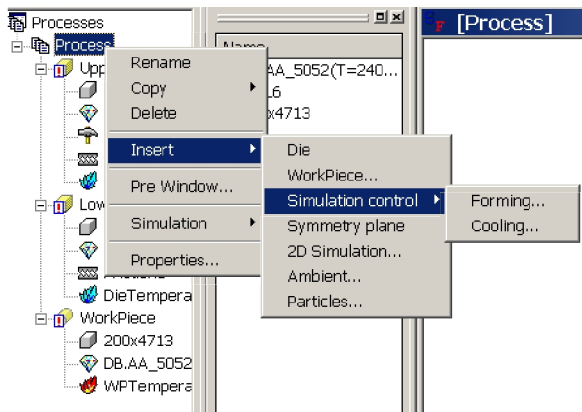


Рис. 2.13. Выбор параметров расчёта

В окне **STROKE** (ход и направление штампа, см. рис. 2.14) задайте: **DIRECTION** (направление) – **DOWN** (вниз); **STROKE** (ход штампа).

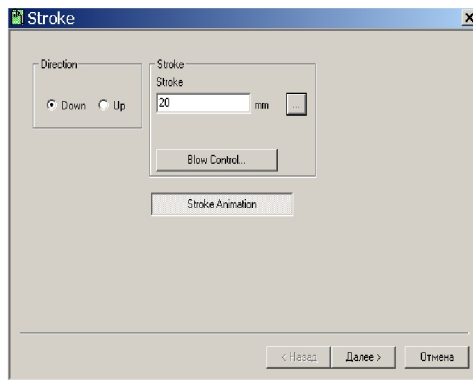


Рис. 2.14. Окно **Stroke** (перемещение)

Ход штампа можно рассчитать из следующего условия:

$$\text{Ход\_штампа} = \frac{\text{Исходное\_расстояние}}{\text{между\_штампами}} - \frac{\text{Высота облойного мостика}}{\text{мостика}}$$

Далее нажмите ЛКМ на кнопку **STROKE ANIMATION** (анимация). В окне **PROCESS** произойдет перемещение штампа с указанным ходом. При необходимости величину хода можно скорректировать.

Нажмите на кнопку **Далее** и задайте размеры конечных элементов по 5 мм, для инструмента и заготовки (см. рис. 2.15). Нажмите ЛКМ на кнопку **Далее**.

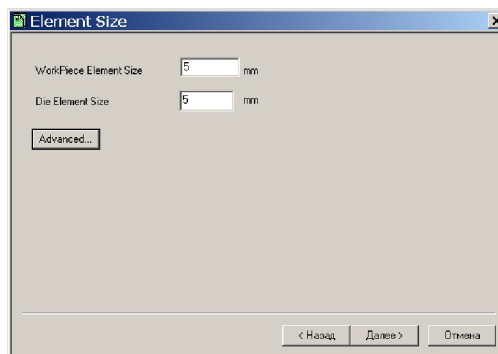


Рис. 2.15. Окно Element Size

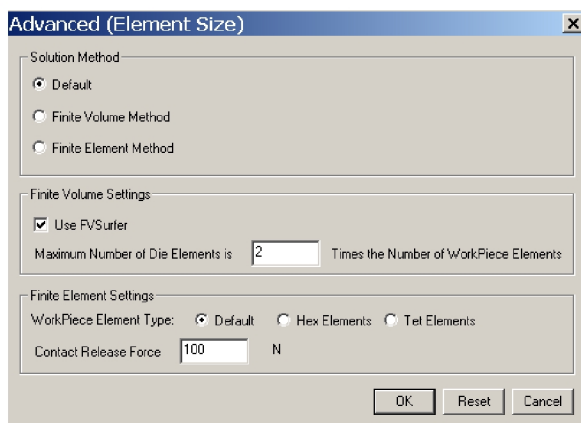


Рис. 2.16. Окно Advanced (установки расчёта)

В окне **ADVANCED** (установки) необходимо выбрать метод вычисления (см. рис. 2.16):

- устанавливаемый по умолчанию метод расчёта (**DEFAULT**), это значит, программа сама выберет оптимальный метод решения для данного процесса;
- метод конечных объемов (**FINITE VOLUME METHOD**);
- метод конечных элементов (**FINITE ELEMENT METHOD**).

Выберите установки по умолчанию, нажмите ЛКМ кнопку 

Выберите в окне **OUTPUT RESULTS** (вывод результатов) – **EQUAL DIVINATION** (равные измерения) (см. рис. 2.17).

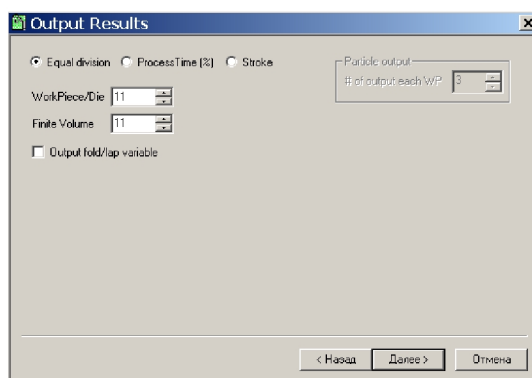


Рис. 2.17. Окно **OUTPUT RESULTS**

В окне **PROBLEM TYPE** (тип штамповки) выберите: **HOT FORGING** (горячая штамповка), **Open Die** (открытый штамп), нажмите ЛКМ на кнопку **Далее** (см. рис. 2.18).

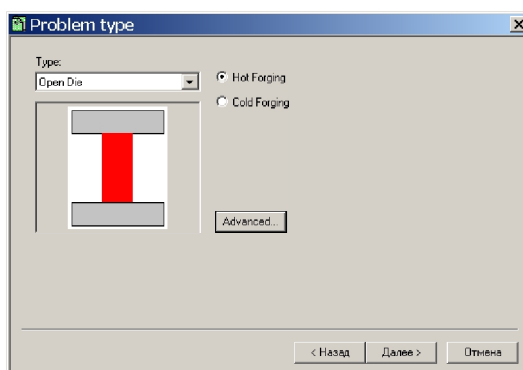


Рис. 2.18. Окно **Problem type** (тип штамповки)

Установите точки контроля для процесса решения (см. рис. 2.19), т. е. точки, через которые должны формироваться результаты (графики и модели):

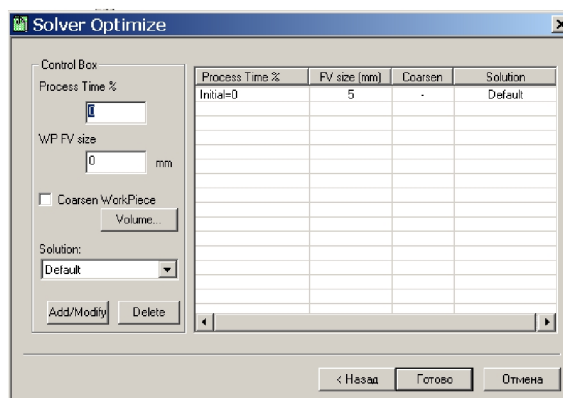


Рис. 2.19. Окно **Solver optimize**

Задайте параметр **Process Time**, равный 10 % (результаты расчёта будут отображать через каждые 10 % процесса штамповки); или **FV size**, равный 20 мм (в этом случае результаты будут отображаться через каждые 20 мм хода штампа), нажмите кнопку **ADD** (добавить).

По окончании ввода данных нажмите ЛКМ кнопку **Готово**.

По умолчанию расчёт осуществляется в 3D (объёмном) моделировании, но для некоторых моделей штампов достаточно и расчётов при 2D моделировании. Это условие может быть задано с помощью вызова команды **2D Simulation** из меню **PROCESS** папка **INSERT**. В окне **2DCUT PLANE** (см. рис. 2.20) задайте угол для штампа (**ANGLE**) – 90 градусов и центр штампа – 0 мм по оси X, 0 мм по оси Y.

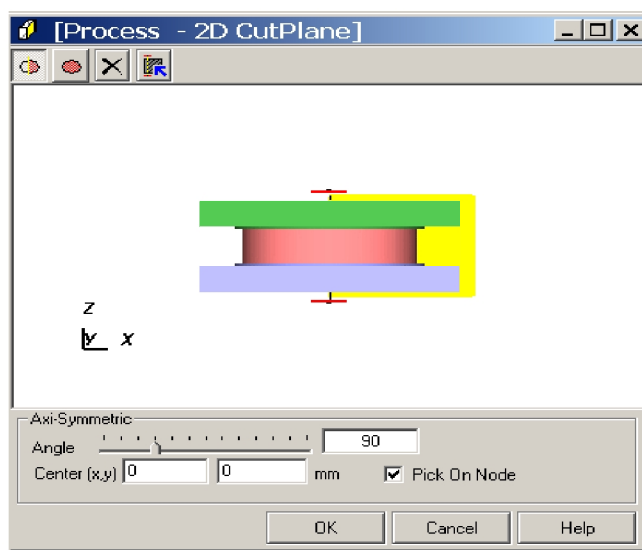


Рис. 2.20. Окно **Process-2D CutPlane**

После задания всех параметров выполните проверку данных. Внизу экрана на **Панели инструментов** выберите **CHECK DATA** (проверка данных). Если ошибок нет, то программа выдает сообщение «The process is correctly defined».

Для запуска расчёта нажмите кнопку **RUN**, которая расположена в нижней части экрана на **Панели инструментов**, и программа автоматически выполнит расчёт.

### 2.3. Оптимизационный расчёт размеров заготовки

Откройте проект под названием «**180X5819**» (диаметр заготовки 180 мм).

Выберите расчёт **MATERIAL FLOW** (течение металла) – **ANIMATION** (анимацию). Результаты представлены на рис. 2.21.

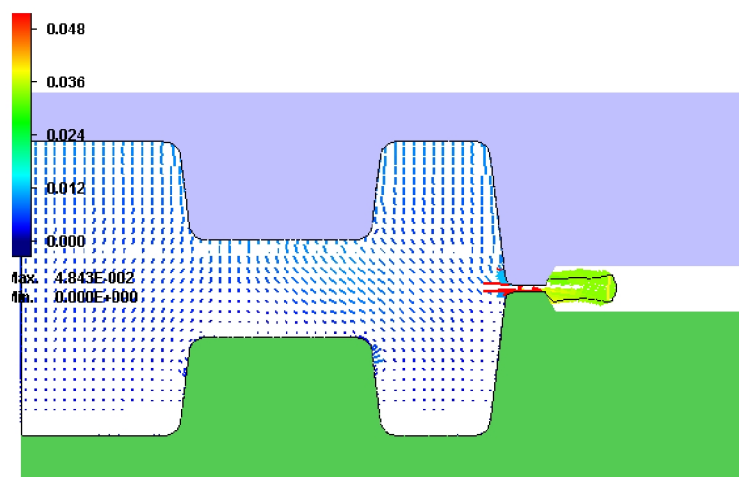


Рис. 2.21. Направление сечения металла на различных участках заготовки в момент окончания деформирования

Измерьте величину облоя, указав на **Панели инструментов** пункт **MEASURING** (Измерения). Появится окно **MEASURING** (см. рис. 2.22).

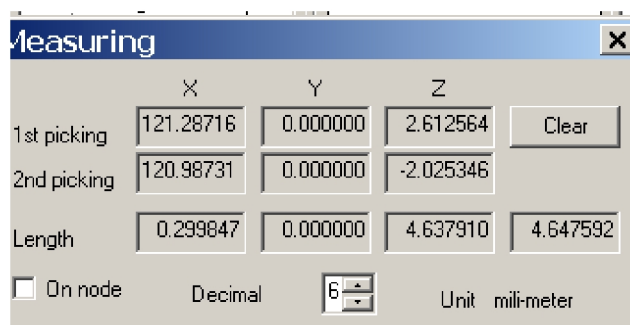


Рис. 2.22. Окно **MEASURING**

Укажите первую точку на облое, затем вторую в поле **LENGTH** (длина) по оси **Y** будет нужная величина.

Откройте проект «200X4713», измеряем в нем величину облоя.

Если при визуализации результатов пропадает изображение, надо в панели **PROCESSES** выбрать из выпадающего меню опцию **PRE WINDOW**.

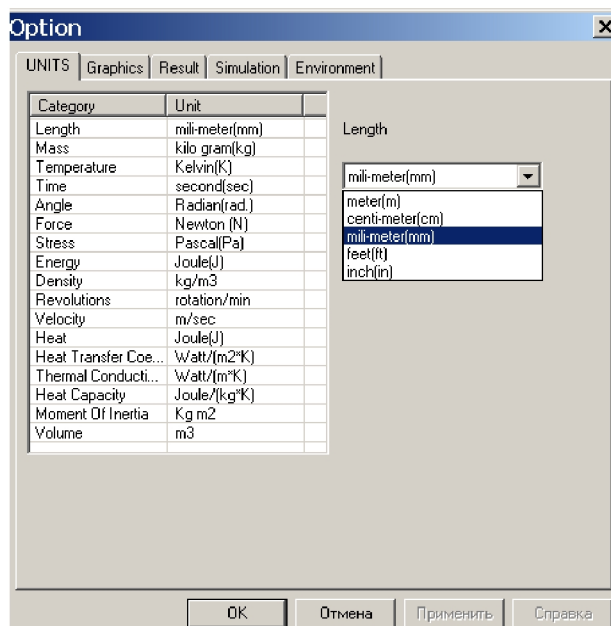


Рис. 2.23. Окно **Option** на закладке **Units** (единица измерения)

Для изменения величины измерений надо выбрать в **Главном меню** опцию **TOOLS – OPTIONS** и указать нужный параметр измерений и требуемую величину (см. рис. 2.23).

#### Контрольные вопросы

1. Какие данные необходимо задать для осуществления расчета?
2. Как осуществляется задание температуры заготовки?
3. Какие параметры оборудования необходимо задать для осуществления расчета?
4. Какие законы трения могут использоваться для моделирования технологического процесса?
5. Какова последовательность действий, осуществляемая при описании процесса в программе SuperForge?
6. Как осуществляется позиционирование заготовки?
7. Какая система, Deform или SuperForge, Вам показалась более удобной при работе? Обоснуйте свой ответ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в развитых странах мира проектирование технологии изготовления изделий методами обработки металлов осуществляется только с помощью CAE-систем. При этом ручные расчеты либо не выполняются, либо выполняются на этапе эскизного проектирования или создания концепции изделия. Окончательные расчеты обязательно осуществляются с помощью соответствующего программного обеспечения.

Кроме того, использование современных программных продуктов позволяет значительно упростить проектирование технологического процесса, сделать его более наглядным и избежать ошибок, возникающих вследствие неточности, допускаемых по вине технологов.

Как показано в пособии, используемые для технологического проектирования программы (CAE-системы) обладают очень простым интерфейсом, что способствует их быстрому освоению.

Deform и SuperForge представляют собой современные компьютерные системы для моделирования штамповки, которые уже нашли успешное применение в области анализа трехмерных процессов объёмной формовки. Эти программные продукты могут быть эффективно использованы для оценки влияния выбора инструмента и режима обработки на типичные характеристики процесса, такие как пластические деформации материала, окончательные форма и свойства обрабатываемой детали, а также участки образования облоя.

Эффективность моделирования процесса штамповки подтверждает опыт нескольких ведущих промышленных компаний Японии, включая Toyota Motor Co. и DENSO. Deform и SuperForge представляют собой самодостаточные продукты, включающие свои собственные графические пре- и постпроцессорные функции для подготовки модели, а также для визуализации результатов моделирования.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1) DEFORM 2D. Практическое руководство к лабораторным работам.
- 2) Харламов, А. Deform – программный комплекс для моделирования процессов обработки металлов давлением / А. Харламов, А. Уваров // САПР и графика, 2003. – № 6.
- 3) Компьютерные технологии в науке, технике и образовании / учеб. пособие под ред. А. И. Промтова. – Иркутск : Изд-во Иркутского государственного ун-та, 2000. – 426 с.
- 4) Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для ВУЗов / И. П. Норенков. – 2-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 336 с.
- 5) Краснов, М. Unigraphis для профессионалов / М. Краснов. – М. : Изд-во ЛОРИ, 2004. – 319 с. : ил.

*Учебное издание*

**Шляпугин** Алексей Геннадиевич,  
**Хаймович** Ирина Николаевна,  
**Демьяненко** Елена Геннадьевна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОМД  
С ПОМОЩЬЮ САЕ-СИСТЕМ**

Учебное пособие

Редактор Бабаченко О. С.  
Компьютерная верстка Бабаченко О. С.

Подписано в печать г. Формат 60x84 1/16  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 3. Тираж 100 экз. Заказ № Арт. 12

Самарский государственный аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

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