



УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой Е4  
В.В. Игнатенко  
И.О. Фамилия  
«    » 19 г.

### ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Обучающемуся Яковлеву Илье Андреевичу  
Фамилия, имя, отчество обучающегося

Направление подготовки 15.04.03 Прикладная механика  
код полное наименование направления

Магистерская программа Механика процессов обработки давлением  
наименование магистерской программы

Тема Технологические возможности изготовления сферических пробок из  
труднодеформируемых материалов

Исходная информация: Номенклатура и чертежи деталей, действующая технология  
изготовления, парк оборудования

Содержание магистерской диссертации (основные разделы) Введение

1. Анализ возможных способов изготовления шаровых пробок
2. Расчет технологических параметров, анализ напряженно-деформируемого состояния
3. Проектирование штамповой оснастки, экспериментальная отработка

Заключение

Иллюстративные материалы: Электронная презентация

Срок представления работы « 08 » мая 05 20 20 г.

Руководитель магистерской диссертации  
К.Т.Н.

Ученая степень, ученое звание  
В.А. Лобов  
И.О. Фамилия  
«25» 11 20 19 г.

Обучающийся

И.А. Яковлев  
И.О. Фамилия  
«25» 11 20 19 г.

Руководитель магистерской программы  
д.т.н, профессор

Ученая степень, ученое звание  
К.М. Иванов  
И.О. Фамилия  
«25» 11 20 19 г.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка состоит из 120 листов машинописного текста, включает 82 рисунка, 8 таблиц, 16 источников литературы, 3 приложения.

ШАРОВАЯ ПРОБКА, ШАРОВОЙ КРАН, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ОБЖИМ, СИЛА ДЕФОРМИРОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, МКЭ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ШТАМП.

Целью магистерской диссертации является разработка конструкции пробки шарового крана из трубного проката нержавеющей стали 12Х18Н10Т с использованием операций обработки металлов давлением.

В ходе выполнения работы был проведен анализ области применения шаровых пробок, рассмотрены известные способы их изготовления и действующая технология на предприятии АО «Армалит». Была предложена новая конструкция составной шаровой пробки с внутренним расположением стыка, изготавливаемой обжимом двух трубных заготовок, было проведено моделирование обжима методом конечных элементов, проведено экспериментальное исследование операции и разработана производственная штамповая оснастка.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	8
1.1 Назначение, варианты конструктивного исполнения и область применения шаровых пробок .....	8
1.2 Способы изготовления шаровых пробок .....	15
1.3 Анализ действующей технологии изготовления шаровых пробок .....	26
1.4 Цель и задачи исследования .....	28
2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАРОВОЙ ПРОБКИ.....	29
2.1 Разработка усовершенствованной конструкции шаровой пробки и технологии ее изготовления .....	29
2.2 Расчет технологических параметров процесса обжима .....	34
3 КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МКЭ.....	39
3.1 Методические основы компьютерного моделирования и выбор программного пакета.....	39
3.2 Исходные данные для моделирования .....	45
3.3 Особенности моделирования упруго-пластичных тел с применением МКЭ. ....	48
3.4 Анализ силового режима и напряженно-деформированного состояния заготовки.....	53
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЖИМА ШАРОВЫХ ПРОБОК.....	73
4.1 Материалы, заготовки и рабочий инструмент .....	73
4.2. Методика оценки качества штампуемых деталей .....	78

4.3 Анализ силового режима .....	80
4.4 Анализ напряжённо-деформированного состояния .....	82
4.5 Анализ размеров полуфабрикатов после операции.....	87
4.6 Анализ результатов экспериментального исследования.....	91
5 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ .....	94
5.1 Требования, предъявляемые к штамповой оснастке .....	94
5.2 Выбор оборудования и разработка конструкции штампа.....	98
5.3 Характеристика деталей разработанного штампа.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	116
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЧЕРТЕЖИ ПРОБОК, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ .....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЧЕРТЕЖИ ПРОБОК, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЕДЛАГАЕМЫМ СПОСОБОМ.....	128
ПРИЛОЖЕНИЕ В. КД ШТАМПА ДЛЯ ОБЖИМА DN50 .....	145

## ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является разработка конструкции и технологии изготовления шаровой пробки для шаровых кранов DN32, DN40, DN50, DN65, DN80, DN100, DN125, DN150 из нержавеющей стали 12X18H10T с применением операций обработки давлением.

Актуальность работы обусловлена заказом предприятия АО «Армалит», который заключается в проведении научно-исследовательской работы, направленной на поиск нового исполнения шаровых пробок взамен изготавливаемых на данный момент цельных точеных шаров. Новый вариант должен характеризоваться сниженной массой, упрощённым технологическим процессом изготовления и уменьшенным расходом материала с сохранением текущих эксплуатационных свойств.

АО «Армалит» является предприятием, производящим судовую арматуру, предназначенную для применения в системах трубопроводов (с проходными диаметрами в диапазоне от 10 до 750 мм и давлением до 100 кг/см<sup>2</sup>, а по спецзаказам – вплоть до 600 кг/см<sup>2</sup>); промышленную трубопроводную арматуру для различных предприятий газовой, нефтяной, химической и других отраслей промышленности; а также арматуру для атомной отрасли; резинометаллические амортизаторы АКСС всех типов и размеров; поковки, отливки из чугуна, стали и цветных металлов; занимается предоставлением услуг в области механической обработки деталей. Также предприятие ведет деятельность в области гидравлических испытаний различных заготовок и деталей, разработки и изготовления нестандартного режущего инструмента, поставки станочной, модельно-кузнечно-прессовой и мерительной оснастки, предоставляет услуги центральной заводской лаборатории.

Ввиду широкого распространения шаровых кранов вопрос их изготовления и совершенствования постоянно актуален. Немалую роль также играет сложившаяся ситуация в стране. По причине постепенного оживления промышленности России после распада СССР, а также восстановления

уровня коммунального хозяйства появился высокий спрос, в том числе, на современные виды запорной арматуры. Удовлетворение этого спроса было возложено на торговые поставки из-за рубежа и организацию совместных сборочных производств. На основании вышеизложенного очевидно, что рынок запорной арматуры в РФ является довольно перспективным и требует новых исследований в данной области.

Принципиальную важность приобретают вопросы совершенствования крупногабаритных шаровых кранов с точки зрения снижения их значительной массы, так как она усложняет монтаж крана и трубопровода в целом. Наиболее жесткие требования предъявляют оборонная и нефтегазовая промышленности, ракетостроение.

Патентное исследование показало обширный спрос на разнообразные изобретения в области изготовления пробок шаровых кранов. Эти изобретения представляют собой различные способы изготовления, основанные на сварке, механообработке, обработке давлением, а также уникальные разновидности оснастки. Подобный спрос легко объясним застоем арматуростроения и всей промышленности стран СНГ в целом в 90-е года. Наиболее широко распространенными являются способы, основанные на комбинации сварки и штамповки.

Исходными данными являлась конструкторская документация на изготавливаемые предприятием АО «Армалит» шаровые пробки с проходными диаметрами DN32, 40, 50, 65, 80 и 100, а также указание необходимого материала пробок, которым является нержавеющая сталь 12X18H10T, сведения о действующем технологическом процессе и об имеющемся штамповочном оборудовании. Также предприятием-заказчиком были определены основные направления работ, а именно: удешевление конструкции пробок и снижение их массы.

Применение операций обработки давлением обладает рядом преимуществ, таких как: увеличение производительности процесса изготовления, возможность повышения механических свойств материала штампуемых деталей, высокий коэффициент использования материала,

снижение или сведение на ноль потребности в механической обработке и сварке. Всё вышеперечисленное означает невозможность изготовления металлических деталей большими сериями без использования обработки металлов давлением, которая также характеризуется высокой наукоёмкостью, что позволяет адаптировать её методы под широкий спектр задач.

Разработка конструкции пробки шарового крана с использованием операций обработки металлов давлением подразумевает решение следующих основных задач:

1. Разработка усовершенствованной конструкции шаровой пробки.
2. Разработка технологии изготовления для новой конструкции изделия.
3. Компьютерное моделирование МКЭ.
4. Проектирование штамповой оснастки.
5. Проведение экспериментальных исследований.

Проведение исследования в перспективе позволит усовершенствовать действующий технологический процесс изготовления пробок шаровых путём замены части операций механической обработки на формоизменяющие операции штамповки. Внесение подобных изменений позволит значительно удешевить производство путем сокращения затрат на материал, которые складываются из отходов с механической обработки прутка и цельной конструкции шаровых пробок, основная часть металла которых не несет на себе никакой полезной нагрузки, а лишь усложняет обработку, транспортировку, хранение, монтаж, а также значительно увеличивает вес шарового крана. Также результатами исследования может стать значительное повышение производительности процесса изготовления пробок шаровых и культуры производства.



# 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Назначение, варианты конструктивного исполнения и область применения шаровых пробок

Шаровой кран — это разновидность трубопроводного крана, запирающий или регулирующий элемент которого имеет сферическую форму[1]. Данный тип крана является одним из современных и прогрессивных типов запорной арматуры. Шаровые краны находят своё применение в различных трубопроводах, которые транспортируют природный газ и нефть, в системах городского газо- и водоснабжения, отопления и многих других областях. Также этот тип крана может быть использован в качестве регулирующей арматуры. Шаровой кран представлен на рисунке 1.

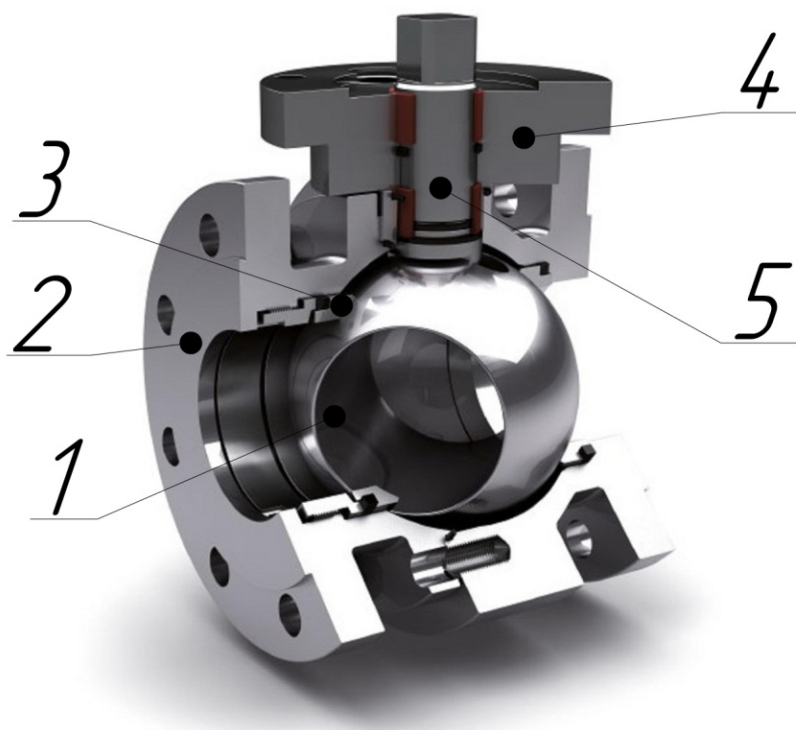


Рисунок 1 – Шаровой кран в разрезе: 1 – шаровая пробка, 2 – корпус крана, 3 – уплотнения, 4 – рукоять, 5 – шток

Основные преимущества шаровых кранов:

1. Простота конструкции.
2. Высокая герметичность.
3. Небольшие габариты.
4. Отсутствие застойных зон в кране.
5. Универсальность для различных сред.
6. Длительный срок эксплуатации.

Конструкция шаровых кранов известна более века, однако, их изначальная конструкция не обеспечивала плотного перекрытия, так как соединение пробки и сёдел корпуса не имело требуемой герметичности. Появление в арматуростроении фторопласта и синтетических каучуков, которые используются для изготовления сёдел, привели к началу широкого использования шаровых кранов. Новые материалы позволили обеспечить плотность закрытия и существенно снизить усилия, необходимые для управления краном.

На данный момент наиболее качественным принято считать латунный шаровой кран, который практически полностью вытеснил и заменил такие морально и физически устаревшие конструкции, как пробковые конусные краны, которые повсеместно устанавливались в советскую эпоху. Но, несмотря на высокую распространенность кранов с запирающим элементом в виде конусной пробки, этот вид запорной арматуры характеризовался довольно низкими эксплуатационными показателями, а именно: срок службы составлял 8 лет максимум, а ресурс - 1500 циклов. По факту описанные показатели оказывались и того хуже, так как пробка такого крана уже через несколько циклов открытия-закрытия постепенно теряла свою герметичность, что принято связывать с абразивным воздействием различных примесей в рабочей среде. Ещё одним существенным изъяном такой конструкции является относительно высокое гидравлическое сопротивление.

Стоит отметить, что в аналогичный период советского времени шаровые краны также использовались, но имели исполнения только в чугунных корпусах и с проходными диаметрами более двух дюймов. Появление на рынке более дешевых, удобных в установке шаровых кранов, изготовленных из различных материалов, позволило повысить долговечность и качество трубопроводной арматуры.

Можно выделить и другие преимущества шаровых кранов над наиболее близкими по назначению коническими кранами. Так, например, для пробок шаровых кранов, в отличие от конических кранов, не нужны рёбра жёсткости, которые усложняют технологию изготовления. Кроме этого, шаровые краны обеспечивают более надёжную герметизацию. У конических кранов проблематично обеспечить герметичность, так как даже неравномерный контакт с уплотнительными кольцами может привести к её нарушению. У шаровых кранов в этом смысле есть принципиальное преимущество, так как даже при несовпадении радиусов сферы пробки и уплотнительного кольца теоретический контакт между ними происходит по окружности вокруг прохода. Это означает, что даже при недостаточной точности изготовления поверхность контакта уплотнительных поверхностей корпуса пробки полностью окружает проход и герметизирует затвор крана. Также изготовление шаровых кранов менее трудоёмко. Это можно объяснить тем, что наиболее трудоёмкими операциями при изготовлении кранов являются операции механической обработки и притирки контактных поверхностей. При этом необходимость притирки в кранах с уплотнительными кольцами из пластмассы вообще отпадает. Конструкция конического крана представлена на рисунке 2.

Однако, изготовление шаровых кранов имеет принципиальные трудности. Во-первых, изготовление детали в виде сферы требует специальных станков или приспособлений. Во-вторых, для создания нужного удельного давления герметизации необходимо приложить значительные силы. Например, в конических кранах эта проблема решена разложением силы по конусу.

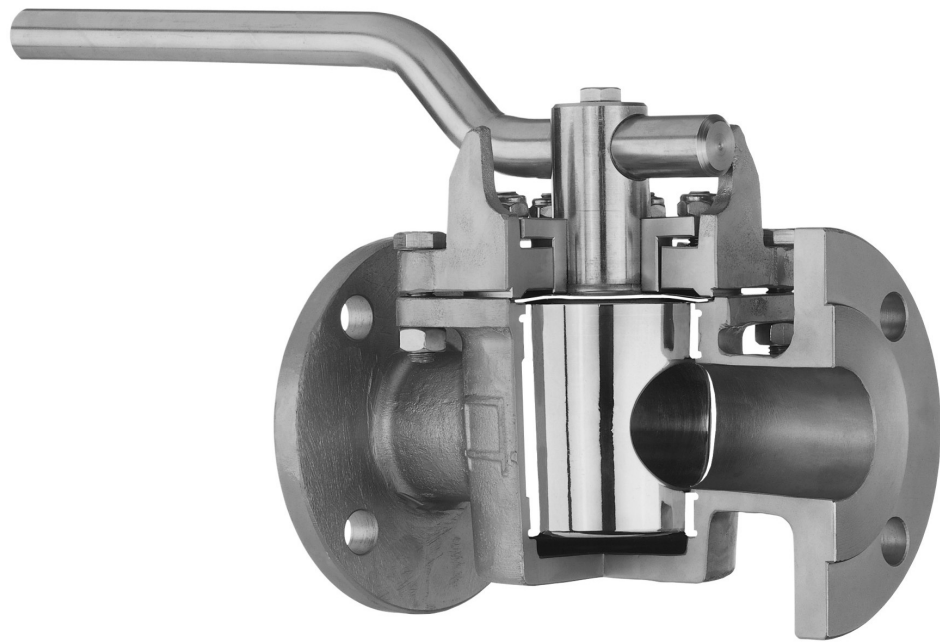


Рисунок 2 – Конический кран в разрезе

Помимо функции запирания трубопровода, шаровые краны в ряде случаев могут быть использованы в качестве регулирующей арматуры, что не рекомендуется некоторыми производителями, а также существуют стандарты и вовсе запрещающие подобные условия эксплуатации. Некоторые европейские производители практикуют снятие гарантии со своих кранов, если им становится известно о попытках регулирования потока жидкости шаровым краном. Связано это с достаточно тонкой стенкой корпуса современных кранов, которая способна выдержать заявленные паспортном давлением и температурой. Однако, такая стенка может быть не способна выдерживать длительное воздействие абразивных частиц, направленных с рабочей средой при повороте пробки на угол, отличный от рабочего.

Область применения шаровых кранов характеризуется следующими параметрами:

- диаметр трубопровода находится в диапазоне от 15 до 250 мм;
- рабочее давление среды- от 6 бар до 40 бар;
- рабочая температура среды - от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $2000^{\circ}\text{C}$ .

Шаровые краны можно разделить по способу монтажа в трубопроводной системе. В рамках этого признака можно выделить следующие основные виды этой запорной арматуры:

1. Муфтовый шаровой кран является оптимальным в контексте применения для небольших труб, характеризующихся диаметром не более 45 мм. Эти краны могут различаться по типу подсоединения: с внутренней и наружной резьбой на концах, с двумя внутренними, а также с двумя наружными резьбами. Преимуществом таких кранов являются малые габариты и удобство монтажа, что привело к их повсеместному использованию в зданиях жилого типа.
2. Фланцевый шаровой кран является более мощным и предназначен для использования в трубопроводах с высокой проходимостью рабочей среды, характеризующихся диаметром труб более 50мм. Исходя из названия очевидно, что крепится кран к трубопроводу двумя фланцами. Этот кран оптимален для монтажа в трубопроводах нефтегазовой промышленности.
3. Штуцерный шаровой кран, отличительной особенностью которого является возможность многократного демонтажа. Этот тип крана широко распространен во множестве производственных трубопроводов пищевой, а также химической промышленности. Температурный диапазон работоспособности штуцерных кранов находится в пределах от -60 до +200°C для рабочей среды, а для окружающей среды - от -60 до +80°C.
4. Приварной шаровой кран, как и следует из названия, устанавливается один раз ввариванием в трубопровод и не имеет возможности переустановки. Также он характеризуется ограниченной областью применения, например, он устанавливается в закрытых, недоступных местах, а также при строительстве.

Помимо вышеперечисленных типов также известен ряд их модификаций, таких как: кран шаровой с разъёмным соединением

(«американка») или сгоном; кран шаровой с фильтром, кран шаровой «дачный», со штуцером под резиновый шланг; кран шаровой переходной (переход с одного диаметра трубопровода на другой); кран шаровой с клапаном Маевского для сброса воздуха; кран шаровой для манометра 3-х ходовой.

Подвижным элементом шаровых кранов служит пробка сферической формы — шар, по оси которой выполнено сквозное круглое отверстие для прохода рабочей среды. Перекрытие потока рабочей среды, протекающей по крану, обеспечивается поворотом пробки на 90°.

Диаметр отверстия пробки либо совпадает с диаметром трубопровода, либо несколько меньше. Это различие позволяет разделить краны с их рабочими элементами на полнопроходные и неполнопроходные (редуцированные). Первый тип обычно вдвое дороже и применяется, когда важно максимально снизить гидравлические потери. У второго типа пропускная способность может значительно отличаться в диапазоне 20-50% в зависимости от модификации крана. Это приводит к затруднению тока среды, повышению риска эрозии, а также снижает долговечность. С другой стороны они дешевле и отличаются меньшими размерами, поэтому их чаще всего выбирают для домашнего или бытового использования.

Материалами пробок обычно служат стали, латуни и бронзы с антикоррозийным напылением (никель, хром). Например, широкое распространение получили пробки из нержавеющей стали 12Х18Н10Т или БрАЖНМц 9-4-4-1. Существуют также исполнения из полипропилена для установки на пластиковые трубопроводы, но они менее прочные, чем металлические, и не годятся для работы с горячими средами (выше 600°С).

Требования, предъявляемые к пробкам шарового крана:

- герметичность;
- эрозионная и коррозионная стойкость;
- прочность;
- экономичность в изготовлении.

В зависимости от способа изготовления шаровые пробки имеют различные исполнения, например: цельная точеная, штампованная составная двухслойная и однослойная полая пробки. Так же существуют варианты исполнения в виде сварных конструкций. Основные исполнения шаровых пробок представлены на рисунке 3.

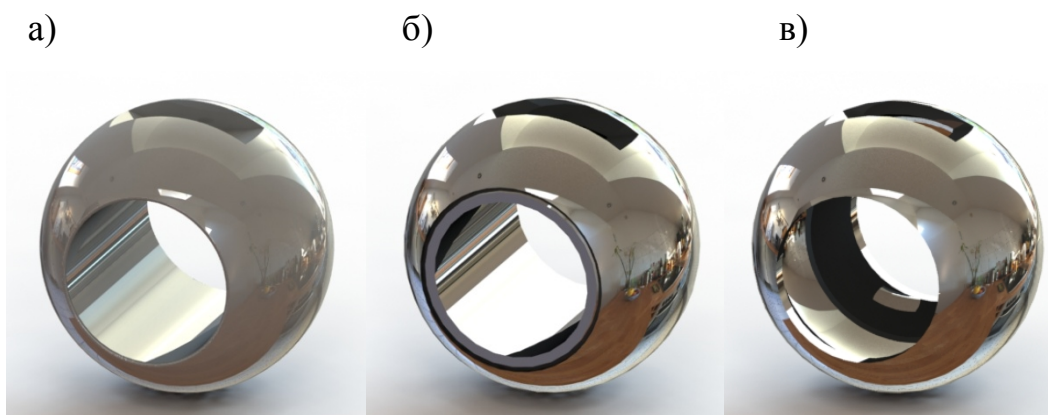


Рисунок 3 - Основные исполнения шаровых пробок: цельная точеная (а), штампованная составная двухслойная (б), однослойная полая (в)

Также стоит отметить различие по конструктивному исполнению пробок: плавающий шар и шар в опорах. Шаровой кран с плавающей пробкой был представлен на рисунке. Пробка такого крана не имеет жесткой связи со шпинделем и может перемещаться в кране под давлением рабочей среды, прижимаясь к уплотнительному кольцу со стороны выхода. Это явление создает чрезмерную нагрузку на уплотнительное кольцо, поэтому данный вид пробок используется в трубопроводах с проходным диаметром не более 200 мм. Второй вариант пробки имеет выступ (цапфу) в своей нижней части, который используется для центрирования в кране. Это позволяет снизить усилия, необходимые для поворота пробки, но подразумевает более сложную конструкцию крана. Конструкция шара в опорах представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Шар в опорах

## 1.2 Способы изготовления шаровых пробок

Среди всего многообразия известных способов изготовления шаровых пробок можно выделить несколько основных групп, основанных на сварке, листовой штамповке, горячей объемной штамповке и механической обработке.

Одним из способов получения заготовки для шаровой пробки является способ, описанный в патенте RU2527504, который подразумевает использование как операций листовой штамповки, так и сварки.

Способ сводится к получению штамповкой двух несимметричных полусфер. Для получения большой полусферы первоначально используют глубокую вытяжку в 2-3 перехода. Результатом операций является полуфабрикат с цилиндрической частью и сферическим дном. Далее следует промежуточный отжиг с обжимом цилиндрической части. В результате обжима формируется наибольший диаметр шаробаллона и значительная часть сферы. Меньшая из полусфер штампуется отдельно за 1-2 перехода. Последовательность операций отображена на рисунке 5[2].



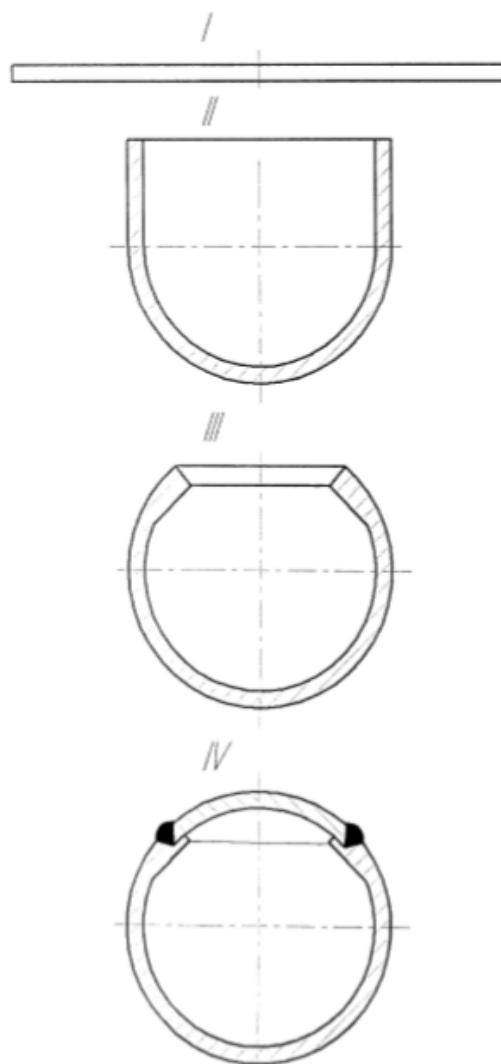


Рисунок 5 – Схема технологического процесса: I – заготовка для большой полусферы, II – стакан со сферическим дном, III – полусфера после обжима, IV – готовый полуфабрикат

Авторы патента обосновывают своё изобретение защитой самого слабого места шаробаллона, а именно, его наибольшего диаметра. При глубокой вытяжке образуется утолщение, которое используется для более надежной сварки. Также сварка по диаметру, меньшему чем наибольший, является более надежной и экономичной.

Несмотря на предлагаемое повышение надежности шаробаллона, получение подобных изделий сваркой не обеспечит высокой производительности процесса и надежности готового изделия.

Один из способов получения сварной шаровой пробки описан в патенте РФ 2157290. Способ заключается в предварительной свертке листовой

заготовки в трубу, сварке нахлесточными швами и последующем обжиге. Заготовка до и после сварки представлена на рисунке 6.

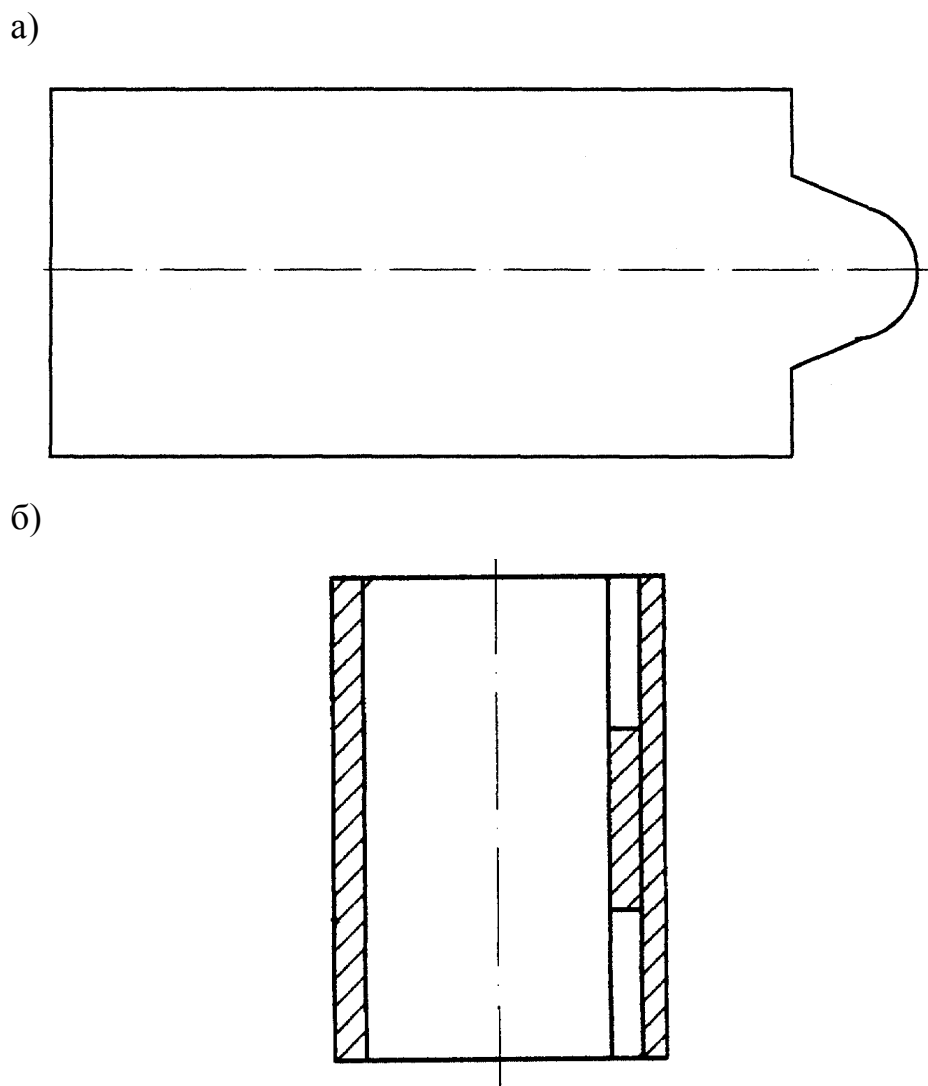


Рисунок 6 – Заготовка под обжим: до свертки (а) и после свертки (б)

Использование подобной заготовки повышает герметичность шаровой пробки в месте крепления регулирующих элементов крана. Деталь после обжима представлена на рисунке 7[3].

Стоит отметить, что повышение герметичности подобным образом значительно увеличивает перечень операций технологического процесса и не обеспечивает высокой производительности.

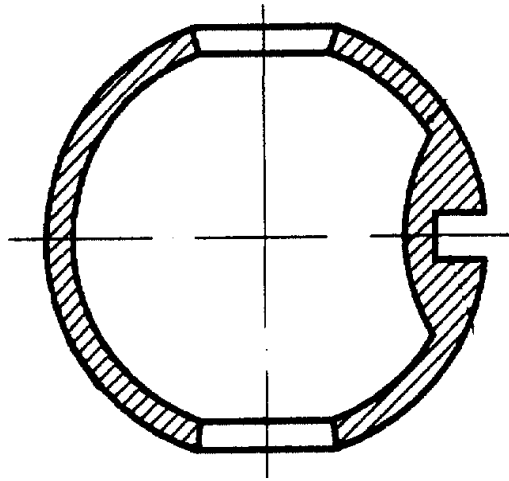


Рисунок 7 – Пробка после обжима

Ещё одну конструкцию пробки можно получить горячей объемной штамповкой. В качестве примера применения горячей безоблойной штамповки представлена технология производства пробок шаровых на Ду 50...200 для высоких давлений из сортового проката стали 20Х13 [4] вместо широко используемой технологии облойной штамповки на молотах и прессах. Предлагаемая схема операций представлена на рисунке 8.

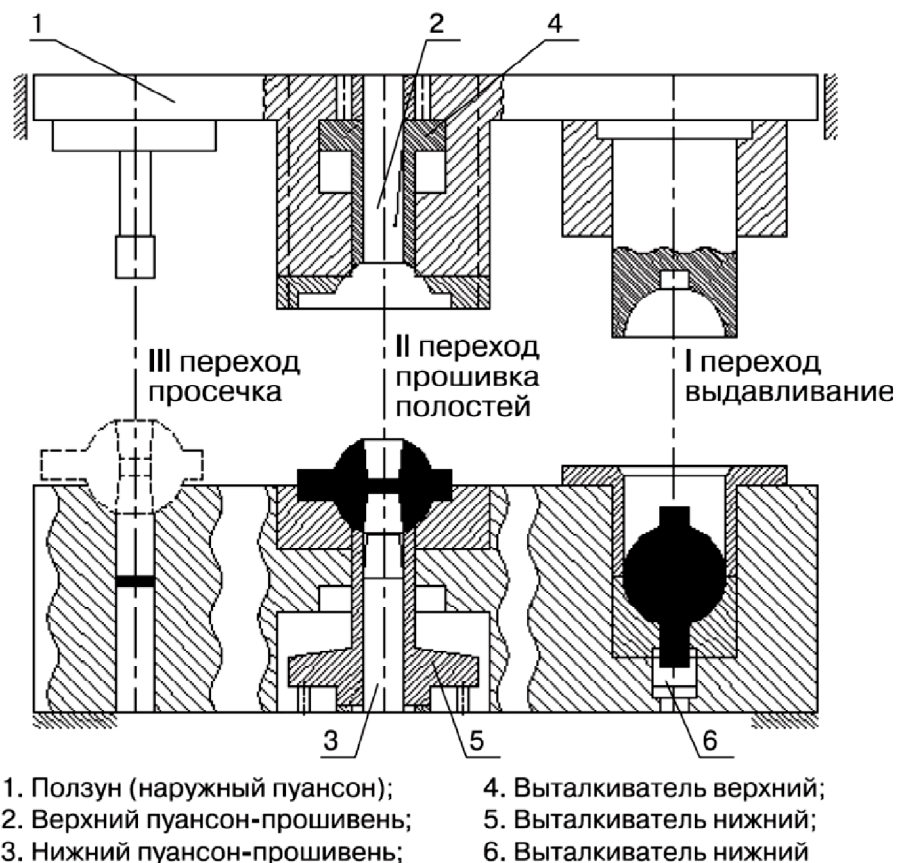


Рисунок 8 – Переходы горячей штамповки пробки шаровой

Штамповка осуществляется на прессе тройного действия за три перехода:

- выдавливание;
- закрытая штамповка наметкой;
- прошивка отверстия.

Технология была отработана на пробке водосчетчика Ду 40 из латуни ЛС59-1 при температуре нагрева в 750 °С. Заготовкой являлся пруток диаметром 80 мм, а масса поковки составила 2,9 кг.

При этом способе обеспечивается минимальный припуск на механическую обработку и экономия металлопроката до 20–25% на изделие. Однако, использование подразумевает ряд сложностей, ввиду которых многие предприятия будут вынуждены отказаться от использования вышеописанного способа. Одной из главных сложностей является нагрев, который значительно усложняет технологический процесс и ведет к окалинообразованию. Другой сложностью является высокая масса изделия, которая играет значительную роль при изготовлении шаровых пробок больших диаметров.

Одним из способов получения пробки шаровой является также штамповка трубной заготовки по технологии кафедры СПД МГТУ «СТАНКИН». В основном используются трубы с толщиной стенки от 10 до 20 мм по ГОСТ 8732-78, выполненные из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Предложенный технологический процесс включает в себя отрезку трубной заготовки на ленточных пилах и штамповку обжимом в холодном или нагретом состояниях. Схема операции представлена на рисунке 9.

Особенностью предлагаемой операции является выбор трубной заготовки, который определяется, исходя из уменьшения диаметра сферы шара на 5-10%. Такой выбор обусловлен преднамеренным использованием потери устойчивости в средней зоне заготовки с целью увеличения диаметра [4].

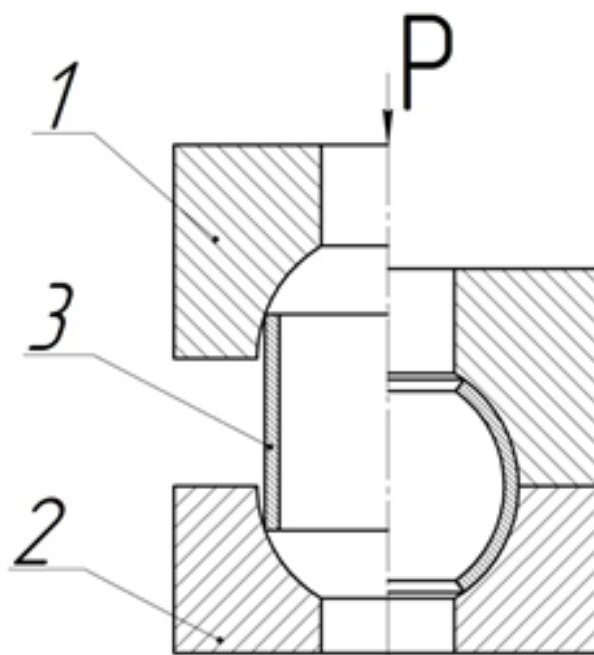


Рисунок 9 – Схема обжима трубной заготовки: 1 – верхняя полуматрица, 2 – нижняя полуматрица, 3 – заготовка

Подобное решение позволяет значить сократить технологический процесс и удешевить производство пробок шаровых. Однако, такой способ подразумевает получение пробки с внутренней полостью, которая вызывает турбулентное движение рабочей среды, проходящей по трубопроводу.

Ещё одной вариацией вышеописанной технологии штамповки трубной заготовки, является способ, описанный в патенте RU 2238816. Указанный способ также подразумевает использование трубной заготовки определенного диаметра, которая устанавливается в штамп с двумя сферическими полуматрицами соосно с цилиндрическим упором и обжимается путем движения верхнего инструмента. Схема операции представлена на рисунке 10.

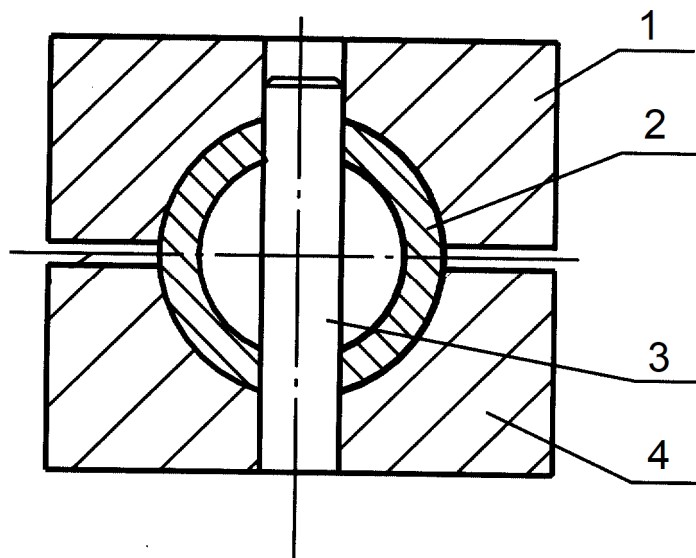


Рисунок 10 – Схема операции: 1 – верхняя полуматрица, 2 – заготовка, 3 – цилиндрический упор, 4 – нижняя полуматрица

В процессе операции обеспечивается контакт торцов заготовки и упора путем подбора зазора между верхней и нижней полуматрицами, а также специальной конической формой торцов, причем вершины конусов лежат на оси заготовки и обращены друг к другу[5]. Эскиз заготовки представлен на рисунке 11.

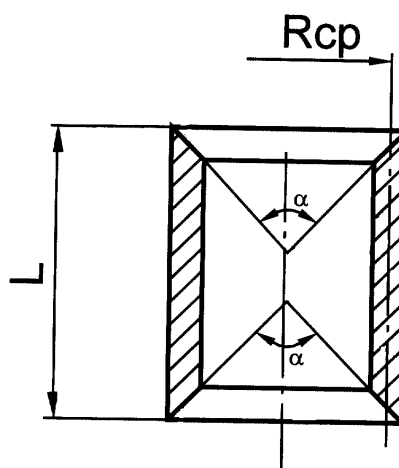


Рисунок 11 – Эскиз заготовки:  $R_{cp}$  – средний диаметр заготовки,  $L$  – длина заготовки

Результатом предложенного способа является повышение качества штампуемого полуфабриката, а именно, повышение сферичности. Описанный способ является лишь улучшением аналогичного вышеописанного способа обжима трубной заготовки и сохраняет его главный недостаток – турбулентное движение рабочей среды по мере её прохождения через полученную таким образом пробку.

Ещё одним вариантом обжима трубной заготовки является штамповка с наполнителем. Способ заключается в предварительном заполнении трубной заготовки специальным наполнителем, температура плавления которого ниже, чем у заготовки, охлаждением и последующим обжиме с удалением наполнителя. Удаление наполнителя осуществляется повторным нагревом полученного изделия [6]. Схема способа представлена на рисунке 12.

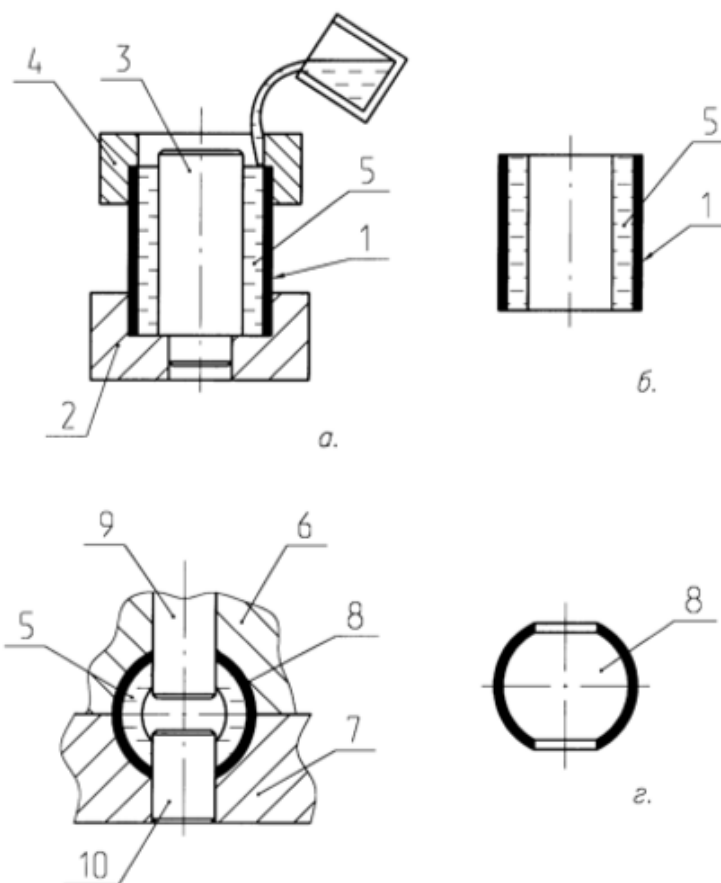


Рисунок 12 – Схема обжима трубной заготовки с наполнителем: 1 – трубная заготовка, 2 – основание, 3 – оправка, 4 – втулка, 5 – наполнитель, 6 – верхняя полуматрица, 7 – нижняя полуматрица, 8 – готовое изделие, 9 и 10 – оправки обжимные

Описанное техническое решение позволяет повысить качество штампуемых сферических пробок за счет обеспечения устойчивости заготовок при обжиге, которая достигается временным увеличением толщины стенки штампуемого полуфабриката с помощью наполнителя.

Рассмотренный способ позволяет повысить качество только для конструкции полый пробки, не решая проблемы турбулентного движения рабочей среды и сниженной прочности шара.

Также существует способ изготовления сферических пробок с внутренним патрубком, который позволит избежать главного недостатка штампованных из труб шаров – турбулентного движения рабочей среды. Предлагаемая авторами схема операции представлена на рисунке 13.

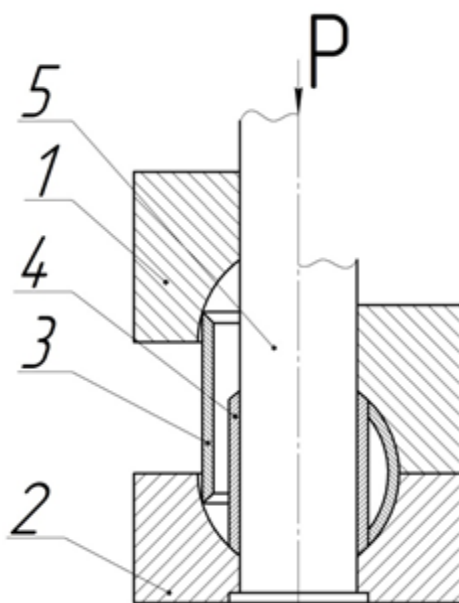


Рисунок 13 – Обжим двухслойной шаровой пробки с внутренним патрубком: 1 – верхняя полуматрица; 2 – нижняя полуматрица; 3 – наружная труба; 4 – внутренний патрубок; 5 – оправка

Способ заключается в использовании двух трубных заготовок, одна из которых образует наружную сферическую поверхность пробки, а другая образует постоянный внутренний проходной диаметр. Внутренняя заготовка устанавливается на оправку, а наружная - свободно выставляется на сферическом участке нижней полуматрицы.



При поступательном движении верхней полуматрицы вниз наружная труба обжимается в сферу и зажимает внутренний патрубок своими кромками. Для обеспечения плотного контакта авторами предложено выполнить на кромках наружной заготовки внутреннюю фаску, а на внутреннем патрубке – наружную [7].

Также для обеспечения точности формы штампованного изделия авторами предложено использовать многослойные трубные заготовки, которые будут образованы посадкой с натягом нескольких отдельных трубных заготовок разного диаметра. Материалы этих отдельных заготовок могут быть различны с целью комбинации прочностных и пластических свойств.

Результатом предлагаемой технологии изготовления пробок шаровых является снижение их массы на 50-70%, повышение коэффициента использования металла с 45% до 70-75%, а также сокращение трудоёмкости изготовления в 2 раза [7].

Несмотря на множество достоинств описанного способа, предложенная авторами конструкция обладает важным недостатком – расположение поверхности стыка на наружной рабочей поверхности. Это может привести к преждевременному износу и разрушению уплотнений крана, что влечет за собой нарушение герметичности и быстрый выход из строя запорной арматуры.

Известна конструкция штампосварного шарового крана, рабочим элементом которого является шаровая пробка выполненная обжимом со сваркой стыков внутри проходного диаметра. Конструкция крана представлена на рисунке 14.

Шар-пробка является плавающей и тонкостенной, а также имеет внутреннюю трубу, что обеспечивает её необходимую жесткость при минимальных затратах металла.

Описанный шаровой кран технологичнее в изготовлении за счет замены цельных элементов на их сварные исполнения. Корпус крана удлинен

с целью удаления сварных швов от седел шаровой пробки. Пониженной металлоёмкости крана также удалось достичь неразъёмной конструкцией. Корпус крана состоит из двух разных частей, которые соединяются одним кольцевым швом, вынесенным от наибольшего диаметра шаровой пробки. Соединение полукорпусов обеспечивают точную сферическую поверхность для установки шара. Предохранение крана от изгибающих моментов обеспечивается приваренными упорными фланцами [8].

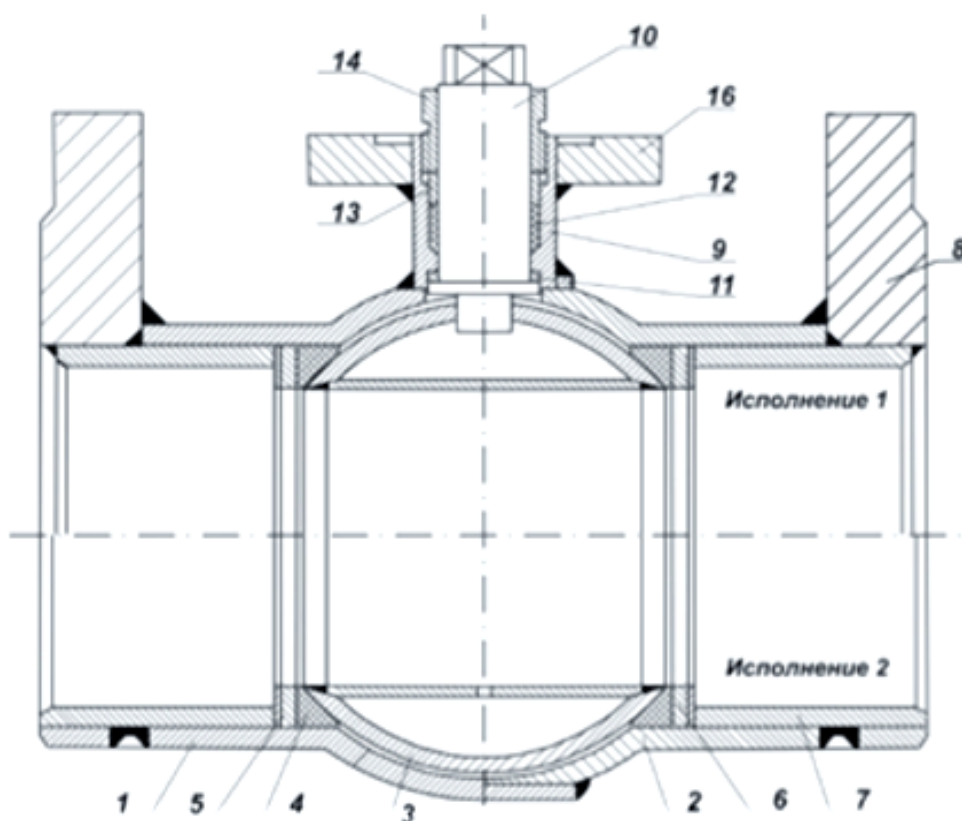


Рисунок 14 – Штамповсварной шаровой кран в двух исполнениях: 1 и 2 – полукорпуса, 3 – шаровая пробка, 4 – седла, 5 – опорные кольца, 6 – пружинные шайбы, 7 – упоры, 8 – фланцы, 9 – корпус штока, 10 – шток, 11 – опорное кольцо, 12 – уплотнительное кольцо, 13 – нажимная втулка, 14 – резьбовая втулка, 15 – рукоятка, 16 – малый фланец

Предложенная конструкция проще в изготовлении, однако, наличие сварки не может позволить достичь высокой производительности изготовления. Также ремонт подобных кранов является трудоёмким и может производиться только предприятием-изготовителем.

### 1.3 Анализ действующей технологии изготовления шаровых пробок

К сферическим пробкам предъявляются высокие требования по чистоте поверхности, точности формы, а также по наличию элементов крепления пробки в кране.

В настоящий момент АО «Армалит» изготавливает следующую номенклатуру пробок: DN32, 40, 50, 65, 80 и 100, где цифрами обозначен диаметр проходного отверстия в мм. Производство этих пробок осуществляется путём механической обработки прутковой заготовки. Эскиз пробки DN32 представлен на рисунке 15. Чертежи пробок представлены в приложении А.

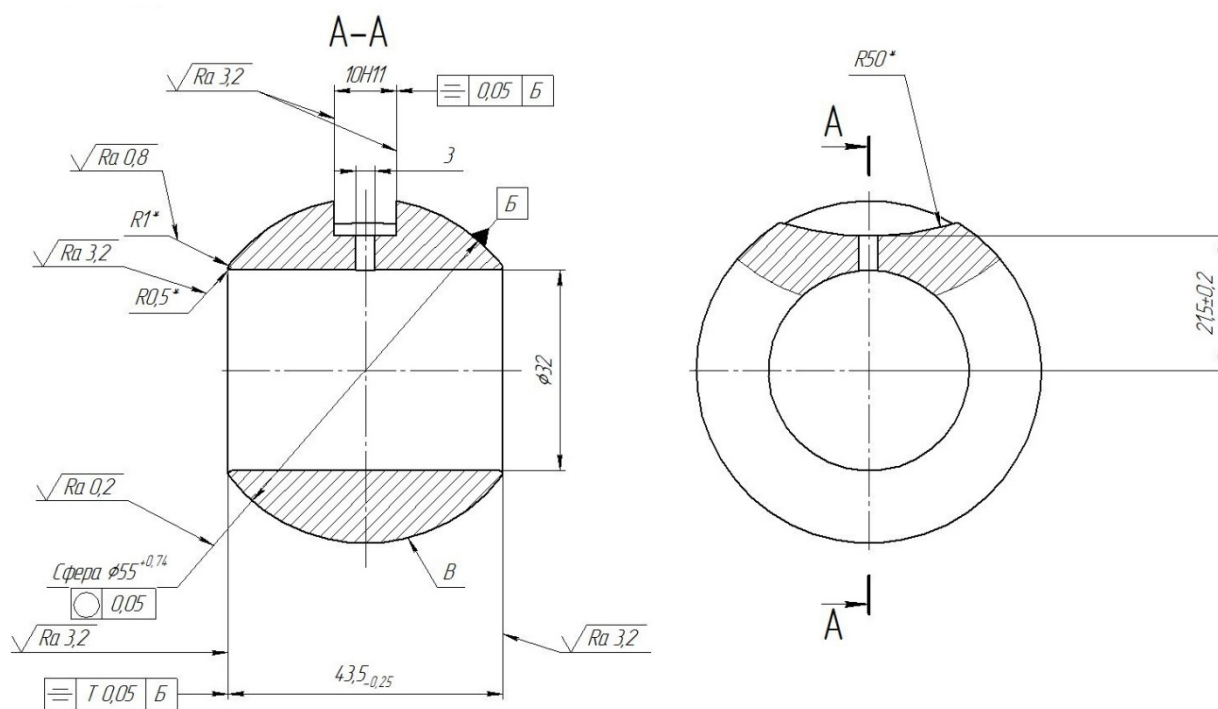


Рисунок 15 – Эскиз пробки DN32, полученной механической обработкой

Изделие можно охарактеризовать как тело вращения, с центральным сквозным отверстием. Несмотря на сферическую форму, деталь имеет небольшие плоские торцы, острые кромки которых притупляются радиусами

скругления. Каждая пробка обладает элементами крепления. В случае пробки DN 32 в срединном сечении выполнен паз с радиусной формой R50 мм шириной 10 мм. По центру паза выполнено малое отверстие, обработанное насквозь стенки с пазом. За точность формы пробки отвечает допуск круглости на диаметр сферы, которая выбрана базой. Относительно базы выставляется допуск симметричности торцов. Изделие отличается высокой чистотой поверхности вплоть до Ra 0,2, что означает необходимость применения шлифования и полировки, которые входят в технологический процесс АО «Армалит».

Состав операций действующей технологии:

1. Отрезка заготовки.
2. Черновое сверление проходного отверстия.
3. Зачистка проходного отверстия.
4. Черновая обточка сферы.
5. Чистовая обточка сферы.
6. Шлифование.
7. Полирование.
8. Фрезерование паза.
9. Сверление малого отверстия.

Иллюстрация операций обточки и шлифования шаровых пробок представлена на рисунках 16 и 17.



Рисунок 16 – Чистовая обточка шаровой пробки

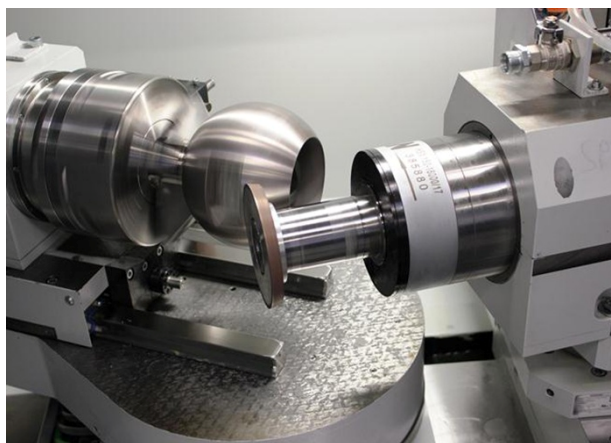


Рисунок 17 – Шлифование наружной поверхности пробки

Недостатки действующей технологии:

1. Низкий КИМ;
2. Значительный вес готового изделия;
3. Длинный перечень операций;
4. Низкая производительность процесса;
5. Сложность монтажа массивной пробки в кран;
6. Потребность в широком парке металлорежущего оборудования и специальных приспособлений.

#### **1.4 Цель и задачи исследования**

Целью работы является разработка конструкции и технологии изготовления шаровой пробки для шаровых кранов DN32, DN40, DN50, DN65, DN80, DN100, DN125, DN150 из нержавеющей стали 12X18H10T с применением операций обработки давлением.

Задачи работы:

1. Разработка усовершенствованной конструкции шаровой пробки.
2. Разработка технологии изготовления для новой конструкции изделия.
3. Компьютерное моделирование МКЭ.
4. Проектирование штамповой оснастки.
5. Проведение экспериментальных исследований.

## **2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАРОВОЙ ПРОБКИ**

### **2.1 Разработка усовершенствованной конструкции шаровой пробки и технологии ее изготовления**

Проведенный анализ существующих технологий изготовления сферических пробок, показал высокие перспективы применения составных конструкций с условными проходами DN32...150 и технологических процессов, основанных на применении для их формообразования способов обжима из трубных заготовок. Это позволит существенно снизить массу изделия, а также приведет к существенному снижению затрат на материал данной части запорной арматуры. Также разработаны варианты изготовления пробок тех же размеров в виде однослойной оболочки сферической формы.

В процессе работы шаровой пробки, важным требованием является сохранение сферической формы, т.е. отсутствие упругих деформаций и пружинения на внешней поверхности детали. При изготовлении пробки способом механической обработки резанием из прутка, данное требование не предъявляется, т.к. жесткость конструкции обеспечивается за счёт её сплошности. В предлагаемой сборной конструкции, штампуемой из трубных заготовок, в сферической пробке имеются полости, размеры которых не должны изменяться под давлением среды во время работы, а также при окончательной механической доработке изделий.

Стандартами не установлена минимальная толщина сферических пробок, а ГОСТ 28343-89 «Краны шаровые стальные фланцевые. Технические требования» ограничивает только минимальную толщину стенок корпуса.

По этой причине выбор толщины стенок готовых изделий обосновывался с одной стороны обеспечением отсутствия потери устойчивости при обжиме с образованием ромбовидных и кольцевых

складок (рисунок 18), а с другой – минимальными технологическими силами на операциях и соответственно максимальным снижением массы.

а



б



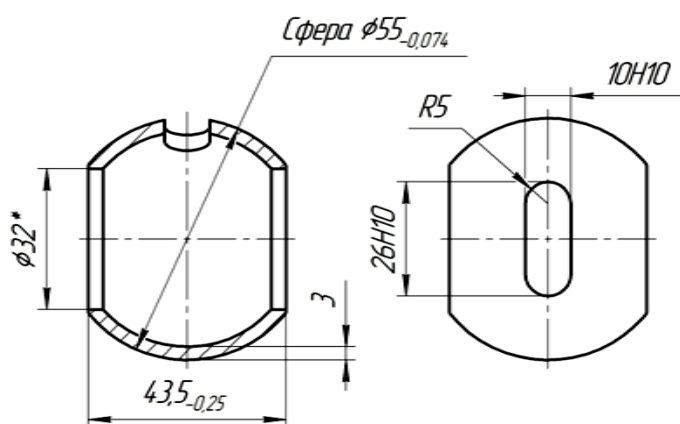
Рисунок 18 – Образование ромбовидной (а) и кольцевой (б) складок при обжиге сферической пробки

За основу при разработке чертежей полых шаровых пробок приняты:

- чертежи пробок сплошной конструкции, изготавливаемых АО «Армалит»;
- известные опытные разработки и патенты;
- технические требования по расположению отверстий, пазов и точности размеров.

Эскиз пробки сплошной конструкции DN 32 представлен на рисунке 15, аналог этой пробки в виде оболочки - на рисунке 19(а), составная конструкция с внутренним патрубком - на рисунке 19(б). Чертежи пробок в новом исполнении представлены в приложении Б.

а



б

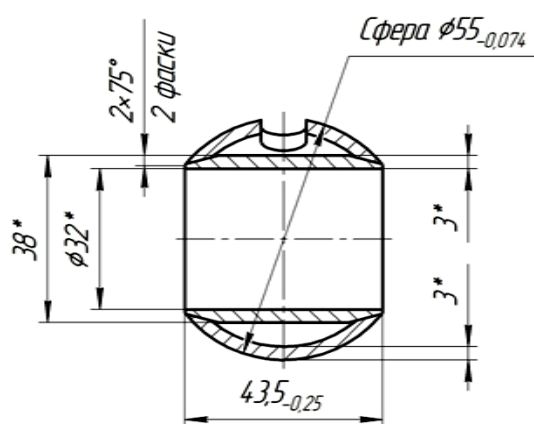


Рисунок 19 – Конструкция пробки Ду32 в виде оболочки (а) и с внутренним патрубком (б)

Принцип совмещенной операции обжима-раздачи двухслойной и однослойной шаровых пробок идентичен. Формообразование наружной сферической оболочки выполняют в три стадии: на первой стадии деформирование происходит по схеме свободного продольного обжима концевых участков трубной заготовки сферической оболочки до наступления момента потери продольной устойчивости экваториальной части трубной заготовки; на второй стадии - по комбинированной схеме свободного продольного обжима до контакта торцов трубной заготовки с внутренней оправкой и раздачи экваториальной части трубной заготовки под действием продольной силы, на третьей стадии - по комбинированной схеме обжима-калибровки наружной сферической поверхности получаемой сферической оболочки с подпором торцов трубной заготовки. Во время второй стадии для двухслойной пробки сферическая оболочка своей внутренней фаской приподнимает внутренний патрубок с наружной фаской, а на третьей стадии – плотно зажимает его с двух сторон.

Предлагаемая схема операции для формообразования двухслойной шаровой пробки представлена на рисунке 20.

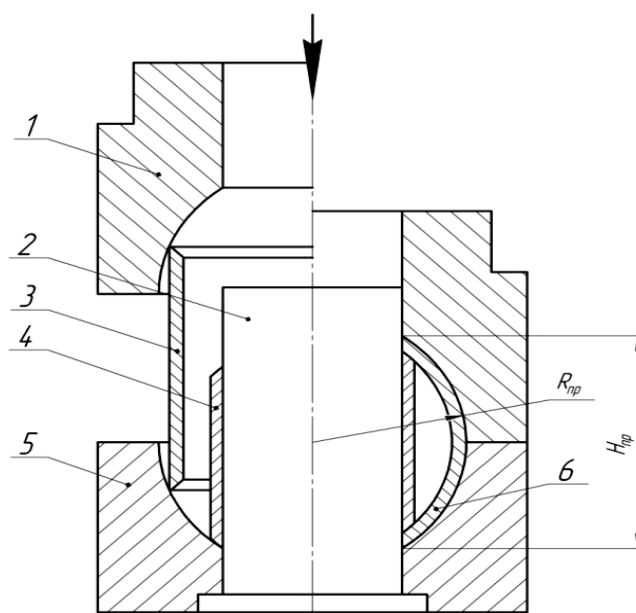


Рисунок 20 – Предлагаемая схема обжима-раздачи: 1,5 – верхняя и нижняя полуматрицы; 2 – оправка, 3, 4 – наружная и внутренняя трубы; 6 – готовое изделие;  $R_{пр}$  – радиус сферы пробки;  $H_{пр}$  – высота пробки



Эскиз заготовок для реализации операции представлен на рисунке 21.

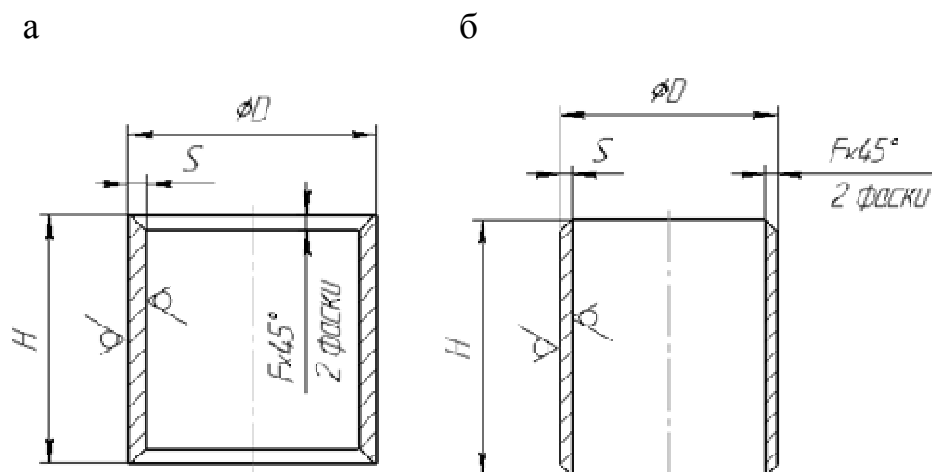


Рисунок 21 – Заготовки под обжим: заготовка под сферическую оболочку (а), заготовка под внутренний патрубок (б)

Из условия равенства объёмов заготовок и штампуемой детали были оценены размеры заготовок, которые представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Размеры внешней заготовки

Типоразмер	D, мм	S, мм	H, мм	F, мм
DN32	50	3,5	51	3x45 <sup>0</sup>
DN40	70	4,5	70	4x45 <sup>0</sup>
DN50	80	5,0	80	4,5x45 <sup>0</sup>
DN65	102	6,0	105	5x45 <sup>0</sup>
DN80	120	6,0	122	5x45 <sup>0</sup>
DN100	150	7,0	150	6x45 <sup>0</sup>
DN125	200	9,0	205	8x45 <sup>0</sup>
DN150	220	10,0	200	9x45 <sup>0</sup>

Таблица 2 – Размеры внутренней заготовки

Типоразмер	D, мм	S, мм	H, мм	F, мм
DN32	38	3,0	38,0	3x45 <sup>0</sup>
DN40	45	2,5	54,5	2,5x45 <sup>0</sup>
DN50	57	3,5	61,5	3,5x45 <sup>0</sup>
DN65	73	4,0	80,5	4x45 <sup>0</sup>
DN80	90	5,0	99,0	5x45 <sup>0</sup>
DN100	110	5,0	117,5	5x45 <sup>0</sup>
DN125	140	7,5	165,0	7,5x45 <sup>0</sup>
DN150	170	10,0	157,0	10x45 <sup>0</sup>

Для обоих исполнений штампуемых пробок технологический процесс имеет одинаковый перечень операций:

1. Отрезка трубных заготовок. В зависимости от характеристик проката (диаметр, толщина стенки, технологический процесс изготовления) резка труб на заготовки может производиться на специализированных труборезных станках типа СРТ (диаметр трубы до 50 мм), на труборезных станках с ручной подачей инструмента (диаметр трубы до 100 мм), на станках с обегаящей фрезой (алмазный или вулканитовый круг), на роликовых ножницах или в ручную для труб диаметром более 100 мм.
2. Обжим – штамповочная операция, предназначенная для изготовления деталей с различным профилем образующей за счет уменьшения поперечных размеров заготовки в результате воздействия на нее внешних сжимающих сил [9].
3. Шлифование – это обработка металла и различных сплавов при применении абразивного материала, которая позволяет изменить шероховатость и другие параметры обрабатываемой поверхности.
4. Полировка – это заключительный этап изготовления изделий из металла и других сплавов, заключающийся в снятии максимально тонкого слоя материала с поверхности обрабатываемой детали в целях получения наименьшей шероховатости и, как следствие, декоративного блеска.
5. Фрезерование паза – это операция, которая представляет собой выемку металла с детали ограниченной плоскими или фасонными поверхностями. Обработка пазов является широко распространенной операцией механической обработки и выполняется на фрезерных станках различных типов дисковыми, концевыми и фасонными фрезами.
6. Сверление — особый вид механической обработки материалов резанием, при котором при помощи специального вращающегося режущего инструмента (сверла) получают отверстия различного диаметра и глубины, а также многогранные отверстия различного сечения и глубины. Сверлением следует получать малое отверстие в пазу.

На основании приведенной последовательности операций можно судить о сокращении технологического процесса изготовления шаровой пробки на 3 операции. Предлагаемый техпроцесс позволяет повысить производительность изготовления изделий, благодаря уменьшению количества операций, исключению низкопроизводительных операций обточки и сверления, а также позволяет уменьшить массу готового изделия со значительным увеличением коэффициента использования материала.

## **2.2 Расчет технологических параметров процесса обжима**

Процесс обжима имеет широкое применение во многих областях машиностроения и используется преимущественно для формообразования отдельных конструктивных элементов гильз, участков трубопроводов, электрических наконечников, различных втулок, баллонов высокого давления и т.д. из сугубо полых заготовок.

Способы обжима различаются по следующим признакам:

- по направлению действующих на штампуемую заготовку сил;
- по типу среды, обеспечивающей давление;
- по способу фиксации заготовки в оснастке;
- по виду деформации;
- по характеру движения заготовки и инструмента;
- по форме заготовки;
- по форме штампуемой детали;
- по условиям деформации, таким как температура, скорость деформирования, характер нагружения и т.д.;
- по типу применяемого оборудования.

Ключевыми признаками определения способа обжима являются: направление действия сил, а также форма заготовки. При продольном обжиме сила от механизма нагружения направлена вдоль оси заготовки. При поперечном обжиме сила направлена перпендикулярно этой оси. По форме

исходной заготовки для обжима можно выделить способы с использованием полой заготовки с дном и трубной заготовки. Таким образом, рассматриваемая операция может быть описана как продольный обжим трубной заготовки.

Максимальное усилие деформирования при двухстороннем обжиге в матрицах с криволинейными образующими рассчитывается по формуле:

$$P_{max} = 2 * \pi * (D_0 - S_0) * S_0 * \sigma_{pmax},$$

где  $\sigma_{pmax}$  – максимальное меридиональное напряжение при обжиге,  $D_0$  – диаметр заготовки,  $S_0$  – толщина материала заготовки[9].

Максимальное меридиональное напряжение при обжиге заготовки в матрице, имеющей постоянную кривизну, определяется формулой:

$$\sigma_{pmax} = -1,1 \left[ \sigma_T + \frac{E_n}{2} (1 - m) \right] \cdot \left[ (1 - m)(1 + f_{тр}) + \frac{S_0}{4R_p} \right];$$

где  $R_p$  – радиус кривизны рабочей части матрицы в меридиональном сечении, в рамках расчета принят равным радиусу детали;  $\sigma_T = 320$  МПа – предел текучести материала заготовки,  $E_n$ - модуль пластичности материала,  $m$ - коэффициент обжима,  $f_{тр} = 0,15$  – коэффициент трения [9].

О механических свойствах материала заготовок позволяет судить кривая упрочнения, представленная на рисунке 22. Интерес представляет кривая в состоянии поставки, которая использовалась для расчета.

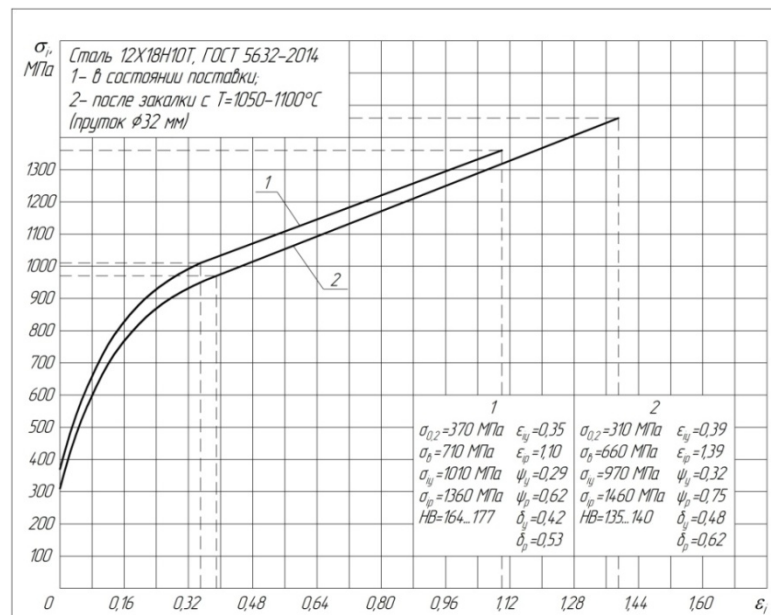


Рисунок 22 – Кривая упрочнения стали 12X18H10T

Модуль пластичности материала определен по формуле:

$$E_{\text{п}} = \frac{\sigma_B}{(1 - \psi_y)^2},$$

где  $\sigma_B = 710$  МПа – предел прочности,  $\psi_y = 0,29$ —относительное равномерное сужение материала заготовки [9].

Модуль пластичности составил:

$$E_{\text{п}} = \frac{710}{(1 - 0,29)^2} = 1408 \text{ МПа.}$$

Коэффициент обжима определен по формуле:

$$m = \frac{d}{D_0},$$

где  $d$  – диаметр детали после обжима.

Коэффициенты обжима составили:

$$\text{DN 32: } m = \frac{32}{50} = 0,64;$$

$$\text{DN 40: } m = \frac{40}{70} = 0,57;$$

$$\text{DN 50: } m = \frac{50}{80} = 0,63;$$

$$\text{DN 65: } m = \frac{65}{102} = 0,64;$$

$$\text{DN 80: } m = \frac{80}{120} = 0,66;$$

$$\text{DN100: } m = \frac{100}{150} = 0,66;$$

$$\text{DN125: } m = \frac{125}{200} = 0,63;$$

$$\text{DN150: } m = \frac{150}{220} = 0,68.$$

Максимальные меридиональные напряжения при обжиге составили:

$$\begin{aligned} \text{DN 32: } \sigma_{\rho_{\text{max}}} &= -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,64) \right] \cdot \left[ (1 - 0,64)(1 + 0,15) + \frac{3}{27,5} \right] = \\ &= -278 \text{ МПа;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DN 40: } \sigma_{\rho_{\text{max}}} &= -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,57) \right] \cdot \left[ (1 - 0,57)(1 + 0,15) + \frac{2,5}{37} \right] = \\ &= -350 \text{ МПа;} \end{aligned}$$

$$\text{DN 50: } \sigma_{\rho_{max}} = -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,63) \right] \cdot \left[ (1 - 0,63)(1 + 0,15) + \frac{3,5}{43} \right] = -285 \text{ МПа};$$

$$\text{DN 65: } \sigma_{\rho_{max}} = -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,64) \right] \cdot \left[ (1 - 0,64)(1 + 0,15) + \frac{4}{56} \right] = -272 \text{ МПа};$$

$$\text{DN 80: } \sigma_{\rho_{max}} = -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,66) \right] \cdot \left[ (1 - 0,66)(1 + 0,15) + \frac{5}{67,5} \right] = -252 \text{ МПа};$$

$$\text{DN 100: } \sigma_{\rho_{max}} = -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,66) \right] \cdot \left[ (1 - 0,66)(1 + 0,15) + \frac{5}{82,5} \right] = -250 \text{ МПа};$$

$$\text{DN 125: } \sigma_{\rho_{max}} = -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,63) \right] \cdot \left[ (1 - 0,63)(1 + 0,15) + \frac{7,5}{110} \right] = -283 \text{ МПа};$$

$$\text{DN 150: } \sigma_{\rho_{max}} = -1,1 \left[ 320 + \frac{1408}{2} (1 - 0,68) \right] \cdot \left[ (1 - 0,68)(1 + 0,15) + \frac{10}{117,5} \right] = -234 \text{ МПа}.$$

Максимальные усилия деформирования при обжиге составили:

$$\text{DN 32: } P_{max} = 2 * 3,14 * (50 - 3) * 3 * 278 = 247 \text{ кН};$$

$$\text{DN 40: } P_{max} = 2 * 3,14 * (70 - 2,5) * 2,5 * 350 = 371 \text{ кН};$$

$$\text{DN 50: } P_{max} = 2 * 3,14 * (80 - 3,5) * 3,5 * 284 = 479 \text{ кН};$$

$$\text{DN 65: } P_{max} = 2 * 3,14 * (102 - 4) * 4 * 272 = 671 \text{ кН};$$

$$\text{DN 80: } P_{max} = 2 * 3,14 * (120 - 5) * 5 * 252 = 909 \text{ кН};$$

$$\text{DN 100: } P_{max} = 2 * 3,14 * (150 - 5) * 5 * 250 = 1138 \text{ кН};$$

$$\text{DN 125: } P_{max} = 2 * 3,14 * (200 - 7,5) * 7,5 * 282 = 2562 \text{ кН};$$

$$\text{DN 150: } P_{max} = 2 * 3,14 * (220 - 10) * 10 * 234 = 3079 \text{ кН}.$$

Толщина кромки обжимаемой оболочки после деформации определена по формуле:

$$S_{кр} = S_0 * \sqrt{\frac{1}{m}}.$$

Толщины кромок обжимаемых оболочек после деформации составили:

$$\text{DN 32: } S_{\text{кр}} = 3,5 * \sqrt{\frac{1}{0,64}} = 4,4 \text{ мм};$$

$$\text{DN 40: } S_{\text{кр}} = 4,5 * \sqrt{\frac{1}{0,57}} = 6,0 \text{ мм};$$

$$\text{DN 50: } S_{\text{кр}} = 5 * \sqrt{\frac{1}{0,63}} = 6,3 \text{ мм};$$

$$\text{DN 65: } S_{\text{кр}} = 6 * \sqrt{\frac{1}{0,64}} = 7,5 \text{ мм};$$

$$\text{DN 80: } S_{\text{кр}} = 6 * \sqrt{\frac{1}{0,66}} = 7,4 \text{ мм};$$

$$\text{DN 100: } S_{\text{кр}} = 7 * \sqrt{\frac{1}{0,66}} = 8,6 \text{ мм};$$

$$\text{DN 125: } S_{\text{кр}} = 9 * \sqrt{\frac{1}{0,63}} = 11,3 \text{ мм};$$

$$\text{DN 150: } S_{\text{кр}} = 10 * \sqrt{\frac{1}{0,68}} = 12,1 \text{ мм}.$$

## 3 КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МКЭ

### 3.1 Методические основы компьютерного моделирования и выбор программного пакета

Решение полной системы дифференциальных уравнений, описывающей процессы пластической деформации в обрабатываемом металле, в настоящее время является невозможным без существенных упрощений. Упрощения, приводящие к разрешимым системам, в свою очередь, значительно искажают существо реального процесса. Наиболее продуктивным методом решения этой задачи является вариационный. Подтверждением тому служит бурное развитие вариационных принципов и методов их реализации в задачах механики сплошных сред. Привлекает довольно простая схема реализации: описывается область; описывается функционал; описывается класс функций, на котором ищется минимум; описывается способ вычисления функций и функционала; выбирается способ минимизации. Данная последовательность ближе инженеру, т.к. он обычно имеет удовлетворительное представление о результатах расчета, что позволяет надеяться на хорошее начальное приближение и является весьма важным для методов минимизации.

Вариационные методы имеют ряд преимуществ перед решением системы дифференциальных уравнений, получаемым в основном конечно-разностными методами: большая общность функционалов, имеющих смысл работы, мощности; функционалы содержат производные меньших порядков, чем эквивалентные системы; устойчивость вариационных методов, имеющих смысл минимума энергии. Недостатки, присущие вариационным методам решения задач пластической деформации (недостаточная изученность функционалов теории пластичности, отсутствие универсальных методов минимизации, особенно при больших размерностях) будут, видимо,



преодолены быстрее, чем найдены способы интегрирования нелинейных систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Развитие математического моделирования задач обработки металлов давлением происходит в трех основных направлениях:

1) расширение содержания математической постановки задач в части увеличения размерности, усложнения реологических моделей, уточнения характера контактного взаимодействия с инструментом и учет специфики частных процессов;

2) совершенствование уже имеющихся методов решения, а также разработка новых;

3) создание и усовершенствование современного пользовательского интерфейса для упрощения работы пользователя, а также для интегрирования прикладных расчетных программ в системы автоматизированного проектирования отдельных технологий [10].

Среди вариационно-разностных методов повсеместно применяется метод конечных элементов, который характеризуется тем, что отбрасывает стадию постановки краевой задачи механики сплошной среды. Тело сразу представляется в виде набора дискретных элементов. Вариационные принципы механики распространяются на весь набор этих элементов. Уже разработанные процедуры дискретизации и численного решения конечно-элементных задач, легкость описания граничных условий, хорошая устойчивость, доступность программных сред делают его популярным среди инженеров [10].

Метод конечных элементов (МКЭ) – численный метод решения дифференциальных уравнений, широко используемый в различных областях техники (ракето- и самолетостроение, кораблестроение, строительство и др.). Основоположниками теории МКЭ считаются Р. Курант (1943 г.), М. Тернер, Х. Мартин и др., которые внедрили МКЭ в строительную механику и механику сплошных сред (конец пятидесятых – начало шестидесятых годов двадцатого века) [11].

В основе данного метода лежит сочетание принципов вариационной механики с локальной аппроксимацией решения кусочно-непрерывными функциями. При этом расчетная область условно разбивается на конечные элементы, в узлах которых определяются неизвестные функции. Различают два варианта реализации МКЭ: в перемещениях (скоростях) и в напряжениях [10].

Главным достоинством метода конечных элементов принято считать возможность разбиения на элементы областей сложной формы, что ведет к возможности расчета моделей, максимально приближенных по геометрии к оригиналу. МКЭ позволяет достигать неравномерного разбиения, с целью упрощения расчета менее значимых для исследования частей изделия.

Тем не менее, у метода конечных элементов есть и недостатки. В первую очередь, это большое время решения задач, которое увеличивается при измельчении сетки, усложнении постановки и т.п. В этом вопросе он проигрывает методу конечных разностей.

Принципиальная схема программного пакета МКЭ представлена на рисунке 23.

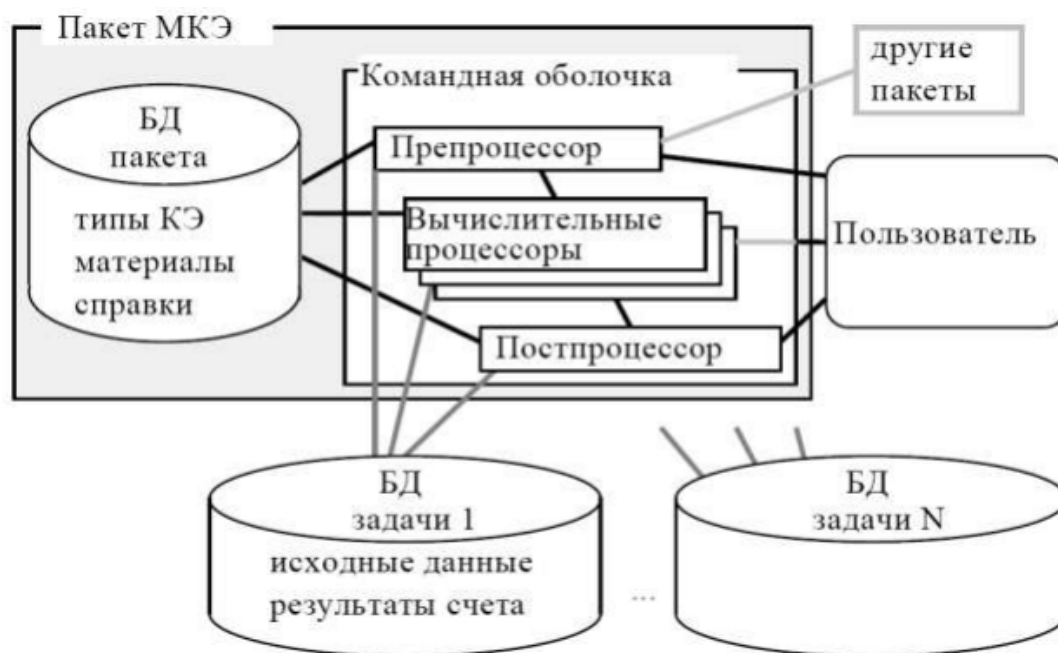


Рисунок 23 - Принципиальная схема программного пакета МКЭ

Все программные пакеты, основанные на использовании метода конечных элементов, состоят из информационной и вычислительной частей. Информационная часть – это база данных программы, которая содержит описания используемых типов элементов, библиотеку материалов, а также справочную систему. Физически эта база данных представляет собой набор файлов, расположенных в том каталоге, куда была установлена программа. Вычислительная часть программного пакета представляет собой совокупность модулей (процессоров), выполняющих определенные функции и объединенных общей средой. Среди процессоров обычно выделяют препроцессор– модуль подготовки и ввода исходных данных, вычислительный процессор и постпроцессор, который является средством визуализации и анализа результатов расчета. Обычно пользователь взаимодействует только с пре- и постпроцессором в интерактивном режиме. Вычислительные же процессоры работают без непосредственного участия пользователя, от которого требуется только команда на запуск. Большинство программных пакетов метода конечных элементов имеют взаимосвязь с аналогичными программами или системами автоматизированного проектирования. Эта связь осуществляется препроцессором (импорт/экспорт геометрических данных) [12].

Наиболее распространёнными на постсоветском пространстве программными пакетами, основанными на использовании метода конечных элементов, являются:

- DEFORM-2D/3D – специальный инженерно-программный комплекс, который предназначен для анализа процессов ОМД, термической и механической обработок. DEFORM-2D/3D позволяет моделировать большинство процессов, применяемых в обработке металлов давлением (ковка, штамповка, прокатка, прессование и т.д.). Также имеется возможность анализа операции термической обработки (закалка, старение, отпуск и др.) и механообработки (фрезерование, сверление и др.).

- ANSYS — это универсальная программная система конечно-элементного анализа, существующая и развивающаяся на протяжении 30 лет. Программа приобрела популярность в области механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций вместе с нестационарными геометрически и физически нелинейными задачами контактного взаимодействия элементов конструкций, в задачах механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.
- QForm – это отечественный программный пакет для расчета больших пластических деформаций, получивший широкое распространение на предприятиях заготовительного и металлургического производства. Направлен на решение задач отладки оснастки и технологических процессов обработки металлов давлением: штамповки,ковки, раскатки колец, прокатки и прессования алюминиевых профилей.

Для оценки напряженно-деформированного состояния штампуемого изделия при помощи метода конечных элементов используется широко известные соотношения теории пластичности для решения осесимметричной задачи в цилиндрической системе координат  $(r, z, \theta)$ . Деформации и напряжения определены в результате вычисления перемещений узлов сетки из конечных элементов. Система уравнений МКЭ для жесткопластической среды построена с использованием вариационного принципа, который утверждает, что среди всех кинематически допустимых полей скоростей наиболее точное решение задачи обеспечивает абсолютный минимум следующего функционала:

$$\Phi = \int_V \sigma_i \dot{\epsilon}_i dV - \int_{S_F} \{q\}^T \{v\} dS,$$

где  $\{q\}^T, \{v\}$  – вектора поверхностных сил и скоростей узлов;  $V, S_F$  – объем и поверхность деформируемого тела соответственно;  $\sigma_i$  и  $\dot{\epsilon}_i$  – интенсивности напряжений и скорости деформации соответственно.

Условие пластичности записано в формулировке Губера-Мизеса:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + 6 \cdot (\tau_{rz}^2 + \tau_{z\theta}^2 + \tau_{\theta r}^2)} = \sigma_T,$$

где  $\sigma_r$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_\theta$  – нормальные напряжения по осям цилиндрической системы координат;  $\tau_{rz}$ ,  $\tau_{z\theta}$ ,  $\tau_{\theta r}$  – касательные напряжения в цилиндрической системе координат.

Интенсивность скорости деформации вычислена по следующей зависимости:

$$\dot{\varepsilon}_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\dot{\varepsilon}_r - \dot{\varepsilon}_z)^2 + (\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_\theta)^2 + (\dot{\varepsilon}_\theta - \dot{\varepsilon}_r)^2 + \frac{3}{2} \cdot (\dot{\gamma}_{rz}^2 + \dot{\gamma}_{z\theta}^2 + \dot{\gamma}_{\theta r}^2)},$$

где  $\dot{\varepsilon}_r$ ,  $\dot{\varepsilon}_z$ ,  $\dot{\varepsilon}_\theta$  – линейные скорости деформации по осям цилиндрической системы координат;  $\dot{\gamma}_{rz}$ ,  $\dot{\gamma}_{z\theta}$ ,  $\dot{\gamma}_{\theta r}$  – угловые скорости деформации в цилиндрической системе координат.

Также должно выполняться условие несжимаемости  $\dot{\varepsilon}_r + \dot{\varepsilon}_z + \dot{\varepsilon}_\theta = 0$ .

Интенсивность деформации определена по выражению:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_r - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_r)^2 + \frac{3}{2} \cdot (\gamma_{rz}^2 + \gamma_{z\theta}^2 + \gamma_{\theta r}^2)}.$$

где  $\varepsilon_r$ ,  $\varepsilon_z$ ,  $\varepsilon_\theta$  – линейные деформации по осям цилиндрической системы координат;  $\gamma_{rz}$ ,  $\gamma_{z\theta}$ ,  $\gamma_{\theta r}$  – угловые деформации в цилиндрической системе координат.

Стоит отметить, что также существует множество узкоспециализированных программных пакетов, которые применяются в определенных сферах. Для моделирования процесса обжима-раздачи трубных заготовок был выбран пакет DEFORM-2D/3D в связи с его универсальностью и широкой распространенностью.

Расчет параметров напряженно-деформируемого состояния при моделировании в программном пакете DEFORM 3D происходит в каждом элементе рассматриваемой области (заготовки) на каждом шаге, что позволяет наиболее полно оценить характер протекания процесса.

На этапе предварительного моделирования подразумевается расчет и анализ технологических параметров и характера формоизменения в процессе деформирования трубной заготовки в штамповой оснастке.

### 3.2 Исходные данные для моделирования

Цели и задачи моделирования:

- 1) оценить возможность изготовления разработанной конструкции пробки;
- 2) проверить корректность выбранных размеров трубных заготовок;
- 3) оценить напряженно-деформируемое состояние обжима составной пробки;
- 4) оценить упругую разгрузку материала после снятия нагрузки.

Проведение моделирования деформирования твердых тел подразумевает необходимость задания граничных условий конечных элементов, которые в данном случае были заданы следующим образом:

- модель инструмента – абсолютно жесткая среда;
- модель заготовки – изотропная упруго-пластическая среда с нелинейным упрочнением;
- материал заготовки – Сталь 12Х18Н10Т;
- силы трения на контактных поверхностях учтены по закону:  $\tau = f_{\text{тр}} \cdot \sigma_{\text{т}}$ , где  $f_{\text{тр}} = 0,15$  – коэффициент трения;  $\sigma_{\text{т}}$  – предел текучести.
- Количество элементов сетки – 32 000 кэ.
- Температура процесса 20°C.
- Скорость движения инструмента во время рабочего хода постоянна и составляет  $v = 10$  мм/с.

Расчетные модели верхней и нижней полуматрицы представлены на рисунке 24. Форма нижней полуматрицы обусловлена тем, что деталь была составлена непосредственно из полуматрицы и оправки для упрощения процесса моделирования.

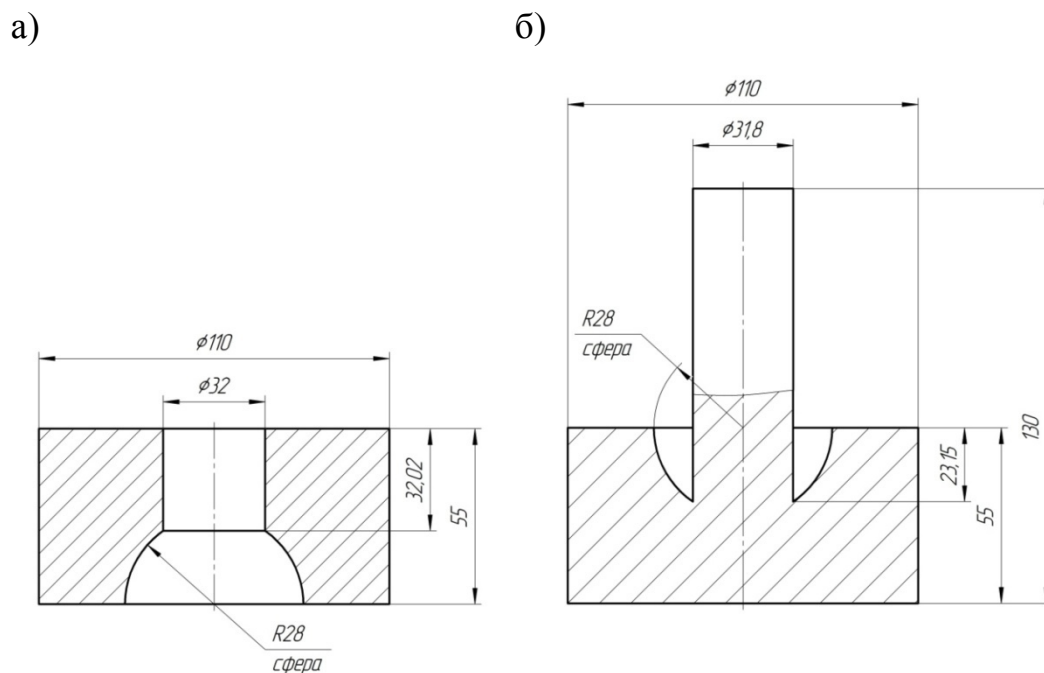


Рисунок 24 – Расчетные модели верхней полуматрицы (а) и нижней полуматрицы с оправкой (б)

Модели исходных заготовок представлены на рисунке 25. Так как задача осесимметричная, то в целях сокращения расчётов рассматриваться будет четверть заготовок с условиями симметрии, заданными по боковым поверхностям.

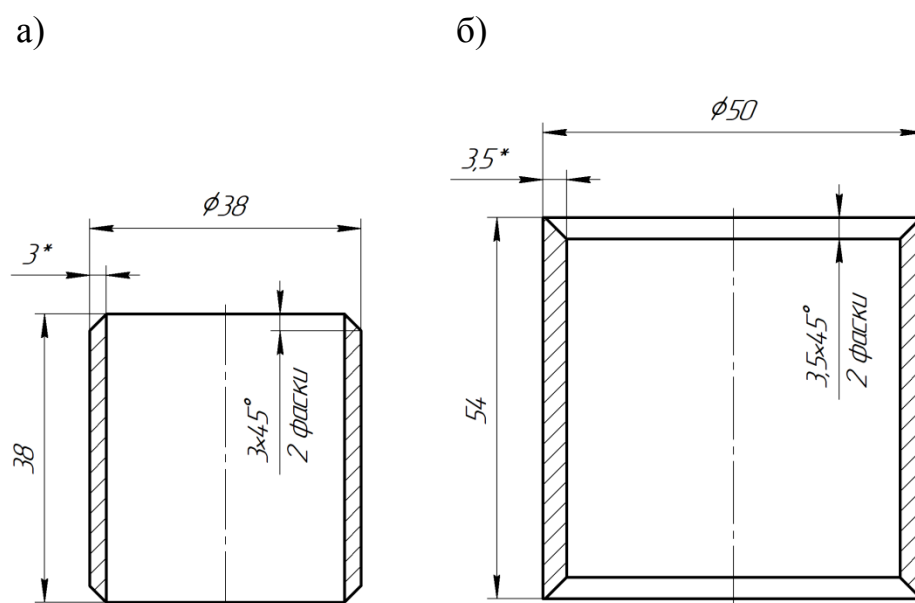


Рисунок 25 – Модели внутренней (а) и наружной (б) заготовок

Разбиение заготовок на конечные элементы (32 000 шт. для каждой) и распределение расчётных точек, используемых для отслеживания параметров напряженно-деформируемого состояния, представлено на рисунке 26.

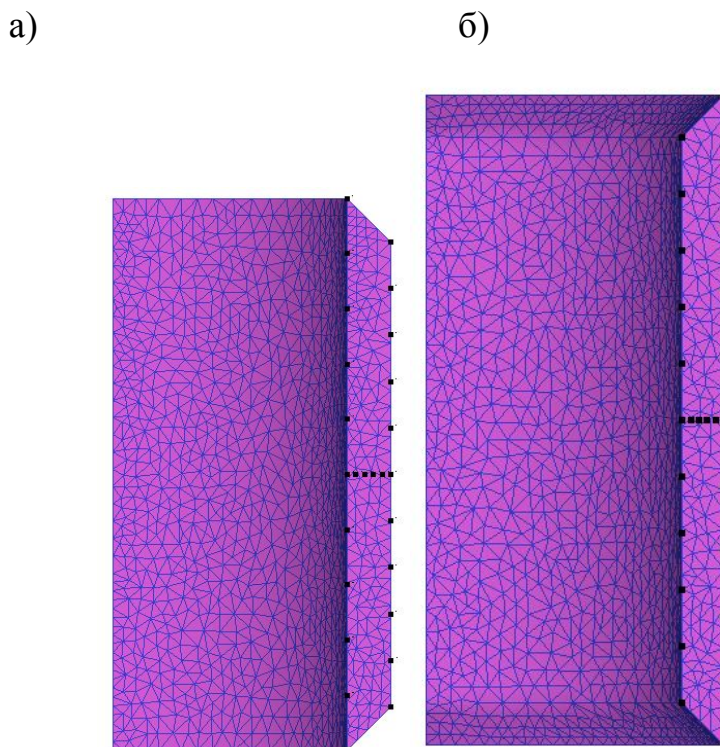


Рисунок 26 – Разбиение на конечные элементы и распределение контрольных точек на трубке (а) и на оболочке (б)

Как видно из рисунка 26, для оценки напряженно-деформируемого состояния были выбраны точки на наружной и внутренней поверхностях, а также точки по среднему сечению с равными интервалами. Выбор среднего сечения обусловлен наличием потери устойчивости, которая приводит к увеличению диаметра и утолщению.

Трение задано между трубком и оправкой, трубком и оболочкой, оболочкой и верхней полуматрицей, оболочкой и нижней полуматрицей. Коэффициент трения на операции  $f_{тр}$  принят 0,15 для всех контактирующих поверхностей.

Все параметры напряжённо-деформируемого состояния рассчитаны для момента, соответствующего окончанию рабочего хода инструмента.



### 3.3 Особенности моделирования упруго-пластичных тел с применением МКЭ.

После создания сборки штампа и сохранения её в формате STL, начинается ввод свойств штампуемой детали, который отличается двумя нюансами по сравнению с моделированием деформирования пластических тел:

1. Задан тип объекта «Elasto-Plastic» и, как следствие, был заменен метод расчета на метод Ньютона-Рапсона (рисунок 27).

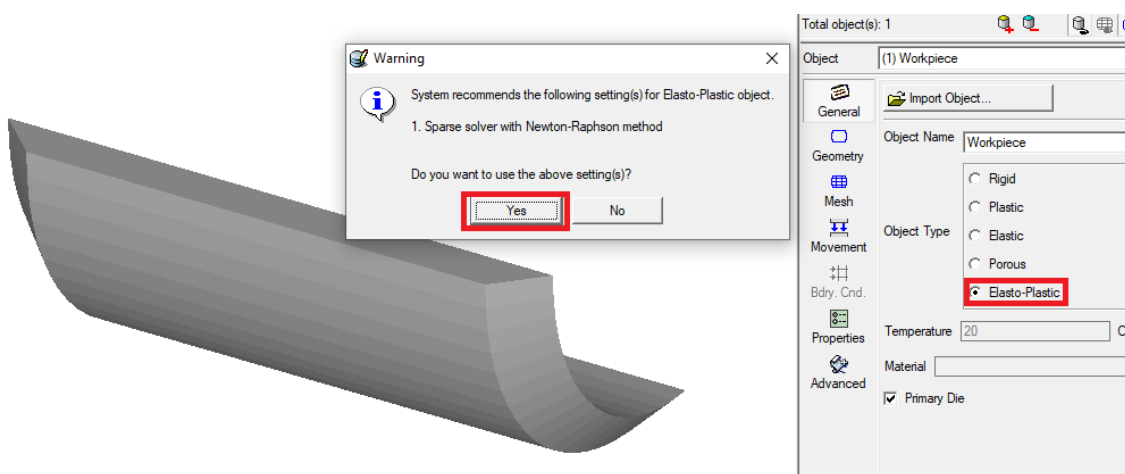


Рисунок 27 – Задание типа объекта

2. После задания сетки и граничных условий было отключено условие сохранения объема, так как при упруго-пластичной деформации объем меняется (рисунок 28).

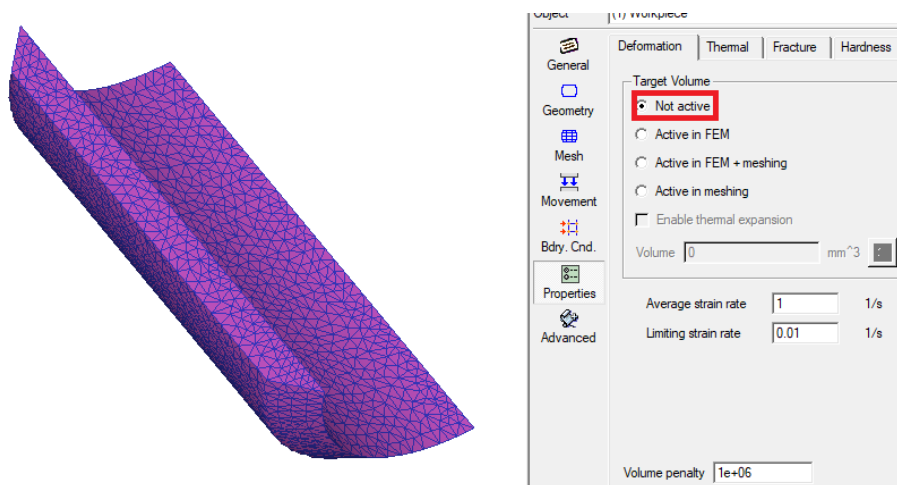


Рисунок 28 – Условие сохранения объема

После импорта геометрии подвижного верхнего инструмента были заданы направление и функция скорости его движения. Связано это с тем, что инструмент в конечный момент операции должен снять нагрузку с штампуемой детали, для того чтобы появилась возможность увидеть упругую разгрузку. Для настройки скорости существует 4 варианта: постоянная, функция времени, функция перемещения и пропорциональная скорости движения другого объекта. В данном случае использована функция скорости от времени (рисунок 29).

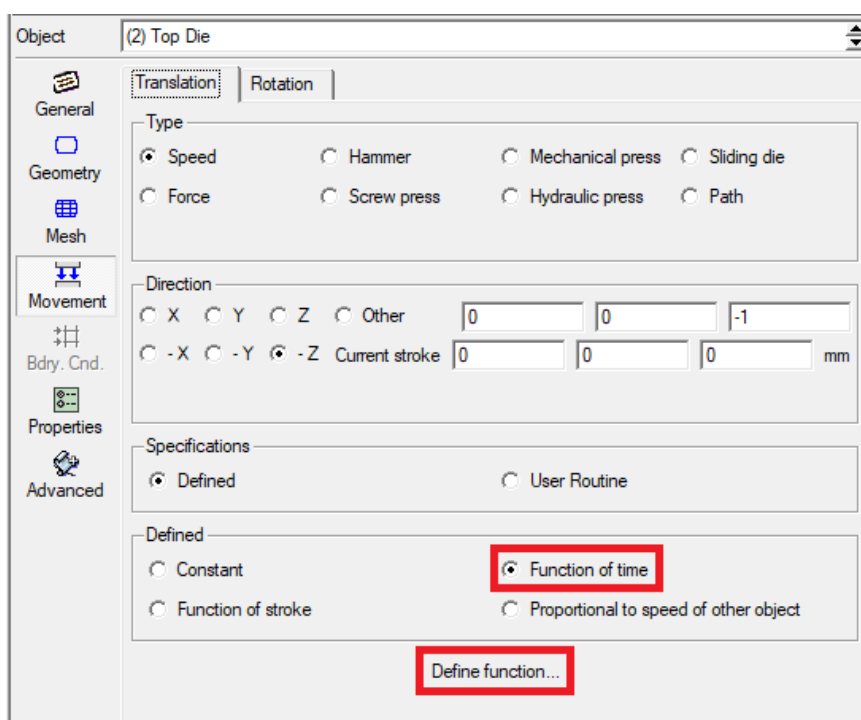


Рисунок 29 – Определение способа задания скорости

Допустим, деформирование длится 4 секунды, на основании чего зададим обратный ход отрицательной скоростью на протяжении того же времени. В данном случае рабочий ход будет обеспечиваться скоростью 10 мм/с, а обратный – скоростью -10 мм/с (рисунок 30). Нижняя часть задается аналогично пластической задаче.

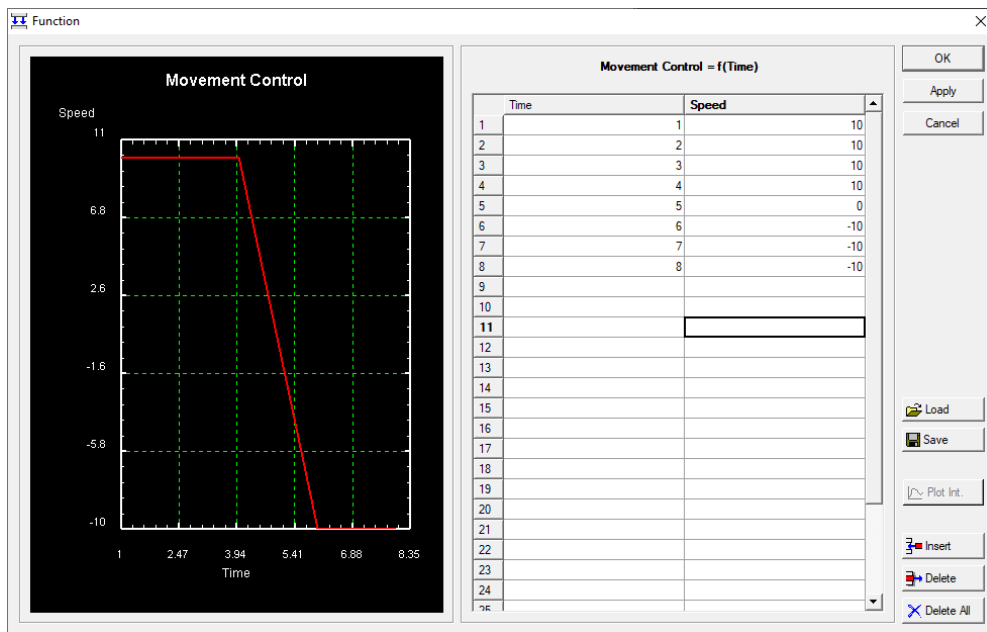


Рисунок 30 – Задание скорости движения инструмента

Отличием рассматриваемой операции является наличие второй (наружной заготовки). Для её создания обычным образом был создан объект. После создания сетки для него, он будет отображаться как заготовка (рисунок 31).

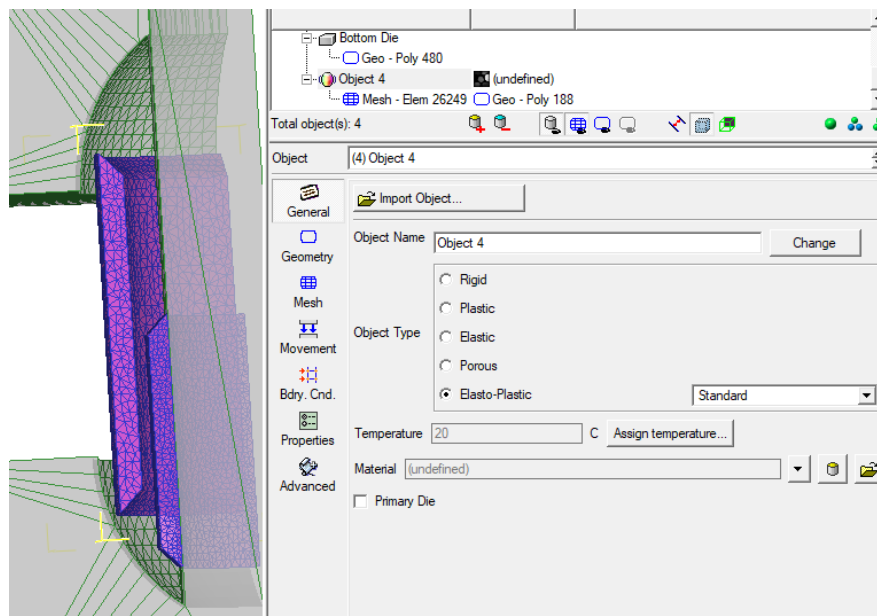


Рисунок 31 – Задание второй заготовки

Ещё одной особенностью моделирования упруго-пластичных тел является задание материала – в библиотеке для необходимого материала

должна быть указана информация о модуле Юнга (рисунок 32) в противном случае при расчете будет выдана ошибка.

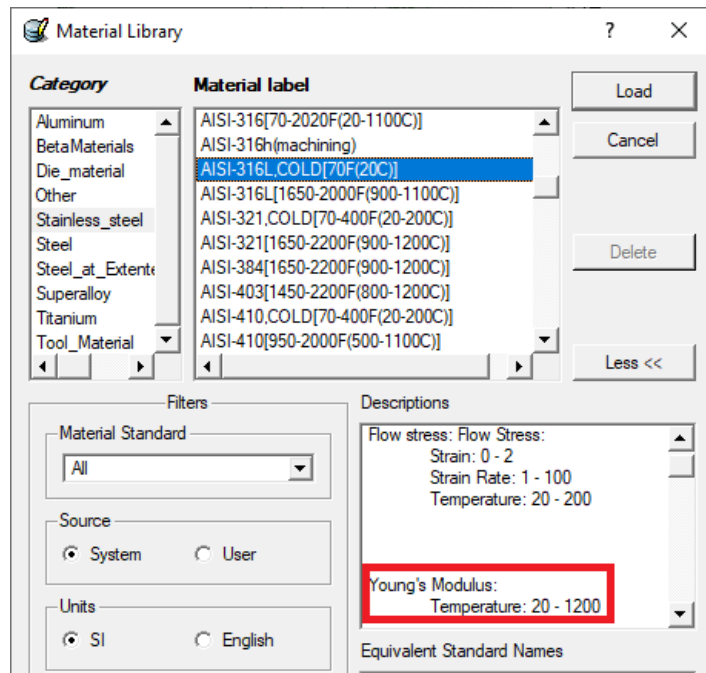


Рисунок 32 – Задание материала

В рассматриваемом случае взаимодействие объектов (Inter-Object) не было задано автоматически, необходимо ручное создание пар (рисунок 33).

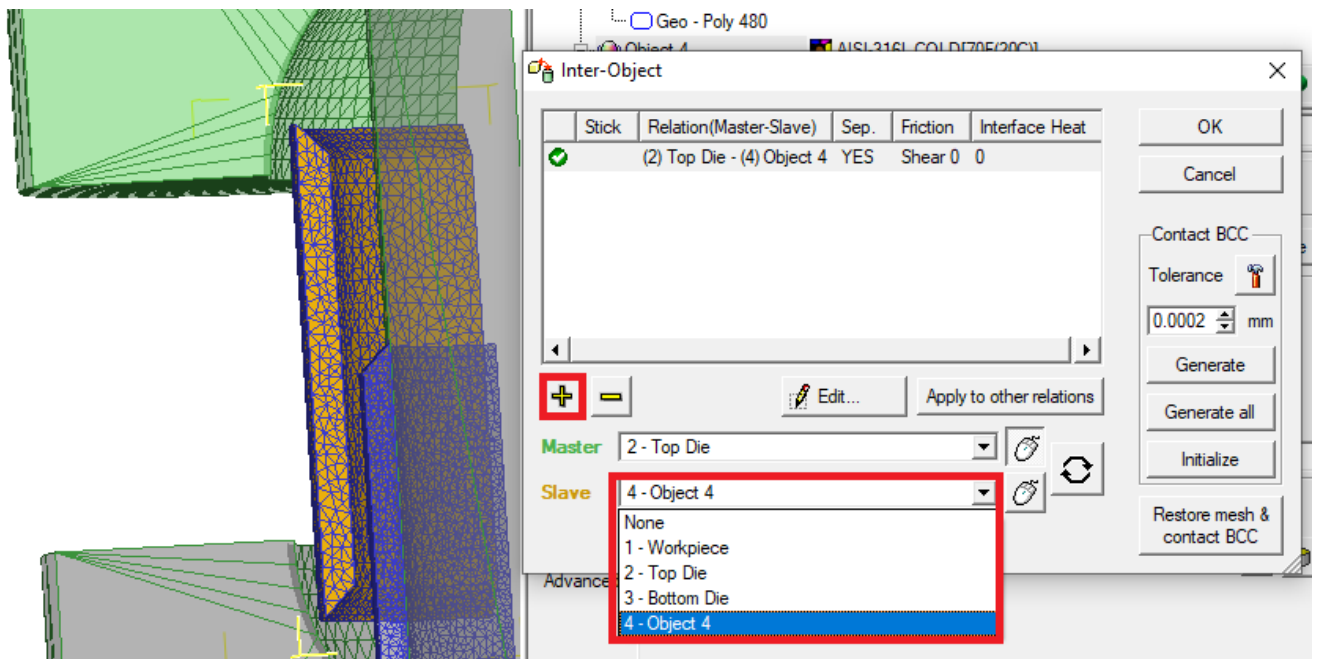


Рисунок 33 – Задание взаимодействия объектов

Для создания после нажатия кнопки «+», был выбран главный объект, а именно, наружная заготовка, и подчиненный объект (внутренний патрубок). Трение задается аналогично пластической задаче. Конечный вид этого окна представлен на рисунке 34.

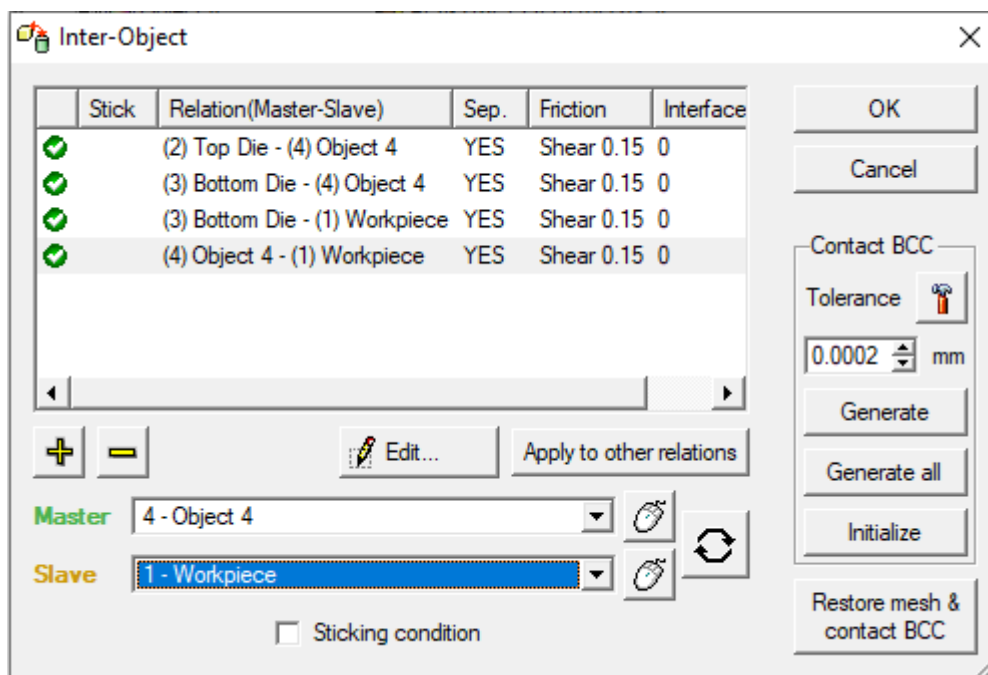


Рисунок 34 – Конечный вид окна Inter-Object

Добавление пары Object 4 (наружная заготовка) и Workpiece (внутренняя заготовка) обусловлено тем, что в процессе деформирования наружная заготовка будет приподнимать внутреннюю и зажимать её с двух сторон.

Создание базы данных завершено заданием настроек симуляции (Simulation controls), аналогично пластической задаче. В данном случае шаг задан временем (рисунок 35). Величина шага и количество шагов заданы с учетом уравнения движения верхнего инструмента.

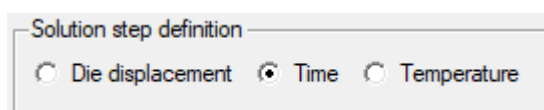


Рисунок 35 - Задание шага

### 3.4 Анализ силового режима и напряженно-деформированного состояния заготовки

График «сила-путь инструмента» для упруго-пластичной пробки представлен на рисунке 36.

На основании приведенного графика максимальная сила деформирования составила 162 кН. Процесс деформирования можно условно разделить на три основные стадии: деформирование торцов внешней заготовки (I), основной обжим (II), обжим-раздача с максимальной силой (III). На каждой стадии сила деформирования возрастает условно линейно.

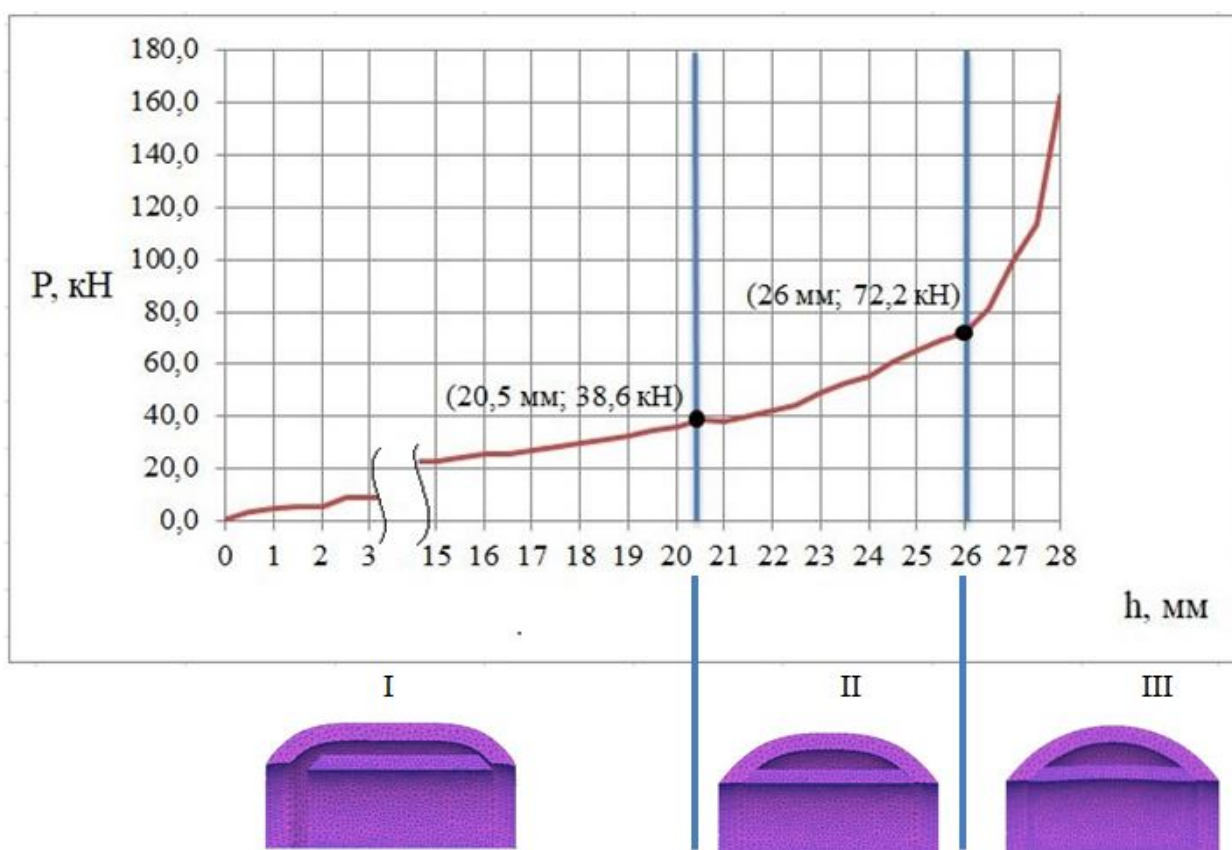


Рисунок 36 – График «сила ( $P$ ) – путь инструмента ( $h$ )» с изменением изделия по стадиям

Значения параметров напряжённого состояния сняты по точкам согласно рисунку 26 в конечный момент деформирования.

Распределение главных компонентов  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  и интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$  для пластичной и упруго-пластичной оболочек представлено на рисунках 37, 39 и 41, для патрубков – на рисунках 43, 45, и 47.

Распределение главных компонентов  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  и интенсивности напряжений  $\sigma_i$  для пластичной и упруго-пластичной оболочек представлено на рисунках 38, 40, и 42, для патрубков – на рисунках 44, 46 и 48.

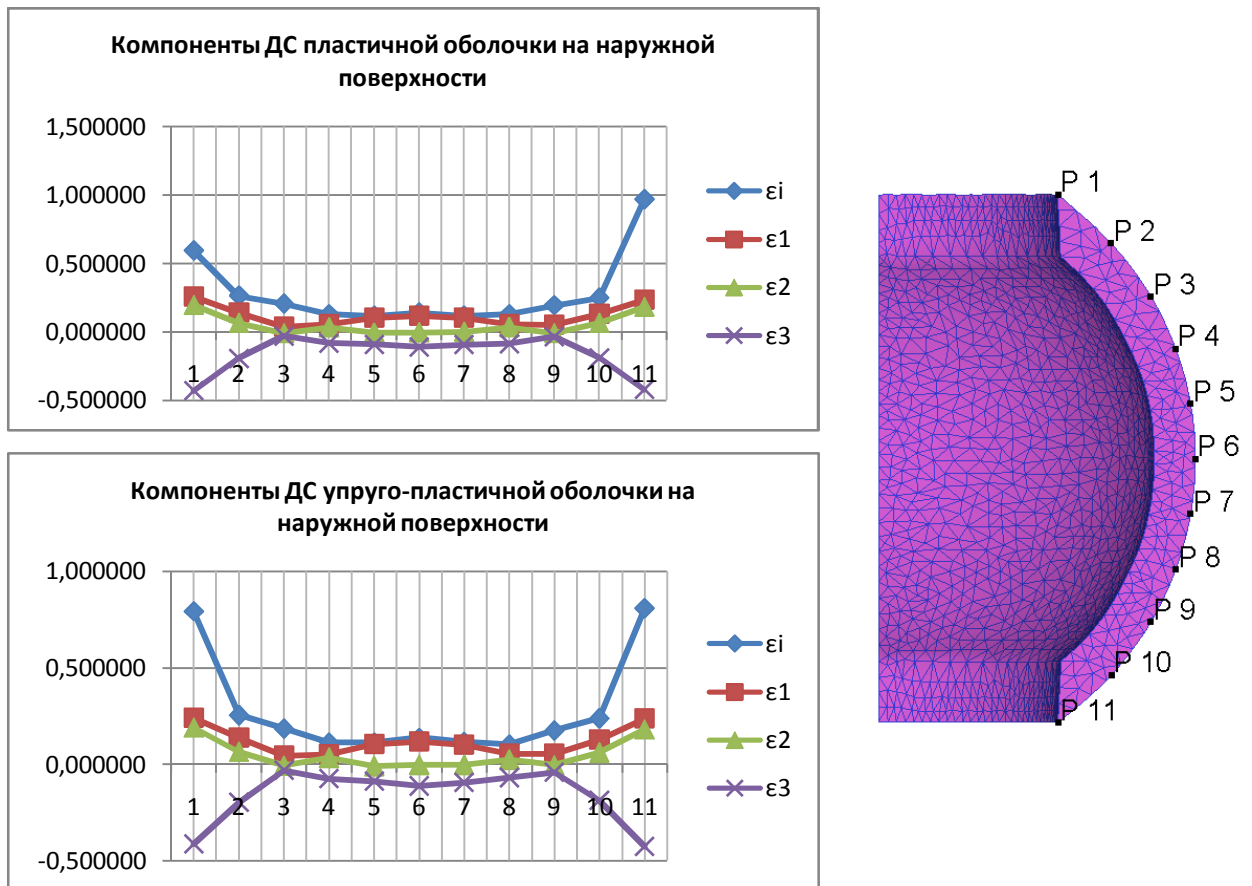


Рисунок 37 – Компоненты деформированного состояния наружной поверхности пластической и упруго-пластичной оболочек

Распределение компонентов деформированного состояния на наружной поверхности (рисунок 37) имеет схожий характер, однако, у упруго-пластичной оболочки распределение всех компонентов симметрично относительно средней точки. У пластичной оболочки максимальная интенсивность деформаций фиксируется в точке 11 и составляет 0,967. У

упруго-пластичной оболочки максимум интенсивности деформации находится на краевых точках и составляет 0,794 для точки 1, а также 0,810 для точки 11, что больше предельной устойчивой деформации  $\varepsilon_{iy}=0,35$ .

В случае пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1= 0,037$  в точке 3 до максимума  $\varepsilon_1= 0,236$  в точке 1;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2= -0,010$  в точке 9 до максимума  $\varepsilon_2= 0,182$  в точке 1;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3= -0,430$  в точке 1 до максимума  $\varepsilon_3=-0,031$  в точке 3.

В случае упруго-пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1= 0,045$  в точке 3 до максимума  $\varepsilon_1=0,239$  в точке 1;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2= -0,006$  в точке 3 до максимума  $\varepsilon_2=0,190$  в точке 1;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3=-0,426$  в точке 11 до максимума  $\varepsilon_3=-0,032$  в точке 3.

Распределение компонентов напряженного состояния на наружной поверхности оболочек (рисунок 38) значительно различается. У пластичной оболочки наблюдается резкий скачок значений всех компонентов НС в средней точке, максимальная интенсивность напряжений зафиксирована в точке 1 и составляет 1122 МПа. На наружной поверхности упруго-пластичной оболочки наблюдается более «гладкое» распределение компонентов НС, максимальная интенсивность напряжений зафиксирована на двух крайних точках и составила 1137 МПа. Распределение остальных компонентов напряженного состояния имеет схожий характер с пиком в точке 6.

В случае пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1= -58$  МПа в точке 7 до максимума  $\sigma_1= 929$  МПа в точке 6;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2= -408$  МПа в точке 1 до максимума  $\sigma_2= 751$  МПа в точке 6;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3= -808$  МПа в точке 1 до максимума  $\sigma_3= 496$  МПа в точке 3.

В случае упруго-пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1= -179$  МПа в точке 9 до максимума  $\sigma_1= 480$  МПа в точке 6;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2= -1102$  МПа в точке 11 до



максимума  $\sigma_2 = -94$  МПа в точке 7;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -1397$  в точке 11 до максимума  $\sigma_3 = -483$  в точке 6.

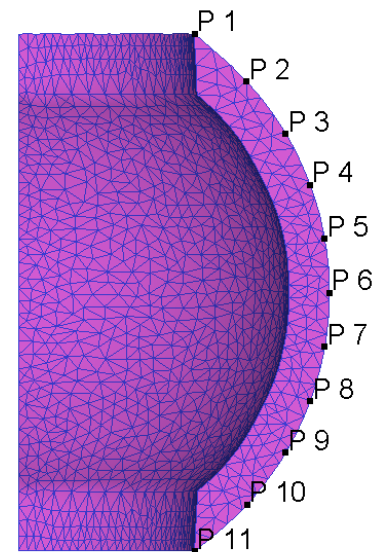
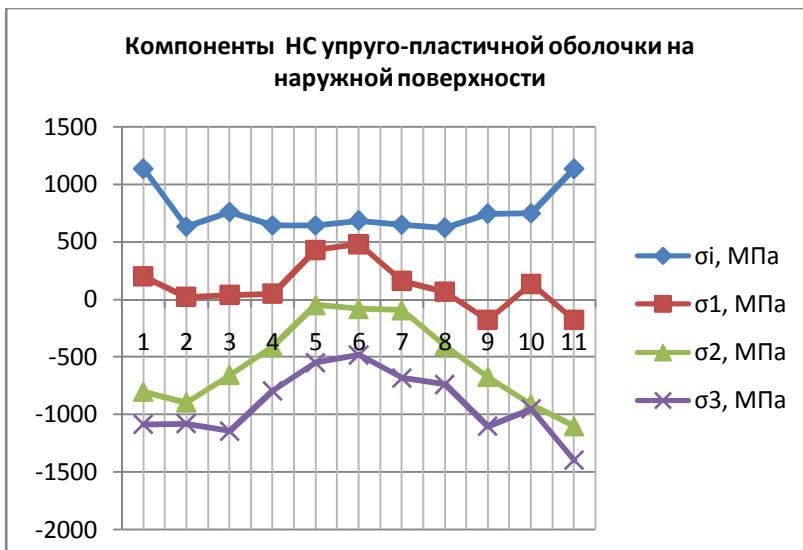
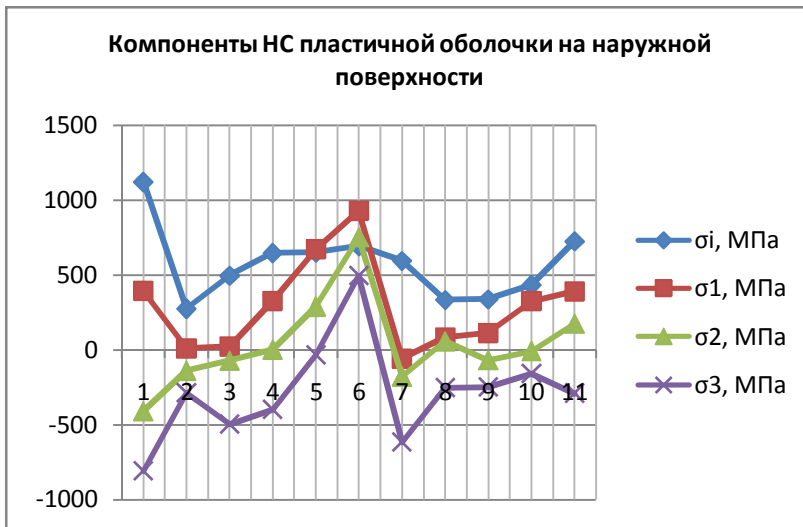


Рисунок 38 – Компоненты напряженного состояния наружной поверхности пластической и упруго-пластичной оболочек

Распределение компонентов деформированного состояния в поперечном сечении (рисунок 39) от наружной к внутренней поверхности у обеих оболочек отличается постоянным ростом интенсивности деформаций, а также первых двух главных компонентов, только компонент  $\varepsilon_3$  постоянно уменьшается. Максимальные значения интенсивности деформации во всех

случаях меньше  $\varepsilon_{iy}=0,35$  и зафиксированы в точке 6, составляя: 0,231 для пластичной и 0,228 для упруго-пластичной оболочки.

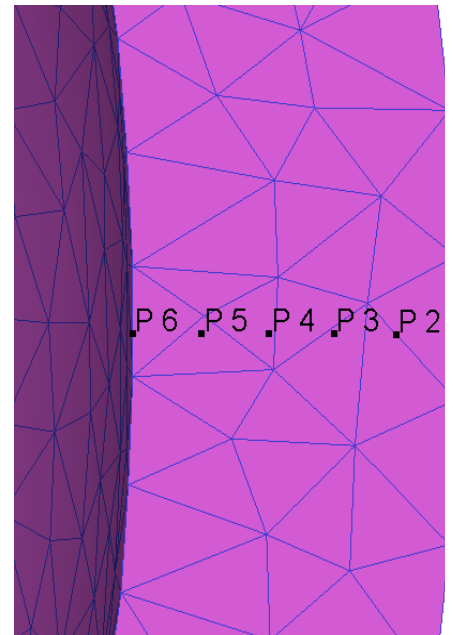
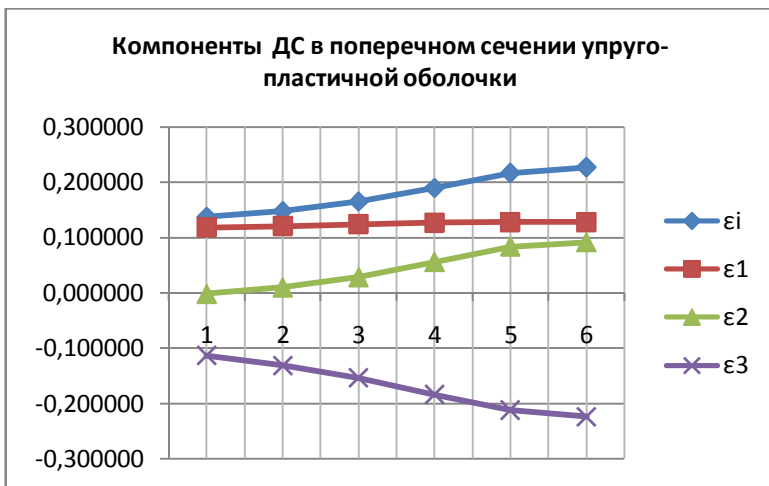
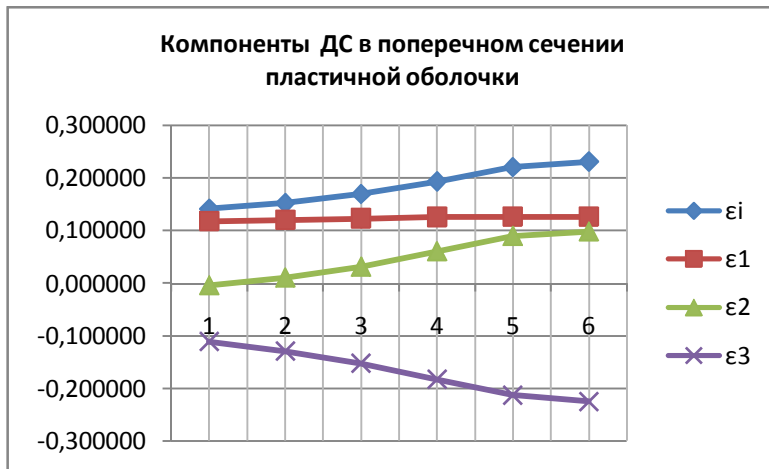


Рисунок 39 – Компоненты деформированного состояния поперечного сечения пластической и упруго-пластичной оболочек

В случае пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1=0,118$  в точке 1 до максимума  $\varepsilon_1=0,126$  в точке 6;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2=0,004$  в точке 1 до максимума  $\varepsilon_2=0,098$  в точке 6;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3=0,224$  в точке 6 до максимума  $\varepsilon_3=-0,111$  в точке 1.

В случае упруго-пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1=0,119$  в точке 1 до максимума  $\varepsilon_1=0,129$  в точке 6;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2=-0,001$  в точке 1 до максимума  $\varepsilon_2=0,092$  в точке 6;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3=-0,224$  в точке 6 до максимума  $\varepsilon_3=-0,113$  в точке 1.

Распределение компонентов напряженного состояния в поперечном сечении (рисунок 40) от наружной к внутренней поверхности у пластичной оболочки имеет характер постоянного уменьшения для компонентов  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ . Стоит заметить, что изначально все эти компоненты положительны на наружной поверхности, а на внутренней поверхности уже наблюдаются отрицательные компоненты  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ . Интенсивность напряжений максимальна на внутренней поверхности и составляет 819 МПа. Упруго-пластичная оболочка имеет похожий характер постоянного уменьшения главных компонентов, но  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  изначально отрицательны на наружной поверхности. Максимальная интенсивность напряжений также зафиксирована на внутренней поверхности и составила 817 МПа.

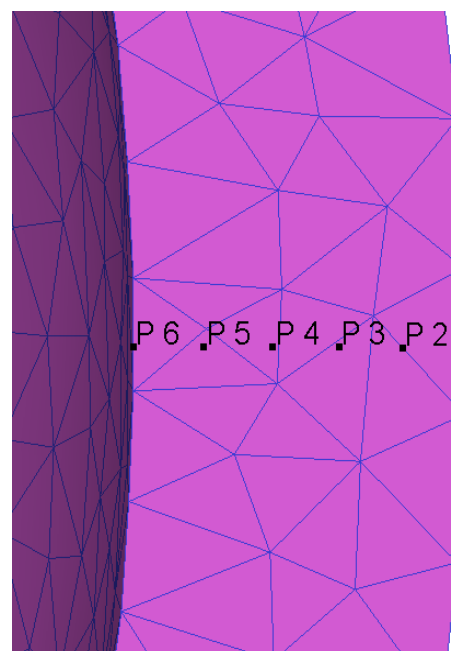
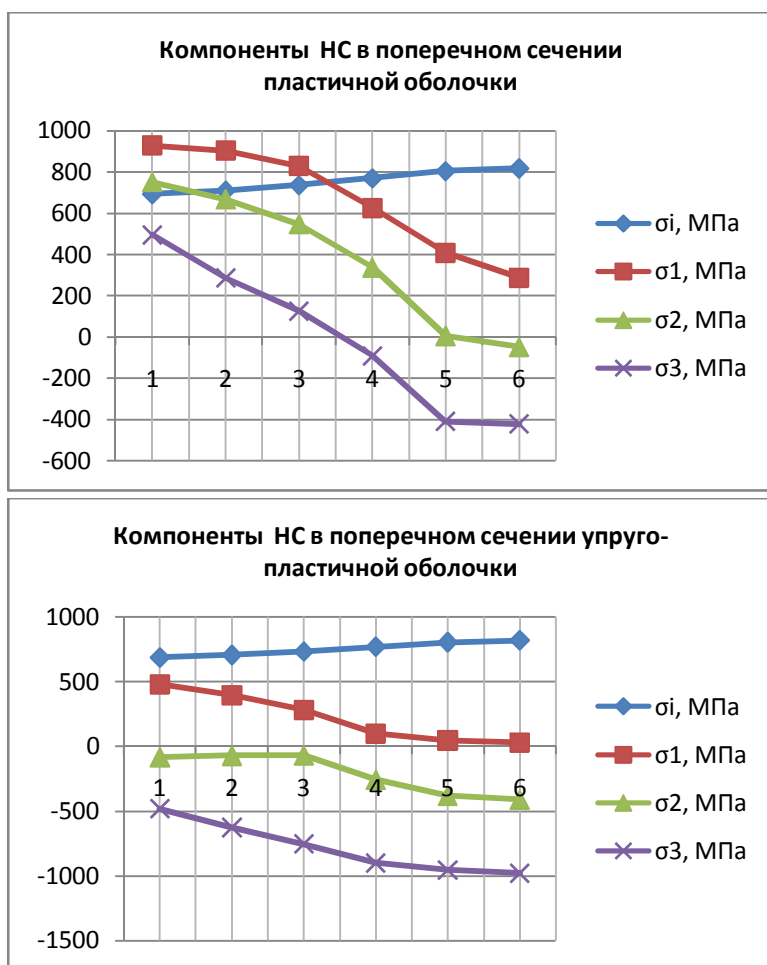


Рисунок 40 – Компоненты напряженного состояния поперечного сечения пластической и упруго-пластичной оболочек

В случае пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1= 289$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_1= 929$  МПа в точке 1;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2= -47$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_2= 751$  МПа в точке 1;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3= -422$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_3= 496$  МПа в точке 1.

В случае упруго-пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1= 30$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_1= 480$  МПа в точке 1;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2= -411$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_2= -69$  МПа в точке 3;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3= -978$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_3= -483$  в точке 1.

Компоненты деформированного состояния на внутренней поверхности (рисунок 41) пластичной и упруго-пластичной оболочек имеют одинаковый характер распределения с характерным пиком в средней части заготовки. Максимальные значения интенсивности деформации меньше  $\varepsilon_{iy}=0,35$  и составляют 0,230 для пластической оболочки и 0,227 для упруго-пластической. В обоих случаях отрицательным является только компонент  $\varepsilon_3$  с минимумом в точке 6.

В случае пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1= 0,112$  в точке 4 до максимума  $\varepsilon_1=0,198$  в точке 11;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2= -0,086$  в точке 10 до максимума  $\varepsilon_2=0,086$  в точке 11;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3=-0,279$  в точке 10 до максимума  $\varepsilon_3= -0,111$  в точке 10.

В случае упруго-пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1= 0,093$  в точке 4 до максимума  $\varepsilon_1=0,193$  в точке 11;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2= -0,081$  в точке 10 до максимума  $\varepsilon_2=0,088$  в точке 11;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3=-0,279$  в точке 11 до максимума  $\varepsilon_3=-0,106$  в точке 3.

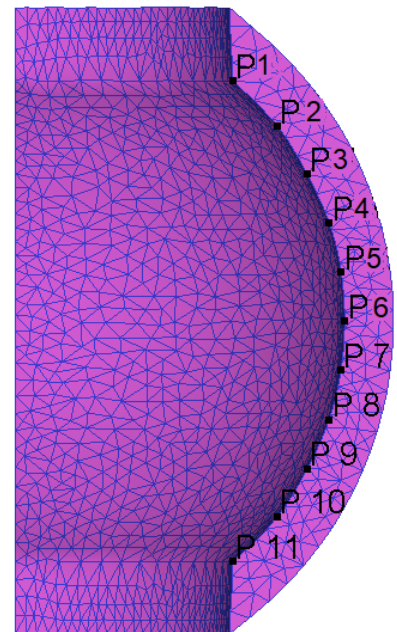
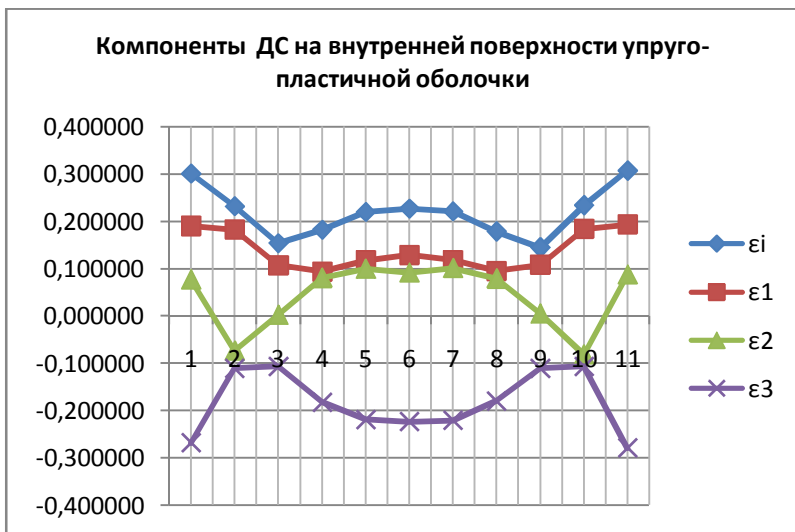
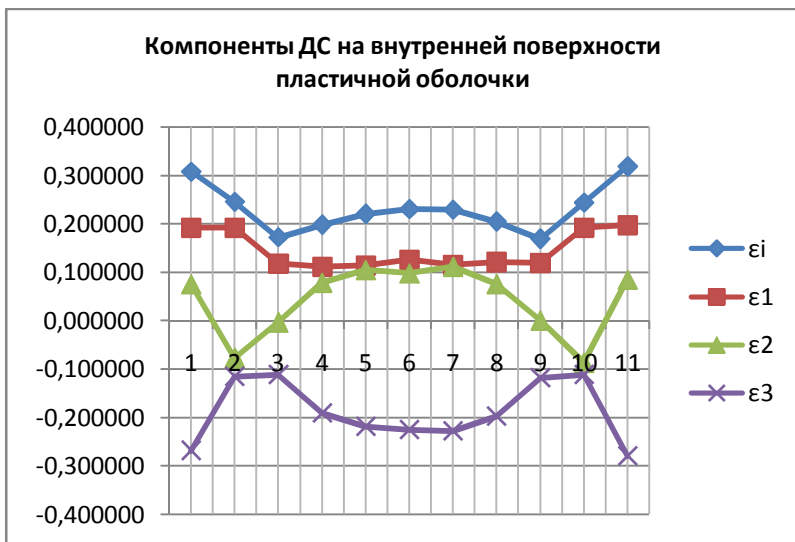


Рисунок 41 – Компоненты деформированного состояния внутренней поверхности пластичной и упруго-пластичной оболочек

Распределение компонентов напряженного состояния на внутренней поверхности (рисунок 42) пластичной оболочки имеют скачкообразный характер. Наблюдается рост всех компонентов НС вплоть до точки 4, после чего значение компонентов  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  резко падает вплоть до точки 6, затем скачкообразно растет в точке 7 и снижается до внутренней поверхности. Максимальная интенсивность напряжений зафиксирована в центральной точке и составляет 819 МПа. Распределение компонентов НС на внутренней поверхности упруго-пластичной оболочки, напротив, имеет плавный характер за исключением компонента  $\sigma_3$  с пиковыми максимальными

значениями в точках 3 и 9. Интенсивность напряжений имеет наибольшие значения на краях, максимум составил 905 МПа в точке 11.

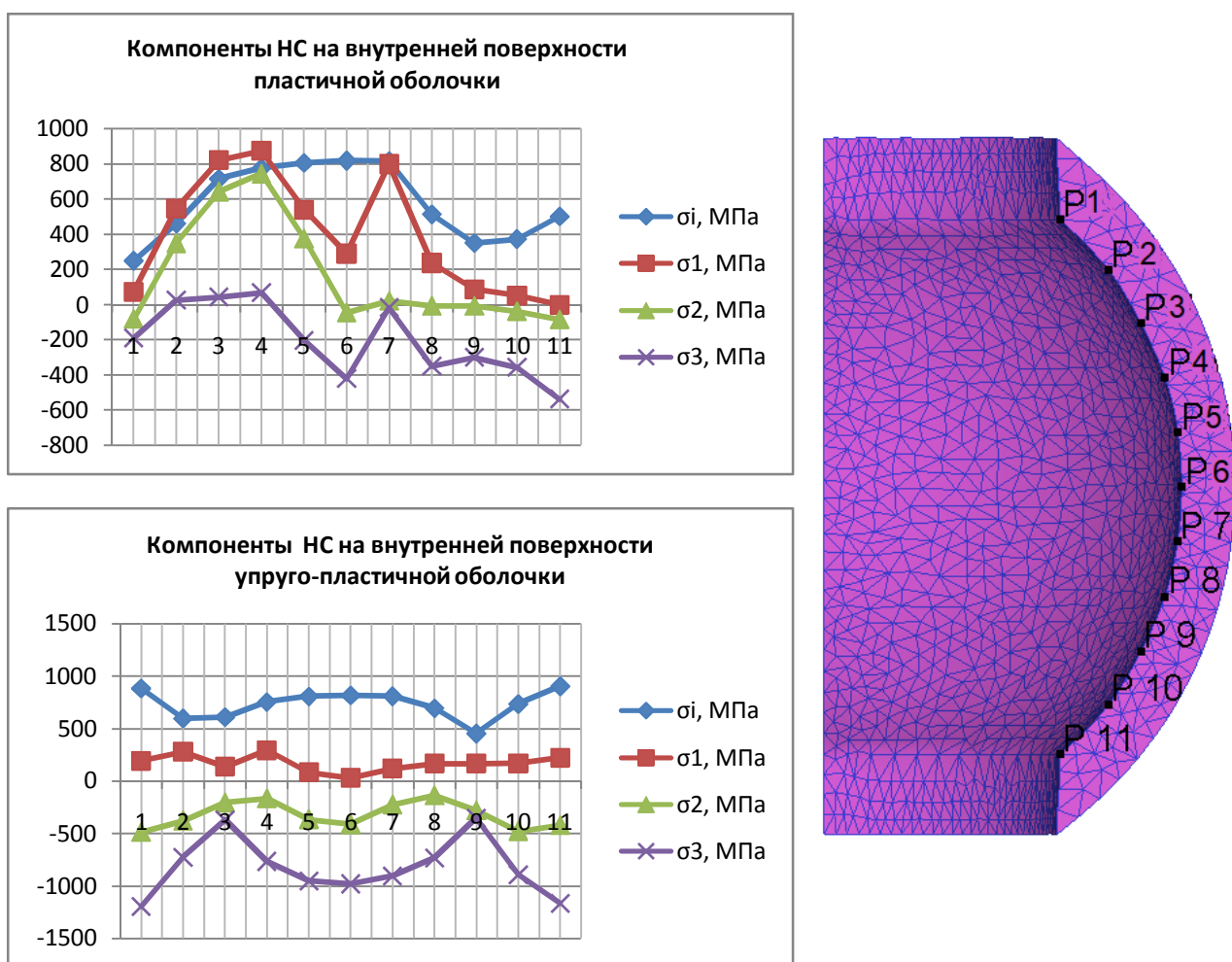


Рисунок 42 – Компоненты напряженного состояния внутренней поверхности пластичной и упруго-пластичной оболочек

В случае пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = -2$  МПа в точке 11 до максимума  $\sigma_1 = 873$  МПа в точке 4;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = -81$  МПа в точке 1 до максимума  $\sigma_2 = 745$  МПа в точке 4;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -538$  МПа в точке 11 до максимума  $\sigma_3 = 66$  МПа в точке 4.

В случае упруго-пластичной оболочки компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = 30$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_1 = 293$  МПа в точке 4;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = -485$  МПа в точке 1 до

максимума  $\sigma_2 = -137$  МПа в точке 8;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -1193$  в точке 1 до максимума  $\sigma_3 = -353$  в точке 9.

Распределение компонентов деформации на наружной поверхности пластичного и упруго-пластичного патрубка (рисунок 43) имеют схожий характер. Однако, в данном случае распределение компонентов ДС у пластического патрубка симметрично относительно средней точки. Максимальное значение интенсивности деформации  $0,060 < \epsilon_{iy}$  в точке 1. У упруго-пластичного патрубка имеется значительная асимметрия распределения компонентов ДС так, что интенсивность деформации в точке 1 максимальная и составляет  $0,077 < \epsilon_{iy} = 0,35$ , а в точке 11 - 0,042. Однако, в обоих случаях фиксируется рост по модулю всех компонентов НС в центральной зоне.

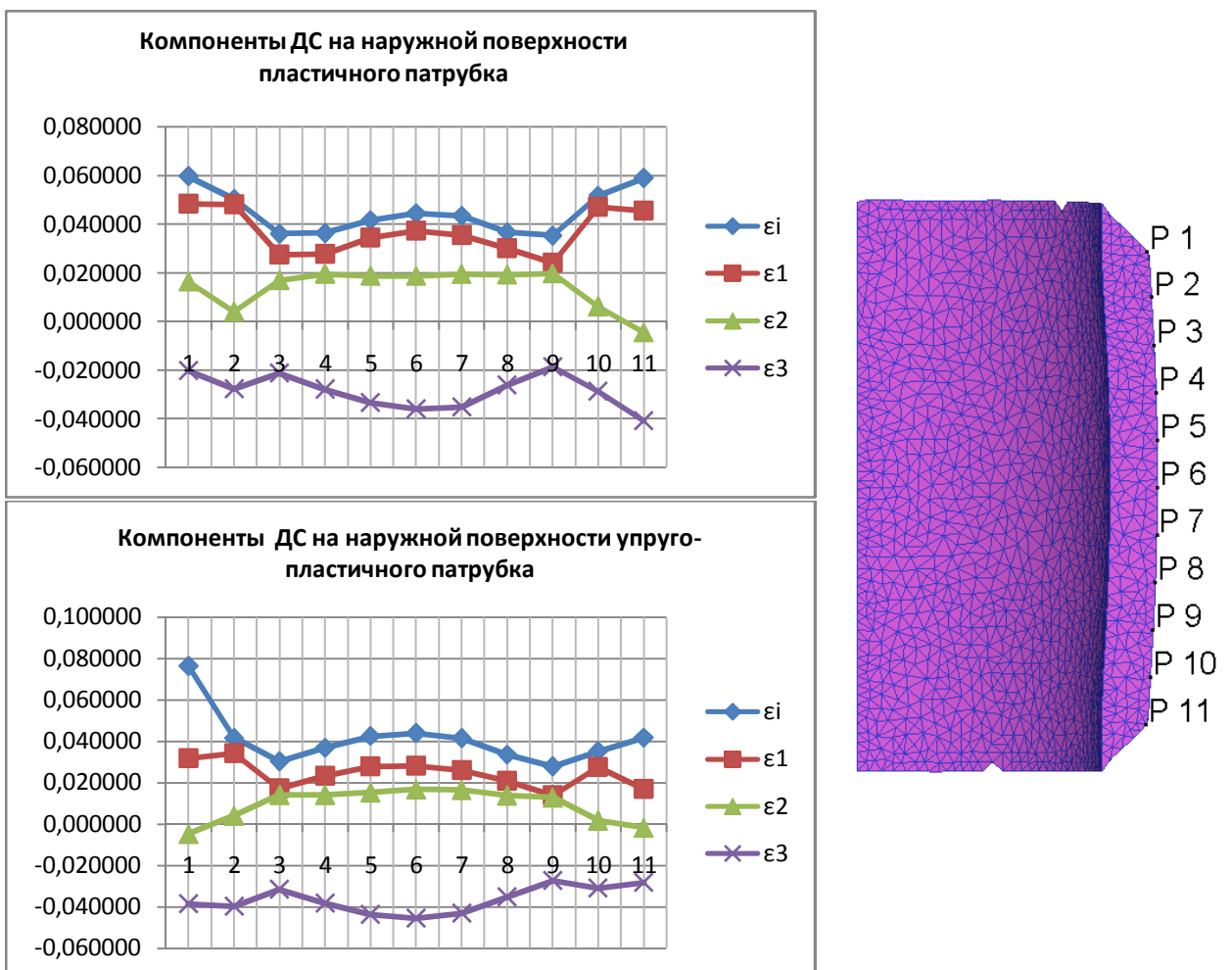


Рисунок 43 – Компоненты деформированного состояния наружной поверхности пластичного и упруго-пластичного патрубков

В случае пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1 = 0,024$  в точке 9 до максимума  $\varepsilon_1 = 0,048$  в точке 1;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2 = -0,005$  в точке 11 до максимума  $\varepsilon_2 = 0,020$  в точке 9;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3 = -0,041$  в точке 11 до максимума  $\varepsilon_3 = -0,019$  в точке 9.

В случае упруго-пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1 = 0,014$  в точке 9 до максимума  $\varepsilon_1 = 0,034$  в точке 2;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2 = -0,005$  в точке 1 до максимума  $\varepsilon_2 = 0,017$  в точке 6;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3 = -0,046$  в точке 6 до максимума  $\varepsilon_3 = -0,028$  в точке 11.

Компоненты напряжений на наружной поверхности патрубкa (рисунок 44) в обоих случаях имеют положительные значения на кромках патрубкa с минимумом в центральной зоне. Максимальная интенсивность напряжений для пластичного патрубкa составила  $1081 \text{ МПа} > \sigma_T$  в точке 1 и для упруго-пластичного –  $570 \text{ МПа} > \sigma_T$ , что подтверждает наличие пластической деформации. Отличием между НС двух патрубкoв является характер распределения компонента  $\sigma_3$ , который принимает отрицательные значения в центральной зоне пластичного патрубкa и близкие к нулю значения в случае упруго-пластичного.

В случае пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = 353 \text{ МПа}$  в точке 6 до максимума  $\sigma_1 = 1081 \text{ МПа}$  в точке 1;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = -88 \text{ МПа}$  в точке 8 до максимума  $\sigma_2 = 832 \text{ МПа}$  в точке 1;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -32 \text{ МПа}$  в точке 10 до максимума  $\sigma_3 = 249 \text{ МПа}$  в точке 1.

В случае упруго-пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = 143 \text{ МПа}$  в точке 5 до максимума  $\sigma_1 = 721 \text{ МПа}$  в точке 1;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = -2 \text{ МПа}$  в точке 2 до максимума  $\sigma_2 = 297 \text{ МПа}$  в точке 8;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -32 \text{ МПа}$  в точке 10 до максимума  $\sigma_3 = 249 \text{ МПа}$  в точке 1.



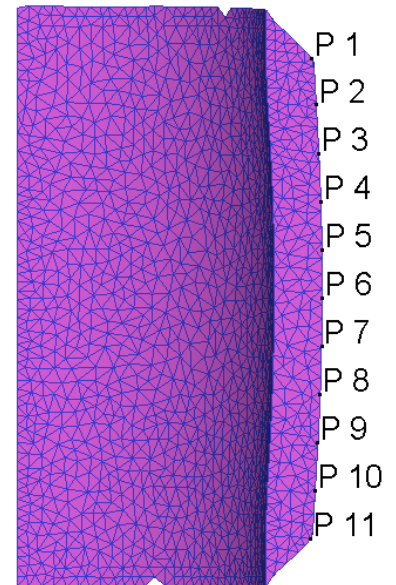
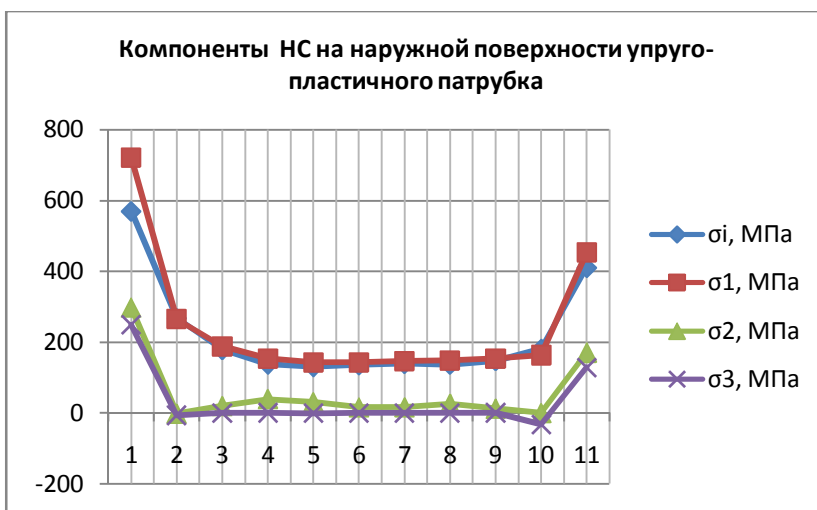
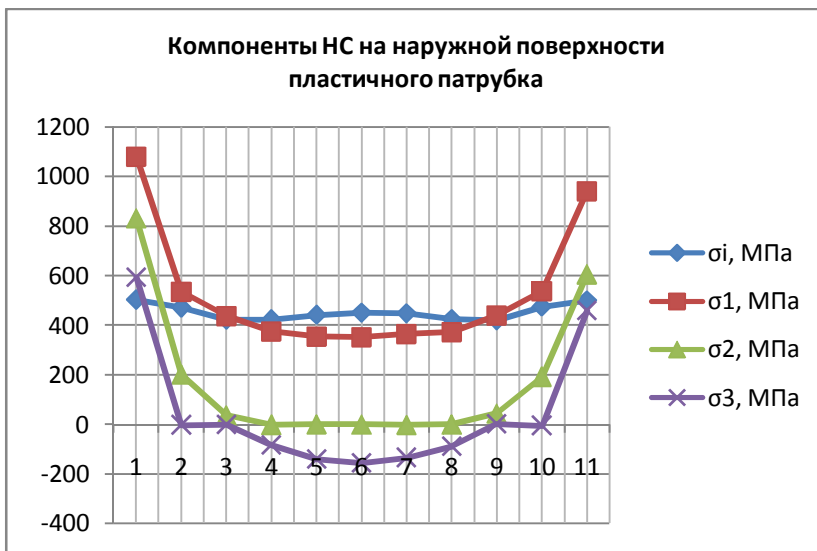


Рисунок 44 – Компоненты напряженного состояния наружной поверхности пластичного и упруго-пластичного патрубков

Распределение компонентов деформированного состояния в поперечном сечении от наружной к внутренней поверхности у обоих патрубков (рисунок 45) отличается постоянным ростом интенсивности деформаций, а также первых двух главных компонентов, только компонент  $\epsilon_3$  постоянно уменьшается. Максимальные значения интенсивности деформации во всех случаях меньше  $\epsilon_{ip}$  и зафиксированы в точке 6, составляя: 0,070 для пластичного патрубка; 0,056 для упруго-пластичного патрубка.

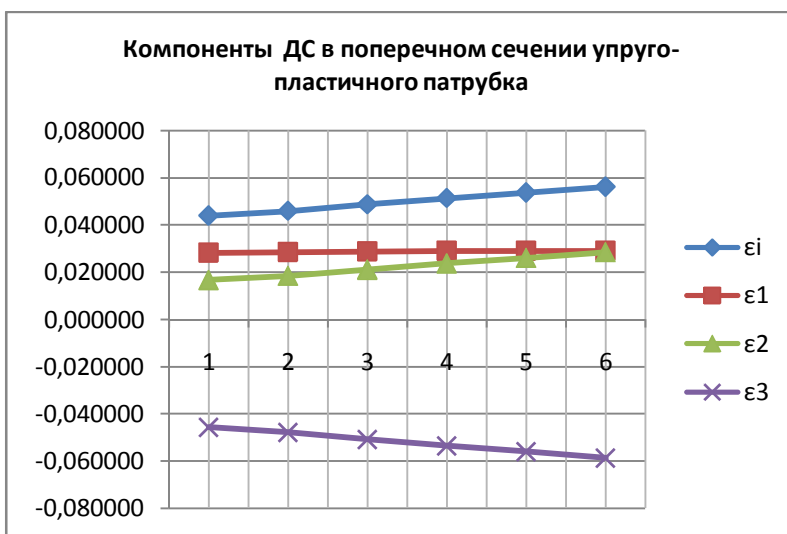
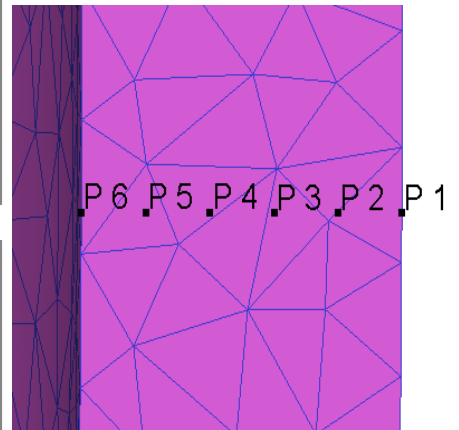
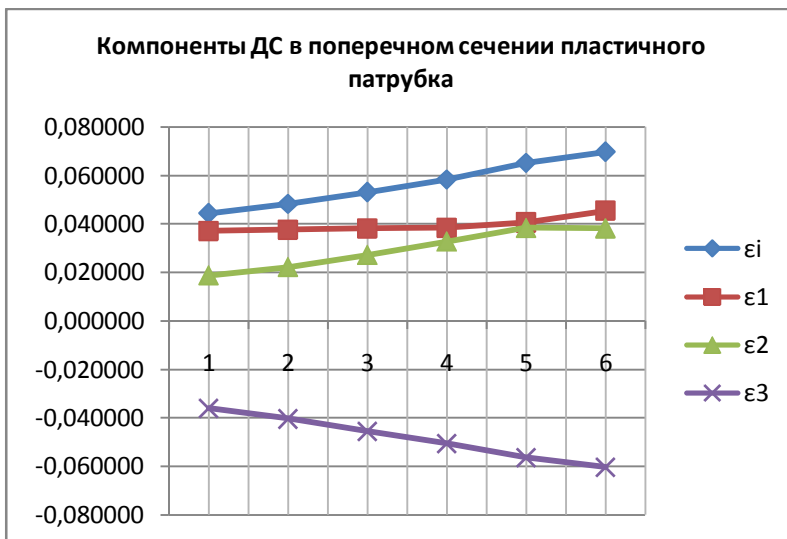


Рисунок 45 – Компоненты деформированного состояния поперечного сечения пластичного и упруго-пластичного патрубков

В случае пластичного патрубка компоненты изменяются в следующих пределах:  $\epsilon_1$ - от минимума  $\epsilon_1=0,037$  в точке 1 до максимума  $\epsilon_1=0,046$  в точке 6;  $\epsilon_2$  - от минимума  $\epsilon_2=0,019$  в точке 1 до максимума  $\epsilon_2=0,038$  в точке 5;  $\epsilon_3$  – от минимума  $\epsilon_3=-0,060$  в точке 6 до максимума  $\epsilon_3=-0,036$  в точке 1.

В случае упруго-пластичного патрубка компоненты изменяются в следующих пределах:  $\epsilon_1$ - от минимума  $\epsilon_1=0,028$  в точке 1 до максимума  $\epsilon_1=0,029$  в точке 6;  $\epsilon_2$  - от минимума  $\epsilon_2=0,017$  в точке 1 до максимума  $\epsilon_2=0,029$  в точке 6;  $\epsilon_3$  – от минимума  $\epsilon_3=-0,059$  в точке 6 до максимума  $\epsilon_3=-0,046$  в точке 1.

Распределение компонентов напряженного состояния в поперечном сечении (рисунок 46) пластичного патрубка характеризуется постоянным ростом компонентов  $\sigma_i$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$ , а так же равенством нулю компонента  $\sigma_2$ . Распределение компонентов напряженного состояния у упруго-пластичного патрубка имеет аналогичный характер, кроме постоянного уменьшения значения  $\sigma_3$ . Максимальная интенсивность напряжений составила  $538 \text{ МПа} > \sigma_T$  для пластичного патрубка и  $233 \text{ МПа} < \sigma_T$  для упруго-пластичного, что говорит об отсутствии у него пластической деформации.

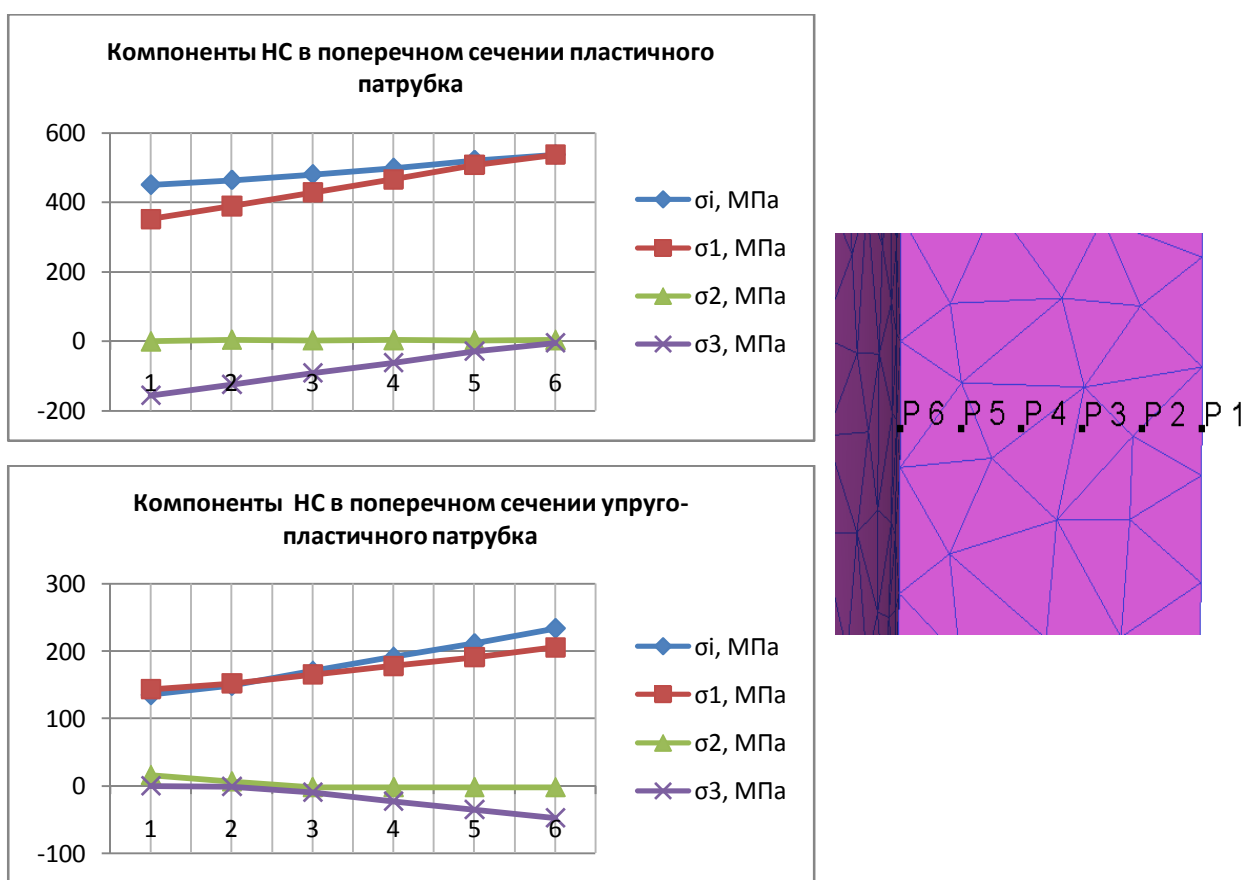


Рисунок 46 – Компоненты напряженного состояния поперечного сечения пластичного и упруго-пластичного патрубков

В случае пластичного патрубка компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = 353 \text{ МПа}$  в точке 1 до максимума  $\sigma_1 = 537 \text{ МПа}$  в точке 6;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = 1 \text{ МПа}$  в точке 1 до максимума  $\sigma_2 = 5 \text{ МПа}$  в точке 6;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -156 \text{ МПа}$  в точке 1 до максимума  $\sigma_3 = -5 \text{ МПа}$  в точке 6.

В случае упруго-пластичного патрубка компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = 144$  МПа в точке 1 до максимума  $\sigma_1 = 206$  МПа в точке 6;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = -2$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_2 = 17$  МПа в точке 1;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -47$  МПа в точке 6 до максимума  $\sigma_3 = 0$  МПа в точке 1.

Значения всех компонентов деформированного состояния у обоих патрубков (рисунок 47) на внутренней поверхности по модулю достигают своего максимума в центральной зоне, отрицательным является только компонент  $\varepsilon_3$ . Максимальная интенсивность деформаций составила 0,070 для точки 6 пластичного патрубка и 0,057 для точки 5 упруго-пластичного патрубка, что значительно меньше  $\varepsilon_{ip}$ .

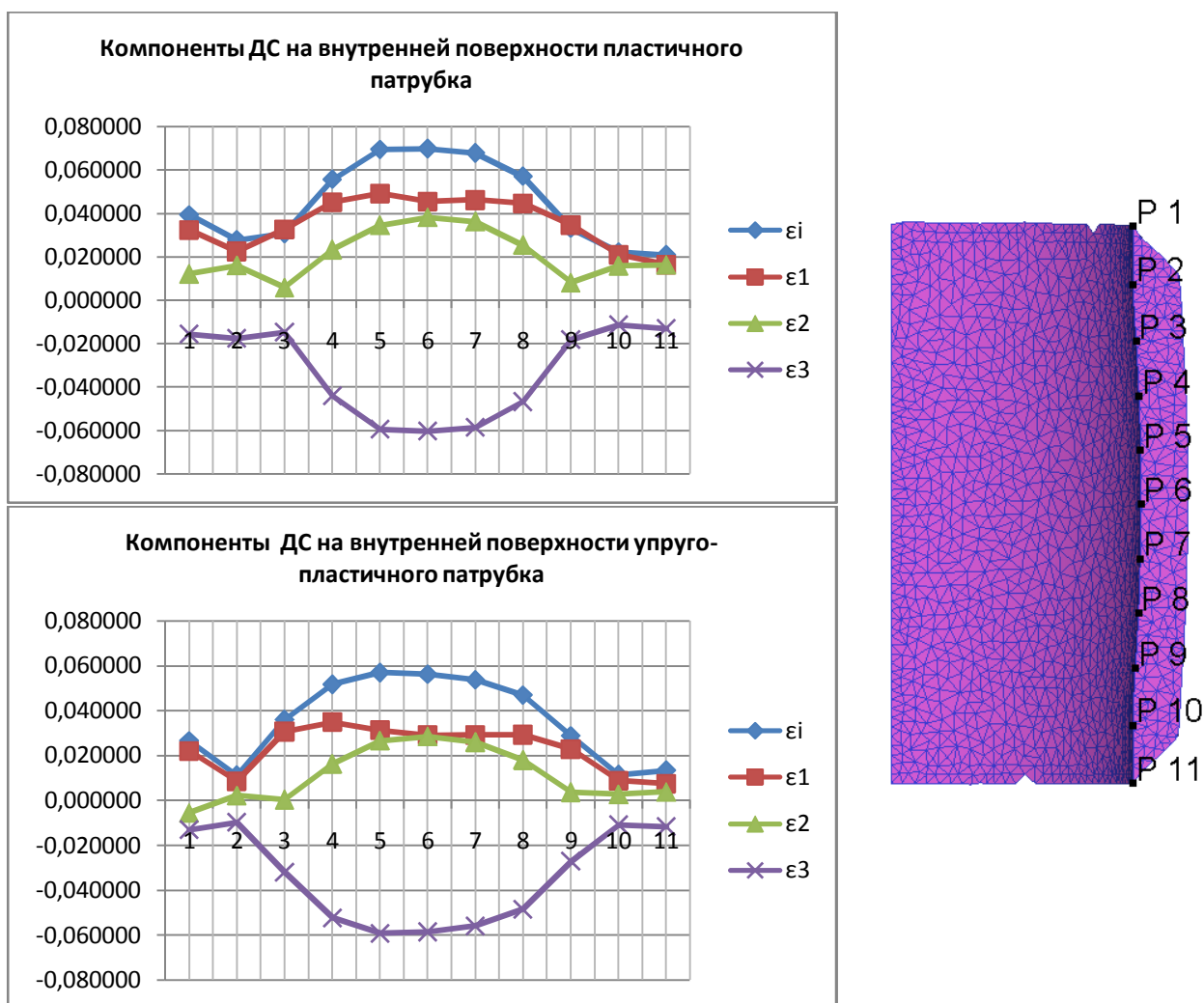


Рисунок 47 – Компоненты деформированного состояния внутренней поверхности пластичного и упруго-пластичного патрубков

В случае пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1 = 0,016$  в точке 11 до максимума  $\varepsilon_1 = 0,049$  в точке 5;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2 = 0,006$  в точке 3 до максимума  $\varepsilon_2 = 0,038$  в точке 6;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3 = -0,060$  в точке 6 до максимума  $\varepsilon_3 = -0,011$  в точке 10.

В случае упруго-пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\varepsilon_1$ - от минимума  $\varepsilon_1 = 0,008$  в точке 11 до максимума  $\varepsilon_1 = 0,035$  в точке 4;  $\varepsilon_2$  - от минимума  $\varepsilon_2 = -0,005$  в точке 1 до максимума  $\varepsilon_2 = 0,029$  в точке 6;  $\varepsilon_3$  – от минимума  $\varepsilon_3 = -0,059$  в точке 6 до максимума  $\varepsilon_3 = -0,010$  в точке 2.

Распределение компонентов напряженного состояния на внутренней поверхности (рисунок 48) пластичного патрубкa имеет скачкообразный характер с минимумом компонентов  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  в точке 10. В центральной зоне все компоненты за исключением  $\sigma_2$  принимают максимальные значения. Компоненты НС на внутренней поверхности упруго-пластичного патрубкa имеют максимальные значения вблизи верхней кромки, резко снижают свои значения в точке 3, после чего компоненты  $\sigma_i$ ,  $\sigma_1$  приобретают локальный максимум, а затем снова снижаются в точке 9, в которой значения компонентов  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  приобретают нулевые значения. В точке 10 вновь фиксирует рост значений компонентов  $\sigma_i$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ . Максимальная интенсивность напряжений составила 538 МПа в точке 6 для пластичного патрубкa и 425 МПа в точке 1 для упруго-пластичного, что в обоих случаях больше условного предела текучести.

В случае упруго-пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = 8$  МПа в точке 10 до максимума  $\sigma_1 = 552$  МПа в точке 5;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = -83$  МПа в точке 10 до максимума  $\sigma_2 = 171$  МПа в точке 2;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -279$  МПа в точке 10 до максимума  $\sigma_3 = 27$  МПа в точке 2.

В случае упруго-пластичного патрубкa компоненты изменяются в следующих пределах:  $\sigma_1$ - от минимума  $\sigma_1 = 128$  МПа в точке 3 до максимума  $\sigma_1 = 431$  МПа в точке 1;  $\sigma_2$  - от минимума  $\sigma_2 = -3$  МПа в точке 7 до максимума

$\sigma_2 = 205$  МПа в точке 2;  $\sigma_3$  – от минимума  $\sigma_3 = -89$  МПа в точке 10 до максимума  $\sigma_3 = 118$  МПа в точке 2.

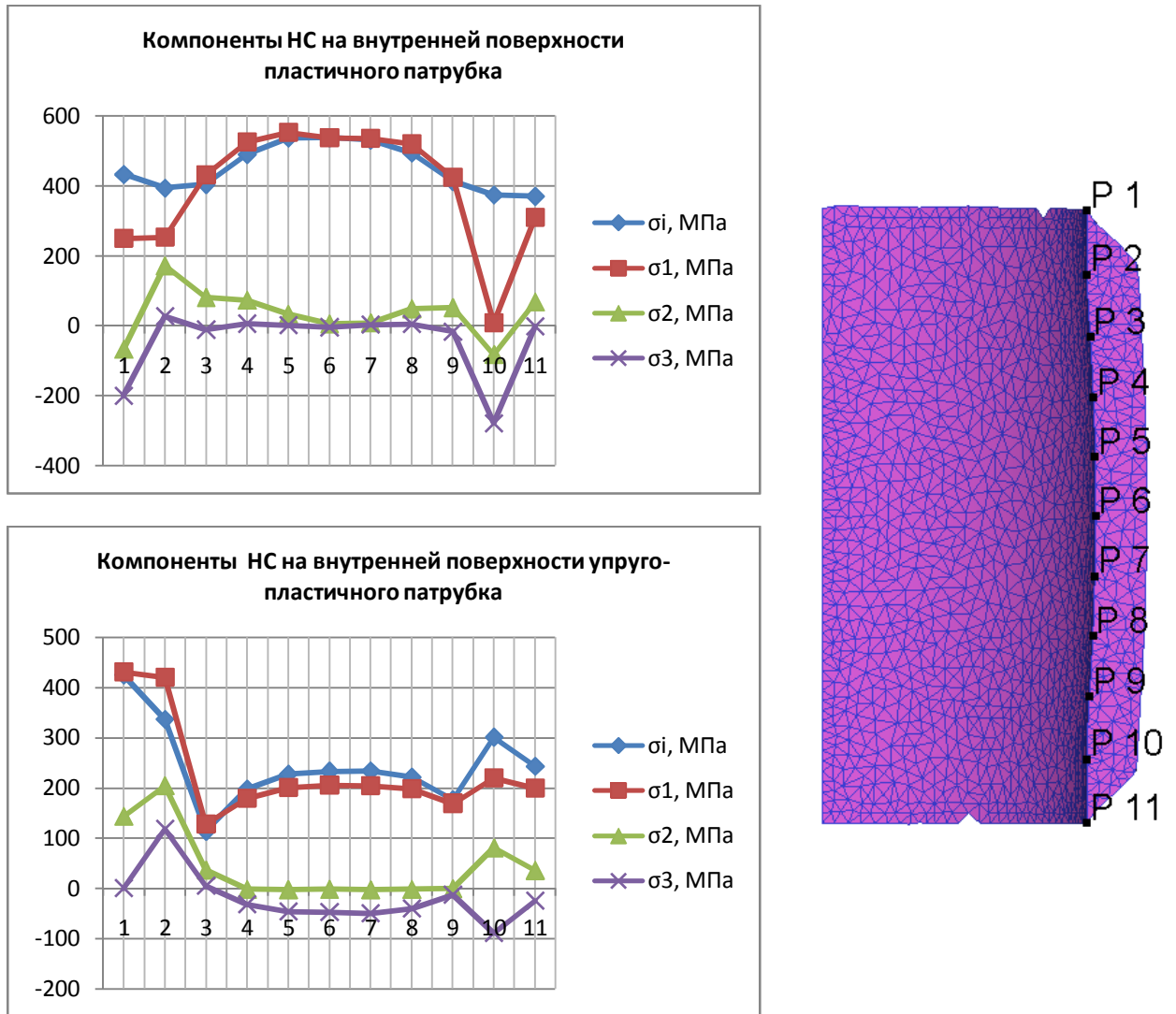


Рисунок 48 – Компоненты напряженного состояния внутренней поверхности пластичного и упруго-пластичного патрубков

Стоит отметить, что после начала движения верхней полуматрицы вверх характеристики деформированного состояния пластической пробки остались прежними, однако, компоненты деформированного состояния упруго-пластичной пробки продолжили меняться после снятия нагрузки, что свидетельствует об упругой разгрузке. Графики изменения интенсивности деформаций для крайних точек упруго-пластичной оболочки представлены на рисунке 49.

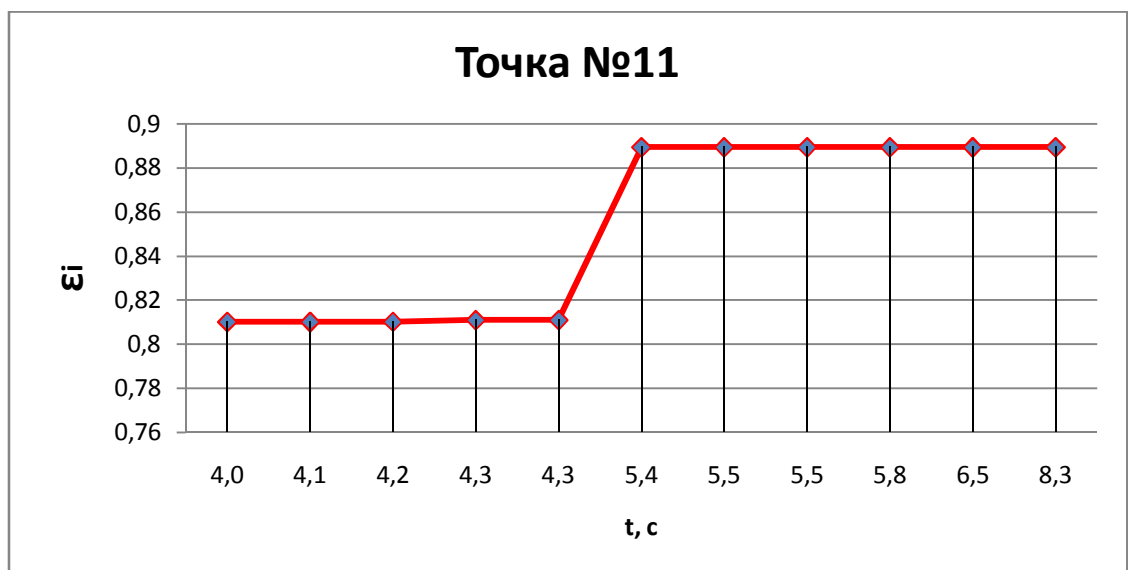
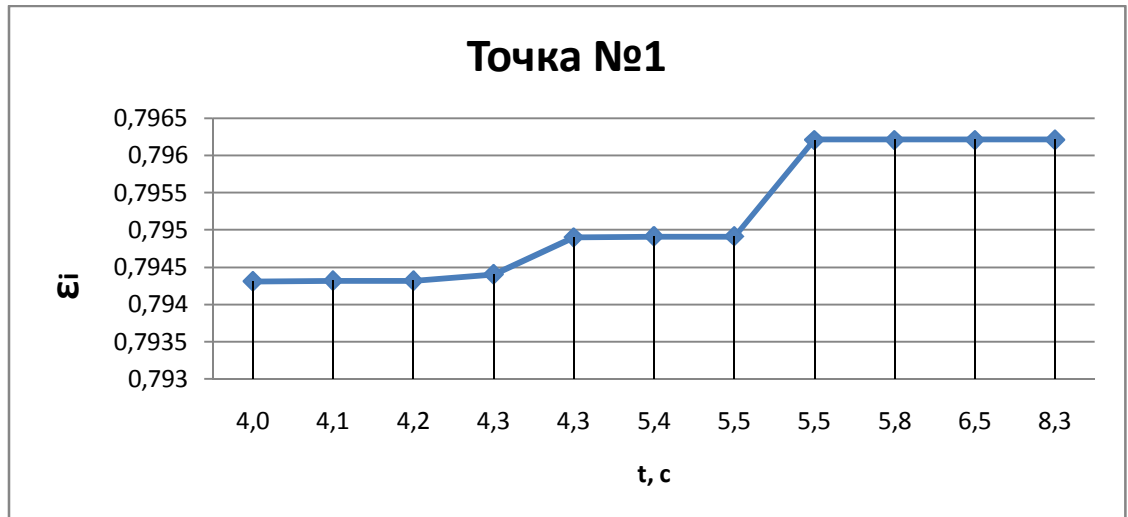


Рисунок 49 – Изменение интенсивности деформации в упруго-пластичной оболочке

Графики изменения интенсивности деформаций для крайних точек упруго-пластичного патрубков представлены на рисунке 50.

Время начала упругой разгрузки – 4,04 с согласно моменту начала обратного движения верхней полуматрицы. Несмотря на различный характер изменения интенсивности деформации в разных точках, можно однозначно судить о её увеличении во всех контролируемых точках, что выражается в полученных размерах пробок. Например, наружный диаметр после разгрузки составил 56,16 мм против номинального 56 мм.

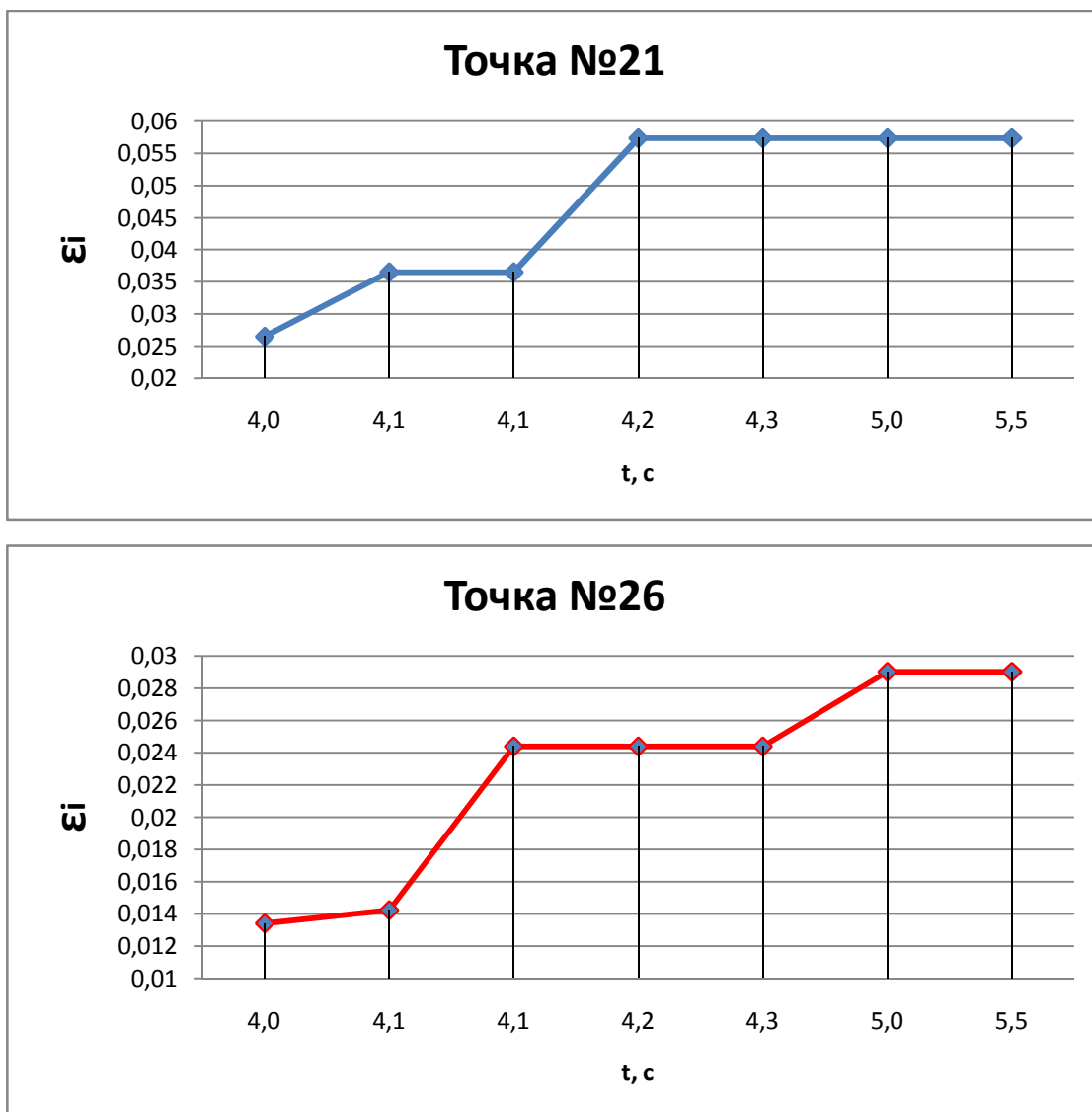


Рисунок 50 – Изменение интенсивности деформации в упруго-пластичном патрубке

Выводы по исследованию параметров НДС:

1. На основании исходных данных в виде чертежа изделия и материала трубных заготовок была разработана геометрия рабочего инструмента, а также подобраны размеры заготовок.

2. На основании графика сила – путь инструмента было выделено три стадии процесса: деформирование торцов внешней заготовки, основной обжим и обжим-раздача с максимальными силами 38,6; 72,2 и 162 кН соответственно.

3. Несмотря на общую схожесть распределения компонентов НДС, стоит отметить, что деформирование пластичной пробки характеризуется более



скачкообразным характером изменения напряжений, а также абсолютная величина самих напряжений может быть больше на 400 МПа по сравнению с аналогичными в упруго-пластичной пробке. В обоих случаях самые большие напряжения порядка 1200 МПа зафиксированы на кромках заготовок, что может привести к разрушению на кромках, однако, это не является критичным в виду последующей механической обработки. Возникновение напряжений такого уровня обусловлено затеканием металла в зазор между оправкой и верхней полуматрицей, а также в углубление нижней полуматрицы. Высокий уровень напряжений в центральной зоне наружной поверхности обусловлен «выпучиванием» вследствие раздачи на конечном этапе деформирования.

4. Наибольшая интенсивность деформаций порядка 1,0 зафиксирована на кромках оболочки. Это явление также объясняется затеканием металла в зазор между оправкой и верхней полуматрицей, а также в углубление нижней полуматрицы. Подобная интенсивность близка к предельной деформации перед разрушением для 12X18H10T в состоянии поставки  $\epsilon_{ip}=1,1$ . Также значительные деформации порядка 0,8 были обнаружены в центральной зоне оболочек, что обосновано раздачей заготовки на конечном этапе деформирования и, как следствие, увеличением диаметра.

Результатом проведения моделирования также является учет упругой разгрузки в процессе обжима-раздачи составной двухслойной пробки. Исследование показало, что если в случае пластичной пробки накопление компонентов деформации после окончания рабочего хода верхней полуматрицы прекращается, то в случае упруго-пластичной пробки компоненты деформации продолжают расти. Это свидетельствует об упругой разгрузке материала пробки. Также это выражается на конечных форме и размерах штампуемого полуфабриката, в частности наружный диаметр после разгрузки составил 56,16 мм против номинального 56 мм.

## 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЖИМА ШАРОВЫХ ПРОБОК

### 4.1 Материалы, заготовки и рабочий инструмент

Материалом пробок шаровых согласно техническому заданию является коррозионностойкая сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-2014. Эта сталь обладает уникальными техническими характеристиками в сочетании с доступной ценой, что делает её широко распространённой во многих отраслях. Одной из сильных сторон данного материала является простая механическая обработка, а также свариваемость различными способами, что позволяет получать изделия самых разных конструкций и назначения. Также сталь 12X18H10T отличается высокой прочностью. Данную сталь можно отнести к аустенитному классу в качестве конструкционной криогенной марки. Она выплавляется в дуговых печах и получила такое распространение благодаря устойчивости к межкристаллической коррозии при нагреве до 800 °С. Описываемый материал можно назвать высокотехнологичным по причине возможности его холодной и горячей пластической деформации. Благодаря этому качеству из стали 12X18H10T изготавливается широкий перечень проката и поковок.

Маркировка 12X18H10T говорит о расчетном количестве основных химических элементов, входящих в состав: 0,12% углерода, 18% хрома, 10% никеля и 1% титана. Полный химический состав стали 12X18H10T представлен в таблице 3.

Высокие антикоррозионные свойства материала обеспечиваются за счет высокого содержания хрома. За образование аустенитной структуры отвечает наличие никеля. Именно эта структура позволяет расширить эксплуатационные характеристики стали и технологические возможности её обработки. Также никель повышает сопротивление сплава воздействию различных кислот и щелочей.

Таблица 3 – Химический состав стали 12X18H10T [13]

Массовая доля элементов, %														
Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Титан	Магний	Вольфрам	Молибден	Ниобий	Ванадий	Железо	Сера	Фосфор	Прочие
												Не более		
Не более 0,12	Не более 0,8	Не более 2,0	17,00-19,00	9,00-11,00	Не более 1	Не более 2	-	-	-	-	Осн.	0,02	0,04	-

Присутствие в материале титана и кремния приводят к образованию феррита, что изменяет характеристики, а также устраняет межкристаллитную коррозию при сварке, замедляет рост зерна при нагреве и увеличивает плотность получаемого слитка.

Режимы термической обработки включают в себя закалку при нагреве до 1100 °С с последующим охлаждением в воде. Стоит отметить, что нержавеющей стали с сечением до 35 мм допускается охлаждать на открытом воздухе. Температураковки лежит в интервале 850...1200 °С. Плотность материала составляет 7920 кг/м<sup>3</sup>. Механические свойства стали приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Механические свойства стали 12X18H10T

Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Относительное сужение $\psi$ , %	Ударная вязкость КСУ тип, Дж/см <sup>2</sup> (кгс.м/с м <sup>2</sup> )	Твердость по Бринеллю МПа, число твердости НВ	Рекомендуемый режим термообработки
196 (20)	510 (52)	40	55	-	1186-1754 (121-179)	Закалка 1050-1100 °С, воздух, масло или вода

Для поведения экспериментального исследования и предварительной отработки операции обжима-раздачи были изготовлены заготовки (рисунок

51) для изготовления пробок Ду100 и Ду32. Размеры заготовок измерены штангенциркулем с точностью  $\pm 0,1$  мм (таблица 5).



Рисунок 51 – Трубные заготовки для изготовления пробок DN100 (а) и DN32 (б)

Таблица 5 – Результаты измерений размеров исходных заготовок

Типоразмер пробки	№ заготовки	Наружный диаметр D, мм	Толщина стенки S, мм
DN100	1	150,0	7,0
DN100	2	150,1	7,0
DN100	3	150,0	6,9
DN100	4	149,9	7,1
DN100	5	150,1	7,1
DN32	6	50,0	3,5
DN32	7	50,1	3,6
DN32	8	50,2	3,6
DN32	9	50,1	3,5
DN32	10	50,1	3,4

Для проведения предварительной отработки операции был выбран лабораторный гидравлический пресс ПО-54. Внешний вид гидропресса ПО-54 представлен на рисунке 52. Основные характеристики используемого гидропресса:

- номинальное усилие пресса–2000 т (20 МН);
- ход плунжера – 500 мм;
- расстояние между столом и верхней траверсой – 800 мм;
- размеры рабочей плоскости стола – 1000х1000 мм;
- рабочее давление жидкости – 400 кг/см<sup>2</sup> при чеканке и 25 кг/см<sup>2</sup> при холостом ходе;
- производительность насосов – 25...100 л/мин;
- скорость подъёма стола – 3,6 мм/мин при чеканке и 200мм/мин при холостом ходе;
- мощность электродвигателя – 4,5 кВт.



Рисунок 52 – Внешний вид лабораторного гидравлического пресса ПО-54

Разработанные штампы имеют простую конструкцию и предназначены для обжима-раздачи трубной заготовки в лабораторных условиях. Эскиз штампа обжима для пробки DN32 представлен на рисунке 53. Штамп состоит из плиты 1, на которую устанавливают нижнюю полуматрицу 3 с оправкой 2.

Обжим осуществляется верхней полуматрицей 4, которая центрируется относительно нижней корпусом 5.

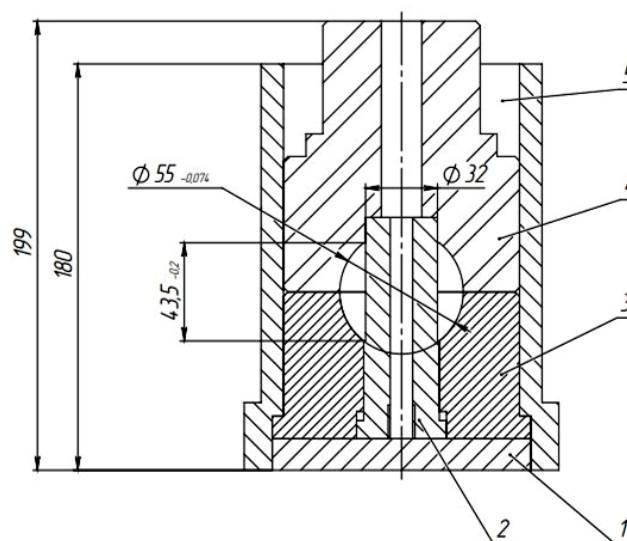


Рисунок 53 – Лабораторная штамповая оснастка: 1 – плита; 2 – оправка; 3 – нижняя полуматрица; 4 – верхняя полуматрица; 5 – корпус

Внешний вид деталей штампа для обжима сферической пробки DN100 представлен на рисунке 54.

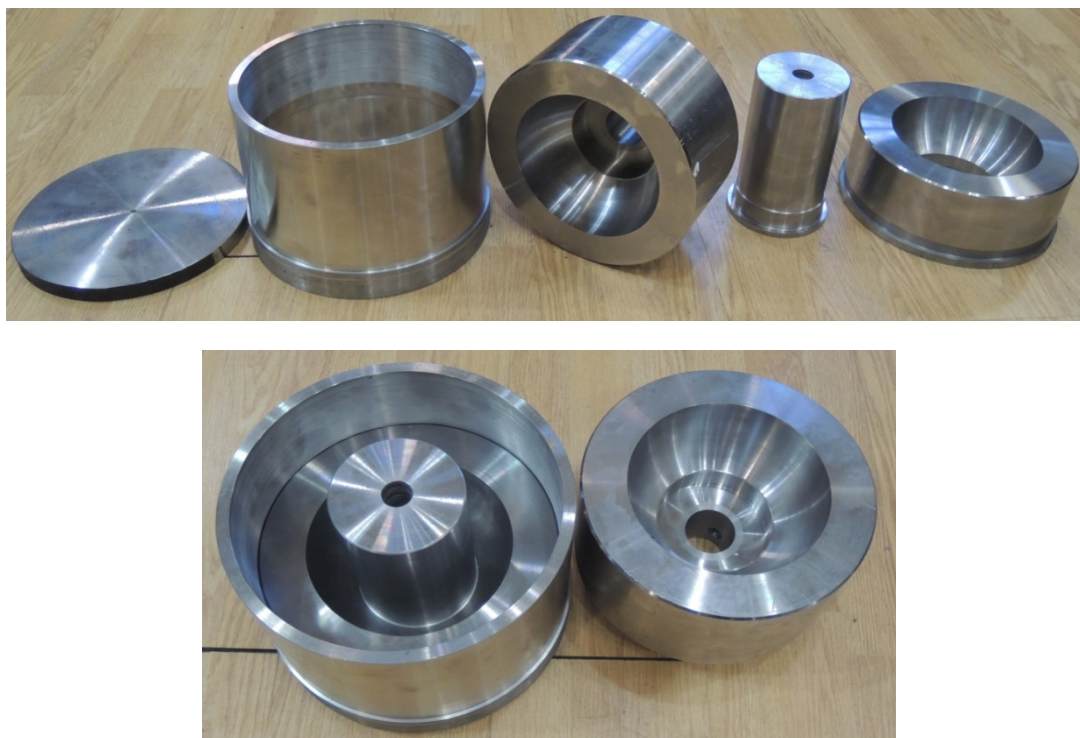


Рисунок 54 – Детали штампа для обжима сферической пробки DN100

Перед рабочим ходом заготовки были установлены в нижней части экспериментального штампа. При установке заготовки визуально была установлена параллельность верхнего торца заготовки и плоской поверхности зеркала нижней полу-матрицы штампа. При экспериментальной отработке конструкции пробки с патрубком заготовка для патрубка фиксируется на оправке.

Перед установкой в штамп на заготовки была нанесена графитовая смазка.

#### **4.2. Методика оценки качества штампуемых деталей**

Под качеством деталей следует понимать совокупность наиболее важных свойств детали (эксплуатационных, конструктивных, технологических, экономических и т.д.), которые удовлетворяют определенным требованиям в соответствии с их назначением.

Свойства, которые определяют качество продукции, могут характеризоваться показателями качества. Они могут быть абсолютными, относительными или удельными, единичными и комплексными.

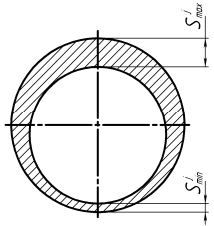
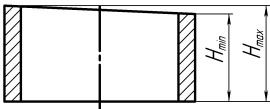
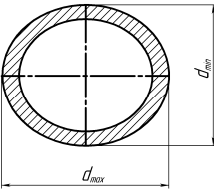
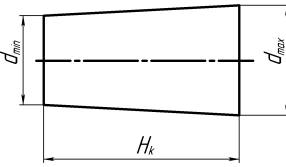
При выполнении работы оценка качества деталей производится по наиболее существенным конструктивным свойствам, таким как:

- отклонения формы;
- отклонения контрольных размеров детали от размеров рабочего инструмента и (или) заданных конструкторской документацией размеров;
- наличие местных дефектов.

Отклонением формы согласно ГОСТ 10356-63 называют отклонение формы реальной (полученной) поверхности или реального профиля от формы номинальной геометрической поверхности или геометрического профиля.

Для деталей, изготавливаемых обжимом, устанавливаются следующие единичные показатели, которые характеризуют однопараметрические отклонения формы, такие как: разностенность, косина, овальность, конусность. Расчетные формулы и схемы определения вышеперечисленных показателей качества приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Показатели отклонения формы

Наименование показателя	Вид показателя	Размерность	Расчетная формула	Схема отклонения
Разностенность	абсолютный	мм	$\Delta S^i = S_{max}^i - S_{min}^i$	
	относительный	%	$\delta_s^j = \frac{\Delta S^j}{\Delta S_{cp}} \cdot 100\%$	
Косина	абсолютный	мм	$\Delta H = H_{max} - H_{min}$	
	относительный	%	$\delta_H = \frac{\Delta H}{H_{cp}} \cdot 100\%$	
Овальность	абсолютный	мм	$\Delta d^i = d_{max}^i - d_{min}^i$	
	относительный	%	$\delta_s^j = \frac{\Delta d^j}{d_{cp}} \cdot 100\%$	
Конусность	абсолютный	мм	$k = d_{max} - d_{min}$	
	относительный	%	$\delta_k = \frac{K}{2H_k} \cdot 100\%$	

Оценка качества штампуемых деталей может быть произведена по регламентированным значениям предельных отклонений формы и степеням точности, указанным в ГОСТ10356-63. Принято считать, что при отсутствии специальных указаний о предельных отклонениях формы детали, они должны находиться в пределах допуска размера, определяющего соответствующую поверхность, то есть в границах предельных контуров детали.

Местным дефектом называют каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией.



Дефекты могут быть разделены на: явные, скрытые, критические, значительные, малозначительные, исправимые и неисправимые.

Явные поверхностные дефекты могут быть выявлены визуальным осмотром, а внутренние, скрытые и поверхностные, не различимые глазом – только лишь при помощи специальных средств. В зависимости от степени влияния дефекта на технологические и эксплуатационные свойства заготовки и детали различают также критические дефекты, при наличии которых дальнейшее деформирование заготовки невозможно (например, поперечная складка).

По происхождению дефекты могут быть разделены на: металлургические, которые возникают при отливке и прокатке, и технологические, которые возникают в следствие обжима или на предшествующих штамповочных операциях. К металлургическим относят внутренние дефекты типа раковин, трещин, расслоений, пористости, неметаллических включений и наружные дефекты типа царапин, волосовин, рванин, трещин, закатов и т.п.

К технологическим дефектам, появляющимся при обжиге, относят: поперечные и продольные складки, гофры, продольные и поперечные трещины, царапины, забоины, вмятины, отпечатки, задиры.

### **4.3 Анализ силового режима**

По результатам проведения эксперимента была записана диаграмма “P – h” (сила – путь инструмента) (рисунок 55).

Анализируя полученную записанную диаграмму можно выделить 3 характерные стадии процесса:

1. упругопластическое деформирование торцов заготовки;
2. основной обжим;
3. обжим-раздача заготовки (стадия потери устойчивости центральной части).

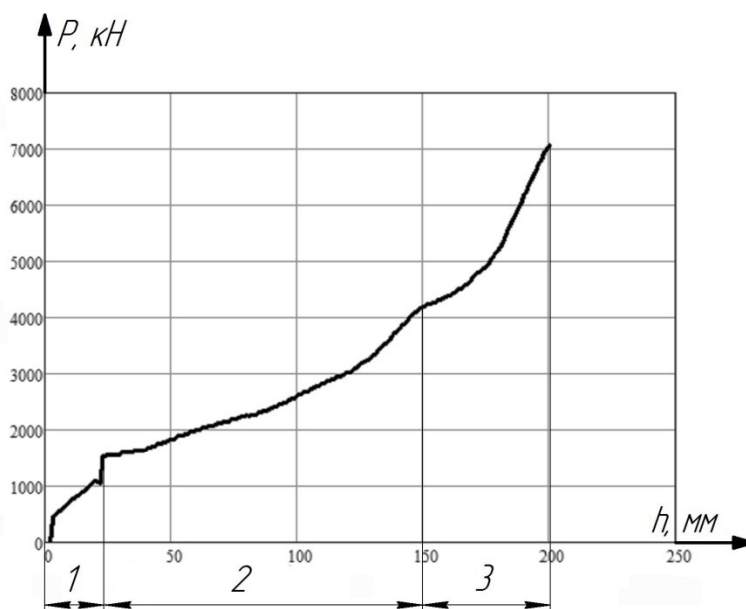


Рисунок 55 – Экспериментальная диаграмма P-h “сила – путь инструмента” на операции обжим-раздача заготовки пробки DN100

На первой стадии именно упругая деформация объясняет резкий рост силы и относительно небольшую продолжительность стадии. Наличие участка перепада можно объяснить неточностью установки заготовки в штампе, а также небольшой деформацией кромки (рисунок 56).

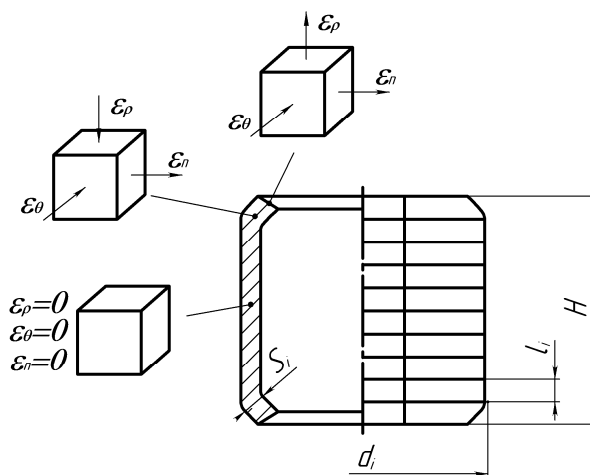


Рисунок 56 – Эскиз образца в конце первой стадии деформирования

На второй стадии интенсивность роста силы резко снижается из-за начала пластической деформации обжима торцовых участков. На этой стадии из-за действия изгибающего момента образуется небольшой участок неприлегания, который в дальнейшем спрямляется (рисунок 57). По мере

протекания процесса интенсивность роста силы постепенно возрастает. Максимальное значение интенсивности роста силы можно наблюдать в самом конце стадии перед потерей устойчивости центральной части заготовки.

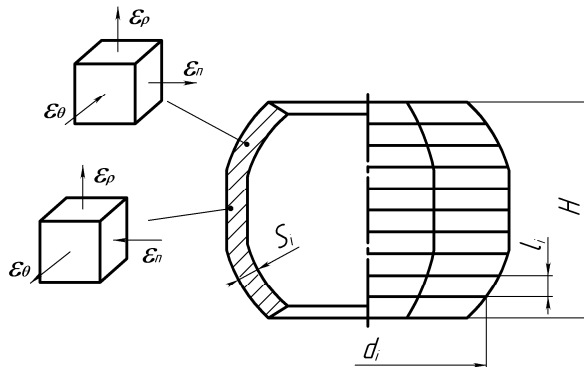


Рисунок 57 – Эскиз образца в конце второй стадии деформирования

На третьей стадии после потери устойчивости материала центральной части трубной заготовки стандартный процесс обжима по матрице с образующей постоянной кривизны переходит в комбинированный процесс обжим-раздача. На этой стадии продолжается обжим торцовых участков заготовки, в то время как центральная часть заготовки подвергается процессу раздачи (рисунок 58). По мере деформации на стадии интенсивность роста силы быстро увеличивается из-за роста общей степени деформации и увеличения поверхности контакта.

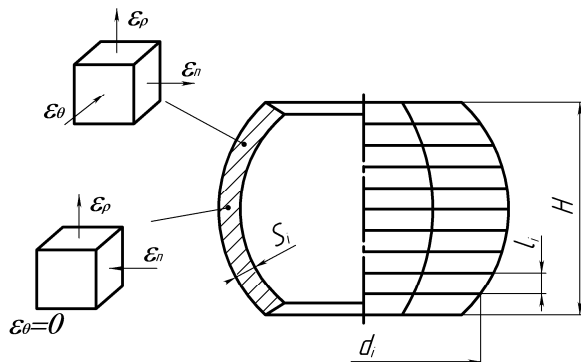


Рисунок 58 – Эскиз образца в конце третьей стадии деформирования

#### 4.4 Анализ напряжённо-деформированного состояния

Экспериментальное изучение напряженно-деформированного состояния при обжиге относительно тонкостенных заготовок с  $S_0/D_0 < 0,1$  осуществляют методом делительных сеток. Следует учесть, что нанесение сетки на наружную поверхность типографским способом нецелесообразно, так как сетка плохо сохраняется из-за больших перемещений заготовки относительно матрицы. В связи с этим на поверхность заготовок механическим путем нанесены кольцевые риски, расстояние между которыми равно 2 мм (рисунок 59).

На заготовку также нанесены продольные риски в 3-х продольных сечениях под углом 120 градусов друг к другу. После нанесения рисок заготовки были отполированы.

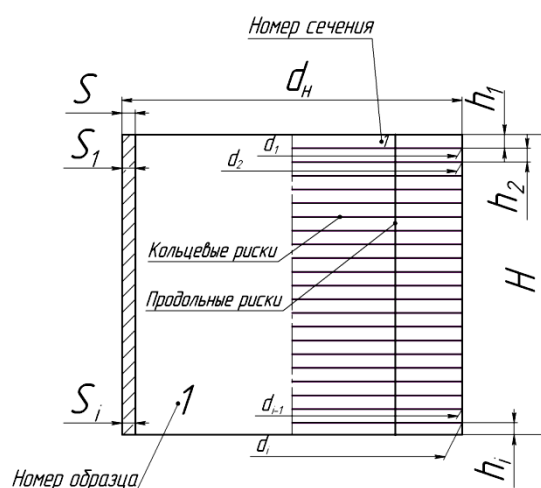


Рисунок 59 – Эскиз исходной трубной заготовки с нанесёнными рисками

В каждом фиксированном сечении измеряется диаметр, расстояние между кольцевыми рисками и толщина заготовки до и после деформации.

При обработке результатов измерения и расчете параметров напряженно-деформированного состояния вводятся следующие допущения:

- 1) материал заготовки изотропный, а деформация в пределах рассматриваемого элемента однородна;
- 2) формоизменение заготовки в очаге деформации протекает приближенно монотонно;

- 3) главные оси компонентов напряженно-деформированного состояния совпадают с направлением нормали и касательной к срединной поверхности;
- 4) нормальные к срединной поверхности напряжения пренебрежимо малы и принимаются равными нулю,  $\sigma_n = 0$ ;
- 5) деформации и напряжения распределены равномерно по толщине заготовки.

С учетом этих допущений риски наносятся на наружную поверхность как на главную плоскость. Поэтому параметры деформированного состояния рассчитываются по формулам:

$$\varepsilon_\theta = \ln \frac{d}{D_0}; \varepsilon_n = \ln \frac{S}{S_0}; \varepsilon_\rho = -(\varepsilon_\theta + \varepsilon_n);$$

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_\theta^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_n \cdot \varepsilon_\theta};$$

$$v_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3};$$

где  $\varepsilon_\theta$ ;  $\varepsilon_n$ ;  $\varepsilon_\rho$  – соответственно тангенциальные, нормальные к срединной поверхности и меридиональные компоненты деформации;  $\varepsilon_i$  – интенсивность деформированного состояния;  $v_\varepsilon$  – характеристика вида деформированного состояния;  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  – главные компоненты деформированного состояния.

Трубные заготовки для DN32 деформировались в полостях рабочего инструмента до окончательного формообразования оболочки шаровой пробки. Приведенные графики распределения параметров деформированного состояния заготовки (рисунок 60, 61) позволяют сделать следующие выводы:

- материал краевых частей заготовок находится в объемном деформированном состоянии, средней части в плоском деформированном состоянии ( $\varepsilon_\theta = 0$ );
- в краевых частях заготовки в тангенциальном направлении – укорочение, в направлении нормали к срединной поверхности – удлинение, в меридиональном направлении – удлинение;

- в средней части в направлении нормали к срединной поверхности – утонение, в меридиональном направлении - удлинение;
- показатель вида деформированного состояния соответствует у кромок – сжатию, в средней части – сдвиговой деформации;
- интенсивность деформации плавно возрастает от средней части к кромкам.

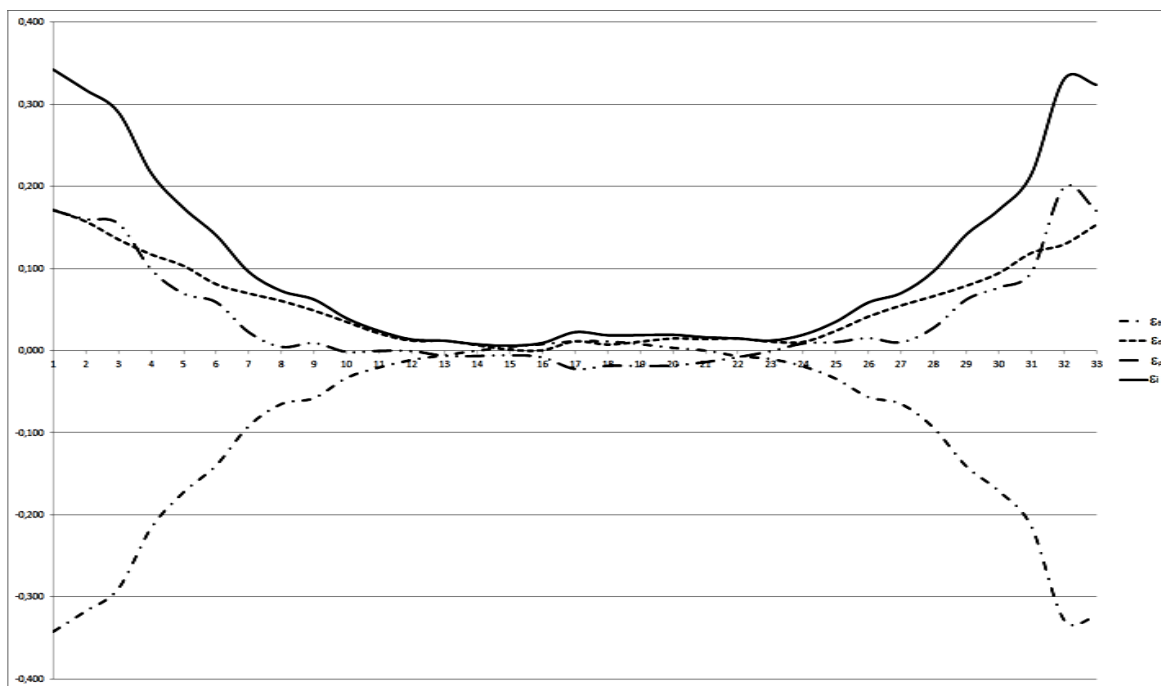


Рисунок 60 – Зависимость распределения интенсивности деформации и параметров деформированного состояния по высоте стенки заготовки

На первой стадии процесса кромки заготовки деформируются, а средняя и центральная части заготовки остаются неизменными. В тангенциальном направлении происходит удлинение, компоненте  $\epsilon_\theta$  изменяется от -0,06 до -0,04. В меридиональном направлении – укорочение,  $\epsilon_\rho$  изменяется от 0,04 до 0,05, от верхней кромки заготовки до нижней. В направлении нормали к цилиндрической поверхности у верхней кромки  $\epsilon_n$  равно 0,02, а в нижней  $\epsilon_n$  равно 0,002, деформация незначительна и равна погрешности измерений. В центральной части деформация также равна погрешности измерений, поэтому в расчетах получился большой разброс

значений. О виде деформированного состояния по таким значениям судить невозможно.

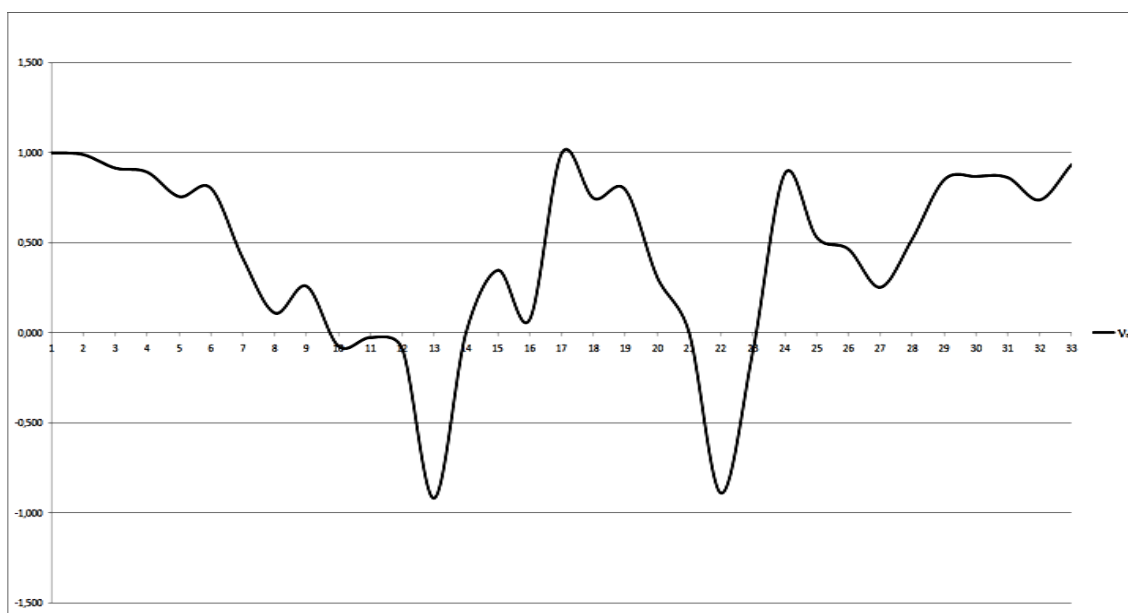


Рисунок 61 – Зависимость распределения характеристики вида деформированного состояния по высоте стенки заготовки

На второй стадии кромка заготовки деформируется более интенсивно, средняя часть заготовки деформируется незначительно, а центральная часть остается прежней. В тангенциальном направлении происходит укорочение,  $\epsilon_{\theta}$  изменяется от -0,03 до -0,04. В меридиональном направлении в средней части происходит укорочение, а на кромках заготовки – удлинение. В направлении нормали к цилиндрической поверхности в центральной и средней частях происходит удлинение, а на кромках – укорочение. Интенсивность деформированного состояния уменьшается от кромки к центру. Из-за большого разброса значений  $v_{\epsilon}$ , о виде деформированного состояния судить невозможно.

На третьей окончательной стадии деформируется вся заготовка. В тангенциальном направлении происходит укорочение,  $\epsilon_{\theta}$  изменяется от -0,29 до -0,26. В меридиональном направлении – укорочение,  $\epsilon_r$  изменяется от -0,47 до -0,14. В направлении нормали к цилиндрической поверхности у верхней кромки  $\epsilon_n$  равно 0,76, а в нижней  $\epsilon_n$  равно 0,41. Вид деформированного состояния на кромках заготовки – растяжение, а в центре

– близко к сжатию. Отсюда можно сделать вывод, что процесс обжима в полусферических матрицах не монотонен.

#### 4.5 Анализ размеров полуфабрикатов после операции

В результате эксперимента изготовлены пробки шаровые DN32 (рисунок 62) и DN100 (рисунок 63). Изготовленные детали подверглись визуальному контролю, а также измерениям диаметральных размеров в контрольных сечениях (таблица 6, 7).



Рисунок 62 – Внешний вид сферических пробок DN32 без патрубка после обжима

Таблица 6 – Результаты измерения размеров сферических пробок DN32, мм

Параметр	Шар1	Шар2	Шар3	Шар4
Высота	40,4	40,1	39,7	40,3
Диаметр	50,5	50,5	50,8	50,0
Верхний торец				
Наружный диаметр кромки	29,0	28,3	29,4	28,1
Внутренний диаметр кромки	31,0	31,0	30,1	29,4
Нижний торец				
Наружный диаметр кромки	29,0	27,8	28,5	27,7
Внутренний диаметр кромки	30,8	30,0	30,0	28,9



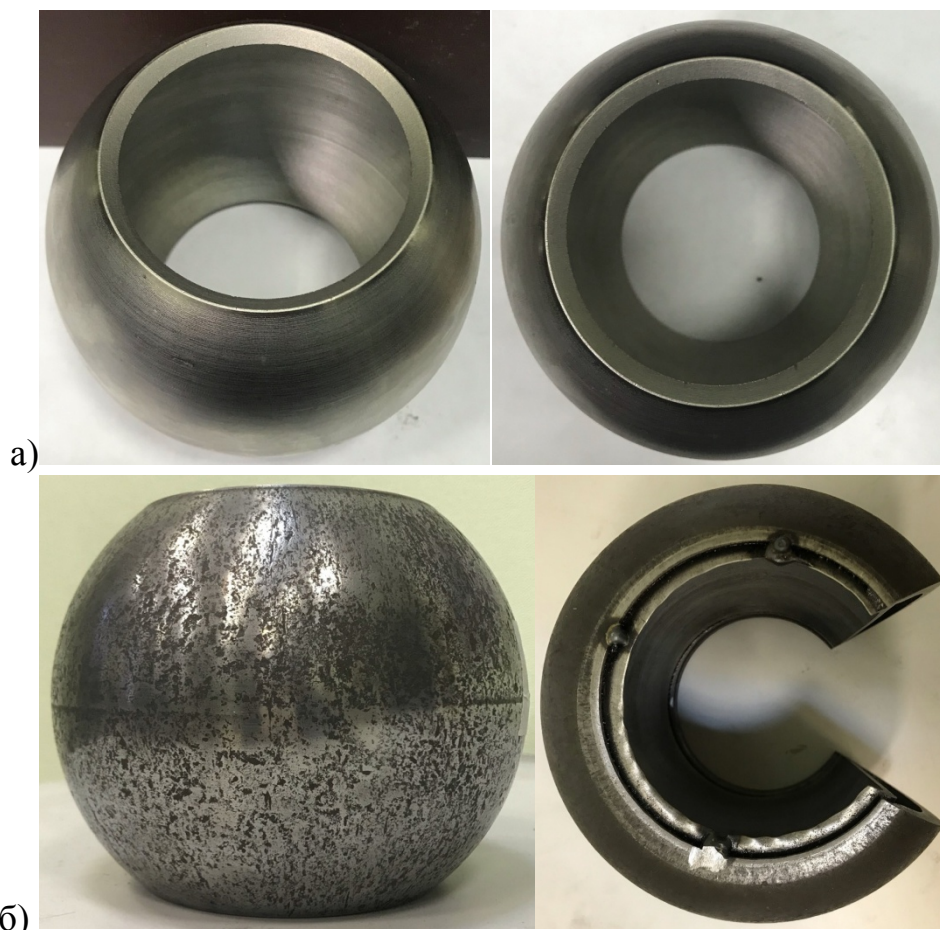


Рисунок 63 – Внешний вид сферических пробок DN100 без патрубка(а) и с патрубком(б) после обжига

Таблица 7 – Результаты измерения размеров сферических пробок DN100, мм

Высота (H)	128,3/129,2/128,9
Диаметр (D)	165,6/165,2/165,2
Нижняя кромка	
Наружный диаметр ( $D_{\text{внеш}}$ )	102,6/102,5/102,5
Внутренний диаметр ( $D_{\text{внутр}}$ )	98,8/99,0/98,9
Верхняя кромка	
Наружный диаметр ( $D_{\text{внеш}}$ )	103,1/103,2/103,1
Внутренний диаметр ( $D_{\text{внутр}}$ )	99,2/99,1/99,1

Пробки DN32, изготовленные в результате обжига заготовки в криволинейной матрице, имеют правильную сферическую форму без каких-либо видимых переходов. Поверхность деталей была гладкой и чистой. Видимых вмятин и отпечатков не наблюдалось. Толщина стенок в процессе

обжима изменяется. В краевой части наблюдается утолщение, а в центральной части – незначительное уменьшение толщины стенки.

В силу специфики технологии изготовления холодно- и горячедеформированных бесшовных труб, все исследуемые заготовки имеют разностенность (рисунок 64).

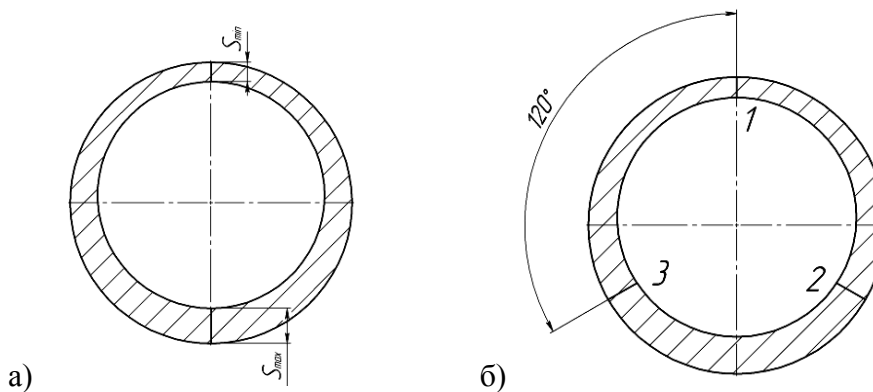


Рисунок 64 – Вид поперечных сечений исследуемых заготовок: а) принципиальный вид исходной заготовки трубного сортамента; б) схема расположения продольных расчетных сечений для заготовок DN32

Проведенные измерения толщин заготовок по расчетным продольным сечениям до и после деформации позволяют сделать выводы о влиянии процесса обжима на относительную разностенность заготовки.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что при деформировании трубной заготовки DN32 до момента окончательного формообразования разностенность до деформации во всех сечениях больше, чем после деформации (рисунок 65). Так, в расчетном сечении 2 параметр относительной разностенности после деформации уменьшился на 3%, а в сечениях 1, 9, 10 уменьшился на 2% – 2,1%.

В целом, значения разностенности до и после деформации находятся примерно на одном уровне, в некоторых расчетных сечениях (3, 9, 13-15, 18) значения разностенности после деформации значительно увеличиваются. Аналогичные результаты получены и для DN100.

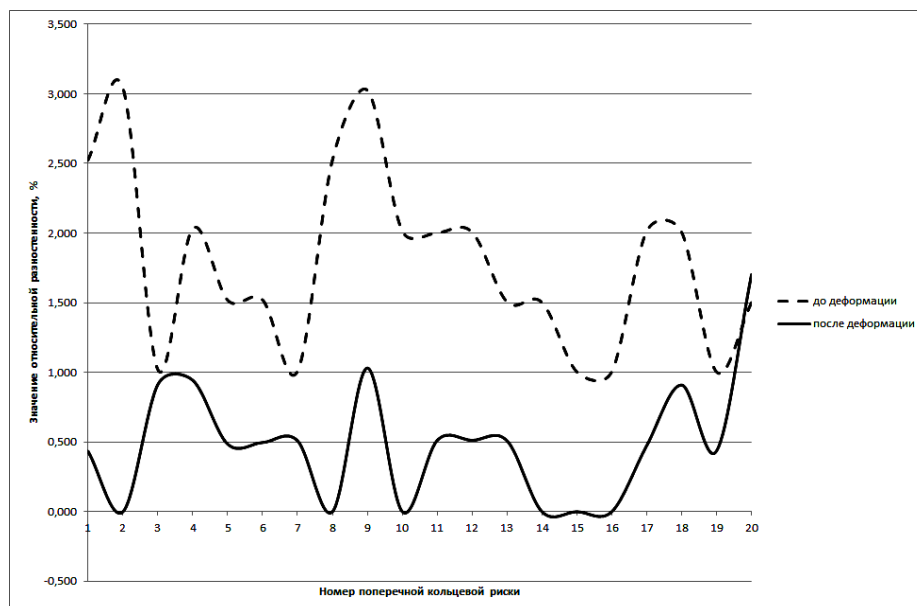


Рисунок 65 – Распределение относительной разностенности заготовки Dy32 до и после деформации

Для пробки DN100 с патрубком для дополнительного контроля формы патрубка и детали в целом был произведён вырез сегмента (рисунок 66). Деталь после выреза сегмента также была измерена (таблица 8).

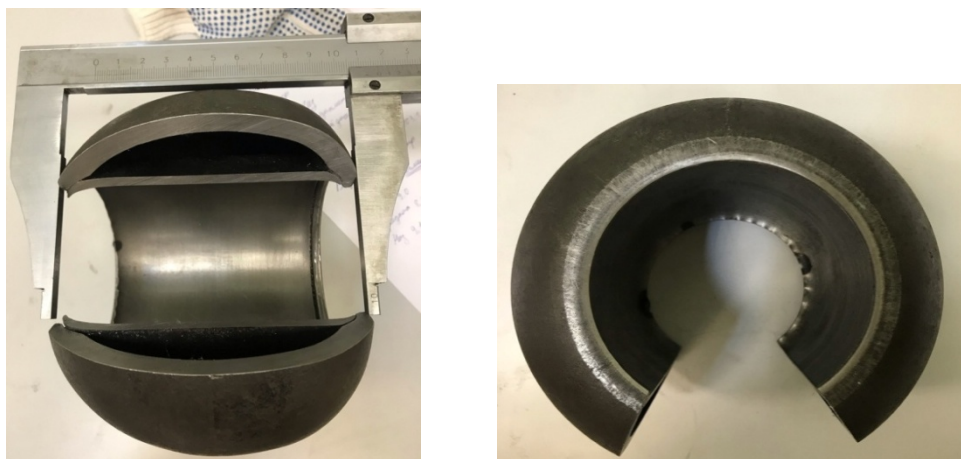


Рисунок 66 – Пробка шаровая DN100 с патрубком после обжима и выреза сегмента

Таблица 8 – Результаты измерения пробки DN100 с патрубком после обжима, мм

Высота (H)	117,5
Диаметр (D)	166,2
Нижняя кромка	
Внешний диаметр ( $D_{\text{внеш}}$ )	105,4
Внутренний диаметр ( $D_{\text{внутр}}$ )	90,0
Верхняя кромка	
Внешний диаметр ( $D_{\text{внеш}}$ )	106,2
Внутренний диаметр ( $D_{\text{внутр}}$ )	93,8

Кроме того было произведено измерение толщины стенки вырезанного сегмента (рисунок 67). Согласно измерениям толщина составила:

- у верхней кромки  $S=9,0$  мм;
- в середине сегмента  $S=8,5$  мм;
- у нижней кромки  $S=9,4$  мм.

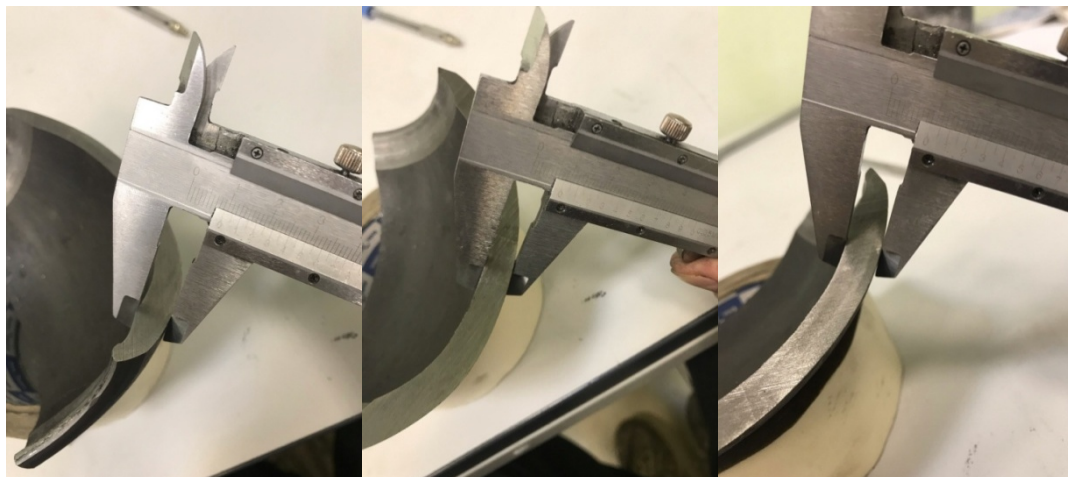


Рисунок 67 – Измерение сегмента, вырезанного из пробки DN100 с патрубком

#### **4.6 Анализ результатов экспериментального исследования**

Экспериментальная отработка операции показала, что, в целом, изготовленные по предлагаемой схеме детали соответствуют требованиям чертежа. Однако, при реализации операции сохраняется значительная вероятность образования поперечных складок на третьей стадии операции (рисунок 68).



Рисунок 68 – Образование складки на заготовке DN32

Основным результатом экспериментальной отработки следует принять факт небольшого превышения высоты заготовки патрубка над необходимой для нормального формирования пробки. Это выражено в небольшом выпучивании патрубка после обжима и скругления кромок (рисунок 69).

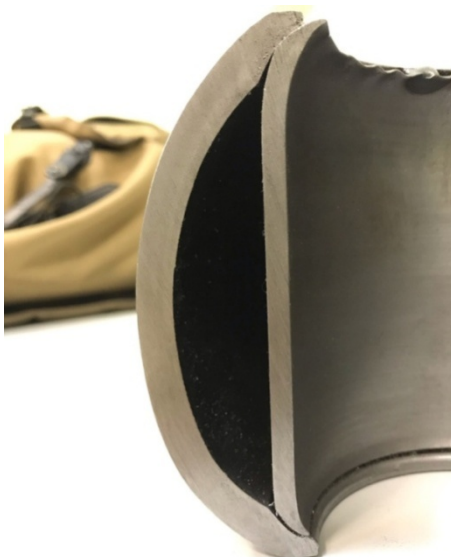


Рисунок 69 – Продольное сечение пробки DN100 с патрубком

По полученным результатам можно сделать выводы о необходимых изменениях конструкции оснастки и заготовок:

1. Длину трубных заготовок для патрубков следует уменьшить для предотвращения искривления кромок и выпучивания стенки на обжиме.
2. Для уменьшения вероятности образования поперечных складок в центральной части заготовок необходимо предусматривать возможность надёжной и точной установки заготовок в нижнюю полуматрицу. Для этого в конструкции штампа рационально предусмотреть применение фиксатора. С этой же целью, можно скорректировать форму кромок трубных заготовок.
3. Необходимо обеспечить удобное извлечение отштампованной заготовки после проведения операции, учитывающее съём изделия с центральной оправки и извлечение из полости нижней полуматрицы.

4. Требуется адаптация размеров и элементов крепления штампа под прессовое оборудование предприятия-заказчика, а также добавление направляющих устройств для упрощения наладки оснастки.

При анализе результатов экспериментального исследования также нельзя не отметить сходство силового режима и распределения параметров напряженно-деформируемого состояния с результатами моделирования методом МКЭ. Очевидным является сходство характера изменения силы деформирования при эксперименте (рисунок 55) и в результатах, полученных моделированием в программном пакете Deform 3d (рисунок 36). Процесс деформирования в обоих случаях можно разделить стадии продольного обжима с наименьшей силой деформирования(I), обжима-раздачи(II) и обжима-калибровки с максимальной силой(III). На каждой стадии возрастание силы деформирования условно линейное.

Следует отметить сходство распределения компонентов деформированного состояния на наружной поверхности (рисунок 60 и 37). В обоих случаях значения компонентов ДС принимает максимальные значения на кромках заготовок, которые претерпевают наибольшие деформации. По мере приближения рассматриваемого участка к центральной зоне заготовки наблюдается снижение всех параметров деформированного состояния до минимума, за исключением центральных точек, которые подвергаются увеличению диаметра вследствие раздачи металла. Как моделирование, так и эксперимент показали, что необходима точная установка внутреннего патрубка с целью его равномерного обжатия оболочкой с двух сторон. В противном случае может наблюдаться стык на наружной поверхности пробки с одной стороны и на внутренней – с другой стороны.

Проведенные исследования показали правильность принятых технических решений и выбранной конструкции составной пробки, а также возможность её изготовления даже в лабораторных условиях. Последней оставшейся задачей разработки конструкции шаровой пробки является проектирование производственной штамповой оснастки.

## **5 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ**

### **5.1 Требования, предъявляемые к штамповой оснастке**

Штамп – это технологическая оснастка, посредством которой заготовка приобретает форму и (или) размеры, соответствующие поверхности или контуру рабочих элементов штампа [14].

Основные требования, предъявляемые к штамповой оснастке:

1. Обеспечение необходимой производительности.
2. Обеспечение необходимой точности изготовления штампуемых деталей и полуфабрикатов.
3. Обеспечение указанного качества штампуемых деталей (шероховатость и отсутствие поверхностных и внутренних дефектов).
4. Удобство и безопасность при наладке, транспортировке и эксплуатации.
5. Обеспечение требуемого крепления штампа на прессе.
6. Максимально возможная простота конструкции.
7. Невысокая стоимость.

Стоимость штамповой оснастки непосредственно зависит от:

- 1) применяемых материалов, их механической и термической обработки;
- 2) металлоемкости и массы оснастки;
- 3) типа штампа (простого/комбинированного действия);
- 4) требуемой точности выполнения узлов и деталей штампа, а также их пригонки;
- 5) количества нормализованных и стандартизованных деталей;
- 6) ремонтпригодности изношенных частей штампа.

Штамповую оснастку можно классифицировать следующим образом. По виду исходной заготовки различают штампы для листовой, объёмной и объёмно-листовой штамповки. По особенностям сборки выделяют неразборные штампы, штампы со сменными рабочими элементами, штампы со сменным пакетом и сборные штампы, которые могут быть собраны из

частей других штампов. По назначению штампы подразделяют на специальные, которые спроектированы и изготовлены для выполнения одной конкретной операции, и универсальные, которые в той или иной степени можно переналадить для другой штамповочной операции. Также штампы разделяют по технологическому признаку: простого, совмещенного и последовательного действия.

Штамп простого действия – это штамп для выполнения одной или нескольких одноименных технологических операций за один ход подвижной части штампа.

Штамп совмещенного действия – это штамп для выполнения разноименных операций или технологических переходов на одной позиции и за один ход подвижной части штампа.

Штамп последовательного действия – это штамп для выполнения нескольких технологических операций или технологических переходов на нескольких позициях за соответствующее число ходов подвижной части штампа [14].

Ещё одним критерием разделения штамповой оснастки является способ фиксации заготовки, которая может быть реализована упорами, фиксаторами, ограничителями и т.д. Также важным критерием разделения штамповой оснастки является способ крепления штампа. Известны способы крепления болтами, боковыми прихватами, с использованием крепления «ласточкин хвост» и т.п. По характеру работ выделяют формоизменяющие, разделительные и комбинированные штампы. Ещё одним критерием разделения является реализуемая штамповой оснасткой операция: вытяжка, гибка, формовка, отбортовка, обжим, вырубка, пробивка и т.д. Штампы также разделяют по наличию и типу направляющих устройств: без направляющих устройств, с клиньями, с неподвижным направляющим узлом, исполнительной частью которого является направляющая плита, с направляющими узлами качения и скольжения в виде колонок и втулок. По способу подачи заготовок штампы могут быть с ручной или автоматической



подачей. Также штампы различают по способу удаления заготовок: напровал, съёмником, выталкивателем, ручным удалением и т.д.

Процедуру создания штампа можно поделить на несколько стадий.

1. Выявление потребности и разработка технического задания на разработку и изготовление штампа.
2. Разработка и согласование конструкторской документации на штамп.
3. Разработка состава материалов и заготовок.
4. Получение заготовок.
5. Механическая обработка заготовок.
6. Слесарная обработка.
7. Термическая обработка (химико-термическая), нанесение гальванических покрытий.
8. Механическое шлифование.
9. Ручное шлифование. Доводка рабочих деталей.
10. Сборка, отладка, нанесение лакокрасочных покрытий.
11. Аттестация штамповой оснастки, оформление паспорта.

При проектировании штамповой оснастки в зависимости от выбранной конструктивной схемы выполняется:

- расчёт исполнительных размеров рабочего инструмента, обоснование допусков на изготовление;
- определение размеров;
- определение закрытой высоты штампа;
- выбор марки материала, его термообработки и покрытия для деталей штампа;
- учет условий безопасности, необходимых при проектировании оснастки;
- описание конструкции и принципа работы спроектированной оснастки;
- разработка графической части задания по требованиям ЕСКД (единой системы конструкторской документации) [15].

При разработке штамповой оснастки, которая является изделием вспомогательного производства, необходимо руководствоваться принципами

технологичности для изделий основного производства, которые можно изложить следующим образом:

- как можно более широкое применение в конструкции детали стандартных элементов, таких как: подсежки, отбортовки, радиусы скруглений и гиба, пазы и отверстия и т. п.);
- высокая унификация (повторяемость) элементов конструкции деталей и сборочных единиц;
- относительная простота форм элементов конструкции, что связано с прямой зависимостью сложности механической обработки со сложностью геометрической формы детали и приводит к трудностям автоматизации технологического процесса, а также к загруженности оборудования с программным управлением;
- применение легкообрабатываемых материалов, например, детали со сложной механической обработкой и низкими прочностными требованиями можно изготовить из СтЗсп или стали 45, но производственный опыт говорит об преимуществе стали 45 в рамках удобства обработки;
- наименее жёсткие требования к точности и чистоте поверхностей элементов конструкции (снижение квалитетов, выбор упрощенного поля допуска в большинстве случаев приводит к резкому снижению трудоёмкости и удешевлению изготовления ДСЕ).

Стоит отметить, что обеспечение высокой производительности штамповой оснастки возможно при условии использования многопуансонных штампов простого действия, либо комбинированных штампов, обеспечивающих возможность реализации нескольких операций за один ход. В обоих случаях целесообразно применение автоматической подачи заготовки.

Качество штампуемых изделий зависят от выбранного способа штамповки, от типа штампа, от точности и качества изготовления основных

рабочих элементов штампа, от равномерности зазора и точности пригонки между пуансоном и матрицей.

При повышении требований к точности и качеству штампуемых деталей, усложняется конструкция самого штампа, следовательно, выше трудоёмкость его изготовления и выше стоимость.

## **5.2 Выбор оборудования и разработка конструкции штампа**

На основании требования предприятия-заказчика АО «Армалит» был разработан штамп для обжима и сборки составной шаровой пробки с внутренним патрубком с проходным диаметром DN 50 на гидравлическом одностоечном прессе П6330.

Пресс обладает следующими основными характеристиками:

- номинальное усилие прессы – 100 т.с. (1 МН);
- наибольший ход штока – 500 мм;
- открытая высота прессы – 750 мм;
- расстояние от штока до станины – 400 мм;
- скорость штока: при рабочем ходе – 12,5 мм/с; при холостом ходе – 80 мм/с; при возвратном ходе – 236 мм/с;
- размеры стола: слева-направо – 800 мм; спереди-назад – 630 мм;
- проем в столе: слева-направо – 200 мм; спереди-назад – 415 мм;
- высота стола над уровнем пола: 745 мм;
- мощность электродвигателя А02-71-4 – 22 кВт;
- номинальное рабочее давление жидкости – 250 кг/см<sup>2</sup>;
- вес прессы (без правильного стола и инструмента) – 5,5 т;
- габариты прессы: высота – 2720 мм; спереди-назад – 2250 мм; слева-направо – 900 мм.

Гидравлический пресс П6330 представлен на рисунке 70.



Рисунок 70 – Внешний вид пресса П6330

Преимущества применения гидравлических прессов:

- Отсутствие теоретического ограничения по максимальной силе вследствие закона Паскаля, что на практике позволяет создавать гидропрессы со значительными силовыми ресурсами.
- Возможность достижения большого коэффициента усиления.
- Простота регулировки и контроля силы.
- Простота регулировки скорости и хода.
- Надежность.

Недостатки применения гидравлических прессов:

- Меньший коэффициент полезного действия в сравнении с механическими прессами.
- Относительно высокая стоимость комплектующих ДСЕ, их обслуживания и ремонта.
- Проблема герметичности соединений, что приводит к возможности попадания масла в рабочую зону.

Предназначением гидравлического одностоечного пресса П6330 является запрессовка, выпрессовка, прошивка, правка, листовая штамповка

без глубокой вытяжки, монтажные и другие работы, а также правка при отдельной установке правильного стола и специального правильного инструмента. Данный пресс находит своё применение в различных отраслях промышленности, как в производственных, так и в ремонтных подразделениях, а также в мастерских. Стоит отметить, что эксцентричное нагружение при работе пресса не допускается.

Ключевые узлы пресса смонтированы на сварной С-образной станине. В верхней части станины расположен гидроцилиндр, а в нижней — механизм переключения управления, которое может быть двуруким, одноруким, а также педальным. Приводом пресса является гидроагрегат П63В4, установленный внутри станины. Прессовое электрооборудование монтируется в электрошкафу, который расположен на задней стенке пресса. Обшивка со шкафом крепится к станине специальными шарнирными петлями. Рукоятки управления с помощью рычагов управления связаны через механизм переключения с планкой, соединенной одним своим концом с распределительным золотником, а другим — через возвратный штырь, модификатор связан с ползуном.

Электросхема обладает блокировкой, которая осуществляет немедленное отключение вводного автомата при открытии дверцы электрошкафа.

Рабочие органы цилиндра, насосов, а также гидроаппаратуры постоянно смазываются рабочей жидкостью (маслом) и не требуют отдельной специальной смазки. Оси рычагов управления отдельно смазываются пресс-масленками.

Разработчиком гидропресса П6330 является оренбургский завод гидравлических прессов «Гидропресс» (головной).

В рамках разработки штампа для обжима и сборки составной пробки DN 50 были поставлены следующие задачи:

- 1) обеспечение производительности процесса получения полуфабриката пробки, которая должна быть выше производительности уже

- существующего и отработанного технологического процесса, основанного на механической обработке прутковой заготовки;
- 2) надежная фиксация трубных заготовок для надежной реализации предложенного способа изготовления составных пробок;
  - 3) обеспечение легкого и безопасного извлечения из полости штампа готового изделия;
  - 4) обеспечение точности размеров полуфабриката в условиях последующей механической обработки;
  - 5) возможность изготовления штампа силами предприятия заказчика.

На основании вышеизложенных принципов разработки оснастки, а также выбранного прессового оборудования и поставленных задач был разработан штамп, главный вид которого представлен на рисунке 71.

Штамп состоит из следующих деталей: 1 – верхняя полуматрица; 2 – нижняя полуматрица; 3 – оправка; 4 – плита; 5 – траверса; 6 – направляющая; 7 – стержень; 8 – втулка; 9 – хвостовик; 10 – упор; 11 – держатель; 12 – болт; 13 – пружина сжатия, 14 – рым-болт.

Принцип работы спроектированной оснастки может быть описан следующим образом. Центрирование штампа осуществляется посредством хвостовика 9, который закрепляется в траверсе пресса. Установка штампа завершается закреплением плиты 4 к столу пресса прихватами. Для транспортировки и установки штампа на пресс в конструкции предусмотрены 4 рым-болта 17. Верхняя часть штампа представляет собой верхнюю полуматрицу 1 с установленными в ней хвостовиком 9 и направляющими 6. На обратном конце направляющих 6 установлена траверса 5 со стержнями 7 посредством шайб 18 и гаек 15. Нижняя часть штампа представляет собой плиту 4 с закрепленной на ней болтами 14 нижней полуматрицей 2, в которую установлены втулки 8 и оправка 3. Оправка 3 содержит в себе упорный узел, который состоит из держателя 11, пружины 16 и упора 10.

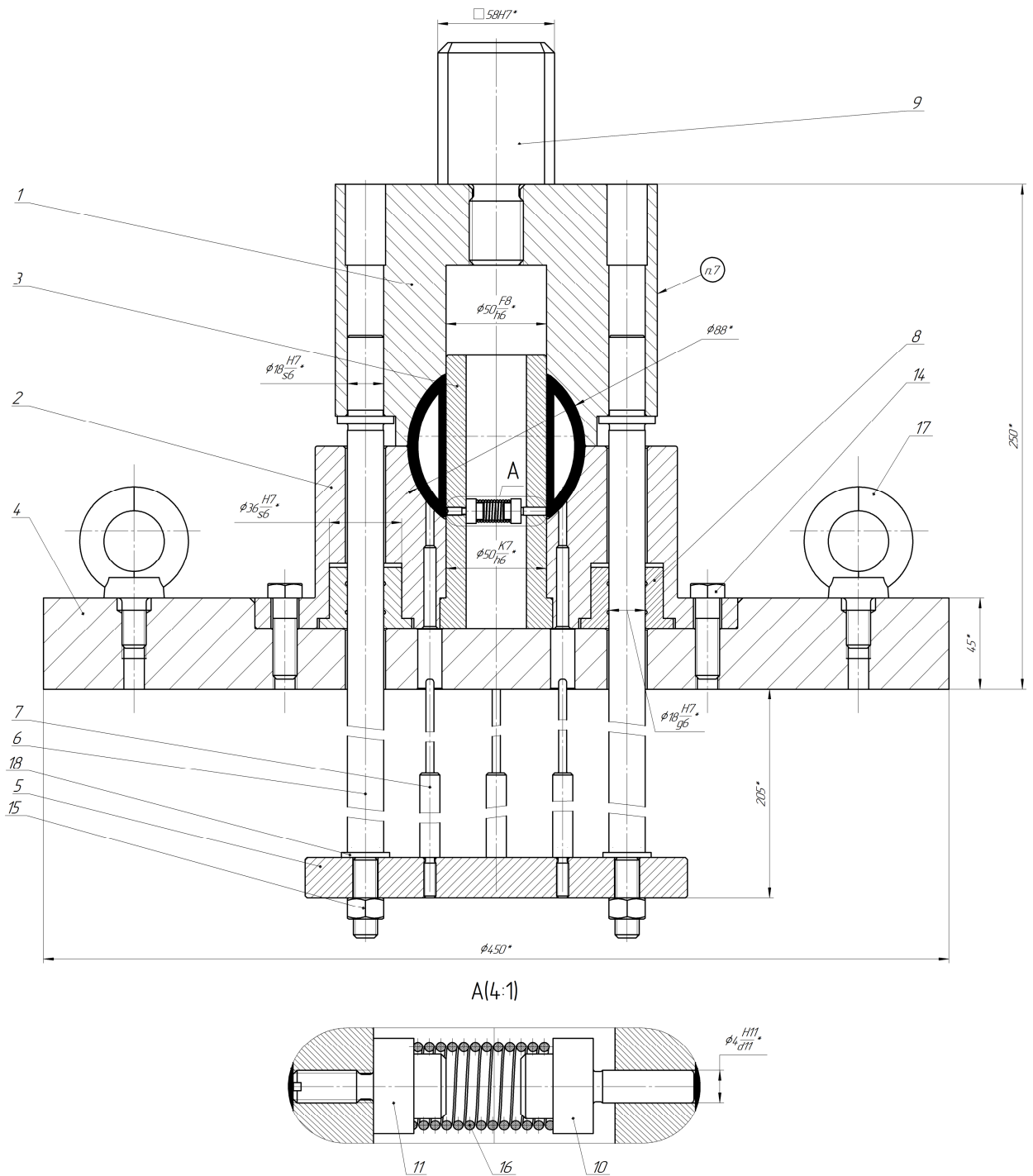


Рисунок 71 – Главный вид штампа

В крайнем верхнем положении связанная с верхней полуматрицей 1 траверса 5 удерживает стержни 7 в верхнем положении. Стержни 7 позволяют установить наружную трубную заготовку по её внутреннему диаметру на сферической поверхности нижней полуматрицы 2. В то же время внутренняя трубная заготовка выставляется по оправке 3 и досылается до соприкосновения с упором 10. В верхнем положении штампа упор 10

выдвигается под действие пружины сжатия 16, которая упирается в неподвижный держатель 11. После установки заготовок и запуска прессы, верхняя полуматрица 1 с траверсой 5 начинает движение вниз. По мере снижения траверсы 5 закрепленные на ней стержни 7 начинают удаляться из рабочей зоны. Точность перемещения верхней части штампа относительно нижней обеспечивается скольжением направляющих 6 по втулкам 8. По завершении холостого хода наружная заготовка начинает обжиматься вокруг центральной оправки по сферическим поверхностям полуматриц. Во время последнего этапа деформирования нижняя кромка обжимаемой трубы касается упора 10, перемещая его внутрь оправки 3. Таким образом, перед окончанием операции все установочные элементы убраны из рабочей зоны. Операция завершается потерей устойчивости наружной заготовки в центральной зоне с образованием максимального диаметра и зажатием внутреннего патрубка. Сборочный чертеж и остальная конструкторская документация представлена в приложении В.

К изготовлению и эксплуатации данного штампа предъявляются следующие конструкторские требования:

1. Аттестовать по первой детали.
2. Штамп должен разниматься плавно, тяжелый разъем недопустим.
3. Стык оправки поз.3 и держателя поз.11 по наружной поверхности герметизировать сваркой и зачистить.
4. Маркировать: МД.Е4М4106.000 DN 50. "Работать при двуручном включении прессы". Шрифт 15-Пр3 ГОСТ 26.008-85. Залить эмалью ПФ-115 ГОСТ 6465-76, красной.
5. При эксплуатации штампа соблюдать требования безопасности ГОСТ 12.3.026-81 и инструкцию по технике безопасности предприятия.
6. Остальные технические требования по ГОСТ 22472-87.

Необходимость аттестации по первой детали обусловлена относительной сложностью оснастки и, как следствие, сложностью доказательства работоспособности путем аттестации конкретных размеров



деталей штампа. Требование по плавности разъёма обосновано удобством, безопасностью и долговечностью эксплуатации штампа. Требование в части герметизации стыка держателя и оправки обусловлено возможностью возникновения отпечатков на детали в виду нарушения поверхности из-за резьбового соединения. Маркировка является неотъемлемой частью сдачи штампа в эксплуатацию по причине необходимости учета, поиска и подбора в цехах-потребителях оснастки. Указание о двуручном включении прессы также должно быть указано на штампе в рамках обеспечения безопасности эксплуатирующего работника. Указание ГОСТа по технике безопасности и инструкции по охране труда важно в рамках подготовки работника к эксплуатации оснастки. ГОСТ 22472-87 описывает технические требования к штампу, неуказанные на сборочном чертеже.

Представленный штамп может быть классифицирован следующим образом:

- по виду исходной заготовки: для листовой штамповки;
- по особенностям сборки: неразборный штамп;
- по назначению: специальный;
- по способу действия: простого действия;
- по способу фиксации заготовки: упором и центрирующими стержнями;
- по способу крепления штампа: боковыми прихватами;
- по характеру работ: формоизменяющий;
- по виду штамповочной операции: для обжима-раздачи;
- по типу направляющих устройств: с направляющим узлом скольжения;
- по способу подачи заготовки: ручная;
- по способу удаления заготовки: выталкивателем.

### **5.3 Характеристика деталей разработанного штампа**

Главный вид чертежа верхней полуматрицы представлен на рисунке 72.

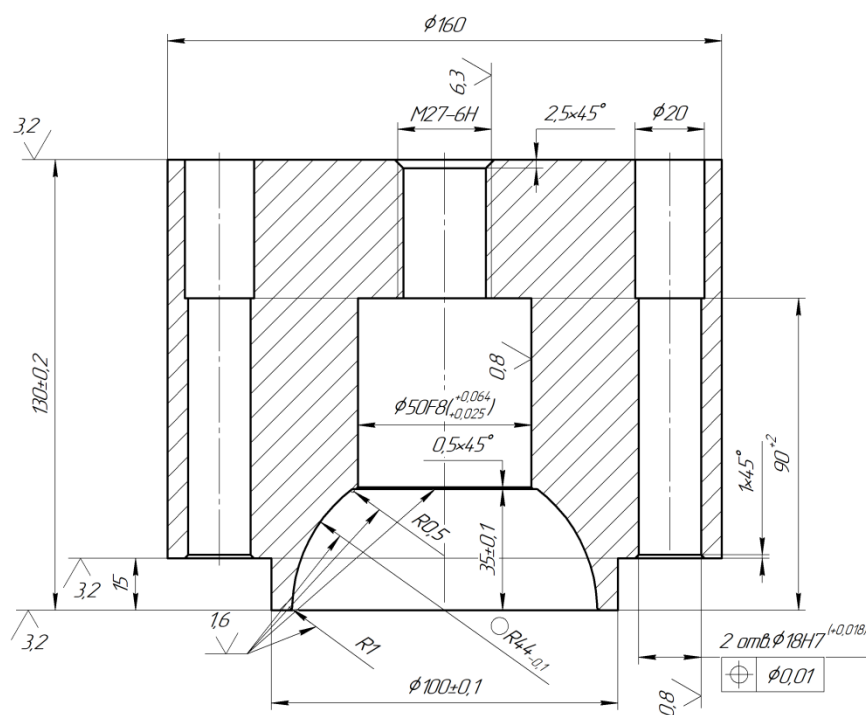


Рисунок 72 – Эскиз верхней полуматрицы

Верхняя полуматрица является телом вращения со сферическим углублением радиусом 44 мм, с центральным отверстием под оправку, переходящим в резьбу M27 для крепления хвостовика. В конструкции детали также предусмотрены два отверстия под запрессовку двух направляющих по посадке H7/s6, которая является предпочтительной посадкой с гарантированным натягом. Отверстия выполнены ступенчатыми в целях уменьшения длины точного участка для упрощения изготовления. Точность расположения отверстий в 0,01 мм по диаметру обеспечит необходимую соосность верхней полуматрицы относительно нижней. Отверстие под заход оправки выполнено в поле допуска F8, что в сочетании с оправкой, выполненной по h6 гарантирует зазор, необходимый в этом подвижном соединении. Обнижение в 15 мм по нижней кромке детали обусловлено необходимостью установки фланца направляющих согласно сборочному чертежу. Все поверхности, контактирующие со штампуемой деталью и отвечающие за её формоизменение, обладают достаточно высокой чистотой в Ra 1,6, которая достигается шлифовкой. Точные отверстия выполнены по

Ra0,8. Материалом детали является инструментальная штамповая сталь 7Х3 по ГОСТ 5950-2000 с термообработкой до 48...52 HRC.

Главный вид чертежа нижней полуматрицы представлен на рисунке 73.

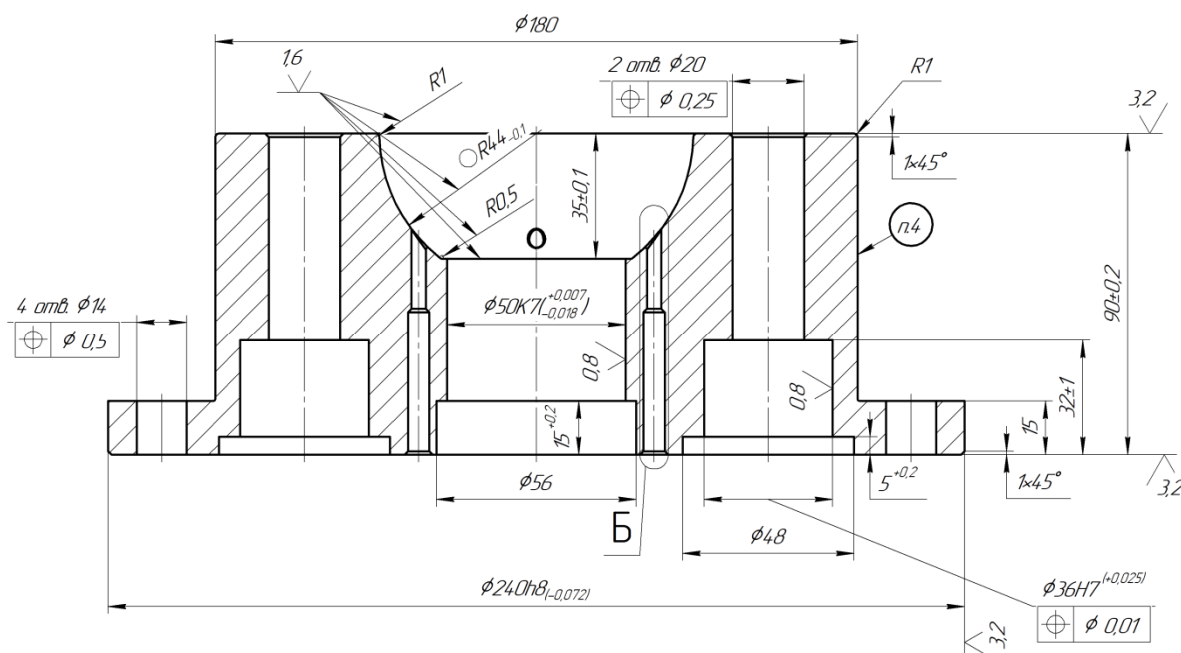


Рисунок 73 – Эскиз нижней полуматрицы

Нижняя полуматрица также является телом вращения и обладает фланцем в донной части для крепления к штамповой плите, сферическим углублением и центральным ступенчатым отверстием под запрессовку оправки. Во фланце выполнены 4 отверстия под крепления болтами М12. Также деталь обладает двумя ступенчатыми отверстиями под установку направляющих втулок с фланцами, в которых направляющая может свободно перемещаться, вступая в скольжение только со втулками. В центральной зоне детали выполнены 4 направляющих отверстия для стержней с точным участком длиной в 15 мм и допуском Н11, который совместно с аналогичным участком стержня, выполненным по d11, образует скользящую посадку Н11/d11. Точность установки наружной заготовки на нижнюю полуматрицу зависит от расположения отверстий под стержни, которое определяется диаметром  $\varnothing 66_{-0,2}$ , что не допускает натяга при установке. Точность расположения отверстий под втулки в 0,01 мм по диаметру

обеспечит необходимую соосность нижней полуматрицы относительно верхней. Отверстие под запрессовку оправки выполнено в поле допуска K7, что в сочетании с оправкой, выполненной по h6, гарантирует переходную посадку, облегчающую сборку и ограничивающую любые смещения оправки относительно нижней полуматрицы. Диаметр фланца выполнен по h8 для центрирования на плите по посадке H8/h8. Все поверхности, контактирующие со штампуемой деталью, и отверстия под стержни выполнены с чистотой Ra 1,6, а точные отверстия под запрессовку втулок по посадке H7/s6 – с чистотой Ra0,8. Материалом детали также является инструментальная штамповая сталь 7X3 по ГОСТ 5950-2000 с термообработкой до 48...52 HRC.

Следующей спроектированной деталью является оправка, представленная на рисунке 74.

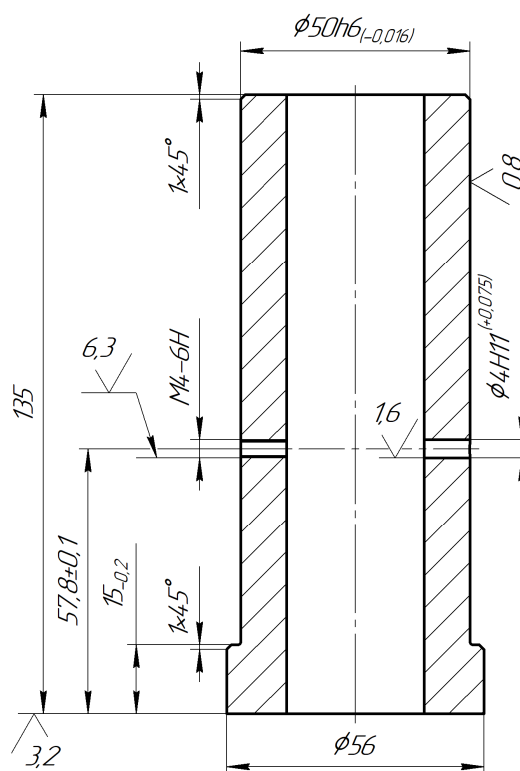


Рисунок 74 – Эскиз оправки

Спроектированная оправка является телом вращения с фланцем и основной ступенью выполненной с допуском по h6. По оси симметрии оправки выполнен сквозной квадратный вырез 30x30, предназначенный для

размещения в нем упорного узла. Форма обусловлена необходимостью упора в плоские поверхности фланцев держателя и упора. Направляющее отверстие под упор выполнено с допуском по Н11, который совместно с направляющим участком стержня, выполненным по d11, образует скользящую посадку Н11/d11. Соосно с ним выполнено резьбовое отверстие М4 под крепления держателя с пружиной. Так как рассматривая деталь посредством своей основной ступени участвует в двух посадках, а именно: с верхней полуматрицей - F8/h6 и с нижней полуматрицей – К7/h6; то оптимальной чистотой поверхности в данном случае является Ra 0,8. Оправка выполнена из стали 40Х по ГОСТ 4543-2016 с термообработкой 40...48 HRC.

Следующей рассматриваемой деталью является плита, представленная на рисунке 75.

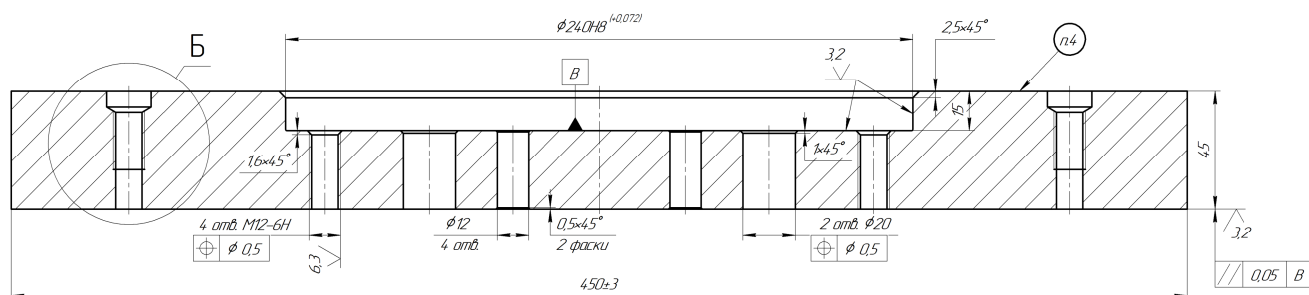


Рисунок 75 – Эскиз плиты

Плита также является телом вращения с центральным углублением с допуском Н8 для центрирования нижней полуматрицы, группой из четырех отверстий под рым-болты, четырех резьбовых отверстий М12 под болты, двух отверстий под направляющие и четырех отверстий под стержни. Все гладкие сквозные отверстия выполнены с зазором для упрощения сборки штампа. Отверстия М12 под рым-болты выполнены ступенчатыми в соответствии с ГОСТ 4751-73. На плиту задан допуск параллельности нижнего торца относительно базы в виде дна углубления Ø240H8 в целях обеспечения точности штамповочной операции. Наиболее чистыми поверхностями (Ra 3,2) являются нижний торец и отверстие Ø240H8. Чистота нижнего торца плиты обусловлена требованием сохранения

шероховатости подштамповой плиты пресса и размером допуска на параллельность. Плита выполнена из качественной стали 20 по ГОСТ 1050-2013.

Главный вид спроектированной траверсы штампа приведен на рисунке 76.

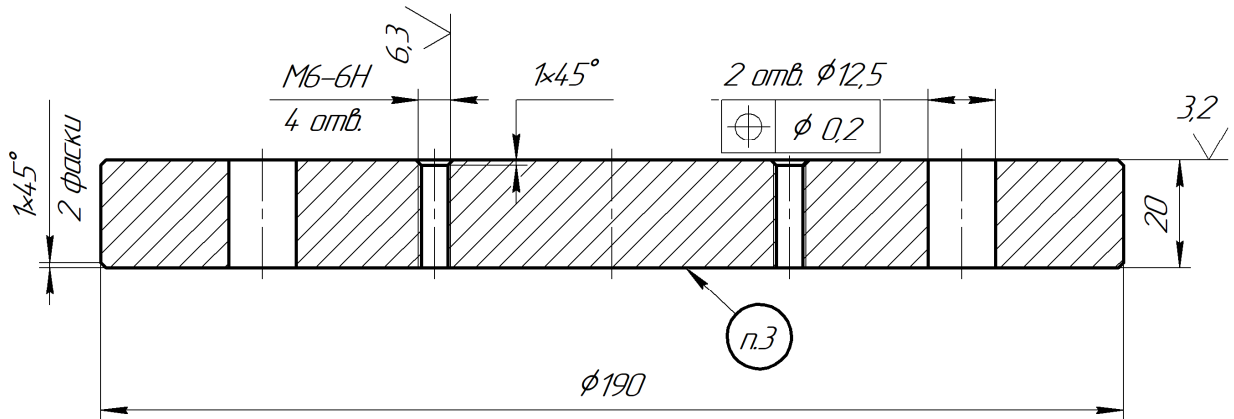


Рисунок 76 – Эскиз траверсы

Траверса выполнена в виде цилиндрической детали с группой отверстий, наиболее точными по расположению из которых являются отверстия  $\phi 12,5$  под крепление штамповых направляющих. Их расположение определяется позиционным допуском в 0,2 мм по диаметру. Также траверса обладает четырьмя резьбовыми отверстиями М6 для установки стержней. Центры отверстий расположены они на окружности  $\phi 66_{-0,2}$  мм, что также является жестким допуском для резьбовых отверстий. Такая точность обусловлена установкой в траверсу деталей, скользящих по посадкам. Верхний торец траверсы выполнен с чистотой поверхности Ra 3,2 для обеспечения упора сопрягаемых с ней деталей. Стоит отметить, что исследуемая деталь не имеет высоких требований по точности, помимо расположения отверстий относительно друг друга. Габаритные размеры подобраны с учетом свободного перемещения в столе и подштамповой плите пресса. Траверса выполнена из качественной стали 45 по ГОСТ 1050-2013 с покрытием Хим.фос.прм., которое направлено на повышение коррозионной стойкости детали.

Следующей спроектированной деталью является направляющая, эскиз которой представлен на рисунке 77.

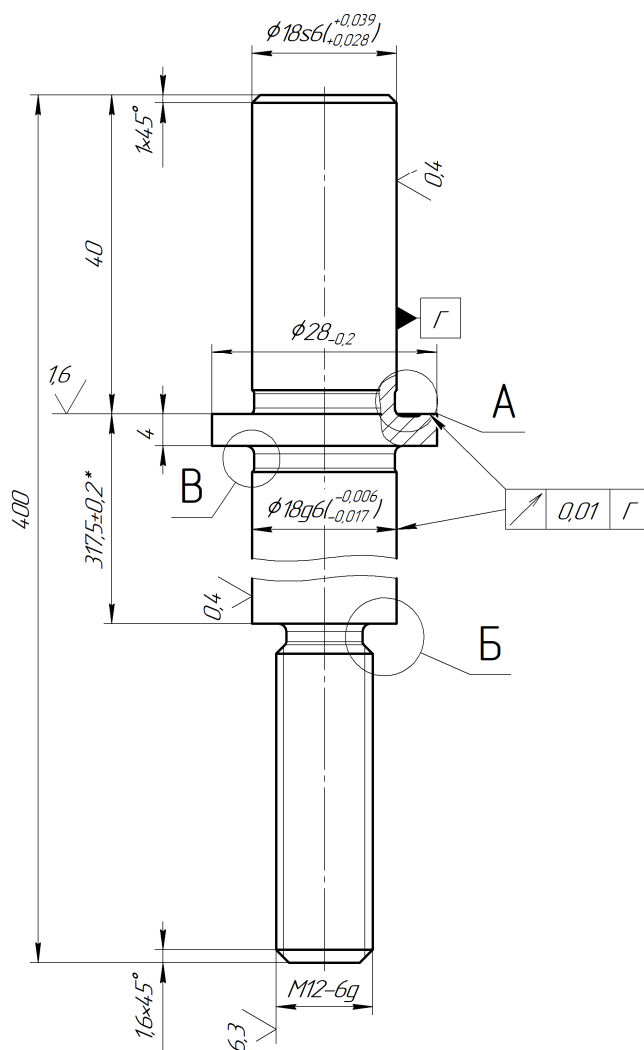


Рисунок 77 – Эскиз направляющей

Направляющая выполнена в виде тела вращения с упорной ступенями  $\phi 28$  мм, двумя «чистыми» ступенями  $\phi 18s6$  и  $\phi 18g6$  и резьбовым концом по M12. Рассматриваемая деталь является ответственной в приведенной выше конструкции штампа. Она отвечает за направление верхней части штампа относительно нижней, а также крепит на себе траверсу со стержнями. Исходя из вышесказанного, к детали предъявляются повышенные требования к точности изготовления, которые выражаются в допуске биения упорного торца и направляющей ступени  $\phi 18g6$  относительно базовой ступени  $\phi 18s6$ . В случае ступени  $\phi 18g6$  поле допуска обусловлено необходимостью

обеспечения посадки с зазором с внутренним диаметром втулки, а в случае Ø18s6 – необходимостью запрессовки направляющих в верхнюю полуматрицу для их надежного и точного крепления. Указанные ступени выполнены с требуемой для подобных допусков чистотой поверхности – Ra 0,4. Упорные торцы выполнены с шероховатостью Ra 1,6. Сочетание двух чистых поверхностей переходящих друг в друга говорит о необходимости введения в конструкцию канавок под выход шлифовального круга по ГОСТ 8820-69, что и было сделано. Для точности реализации штамповочной операции также является важным обеспечение одинакового размера 317,5 у двух одинаковых деталей с точностью  $\pm 0,05$  согласно техническим требованиям чертежа. Детали изготавливаются из легированной стали 20X по ГОСТ 4543-2016 с последующей цементацией на глубину  $h=0,8\dots 1,2$  с твердостью 55...59 HRC. Необходимость подобной химико-термической обработки обусловлена условиями работы детали.

Следующей рассматриваемой деталью является стержень, главный вид которого представлен на рисунке 78.

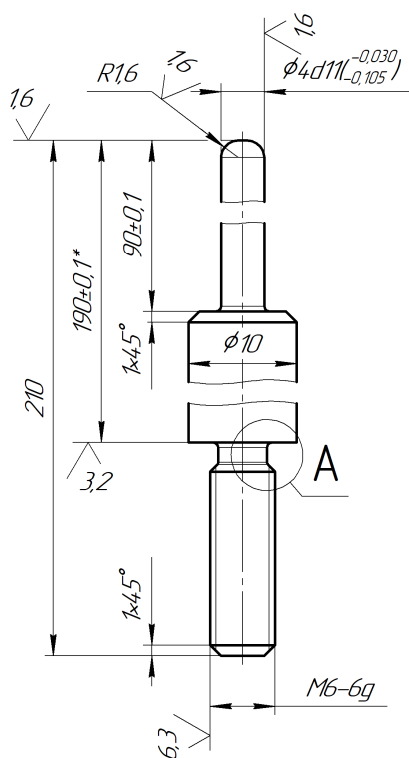


Рисунок 78 – Эскиз стержня



Рассматриваемая деталь является телом вращения, состоящим из трех ступеней. Главной ступенью, отвечающей за установку наружной заготовки в штампе, является ступень  $\varnothing 4d_{11}$ , выполненная с шероховатостью Ra 1,6. Выбор допуска и шероховатости обусловлен образованием посадки с зазором H11/d11 с направляющим отверстием нижней полуматрицы. На конце рассматриваемой ступени выполнен радиус скругления, для предотвращения возникновения отпечатков на штампуемой детали. Ступень  $\varnothing 10$  выполнена для повышения прочностных характеристик детали, работающей условиях сжатия при выталкивании отштампованного полуфабриката. Резьбовой конец стержня выполнен для крепления в траверсе штампа. Имеется требование о точности размера 190 среди четырех изготавливаемых стержней с допуском  $\pm 0,05$  в целях одновременного выталкивания штампуемой детали всеми стержнями. Детали должны быть изготовлены из стали 40X по ГОСТ 4543-2016 с термообработкой 32...38 HRC для предотвращения излишней хрупкости.

Следующей спроектированной деталью является втулка, эскиз которой представлен на рисунке 79.

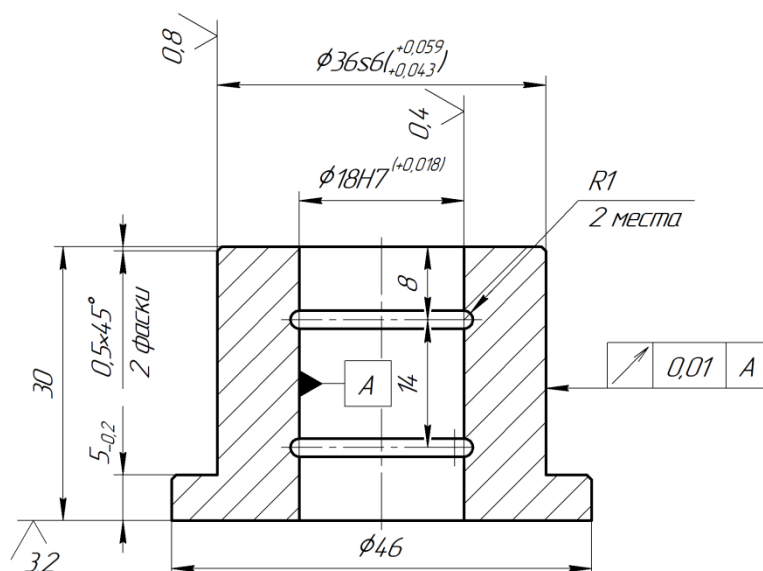


Рисунок 79 – Эскиз втулки

Втулка выполнена в виде тела вращения с фланцем и сквозным центральным отверстием, в котором выполнены две канавки, служащие для

сохранения в себе смазки. Рассматриваемая деталь является ответственной в плане направления верхней и нижней частей штампа относительно друг друга. Наружная ступень  $\varnothing 36$  мм выполнена в поле допуска  $s6$  с шероховатостью  $Ra 0,8$  для образования посадки с натягом  $H7/s6$  с ответным отверстием в нижней полуматрице. Сквозное отверстие  $\varnothing 18$  выполнено в поле допуска  $H7$  для образования ходовой посадки  $H7/g6$  с направляющей. Шероховатость данной поверхности составляет  $Ra 0,4$ , так как присутствует трение скольжения в сопряжении с направляющими. Втулки изготавливаются из легированной стали 20X по ГОСТ 4543-2016 с последующей цементацией на глубину  $h=0,8\dots 1,2$  с твердостью  $55\dots 59$  HRC. Необходимость подобной химико-термической обработки также обусловлена условиями трения.

Следующей рассматриваемой деталью является хвостовик, эскиз которого представлен на рисунке 80.

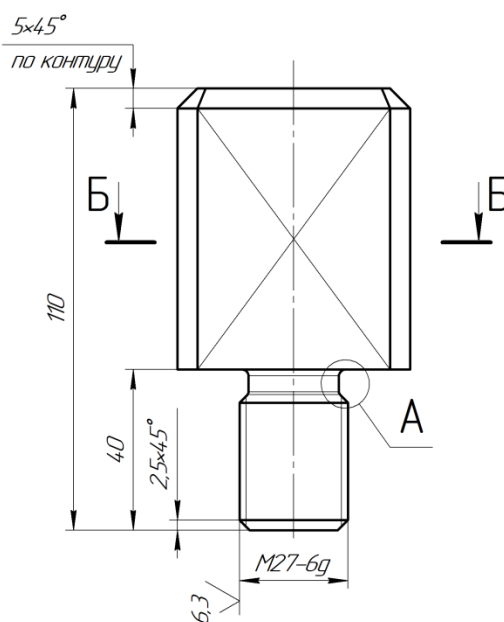


Рисунок 80 – Эскиз хвостовика

Хвостовик выполнен в виде детали квадратного сечения  $58 \times 58$  мм с резьбовым концом  $M27$ . Форма хвостовика обусловлена местом крепления в траверсе гидропресса П6330. Основную квадратную ступень и резьбовой конец разделяет проточка для выхода резьборезущего инструмента по ГОСТ

10549-80. На обеих ступенях выполнены заходные фаски:  $5 \times 45^\circ$  у квадратной ступени и  $2,5 \times 45^\circ$  у резьбовой ступени М27 также в соответствии с ГОСТ 10549-80. К детали не предъявляются высокие требования по точности размеров и чистоте поверхностей. Хвостовик выполнен из качественной стали 45 по ГОСТ 1050-2013 без требований по термообработке. Выбрано покрытие хим.фос.прм. для защиты детали от коррозии.

Для обеспечения точной установки внутренней заготовки на оправке штампа был разработан упорный узел, ключевой деталью которого является упор, представленный на рисунке 81.

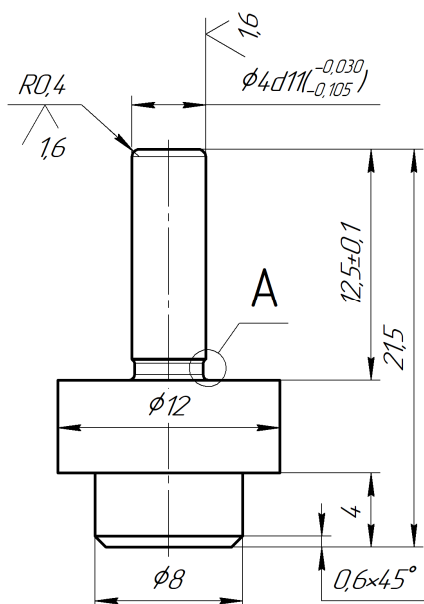


Рисунок 81 – Эскиз упора

Спроектированный упор является телом вращения, состоящим из трех ступеней, наибольшая из которых имеет диаметр  $\phi 12$  мм. Нижняя ступень  $\phi 8$  мм с фаской  $0,6 \times 45^\circ$  служит для фиксации положения и направления движения пружины сжатия в упорном узле. Самым точным элементом детали является направляющая ступень упора с диаметром  $\phi 4$  мм, выполненная с допуском  $d11$ , который в совокупности с отверстием в оправке по  $H11$  образуем ходовую посадку  $H11/d11$ . Вышеописанная цилиндрическая ступень выполнена с радиусом скругления  $R0,4$  мм и с шероховатостью  $Ra 1,6$ . Переход от точной верхней ступени к средней

выполнен с канавкой под выход шлифовального круга в соответствии с ГОСТ 8820-69. Помимо направляющей ступени к детали не предъявляются высокие требования по точности и чистоте поверхности. Упор выполнен из легированной стали 40X по ГОСТ 4543-2016 с термообработкой 40...48 HRC.

Ещё одной частью упорного узла штампа является держатель, представленный на рисунке 82.

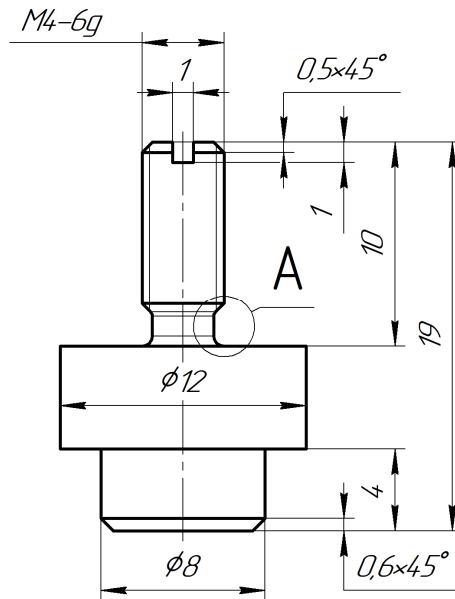


Рисунок 82 – Эскиз держателя

Держатель выполнен в виде тела вращения и состоит из трех ступеней, наибольшая из которых имеет диаметр  $\text{Ø}12$  мм. Нижняя ступень  $\text{Ø}8$  мм с фаской  $0,6 \times 45^\circ$  аналогично с упором служит для фиксации положения и направления движения пружины сжатия в упорном узле. Верхняя ступень имеет резьбу М4 с фаской  $0,5 \times 45^\circ$  по ГОСТ 10549-80 для крепления рассматриваемой детали в оправке штампа. В верхней части ступени имеется паз  $1 \times 1$  мм для обеспечения возможности закручивания резьбового соединения. Резьбовую часть и среднюю ступень разделяет проточка для выхода резборежущего инструмента по ГОСТ 10549-80. Держатель выполнен из легированной стали 40X по ГОСТ 4543-2016 с термообработкой 40...48 HRC.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках магистерской диссертации была реализована цель и выполнены все задачи исследования, необходимые для разработки новой конструкции шаровых пробок.

Был проведен поиск и анализ возможных способов изготовления шаровых пробок методами штамповки, сварки, резания и их комбинаций. В ходе патентного поиска была выявлена тенденция разработки способов изготовления, основанных на обработке давлением, сварки и их комбинаций, что сразу подтвердило актуальность операций холодной штамповки и горячей объемной штамповки в современном производстве пробок для шаровых кранов.

На основании патентного анализа был выбран прототип в виде двухслойной шаровой пробки, полученной обжимом наружной трубной заготовки вокруг центральной оправки. Был установлен основной недостаток такой конструкции – расположение стыка на наружной поверхности. Выбор прототипа был обусловлен высокой производительностью процесса изготовления и экономичности.

Выбранный прототип был подвергнут модернизации, суть которой заключалась в расположении поверхности стыка оболочки и патрубка внутри пробки с целью защиты уплотнений шарового крана. На основании принятого технического решения была разработана обновленная конструкторская документация на весь спектр изготавливаемых предприятием АО «Армалит» шаровых пробок в новом исполнении.

Выбор новой конструкции пробки шаровой потребовал разработки нового технологического процесса изготовления с исключением операций обточки и сверления из изначальной версии. Последовательность операций в технологии была выбрана с учетом имеющегося оборудования у предприятия-изготовителя.

В рамках первого исследования для новой конструкции шаровых пробок было проведено моделирование процесса обжима-раздачи, в результате которого была подтверждена возможность реализации операции, а также были уточнены размеры исходных заготовок и выявлены характерные особенности напряженно-деформированного состояния. Также моделирование помогло разработать первоначальную конструкцию лабораторной штамповой оснастки.

Следующим этапом работ стало экспериментальное исследование формообразования пробок DN32 и DN 100, в процессе которого были получены опытные данные о силовом режиме, о характере распределения параметров НДС. Исследование показало сходство в характере изменения силового режима, а также в распределении компонентов напряженно-деформированного состояния. Также были выявлены недостатки лабораторной штамповой оснастки, которые заключались в сложностях центрирования заготовок, а также в извлечении отштампованного изделия.

Последним этапом работ стало проектирование производственной штамповой оснастки обжима-раздачи пробки DN50 с направляющими, установочными и выталкивающими устройствами для гидравлического прессы Пб330, которая позволяет обойти все трудности работы и недостатки в качестве изделий, выявленные при экспериментальной отработке. Разработанная штамповая оснастка отвечает требованиям технологичности изготовления и удобства в работе.

В результате проведения работы стали очевидны преимущества операций обработки давлением над механической обработкой в рамках темы исследования. Было достигнуто сокращение перечня операций на треть, а также снижение массы готового изделия более чем на 30% в зависимости от типоразмера и повышение производительности, так как затраты времени станка на обточку сферы несравнимо больше времени работы прессы. Очевидно, что без использования штамповки, изготавливать подобные детали крупными сериями экономически нецелесообразно. Повышение

производительности процесса даже в случае неизменности программы выпуска пробок в год позволит занять обширный и разгруженный парк металлорежущего оборудования предприятия АО «Армалит» новыми заказами.

Логическим продолжением работы является производственная отработка новой технологии изготовления. Рациональным является установка экономической разницы между действующей и новой технологией с учетом сокращения необходимого перечня операций. Также является необходимой опытная отработка и аттестация по первой детали предложенного штампа, которая может показать стойкость штампа, недостатки конструкции и пути её совершенствования перед разработкой и изготовлением оснастки на другие типоразмеры пробок. Отработка также покажет количество брака, что может поспособствовать или, напротив, помешать внедрению нового способа изготовления пробок шаровых.

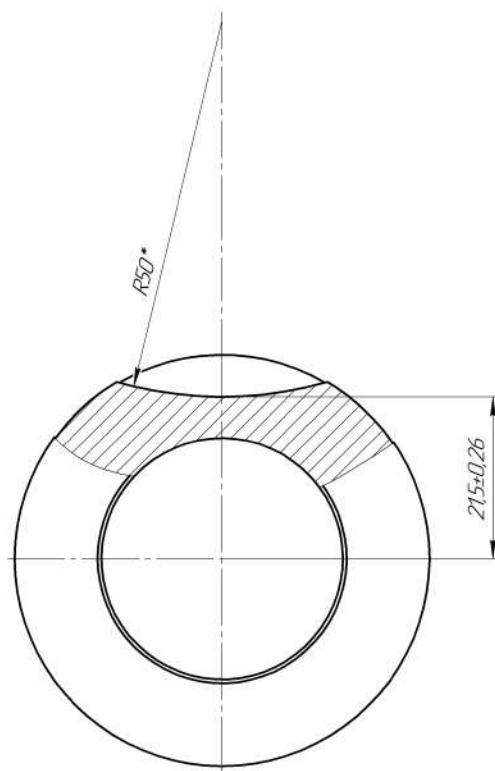
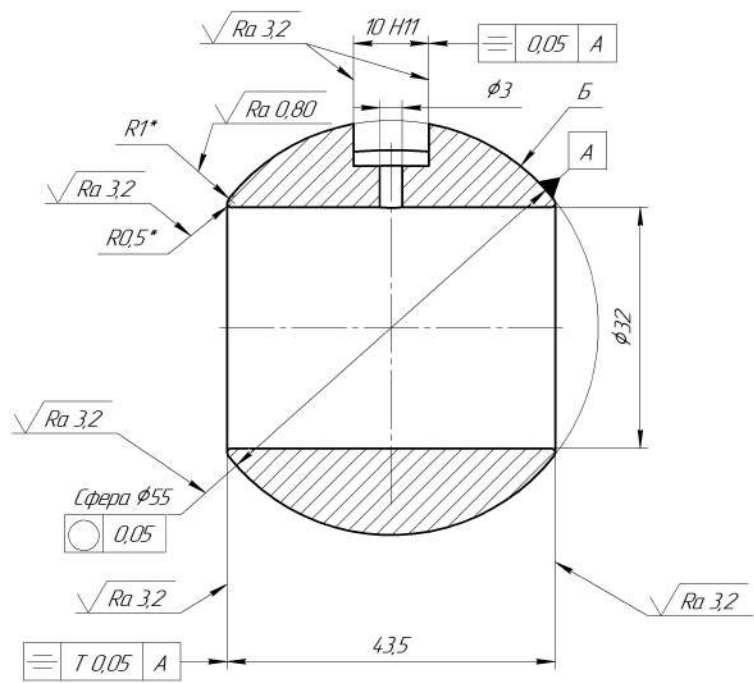
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арматура трубопроводная. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 24856-2014. - Введ. 2015-01-04. - М.: Стандартиформ, 2015. - 73 с.
2. Способ изготовления шаробаллона [Текст]: пат. 2157290 Рос. Федерация: МПК В21D51/08 / Коптин И.Т.; заявитель и патентообладатель ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева». - № 2012153015/02; заявл. 07.12.12; опубл. 07.12.12, Бюл. № 25. - 5 с.
3. Способ изготовления полых изделий сферической формы со сквозным трубчатым каналом [Текст]: пат. 2527504 Рос. Федерация: МПК В21D51/08, F 16 K 27/06 / Артемов Н.С.; заявитель и патентообладатель ОАО «Тамбовский завод «КОМСОМОЛЕЦ». - № 98115052/02; заявл. 03.08.1998; опубл. 10.10.2000. - 9 с.
4. Вечерин, О.П. Технологические особенности в производстве деталей трубопроводной арматуры [Текст] - Арматуростроение. - 2004. - № 6. - С. 39-42.
5. Способ изготовления полых сферических изделий [Текст]: пат. 2238816 Рос. Федерация: МПК В21D51/08 / Соколов А.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО «ФОБОС». - № 2002132911/02; заявл. 06.12.02; опубл. 27.10.04. - 5 с.
6. Способ изготовления полых сферических деталей [Текст]: пат. 2242315 Рос. Федерация: МПК В 21 D 9/15 , В 21 D 51/08 / Матвеев А.С.; заявитель и патентообладатель ООО «АКТАН». - № 2002129816/02; заявл. 23.12.02; опубл. 20.12.04. - 7 с.
7. Способ изготовления полый сферической металлической оболочки с двумя соосными, диаметрально расположенными отверстиями [Текст]: пат. 2211106 Рос. Федерация: МПК В21С37/00, В 21D51/00 , F16K 27/00 / заявитель и патентообладатель Агеев Н.П. - № 2001135650/02; заявл. 18.12.01; опубл. 27.08.03. - 10 с.



8. Артес, А.Э. Совершенствование технологии штамповки деталей промышленной арматуры [Текст] / А.Э. Артес, П.А. Рогозников, Е.И. Лыжников и др. // Арматуростроение. - 2005. - № 3. - С. 26-28.
9. Агеев, Н.П. Экспериментальное исследование процессов вытяжки и обжима: лаб. практикум. – СПб.:Балт. гос. тех. ун-т. – 2013.-49 с.
- 10.Мамутов, В.С. Компьютерное моделирование процессов листовой штамповки. Учебное пособие/ В.С. Мамутов, А.В. Мамутов; Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т.– СПб., 2016. – 192 с.
- 11.Кондратьева, Л.Е. Основы метода конечных элементов. Введение. Расчет стержневых систем. Конспект лекций. – Владимир.: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 36 с.
- 12.Чернявский, А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения. – М.: Машиностроение, 2007. – 106 с.
- 13.Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки [Текст]: ГОСТ 5632 - 2014. - Введ. 2015-01-01. - М.: Стандартиформ, 2015. - 48 с.
- 14.Обработка металлов давлением. Штампы. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 15830 - 84. - Введ. 1985-01-09. - М.: Издательство стандартов, 1986. - 22 с.
- 15.Технология изготовления деталей летательных аппаратов [Текст] : учебно-методическое пособие / Л. В. Петунькина, Н. В. Курлаев, К. Н. Бобин. - Новосибирск: НГТУ, 2015. – 51 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЧЕРТЕЖИ ПРОБОК, ПОЛУЧЕННЫХ ПО  
ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ**



\*Размеры для справок

Обозначение	Марка материала	Применяемые пл. по ТТ:	Масса, кг
ИЮК/1714.24.3.011	ЗМ ОСТ 192077-91	1, 4, 8	0,21
-01	12Х18Н10Т ГОСТ 5632-2014	2, 4, 5, 9	0,36
-02	БрАЖНМц 9-4-4-1 ГОСТ 18175-78	3, 5	0,4

1. Пруток ЗММ группа II ОСТ 1-92062-90. Допускается изготовить из прутка группа II ОСТ В5Р.9325-2005.
2. Гр. II НВ 1166-1754 МПа (121-179) ОСТ 5Р.9034-84.
3. Испытать гр. II ОСТ 5.9046-77 НВ ≥170-230.
4. \*Размеры обеспечить инстр.
5. Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, ±Т14/2.
6. Оксидировать по низкотемпературному режиму, согласно РД 5Р.95066-90. Контроль качества оксидирования осуществлять по поверхн. с шерох. √Ra 3,2 и менее грубой.
7. Поверхность Б полировать после оксидирования, при этом изменение размера не должно превышать 0,01 мм.
8. Маркировать марку материала на бирке.
9. Материал испытать на стойкость к МКК с провоцирующим нагревом пр. методом АМУ ГОСТ 6032-2003.

Лист № 1  
Изд. № 01  
Взам. инв. № 1714.24.3.011  
Листы и дата

				ИЮК/1.714.24.3.011			
Изм./Лист	№ док-м	Подп.	Дата	Пробка шаровая	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Горбунов/Ильин				См. табл.		2:1
Проб					Лист	Листов	1
Техн. пр.							
Исполн.							
Удобр.							
				См. табл.	ОЗЕ4 71		
				Копировал	Формат А2		

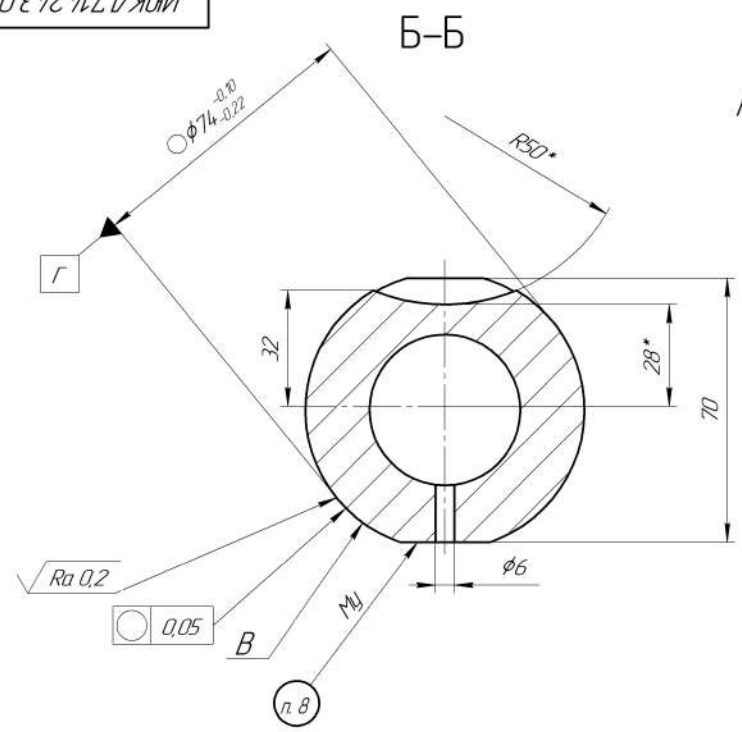
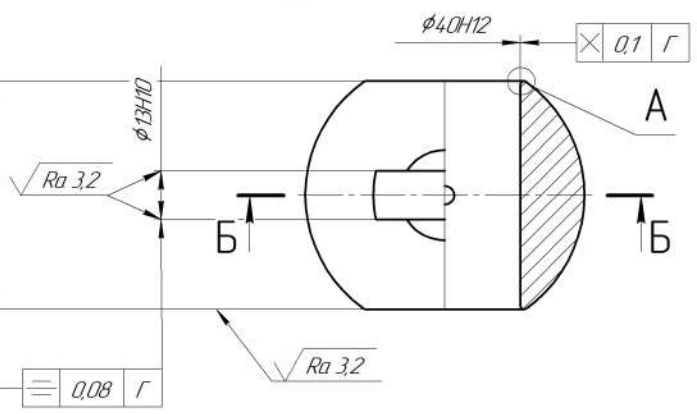


Рис. 1



А(5:1)

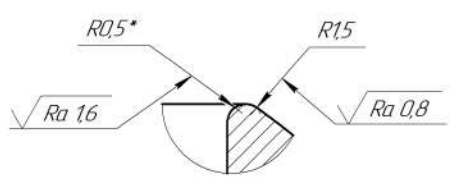
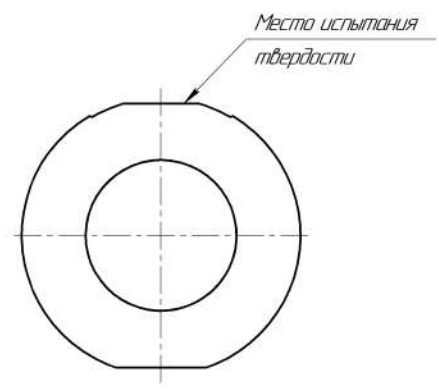


Рис. 2  
остальное см. рис. 1



- 1 Пруток 3ММ, группа II ОСТ 1-92062-90.
- 2 Допускается изготовить из прутка группа II ОСТ В5Р.9325-2005.
- 3 Гр. II НВ 166-1754 МПа (121-179) ОСТ 5Р.9034-84.
- 4 Испытать гр. II ОСТ 5.9046-77 НВ см. табл.
- 5 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, н14, ±1Т4/2.
- 6 Оксидировать по низкотемпературному режиму согласно РД5Р.95066-90.
- 7 Контроль качества оксидирования осуществлять по поверхн. с шерох. √Ra 3,2 и менее грубой.
- 8 \*Размеры обеспеч инстр.
- 9 \*\*Размер для справок.
- 10 Маркировать по РД 5.35.9504-86, шрифтом 5.
- 11 Поверхность В полировать после оксидирования, при этом изменение размера не должно превышать 0,01 мм.
- 12 Материал испытать на стойкость к МКК с провоцирующим нагревом по методу АМУ ГОСТ 6032-2003.

Обозначение	Рис.	НВ	Марка материала	Применяемые пп. ТТ	Масса, кг
ИЮК/Л.714.24.3.016	1	-	12Х18Н10Т ГОСТ 5632-2014	1, 2, 5, 10, 11	0,8
-01	1	-	Сплав 3М ОСТ 1 92077-91	3, 5, 8, 9, 12	1,3
-02	2	170..230	БрАЖНМц 9-4-4-1 ГОСТ 18175-78	4, 5, 8..10	1,3
-03	2	75	ЛС59-1 ГОСТ 15527-2004	4, 5, 8..10	1,5

ИЮК/Л.714.24.3.019				Лист	Масса	Масштаб
Имен./Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	См. табл.	2:1	
Разработ				Лист	Листов	1
Проб						
Техн.пр.						
Нормат. Увед.						
См. табл.				Копирован		
				Формат А2		

Лист 1 из 1  
Имен./Лист  
Разработ  
Проб  
Техн.пр.  
Нормат. Увед.

Рис. 1

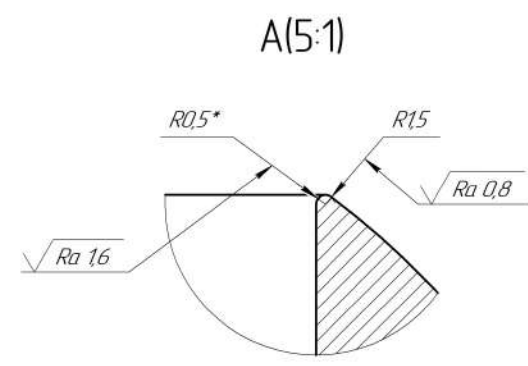
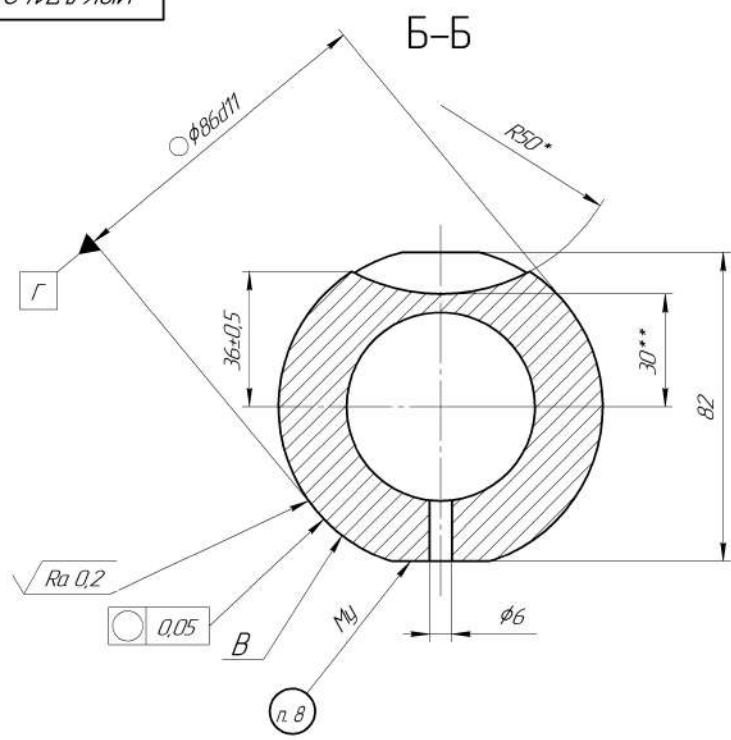
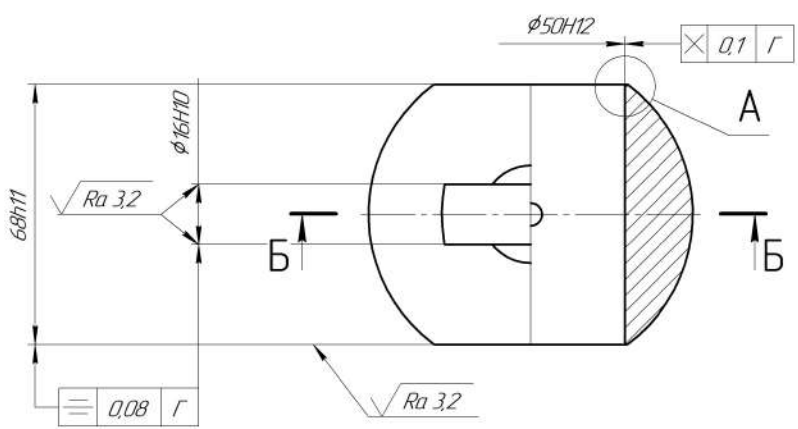
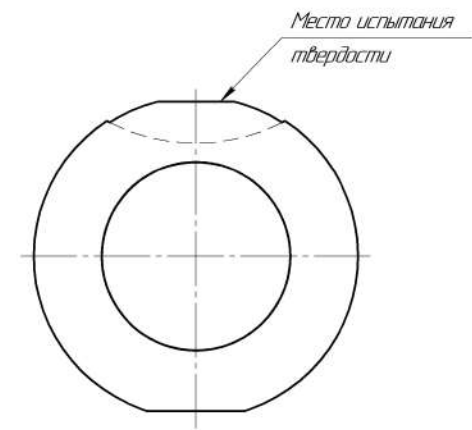


Рис. 2

остальное см. рис. 1



- 1 Пруток 3ММ, группа II ОСТ 1-92062-90.
- 2 Допускается изготовить из прутка группа II ОСТ В5Р.9325-2005.
- 3 Гр. II НВ 166-1754 МПа (121-179) ОСТ 5Р.9034-84.
- 4 Испытать гр. II ОСТ 5.9046-77 НВ см. табл.
- 5 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, h14, ±IT14/2.
- 6 Оксидировать по низкотемпературному режиму согласно РД5Р.95066-90.
- 7 Контроль качества оксидирования осуществлять по поверхн. с шеро. √Ra 3,2 и менее грубой.
- 8 \*Размеры обеспеч инстр.
- 9 \*\*Размер для справок.
- 10 Маркировать по РД 5.35.9504-86, шрифтом 5.
- 11 Поверхность В полировать после оксидирования, при этом изменение размера не должно превышать 0,01 мм.
- 12 Материал испытать на стойкость к МКК с провоцирующим нагревом по методу АМУ ГОСТ 6032-2003.

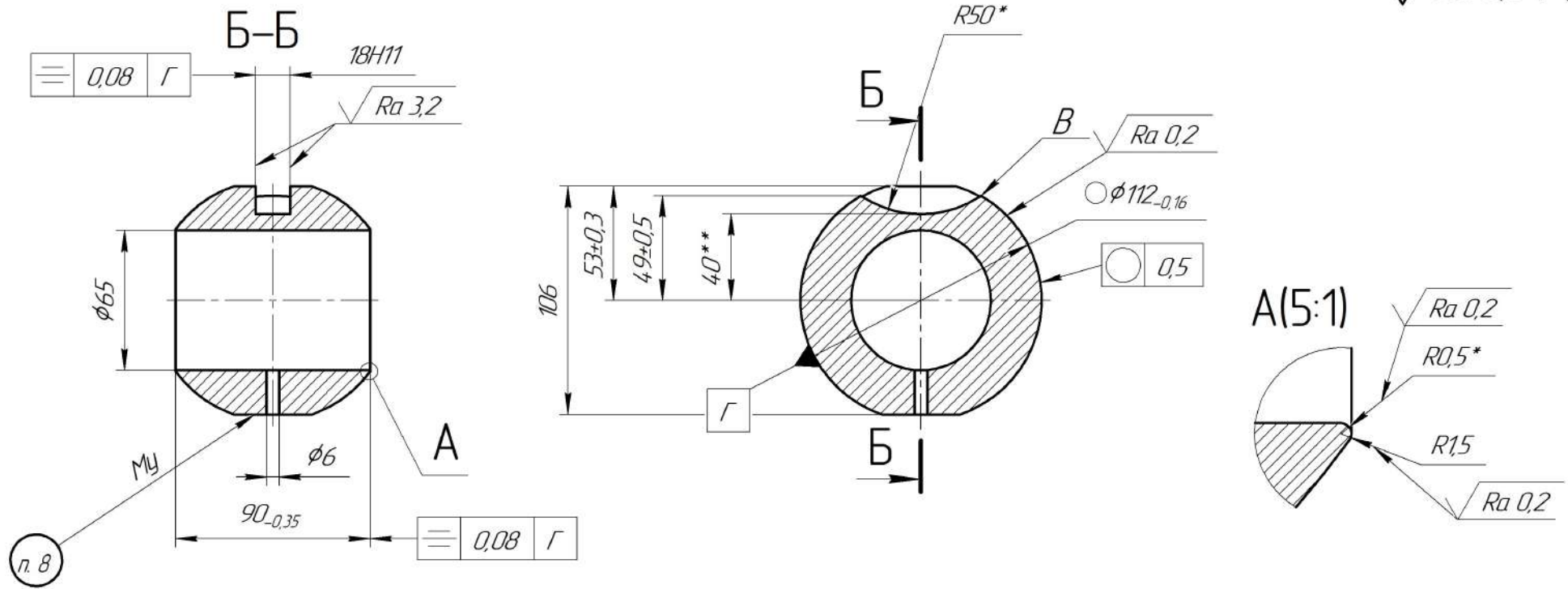
Обозначение	Рис.	НВ	Марка материала	Применяемые пп. ТТ	Масса, кг
ИЮК/Л.714.24.3.018	1	-	12Х18Н10Т ГОСТ 5632-2014	1, 2, 5, 10, 11	0,8
-01	1	-	Сплав 3М ОСТ 1 92077-91	3, 5, 8, 9, 12	1,3
-02	2	170..230	БрАЖНМц 9-4-4-1 ГОСТ 18175-78	4, 5, 8..10	1,3
-03	2	75	ЛС59-1 ГОСТ 15527-2004	4, 5, 8..10	1,5

				ИЮК/Л.714.24.3.018			
Изм./Лист	№ док.	Подп.	Дата	Прутка шаровая Д450	Лист	Масса	Масштаб
Разработ					См. табл.		1:1
Проб					Лист	Листов	1
Технопр.							
Нормир.							
Удобр.							
				См. табл.			
				Копировал	Формат А2		

ИЮК/Л.714.24.3.018  
 Лист 1 из 1  
 Дата  
 Изм. №  
 Дата  
 Лист 1 из 1

ИЮК/Л714243.014

√ Ra 6,3 (√)



- 1 Прокат, гр II НВ 1186-1754 МПа (121-179) ОСТ 5.Р9034-84.
- 2 Пруток 3М ОСТ В 5Р.9325-2005.
- 3 Гр. II ОСТ 5.9046-77 НВ 170-230.
- 4 \*Размеры обеспеч. инстр.
- 5 \*\*Размер для справок.
- 6 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: Н14, h14, ±IT14/2.
- 7 Оксидировать по низкотемпературному режиму согласно РД.5Р.95066-90.

Обозначение	Марка материала	Применяемые пп. ТТ	Масса, кг
ИЮК/Л714243.014	12Х18Н10Т ГОСТ 5632-2014	1, 4...6, 10	2,8
-01	Сплав 3М ОСТ 1 92077-91	2,4...8, 9	1,7
-02	БрАЖНц 9-4-4-1 ГОСТ 18175-78	3...6, 8	3,4

- 8 Маркировать по РД 5.35.9504-86, шрифтом 5.
- 9 Поверхность В полировать после оксидирования, при этом изменение размера не должно превышать 0,01 мм.
- 10 Материал испытать на стойкость к МКК с провоцирующим нагревом по методу АМУ ГОСТ 6032-2003.

					ИЮК/Л.714243.014			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пробка шаровая Ду65	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.						См. табл.		1:2
Проб.						Лист	Листов	1
Т.контр.					См. табл.			
Н.контр.								
Утв.								

Перв. примен.

Справ. №

Лист и дата

Изд. №

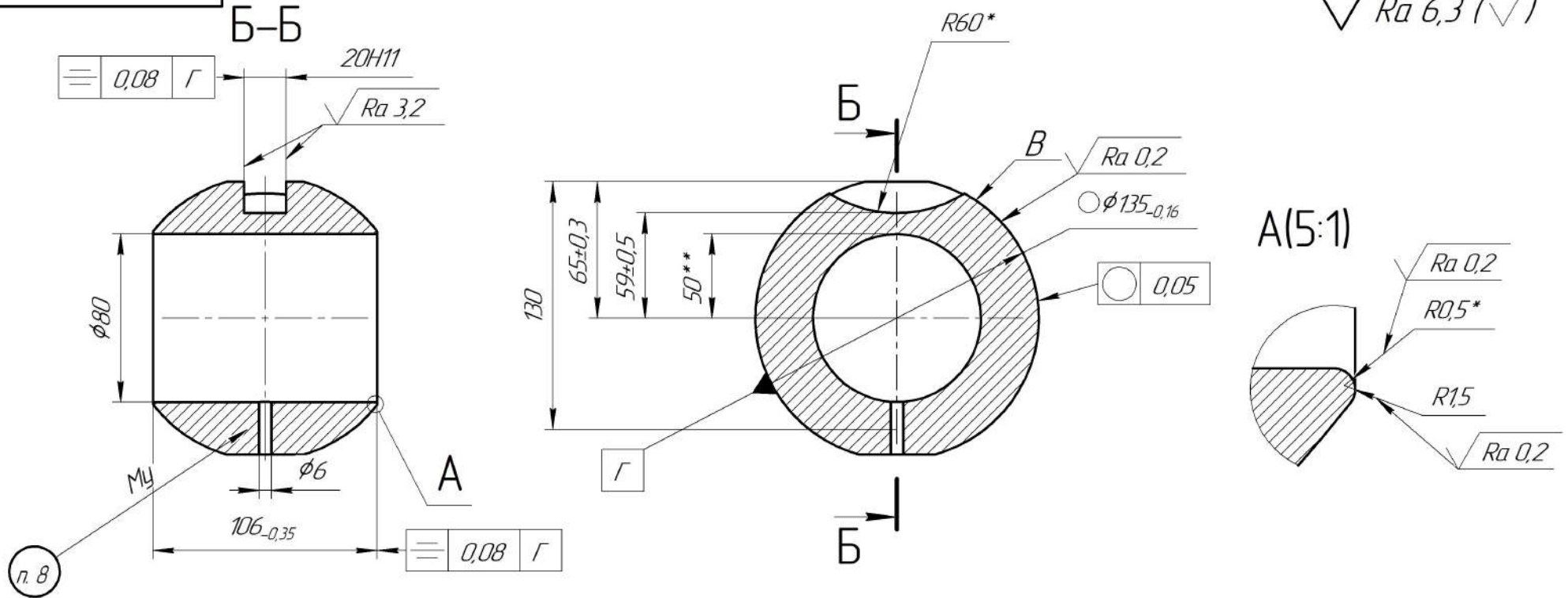
Взам. инв. №

Лист и дата

Изд. №

ИЮКЛ.714.24.3.015

√ Ra 6,3 (√)



Обозначение	Марка материала	Применяемые пп. ТТ	Масса, кг
ИЮКЛ.714.24.3.015	12X18H10T ГОСТ 5632-2014	1, 4...6, 10	4,8
-01	Сплав ЗМ ОСТ 1 92077-91	2,4...8, 9	2,9
-02	БрАЖНМц 9-4-4-1 ГОСТ 18175-78	3...6, 8	5,8

- 1 Прокат, зр II НВ 1186-1754 МПа (121-179) ОСТ 5.9034-84.
- 2 Прутки ЗМ ОСТ В 5P.9325-2005.
- 3 Поковка, закалка с отпуском по РД 5P.95015-87, испытать зр. II ОСТ 5.9046-77 НВ 170-230.
- 4 \*Размеры обеспеч. инстр.
- 5 \*\*Размер для справок.
- 6 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14, ±IT14/2.

7 Оксидировать по низкотемпературному режиму согласно РД.5P.95066-90.

8 Маркировать по РД 5.35.9504-86, шрифтом 5.

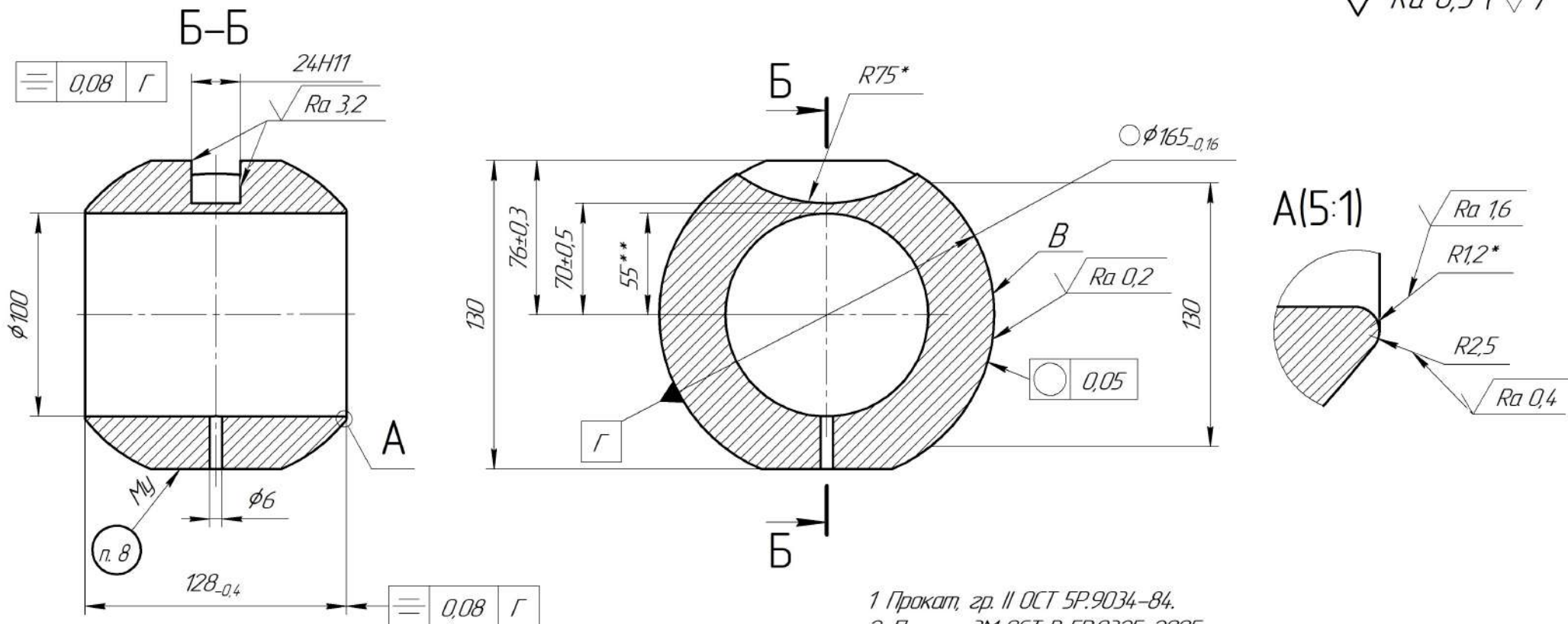
9 Поверхность В полировать после оксидирования, при этом изменение размера не должно превышать 0,01 мм.

10 Материал испытать на стойкость к МКК с провоцирующим нагревом по методу АМУ ГОСТ 6032-2003.

ИЮКЛ.714.24.3.015			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Разраб.			Дата
Пров.			
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			
Пробка шаровая Ду80			
		Лист	Масса
		Листов	Масштаб
			См. табл.
			1:2
			1
См. табл.			

ИЮКЛ.714.24.3.016

$\sqrt{Ra 6,3}$  (✓)



- 1 Прокат, гр. II ОСТ 5P.9034-84.
- 2 Пруток 3М ОСТ В 5P.9325-2005.
- 3 Пруток испытать гр. II ОСТ 5.9046-77.
- 4 \*Размеры обеспеч. инстр.
- 5 \*\*Размер для справок.
- 6 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: Н14, h14, ±IT14/2.
- 7 Оксидировать по низкотемпературному режиму согласно РД.5P.95066-90. Контроль качества оксидирования осуществлять по

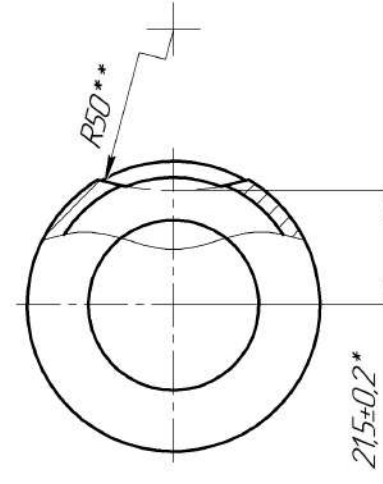
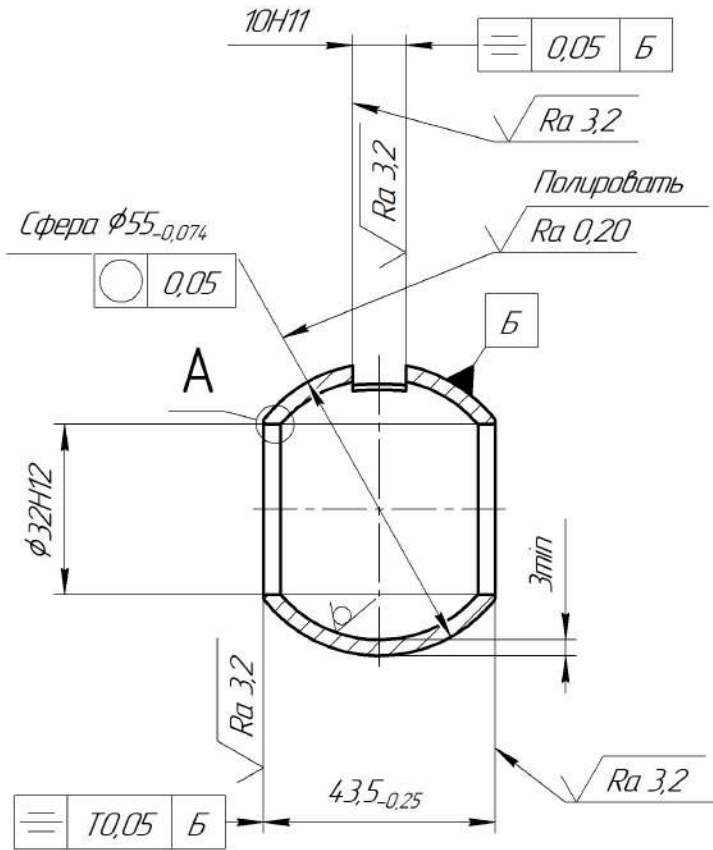
Обозначение	Марка материала	Применяемые пп. ТТ	Масса, кг
ИЮКЛ.714.24.3.016	12X18H10T ГОСТ 5632-2014	1, 4...6, 10	8,2
-01	Сплав 3М ОСТ 1 92077-91	2,4...8, 9	5,1
-02	БрАЖНц 9-4-4-1 ГОСТ 18175-78	3...6, 8	9,9

поверхн. с шеро.  $\sqrt{Ra 1,6}$  и менее грубой.  
 8 Маркировать по РД 5.35.9504-86, шрифтом 5.  
 9 Поверхность В полировать после оксидирования, при этом изменение размера не должно превышать 0,01 мм.  
 10 Материал испытать на стойкость к МКК с провоцирующим нагревом по методу АМУ ГОСТ 6032-2003.

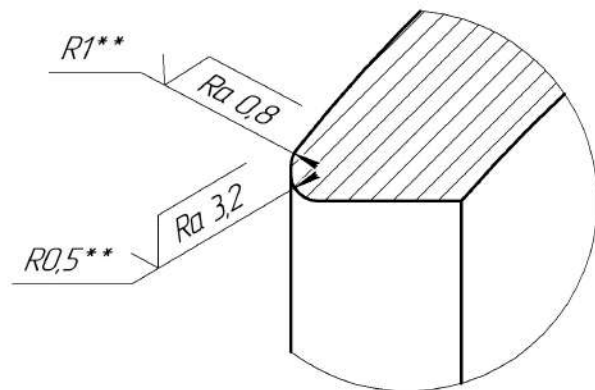
				ИЮКЛ.714.24.3.016				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пробка шаровая Ду100	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.						См. табл.	1:2	
Проб.					См. табл.	Лист	Листов	1
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЧЕРТЕЖИ ПРОБОК, ПОЛУЧЕННЫХ  
ПРЕДЛАГАЕМЫМ СПОСОБОМ**



A(10:1) 2 места



- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .

					ИЮК/Л.752457.020			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пробка	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев						0,15	1:1
Проб.	Лобов					Лист 1	Листов	
Т.контр.					Заготовка ИЮК/Л.723111.026			
Н.контр.								
Утв.								

Перв. примен.  
Справ. №  
Лист и дата  
Изм. № докум.  
Взам. инв. №  
Лист и дата  
Изм. № лист.

ИЮКЛ.305366.001 СБ

Перв. примен.  
ИЮКЛ.305366.001

Справ. №

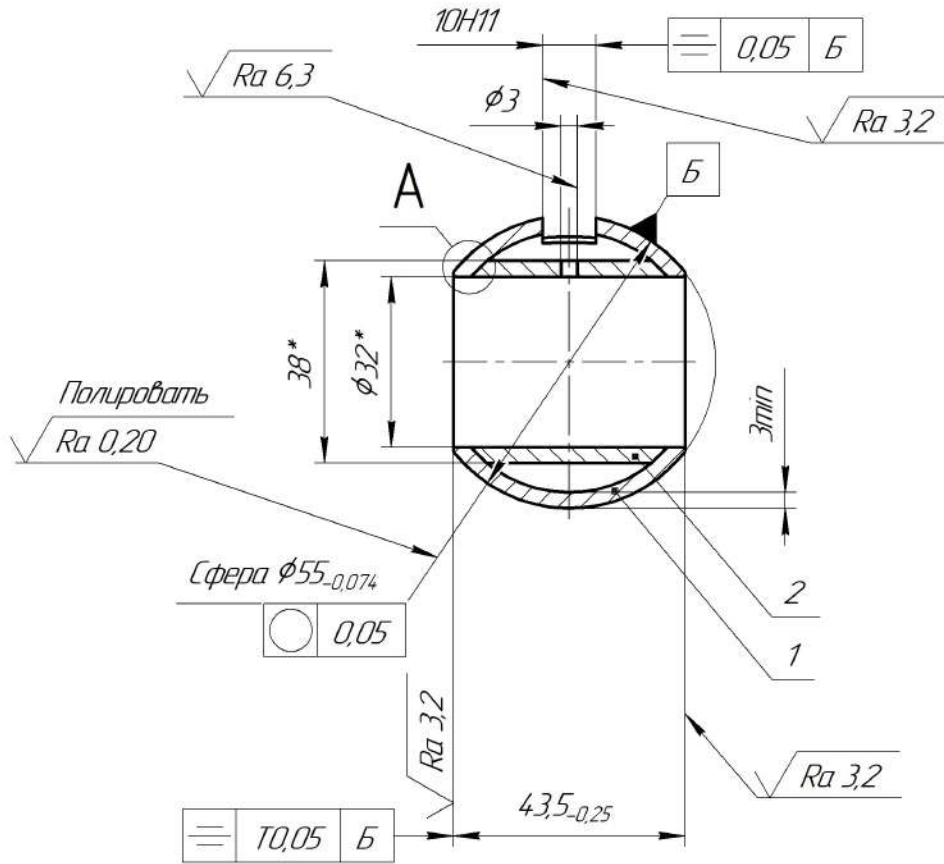
Подп. и дата

Изд. № дораб.

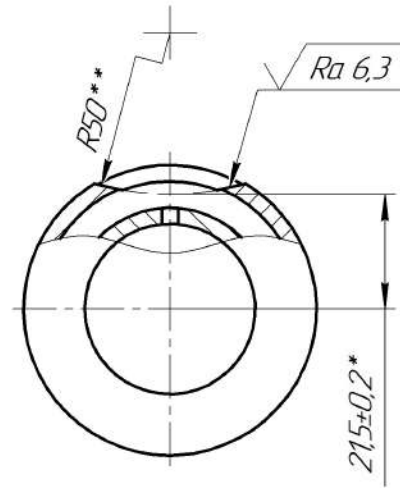
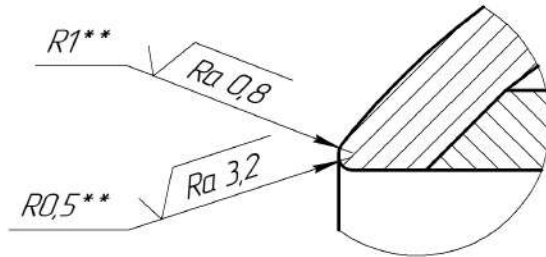
Взам. инв. №

Подп. и дата

Изд. № подл.

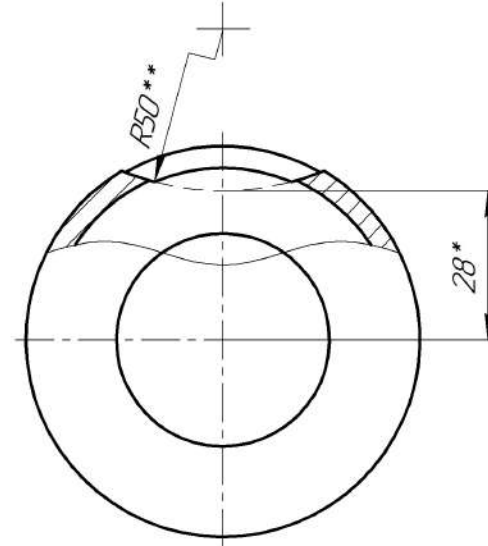
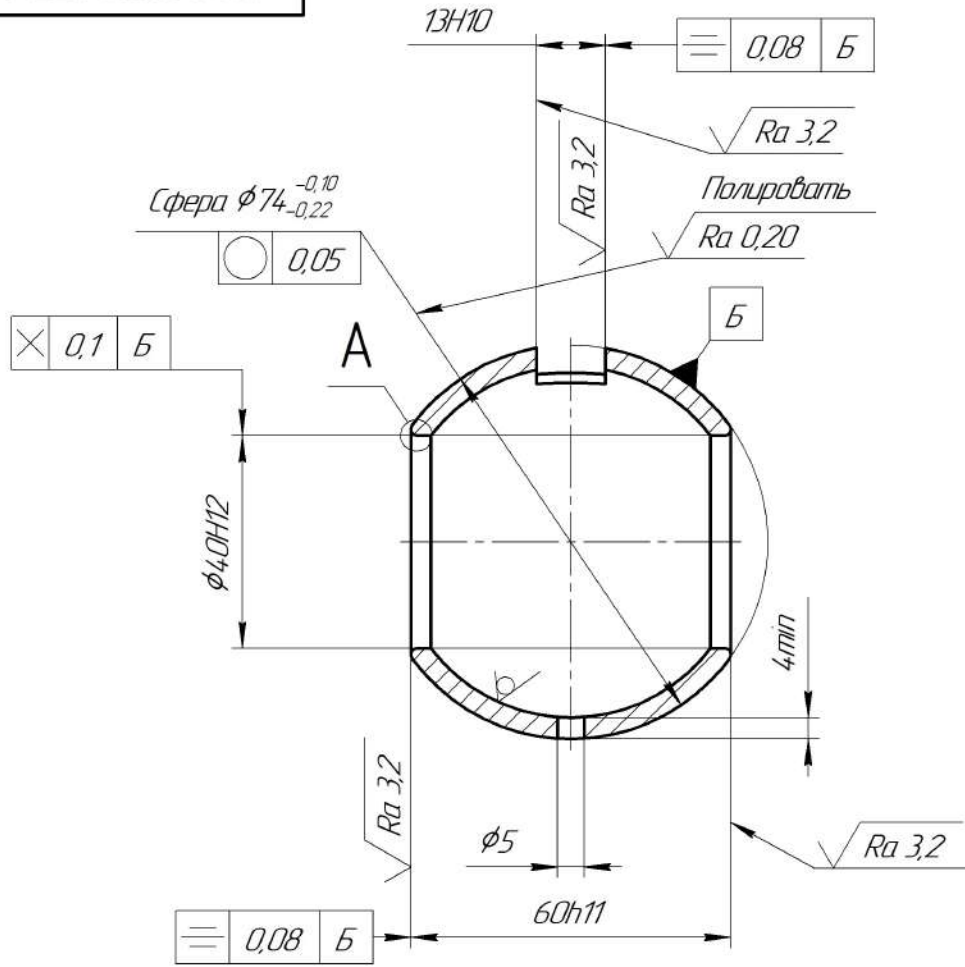


A(5:1) 2 места

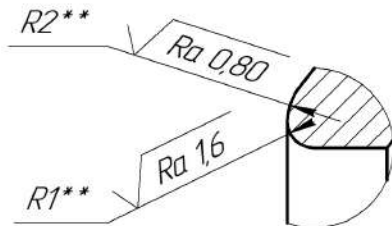


- 1 \*Размеры для справок.
- 2 \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14, ±  $\frac{IT14}{2}$ .
- 4 Сборку обеспечить обжимом в штампе.

					ИЮКЛ.305366.001 СБ		
					Пробка		
					Сборочный чертёж		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Яковлев				0,25	1:1
Пров.		Лобов			Лист	1	Листов
Т.контр.							
И.контр.							
Утв.							



A(5:1) 2 места



- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .

					ИЮКЛ.752457.021			
Изм/Лист	№ докум	Подп	Дата	Пробка		Лист	Масса	Масштаб
Разраб	Яковлев						0,38	1:1
Проб	Лобов					Лист 1	Листов	
Т.контр								
Н.контр				Заготовка				
Утв				ИЮКЛ.723111.027				

ИЮК/Л.305366.002 СБ

Перв. примен.  
ИЮК/Л.305366.002

Справ. №

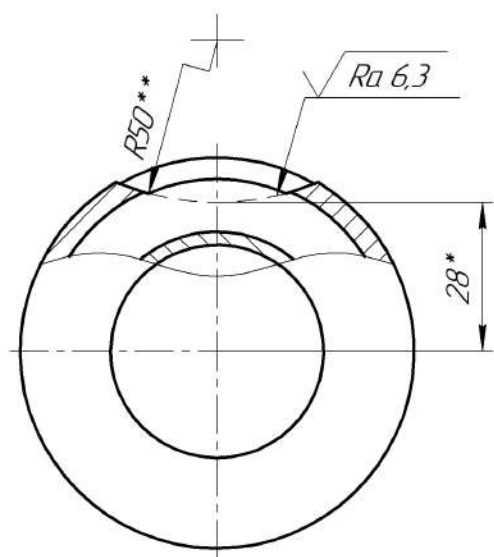
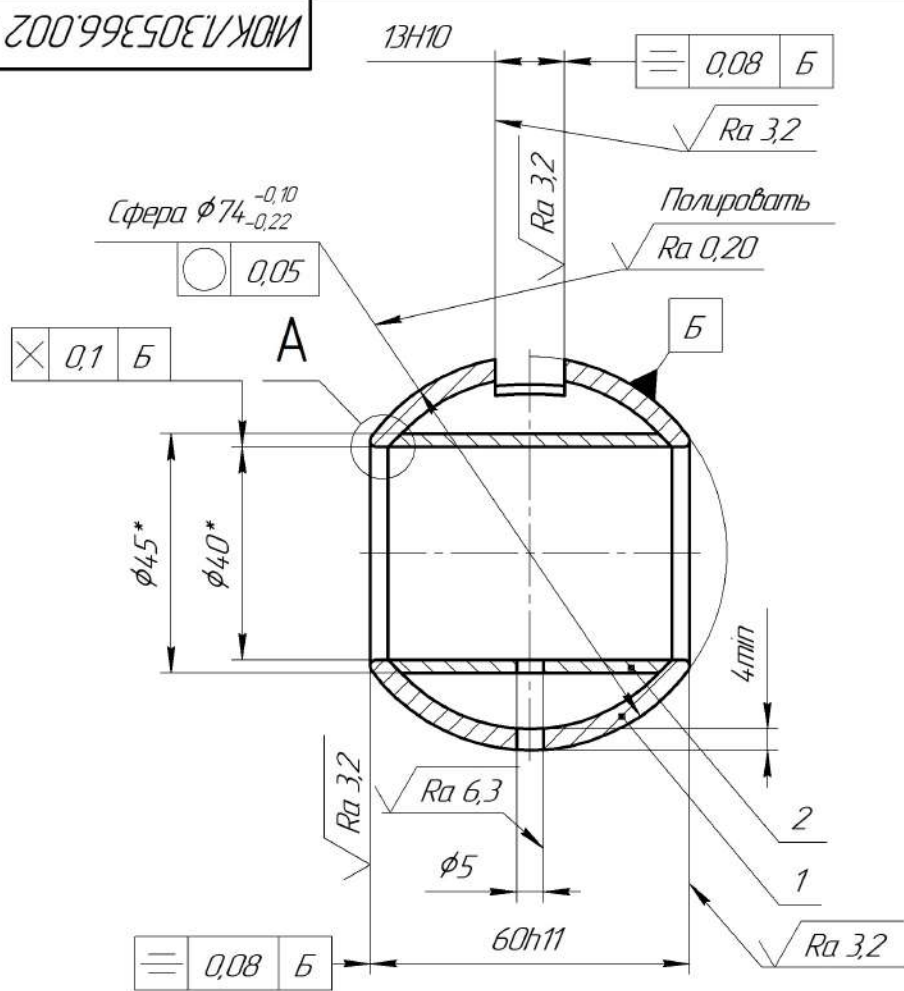
Подп. и дата

Изд. № докум.

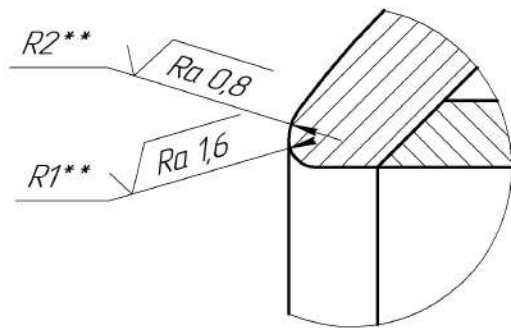
Взам. инв. №

Подп. и дата

Изд. № подл.

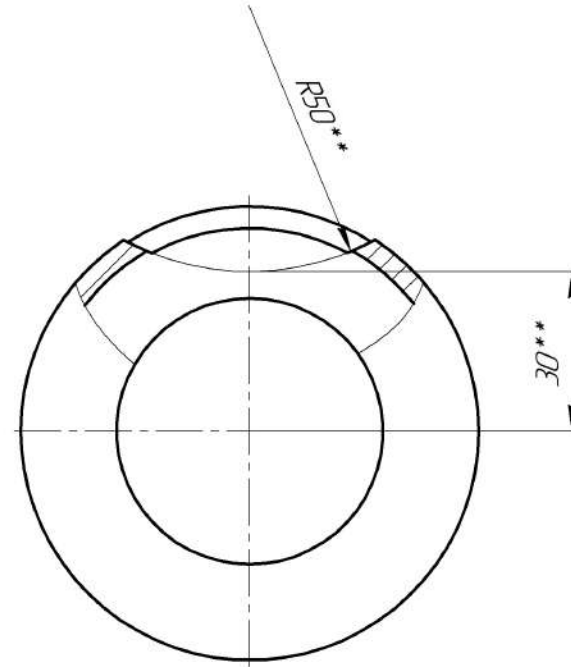
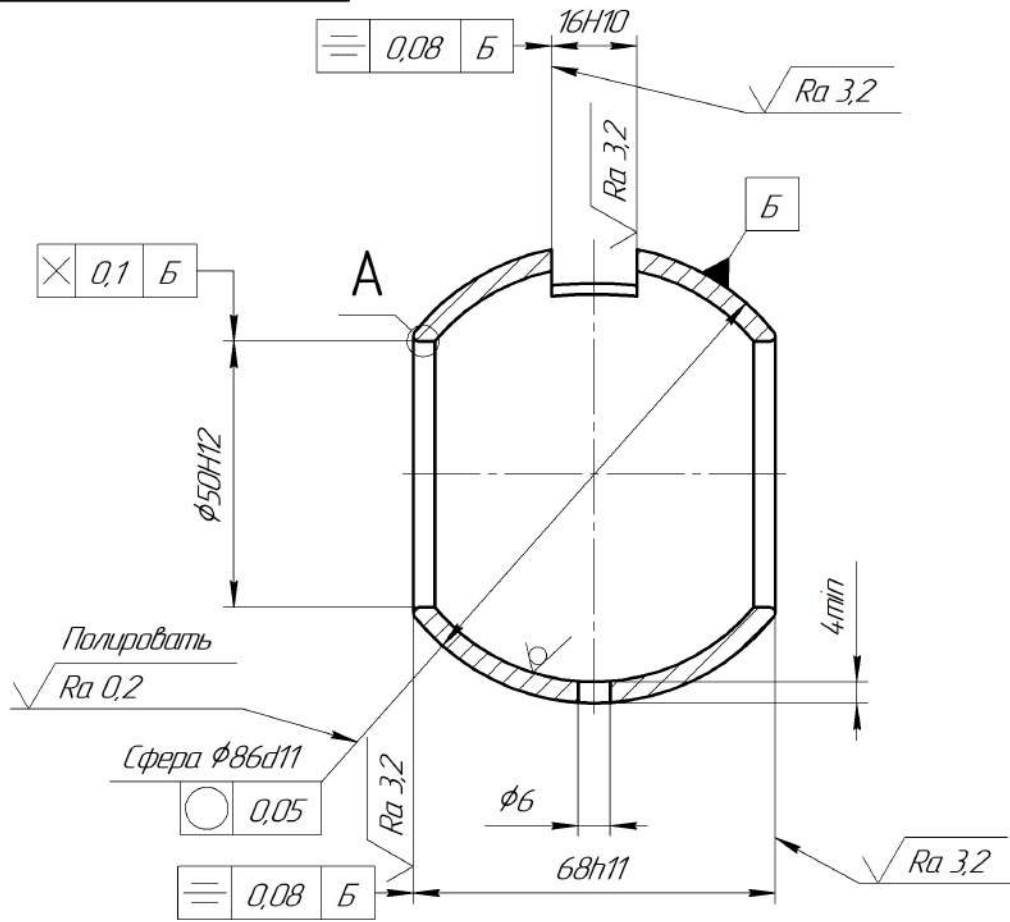


A(5:1) 2 места

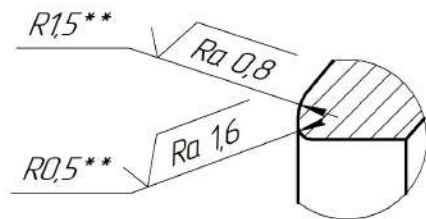


- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .
- Сборку обеспечить обжимом в штампе.

					ИЮК/Л.305366.002 СБ		
					Пробка		
					Сборочный чертёж		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Яковлев				0,52	1:1
Пров.		Лобов			Лист	1	Листов
Т.контр.							
И.контр.							
Утв.							



A(5:1) 2 места



1. \*Размеры для справок.
2. \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, ±  $\frac{IT14}{2}$ .

				ИЮК/Л.752457.022		
				<b>Пробка</b>		
				Лист	Масса	Масштаб
					0,50	1:1
				Лист 1 / Листов		
				Заготовка ИЮК/Л.723111.028		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Яковлев				
Пров.		Лобов				
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.						

ИЮК/Л.305366.003 СБ

Перв. примен.  
ИЮК/Л.305366.003

Справ. №

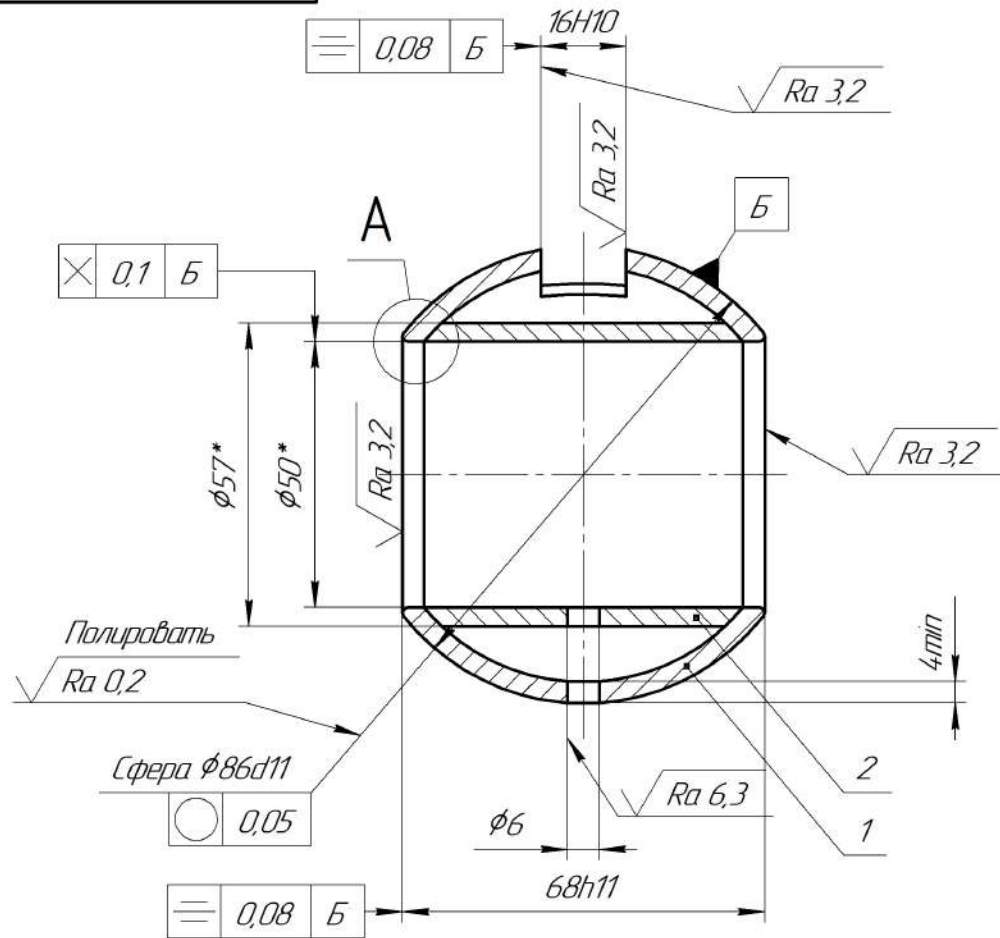
Подп. и дата

Изд. № дораб.

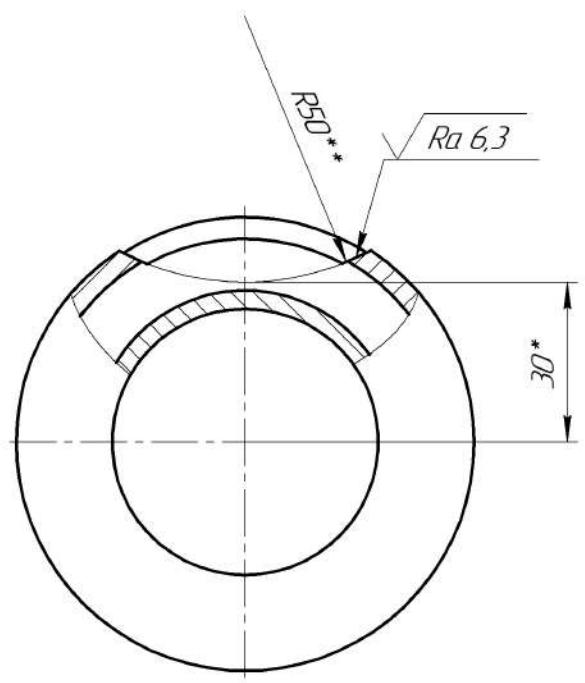
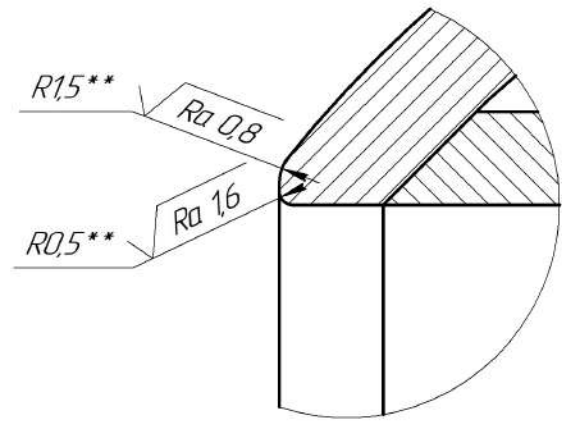
Взам. инв. №

Подп. и дата

Изд. № подл.

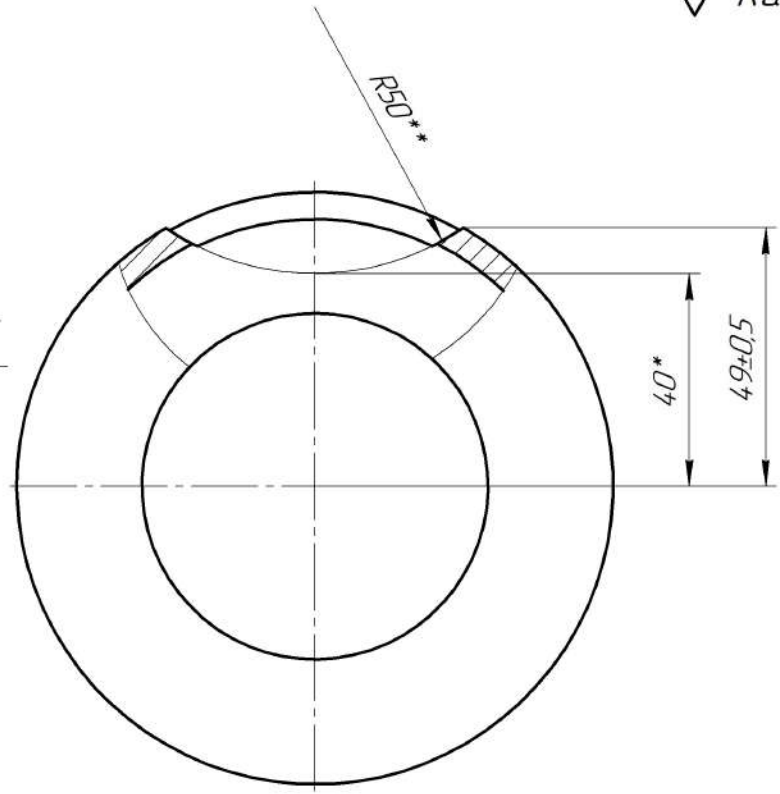
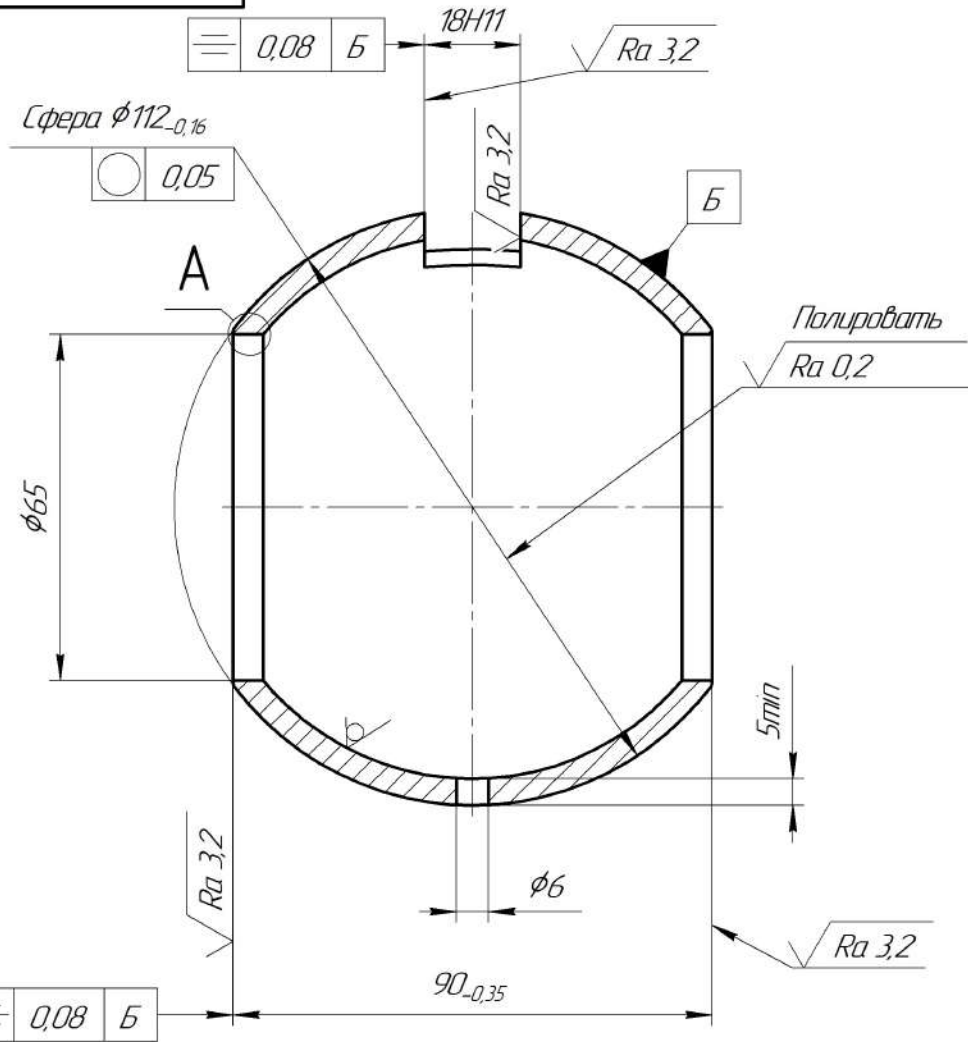


Б(5:1) 2 места



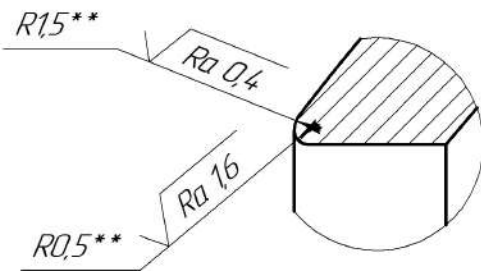
- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .
- Сборку обеспечить обжимом в штампе.

					ИЮК/Л.305366.003 СБ		
					Пробка		
					Сборочный чертёж		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Яковлев				0,78	1:1
Проб.		Лобов			Лист	Листов	1
Т.контр.							
И.контр.							
Утв.							



0,08 Б

A(5:1) 2 места



- \*Размеры для справок
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: Н14, ±  $\frac{IT14}{2}$ .

					ИЮК/Л.752457.023			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Пробка</b>	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев						1,10	1:1
Пров.	Лобов					Лист 1	Листов	
Т.контр.								
Н.контр.					Заготовка ИЮК/Л.723111.029			
Утв.					Копировал			Формат А3

Перв. примен.

Справ. №

Лист и дата

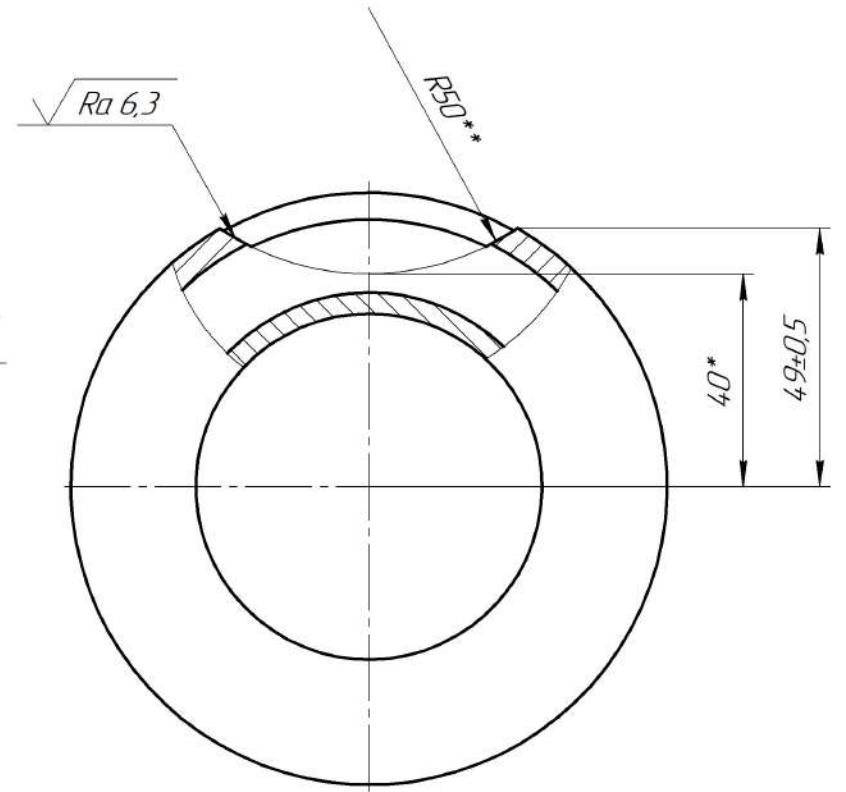
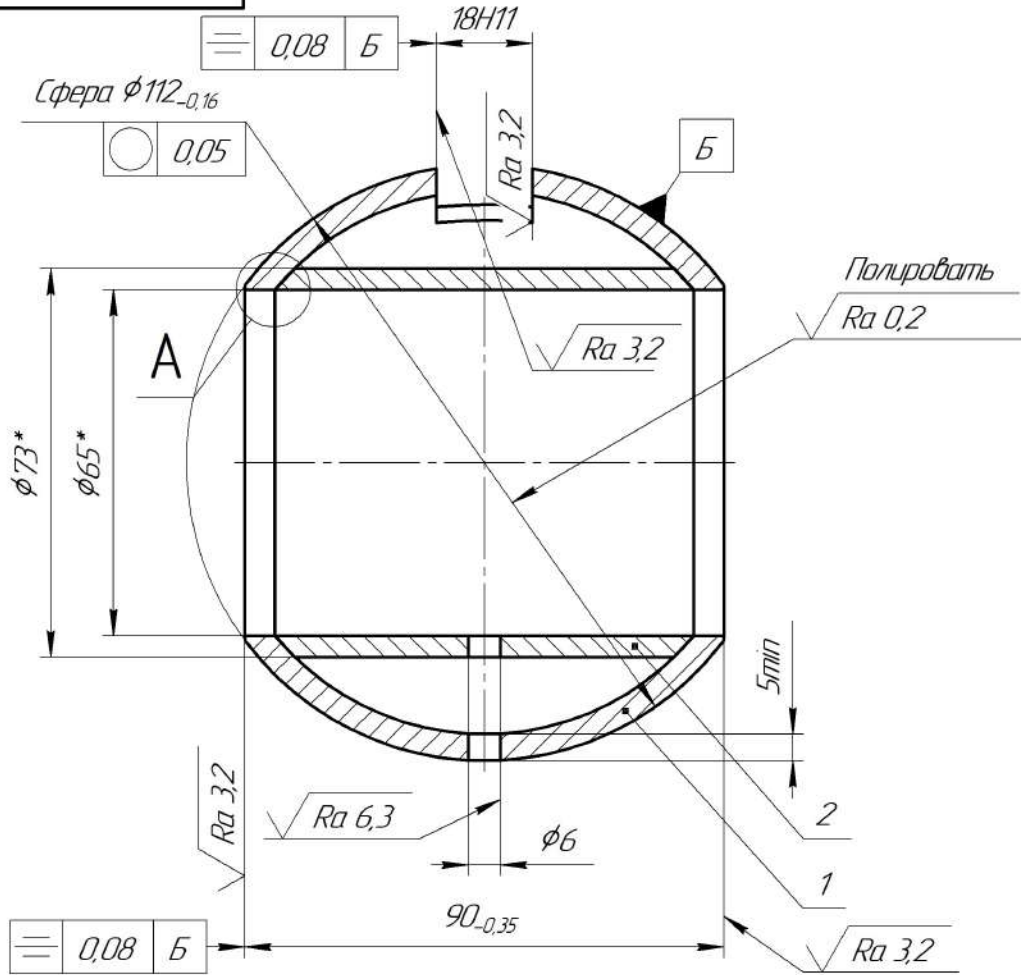
Инд. № шифра

Взам. инд. №

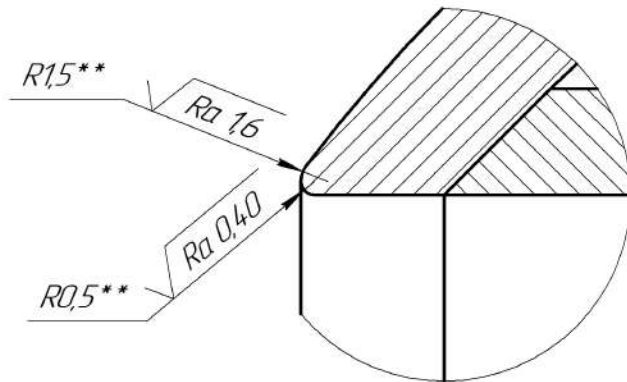
Лист и дата

Инд. № подл.





A(5:1) 2 места

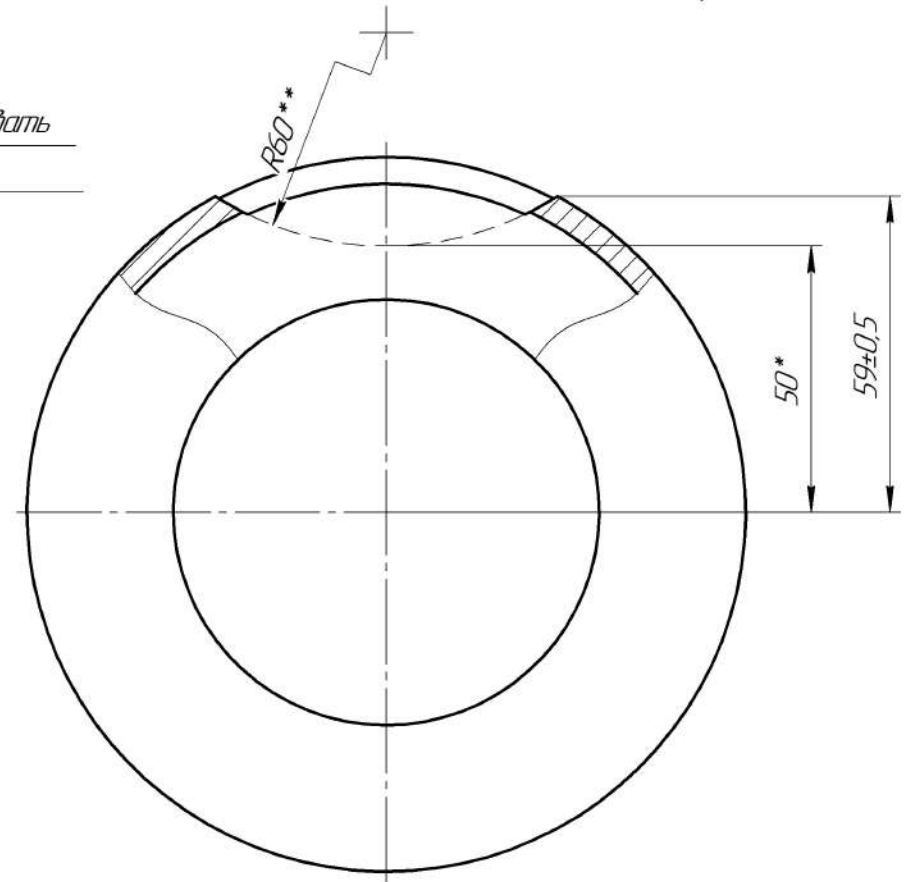
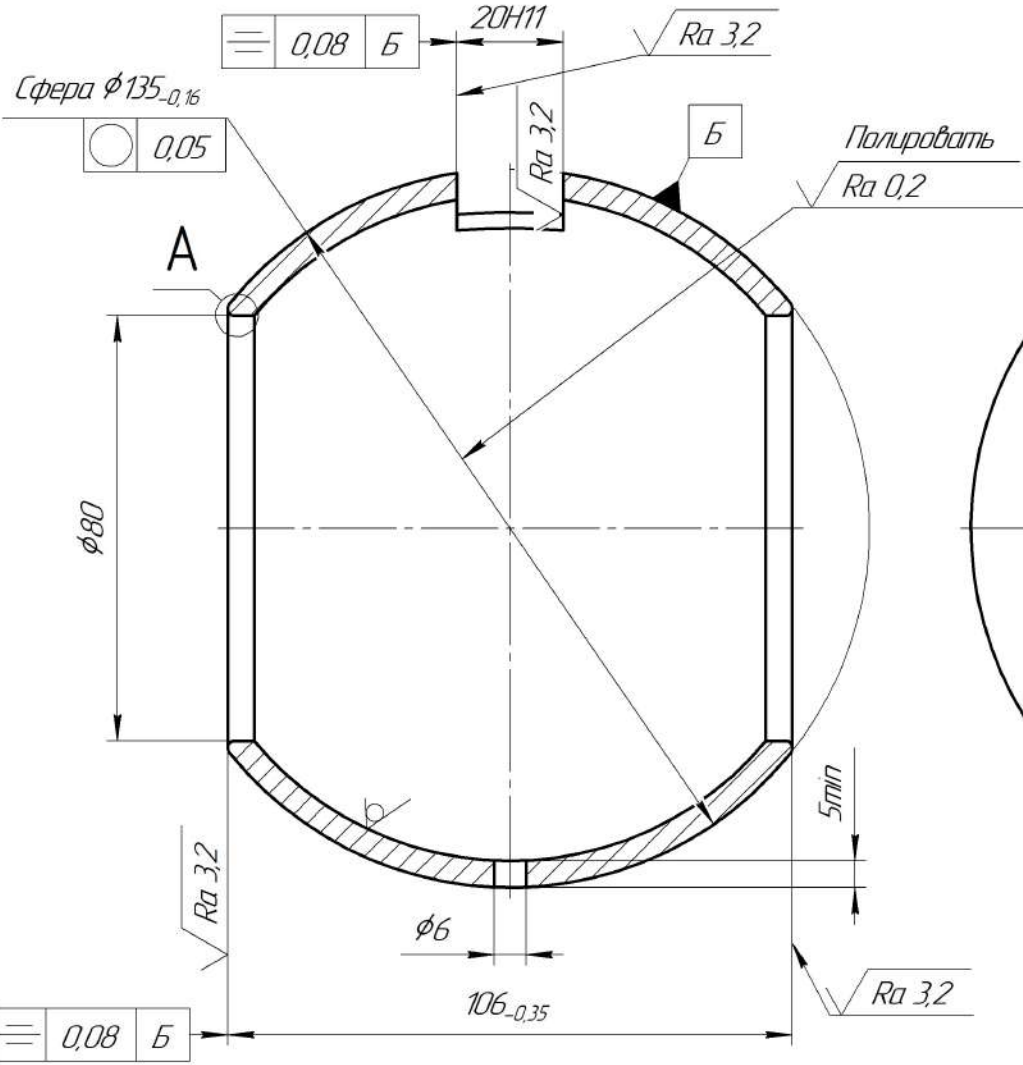


- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .
- Сборку обеспечить обжимом в штампе.

					ИЮК/Л.305366.004 СБ		
					Пробка		
					Сборочный чертёж		
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев					1,64	1:1
Пров.	Лобов				Лист 1	Листов	
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							

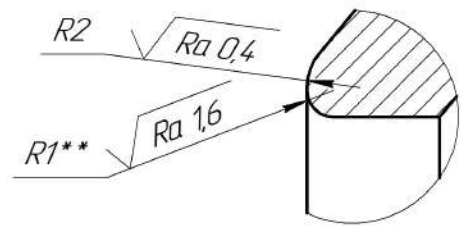
ИЮК/Л.752457.024

$\sqrt{Ra 6,3}$  ( $\checkmark$ )



- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: Н14,  $\pm 2$ .

A(5:1) 2 места



					ИЮК/Л.752457.024			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пробка	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев					1	1,60	1:1
Проб.	Лобов					Лист 1	Листов	
Т.контр.					Заготовка			
Н.контр.					ИЮК/Л.723111.030			
Утв.					Копировал	Формат А3		

Перв. примен.  
Справ. №  
Подп. и дата  
Изм. № эскиза  
Взам. инв. №  
Подп. и дата  
Изм. № подл.

ИЮК/Л.305366.005

Перв. примен.  
ИЮК/Л.305366.005

Справ. №

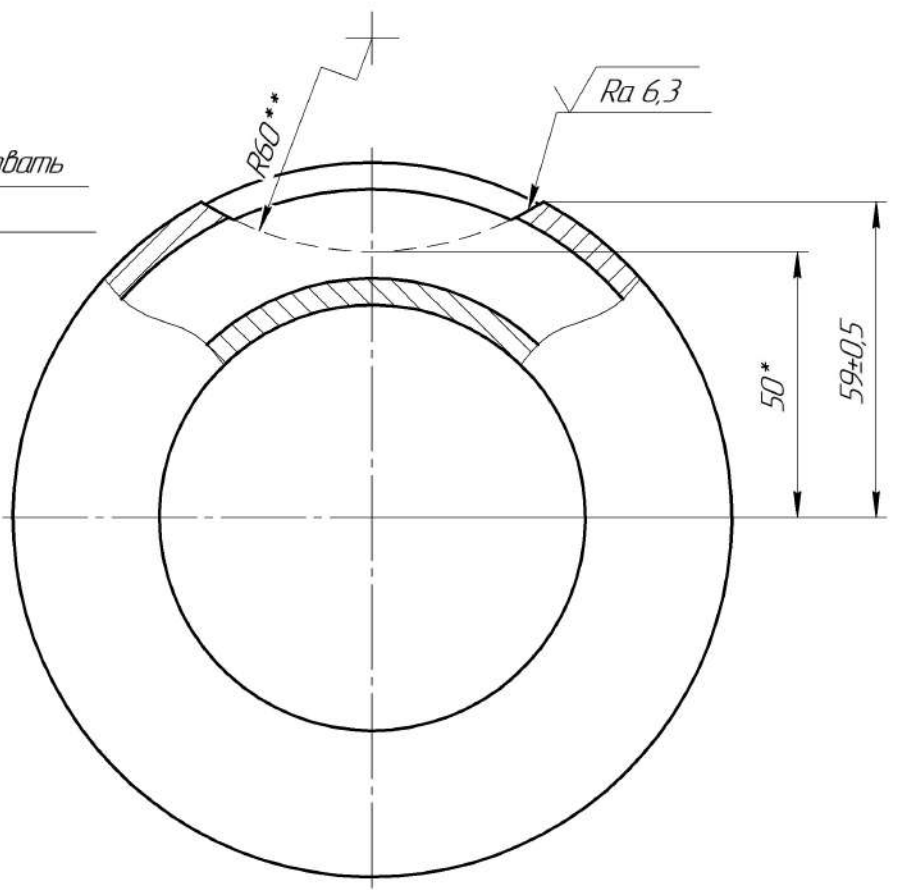
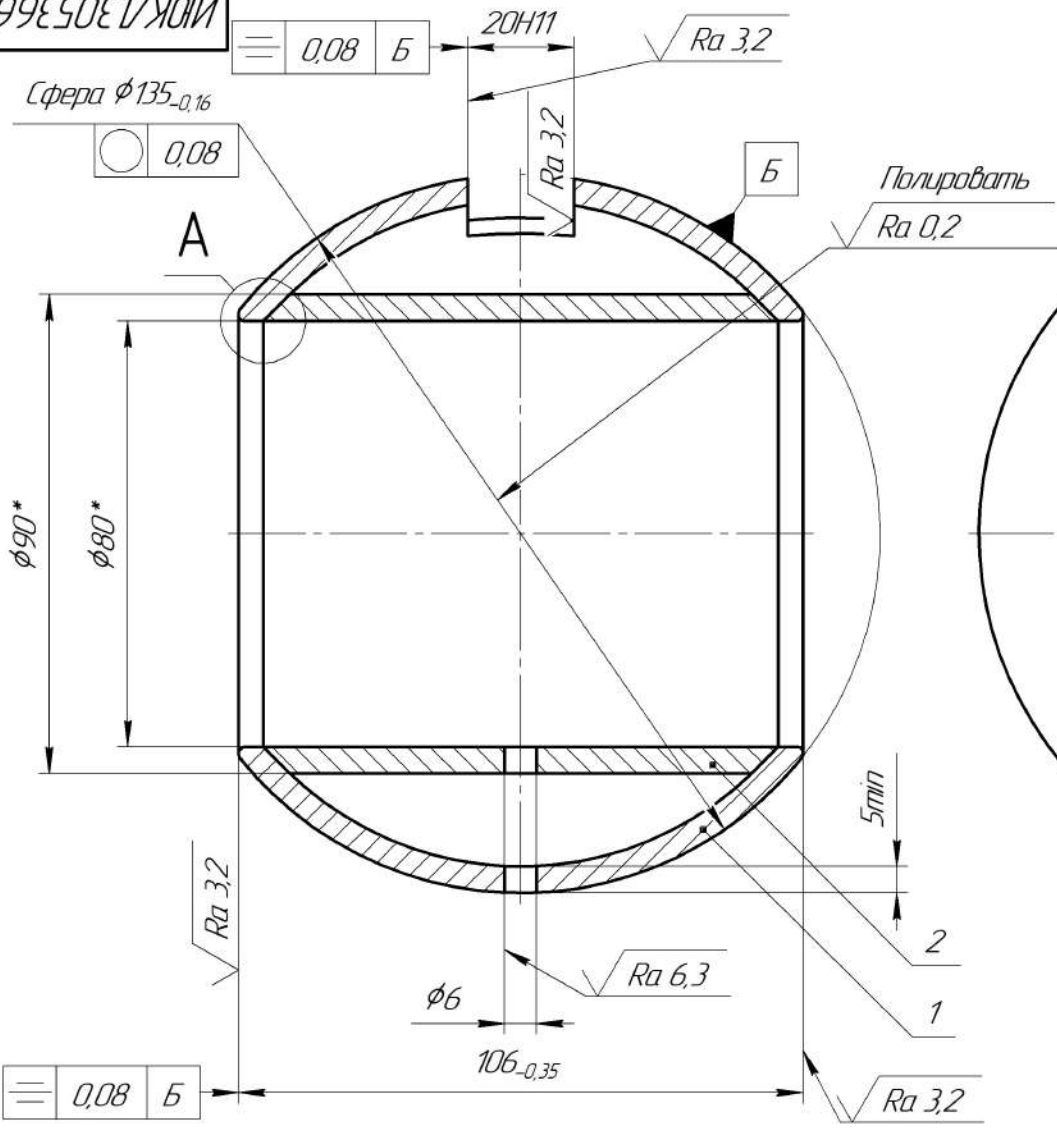
Лист и дата

Изд. № эскиза

Взам. инв. №

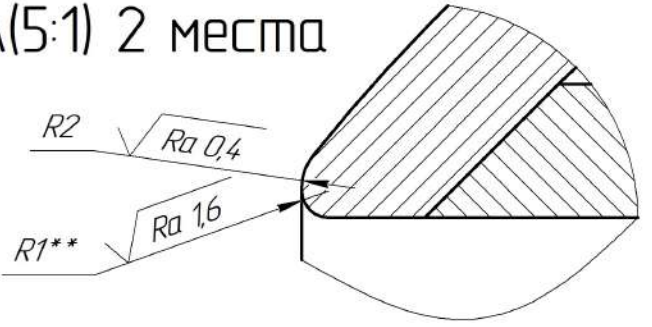
Лист и дата

Изд. № листа

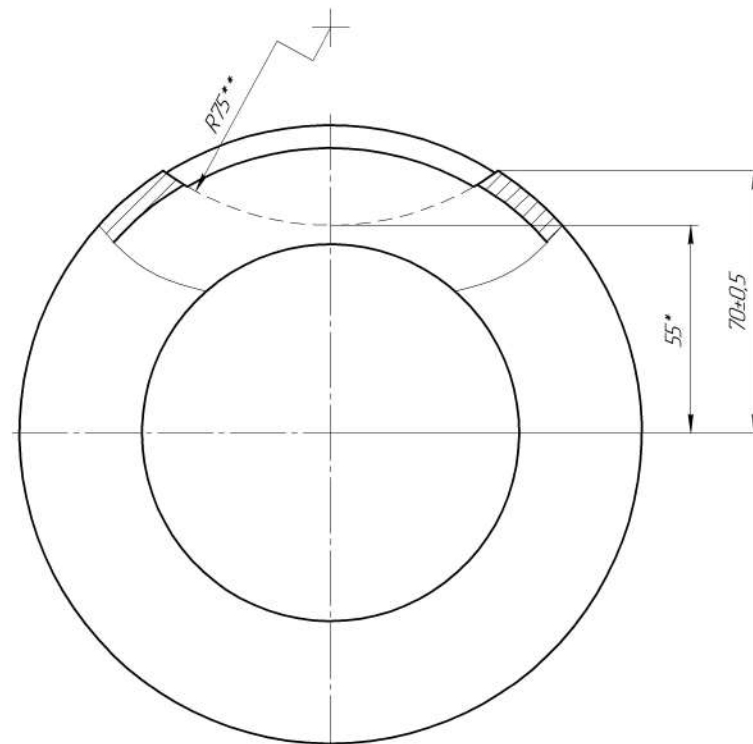
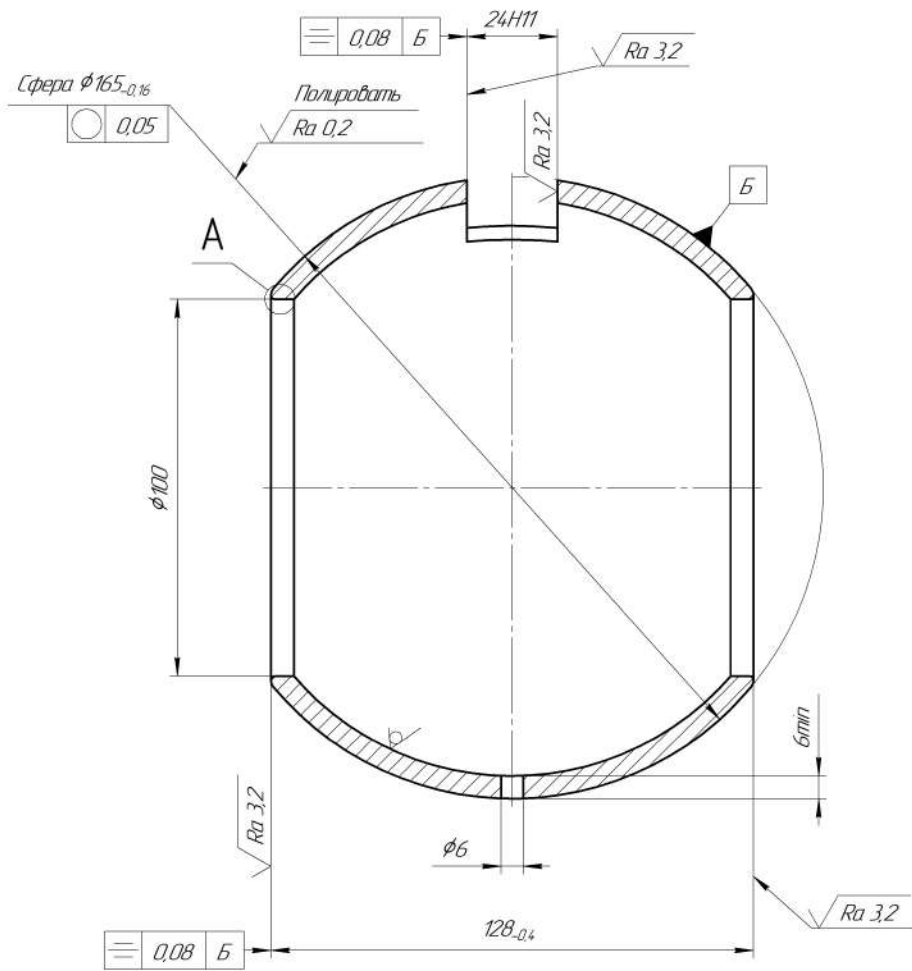


- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .
- Сборку обеспечить обжимом в штампе.

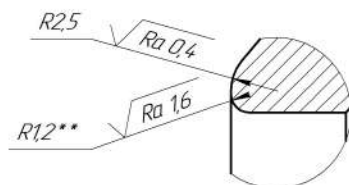
A(5:1) 2 места



				ИЮК/Л.305366.005 СБ				
				Пробка		Лист	Масса	Масштаб
				Сборочный чертёж			2,60	1:1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист		Листов	
Разраб.		Яковлев					1	
Пров.		Лобов						
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								

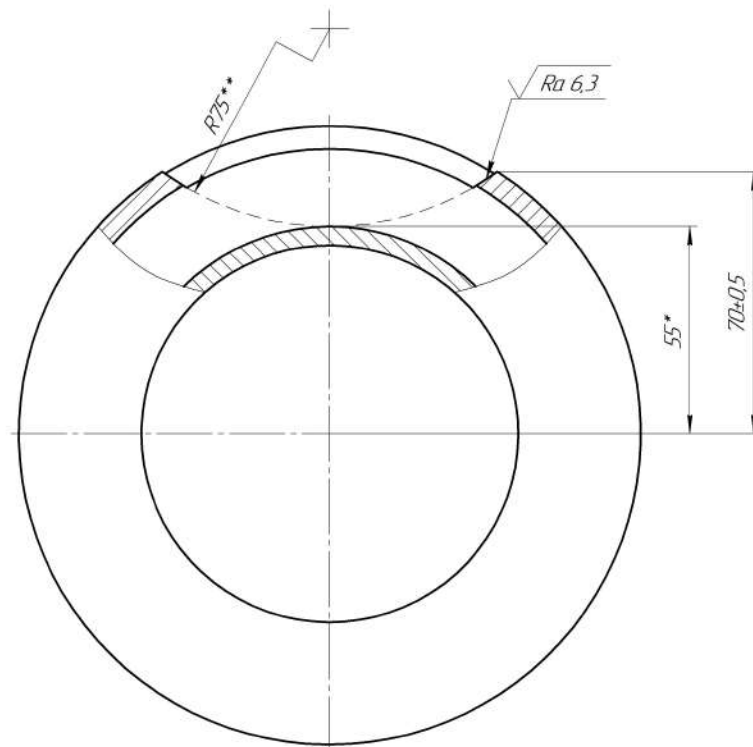
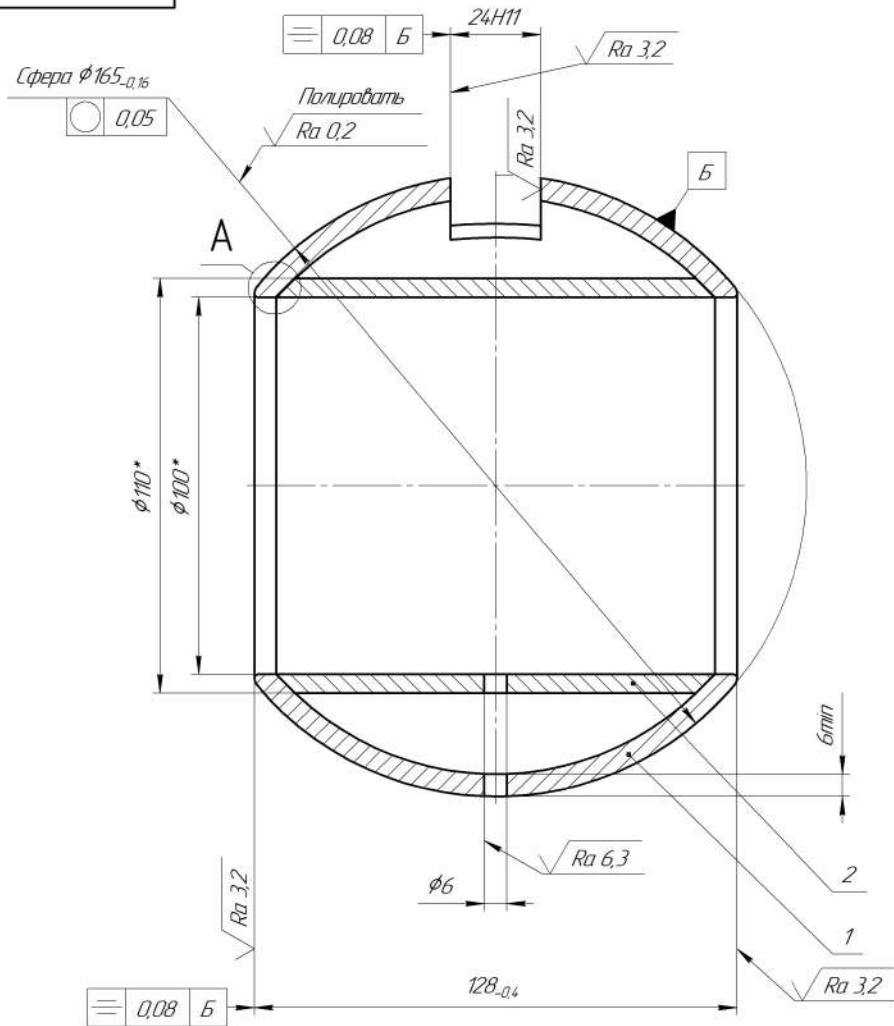


A(5:1) 2 места

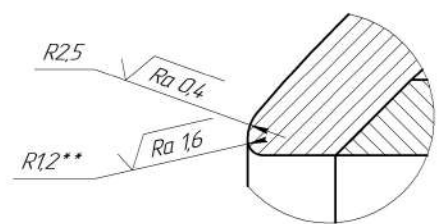


- \*Размеры для справок.
- \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, ±  $\frac{IT14}{2}$ .

ИЮК/Л.752457.025					
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разработ	Яковлев				
Проб	Ладис				
Технпр.					
Нормир.					
Упр.					
Пробка			Лист	Масса	Масштаб
			1	2,80	1:1
Заготовка			Лист	1	Листов
ИЮК/Л.723111.031					
Копировал			Формат А2		



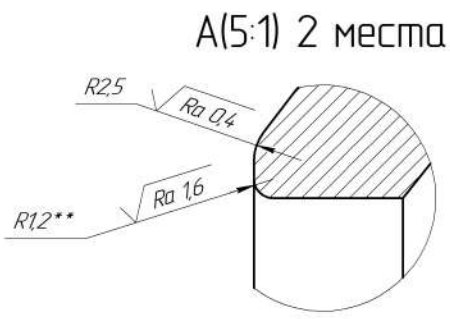
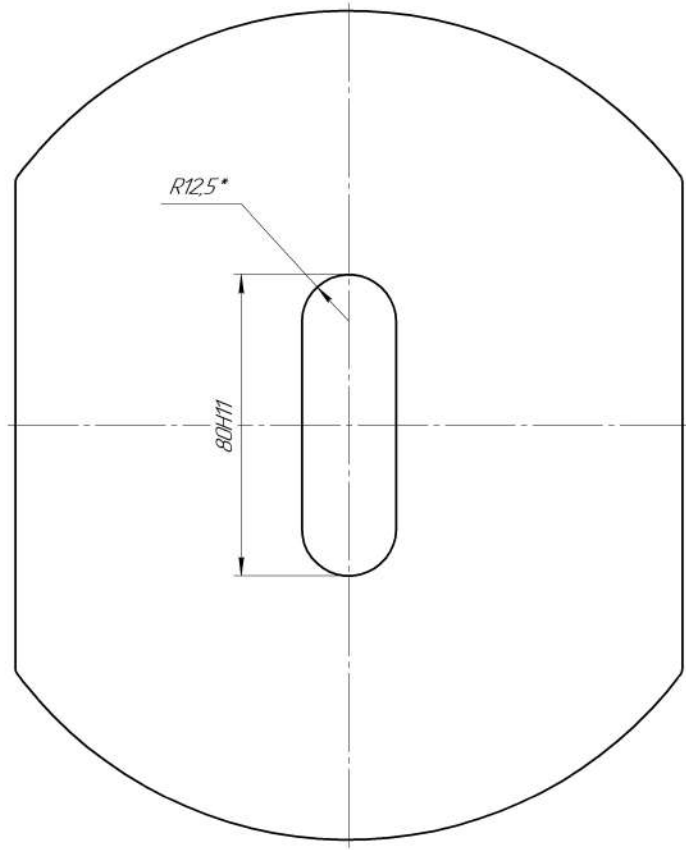
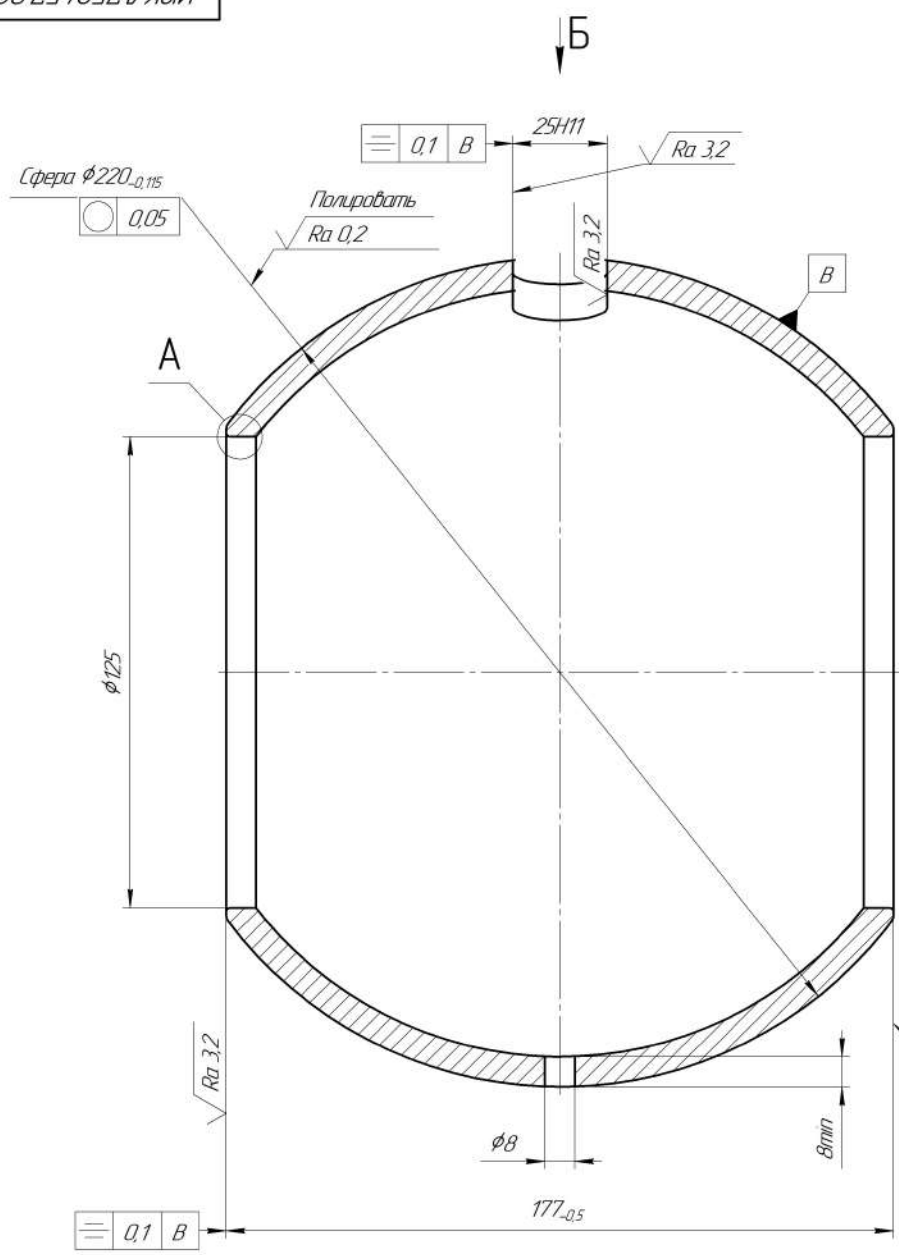
A(4:1) 2 места



- 1 \*Размеры для справок.
- 2 \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, h14, ± 1/2 IT14.
- 4 Сборку обеспечить обжимом в штампе.

				ИЮК/Л.305366.006 СБ			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пробка Сборочный чертёж	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Исполн				4,30	1:1	
Проб	Лейб				Лист 1	Листов	
Инженер							
Удп							

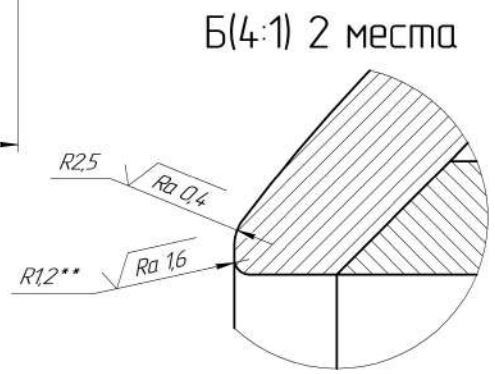
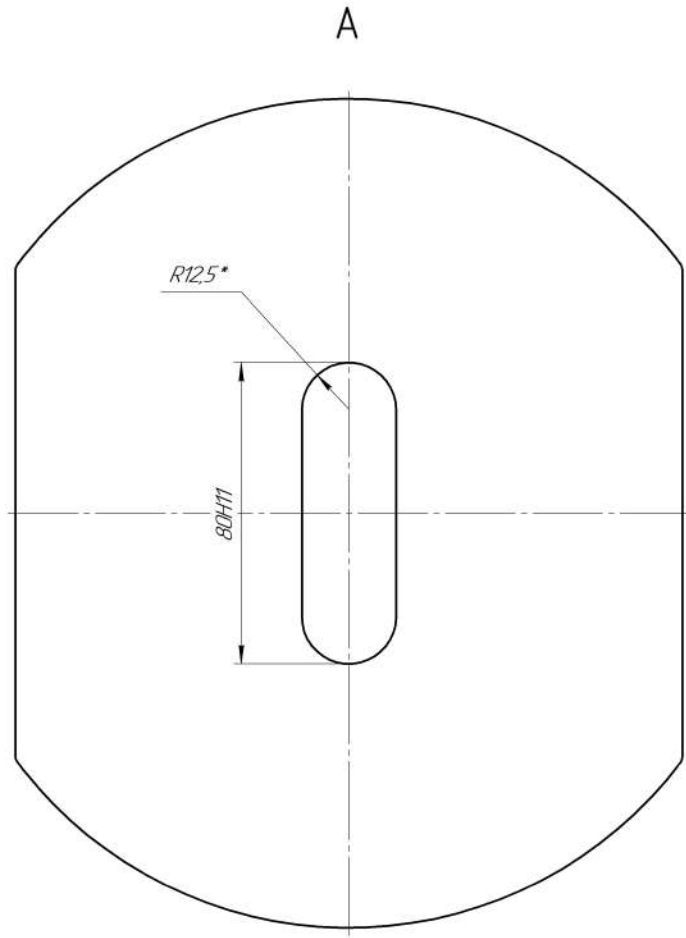
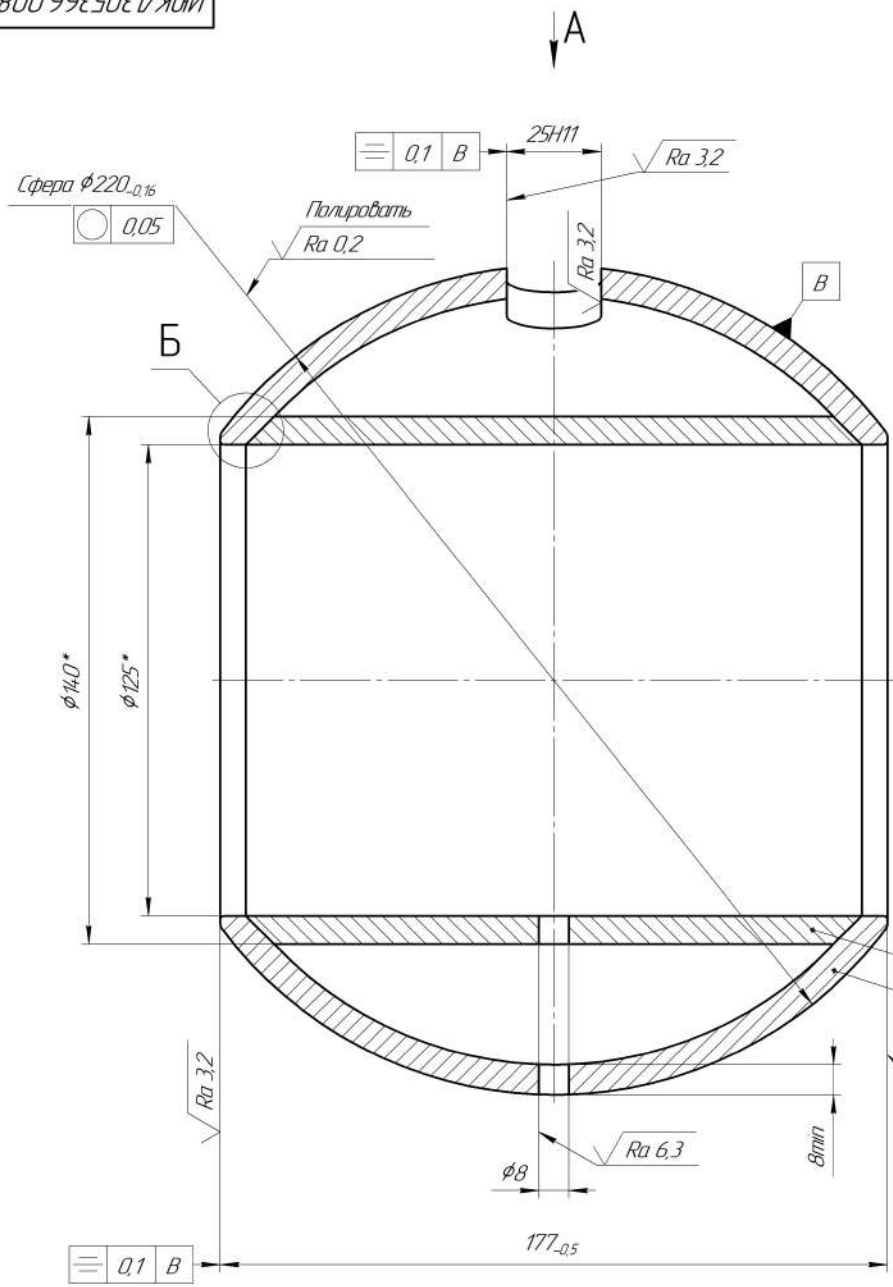
ИЮК/Л.305366.006 СБ  
 Лист 1 из 1  
 Дата  
 ИЮК/Л.305366.006 СБ  
 Лист 1 из 1  
 Дата



- 1 \*Размеры для справок
- 2 \*\*Размеры обеспечиваются инструментом
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, ± 1/2.

Изд. №	Изд. №	Изд. №	Изд. №	Изд. №	Изд. №
Лист №	Лист №	Лист №	Лист №	Лист №	Лист №
Справок №	Справок №	Справок №	Справок №	Справок №	Справок №
Лист №	Лист №	Лист №	Лист №	Лист №	Лист №

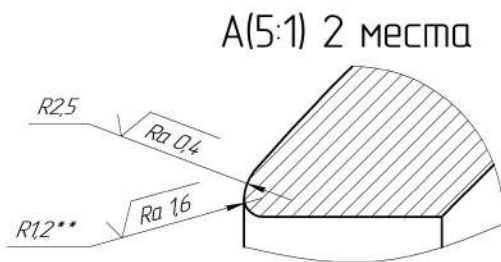
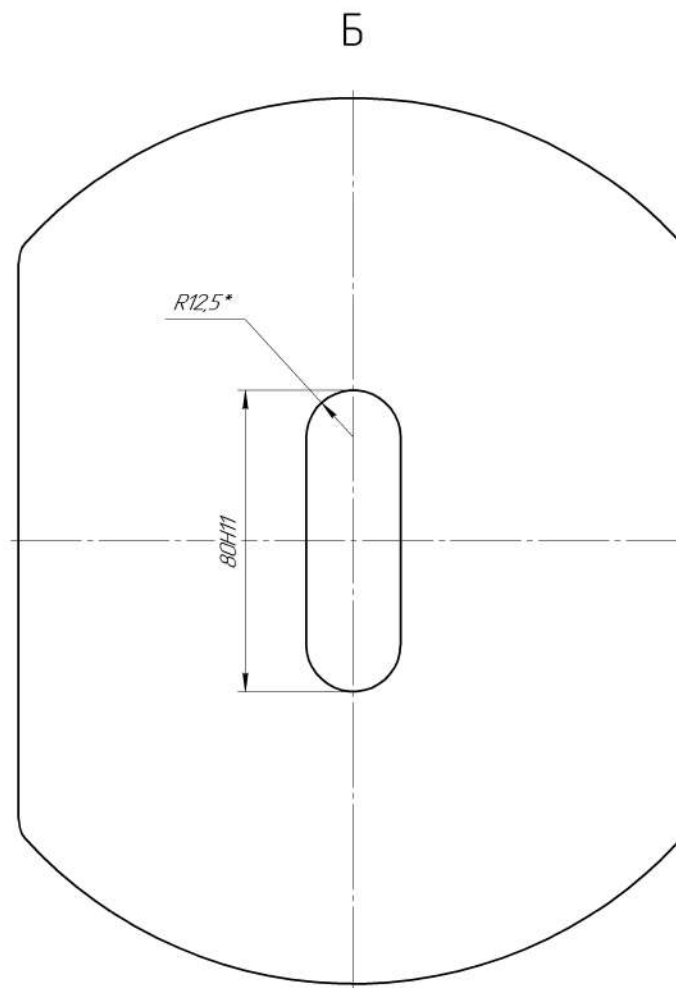
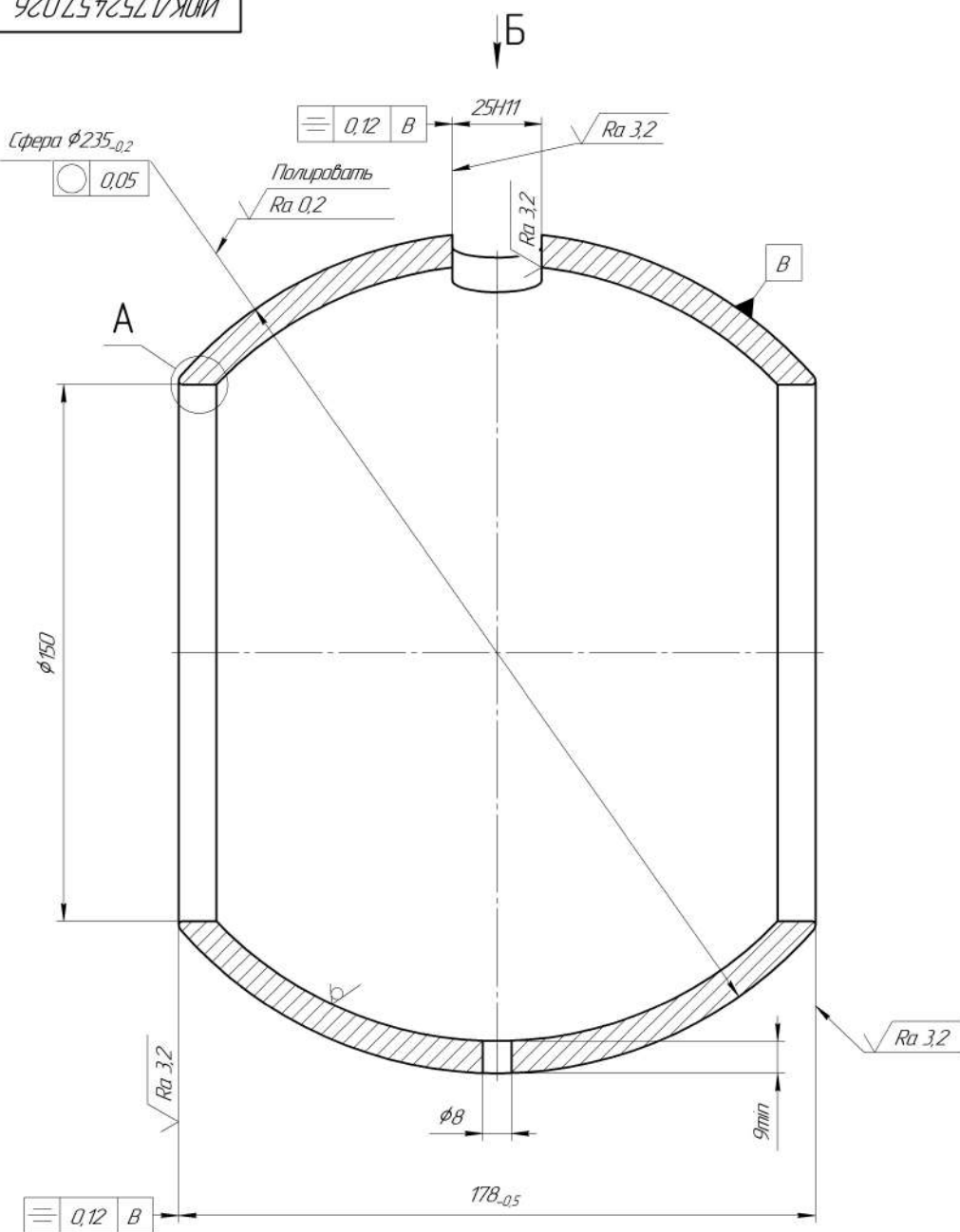
				ИЮК/Л.752457.027			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Пробка</b>	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Исполн					7,0	11
Проб	Лист				Лист 1	Листов	
Исполн				Заготовка			
Удп				ИЮК/Л.723111.04.7			
				Копировал		Формат А2	



- 1 \*Размеры для справок.
- 2 \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14, ± 2<sup>IT14</sup>.
- 4 Сборку обеспечить обжимом в штампе.

Изд. №	Изд. №	Изд. №	Изд. №	Изд. №	Изд. №
Лист и дата	Лист и дата	Лист и дата	Лист и дата	Лист и дата	Лист и дата
Справа №	Справа №	Справа №	Справа №	Справа №	Справа №
Лист промен.	Лист промен.	Лист промен.	Лист промен.	Лист промен.	Лист промен.

				ИЮК/Л.305366.008 СБ		
Имен./Лист	№ док.	Подп.	Дата	Пробка	Лист	Масса
Разработ	Исполн				110	11
Проб	Лист			Сборочный чертеж		
Технпр.				Лист 1	Листов	
Исполн						
Удп						



- 1 \*Размеры для справок.
- 2 \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, ± 2<sup>IT14</sup>.

				ИЮК/Л.752457.026			
Имен./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пробка	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Исполн				8,40	11	
Проб	Лейб				Лист 1	Листов	
Инженер				Заготовка			
Удп				ИЮК/Л.723111.032			
				Копировал		Формат А2	

Имен./Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Разработ

Исполн

Проб

Лейб

Инженер

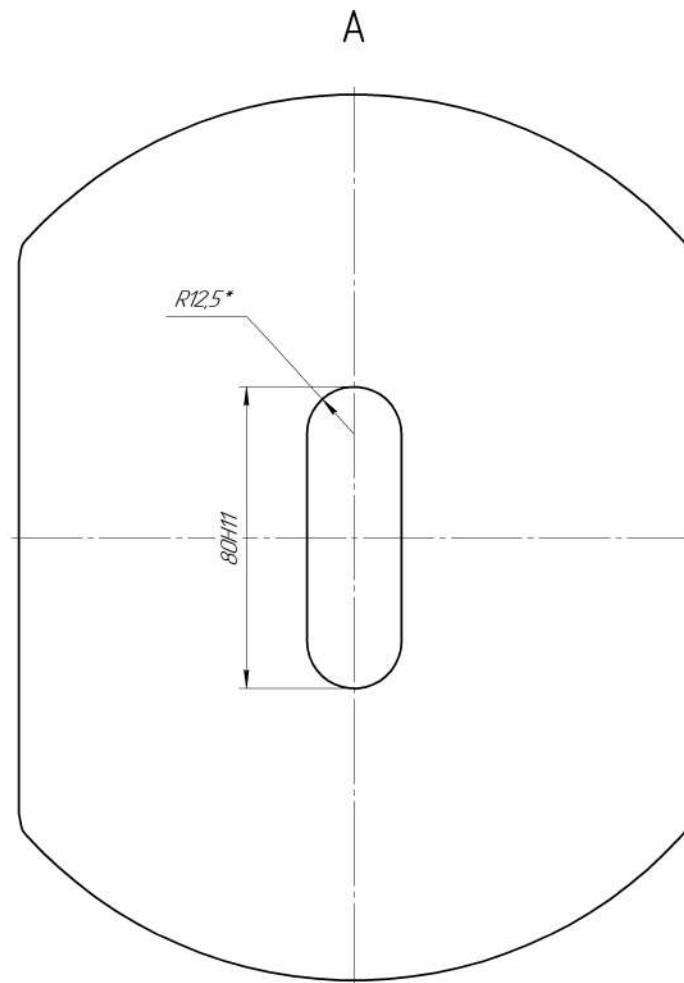
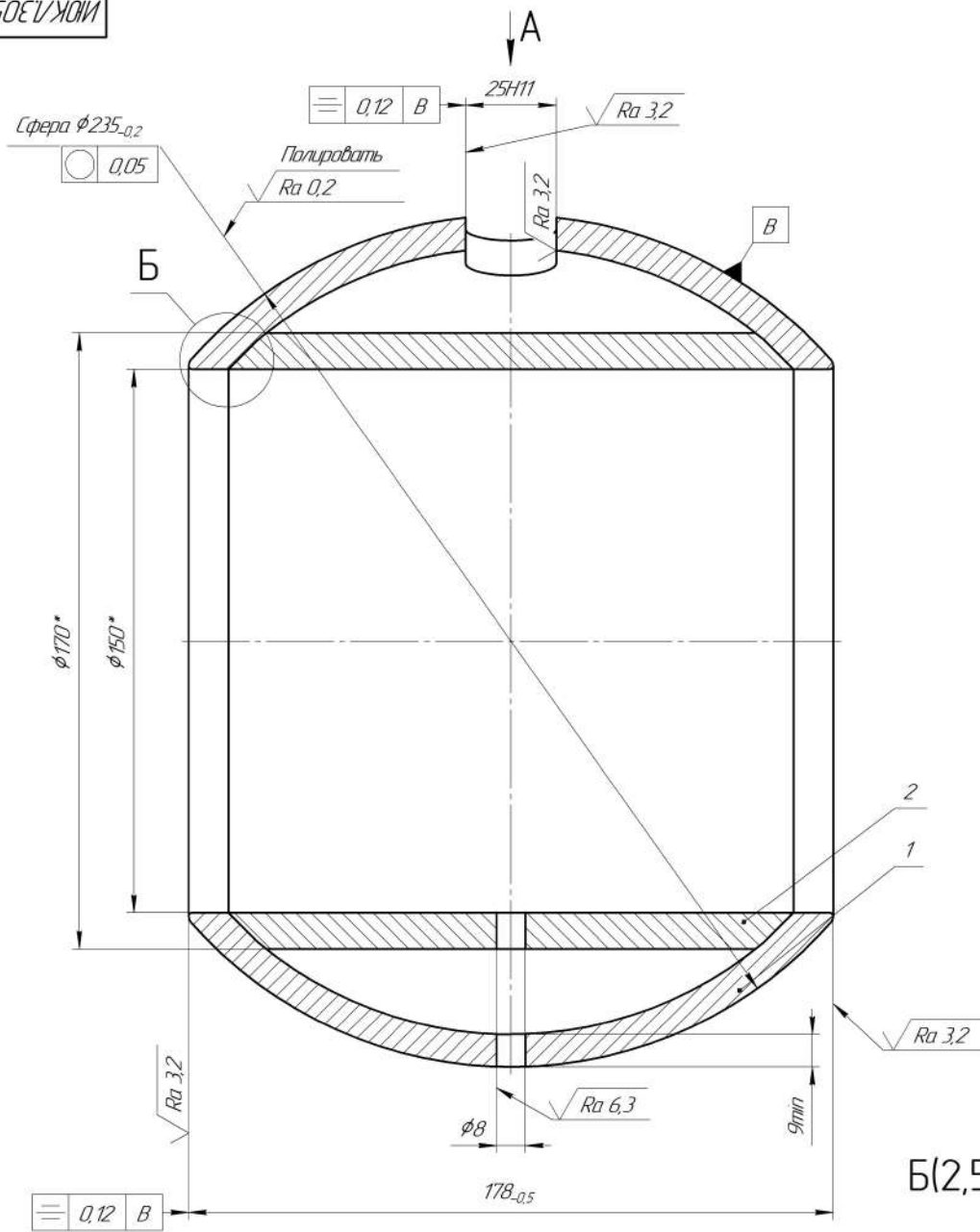
Удп

Лист 1

Листов

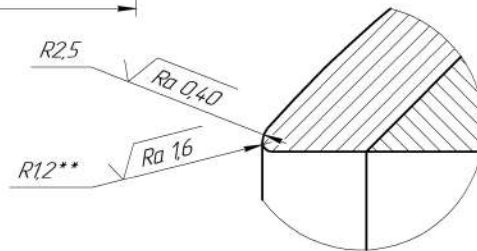
ИЮК/Л.752457.026





- 1 \*Размеры для справок.
- 2 \*\*Размеры обеспечиваются инструментом.
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14, н14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .
- 4 Сборку обеспечить обжимом в штампе.

Б(2,5:1) 2 места



ИЮК/Л.305366.007 СБ				Лист	Масса	Масштаб
Имен./Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14,60	1:1
Разработ	Исполн			Сборочный чертеж		
Проб	Лейб			Лист 1	Листов	
Инженер						
Унб						

**ПРИЛОЖЕНИЕ В. КД ШТАМПА ДЛЯ ОБЖИМА DN50**

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A1			МД.Е4М4 106.000 СБ	Сборочный чертеж		
<i>Детали</i>						
A2	1		МД.Е4М4 106.001	Верхняя полуматрица	1	
A2	2		МД.Е4М4 106.002	Нижняя полуматрица	1	
A4	3		МД.Е4М4 106.003	Оправка	1	
A2	4		МД.Е4М4 106.004	Плита	1	
A3	5		МД.Е4М4 106.005	Траверса	1	
A3	6		МД.Е4М4 106.006	Направляющая	2	
A4	7		МД.Е4М4 106.007	Стержень	4	
A4	8		МД.Е4М4 106.008	Втулка	2	
A4	9		МД.Е4М4 106.009	Хвостовик	1	
A4	10		МД.Е4М4 106.010	Упор	1	
A4	11		МД.Е4М4 106.011	Держатель	1	
МД.Е4М4 106.000						
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата	
Разраб. Яковлев						
Проб. Лобов						
Н.контр.						
Утв.						
<b>ШТАМП</b>				Лит. Лист Листов		
<b>БГТУ</b>				1 2		

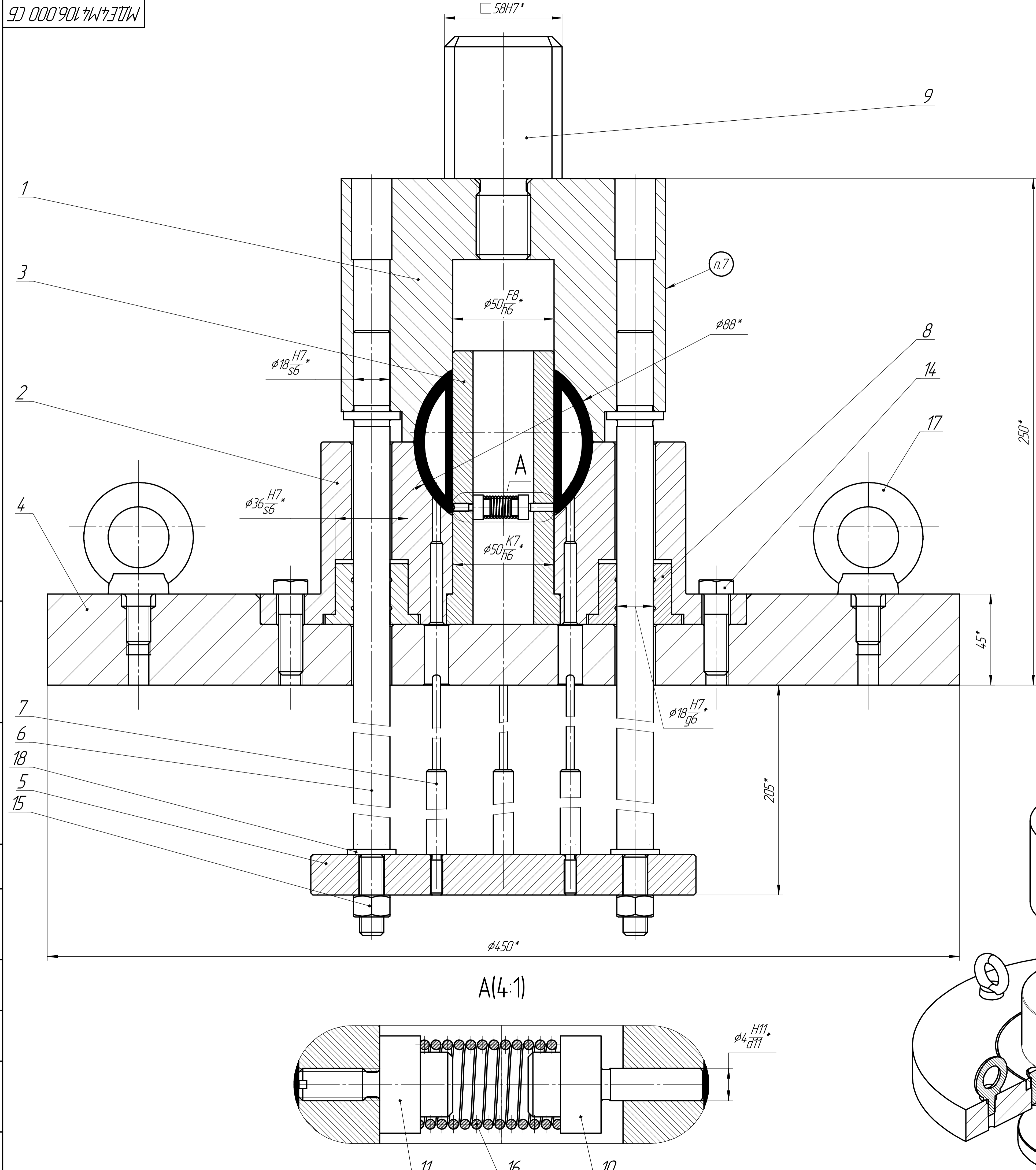
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<i>Стандартные изделия</i>		
		14		<i>Болт М12-6дх40 ГОСТ 7796-70</i>	4	
		15		<i>Гайка М12-6Н.5.06 ГОСТ 5915-70</i>	2	
		16		<i>Пружина 1086-0783 ГОСТ 18793-80</i>	1	
		17		<i>Рым-болт М12 ГОСТ 4751-73</i>	4	
		18		<i>Шайба А.12.01.08кп.06 ГОСТ 11371-78</i>	2	

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № докл.	Подп. и дата

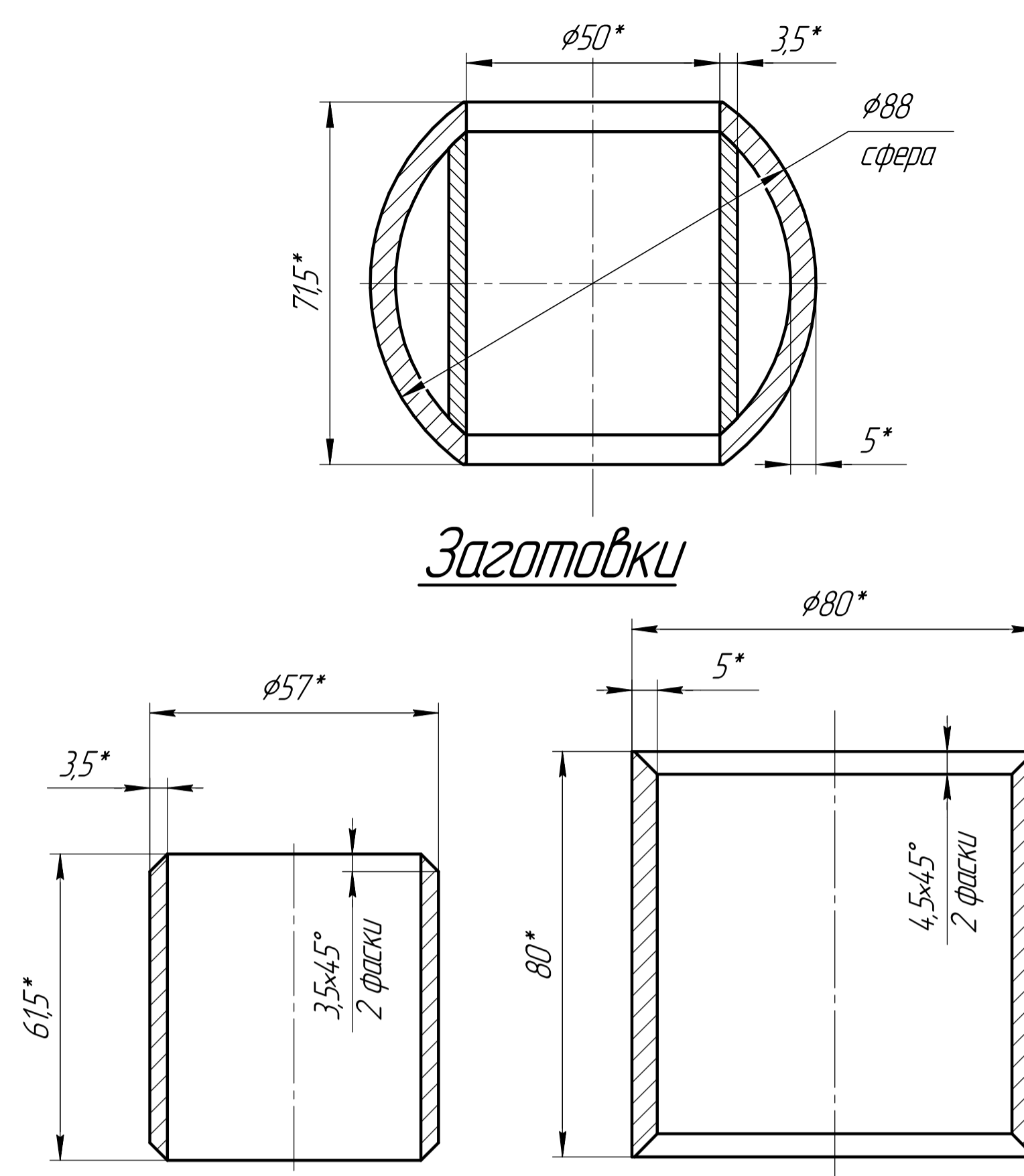
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

*МД.Е4М4 106.000*

Лист  
2

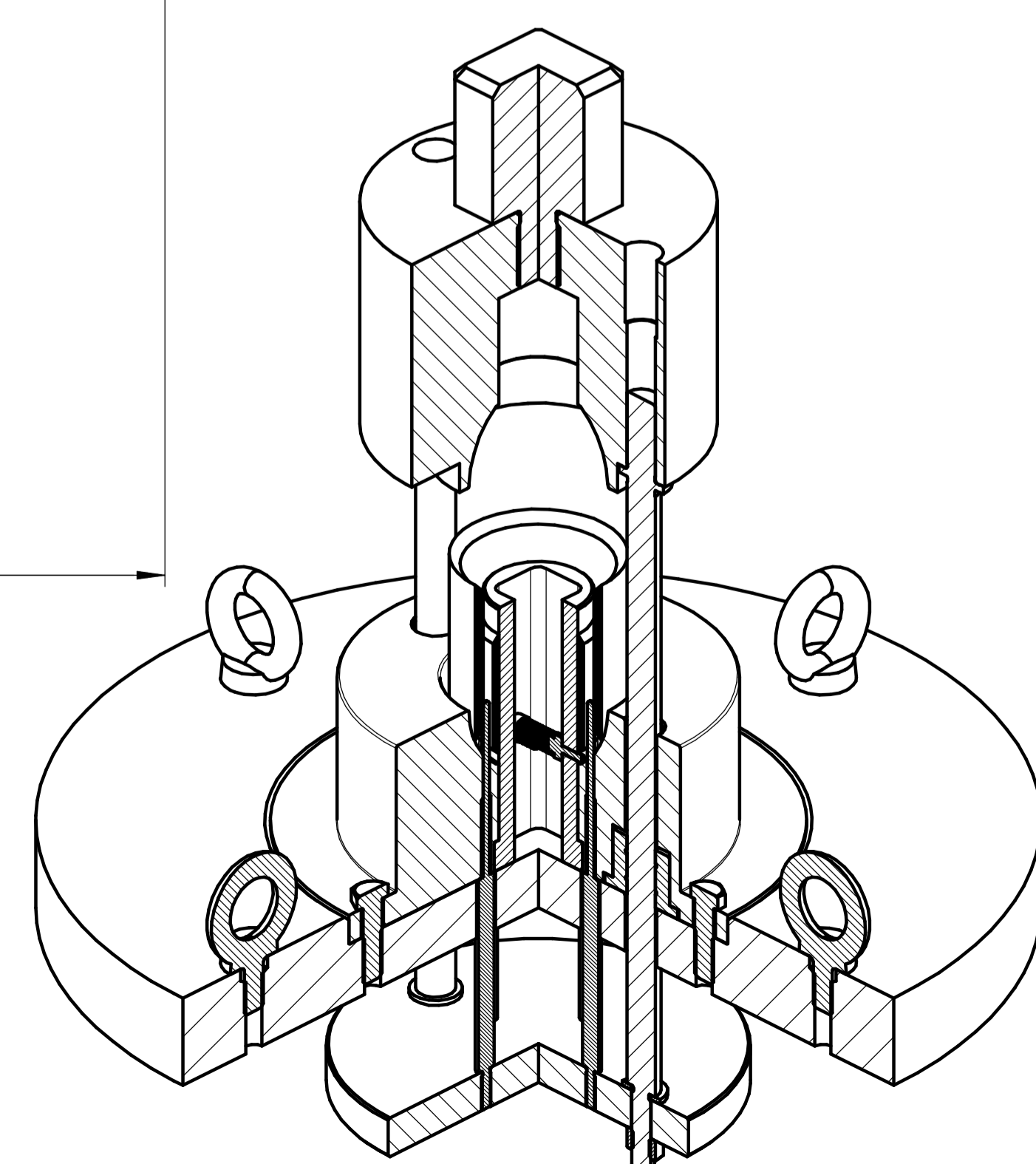


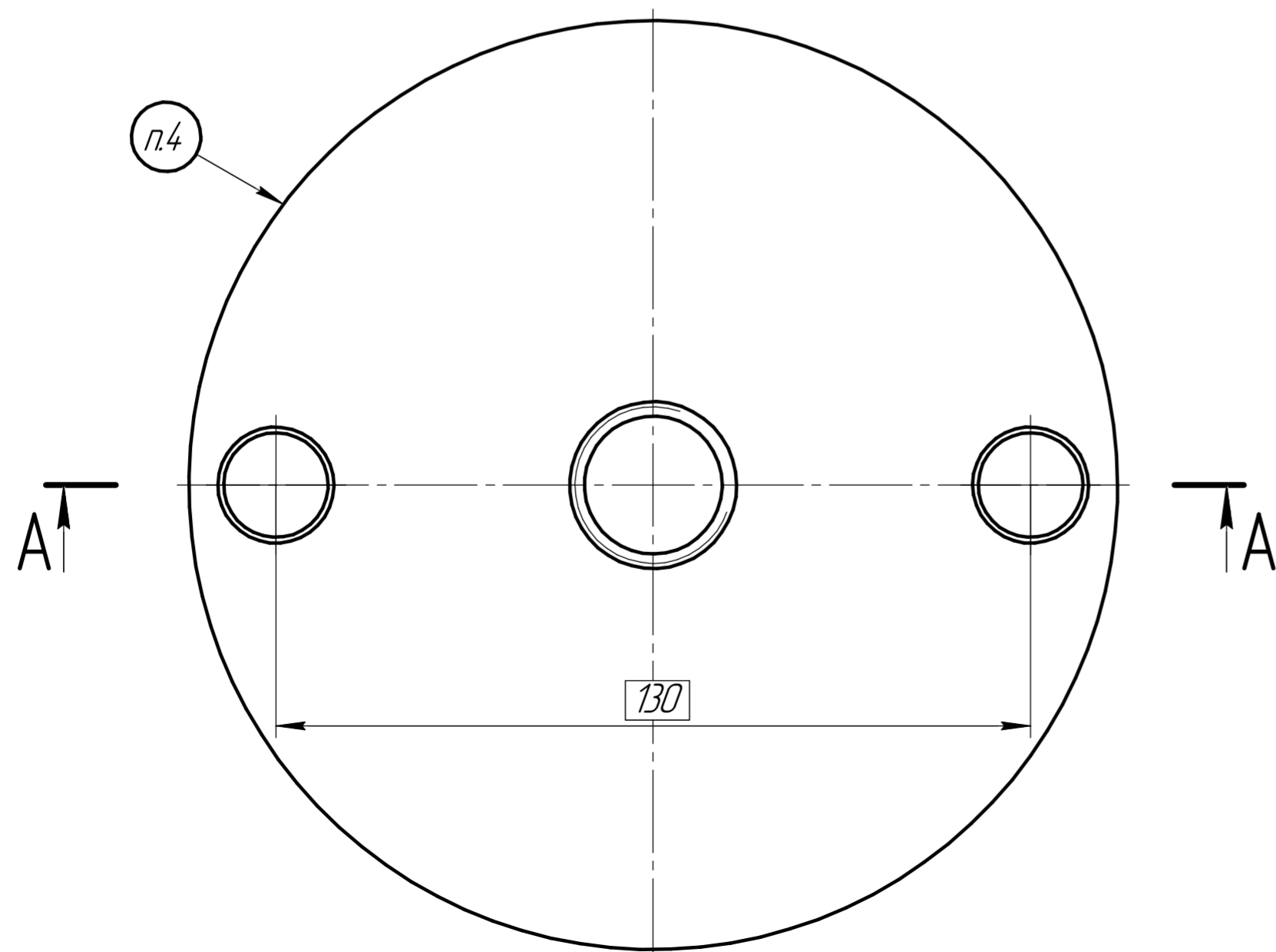
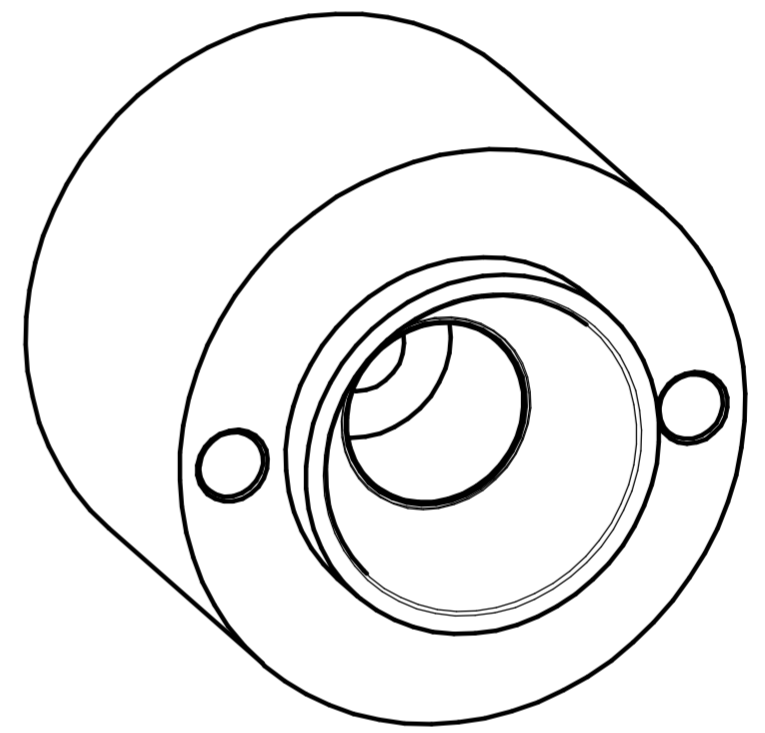
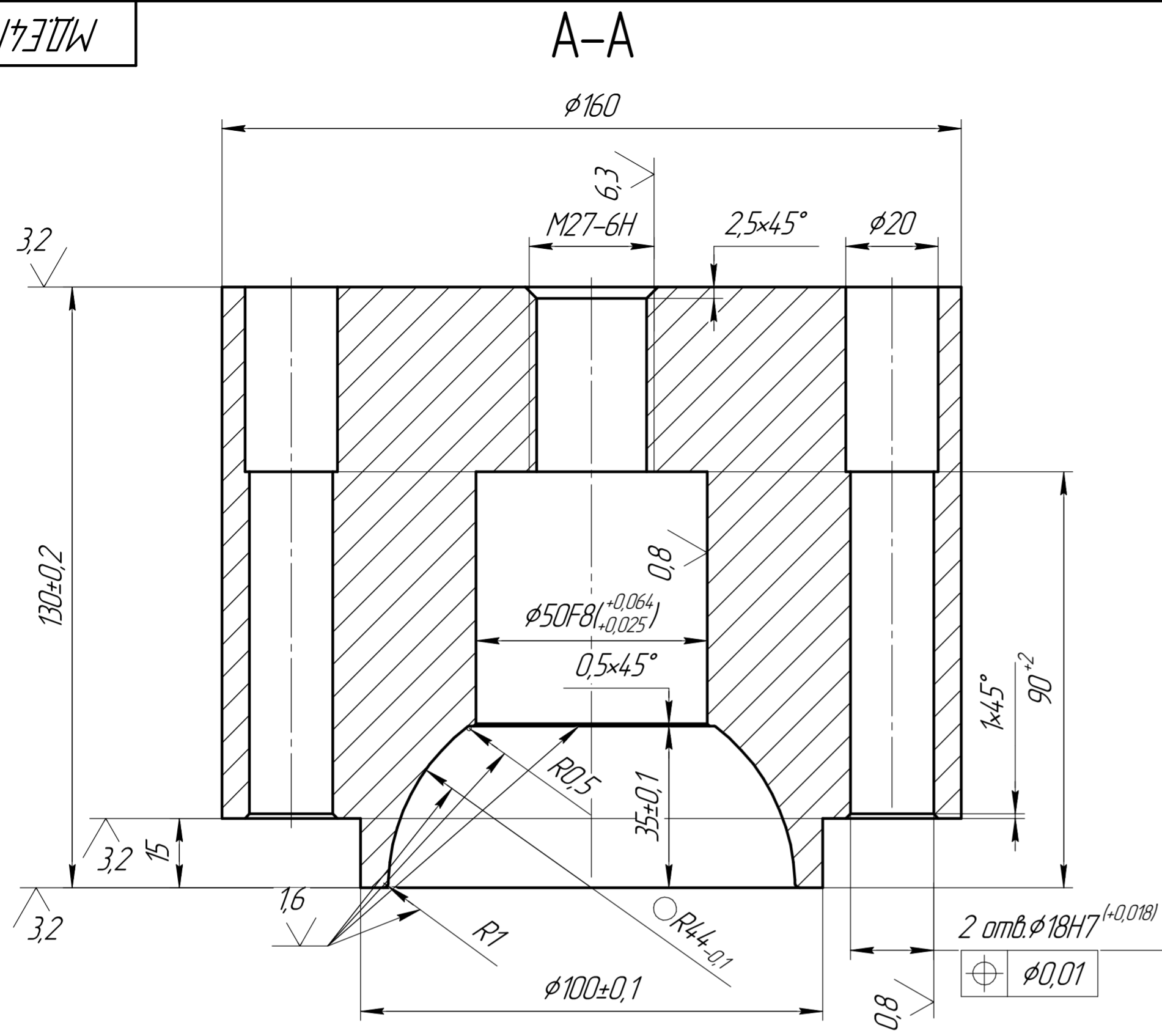
Операционный эскиз



1. Штамп предназначен для обжима и сборки шаровой пробки DN 50.
2. Аттестовать по первой детали.
3. \*Размеры для справок.
4. Штамп должен разниматься гладко, тяжелый разъем недопустим.
5. Стык оправки поз.3 и держателя поз.11 на наружной поверхности герметизировать сваркой и зачистить.
6. Обратный ход - 114 мм max.
7. Маркировать: МД.Е4.М4.106.000 DN 50.  
"Работать при двучручном включении пресса".
- Шрифт 15-ПрЗ ГОСТ 26.008-85. Залить эмалью ПФ-115 ГОСТ 6465-76 красной.
8. При эксплуатации штампа соблюдать требования безопасности ГОСТ 12.3.026-81 и инструкцию по технике безопасности предприятия.
9. Остальные технические требования по ГОСТ 224.72-87.

				МД.Е4.М4.106.000 СБ		
				Штамп		
				Сборочный чертёж		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса
Разраб.	Листов	Листов			96	1.1
Проб.	Листов				Лист	Листов
Т.контр.						1
Н.контр.					БГТУ	
Этб.					Копирабол	



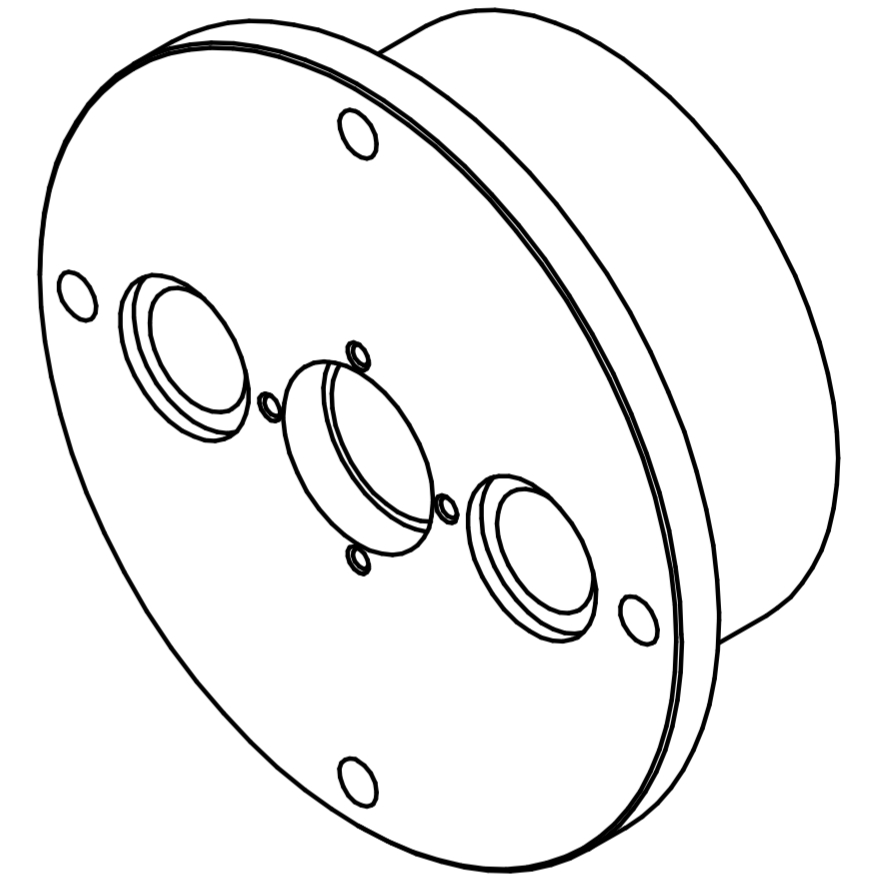
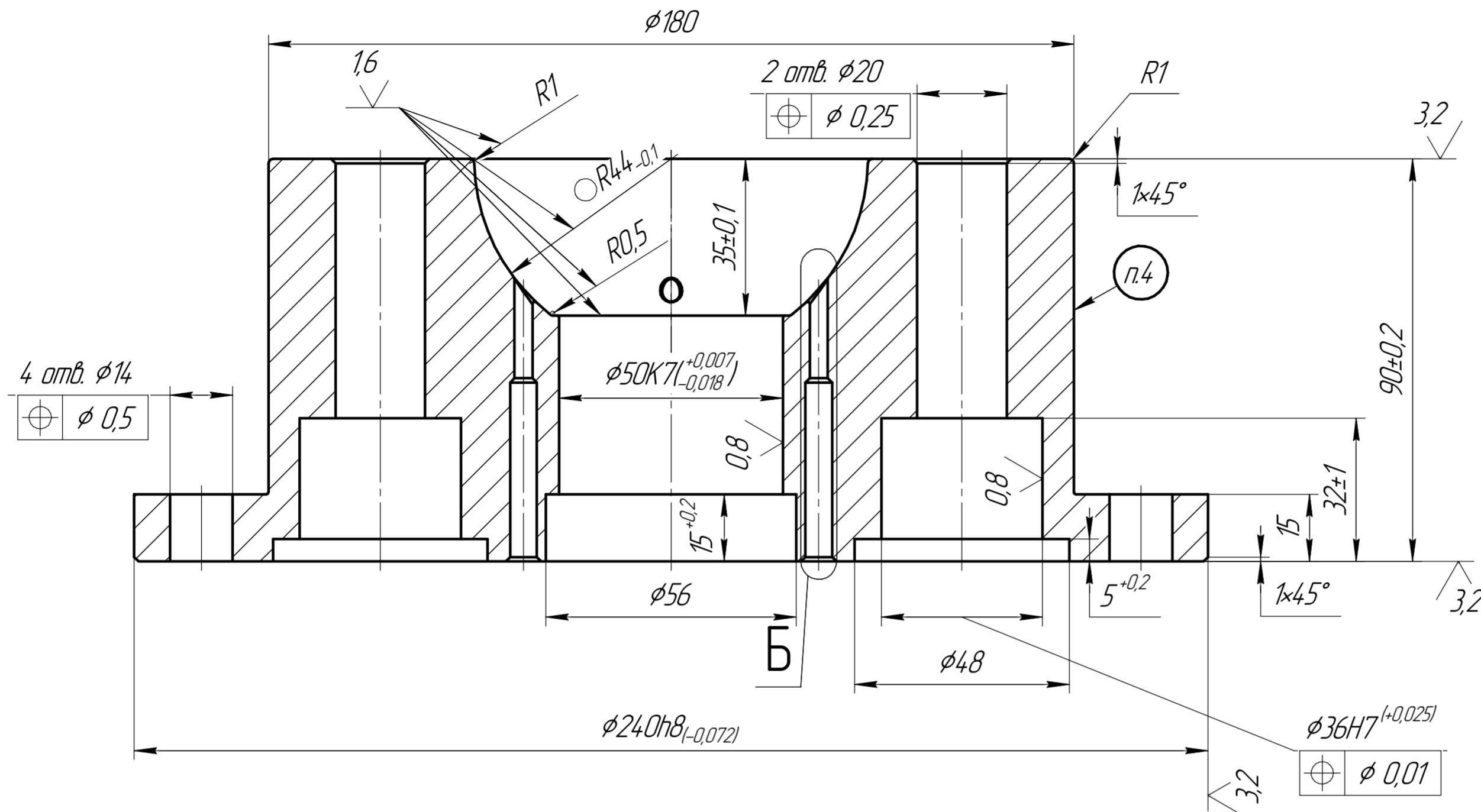


1. 48..52 HRC.
2. H14, h14, ±t/2.
3. Острые кромки притупить до R0,5 min.
4. Маркировать Ч.
5. Допускается замена материала на сталь 9ХС, Х12 ГОСТ 5950-2000 с интервалом твердости 56..63 HRC.

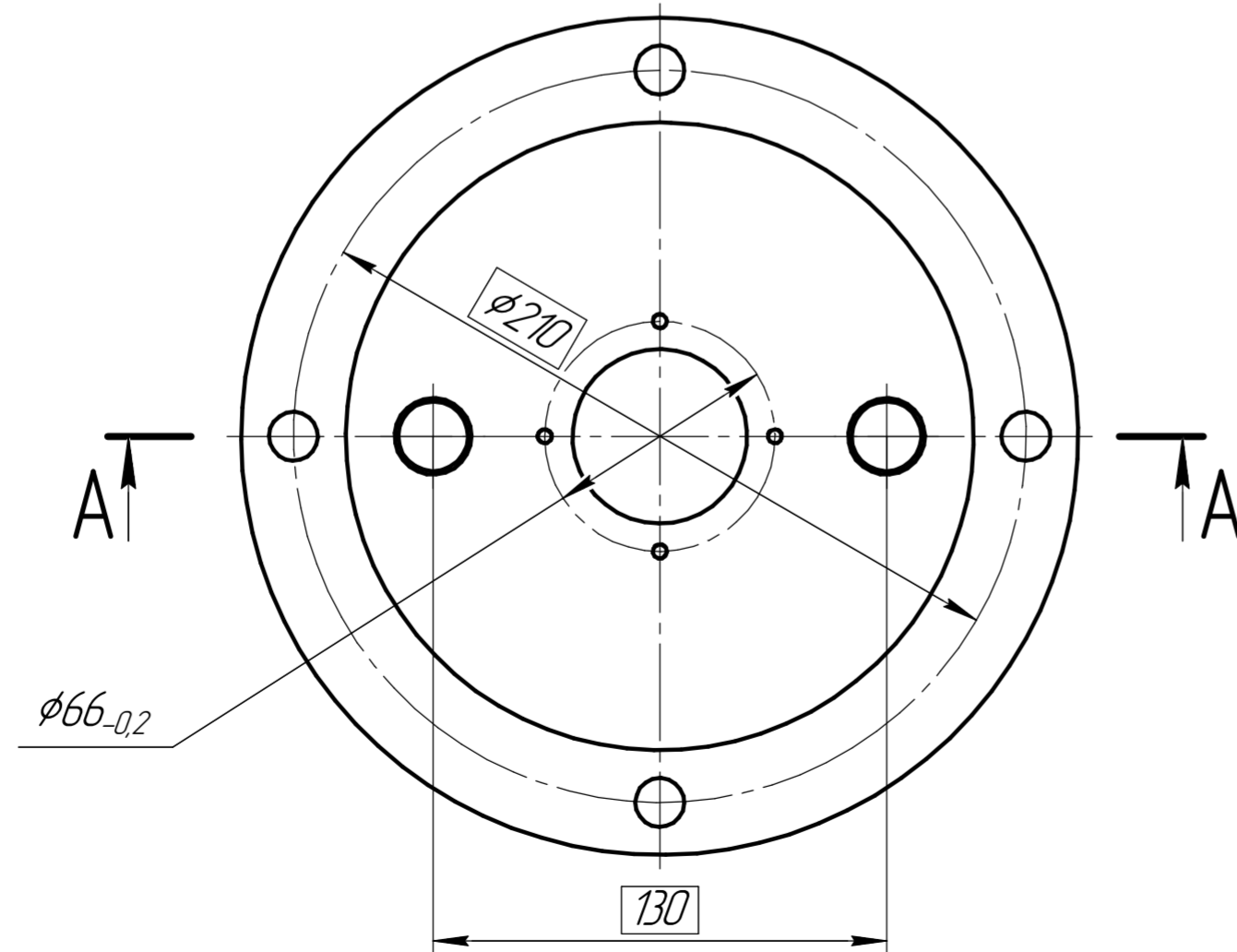
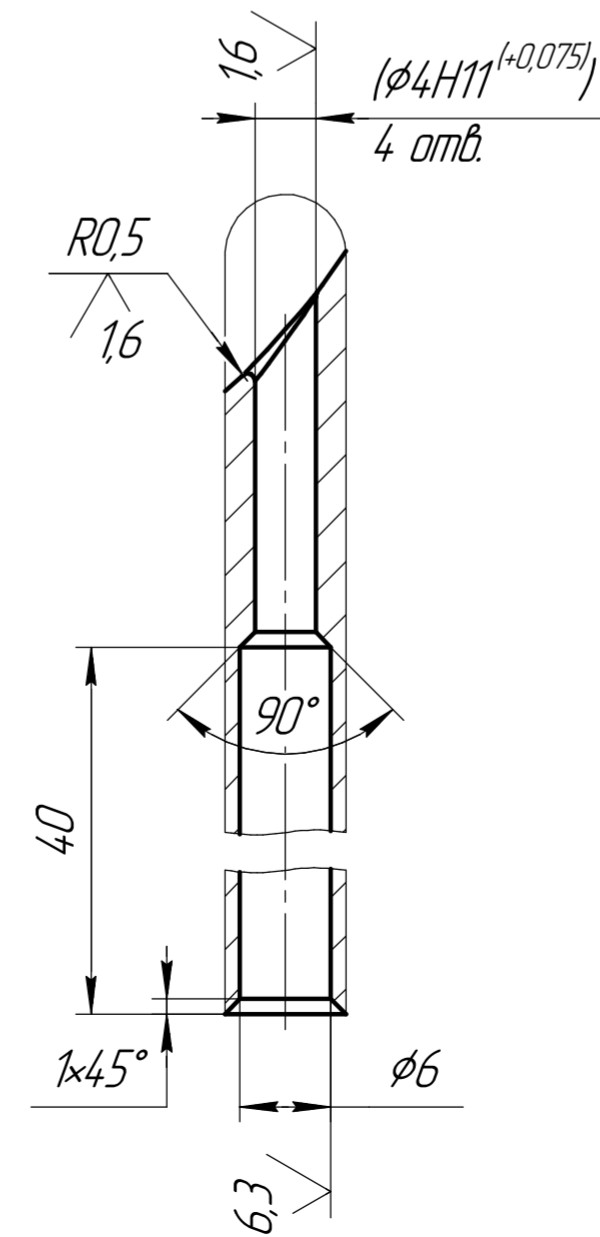
МД.Е4М4.106.001				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Яковлев				13,6	1:1
Проб.	Лобов				Лист	Листов 1
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.						
Верхняя полуматрица					Сталь 7Х3 ГОСТ 5950-2000	
					БГТУ	

Перв. примен.  
Справ. №  
Инд. № дробл.  
Взам. инд. №  
Подп. и дата  
Инд. № подл.

A-A(1:1)



Б(2:1)



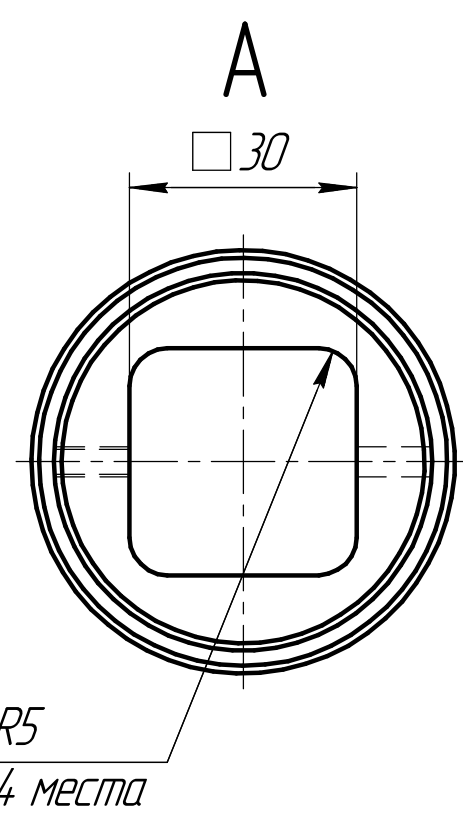
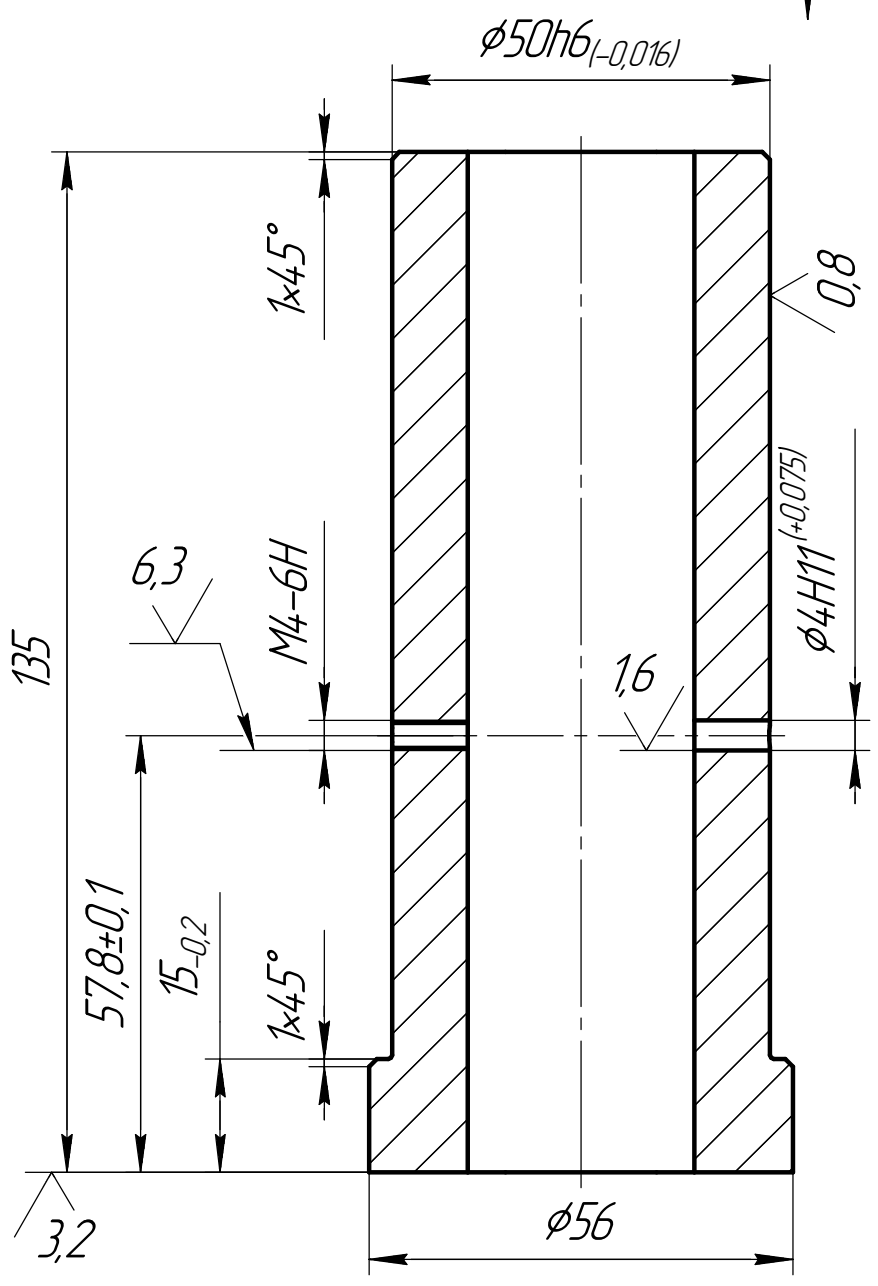
1. 48..52 HRC.
2. H14, h14, ±2/2.
3. Острые кромки притупить до R0,5 min.
4. Маркировать Ч.
5. Допускается замена материала на сталь 9ХС, Х12 ГОСТ 5950-2000 с интервалом твердости 56..63 HRC.

				МД.Е4М4.106.002			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев					17	1:2
Проб.	Лобов				Лист	Листов	1
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							
Нижняя полуматрица					БГТУ		
Сталь 7Х3 ГОСТ 5950-2000							

Инв. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № дроб. Подп. и дата. Справ. № Перв. примен.

МД.Е4М4 106.003

12,5  $\sqrt{\quad}$  ( $\checkmark$ )



1. 40...48 HRC.
2. h14,  $\pm 2/2$ .
3. Острые кромки притупить до R0,5 min.
4. Маркировать Ч на бирке.

Перв. примен.  
Справ. №

Подп. и дата  
Инв. № дробл.  
Взам. инв. №

Подп. и дата  
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Яковлев		
Проб.		Лодов		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

МД.Е4М4 106.003

Оправка

Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016

Лит.	Масса	Масштаб
	2,1	1:1
Лист	Листов	1

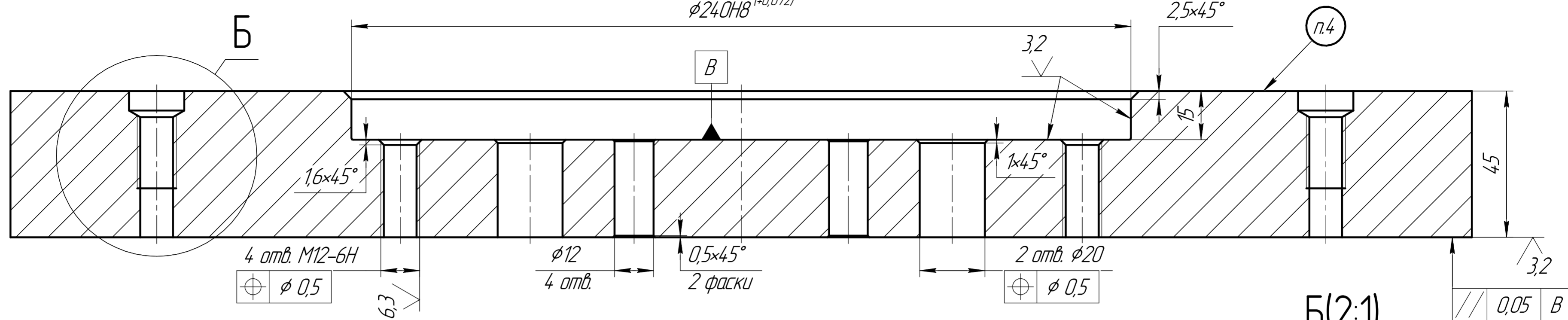
БГТУ



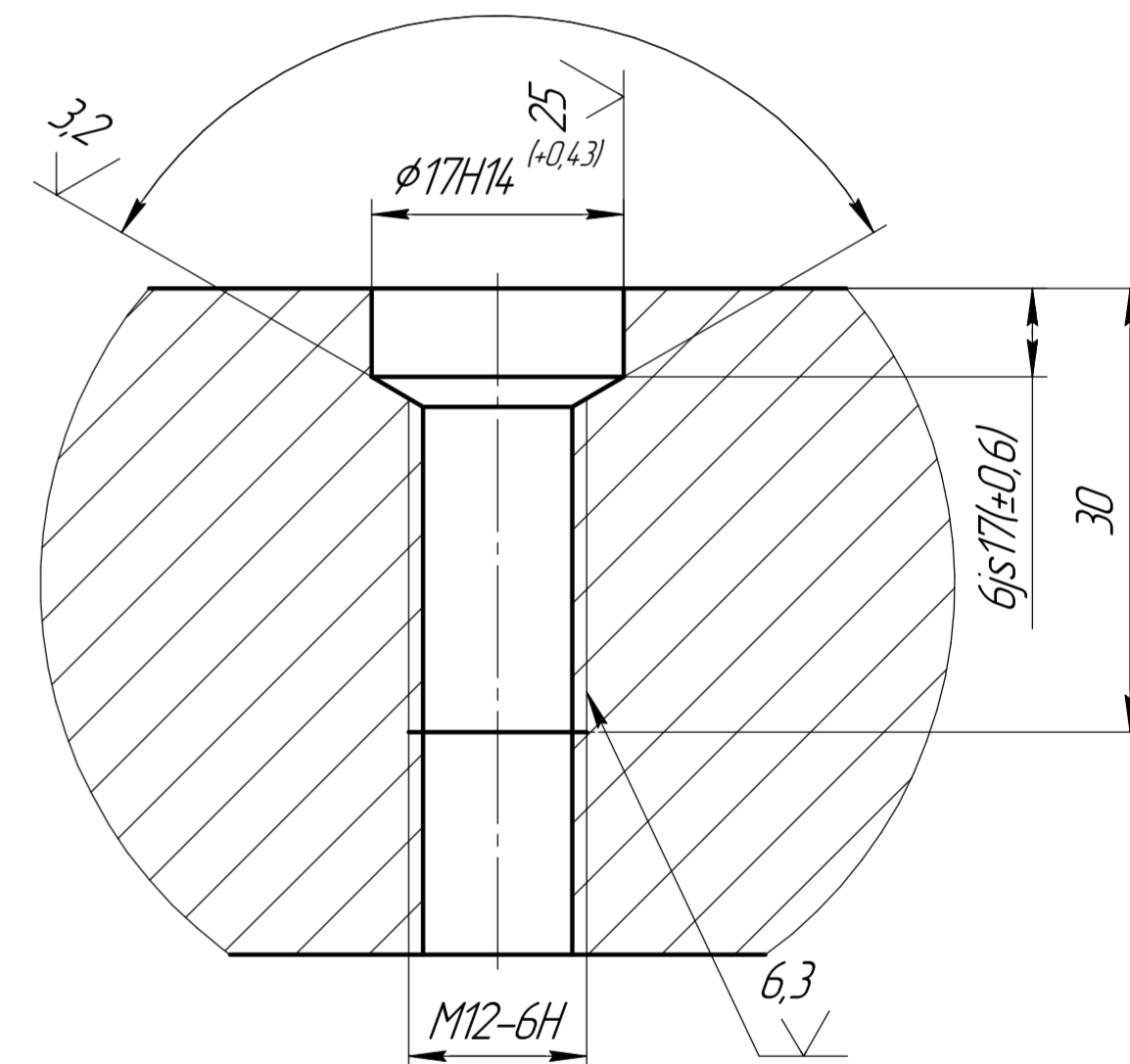
A-A(1:1)

φ240H8 (+0,072)

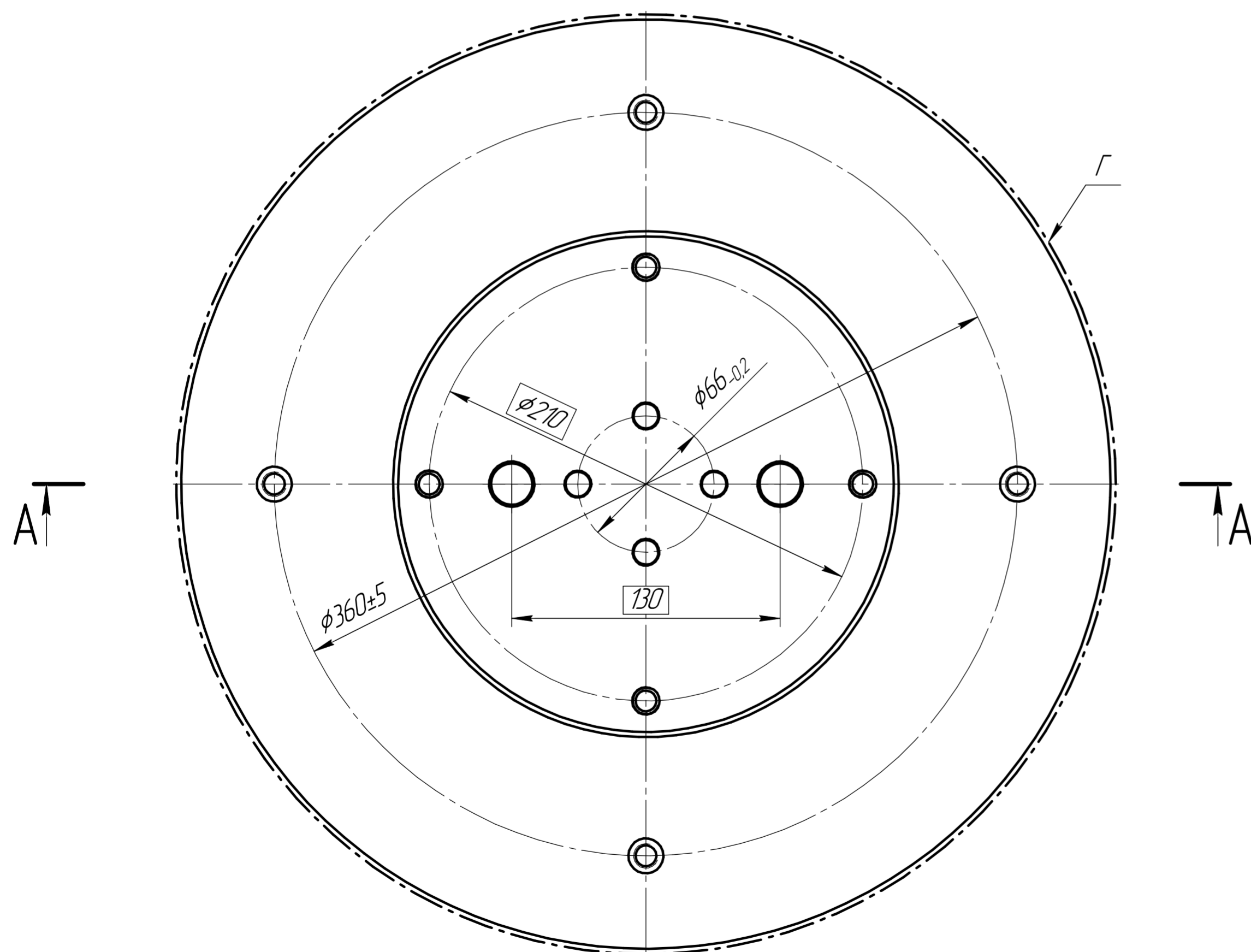
12,5 (✓)



Б(2:1)  
4 места  
120°



1. H14, h14, ±t/2.
2. Острые края притупить до R0,5 min.
3. Покрытие поверхности Г: грунт ВЛ-02 (1) ГОСТ 12707-77, эмаль ПФ-115 (2) ГОСТ 6464-76, желтая.
4. Маркировать Ч.
5. Допускается замена материала на сталь 10, 30, 40, 45 ГОСТ 1050-2013.

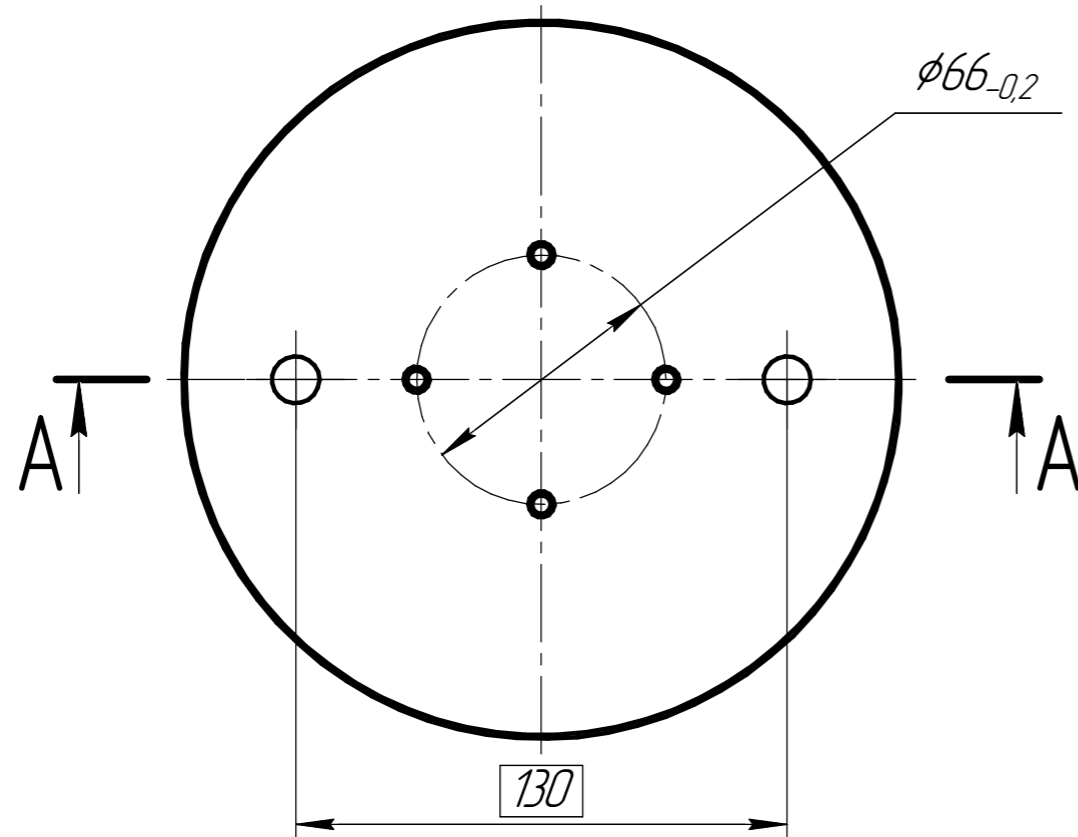
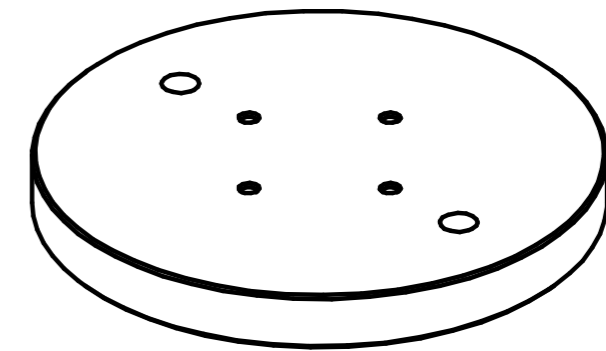
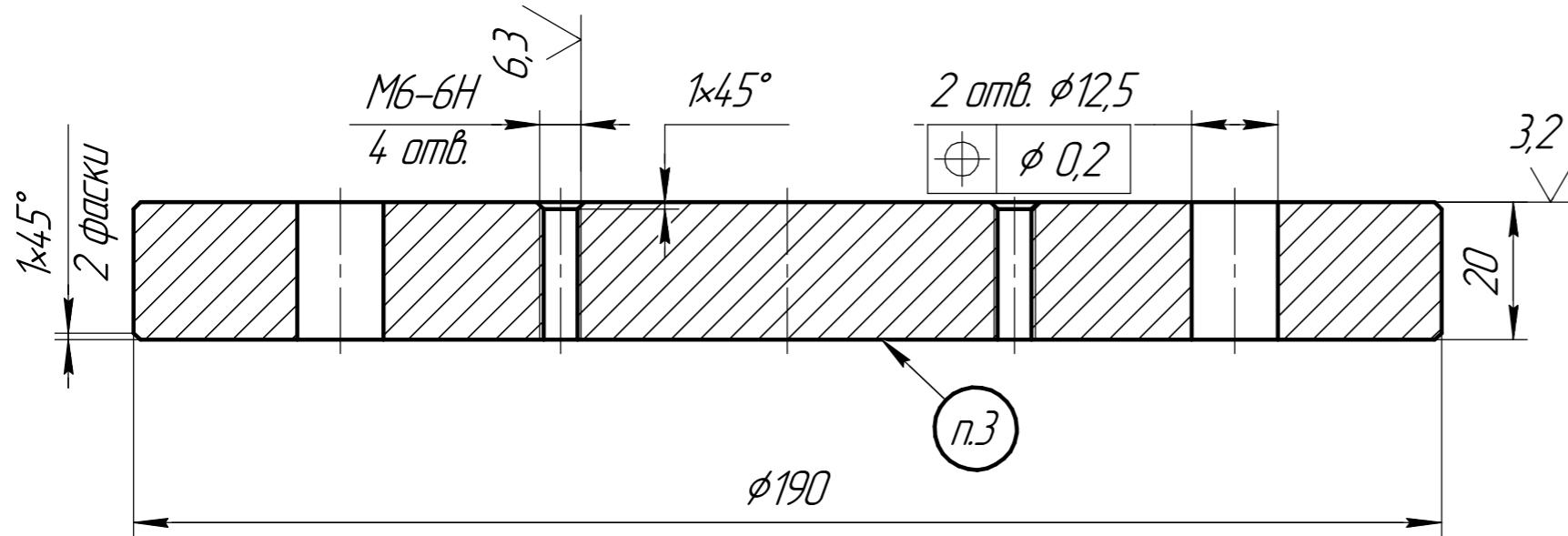


				МД.Е4.М4.106.004			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев					86,5	1:2
Проб.	Лобов				Лист	Листов	1
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							
					Плита		
					Сталь 20 ГОСТ 1050-88		БГТУ

МД.Е4М4 106.005

12,5  $\sqrt{\checkmark}$

A-A(1:1)



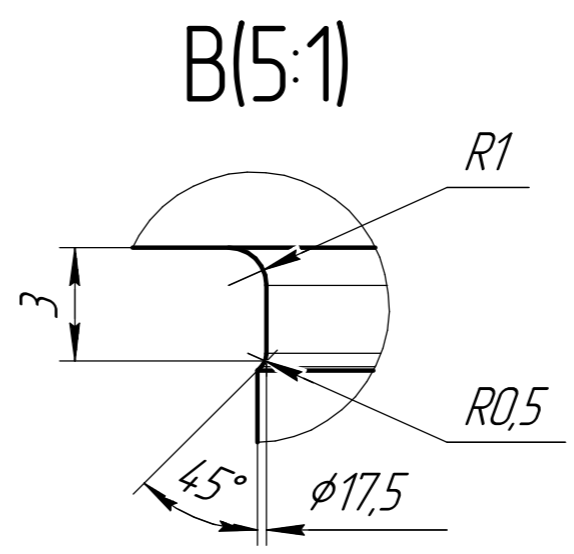
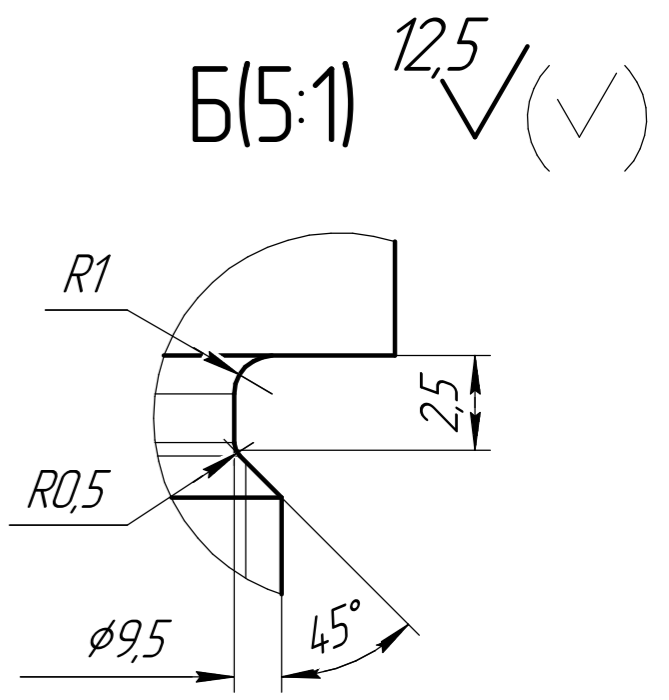
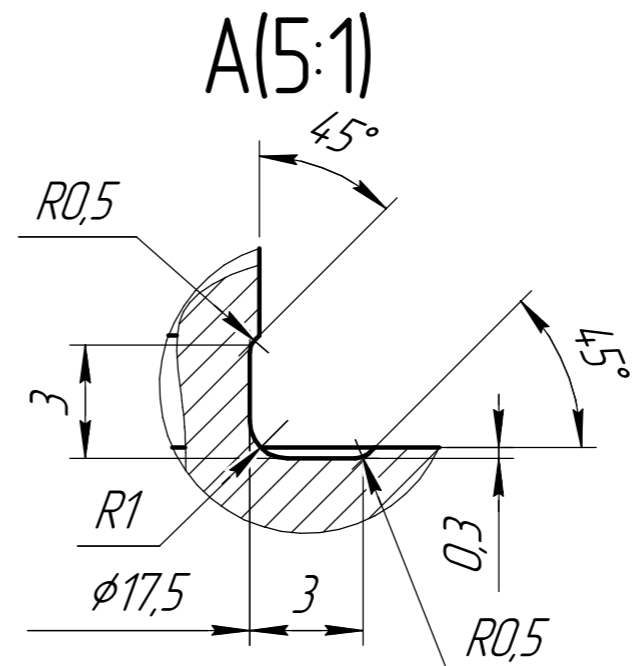
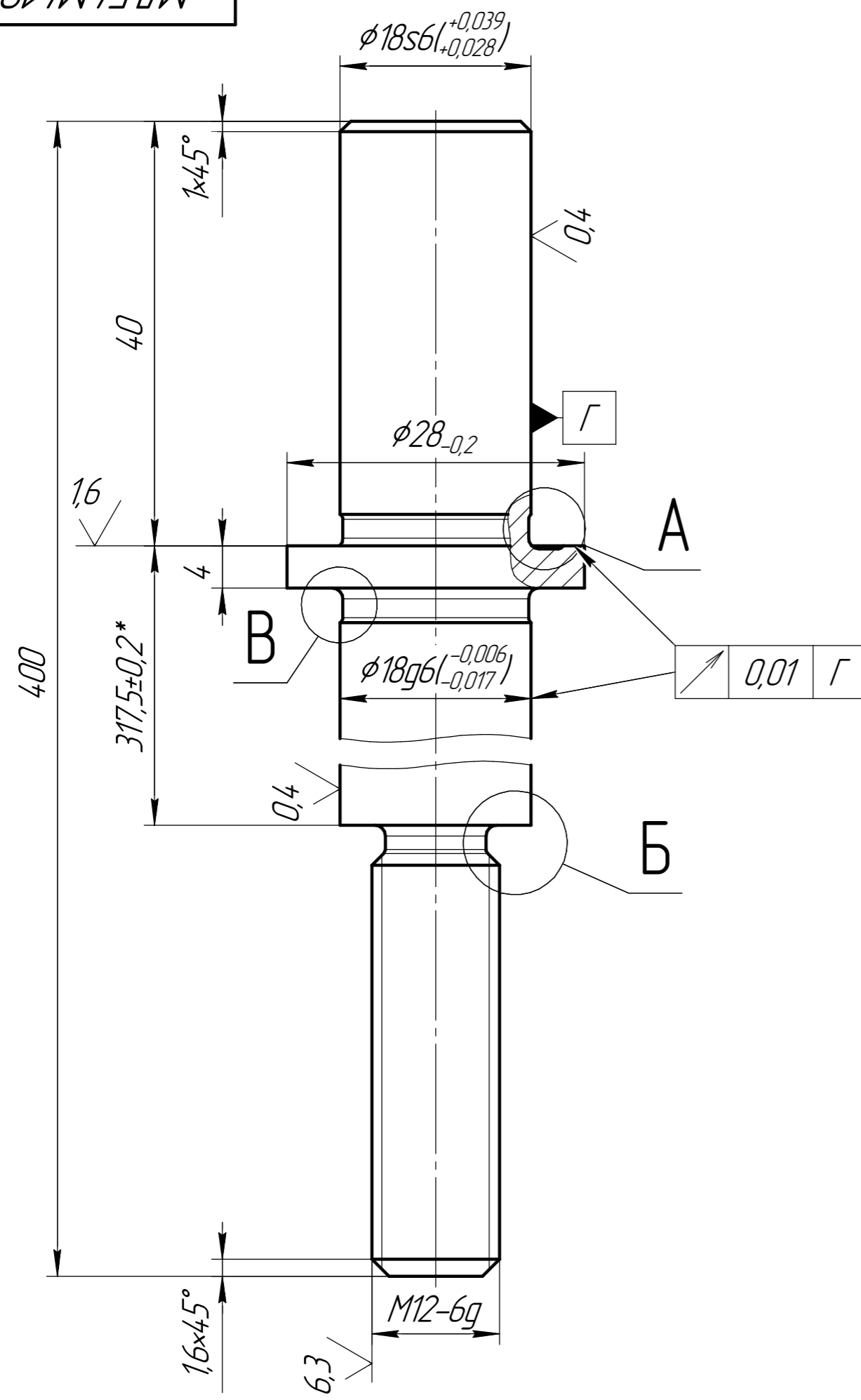
1. Н14, h14, ±t2/2.
2. Покрытие: Хим. фос. прм.
3. Маркировать Ч.
4. Допускается замена материала на сталь 10, 20, 30, 40 ГОСТ 1050-2013.

Перв. примен.	
Справ. №	
Подп. и дата	
Инд. № дюрл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

				МД.Е4М4 106.005				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Траверса</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев						4,36	1:2
Проб.	Лобов					Лист	Листов 1	
Т.контр.								
И.контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	<b>БГТУ</b>		
Утв.								

МД.Е4М4 106.006

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инд. № дюрл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инд. № подл.



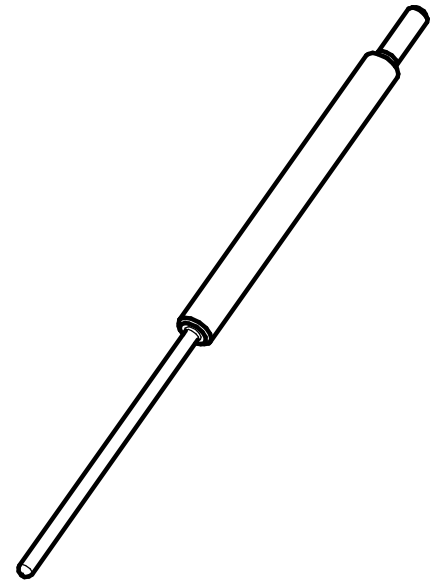
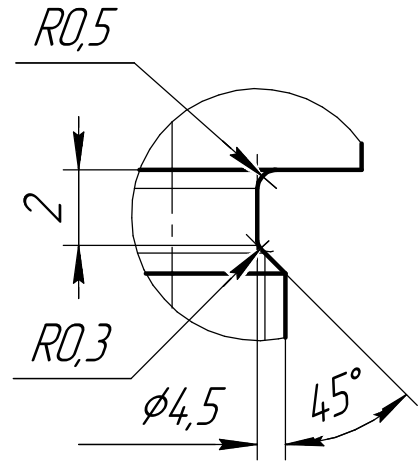
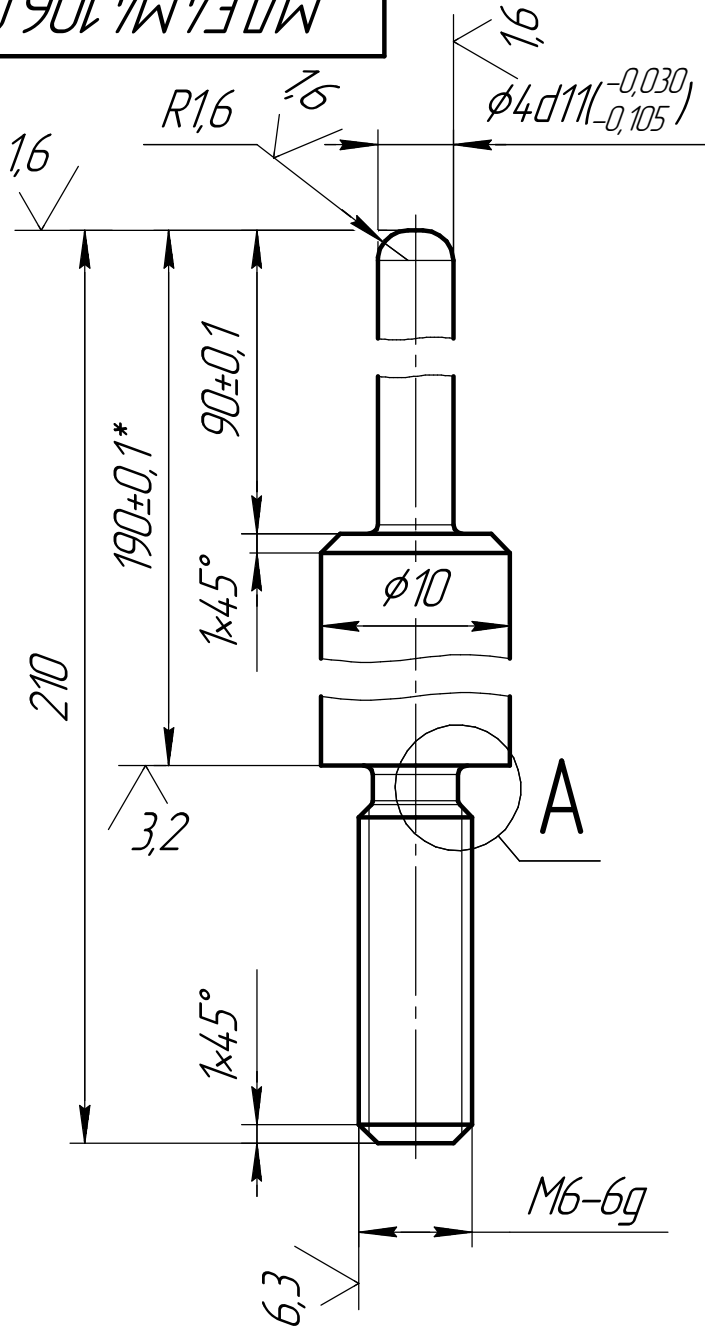
1. Цементировать h 0,8...1,2; 55...59 HRC.
2. h14, ±t2/2.
3. \*Обработать 2 детали в один размер ±0,05.
4. Маркировать Ч на бирке.

				МД.Е4М4 106.006				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Направляющая	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Яковлев						0,86	2:1
Проб.	Лядов					Лист	Листов	1
Т.контр.					Сталь 20Х ГОСТ 4543-2016	БГТУ		
И.контр.					Копировал Формат А3			
Утв.								

MД.Е4М4106.007

12,5 ✓ (✓)

A(5:1)



1. 32...38 HRC.
2. h12, ±t2/2.
3. \*Обработать 4 детали в один размер ±0,05 мм.
4. Маркировать Ч на бирке.

Перв. примен.  
Справ. №

Подп. и дата  
Инв. № дробл.  
Взам. инв. №

Подп. и дата  
Инв. № подл.

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яковлев		
Проб.	Лодов		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

MД.Е4М4106.007

Стержень

Сталь 40X ГОСТ 4543-2016

Лит.	Масса	Масштаб
	99,2 г	2,5:1
Лист	Листов	1

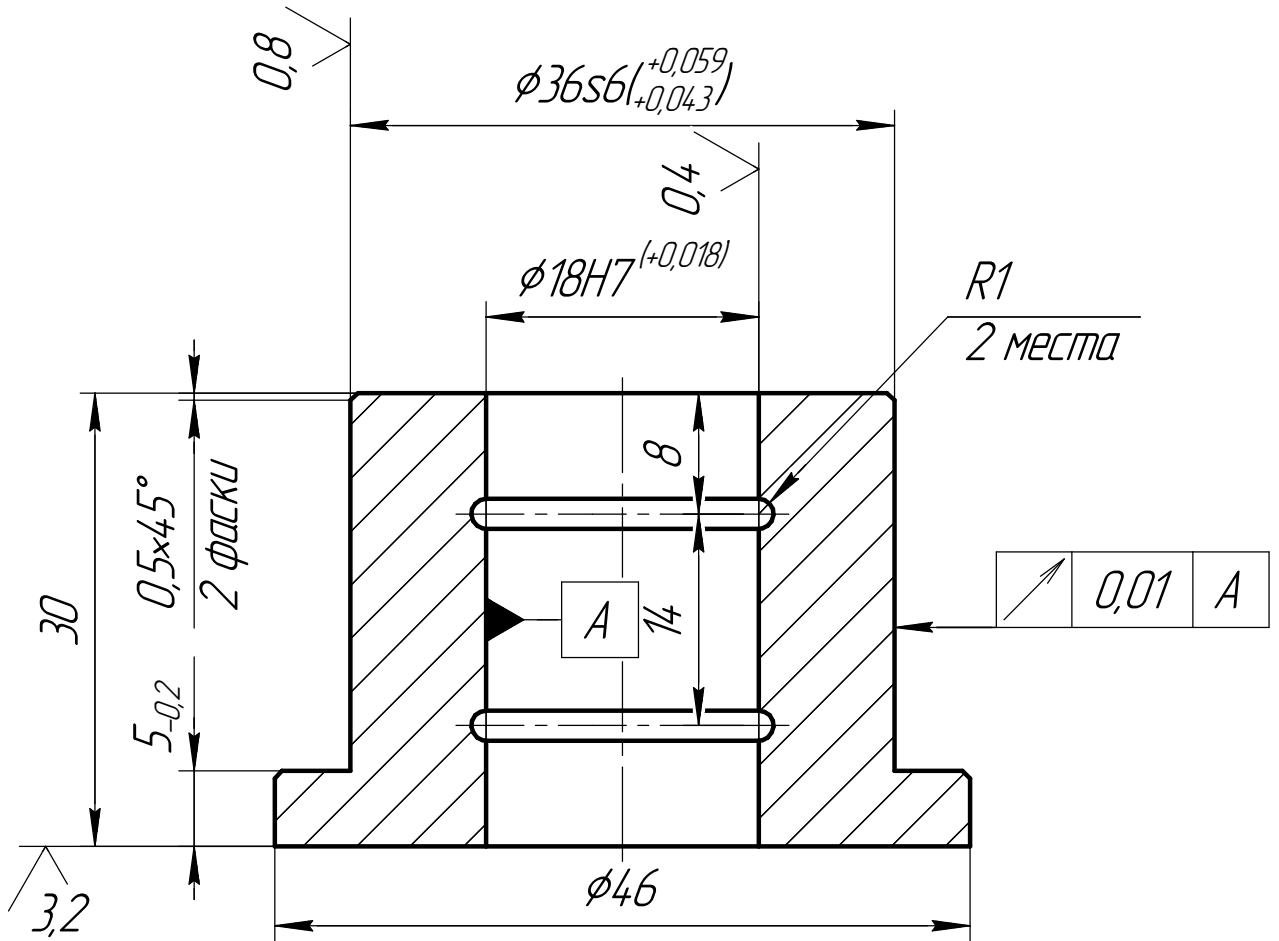
БГТУ

МД.Е4М4 106.008

12,5  $\sqrt{\quad}$  (✓)

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

1. Цементировать h 0,8..1,2; 55..59 HRC.
2. h14,  $\pm t2/2$ .
3. Маркировать Ч на бурке.

МД.Е4М4 106.008

Втулка

Сталь 20Х ГОСТ 4543-2016

Лист	Масса	Масштаб
	215,5 г	2:1
Лист	Листов	1

БГТУ

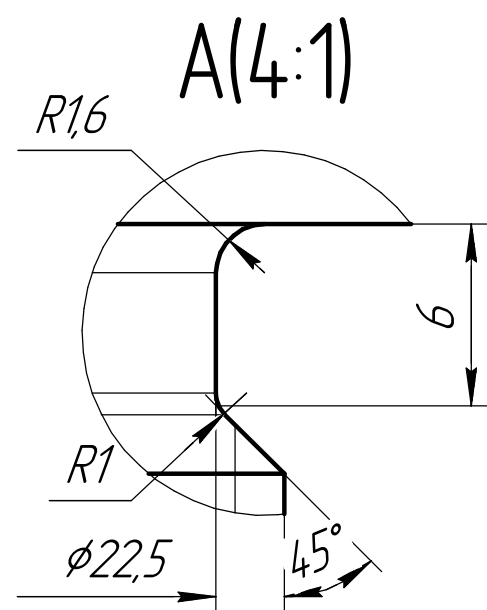
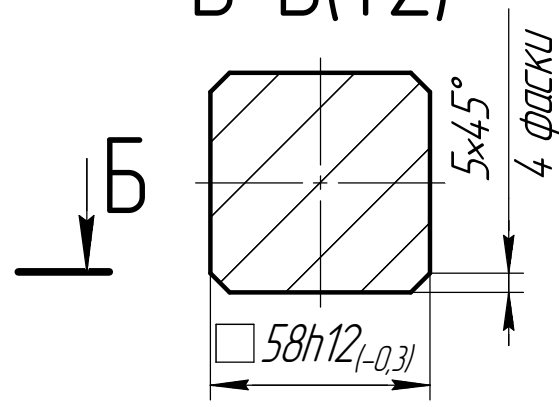
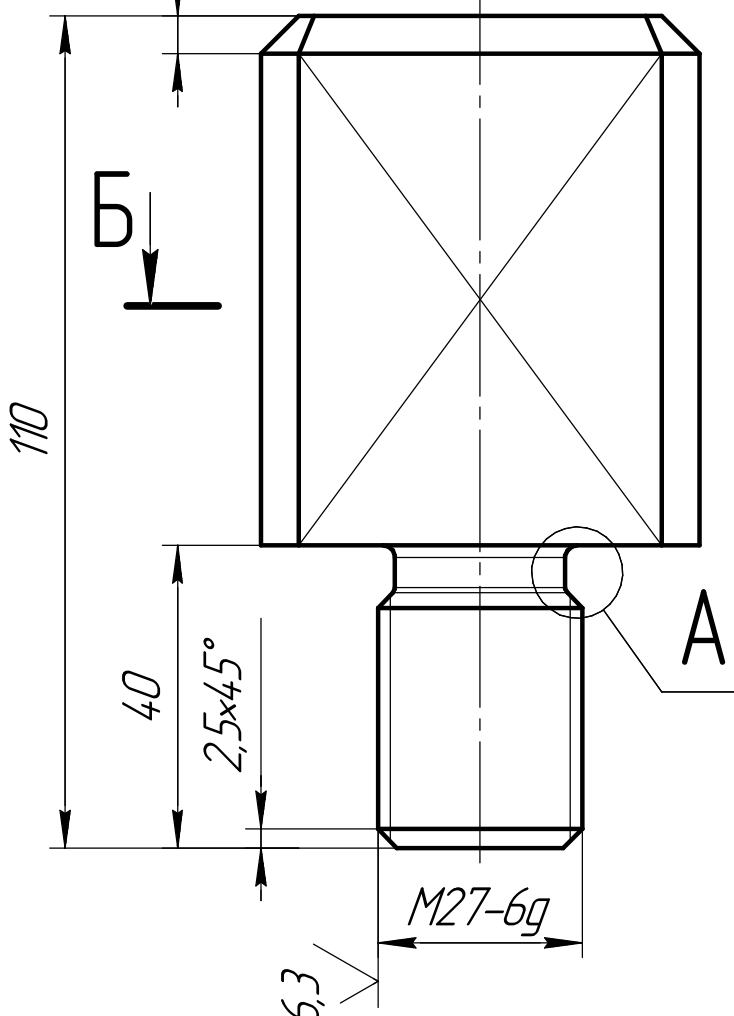
МД.Е4М4.106.009

5x45°

по контуру

12,5  $\sqrt{\quad}$  ( $\checkmark$ )

Б-Б(1:2)



1.  $\pm 2/2$ .
2. Покрытие: Хим. фос. прм.
3. Маркировать Ч на бирке.
4. Допускается замена материала на сталь 10, 20, 30, 40 ГОСТ 1050-2013.

Перв. примен.  
Справ. №

Подп. и дата  
Инв. № дробл.  
Взам. инв. №

Подп. и дата  
Инв. № подл.

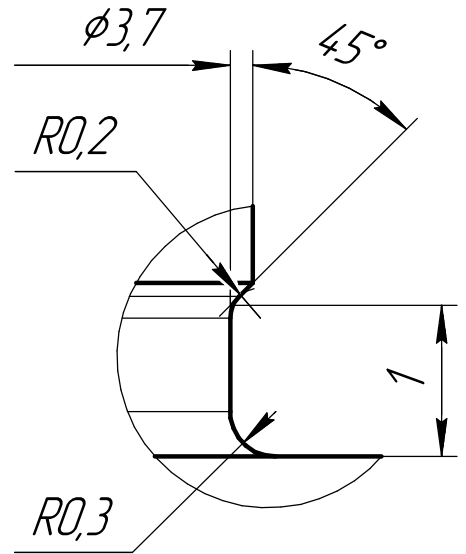
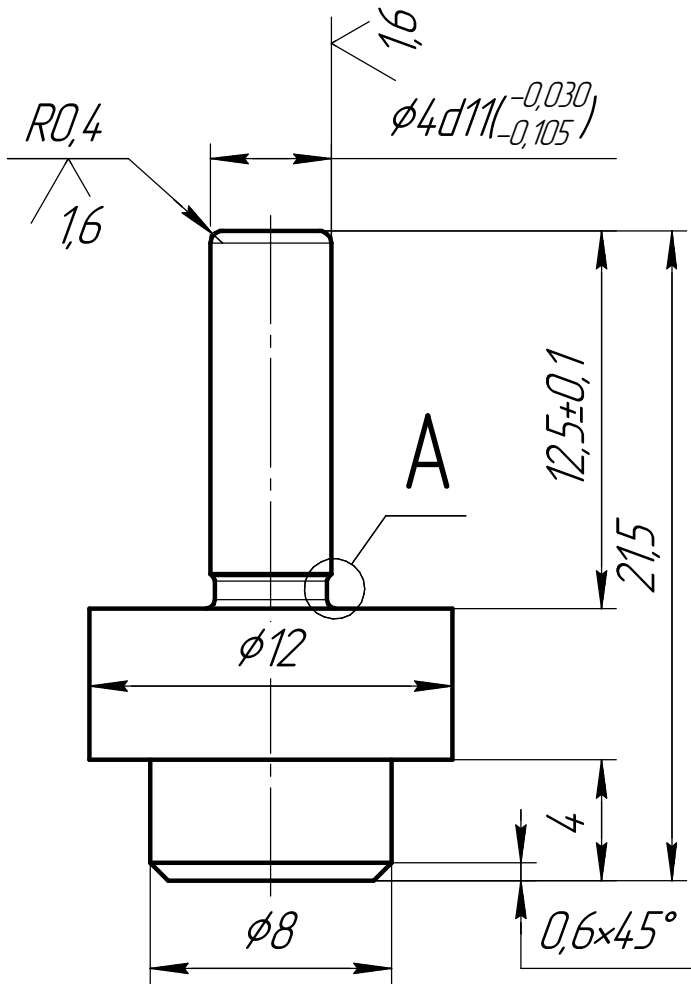
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яковлев		
Проб.	Лодов		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

МД.Е4М4.106.009			
<h1>Хвостовик</h1>	Лист	Масса	Масштаб
		2,6	1:1
<h2>Сталь 45 ГОСТ 1050-2013</h2>	Лист	Листов	1

010'901 +W+ЭTW

12,5  $\sqrt{\quad}$  ( $\checkmark$ )

A(20:1)



1. 40...48 HRC.
2. h14, ±t2/2.
3. Маркировать 4 на бирке.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

МД.Е4М4 106.010

Упор

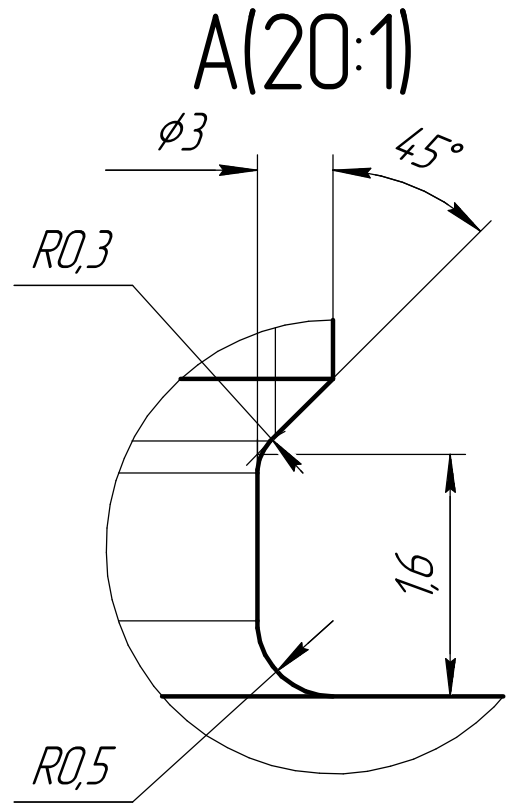
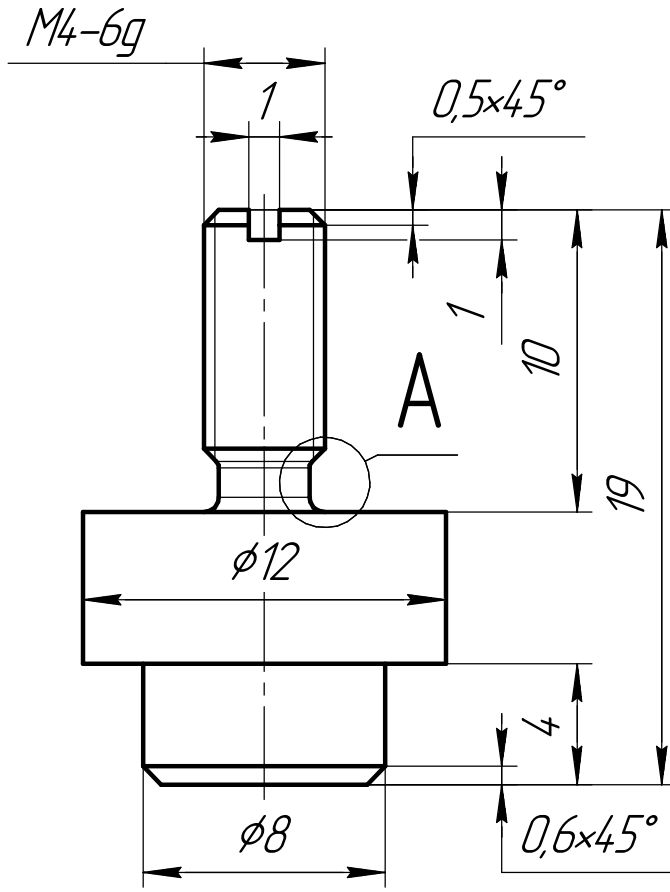
Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016

Лист	Масса	Масштаб
	7,2 г	4:1
Лист	Листов	1

БГТУ

МД.Е4М4.106.011

12,5 ✓ (✓)



1. 40...48 HRC.
2. h14, ±t2/2.
3. Маркировать 4 на бирке.

Перв. примен.  
Справ. №

Подп. и дата  
Инв. № дробл.  
Взам. инв. №

Подп. и дата  
Инв. № подл.  
Н.контр.  
Утв.

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яковлев		
Проб.	Лодов		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

МД.Е4М4.106.011

Держатель

Сталь 40X ГОСТ 4543-2016

Лит.	Масса	Масштаб
	6,92	4:1
Лист	Листов	1

БГТУ