

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В. Р. Каргин, Б. В. Каргин, Я. А. Ерисов

Моделирование прессования в программе DEFORM-2D

Электронное учебное пособие
по практическим занятиям

САМАРА
2010

УДК 621.73.001.5

Авторы: **Каргин Владимир Родионович,**
Каргин Борис Владимирович,
Ерисов Ярослав Александрович

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. А. Михеев,
канд. техн. наук, доц. В. И. Дровяников

Рассмотрены краткие теоретические сведения о процессе прессования металлов. Приведены основные положения по использованию современного программного комплекса *DEFORM-2D*. Показана последовательность действий, выполняемых при компьютерном моделировании процесса прессования: создание задачи, построение математических моделей заготовки и инструмента, задание граничных условий, свойств материала заготовки и инструмента, проведение и анализ результатов моделирования.

Предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по магистерской программе «Инновационные технологии получения и обработки материалов с заданными свойствами» по направлению 150400.68 «Металлургия».

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
ИЗУЧЕНИЕ ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ КРУГЛОГО ПРОФИЛЯ	8
ИЗУЧЕНИЕ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО МЕТОДОВ ПРЕССОВАНИЯ	37
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ МАТРИЦ НА ПРОЦЕСС ПРЕССОВАНИЯ	56
ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕССОВАНИЯ	77
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	100
ПРИЛОЖЕНИЯ	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы активное развитие информационных технологий сделало возможным их широкое применение в учебном процессе при подготовке высококвалифицированных специалистов в области обработки металлов давлением.

На кафедре обработки металлов давлением Самарского государственного аэрокосмического университета разработан лабораторный практикум по компьютерному моделированию процесса прессования металлов, в условиях осесимметричной деформации с помощью метода конечных элементов в специализированном программном комплексе *DEFORM-2D*, содержащий описание четырех лабораторных работ.

В первой работе моделируются процесс прессования круглых прутков из алюминиевых сплавов с прямым истечением через плоскую матрицу. По результатам моделирования строят график изменения усилия прессования в зависимости от перемещения пресс-шайбы. Рассматриваются основные стадии прессования: распрессовка, основная и заключительная. По картинам изменения координатной сетки проводится анализ закономерностей течения металла. По графикам распределения интенсивностей напряжений и деформаций устанавливаются зоны интенсивных сдвиговых деформаций и зоны затрудненной деформации.

Во второй работе при прочих равных условиях моделируются процессы прессования с прямым и обратным истечением через плоские матрицы. На основании графиков изменения усилий прессования в зависимости от перемещения инструмента, картин изменения координатных сеток, векторных полей перемещений и скоростей, распределения интенсивностей напряжений и деформаций проводится анализ напряженно-деформированного состояния и формулируются выводы о достоинствах и недостатках рассматриваемых методов.

В третьей работе при прочих равных условиях моделируются процессы прессования с прямым истечением в плоские и конические матрицы по методике, описанной во второй работе.

В четвертой работе при прочих равных условиях моделируются процессы горячего и холодного прессования металлов через плоские матрицы с прямым истечением, по методике, описанной во второй работе. Кроме того дается анализ распределения поля температур по объему прессуемой заготовки и возможных областей разрушения металлов.

Сравнение результатов компьютерного моделирования с результатами аналитических решений и экспериментальными данными показывают, что моделирование в программном комплексе *DEFORM-2D* достоверно воспроизводит процесс прессования металлов.

Целью учебного пособия является обучение студентов на примере процесса прессования навыкам использования компьютерного моделирования разнообразных процессов обработки металлов давлением, анализу результатов моделирования и использование результатов анализа для проектирования реальных технологических процессов.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование технологических процессов обработки металлов давлением на современном уровне предполагает решение целого ряда весьма сложных задач. Основная цель состоит в том, чтобы выявить закономерности процесса, существенные факторы и параметры, влияющие на его протекание, оценить их возможные воздействия на эксплуатационные свойства получаемых изделий. Полученные данные позволяют сформировать информационное поле конкретной технологии и, таким образом, иметь возможность управления, как процессом, так и свойствами изделий.

Компьютерное моделирование позволяет получить большой объем информации, провести всестороннее исследование процесса пластического деформирования, определить его особенности, рассмотреть и сопоставить большое количество альтернативных вариантов технологических процессов.

Весьма большими возможностями в этом плане обладает компьютерная программа *DEFORM*, которая предназначена для моделирования сложных трехмерных процессов пластического деформирования металлов, таких какковка, объемная штамповка, волочение, прокатка, прессование и относится к технологическим *CAE*-системам (системам инженерных расчетов).

Программа позволяет проследить за течением металла и получить макроструктуру металлоизделия, минимизировать усилие деформирования, подобрать прессовое оборудование, оптимизировать количество технологических переходов, моделировать образование дефектов и помочь понять способы их устранения, прогнозировать механические свойства конечного изделия, микроструктуру и фазовый состав, рассчитать на прочность деформирующий инструмент. Кроме того, при помощи моделирования можно определить также важные параметры заготовки, как накопленная деформация, напряжение, температура, направление волокна заготовки, возможность разрушения заготовки, износ инструмента.

Чтобы обеспечить сохранность информации, быстрый расчет, программа *DEFORM-2D* содержит следующие способности:

1. Условное деление на препроцессор, процессор (решатель) и постпроцессор, что позволяет сделать работу для пользователя наиболее удобной и наглядной.

2. Файл базы данных с расширением «*bd*» создается в препроцессоре и содержит всю необходимую для расчета информацию. После осуществления моделирования, файл дополняется информацией, полученной из расчета, и может быть использован для работы в постпроцессоре.

3. Поскольку в файле базы данных информация представляется в виде, удобным для расчета, т.е. в таком виде, чтобы решатель мог быстро прочитывать этот файл и дописать в него полученную информацию, то файл базы данных имеет большой объем. Поэтому в программе *DEFORM-2D* формиру-

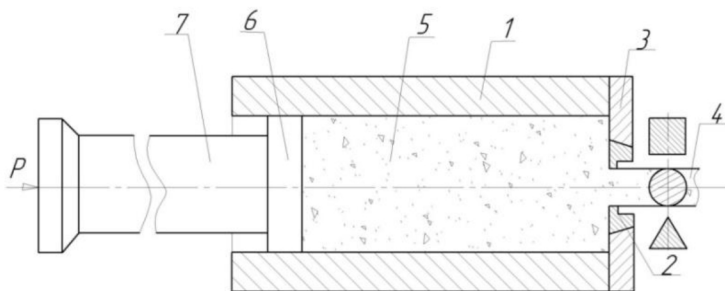
ется файл с расширением «key», который в компактном виде содержит всю информацию, необходимую для создания базы данных. «Key»-файл имеет небольшой объем и удобен для копирования и перемещения, например, его можно отправить по электронной почте. После получения файла его открывают с помощью препроцессора и создают базу данных, которую в дальнейшем используют для расчета.

ИЗУЧЕНИЕ ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ КРУГЛОГО ПРОФИЛЯ

Цель работы: компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния в процессе холодного прессования круглого профиля из алюминиевого сплава АД31 с прямым истечением и привитие практических навыков работы в средах твердотельного моделирования с помощью программного комплекса *DEFORM-2D*.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Прессование – это процесс обработки металлов давлением, применяемый для получения длинномерных профилей простых и сложных поперечных сечений из различных металлов и сплавов.



1 – контейнер, 2 – матрица, 3 – матрицедержатель, 4 – профиль,
5 – заготовка, 6 – пресс-шайба, 7 – пресс-штемпель

Рис. 1. Схема прессования профилей

Представление о процессе прессования можно получить из рассмотрения схемы, приведенной на рис. 1. Прессованием (выдавливанием, экструдированием) называется процесс истечения металла из замкнутого объема, заключенного в контейнере 1 между пресс-шайбой 6 и матрицей 2, через отверстие в матрице под действием сжимающих сил P . Форма отверстия в канале матрицы определяет форму поперечного сечения пресс-изделия 4. Заготовкой 5 является, как правило, цилиндрический слиток с диаметром чуть меньше внутреннего диаметра контейнера. Заготовку, обычно нагретую до температуры, при которой ведется прессование, помещают в контейнер 1 гидравлического пресса, представляющей собой втулку с цилиндрической полостью. В процессе прессования контейнер подогревают, чтобы уменьшить охлаждение заготовки.

Как видно из рис. 1, замкнутая полость в контейнере 1 образуется следующим образом. С одной стороны полость в контейнере замыкается матрицей 2, установленной в матрицедержателе 3. Отверстие в матрице, соответствующее сечению прессуемого профиля, называют каналом или очком. С дру-

гой стороны полость контейнера закрывают пресс-шайбой 6, предохраняющий пресс-штемпель 7 от воздействия высоких температур и давлений.

Усилие прессования P передается от пресса заготовке через пресс-штемпель и пресс-шайбу. Металл заготовки под давлением пресса заполняет полость контейнера и затем, не имея другого выхода, кроме отверстия в матрице, выдавливается из последнего в виде длинномерного пресс-изделия, называемого профилем 4.

Прессование продолжается до тех пор, пока в контейнере между пресс-шайбой и матрицей остается незначительный объем металла, называемый пресс-остатком. По окончании прессования профиль отрезают от пресс-остатка, а пресс-остаток удаляют из контейнера в отходы. После этого в контейнер загружается новая заготовка и цикл прессования повторяется. Таким образом, прессование является периодическим, циклически повторяющимся процессом.

Прессование называется с прямым истечением потому, что направление усилия прессования совпадает с направлением течения металла.

Наиболее распространенный процесс прямого прессования через плоскую матрицу, представленный на рис. 1, можно условно разделить на индикаторной диаграмме, отображающей изменение усилия на пресс-шайбе в течение рабочего хода пресса, на три стадии: начальную I, основную II и заключительную III (рис. 2).

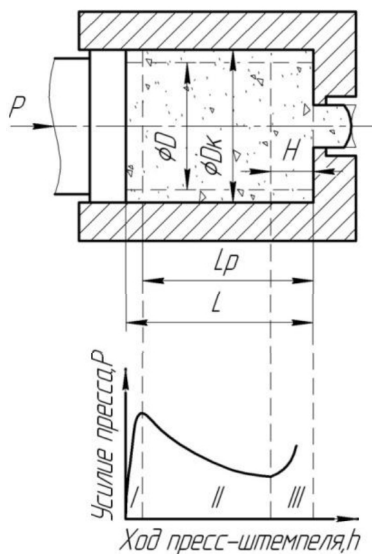
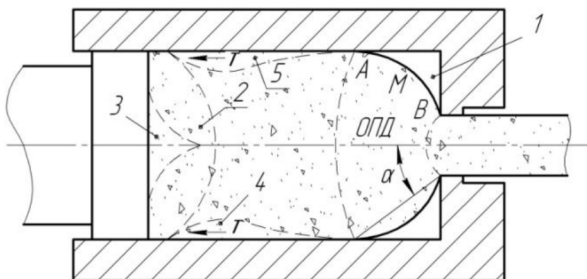


Рис. 2. Стадии прессования

Основная стадия – начинается с выдавливания профиля через канал матрицы, она проходит при установившемся течении металла. По мере выдавливания заготовки из контейнера и уменьшения величины поверхности контакта заготовки с контейнером усилие прессования снижается, так как снижается величина той доли усилия прессы, которая идёт на преодоление сил трения по контейнеру $T_{кр}$, рис. 2. Эта стадия характеризуется наличием различных устойчивых объёмов внутри заготовки, в которых происходит упругие и пластические деформации (рис. 3).



Наибольшие деформации развиваются в заготовке в непосредственной близости от матрицы. Это очаг пластической деформации (ОПД). Основная часть заготовки в это время деформируется мало и может рассматриваться как упругое тело.

Упругую зону 1 у матрицы невозможно выпрессовать, поэтому она идёт в отходы в виде пресс-остатка. Существование упругих зон 2 и 3 у пресс-шайбы объясняется удалённостью объёмов и их захоженностью (2) и сим-

метричностью течения (3). Зона 3 проявляется в последний момент при приближении пресс-шайбы к матрице.

Течение металла у пресс-шайбы вызывает появление заторможенных объёмов 4. Эти объёмы создаются также и потому, что захолощенный тонкий слой металла 5 соскабливается в процессе прессования в более компактный объём. Образование зон 4 приводит к собиранию загрязнений с поверхности заготовки в объём у пресс-шайбы. Это позволяет при прямом прессовании получить чистую поверхность изделий.

На заключительной стадии пресс-шайба приближается к матрице (рис. 4). На поверхности пресс-шайбы наблюдается интенсивное течение металла в радиальном направлении, что и приводит к росту усилия прессования, необходимого для преодоления сил трения $T_{ш}$ по ее поверхности. Упругая зона 2 исчезает, т.к. она начинает питать очаг пластической деформации.

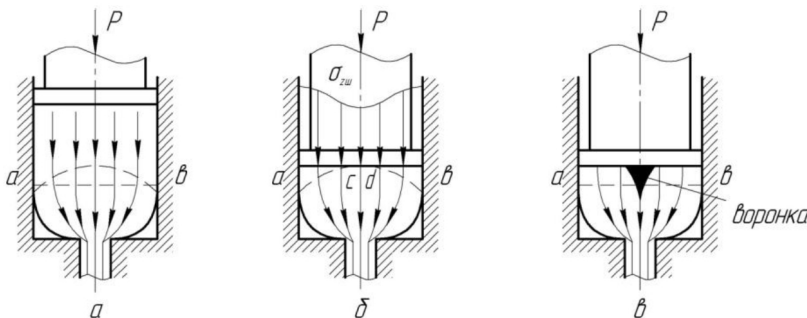


Рис. 4. Схема заключительной стадии прессования

До подхода пресс-шайбы к ОПД питание происходит по всей границе ab за счёт вышележащих слоёв (рис. 4, а). После пересечения плоскостью пресс-шайбы верхней границы ОПД, на участках ac и db питание осуществляющие по-прежнему. На участке cd питание вышележащими слоями прекращается (рис. 4, б). По закону наименьшего сопротивления металл периферийных слоёв устремляется к центру, за счет чего происходит восполнение недостающего объёма металла. Такое течение в какой-то промежуток времени обеспечивает целостность металла в ОПД.

С того момента, когда расход металла из центральных слоёв окажется больше поступления металла из периферийных слоёв начинается образование центральной воронки (полости), глубоко проникающей в очаг деформации и пресс-изделие (рис. 4, в). Эту полость называют пресс-утяжиной.

Чтобы исключить образование пресс-утяжины заготовку прессуют не до конца, оставляя пресс-остаток. В пресс-остаток попадает металл, находящийся в «мёртвой» зоне, а также различные загрязнения с поверхности заготовки.

Рассмотрим типичную картину искажения координатной сетки при пря-

мом методе прессования круглого профиля через плоскую матрицу на основной стадии процесса. Заготовка предварительно разрезается на два полуцилиндра. На плоскость реза одного из полуцилиндров наносят координатную сетку. Затем части заготовки составляют вместе по поверхности разъёма, предварительно покрытого, например, машинным маслом для предотвращения сварки и подвергают прессованию как цельное металлическое тело. После прессования заготовка вновь разнимается, и по ней судят о характере течения металла (рис. 5).

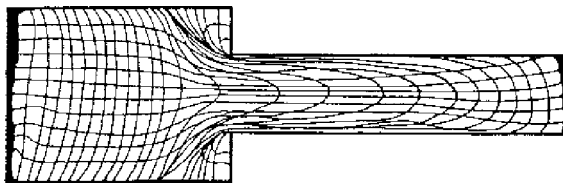


Рис. 5. Схема искажения координатной сетки при прямом прессовании через плоскую матрицу

По искажениям координатной сетки видно, что:

1. Все прямые продольные линии до прессования остаются прямыми после прессования за исключением переднего конца прутка.
2. Все продольные линии претерпевают изгибы у входа в ОПД и у выхода из него. Изгибы линий определяют торцевые границы ОПД. Изгибы направлены во взаимно-противоположные стороны, что свидетельствует о немоности деформации. Немонотонность деформации уменьшается от периферии к центру.
3. Все поперечные линии начальной координатной сетки симметрично изгибаются выпуклостью в направлении движения прессуемого металла. Это указывает на большое отставание периферийных слоев от центральных. Отставание объясняется действием силы трения, формой канала матрицы и т.д.
4. На переднем конце прутка имеют место незначительные деформации. Причина – передний конец расположен напротив отверстия в матрице и не претерпевает тех изменений, которым подвергается основная масса заготовки. Поэтому передний конец прутка удаляют в отход.
5. Все осевые квадраты превращаются в фигуры близкие к прямоугольникам, а все периферийные квадраты – к сильно вытянутым параллелограммам, что указывает на нарастание сдвиговых деформаций от центра к периферии.
6. Изменение ранее прямых продольных и поперечных линий указывает на большую неравномерность деформаций не только по длине прутка, но и по сечению.

Основной вид напряженного состояния заготовки в главных осях – трех-

осное сжатие с напряжениями, радиальным σ'_R , направленным к оси прессования, тангенциальным σ'_θ , направленным по касательной к центральной окружности, проходящей через рассматриваемую точку и осевым напряжением σ'_z , направленным вдоль оси прессования. За счет напряжений металл выдавливается через матрицу, получая в поперечном сечении заготовки две главные деформации укорочения ϵ'_R и ϵ'_θ и одну главную деформацию удлинения ϵ'_z в направлении оси прессования (рис. 6).

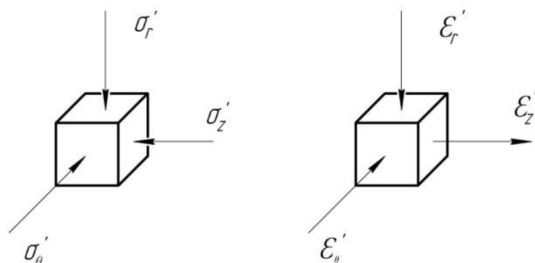


Рис. 6. Схемы главных напряжений и деформаций при прессовании

На некоторых участках заготовки при прессовании могут возникнуть осевые растягивающие напряжения. В ОПД внутренние слои двигаются быстрее периферийных. В результате появляются дополнительные напряжения: в периферийных слоях растягивающие, т.к. каждый внутренний слой, двигаясь быстрее соседнего внешнего, увлекает его за собой, а во внутренних – сжимающие, так как каждый внешний слой сдерживает движение соседнего внутреннего. Вследствие стремления к выравниванию напряжений возникает зона наружных слоев с дополнительными осевыми напряжениями растяжения, уменьшающимися по направлению от периферии к оси, и зона внутренних слоев с дополнительными осевыми напряжениями сжатия, увеличивающимися к оси.

В зоне внутренних слоев дополнительные напряжения сжатия, налагаясь на основные напряжения сжатия, не изменяют вида напряженного состояния металла: всестороннего неравномерного сжатия. В зоне наружных слоев дополнительные напряжения растяжения, налагаясь на основные осевые напряжения сжатия, уменьшают их, а при некоторых условиях, становятся больше основных осевых напряжений сжатия, изменяют вид напряженного состояния металла и переводят всестороннее неравномерное сжатие в двухстороннее (поперечное) сжатие и продольное растяжение. Зона с растягивающими напряжениями находится ближе к выходу из ОПД, т.к. по направлению к выходу основные напряжения падают, а дополнительные возрастают.

При прессовании напряженно-деформированное состояние на основной стадии в любой точке деформируемой заготовки в цилиндрической системе координат (R, θ, Z) описывается симметричными тензорами напряжений и

деформаций:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_R & \tau_{R\theta} & \tau_{RZ} \\ \tau_{\theta R} & \sigma_{\theta} & \tau_{\theta Z} \\ \tau_{ZR} & \tau_{Z\theta} & \sigma_Z \end{pmatrix}, T_{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_R & \frac{1}{2} \gamma_{R\theta} & \frac{1}{2} \gamma_{RZ} \\ \frac{1}{2} \gamma_{\theta R} & \epsilon_{\theta} & \frac{1}{2} \gamma_{\theta Z} \\ \frac{1}{2} \gamma_{ZR} & \frac{1}{2} \gamma_{Z\theta} & \epsilon_Z \end{pmatrix},$$

где $\sigma_R, \sigma_{\theta}, \sigma_Z$ – радиальное, тангенциальное и осевое нормальные напряжения соответственно;

$\tau_{RZ}, \tau_{R\theta}, \tau_{Z\theta}$ – касательные напряжения;

$\epsilon_R, \epsilon_{\theta}, \epsilon_Z$ – радиальная, тангенциальная и осевая деформации;

$\gamma_{RZ}, \gamma_{R\theta}, \gamma_{Z\theta}$ – сдвиговые деформации.

Интегральными характеристиками напряженно-деформированного состояния в рассматриваемой точке деформируемой заготовки являются:

1) интенсивность напряжений:

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_R - \sigma_{\theta})^2 + (\sigma_{\theta} - \sigma_Z)^2 + (\sigma_Z - \sigma_R)^2 + 6(\tau_{R\theta}^2 + \tau_{\theta Z}^2 + \tau_{ZR}^2)};$$

2) интенсивность деформаций:

$$\epsilon_1 = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_R - \epsilon_{\theta})^2 + (\epsilon_{\theta} - \epsilon_Z)^2 + (\epsilon_Z - \epsilon_R)^2 + 6(\gamma_{R\theta}^2 + \gamma_{\theta Z}^2 + \gamma_{ZR}^2)};$$

По этим характеристикам можно определить зоны интенсивной и затрудненной пластической деформации.

При прессовании круглого профиля во всех участках деформируемой заготовки, кроме ОПД, тангенциальные и радиальные главные деформации практически равны. Это определяет приближенное равенство тангенциальных и радиальных главных нормальных напряжений $\sigma'_{\theta} \approx \sigma'_R$. В соответствии с законом наименьшего сопротивления на всех участках прессуемого объема, кроме ОПД: $|\sigma'_Z| > |\sigma'_R|$; а в ОПД, не считая зоны с растягивающими осевыми напряжениями: $|\sigma'_Z| \leq |\sigma'_R|$. Таким образом, главное осевое напряжение σ'_Z убывает по направлению от пресс-шайбы к входу в ОПД и дальше к выходу из него. Соответственно убывает тангенциальное σ'_{θ} и радиальное σ'_R главные нормальные напряжения.

Как видно из рис. 4, б, эпюра осевых нормальных напряжений σ_{Zm} на пресс-шайбе показывает уменьшение этих напряжений к оси прессования, что согласуется одним из основных законов теории обработки металлов давлением о течении металла в направлении наименьшего сопротивления к каналу матрицы.

Перед другими видами обработки металлов давлением прессование имеет следующие преимущества:

1) обеспечивает наибольшую пластичность деформируемого металла, поэтому прессованием можно формоизменять малопластичные металлы, например, чугуны;

- 2) позволяет за один переход получить профили сложной формы поперечного сечения;
- 3) обеспечивает высокую точность размеров профиля, так как упругие деформации инструмента, ничтожны малы;
- 4) легко осуществляется переход с одного профиля на другой путем замены матрицы;
- 5) позволяет деформировать заготовки с высокой степенью деформации за проход.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Создание новой задачи

Запустите *DEFORM-2D*, указав левой кнопкой мыши (ЛКМ) последовательно **Пуск** → **Программы** → **DEFORM-2D**. Будет вызвано Главное окно *DEFORM-2D*, показанное на рис. 7.

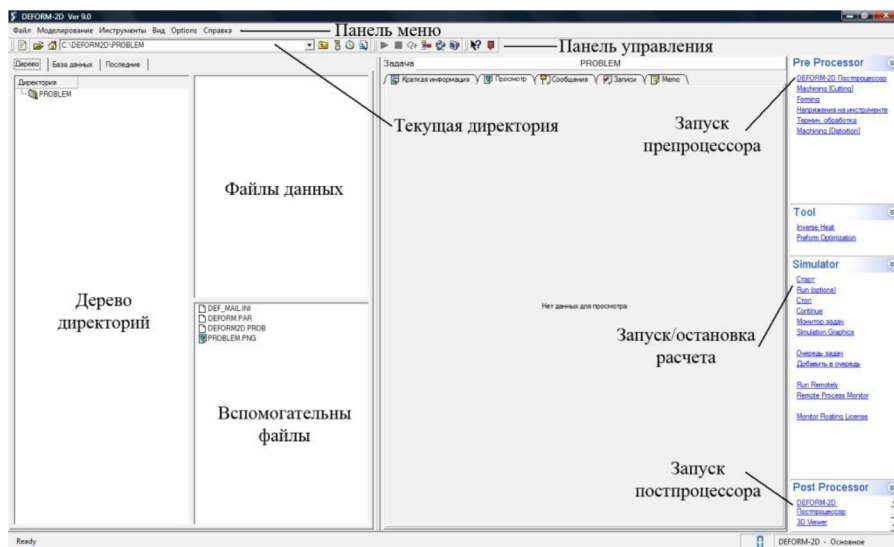


Рис. 7. Главное окно *DEFORM-2D*

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

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

Команда **Новая задача**  позволяет создать новую задачу и запустить препроцессор, позволяющий задавать исходные данные. Команда **Выход**  позволяет выйти из программы.

Меню **Моделирование** необходимо для запуска задачи на расчет и управления задачами в ходе расчета. Для запуска задачи на расчет и аварийной остановки расчета используются команды **Старт**  и **Стоп** , вынесенные 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**. В активной строке **Текущая директория** указана директория (папка) являющаяся корневой в окне **Дерево директорий**.

Создайте новую задачу, выбрав из меню **Файл** пункт **Новая задача** или нажав кнопку  на **Панели управления**. Появится окно **Параметры задачи**, в котором необходимо определить особенности моделируемого процесса. Не указывая тип решаемой задачи, нажмите кнопку **Next**, для того чтобы запустить препроцессор (тип задачи можно определить в препроцессоре).

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

В появившемся окне необходимо указать название задачи. Название задачи должно быть набрано английскими литерами без пробелов. Дайте название задачи, набрав *PRESSOVANIE*.

Нажмите кнопку **Finish**, произойдет запуск препроцессора *DEFORM-2D*. Его интерфейс состоит из нескольких частей (рис. 8), а именно: **Окно-дисплей** (*Display window*), **Дерево Объекта** (*Object Tree*) и **Данные объекта** (*Object Data*). Также вверху экрана находится **Панель меню** и **Панель управления**, содержащие ряд кнопок. Наиболее часто используемые кнопки, расположенные на **Панели управления** представлены в приложении А.

Нажмите кнопку **Simulation controls**  (настройки задачи), появится окно **Simulation controls**, в котором по умолчанию будет активна закладка

Основное  (рис. 9). Убедитесь в том, что в качестве системы измерения установлена система «СИ» (напротив надписи «СИ» должен стоять флажок) и выбран режим расчета деформаций (галочка напротив надписи «Деформирование»), а решаемая задача обладает геометрической осевой симметрией (флажок напротив «Осесимметричная»). Для завершения работы с окном **Настройки задачи** нажмите кнопку **ОК**.

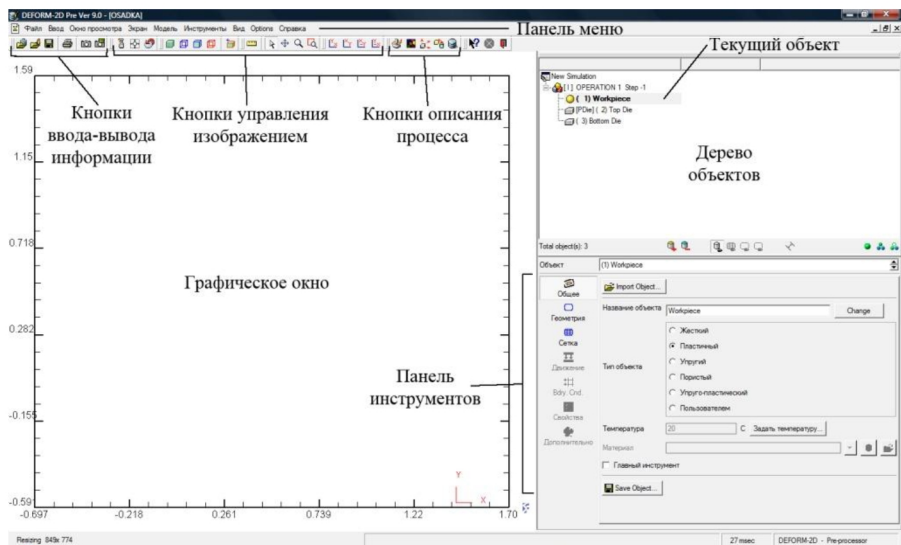


Рис. 8. Интерфейс препроцессора

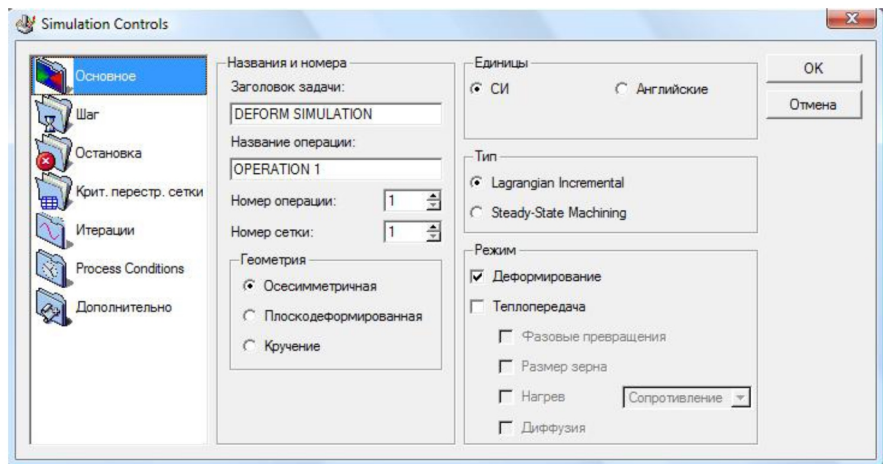
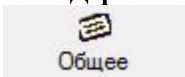


Рис. 9. Окно **Настройки задачи**

Обратите внимание на то, что в **Дереве объектов** после создания задачи был создан всего один исходный объект, а именно *Workpiece* (заготовка). Этот объект выделен в **Дереве объектов**, а на **Панели инструментов** активен пункт **Общее**



(рис. 10).

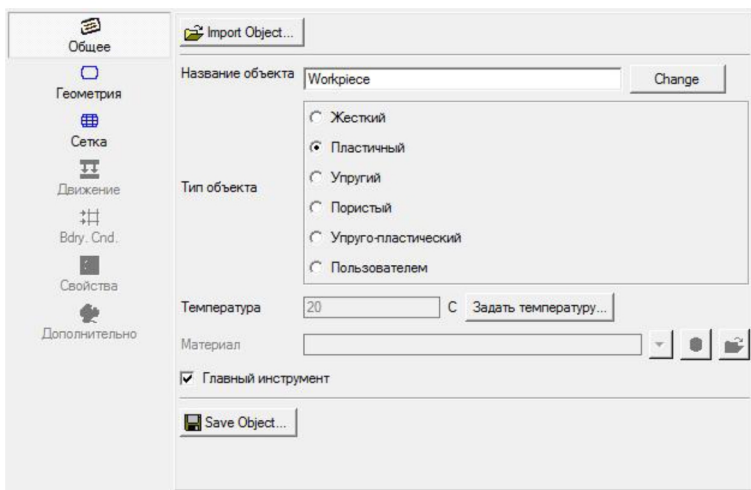


Рис. 10. Пункт **Общее** из **Панели инструментов**

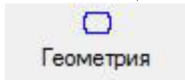
Пункт **Общее** позволяет:

- 1) выбрать тип объекта участвующего в расчете (жесткий, упругий, пластичный, пористый и упруго-пластичный);
- 2) выбрать марку материала из библиотеки;
- 3) указать исходную температуру объекта;
- 4) сохранять в отдельном файле и импортировать объект из задач, которые решались ранее.

Все типы объектов используемые в *DEFORM-2D* кроме жесткого объекта, должны иметь сетку конечных элементов.

Непосредственно под пунктом **Общее** на **Панели инструментов** распо-

лагается пункт **Геометрия**



Геометрия

, позволяющий работать с геометрией моделируемых объектов.

Построение модели заготовки

По умолчанию при создании новой задачи программа сама создает в **Дереве объектов** один объект – заготовку. Геометрия объектов может быть получена построением по точкам, с помощью геометрических примитивов или импортирована из «*dxf*» и «*igs*» файлов.

Пункт **Геометрия** содержит четыре закладки (рис. 11). Наиболее часто используемые кнопки пункта **Геометрия** представлены в приложении Б. По умолчанию осуществляется переход на закладку **Инструмент**, которая позволяет импортировать геометрию объекта из других программ, создавать геометрию

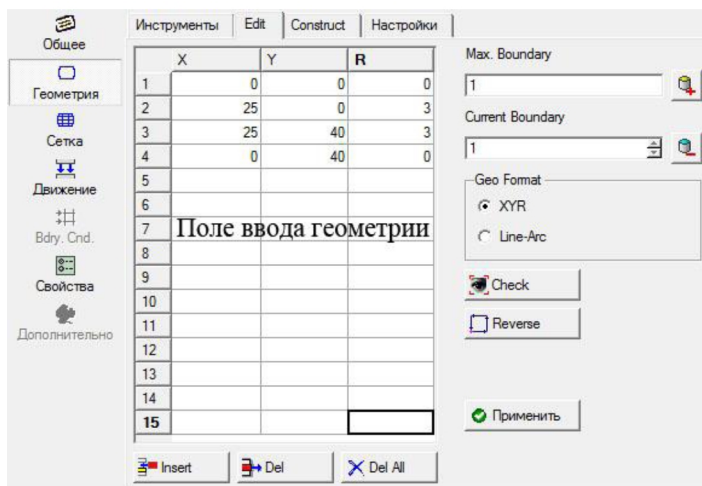


Рис. 11. Пункт Геометрия из Панели инструментов

с помощью примитивов, 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 (*XYR*) или с помощью отрезков-дуг (*Line-Arc*).

Так как исходная заготовка диаметром 80 мм и высотой 25 мм осесимметричная, то для моделирования достаточно рассмотреть ее правую часть.

Перейдите к закладке **Edit** (рис. 11). Нажмите ЛКМ на верхнюю левую ячейку **Поля ввода геометрии**, после чего последовательно введите значения, представленные в табл. 1. После ввода очередного значения, соответствующего данной ячейке, нажимайте на клавишу *Enter*, для перехода к следующей ячейке. После окончания ввода данных нажмите ЛКМ на кнопку

Применить  **Применить**.

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

Табл. 1. Координаты точек для построения заготовки

№	X	Y	R
1	0	0	0
2	25	0	3
3	25	40	3
4	0	40	0

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

Рассмотрите полученную геометрию цилиндрической заготовки. Обратите внимание на то, что с внутренней стороны поверхности располагается серая полоса, которая показывает направление обхода от начальной точки к конечной против часовой стрелки (определяет внутреннюю область объекта). Если серая полоса располагается с внешней стороны, то необходимо изменить направление обхода, нажав на кнопку **Reverse**  (разворот).

Если серую полосу не видно, то необходимо выбрать ЛКМ пункт **Общее** затем выбрать ЛКМ пункт **Геометрия**.

После того как геометрия построена, ее желательно проверить. Нажмите кнопку **Check**  (проверить), а затем в появившемся окне (рис. 12) нажмите на кнопку **Check & Correct Geometry** (проверить и исправить геометрию). Должно появиться сообщение «*Geometry is legal*», которое сообщает о том, что геометрия была построена верно. Для возвращения к пункту **Геометрия** нажмите ЛКМ клавишу **ОК** и еще раз **ОК**.

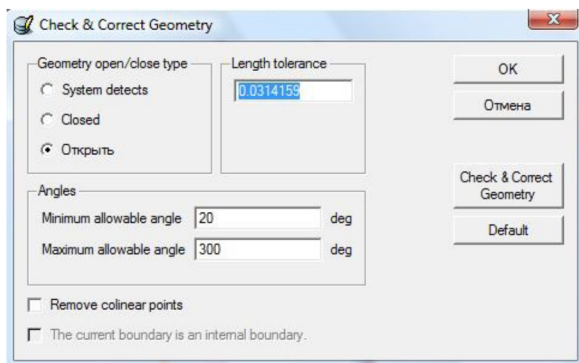


Рис. 12. Окно **Check & Correct Geometry**

Вызовите для редактирования заготовку (укажите ЛКМ в **Дереве объектов** заготовку *Workpiece*) и убедитесь в том, что в пункте **Общее** стоит тип объекта «Пластичный», температура 20°C.

Чтобы разбить модель заготовки на конечные элементы, выберите пункт

Сетка  **Сетка**, задайте количество конечных элементов 1000 и нажмите на кнопку **Генерировать сетку**. Обратите внимание на то, что после редактирования сетки конечных элементов напротив надписи *Workpiece* в

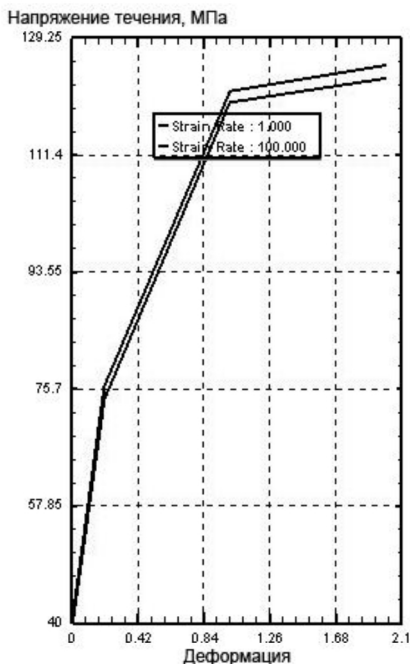


Рис. 13. Диаграмма «напряжение-деформация» сплава AL-1100

окно **Материал**, в котором на соответствующих закладках заданы все свойства материала. Например, нажав на кнопку  в строке **Flow Stress** (напряжение течения) на закладке **Пластичный**, можно просмотреть и отредактировать диаграмму «напряжение-деформация» (рис. 13).

Построение геометрии инструмента

Для добавления в решаемую задачу дополнительного объекта (инструмента) воспользуйтесь кнопкой **Добавить объект** , которая находится под **Деревом объектов**. После добавления объекта в **Дерево объектов** появится объект *Top Die* (верхний инструмент – пресс-шайба). Добавьте по аналогии с предыдущим пунктом объект *Bottom Die* (нижний инструмент – контейнер, совмещенный с матрицей). Инструмент моделируют недеформируемым (тип объекта «Жесткий» в пункте **Общее**).

Каждый из объектов, созданных в программе, обладает набором индивидуальных свойств. В рассматриваемой нами задаче геометрия верхнего и

Дереве объектов появилась надпись

«undefined». Значок  (undefined) означает, что необходимо присвоить материал заготовке (определить свойства материала заготовки).

Перейдите в пункт **Общее** и нажмите на кнопку **Load material from**

library  (загрузить материал из библиотеки), расположенную в строке **Материал**. Появится окно **Material Library** (библиотека материалов), в котором выберите группу материалов «Aluminum» (алюминиевые сплавы) и марку сплава «Al-1100, COLD[70F(20C)]», после этого нажмите ЛКМ на кнопку **Загрузить**. Обратите внимание на то, что вместо надписи «undefined» в **Дереве объектов** появилось название марки материала.

Просмотреть и отредактировать свойства выбранного материала можно, нажав на кнопку **Материал**  на **Панели управления**. Появится

нижнего объекта будет различной. Для задания геометрии тому или иному объекту необходимо выделить его щелчком ЛКМ в **Дереве объектов**, после чего система будет присваивать свойства (геометрию) именно этому объекту.

По аналогии с заготовкой создайте геометрию контейнера, совмещенного с матрицей (*Bottom Die*), и геометрию пресс-шайбы (*Top Die*) по значениям, представленные в табл. 2 и 3 соответственно.

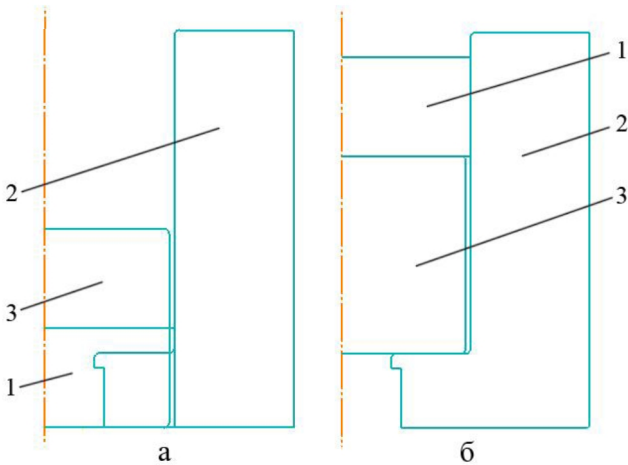
Табл. 2. Координаты для построения контейнера, совмещенного с матрицей

№	X	Y	R
1	12	0	0
2	50	0	0
3	50	80	0
4	26	80	1
5	26	15	1
6	10	15	1
7	10	12	0
8	12	12	0
9	12	0	0

Табл. 2. Координаты точек для построения пресс-шайбы

№	X	Y	R
1	0	0	0
2	26	0	0
3	26	20	0
4	0	20	0

Конечная геометрия заготовки, пресс-шайбы и контейнера, совмещенного с матрицей, изображена на рис. 14, а.



1 – пресс-шайба; 2 – контейнер, совмещенный с матрицей; 3 – заготовка

Рис. 14. Изображение в окне **Display** после задания геометрии (а) и позиционирования (б)

Позиционирование объектов

Для расположения объектов по отношению друг к другу необходимо воспользоваться пунктом **Object positioning**  (позиционирование объектов), который располагается на **Панели управления**. Описание команд данного пункта приведено в приложении В.

Для наиболее точного и быстрого расположения объектов так, как это показано на рис. 14, б, воспользуйтесь командой **Интерференция** окна **Позиционирование объектов**. Для использования команды необходимо установить флажок напротив надписи «Интерференция» (рис. 15). Затем нужно выбрать позиционируемый объект и объект, относительно которого будут размещены другие объекты.

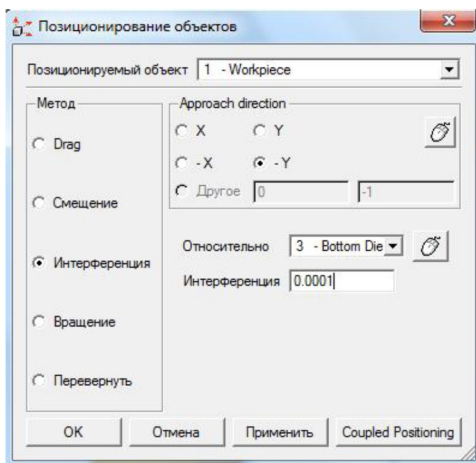


Рис. 15. Окно **Позиционирование объектов**

Определите объект, который будет размещаться или позиционироваться, нажатием ЛКМ на треугольник  в строке **Позиционируемый объект** и выберите *Workpiece*. В строке **Относительно**, с помощью меню вызываемого нажатием ЛКМ на треугольнике , выберите объект *Bottom Die* (рис. 15).

Далее необходимо определить часть позиционируемого объекта, которая касается объекта, относительно которого осуществляется позиционирование (часть *Workpiece*, которая касается *Bottom Die*). Поскольку заготовка *Workpiece* касается контейнера *Bottom Die* своей нижней частью, то необходимо поставить флажок напротив надписи «-Y» в блоке **Approach direction** (направление сближения). Нажмите ЛКМ кнопку **Применить**. Произошло расположение объектов, нажмите ЛКМ на кнопку **ОК**.

По аналогии с заготовкой осуществите позиционирование пресс-шайбы

Top Die. За направление сближения также выберите «-Y» в блоке **Approach direction**, в качестве позиционируемого объекта – *Top Die*, а в качестве объекта, относительно которого производится позиционирование – *Workpiece*. Изображение на экране должно принять вид, показанный на рис. 14, б.

Сохраните полученную модель нажав на кнопку **Сохранить** , которая располагается на **Панели управления**.

Назначение контактных поверхностей при взаимодействии объектов

Нажмите на кнопку **Inter-object**  (взаимодействие объектов), расположенную на **Панели управления**, и на запрос системы о необходимости создания контактных пар, в появившемся окне ответьте положительно (нажмите кнопку **Yes**).

Окно **Взаимодействие объектов** появится с уже определёнными тремя контактными парами (рис. 16). В *DEFORM-2D* контактные пары, определяются относительно главного (обычно «жесткий», недеформируемый инструмент) и подчинённого объектов (пластически деформируемый объект, например, заготовка).

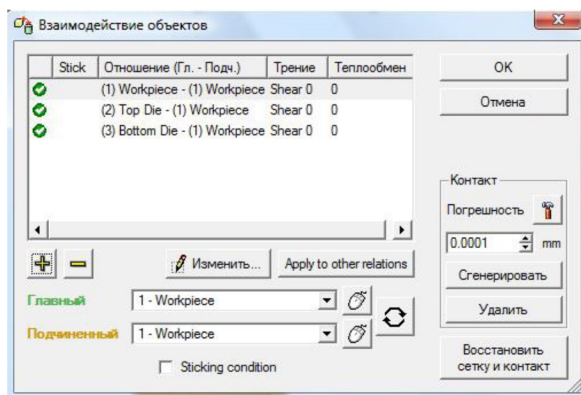


Рис. 16. Окно **Взаимодействие объектов** до задания исходных данных

В окне **Взаимодействие объектов** (рис. 16) нажмите кнопку **Изменить** , в появившемся окне поставьте флажок напротив надписи «Constant Tau» (закон трения по Зибелю) и укажите коэффициент трения равный 0,12 (рис. 17). Нажмите кнопку **Заккрыть** в окне **Inter-Object Data Definition** (определение свойств взаимодействия объектов). Нажмите на кнопку **Apply to other relations** (применить к другим парам) для того, чтобы назначить условия взаимодействия объектов всем контактным парам.

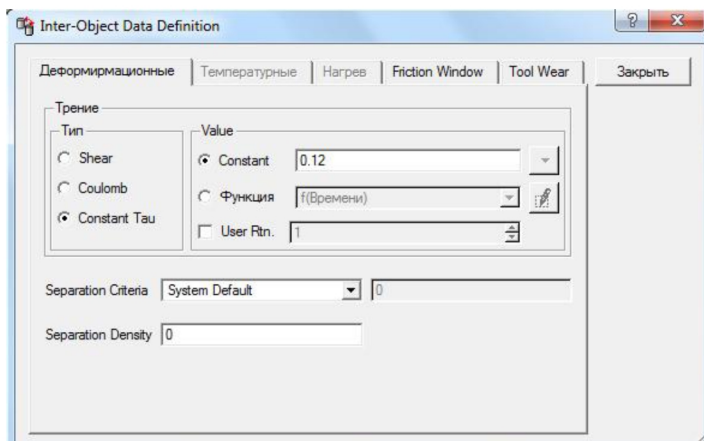


Рис. 17. Окно **Inter-Object Data Definition**

Для генерации величины точности, с которой компьютер может создать контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** , после этого нажмите кнопку **Сгенерировать** для создания поверхностей контакта, при этом в окне **Display** появится изображение мест контакта (разноцветные точки в местах взаимодействия объектов, рис. 18). Нажмите кнопку **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

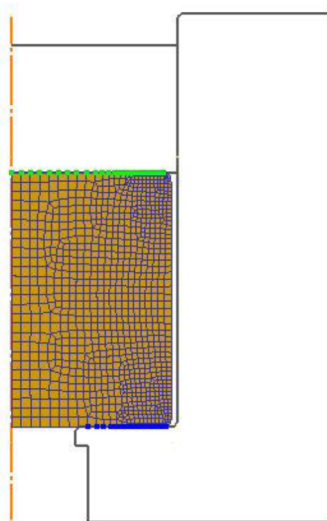


Рис. 18. Контактные поверхности между заготовкой, пресс-шайбой и контейнером

Задание движения верхнего инструмента

В программе *DEFORM-2D* 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 усилие и скорость равны нулю. Однако, если 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 «*PDie*», расположенный перед 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**.

Сделайте активным верхний инструмент *Top Die* (пресс-шайба) для задания характеристики приложенного к верхнему инструменту движения (укажите *Top Die* в Дереве объектов).



Нажмите кнопку **Движение** на Панели инструментов. Убедитесь, что напротив надписи **Скорость** стоит флажок, введите в активное окно, расположенное в самом низу, 1 мм/с (рис. 19).

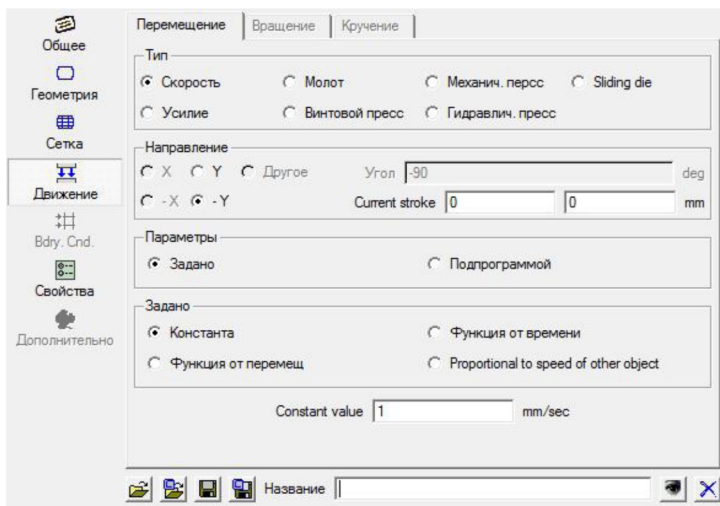


Рис. 19. Пункт **Движение** из **Панели инструментов**

В соответствии с заданными условиями нагружения пресс-шайба будет перемещаться вниз (-Y) с постоянной скоростью 1 мм/с.

Задание числа шагов расчета

Задание шага решения задачи может быть ограничено по времени и по перемещению главного инструмента. Для определения величины шага по перемещению необходимо произвести замер наименьшего размера сетки конечных элементов заготовки при помощи кнопок **Увеличить**  и **Измерить** , расположенных на **Панели управления**, и данное значение разделить на три.

Нажмите на кнопку **Simulation controls**  на **Панели управления** и в появившемся окне **Simulation controls** перейдите на закладку **Шаг**. Затем введите величину шага (результат деления) в ячейку расположенную в строке **With Equal Die Displacement** (рис. 20).

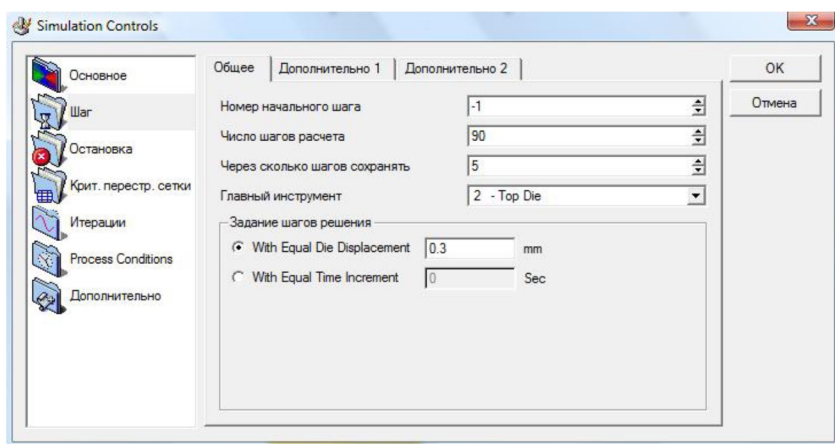


Рис. 20. Окно **Simulation controls** на закладке **Шаг**

Для того, что бы задать число шагов расчета необходимо перемещение главного инструмента разделить на размер шага и полученное значение, округленное до целого в большую сторону, внести в ячейку в строке **Число шагов расчета** (рис. 15).

При прессовании перемещение главного инструмента определяется величиной пресс-остатка. Примем число шагов расчета равным 90, что соответствует высоте пресс-остатка 13 мм при величине шага 0,3 мм.

В строку **Через сколько шагов сохранять** введите 5 – интервал сохранения шагов в базу данных, а в строке **Главный инструмент** установите *Top Die*. Нажмите кнопку **ОК**.

Сохраните данные нажав на кнопку **Сохранить** , расположенную в верхней левой части экрана на **Панели управления**.

Запись базы данных

Нажмите кнопку **Database generation**  (генерация базы данных), расположенную на **Панели управления**. 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. 21, а). Нажмите ЛКМ кнопку **Заккрыть** для выхода из окна **Генерация базы данных**.

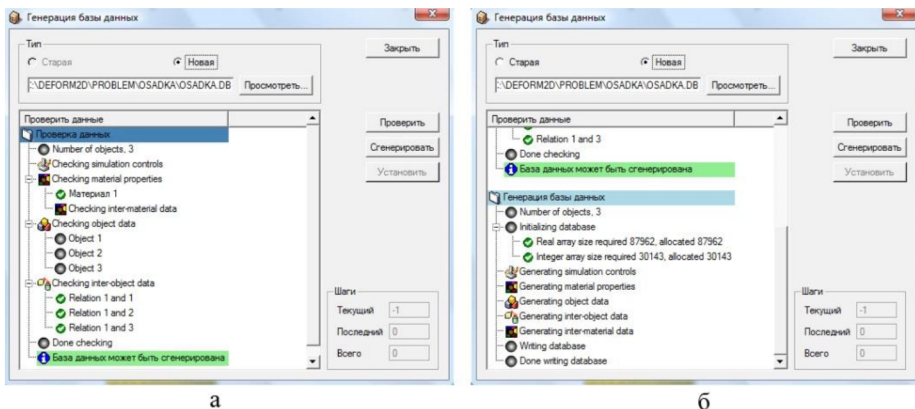


Рис. 21. Окно **Генерация базы данных** после проверки исходных данных (а) и создания базы данных (б)

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

Обратите внимание на то, что работа осуществлялась только с файлом с расширением «*key*». Название файла будет соответствовать тому названию, которое Вы давали задаче при ее создании. В нашем случае файл назван «*PRESSOVANIE.KEY*».

Откройте в препроцессоре решаемую ранее задачу. Для этого нужно в правой верхней части экрана в пункте **Pre Processor** нажать на надпись «*DE-FORM-2D Постпроцессор*» (при локализации программного комплекса допущена ошибка в переводе). Произойдет запуск препроцессора.

Нажмите кнопку **Database generation** . В появившемся окне **Генерация базы данных** нажмите на кнопку **Сгенерировать**, в поле создания базы

данных появится сообщение «Запись базы данных завершена», свидетельствующее о том, что база данных была успешно создана (рис. 21, б).

Выйдите из препроцессора, нажав ЛКМ на кнопку **Выход** , и убедитесь в том, что рядом с файлом с расширением «*key*» появился файл с расширением «*db*».

Проведение моделирования

В пункте **Simulator** в Главном окне нажмите кнопку **Старт** или кнопку  на **Панели управления**. 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 расчет закончится, т.е. исчезнет зелёная полоска и надпись **Running**.

В случае больших деформаций происходит сильное искажение сетки конечных элементов, что приводит к снижению точности моделирования. Поэтому при определенной степени искаженности, *DEFORM-2D* автоматически производит перестроение конечно-элементной сетки, о чем сообщает смена надписи **Running** на **Remeshing**.

Анализ результатов моделирования

Для вывода информации полученной в ходе моделирования используется постпроцессор. Что бы открыть решаемую задачу в постпроцессоре нажмите ЛКМ в пункте **Post Processor** на надпись «*DEFORM-2D* Постпроцессор».

После загрузки задачи в постпроцессоре с помощью кнопок, представленных в приложении Г и Д, проведите анализ полученных результатов моделирования.

Дайте анализ изменения напряженно-деформированного состояния по стадиям процесса прессования (рис. 22). Для отображения распределения интенсивности напряжений и деформаций нажмите на кнопку **Параметры**

 на **Панели управления**, затем в окне **Параметры** в дереве переменных выберите тип переменной «*Stress*» («*Strain_Total*») и подтип «*Effective*» («*von Mises*») (рис. 23). В разделе **Экран** установите флажок напротив надписи «*Solid*» (сплошной), а в разделе **Scaling** установите флажок напротив надписи «*Local*». Нажмите **Apply**, а затем **Close**.

Для перемещения по шагам расчета воспользуйтесь кнопками **One step back**  и **One step forward** , расположенных на **Панели управления**.

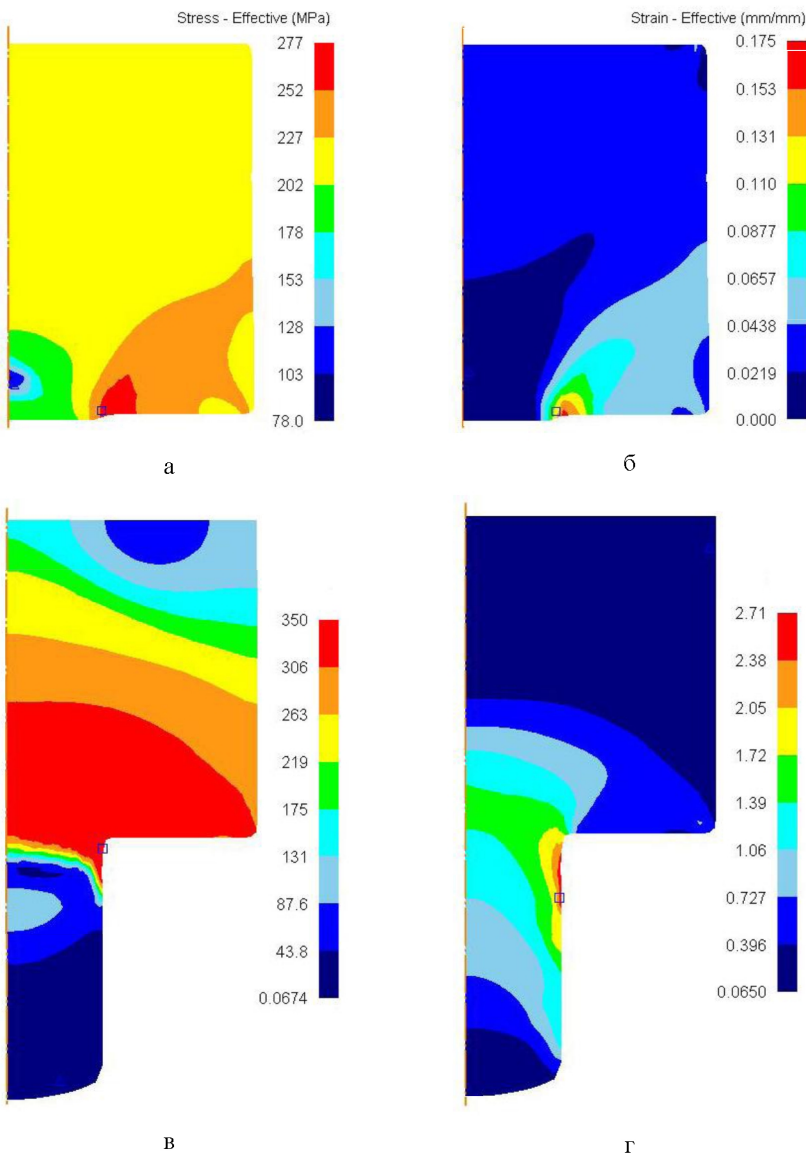
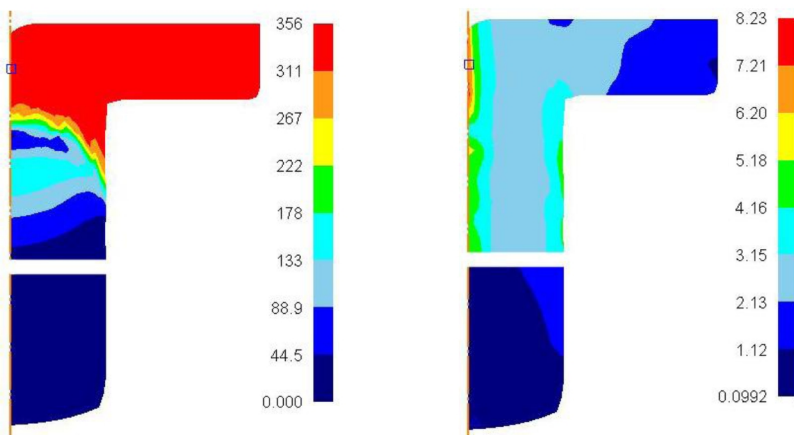


Рис. 22. Распределение интенсивности напряжений (а, в, д) и деформаций (б, г, е) по стадиям прессования: а, б – распрессовка; в, г – установившийся процесс; д, е – образование пресс-утяжины (см. также с. 21)



д

е

Рис. 22. Окончание

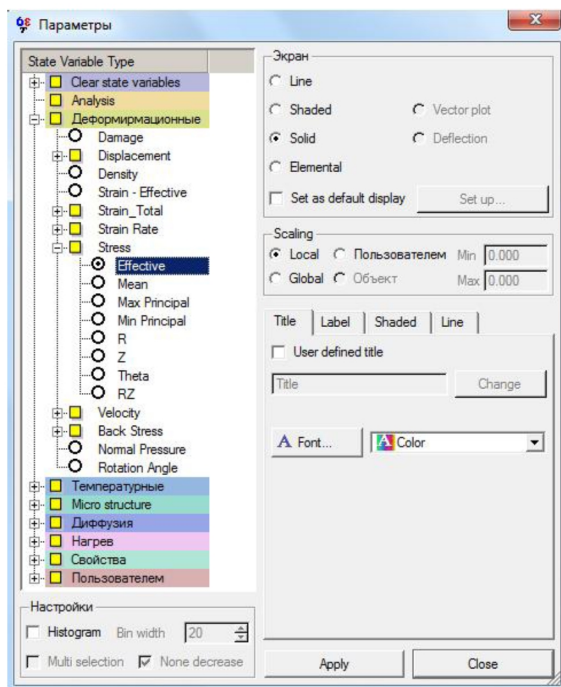


Рис. 23. Окно Параметры

Посмотрите картину течения металла по искажению координатной сетки (рис. 25) и векторному полю скоростей (рис. 24). Для отображения векторного поля скоростей (рис. 24) нажмите кнопку **Параметры** , затем выберите тип переменной «*Velocity*» (скорость) и подтип «*Total Vel*» (суммарная скорость) (рис. 23). В разделе **Экран** установите флажок напротив надписи «*Vector plot*» (векторное поле). Нажмите **Apply**, а затем **Close** для закрытия окна.

Для построения координатной сетки (рис. 25) нажмите кнопку **Flow Net**  (динамическая сетка) на **Панели управления** и в появившемся окне **Flow Net** в строках **Starting step** и **Ending step** введите соответственно номер первого (-1) и последнего шага. Нажмите кнопку **Next**, выберите тип сетки *Rectangular* (прямоугольная) и снова нажмите **Next**. В новом окне укажите параметры сетки – введите в поле **Number of grids** количество разбиений по оси X и Y – 5 и 8. Нажмите ЛКМ кнопку **Next**, а затем **Finish**.

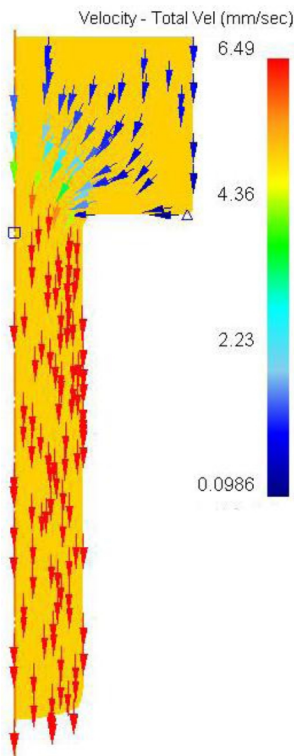


Рис. 24. Векторное поле скоростей

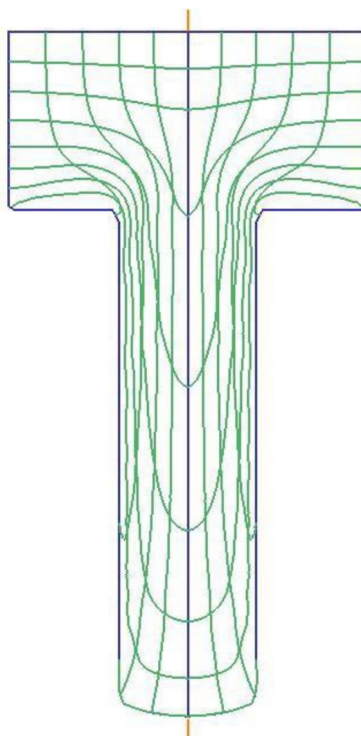


Рис. 25. Координатная сетка

Для того чтобы отобразить обе части симметричной заготовки (рис. 25), нажмите кнопку **Зеркальная симметрия**  на Панели управления. Затем щелчком ЛКМ укажите ось симметрии (штрихпунктирная линия) в окне **Display**. Для закрытия окна **Symmetry Definition** нажмите **Закрыть**.

Опишите характер изменения усилия прессования по стадиям процесса (рис. 26). Для построения графика усилия нажмите кнопку **График (Усилия-**

Перемещения) . В появившемся окне **Graph (Load-Stroke)** (рис. 27) в разделе **Plot objects** (отображаемые объекты) выберите только верхний инструмент *Top Die*. По оси абсцисс отложим перемещение пресс-шайбы, поэтому в разделе **X-axis** (ось X) установите флажок напротив надписи «Перемеш». Для отображения более «гладкой» кривой установите в разделе **Smooth** (сглаживание) флажок напротив надписи «First order». Нажмите **ОК**.

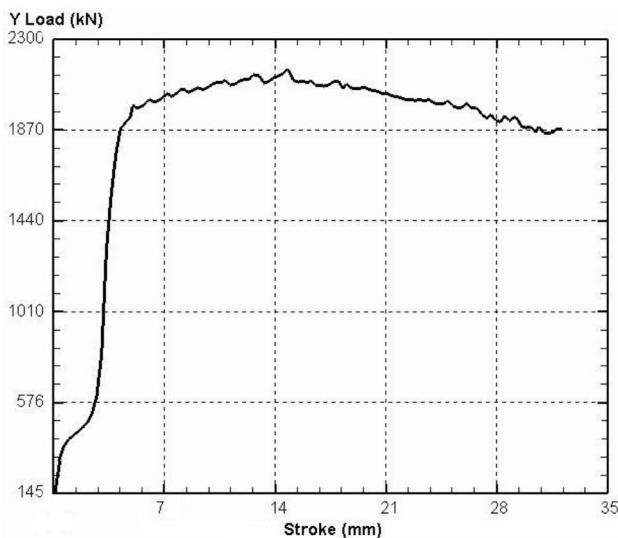


Рис. 26. График усилия прессования в зависимости от перемещения пресс-шайбы

Полученный график можно скрыть, для этого в **Дереве объектов** наведите на элемент «*Graph - Load prediction*» курсор, нажмите ПКМ и в появившемся контекстном меню выберите «*Hide graph*» (скрыть график). Впоследствии, график можно снова вывести на показ (*Show graph*), удалить (*Remove*) или изменить свойства (*Properties*). Действуя аналогичным образом, можно скрывать, отображать и редактировать все элементы **Дерева объектов**. При этом перед названием скрытых элементов появляется знак «[.]», а перед отображаемыми – «[v]».

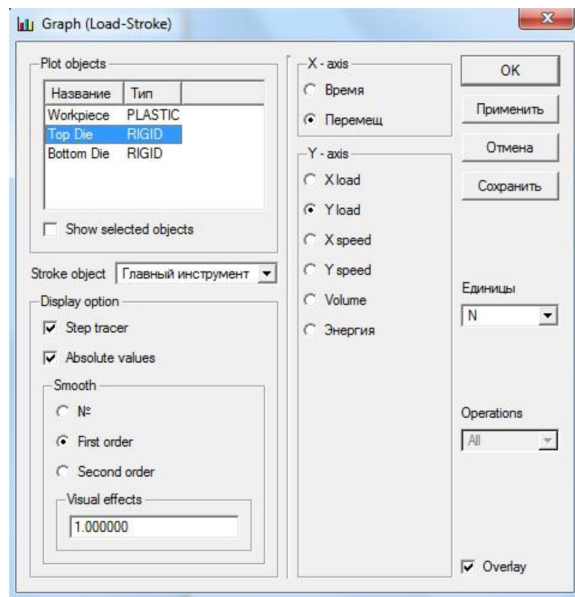


Рис. 27. Окно **Graph (Load-Stroke)**

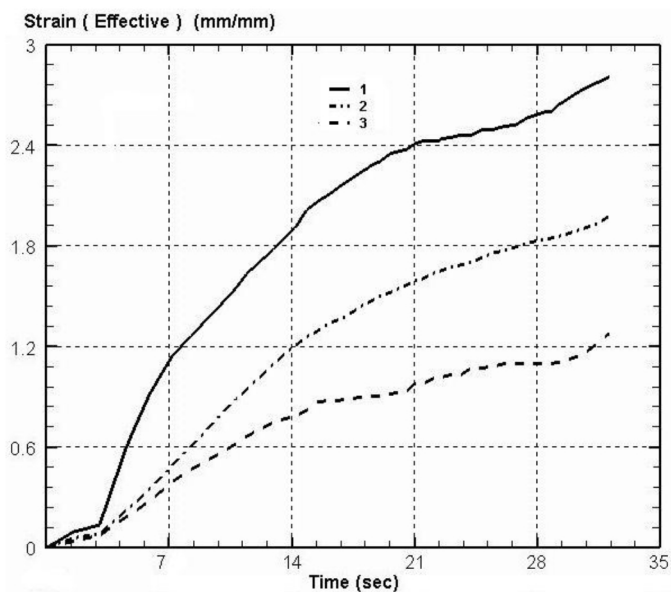
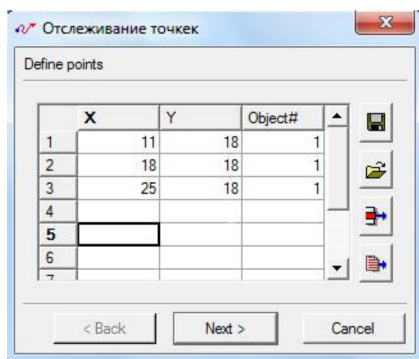


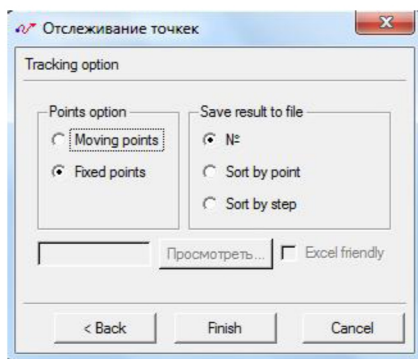
Рис. 28. Характер изменения ε_i по ОПД в зависимости от времени процесса

Проведите анализ изменения интенсивности деформаций в ОПД в процессе прессования. Перед построением графика изменения интенсивности деформаций (рис. 28) необходимо перейти на первый шаг расчета (кнопка **First step** ) и отобразить распределение деформаций в заготовке, используя кнопку **Параметры**  (тип переменной «*Strain_Total*» и подтип «*von Mises*»).

Затем нажмите на кнопку **Отслеживание точек** , в появившемся окне введите координаты точек, по которым будет отслеживаться изменение выбранного параметра (рис. 29, а), и нажмите **Next**. В следующем окне в разделе **Points option** (параметры точек) установите флажок напротив надписи «*Fixed points*» (неподвижные точки) (рис. 29, б), в этом случае указанные точки не будут перемещаться вместе с узлами конечно-элементной сетки заготовки. Нажмите **Finish**.



а



б

Рис. 29. Окна **Отслеживание точек**

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется в текстовом редакторе *MS Word* и должен состоять из следующих структурных элементов:

1. Титульный лист (образец оформления приведен в приложении Е).
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения:
 - сущность процесса прессования;
 - схемы главных напряжений и деформаций при прессовании;
 - схема прямого прессования.
4. Результаты моделирования прессования:
 - компьютерная модель прессования;

- искажение координатной сетки и векторное поле скоростей при прессовании;
 - график усилия прессования в зависимости от перемещения;
 - распределение интенсивности напряжений и деформаций по стадиям прессования;
 - график изменения интенсивности деформаций по ОПД.
5. Анализ полученных результатов моделирования.
 6. Выводы по проведенным исследованиям.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение процесса прессования и его сущности.
2. Назовите области применения прессования.
3. Перечислите этапы процесса прессования.
4. Покажите очаг пластической деформации.
5. Покажите, в каких областях образуются зоны застоя.
6. Опишите причину образования пресс-утяжины.
7. Для чего используют координатные сетки.
8. Опишите схемы главных нормальных напряжений и деформаций в прессуемой заготовке.
9. Какой закон трения используется в расчете процесса?
10. Для моделирования каких процессов ОМД используется программ *DEFORM-2D*?
11. Перечислите способы построения геометрии заготовок и деформирующего инструмента в *DEFORM-2D*.
12. За что отвечает окно **Simulation controls** (настройки задачи)?
13. Как расположить объекты по отношению друг к другу?
14. Как задают условия трения на контактных поверхностях заготовка-инструмент?
15. Как подсчитать число шагов по перемещению главного инструмента?
16. Зачем нужно создавать базу данных?
17. Какой инструмент называют главным?

ИЗУЧЕНИЕ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО МЕТОДОВ ПРЕССОВАНИЯ

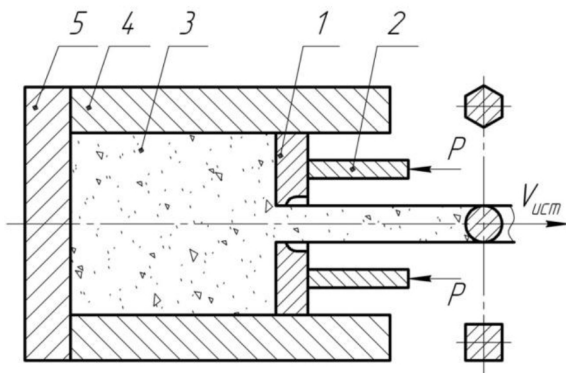
Цель работы: компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния в процессе холодного прессования круглого профиля из алюминиевого сплава АД31 с прямым и обратным истечением и закрепление практических навыков работы в среде твердотельного моделирования DEFORM-2D.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Прессование в мировой практике чаще всего выполняют двумя методами: прямым и обратным.

При *прямом методе* выпрессовываемый металл, пресс-штемпель и пресс-шайба движутся в одном направлении. Т.е. заготовка перемещается относительно неподвижного контейнера пресса, что приводит к появлению сил трения T на контактной поверхности контейнера, которые затрудняют движение заготовки. Прессование называется с прямым истечением, потому что направление усилия прессования совпадает с направлением течения металла.

Прессование профилей с *обратным истечением* предложено в 1924 г. американским изобретателем Р. Джендорсоном. При этом методе прессования снижается потребная мощность оборудования на 25-40% за счет устранения трения металла о стенки контейнера. Нагретый металл, вытекая через отверстие в матрице, не скользит по стенкам контейнера 4 (трение происходит только у поверхности матрицы и в канале), т.к. не металл заготовки движется к матрице, а наоборот: матрица 1, прикрепленная к концу полого пресс-штемпеля 2, надвигается на заготовку 3 (рис. 1). Для создания замкнутого объема контейнер запирается упорной шайбой 5 (заглушкой).



1 – матрица, 2 – пресс-штемпель, 3 – заготовка, 4 – пресс-шайба, 5 – заглушка

Рис. 1. Схема прессования с обратным истечением с подвижной матрицей

Разновидностью этого способа является процесс, когда контейнер вместе с заготовкой движется на неподвижный полый пресс-штемпель с матрицей. В этом способе направление течения металла противоположно направлению приложения силы прессования и поэтому это также прессование с обратным истечением.

На рис. 2 схематично показано искажение координатной сетки на заготовке, прессуемой обратным и прямым методами. Видно, что течение металла при обратном прессовании по сравнению с прямым более равномерное. Из-за отсутствия сил трения по контейнеру поперечные линии начинают изгибаться только вблизи матрицы. Пластическое течение металла локализовано около матрицы, а большая часть металла заготовки находится в упругом состоянии. Наружные слои заготовки не скапливаются в упругой зоне около матрицы, а участвуют в течении металла и переходят из заготовки в пресс-изделие. При этом если в наружных слоях заготовки имеются какие-либо дефекты или загрязнения, то они перейдут в пресс-изделие. Поэтому при обратном прессовании требования к качеству поверхности заготовки должны быть более высокими, чем при прямом. Заключительная стадия процесса вследствие отсутствия контактного трения почти не имеет места.

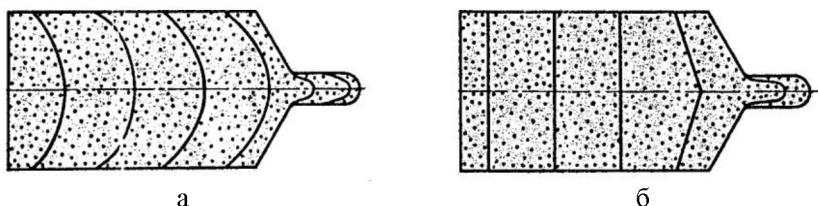
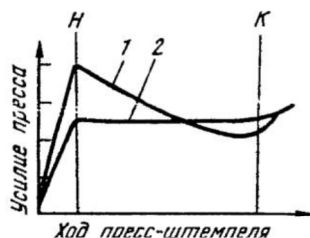


Рис. 2. Схема искажения поперечных линий координатной сетки при прямом (а) и обратном (б) прессовании

Влияние условий, под воздействием которых образуется центральная пресс-утяжина, значительно ослаблено. Поэтому длина пресс-остатка при обратном прессовании по сравнению с прямым методом меньше и составляет 8-15% диаметра заготовки.

На рис. 3 для сравнения показаны индикаторные диаграммы прямого 1 и обратного 2 прессования одного и того же профиля. Прямое прессование профиля требует большего усилия, чем обратное, при этом усилие существенно изменяется по ходу процесса, что увеличивает неравномерность деформации.

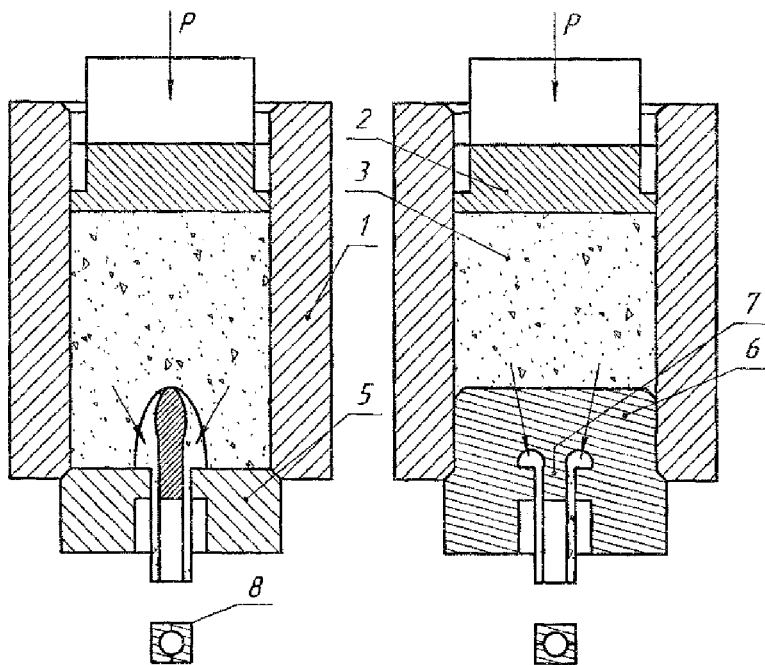
Кроме прямого и обратного прессования на производстве используют и другие методы: прессование со сваркой, прессование с активными силами трения, с боковым истечением, с «рубашкой» и т.д.



Н – начало истечения, К – конец истечения металла заготовки

Рис. 3. Типовые индикаторные диаграммы для прямого (1) и обратного (2) метода прессования

Впервые **прессование со сваркой** было предложено в России еще в 1898 г. Однако промышленное применение этот способ получил после II мировой войны для прессования полых профилей сложной конфигурации из алюминиевых сплавов. Особенность способа состоит в том, что короткая игла 7 («язычок») крепится к корпусу самой матрицы 5 (рис. 4).



1 – контейнер, 2 – пресс-шайба, 3 – заготовка, 4 – матрица, 5 – корпус матрицы, 6 – гребень, 7 – короткая игла, 8 – полное пресс-изделие

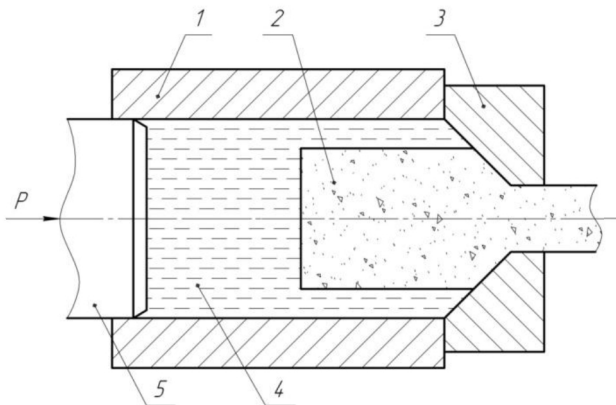
Рис. 4. Схема прессования со сваркой

Нагретый металл цилиндрической заготовки 3 при движении в контейнере 1 под действием пресс-шайбы 2 рассекается гребнем 6 матрицы 5 на два потока. Эти потоки горячего металла, обтекают гребень 6 и иглу 7, встречаются друг с другом и свариваются под большим давлением. Затем металл окончательно формируется в зазоре между матрицей 5 и иглой 7 и выходит в виде полого профиля и с двумя сварными швами.

Матрица при прессовании профилей рассматриваемым способом объединяет собой непосредственно матрицу, формирующую наружный контур и оправку, которая образует полость пресс-изделия. Поэтому такая матрица называется матрицей с монтированной оправкой или "язычковой". Конструкция язычковой матрицы позволяет получать полые профили самых различных форм не только с одной, но и несколькими полостями, а также профили коробчатого и петельного типов.

Гидропрессование – один из быстро развивающихся методов. Этим методом под действием высокого давления хорошо обрабатываются самые неподатливые металлы, например, чугун.

В полость контейнера 1 помещают заготовку 2 и подают жидкость 4, например минеральное или касторовое масло (рис. 5). При достижении в замкнутом объеме контейнера высокого гидростатического давления жидкости металл выдавливается в матрицу с помощью пресс-штемпеля.



1 – контейнер, 2 – заготовка, 3 – матрица, 4 – жидкая среда, 5 – пресс-штемпель

Рис. 5. Схема гидропрессования

Заготовка изолирована от инструмента слоем жидкости, поэтому трение между ними минимальное. Для уплотнения между заготовкой и матрицей, передний торец заготовки обтачивают по форме конуса матрицы.

По сравнению с прямым и обратным способами прессования при гидропрессовании: уменьшается необходимое усилие; увеличивается равномер-

ность деформации, как по поперечному сечению, так и по длине изделия; улучшается качество профиля; достигается возможность деформации в холодном состоянии малопластичных металлов за один проход с большими (до 90%) степенями деформации.

Прессование с активными силами трения было предложено российским ученым, проф. Я.М. Охрименко. В этом способе контейнер перемещается с большей скоростью, чем заготовка (рис. 6), поэтому на поверхности заготовки создаются силы трения T , совпадающие по направлению с усилием прессования P и увлекающие за собой поверхностные слои заготовки. Такие силы трения называют активными, т.е. осуществляющими силовое воздействие. Таким образом, трение способствует выравниванию деформации по объему заготовки, повышая качество получаемых профилей.

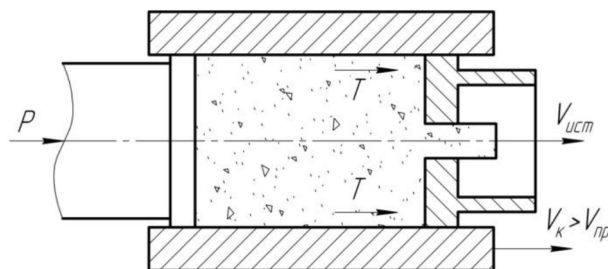
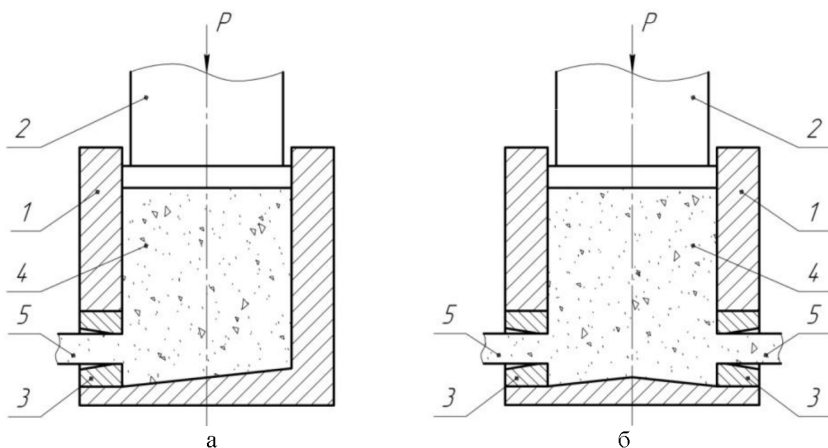


Рис. 6. Схема прессования с активными силами трения



1 – контейнер, 2 – пресс-штемпель, 3 – матрица, 4 – заготовка, 5 – профиль

Рис. 7. Схема бокового прессования с одноканальным (а) и двухканальным (б) истечением

При *прессовании с боковым истечением* матрицы расположены под прямым углом к оси пресс-штемпеля (рис. 7). Усилие пресса действует на заготовку в направлении ее продольной оси, а выпрессованный металл выходит из матрицы под углом 90° к направлению действия усилия. Боковое прессование может быть одноканальным (рис. 7, а) и двухканальным с расположением матриц с двух сторон контейнера (рис. 7, б).

Боковое прессование применяют при наложении алюминиевых и свинцовых оболочек на электрический кабель, а так же при прессовании на вертикальных прессах для получения максимальной длины профиля, наноструктурирования металла.

При *прессовании с «рубашкой»* пресс-шайба имеет диаметр несколько меньший, чем диаметр контейнера (рис. 8), поэтому поверхностные слои металла срезаются пресс-шайбой в виде цельного стакана и вместе с пресс-остатком остаются в контейнере. В результате поверхностные дефекты заготовки и окислы, образовавшиеся при нагреве, остаются в рубашке и не попадают в пресс-изделие. После прессования рубашку из контейнера удаляют. Недостатком метода является увеличенное количество металла, идущее в отход.

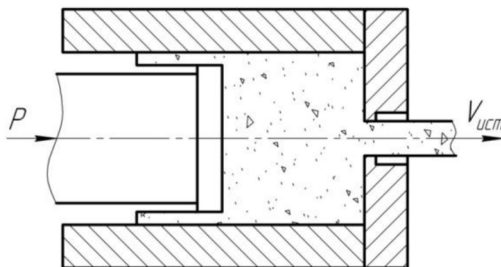


Рис. 8. Схема прессования с «рубашкой»

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Создание новой задачи

Запустите *DEFORM-2D* и создайте новую задачу, нажав кнопку  на **Панели управления**. Нажимайте кнопку **Next** до появления запроса на ввод названия задачи. Дайте название задачи: *OBRAT_PRESS*. Нажмите кнопку **Finish**.

После запуска препроцессора убедитесь в том, что в качестве системы измерения установлена система «СИ» и выбран режим расчета деформаций, а решаемая задача обладает геометрической осевой симметрией (вызовите окно **Simulation controls** нажатием на кнопку **Simulation controls** ).

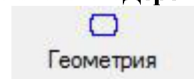
Построение геометрии инструмента и заготовки

Выполним компьютерное моделирование прессования круглого профиля с обратным истечением металла и сравним результаты расчета с данными, полученными в предыдущей лабораторной работе по исследованию прямого метода прессования.

Добавьте в **Дерево объектов** верхний инструмент *Top Die* (подвижная матрица) и нижний инструмент *Bottom Die* (замкнутый контейнер), нажимая

кнопку **Добавить объект** .

Сделайте активным нижний инструмент *Bottom Die* (укажите ЛКМ *Bottom Die* в **Дерево объектов**). Перейдите к закладке **Edit** в пункте **Геометрия**



. В появившееся **Поле ввода геометрии** (таблицу) последовательно введите значения, представленные в табл. 1. После окончания ввода

данных нажмите ЛКМ на кнопку **Применить**

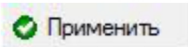


Табл. 1. Координаты точек для построения замкнутого контейнера

№	X	Y	R
1	0	0	0
2	45	0	0
3	45	84	0
4	26	84	0
5	26	19	1
6	0	19	0

Табл. 2. Координаты точек для построения подвижной матрицы

№	X	Y	R
1	26	0	0
2	26	15	0
3	12	15	0
4	12	3	0
5	10	3	0
6	10	0	1
7	26	0	0

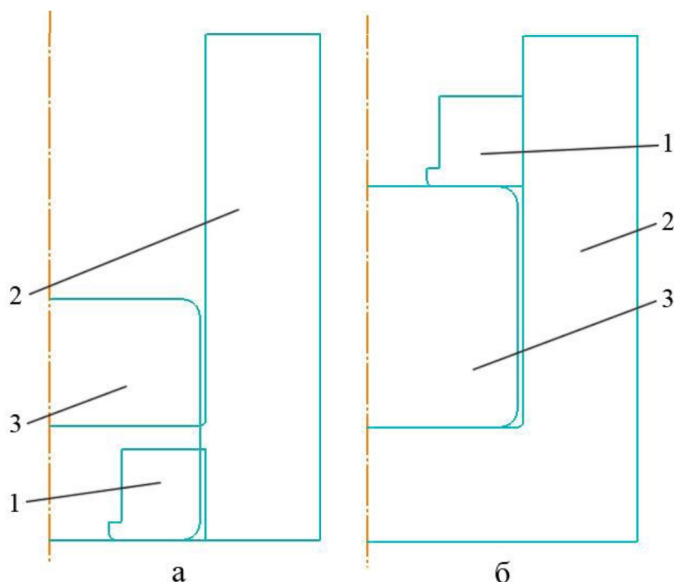
Проверьте полученную геометрию на наличие ошибок, для этого нажмите кнопку **Check** , а затем кнопку **Check & Correct Geometry**. В случае верного построения должно появиться сообщение «*Geometry is legal*».

Действуя аналогичным образом, постройте геометрию верхнего инструмента *Top Die* и заготовки *Workpiece*. Координаты точек для построения приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Геометрия заготовки, подвижной матрицы и контейнера до позиционирования изображена на рис. 9, а.

Табл. 3. Координаты точек для построения заготовки

№	X	Y	R
1	0	0	0
2	25	0	3
3	25	40	3
4	0	40	0



1 – матрица; 2 – контейнер; 3 – заготовка

Рис. 9. Изображение в окне **Display** после задания геометрии (а) и позиционирования (б)

Позиционирование объектов

Вызовите окно **Позиционирование объектов** (рис. 10), нажав кнопку **Object positioning** . Для расположения объектов относительно друг друга (рис. 9, б) воспользуйтесь методом **Интерференция**.

Сначала расположим заготовку и контейнер по отношению друг к другу. В строке **Позиционируемый объект** выберите *Workpiece*, а в строке **Относительно** – *Bottom Die* (рис. 10). В блоке **Approach direction** поставьте флажок напротив надписи «-Y». Для позиционирования нажмите ЛКМ кнопку **Применить**.

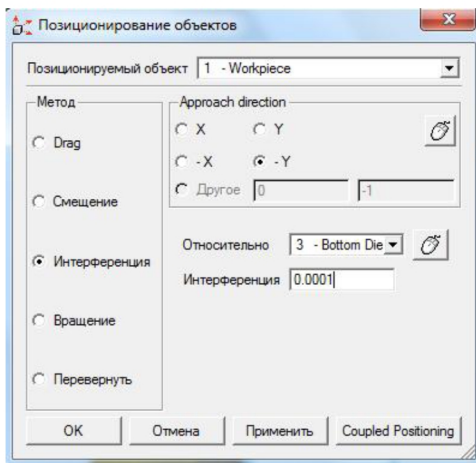


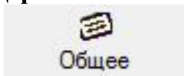
Рис. 10. Окно **Позиционирование объектов**

По аналогии осуществите позиционирование матрицы *Top Die* относительно заготовки *Workpiece*. Изображение на экране должно принять вид, показанный на рис. 9, б.

Создание модели заготовки

Выделите в **Дереве объектов** заготовку *Workpiece* и убедитесь в том, что

в пункте **Общее**



стоит тип объекта «Пластичный», температура 20°C.

Чтобы разбить модель заготовки на конечные элементы, выберите пункт

Сетка



, задайте количество конечных элементов 1000 и нажмите на кнопку **Генерировать сетку**.

Определим свойства материала заготовки, для этого перейдите в пункт

Общее и нажмите на кнопку **Load material from library**



, расположенную в строке **Материал**. В окне **Material Library** выберите алюминиевый сплав *DINAlMgMn, COLD[70-250F(20-120C)]* (АД31) и нажмите кнопку **Загрузить**.

Сохраните полученную модель нажав на кнопку **Сохранить**



, которая располагается на **Панели управления**.

Назначение контактных поверхностей при взаимодействии объектов

Нажмите на кнопку **Inter-object**  и в появившемся окне выберите кнопку **Yes** для создания контактных пар. Окно **Взаимодействие объектов** появится с уже определёнными тремя контактными парами (рис. 11).

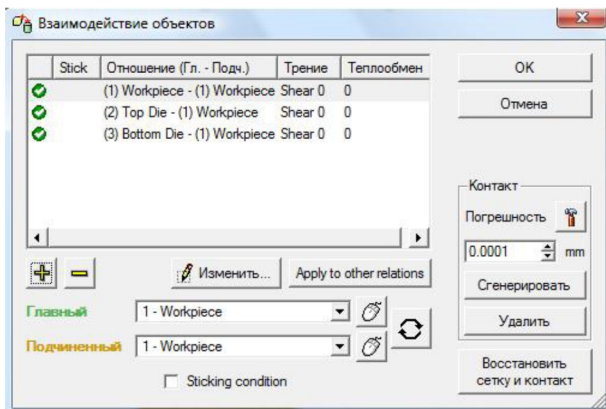


Рис. 11. Окно **Взаимодействие объектов** до задания исходных данных

Для определения параметров контакта нажмите кнопку **Изменить** , в появившемся окне **Inter-Object Data Definition** поставьте флажок напротив надписи «Constant Tau» (закон трения по Зибелю), укажите коэффициент трения равный 0,12 и нажмите кнопку **Заккрыть** (рис. 12).

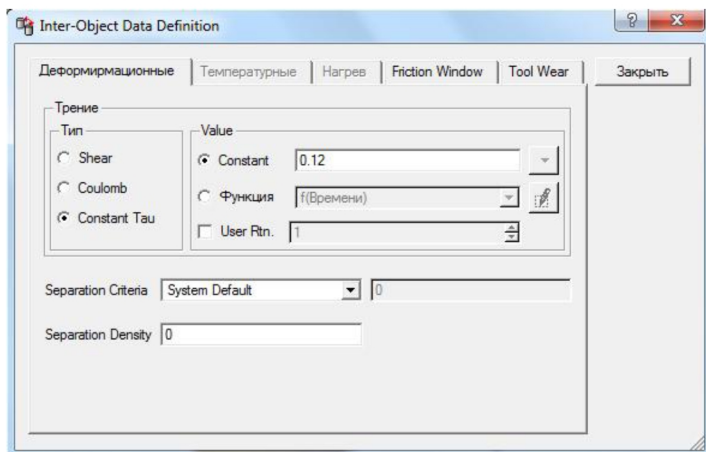


Рис. 12. Окно **Inter-Object Data Definition**

Т.к. коэффициент трения между заготовкой и обоими инструментами одинаков, то нажатием на кнопку **Apply to other relations** в окне **Взаимодействие объектов** примените параметры первого контакта к остальным.

Для генерации величины точности, с которой компьютер создаст контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** , после этого нажмите кнопку **Сгенерировать** для создания поверхностей контакта (рис. 13). Нажмите кнопку **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.



Рис. 13. Контактные поверхности между заготовкой, матрицей и контейнером

Задание движения верхнего инструмента

Укажите ЛКМ *Top Die* (матрица) в **Дереве объектов** для приложения

движения. Затем нажмите кнопку **Движение**



и, убедившись, что напротив надписи **Скорость** стоит флажок, введите в строку **Constant value**, расположенную в самом низу, значение 1 мм/с (рис. 14).

В соответствии с заданными условиями нагружения матрица будет перемещаться вниз (-Y) с постоянной скоростью 1 мм/с.

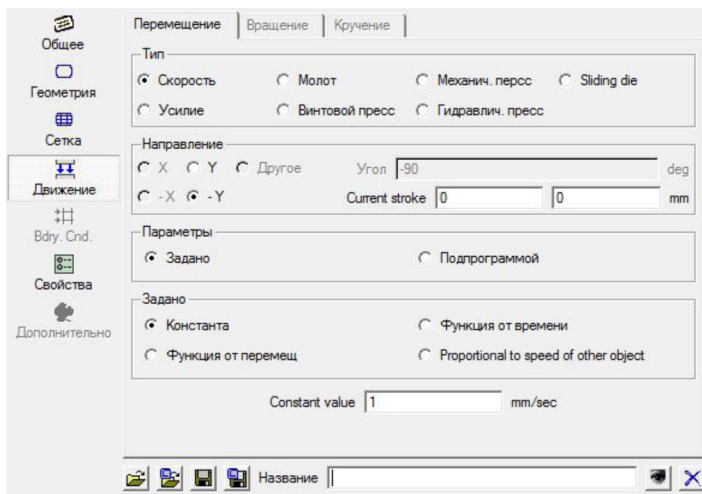


Рис. 14. Пункт Движение из Панели инструментов

Задание числа шагов расчета

Для определения величины шага необходимо произвести замер ребра любого конечного элемента заготовки при помощи кнопок **Увеличить**  и **Измерить** , а затем данное значение разделить на три.

Нажмите на кнопку **Simulation controls**  и в окне **Simulation controls** перейдите на закладку **Шаг** . Затем введите величину шага (результат деления) в ячейку расположенную в строке **With Equal Die Displacement** (рис. 15).

Для того, что бы задать количество шагов необходимо перемещение главного инструмента (матрицы) разделить на размер шага и полученное значение, округленное до целого в большую сторону, внести в ячейку в строке **Число шагов расчета** (рис. 15).

Примем число шагов расчета равным 90, что соответствует перемещению матрицы на 27 мм при величине шага 0,3 мм.

В строку **Через сколько шагов сохранять** введите 5 – интервал сохранения шагов в базу данных, а в строке **Главный инструмент** установите *Top Die*. Нажмите кнопку **ОК**.

Сохраните данные нажав на кнопку **Сохранить** , расположенную в верхней левой части экрана на **Панели управления**.

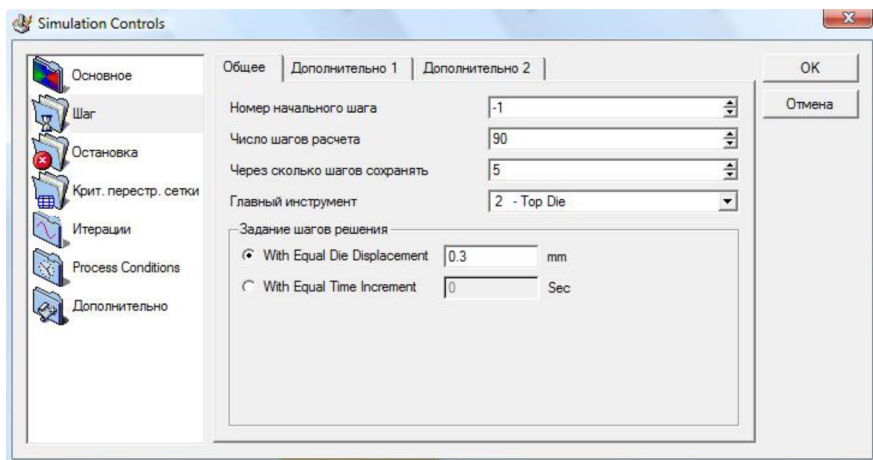


Рис. 15. Окно **Simulation controls** на закладке **Шаг**

Запись базы данных

Нажмите кнопку **Database generation** , затем в окне **Генерация базы данных** нажмите на кнопку **Сгенерировать**. В случае если постановка задачи произведена корректно, то после проверки данных произойдет создание базы данных (рис. 16). Для закрытия окна нажмите кнопку **Закрыть**.

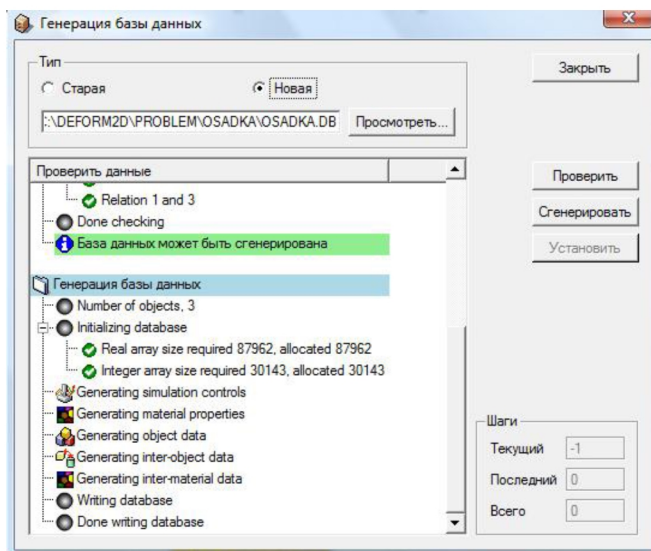


Рис. 16. Окно **Генерация базы данных**

Выйдите из препроцессора, нажав на кнопку **Выход** .

Проведение моделирования

В пункте **Simulator** в Главном окне выберите **Старт** или нажмите на кнопку .

Нажмите на закладку **Сообщения** для вывода информации о том, какой шаг рассчитывается в настоящий момент. Обратите внимание на то, что файл базы данных скрыт полосой **Running**, которая означает, что в данный момент задача рассчитывается, или полосой **Remeshing**, что говорит о перестроении конечно-элементной сетки.

Анализ результатов моделирования

Анализ результатов моделирования заключается в сравнении напряженно-деформированного состояния, скоростных и силовых параметров процесса прессования с прямым и обратным истечением металла, при этом данные для прямого метода берутся из предыдущей лабораторной работы.

Откройте решаемую задачу в постпроцессоре, нажав ЛКМ в пункте **Post Processor** на надпись «*DEFORM-2D* Постпроцессор».

Для перемещения по шагам расчета воспользуйтесь кнопками **One step back**  и **One step forward** .

Дайте анализ изменения напряженно-деформированного состояния в зависимости от метода прессования (рис. 17). Для отображения распределения интенсивности напряжений и деформаций нажмите на кнопку **Параметры**

, затем в окне **Параметры** выберите тип переменной «*Stress*» («*Strain_Total*») и подтип «*Effective*» («*von Mises*») (рис. 18). В разделе **Экран** установите «*Solid*», а в **Scaling** – «*Local*». Нажмите **Apply**, а затем **Close**.

Посмотрите картину течения металла по искажению координатной сетки (рис. 20) и векторному полю скоростей (рис. 19). Для отображения скоростей

(рис. 19) нажмите кнопку **Параметры** , выберите тип переменной «*Velocity*» и подтип «*Total Vel*» (рис. 18). В разделе **Экран** установите «*Vector plot*». Нажмите **Apply**, а затем **Close**.

Для построения координатной сетки (рис. 20) нажмите кнопку **Flow Net**  и в окне **Flow Net** в строках **Starting step** и **Ending step** введите соответственно номер первого (-1) и последнего шага. Нажмите кнопку **Next**, выберите тип сетки *Rectangular* и снова нажмите **Next**. В новом окне введите в поле **Number of grids** количество разбиений по оси X и Y – 5 и 8. Нажмите кнопку **Next**, а затем **Finish**.

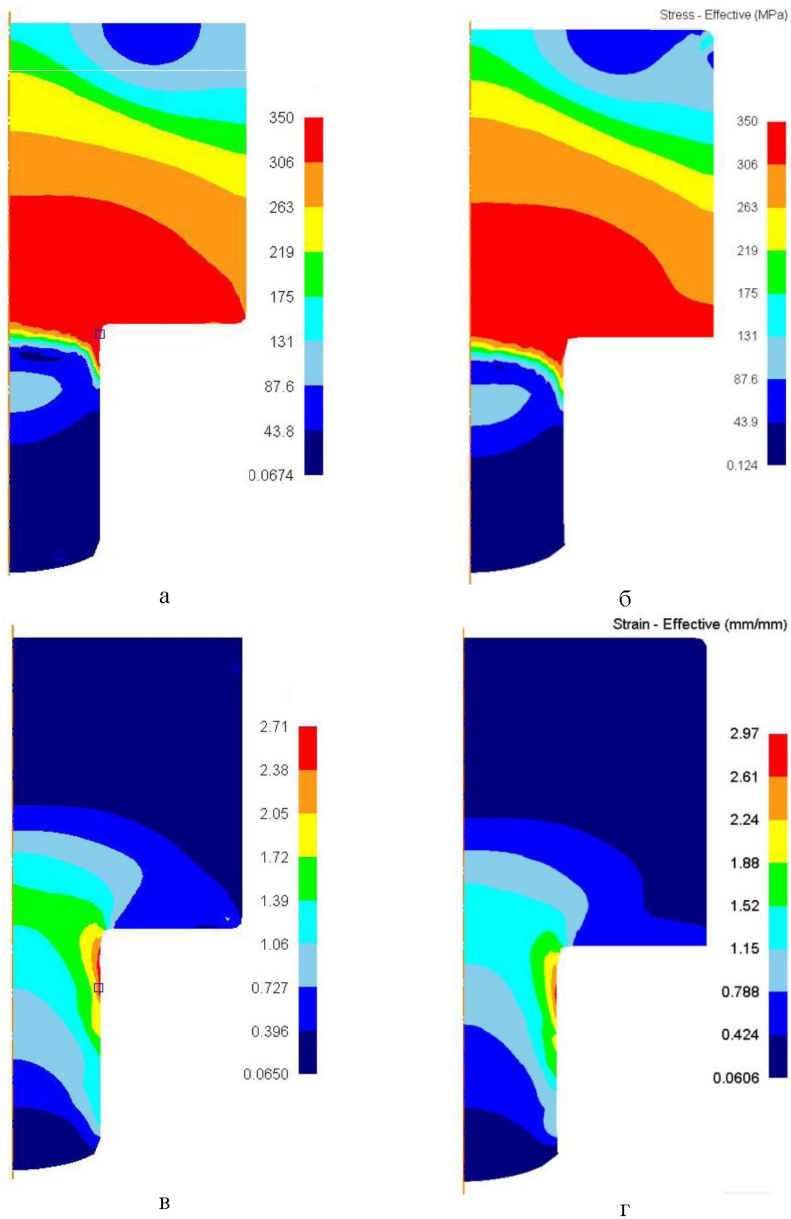


Рис. 17. Распределение интенсивности напряжений (а, б) и деформаций (в, г):
а, в – прямой метод; б, г – обратный метод прессования

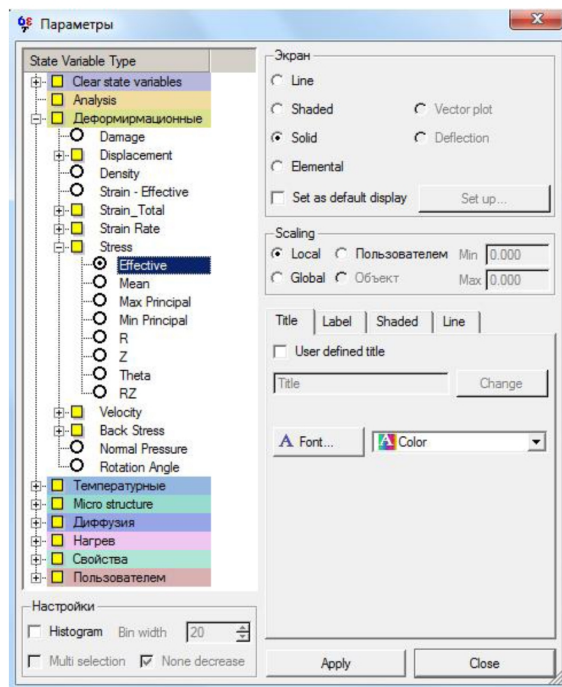


Рис. 18. Окно **Параметры**

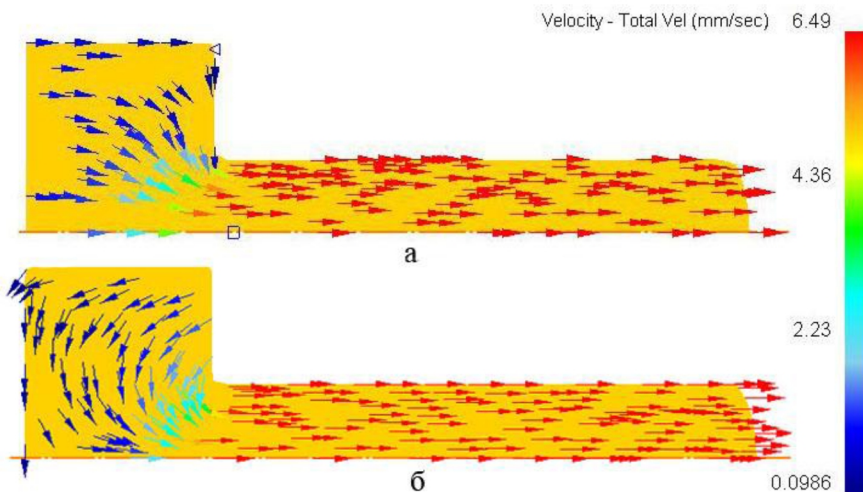


Рис. 19. Векторное поле скоростей при прямом (а) и обратном (б) прессовании

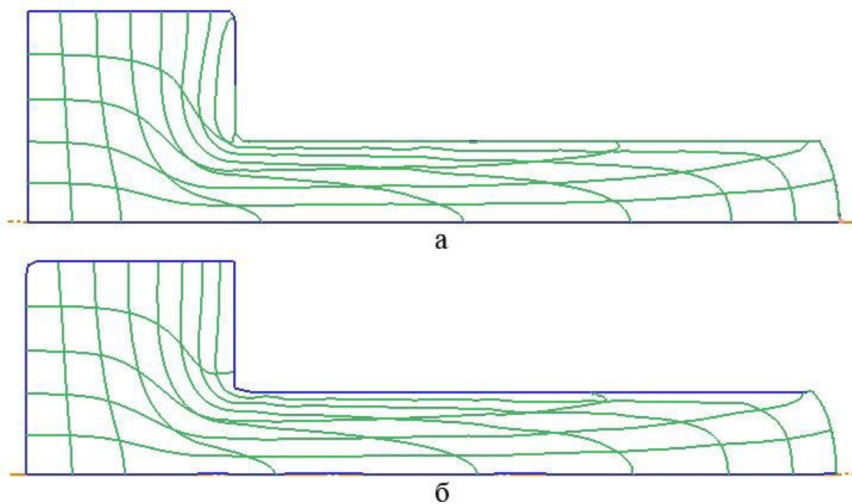


Рис. 20. Координатная сетка при прямом (а) и обратном (б) прессовании

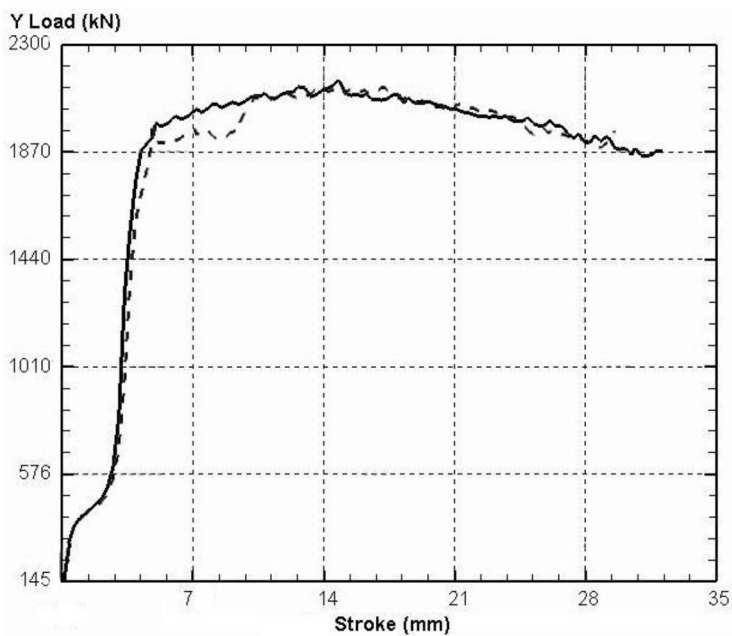


Рис. 21. Изменение усилия в зависимости от перемещения матрицы (пресс-шайбы):
 ——— — прямой метод; - - - - обратный метод прессования

Опишите характер изменения усилия прессования по стадиям процесса (рис. 21). Для построения графика нажмите кнопку **График (Усилия-Перемещения)** . В окне **Graph (Load-Stroke)** (рис. 22) в разделе **Plot objects** выберите верхний инструмент *Top Die*. По оси абсцисс отложим перемещение матрицы, поэтому в разделе **X-axis** установите «Перемещ». Для отображения сглаженной кривой в разделе **Smooth** установите «*First order*». Нажмите **ОК**.

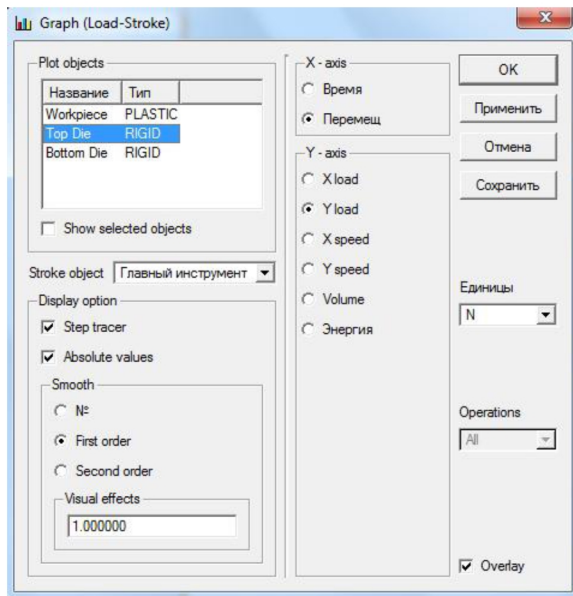


Рис. 22. Окно **Graph (Load-Stroke)**

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется в текстовом редакторе *MS Word* и должен состоять из следующих структурных элементов:

1. Титульный лист (образец оформления приведен в приложении Е).
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения:
 - сущность процесса прессования;
 - схема обратного метода прессования;
 - индикаторная диаграмма для прямого и обратного прессования;
 - специальные методы прессования.
4. Результаты моделирования прямого и обратного методов прессования:
 - компьютерная модель обратного прессования;

- искажение координатной сетки и векторное поле скоростей при прессовании;
 - график усилия прессования в зависимости от перемещения;
 - распределение интенсивности напряжений и деформаций при прессовании.
5. Анализ полученных результатов моделирования.
 6. Сравнение прессования с прямым и обратным истечением металла.
 7. Выводы по проведенным исследованиям.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём заключается сущность обратного прессования?
2. Назовите основные отличия прямого и обратного методов прессования.
3. Чем отличаются индикаторные диаграммы для прямого и обратного методов прессования?
4. Почему при обратном методе прессования величина пресс-остатка значительно меньше, чем при прямом?
5. В каком из методов прессования, прямом или обратном, течение металла заготовки в контейнере более равномерное?
6. Какие пресс-изделия можно получить прессованием со сваркой?
7. Перечислите особенности гидропрессования металлов?
8. В чем идея способа прессования с активными силами трения?
9. Когда возникает необходимость прессования с «рубашкой», с боковым истечением металла заготовки?
10. Как в программе DEFORM-2D построить векторное поле скоростей течения металла?
11. Как провести проверку правильности построения геометрии инструмента или заготовки?
12. Как задать материал заготовки?
13. Как осуществить запуск расчета в программе DEFORM-2D?
14. В какой последовательности производится нанесение на деформированную заготовку координатной сетки?
15. С помощью каких действий можно зеркально отобразить изображение искаженной сетки?

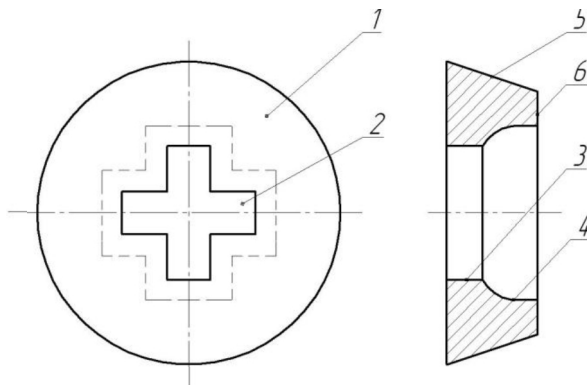
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ МАТРИЦ НА ПРОЦЕСС ПРЕССОВАНИЯ

Цель работы: изучение влияния конструкции матриц на процесс прессования; компьютерное моделирование прямого прессования круглого профиля из алюминиевого сплава АД31 через коническую матрицу; закрепление практических навыков работы в среде твердотельного моделирования *DEFORM-2D*.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Матрица является наиболее важным технологическим инструментом, в котором совершается формирование внешней формы, точности размеров и качества поверхности пресс-изделия (профиля). Матрица представляет собой металлический диск с прорезанным в нем каналом по форме пресс-изделия, ее устанавливают в передней части контейнера и она замыкает его полость с заложённой заготовкой.

Основные элементы конструкции матрицы: обжимная часть (зеркало) 1, рабочий канал 2 с калибрующим пояском 3, выходная часть 4, посадочная 5 и опорная 6 поверхности (рис. 1). Выходная часть 4 матрицы устраняет возможность задиранья деформируемого профиля кромкой канала 2.



1 – зеркало; 2 – рабочий канал; 3 – калибрующий пояс;
4 – выходная часть; 5, 6 – посадочная и опорная поверхности

Рис. 1. Основные элементы конструкции матрицы

По форме обжимной (заходной) части матрицы разделяют на плоские (рис. 2, а), конические (рис. 2, б), плоскоконические (рис. 2, г) и сигмоидальные (рис. 2, д).

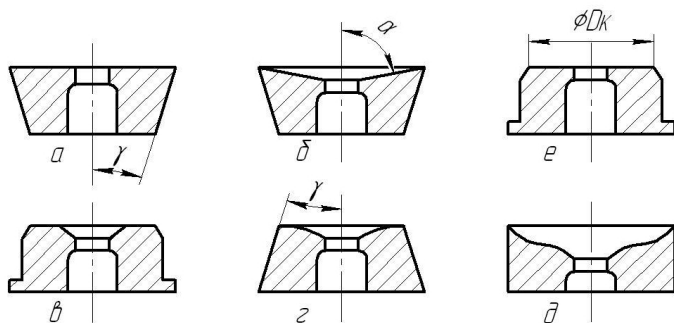


Рис. 2. Конструкции матриц по форме обжимной части и посадочной поверхности: плоские (а), конические (б), плоскоконические (в), радиальные (г), сигмовидные (д)

При прессовании профилей из алюминиевых сплавов чаще всего используют плоские матрицы (рис. 2, а). В плоской матрице поверхность, контактирующая с передним торцом заготовки, называют зеркалом. В ходе прессования на плоских матрицах образуется значительная «мертвая» зона, которая препятствует проникновению различных дефектов в профиль и обеспечивает получение высококачественной поверхности профиля. Одна и та же плоская матрица позволяет проводить прессование из контейнеров различного диаметра. Плоские матрицы просты в изготовлении и обеспечивают легкое отделение пресс-остатка от матрицы. При одинаковых габаритах через плоские матрицы можно прессовать профили большего сечения и в большое число каналов.

Конические матрицы имеют заходную часть в виде конусной воронки, выполненной под углом α к оси прессования (рис. 2, б). Как показывает практика, они обеспечивают более равномерное течение металла на выходе из очага пластической деформации, что снижает усилие прессования. При прессовании через конические матрицы объем «мертвой» зоны значительно уменьшается и она не задерживает продвижение через матрицу в пресс-изделие различных загрязнений с поверхности заготовки. Конические матрицы сложнее в изготовлении, чем плоские. Чаще всего их используют для прессования труб и профилей из труднодеформируемых металлов и сплавов.

Угол наклона образующей канала конической матрицы α оказывает влияние на работу пластической деформации и усилие прессования. Работа пластической деформации при прессовании определяется на индикаторной диаграмме (усилие – ход пресс-шайбы) площадью, заключённой между кривой P и осью абсцисс на основной стадии процесса (рис. 3).

В общем виде полная работа A при прямом прессовании профилей может быть представлена в виде суммы работ:

$$A = A_{\varepsilon} + A_{mp.k.} + A_{mp.m.} + A_{mp.n.}$$

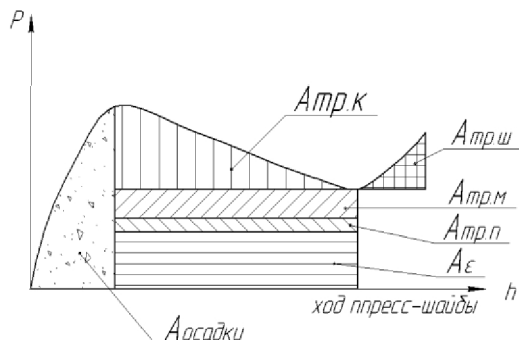


Рис. 3. Структура энергозатрат при прямом прессовании

где A_ϵ – работа пластической деформации; $A_{тр.к.}$, $A_{тр.м.}$, $A_{тр.п.}$ – работа сил трения по поверхности контейнера, матрицы и пояса матрицы соответственно.

Исходя из рассмотренной структуры энергозатрат полное усилие прессования P на основной стадии можно записать в виде суммы составляющих:

$$P = R_m + T_{кр} + T_m + T_n,$$

где R_m – усилие необходимое для осуществления пластической деформации без учёта сил трения; $T_{кр}$, T_m , T_n – усилия необходимые для преодоления сил контактного трения по поверхности контейнера, матрицы и пояса матрицы соответственно (рис. 4).

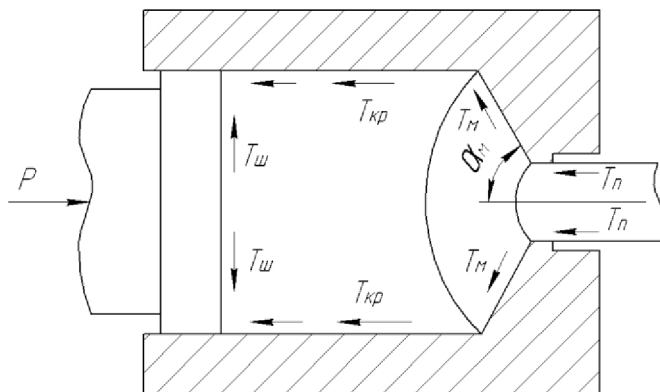


Рис. 4. Схема активных и реактивных сил

На основной стадии прессования составляющая $T_{кр}$ убывает из-за уменьшения длины заготовки. На заключительной стадии появляется составляющая $T_{ш}$ – усилие, необходимое для преодоления сил трения по поверхности пресс-шайбы, что приводит к росту усилия P (рис. 3).

С увеличением угла конуса матрицы α растут дополнительные сдвиги, а с ними составляющая R_m (рис. 5). Одновременно уменьшается контактная поверхность боковой границы очага пластической деформации, а с ней и составляющая T_m , поэтому при изменении угла α , образуется зона минимальных значений $R_m + T_m$.

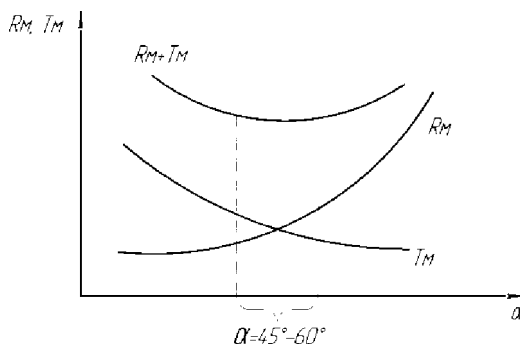


Рис. 5. Влияние угла конуса матрицы α на составляющие усилия прессования R_m и T_m

Плоско-конические матрицы содержат элементы плоских и конических матриц (рис. 2, в). Они используются для прессования труднодеформируемых металлов и сплавов.

Вогнуто-выпуклый контур обжимной зоны сигмовидной матрицы повторяет границу «мертвой» зоны (рис. 2, д). Такие матрицы применяются для прессования профилей со смазкой.

Радиальные матрицы с выпуклой или вогнутой образующей в практике прессования используются для улучшения качества изделий (рис. 2, г).

По форме посадочной поверхности в матрицедержателе матрицы разделяют на матрицы с прямым конусом (рис. 2, а), обратным конусом (рис. 2, в) и цилиндрические с буртом (рис. 2, г). Наибольшее распространение получили матрицы с обратным конусом. Посадка матрицы в матрицедержатель с обратным конусом $\gamma = 3-10^\circ$ обеспечивает плотное соединение матрицы с подкладкой и увеличивает опорную поверхность матрицы. Облегчается сборка и разборка инструмента в матричном узле.

Матрицы с обратным конусом используют для прессования профилей компактных поперечных сечений, с прямым конусом — профилей сложных поперечных сечений, с буртом — профилей несложных поперечных сечений. Для сопряжения контейнера с матрицей в ряде случаев на посадочной поверхности матрицы выполняют конус (рис. 2, е).

По числу каналов матрицы разделяют на одно- (рис. 6, а) и многоканальные (рис. 6, б-в). Одноканальные матрицы чаще всего применяют для прессования профилей сложной конфигурации и крупных сечений, многоканальные

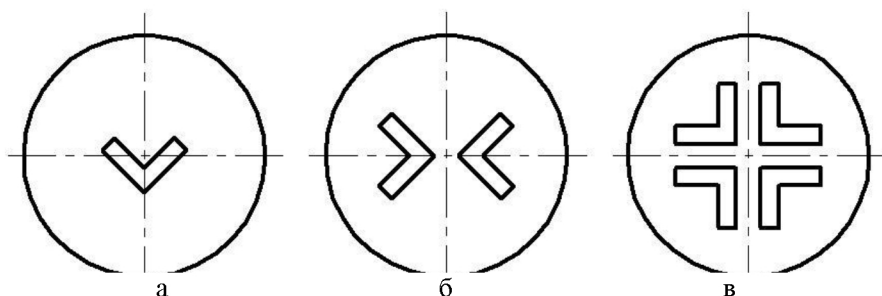


Рис. 6. Конструкции матриц с различным числом каналов:
а – одноканальные, б – двухканальные, в – четырехканальные

матрицы – для прессования профилей более простых форм и небольших сечений. Использование многоканального прессования часто позволяет интенсифицировать процесс прессования и снизить неравномерность истечения.

По технологии изготовления матрицы разделяют на монолитные, сборные и разъемные (рис. 7). Сборные матрицы для увеличения стойкости инструмента изготавливают из разных материалов (рис. 7, а). Вставку 1 делают из высоколегированных металлокерамических материалов, обладающих повышенной жаропрочностью и износостойкостью. Вставки устанавливают в обойму 2 горячей посадкой. Такие матрицы иногда называют бандажированными. Их используют для прессования профилей из труднодеформируемых сплавов при высоких температурах 1600-1700°C.

Разъемные матрицы состоят из нескольких частей (рис. 7, б). Их используют для прессования ступенчатых профилей с законцовками, также они позволяют облегчить удаление отпрессованного профиля с пресс-остатком вне пресса.

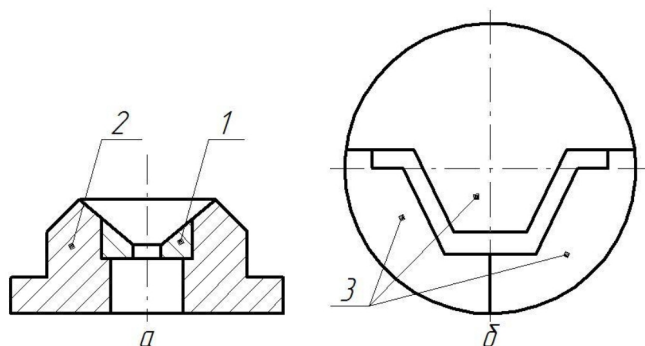


Рис. 7. Конструкции сборных (а) и разъемных (б) матриц

По контуру канала матрицы выполняют калибрующие (рабочие) пояски следующих видов: сходящиеся, расходящиеся и параллельные оси прессования (рис. 8). Основная функция поясков – управлять течением прессуемого металла на входе из канала матрицы.

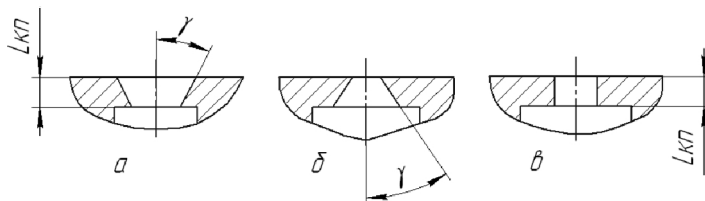


Рис.8 Конструкции поясков канала матрицы:

а – сходящиеся, б – расходящиеся, в – параллельные оси прессования

В расходящемся канале (рис. 8, б) длина пояска равна нулю, поэтому профиль имеет минимальную площадь контакта с пояском. Сопротивление истечению и разогрев поверхности профиля меньше, чем в сходящемся канале (рис. 8, а). Основным недостатком расходящегося канала – опасность возникновения на поверхности профиля дефектов в виде наливов и царапин. Частицы прессуемого металла и окислов скапливаются в клиновом зазоре и царапают поверхность профиля, либо привариваются к ней. Другой недостаток таких каналов – быстрый износ острой кромки, что приводит к изменению заданных размеров поперечного сечения прессуемого профиля.

В сходящемся в направлении истечения канале (рис. 8, а) прессуемый металл соприкасается с пояском по всей длине, что вызывает торможение металла за счет увеличения сопротивления истечению. Это приводит к росту температуры поверхности вследствие трения, поэтому приходится уменьшать скорость истечения металла во избежание образования поверхностных трещин. Качество поверхности профиля выше в сходящемся канале, чем в расходящемся.

Каналы с параллельными цилиндрическими поясками (рис. 8, в) применяют наиболее часто, так как просты в изготовлении. Путем изменения длины пояска можно регулировать скорость истечения отдельных элементов профиля.

К технологическим элементам конструкции матрицы относятся:

1. Формы и размеры сечения канала матрицы, которые должны учитывать: упругие, деформационные и температурные изменения его в процессе прессования; упругую деформационную и термическую усадку прессуемого профиля и внеконтактную пластическую деформацию металла, связанную с неравномерностью истечения отдельных элементов профиля.

2. Форма и длина калибрующих поясков канала матрицы, позволяющих менять сопротивление истечению отдельных элементов профиля.

3. Размещение профиля на зеркале матрицы относительно оси прессования, влияющее на условия прессования и равномерность истечения металла. При равномерном истечении металла профиль получается прямым, без изгибов и скручивания.

4. Расстояние между каналами многоканальных матриц и их расположение относительно оси прессования, оказывающее влияние на стабильность геометрических размеров и степень неравномерности скорости истечения.

5. Толщина матрицы, оказывающая большое влияние на деформацию изгиба ее отдельных элементов, что существенно изменяет размеры прессуемых изделий и снижает стойкость при производстве профилей с полузамкнутыми полостями (особенно у матриц консольного типа).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Создание новой задачи

Запустите *DEFORM-2D* и создайте новую задачу, нажав кнопку  на **Панели управления**. Нажимайте кнопку **Next** до появления запроса на ввод названия задачи. Дайте название задачи: *MATR_PRESS*. Нажмите кнопку **Finish**.

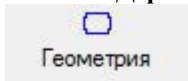
После запуска препроцессора убедитесь в том, что в качестве системы измерения установлена система «СИ» и выбран режим расчета деформаций, а решаемая задача обладает геометрической осевой симметрией (вызовите окно **Simulation controls** нажатием на кнопку **Simulation controls** ).

Построение геометрии инструмента и заготовки

Выполним компьютерное моделирование прямого прессования круглого профиля через коническую матрицу ($\alpha = 60^\circ$) и сравним результаты расчета с данными, полученными в предыдущей лабораторной работе по исследованию прессования через плоскую матрицу.

Добавьте в **Дерево объектов** верхний инструмент *Top Die* (пресс-шайба) и нижний инструмент *Bottom Die* (контейнер, совмещенный с матрицей), нажимая кнопку **Добавить объект** .

Сделайте активным нижний инструмент *Bottom Die* (укажите ЛКМ *Bottom Die* в **Дереве объектов**). Перейдите к закладке **Edit** в пункте **Геометрия**



. В появившееся **Поле ввода геометрии** (таблицу) последовательно введите значения, представленные в табл. 1. После окончания ввода данных нажмите ЛКМ на кнопку **Применить** .

Табл. 1. Координаты точек для построения контейнера, совмещенного с матрицей

№	X	Y	R
1	12	0	0
2	50	0	0
3	50	80	0
4	26	80	1
5	26	24	1
6	10	15	1
7	10	12	0
8	12	12	0
9	12	0	0

Проверьте полученную геометрию на наличие ошибок, для этого нажмите кнопку **Check**  **Check**, а затем кнопку **Check & Correct Geometry**. В случае верного построения должно появиться сообщение «*Geometry is legal*».

Действуя аналогичным образом, постройте геометрию верхнего инструмента *Top Die* и заготовки *Workpiece*. Координаты точек для построения приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Табл. 2. Координаты точек для построения пресс-шайбы

№	X	Y	R
1	0	0	0
2	26	0	0
3	26	20	0
4	0	20	0

Табл. 3. Координаты точек для построения заготовки

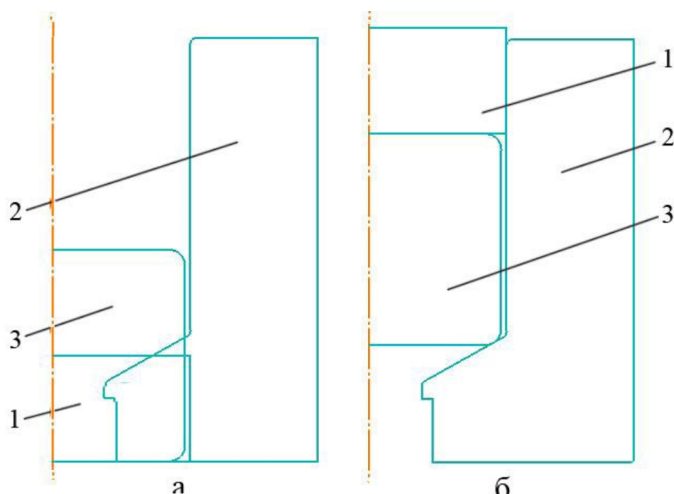
№	X	Y	R
1	0	0	0
2	25	0	3
3	25	40	3
4	0	40	0

Конечная геометрия заготовки, пресс-шайбы и контейнера, совмещенного с матрицей, изображена на рис. 9, а.

Позиционирование объектов

Вызовите окно **Позиционирование объектов** (рис. 10), нажав кнопку **Object positioning** . Для расположения объектов относительно друг друга (рис. 9, б) воспользуйтесь методом **Интерференция**.

Сначала расположим заготовку и контейнер по отношению друг к другу. В строке **Позиционируемый объект** выберите *Workpiece*, а в строке **Относительно** – *Bottom Die* (рис. 10). В блоке **Approach direction** поставьте флажок напротив надписи «-Y». Для позиционирования нажмите кнопку **Применить**.



1 – пресс-шайба; 2 – контейнер, совмещенный с матрицей; 3 – заготовка
 Рис. 9. Изображение в окне **Display** после задания геометрии (а)
 и позиционирования (б)

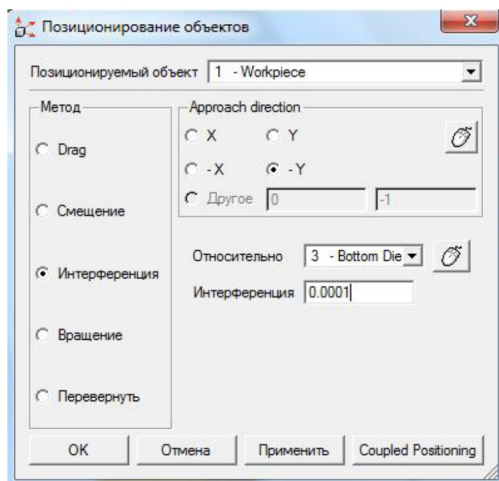


Рис. 10. Окно **Позиционирование объектов**

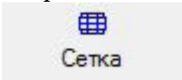
По аналогии осуществите позиционирование пресс-шайбы *Top Die* относительно заготовки *Workpiece*. Изображение на экране должно принять вид, показанный на рис. 9, б.

Создание модели заготовки

Выделите в **Дереве объектов** заготовку *Workpiece* и убедитесь в том, что

в пункте **Общее**  стоит тип объекта «Пластичный», температура 20°C.

Чтобы разбить модель заготовки на конечные элементы, выберите пункт

Сетка , задайте количество конечных элементов 1000 и нажмите на кнопку **Генерировать сетку**.

Определим свойства материала заготовки, для этого перейдите в пункт

Общее и нажмите на кнопку **Load material from library** , расположенную в строке **Материал**. В окне **Material Library** выберите алюминиевый сплав *DINAlMgMn, COLD[70-250F(20-120C)]* (АД31) и нажмите кнопку **Загрузить**.

Сохраните полученную модель нажав на кнопку **Сохранить** , которая располагается на **Панели управления**.

Назначение контактных поверхностей при взаимодействии объектов

Нажмите на кнопку **Inter-object**  и в появившемся окне выберите кнопку **Yes** для создания контактных пар. Окно **Взаимодействие объектов** появится с уже определёнными тремя контактными парами (рис. 11).

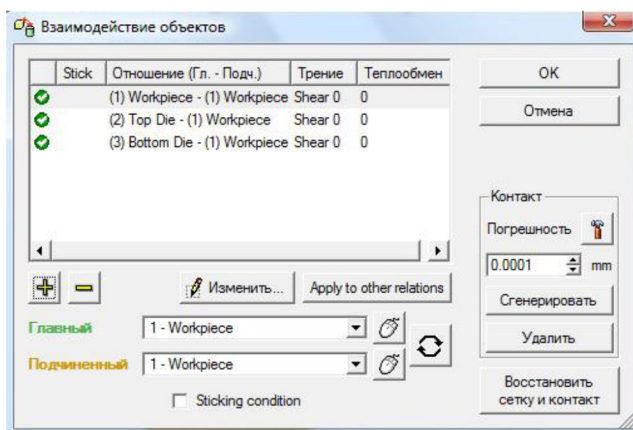


Рис. 11. Окно **Взаимодействие объектов** до задания исходных данных

Для определения параметров контакта нажмите кнопку **Изменить** , в появившемся окне **Inter-Object Data Definition** поставьте флажок напротив надписи «*Constant Tau*» (закон трения по Зибелю), укажите коэффициент трения равный 0,12 и нажмите кнопку **Заккрыть** (рис. 12).

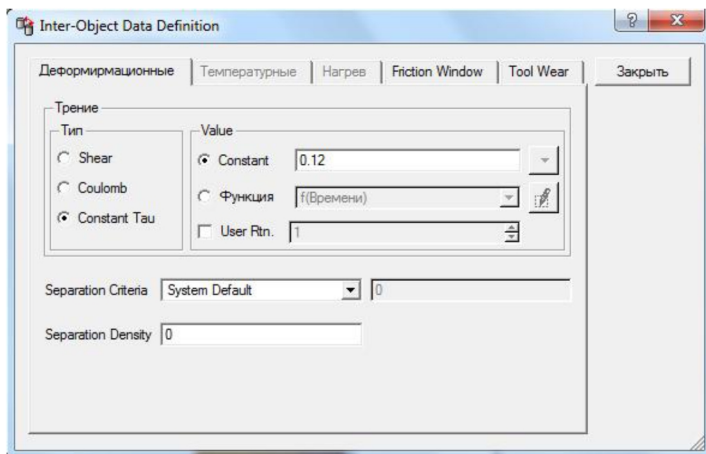


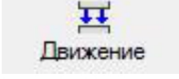
Рис. 12. Окно **Inter-Object Data Definition**

Т.к. коэффициент трения между заготовкой и обоими инструментами одинаков, то нажатием на кнопку **Apply to other relations** в окне **Взаимодействие объектов** примените параметры первого контакта к остальным.

Для генерации величины точности, с которой компьютер создаст контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** , после этого нажмите кнопку **Сгенерировать** для создания поверхностей контакта (рис. 13). Нажмите кнопку **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

Задание движения верхнего инструмента

Укажите ЛКМ *Top Die* (пресс-шайба) в **Дереве объектов** для приложения

движения. Затем нажмите кнопку **Движение** , и, убедившись, что напротив надписи **Скорость** стоит флажок, введите в строку **Constant value**, расположенную в самом низу, значение 1 мм/с (рис. 14).

В соответствии с заданными условиями нагружения пресс-шайба будет перемещаться вниз (-Y) с постоянной скоростью 1 мм/с.

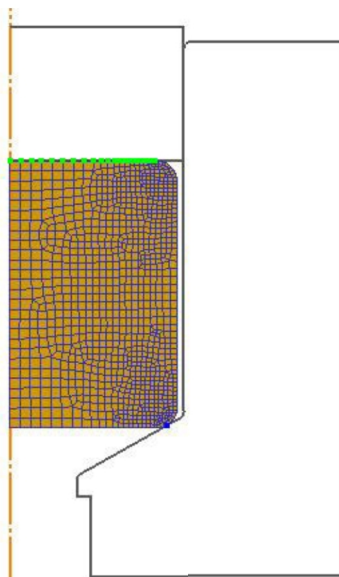


Рис. 13. Контактные поверхности между заготовкой, матрицей и контейнером

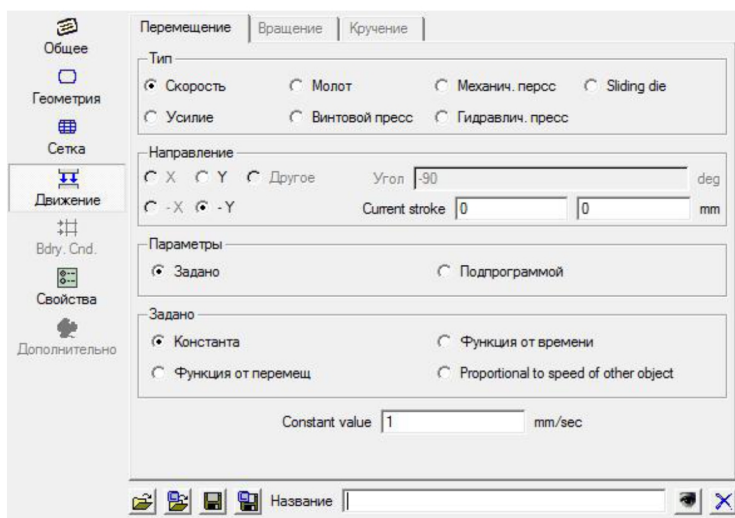


Рис. 14. Пункт Движение из Панели инструментов

Задание числа шагов расчета

Для определения величины шага необходимо произвести замер ребра любого конечного элемента заготовки при помощи кнопок **Увеличить**  и **Измерить** , а затем данное значение разделить на три.

Нажмите на кнопку **Simulation controls**  и в окне **Simulation controls** перейдите на закладку **Шаг** . Затем введите величину шага (результат деления) в ячейку расположенную в строке **With Equal Die Displacement** (рис. 15).

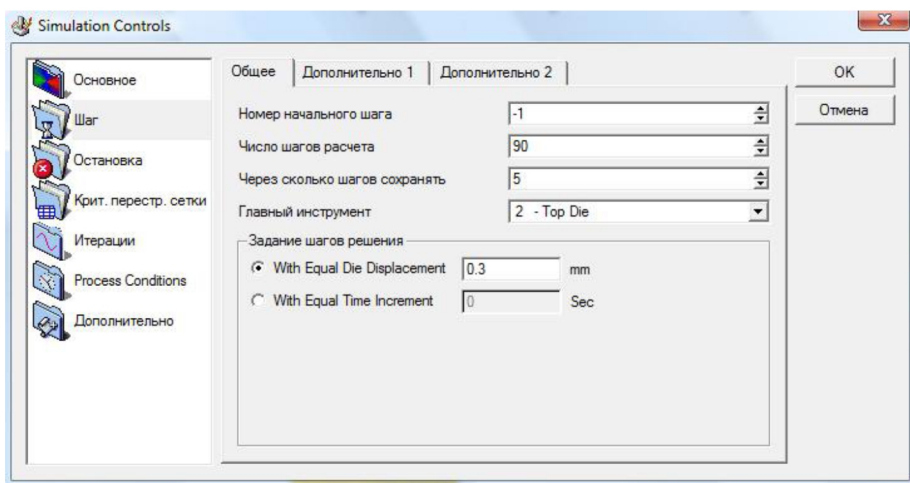


Рис. 15. Окно **Simulation controls** на закладке **Шаг**

Для того, что бы задать количество шагов необходимо перемещение главного инструмента (пресс-шайбы) разделить на размер шага и полученное значение, округленное до целого в большую сторону, внести в ячейку в строке **Число шагов расчета** (рис. 15).

Примем число шагов расчета равным 90, что соответствует перемещению пресс-шайбы на 27 мм и высоте пресс-остатка 13 мм при величине шага 0,3 мм.

В строку **Через сколько шагов сохранять** введите 5 – интервал сохранения шагов в базу данных, а в строке **Главный инструмент** установите *Top Die*. Нажмите кнопку **ОК**.

Сохраните данные нажав на кнопку **Сохранить** , расположенную в верхней левой части экрана на **Панели управления**.

Запись базы данных

Нажмите кнопку **Database generation** , затем в окне **Генерация базы данных** нажмите на кнопку **Сгенерировать**. В случае если постановка задачи произведена корректно, то после проверки данных произойдет создание базы данных (рис. 16). Для закрытия окна нажмите кнопку **Закрыть**.

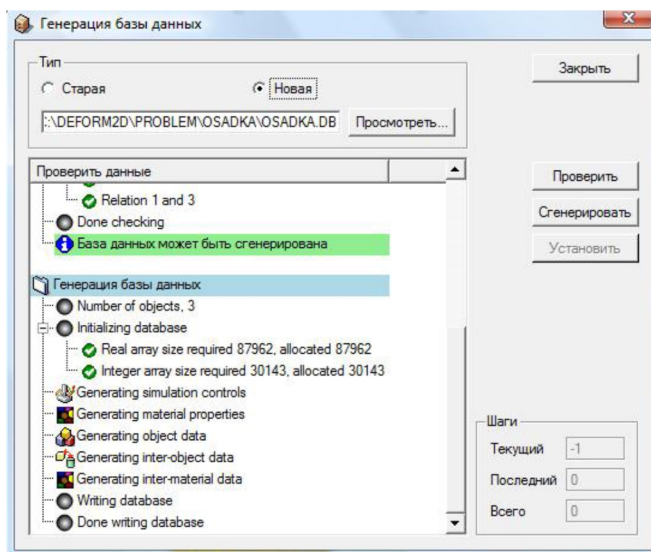


Рис. 16. Окно Генерация базы данных

Выйдите из препроцессора, нажав на кнопку **Выход** .

Проведение моделирования

В пункте **Simulator** в Главном окне выберите **Старт** или нажмите на кнопку .

Нажмите на закладку **Сообщения** для вывода информации о том, какой шаг рассчитывается в настоящий момент. Обратите внимание на то, что файл базы данных скрыт полосой **Running**, которая означает, что в данный момент задача рассчитывается, или полосой **Remeshing**, что говорит о перестроении конечно-элементной сетки.

Анализ результатов моделирования

Анализ результатов моделирования заключается в сравнении напряженно-деформированного состояния, скоростных и силовых параметров процесса прессования через плоскую и коническую матрицу, при этом данные для

прессования через плоскую матрицу берутся из предыдущей лабораторной работы.

Откройте решаемую задачу в постпроцессоре, нажав ЛКМ в пункте **Post Processor** на надпись «*DEFORM-2D* Постпроцессор».

Для перемещения по шагам расчета воспользуйтесь кнопками **One step back**  и **One step forward** .

Дайте анализ изменения напряженно-деформированного состояния в зависимости от типа матрицы (рис. 18). Для отображения распределения интенсивности напряжений и деформаций нажмите на кнопку **Параметры** , затем в окне **Параметры** выберите тип переменной «*Stress*» («*Strain Total*») и подтип «*Effective*» («*von Mises*») (рис. 17). В разделе **Экран** установите «*Solid*», а в **Scaling** – «*Local*». Нажмите **Apply**, а затем **Close**.

Посмотрите картину течения металла по искажению координатной сетки (рис. 20) и векторному полю скоростей (рис. 19).

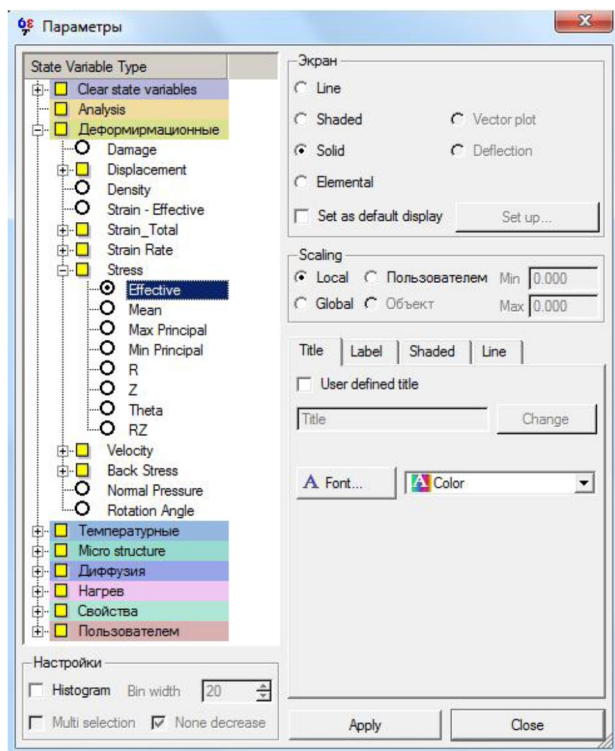


Рис. 17. Окно **Параметры**

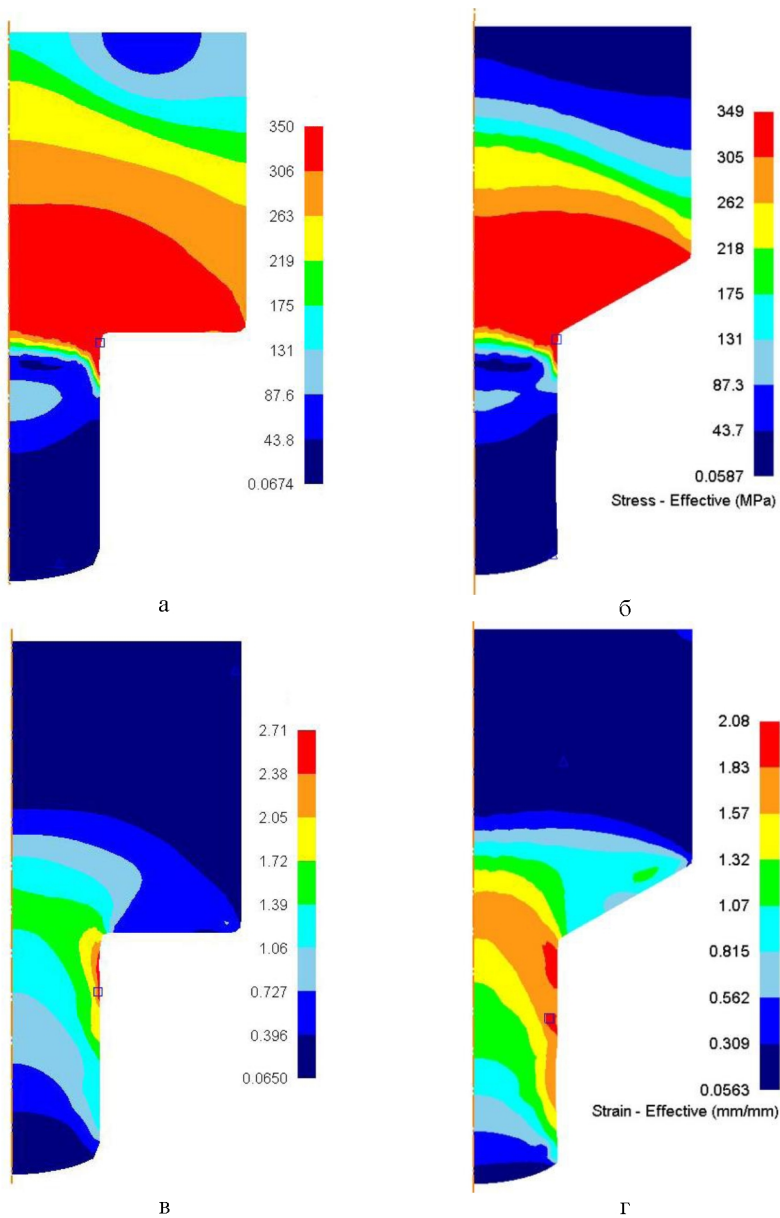


Рис. 18. Распределение интенсивности напряжений (а, б) и деформаций (в, г): а, в – плоская; б, г – коническая матрица

Для отображения скоростей (рис. 19) нажмите кнопку **Параметры** , выберите тип переменной «*Velocity*» и подтип «*Total Vel*» (рис. 18). В разделе **Экран** установите «*Vector plot*». Нажмите **Apply**, а затем **Close**.

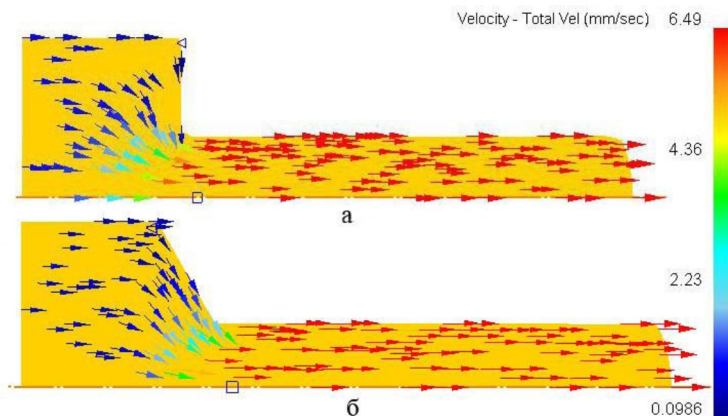


Рис. 19. Поле скоростей при прессовании через плоскую (а) и коническую (б) матрицу

Для построения координатной сетки (рис. 20) нажмите кнопку **Flow Net**  и в окне **Flow Net** в строках **Starting step** и **Ending step** введите соответственно номер первого (-1) и последнего шага. Нажмите кнопку **Next**, выберите тип сетки *Rectangular* и снова нажмите **Next**. В новом окне введите в поле **Number of grids** количество разбиений по оси X и Y – 5 и 8. Нажмите кнопку **Next**, а затем **Finish**.

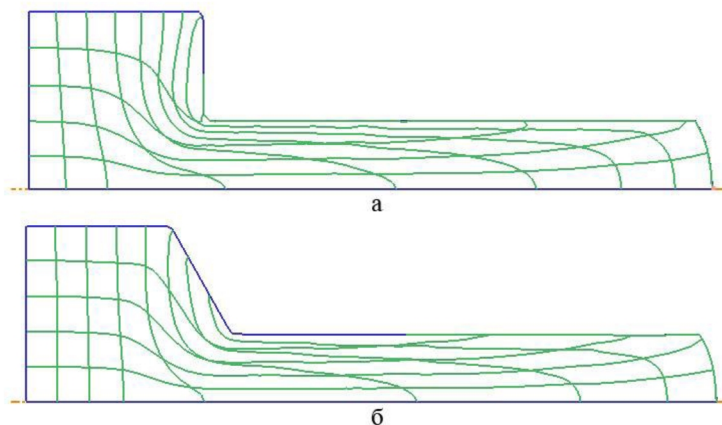


Рис. 20. Координатная сетка при прессовании через плоскую (а) и коническую (б) матрицу

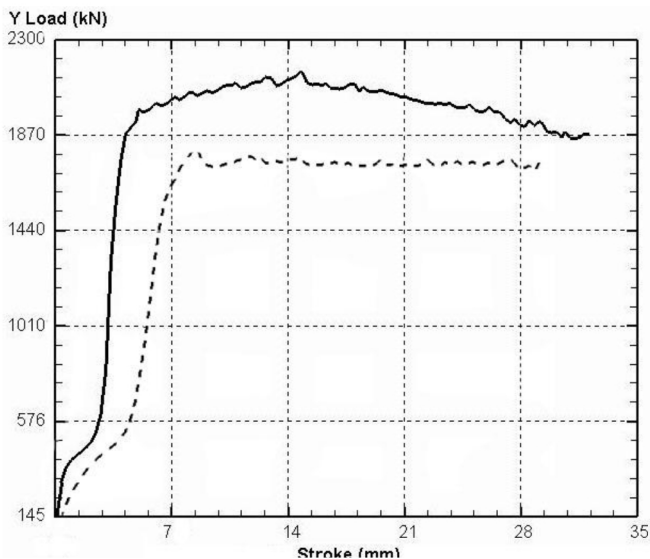


Рис. 21. Изменение усилия прессования в зависимости от перемещения пресс-шайбы:
 ----- — плоская; - - - - коническая матрица

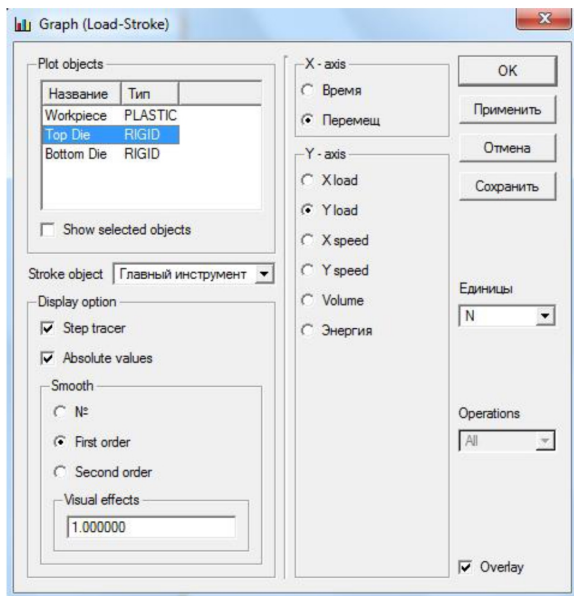
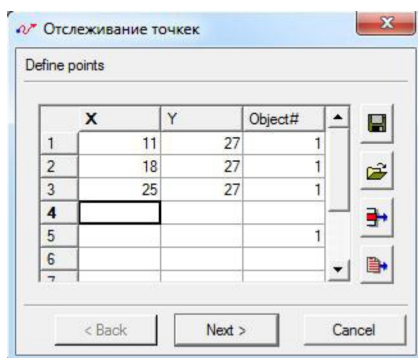


Рис. 22. Окно **Graph (Load-Stroke)**

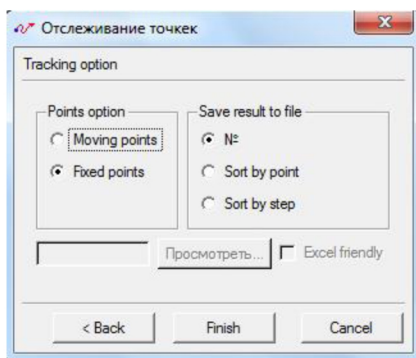
Опишите характер изменения усилия прессования по стадиям процесса (рис. 21). Для построения графика нажмите кнопку **График (Усилия-Перемещения)** . В окне **Graph (Load-Stroke)** (рис. 22) в разделе **Plot objects** выберите верхний инструмент *Top Die*. По оси абсцисс отложим перемещение матрицы, поэтому в разделе **X-axis** установите «Перемещ». Для отображения сглаженной кривой в разделе **Smooth** установите «*First order*». Нажмите **ОК**.

Проведите анализ изменения интенсивности деформаций в ОПД в процессе прессования (рис. 24). Перейдите на первый шаг расчета (кнопка **First step** ) и отобразите распределение деформаций, используя кнопку **Параметры**  (тип переменной «*Strain_Total*» и подтип «*von Mises*»).

Затем нажмите на кнопку **Отслеживание точек**  и введите координаты точек, по которым будет отслеживаться изменение выбранного параметра (рис. 23, а). Нажмите **Next**. Далее в разделе **Points option** установите «*Fixed points*» (рис. 23, б) для фиксации точек. Нажмите **Finish**.



а



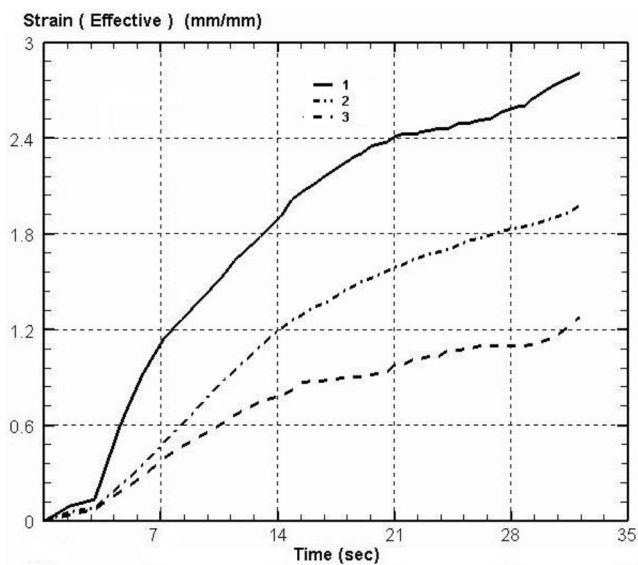
б

Рис. 24. Окна **Отслеживание точек**

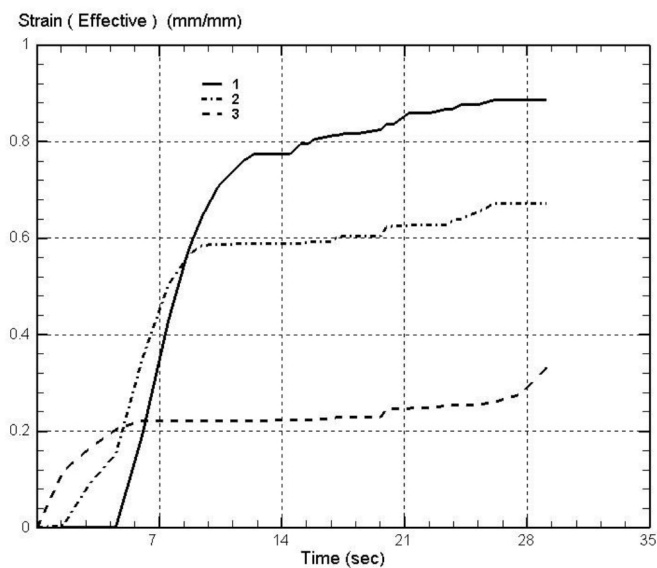
СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется в текстовом редакторе *MS Word* и должен состоять из следующих структурных элементов:

1. Титульный лист (образец оформления приведен в приложении Е).
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения:
 - сущность процесса прессования;
 - схема прессования через коническую матрицу;
 - влияние угла конуса матрицы на составляющие усилия прессования;



а



б

Рис. 23. Характер изменения ϵ_t по ОПД в зависимости от времени процесса:
а – плоская; б – коническая матрица

- классификация матриц.
- 4. Результаты моделирования прессования через плоскую и коническую матрицу:
 - Компьютерная модель прессования через коническую матрицу;
 - искажение координатной сетки и векторное поле скоростей при прессовании;
 - график усилия прессования в зависимости от перемещения;
 - распределение интенсивности напряжений и деформаций при прессовании;
 - график изменения интенсивности деформаций по ОПД.
- 5. Анализ полученных результатов моделирования.
- 6. Сравнение прессования через плоскую и коническую матрицу.
- 7. Выводы по проведенным исследованиям.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что собой представляет конструкция матрицы?
2. Перечислите основные элементы конструкции матрицы?
3. Как классифицируются матрицы по форме обжимной части?
4. В каких случаях применяют плоские матрицы?
5. В чем существенное отличие прессования через плоскую и коническую матрицы?
6. Приведите примеры матриц с различным числом каналов?
7. Опишите причины появления зоны оптимальных углов конических матриц?
8. Из каких составляющих складывается полная работа пластической деформации при прямом прессовании?
9. Перечислите виды калибрующих поясков?
10. Что относят к технологическим элементам конструкции матриц?
11. В чем заключается качественное отличие искажения координатных сеток при прессовании через плоскую и коническую матрицу?
12. Как задать материал объекта?
13. Как посмотреть значение интенсивности деформаций в определенной точке?
14. Перечислите инструменты графического построения, доступные в постпроцессоре?

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕССОВАНИЯ

Цель работы: компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния в процессе горячего прессования круглого профиля из алюминиевого сплава АД31 с прямым истечением и привитие практических навыков работы в средах твердотельного моделирования с помощью программного комплекса *DEFORM-2D*.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Температура нагрева заготовки T_z и скорость истечения $V_{ист}$ – важные технологические параметры, определяющие качество пресс-изделия. Оба эти параметра тесно связаны между собой: так увеличение скорости истечения повышает температуру заготовки, поэтому T_z и $V_{ист}$ объединяют в одно понятие – *температурно-скоростной режим прессования*.

При выборе температурно-скоростного режима стремятся:

- максимально снизить сопротивление деформации прессуемого материала для уменьшения усилия прессования и нагрузок на инструмент, что, в свою очередь, позволяет вести процесс прессования с высокими коэффициентами вытяжки;
- обеспечить высокую пластичность металла, позволяющую вести прессование с высокими скоростями истечения;
- поддерживать температуру заготовки не выше критической, превышение которой вызывает потерю эластичности и, как следствие, разрушение пресс-изделий;
- обеспечить получение профилей с требуемой структурой, минимальной разнотекучестью и заданным уровнем механических свойств.

При прессовании профилей 90-95% энергии, приложенной к заготовке, переходит в тепловую энергию, которая вызывает местный разогрев металла в отдельных объемах заготовки. В результате температура заготовки существенно возрастает (рис. 1), при этом наибольший разогрев наблюдается в очаге пластической деформации около матрицы. Одновременно с приходом тепла происходит его рассеяние через инструмент, нагретый до меньших температур, чем заготовка. Содержание тепла Q в прессуемой заготовке определяется следующим выражением:

$$Q = Q_0 + Q_\epsilon + Q_{mp} - Q_{np} - Q_{рас}$$

где Q_0 – тепло в заготовке перед загрузкой в контейнер;

Q_ϵ – тепло работы пластической деформации;

Q_{mp} – тепло за счет преобразования работы, затрачиваемой на преодоление сил трения;

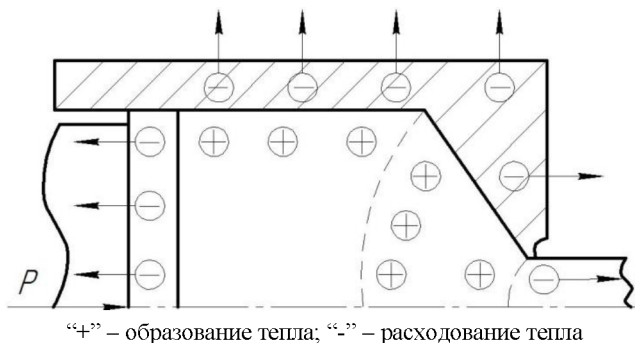


Рис. 1. Схема возникновения и расходования тепла в процессе горячего прессования

Q_{np} – тепло, уносимое профилем;

Q_{pac} – тепло, рассеиваемое в окружающую среду.

Разогрев металла ΔT_ϵ в очаге пластической деформации от перехода работы пластической деформации A_ϵ в тепло Q_ϵ можно найти из закона сохранения энергии:

$$Q_\epsilon = A_\epsilon,$$

$$Q_\epsilon = c\rho V\Delta T_\epsilon \text{ и } A_\epsilon = \eta_{вых} q V \ln \lambda,$$

$$q = P_{np}/F_K,$$

где c – теплоемкость, Дж/(кг·°С); ρ – удельный вес (плотность), кг/м³; ΔT_ϵ – величина разогрева, °С; V – объем заготовки, м³; $\eta_{вых}$ – коэффициент выхода тепла ($\eta = 0,9-0,95$); λ – коэффициент вытяжки; q – давление в контейнере, Па; P_{np} – усилие прессования, Н; F_K – площадь контейнера, м².

Окончательно получим следующее выражение:

$$\Delta T_\epsilon = \eta_{вых} \frac{q \ln \lambda}{c\rho}$$

По характеру изменения температуры в очаге пластической деформации процесс прессования может протекать следующим образом:

1. Приход тепла больше расхода и, как следствие, температура заготовки к концу прессования превышает начальную ($Q > Q_0$). Такие условия возникают при прессовании с высокими скоростями истечения, например, при холодном прессовании.

2. Приход тепла меньше, чем рассеивается в окружающую среду, и процесс идет с уменьшением температуры ($Q < Q_0$). Этот случай имеет место при прессовании с небольшими скоростями истечения, например, при прессовании высокопрочных алюминиевых сплавов.

3. Приход тепла равен его расходу ($Q = Q_0$), и прессование идет с постоянной температурой на выходе из канала матрицы (изотермическое прессование).

Температура заготовки в процессе прессования может возрастать от притока тепла, в результате работы при высокой скорости истечения. Поэтому для создания условий прессования при одинаковой температуре заготовки, процесс ведут так, чтобы повышение тепла от процесса работы деформации компенсировалось соответствующим снижением скорости истечения. Такое прессование называется *изотермическим*.

Температурный интервал прессования представляет разность минимальной и максимальной температур заготовки, при которых обеспечивается необходимый комплекс технико-экономических показателей процесса и характеристик качества изделий.

Температурный интервал прессования зависит от физической природы и состава сплавов; состояния заготовки; способа прессования; температурного режима; степени и скорости деформации; допустимых давлений на инструмент; требований к качеству поверхности изделий, к их макро- и микроструктуре, механическим и физико-химическим свойствам; формы поперечного сечения изделий и их размеров; требований к производительности прессов и др.

Даже из этого неполного перечня факторов, влияющих на выбор температурного интервала, видно, что ряд из них характеризуют противоположные тенденции в выборе температуры прессования.

Температурный интервал прессования выбирают так, чтобы при верхних предельных температурах не происходило перегрева или пережога металла, а при нижних – усилие прессования оказалось меньше предельного (паспортного) усилия пресса и обеспечивало требуемое качество структуры прессового изделия.

Температуру нагрева заготовки $T_{нагр}$, приводящей к оптимальным условиям прессования, выбирают, уменьшая температуру прессования $T_{пр}$ на величину, равную разогреву от тепла деформации ΔT_{ϵ} , с учетом охлаждения заготовки при переносе от печи до контейнера $\Delta T_{тр}$:

$$T_{нагр} = T_{пр} + \Delta T_{тр} - \Delta T_{\epsilon},$$

$$\Delta T_{тр} = V_{охл} \tau_{тр},$$

где $V_{охл}$ – скорость охлаждения, °C/мин; $\tau_{тр}$ – время транспортировки, мин.

В настоящее время выбор температурного интервала производится в основном экспериментально по диаграммам состояния и пластичности (рис. 2). Максимальная температура прессования $T_{макс}$ должна соответствовать максимальному значению относительного сужения ψ и относительного удлинения δ при минимальном (или близком к нему) значении предела текучести σ_T (рис. 2, а). Причем значение этой температуры не должно превышать $0,9T_S$, где T_S – температура линии солидуса для данного сплава; нижняя граница интервала должна обеспечивать состояние прессуемого металла в однофазной области – $0,7T_S$ (рис. 2, б).

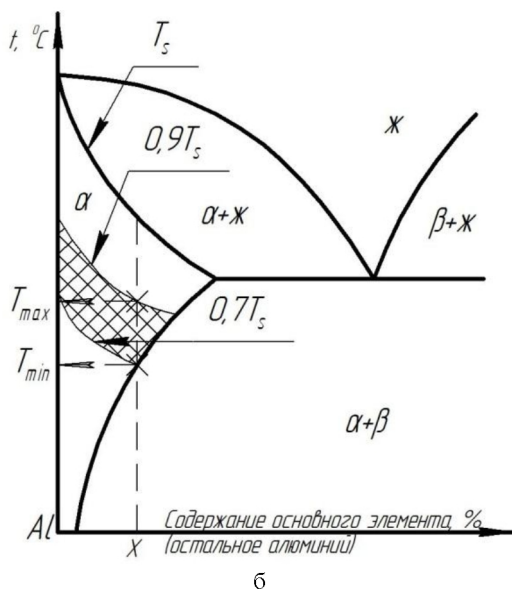
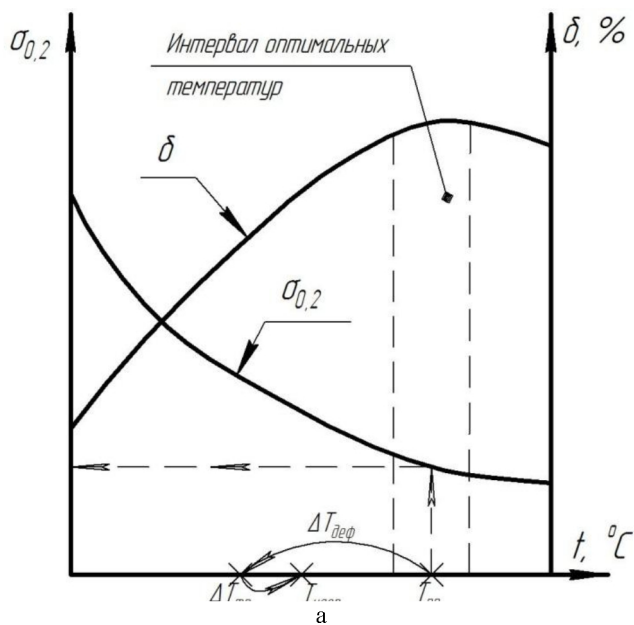


Рис. 2. Выбор температуры прессования по диаграммам пластичности (а) и состояния (б)

Критериями, определяющими допустимую скорость истечения металла, служат: начало появления поверхностных трещин; образование рисок, наливов и других поверхностных дефектов; устойчивость геометрических размеров поперечного сечения изделия; начало появления гофров, волнистости и других дефектов. На скорость истечения, кроме того, влияют состав и температура металла в пластической зоне; исходное состояние заготовки; неравномерность деформации; форма и размеры поперечного сечения изделия и соотношение размеров отдельных элементов профиля; конструкция инструмента; способ прессования; условия контактного трения. Чем больше сопротивление деформации прессуемого металла, тем меньше скорость истечения. При прочих равных условиях быстрее прессуются профили простых поперечных сечений, медленнее – сложных поперечных сечений.

Повышению скоростей истечения при прессовании способствуют:

- 1) снижение температурного интервала нагрева заготовок перед прессованием;
- 2) проведение гомогенизации литых заготовок;
- 3) использование технологических смазок и покрытий инструмента, снижающих контактное трение;
- 4) применение конструкций матриц, обеспечивающих выравнивание скоростей истечения отдельных элементов профилей;
- 5) местное охлаждение канала матрицы, снижающее температуру выходящего изделия;
- 6) обратный метод прессования;
- 7) градиентный нагрев заготовок;

Иногда перед прессованием заготовку нагревают неравномерно по длине. Более нагрет торец заготовки, располагающийся около матрицы, менее нагретый торец около пресс-шайбы. В процессе прессования температура заготовки выравнивается от тепла работы деформации. Такое прессование называется *прессование с градиентным нагревом заготовок*.

По температурным условиям рассматривают следующие разновидности процессов прессования:

- с полным упрочнением (холодное прессование);
- с неполным упрочнением (теплое прессование);
- с неполным разупрочнением (полугорячее прессование);
- с полным разупрочнением (горячая деформация).

Холодное прессование – это прессование при дорекристаллизационной температуре, не превышающей $0,3T_{пл}$, где $T_{пл}$ – температура плавления металла (в градусах Кельвина). Этот метод осуществляют на прессовых установках с применением высоких энергий для производства профилей из мягких сплавов. Холодное прессование повышает механические свойства профилей: так пределы прочности и текучести, твердость увеличивается в 2-3

раза, что позволяет применять для деталей машин менее прочные и, как следствие, более дешевые металлы. Метод обеспечивает высокое качество поверхности (шероховатость 0,32-2,5 мкм) и точность (9-11 квалитеты). В этом процессе при больших скоростях используется тепло деформации, с помощью которого разогревается металл и уменьшается сопротивление деформации.

Теплое, полугорячее и горячее прессование реализуется при температурах $0,3T_{nl} < T_{np} \leq 0,5T_{nl}$, $0,5T_{nl} < T_{np} < 0,7T_{nl}$ и $T_{np} \geq 0,7T_{nl}$, соответственно. Нагрев заготовки позволяет увеличить пластичность металла и уменьшить сопротивление деформированию. В связи с этим на практике горячее прессование наиболее распространено.

При *горячем прессовании* в деформируемом металле происходит полная динамическая рекристаллизация и формируется полностью рекристаллизованная структура. *Полугорячая деформация* осуществляется в нагретом состоянии, но при более низкой температуре, когда динамическая рекристаллизация в металле проходит не полностью. *Теплая деформация* имеет место при небольшом нагреве и характеризуется прохождением возврата.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Создание новой задачи

Запустите *DEFORM-2D* и создайте новую задачу, нажав кнопку  на **Панели управления**. Нажимайте кнопку **Next** до появления запроса на ввод названия задачи. Дайте название задачи: *GOR_PRESS*. Нажмите кнопку **Finish**.

После запуска препроцессора, нажмите кнопку **Simulation controls** . Убедитесь в том, что в окне **Simulation controls** в качестве системы измерения установлена система «СИ», выбран режим расчета «Деформирование» и «Теплопередача», а тип геометрии – «Осесимметричная» (рис. 3). Нажмите кнопку **ОК**.

Построение геометрии инструмента и заготовки

Выполним компьютерное моделирование горячего прессования круглого профиля через плоскую матрицу и сравним результаты расчета с данными, полученными в предыдущей лабораторной работе по исследованию холодного прессования через плоскую матрицу.

Добавьте в **Дерево объектов** верхний инструмент *Top Die* (пресс-шайба) и нижний инструмент *Bottom Die* (контейнер, совмещенный с матрицей), нажимая кнопку **Добавить объект** .

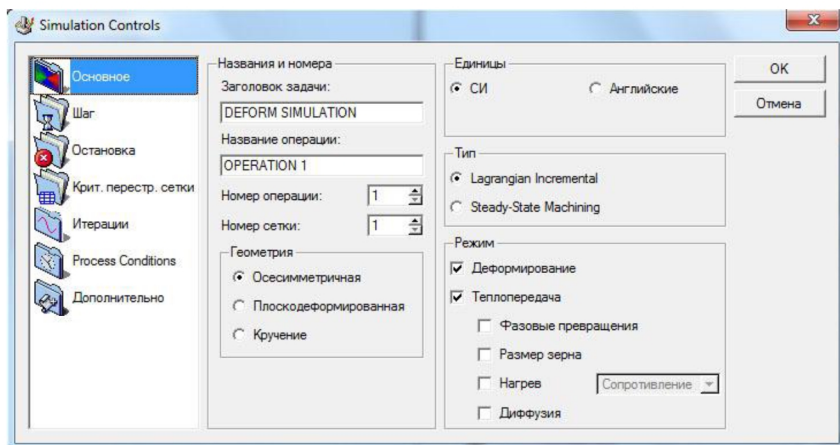


Рис. 3. Окно Simulaation controls

Сделайте активным нижний инструмент *Bottom Die* (укажите ЛКМ *Bottom Die* в Дереве объектов). Перейдите к закладке **Edit** в пункте **Геометрия**

 **Геометрия**. В появившееся **Поле ввода геометрии** (таблицу) последовательно введите значения, представленные в табл. 1. После окончания ввода данных нажмите ЛКМ на кнопку **Применить**  **Применить**.

Проверьте полученную геометрию на наличие ошибок, для этого нажмите кнопку **Check** , а затем кнопку **Check & Correct Geometry**. В случае верного построения должно появиться сообщение «*Geometry is legal*».

Табл. 1. Координаты точек для построения контейнера, совмещенного с матрицей

№	X	Y	R
1	12	0	0
2	50	0	0
3	50	80	0
4	26	80	1
5	26	15	1
6	10	15	1
7	10	12	0
8	12	12	0
9	12	0	0

Действуя аналогичным образом, постройте геометрию верхнего инструмента *Top Die* и заготовки *Workpiece*. Координаты точек для построения приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Табл. 2. Координаты точек для построения пресс-шайбы

№	X	Y	R
1	0	0	0
2	26	0	0
3	26	20	0
4	0	20	0

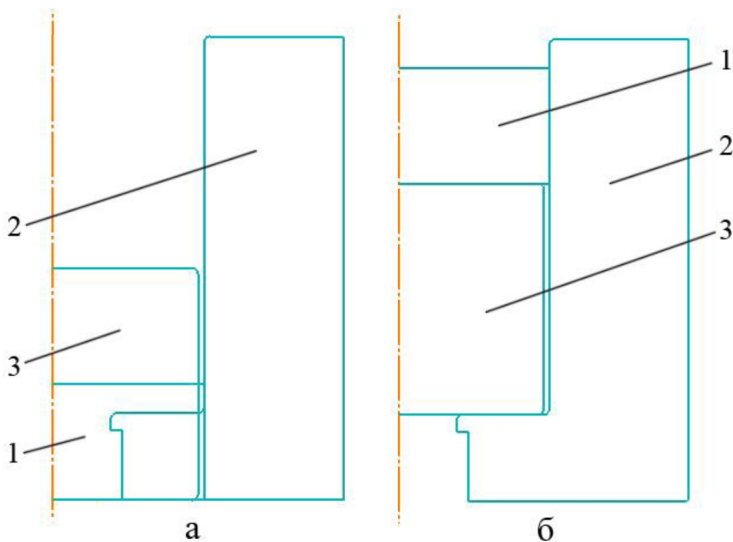
Табл. 3. Координаты точек для построения заготовки

№	X	Y	R
1	0	0	0
2	25	0	3
3	25	40	3
4	0	40	0

Конечная геометрия заготовки, пресс-шайбы и контейнера, совмещенного с матрицей, изображена на рис. 4, а.

Позиционирование объектов

Вызовите окно **Позиционирование объектов** (рис. 5), нажав кнопку **Object positioning** . Для расположения объектов относительно друг друга (рис. 4, б) воспользуйтесь методом **Интерференция**.



1 – пресс-шайба; 2 – контейнер, совмещенный с матрицей; 3 – заготовка

Рис. 4. Изображение в окне **Display** после задания геометрии (а) и позиционирования (б)

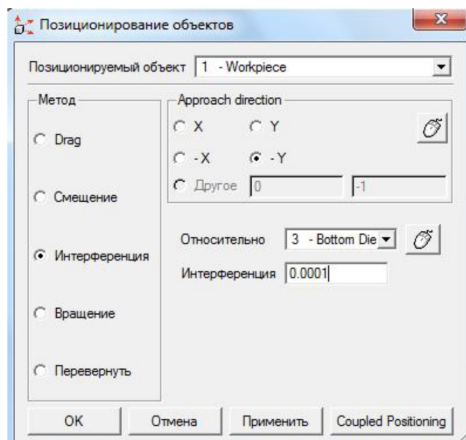


Рис. 5. Окно **Позиционирование объектов**

Сначала расположим заготовку и контейнер по отношению друг к другу. В строке **Позиционируемый объект** выберите *Workpiece*, а в строке **Относительно** – *Bottom Die* (рис. 5). В блоке **Approach direction** поставьте флажок напротив надписи «-Y». Для позиционирования нажмите кнопку **Применить**.

По аналогии осуществите позиционирование пресс-шайбы *Top Die* относительно заготовки *Workpiece*. Изображение на экране должно принять вид, показанный на рис. 4, б.

Создание модели заготовки

Выделите в **Дереве объектов** заготовку *Workpiece* и убедитесь в том, что

в пункте **Общие** стоит тип объекта «Пластичный». Установите температуру заготовки, для этого там же нажмите кнопку **Задать температуру** и в появившемся окне **Object Temperature** (температура объекта) введите 400°C (рис. 6). Нажмите **ОК**.

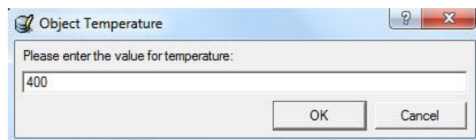
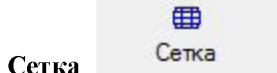


Рис. 6. Окно **Object Temperature**

Чтобы разбить модель заготовки на конечные элементы, выберите пункт



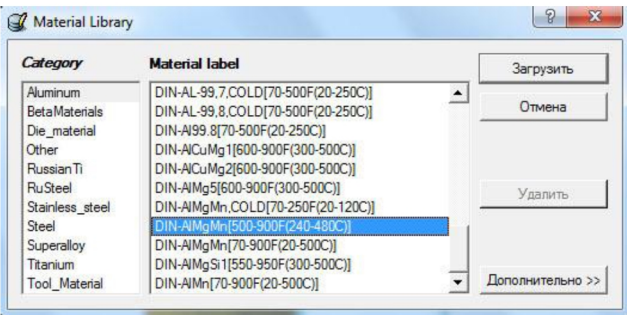
Сетка

на **Панели инструментов**, задайте количество ко-

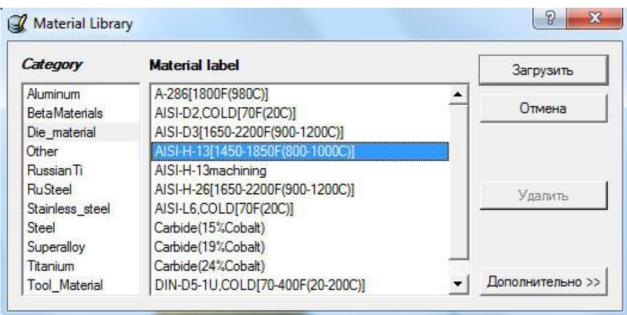
нечных элементов 1000 и нажмите на кнопку **Генерировать сетку**.

Определим свойства материала заготовки, для этого перейдите в пункт

Общее и нажмите на кнопку **Load material from library** , расположенную в строке **Материал**. В окне **Material Library** выберите алюминиевый сплав *DIN-ALMgMn[500-900F(240-480C)]* (АД31) и нажмите кнопку **Загрузить** (рис. 7, а).



а



б

Рис. 7. Окно **Material Library**

Сохраните полученную модель нажав на кнопку **Сохранить** , которая располагается на **Панели управления**.

Создание модели инструмента

Выделите в **Дереве объектов** контейнер *Bottom Die* и убедитесь в том, что в пункте **Общее** стоит тип объекта «Жесткий». Установите температуру контейнера, для этого там же нажмите кнопку **Задать температуру** и в появившемся окне введите 350°C. Нажмите **ОК**.

Чтобы разбить модель контейнера на конечные элементы, выберите пункт **Сетка** на **Панели инструментов**, задайте количество конечных эле-

ментов 1500 и нажмите на кнопку **Генерировать сетку**.

Определим свойства материала контейнера, для этого перейдите в пункт

Общее и нажмите на кнопку **Load material from library** , расположенную в строке **Материал**. В окне **Material Library** выберите группу материалов «*Die_material*» (инструментальные материалы) и марку стали «*AISI-H-13[450-1850F(800-1000C)]*», после этого нажмите кнопку **Загрузить** (рис. 7, б).

Выделите в **Дереве объектов** пресс-шайбу *Top Die* и аналогичным образом установите температуру объекта (350°C), сгенерируйте конечно-элементную сетку (500 элементов) и задайте материал (*AISI-H-13[450-1850F(800-1000C)]*).

Назначение контактных поверхностей при взаимодействии объектов

Нажмите на кнопку **Inter-object**  и в появившемся окне выберите кнопку **Yes** для создания контактных пар. Окно **Взаимодействие объектов** появится с уже определёнными тремя контактными парами (рис. 8).

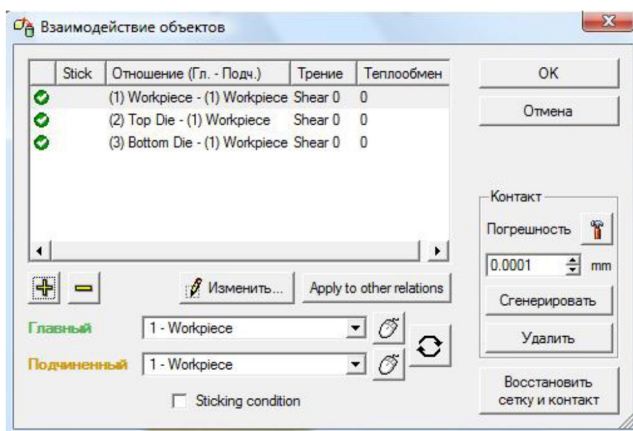
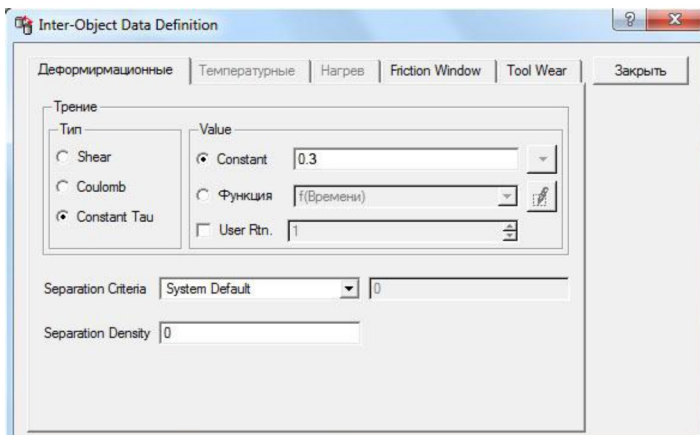


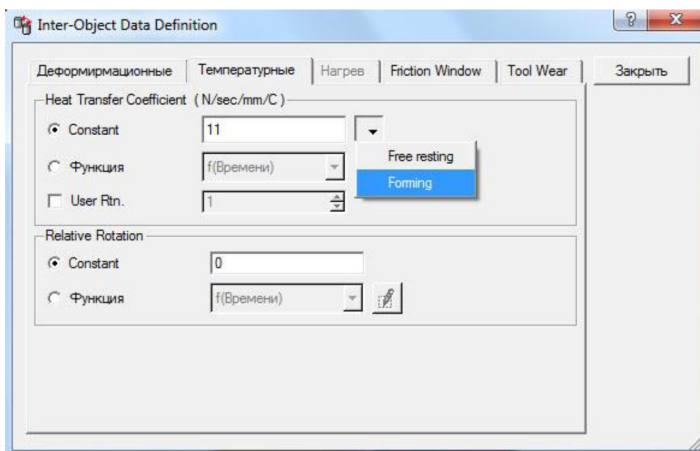
Рис. 8. Окно **Взаимодействие объектов** до задания исходных данных

Для определения параметров контакта нажмите кнопку **Изменить** , в появившемся окне **Inter-Object Data Definition** поставьте флажок напротив надписи «*Constant Tau*» (закон трения по Зибелю), укажите коэффициент трения равный 0,3 (рис. 9, а).

Затем перейдите на вкладку **Температурные** и в блоке **Heat Transfer Coefficient** (коэффициент теплопередачи) выберите **Forming** (формоизменение), нажав на кнопку  (рис 9, б). Автоматически установится значение равное 11. Нажмите кнопку **Заккрыть**.



а



б

Рис. 9. Окно **Inter-Object Data Definition**

Т.к. коэффициенты трения и теплопередачи между заготовкой и обоими инструментами одинаков, то нажатием на кнопку **Apply to other relations** в окне **Взаимодействие объектов** примените параметры первого контакта к остальным.

Для генерации величины точности, с которой компьютер создаст контактные пары, нажмите на кнопку **Погрешность** , после этого нажмите кнопку **Сгенерировать** для создания поверхностей контакта (рис. 10). Нажмите кнопку **ОК** для выхода из окна **Взаимодействие объектов**.

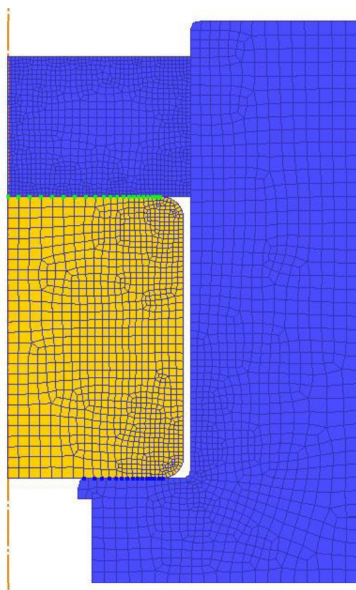
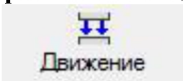


Рис. 10. Контактные поверхности между заготовкой, пресс-шайбой и контейнером

Задание движения верхнего инструмента

Укажите ЛКМ *Top Die* (пресс-шайба) в Дереве объектов для приложения

движения. Затем нажмите кнопку **Движение**  и, убедившись, что напротив надписи **Скорость** стоит флажок, введите в строку **Constant value**, расположенную в самом низу, значение 1 мм/с (рис. 11).

В соответствии с заданными условиями нагружения пресс-шайба будет перемещаться вниз (-Y) с постоянной скоростью 1 мм/с.

Задание числа шагов расчета

Для определения величины шага необходимо произвести замер ребра любого конечного элемента заготовки при помощи кнопок **Увеличить**  и **Измерить** , а затем данное значение разделить на три.

Нажмите на кнопку **Simulation controls**  и в окне **Simulation controls**

перейдите на закладку **Шаг** . Затем введите величину шага (результат деления) в ячейку расположенную в строке **With Equal Die Displacement** (рис. 12).

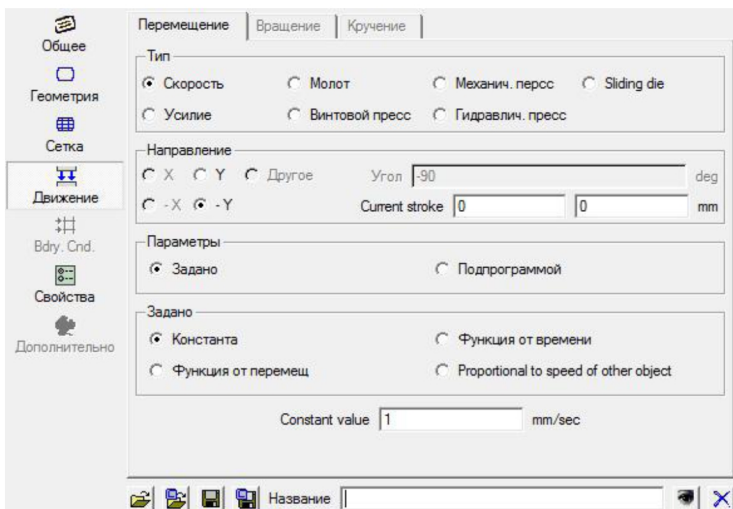


Рис. 11. Пункт Движение из Панели инструментов

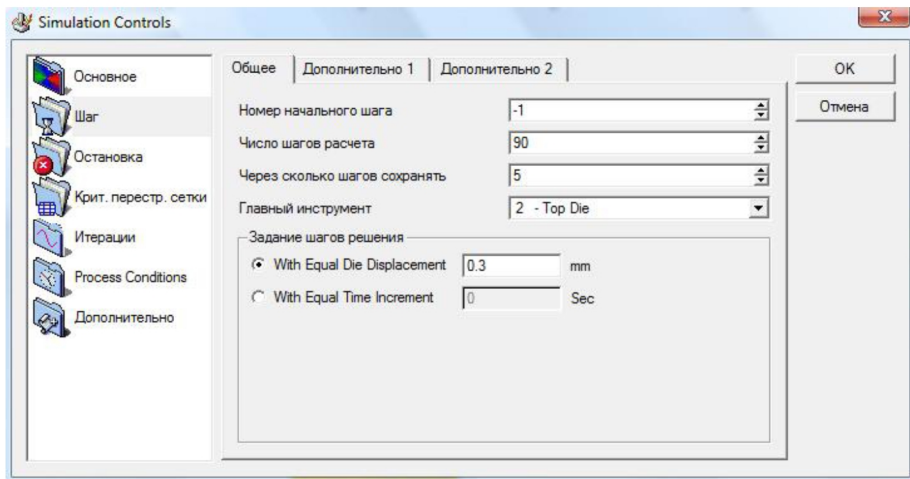


Рис. 12. Окно **Simulation controls** на закладке **Шаг**

Для того, что бы задать количество шагов необходимо перемещение главного инструмента (пресс-шайбы) разделить на размер шага и полученное значение, округленное до целого в большую сторону, внести в ячейку в строке **Число шагов расчета** (рис. 15).

Примем число шагов расчета равным 90, что соответствует перемещению пресс-шайбы на 27 мм и высоте пресс-остатка 13 мм при величине шага 0,3 мм.

В строку **Через сколько шагов сохранять** введите 5 – интервал сохранения шагов в базу данных, а в строке **Главный инструмент** установите *Top Die*. Нажмите кнопку **ОК**.

Сохраните данные нажав на кнопку **Сохранить** , расположенную в верхней левой части экрана на **Панели управления**.

Запись базы данных

Нажмите кнопку **Database generation** , затем в окне **Генерация базы данных** нажмите на кнопку **Сгенерировать**. В случае если постановка задачи произведена корректно, то после проверки данных произойдет создание базы данных (рис. 13). Для закрытия окна нажмите кнопку **Закрыть**.

Выйдите из препроцессора, нажав на кнопку **Выход** .

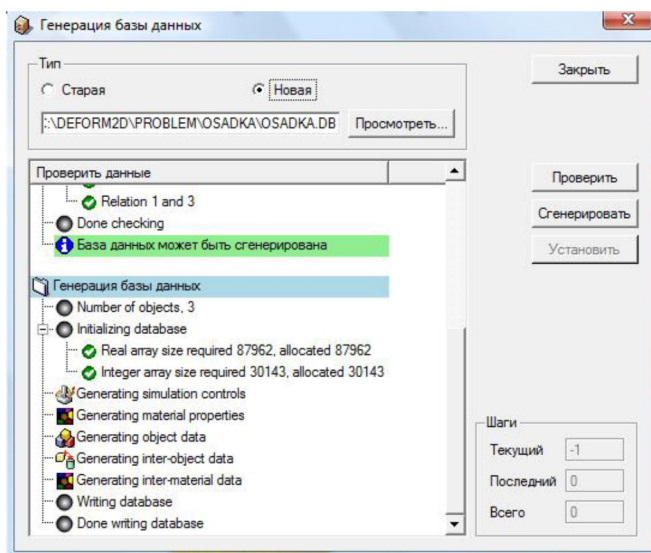


Рис. 13. Окно Генерация базы данных

Проведение моделирования

В пункте **Simulator** в Главном окне выберите **Старт** или нажмите на кнопку . Нажмите на закладку **Сообщения** для вывода информации о том, какой шаг рассчитывается в настоящий момент. Обратите внимание на то, что файл базы данных скрыт полосой **Running**, которая означает, что в данный момент задача рассчитывается, или полосой **Remeshing**, что говорит о перестроении конечно-элементной сетки.

Анализ результатов моделирования

Анализ результатов моделирования заключается в сравнении напряженно-деформированного состояния, силовых и температурных параметров процесса холодного и горячего прессования через плоскую матрицу, при этом данные для холодного прессования берутся из предыдущей лабораторной работы.

Откройте решаемую задачу в постпроцессоре, нажав ЛКМ в пункте **Post Processor** на надпись «*DEFORM-2D* Постпроцессор».

Для перемещения по шагам расчета воспользуйтесь кнопками **One step back**  и **One step forward** .

Дайте анализ изменения напряженно-деформированного состояния в зависимости от способа прессования (рис. 15). Для отображения распределения интенсивности напряжений и деформаций нажмите на кнопку **Параметры** , затем в окне **Параметры** выберите тип переменной «*Stress*» («*Strain_Total*») и подтип «*Effective*» («*von Mises*») (рис. 14). В разделе **Экран** установите «*Solid*», а в **Scaling** – «*Local*». Нажмите **Apply**, а затем **Close**.

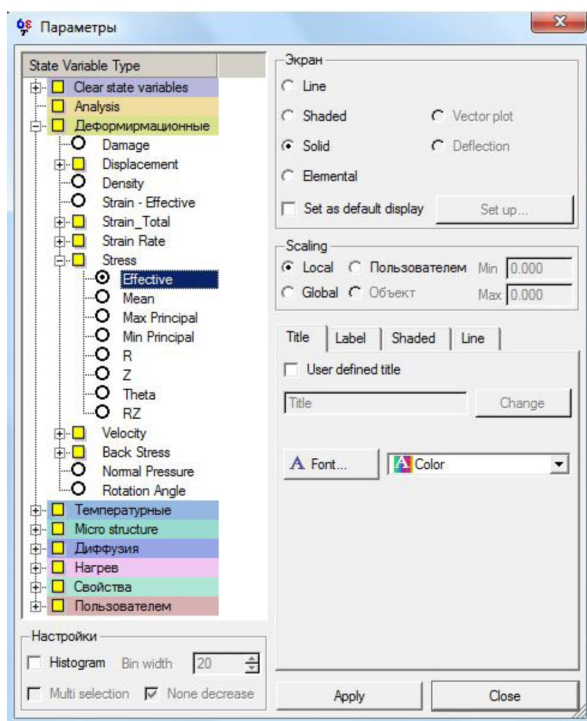


Рис. 14. Окно **Параметры**

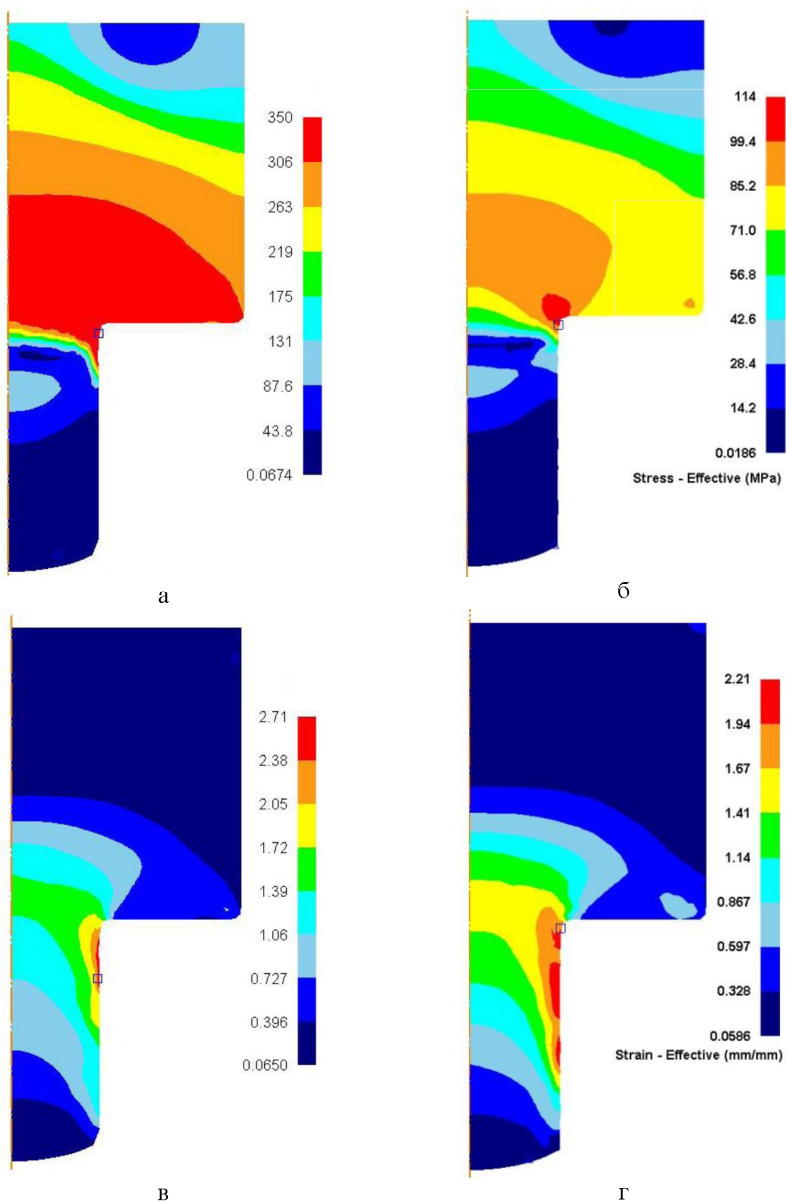


Рис. 15. Распределение интенсивности напряжений (а, б) и деформаций (в, г): а, в – холодное; б, г – горячее прессование

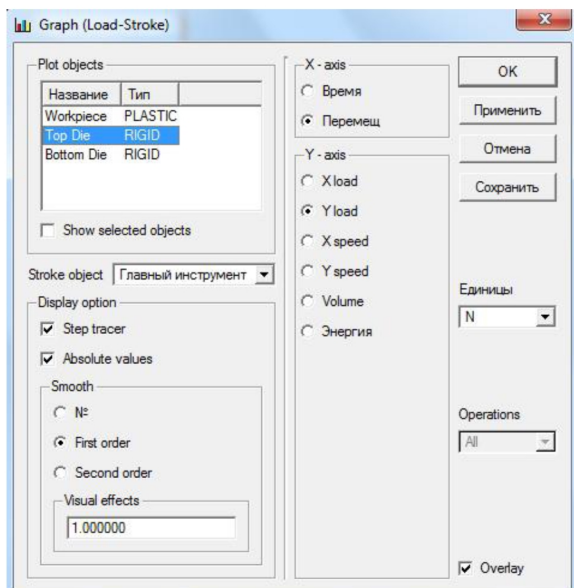


Рис. 16. Окно **Graph (Load-Stroke)**

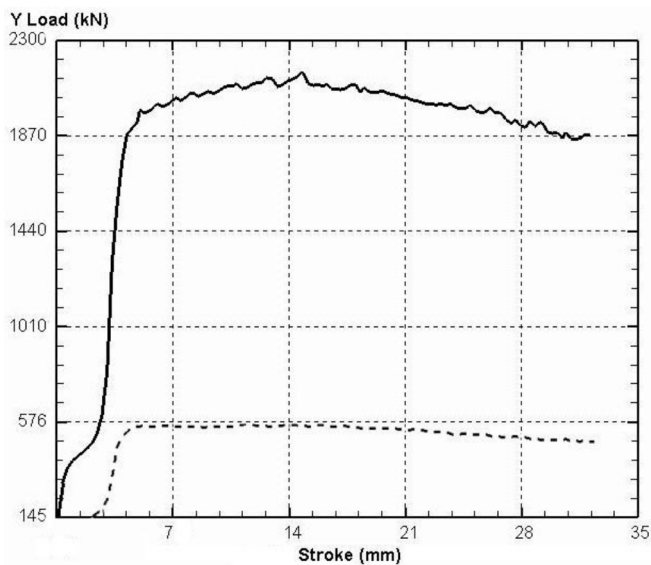


Рис. 17. Изменение усилия прессования в зависимости от перемещения пресс-шайбы:
 — — — — — холодное; - - - - горячее прессование

Опишите характер изменения усилия прессования по стадиям процесса (рис. 17). Для построения графика нажмите кнопку **График (Усилия-**

Перемещения) . В окне **Graph (Load-Stroke)** (рис. 16) в разделе **Plot objects** выберите верхний инструмент *Top Die*. По оси абсцисс отложим перемещение матрицы, поэтому в разделе **X-axis** установите «Перемещ». Для отображения сглаженной кривой в разделе **Smooth** установите «*First order*». Нажмите **ОК**.

Дайте анализ изменения температуры заготовки, контейнера и пресс-шайбы при горячем прессовании (рис. 18). Для отображения распределения

температуры нажмите на кнопку **Параметры** , затем в окне **Параметры** выберите тип переменной «Температурные» и подтип «*Temperature*». В разделе **Экран** установите «*Solid*», а в **Scaling** – «*Local*». Нажмите **Apply**, а затем **Close**.

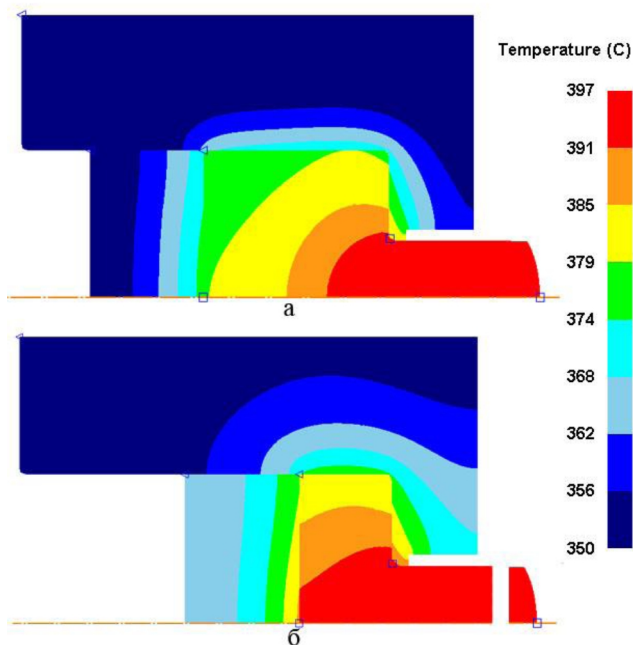
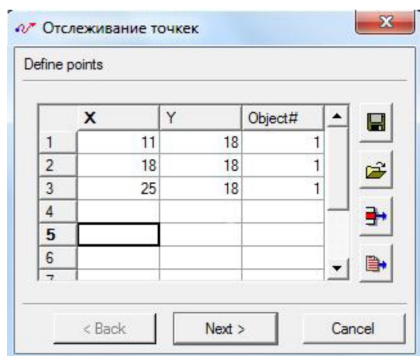


Рис. 18. Распределение температуры при горячем прессовании

Определите тип горячего прессования по изменению температуры заготовки в ОПД (рис. 20). Перейдите на первый шаг расчета (кнопка **First step**

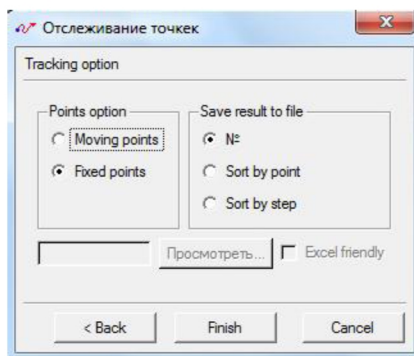
) и отобразите распределение температуры, если оно не было уже установлено.

Затем нажмите на кнопку **Отслеживание точек**  и введите координаты точек, по которым будет отслеживаться изменение выбранного параметра (рис. 19, а). Нажмите **Next**. Далее в разделе **Points option** установите «Fixed points» (рис. 19, б) для фиксации точек. Нажмите **Finish**.



	X	Y	Object#
1	11	18	1
2		18	1
3	25	18	1
4			
5			
6			
7			

а



Tracking option

Points option

☐ Moving points

☒ Fixed points

Save result to file

☒ №

☐ Sort by point

☐ Sort by step

Просмотреть...

☐ Excel friendly

б

Рис. 19. Окна **Отслеживание точек**

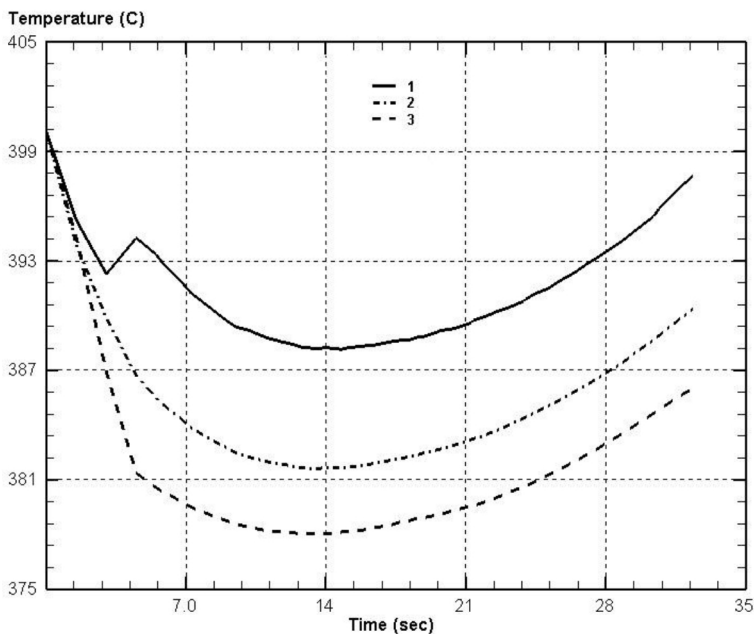


Рис. 20. Характер изменения температуры по ОПД в зависимости от времени процесса

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется в текстовом редакторе *MS Word* и должен состоять из следующих структурных элементов:

1. Титульный лист (образец оформления приведен в приложении Е).
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения:
 - способы прессования в зависимости от изменения температуры заготовки;
 - схема возникновения и расходования тепла при горячем прессовании;
 - уравнение теплового баланса при горячем прессовании.
4. Результаты моделирования холодного и горячего прессования:
 - компьютерная модель прессования через плоскую матрицу;
 - распределение тепла в заготовке и инструменте по стадиям прессования;
 - график усилия прессования в зависимости от перемещения;
 - распределение интенсивности напряжений и деформаций при прессовании;
 - график изменения температуры заготовки по ОПД.
5. Анализ полученных результатов моделирования.
6. Сравнение холодного и горячего прессования.
7. Выводы по проведенным исследованиям.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое влияние на процесс прессования оказывает температура нагрева заготовки и инструмента?
2. Из каких соображений выбирают температурно-скоростной режим прессования?
3. Где наблюдается наибольший разогрев металла заготовки?
4. Как рассчитать разогрев металла в очаге пластической деформации?
5. Перечислите возможные случаи протекания процесса прессования в зависимости от изменения температуры в очаге пластической деформации?
6. Какое прессование называют изотермическим?
7. Что понимают под температурным интервалом прессования?
8. От каких факторов зависит выбор температурного интервала прессования?
9. Как назначают температурный интервал по диаграммам состояния и пластичности?
10. Как связаны между собой температура нагрева заготовки и скорости истечения?
11. Перечислите факторы, способствующие повышению скорости истечения?

12. Дайте классификацию методов прессования по температуре нагрева заготовки?
13. Перечислите достоинства и недостатки холодного прессования?
14. Почему горячее прессование наиболее распространено на производстве?
15. Что дает прессование с градиентным нагревом заготовки?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перлин, И.Л. Теория прессования металлов [Текст]/И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг – М.: Металлургия, 1975. – 448 с.
2. Щерба, В.Н. Прессование алюминиевых сплавов [Текст]/В.Н. Щерба – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 768с.
3. Быков, А.П. Прессование [Текст]/А.П. Быков, В.Р. Каргин, Б.В. Каргин – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2010. – 146 с.
4. Харламов, А.А. DEFORM-2D: лабораторные работы [Текст]/А.А. Харламов – М.: Артех, 2000. – 93 с.
5. Харламов, А.А. Deform – программный комплекс для моделирования процессов обработки металлов давлением [Текст]/А.А. Харламов, А. Уваров//САПР и графика, 2003, №6
6. Сидоров, А. Настоящее и будущее моделирования процессов ОМД [Текст]/А. Сидоров//САПР и графика, 2007, №10.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Кнопки Панели управления препроцессора

Кнопка	Название	Описание
1	2	3
Кнопки описания процесса		
	<i>Simulation controls</i> (настройки задачи)	Кнопка, обеспечивающая доступ к меню, в котором осуществляется задание параметров моделирования и определение критериев его остановки
	Материал	Кнопка, обеспечивающая доступ к меню, в котором определяются свойства материалов
	<i>Object positioning</i> (позиционирование объектов)	Кнопка, обеспечивающая доступ к меню, в котором осуществляется управление расположением объектов относительно начала координат и друг друга
	<i>Inter-object</i> (взаимодействие объектов)	Кнопка, обеспечивающая доступ к меню, в котором определяются отношения между объектами (контактные поверхности и их характеристики)
	<i>Database generation</i> (генерация базы данных)	Кнопка, обеспечивающая доступ к меню, в котором создается и проверяется база данных, требующаяся для решения
	Выход	Выход из препроцессора и возврат в главное окно
Кнопки управления изображением на экране		
	Переместить	Позволяет динамически перемещать объекты в окне Display , с помощью перемещения мыши при удерживании ЛКМ
	Приблизить/удалить	Позволяет динамически масштабировать окно Display , при удерживании ЛКМ и перемещении мыши вверх или вниз
	Увеличить	Часть окна Display может быть увеличена. Для этого необходимо щелкнуть ЛКМ и, не отпуская ее, растянуть рамку на всю увеличиваемую область
	Шейдирование	Полутоновое изображение объектов без сетки.
	<i>Wireframe</i> (сетка)	Изображаются только контуры объектов и сетка
	<i>Shading and wireframe</i> (шейдирование и сетка)	Полутоновое изображение объектов с наложением сетки
	<i>Surface patch</i> (только грани)	Показываются только линии объектов
	Перерисовать	Перерисовать окно Display и очистить экран от предыдущих линий измерения
	<i>View Fit</i> (вписать)	Вписать все объекты в окно Display

1	2	3
	<i>View Back</i> (предыдущий вид)	Возврат к предыдущему виду
	<i>Capture Image</i> (захват экрана)	Захватить содержимое окна Display и сохранить его в файл
	Печать	Захватить содержимое окна Display и послать его на принтер
	Измерить	Позволяет осуществлять замер расстояния между любыми двумя точками. Линия измерения останется на экране до тех пор, пока не будет нажата кнопка Перерисовать
	Выбрать	Это основной режим работы, он используется для выбора и получения информации о гранях элемента и узлах. Этот режим, используемый при измерении

Приложение Б. Кнопки пункта Геометрия Панели инструментов

Кнопка	Название	Описание
1	2	3
Закладка Инструменты		
 Import Geo...	<i>Import Geo</i> (загрузить)	Позволяет загрузить геометрию из файла с расширениями «igs», «geo», «dxf»
 Primitive	<i>Primitive</i> (примитивы)	Создает геометрию с помощью геометрических примитивов
 Scale GEO	<i>Scale GEO</i> (масштабировать)	Позволяет изменить размеры геометрии с заданным масштабом
 Check GEO	<i>Check GEO</i> (проверить)	Вызов окна Check & Correct Geometry позволяющего исправлять геометрию объектов в автоматическом режиме
 Reverse GEO	<i>Reverse GEO</i> (развернуть)	Разворачивает направление обхода (направление построения геометрии тела). Используется для определения внутренней (сплошной) области тела, которая в окне Display показана серой полосой
Закладка Edit		
	<i>Add another boundary</i> (добавить границу)	Добавление геометрических границ моделируемого объекта
	<i>Current boundary</i> (текущая граница)	Переключение между геометрическими границами моделируемого объекта
	<i>Delete the current boundary</i> (удалить границу)	Удаление текущей границы геометрической модели
-	<i>XYR</i>	Построение геометрии в формате точек

1	2	3
-	<i>Line-Arc</i>	Построение геометрии в формате дуг, отрезков
 Check	<i>Check</i> (проверить)	Вызов окна Check & Correct Geometry позволяющего исправлять геометрию объектов в автоматическом режиме
 Reverse	<i>Reverse</i> (развернуть)	Разворачивает направление обхода (направление построения геометрии тела). Используется для определения внутренней (сплошной) области тела, которая в окне Display показана серой полосой
 Insert	<i>Insert</i> (вставить)	Позволяет вставить (удалить) строку в Поле ввода геометрии
 Del	<i>Del</i> (удалить)	
 Del All	<i>Del All</i> (удалить всё)	Удаляет всю геометрию объекта
 Применить	Применить	Позволяет применить все изменения произведенные над геометрией

Приложение В. Команды окна Позиционирование объектов

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

Приложение Г. Кнопки Панели управления постпроцессора

Кнопка	Название	Описание
Команды управления анимацией		
	<i>Play backward (forward)</i>	Воспроизведение анимации назад (вперёд)
	<i>One step back (forward)</i>	Пошаговое воспроизведение анимации назад (вперёд)
	<i>First (last) step</i>	Перемещение в начало и конец последовательности обработанных шагов
	<i>Stop playing</i>	Остановка воспроизведения анимации на текущем шаге
	Настройки шагов	Настройка последовательности вывода шагов расчета
Команды визуализации результатов расчета		
	Зеркальная симметрия	Позволяет отобразить обе части симметричного объекта
	Параметры	Строит графическое распределение переменных (напряжение, деформация, температура и т.п.) в деформируемой заготовке на текущем шаге
	<i>Flow Net</i> (динамическая сетка)	Позволяет наложить координатную сетку на заготовку и проследить за изменениями сетки в процессе деформации
	Отслеживание точек	Отслеживает изменение заданного параметра (напряжения, степени деформации, температуры и т.п.) в выбранных точках в процессе деформации
	График (Усилия-Перемещения)	Строит график усилия, скорости, крутящего момента в зависимости от времени или перемещения главного инструмента
	Узлы/элементы/кромки объекта	Отображает информацию (граничные условия, параметры и т.п.) о выбранном узле/элементе/кромке текущего объекта
	Параметры между двумя точками	Строит распределение выбранного параметра (напряжения, степени деформации, температуры и т.п.) между двумя заданными точками
	Animation set up (настройки анимации)	Записывает изображения указанных шагов в графический файл. Полученную последовательность изображений можно просмотреть с помощью специального проигрывателя без использования программы DEFORM-2D
	Управление анимацией	

Приложение Д. Команды окна Параметры постпроцессора

Название	Описание
1	2
Переменные	
<i>Displacement</i>	Перемещение
<i>Velocity</i>	Скорость
<i>Strain</i>	Степень деформации
1	2
<i>Strain rate</i>	Скорость деформации
<i>Stress</i>	Напряжение
<i>Normal Pressure</i>	Нормальное давление
<i>Density</i>	Плотность
<i>Temperature</i>	Температура
<i>Damage</i>	Критерий разрушения
Параметры переменных	
<i>Effective (von Mises)</i>	Интенсивность
<i>Total</i>	Суммарное значение
<i>Mean</i>	Среднее значение
<i>Max (min) Principal</i>	Максимальное (минимальное) главное
<i>R/Z/Theta/RZ</i>	Действующее в направлении <i>R/Z/Theta/RZ</i> в полярной системе координат

Приложение Е. Образец оформления титульного листа отчета

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
Инженерно-технологический факультет
Кафедра обработки металлов давлением

ОТЧЕТ
по лабораторной работе на тему

(наименование темы)

Студент _____
(фамилия, инициалы)

Преподаватель _____
(фамилия, инициалы)

Самара 2010