

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

**Лабораторный практикум по теории  
и технологии прессования и волочения**

Электронное методическое пособие

САМАРА  
2012

Составители: **Каргин Владимир Родионович,**  
**Каргин Борис Владимирович**

**Лабораторный практикум по теории и технологии прессования и волочения** [Электронный ресурс] : электрон. метод. пособие / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. В. Р. Каргин., Б. В. Каргин. - Электрон. текстовые дан. (2,17 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены основные положения теории явлений, наблюдаемых при проведении натуральных экспериментов по теории и технологии прессования и волочения, дана структурная схема и алгоритм проведения каждой лабораторной работы.

Предназначено для студентов, обучающихся на инженерно-технологическом факультете по направлению подготовки бакалавров 150400.62 «Металлургия», профиль «Обработка металлов давлением», изучающих дисциплину «Технологические процессы прокатно-прессового производства» в 6 семестре.

Разработано на кафедре ОМД.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2012

## Оглавление

Инструкция по технике безопасности .....	4
Порядок подготовки, проведения, оформления и сдачи работ.....	5
Управление прессом ПСУ-250 .....	7
ЛР№1. Прессование.....	13
ЛР№2. Изучение деформированного состояния при прессовании прутков.....	12
ЛР№3. Исследование силовых условий прессования .....	21
ЛР№4. Исследование процесса прессования труб с подвижной иглой .....	29
ЛР№5. Исследование процесса прессования труб со сваркой давлением через комбинированную матрицу .....	35
ЛР№6. Исследование процесса волочения прутка .....	40
ЛР№7. Исследование безправочного волочения труб.....	49
ЛР№8. Прессование труб и полых профилей постоянного сечения.....	59
Приложения.....	85

## **Инструкция по технике безопасности**

1. Вводный инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем в часы выполнения лабораторной работы, о чем составляется соответствующий документ в журнале по технике безопасности за подписью студента и преподавателя, проводившего инструктаж.

2. Каждый студент должен следить за безопасностью выполнения порученной ему работы, своевременно принимать меры к устранению имеющейся опасности в работе и ставить об этом в известность преподавателя или лаборанта, ведущих лабораторные занятия.

3. Студент не имеет права трогать оборудование, которое на данном лабораторном занятии не используется.

4. При работе на пресс ПСУ-250, испытательной машине ЦДМУ-30 и других силовых установках должны быть соблюдены следующие правила:

а) к работе на прессах допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте;

б) перед началом работы необходимо изучить задания и ознакомиться с назначением кнопок пульта управления, материалами и инструментом;

в) запрещается работать на прессе в отсутствие лаборанта или преподавателя;

г) при появлении каких-либо неисправностей в работе прессы следует немедленно остановить машину кнопкой "СТОП" и сообщить о неисправности лаборанту;

д) перед началом работы убрать все лишние предметы со стола прессы (установки);

е) оснастку ставить строго на ось прессы ПСУ-250 и машине ЦДМУ-30 избегая эксцентричного нагружения верхней траверсы прессы; нагрузку на плунжер подавать плавно.

5. Каждый студент должен бережно и аккуратно обращаться со всеми установками и аппаратурой, следить за исправностью всего полученного им для работы инструмента, сдавать его после работы в полной исправности лаборанту, свое место оставлять чис-

ТЫМ.

## **Порядок подготовки, проведения, оформления и сдачи работ**

1. Цель лабораторной работы состоит в том, чтобы студент самостоятельно разобрался в исследуемом явлении, получил не только навыки экспериментирования, но и научился анализировать результаты опыта, обрабатывать их, строить графические зависимости, делать выводы.

2. Лабораторные работы выполняются бригадами в составе 3-4 студентов.

3. Инструкции к лабораторным работам выдаются студентам на кафедре "Обработка металлов давлением" или библиотекой института.

4. К выполнению очередной лабораторной работы допускаются студенты, изучившие теоретическую часть работы, порядок ее выполнения, показавшие удовлетворительные знания по этим вопросам при опросе. В процессе подготовки надо прочитать соответствующий раздел курса по конспекту, прочитать и выполнить требования инструкции к лабораторной работе. В тех случаях, когда лабораторная работа выполняется раньше, чем прочитан на лекции соответствующий раздел курса, в инструкции также дается и теория вопроса.

5. Неподготовленные студенты к проведению лабораторной работы не допускаются.

6. Студенты отчитываются по лабораторной работе в конце занятия или на специальном контрольном занятии.

7. Студент, не отчитавшийся по лабораторным работам без разрешения деканата, к экзамену не допускается. Пропущенные студентами лабораторные работы, в случае допуска к ним, проводятся в дополнительное время.

8. Каждый студент обязан соблюдать следующий порядок работы в лаборатории:

а) контрольный опрос для проверки подготовленности студентов к выполнению работы – первые 15 минут;

б) выполнение экспериментальной части лабораторной ра-

боты;

- в) обработка экспериментальных данных;
- г) оформление отчета;
- д) защита отчета.

9. В отчете по каждой лабораторной работе должны содержаться:

- а) краткое изложение теоретической части (используемые формулы, схема процессов);
- б) табличный материал результатов измерений и обработки, графическое представление анализируемых величин;
- в) схемы оснастки;
- г) выводы.

10. Выводы должны содержать:

- а) краткое выражение результатов проведенной работы;
- б) анализ исследованных зависимостей;
- в) объяснение физических закономерностей в случае нарушения предполагаемого характера зависимостей.

11. Результат лабораторной работы зависит во многом от тщательности постановки опыта или, как говорят ученые, от чистоты эксперимента. Необходимо все элементы опыта – измерение, отсчеты, расчеты – выполнять тщательно с требуемой точностью. Спешка и связанные с ней неточности, ошибки, нарушения в последовательности проведения опыта часто приводят к неверным результатам, к необходимости повторить опыт.

Получив конечный результат опыта, нужно предъявить его преподавателю для проверки. Лишь после этого можно считать опыт законченным и приступить к его оформлению.

12. Отчет желательно составлять непосредственно в лаборатории, сразу после выполнения опыта. К составлению отчета необходимо отнестись серьезно, вдумчиво, выполнять эту работу самостоятельно. Даже при бригадном методе выполнения лабораторной работы отчет у каждого члена бригады должен быть индивидуальным.

Все записи, в том числе и вспомогательные расчеты, производятся только на готовом бланке отчета, выдаваемом на каждую лабораторную работу (прил. 1). Отчеты сохраняются до экзамена.

13. В том случае, если студент выполнил работу в полном объ-

еме без ошибок, сформулировал содержательные выводы и дал удовлетворительные ответы на вопросы теоретического характера, связанные с данной работой, лабораторная работа считается зачтенной, о чем в ведомости кафедры делается соответствующая запись.

14. При оформлении отчетов лабораторной работы необходимо придерживаться требований ГОСТ 19600-81.

## Управление прессом ПСУ-250

Работать на прессе можно только в присутствии лаборанта или преподавателя.

1. Определить ориентировочную величину ожидаемой наибольшей нагрузки по формуле:

$$P \approx 5S_{\delta}F_{\kappa} \ln \lambda ,$$

где  $S_{\delta}$  – сопротивление деформации свинца,  $S_{\delta} = 25$  МПа;

$F_{\kappa}$  – площадь поперечного сечения контейнера;

$\lambda$  – коэффициент вытяжки.

Поставить в соответствующее положение рукоятку переключателя диапазонов силоизмерителя (рис. 1).

2. Поворотом шкалы установить рабочую стрелку в нулевое положение.

3. В зависимости от габаритов оснастки нажатием одной из кнопок управления траверсой переместить подвижную верхнюю траверсу до образования между плитой и оснасткой зазора в 3-5 мм.

4. Включить насосную установку.

5. Плавно открыть вентиль регулятора скорости и следить за нарастанием нагрузки по показанию стрелки силоизмерителя.

6. После проведения прессования закрыть вентиль регулятора скорости, и далее:

– снять отсчет усилия прессования по показаниям контрольной стрелки;

– открыть вентиль выпуска масла;

– отключить насосную установку.

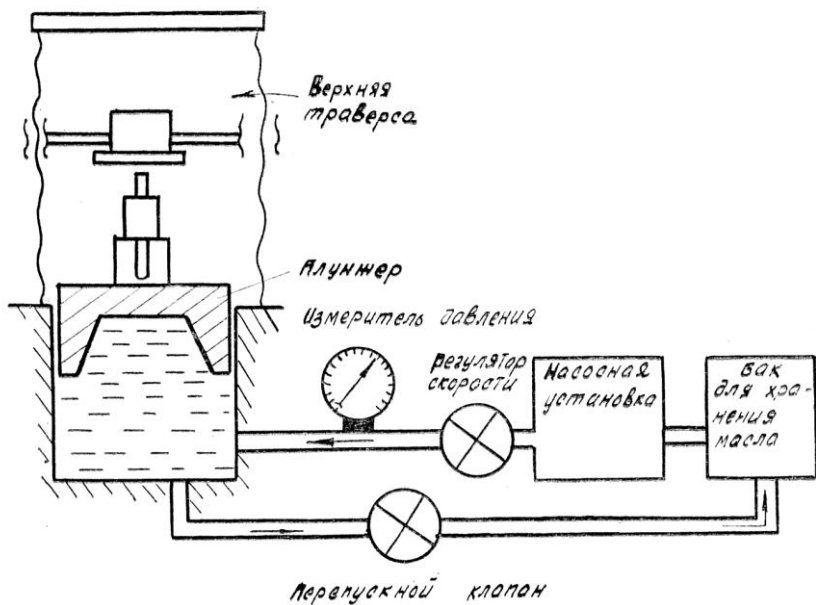


Рис. 1 Принципиальная схема пресса ПСУ-250

7. Пользуясь тарировочным графиком, расположенным, на насосной установке, определить полученную нагрузку в тоннах.

### **Меры безопасности**

1. Не перегружать верхнюю подвижную траверсу пресса.
2. Не допускать резкого повышения скорости возрастания нагрузки.
3. Не превышать хода плунжера свыше 50 мм.



## Прессование

Цель работы – изучение процесса получения металлоизделий прессованием.

### Теоретические сведения

Одним из широко применяемых в обработке металлов давлением процессов пластического деформирования является **прессование**. При этой схеме деформирования (рис. 2) происходит вытеснение металла через отверстие заданного сечения в **матрице** вследствие сжатия заготовки в замкнутой полости – контейнере. Деформируемая заготовка находится под действием значительных сжимающих напряжений. Поэтому из всех процессов обработки металлов давлением прессование протекает при наиболее ярко выраженной схеме неравномерности всестороннего сжатия, обеспечивающей металлу высокую пластичность.

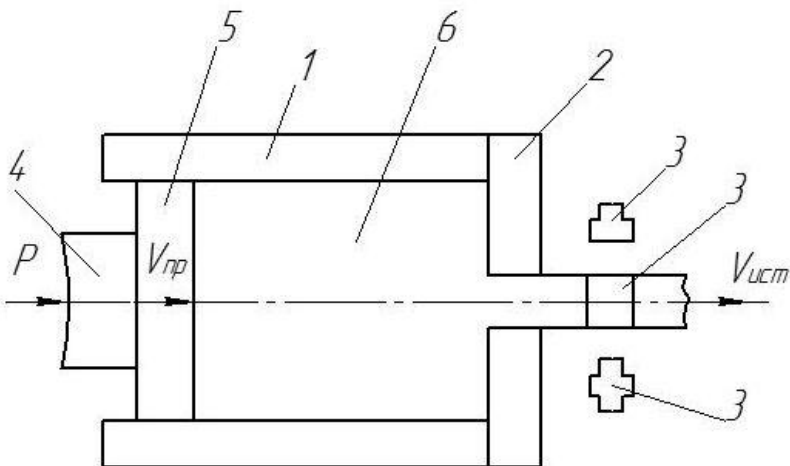


Рис. 2 Схема прессования: 1 - контейнер; 2 - матрица; 3 - прессуемый профиль; 4 - пресс-штампель; 5 – пресс-шайба; 6 - заготовка.

Процесс прессования предназначен для получения длинномерных изделий с постоянным поперечным сечением, называемых профилями (сплошные и полые прутки, трубы и т. п.).

Рассмотрим более подробно прессование металла, схема которого приведена на рис. 2. Заготовку, нагретую до заданной температуры, помещают в контейнер 1. В торцевой части контейнера установлена матрица 2, с отверстием требуемой формы, которая формирует контур прессуемого профиля 3. С противоположного конца контейнер входит пресс-штемпель 4. На торце пресс-штемпеля для предохранения его от термических воздействий и уменьшения трения о контейнер помещают пресс-шайбу 5 диаметр которой немного больше, чем у пресс-штемпеля. Усилие пресса  $P$  через пресс-штемпель и пресс-шайбу передается к заготовке 6, заставляя металл вытекать через отверстие в матрице, образуя требуемый профиль. Такое прессование называется **прямым**. Этим способом можно изготавливать не только сплошные профили, но и полые.

Общую деформацию при прессовании обычно характеризуют вытяжкой,  $\lambda$  которую определяют как отношение площадей поперечного сечения контейнера  $F_k$  к отверстию в матрице  $F_M$  :

$$\lambda = \frac{F_k}{F_M}$$

Поскольку объем деформируемой заготовки не изменяется, вытяжку можно определять как отношение длины полученного пресс-изделия  $L$  к длине выдавленной из контейнера части заготовки. Степень деформации при прессовании определяется из выражения:

$$\varepsilon = \frac{F_k - F_M}{F_k} \cdot 100\% .$$

Скорости истечения металла через отверстие в матрице и скорость перемещения пресс-шайбы  $V_{np}$  связаны соответственно:  $V_{ист} = V_{np} \lambda$  .

Важная технологическая особенность прессования состоит в том, что заготовки из металла подвергаются всестороннему неравномерному сжатию, что обеспечивает деформируемому металлу наиболее высокую пластичность. Поэтому при прессовании можно получать очень большие деформации за один ход пресса. Так, ко-

Эффективность вытяжки может быть до 100 и выше. Поэтому требуемый профиль (даже очень сложной геометрической формы) изготавливают за одну операцию, что выгодно отличает прессование от прокатки, при которой профили даже более простой формы получают за несколько операций.

Схема трехосного неравномерного сжатия, обеспечивающая высокую пластичность прессуемых сплавов, вместе с тем вызывает повышение силы, необходимой для деформирования металла, что приводит к значительно более высокому давлению на инструмент, чем в других видах обработки металла давлением. Поэтому инструмент для прессования работает в исключительно тяжелых условиях, способствующих быстрому его износу и снижению его стойкости.

В процессе прессования весь объем металла не может быть полностью выдавлен из контейнера. Когда высота заготовки, остающейся в контейнере, становится меньше некоторого допустимого значения, резко увеличивается усилие прессования. Поэтому в конце операции в контейнере остается часть металла, называемая пресс-остатком, которая отрезается от полученного профиля. В пресс-остатке заключена основная часть потерь металла при прессовании и, следовательно, размеры пресс-остатка определяют

коэффициент использования металла.  $\eta = 1 - \frac{V_{отх}}{V} \cdot 100\%$

Где  $V$  – объем заготовки,

$V_{отх}$  - отходы на пресс-остаток.

Обычно в качестве исходной заготовки для прессования используют слитки круглого поперечного сечения. Объем исходной заготовки определяется размерами прессуемого изделия с учетом пресс-остатка.

### **Оборудование, инструмент, материалы**

1. Вертикальный гидравлический пресс ПСУ 250.
2. Измерительный инструмент – штангельциркуль, линейка.
3. Заготовка – цилиндрический слиток из свинца.

## **Последовательность выполнения работы**

1. Зарисуйте схему прессования профилей. Запишите формулу расчета вытяжки, степени деформации, скорости истечения, коэффициента использования металла.
2. Измерьте исходные размеры цилиндрической заготовки.
3. Выполните прессование квадратного профиля с записью диаграммы «усилие – ход» пресс-штемпеля скорости прессования .
4. Замерьте конечные размеры квадратного профиля.
5. Вычислите величины деформации  $\lambda$ ,  $\varepsilon$ , скорости истечения и коэффициент использования металла.
6. Зарисуйте усилие «усилие – ход пресс-штемпеля».
7. Сформулируйте выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

1. Перечислите инструменты при прессовании.
2. Как рассчитать вытяжку.
3. Почему на диаграмме «усилие – ход пресс-штемпеля» усилие вначале достигает максимального значения, а затем плавно уменьшается?
4. Чем объясняется возможность получения больших степеней формоизменения при прессовании?
5. Как при прессовании перейти с одного профиля на другой?
6. Что выгодно отличает прессование от прокатки?
7. Из чего складывается объем заготовки для прессования?

## **Библиографический список**

Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. 2-е изд. – М.: Металлургия, 1975 – 448 с.

## **Изучение деформированного состояния при прессовании прутков**

Цель работы – закрепить и углубить знания по исследованию деформированного состояния методом координатной сетки; научиться самостоятельно анализировать по искаженной координатной сетке влияния различных факторов (метода прессования, конфигурации матрицы, сил трения) на характер деформированного состояния; приобрести практические навыки по прессованию прутков на гидравлических прессах и по замерам: усилия прессования, размеров недеформированной и деформированной сетки.

### ***Теоретические сведения***

Для изучения деформации прессуемого металла разработаны и применяются различные методы, позволяющие установить качественные и количественные характеристики перемещения металла в отдельных участках деформируемого объема [1]. Среди них наибольшее распространение получил метод координатной сетки. Сущность этого метода заключается в следующем. На меридиональное сечение осесимметричной заготовки наносят систему геометрических меток определенной конфигурации в виде линий, точек, кругов, квадратов. Известны различные способы нанесения сеток – накатка, травление, фотокопирование, царапание и др.

Исследуемая заготовка предварительно разрезается, на плоскость разреза наносится сетка (рис. 3). Затем части заготовки составляют вместе по поверхности разъема, предварительно покрытого специальным составом (например, машинное масло, жидкое стекло и т. п.), предохраняющим их от сварки при прессовании, и подвергают прессованию как цельное металлическое тело. После

формоизменения слиток вновь разнимается по физическому резу, и по нему изучают происшедшие на различных участках изменения координатной сетки. Степень искажения плоскости разреза может служить качественным показателем совпадения плоскости реза с главной плоскостью напряженно-деформированного состояния.

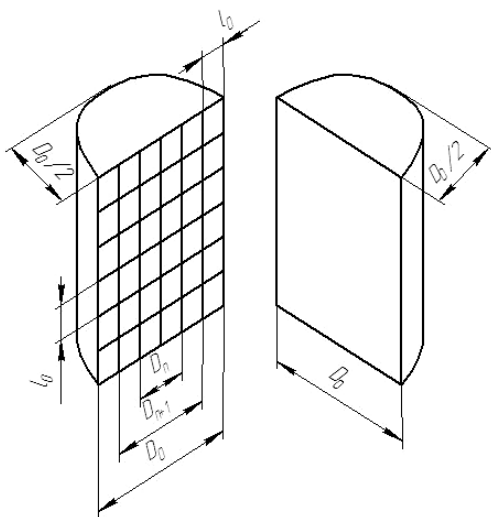


Рис. 3 Эскиз составной круглой заготовки с координатной сеткой

Поскольку определяемые величины деформаций являются в какой-то мере усредненными по размеру ячейки, для более точной их оценки желательно уменьшать базу измерений. Однако значительное уменьшение размеров ячейки координатной сетки приводит к известным трудностям при проведении экспериментов, которые обусловлены следующими причинами. Уменьшение базы измерений приводит к резкому увеличению количества замеров, и поэтому эксперимент становится весьма трудоемким. Кроме этого, чтобы получить значения деформаций с той же точностью, измерения линейных и угловых размеров необходимо провести с меньшей абсолютной погрешностью, что требует более точного нанесения координатной сетки. Поэтому на практике наиболее употребительны координатные сетки с ячейками более 1 мм.

Для определения размера ячейки (шага координатной сетки)  $l_0$  (рис. 3) производится многократный ("N-разовый") замер, после чего вычисляют среднее значение по формуле:

$$l_0 = \sum_{i=1}^N l_{0i} / N$$

При замерах наконечники индентора (губки штангенциркуля) необходимо устанавливать посередине риска между соседними ячейками.

Высокая точность измерения обеспечивается правильной геометрической формой (постоянством ширины и малым радиусом впадины риски). При больших деформациях правильная геометрическая форма риска теряется, границы риски размываются и четко не просматриваются, и в связи с этим заметно снижается точность измерения. Точность измерения становится тем ниже, чем шире риска и больше угол при вершине индентора.

Изменение взаимного расположения меток и расстояний между ними, а также искажение их формы позволяют установить характер и количественные показатели происшедшей деформации. В данной работе для оценки деформированного состояния используются упрощенные показатели степени деформаций: деформация удлинения и деформация простого сдвига в направлении оси прессования. Обе величины создают достаточно точное представление о деформированном состоянии любой точки каждого слоя и определяются из изменений различных участков координатной сетки. Деформации удлинения отдельных слоев пресс-изделия определяются деформациями отдельных ячеек координатной сетки: либо по отношениям длин до и после прессования их параллельных оси сторон, либо по отношениям площадей поперечных сечений соответствующих колец до и после прессования. Первый способ более точен для ячеек, находящихся близко к оси. В этом случае деформация удлинения осевого слоя характеризуется изменением расстояний между вершинами двух соседних поперечных линий координатной сетки и отношением этих длин к начальной длине  $l_0$  стороны сетки (рис. 4), т.е.:

$$\lambda_1 = l_1/l_0, \lambda_2 = l_2/l_0, \dots, \lambda_n = l_n/l_0$$

Второй способ более точен для ячеек периферийных слоев, так как в этих слоях на координатных сетках значительно точнее измеряется толщина слоев, чем длина параллельных оси сторон ячеек



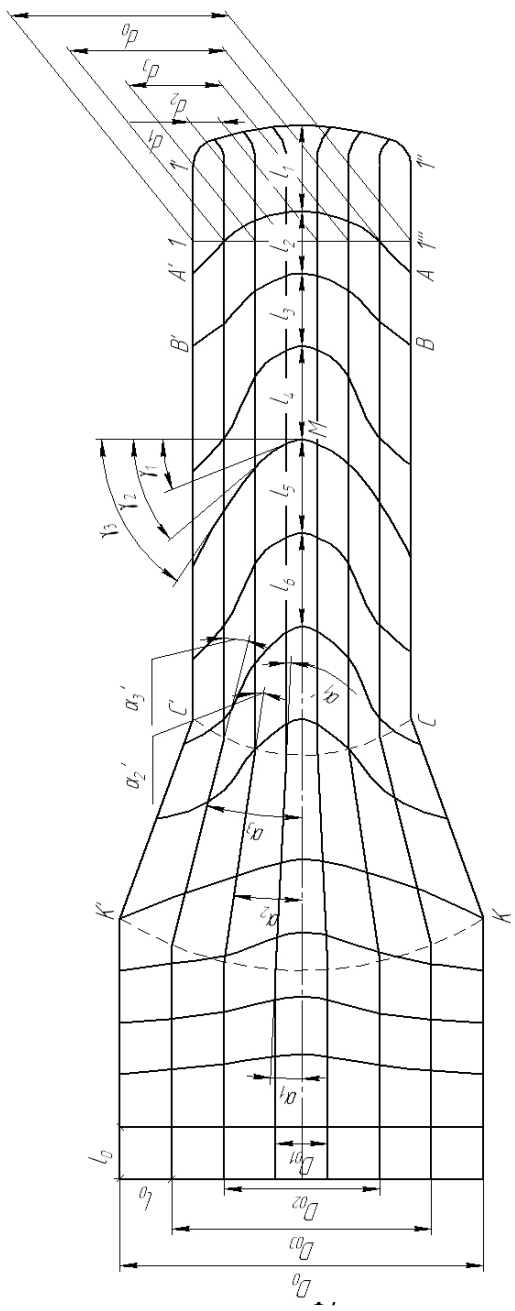


Рис. 4 Общая схема искажения координатной сетки

после прессования. Тогда:

$$\lambda'_n = \left( D_{n+1}^2 - D_n^2 \right) / \left( d_{n+1}^2 - d_n^2 \right)$$

Сдвиговые деформации достаточно точно определяются изменением углов  $\gamma$ , которые образуются касательными к поперечным кривым и линиям, перпендикулярным к оси (см., например, углы  $\gamma_m$  и  $\gamma_n$  на рис. ).

Полученные таким образом показатели позволяют построить кривые изменения деформаций по поперечным сечениям ( $\lambda_{Di} \square d_i$ ) пресс-изделия и длине ( $\lambda_{li} \square l_i$ ), а также выразить изменение сдвигов ( $\gamma_i \square d_i$ ) по диаметру (рис. 5).

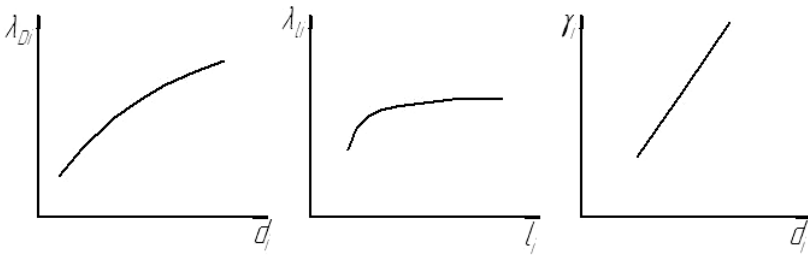


Рис. 5 Характер зависимостей для деформаций и сдвигов

Деформированное состояние прессуемого металла может быть качественно охарактеризовано по искажениям координатной сетки (рис. ).

1. Все прямые продольные линии начальной координатной сетки, оставаясь (за исключением переднего конца) практически прямыми после прессования, претерпевают изгибы у входа в обжимаемую часть пластической зоны и у выхода из этой части.

2. Эти изгибы направлены во взаимно противоположные стороны, что свидетельствует о немонотонности деформаций ( $\alpha_1 = -\alpha'_1$  и т.д.).

3. Углы  $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ , что свидетельствует об уменьшении немонотонности деформации от периферии к центру.

4. Изгибы продольных линий определяют торцевые границы очага пластической деформации (линии КК' и СС').

5. Все поперечные линии начальной координатной сетки в заготовке симметрично изгибаются выпуклостью в направлении движения прессуемого металла. Это указывает на отставание периферийных слоев металла от центральных в направлении, параллельном оси прессования.

6. Поперечные линии, примыкающие к переднему концу пресс-изделия, принимают форму ломаной линии 1-1'-1"-1"', которая показывает, что крайние точки этой ранее (до деформации) прямой линии перешли на боковую поверхность пресс-изделия, и что часть торцевой поверхности заготовки перешла на боковую поверхность пресс-изделия.

7. Форма изгибов поперечных линий показывает, что все кольцевые слои пресс-изделия подвергаются, кроме основных деформаций (осевой и поперечной), деформации простого сдвига, которая растет от внутренних слоев к периферийным ( $\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$ ).

8. При прессовании через плоскую матрицу упругая зона создает матричную воронку. Вследствие этого схема течения металла при прессовании через матрицу (плоскую) качественно аналогична схеме течения металла при прессовании через матрицу с коническим каналом.

9. При прессовании с обратным истечением отсутствуют силы бокового контактного трения, что изменяет заметно силовые условия (рис. ), а отсюда и деформированное состояние по сравнению с прямым истечением. Плоские поперечные слои начинают изгибаться только вблизи матрицы.

Изгибы продольных линий координатной сетки более интенсивны и начинаются на более поздней стадии процесса, чем при прямом истечении. Упругая зона, образующаяся около сопряжения матрицы с контейнером, при обратном истечении значительно меньше по объему. Локализация пластических деформаций около матрицы заметно уменьшает неравномерность деформации по длине изделия, так как каждый из поперечных слоев испытывает практически одинаковые деформации.

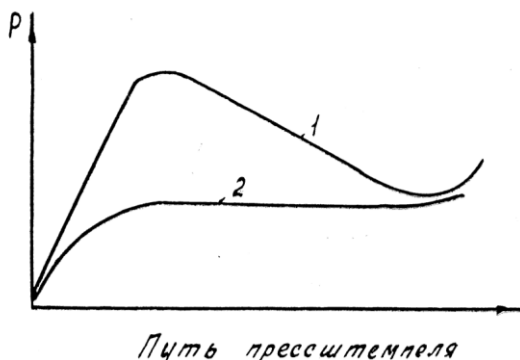


Рис. 6 Индикаторные диаграммы при прессовании с прямым (1) и обратным (2) истечением

10. При прессовании круглых прутков через конические матрицы с различными углами  $\alpha$  с уменьшением угла уменьшаются искривления поперечных линий координатной сетки, а с ними – и взаимные перемещения элементарных объемов кольцевых слоев и неравномерность деформации.

Качественно аналогичное, а количественно промежуточное воздействие на сдвиговые деформации оказывают матрицы – радиальные и сигмовидные.

### **Оборудование, инструмент, материалы**

1. Горизонтальный гидравлический пресс модели ПСУ-250 усилием 2,5 МН.
2. Инструмент для прямого и обратного методов прессования.
3. Комплект матриц различной конфигурации.
4. Полуцилиндрические заготовки диаметром 50 мм и высотой 50 мм из технически чистого свинца с координатной сеткой в виде системы канавок.
5. Мел, сухая ветошь.
6. Штангенциркуль, угломер.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Получить вариант задания.

2. Измерить выборочно шаг исходной координатной сетки  $l_i$ , по высоте и диаметру образца (не меньше 5 раз) с помощью штангенциркуля. Определить абсолютное значение шага координатной сетки.

3. Ознакомиться с устройством и управлением гидравлического пресса ПСУ-250.

4. Растереть мел по поверхности плоскости разъема заготовки до попадания в канавки.

5. Собрать инструментальную наладку, ввести составной образец в полость контейнера и провести прессование с замером усилия прессования через каждые 5 мм хода пресс-штемпеля. При этом оставлять пресс-остаток, равный одной трети длины заготовки.

6. Разобрать инструмент, освободить матрицу и контейнер от пресс-остатка и пресс-изделия, подготовить инструмент для следующей заготовки и отпрессовать ее.

7. Разъединить образцы по плоскости разъема. По искажениям координатной сетки сделать анализ деформированного состояния металла для каждого вида прессования.

8. Для каждого случая построить:

а) график изменения вытяжки квадрата координатной сетки на оси пресс-изделия в зависимости от номера ячейки;

б) график изменения вытяжки слоя по диаметру прутка по длине пресс-изделия;

в) графики изменения угла  $\gamma$  в радиальном направлении в середине пресс-изделия.

Сделать выводы о влиянии изучаемых факторов на характер деформации металла при прессовании.

### **Содержание отчета**

1. Краткое описание работы.

2. Схемы прямого и обратного прессования и искаженной сетки.

3. Протокол обработки результатов опытов по прессованию, графики изменения деформации по длине и поперечным сечениям пресс-изделия

4. Выводы.

## **Контрольные вопросы**

1. В чем принципиальная разница характера течения металла при прямом и обратном методах прессования?
2. Как определяют показатели деформации по искаженной координатной сетке?
3. В чем сущность метода координатной сетки?
4. В чем сущность процесса прессования?
5. Почему при обратном методе прессования усилие меньше, чем при прямом?
6. При каких условиях прессования поперечные координатные линии будут прямолинейными до и после прессования?
7. При каких условиях прессования периферийные слои будут опережать центральные?
8. Перечислите факторы, вызывающие искажение координатной сетки.
9. В каких случаях и где образуются мертвые зоны?
10. Перечислите способы нанесения координатных сеток.
11. Как определить форму и размеры границы очага пластической деформации?
12. Как влияют условия трения и геометрия матрицы на характер течения металла?

## **Библиографический список**

1. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. 2-е изд. – М.: Металлургия, 1975 – 448 с.
2. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 103 с.

## **Исследование силовых условий прессования**

Цель работы – изучение влияния стадий процесса и конфигурации матрицы на усилие прессования прутков; получение практических навыков работы на гидравлических прессах; сравнение расчетных и экспериментальных результатов определения усилия прессования; определение коэффициента трения по контейнеру.

### ***Теоретические сведения***

#### **1. Силовые условия**

При выборе типа оборудования, расчете инструмента на прочность, установлении энергетических затрат (работы и мощности пластической деформации) необходимо знать силовые условия прессования.

Характер силовых условий прессования в значительной степени определяется видом индикаторной диаграммы, которая отображает изменение усилия на пресс-шайбе в течение рабочего хода пресса. На рис. 7 представлена типовая индикаторная диаграмма, характерная для прямого метода прессования прутков.

По изменению силовых условий процесс прессования можно разделить на три основные стадии:

I – начальная, в течение которой происходит распрессовка заготовки в контейнере и заполнение канала матрицы прессуемым металлом;

II – основная, характеризующаяся установившимся течением металла (ламинарное течение);

III – заключительная, на которой установившееся течение металла нарушается (становится турбулентным) и процесс прессо-

вания заканчивается.

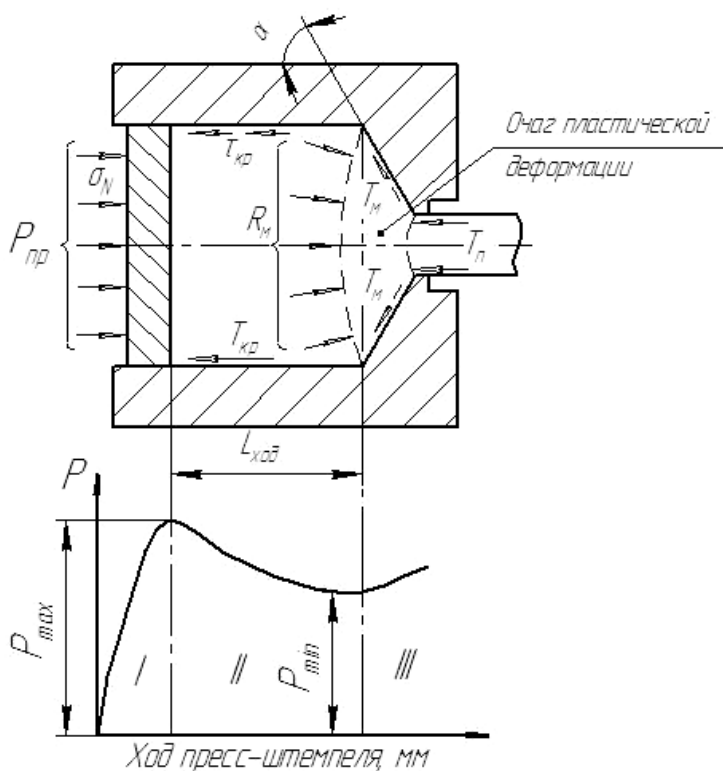


Рис. 7 Типовая индикаторная диаграмма прямого метода прессования

Для каждой из этих стадий характерны свои особенности, которые можно объяснить исходя из представления полного усилия прессования  $P$  в виде составляющих:

$$P = T_{кр} + T_m + R_m + T_n,$$

где  $T_{кр}$  – сила трения, возникающая на боковой поверхности контейнера;

Составляющая  $T_{кр}$  определяется по индикаторной диаграмме (рис. 7):



$$T_{кр} = P_{\max} - P_{\min}$$

$T_M$  – силы трения, возникающие на конической поверхности матрицы в очаге деформации;

$R_M$  – силы, возникающие от внутреннего трения, противодействующего осуществлению основной деформации без учета контактного трения в очаге деформации;

$T_n$  – силы трения, возникающие на поверхности калибрующего пояска матрицы ( $T_n \approx 0,05P$ , поэтому можно принять  $T_n \approx 0$ ).

На стадии ламинарного течения при прессовании изменяется только составляющая  $T_{кр}$ . Объясняется это тем, что при перемещении пресс-шайбы металл до подхода к обжимающей части пластической зоны почти не деформируется, а давление на нее понижается вследствие уменьшения длины заготовки и напряжения трения. На заключительной стадии III дополнительно к указанным составляющим возникает сила трения металла о пресс-шайбу, увеличивая усилия прессования за счет резкого увеличения скорости скольжения металла по поверхности пресс-шайбы. В установившейся стадии эту составляющую не учитывают.

На усилии прессования влияет множество факторов: сопротивление деформации металла, степень деформации, угол конусности матрицы, геометрия заготовки и профиля, условия контактного трения, способ прессования и т. д. Сохраняя неизменными все факторы, кроме угла конусности матрицы  $\alpha$ , можно изучить его влияние на усилие прессования. Это влияние в общем сводится к образованию зоны оптимальных углов. Существование такой зоны объясняется тем, что изменение угла  $\alpha$  оказывает взаимно противоположное влияние на составляющие  $R_M$  и  $T_M$ . С увеличением угла  $\alpha$  растут дополнительные сдвиги, а с ними и составляющая  $R_M$ , но одновременно уменьшается контактная поверхность обжимающей части пластической зоны, а с нею и составляющая  $T_M$ . Поэтому при изменении угла  $\alpha$  при некотором оптимуме  $\alpha$  образуется минимум суммы  $R_M + T_M$ , который практически охватывает

некоторую зону углов  $\alpha$  (рис. 8).

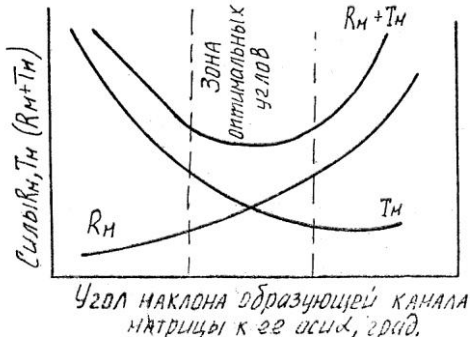


Рис. 8 Схема изменения составляющих  $R_M$  и  $T_M$  и их суммы с изменением угла  $\alpha$

## 2. Определение коэффициента трения металла о контейнер

Учитывая, что сила трения о контейнер равна:  $T_{кр} = \tau_{тр} F_{бок}$  или  $T_{кр} = \sigma_N f_{тр} \pi D_{кон} L_{ход}$ , а также  $T_{кр} = P_{max} - P_{min}$ , можно определить коэффициент трения металла о контейнер:

$$f_{тр} = \frac{P_{max} - P_{min}}{\sigma_N \pi D_{кон} L_{ход}}$$

Величина  $\sigma_N$  определяется из условия:

$$\sigma_N = \frac{P}{F_{кон}} = \frac{4P}{\pi D_{кон}^2},$$

окончательно получим:

$$f_{тр} = \frac{P_{max} - P_{min}}{L_{ход} \frac{4P}{D_{кон}}}$$

На основании замеров "усилие – ход" строят графики для разных полууглов  $\alpha_m$ . Откуда определяют зону оптимальных углов. Для оптимального угла определяют значение коэффициента трения

$f_{тр}$ .

### 3. Аналитическое определение усилия прессования

Расчетное значение усилия прессования находим по формуле И.П. Перлина, допуская некоторые упрощения: течение металла считаем ламинарным; коэффициент трения принимаем одинаковым для всех зон; сопротивление деформации считаем постоянным и равным среднему значению  $S_{\partial c}$  в очаге пластической деформации; полуугол матрицы  $\alpha$  принимаем равным  $60^\circ$ ; трение о калибрующий поясok матрицы не учитываем. Тогда усилие прессования:

$$P_{\max} = T_{кр} + T_M + R_M,$$

а значения составляющих будут равны:

$$R_M \approx 1,04 D_{кон}^2 S_{\partial c} i,$$

$$T_M \approx 0,45 D_{кон}^2 S_{\partial c} i,$$

$$T_{кр} \approx \pi D_{кон} L_{ход} \frac{S_{\partial c}}{2}$$

Для определения  $S_{\partial c}$  пресс-остаток в виде цилиндра пластически осаживаем на испытательной машине ЦДМУ-30 с записью усилия осадки  $P_{oc}$ . Вычисляем величину  $S_{\partial c}$ :

$$S_{\partial c} \approx \sigma_{oc} = P_{oc} / F_K,$$

где  $F_K$  – площадь контактной поверхности в момент осадки с усилием  $P_{oc}$ ,  $F_K = \pi D_{\partial}^2 / 4$ ;

$D_{\partial}$  – диаметр расплющенного осадкой пресс-остатка.

Далее сравниваем расчетное и экспериментально замеренное усилие и определяем погрешность вычислений:

$$\Delta = \frac{P_{\partial} - P_{\max}}{P_{\max}} 100\%$$

## **Оборудование, инструмент, материалы**

1. Вертикальный гидравлический пресс модели ПСУ-250 усилием 2,5 МН.
2. Инструмент для прессования (контейнер, пресс-штемпель, пресс-шайба и т. д.).
3. Комплект матриц с углами конусности  $\alpha$  – 90, 120, 150, 180°.
4. Калиброванные цилиндрические заготовки диаметром  $\varnothing D = 40$  мм и высотой  $H = 70$  мм из технически чистого свинца.
5. Ацетон, сухая ветошь.
6. Штангенциркуль.

## **Порядок выполнения работы**

1. Подготовить заготовки, прессовый инструмент и оборудование к прессованию: обезжирить ацетоном поверхности заготовок и инструмента для создания максимальных сил трения.

2. Произвести наладку инструмента для прямого метода прессования прутков.

3. Произвести опытное прессование с соблюдением требований по технике безопасности на вертикальном гидравлическом прессе ПСУ-250 круглых прутков из сплошных заготовок без смазки поочередно через матрицы с углами конусности 90, 120, 150, 180°. Снятие индикаторных диаграмм при прессовании производить по дискретным точкам. Вначале по масштабной линейке определить нулевую точку отсчета с момента начала деформаций. Потом фиксировать по шкале измерителя давления максимальное усилие прессования, соответствующее окончанию I стадии, а по масштабной линейке – соответствующее перемещение. Далее на стадии II через каждые 5 мм перемещения пресс-шайбы со шкалы измерителя давления регистрировать усилие прессования. Снятие отсчетов вести до начала стадии III, характеризуемой резким возрастанием усилия прессования, после чего отключить насосную установку.

4. После каждого цикла прессования отделять пресс-остаток от матрицы и контейнера.

5. В бланке отчета по точкам на одном графике построить индикаторные диаграммы для всех углов конусности матриц.

6. По индикаторным диаграммам найти максимальные усилия прессования и занести в таблицу.
7. Определить оптимальный угол конусности матрицы.
8. Определить коэффициент трения металла о контейнер.
9. Аналитически определить усилие прессования.
10. Сделать выводы по работе в виде описания полученных зависимостей.

Т а б л и ц а Исходные данные для построения графиков

№ замера	Ход $L$ , мм	Усилие $P$ , кН		
		$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
1	5			
2	10			
3	15			
4	20			
5	25			
6	30			

### **Содержание отчета**

1. Краткое описание работы.
2. Схема прямого метода прессования прутков.
3. Протокол обработки результатов работы, включая индикаторные диаграммы, расчетные формулы.
4. Расчетное значение коэффициента трения и усилия прессования.

### **Контрольные вопросы**

1. По изменению силовых условий перечислите основные стадии процесса прессования.
2. В виде каких составляющих можно представить полное усилие прессования?
3. Какая составляющая полного усилия прессования изменяется на стадии ламинарного течения?
4. Почему возрастает усилие прессования на стадии турбулентного течения?
5. Перечислите основные факторы, влияющие на усилие прессования.

6. Какие составляющие полного усилия прессования изменяются в зависимости от угла конусности матрицы?
7. В чем заключается причина образования зоны оптимальных углов конусности матрицы?
8. Назовите основные способы уменьшения усилия прессования.
9. Каким способом можно экспериментально определить усилие прессования?
10. С какой целью определяют усилие прессования?
11. Каковы абсолютная, относительная погрешность определения усилия прессования на прессе ПСУ-250?
12. Каким образом снимают индикаторные диаграммы?
13. Используя индикаторную диаграмму, определить составляющую  $T_{кр}$ .
14. В чем заключается порядок работы на гидравлическом прессе ПСУ-250?
15. Определить, во сколько раз удельное давление прессования больше сопротивления деформации прессуемого металла.

### **Библиографический список**

1. Жолобов В.В., Зверев Г.И. Прессование металлов. 2-е изд. – М: Металлургия, 1971. – 456 с.
2. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 103 с.

## **Исследование процесса прессования труб с подвижной иглой**

Цель работы – изучить закономерности и особенности прессования труб с подвижной иглой; приобрести практические навыки по прессованию труб на гидравлических прессах; приобрести практические навыки по оценке разнотолщинности труб; приобрести навыки аналитического и экспериментального определения усилий прессования.

### ***Теоретические сведения***

#### **1. Способы прессования труб**

Прессование труб осуществляют двумя основными методами:

- а) из полой заготовки – путем выдавливания с иглой через "простые" матрицы;
- б) из сплошной заготовки – путем прессования через комбинированные матрицы.

При прессовании через "простые" матрицы изготовленные трубы являются бесшовными. При прессовании через комбинированные матрицы трубы имеют продольные сварные швы.

Прессование труб из полой заготовки осуществляют с неподвижной (рис. 9, а), либо с подвижной иглой (рис. 9, б).

При прессовании труб с иглой наблюдаются следующие особенности:

- значительная часть торцевой поверхности переходит на боковую поверхность трубы, поэтому следует тщательно обрабатывать торцы заготовки;
- при прессовании возникают напряжения трения по игле,

действие которых может приводить к обрыву игл (для уменьшения напряжений трения иглы покрывают смазкой);

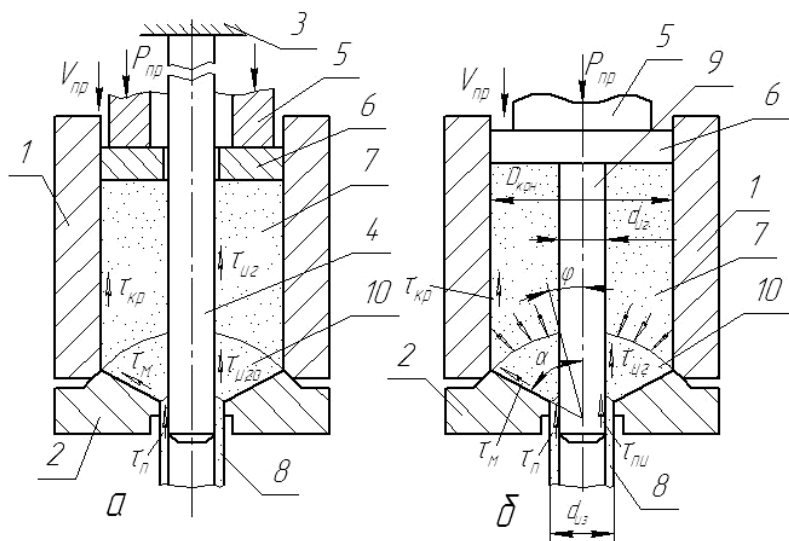


Рис. 9 Прессование труб из полой заготовки с неподвижной (а) и подвижной (б) иглой: 1 – контейнер; 2 – матрица; 3 – неподвижный иглодержатель; 4 – неподвижная игла; 5 – пресс-штемпель; 6 – пресс-шайба; 7 – заготовка; 8 – труба; 9 – подвижная игла; 10 – очаг пластической деформации (ОПД);  $\tau_{кр}$  – напряжения трения по контейнеру,  $\tau_m$  – по матрице,  $\tau_n$  – по калибрующему пояску,  $\tau_{иг}$  – по телу иглы,  $\tau_{игОПД}$  – по телу иглы в зоне ОПД,  $\tau_{ни}$  – по игле в зоне пояска матрицы.

На рисунках показано действие напряжений на металл, на инструмент напряжения действуют в противоположную сторону.

– при использовании подвижных игл трение по телу иглы в основном отсутствует, имеет место только трение в очаге пластической деформации и в зоне калибрующего пояска, что облегчает работу игл;

– при использовании плоских матриц полуугол входной воронки  $\alpha$  вследствие образования мертвых зон составляет  $60^\circ$ .

## 2. Аналитическое определение усилия прессования

Усилие прессование при использовании иглы выражается об-



щей формулой:

$$P = T_{кр} + T_M + R_M + T_n,$$

где:  $R_M$  – усилие на пресс-шайбе для осуществления основной деформации без учета трения;

$T_{кр}$ ,  $T_M$ ,  $T_n$  – усилия на пресс-шайбе для учета составляющих трения о контейнер, воронку матрицы и поясok с учетом влияния иглы.

Составляющую  $T_n$  принимаем равной нулю из-за относительной малости значения.

$$R_M = 0,86 \left[ D_{кон}^2 / \cos^2 \frac{\alpha}{2} - d_{из}^2 / \cos^2 \frac{\varphi}{2} \right] S_{\partial c} i,$$

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{d_{из} \sin \alpha}{D_{кон}} \right),$$

$$T_{кр} = \pi (D_{кон} + d_{из}) f_{кр} S_{\partial c} L_p,$$

$$T_M = \frac{\pi}{2 \sin \alpha} (D_{кон}^2 - d_{из}^2) f_M S_{\partial c} - \ln \frac{D_{кон}^2 - d_{из}^2}{d_{из}^2 - d_{из}^2},$$

где:  $f_{кр}$ ,  $f_M$  – коэффициенты трения по контейнеру и матрице;

$S_{\partial c}$  – среднее значение сопротивления деформации прессуемого металла в очаге пластической деформации.

Значение сопротивления деформации примерно равно пределу текучести металла, который определяют на пресс-остатке:

$$S_{\partial c} \approx \sigma_m = P_{oc} / F_{пр.о},$$

$$F_{пр.о} = \pi (D_{кон}^2 - d_{из}^2) / 4$$

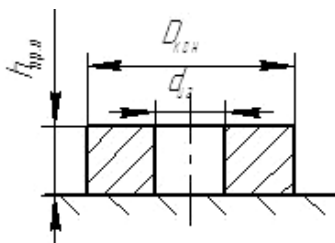


Рис. 10

Значение  $S_{\partial c}$  определяют, осаживая на испытательной машине ЦДМУ-30 пресс-остаток (рис. 10) на половину высоты после прессования заготовки на прессе. Ориентировочно при данных условиях прессования  $S_{\partial c} = 25$  МПа.

### 3. Разнотолщинность

Отпрессованные трубы имеют по сечению различную толщину стенки. Такое колебание стенки называют разнотолщинностью. Разнотолщинность наблюдается также и по длине изделия.

Средняя толщина стенки  $t_{cp}$  определяется из уравнения:

$$t_{cp} = (t_{\max} + t_{\min}) / 2$$

Абсолютная разнотолщинность отпрессованной трубы:

$$\Delta t = t_{\max} - t_{\min} ,$$

относительная разнотолщинность:

$$y = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{cp}} = 2 \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max} + t_{\min}}$$

Способом борьбы с разнотолщинностью является применение коротких жестко закрепленных игл, а также соблюдение центровки иглы и матрицы.

### **Оборудование, инструмент, материалы**

1. Вертикальный гидравлический пресс модели ПСУ-250 усилием 2,5 МН.
2. Инструмент для прессования труб.
3. Полюе цилиндрические заготовки диаметром 49 мм и высотой 50 мм с отверстием 21 мм.
4. Машинное масло, кисточка.
5. Ацетон, сухая ветошь.
6. Микrometer, штангенциркуль.

## **Порядок выполнения работы**

1. На вертикальном прессе ПСУ-250 произвести прессование трубы через плоскую матрицу. Перед прессованием поверхности контейнера и иглы смазать машинным маслом. Для прессования использовать заготовку с осевым отверстием, нижний торец которой покрыть мелом.

2. Изучить кинематику течения металла при прессовании трубы. Указать, какие поверхности заготовки следует тщательно обрабатывать для получения качественной трубы.

3. При прессовании измерить усилие прессования.

4. Пресс-остаток высотой  $h_{пр.о} = 20$  мм осадить на испытательной машине с замером усилия осадки. Определить  $S_{\partial c} \approx \sigma_{oc}$ .

5. Вычислить расчетное значение усилия прессования и сравнить его с экспериментальным.

6. Вычислить относительную погрешность значений экспериментального  $P_{\text{э}}$  и расчетного  $P_{\text{рас}}$  усилий:

$$\Delta = \frac{P_{\text{э}} - P_{\text{рас}}}{P_{\text{э}}} 100\%$$

7. Определить относительную разнотолщинность в трех сечениях: выходном, утяжном и в середине отпрессованной трубы. Для определения разнотолщинности промерить толщину стенки на образцах кольцевого сечения, отрезанных от трубы. Построить графики изменения относительной разнотолщинности по длине отпрессованной трубы для всех трех случаев.

## **Содержание отчета**

1. Схемы прессовой оснастки для изготовления труб.  
2. Необходимые расчетные формулы и результаты расчетов.  
3. Графики, отображающие экспериментально установленные зависимости.

4. Выводы по проведенным исследованиям.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие методы прессования труб Вам известны?

2. Какие нагрузки действуют на прессовые иглы?
3. Почему при прессовании труб с подвижной иглой нельзя использовать иглы малого диаметра?
4. На каком законе основана работа гидравлических прессов?
5. Каким методом прессования можно получить полые профили сложных форм?
6. Укажите особенности подготовки полых заготовок для получения прессованных труб.
7. Каким методом прессования можно получить качественные тонкостенные трубы?
8. Каким методом прессования можно получить полые изделия неограниченной длины?
9. Почему при прессовании труб наблюдают колебания толщины стенки – разнотолщинность?
10. Как определить разнотолщинность труб?
11. Что такое абсолютная и относительная разнотолщинность? Напишите формулы.

### ***Библиографический список***

1. Жолобов В.В., Зверев Г.И. Прессование металлов. 2-е изд. – М: Металлургия, 1971. – 456 с.
2. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 103 с.
3. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. – Л.: Наука, 1974. – 107 с.

## **Исследование процесса прессования труб со сваркой давлением через комбинированную матрицу**

Цель работы – изучить закономерности и особенности прессования труб со сваркой давлением через комбинированную ("язычковую") матрицу; определить соответствие между экспериментальным и расчетным значением усилия прессования через комбинированную матрицу; приобрести практические навыки по прессованию труб на гидравлическом прессе.

### ***Теоретические сведения***

Схема прессования через комбинированную матрицу (которую также называют "язычковой", а также "матрицей с вмонтированной иглой") показана на рис. 2, а.

Прессование ведут из сплошного слитка 7. Под действием силы прессования  $P_{np}$  рассекатель 4 обеспечивает разделение слитка на два потока, показанные стрелками, которые в нижней части рассекателя в плоскости *С-С* вновь соединяются и свариваются, обтекая иглу 6 и образуя изделие 10, имеющее два продольных сварных шва 11 (рис. 2, в).

Сечение *С-С* называют характеристическим, его положение определяет высоту камеры сварки  $h_{св}$ , где формируется сварной шов. Сварка потоков металла не допускает попадания смазки. Поэтому заготовка и инструмент должны быть тщательно обезжирены.

В условиях лабораторного эксперимента иглу монтируют в рассекатель (выполняют заодно с рассекателем), но рассекатель 4 не связывают жестко с матрицей 5, т.к. для воспроизводимости опы-

тов наладку следует выполнять разборной.

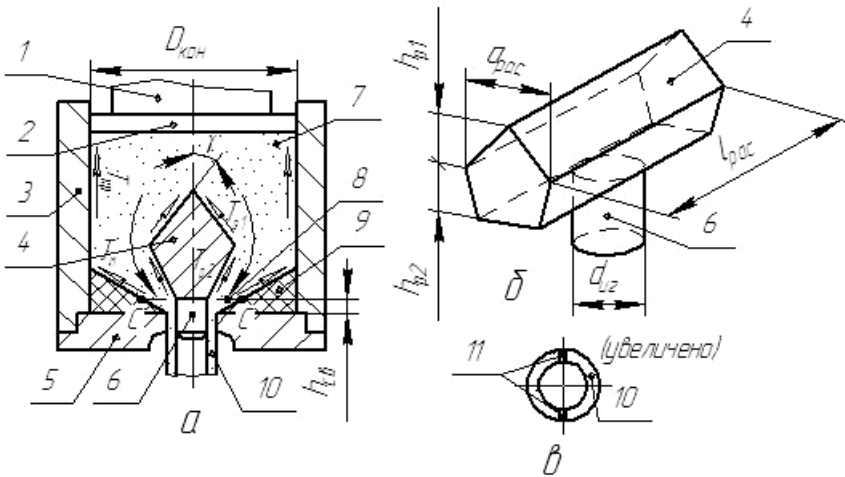


Рис. 2 Схема прессования через матрицу с вмонтированной иглой: а – общий вид; б – рассекатель; в – изделие; 1 – пресс-штыпель; 2 – пресс-шайба; 3 – контейнер; 4 – выступающий рассекатель; 5 – матрица; 6 – игла; 7 – заготовка; 8 – "характеристическое сечение"; 9 – мертвая зона; 10 – изделие; 11 – сварные швы

Рассекатель 4 упрощенно можно представить в виде двух призм с равным основанием  $a_{рас}$ , сложенных по плоскости основания, причем одна из призм (нижняя) является усеченной. Меньшее основание усеченной призмы является опорной плоскостью рассекателя, к которой приварена (вмонтирована) игла 6 (рис. 2, б).

Формула для усилия прессования через "язычковую" матрицу в общем виде имеет вид:

$$P_{яз.м} = T_{кр} + T_m + R_m + T_n + T_{рас} ,$$

где:  $R_m$  – усилие на пресс-шайбе, идущее на собственно деформацию металла без трения;

$T_{кр}$ ,  $T_m$  – составляющие усилия, идущие на преодоление трения металла о контейнер и матричную воронку (по "мертвым зонам");

$T_n$ ,  $T_{рас}$  – составляющие сил трения о калибрующий поясok и рассекатель.

Составляющую  $T_n$  с определенным допущением (в условиях эксперимента) можно не учитывать ( $T_n = 0$ ).

$$R_M \cong 2,3D_{кон}^2 K_{мс} i,$$

$$T_{кр} = \pi D_{кон} (L_{рас} - H - 0,25D_{кон}) f_{кр} K_{кр},$$

$$T_M = 1,8D_{кон}^2 \frac{D_{кон}^2 - d_{уз}^2}{d_{уз}^2 - d_в^2} K_{мс},$$

$$T_{рас} = \frac{0,8D_{кон}^2}{\sin \gamma} \ln \frac{0,8D_n}{0,8D_n - a_{рас}} K_{рас} f_{тр.p},$$

где:  $H$  – высота пластической зоны,  $H = 0,32(D_{кон} - d_{уз})$ ;

$L_{рас}$  – длина распрессованного слитка;

$f_{кр}$ ,  $f_{тр.p}$  – коэффициенты трения по контейнеру и по рассекателю,  $f_{кр} = f_{тр.p} = 1$ ;

$K_{кр}$  – напряжение пластического сдвига,  $K_{кр} = S_{дк}/2$ ;

$K_{мс}$  – напряжение пластического сдвига среднее по очагу деформации;

$a_{рас}$  – ширина рассекателя (при треугольном рассекателе – ширина стола рассекателя);

$K_{рас}$  – напряжение пластического сдвига.

### **Оборудование, инструмент, материалы**

1. Вертикальный гидравлический пресс модели ПСУ-250 усилием 2,5 МН.

2. Инструментальная наладка для прессования труб через комбинированную матрицу.

3. Сплошные цилиндрические заготовки из свинца.

4. Ацетон, сухая ветошь.
5. Микрометр, штангенциркуль.

### **Порядок выполнения работы**

1. На вертикальном прессе ПСУ-250 произвести прессование трубы из сплошного слитка через комбинированную матрицу. Перед прессованием поверхности слитка обезжирить.

2. Произвести замеры слитка и инструмента.
3. Определить усилие прессования при записи экспериментальных значений в координатах "ход – усилие".
4. Произвести расчет усилия прессования аналитически и сравнить с экспериментальным.
5. Вычислить относительное и абсолютное расхождение усилий прессования, объяснить причину расхождения.
6. Определить разнотолщинность трубы и найти ее относительную величину по формуле:

$$y = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\text{cp}}} = 2 \frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max} + t_{\min}}$$

Дать объяснение явлению разнотолщинности и ее величине.

### **Содержание отчета**

1. Схема прессовой оснастки для изготовления труб.
2. Необходимые расчетные формулы и результаты расчетов.
3. Графики, отображающие экспериментально установленные зависимости.
4. Выводы по проведенным исследованиям.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие методы прессования труб Вам известны?
2. Нарисуйте схемы прессования труб с неподвижной и вмонтированной иглой.
3. Почему нельзя прессовать трубы через язычковую (комбинированную) матрицу со смазкой?
4. Как происходит формоизменение металла при прессовании через язычковую матрицу?
5. Что такое "характеристическое" сечение и где оно находится?



6. Из каких составляющих складывается общее усилие, прикладываемое к пресс-шайбе для осуществления прессования через комбинированную матрицу?

7. Что такое сварные швы на изделии, как они образуются и чем отличаются от остального металла изделия?

8. Как образуется разнотолщинность при прессовании через комбинированную матрицу? Покажите на каком-либо примере расчет разнотолщинности трубы.

### ***Библиографический список***

1. Жолобов В.В., Зверев Г.И. Прессование металлов. 2-е изд. – М: Металлургия, 1971. – 456 с.

2. Старостин Ю.С. Основы технологических процессов обработки металлов давлением (прессование). – Самара: СГАУ, 2007. – 79 с.

3. Гильденгорн М.С., Керов В.Г., Кривонос Г.А. Прессование со сваркой полых изделий из алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1978. – 239 с.

## Исследование процесса волочения прутка

Цель работы – изучить процесс волочения прутка на натурных образцах; освоить методики расчетов по определению усилия волочения, назначению маршрутов обработки изделия волочением, конструированию инструмента для волочения.

### Теоретические сведения

#### 1. Схема и устройство для волочения на испытательной машине ЦДМУ-10

Схема волочения на устройстве, приспособленном к волочению на испытательной машине ЦДМУ-10, показана на рис. 3. Устройство представляет собой жесткую рамку в виде двух поперечин, стянутых колонками. В верхней поперечине вмонтирована шаровая опора, обеспечивающая центрирование устройства по направлению силы волочения  $P_{вол}$  при его работе и предотвращающая появление значительных изгибающих напряжений в деталях испытательной машины ЦДМУ-10, на которой монтируется приспособление.

В нижней поперечине устройства выполнено гнездо для установки волоки, через которую осуществляют волочение. Для реализации процесса заготовку с одного конца предварительно заостряют (обтачивают, либо заковывают), чтобы сформированный участок меньшего, чем остальная часть, диаметра мог быть пропущен через отверстие волоки для захвата его волочильными клещами. Клещи выполнены в виде рычажного механизма, усиливающего зажим "захватки" при приложении тянущей силы  $P_{вол}$ .

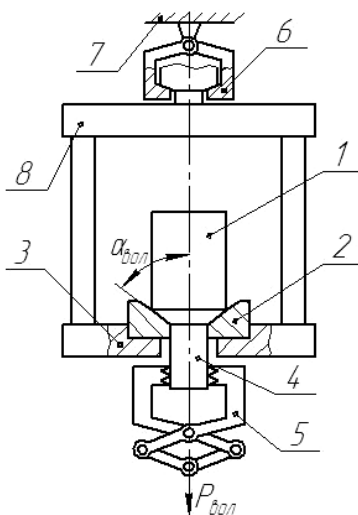


Рис. 3 Схема и устройство волочения прутка: 1 – заготовка; 2 – волока; 3 – волокодержатель; 4 – "захватка"; 5 – клещи; 6 – центрирующая опора; 7 – станина испытательной машины; 8 – жесткая рамка устройства

## 2. Напряженно-деформированное состояние

Волока для волочения имеет сужающийся канал с полууглом конуса (называемым также "угол волоки")  $\alpha_{вол}$  относительно небольшой величины ( $\alpha_{вол} = 6 \div 20^\circ$ ). При протягивании металла через такой канал создаваемая в металле схема напряжений приводит металл заготовки в зоне конуса в состояние пластичности.

Схема напряженно-деформированного состояния и распределение напряжений по очагу деформации показана на рис. 4. Напряженно-деформированное состояние создается действием двух сжимающих напряжений (радиального  $\sigma_r$  и тангенциального  $\sigma_\theta$ ) и одного растягивающего напряжения (осевого  $\sigma_l$ ). Деформированное состояние характеризуется двумя деформациями укорочения (радиальной  $\varepsilon_r$  и тангенциальной  $\varepsilon_\theta$ ) и одной деформацией удлинения (осевой  $\varepsilon_l$ ). Радиальные и тангенциальные деформации и

напряжения равны между собой.

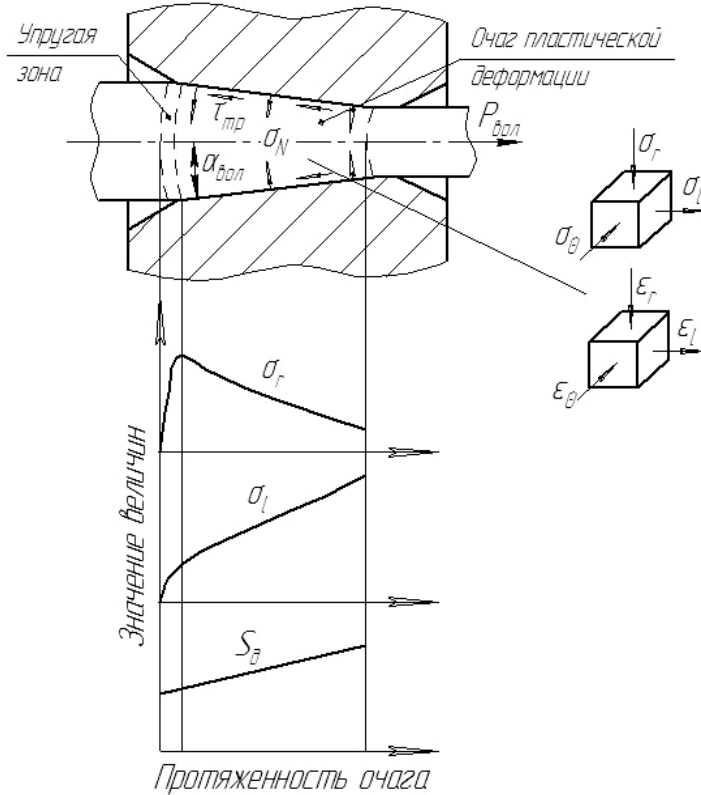


Рис. 4 Схема очага деформации и распределение напряжений при волочении прутка:  $\sigma_r$  – радиальные напряжения;  $\sigma_l$  – осевые напряжения;  $S_\delta$  – сопротивление деформации металла

Условие пластического состояния имеет вид:

$$\sigma_l + \sigma_r = S_\delta \text{ или } \sigma_l = S_\delta - \sigma_r$$

Таким образом, пластическая деформация при волочении начинается и поддерживается при напряжениях, приложенных к выходному концу, меньших, чем сопротивление деформации.

Радиальные напряжения  $\sigma_r$  по очагу деформации от входа к

выходу уменьшаются, а осевые  $\sigma_l$  – растут. Сопротивление деформации металла возрастает и на выходе имеет максимальное значение. Это происходит в результате деформационного упрочнения (нагартовки) металла. Большая нагартовка позволяет назначать большие обжатия заготовки.

Непосредственно на входе в волоку существует зона упругой деформации, имеющая малую протяженность, в которой преобладают радиальные напряжения, поэтому на входе наблюдается наиболее интенсивный износ волок. Для его уменьшения применяют противонапряжение (т.е. прикладывают силу, направленную против силы волочения). Это осуществляют, например, волочением в сдвоенные волокна, либо применяя специальные противонапряженные устройства.

### 3. Усилие волочения

Под действием тянущей силы объем металла, вовлеченный в коническую воронку волоки, подвергается действию нормальных напряжений  $\sigma_N$  по всей поверхности зоны контакта металла с волокой. За счет цельности металла возникает трехосное напряженное состояние во всем объеме очага пластической деформации. На поверхности напряжения трения  $\tau_{mp}$  препятствуют перемещению контактных поверхностных слоев металла. Для уменьшения напряжений трения применяют смазку, используют консистентные масла типа "солидол" и др.

Для определения усилия волочения предложено несколько формул. Воспользуемся формулой Петрова-Гавриленко:

$$P_{вол} = S_{\partial c} f_{из} \left( 1 + \frac{\mu}{\text{tg} \alpha_{вол}} \right) \ln \lambda$$

где:  $S_{\partial c}$  – среднее по очагу пластической зоны сопротивление деформации,  $S_{\partial c} = (S_{\partial н} + S_{\partial к})/2$ ;

$S_{\partial н}$ ,  $S_{\partial к}$  – начальное (до входа) и конечное (после выхода из очага деформации) сопротивление деформации, их значения берут из диаграмм упрочнения (рис. 5, для расчетов принимать

$$S_{\partial} = \sigma_m = 0,9\sigma_b, \lambda = 1/[1 - \varepsilon], \varepsilon = 1 - 1/\lambda;$$

$\lambda$  – вытяжка за проход,  $\lambda = F_0/f_{из}$ ;

$F_0, f_{из}$  – площади поперечного сечения заготовки и изделия;

$\mu$  – коэффициент трения прутка по волоке,  $\mu = 0,1 \div 0,15$ ;

$\alpha_{вол}$  – полуугол конуса волоки ("угол волоки"),  $\alpha_{вол} = 12^\circ$ .

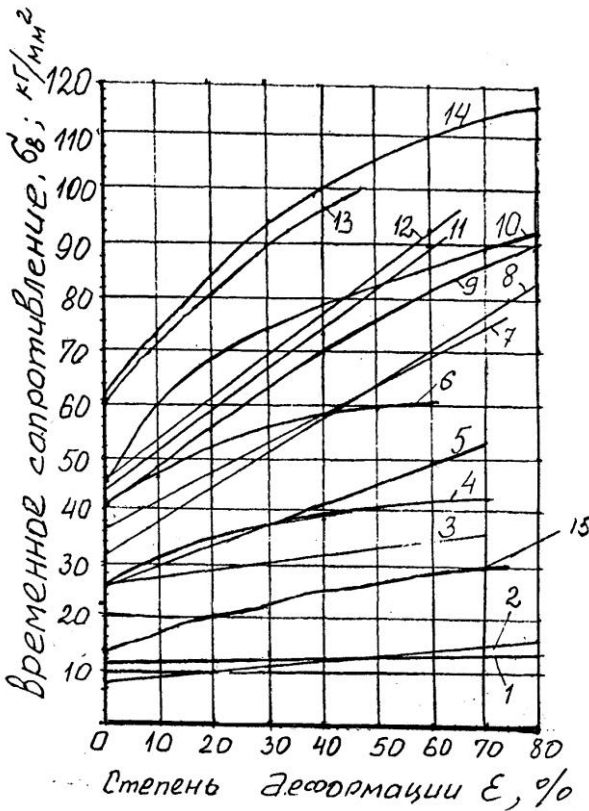


Рис. 5 Влияние степени холодной деформации на предел прочности металлов и сплавов: 1 – цинк; 2 – алюминий; 3 – дуралюмин; 4 – медь; 5 – Л96; 6 – МН70-30 (мельхиор); 7 – ЛС59-1; 8 – Л63; 9 – ЛН65-5; 10 – НМЖМц28-2,5-1,5; 11 – БрКМц3-1; 12 – БрОФ0,5...0,4; 13 – БрБ2; 14 – НХ9,5; 15 – АМг3.

Напряжения волочения определяют по формуле:

$$\sigma_{вол} = \frac{P_{вол}}{f_{уз}} = S_{\partial c} \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_{вол}} \right) \ln \lambda$$

Устойчивое (без обрывов) волочение возможно при условии:

$$\sigma_{вол} = \sigma_{тк} / K_{вол},$$

где:  $\sigma_{тк}$  – предел текучести (который можно приравнять к сопротивлению деформации) на выходе из волокна,  $\sigma_{тк} = S_{\partial c}$ ;

$K_{вол}$  – коэффициент запаса,  $K_{вол} \geq 1,1 \div 3,0$ .

При многопроходном волочении в  $n$ -проходах суммарная вытяжка равна:

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{F_0}{f_{уз}} = \frac{F_0}{f_1} \cdot \frac{f_1}{f_2} \cdot \dots \cdot \frac{f_{n-1}}{f_{уз}}$$

Для средней вытяжки  $\lambda_{cp} = \lambda_i$  имеем  $\lambda_{\Sigma} = \lambda_{cp}^n$ , откуда число проходов:

$$n = \ln \lambda_{\Sigma} / \ln \lambda_{cp}$$

Среднюю вытяжку берут из справочных данных, либо из практики. Для медных и алюминиевых сплавов  $\lambda_{cp} = 1,3 \div 1,35$ . Обычно волочение производят в 3-4 прохода, после чего назначают отжиг.

Правильность назначенных маршрутов проверяют, определяя напряжения волочения и подсчитывая коэффициенты запаса.

После определения значений диаметров волок по переходам целесообразно вытяжки на первых проходах увеличить в 1,04-1,05 раза, а на последних – уменьшить в 1,04-1,05 раз. Окончательное значение диаметров рабочих волок берут после произведенного уточнения. Если конечный размер после уточнения выходит из допусков, производят повторное уточнение.

#### 4. Конструирование инструмента

Конус волокна состоит из нескольких зон (рис. 6): входной  $l_{вх}$ ,

обжимной  $l_{об}$ , калибровочной  $l_{кал}$ , выходной (распушки)  $l_{рас}$ . Сумма длин перечисленных участков составляет общую высоту волокни  $H$  :

$$H = l_{вх} + l_{об} + l_{кал} + l_{рас}$$

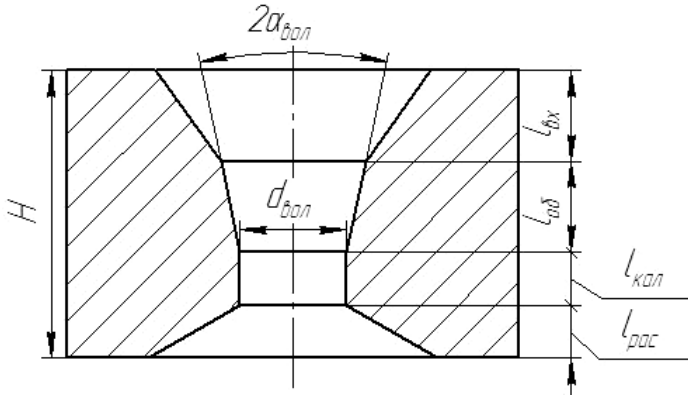


Рис. 6 Схема волокни в разрезе

Длины участков вычисляют в соответствии с их функциональным назначением:

$$l_{вх} = H/6, l_{рас} = 2 \div 10 \text{ мм},$$

$$l_{об} = 0,5(D_{заг} - d_{из}) \text{ctg} \alpha_{вол},$$

$$l_{кал} = (0,5 \div 2) d_{из},$$

где:  $H$  – высота волокни;

$D_{заг}$  – диаметр заготовки;

$d_{из}$  – диаметр изделия равный диаметру волокни,  $d_{из} = d_{вол}$ ;

$\alpha_{вол}$  – полуугол конуса волокни.

Протяженность калибрующего участка  $l_{кал}$  из практики берут равным  $l_{кал} = 0,5d_{из}$ .

Исходя из произведенных расчетов технологии, для каждого



прохода конструируют волоку. Все размеры сводят в таблицу.

### **Оборудование, инструмент, материалы**

1. Волоочильное устройство для испытательной машины ЦДМУ-10 (устройство волочения на волоочильном стане).
2. Конические волокни заданного размера.
3. Прутки из алюминиевых сплавов.
4. Консистентная смазка типа "солидол" с добавлением графита; кисточка.
5. Штангенциркуль.

### **Порядок выполнения работы**

1. Произвести расчет усилия и напряжения волочения в один проход для прутка заданного сплава и размера диаметра.
2. Произвести волочение прутка и экспериментально замерить силу волочения; найти напряжение волочения и определить коэффициент запаса.
3. Индивидуально по заданному конечному размеру прутка заданного сплава:
  - составить схему волочения прутка в три прохода;
  - определить усилие волочения и коэффициенты запаса по проходам;
  - рассчитать геометрию волок для каждого прохода, представить чертеж и таблицу размеров.

Т а б л и ц а Размеры волок

№ прохода	$D_i$ , мм	$l_{вх}$ , мм	$l_{об}$ , мм	$l_{кал}$ , мм	$l_{рас}$ , мм	$H$ , мм	$2\alpha_{вол}$ , град
1							
2							
3							

4. Сделать выводы по работе.

### **Содержание отчета**

1. Краткое описание работы, включающее: схему процесса, перечисление оснастки, теоретические основы, расчеты.

2. Спроектированная технология по индивидуальному заданию.
3. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Нарисуйте схему волочения прутка на устройстве для волочения.
2. Напишите условие пластичности. Где оно выполняется?
3. Почему при волочении удается пластически деформировать металл, прикладывая напряжения, меньшие, чем предел текучести?
4. Какие зоны возникают при деформировании прутка в канале волоки?
5. Какие возникают напряжения внутри очага пластической деформации?
6. Как распределяются по длине очага пластической деформации радиальные и осевые напряжения?
7. Как изменяется сопротивление деформации по длине очага пластической деформации?
8. Упрочнение металла вследствие наклепа является для волочения положительным или отрицательным явлением?
9. В каком месте волоки при волочении наблюдается больший износ инструмента?
10. Для чего при волочении создают противонапряжение? В каком смысле это действие полезно, а в каком вредно?
11. Какую смазку применяют при волочении прутков?
12. Как подсчитать число проходов при волочении, если известен начальный и конечный размер прутков?

### **Библиографический список**

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.
2. Ерманок М.З., Ватрушин Л.С. Волочение цветных металлов. – М.: Металлургия, 1982. – 271 с.

## Исследование безправочного волочения труб

Цель работы – изучить деформационные и силовые условия процесса безправочного волочения труб; получить практические навыки работы на устройствах для волочения (волочильном стане или машине).

### Теоретические сведения

#### 1. Схема и устройство для безправочного волочения труб

Безправочное волочение труб – процесс обработки металлов давлением, состоящий в протягивании трубной заготовки через плавно сужающийся канал волоки (рис. 7). При этом площадь поперечного сечения трубной заготовки уменьшается, а длина увеличивается.

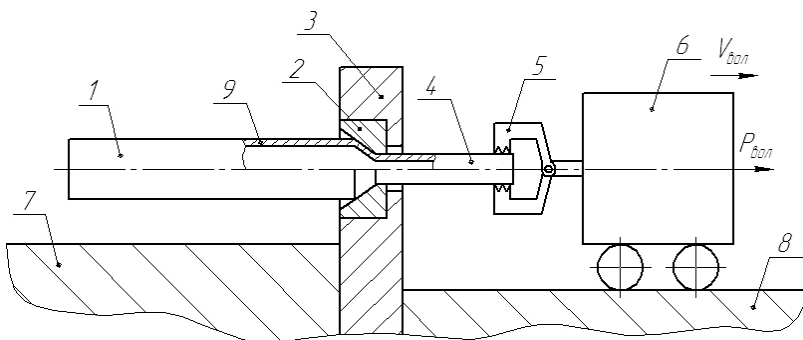


Рис. 7 Схема безправочного волочения труб на волочильном стане: 1 – заготовка; 2 – волока; 3 – волокодержатель; 4 – захватка; 5 – клещи; 6 – тележка; 7 – загрузочный стол; 8 – станина; 9 – стенка трубы

Безправочное волочение труб осуществляют на волочильных станах (машинах), как правило, в холодном состоянии со смазкой. Перед волочением один конец трубной заготовки 1 утоняют (заковывают) так, чтобы этот конец (захватка) 4 свободно входил в волоку 2 с возможностью захвата его клещами 5. После окончания волочения готовую трубу сбрасывают на стеллаж, а тележку возвращают в исходное положение (на чертеже влево).

В качестве заготовок для безправочного волочения применяют трубы, получаемые прессованием или холодной прокаткой на станах ХПТ.

## 2. Деформационные показатели процесса

Для описания деформированного состояния при безправочном волочении используют следующие показатели деформации (рис. 8):

1. **Коэффициент вытяжки**, показывающий во сколько раз увеличилась длина или уменьшилась площадь поперечного сечения трубы за переход волочения:

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{L_{\kappa}}{L_{\text{н}}} = \frac{F_{\text{н}}}{f_{\kappa}} = \frac{D_{\text{ср}} t_{\text{н}}}{d_{\text{ср}} t_{\kappa}}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{н}}$  и  $f_{\kappa}$  – площади поперечных сечений трубы до и после волочения;

$D_{\text{ср}}$ ,  $d_{\text{ср}}$  – средние диаметры трубы до и после волочения;

$t_{\text{н}}$ ,  $t_{\kappa}$  – толщина стенки трубы до и после волочения;

$L_{\text{н}}$ ,  $L_{\kappa}$  – длина трубы до и после волочения.

Коэффициенты вытяжки по среднему диаметру и толщине стенки (для утолщения стенки) определяются по формулам:

$$\lambda_{D_{\text{ср}}} = D_{\text{ср}} / d_{\text{ср}},$$

$$\lambda_t = t_{\kappa} / t_{\text{н}}$$

Поскольку для тонкостенных труб  $D_{\text{ср}} / d_{\text{ср}} > 1$ , а значение

$t_H/t_K < 1$ , но в тоже время вытяжка – это величина большая, чем единица, то после преобразования выражения (1) получим:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{D_{cp}} / \lambda_t \quad (1, a)$$

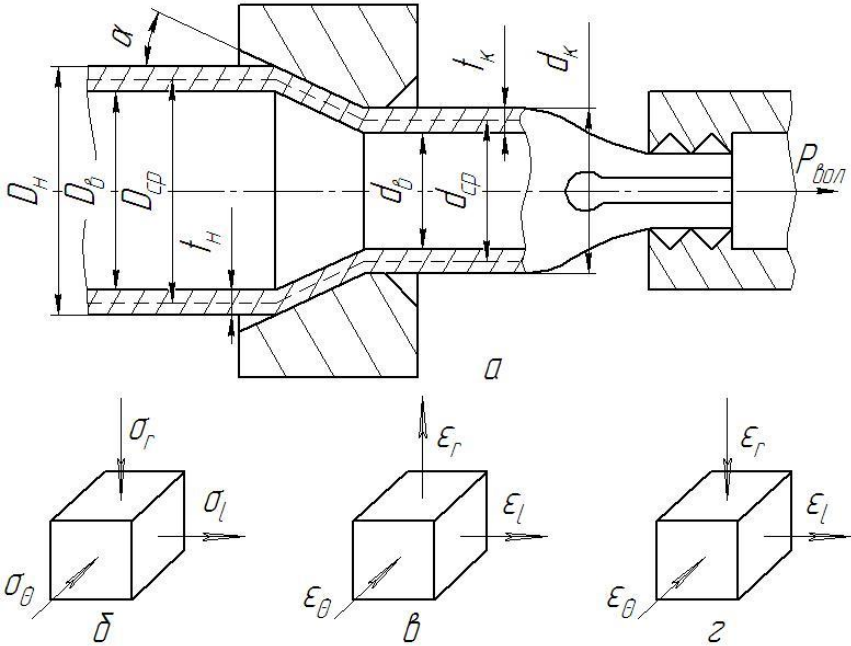


Рис. 8 Напряжения и деформации при безоправочном волочении труб: а – схема процесса; б – схема напряжений очага пластической деформации; в – схема деформаций при утолщении стенки; г – схема деформаций при утонении стенки

2. **Относительное обжатие**, представляющее собой отношение уменьшения площади поперечного сечения трубы за переход волочения к ее начальному значению:

$$\varepsilon_F = \frac{F_H - f_K}{F_H} 100\% \quad (2)$$

3. **Относительное удлинение**, представляющее собой отношение увеличения длины трубы за переход к ее начальному значению:

$$\varepsilon_l = \frac{L_k - L_n}{L_k} 100\% \quad (3)$$

Суммарная вытяжка за  $n$  переходов безоправочного волочения:

$$\lambda_\Sigma = F_n / f_k = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1} \cdot \lambda_n,$$

при условии равенства частных вытяжек  $\lambda_{cp} = \lambda_i$ :

$$\lambda_\Sigma = \lambda_{cp}^n$$

Число переходов  $n$  находят путем логарифмирования последнего равенства:

$$n = \ln \lambda_\Sigma / \ln \lambda_{cp} \quad (4)$$

### 3. Напряженно-деформированное состояние

Схема главных напряжений и деформаций при безоправочном волочении труб показана на рис. 8 б, в, г. Процесс характеризуется разноименным напряженным состоянием с растягивающим напряжением в продольном направлении  $\sigma_l$  и двумя сжимающими напряжениями: радиальным  $\sigma_r$  и окружным  $\sigma_\theta$ . На внутренней поверхности трубы  $\sigma_r = 0$ . На всех этапах осаживания  $|\sigma_\theta| > |\sigma_r|$ .

Условие пластичности имеет вид:

$$\sigma_l + \sigma_\theta = \beta S_\partial, \quad (5)$$

где  $\beta$  – коэффициент Лодэ, который уменьшается от 1,15 до 1 по мере утолщения стенки трубы;

$S_\partial$  – сопротивление деформации ( $S_\partial \approx \sigma_m$ ).

Уравнение (5) показывает, что любое напряжение при волочении не может превышать величины сопротивления деформации. По мере приближения поперечного сечения трубы к выходу из волочильного канала продольное растягивающее напряжение  $\sigma_l$  возрастает и на выходе из волокна оно численно равно напряжению волочения  $\sigma_{вол}$ :

$$\sigma_l = \sigma_{вол} = \frac{P_{вол}}{f_k} < S_{\partial k} \quad (6)$$

Напряжение волочения должно быть меньше сопротивления деформации металла в его состоянии после волочения  $S_{\partial k}$ . В противном случае пластическая деформация может происходить на участке после выхода металла из волоки, что ведет к обрыву. Поэтому при волочении обязательно должно выполняться условие (6). Отношение  $S_{\partial k} / \sigma_{вол}$  называют коэффициентом запаса  $K_{зан}$ , который должен быть всегда больше единицы ( $K_{зан} > 1$ ).

Деформированное состояние трубы характеризуется деформацией растяжения  $\varepsilon_l$  в осевом направлении и деформацией сжатия в окружном  $\varepsilon_\theta$ . Знак деформации по толщине стенки трубы  $\varepsilon_r$  зависит от соотношения продольных  $\varepsilon_l$  и окружных  $\varepsilon_\theta$  напряжений.

#### 4. Методика исследования напряженного и деформированного состояния

Значения напряжений и усилий, которые могут быть вычислены для применяемых условий волочения, получают по формулам И.Л. Перлина [1], Л.Е. Альшевского [3], Е. Зибеля [3] и др. Воспользуемся формулой Е. Зибеля, как наиболее простой, в этом случае усилие волочения определяется из выражения:

$$P_{вол} = \sigma_{вол} f_k, \quad (7)$$

$$\sigma_{вол} = S_{\partial c} \left( 1 + \frac{\mu}{\sin \alpha \cos \alpha} \right) \ln \lambda, \quad (8)$$

где  $S_{\partial c}$  – среднее значение сопротивления деформации материала трубы до и после волочения ( $S_{\partial c} \approx \sigma_m$ );

$\mu$  – коэффициент трения трубы о волоку,  $\mu = 0,12 \div 0,15$ ;

$\alpha$  – полуугол конуса волоки.

Сопротивление деформации находят по кривым упрочнения ( $\varepsilon \square \sigma_\partial, \varepsilon \square \sigma_b$ ), приведенным для различных сплавов на рис. 5.

Для расчетов следует брать  $S_\partial = \sigma_m = 0,9\sigma_b$  и иметь в виду, что связь между вытяжкой и степенью деформации выражается следующим образом:  $\lambda = 1/[1 - \varepsilon]$ ,  $\varepsilon = 1 - 1/\lambda$ .

Более точные расчеты напряжения волочения могут быть произведены по формулам И.Л. Перлина:

$$\sigma_{вол} = 1,15S_{\partial c} \frac{a+1}{a} \left[ 1 - \left( \frac{d_{cp}}{D_{cp}} \right)^2 \right] + \sigma_{унр} \left( \frac{d_{cp}}{D_{cp}} \right)^2, \quad (8, а)$$

$$a = \frac{1 + f_{mp} \operatorname{ctg} \alpha}{1 - f_{mp} \operatorname{tg} \alpha} - 1,$$

где  $\sigma_{унр}$  – упругая составляющая,  $\sigma_{унр} \approx 0,1\sigma_{\partial c}$ ;

или Л.Е. Альшевского:

$$\sigma_{вол} = \beta S_{\partial c} \left\{ \frac{e^{-2f_{mp}l_n/d_{cp}}}{w-1} \left[ 1 - w \left( \frac{d_{cp}}{D_{cp}} \right)^{w-1} \right] + 1 \right\}, \quad (8, б)$$

$$w = \frac{\operatorname{tg} \alpha + f_{mp}}{(1 - f_{mp} \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha},$$

где  $\beta$  – коэффициент Лодэ,  $\beta = 1,0 \div 1,15$ ;

$l_n$  – длина калибрующего пояска,  $l_n = 2 \div 20$  мм.

## 5. Изменение толщины стенки трубы

Ввиду отсутствия оправки на внутренней поверхности трубы, металл под действием сжимающих напряжений  $\sigma_{\theta}$  и  $\sigma_r$  по закону наименьшего сопротивления потечет в направлении к оси и толщина стенки возрастет. Одновременно растягивающее напряжение  $\sigma_l$  вызывает продольную деформацию удлинения  $\varepsilon_l$ , что приводит к утонению стенки трубы.

Если это утонение больше, чем утолщение под действием напряжений  $\sigma_{\theta}$  и  $\sigma_r$  стенка утоняется и  $\varepsilon_r$  будет деформацией укорочения (рис. 8, г). При обратном соотношении стенка утолщается и  $\varepsilon_r$  будет деформацией удлинения (рис. 8, в).

При волочении тонкостенных труб ( $t_n/D_n < 0,1$ ) во всех слу-



чаях стенка трубы утолщается. Тогда из условия постоянства объема:

$$\pi D_{cp} L_H t_H = \pi d_{cp} L_K t_K,$$

$$\ln \lambda_{D_{cp}} = \ln \lambda_l + \ln \lambda_t,$$

поэтому коэффициент вытяжки следует определять показателем:

$$\lambda_{D_{cp}} = D_{cp} / d_{cp} \quad (9)$$

При определении коэффициента вытяжки по формуле (1) получаются заниженные значения. Сравнивая вытяжку, полученную по формулам (1) и (8), определяют величину ее расхождения при расчетах.

Изменение толщины стенки  $\Delta t$  учитывают, используя линейную зависимость утолщения (утонения) от обжатия по диаметру  $\Delta D$ :

$$\Delta D = D_H - d_K, \quad (10)$$

$$\Delta t = K_{ym} \Delta D = (D_H - d_K) K_{ym}, \quad (11)$$

где  $K_{ym}$  – коэффициент утолщения,  $K_{ym} \approx 0,02$  (мм/мм).

Отсюда следует связь начальной толщины стенки  $t_H$  с конечной (требуемой) толщиной  $t_K$ :

$$t_K = t_H + \Delta t = t_H + K_{ym} \Delta D, \quad (12)$$

$$t_H = t_K - K_{ym} \Delta D \quad (12, a)$$

Более точное значение  $\Delta t$  определяется по формуле Шевакина-Ламина [2]:

$$\frac{\Delta t}{t_H} = \frac{1}{6} \left[ 3 - 10 \left( \frac{t_H}{D_H} \right)^2 - 13 \frac{t_H}{D_H} \right] \frac{\Delta D}{D_H - t_H} \quad (13)$$

В связи с тем, что при прессовании и прокатке на станах ХПТ невозможно получение трубной заготовки без поперечной разностенности, вопрос устранения разностенности при волочении имеет важное значение. Различают абсолютную разностенность  $\Delta t_p$ :

$$\Delta t_p = t_{\max} - t_{\min} , \quad (14)$$

и относительная разностенность:

$$y = \Delta t_p / t_{cp} , \quad (15)$$

$$t_{cp} = (t_{\max} + t_{\min}) / 2 ,$$

где  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$  – максимальная и минимальная толщины стенки; трубы в поперечном сечении;

$t_{cp}$  – средняя толщина в поперечном сечении.

Безоправочное волочение уменьшает разностенность труб.

### **Оборудование, инструмент, материалы**

1. Волочильный стан усилием 20кН (волочильное устройство для испытательной машины ЦДМУ-10).
2. Конические волокни.
3. Трубные заготовки из алюминиевых сплавов.
4. Машинное масло (смазка), кисточка.
5. Микрометр, штангенциркуль.

### **Порядок выполнения работы**

1. На волочильном стане требуется получить трубу требуемого диаметра.
2. Определить размеры трубной заготовки с учетом длины захватки и возможного коэффициента вытяжки  $\lambda_D = 1,3 \div 1,5$ .
3. Подобрать размеры конической волокни.
4. Произвести замеры наружного диаметра и толщины стенки заготовки в 3-4 точках.
5. С помощью штангенциркуля на наружную поверхность заготовки нанести две риски на расстоянии 100 мм.
6. На волочильном стане (волочильном устройстве для испытательной машины ЦДМУ-10) произвести волочение трубной заготовки с замером силы волочения. Перед волочением рабочий канал волокни смазать машинным маслом.
7. Произвести замеры наружного диаметра, толщины стенки и расстояния между рисками на готовой трубе.
8. Определить аналитически усилие волочения трубы по фор-

мулам (7)-(8) и сравнить его с экспериментально измеренным. Определить абсолютную и относительную погрешность определения усилия волочения.

Вычислить усилия волочения по формуле (7) с использованием формул (8, а) и (8, б). Сравнить расчетные значения усилия волочения, записать расхождения.

9. Используя результаты замеров подсчитать коэффициент вытяжки по диаметру, толщине стенки, площади. Определить коэффициент вытяжки по соотношению длин между рисками до и после волочения, оценить расчетные формулы для определения коэффициента вытяжки по среднему диаметру и по площади. Сделать выводы.

10. Рассчитать утолщение стенки трубы по формулам (11), а также по уточненной формуле (13), и сравнить с экспериментальными результатами. Сделать вывод.

11. Определить абсолютную и относительную разнотолщинность до и после волочения. Для определения разнотолщинности промерить толщину стенки на образце кольцевого сечения, отрезанного от трубы, в 8-10 точках.

### **Содержание отчета**

1. Эскиз трубной заготовки и разреза волокна.
2. Схема процесса безправочного волочения труб.
3. Необходимые расчетные формулы и результаты расчетов.
4. Выводы по проведенным исследованиям.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие показатели деформации используют при расчетах процесса волочения труб?

2. Какие напряженное и деформированное состояния характерны для безправочного волочения труб?

3. Когда при безправочном волочении труб наблюдается утолщение и когда утонение стенки трубы?

4. Определите длину трубной заготовки, если длина готовой трубы 2 м, коэффициент вытяжки  $\lambda_F = 1,41$ .

5. Произведением каких двух сомножителей является коэффициент вытяжки при волочении трубы?

6. Как рассчитать количество переходов безправочного волочения трубы?

7. Запишите условие пластичности для безправочного волочения трубы и поясните, почему в этом процессе ни одно из действующих напряжений не может превышать сопротивления деформации  $S_{\delta}$ .

8. Найдите связь между относительным удлинением и относительным обжатием.

9. Почему труба после волочения оказалась нагретой?

10. Перечислите основные операции технологии безправочного волочения труб.

### **Библиографический список**

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.

2. Шевакин Ю.Ф. и др. Известия вузов. Черная металлургия, 1964, № 5. – с.104.

3. Шевакин Ю.Ф., Рытиков А.М., Сейданов Ф.С. Производство труб из цветных металлов (технологические расчеты). – М.: Металлургиздат, 1963. – 355 с.

## **ПРЕССОВАНИЕ ТРУБ И ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ.**

**Цель работы:** исследование напряжённо деформированного состояния заготовки в процессе прессования; привитие практических навыков работы в средах твердотельного моделирования.

### ***Теоретические сведения***

Наиболее простым и распространенным способом получения труб и полых профилей является так называемый трубный способ. Он заключается в том, что отверстие в профиле получается в результате обтекания металлом специальной профилирующей оправки. При этом способе используются полые заготовки. Отверстие в заготовке получают прошивкой или сверлением сплошной заготовки. Прошивка осуществляется на специальных прошивных станах или непосредственно на прессе перед прессованием (если пресс оборудован системой прошивки). Оправка может устанавливаться в пресс-штемпеле либо в иглодержателе. В соответствии с этим различают прессование с подвижной и неподвижной оправкой. Прессование с неподвижной оправкой имеет существенные недостатки по сравнению со схемой с подвижной оправкой.

1. Вследствие большой величины поверхности контакта оправки с деформируемым металлом возникают значительные силы трения, вызывающие интенсивный разогрев прессуемого металла, что при увеличении скорости истечения приводит к появлению трещин на внутренней поверхности труб. По этому скорости истечения при прессовании с неподвижной оправкой ниже в 1,5...2 раза, чем с подвижной.

2. Резко повышаются напряжения в оправках и значительно снижается их стойкость.
3. Увеличивается усилие прессования.

При прессовании с подвижной оправкой воздействие сил трения значительно снижается. Это связано с тем, что оправка движется поступательно в направлении прессования. Таким образом, для разработки усовершенствованных технологических схем прессования труб и полых профилей следует использовать подвижную оправку. Основные технологические операции при прессовании труб аналогичны операциям при прессовании профилей.

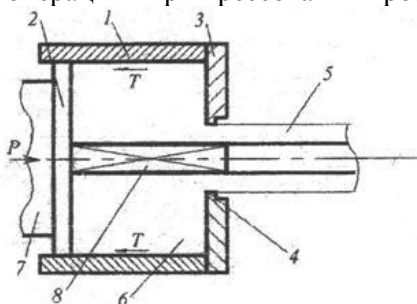


Рисунок 18 – Прямой метод прессования трубы

- |                      |                  |
|----------------------|------------------|
| 1.Контейнер          | 5.Готовая труба  |
| 2.пресс-шайба        | 6.Заготовка      |
| 3.Матрица            | 7.пресс-штемпель |
| 4.Калибрующий поясок | 8.игла           |


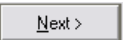
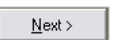

### Схема прямого прессования трубы.

Металл заготовки 6 выдавливается из контейнера 1 так, что пресс-шайба 2 перемещается пресс-штемпелем 7 относительно стенок контейнера. Относительно контейнера перемещается и заготовка и на поверхности заготовки появляются реактивные силы


трения  $T$ , затрудняющие ее перемещение. В этом методе направление течения металла совпадает с направлением движения пресс-штемпеля.


## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Запустите Deform-3D через ярлык на рабочем столе или меню кнопки «ПУСК».

Создайте новую задачу кнопкой , нажмите кнопку , в следующем окне , введите имя своей лабораторной работы (фамилия\_группа\_1) и затем нажмите .

### Создание моделей инструмента и заготовки

Добавьте в дерево объектов верхний и нижний инструменты кнопкой , которая находится под деревом объектов.

Нам понадобятся следующие элементы: Заготовка, контейнер, игла, матрица, пресс-шайба. Поскольку заготовка создается в новой задаче по умолчанию необходимо будет создать лишь 4 новых объекта путем нажатия на кнопку .


Переименуйте созданные объекты следующим образом:

- Top Die -> Needle (игла)
- Bottom die -> Press (пресс-шайба)

- Object 4 -> Matrix (матрица)
- Object 5 -> Container (контейнер)

Это упростит дальнейшую работу с элементами оснастки.

Приступим к созданию геометрии. Выберите иглу (Needle) в

дереве объектов и перейдите к закладке геометрия  .

Мы создаем иглу длиной  $l = 50mm$  и диаметром  $d = 12mm$ . Для создания всей оснастки мы будем пользоваться геометрическими примитивами. Нажмите кнопку геометрические примитивы в закладке геометрия. Из 3-х видов примитивов выберите 2-й (цилиндр) и задайте ему указанные параметры. После задания параметров нажмите кнопку Create (создать)

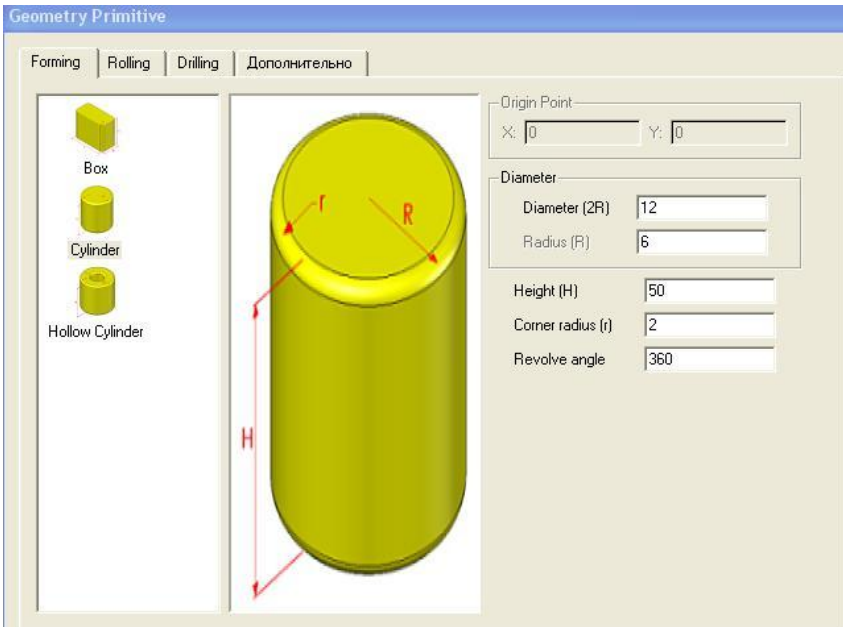


Рисунок 19 – Окно параметров геометрии иглы



Следующей создадим пресс-шайбу. Выберите объект Press в дереве объектов и вновь перейдите к закладке Геометрия/геометрические примитивы. Вновь выберите цилиндр и задайте ему параметры как указано на рис.20.

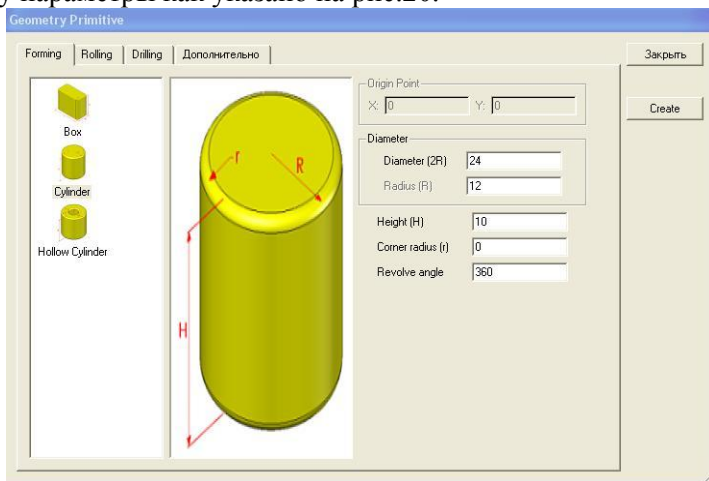


Рисунок 20 – Окно параметров геометрии пресс-шайбы

Перейдем к созданию матрицы. Выберите объект Matrix в дереве объектов, и перейдите к закладке Геометрия/геометрические примитивы. Выберите последний вариант примитива Hollow cylinder (цилиндр с отверстием). В данном случае необходимо указать величину скругления на внутренних стенках матрицы дабы снизить трение и вероятность разрыва заготовки во время прессования

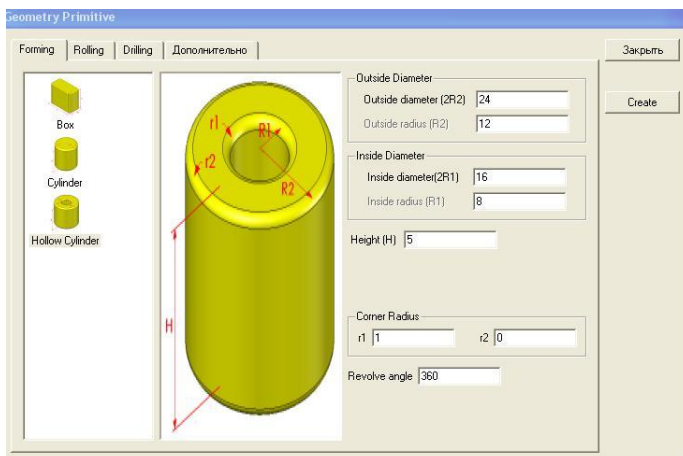


Рисунок 21 – Окно параметров геометрии матрицы

Последним элементом оснастки создаем контейнер. Выберите объект Container в дереве объектов, и перейдите к закладке Геометрия/геометрические примитивы. Выберите последний вариант примитива Hollow cylinder. Задайте параметры как указано на рис.

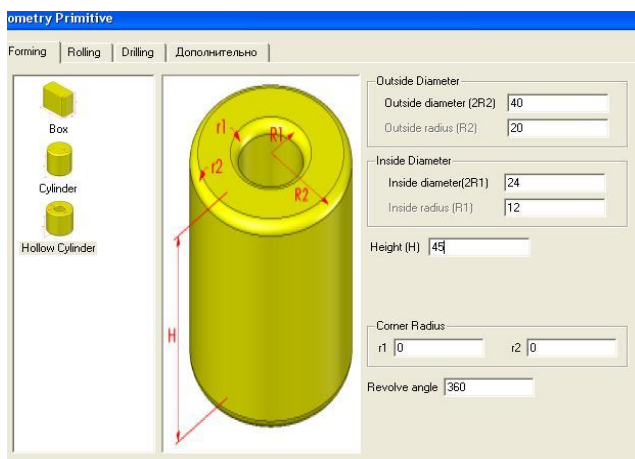


Рисунок 22 – Окно параметров геометрии контейнера

Созданная но еще не спозиционированная оснастка будет выглядеть следующим образом.

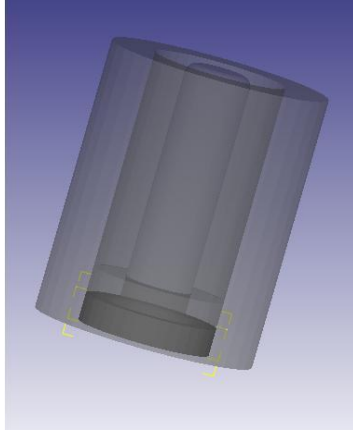


Рисунок 23 – Прессовая оснастка

### **Создание геометрии заготовки и сетки конечных элементов.**

Выберите в дереве объектов вашу заготовку (Workpiece). Перейдите к пункту Геометрия/геометрические примитивы и создайте третий вид примитива, полый цилиндр со следующими параметрами

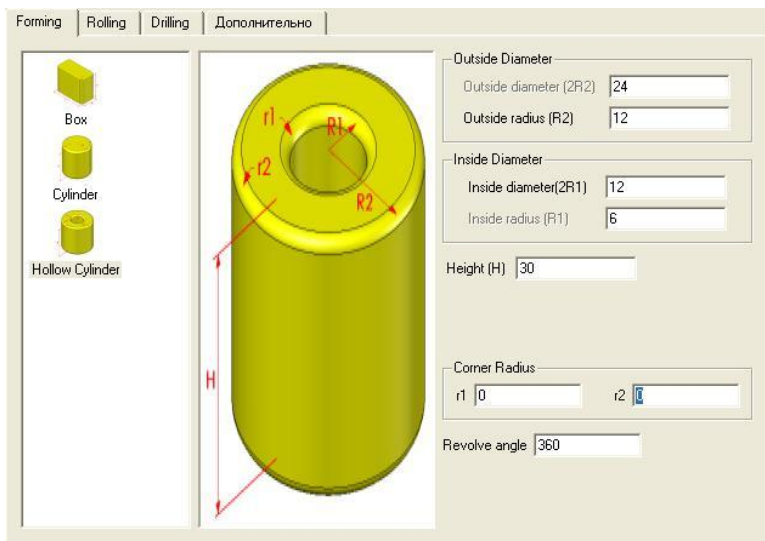

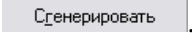



Рисунок 24 – Создание сетки конечных элементов

После задания геометрии заготовки перейдите к закладке  Сетка. В закладке количество элементов установите значение 30000 элементов и нажмите .

### Задание материала заготовки.

Выберите в дереве объектов заготовку (Workpiece), нажмите кнопку  Общее, откроется основное окно объекта, показанное на рисунке.

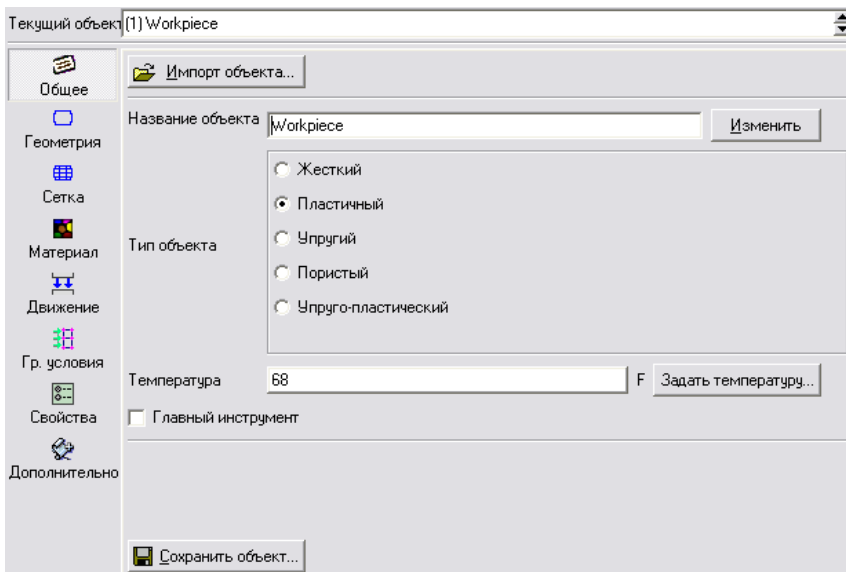


Рисунок 25 - Задание материала заготовки

Убедитесь что для заготовки установлены свойства пластического объекта.

Как только основные параметры заданы – нажмите кнопку



, откроется окно «материал», показанное на рис. 26.

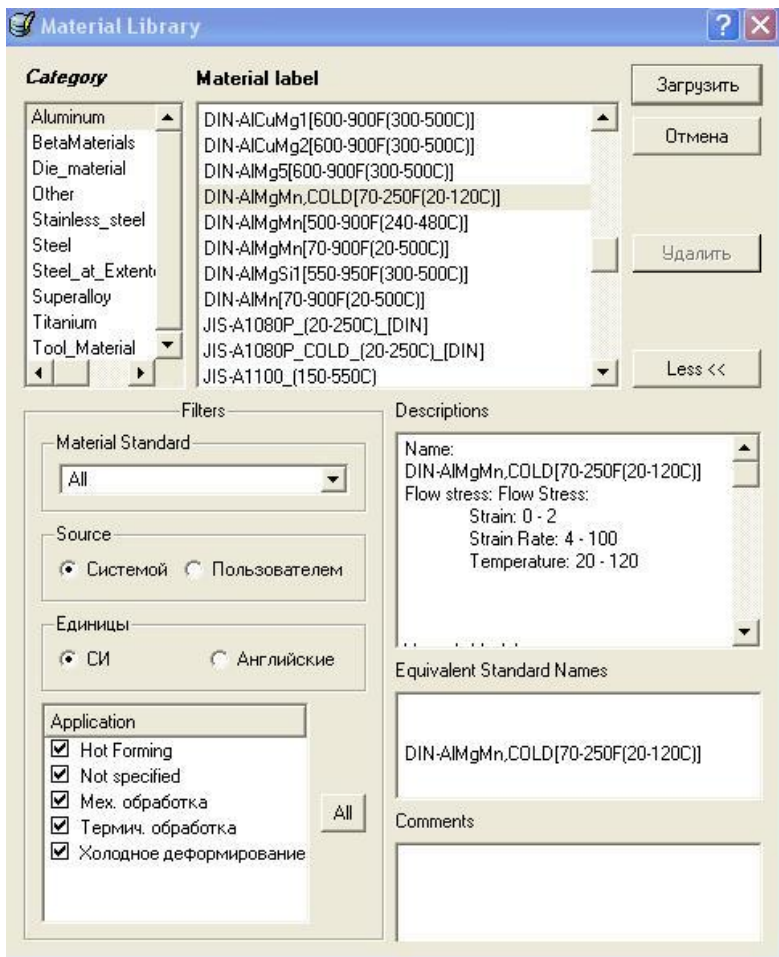



Рисунок 26 - Окно «Материал»

В том Aluminum выберите DIN-AlMgMn,COLD[70-250F(20-120C)] (АД31) и задайте материал кнопкой загрузить.

## Позиционирование.

Нажмите на кнопку позиционирование объектов в верхней панели закладок . Перейдите к закладке Интерференция. Первым шагом будет интерференция заготовки относительно пресс шайбы. Установите параметры смещения как указано на рис. И нажмите применить

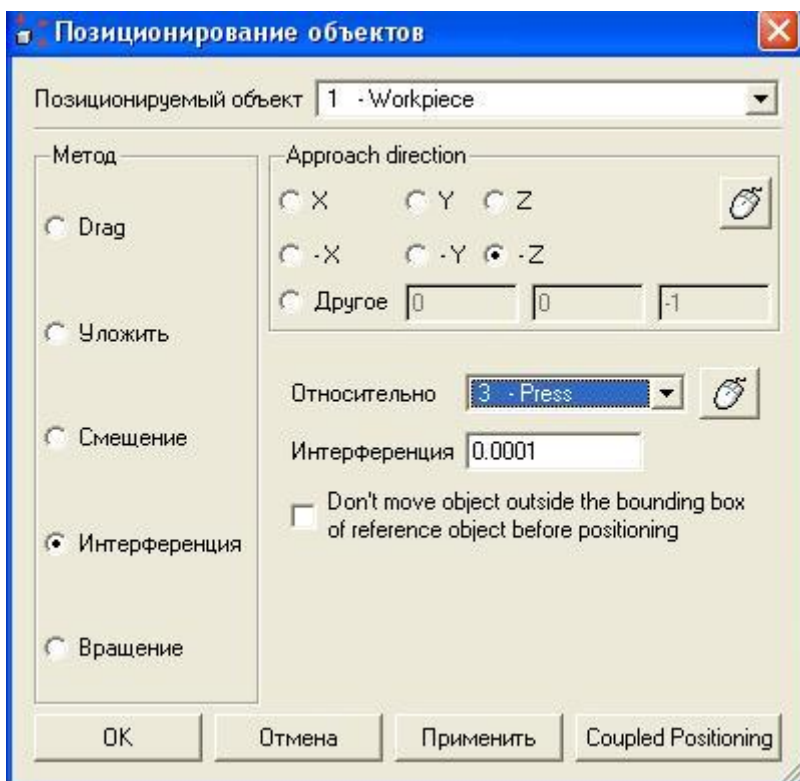


Рисунок 27 – Окно выбора параметров позиционирования объектов

Следующим шагом разместим матрицу относительно заготовки. Установите параметры интерференции как указано на рис.28.

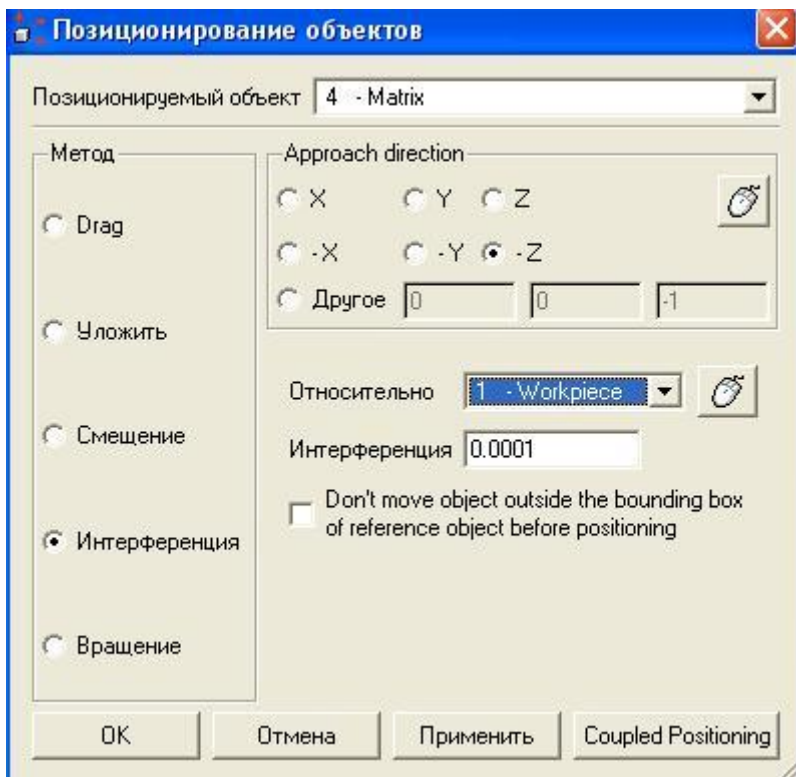


Рисунок 28 – Размещение матрицы относительно заготовки

После этого нажмите ок чтобы изменения в позиционировании сохранились.



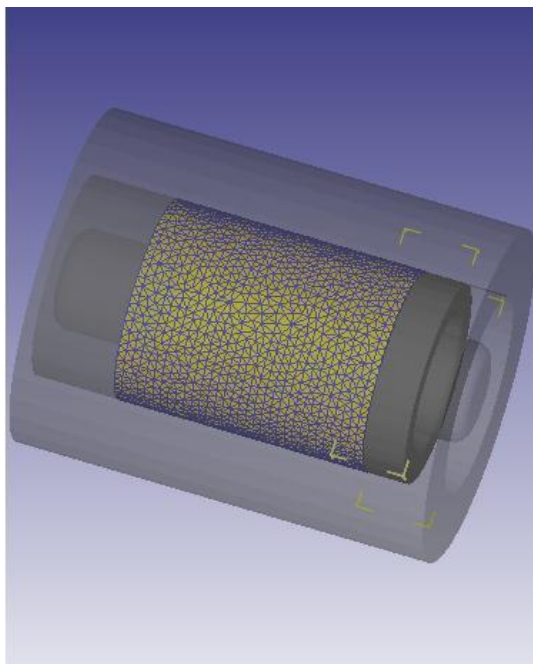
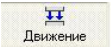


Рисунок 29 – Конечная сборка прессового узла

### **Задание движения.**

Выделите в дереве объектов матрицу (Matrix) и перейдите во вкладку движение  Движение. Нам необходимо задать движение по оси, в данном случае ось Z. Скорость движения инструмента будет иметь значение 1мм в секунду. Затем таким же образом выберите в дереве объектов пресс-шайбу (press) и точно так же задайте ей параметры движения.

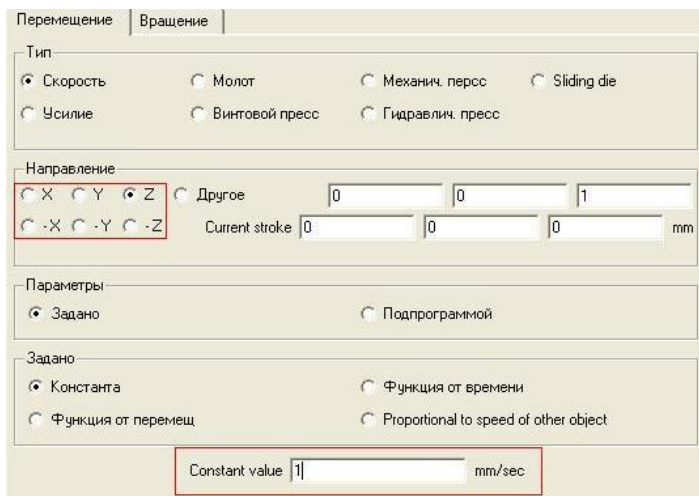


Рисунок 30 – Задание движения объектов

### Назначение связи между объектами.

Для определения связи между объектами нажмите кнопку



. Так как никакие отношения в настоящее время не определены, появится сообщение, спрашивающее, хотите ли вы, чтобы система добавила отношения по умолчанию за вас.

Нажмите кнопку

Окно INTER-ОБЪЕКТ появится с уже определёнными четырьмя отношениями. Отношения DEFORM, определяются относительно Главного и Подчинённого объектов. В этом расчете, одна деформируемая заготовка деформируется между четырьмя жёсткими инструментами. Жесткие инструменты определены как главные объекты, а заготовка определена как Подчинённый объект.

Несколько свойств (главным образом трение и коэффициент теплопроводности) могут быть определены для каждого из этих отношений. Так как в этом расчете не будет приниматься во внимание никакой передачи температуры, единственное свойство, которое должно быть определено – трение.

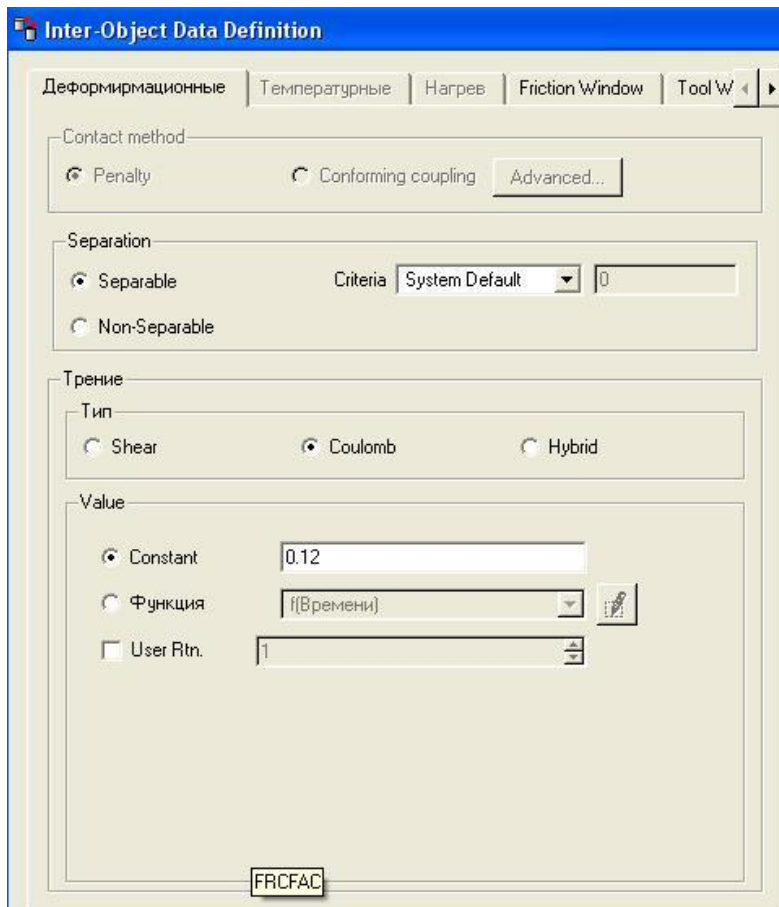
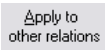


Рисунок 31 - Окно «Inter-Object Data Definition»

Выберите коэффициент трения 0.12. Теперь задайте закон трения по Зибелю (Constant Tau).


Нажмите кнопку Close для возврата в главное меню окна INTER-OBJECT.

Теперь, когда отношения между верхним инструментом и заготовкой определены, необходимо определить отношения между заготовкой и остальным инструментом.

Так как коэффициент трения между заготовкой и всеми инструментами одинаков, кнопкой  можно скопировать свойства первого отношения во все остальные. После этого, оба отношения будут иметь коэффициент трения 0,12.

Как только отношения определены, должен быть создан контакт между объектами. Когда контакт создан, любые узлы на деформируемом (подчинённом) объекте, совпадающие с определённой точностью с инструментом переставляются на поверхность инструмента.

Перед созданием контакта необходимо определить разумное значение точности. Слишком большое значение точности поместит слишком много узлов в контакт с поверхностью инструмента, которые могут исказить сетку заготовки.

Слишком малое значение точности может привести к тому, что узлы находящиеся на линии контакта не попадут в контакт и он не будет создан. DEFORM может определить значение точности с помощью кнопки  в секции «погрешность», которая вычисляет

значение точности и автоматически вводит его в программу. Когда значение точности определено, нажмите  для создания контакта между объектами.

Контакт будет создан между заготовкой и обоими инструментами, и этот контакт будет показан в окне Экран, изображенном на рис.32, как цветные точки на поверхностях заготовки.

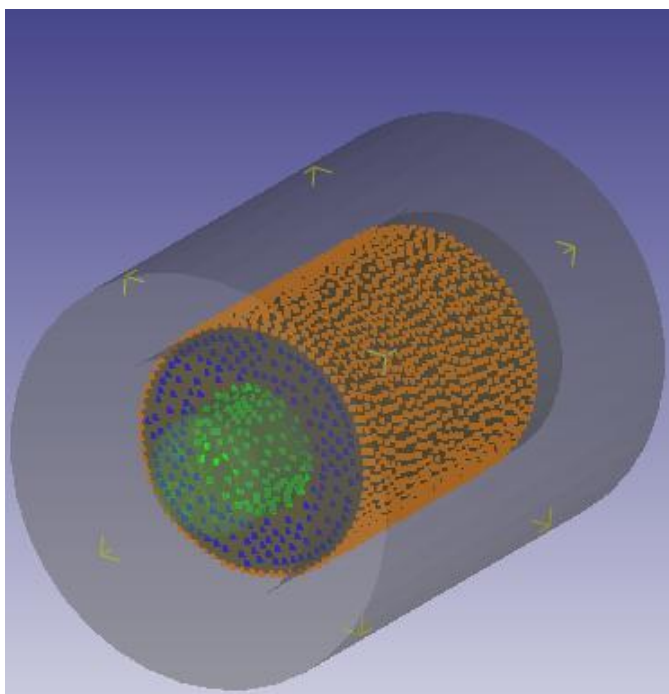
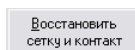
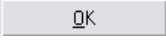


Рисунок 32 – Создание контакта между заготовкой и инструментом


Замечание: если задано слишком большое значение точности при создании контакта и сетка заготовки разрушена, кнопка





может отменить создание контакта.

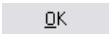
Когда контакт создан нажмите на кнопку  закроет окно «взаимодействие объектов», показанное на рисунке 27.

### Установка шагов расчета.

Нажмите кнопку Simulation controls  в верхней панели закладок.

Нажмите  Основное и убедитесь, что единицы измерения установлены в СИ.

Нажмите  Шаг для просмотра управления временными шагами. Убедитесь, что номер начального шага установлен как -1. Отрицательный знак говорит о том, что это шаг, записанный пре-процессором (все шаги решения записанные в базу данных в процессе расчета будут положительны). Установите число шагов расчета 100. Установите приращение шага при сохранении 5 («через сколько шагов сохранять»). Каждый пятый шаг решения будет записан в базу данных. Установите главный инструмент Top Die. Обычно главным инструментом является тот, который перемещается при расчете, и он используется для контроля шага и остановки.

Давайте установим размер шага как 0,3 мм/шаг, а число шагов 75. Нажмите кнопку  когда закончите, чтобы закрыть окно управления расчётом.

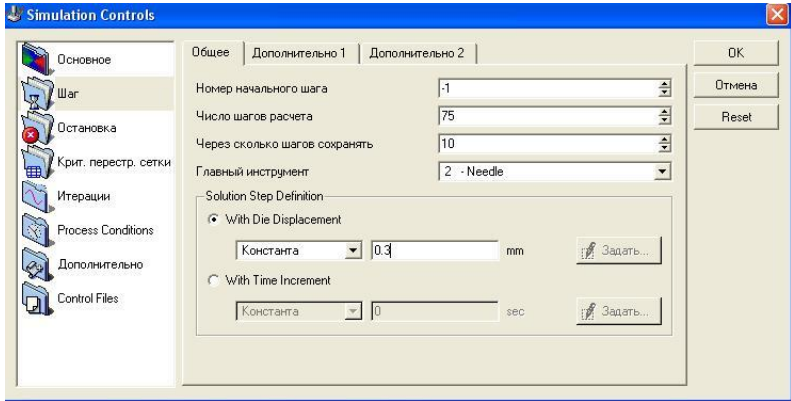



Рисунок 33 - Окно «Настройки задачи»

### Генерация базы данных.

Все условия для начала расчета заданы, поэтому начинайте генерацию базы данных нажав кнопку , нажмите кнопку **Проверить**, когда появится сообщение **База данных может быть сгенерирована** нажмите кнопку **Сгенерировать** и начнётся генерация базы данных. Окно генерации базы данных показано на рисунке 30.

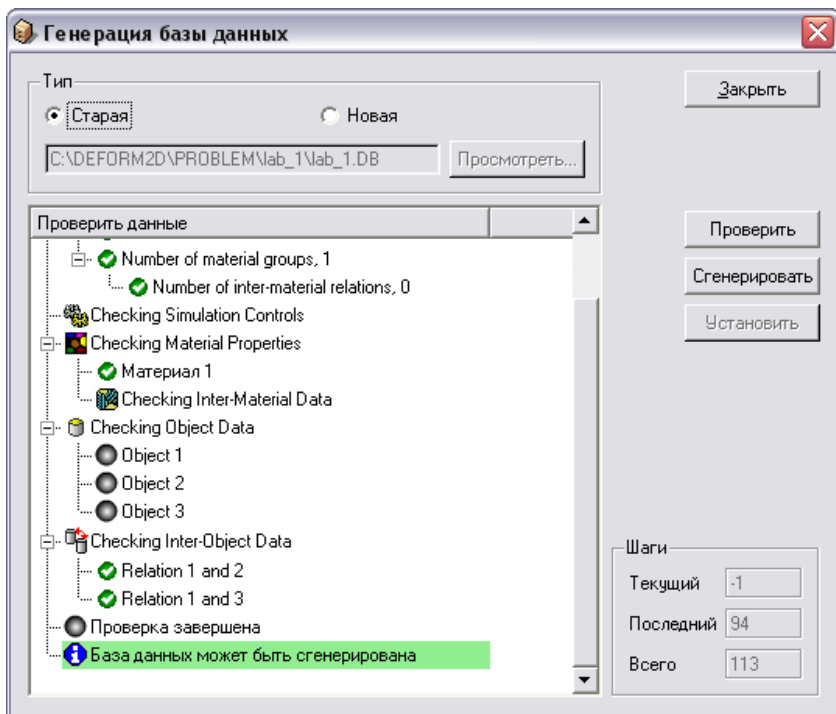




Рисунок 34 - Окно «Генерация базы данных»

При появлении сообщения  «Запись базы данных завершена», можете закрыть Deform3D – Preprocessor.

### Запуск расчета.

Выберите текущую базу данных и запустите расчёт кнопкой **Старт** или .

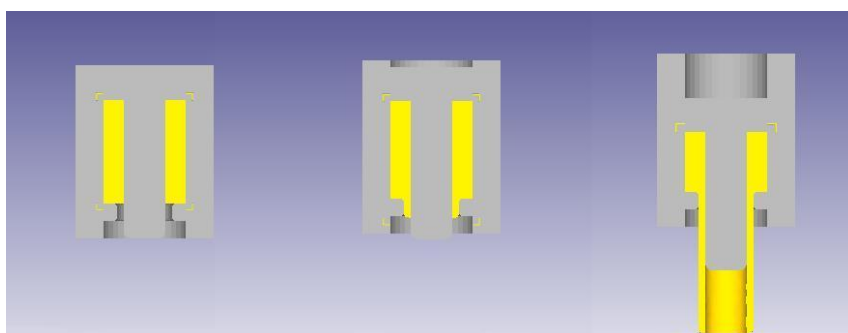
Дождитесь появления в окне сообщений строки  
 \*\*\*\*\*Message\*\*\*\*\*  
 Simulation is completed and stopped at the user specified time step .



После расчета выделяем свою базу данных в дереве файлов и запускаем постпроцессор кнопкой в правом нижнем углу окна.

### Просмотр результатов.

Посмотрите поэтапно процесс прессования. Определите моменты перехода между стадиями прессования. Стадии процесса прессования представлены на рис.35.




1

2

3

Рисунок 35 – Три стадии прессования: 1.Сборка оснастки, 2.Осадка, 3. Установившийся процесс

Для того чтобы рассмотреть данный процесс в разрезе нажмите на кнопку разрез (Slice)  в верхней панели закладок. Откроется меню разреза. Затем нажмите ЛКМ примерно на центр иглы и вы получите разрез. После этого нажмите кнопку ОК.

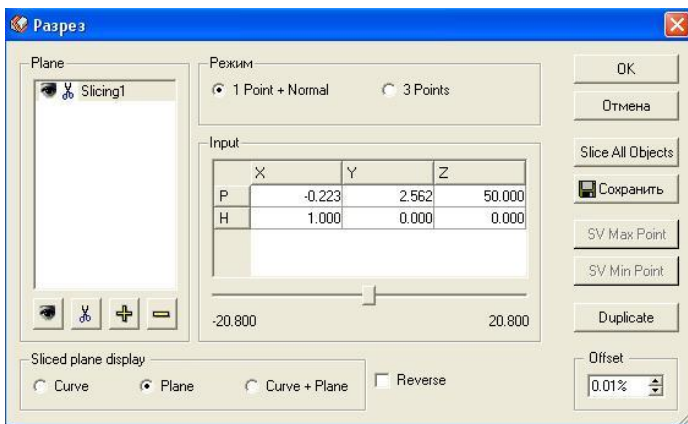
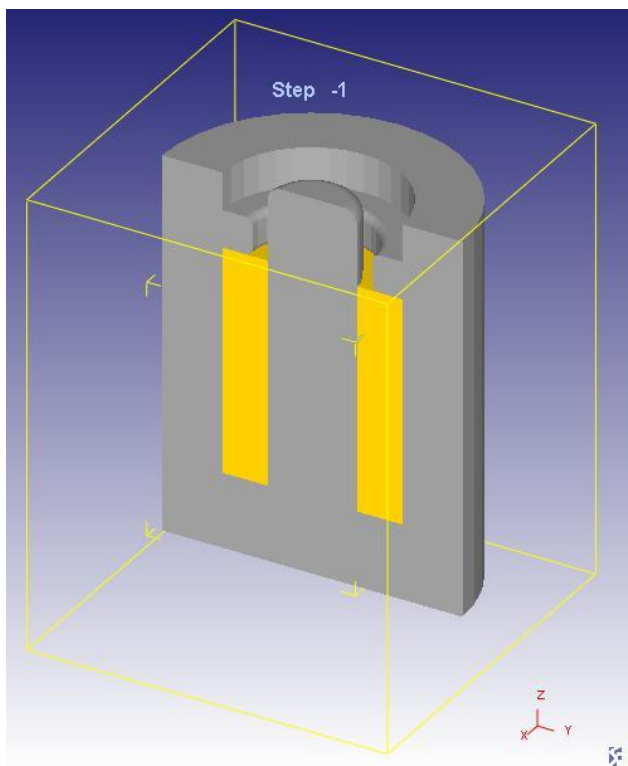



Рисунок 36 – Создание разреза



## Рисунок 37 – Продольный разрез прессового контейнера

Для построения индикаторной диаграммы нажмите кнопку , откроется окно построения графиков, которое изображено на рис.38. Выберите только пресс шайбу (press).

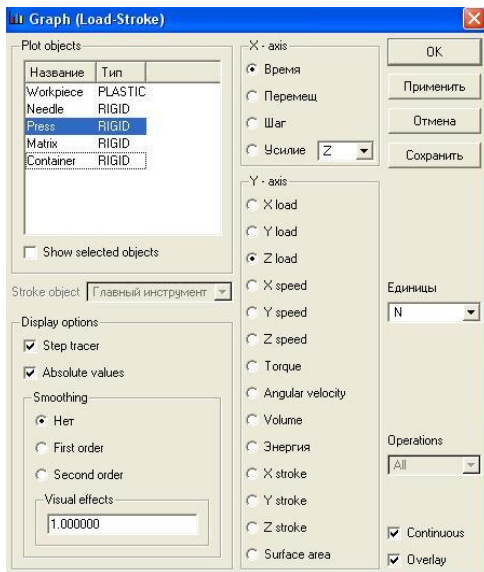


Рисунок 38 - Окно построения графиков «Graph(Load-Stroke)»  
В основном окне появится индикаторная диаграмма, изображенная на рисунке.

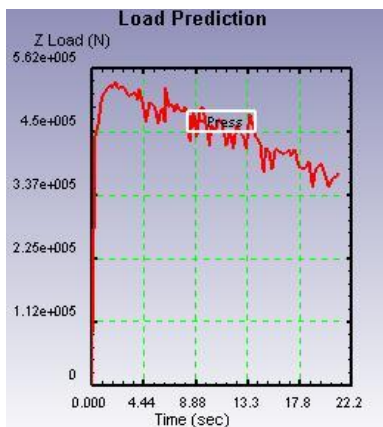


Рисунок 39 - Индикаторная диаграмма

Когда вы посмотрели графический результат, его можно скрыть, для этого наведите на него курсором, нажмите правую кнопку мыши и выберите «скрыть график» (hide). Обратите внимание на график усилия перемещения, на его характер. Приблизительно на 5-7м шаге график достигает своего пика, а затем идет на спад. Связано это с тем что изначально нам необходимо преодолеть область упругих деформаций и начать пластическое течение в металле. После того как пластическое течение в металле заготовки началось, график начинает идти на спад. С каждым шагом значение усилия становится все меньше. Связано это с тем что объем металла контактирующего с оснасткой, а следовательно и сопротивление трения с каждым шагом уменьшается. Поэтому и уменьшается усилие прессования.

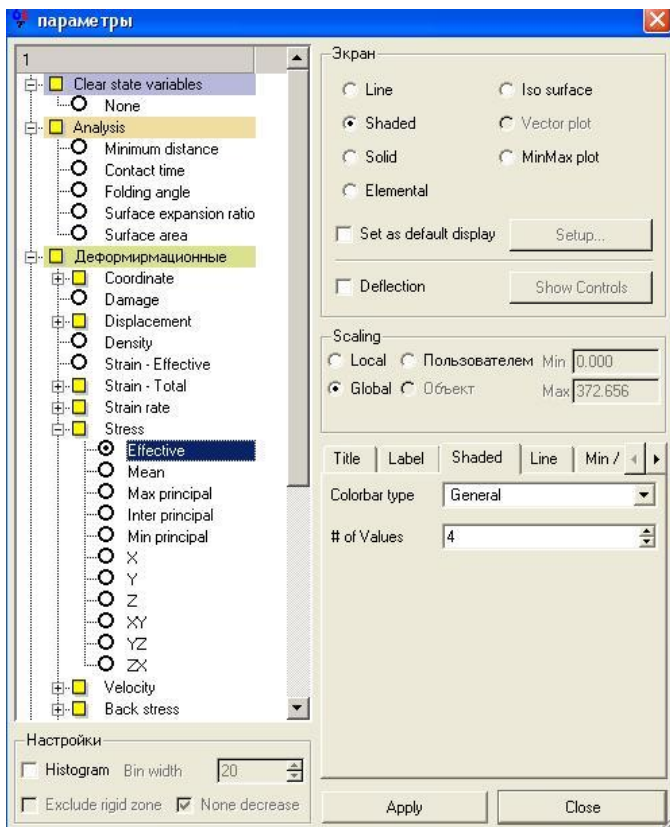




Рисунок 40 – Окно режимов отображение объектов

Сделайте видимым только заготовку. Выберите ее в дереве объектов и нажмите кнопку Режим одиночного объекта (Single object mode) . Затем в верхней панели инструментов нажмите на кнопку Параметры . Вам откроется большое меню. Выберите закладку Stress(напряжение), а в ней закладку Effective. После чего нажмите кнопку принять(Apply).

Вы увидите как распределяются внутренние напряжения в заготовке в каждом шаге процесса прессования.

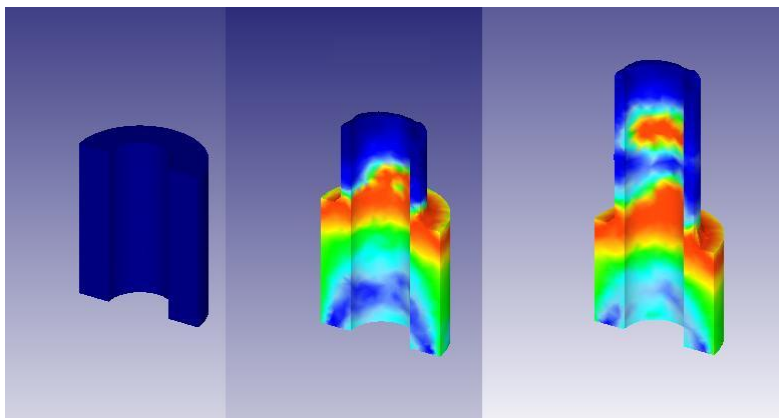


Рисунок 41 – Картина распределения внутренних напряжений в заготовке

Если вы хотите вернуться к стандартному просмотру процесса, т.е. избавиться от отображения распределенных напряжений и разреза выберите заготовку в дереве объектов. В подразделе заготовки вы увидите 4 параметра: Mesh, Folding, StateVar, Slice.

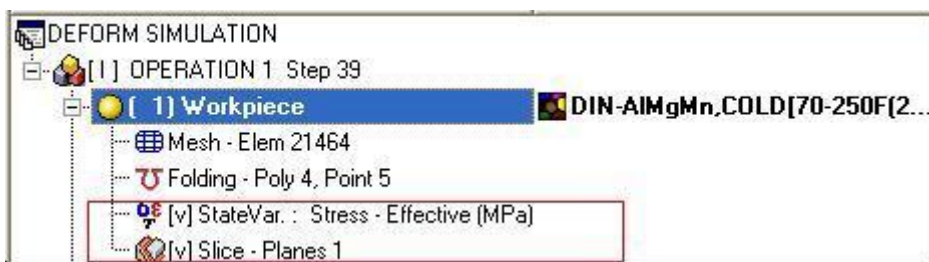


Рисунок 42 – Окно дерево объектов

Кликните правой кнопкой мыши на параметр StateVar и в открывшемся окне на кнопку скрыть (Hide state variable)

Hide state variable

1. Тоже самое повторите с параметром Slice.

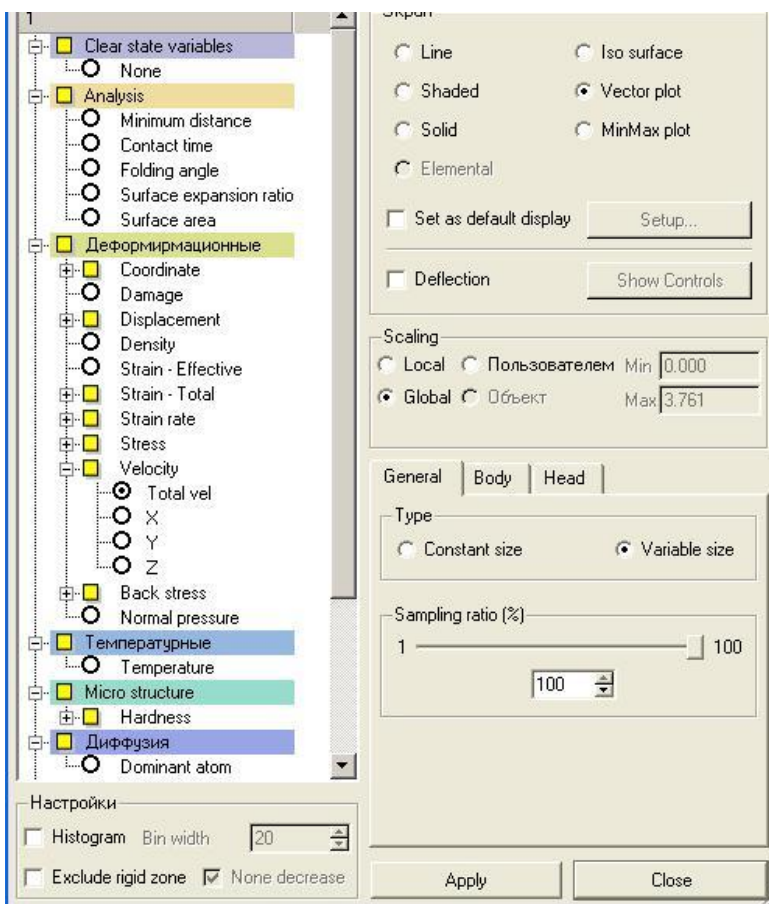



Рисунок 43 - Окно режимов отображение объектов

Чтобы увидеть как происходит перемещение металла в слитке в период прессования, постройте векторную диаграмму скоростей течения. Для этого кнопкой  откройте окно построения диаграмм, и в разделе Скорости (Velocity) поставьте галочку напротив Основных скоростей (Total Vel). Справа от списка построений есть список отображения зависимостей, поставьте галочку на

против векторного отображения (Vector Plot). Нажмите  и . Теперь вы можете увидеть, как изменяется скорость движения отдельных областей заготовки за весь период прессования.

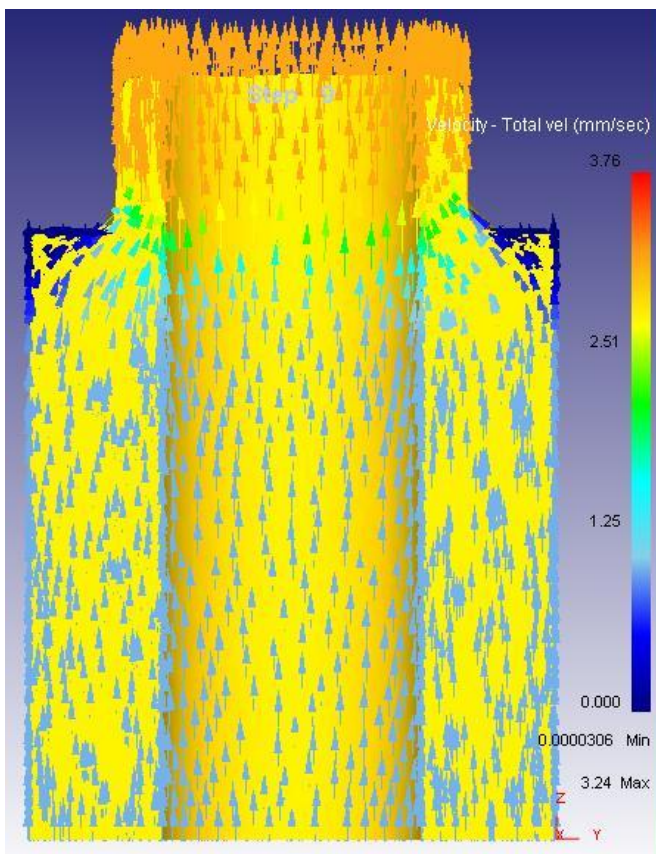


Рисунок 44 – Картина изменения скорости движения отдельных областей заготовки за весь период прессования.



## Приложения

Приложение 1 Образец бланка отчета (см. также с. 49)

Лаборатория кафедры "Обработка металлов давлением"

### ОТЧЕТ

Работа № \_\_\_\_\_  
Студент \_\_\_\_\_  
Факультет \_\_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_\_  
Дата \_\_\_\_\_

#### НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: \_\_\_\_\_

#### ПЕРЕЧЕНЬ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ (с указанием марки, типа, системы, класса точности)

1 \_\_\_\_\_  
2 \_\_\_\_\_  
3 \_\_\_\_\_  
4 \_\_\_\_\_  
5 \_\_\_\_\_

#### СХЕМА УСТАНОВКИ



Работа зачтена \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

*Подпись студента* \_\_\_\_\_

