

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

ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ:

Факультет	<u>Е</u> индекс факультета
Выпускающая кафедра	<u>Е4</u> индекс кафедры
Группа	<u>Е4М31</u> индекс группы

Заведующий кафедрой <hr style="border: 0.5px solid black;"/> Игнатенко В.В. <hr style="border: 0.5px solid black;"/> Фамилия ИО «            »	Е4 <hr style="border: 0.5px solid black;"/> индекс кафедры  подпись 2019 г.
---	---

# ОТЧЁТ

<b>о прохождении</b>	<b>преддипломной</b> <small>наименование практики</small>	<b>практики</b>
----------------------	--	-----------------

# Тягина Антона Сергеевича

Фамилия, имя, отчество обучающегося

## Обучающегося по направлению

15.04.03

КОЛ

# Прикладная механика

полное наименование направления

**Руководитель практики от БГТУ  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова:**

Нестеров Н.И., к.т.н., доцент, доцент

Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность

**Срок прохождения практики:** с 05.03.2019 г. по 07.06.2019 г.

**Должность обучающегося на практике:**

## Руководитель практики

## Обучающийся

\_\_\_\_\_  
 Подпись

\_\_\_\_\_  
 Нестеров Н.И.  
 Фамилия ИО

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

\_\_\_\_\_  
 Подпись

\_\_\_\_\_  
 Тягин А.С.  
 Фамилия ИО

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019 г.

Цель преддипломной практики: завершение магистерской диссертации на тему «Определение технологических параметров процесса изготовления матриц для листовой штамповки выдавливанием радиальным обжатием », подготовка к магистерской диссертации.

Задачи практики:

1. Оформление пояснительной записки
2. Оформление презентации
3. Подготовка текста доклада.

В результате прохождения преддипломной практики была оформлена пояснительная записка, состоящая из 120 листов машинописного текста, включающая в себя 62 рисунков, 34 таблиц, 6 источников литературы и 1 приложения.

Целью выполнения магистерской диссертации является исследования процесса выдавливания радиальным обжатием цилиндрической заготовки со сквозным отверстием.

Смоделирован процесс радиального обжатия цилиндрической заготовки со сквозным отверстием в программе Deform 3d, проведено сравнение значений напряженно деформированного состояния моделирования и экспериментального деформирования, проведено исследование зависимости твердости по Виккерсу от степени деформации.

Материалы исследования были доложены на XI конференции «Молодежь. Техника. Космос.», тезисы доклада приведены в Приложении А. Подготовлена и принята к публикации статья: моделирование процесса обжатия в конической матрице цилиндрической заготовки с отверстием А.С. Тягин, Н.И.Нестеров. Текст статьи приведен в приложении Б.

Подготовлен проект доклада (приложение В) и презентация (приложение Г) на защите магистерской диссертации.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.

УДК 621.77.01

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖАТИЯ В КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ С ОТВЕРСТИЕМ А.С. Тягин

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Целью работы является экспериментальное моделирование процесса обжатия цилиндрической заготовки с отверстием и симуляция процесса в программе Deform 3d. Для изготовления матриц для формоизменяющих операций листовой штамповки используют два вида заготовок для радиального обжатия - коническую и цилиндрическую [1, 2]. Коническую заготовку полностью помещают в матрицу, процесс формоизменения начинается по всему объему заготовки. Цилиндрическая заготовка деформируется постепенно (рисунок 1,а).

Результаты экспериментального исследования формоизменения конической заготовки со сквозным отверстием и исследования напряженно-деформированного состояния приведены в работе [2].

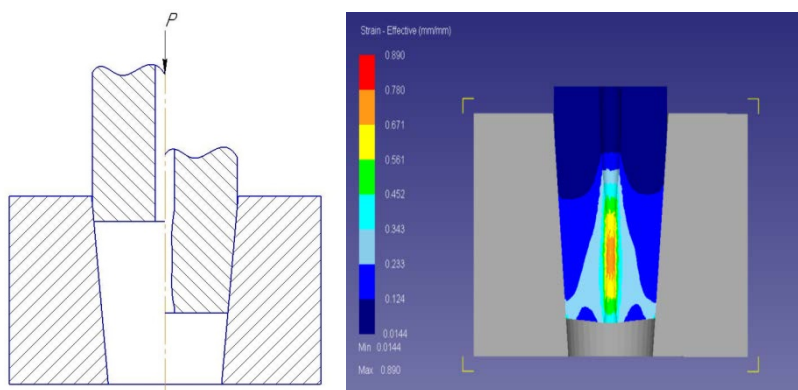


Рисунок 1 – Схема процесса обжатия (а) и напряженное состояние (б) цилиндрической заготовки

В докладе приведены результаты экспериментального исследования формоизменения цилиндрических заготовок из стали У10А диаметром 25, 30, 35 мм, высотой 35 мм со сквозным отверстием диаметром 3, 4, 5 мм.

Получены зависимости уменьшения диаметра отверстия от хода обжатия заготовки. При полном обжатии всех заготовок отверстия полностью не закрылись. Результаты исследования являются основой для разработки методики определения размеров заготовки и хода обжатия с учетом размеров изготавливаемой матрицы.

Исследовано изменение твердости стали У10А в зависимости от степени деформации. Получено распределение твердости по Виккерсу по объему деформированной заготовки. Это позволило оценить изменение степени деформации и степени упрочнения металла по объему заготовки.

Проведено моделирование процесса обжатия цилиндрической заготовки (рисунок 1,б). Результаты моделирования как по формоизменению, так и по напряженно-деформированному состоянию коррелируют с результатами экспериментального исследования. Таким образом, программу Deform 3d возможно использовать для определения технологических параметров процесса изготовления матриц для листовой штамповки радиальным обжатием цилиндрической заготовки.

#### Библиографический список

1. Нестеров, Н.И. Технология холодной объемной штамповки: учебное пособие / Н.И. Нестеров, В.Г. Трошин, О.Л. Киреев; под ред. Г.А. Данилина; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2016. – 167 с.
2. Кулешова, А.В. Совершенствование технологии изготовления матрицы обжима пулевой оболочки / А.В. Кулешова, Н.И. Нестеров // Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1 / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2018. – С. 393-396.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

УДК 621.983

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖАТИЯ В КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ С ОТВЕРСТИЕМ

А.С. Тягин, Н.И. Нестеров

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Матрицы являются наиболее сложными и трудоемкими деталями штампового инструмента. Матрицы, применяемые для штамповки элементов выстрела, отличаются наличие сложной фигурной полости, во многом определяющей эксплуатационные характеристики инструмента.

Выдавливание относится к числу прогрессивных способов изготовления полостей формообразующих деталей инструментальной оснастки, обеспечивающих повышение качество штампов и снижающих трудоемкость их изготовления.

Процесс выдавливания радиальным обжатием осуществляется без внедрения пуансона в заготовку. Образование полости в этом случае происходит за счет обжатия исходной заготовки в матрице с коническим рабочим ручьем. Заготовка для радиального обжатия может быть конической и цилиндрической. На рисунке 1 показана схема выдавливания с радиальным обжатием конической и цилиндрической заготовки [1].

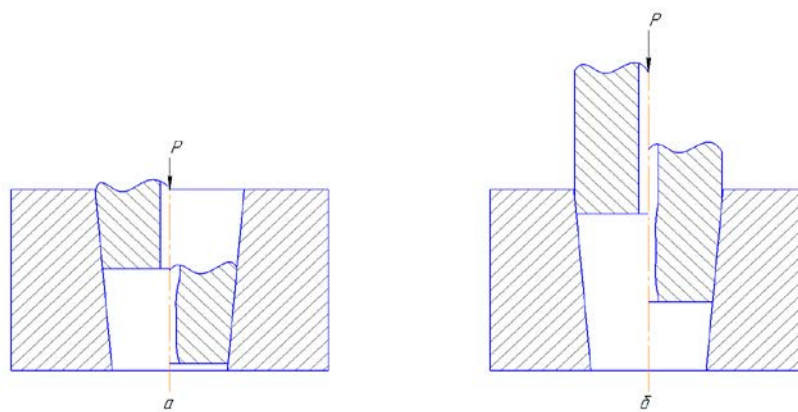


Рисунок 1 - Схема выдавливания с радиальным обжатием:  
а – коническая заготовка, б – цилиндрическая заготовка

На кафедре Е4 БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова проведено исследование процесса выдавливания радиальным обжатием цилиндрической заготовки со сквозным отверстием. Деформировали 12 цилиндрических заготовок с различными значениями диаметра и диаметра сквозного отверстия. Исследовали формоизменение заготовок, изменение силы деформирования. На заключительной стадии, соответствующей обжатию цилиндрической заготовки в коническую, исследовали распределение твердости по Виккерсу в меридиональном сечении заготовки. Результаты экспериментального исследования являются критерием оценки достоверности результатов моделирования процесса.

Для моделирования выбрана заготовка диаметром 30 мм, высотой 34,8 мм, диаметром сквозного отверстия 3 мм.

При моделировании было принято: угол конусности матрицы равен  $5^\circ$ , рабочий инструмент является абсолютно жестким; температура не влияет на процесс; коэффициент трения задан равным 0,12; сетка заготовки составляет 395266 элементов.

В результате моделирования получена диаграмма сила – ход обжатия, графики распределения главных напряжений и деформаций в различных сечениях заготовки. Максимальное значение силы при моделировании (рисунок 2) отличается от экспериментальных данных. Отклонение вызвано тем, что при моделировании сила трения постоянна, а при деформировании условия трения меняются по высоте заготовки. По мере увеличения хода обжатия условия трения ухудшаются в связи с увеличением поверхности трения, упрочнением материала заготовки, увеличением нормальных контактных напряжений, уменьшением шероховатости поверхности заготовки и вытеснением остатков смазочного слоя.

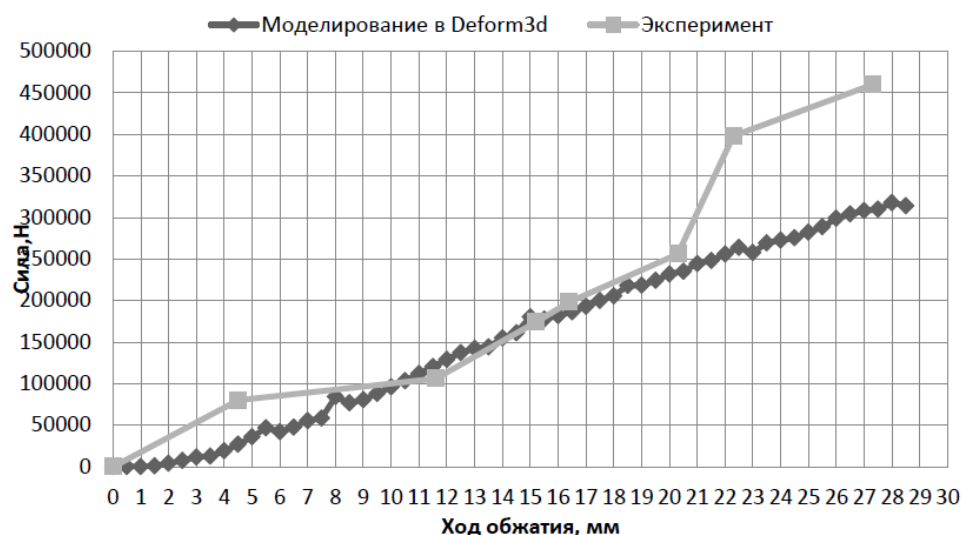


Рисунок 2 – Изменение силы деформирования от хода обжатия

На рисунках 3, 4 и 5 приведено изменение главных деформаций, главных напряжений и коэффициента жесткости напряженного состояния  $K$  в сечении по середине высоты заготовки.

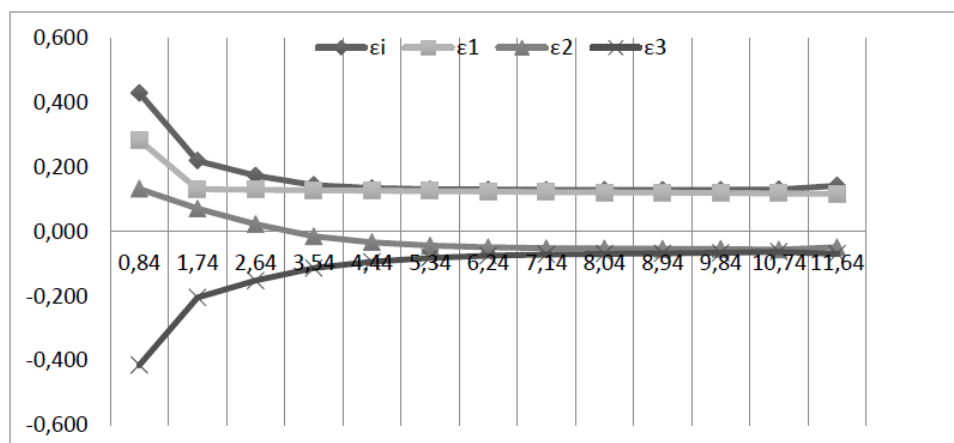


Рисунок 3 – Изменение главных деформаций в среднем сечении заготовки

Из графиков видно, что наибольшую деформацию претерпевает материал в центре заготовки в зоне, прилегающей к поверхности отверстия шириной до 4 мм. Максимальная величина интенсивности деформации превосходит почти в три раза интенсивность деформации в остальном объеме заготовки. Схема напряженного состояния – всестороннее сжатие. Интенсивность напряжений по сечению заготовки практически постоянна. Минимальные значения имеет первое главное напряжение, близкое по величине к осевому напряжению. Второе и третье главные напряжения отличаются в осевой зоне и практически одинаковы в краевой. Эти напряжения близки по величине к радиальному и тангенциальному напряжениям. Коэффициент жесткости схемы напряженного состояния находится в интервале от  $-2$  до  $-3,2$ .

На рисунках 6, 7 и 8 приведено изменение главных деформаций, главных напряжений и коэффициента жесткости напряженного состояния  $K$  в сечении, отстоящем на 5 мм от нижнего торца заготовки.

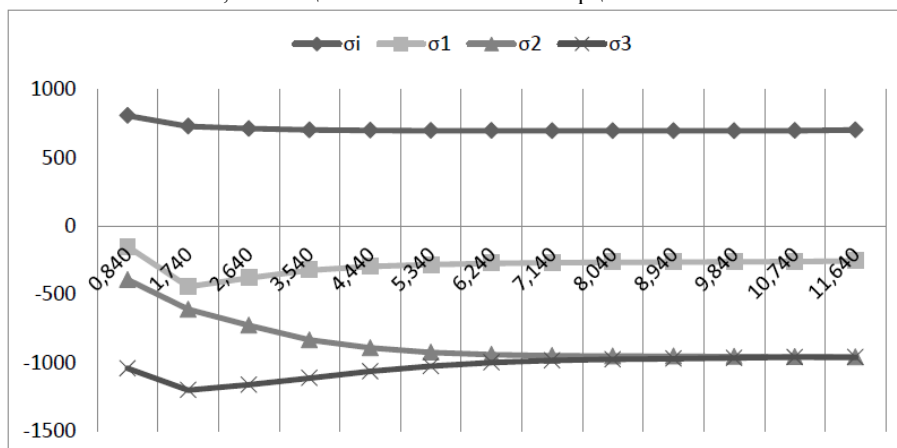


Рисунок 4 – Изменение главных напряжений в среднем сечении заготовки

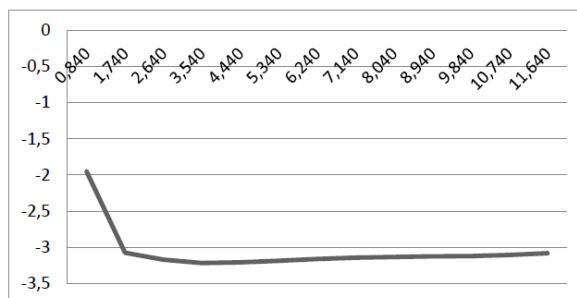


Рисунок 5 – Изменение коэффициента жесткости схемы напряженного состояния в среднем сечении заготовки

Общий характер изменения параметров напряженно-деформированного состояния не меняется. Максимальная величина интенсивности деформации больше, несколько больше и значения интенсивности напряжений. Первое главное напряжение меньше, коэффициент  $K$  изменяется в интервале от  $-2$  до  $-2,7$ , что можно объяснить близостью свободной поверхности заготовки.

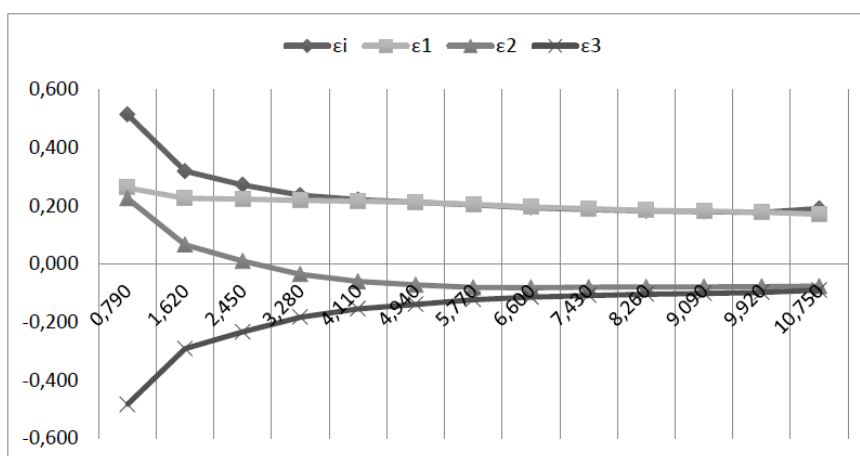


Рисунок 6 – Изменение главных деформаций в нижнем сечении заготовки

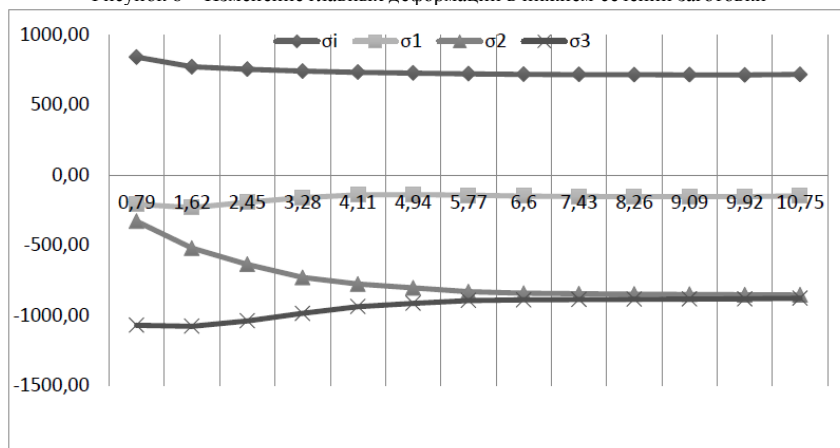


Рисунок 7 – Изменение главных напряжений в нижнем сечении заготовки

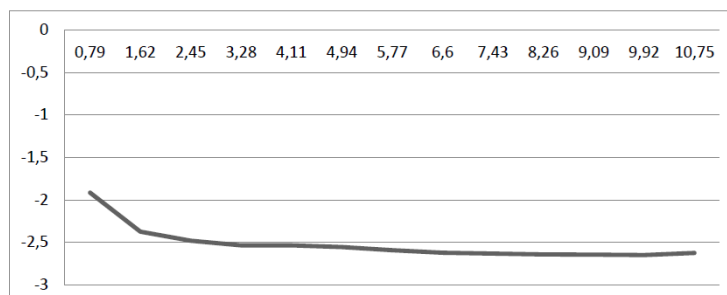


Рисунок 8 – Изменение коэффициента жесткости схемы напряженного состояния в нижнем сечении заготовки

На рисунке 9 приведено распределение твердости по Виккерсу в меридиональном сечении исследуемой заготовки. От деформированной заготовки аккуратно, не упрочняя металл, срезали слой толщиной до 5 мм. Измеряли твердость по радиусу заготовки. Одновременно измеряли диаметр отверстия. Таким образом получено изменение диаметра отверстия по высоте деформированной заготовки.

Заметно увеличение твердости в осевой зоне и от верхнего сечения к нижнему, что подтверждает результаты моделирования в части изменения интенсивности деформаций. Изменение диаметра сквозного отверстия по высоте заготовки коррелирует с формоизменением, полученном при моделировании. Минимальное значение диаметра находится не в нижнем сечении, начавшем деформироваться раньше, а на некотором расстоянии от нижнего торца заготовки. Диаметр отверстия не уменьшился до нуля ни при экспериментальном исследовании, ни при моделировании.

Дальнейшие исследования предполагают:

получение экспериментальной зависимости «твердость по Виккерсу – интенсивность деформаций – интенсивность напряжений» для стали У10А;

перевод значений твердости в значения интенсивности деформаций и интенсивности напряжений для всех исследованных заготовок;

моделирование процесса обжатия в конической матрице всех исследованных экспериментально заготовок;

разработку рекомендаций по определению технологических параметров получения радиальным обжатием матриц для штамповки элементов боеприпасов (размеры заготовок, определение хода обжатия и силы деформирования) как по результатам моделирования, так и по эмпирическим формулам.

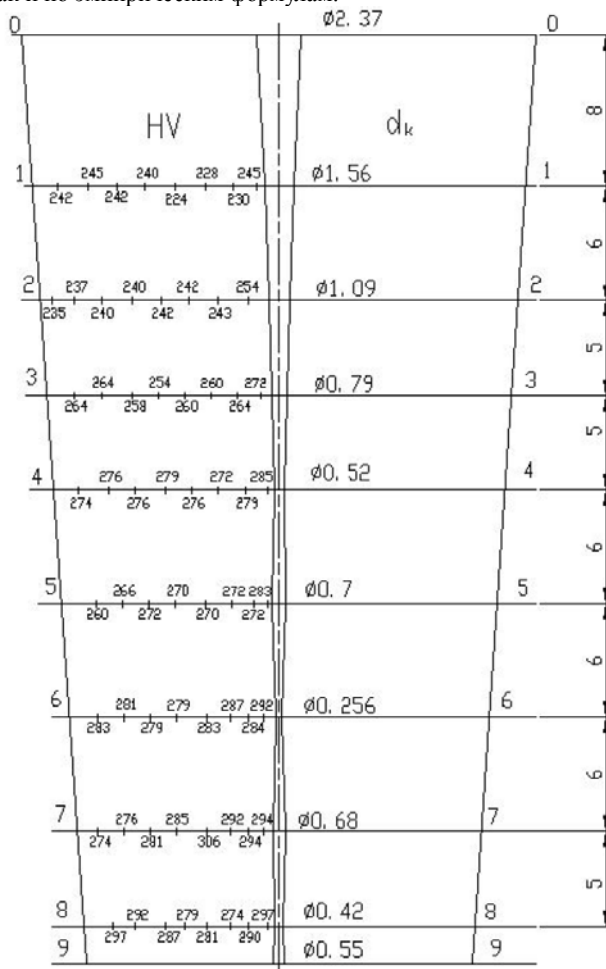


Рисунок 9 – Изменение твердости по Виккерсу в меридиональном сечении заготовки

#### Библиографический список

1. Нестеров, Н.И. Технология холодной объемной штамповки: учебное пособие / Н.И. Нестеров, В.Г. Трошин, О.Л. Киреев; под ред. Г.А. Данилина; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2016. – 167 с. ISBN 978-5-85546-968-4

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### 1. Вашему вниманию предлагается доклад на тему:

1. Моделирование процесса радиального обжатия цилиндрической заготовки.
2. Анализ результатов моделирования.
3. Экспериментальное исследование зависимости твердости по Виккерсу от степени деформации для стали У10А.
4. Разработка технологического процесса изготовления матрицы вытяжки.

3. Матрицы являются наиболее сложными и трудоемкими деталями штампового инструмента. Матрицы, применяемые для штамповки элементов выстрела, отличаются наличием сложной фигурной полости, во многом определяющей эксплуатационные характеристики инструмента. Номенклатура полостей матриц элементов выстрела приведена на слайде

Большая часть матриц имеет сквозные полости. К ним, в частности, относятся матрицы свертки, вытяжки, обжима.

4. Выдавливание относится к числу прогрессивных способов изготовления полостей формообразующих деталей инструментальной оснастки, обеспечивающих повышение качества штампов и снижающих трудоемкость их изготовления. В России выдавливание начали применять в 1950-е годы для изготовления полостей деталей штампов в заготовках из низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

5. Процесс выдавливания радиальным обжатием осуществляется без внедрения пуансона в заготовку. Образование полости в этом случае происходит за счет обжатия исходной заготовки в матрице с коническим рабочим ручьем. Заготовка для радиального обжатия может быть конической и цилиндрической. Материал заготовки при деформировании перемещается к ее центральной части, то есть к рабочей поверхности пуансона. Усилие пресса в процессе выдавливания радиальным обжатием прикладывается к заготовке.

6. На кафедре Е4 БГТУ ВОЕНМЕХ было проведено исследование процесса выдавливания радиальным обжатием цилиндрической заготовки со сквозным отверстием. Проведено экспериментальное исследование формоизменения цилиндрических заготовок различного диаметра со сквозным отверстием. Получена закономерность уменьшения диаметра сквозного отверстия от величины хода обжатия. Исследовано изменение твердости по Виккерсу (HV) в меридиональном сечении заготовок на заключительной стадии (обжатие заготовки по всей высоте).

7. Исследовали 9 цилиндрических заготовок с разными диаметрами и разным диаметром сквозного отверстия.

8. Задача нашего исследования – смоделировать процесс выдавливания с радиальным обжатием цилиндрической заготовки со сквозным отверстием и сравнить полученные результаты с результатами экспериментального исследования.

9. Проведено моделирование 9 заготовок в специализированной программе Deform 3d. На слайде приведен пример моделирования заготовки №3  $D = 24,6 \text{ мм}$ ,  $H = 34,85 \text{ мм}$ ,  $d_{\text{отв}} = 4 \text{ мм}$

При моделировании было принято, что рабочий инструмент является абсолютно жестким, температура не влияет на процесс, коэффициент трения задан 0,12, сетка заготовки составляет около 400 тыс. элементов.



10. в результате моделирования были получены графики зависимости силы –ход обжатия.

На слайде приведено экспериментальное и расчетное изменение силы деформирования заготовки №3. Максимальное значение расчетной силы отличается от экспериментального на \_\_\_\_%.

Такое отклонение может быть вызвано тем, что при моделировании коэффициент трения постоянен и задан как 0.12, а при деформировании условия трения различны по высоте заготовки.

11. на слайде показано формоизменение заготовки с одинаковым диаметром отверстия, но разным диаметром заготовки.

12. Ранее были получены значения твердости по Виккерсу в меридиональном сечении всех исследованных заготовок, на слайде продемонстрированы заготовки № 4 и №1.

13. Было проведено исследование зависимости твердости по Виккерсу от интенсивности деформации для стали у 10 А, испытанием на сжатия. Исследовалось 7 заготовок с одинаковым диаметром, но разной высотой.

14. Каждую заготовку осаживали в несколько этапов с различной степенью деформацией, после каждой осадки заготовки измерялись, а так же измерялась твердость по Виккерсу. На твердомере наносили на заготовку 3 отпечатка, затем измеряли диагонали на экспериментальном измерительном микроскопе и переводили длину диагоналей в значения твердости.

15-16. В ходе этого исследования получены графики зависимости твердости от интенсивности деформации и напряжения.

17.С помощью полученных графиков смогли перевести значения интенсивности деформации, полученные при моделировании в Твердость по Виккерсу и сравнить с результатами твердости полученными при экспериментальном деформировании.

18.Для разработки технологического процесса была выбрана матрица для вытяжки представленная на рисунке. ее можно изготовить осевым выдавливанием и радиальным обжатием.

19. проведен расчет усилия для осевого выдавливания и выдавливания радиальным обжатием

20. на слайде приведена схема изготовления этой матрицы радиальным обжатием.

21. при радиальном обжатии усилия меньше чем при осевом выдавливании.

22- 24. Разработанный технологический процесс для изготовления матрицы вытяжки выдавливанием радиальным обжатием.

1. Вначале отрезают заготовку с припусками.
2. Затем ее обезжиривают и отжигают
3. После этого шлифуют
4. Проводят деформирование
5. Далее проводят доделочные операции

25.Были проанализированы основные методы экспериментального исследования: метод твердости, поляризационно-оптический, метод оптически-чувствительных покрытий.

Проведен анализ результатов моделирования и экспериментального деформирования процесса радиального обжатия в конической матрице.

Проведено исследование зависимости твердости по Виккерсу от интенсивности деформации, проведено сравнение данных твердости полученных при экспериментальном деформировании и моделировании.

Разработан технологический процесс изготовления матрицы вытяжки операцией выдавливанием радиальным обжатием

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г.

### Презентация доклада

**Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова  
Факультет «Оружие и системы вооружения»  
Кафедра «Высокоэнергетические устройства автоматических систем»**

## **Магистерская диссертация на тему:**

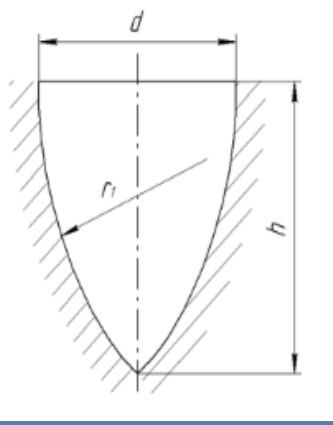
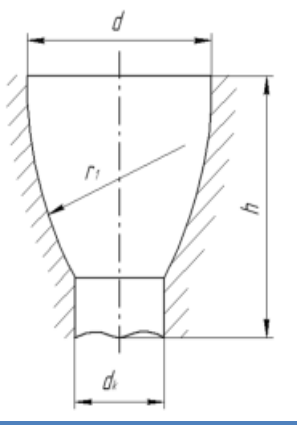
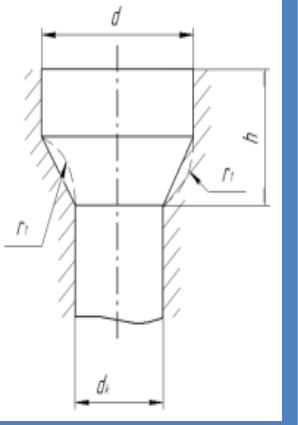
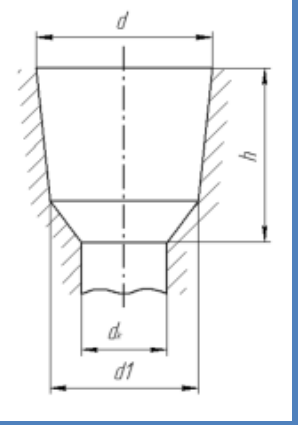
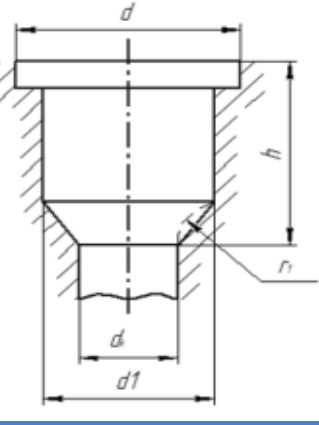
**Определение технологических параметров  
процесса изготовления матриц для листовой  
штамповки выдавливанием радиальным  
обжатием**

**Магистрант: Тягин А.С.  
Группа: Е1М31  
Руководитель: Нестеров Н.И.**

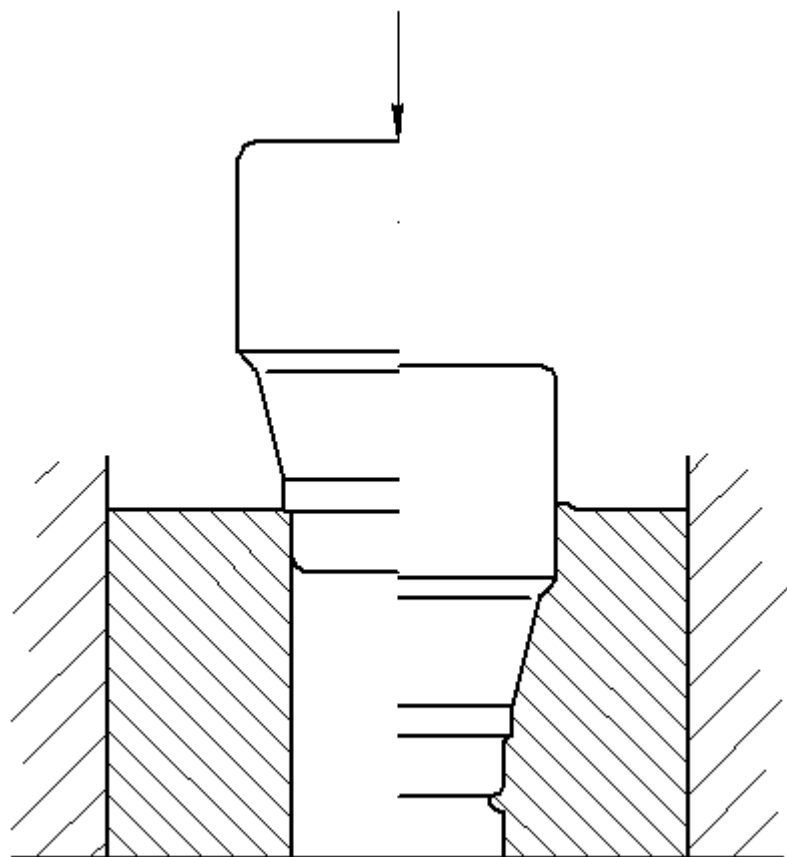
# Задачи исследования

1. Моделирование процесса радиального обжатия цилиндрической заготовки.
2. Анализ результатов моделирования.
3. Экспериментальное исследование зависимости твердости по Виккерсу от степени деформации для стали У10А.
4. Разработка технологического процесса изготовления матрицы вытяжки.

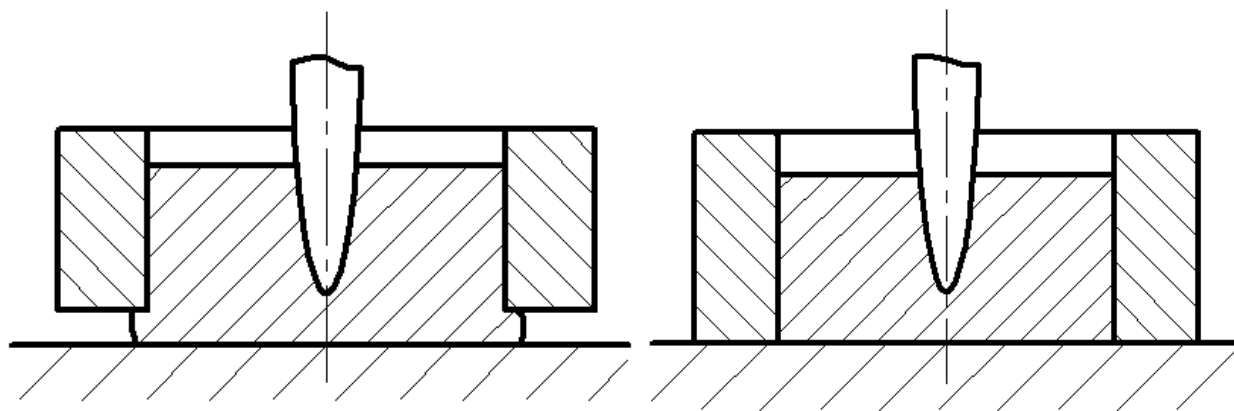
# Типовые формы полости матриц для штамповки элементов выстрела

Продольный разрез полости					
Группа	I	II	III	IV	V
Изделие	5,45; 7,62; 12,7; 14,5	5,45; 7,62;12,7; 14,5;23; 25; 30; 100	5,45;7,62;12,7; 14,5;23; 25;30;37; 100	5,45; 7,62;12,7; 14,5;23; 25; 30; 100	23; 25; 30
Операция	обжим; запрессовка расправка	свертка; вытяжка; обжим; калибровка	вырубка; свертка; вытяжка	обжим	свертка; штамповка дна
$d$ ,мм	2...28	9...184	8...260	33...137	59...140
$d_k$ , мм	-	6...161	6...170	24...132	43...63
$h$ , мм	2...35	4...65	9...70	118...517	20...32
$\frac{h}{d_{cp}}$	0,1...2,3	0,1...3,6	0,2...3,0	3,1...3,6	0,1...0,5
$f$ , мм <sup>2</sup>	4...616	66...26630	57...537	850...14820	2730...15400

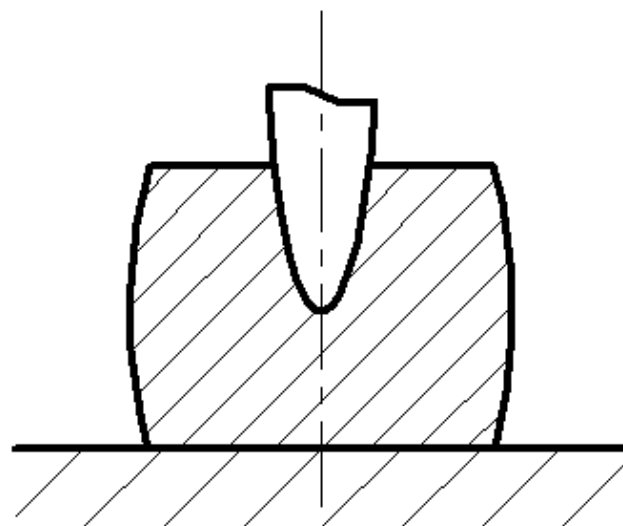
# Виды выдавливания



Осевое выдавливание

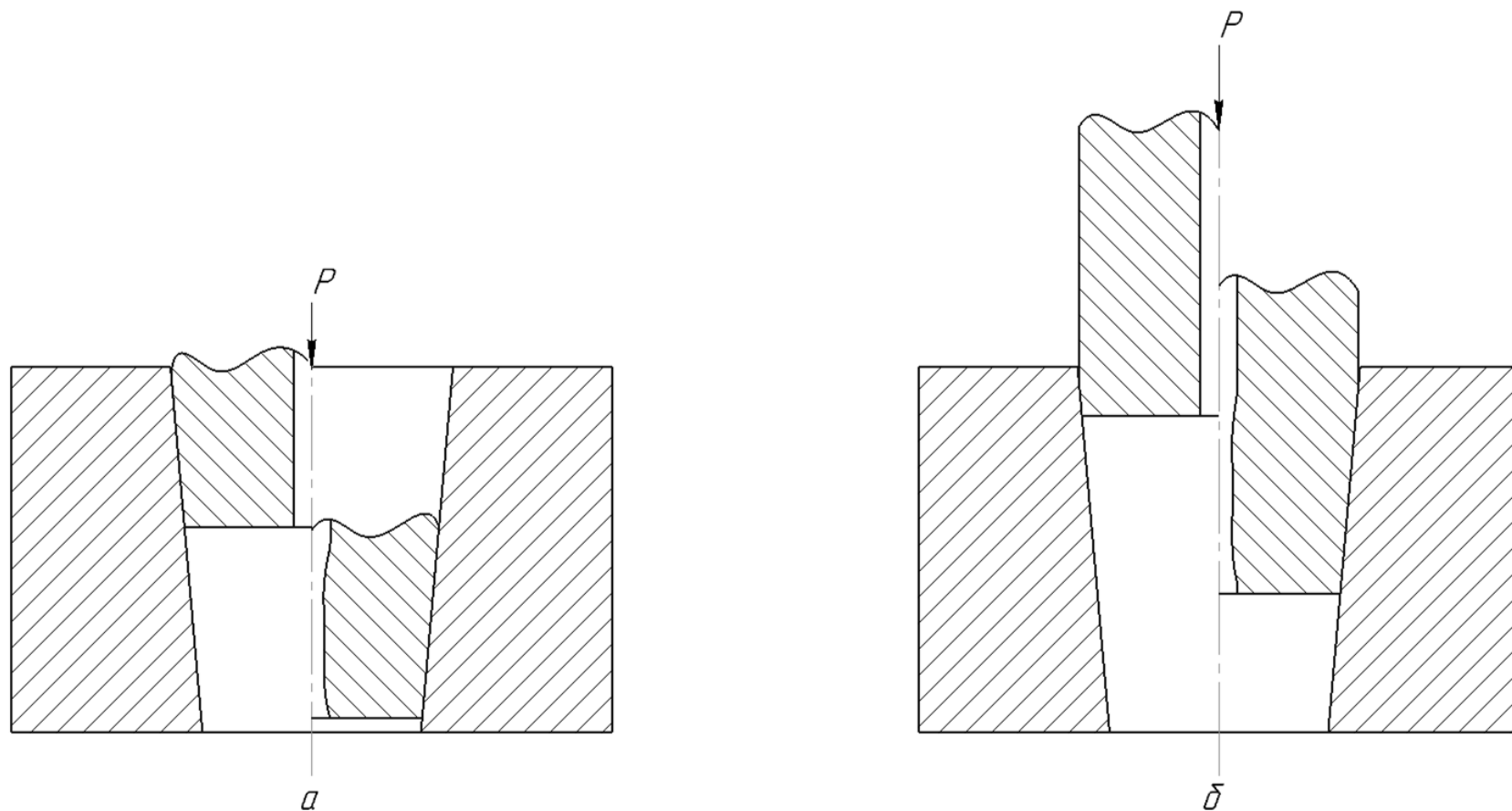


Полузакрытое выдавливание      Закрытое выдавливание



Открытое выдавливание

# Схема радиального обжатия конической и цилиндрической заготовки



а — коническая заготовка, б — цилиндрическая заготовка

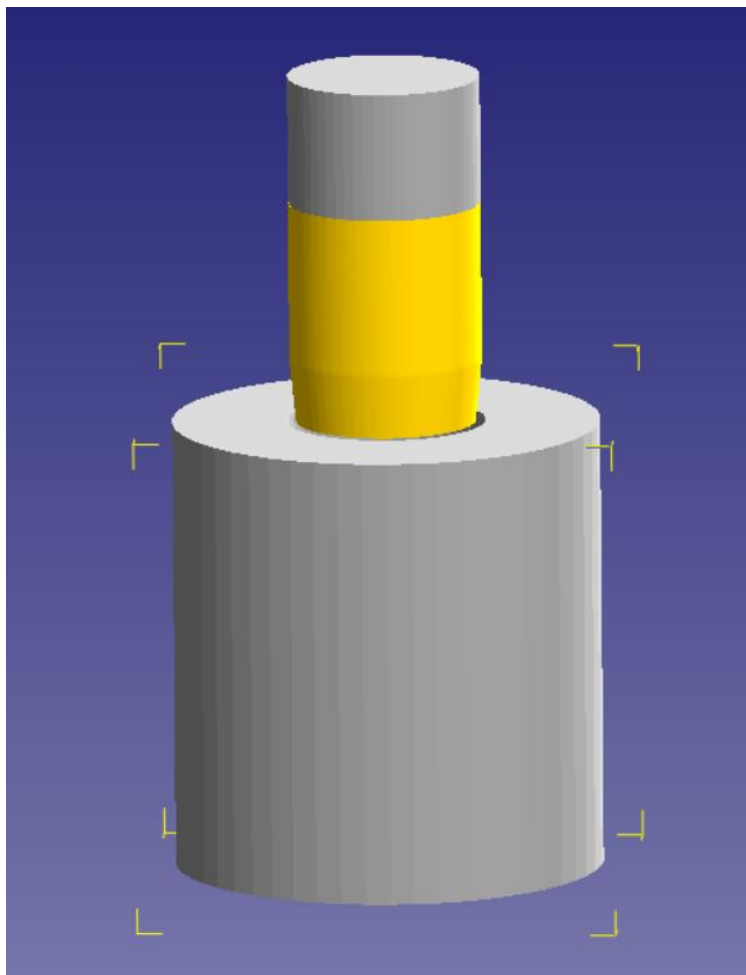


# Предыдущие исследования

1. Проведено экспериментальное исследование формоизменения цилиндрических заготовок различного диаметра со сквозным отверстием.
2. Получена закономерность уменьшения диаметра сквозного отверстия от величины хода обжатия.
3. Исследовано изменение твердости по Виккерсу (HV) в меридиональном сечении заготовок на заключительной стадии (обжатие заготовки по всей высоте).

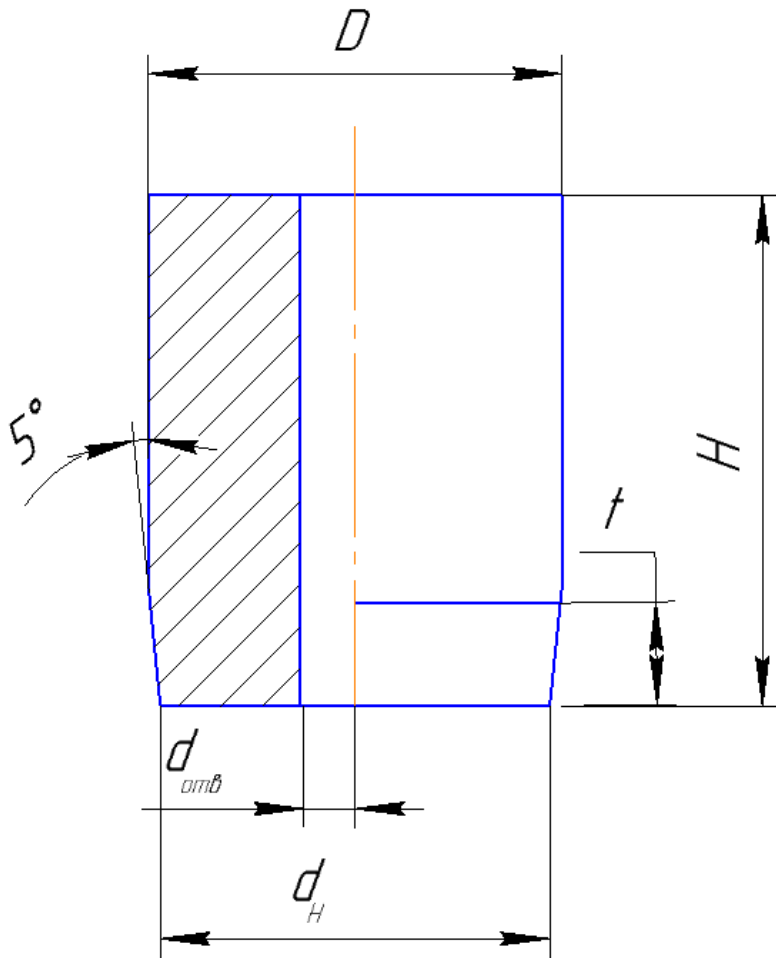
№ заг.	H, мм	D, мм	d <sub>н</sub> , мм	d <sub>отб</sub> , мм	t, мм
1	35,00	25	23	3	10
2	34,85	24,6	22,85	4	10
3	34,80	25	23	5	10
4	34,80	30	28	3	10
5	34,70	30	28	4	10
6	34,80	30	28	5	10
7	35,00	35	33	3	10
8	34,75	35	33	4	10
9	34,80	34,9	33	5	10

# Задача исследования – моделирование процесса в программе Deform 3d

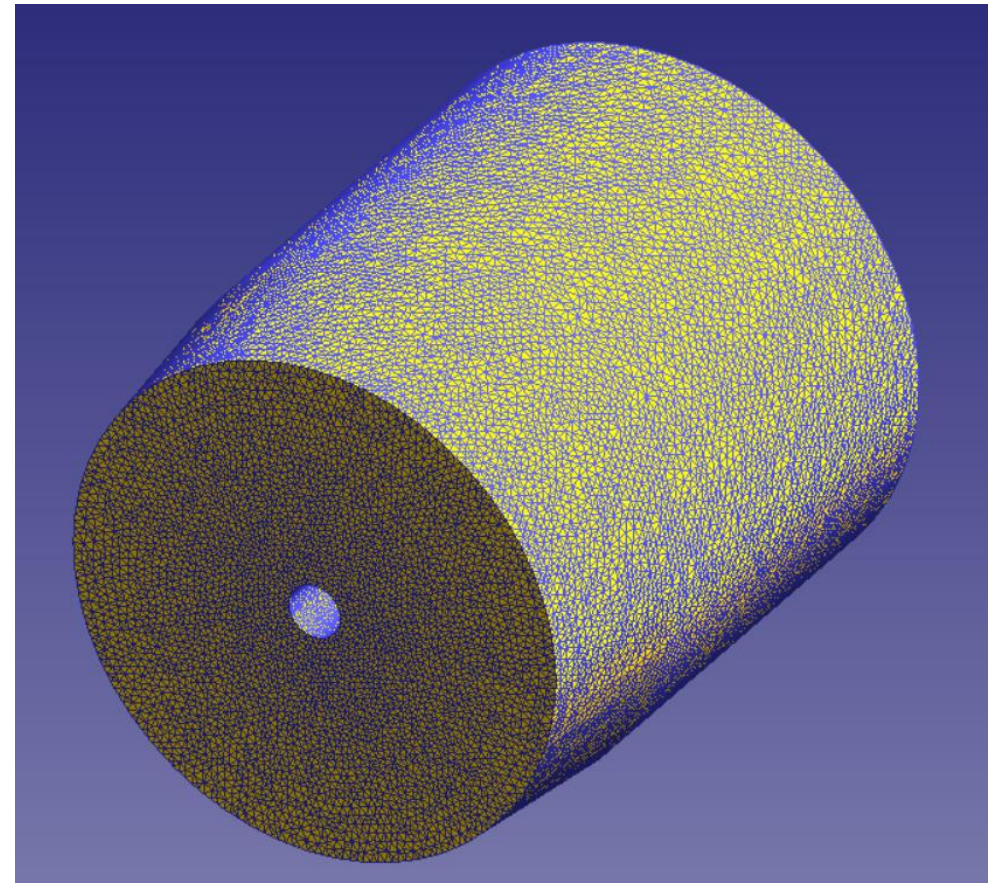


DEFORM – 3D является системой конечно-элементного моделирования разрабатываемой компанией Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC), и предназначена для анализа трехмерного течения металла при различных процессах обработки металлов давлением.

# Моделирование процесса в программе Defrom 3d



Заготовка для моделирования процесса  
радиального обжата



Сетка заготовки  
4000000 элементов

# Результаты моделирования

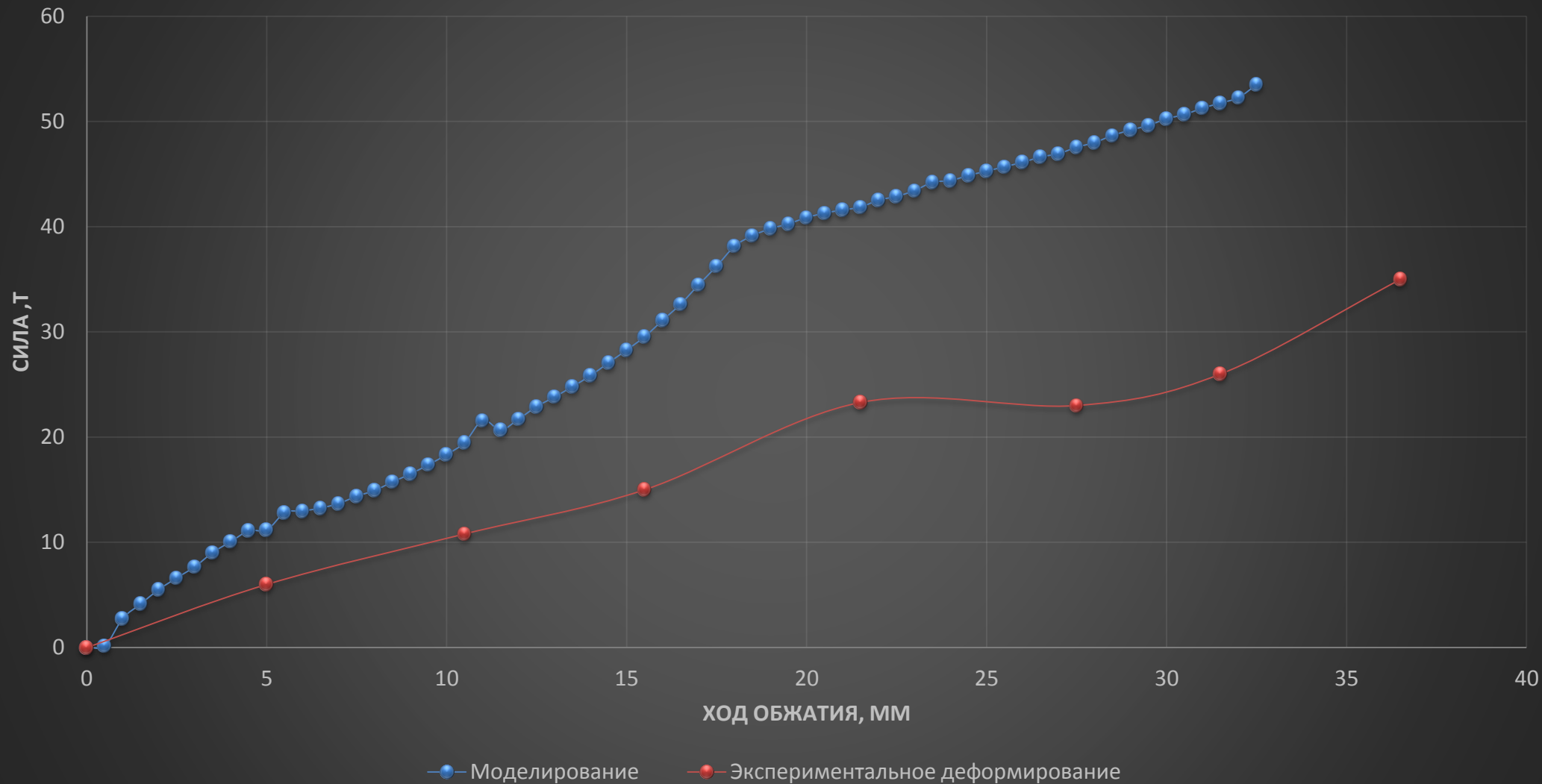
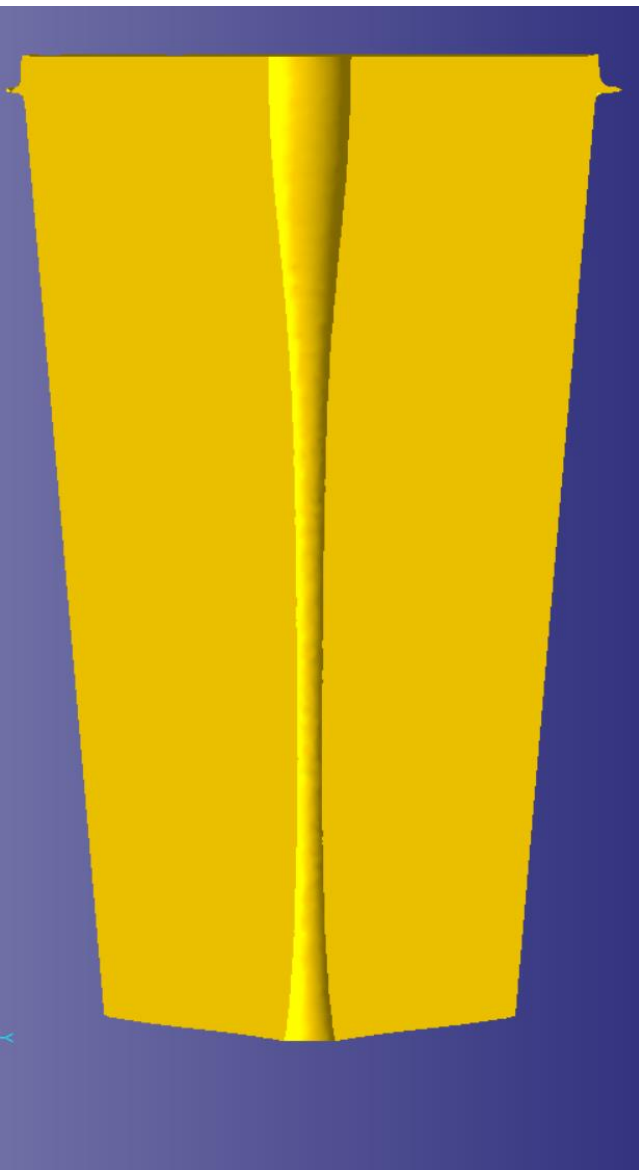


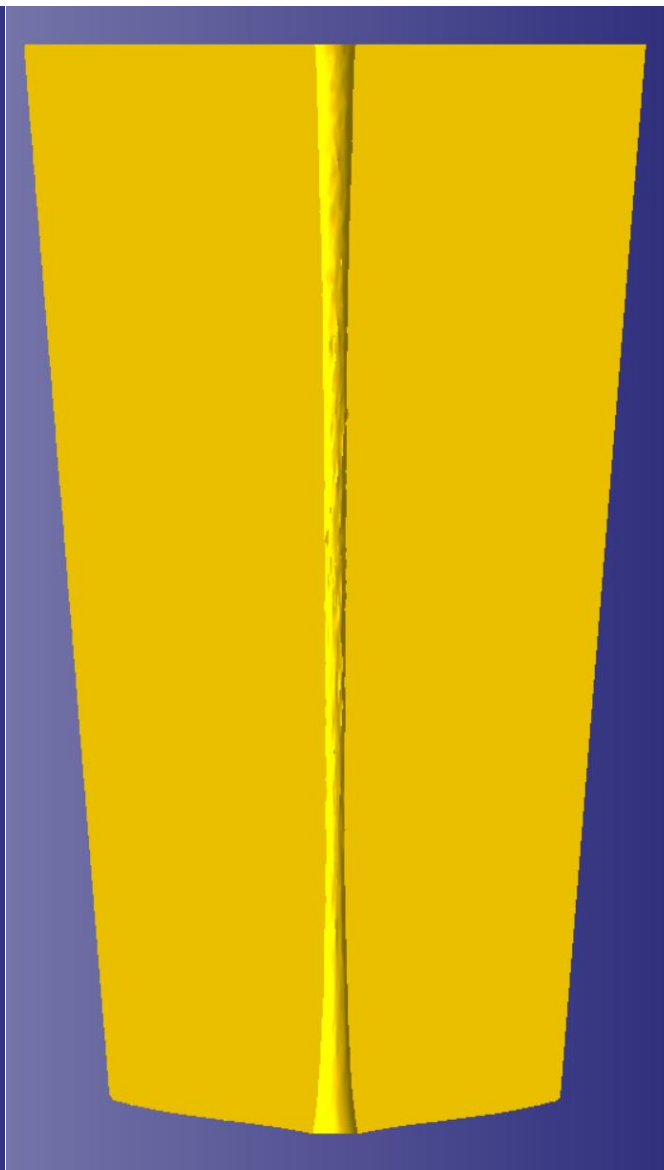
Диаграмма сила-ход обжатия заготовки №2

$D = 24,6\text{мм}$ ,  $H = 34,85\text{ мм}$ ,  $d_{\text{отв}} = 4\text{ мм}$

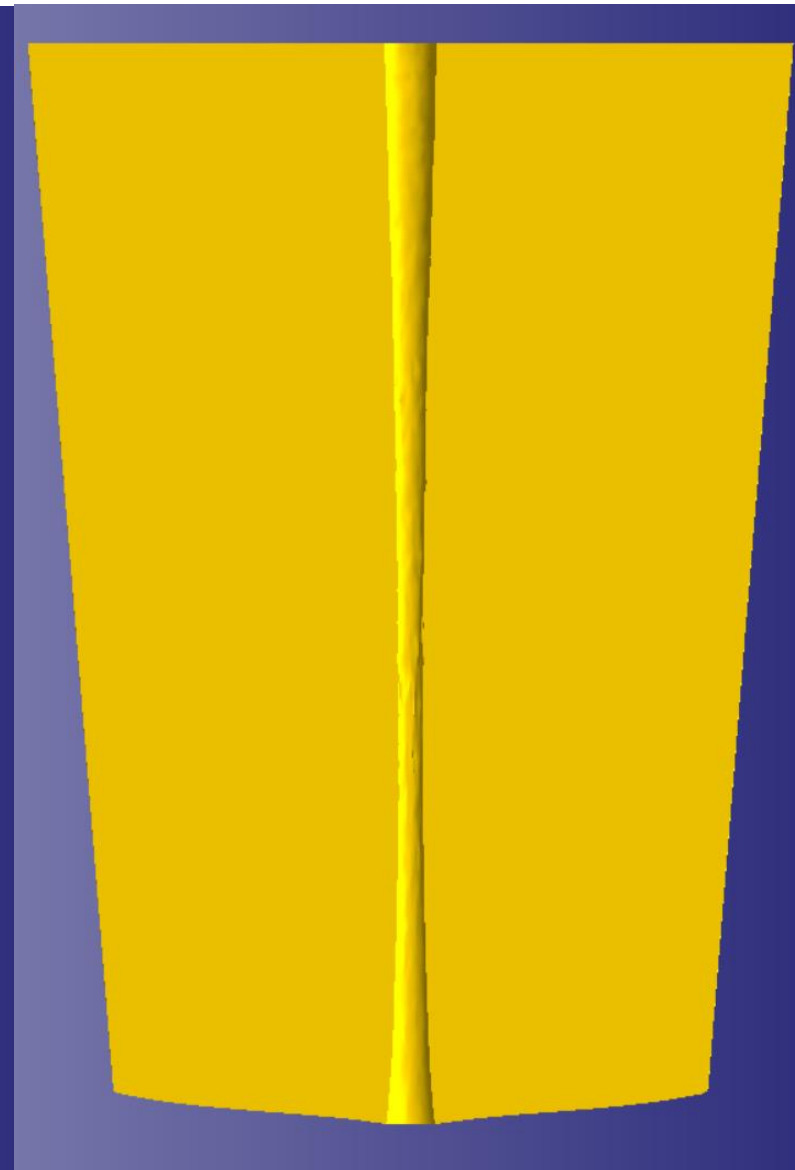
# Результаты формоизменения



Заготовка №2

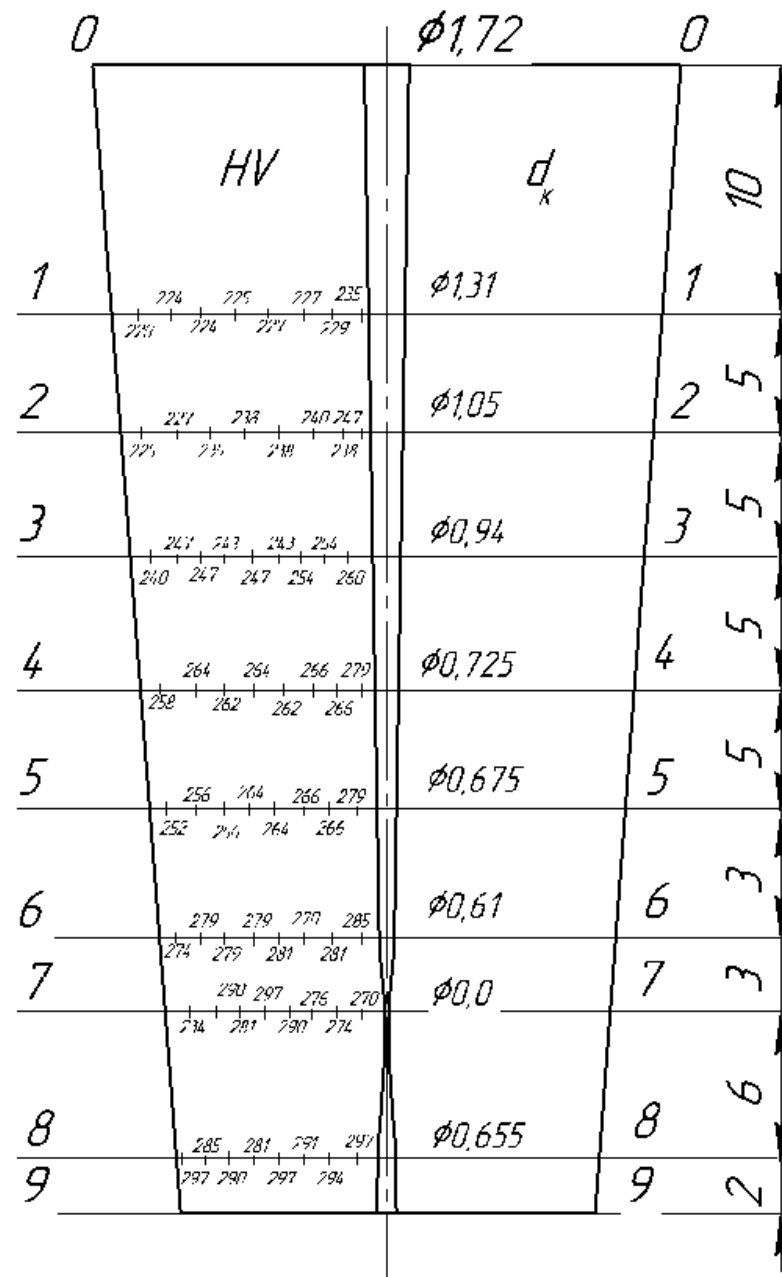
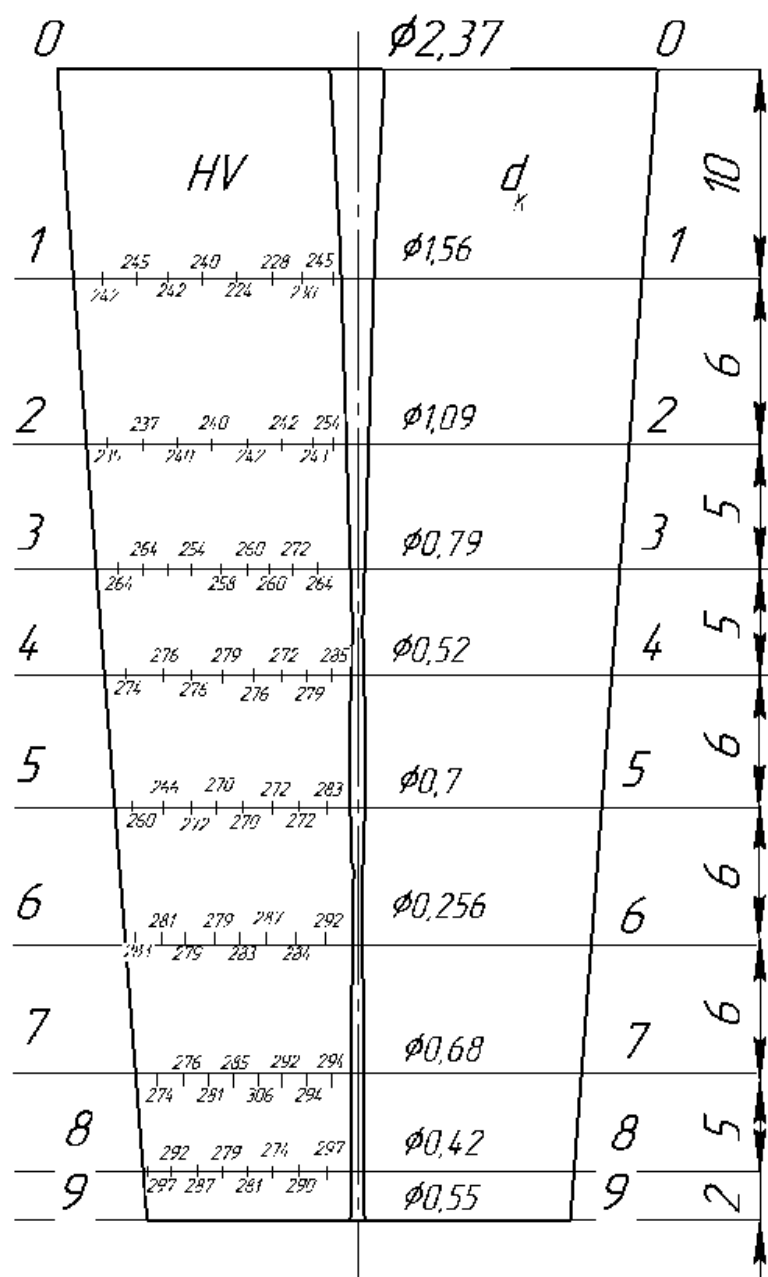


Заготовка №5



Заготовка №8

# Распределение твердости HV



# Таблица исходных данных заготовок для исследования твердости

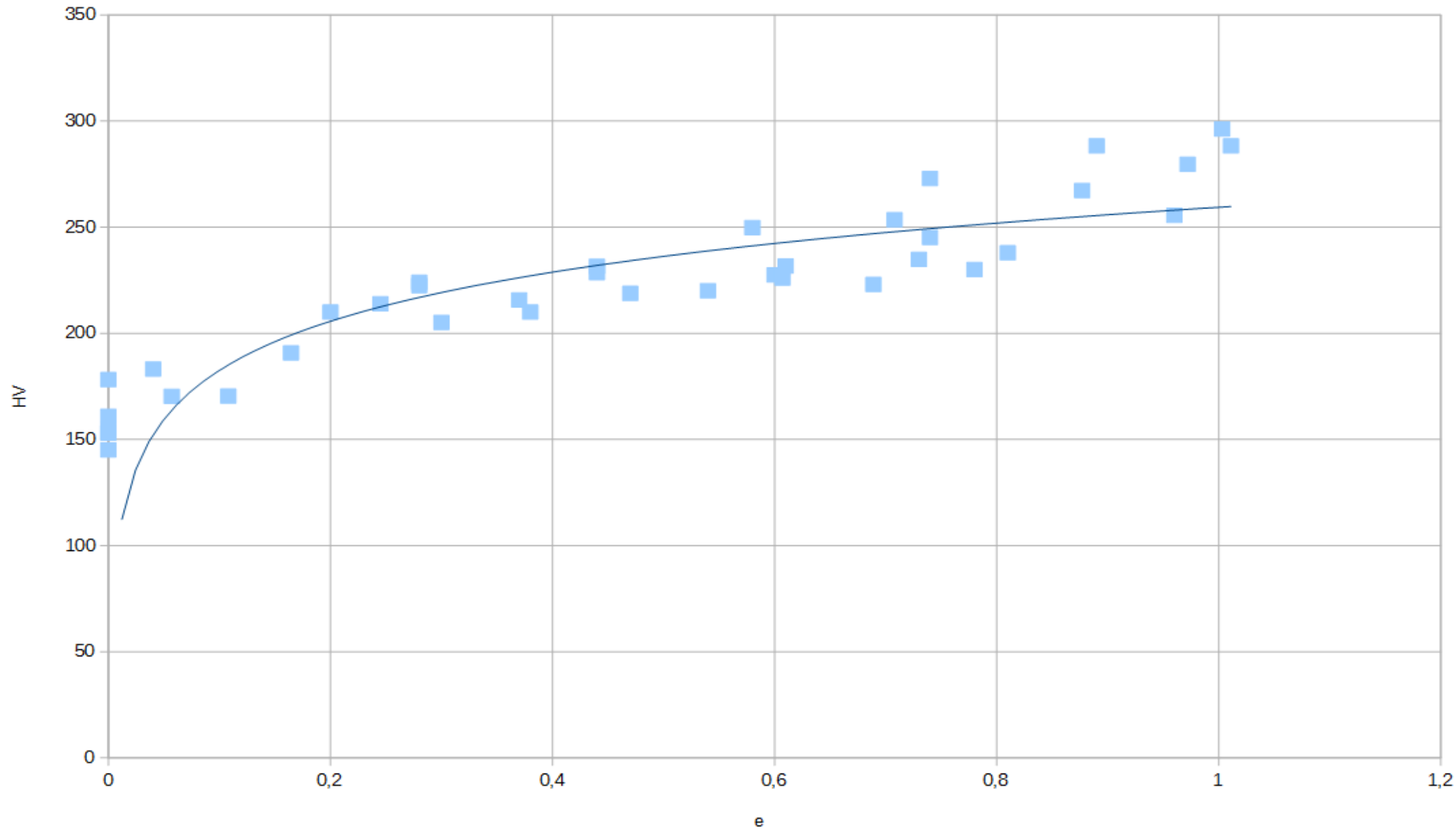
№ заготовки	H <sub>0</sub> , мм	D <sub>0</sub> , мм	HV <sub>0</sub>
1	22,8	20,2	-
2	25,7	20,1	-
3	26,4	20,1	178,2
4	26,8	20,1	154
5	26,3	20,1	145,1
6	26,2	20,1	160,9
7	27	20,1	153



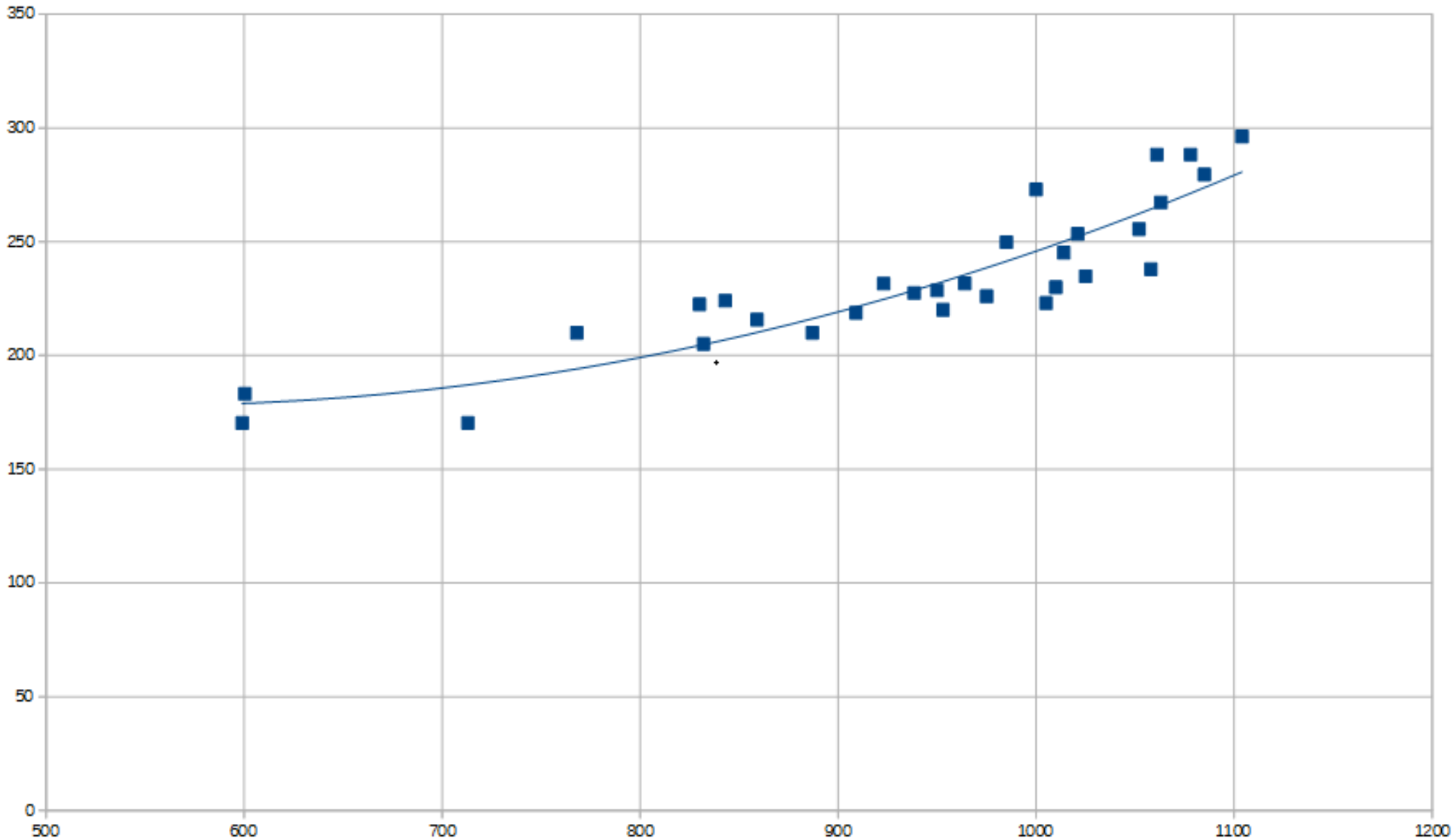
# Таблица полученных данных на осадке

№ заготовки	$h_1$ , мм	$d_{BT}$ , мм	$d_{HT}$ , мм	$d_{max}$ , мм	P, кН	HV <sub>cp</sub>	$\varepsilon_i$	$\sigma_i$ , МПа
1	21,9	20,5	20,5	20,6	200	-	0,0403	600,4
	12,4	26,4	26,7	28	548	-	0,6	938,4
	10,4	29,2	29,6	30,7	716	-	0,78	1010,1
2	21,3	21,9	21,8	22,3	294	190,8	0,165	-
	20,1	22,4	22,6	23	340	213,9	0,245	-
3	18,01	23,55	23,7	24,9	410	210	0,38	887,4
	12,55	28,7	28,4	30,05	674	273	0,74	1000,1
	9,6	33	32,5	34,6	960	288,3	1,011	108,65
4	25,3	20,55	20,55	20,7	200	170,3	0,057	599
	20,2	22,5	22,7	23,4	350	224,1	0,28	842,8
	17,15	24,15	24,2	25,4	458	228,6	0,44	949,6
	14,5	26,5	26,5	27,8	558	231,7	0,61	964,4
	12,9	27,7	28,2	29,4	662	234,8	0,73	1025,5
	10,25	31,5	31,2	33,1	858	255,6	0,96	1052,5
5	21,45	22,1	22,1	22,5	300	210	0,2	768,5
	18	24,1	23,95	24,8	402	215,7	0,37	859,3
	15,25	25,95	25,6	26,95	520	220,1	0,54	953,15
	13,2	27,6	27,7	29,2	638	223	0,689	1005,9
	11,7	29,4	29,2	30,8	750	237,9	0,81	1058,05
	9,95	31,8	32,2	33,5	914	279,6	0,972	1085,56
6	23,5	21,2	21,2	21,4	254	170,4	0,108	713,2
	19,8	22,9	22,8	23,5	350	222,5	0,28	830,2
	16,8	24,55	24,6	25,7	458	231,6	0,44	923,3
	14,6	26,2	26	27,7	560	249,8	0,58	985,86
	12,9	28,4	27,9	29,4	664	253,5	0,708	1021,5
	10,9	30,65	30,2	31,95	812	267,3	0,877	1063,5
7	20	22,85	22,7	23,5	350	205,1	0,3	832,86
	16,8	24,7	24,8	25,8	456	218,8	0,47	909,3
	14,7	26,4	26,3	27,7	559	226	0,607	975
	12,85	27,85	28,2	29,7	66,4	245,2	0,74	1014,8
	11,05	30,4	30,7	31,95	814	288,3	0,89	1061,8
	9,9	32,4	32,2	33,9	950	296,3	1,003	1104,6

# График зависимости твердости от интенсивности деформации



# График зависимости твердости от интенсивности напряжений



# Сравнение твердостей

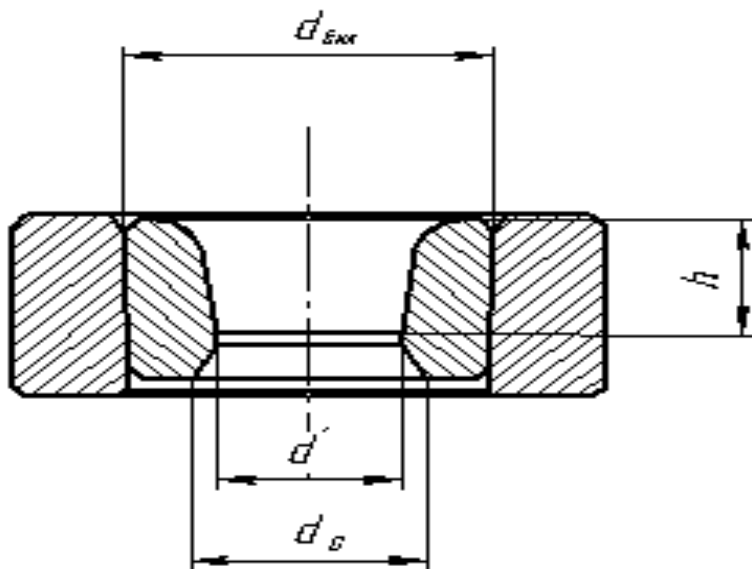
	Эксперимент	Моделирование	
1	232 237 238 247 230 232 237 238	275 215 210 200 237 207 205 200	1
2	245 245 249 254 242 243 245 252		2
3	254 254 258 283 260 254 256 258		3
4	268 270 272 272 264 274 272 270		4
5	283 272 270 285 268 270 272 281	278 240 235 230 250 237 232 230	5
6	272 276 283 285 262 274 281 285		6
7	276 292 297 297 268 272 297 294	280 250 245 237 260 245 240 235	7
8	287 287 274 290		8
9	298 285 283 287		9

Заготовка №6

	Эксперимент	Моделирование	
1	237 240 242 249 252 235 240 247 249	250 210 200 195 215 200 197 190	1
2	240 245 247 254 256 240 242 252 254		2
3	247 254 262 264 268 245 251 258 262 264		3
4	268 276 284 281 264 271 276 279	280 225 220 217 230 220 215 218	4
5	264 272 276 279 260 264 272 279		5
6	276 292 297 297 268 279 297 294	272 240 235 233 242 237 235 230	6
7	287 283 276 276		7
8	306 287 276 283		8

Заготовка №8

# Фотография и рисунок матрицы и размеры



# Полученные результаты для осевого выдавливания

Расчет усилия деформирования определяются по формуле:

$$P = p \cdot f \quad ,$$

$$\text{где: } p = 1,34(1 + \mu)[HB]\left(1 + \frac{d_0}{d'} + \frac{d_0^2}{4,5 * d'^2}\right) \sqrt[3]{\frac{h_n}{d'}};$$

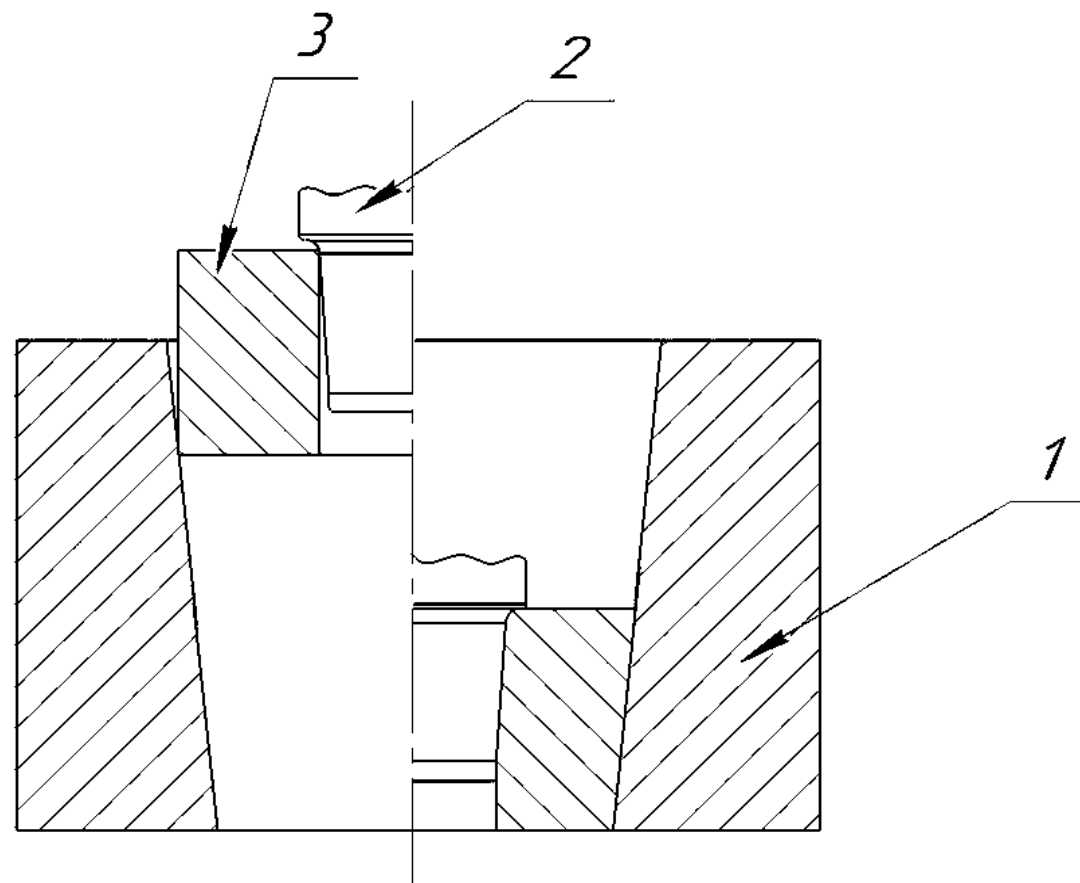
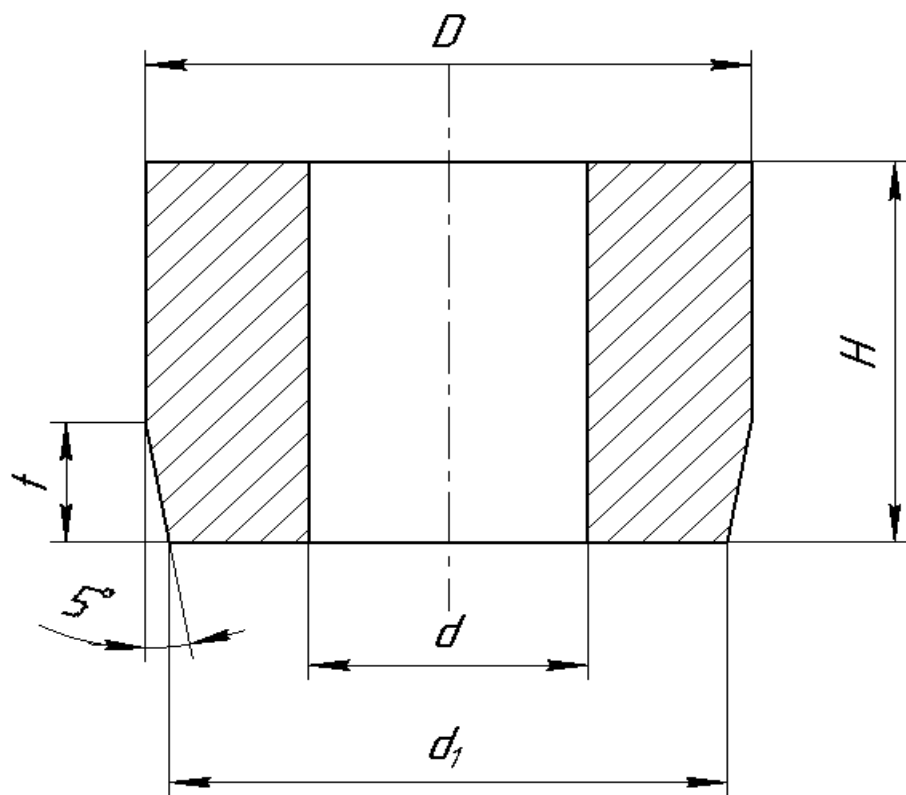
$$f = \frac{3,14}{4} * 12,45^2 = 121,7 \text{ мм}^2;$$

$$p = 1,34(1 + 0,38)170 * \left(1 + \frac{12,45^2}{4,5((12,45)^2)^2}\right) * \sqrt[3]{\frac{10}{12,45}} =$$

845,01 МПа;

$$P = 845,01 \cdot 121,7 = 102,8 \text{ кН}.$$

# Схема для радиального обжатия и заготовка



# Полученные результаты усилия при радиальном обжатии

$$P = p_T \cdot f_1,$$

Расчет удельного усилия будем проводить по формуле:

$$p_T = 1,87 \sigma_i \left( \left( \frac{D_1^2 - S_1^2}{d_1^2 - S_2^2} \right)^{1,15} - 1 \right),$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{F_1}{F_0}$$

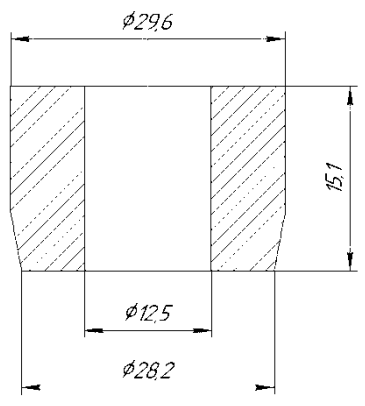
$$\varepsilon = 0,23 \Rightarrow \sigma_i = 740 \text{ МПа}.$$

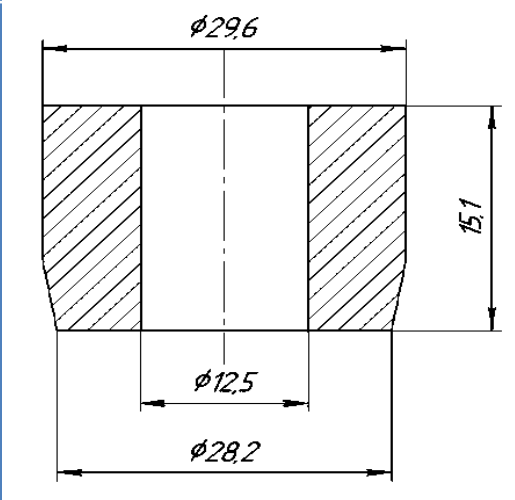
$$P = 1,87 \cdot 740 \cdot 10^6 \cdot \left( \left( \frac{28^2 - 12,5^2}{25^2 - 12^2} \right)^{1,15} - 1 \right) = 495,8 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$P = 495,8 \cdot 121,7 = 60,3 \text{ кН}$$



# технологический процесс подготовки матрицы вытяжки

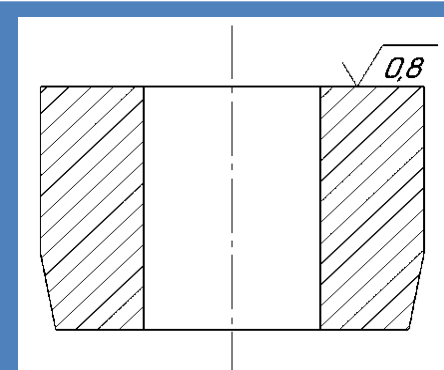


операции и	содержание операции	Оборудование	Эскизы полуфабрикатов
1	2	3	4
1.	Изготовление заготовки	Токарно- винторезный станок 1К62	
2.	Обезжиривание и промывка	Цепочка ванн	-
3.	Отжиг заготовки	Электрод печь	-

4.

Шлифование  
торца

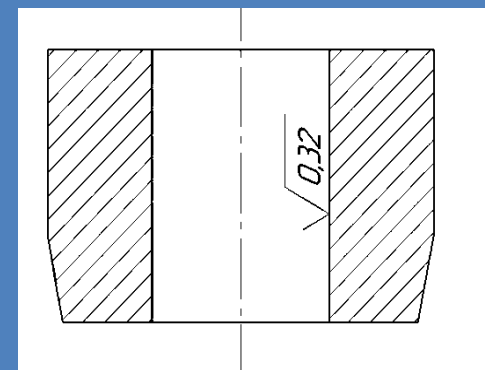
Плоскошлифовальный  
станок 540AP



5.

Шлифование  
полости

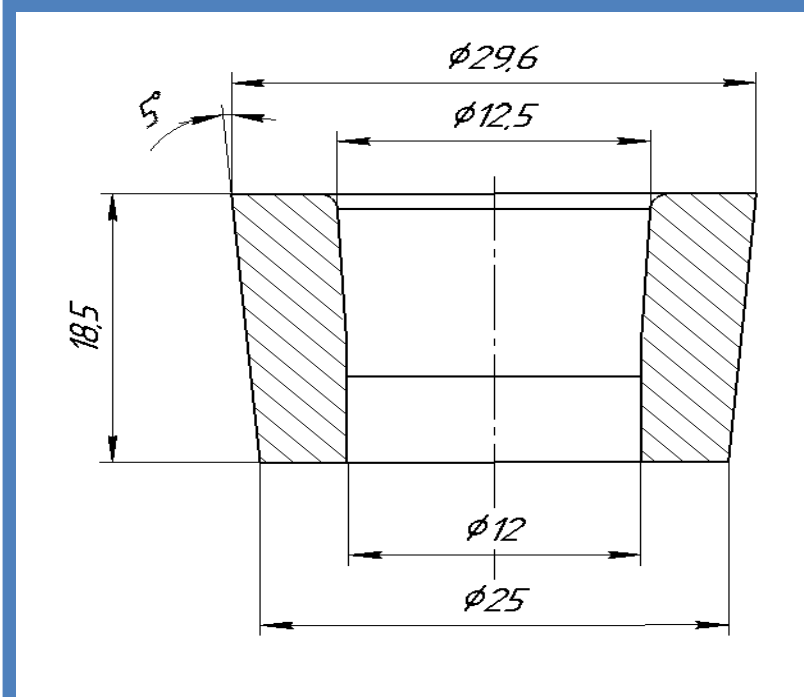
Круглошлифовальный  
станок 400RU



6.

Внедрение  
пуансона в  
заготовку и ВРО

Пресс КД2126



7.	Расспрессовка пакет-штампа и извлечение пуансона из заготовки	Приспособление	-
8.	Снятие припуска на механическую обработку	Токарный винторезный станок 1К62	
9.	Обезжиривание и промывка	Цепочка ванн	-
10.	Закалка	Электродпечь	-
11.	Отпуск	Электродпечь	-
12.	Шлифование торцов и полости	Плоскошлифовальный станок 540AP, Круглошлифовальный станок 400RU	

# Заключение

1. Были проанализированы основные методы экспериментального исследования: метод твердости, поляризационно-оптический, метод оптически-чувствительных покрытий.
2. Проведен анализ результатов моделирования и экспериментального деформирования процесса радиального обжатия в конической матрице.
3. Проведено исследование зависимости твердости по Виккерсу от инертности деформации, проведено сравнение данных твердости полученных при экспериментальном деформировании и моделировании.
4. Разработан технологический процесс изготовления матрицы вытяжки операцией выдавливанием радиальным обжатием

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**