



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01

Факультет

Е

Оружие и системы вооружения

шифр

наименование

Кафедра

Е4

Высокоэнергетические устройства автоматических систем

шифр

наименование

Дисциплина

## ОТЧЁТ по НИРС

### Исследование напряженно-деформированного состояния цилиндрических заготовок при радиальном обжатии

Выполнил:

студент гр. Е1М31

Тягин А.С.

Проверил:

Нестеров Н.И.

Дата сдачи:

г. Санкт-Петербург,

2018

## Оглавление

1 Постановка задачи.....	3
1.1 Характеристика детали. Описание процесса .....	3
1.2 Исходная заготовка .....	4
2 Исследование процесса выдавливания методом компьютерного моделирования DEFORM – 3D.....	6
2.1 Исходные данные .....	6
2.1 Результаты моделирования.....	8
Заготовка №1 .....	8
Заготовка №2 .....	11
Заготовка №3 .....	13
Заготовка №4 .....	16
Заготовка №5 .....	18
Заготовка №6 .....	21
Заготовка №7 .....	23
Заготовка №8 .....	26
Заготовка №9 .....	28
ВЫВОДЫ.....	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	33

## 1 Постановка задачи

### 1.1 Характеристика детали. Описание процесса

Предмет исследования – цилиндрическая заготовка.

Процесс выдавливания состоит в уменьшении поперечного сечения заготовки, путем продавливание ее через коническую матрицу.

В ходе моделирования было использовано 3 матрицы.

На рисунке 1 изображен эскизы матриц.

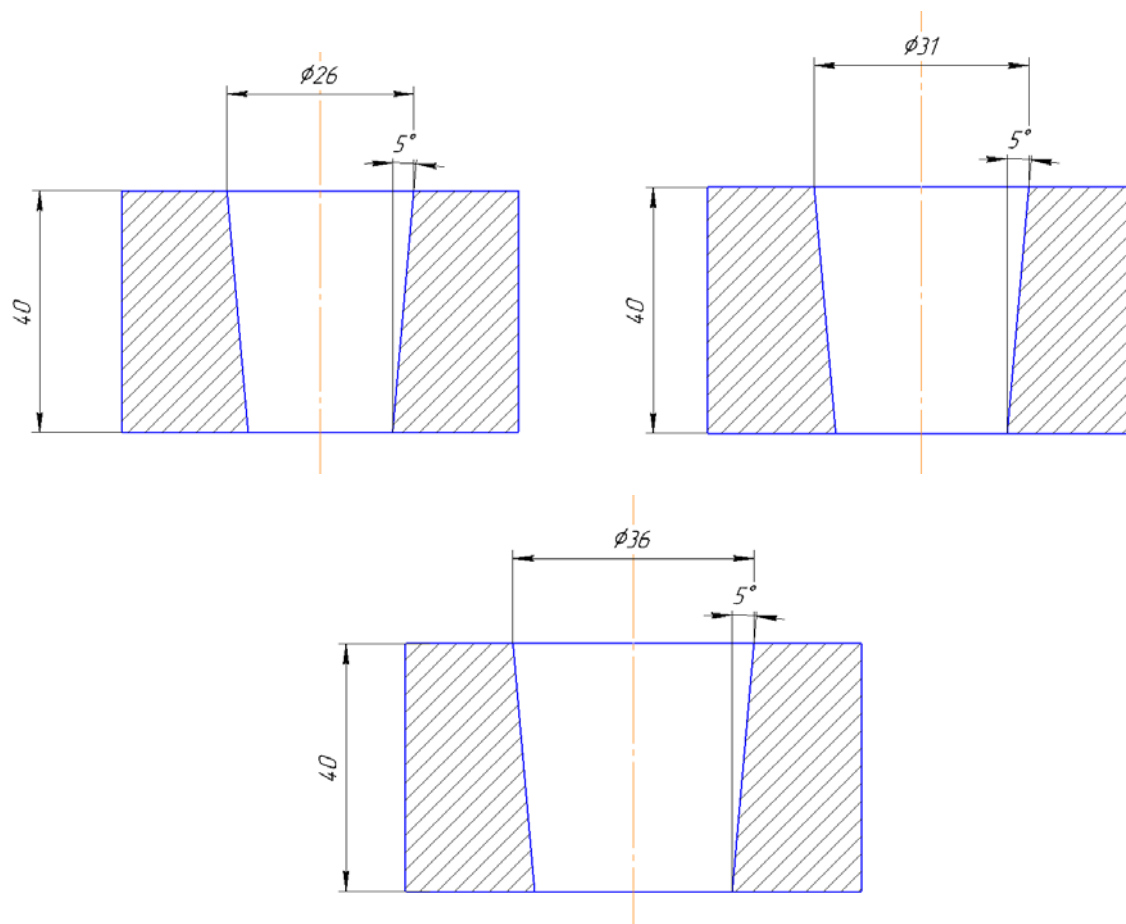


Рисунок 1 – Эскизы матриц радиального обжатия

## 1.2 Исходная заготовка

Исходная заготовка осесимметричная, тело вращения, с отверстием по центру, имеющая усечённое основание.

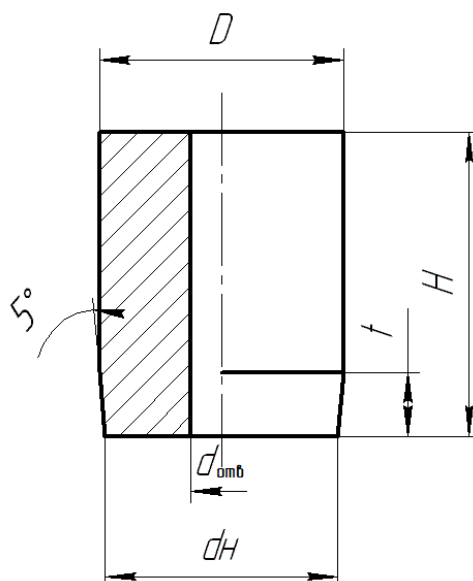


Рисунок 3 – Заготовка для радиального обжатия

В таблице 1 приведены размеры исходной заготовки.

Таблица 1 – Размеры цилиндрических заготовок

№ заготовки	H, мм	D, мм	d <sub>н</sub> , мм	d <sub>отв</sub> , мм	t, мм
1	35,00	25	23	3	10
2	34,85	24,6	22,85	4	10
3	34,80	25	23	5	10
4	34,80	30	28	3	10
5	34,70	30	28	4	10
6	34,80	30	28	5	10
7	35,00	35	33	3	10
8	34,75	35	33	4	10
9	34,80	34,9	33	5	10

Химический состав материала стали У10А представлен в таблице 2, механические свойства – в таблице 3.

Таблица 2 – Химический состав стали У10А в % [3]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Fe	Cu
0,96 - 1,03	0,17 - 0,33	0,17 - 0,28	до 0,2	до 0,018	до 0,025	до 0,2	~97	до 0,2

Использование стали У10А в промышленности: инструмент, работающий в условиях, не вызывающих разогрева режущей кромки: метчики ручные, рашпили, надфили, пилы для обработки древесины, матрицы для холодной штамповки, гладкие калибры, топоры [3].

Таблица 3 – Механические характеристики стали У10А [3]

$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\varepsilon_{iy}$	$\varepsilon_{ip}$	$\sigma_{iy}$ , МПа	$\sigma_{ip}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	НВ, МПа
605	325	0,174	0,800	725	940	0,18	0,16	1400...1740

В таблице 3 обозначено:  $\sigma_b$  – предел прочности;  $\sigma_{0,2}$  – предел текучести;  $\varepsilon_{iy}$  - предельно устойчивая деформация;  $\varepsilon_{ip}$ - предельная деформация;  $\sigma_{iy}$  – интенсивность напряжения в момент образования шейки;  $\sigma_{ip}$  – интенсивность деформации в момент разрушения;  $\delta$  – относительное удлинение;  $\psi$  – относительное сужение, НВ - твердость.

Зависимость  $\sigma_i - \varepsilon_i$  для стали У10А после отжига приведена в приложении.

## 2 Исследование процесса выдавливания методом компьютерного моделирования DEFORM – 3D

DEFORM – 3D является системой конечно-элементного моделирования разрабатываемой компанией Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC), и предназначена для анализа трехмерного течения металла при различных процессах обработки металлов давлением. Данная система позволяет прогнозировать характер формоизменения с высокой точностью и минимальными затратами на экспериментальные проверки. В данной программе есть собственный сеточный построитель, который производит полностью автоматическое разбиение сетки конечных элементов во время моделирования (адаптивное перестроение сетки) и присутствует библиотека оборудования для горячей и холодной штамповки. Модели материалов используемые в программе могут быть следующих типов: жесткие, пластичные, упруго-пластичные, пористые, упругие. Конечные элементы и модели материалов позволяют отслеживать места разрушения материалов. Для сложных переходных процессов присутствует возможность задавать параметры многопереходных процессов [5].

Кроме анализа напряжений, деформаций и температур в заготовке и инструменте, в программе предусмотрена возможность определения энергетических и силовых параметров оборудования.

Главным преимуществом системы Deform перед универсальными конечно-элементными пакетами типа Ansys, LS-Dyna или MSC-Marc является ее интуитивная система управления, что позволяет исследователю в области ОМД легко ориентироваться в инструментах программы благодаря привычным терминам.

### 2.1 Исходные данные

Матрица для радиального обжатия изображенная на рисунке 4. Диаметр матриц  $d_1 = 26$  мм,  $d_2 = 31$  мм,  $d_3 = 36$  мм высота  $h = 40$  мм, угол конусности матрицы  $\alpha = 5^\circ$ .

Заготовка для выдавливания изображенная на рисунке 5. Размеры заготовок представлены в таблице 1.

Коэффициент трения 0.12.

На рисунке 4 изображена 3D модель матрицы в программе DEFORM – 3D.

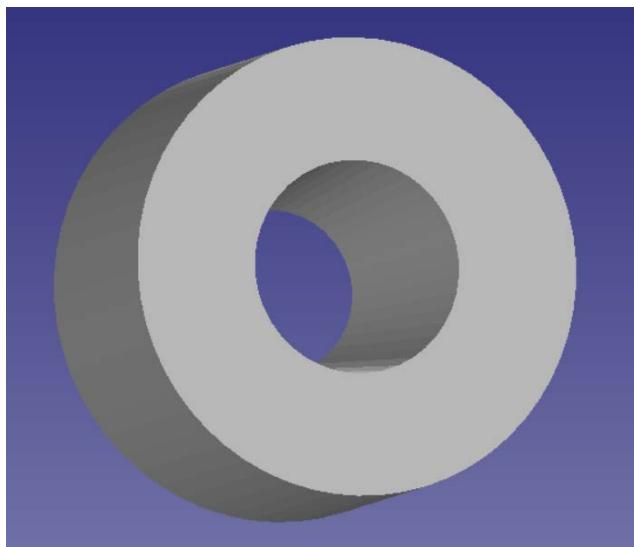


Рисунок 4 – Матрица 3D

На рисунке 5 изображена 3D модель заготовки в программе DEFORM – 3D.

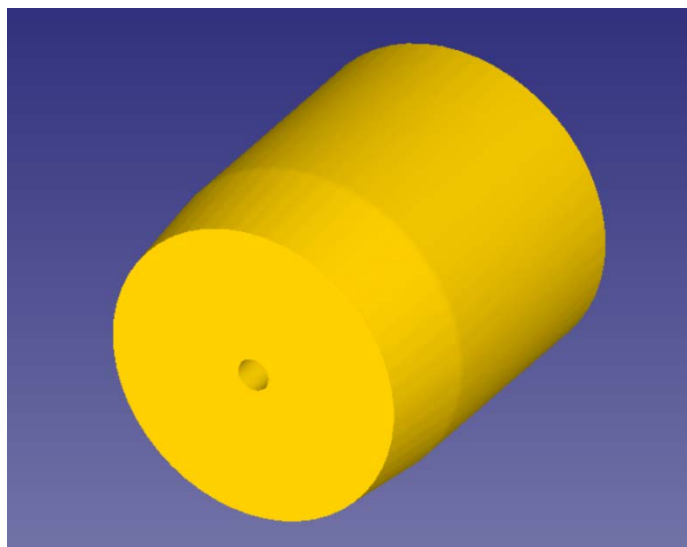


Рисунок 5 – Заготовка 3D

Сетка заготовки состоит из 300000 элементов.

## 2.1 Результаты моделирования

После деформирования получены диаграммы сила-путь и значения степени деформации на 3-х этапах деформирования – 3, 9, 16 мм.

Заготовка №1

На рисунке 6 изображена диаграмма Р-Δl.

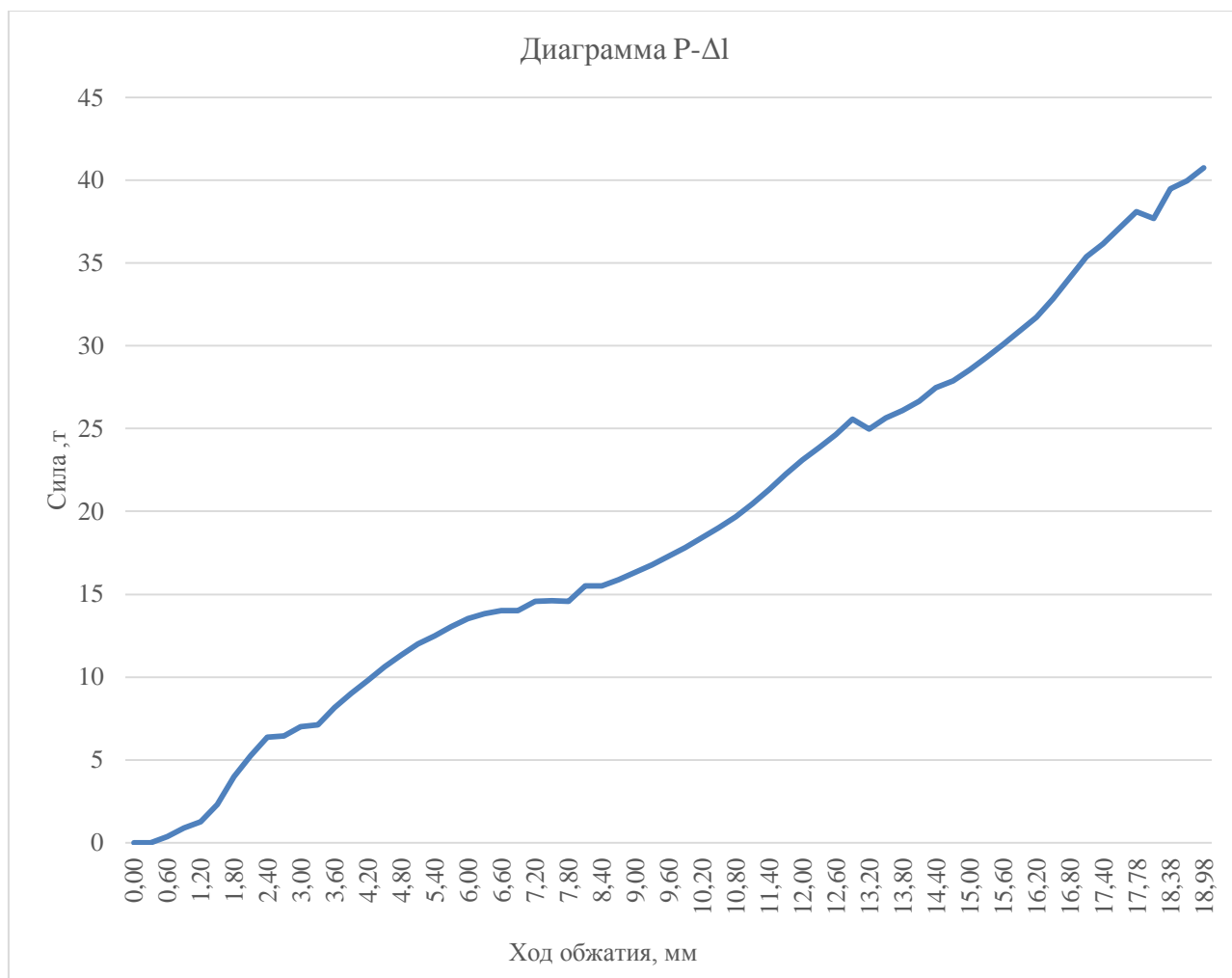


Рисунок 6 - Диаграмма Р-Δl

На рисунке 7 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.



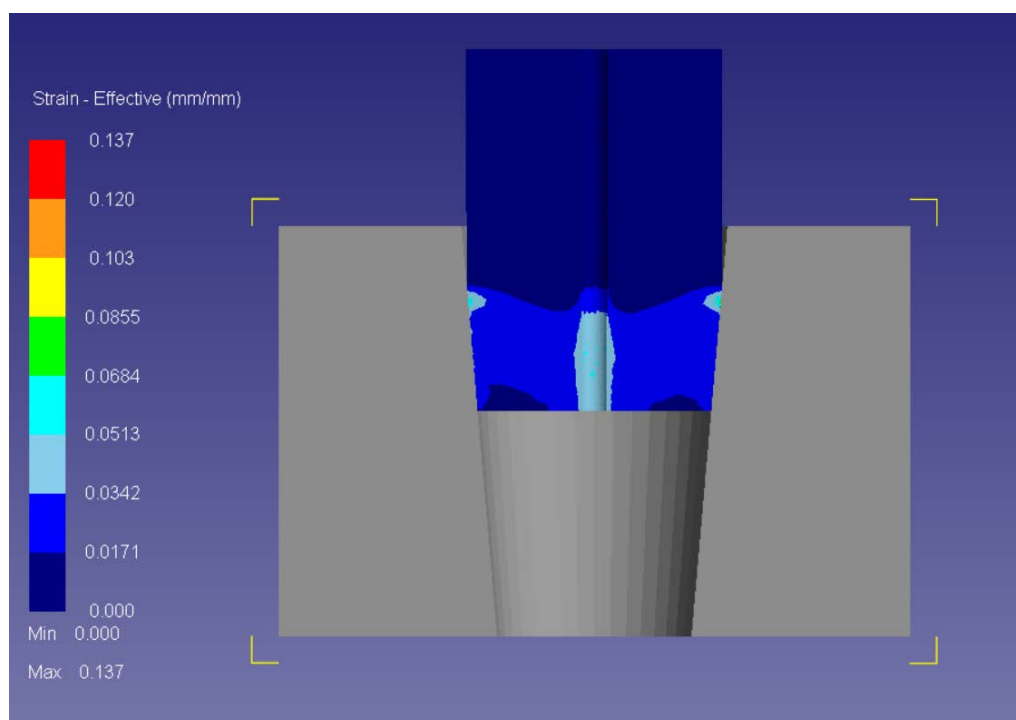


Рисунок 7– Степень деформации, ход обжатия 3 мм

На рисунке 8 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

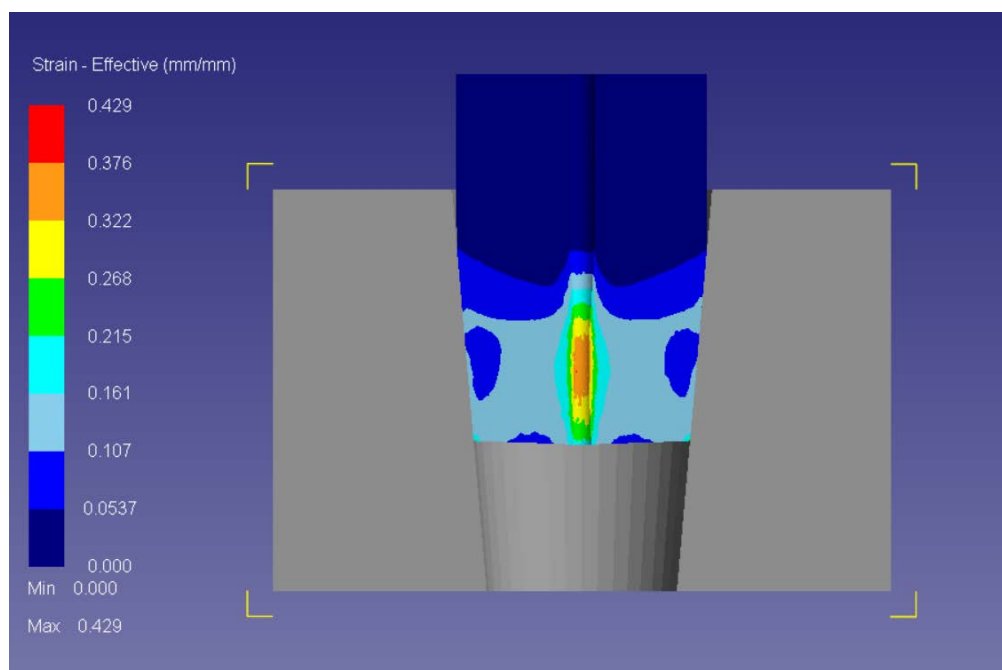


Рисунок 8 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 9 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

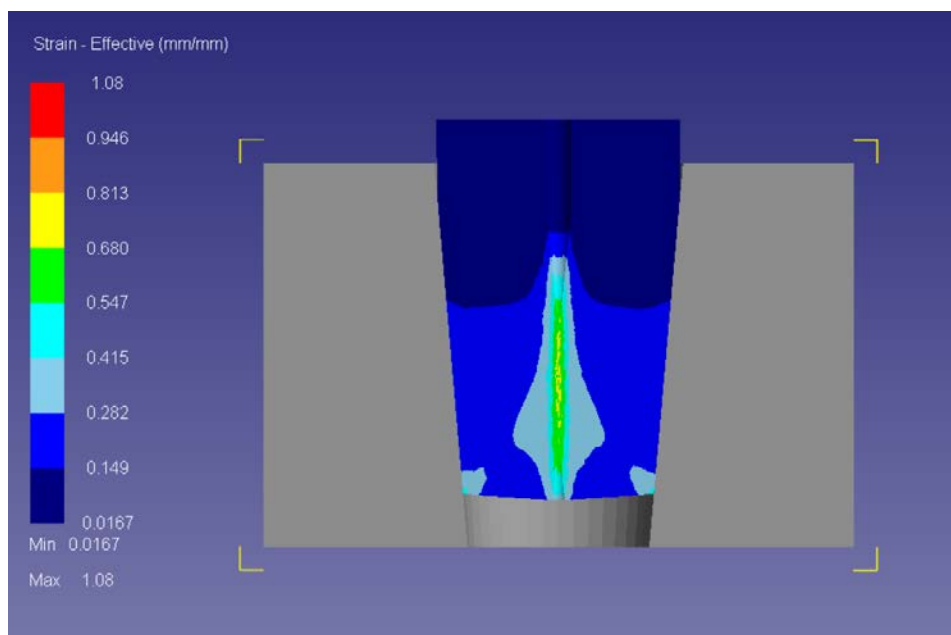


Рисунок 9– Степень деформации, ход обжатия 16 мм

На рисунке 10 изображена заготовка после деформации.

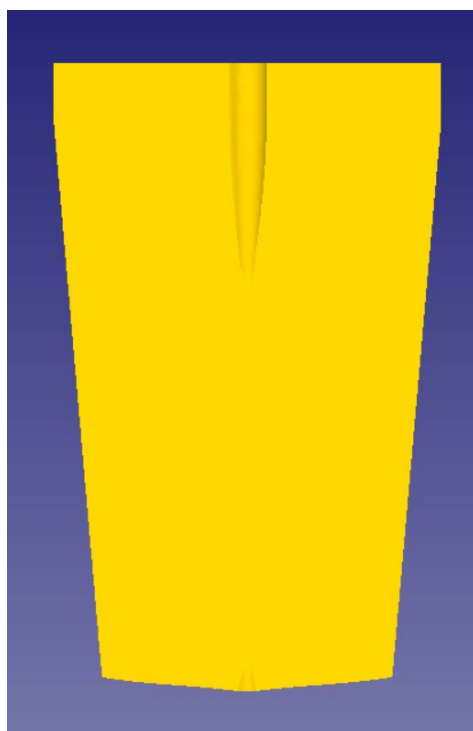


Рисунок 10– Заготовка после деформации

## Заготовка №2

На рисунке 11 изображена диаграмма P- $\Delta$ .

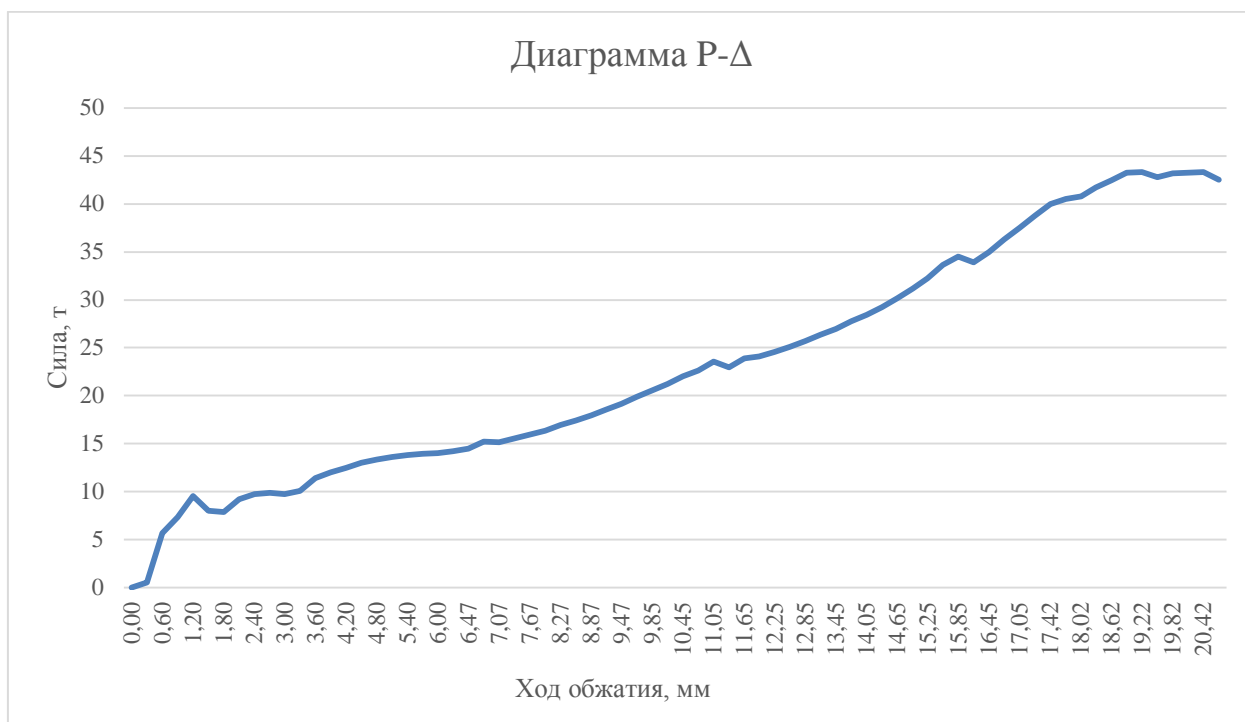


Рисунок 11- Диаграмма P- $\Delta$

На рисунке 12 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

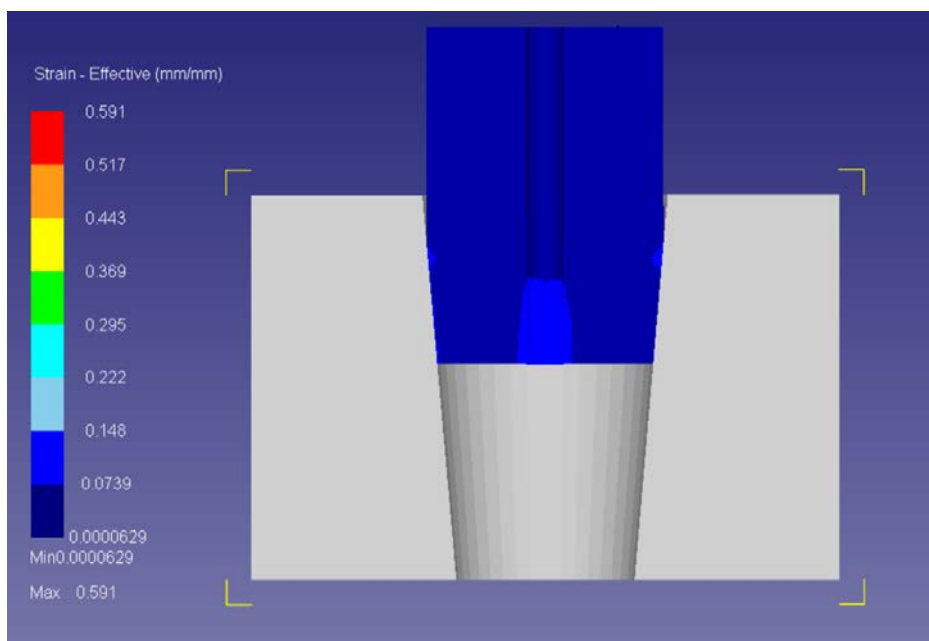


Рисунок 12– Степень деформации, ход обжатия 3 мм

На рисунке 13 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

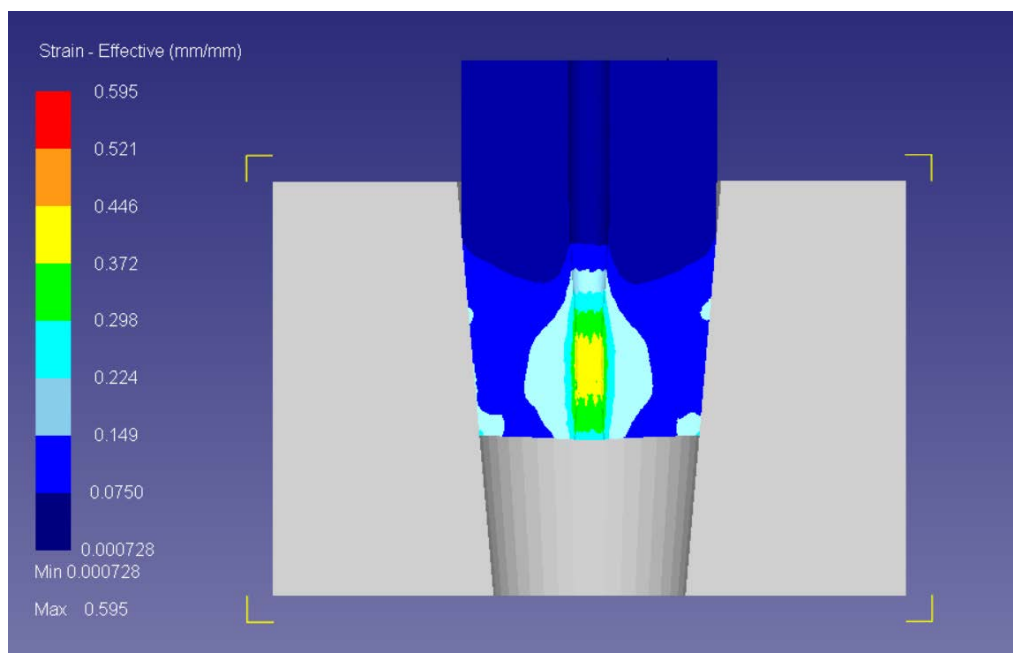


Рисунок 13 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 14 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

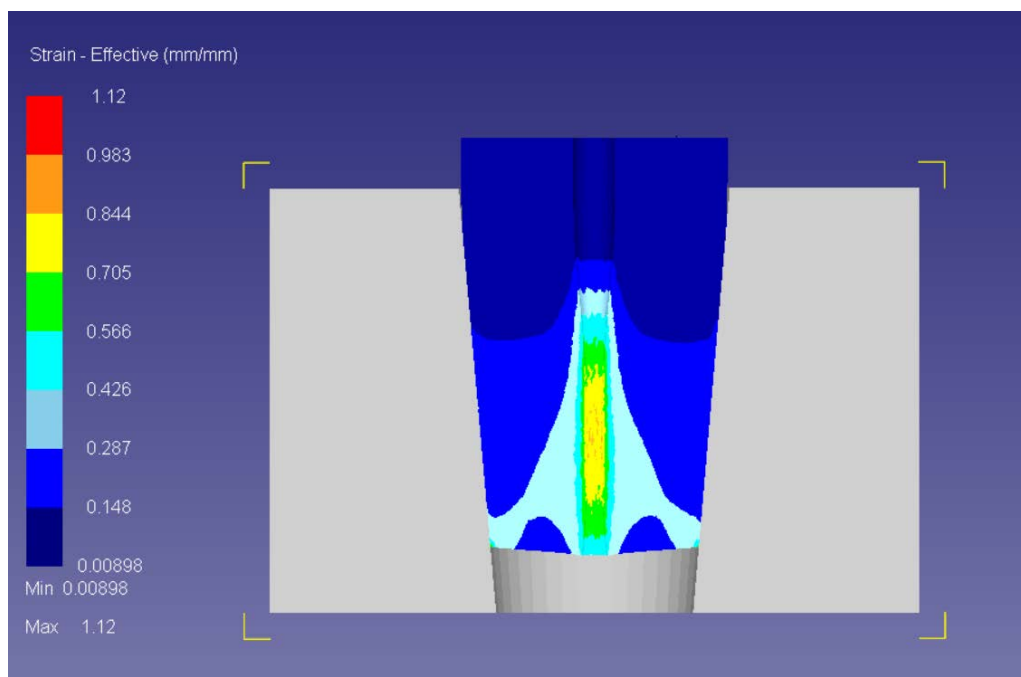


Рисунок 14– степень деформации на 16 мм

На рисунке 15 изображена заготовка после деформации.

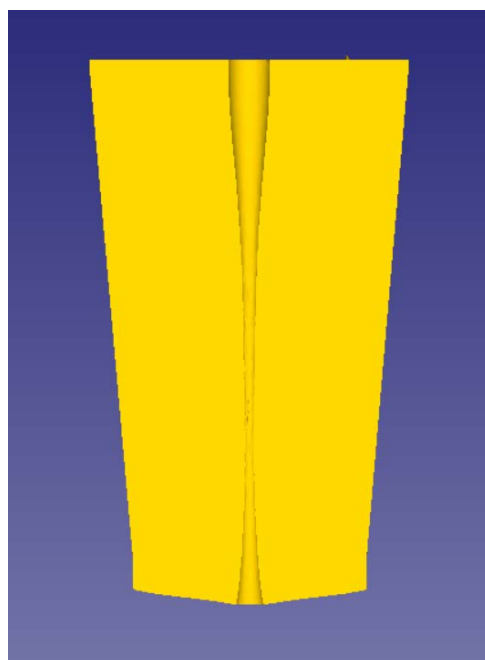


Рисунок 15 – Заготовка после деформации

Заготовка №3

На рисунке 16 изображена диаграмма P-Δl.

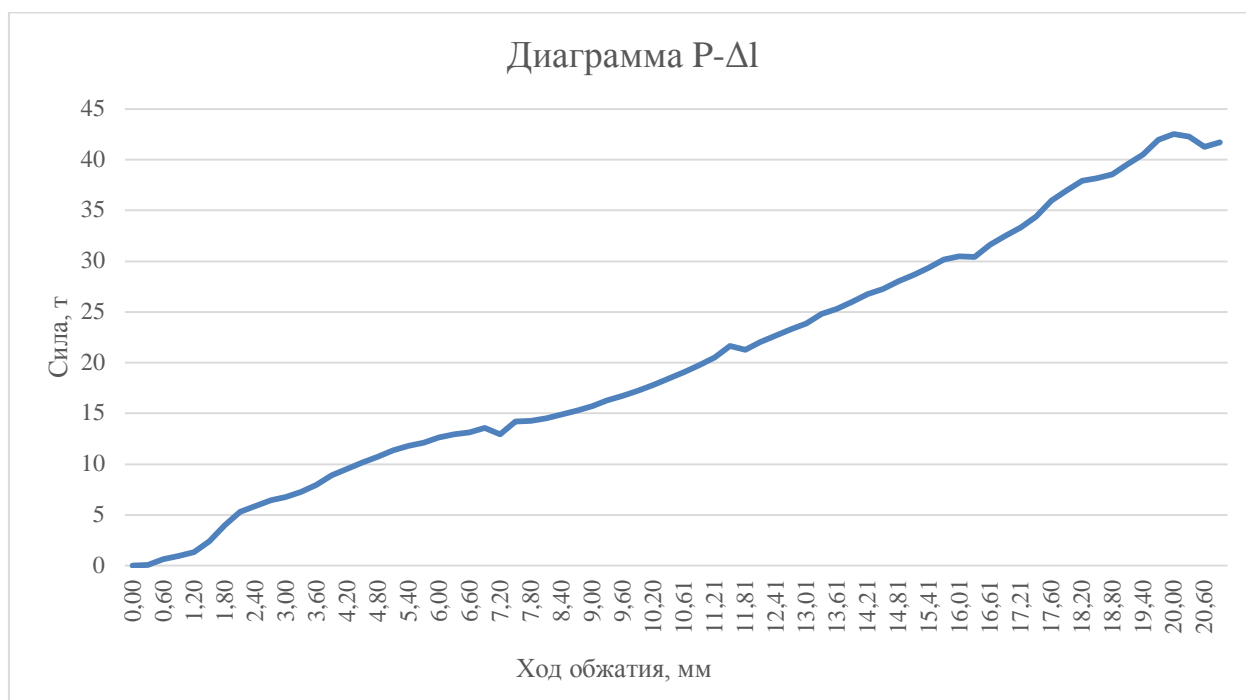


Рисунок 16 - Диаграмма P-Δl

На рисунке 17 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

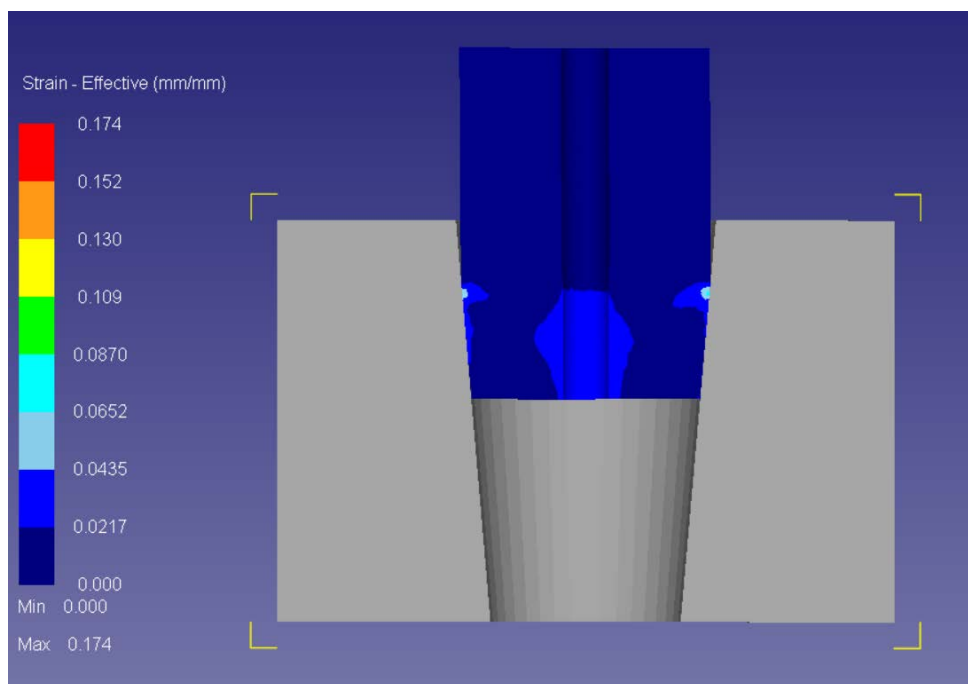


Рисунок 17– Степень деформации, ход обжатия 3 мм

На рисунке 18 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

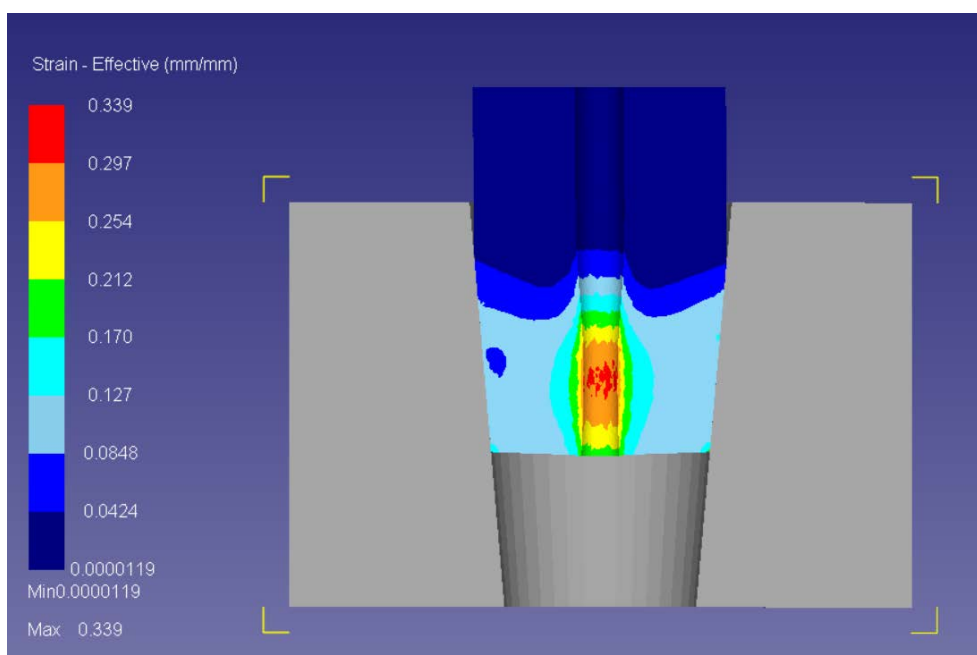


Рисунок 18 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 19 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

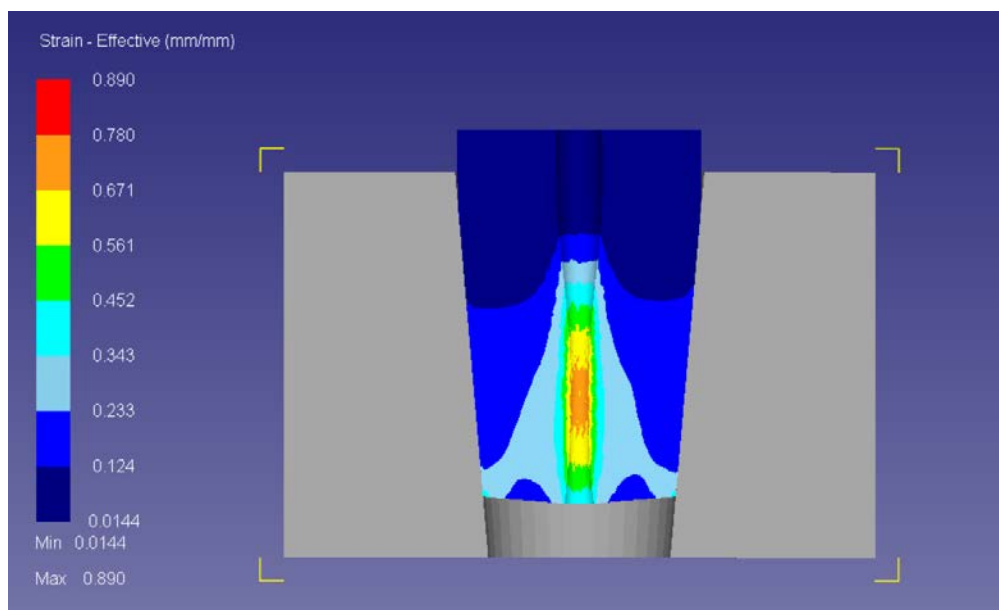


Рисунок 19– Степень деформации, ход обжатия 16 мм

На рисунке 20 изображена заготовка после деформации.

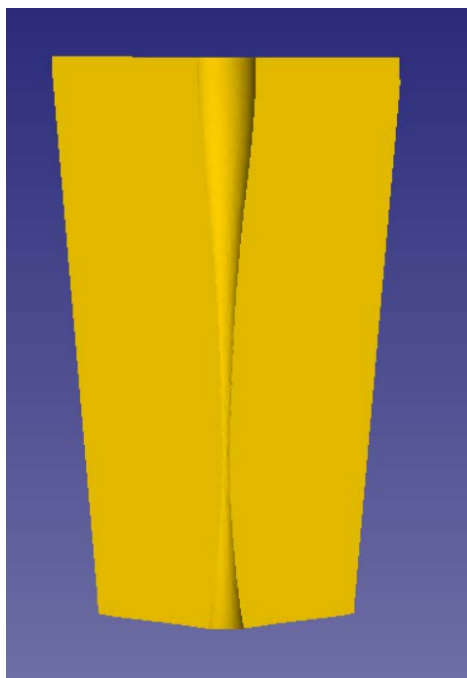


Рисунок 20 – Заготовка после деформации

## Заготовка №4

На рисунке 21 изображена диаграмма P- $\Delta l$ .

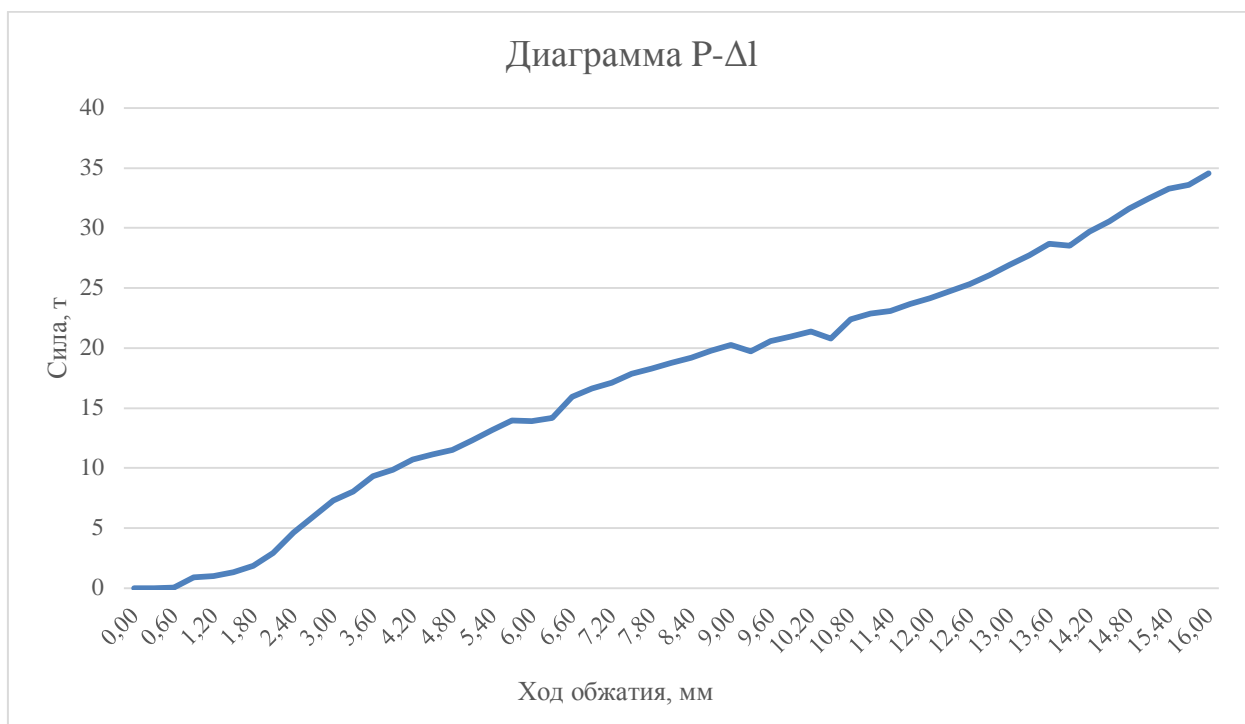


Рисунок 21 - Диаграмма P- $\Delta l$

На рисунке 22 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

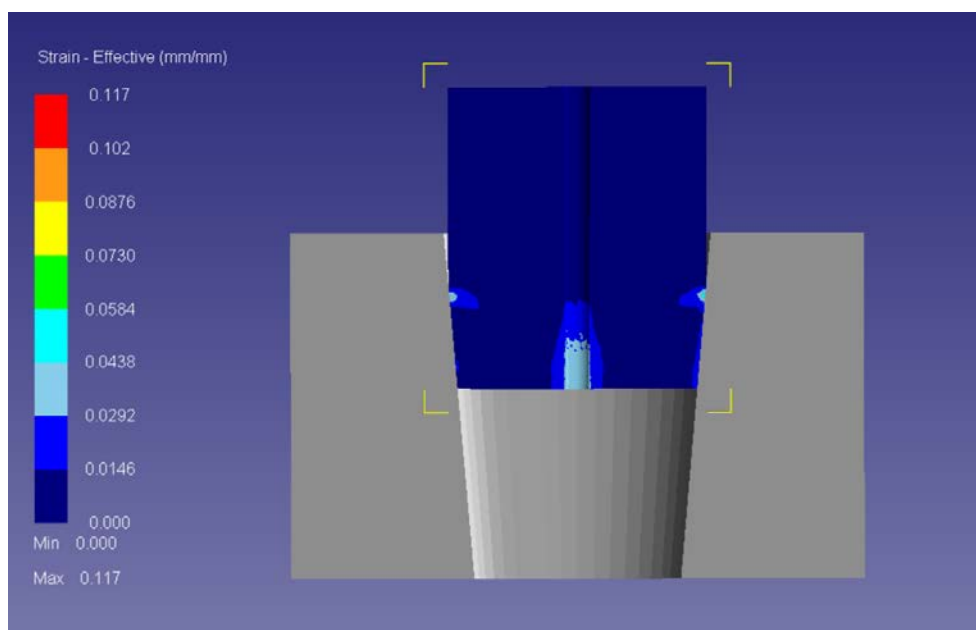


Рисунок 22 – Степень деформации, ход обжатия 3 мм



На рисунке 23 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

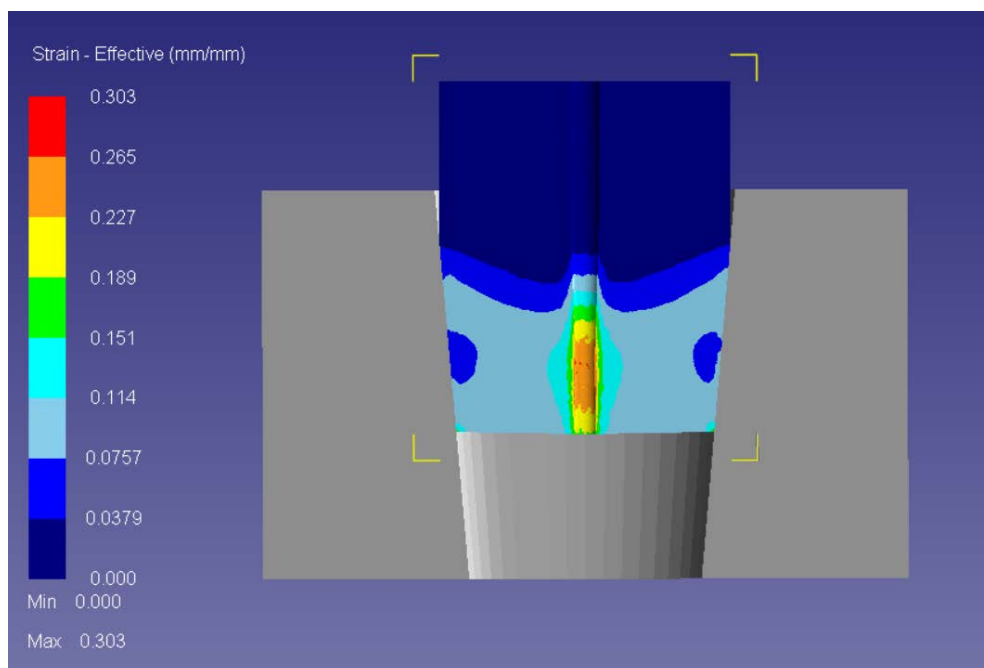


Рисунок 23 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 24 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

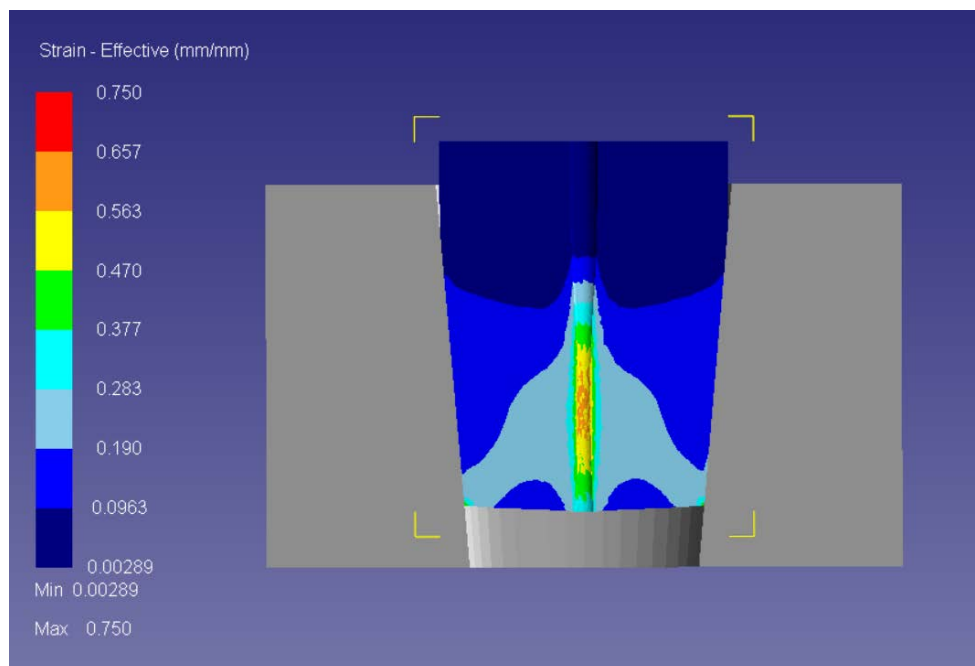


Рисунок 24– Степень деформации, ход обжатия 16 мм

На рисунке 25 изображена заготовка после деформации.

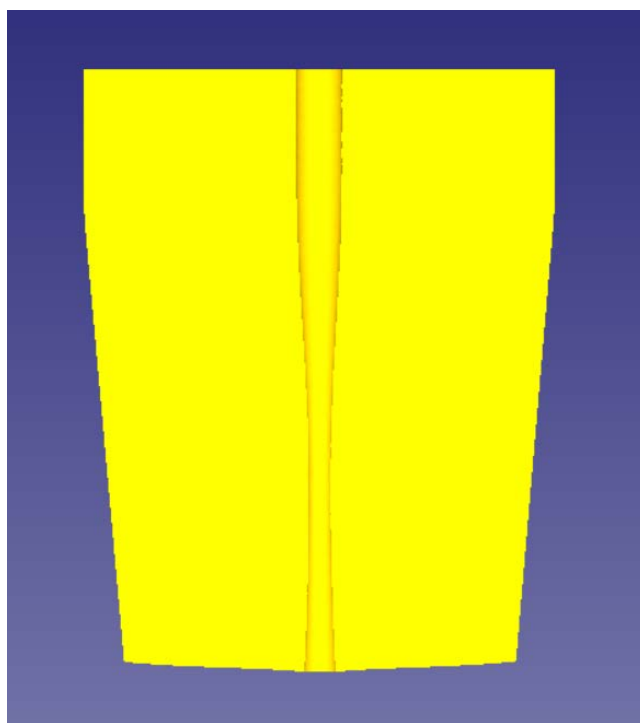


Рисунок 25 – Заготовка после деформации

Заготовка №5

На рисунке 26 изображена диаграмма P-Δl.

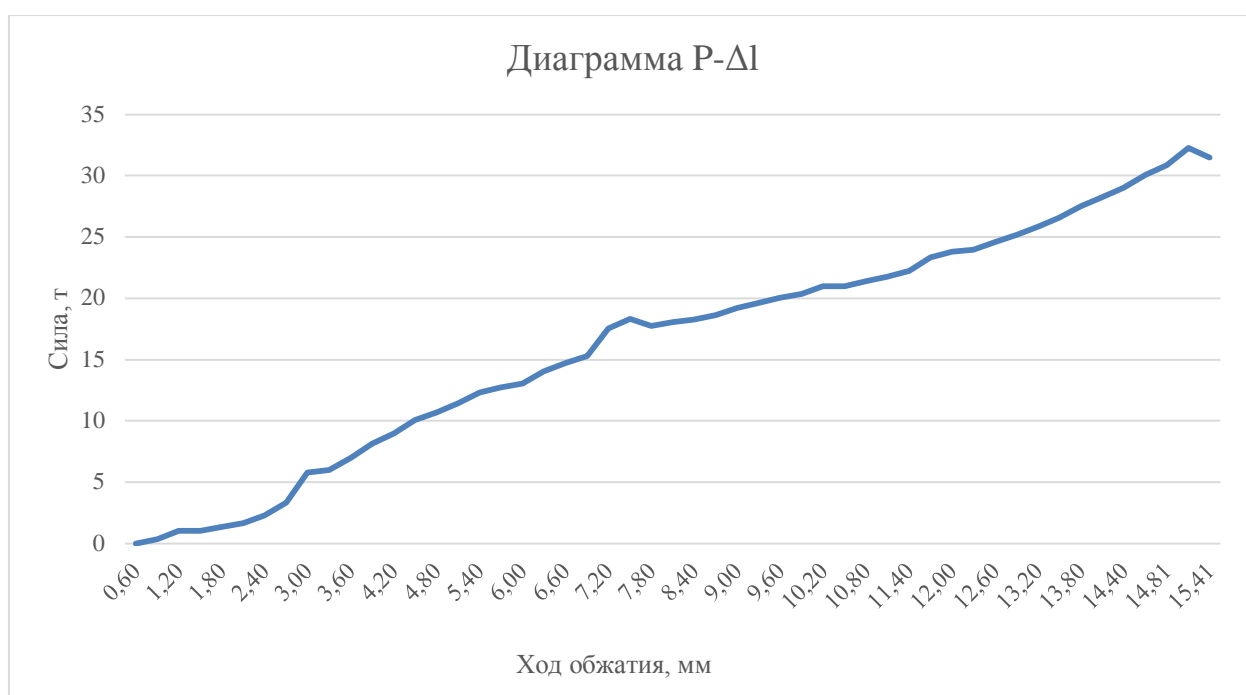


Рисунок 26 - Диаграмма P-Δl

На рисунке 27 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

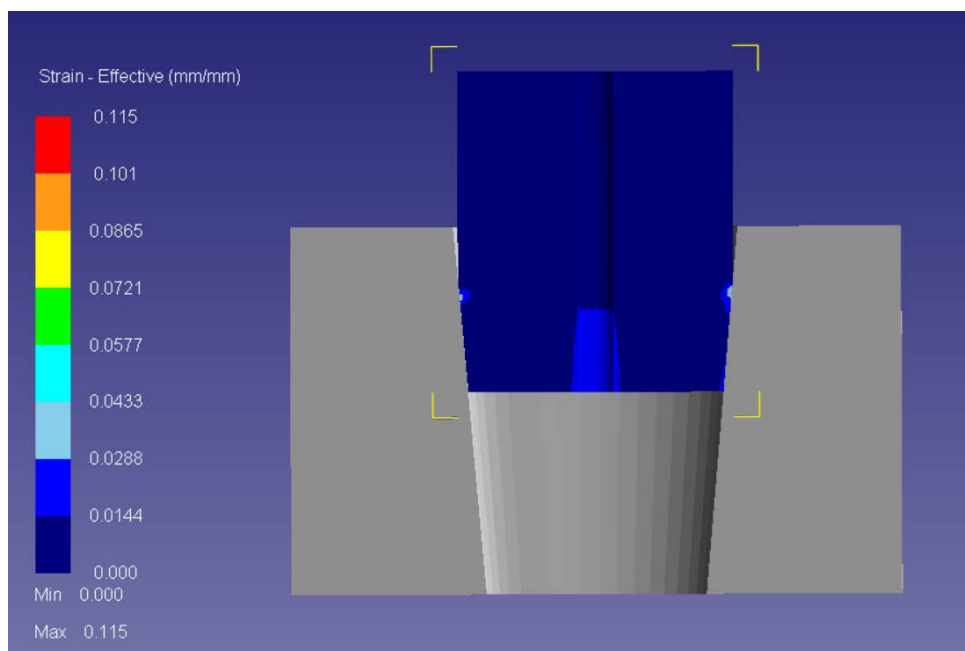


Рисунок 27 – Степень деформации, ход обжатия 3 мм

На рисунке 28 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

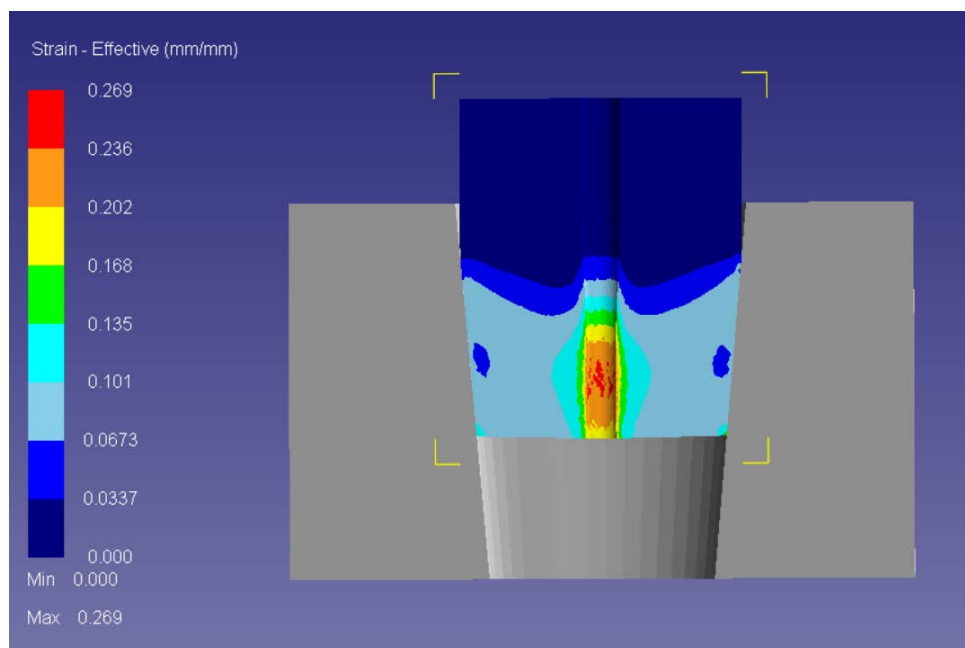


Рисунок 28– Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 29 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

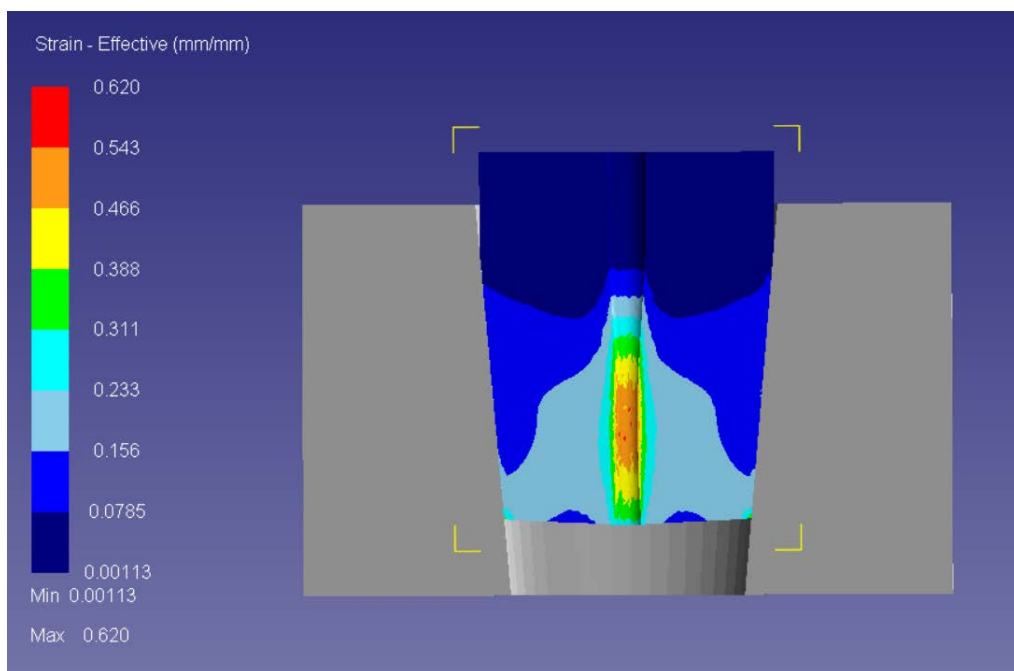


Рисунок 29– Степень деформации, ход обжатия 16 мм

На рисунке 30 изображена заготовка после деформации.

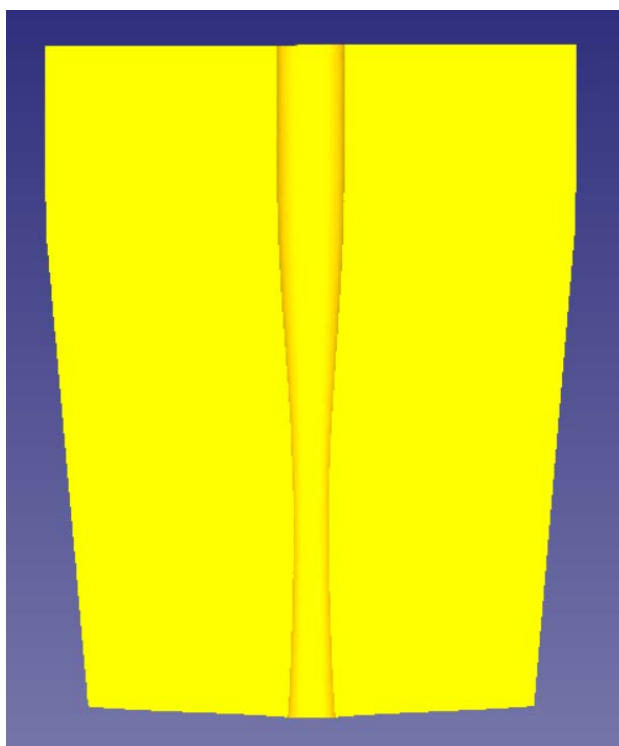


Рисунок 30 – Заготовка после деформации

## Заготовка №6.

На рисунке 31 изображена диаграмма P- $\Delta l$ .

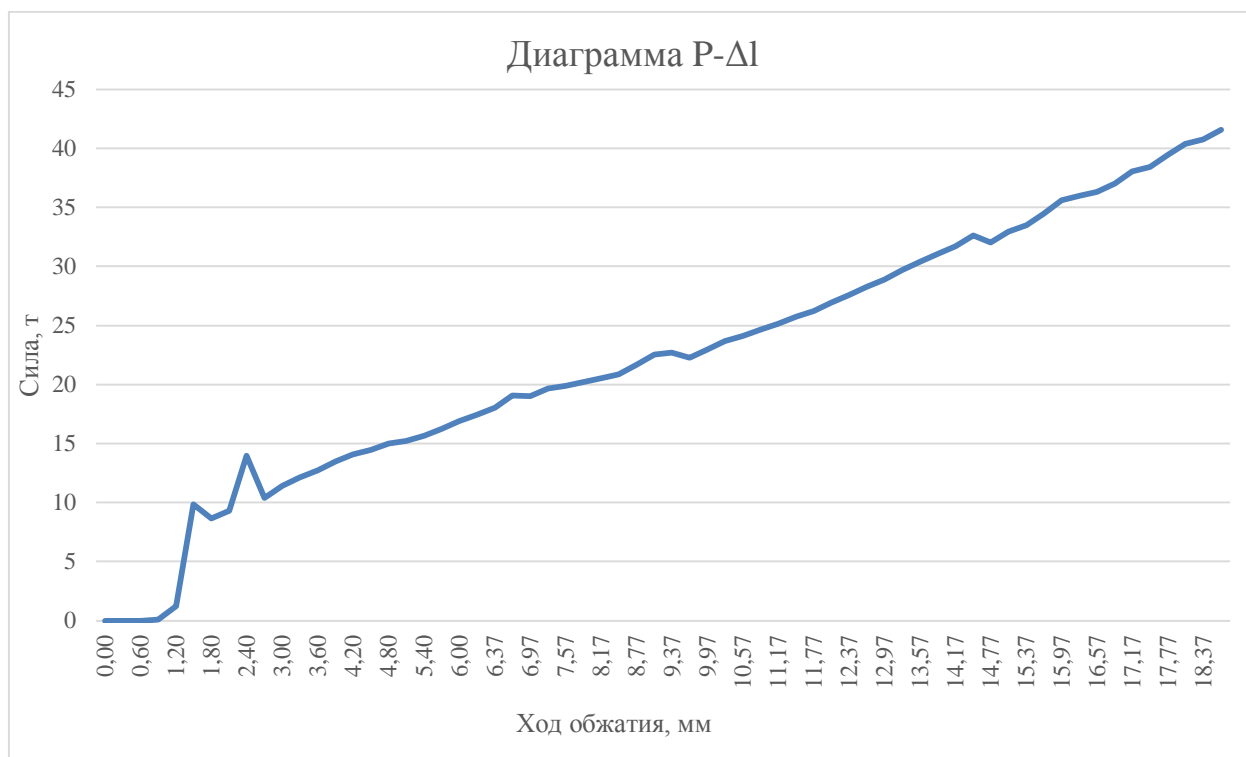


Рисунок 31 - Диаграмма P- $\Delta l$

На рисунке 32 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

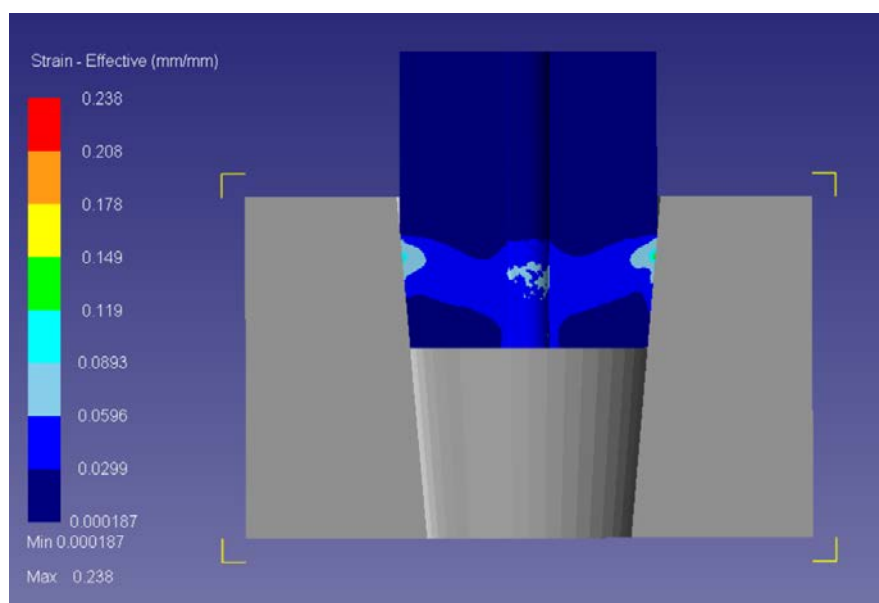


Рисунок 32 – Степень деформации, ход обжатия 3 мм

На рисунке 33 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

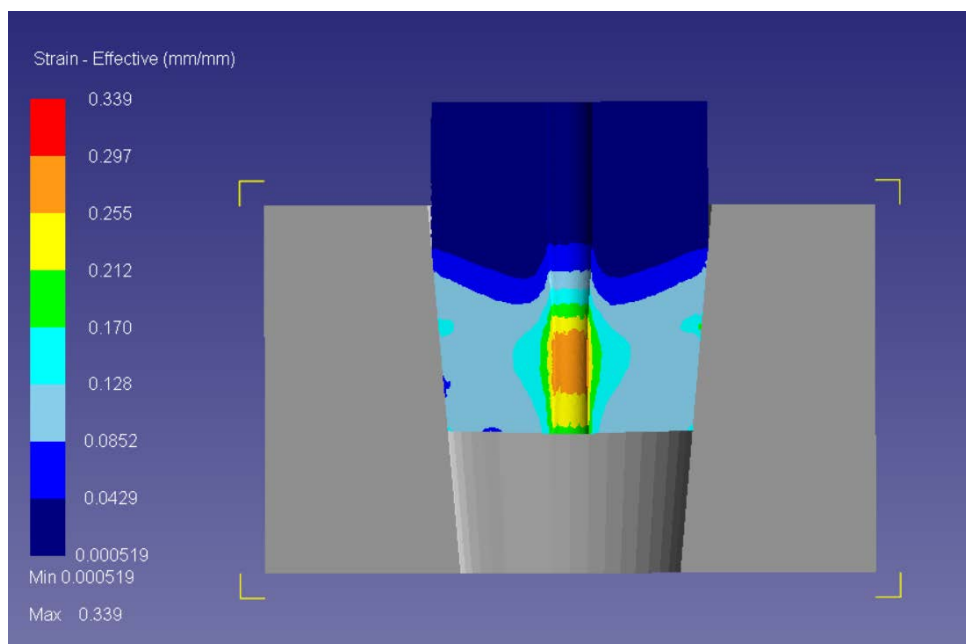


Рисунок 33 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 34 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

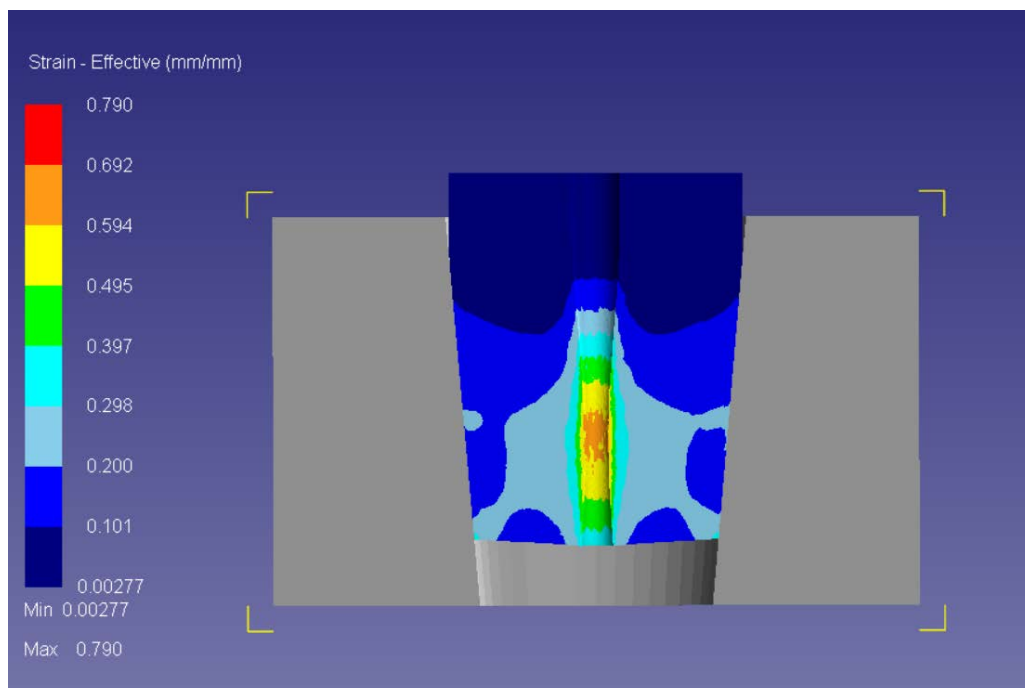


Рисунок 34– Степень деформации, ход обжатия 16 мм

На рисунке 35 изображена заготовка после деформации.

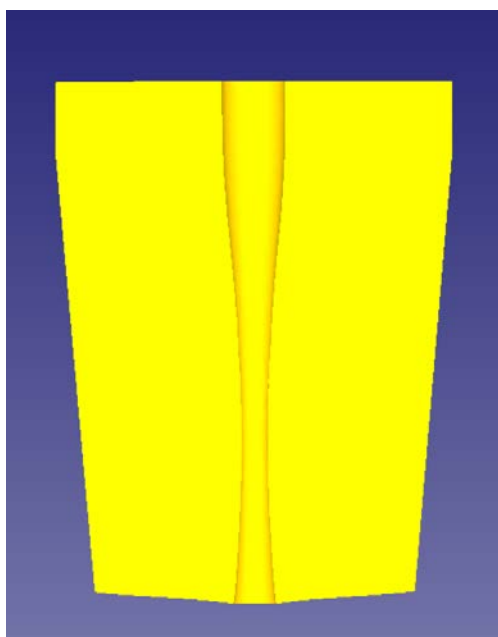


Рисунок 35 – Заготовка после деформации

Заготовка №7.

На рисунке 36 изображена диаграмма P- $\Delta l$ .

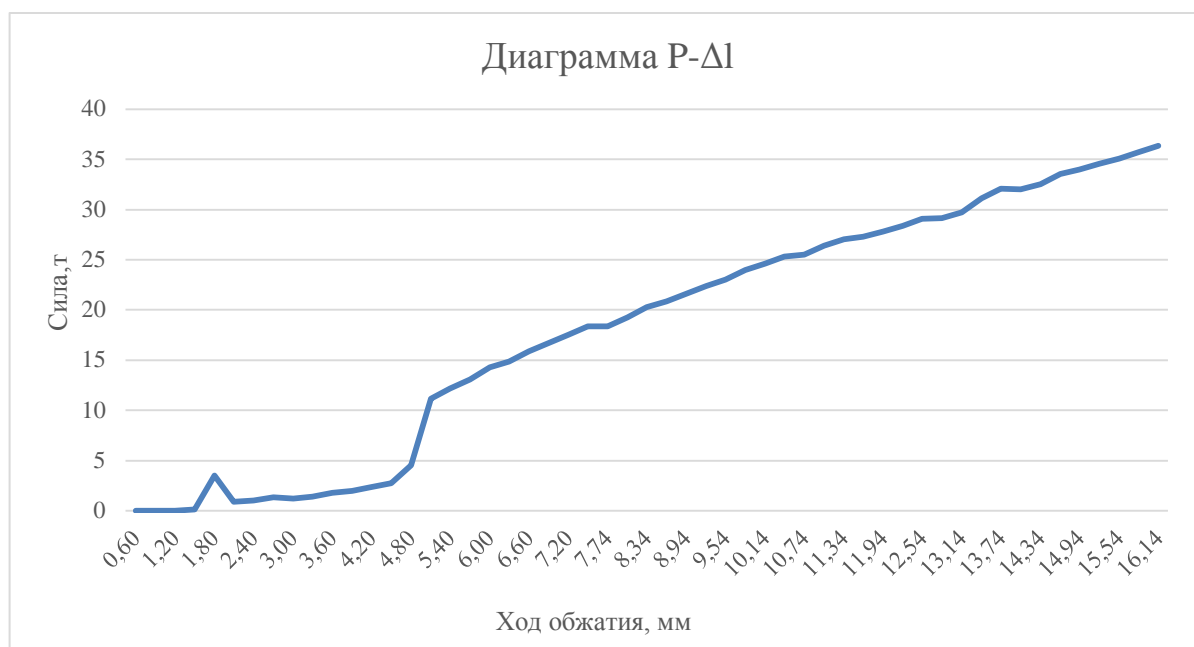


Рисунок 36 - Диаграмма P- $\Delta l$

На рисунке 37 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

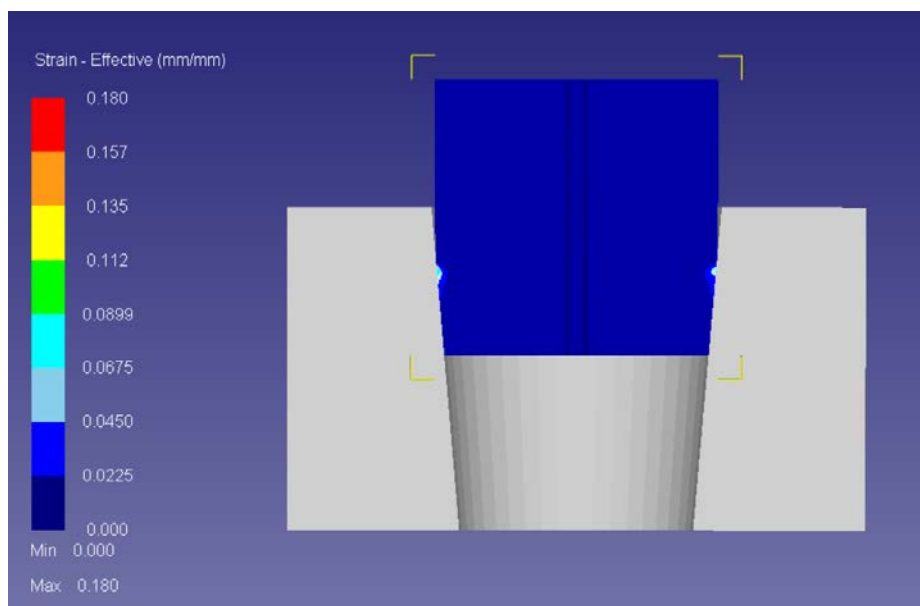


Рисунок 37 – Степень деформации, ход обжатия 18 мм

На рисунке 38 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

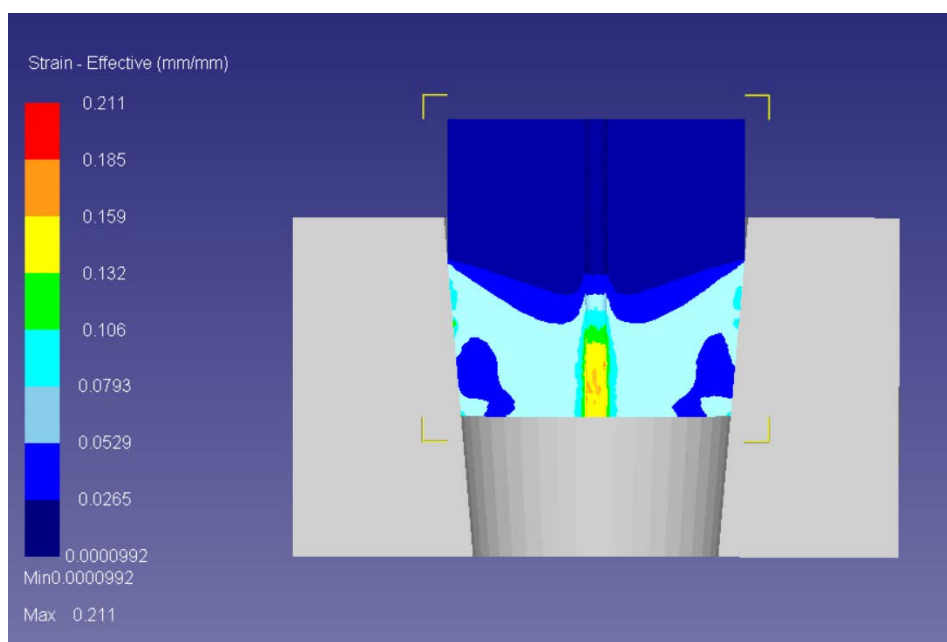


Рисунок 38 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 39 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.



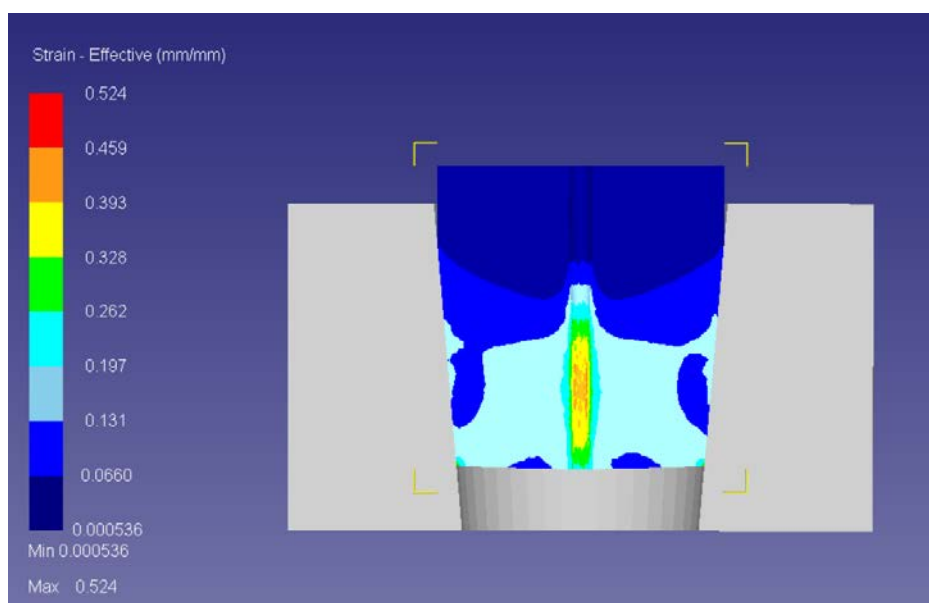


Рисунок 39 – Степень деформации, ход обжатия 16 мм.

На рисунке 40 изображена заготовка после деформации.

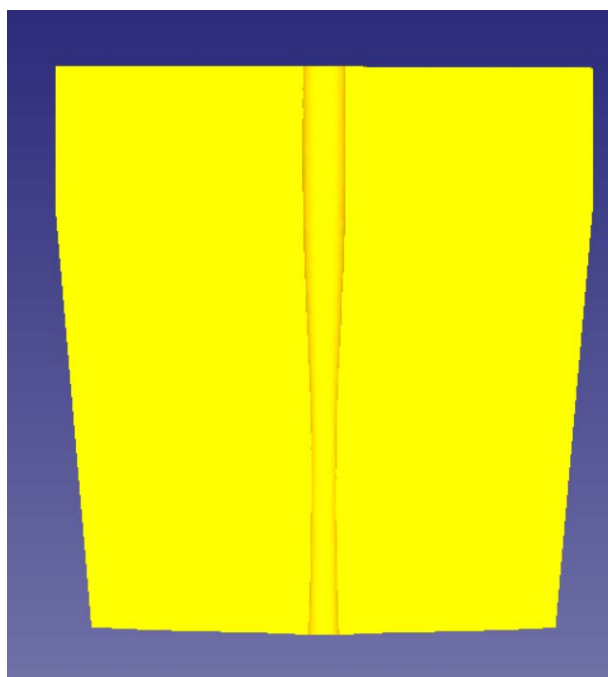


Рисунок 40 – Заготовка после деформации.

## Заготовка №8.

На рисунке 41 изображена диаграмма P-Δl.

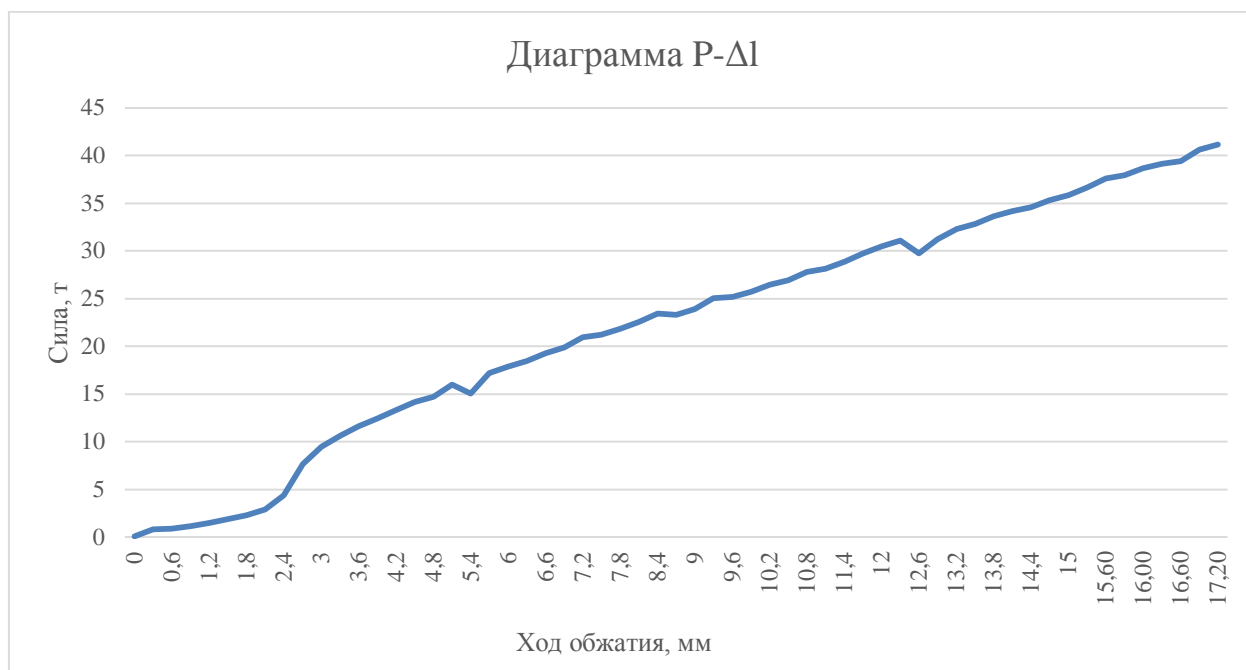


Рисунок 42 - Диаграмма P-Δl

На рисунке 43 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

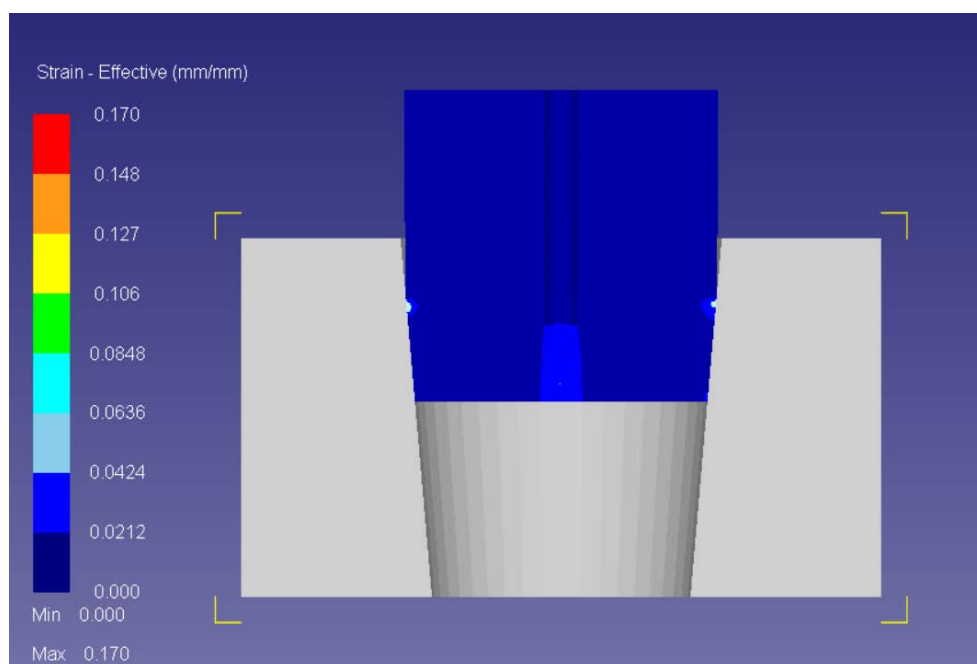


Рисунок 43 – Степень деформации, ход обжатия 3 мм

На рисунке 44 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

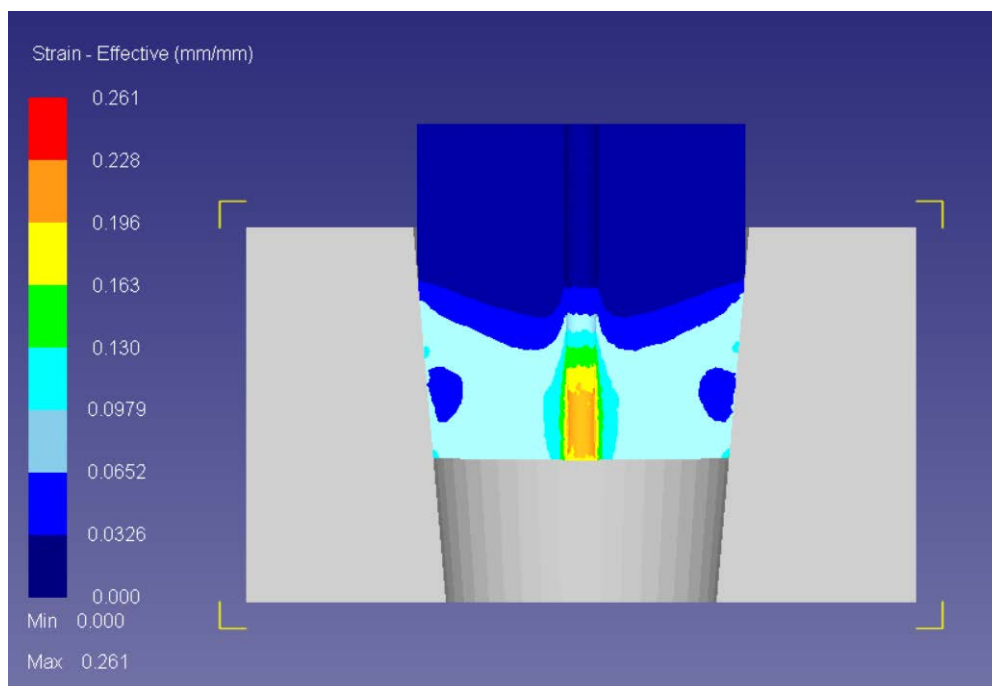


Рисунок 44 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 45 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

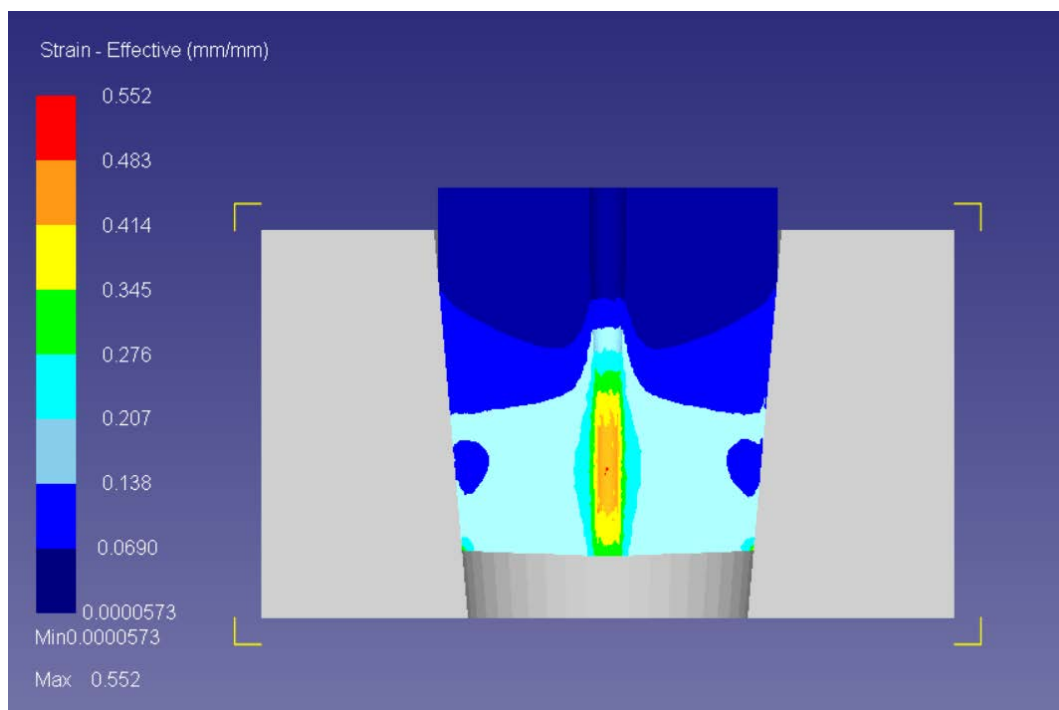


Рисунок 45– Степень деформации, ход обжатия 16 мм

На рисунке 46 изображена заготовка после деформации.

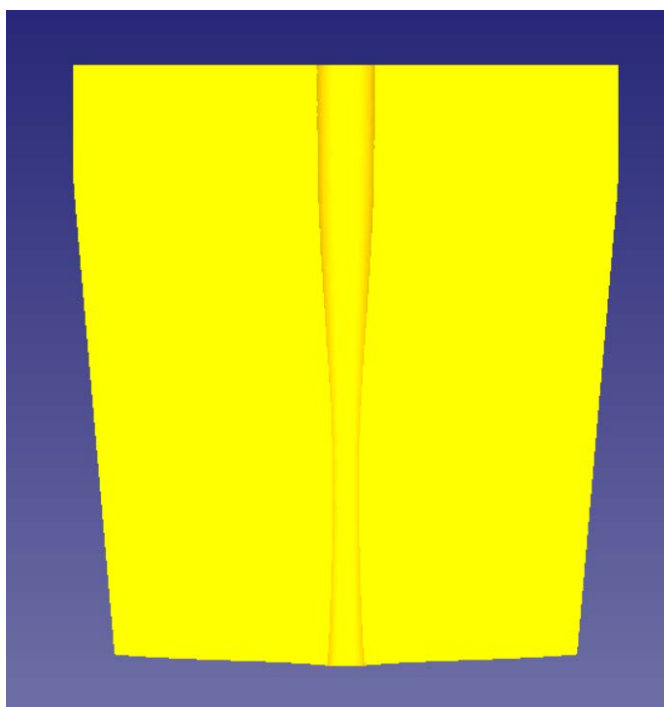


Рисунок 46 – Заготовка после деформации

Заготовка №9.

На рисунке 47 изображена диаграмма P-Δl.



Рисунок 47 - Диаграмма P-Δl

На рисунке 48 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 3 мм.

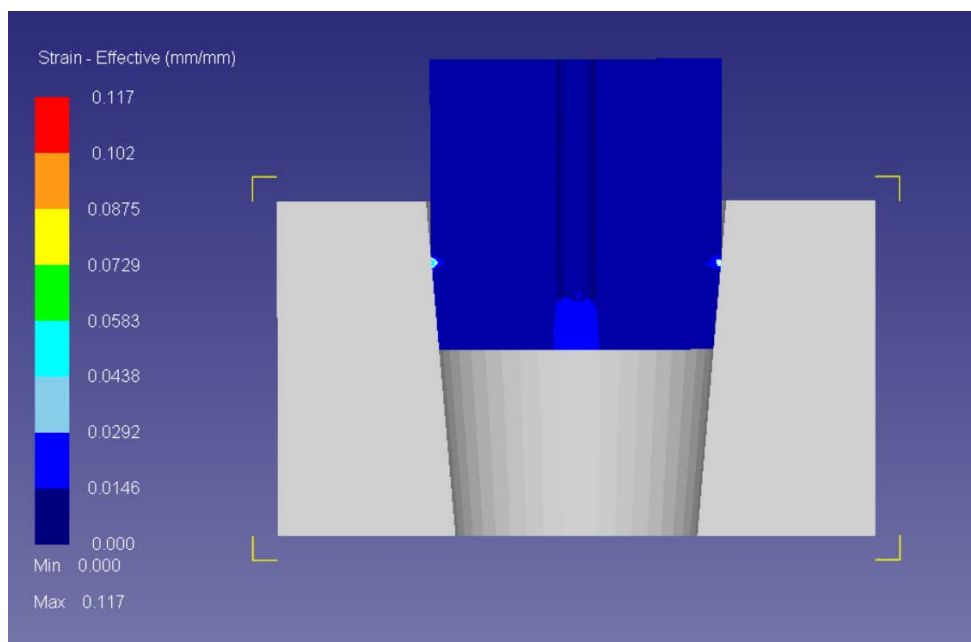


Рисунок 48 – Степень деформации, ход обжатия 18 мм

На рисунке 49 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 9 мм.

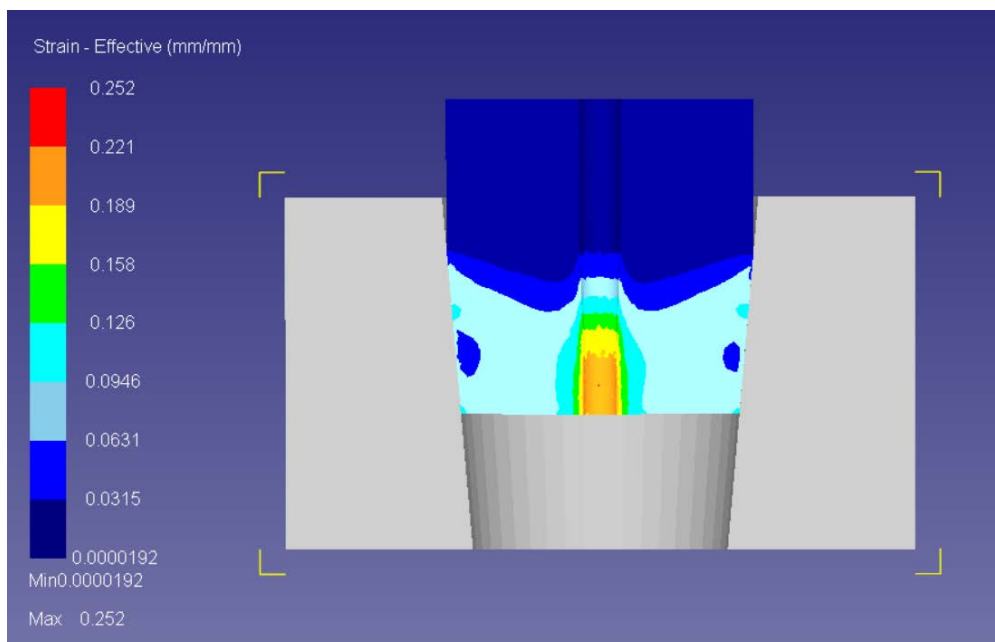


Рисунок 49 – Степень деформации, ход обжатия 9 мм

На рисунке 50 изображено распределение степени деформации по объему очага пластической деформации при ходе обжатия 16 мм.

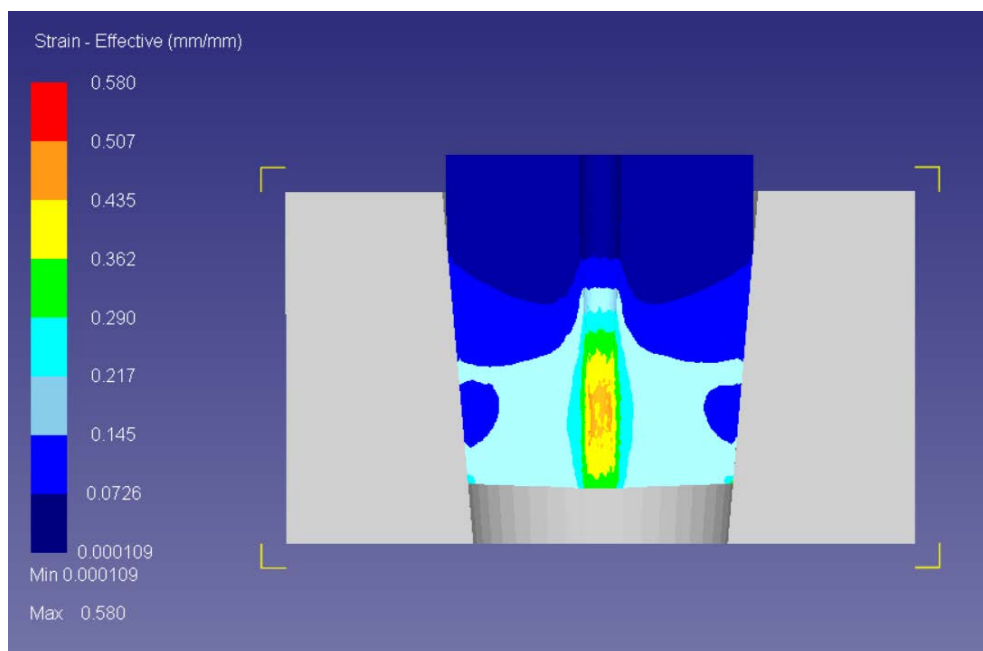


Рисунок 50– Степень деформации, ход обжатия 16 мм

На рисунке 51 изображена заготовка после деформации.

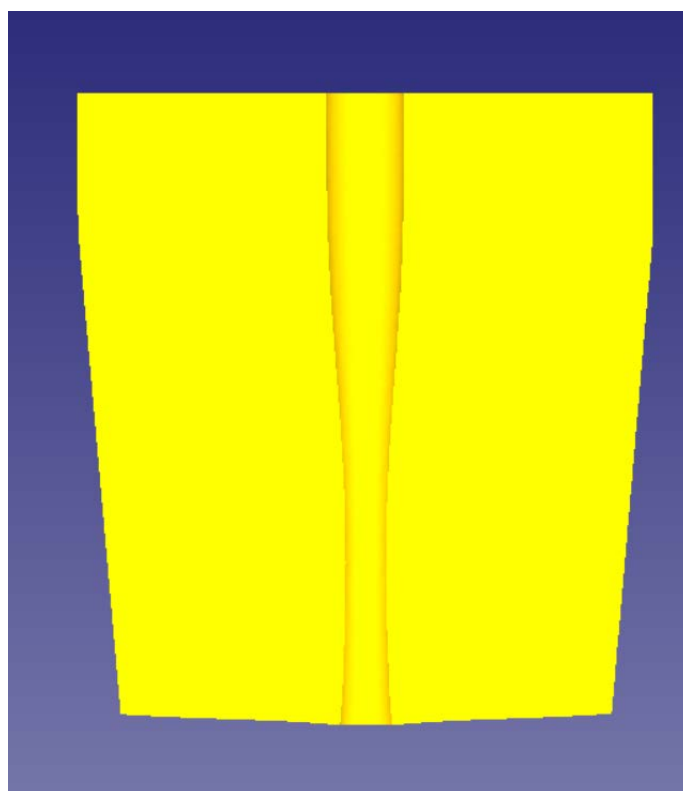


Рисунок 51 – Заготовка после деформации

## ВЫВОДЫ

1. Проведено ознакомление с программой Deform - 3D. Получены навыки в определении напряжения деформированного состояния, возможности исследования параметров НДС.
2. Смоделирован процесс радиального обжатия заготовки в программе Deform - 3D.
3. Получена с помощью программы диаграмма  $P-\Delta l$  . Рассмотрена степень деформации на 3 этапах деформирования заготовок.
4. Анализ результатов моделирования:
  - в осевом направлении происходит удлинение заготовки;
  - диаметр отверстия значительно уменьшается ближе к средней части заготовки (у некоторых заготовок отверстие смыкается), так же замечено, что в нижней части заготовки диаметр отверстия начинает увеличиваться;
  - донная часть заготовки приобретает выпуклость;
  - в среднем сила деформирования составляет 40т;
  - чем больше ход обжатия, диаметр отверстия и диаметр заготовки, тем больше степень деформации и сила.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бунатян Г.В. Выдавливание рельефных полостей в формообразующих деталях технологической оснастки. Горький: КТИ Автометиз, 1983 - 173 с.
2. Плюснин О., Петрова Г., Таланцева О., Плотников А., Чалов Д. Справочник по металлопрокату, 2012. – 191 с.
3. Н.И. Нестеров , В.Г.Трошин , О.Л.Киреев – Технология холодной штамповки ,2016. – 165 с.
4. Б.В. Каргин, Я.А. Ерисов. - Применение специализированного программного комплекса DEFORM в курсовом проектировании , 2010. – 28 с.



# ПРИЛОЖЕНИЕ

