

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**А. Г. Кисель**

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта для  
студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
15.03.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2024

УДК 67.05

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания  
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Кисель, А. Г.

Перспективные технологии автоматизированного машиностроения: учеб.-методич. пособие по выполнению курсового проекта для студ. бакалавриата по напр. подгот. 15.03.01 Машиностроение / А. Г. Кисель – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 52 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению курсового проекта по дисциплине «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» представлены учебно-методические материалы по выполнению необходимых расчетов, подготовке пояснительной записки и чертежей, подготовке к защите работы для студентов специальности 15.03.01 Машиностроение.

Табл. 5, рис. 5, список лит. – 4 наименования

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 18 апреля 2024 г., протокол № 6

Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 мая 2024 г., протокол № 5

УДК 67.05

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2024 г.  
© Кисель А. Г., 2024 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	6
2. КРИТЕРИИ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	20
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	22
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	23

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект предполагает приобретение и закрепление знаний по основам аддитивного производства: методам прямого лазерного нанесения, селективного лазерного плавления и др. Курс «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» по специальности 15.03.01 Машиностроение является для студентов в период обучения предметом, позволяющим в комплексе рассмотреть технологический процесс изготовления машиностроительной продукции аддитивными методами производства.

Пособие предназначено для обеспечения усвоения студентами учебного материала по дисциплине «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение. Пособие может быть использовано при самостоятельной работе студентов над курсовым проектом.

Дисциплина «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» относится к блоку 1 части ОПОП ВО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение.

Целью освоения дисциплины «Перспективные технологии автоматизированного машиностроения» является формирование у студентов знаний по проектированию типовых и групповых технологических процессов на основе применения гибких автоматизированных систем с использованием модульного принципа описания машины как объекта машиностроительного производства.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- особенности перспективных технологий нового поколения;
- особенности гибкого автоматизированного производства;
- метод групповой обработки деталей машин;
- перспективные технологии изготовления разных групп деталей машин в автоматизированном машиностроении;
- модульный принцип описания машин как технической системы;

уметь:

- использовать источники информации при самостоятельной работе по освоению разделов и тем дисциплины;
- обеспечивать техническое оснащение рабочих мест автоматизированным оборудованием с числовым программным управлением и гибкими производственными системами (ГПС);
- применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий;
- подготавливать исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений при проектировании перспективных технологий;
- разрабатывать типовые и групповые технологические процессы изготовления деталей машин в автоматизированном машиностроении;

владеть:

- навыками проектирования типовых и групповых технологических процессов изготовления деталей машин в автоматизированном производстве;
- навыками применения модульного принципа описания машин как технической системы;
- навыками разработки технологической документации при внедрении групповой технологии изготовления деталей машин в автоматизированном машиностроительном производстве;
- навыками проектирования комплексной детали с созданием модулей поверхностей и комплексной заготовки.

# 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

## Цели и задачи

Курсовой проект предусматривает следующие задания:

- 1) составление чертежа и 3D-модели изделия в соответствии с заданием ( типовые задания представлены в приложении Г);
- 2) выбор способов аддитивного производства заданного изделия;
- 3) составление технологии изготовления изделия с обоснованием выбора заготовки, обеспечивающей наименьший припуск, а также 3D-принтера и инструмента;
- 4) назначение методов контроля.

Для выполнения курсового проекта деталь либо назначается преподавателем (приложение Е), либо принимается деталь, имеющаяся для выполнения дипломного проектирования.

Курсовой проект должен содержать пояснительную записку (формат А4) объемом до 25–30 страниц.

## Общие требования к оформлению

Порядок выполнения. Курсовой проект рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- 1) тщательно ознакомиться с заданием и провести анализ особенностей 3D-прототипирования изделий, а также условий их изготовления;
- 2) сделать литературный обзор с целью выбора наиболее эффективных способов изготовления заготовки и изделия;
- 3) разработать технологии изготовления заготовки и изделия с выбором оборудования и инструмента;
- 4) оформить пояснительную записку.

Порядок оформления. Курсовой проект оформляется в виде сброшюрованной пояснительной записки, выполненной на листах писчей бумаги формата А4 (297 x 210).

Пример оформления титульного листа приведен в приложении А.

Чертежи стандартных изделий выполняются в полном соответствии со стандартами ЕСКД с указанием всех размеров, предельных отклонений и технических требований, необходимых при курсовом проектировании.

Обозначение чертежа, проставляемое в графе 2 основной надписи, составляется по следующей схеме:

КП.32.20-МС-014.02.ВО,

где КП – курсовой проект;

32 – шифр кафедры;

20-МС – учебная группа;

014 – индивидуальный трехзначный шифр задания;

02 – номер листа чертежа (лист 2);

ВО – шифр документа (СХ – схема, НТ – наладка технологическая, ВО – вид общий, СБ – сборочный чертеж и т. п.).

В основных надписях листов пояснительной записки проставляется это же обозначение (соответствующее номеру части).

Дополнительные графы основной надписи на чертежах, располагающиеся на полях и в верхней части формата, в учебном курсовом проекте допускается не выполнять.

Текст записки – рукописный или машинописный, выполняется на одной стороне листа. Каждый раздел начинается с новой страницы. Эскизы и схемы представляются на отдельных листах вслед за страницей, на которой находится ссылка. Нумерация страниц – сквозная, начиная с первой страницы текста. При этом на титульном листе номер страницы не проставляется.

Содержание пояснительной записки. Пояснительная записка включает следующие основные разделы:

1) задание – описывается задание по курсовому проекту и приводится эскиз изделия;

2) введение – описывается назначение изделия;

3) технологический процесс изготовления заготовки, включая 3D-печать и финишную механическую обработку, для чего необходимо:

а) перечислить все возможные способы изготовления заготовки методами аддитивного производства;

б) выбрать из перечисленных способов наиболее эффективный, обеспечивающий высокую производительность, наименьшие затраты материалов, энергии, оборудования и т. д.;

в) использовать один из методов аддитивного производства, включая перечень всех операций и их схемы, оборудование для аддитивного производства, инструмент на каждой операции и методы контроля;

4) технологический процесс аддитивного производства изделия:

а) перечислить все возможные способы изготовления изделия;

б) из перечисленных способов выбрать наиболее эффективный, который обеспечивает высокую производительность, наименьшие затраты материалов, энергии, т. д.;

в) разработать данный процесс выбранным способом, включая перечень всех операций и их схемы, применяемое оборудование и инструмент, режимы обработки и методы контроля.

Календарный план выполнения проекта. В соответствии с указанным преподавателем сроком выполнения курсового проекта студент составляет его рабочий календарный план. Составление календарного плана должно быть выполнено в течение недели после выдачи задания. Необходимым условием выполнения курсового проекта является систематическое посещение консультационных занятий по расписанию, указанному преподавателем. Выполнение проекта заканчивается его защитой. Результат защиты выставляется в зачетке студента и учебных ведомостях. Студент, не защитивший курсовой проект в указанный преподавателем срок, не допускается к сдаче зачета или экзамена по данному курсу.

## **Рекомендации по последовательности действий при выполнении курсового проекта**

Основные этапы проектирования техпроцесса производства изделия аддитивными технологиями на примере детали «Ступица» (приложения Б, В, Г, Д):

1. Анализ чертежа изделия с точки зрения технологичности. Выбор оборудования для аддитивного производства (3D-принтер на базе ЧПУ управления или роботизированный комплекс) и способа 3D-печати (селективное лазерное плавление или прямое лазерное нанесение материала из порошка или проволоки). Разработка технологических переходов 3D-печати.

2. Разработка чертежа изделия с применением CAD/CAM системы. Расчет объемов металла, размеров и массы исходной заготовки.

3. Конструирование изделия.

4. Выбор режимов печати, мощности лазерного излучения, расхода защитного и подающего газов, марки и массы металлического порошка, расхода электроэнергии и т. д.

5. Разработка указаний о завершающих операциях (термообработка, очистка, мехобработка, методы контроля), выбор вспомогательного оборудования.

6. Составление технологической карты.

7. Оценка технико-экономических показателей техпроцесса.

### **Выбор процесса изготовления изделия**

При выборе технологии получения заготовки, оценивая целесообразность выбора трудового процесса изготовления объекта, ступицу, а также экономическую рентабельность оборудования и порошкового материала, можно сделать вывод, что технология SLM несомненно подходит для «выращивания» данной модели. С помощью этого метода, применив специальную технологию, можно, используя один тип порошка, напечатать изделие с поддержками, которые впоследствии смогут легко удалиться.

Преимущества SLM-технологии:

1) высокая точность изготовления;

2) высокое качество поверхностей, механическая доработка практически не требуется;

3) широкий спектр используемых материалов, возможность изготовления функциональных прототипов;

4) при изготовлении прототипа не требуется построения поддерживающих структур, возможно изготовление деталей со сложной геометрией, позволяющей создавать высокопрочные элементы конструкций, недостижимые для традиционных механических методов изготовления и обработки (фрезеровки, резки и т. д.).

## Установка SLM

SLM 125HL – компактная установка селективного лазерного плавления. Применяется для единичного и мелкосерийного производства сложных изделий из специальных металлических порошков: нержавеющей и инструментальных сталей, алюминиевых и титановых сплавов, инконелей, кобальт-хрома. Также используется при отработке режимов сплавления с целью получения оптимальных физико-механических свойств изделий. Установка оснащена системой пожаро- и взрывобезопасности. Процесс построения изделий полностью автоматизирован и не требует присутствия оператора после запуска машины.

Технические характеристики:

- Технология печати ..... SLM
- Размер рабочей камеры (ДШВ, мм)..... 125 × 125 × 75
- Параметры печати:
  - практическая толщина слоя, мкм..... 20 – 75 мкм
  - скорость построения, см<sup>3</sup>/ч..... 105
  - минимальный размер элемента, мкм..... 150
  - операционный фокус луча, мкм..... 80 – 115
  - скорость сканирования, м/с..... 10
  - расход инертного газа при работе Ar / N<sub>2</sub>, л/мин..... 2
  - расход защитного газа при продувке..... 70 л/мин
  - сжатый воздух, требования ISO 8573-1... 12,5 л/мин при 1,5 бар
  - тип лазера..... волоконный
  - мощность, Вт..... 400

### Выбор порошкового материала

Для работы установок методом селективного лазерного плавления используется обширный перечень металлов и их сплавов. Наиболее востребованные из них: нержавеющая сталь 316L, титановый сплав Ti-6Al-4V и др.

Сталь 316L – нержавеющая сталь, сплав которой содержит никель и молибден (таблица 1). Наличие этих элементов в нержавеющей стали значительно повышает ее антикоррозийные свойства, благодаря чему эксплуатация возможна даже в очень агрессивных средах. Также данная сталь имеет повышенную прочность, сопротивляемость к ползучести, превосходные механические свойства. Превосходные антикоррозийные свойства нержавеющей стали, а также механическая прочность делают ее очень востребованной во многих отраслях промышленности.

Таблица 1

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	Fe
0,03	<2,0	0,045	0,03	1,0	5,0– 18,0	10,0– 14,0	3,0	0,5	Остальное

## Основные параметры для изготовления ступицы

Исходные параметры приведены в таблице 2.

Таблица 2

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$v_{\text{печ}}$ , см/ч	$v_{\text{скан}}$ , см/ч	N, Вт
7890	15	10	700

Алгоритм расчета основных параметров:

$$V_{\text{общ}} = a \cdot b \cdot c = 125 \cdot 125 \cdot 75 = 1\,171\,875 \text{ мм}^3 = 0,001171875 \text{ м}^3;$$

$$V_1 = pR_1^2 \cdot h = 3,14 \cdot 100^2 \cdot 10 = 78539,8 \text{ мм}^3;$$

$$V_5 = pR_5^2 \cdot h = 3,14 \cdot 102^2 \cdot 12 = 98055,39 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = pR_2^2 \cdot h = 3,14 \cdot 94^2 \cdot 40 = 277591,1 \text{ мм}^3;$$

$$V_6 = pR_6^2 \cdot h = 3,14 \cdot 96^2 \cdot 40 = 289529,18 \text{ мм}^3;$$

$$V_3 = pR_3^2 \cdot h = 3,14 \cdot 86^2 \cdot 10 = 58088,05 \text{ мм}^3;$$

$$V_7 = pR_7^2 \cdot h = 3,14 \cdot 88^2 \cdot 10 = 60821,234 \text{ мм}^3;$$

$$V_4 = pR_4^2 \cdot h = 3,14 \cdot 50^2 \cdot 60 = 98174,77 \text{ мм}^3;$$

$$V_8 = pR_8^2 \cdot h = 3,14 \cdot 48^2 \cdot 62 = 112192,56 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{дет}} = V_1 + V_2 + V_3 - V_4 = 78539,8 + 277591,1 + 58088,05 - 98174,77 = 316044,18 \text{ мм}^3 = 0,00031604418 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{заг}} = V_5 + V_6 + V_7 - V_8 = 98055,39 + 289529,18 + 60821,234 - 112192,56 = 336213,244 \text{ мм}^3 = 0,000336213244 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{общ}} = c \cdot V_{\text{общ}} = 7890 \cdot 0,001171875 = 9,246 \text{ кг};$$

$$m_{\text{дет}} = c \cdot V_{\text{дет}} = 7890 \cdot 0,00031604418 \text{ м}^3 = 2,494 \text{ кг};$$

$$m_{\text{заг}} = c \cdot V_{\text{заг}} = 7890 \cdot 0,000336213244 \text{ м}^3 = 2,653 \text{ кг}.$$

Толщина слоя  $d = 75$  мкм.

$$t_{\text{общ}} = \frac{n \cdot t_{\text{одного слоя}}}{d} = \frac{1250 \cdot 40,2}{75} = 670 \text{ мин} = 11,17 \text{ ч}.$$

Длина изделия  $l = 100$  мм = 10 см.

$$t_{\text{одного слоя}} = \frac{l}{v_{\text{скан}}} = \frac{10}{15} = 0,67 \text{ ч} = 40,2 \text{ мин}.$$

$$A = N \cdot t = 400 \cdot 39996 = 16 \text{ МДж}.$$

Расход газа при построении:  $670 \cdot 1,5 = 1005$  л.

Расход газа при продувке:  $670 \cdot 100 = 67000$  л.

$$\text{Коэффициент использования материала: } \frac{1080,3 \cdot 100}{1171,875} = 92,2 \text{ \%}.$$

Оставшийся порошок можно использовать повторно после просеивания.

### Определение припусков и допусков

Так как аддитивное производство очень точное, припуски нужны только для придания поверхности нужной шероховатости, для чего достаточно добавить к каждой стороне изделия по 1–2 мм для дальнейшего снятия механической обработкой.

Произведем расчет припуска для последующей механической обработки:

1) установим припуски:

$\varnothing 100 - 2,0$  мм;  $\varnothing 94 - 2,0$  мм;  $\varnothing 86 - 2,0$  мм;  $\varnothing 50 - 2,0$  мм,

60 мм – 2,0 мм,

50 мм – 2,0 мм;

2) рассчитаем номинальные размеры:

$\varnothing 100 + 2,0 = 102,0$  мм;  $\varnothing 94 + 2,0 = 96,0$  мм,

$\varnothing 86 + 2,0 = 88,0$  мм;  $\varnothing 50 - 2,0 = 48,0$  мм,

60 + 2,0 = 62,0 мм,

50 + 2,0 = 52,0 мм;

3) определим допуски линейных размеров:

$\varnothing 100 - 0,87$  мм;  $\varnothing 94 - 0,87$  мм;  $\varnothing 86 - 0,87$  мм;  $\varnothing 50 - 0,62$  мм,

60 мм – 0,74 мм,

50 мм – 0,74 мм;

4) установим допуск симметричными предельными отклонениями:

$\varnothing 100 - 0,435$  мм;  $\varnothing 94 - 0,435$  мм;  $\varnothing 86 - 0,435$  мм;

$\varnothing 50 - 0,31$  мм,

60  $\pm 0,37$  мм,

50  $\pm 0,37$  мм.

### **Технология изготовления ступицы методом SLM**

Процесс состоит в нанесении тонкого слоя порошка на рабочий стол, передвигающийся по вертикали. Печать происходит в рабочей камере, заполняемой инертным газом. Отсутствие кислорода позволяет избегать оксидации расходного материала. Каждый слой модели сплавляется, повторяя контуры слоев цифровой модели. CAD-модель создается на компьютере и сохраняется в формате STL, который поддерживает установка SLM. Плавка производится с помощью лазерного луча, направляемого по осям X и Y двумя зеркалами с высокой скоростью отклонения. Мощность лазерного излучателя достаточно высока для плавки частиц порошка в гомогенный материал.

### **Выбор способа механической обработки изделия**

Для поверхности ступицы наиболее эффективный способ механической обработки, обеспечивающий высокую производительность и наименьшие затраты материалов и энергии, – фрезерование, когда главным движением является вращение инструмента – фрезы, а заготовка, как правило, движется поступательно (движение подачи).

Будем использовать цилиндрическую фрезу с остроконечным сечением зубьев из быстрорежущей стали (ГОСТ 29092-91) на вертикально-фрезерном станке.

## Термическая обработка

Для данного изделия выполняем термическую обработку, отпуск при температуре 700 °С в течение 2-х часов, охлаждение на воздухе для снижения внутреннего напряжения. После такой обработки имеем следующие механические свойства: предел прочности – около 320 МПа, предел текучести – 120 МПа.

### Удельный расход ресурсов

Проведем расчет общей стоимости ступицы:

1) стоимость 1 кг порошка марки AISI 316L составляет 11 000 руб.;

2) стоимость порошка, необходимого для заполнения камеры:

$$11000 \times 9,246 = 101\,706 \text{ руб.};$$

3) так как после просеивания весь неиспользованный порошок пригоден для последующей печати, стоимость порошка для заполнения камеры учитываться в расходах не будет;

4) стоимость порошка, затраченного на изготовление изделия «ступица»:

$$11\,000 \times 2,653 = 29\,183 \text{ руб.};$$

5) стоимость 1 кВтч = 3,56 руб.;

6) затраты на электроэнергию:

$$(400 \times 11,17) / 1000 \times 3,56 = 15,9 \text{ руб.};$$

7) стоимость одного баллона газа Ar 40 л составляет 700 руб.;

8) стоимость газа:

$$(1005 \times 400) / 40 = 10\,050 \text{ руб.};$$

9) общая стоимость, необходимая для изготовления изделия «ступица»:

$$29\,183 + 15,9 + 10\,050 = 39\,248,9 \text{ руб.}$$

Экономическая целесообразность изготовления ступицы приведена в таблице 3.

Таблица 3

Стоимость порошка изделия, руб.	Стоимость электроэнергии, руб.	Стоимость газа, руб.	Общая стоимость изготовления изделия «ступица», руб.
29 183	15,9	10 050	39 248,9

Расчеты показывают, что большая часть затрат приходится на порошковый материал.

### Рекомендации по выбору способов изготовления заготовок деталей машин и изделий методами аддитивного производства

Аддитивные технологии (АТ) основаны на принципе получения изделий методом послойного нанесения материала, традиционные – на принципе получения изделий путем удаления материала. Принципиальная схема АТ

может быть представлена в следующем виде: CAD-модель → АТ-машина → изделие.

Методом компьютерного дизайна или с применением 3D-сканеров создается модель изделия. 3D-сканирование – это автоматический сбор и анализ данных реального объекта: формы, цвета и других характеристик с последующим преобразованием в цифровую трехмерную модель.

В процессе печати изделия принтер обрабатывает файл, содержащий 3D-модель (как правило, в формате STL), и послойно наносит материал, создавая трехмерную модель. Эти слои, соответствующие виртуальным поперечным сечениям в CAD-модели, соединяются или сплавляются вместе для создания объекта заданной формы. Основным преимуществом данного метода является возможность создания геометрических форм практически неограниченной сложности.

Сегодня имеется богатый выбор методов аддитивного производства. Главные отличия заключаются в методе нанесения слоев и материалах, применяемых для печати. Некоторые методы печати базируются на расплавлении материалов: сюда входит селективное лазерное спекание (SLS), селективное лазерное плавление (SLM), прямое лазерное нанесение металлов (DMD, DLD). Другое направление это производство моделей, основанных на принципе полимеризации жидких материалов, которое носит название стереолитография (SLA).

В таблице 4 представлены основные методы аддитивного производства.

Таблица 4

Метод	Технология	Используемые материалы
Экструзионный	Моделирование методом послойного наплавления (FDM или FFF)	Термопластики (полилактид (PLA), акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и др.)
Порошковый	Прямое лазерное спекание металлов (DMLS)	Практически любые металлические сплавы
	Электронно-лучевая плавка (EBM)	Титановые сплавы
	Выборочная лазерная плавка (SLM)	Титановые сплавы, кобальт-хромовые сплавы, нержавеющая сталь, алюминий
	Выборочное тепловое спекание (SHS)	Порошковые термопластики
	Выборочное лазерное спекание (SLS)	Термопластики, металлические и керамические порошки
	Прямое металлическое нанесение (DMD)	Металлические порошки из инструментальной стали
Струйный	Струйная трехмерная печать (3DP)	Гипс, пластики, металлические порошки, песчаные смеси
Ламинирование	Изготовление объектов методом ламинирования (LOM)	Бумага, металлическая фольга, пластиковая пленка
Проволочный	Производство произвольных форм электронно-лучевой	Практически любые металлические сплавы

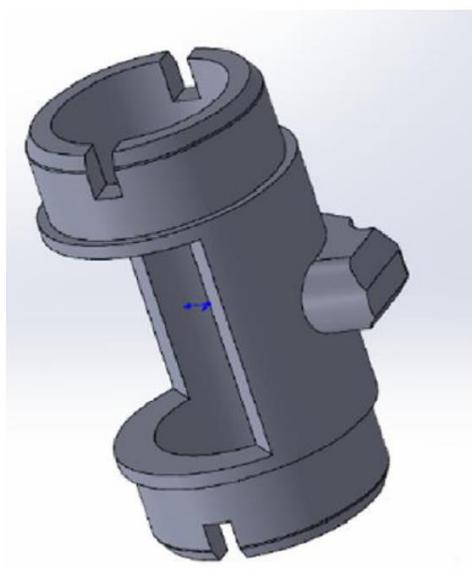
Метод	Технология	Используемые материалы
	плавкой (EBF <sub>3</sub> )	
Полимеризация	Стереолитография (SLA)	Фотополимеры
	Цифровая светодиодная проекция (DLP)	Фотополимеры

### **Особенности получения изделий методом прямого лазерного нанесения**

Механическая обработка, как правило, применяется для выполнения чистовых и отделочных операций при обработке фасонных заготовок, предварительно изготовленных способами литья или ОМД (обработка металлов давлением). В процессе механической обработки исходная фасонная заготовка преобразуется в готовое изделие. При этом механической обработке обычно подвергается не вся заготовка, а только те ее поверхности, которые находятся в сопряжении с поверхностями других деталей изготавливаемой продукции.

В качестве примера приведена схема механической обработки цилиндрической поверхности стального изделия на токарном станке. Наименование технологической операции – обтачивание тонкое. Тип станка – токарный или токарно-винторезный. Характеристика режущего инструмента – резец токарный, проходной, упорный, правый. Материал режущей части – металлокерамический твердый сплав Т15К6.

Для осуществления метода прямого лазерного нанесения был выбран оптимальный режим, позволяющий получать стабильное выращивание цилиндрической оболочки (образца), которая являлась основой для конечного изделия – кронштейна (рисунок 1). Процесс прямого лазерного нанесения был осуществлен с использованием алгоритма, задаваемого программой. Разработанный алгоритм позволял осуществлять манипуляции робота, удерживающего коаксиальное сопло, с одновременным включением подачи газопорошковой смеси, защитного газа и лазера.



*a*

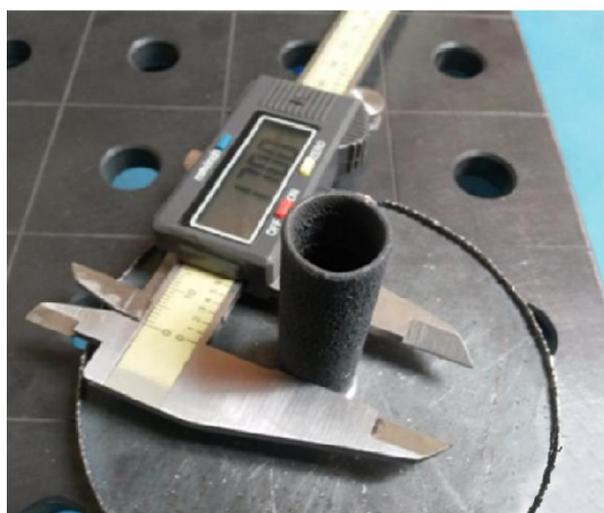


*б*

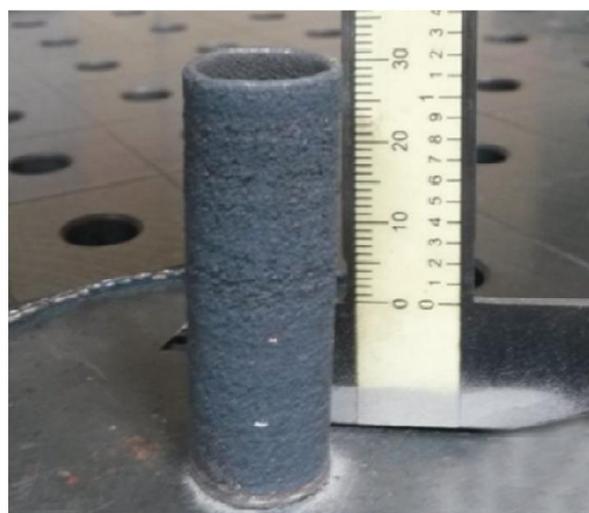
Рисунок 1 – Кронштейн, изготовленный методом прямого лазерного нанесения:  
*a* – компьютерная 3D-модель кронштейна; *б* – общий вида *б*

Важной задачей являлся поиск стабильного режима выращивания образцов, который достигался тем, что наплавочное сопло поднималось при каждом последующем нанесении с шагом, соответствующим высоте одного слоя.

На рисунке 2 представлены фотографии образцов, выполненных из нержавеющей стали 316L методом прямого лазерного нанесения материала. Для получения соединительной муфты (рисунок 1, *a*, *б*) трубчатые заготовки (образцы), показанные на рисунке 2, *a*, *б*, подвергались механической обработке в соответствии с моделью (рисунок 1, *a*), а затем проводилась финишная полировка. Толщина стенки выращиваемых образцов составляла 1–1,2 мм.



*a*



*б*

Рисунок 2 – Образцы, полученные методом прямого лазерного нанесения:  
*a* – внешний диаметр; *б* – высота

На рисунке 3 представлены профилограммы внешней и внутренней поверхностей заготовки, выращенной методом прямого лазерного нанесения.

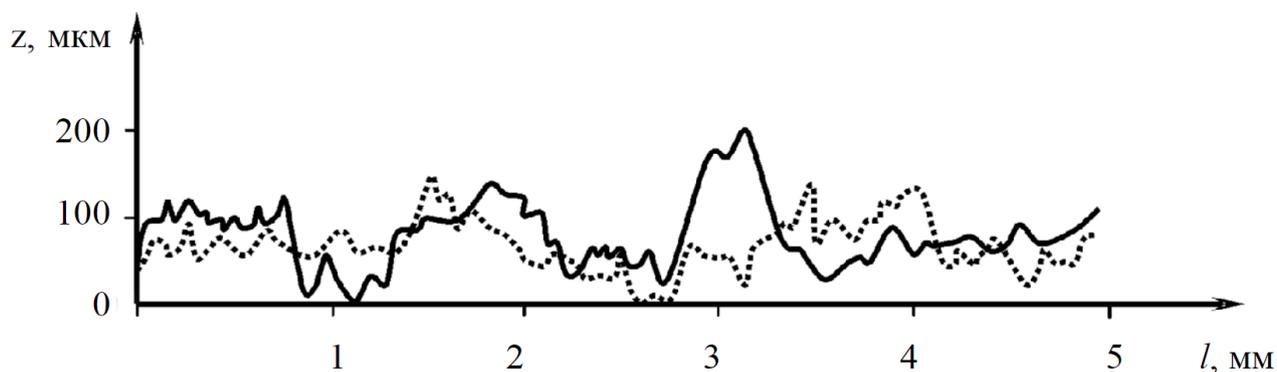


Рисунок 3 – Профилограммы поверхностей цилиндрического образца:  
— – внутренняя; ..... – наружная

Исследования поверхности показали, что шероховатость внутренних и наружных слоев образца совпадает и определяется, в основном, размером порошкового материала. Разброс между максимальным и минимальным значением не превышает 200 мкм. Класс шероховатости 16 (ГОСТ 2789)/13 (ISO1302). В соответствии с этим, избежать механической обработки или полировки невозможно в виду низкого качества получаемой поверхности цилиндрических заготовок (образцов).

На рисунке 4 представлены изображения заготовок в различных сечениях, полученные на рентгеновском томографе. Рентгеновские изображения образцов, полученных с соблюдением указанного ранее алгоритма и оптимального режима выращивания, показаны на рисунке 4, а–ж. В сечениях образцов не наблюдается образования дефектов типа пор и трещин.

Однако исследование образцов позволило выявить тот факт, что недостаточная защита в газовой среде при расплавлении порошкового материала приводит к формированию высокой пористости (рисунок 4, з, э). В результате исследования было обнаружено, что при нахождении наплавляемого металла длительное время в состоянии перегрева, что достигалось при превышении мощности лазерного излучения выше 2 кВт, в поперечном сечении наблюдалось образование крупных пор (рисунок 4, з, э). Также из-за нарушения стабильности газопорошкового потока, в ходе эксперимента наблюдалось «заваливание» образца вследствие растекания по поверхности подложки наплавляемого металла или его вскипания.

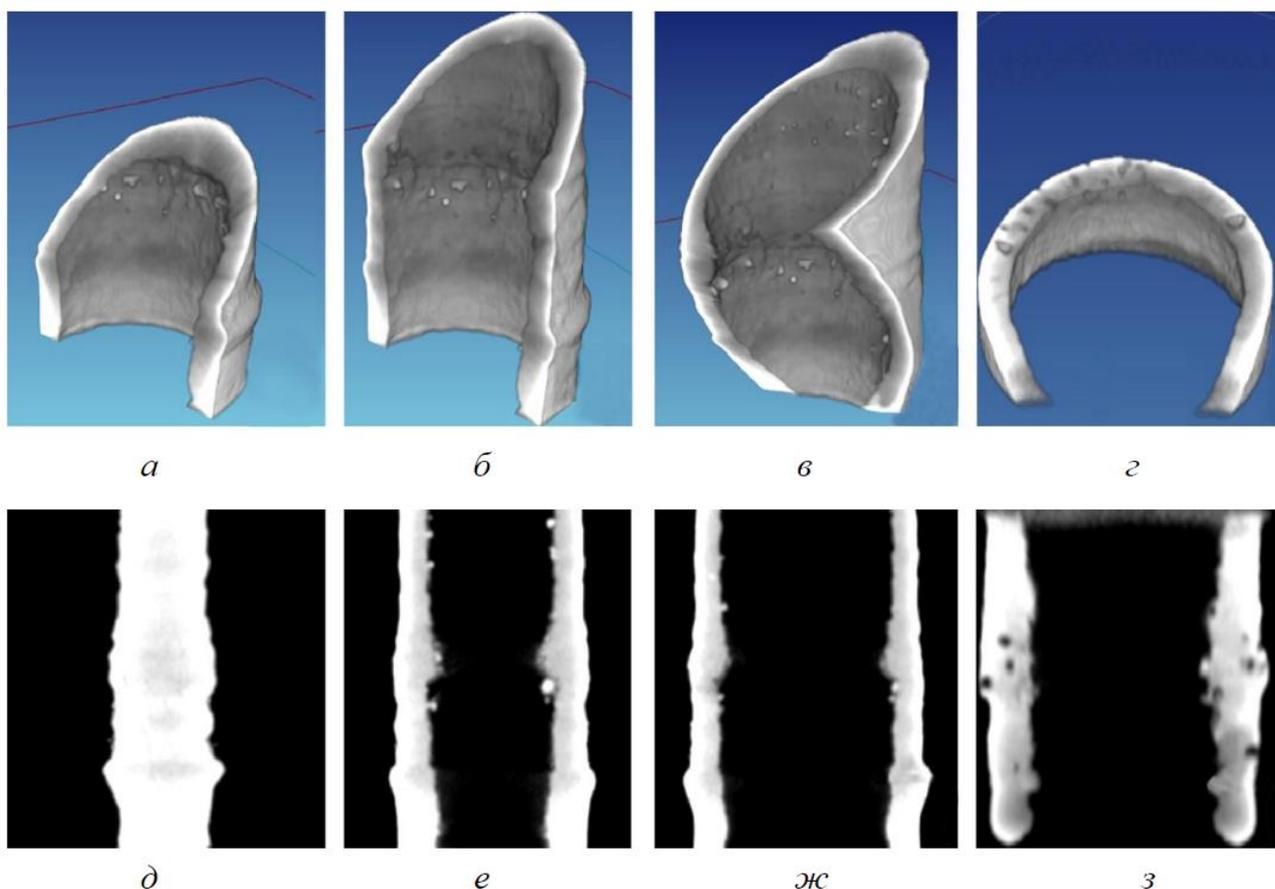
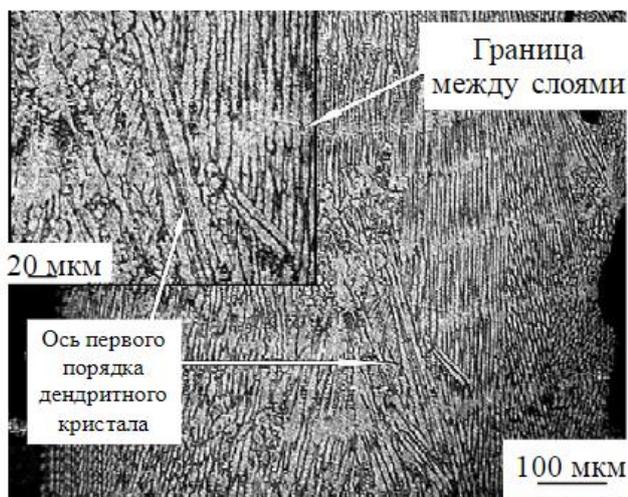


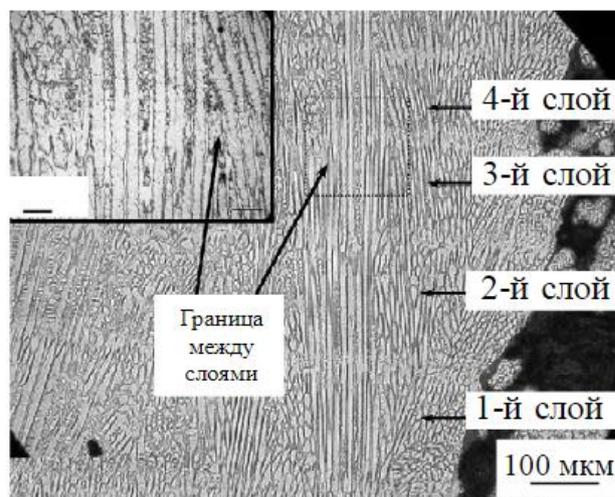
Рисунок 4 – Изображения, полученные с помощью рентгеновского томографа:  
*а, б, в, г* – компьютерная модель цилиндрических образцов, полученная на основании множества рентгеновских снимков в различных сечениях;  
*д, е, ж, з* – рентгеновские снимки образцов

На рисунке 5 изображена микроструктура в продольном и поперечном сечениях образца, полученного методом прямого лазерного нанесения.

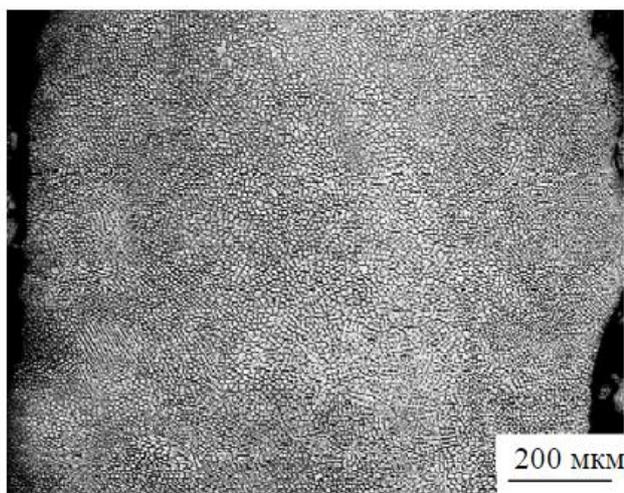
На рисунке 5 *а, б* можно видеть, что в продольном сечении образца из стали 316L произошло формирование ориентированной дендритной структуры. Однако стоит обратить внимание на тот факт, что рост дендритных кристаллов в сечениях образца (рисунок 5, *а*) не останавливается на границе слоев. При этом дендритные кристаллы имеют длину оси первого порядка  $\approx 500$  мкм при условии, что высота каждого нанесенного слоя в образцах составляет 100–150 мкм. На рисунке 5 *в, г* представлены микрофотографии в поперечном сечении исследуемых образцов. Оси первого порядка дендритных кристаллов, направленные перпендикулярно плоскости реза, представляют собой высокодисперсную ячеистую (сотовую) структуру, при этом границ зерен не обнаруживается. Лазерный луч локально разогревает порошковый материал до его полного расплавления, а скорость кристаллизации настолько высока, что оси второго и третьего порядков не успевают получить своего значительного развития.



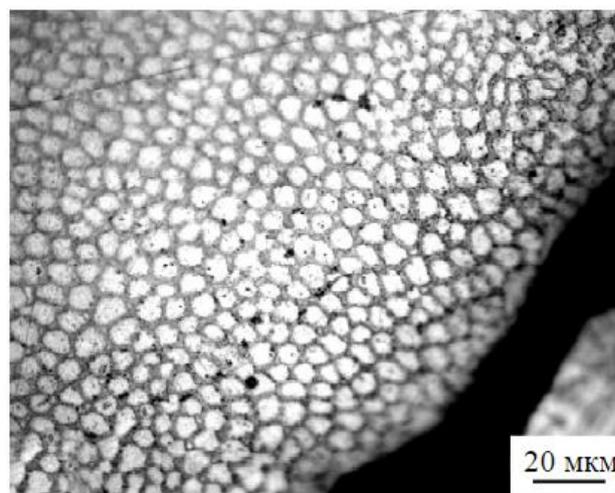
*a*



*б*



*в*



*г*

Рисунок 5 – Микроструктура в сечениях образца из стали 316L, полученного методом прямого лазерного нанесения:  
*a, б* – продольный; *в, г* – поперечный

При спекании порошкового материала 316L методом селективного лазерного плавления в металле обнаруживается зерненная структура. Такая структура должна способствовать остановке дислокаций в процессе пластической деформации. Особенности структуры для одного и того же материала 316 L, полученного родственными методами селективного лазерного плавления и прямого лазерного нанесения, может быть объяснено различием в плотности мощности лазерного излучения, фокусируемого на обрабатываемой поверхности, степени расплавления порошкового материала, скорости кристаллизации расплава, а также степенью защиты ванны расплава в газовой среде и т. д.

## **Графическая часть проекта**

Графическая часть проекта выполняется на листах формата А4 и должна включать в себя: а) чертеж готовой детали в соответствии с выданным заданием; б) чертеж детали после 3D-печати; в) чертеж расположения детали в камере 3D-принтера.

Чертеж готовой детали должен содержать все необходимые размеры для ее изготовления и параметры шероховатости поверхностей. В соответствии с данным чертежом выбираются методы чистовой обработки заготовки, станочное оборудование и режущий инструмент по имеющимся в открытом доступе каталогам или справочникам [2, 3, 4].

Чертеж детали после 3D-печати должен содержать размеры с учетом припусков на чистовую обработку: 1–2 мм на каждую обрабатываемую поверхность. Кроме того, для каждого размера указываются предельные отклонения.

## **Защита проекта**

Оформление и переплет расчетно-пояснительной записки выполняются в соответствии с общими требованиями к оформлению курсового проекта. Все этапы проектирования, в том числе защита, должны выполняться строго по графику, который выдается вместе с заданием.

Защита проекта производится устно преподавателю, выдавшему задание на курсовой проект, либо перед комиссией, назначаемой кафедрой.

Проект оценивается по пятибалльной системе с учетом: качества выполнения расчетно-пояснительной записки; качества выполнения графической части; качества доклада на защите, правильности ответов на вопросы; соблюдения графика работы над проектом.

## 2. КРИТЕРИИ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект предполагает комплексное использование студентом знаний по перспективным технологиям автоматизированного машиностроения. По результатам защиты курсового проекта выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»), которая учитывается при аттестации по дисциплине – оценке за курсовую работу.

Преподаватель проверяет выполненные студентом пояснительную записку и чертежи и принимает защиту работы в виде устного опроса. Оценка за курсовой проект выставляется в результате оценивания преподавателем правильности выполнения работы и ответов на поставленные вопросы.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 5).

Таблица 5 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса,</b>	Не может делать научно-корректных выводов из	В состоянии осуществлять научно-корректный	В состоянии осуществлять систематический и научно-	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
объекта	имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	анализ предоставленной информации	корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горунов, А. И. Аддитивные технологии и материалы: учеб. пособие / А. И. Горунов. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2019. – 56 с. – ISBN 978-5-7579-2360-4. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/144008> (дата обращения: 03.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. НПП ИНТЕХРУС | Российский твердосплавный инструмент / [Электронный ресурс] // Интехрус: [сайт]. – URL: <https://intehrus.ru/> (дата обращения: 04.06.2024).
3. ARCONIT – Режущий инструмент / [Электронный ресурс] // Arconit: [сайт]. – URL: <https://arconit.ru/> (дата обращения: 04.06.2024).
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

## ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Институт агроинженерии и пищевых систем

Кафедра инжиниринга технологического оборудования

Курсовой проект  
допущен к защите:  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Курсовой проект  
защищен  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Курсовой проект № \_\_\_\_\_

по дисциплине

«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ»

Шифр студента \_\_\_\_\_  
Вариант № \_\_\_\_\_

Работу выполнил:  
студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Калининград – 20\_\_

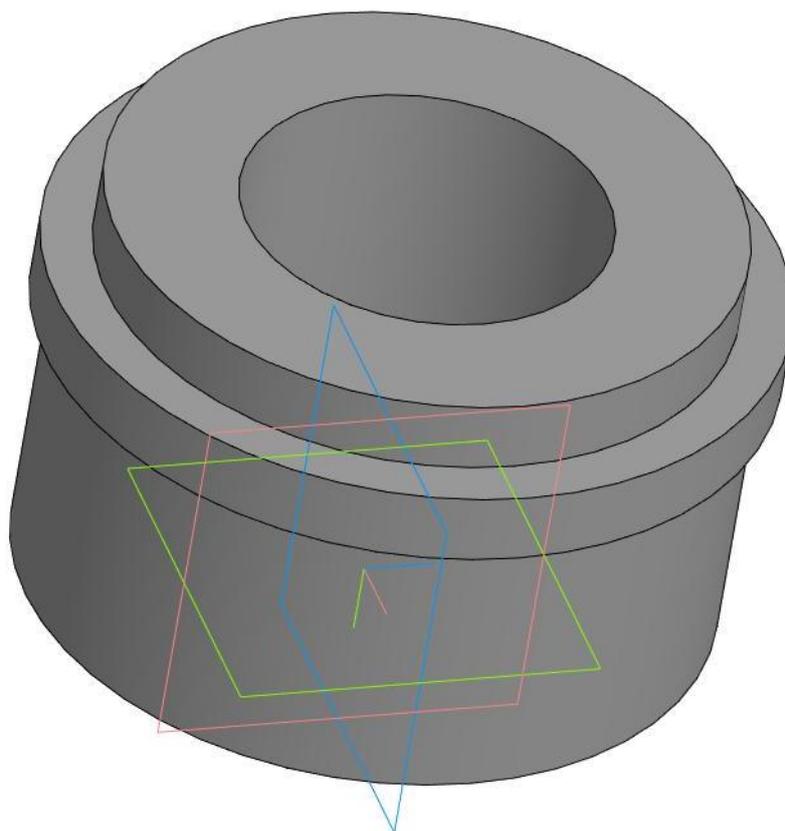
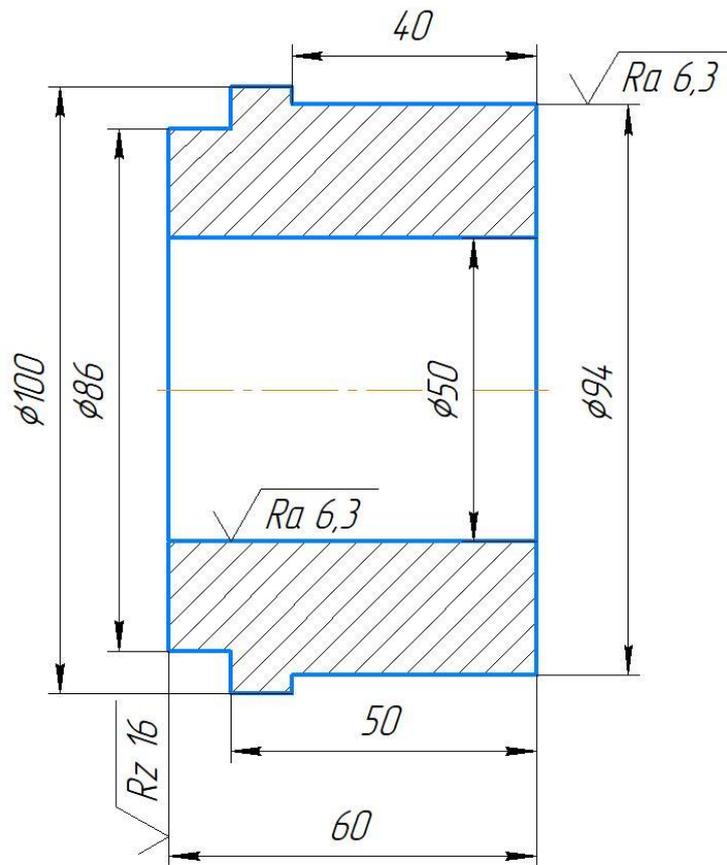


Рисунок П.Б.1 – Пример 3D-модели детали

КП.32.20-МС-014.01.В0

$\sqrt{Rz\ 40\ (\checkmark)}$

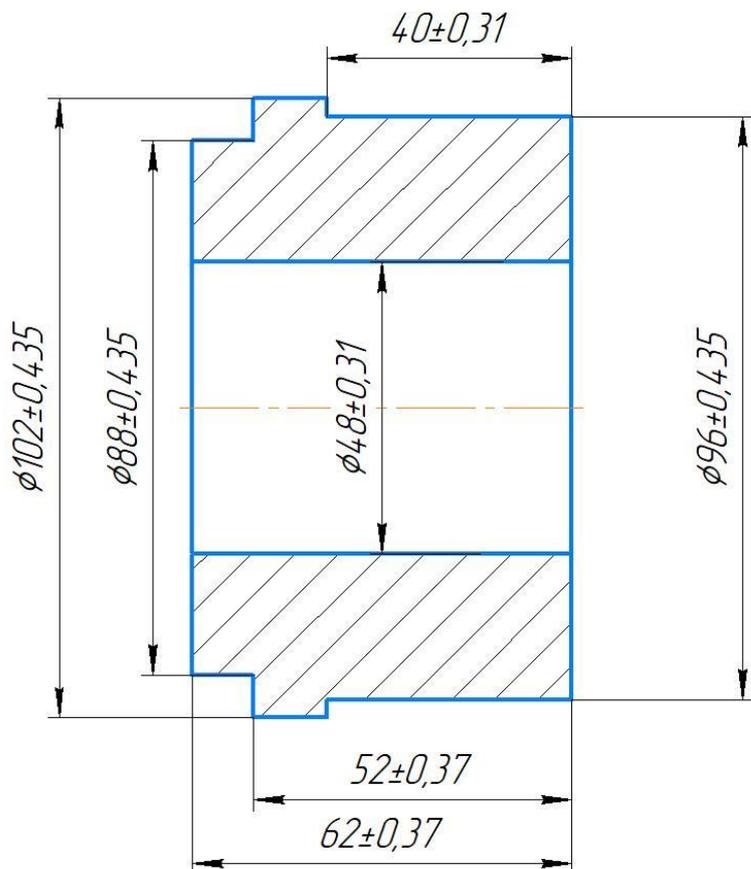


Перв. примен.					КП.32.20-МС-014.01.В0					
Справ. №										
Подп. и дата										
Инв. № дудл.										
Взам. инв. №										
Подп. и дата					КП.32.20-МС-014.01.В0					
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Ступица	Лист	Масса	Масштаб	
	Разраб.	Студент	И.О.					2,31	1:1	
	Проб.	Преподаватель	И.О.				Лист	Листов 1		
	Т.контр.						Сталь 45 ГОСТ 1050-2013 КГТУ, гр. 20-МС			
	Н.контр.						Копировал			
Утв.						Формат А4				

КП.32.20-МС-014.02.В0

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дудл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Студент И.О.		
Проб.		Преподаватель И.О.		
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

КП.32.20-МС-014.02.В0

Ступица после печати

Лист	Масса	Масштаб
	2,63	1:1
Лист	Листов 1	

Сталь 45 ГОСТ 1050-2013

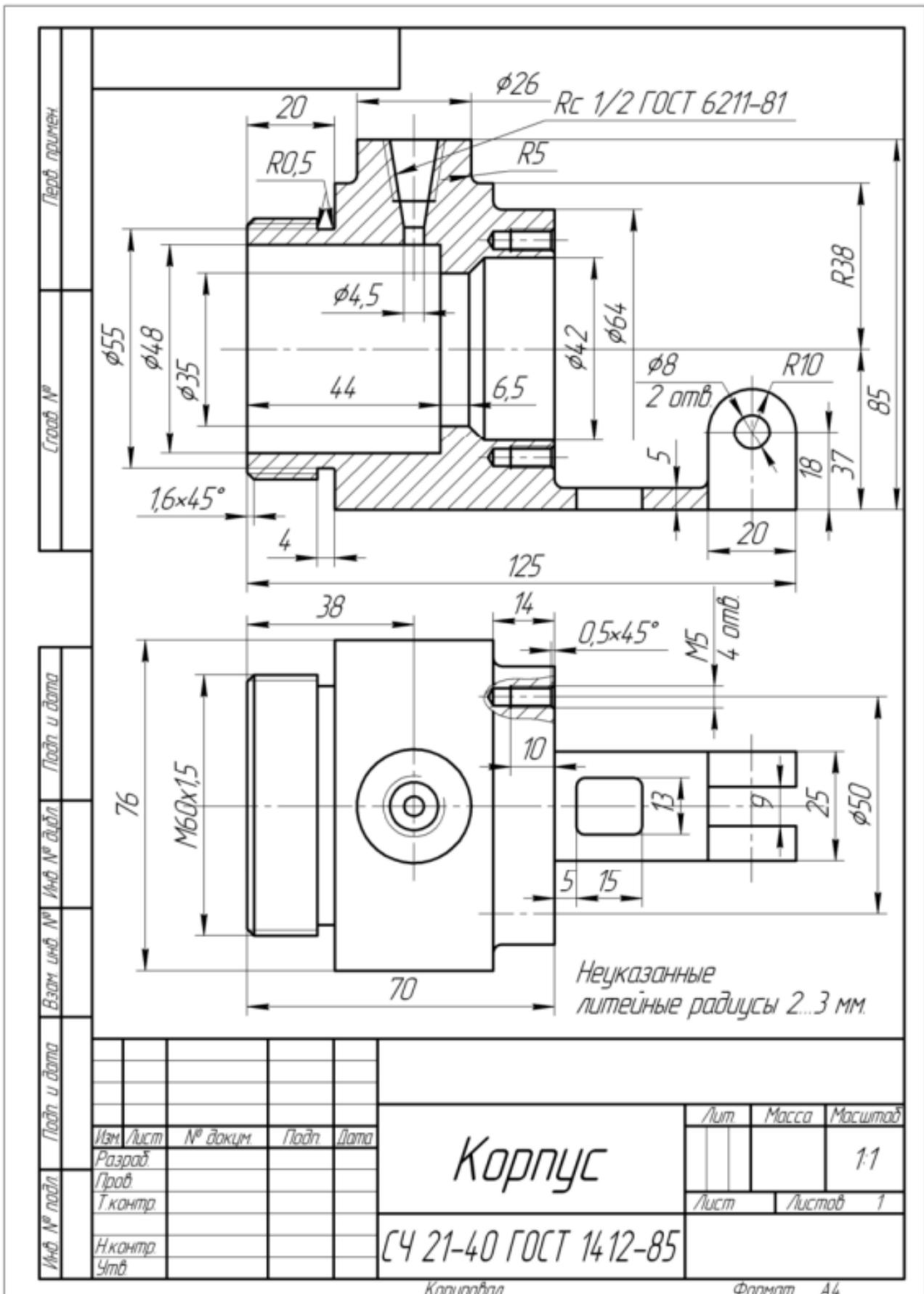
КГТУ, гр. 20-МС

Копировал

Формат А4



Чертежи деталей для выполнения курсового проекта







08.14.06

Лероу примен

Слоуб №

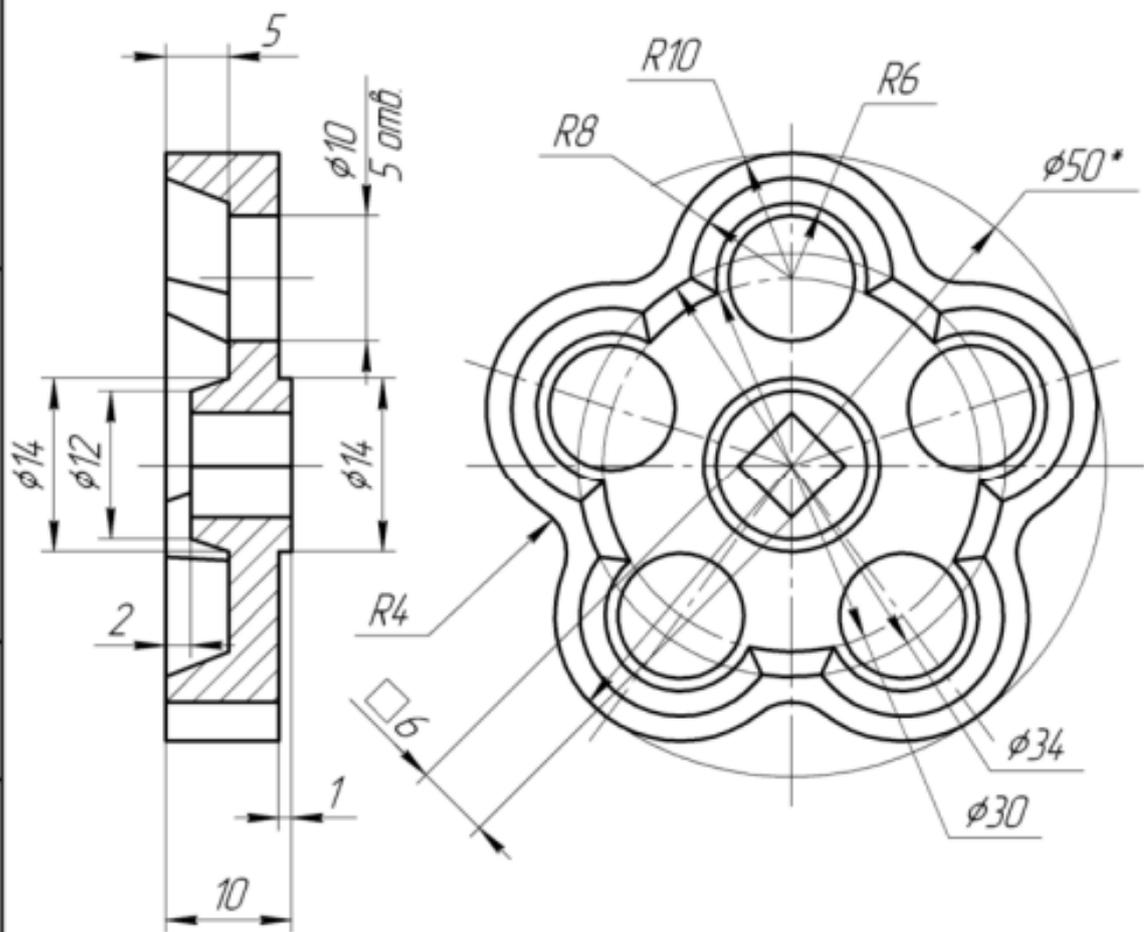
Подп и дата

Инд № дубл

Взам инд №

Подп и дата

подп



\* Размеры для справки

08.14.06

Маховик

Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата
Разраб		Орлов		
Проб		Егоров		
Т.контр				

Лит	Масса	Масштаб
У		2:1
Лист	Листов	1

08.04.12.01

Перв примен

Сталь №

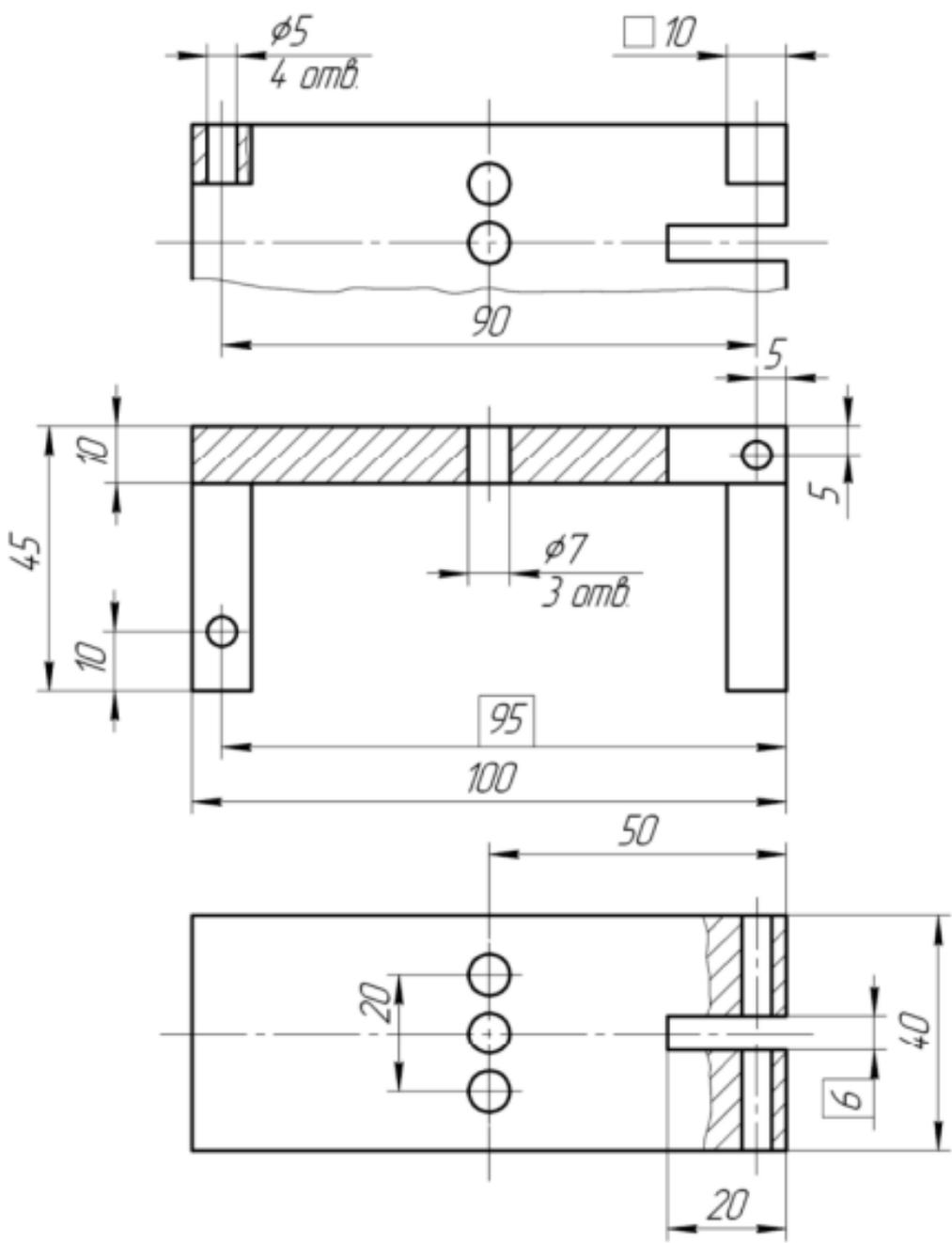
Подп и дата

И-№ № д-л

Взам ин-№ №

Подп и дата

И-№ № подл



08.04.12.01

Корпус

Сталь 20 ГОСТ 1050-74

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов 1	

Копировал

Формат А4

Лероф. примен.

Словоб. №

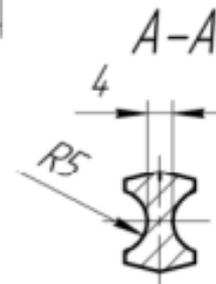
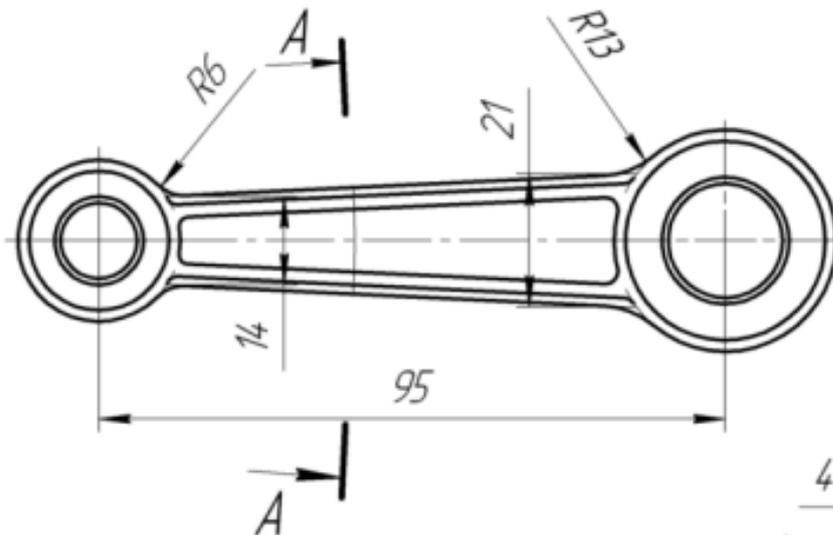
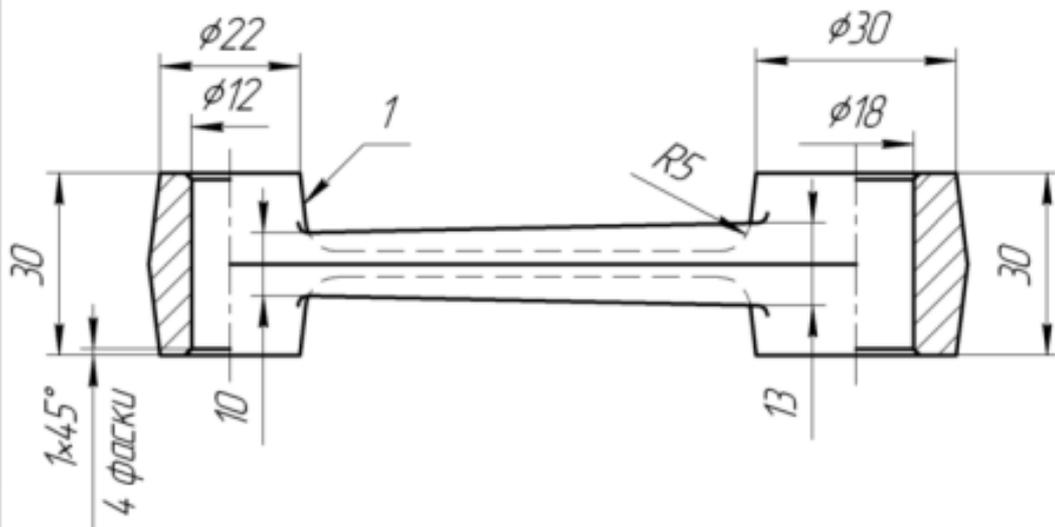
Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



1. Штамповочные уклоны 7°.
2. Неуказанные радиусы 2 мм.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Иванов			
Пров.	Петров			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

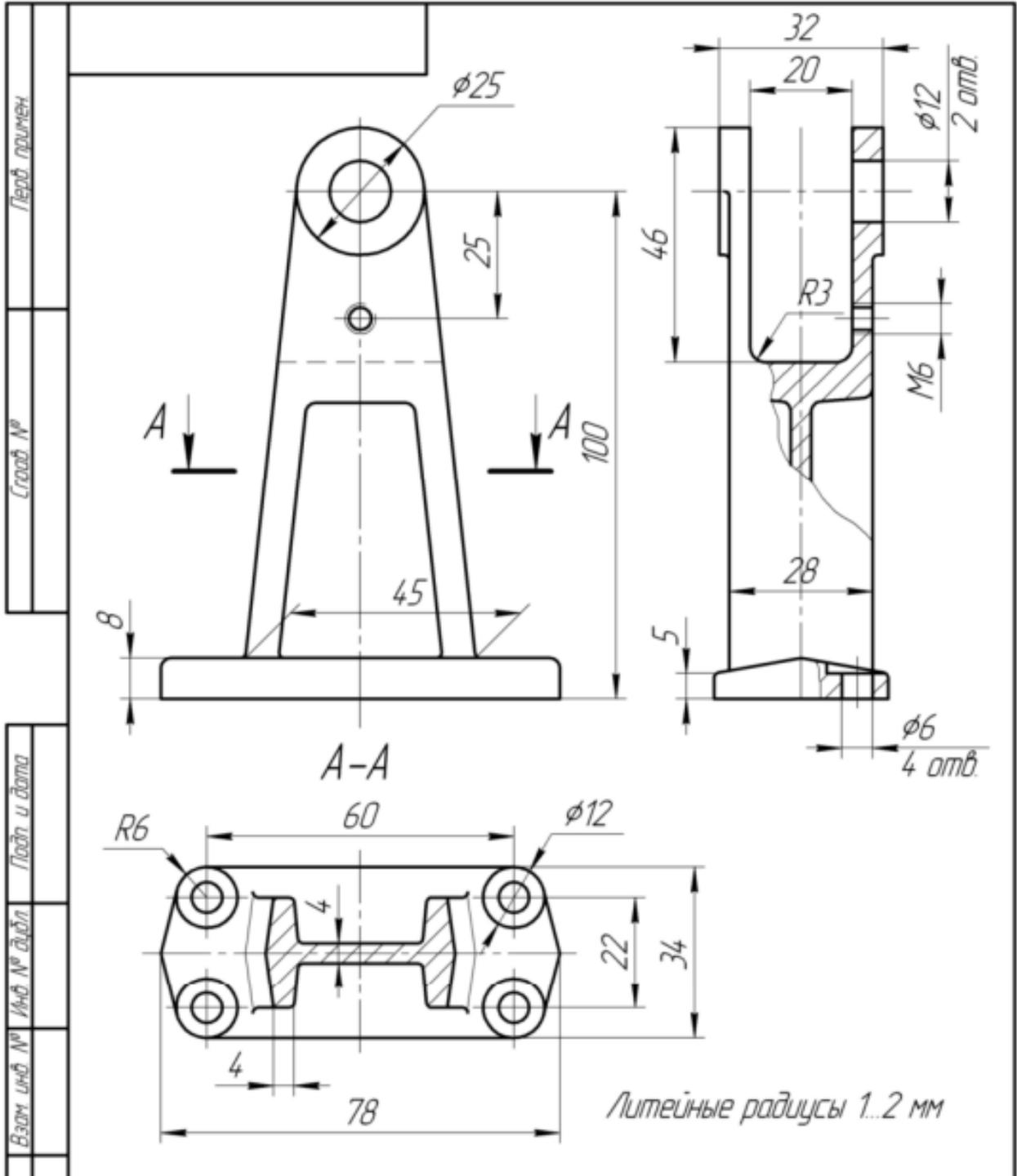
**Шатун**

**Чугун КЧ 35-10**

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Копировал

Формат А4

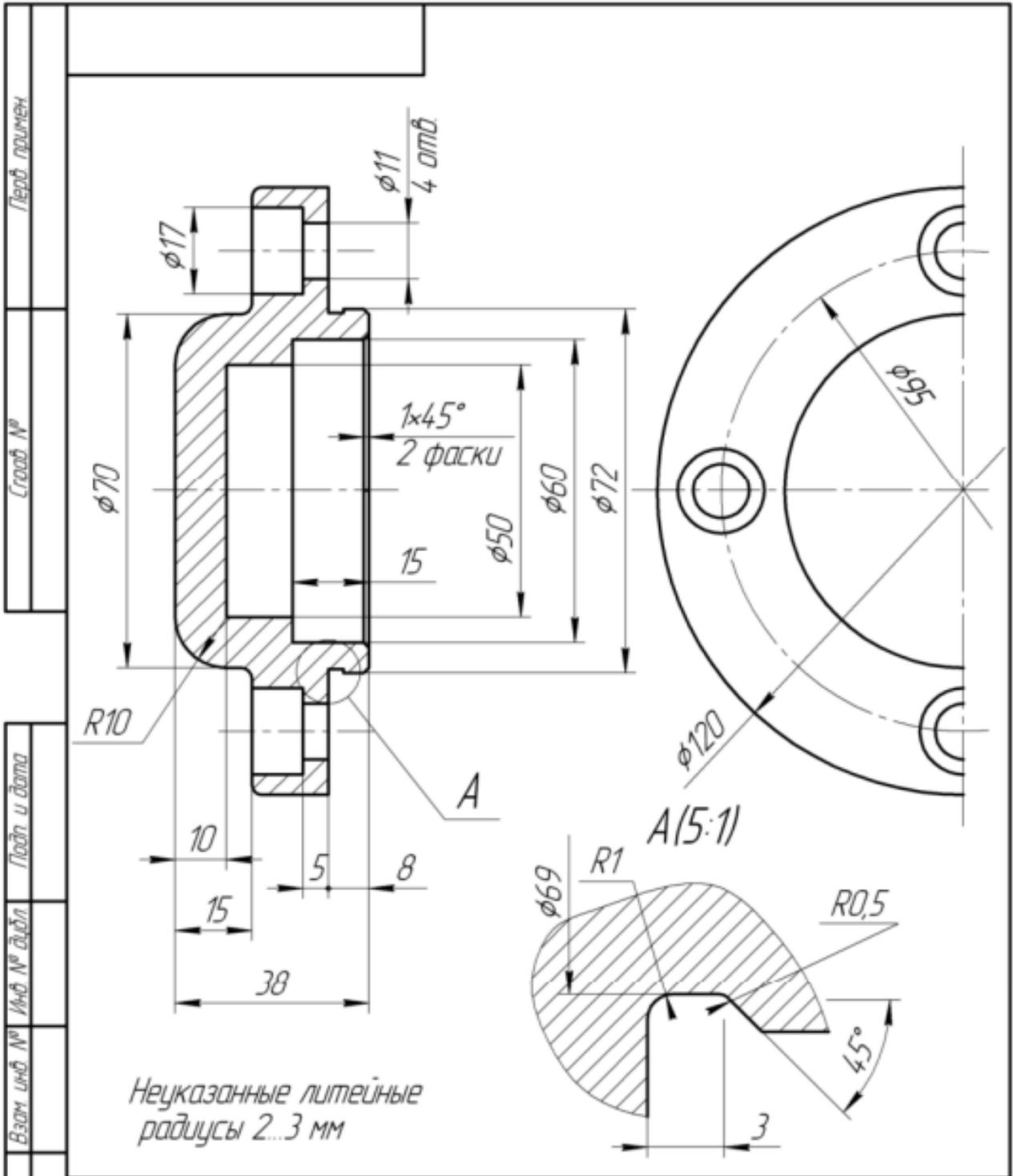


Изм.	Лист	№ докум	Подп	Дата	Лит	Масса	Масштаб
Разраб					Лист	Листов	1
Проб							
Т.контр.							
И.контр.							
Утв							
<b>Кронштейн</b>							
Сталь 45Л-II ГОСТ 977-65							

Копировал

Формат А4





Перв. примен.

Слоаб. №

Подп. и дата

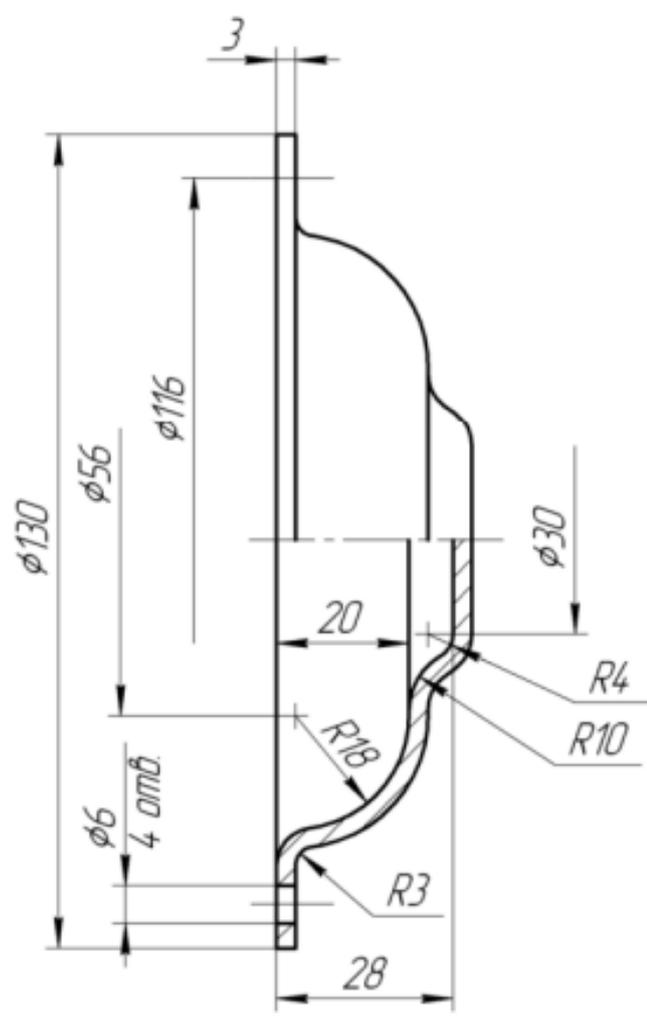
Инд. № дробл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				



# Колпак

Лист 3 ГОСТ 19903-74  
Ст 3 ГОСТ 14637-79

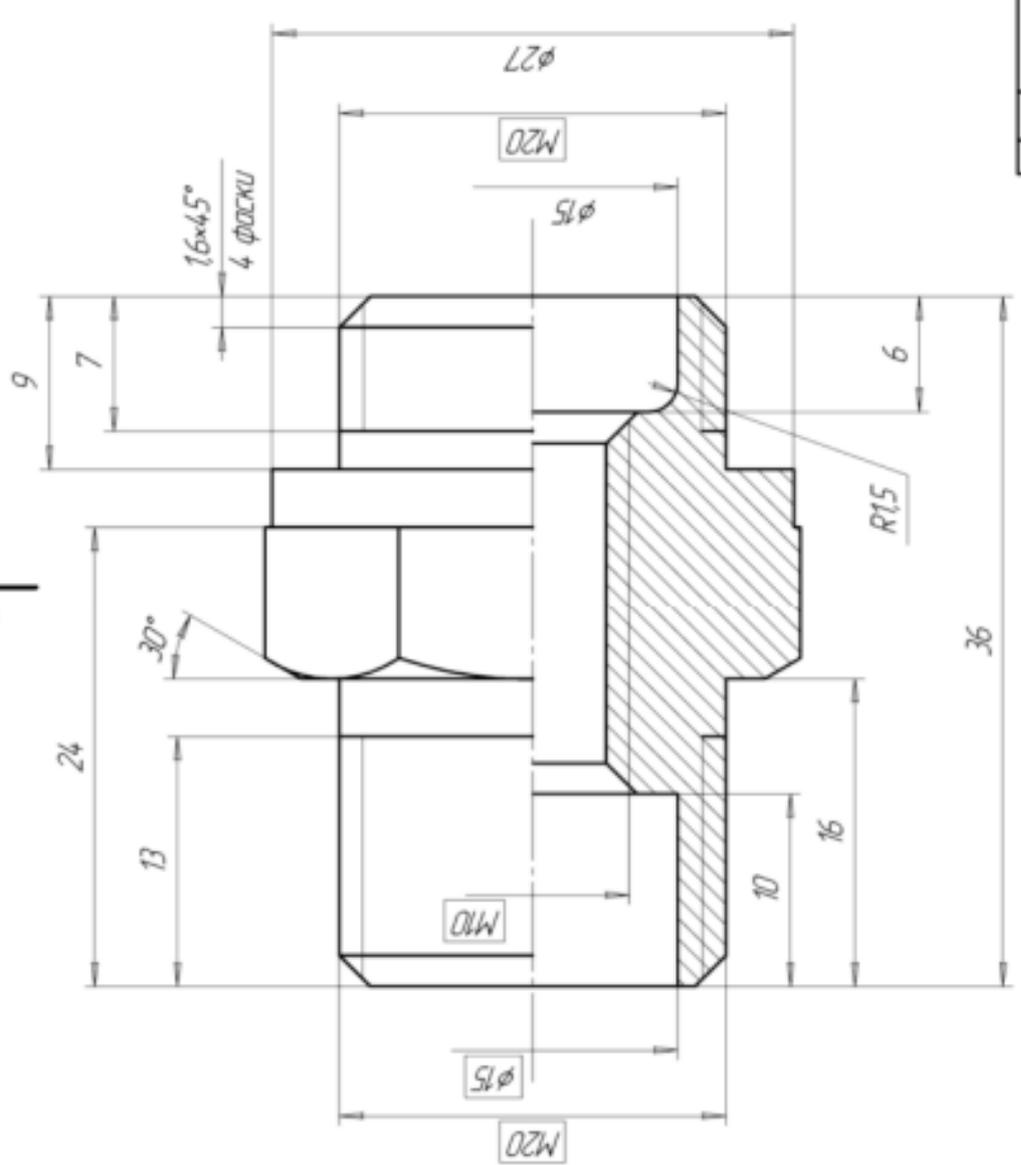
Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Копировал

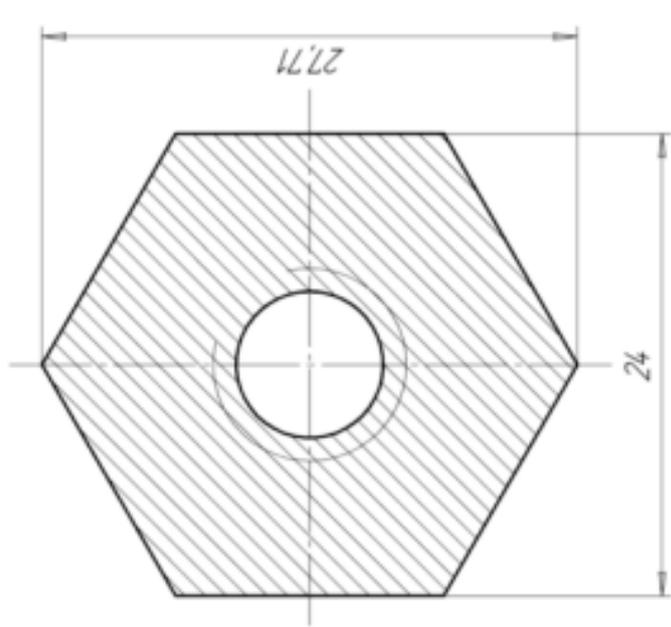
Формат А4

CU 14 00

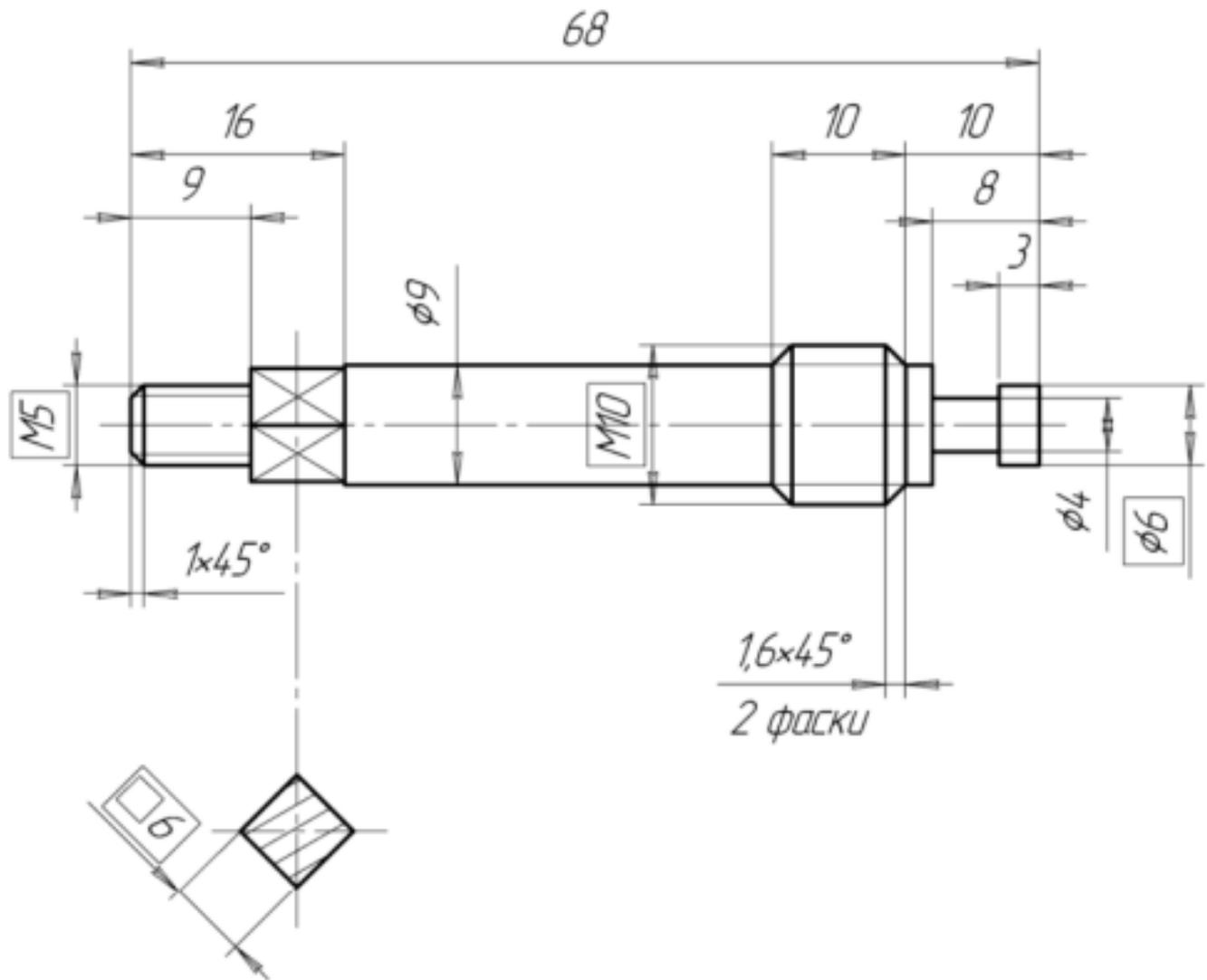
A



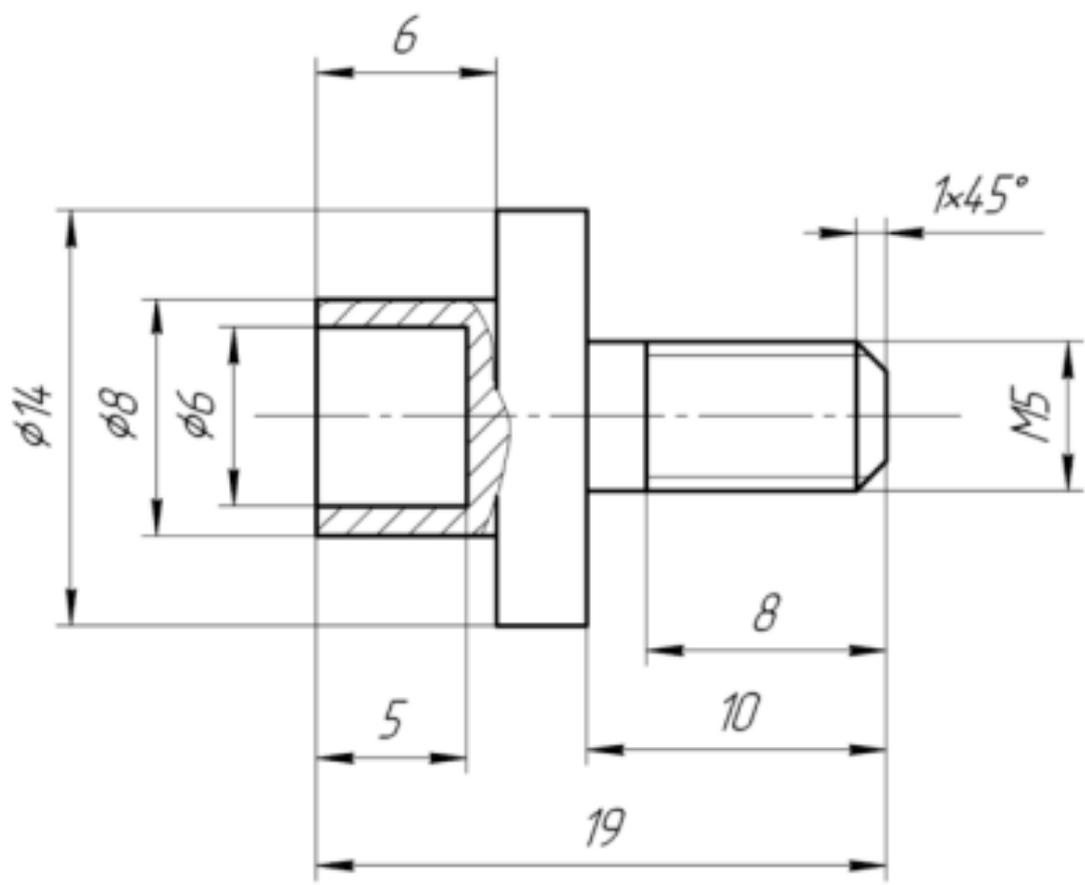
A-A



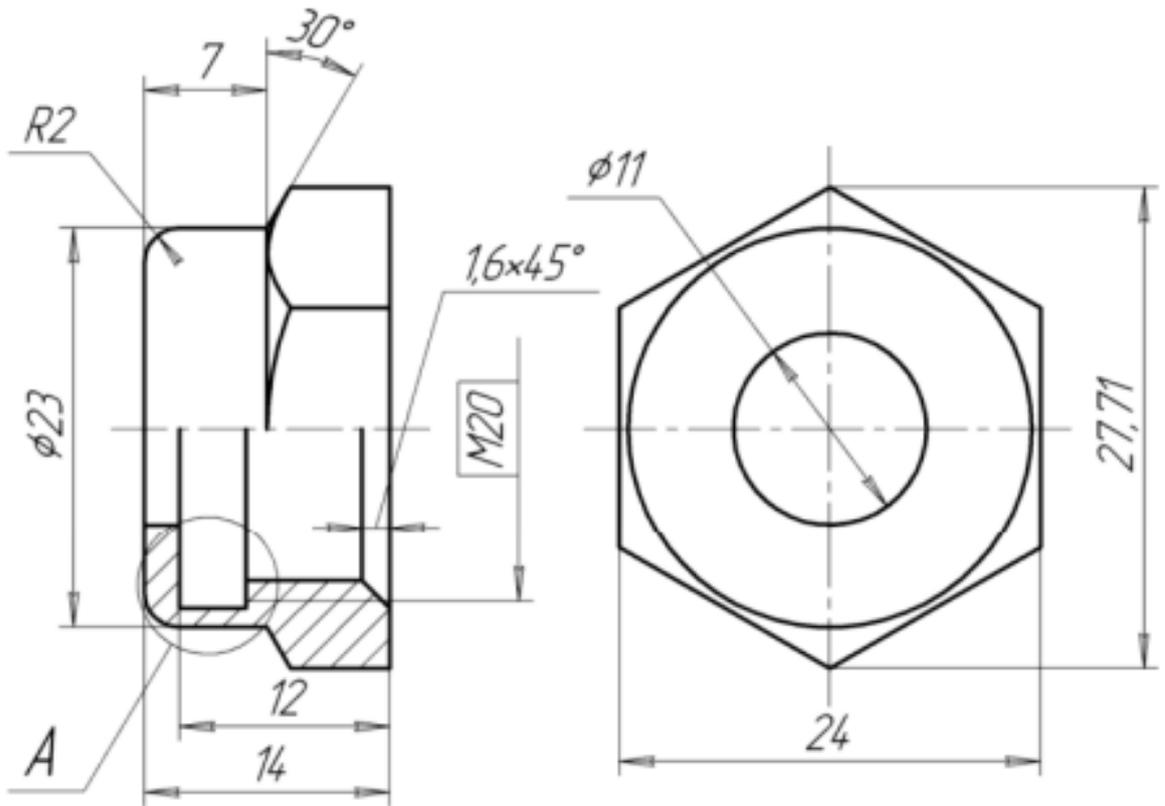
08.14.02		Лист	Масса	Материал
Крышка		У		4-1
Изм/Лист	№ докум	Лист	Всего	
Разработ	Провер	Лист	Всего	
Утверд	Соглас	Лист	Всего	



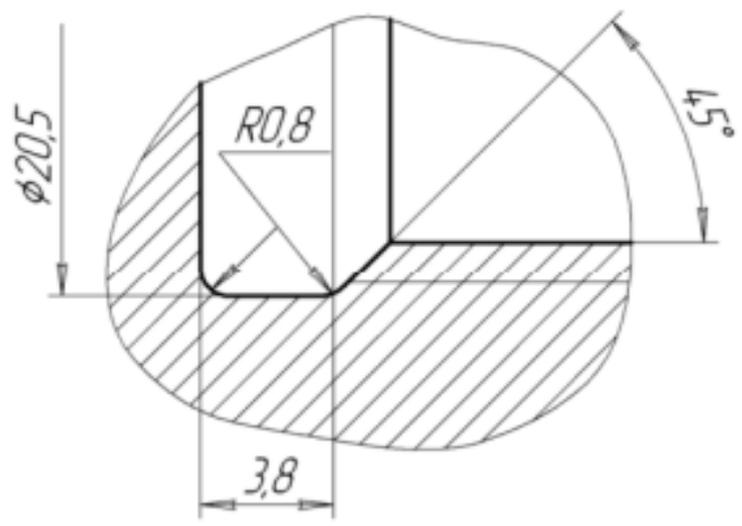
					08. 14. 03			
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	ШТОК	Лит	Масса	Масштаб
Разраб		Орлов				У		2:1
Проб		Егоров				Лист	Листов	
Т.контр								



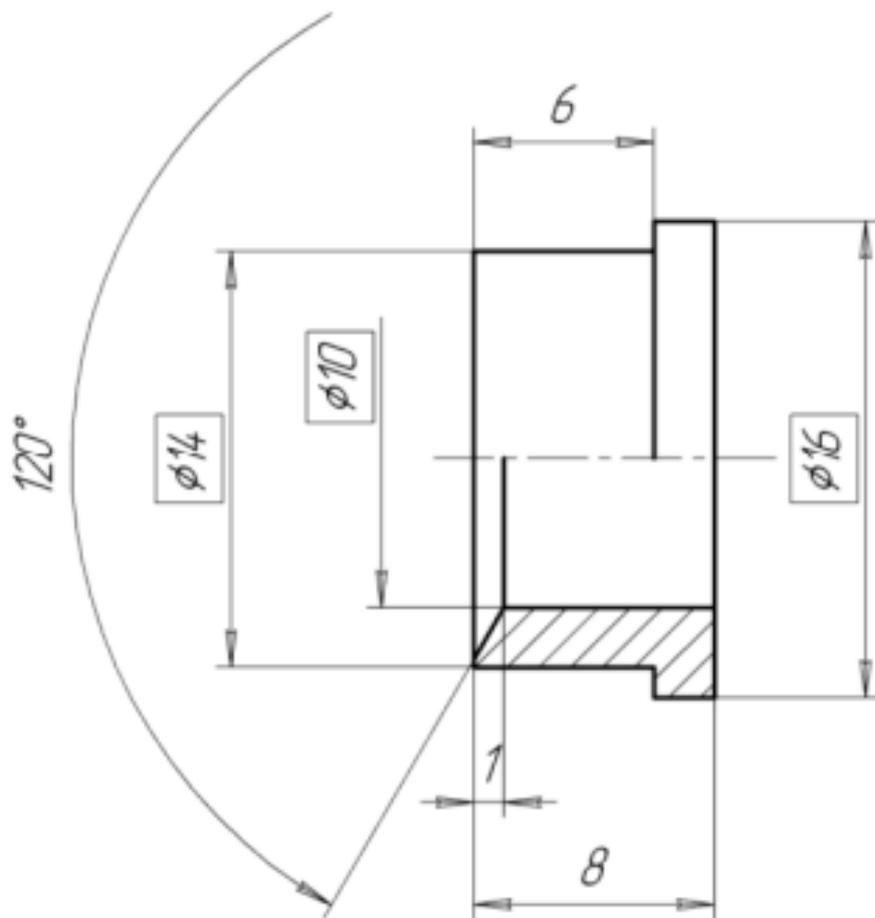
				08.14.04			
				<i>Клапан</i>	Лист	Масса	Масштаб
Лист	№ докум	Подп	Дата		У		4:1
ад.	Орлов				Лист	Листов	1
инж.	Егоров						



A (5:1)



				08.14.05				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Гайка накладная	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Орлов					У		2,5:1
Проб.	Егоров					Лист	Листов	
Т.контр.								



				08. 14. 07.			
лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Втулка</i>	Лист	Масса	Масштаб
д.	Орлов				4		4:1
пр.	Егоров				Лист	Листов	

08.04.12.02

Листов промен

Стрoб №

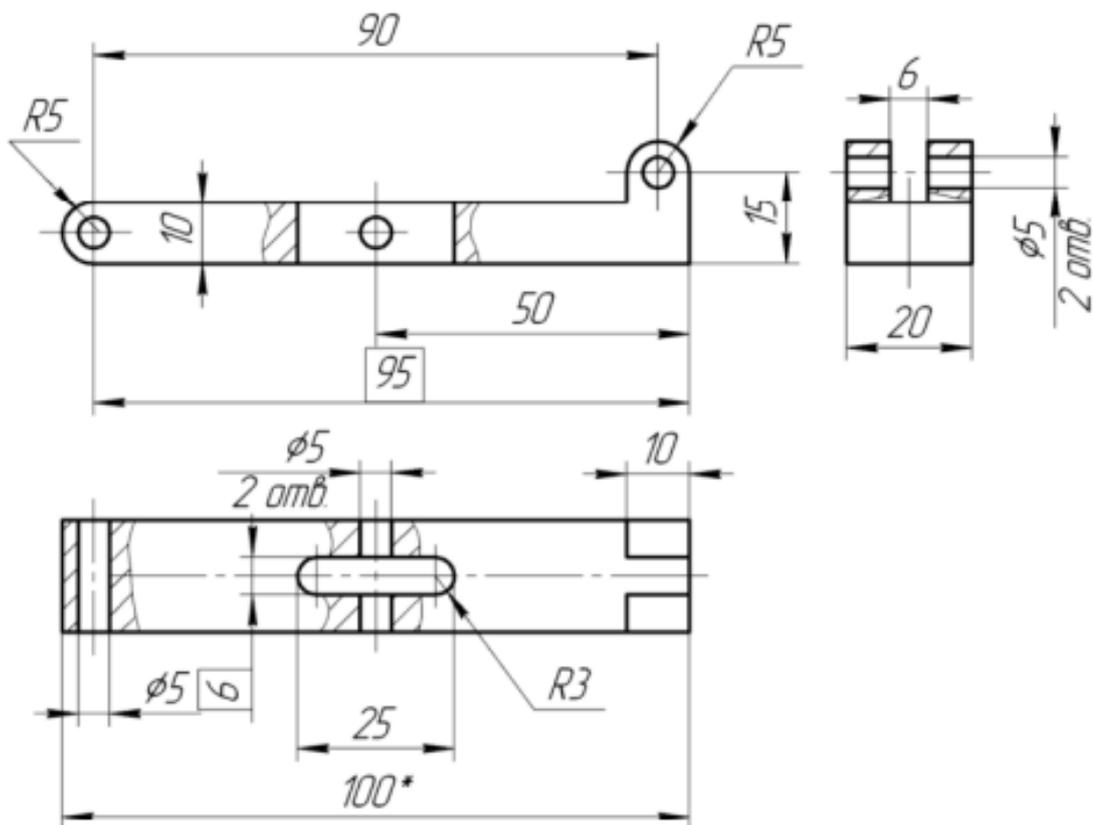
Подп и дата

Инд № дубл

Взам инд №

Подп и дата

Инд № подл



\* Размер для справок

08.04.12.02

Изм	Лист	№ док-м	Подп	Дата
Разраб				
Проб				
Т.контр				
И.контр				
Утв				

Планка

Сталь 20 ГОСТ 1050-74

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

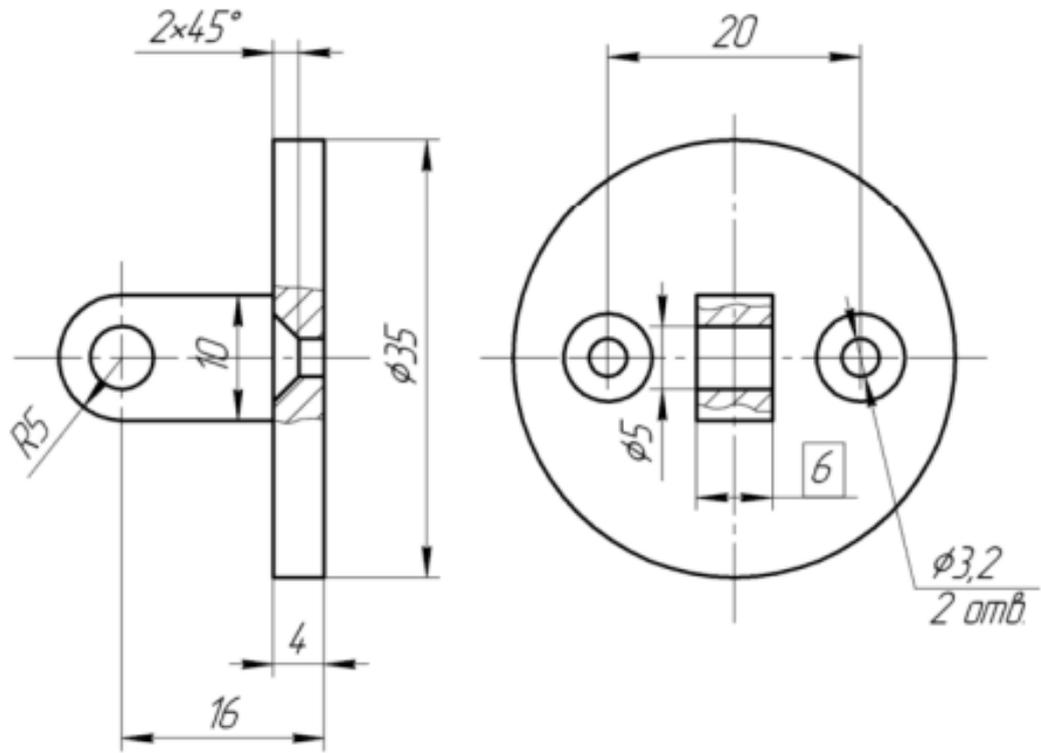
Копировал

Формат А4

08.04.12.03

Перв. примен.

Сталь №



Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.					
Пров.					
Т.контр.					
Н.контр.					
Утв.					

08.04.12.03

Пята

Сталь 20 ГОСТ 1050-74

Лит.	Масса	Масштаб
		2:1
Лист	Листов	1

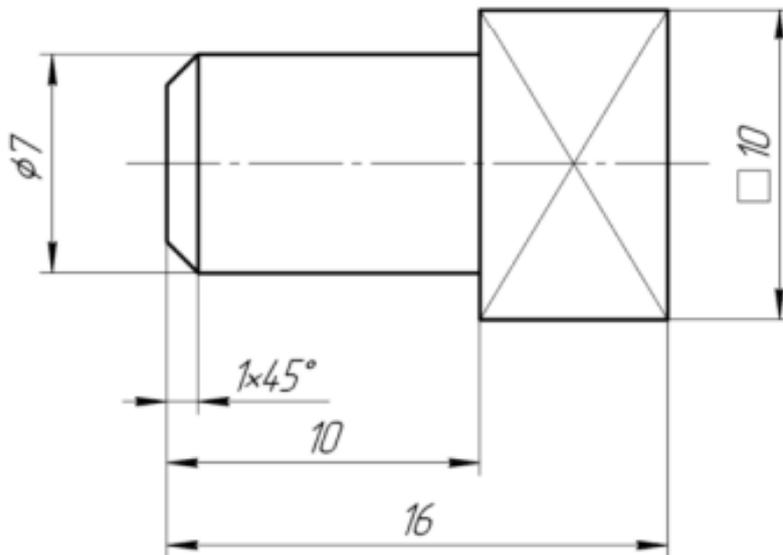
Копировал

Формат А4

08.04.12.04

Перв. примен.

Сталь №



Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

08.04.12.04

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

Палец

Лит.	Масса	Масштаб
		5:1
Лист		Листов 1

Сталь 40 ГОСТ 1050-74

Копировал

Формат А4

08.04.12.05

Лист примен

Строч. №

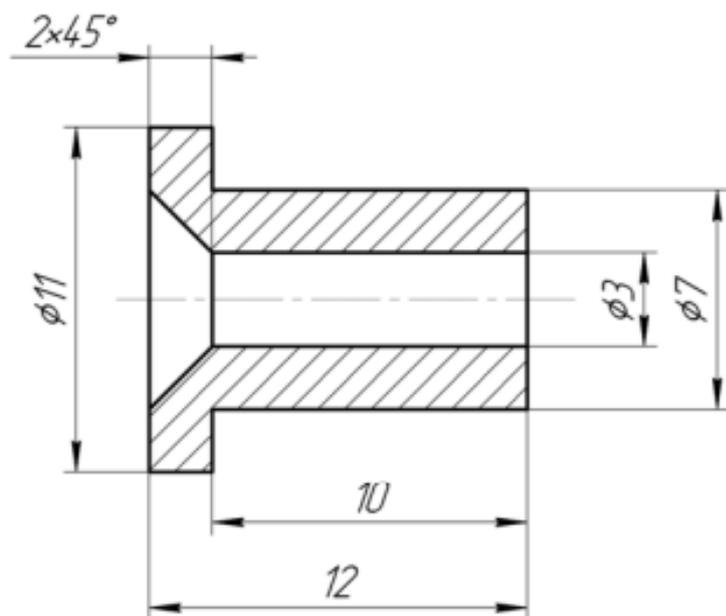
Подп. и дата

Инд. № дробл

Взам инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл



08.04.12.05

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

Втулка

Лист	Масса	Масштаб
		5:1
Лист	Листов	1

Сталь У7 ГОСТ 1435-74

Копировал

Формат А4



Перв. примен.

Стор. №

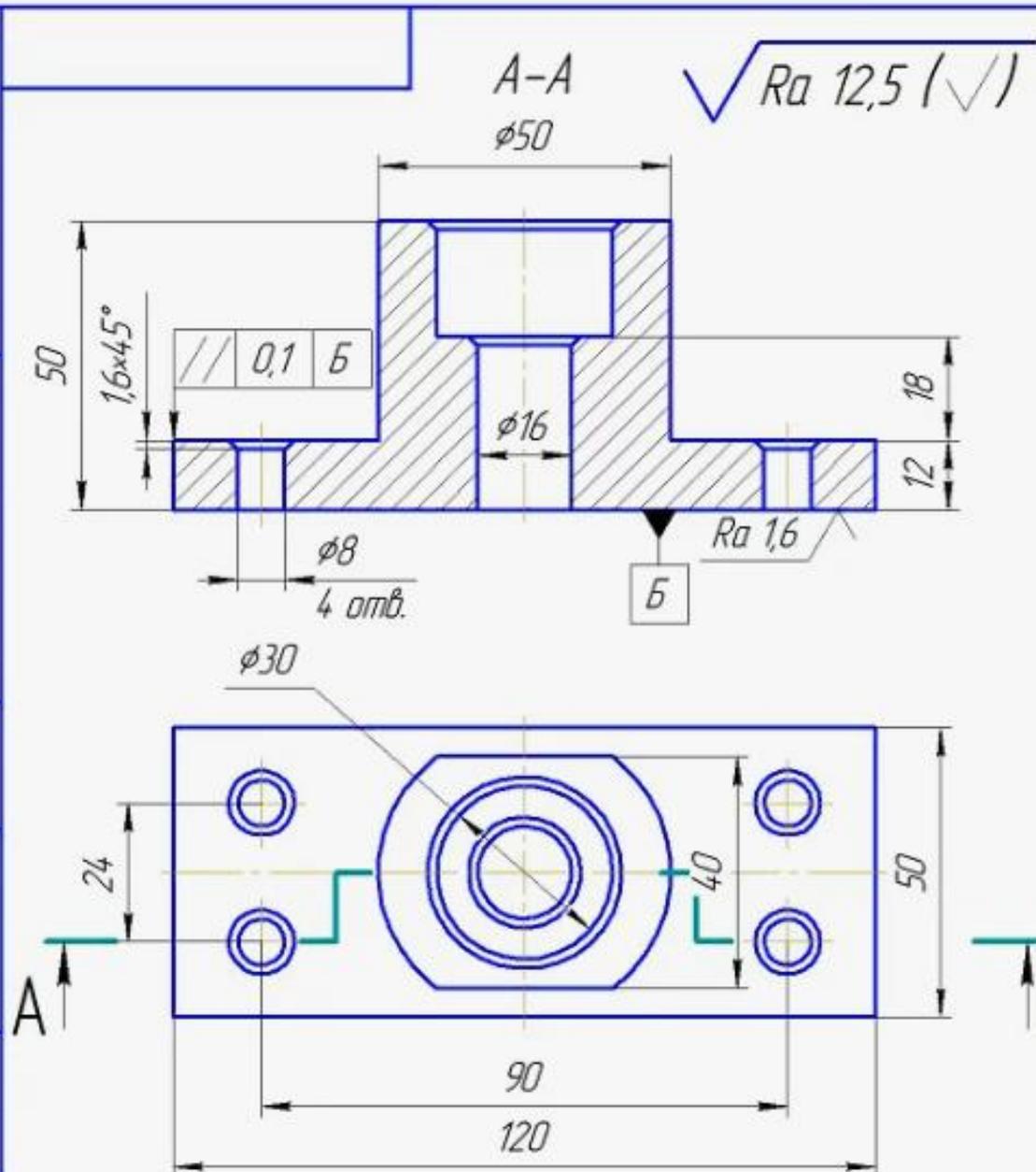
Подп. и дата

Изм. №

Взам. изд. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



1. H14, h14,  $\pm \frac{IT14}{2}$ .
2. Остальные технические требования по ОСТ...

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

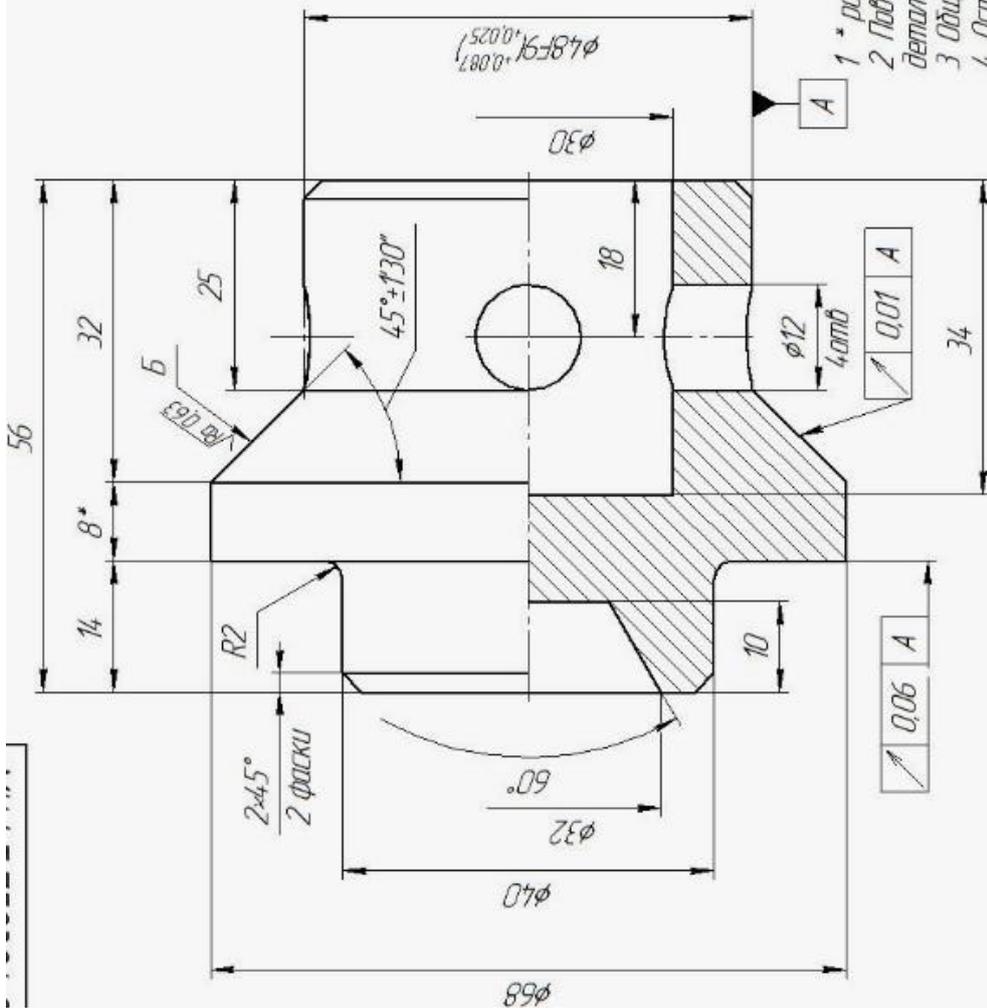
Корпус

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Копировал

Формат А4

✓ Ra 1,6 (✓)



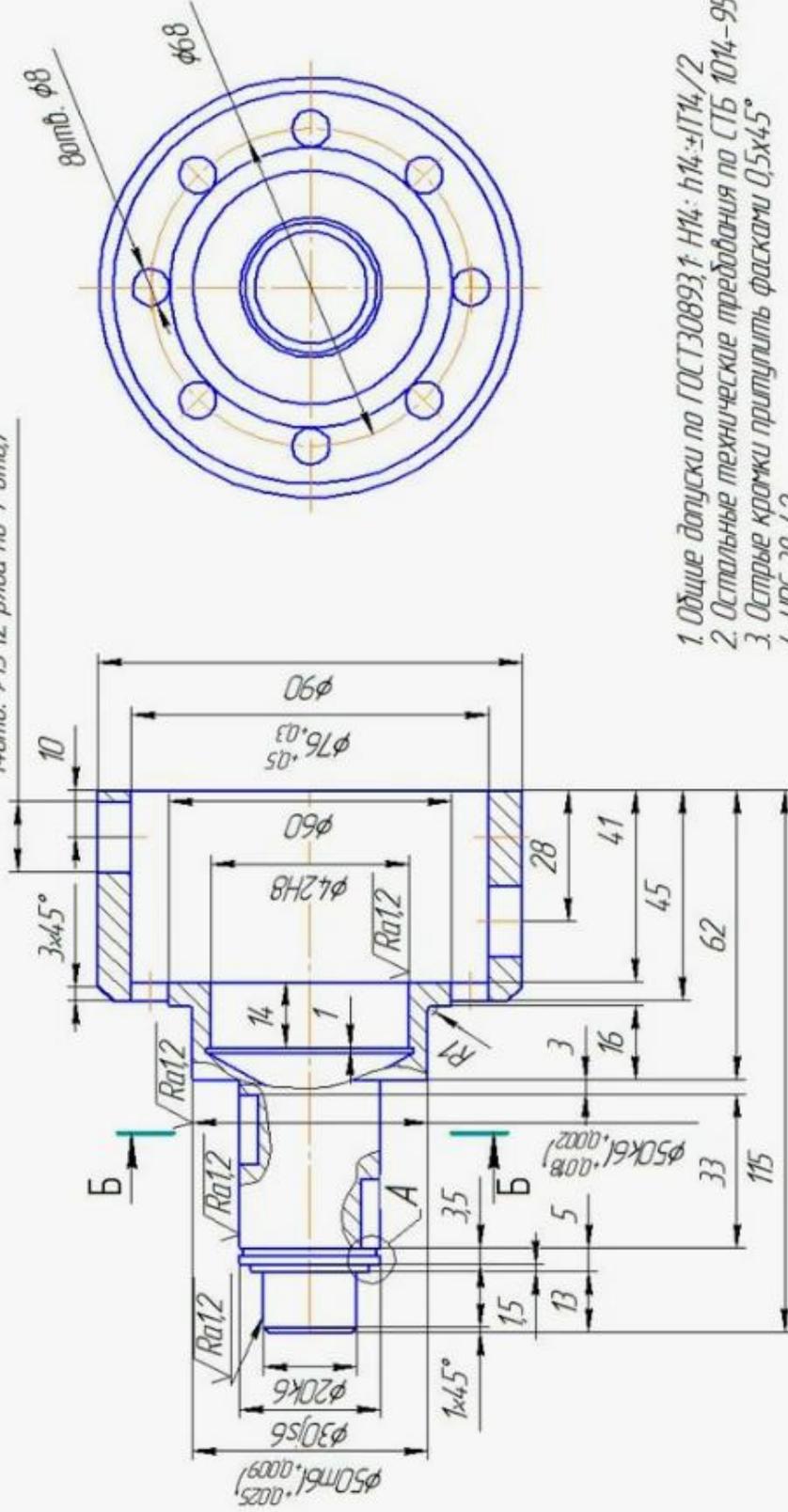
- 1\* размер для справок
- 2 Поверхность Б притереть к соответствующей поверхности детали поз. 2
- 3 Общие допуски по ГОСТ 30803-12002, H14, h14+/-t1/2
- 4 Остальные IT по ГОСТ 34-10-509-90

МИФТ.752324.003		Лист	Масса	Масштаб
Клапан		Лист	0,64	2:1
		Лист		1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Разработ.	А. В.	
		Проб.	Г. С.	
		Т. номер		

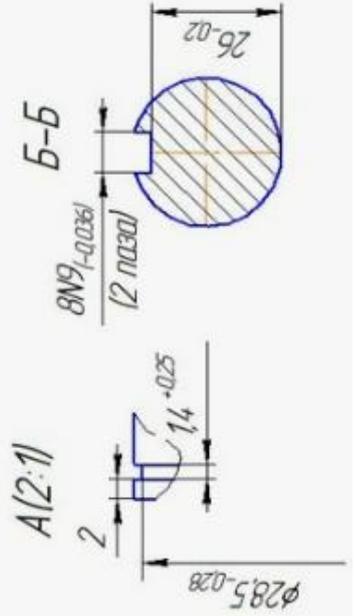


√ Ra 6,3 (✓)

14 отв. φ15 (2 ряда по 7 отв.)



1. Общие допуски по ГОСТ 30893.1 Н14: h14-jT14/2
2. Остальные технические требования по СТБ 1014-95
3. Острые кромки пригнупить фасками 0,5x45°
4. HRC 38...42
5. Отверстия φ15 во втором ряду смещены относительно отверстий первого ряда на половину углового шага на 25,7°



Изм./Лист	№ докум.	Лист	Листов
1		1	1

Сепаратор  
первой ступени

Локальный электронный методический материал

Антон Геннадьевич Кисель

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор С. Кондрашова  
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 4,3. Печ. л. 3,3.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
236022, Калининград, Советский проспект, 1