

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ В СИСТЕМЕ A'PROPOS



Уфа 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ В СИСТЕМЕ A'PROPOS

Допущено Редакционно-издательским советом УГАТУ в качестве лабораторного практикума для студентов, обучающихся по направлению 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.05.01 Проектирование технологических машин и механизмов

Учебное электронное издание сетевого доступа

ISBN 978-5-4221-1482-5

Уфа 2021

Авторы-составители: В. Ю. Иванов, И. И. Емаев, Г. М. Нурисламова

Рецензенты:

зам. главного металлурга ПАО «ОДК-УМПО», канд. техн. наук П. Н. Никифоров;

ОГТ Бюро САПР ведущий инженер-программист О. Г. Тасун

Размерный анализ в системе A'PROPOS : лабораторный практикум [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т ; [В. Ю. Иванов и др.]. – Уфа : УГАТУ, 2021. – URL: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2021-67.pdf

Содержит методические рекомендации по выполнению лабораторных работ с целью приобретения умений и навыков в области систем автоматизированного проектирования технологических процессов. Предназначен для студентов, обучающихся по дисциплинам «Основы САПР технологических процессов», «САПР технологических процессов» и «Автоматизированное проектирование технологических процессов». Может быть полезен при подготовке магистров по направлению 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и бакалавров по направлению 27.03.05 Инноватика.

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Авторы-составители: *Иванов Владимир Юрьевич, Емаев Илья Игоревич, Нурисламова Гульназ Маратовна*

Редактирование и верстка: *О. А. Соколова*

Программирование и компьютерный дизайн: *А. П. Меркулова*

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.
Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: rik.ugatu@yandex.ru

Все права на размножение, распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование, использование данного продукта запрещено

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее эффективным средством повышения производительности инженерного труда является использование различных систем автоматизированного проектирования (САПР). В условиях перехода на выпуск новых изделий, обеспечения мобильности и постоянной модернизации производства на первый план выходит сокращение сроков и улучшение качества разработок. Это означает, что жизненный цикл изделия должен занимать все меньшие интервалы времени.

Одним из основных и наиболее длительным этапом жизненного цикла изделия является технологическая подготовка производства, а именно проектирование технологических процессов, выполняемая инженерами-технологами. Причем, по объему проектных разработок технологическое проектирование существенно превосходит конструкторские разработки. Машиностроение в отличие от других отраслей промышленности имеет характерную особенность, заключающуюся в том, что при освоении производства новых машин, или при совершенствовании выпускаемых, разрабатываются большое количество технологических процессов.

Улучшение качества проектирования и сокращение его сроков может быть достигнуто разработкой и внедрением САПР ТП. При проектировании технологических процессов изготовления деталей машин значительное место во всем комплексе работ занимают расчеты основных выходных параметров ТП (операционных размеров, припусков, размеров заготовок, норм времени и др.), а также оценка точности технологического процесса в целом. Очевидно, часть проектных разработок, как наиболее общая и широко используемая (имеется в виду размерный анализ технологического процесса), должна быть автоматизирована в первую очередь.

Система A'PROPOS предназначена для автоматизированного проектирования технологического процесса, проектного расчета операционных размеров, их отклонений, отклонений расположения поверхностей и колебаний припусков при проектировании ТП механической обработки деталей (в том числе и ТП с химико-термической обработкой и операциями нанесения покрытий) и для поверочного расчета действующих технологических процессов.

Система A'PROPOS позволяет получить оптимальную структуру технологического процесса, гарантированно обеспечивающую выдерживание всех требований чертежа и, одновременно, максимальное расширение полей допусков технологических размеров и отклонений расположения для снижения затрат на изготовление. Помимо этого, в системе происходит генерация параметрического комплекта графической технологической документации с обеспечением двунаправленного интерфейса с САД-системами.

Применение систем автоматизированного проектирования при выполнении размерного анализа технологического процесса позволяет быстрее и объективнее анализировать различные варианты размерных связей и выбирать оптимальный. Решению этой актуальной задачи и посвящены лабораторные работы.

В результате выполнения лабораторных работ при подготовке бакалавров по направлению 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств обеспечиваются следующие компетенции:

– способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности (ОПК-3);

– способность участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью (ОПК-5);

– способность участвовать в разработке проектов изделий машиностроения, средств технологического оснащения, автоматизации и диагностики машиностроительных производств, технологических процессов их изготовления и модернизации с учетом технологических, эксплуатационных, эстетических, экономических, управленческих параметров и использованием современных информационных технологий и вычислительной техники, а также выбирать эти средства и проводить диагностику объектов машиностроительных производств с применением необходимых методов и средств анализа (ПК-4).

При подготовке магистров по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» обеспечивается:

– способность выбирать и эффективно использовать материалы, оборудование, инструменты, технологическую оснастку, средства

автоматизации, контроля, диагностики, управления, алгоритмы и программы выбора и расчета параметров технологических процессов, технических и эксплуатационных характеристик машиностроительных производств, а также средства для реализации производственных и технологических процессов изготовления (ПК-6);

– способностью применять на практике современные методы и средства определения эксплуатационных характеристик элементов машиностроительных производств и средств программного обеспечения, сертификационных испытаний изделий, выбирать методы и средства измерения, участвовать в организации диагностики технологических процессов, оборудования средств и систем управления машиностроительных производств (ПК-23).

Лабораторные занятия необходимо проводить в компьютерном классе, оснащенном персональными компьютерами. Для выполнения лабораторных работ используется программное обеспечение – система A'PROPOS (Графит ТМ) 13.5.7.

ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Требования по технике безопасности разработаны в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы».

Необходимо понимать, что работа оператора ПЭВМ относится к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда. Поэтому к работе в компьютерном классе допускаются лица, ознакомленные с инструкцией по технике безопасности и правилами поведения.

Перед началом работы необходимо осмотреть и привести в порядок рабочее место, отрегулировать освещенность на рабочем месте, убедиться в достаточной освещенности, отсутствии отражений на экране, отсутствии встречного светового потока. Помимо этого, необходимо соблюдать ряд основных правил:

- не входить в класс в верхней одежде и не вносить ее;
- не передвигать с место на место компьютер и его периферию;
- не трогать разъемы и коммуникации.

В процессе работы разрешается выполнять только то задание, которое было поручено. При необходимости прекращения работы на некоторое время следует корректно закрыть все активные задачи. Необходимо соблюдать правила эксплуатации вычислительной техники в соответствии с инструкциями по эксплуатации, соблюдать установленные режимом рабочего времени, регламентированные перерывы в работе и выполнять в физкультминутках рекомендованные упражнения для глаз, шеи, рук, туловища, ног. В случае появления рези в глазах, резком ухудшении видимости – невозможности сфокусировать взгляд или навести его резкость, при появлении боли в пальцах и кистях рук, усилении сердцебиения немедленно сообщить преподавателю и покинуть рабочее место, обратиться к врачу. Во время работы также следует соблюдать расстояние от глаз до экрана в пределах 60 – 80 см и запрещается:

- касаться экрана монитора пальцами и пишущими предметами;
- размещать на столах и аппаратуре личные вещи;
- производить частые переключения питания;

– допускать попадание влаги на поверхность системного блока (процессора), монитора, рабочую поверхность клавиатуры, дисководов, принтеров и др.;

– устанавливать и изменять на компьютере программные продукты и их компоненты без согласования с дежурным инженером;

– использовать компьютерные игры и иные программные средства, не связанные с учебным процессом.

В любых случаях сбоя в работе технического оборудования программного обеспечения необходимо немедленно сообщить преподавателю и/или инженеру.

По окончании работ оператор обязан произвести закрытие всех активных задач.

Конечно, все обязаны соблюдать простые правила по пожарной безопасности. В частности, не допускать нарушение правил эксплуатации электроприборов (компьютеров), не курить в помещении. При обнаружении очага возгорания или задымления немедленно принять меры по его ликвидации, сообщить о происшествии ответственному по пожарной безопасности. Стоит всегда помнить про телефоны: 01 или 101, 112 (с мобильного).

Загоревшуюся электропроводку и электротехнику немедленно обесточить и при невозможности отключения электроэнергии – тушить только углекислотным или порошковым огнетушителями.

За нарушение указанных правил, пользователи могут быть удалены из класса и лишены права пользоваться компьютером.

Лабораторная работа № 1

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНА ОБРАБОТКИ В СИСТЕМЕ A'PROPOS

Цель работы

Научиться с помощью системы A'PROPOS автоматически генерировать технологический процесс, рассчитывать операционные размеры и допуски в технологических процессах.

Теоретические сведения

По способу выполнения размерный анализ технологических процессов (ТП) подразделяется:

- на анализ проектируемого вновь ТП, на основе только чертежа детали;
- анализ проектируемого вновь ТП, при наличии чертежа детали и заготовки. Подобный вариант возникает, в случае если производство заготовок начинают прежде (по разным причинам), чем разрабатывают технологию механической обработки;
- анализ существующего ТП, когда возникает несоответствие или систематический брак, т.е. ТП не гарантирует получение требуемых показателей качества. Для этого выявляют размерные связи на операциях, затем происходит решение размерных цепей (устанавливают значения минимальных или фактических припусков, удаляемых на операциях), и определяют вероятные пути совершенствования плана обработки.

Комплекс A'PROPOS специализирован на проектном расчете операционных размеров и их отклонений, отклонений расположения поверхностей и колебаний припусков при проектировании технологического процесса механической обработки деталей и для проверочного расчета действующих ТП.

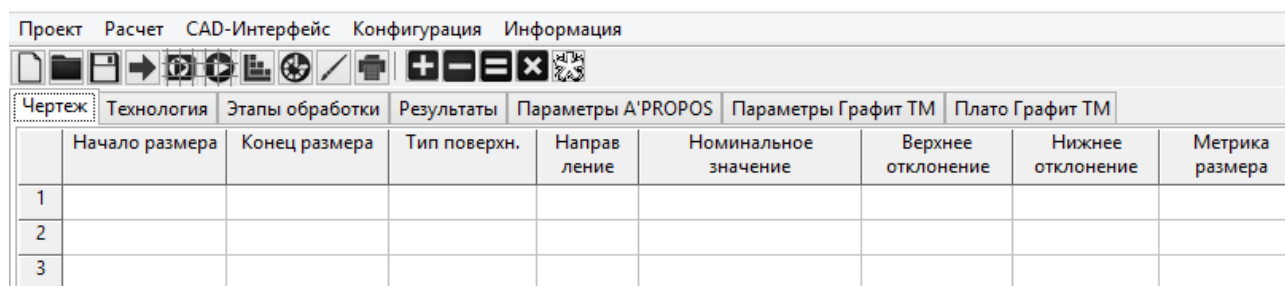
Размерный анализ предполагает:

- назначение допусков на все технологические размеры;
- назначение технических требований на операциях;
- определение минимальных значений припусков;
- построение размерных схем ТП;
- выявление взаимосвязи всех размерных параметров;

- расчет возможности обеспечения заданных чертежных размеров и технических требований;
- установление целесообразных способов простановки размеров на операциях;
- определение номинальных значений операционных размеров путем решения размерных цепей;
- определение толщины слоев химико-термической обработки и покрытия поверхностей и другие задачи.

Расчет размеров и допусков расположения по всем координатным направлениям в системе A'PROPOS может выполняться по отдельности или одновременно. Допускается задание фиксированных значений любых технологических размеров (их номинальных величин и отклонений), в частности, размеров заготовки, глубины химико-термической обработки, толщины покрытий. Фиксированные значения не изменяются в процессе расчета.

Комплекс состоит из монитора, чертилки, табличного редактора и программ расчета. Монитор A'PROPOS (рис. 1.1) позволяет управлять подготовкой данных и их расчетом посредством системы меню или комбинацией клавиш (табл. 1.1). Аналогичные действия можно активировать соответствующими кнопками на инструментальной панели управления системы.



The screenshot shows the A'PROPOS software interface. At the top is a menu bar with items: Проект, Расчет, CAD-Интерфейс, Конфигурация, and Информация. Below the menu bar is a toolbar with various icons. A tabbed interface is visible with tabs: Чертеж (selected), Технология, Этапы обработки, Результаты, Параметры A'PROPOS, Параметры Графит ТМ, and Плато Графит ТМ. Below the tabs is a table with 9 columns and 4 rows.

	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн.	Направление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метрика размера
1								
2								
3								

Рис. 1.1. Монитор и меню A'PROPOS

Меню содержит пять пунктов.

1. «Проект» – файловые операции с проектом A'PROPOS.
2. «Расчет» – выполнение расчетов и печать результатов.
3. «CAD-интерфейс» – взаимодействие с CAD-системами типа AutoCAD, BRICSCAD и КОМПАС.
4. «Конфигурация» – просмотр и изменение параметров системы A'PROPOS, подключенной CAD-системы и принтера.

5. «Информация» – руководство по заполнению таблиц исходных данных и вспомогательная информация, эталонный пример.

Таблица 1.1

Сочетание клавиш

Комбинация клавиш	Действие
F1	Вызов файла справки APROPOS.RTF
[Ctrl] + [N]	Создать новый проект A'PROPOS
[Ctrl] + [O]	Открыть существующий проект A'PROPOS
[Ctrl] + [S]	Сохранить текущий проект
[Alt] + [X]	Завершить работу с системой A'PROPOS
[Ctrl] + [1]	Выполнить проектный расчет
[Ctrl] + [2]	Выполнить генерацию эскиза ДЕТАЛИ
[Ctrl] + [3]	Выполнить генерацию технологических эскизов
[Ctrl] + [4]	Построение и загрузка этапов обработки (управляется параметрами Этапы обработки на закладке «Параметры Графит ТМ»)
[Ctrl] + [5]	Выполнить проектный расчет по этапам обработки
[Ctrl] + [P]	Печать результатов расчета на принтер
[Ctrl]+[+], [Ctrl]+[=]	Вставить новую строку таблицы под текущей строкой
[Ctrl] + [-]	Удалить текущую строку таблицы
[Ctrl] + [DEL]	Очистить текущую строку таблицы
[Ctrl] + [*]	Включить/Исключить строку таблицы из расчета.

Пункт меню «Проект» обеспечивает создание, сохранение, открытие нового и загрузку проекта старой версии системы. Пункт меню «Расчет» позволяет выполнить проектные расчеты и генерацию эскиза детали и технологических эскизов. В меню «Информация» располагаются ссылки на справку (описание системы, примеры) и обзор функциональной системы.

Все пункты меню сопровождаются подсказками в нижней строке программы. Для удобства работы с исходными данными и результатами программный комплекс снабжен панелью с закладками (табл. 1.2). На каждой закладке размещены соответствующие редакторы, позволяющие вводить и изменять информацию.

При старте системы автоматически создается и загружается проект с именем APR000nn.APRx, размещаемый во временном каталоге операционной системы. Если планируется дальнейшая

работа с ним, то необходимо сохранить проект под конкретным именем.

Таблица 1.2

Закладки (иконки)

Наименование закладки	Функция
Чертеж	Таблица описания чертежа детали
Технология	Таблица описания заготовки и технологического процесса
Этапы обработки	Таблица с этапами технологического процесса
Результаты	Файл с результатами расчета
Параметры A'PROPOS	Опции и параметры, управляющие размерными расчетами
Параметры Графит ТМ	Опции и параметры, управляющие модулями «Контур», «Размерная графика» и «Этапы обработки»
Плато Графит ТМ	Навигационная панель управления с отображением графических моделей операционной технологии (только для деталей заданных с контуром).

Меню «Проект» позволяет открыть существующий проект или создать новый.

Заканчивая сеанс работы, сохраните исходные данные, нажав [Ctrl] + [S] или положительно ответив на запрос системы о сохранении проекта при выходе.

Размерный анализ начинается с преобразования чертежа и его проверки. Практический опыт показал, что при выполнении размерного анализа без предварительного преобразования чертежей возникают ошибки, на поиск которых затрачивается куда больше времени, чем на выполнение преобразования чертежей. Возникающие в результате размерного анализа ошибки опасны для производства. Следовательно, важным этапом размерного анализа является преобразование чертежей детали и заготовки.

Для ускорения формирования исходных данных, описывающих деталь/чертеж в систему A'PROPOS включен экспресс-модуль «Чертилка». Чертилка позволяет быстро задать контур детали в режиме рисования с помощью мышки. Вызов «Чертилки» осуществляется либо кнопкой на панели инструментов (рис. 1.2), либо через меню «CAD-Интерфейс» + «Вызвать «Чертилку».

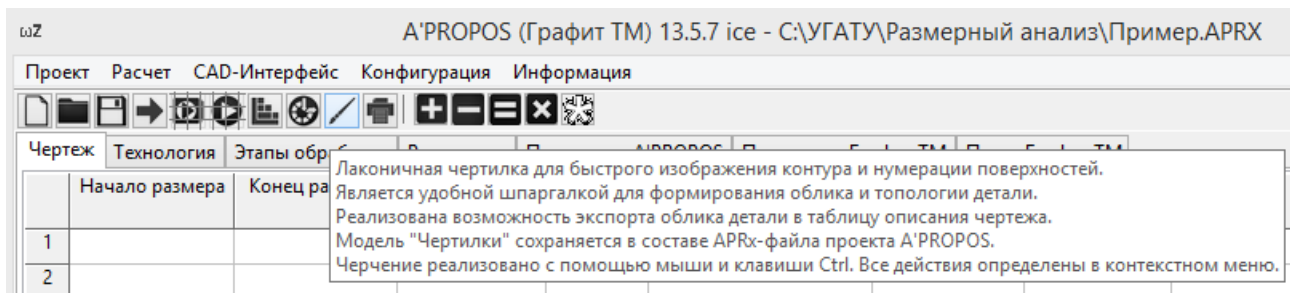


Рис. 1.2. Вызов экспресс-модуля «Чертилка»

При вызове «Чертилки» открывается графическая панель (рис. 1.3), на которой с помощью манипулятора мышь можно описать контур/подконтур детали. Описание представляет линии контура с узлами и метками с номерами поверхностей детали.

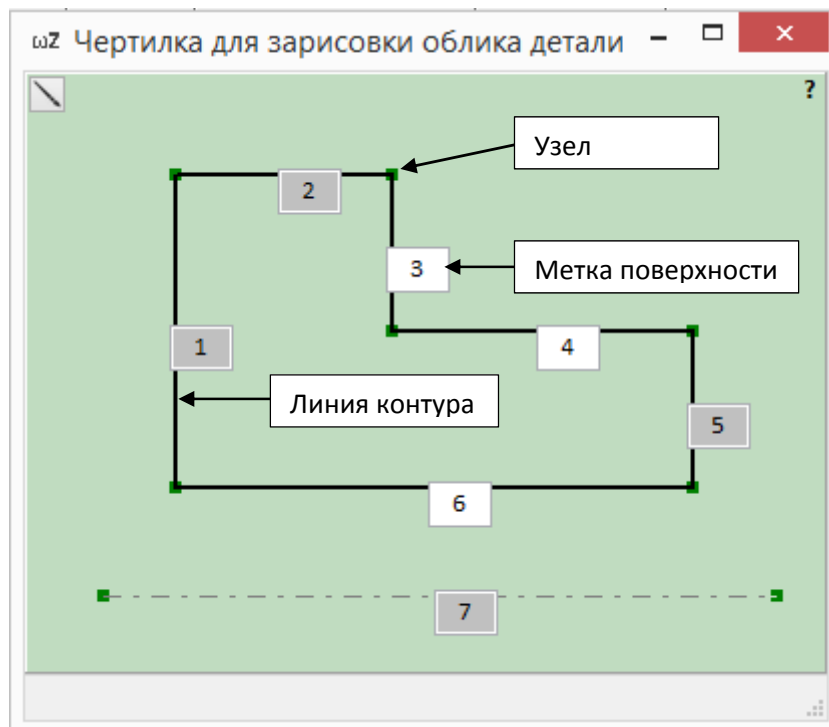


Рис. 1.3. Графическая панель

Для формирования контура используются следующие команды:

- щелчок левой кнопкой мыши – удалить существующий узел и все связи от него;
- нажать [Ctrl], затем левую кнопку мыши и удерживая ее тянуть прямую линию до следующего узла – создать поверхность между узлами;
- нажать [Alt], затем левую кнопку мыши и удерживая ее тянуть наклонную линию до следующего узла – создать пару, задающую коническую поверхность;

- ввести номер поверхности в индикатор соединительной линии или оставить сформированный номер;
- клавиша *[Ctrl]* + *[Del]* на индикаторе номера – удаление поверхности (соединительной линии). Узлы остаются;
- правая клавиша мыши на индикаторе или на поле «Чертилки» – вызов меню управления индикатором поверхности.

Рекомендуется формировать контур по часовой стрелке, начиная с самой «нижней» «левой» поверхности. Нумерация поверхностей производится автоматически с наращиванием номера относительно предыдущей поверхности. Номера поверхностей не должны повторяться (имеется возможность проверки уникальности номеров).

Щелчок правой кнопкой мыши по номеру поверхности позволяет задать поверхность осью, конусом, химико-термически обработанной или с покрытием (рис. 1.4).

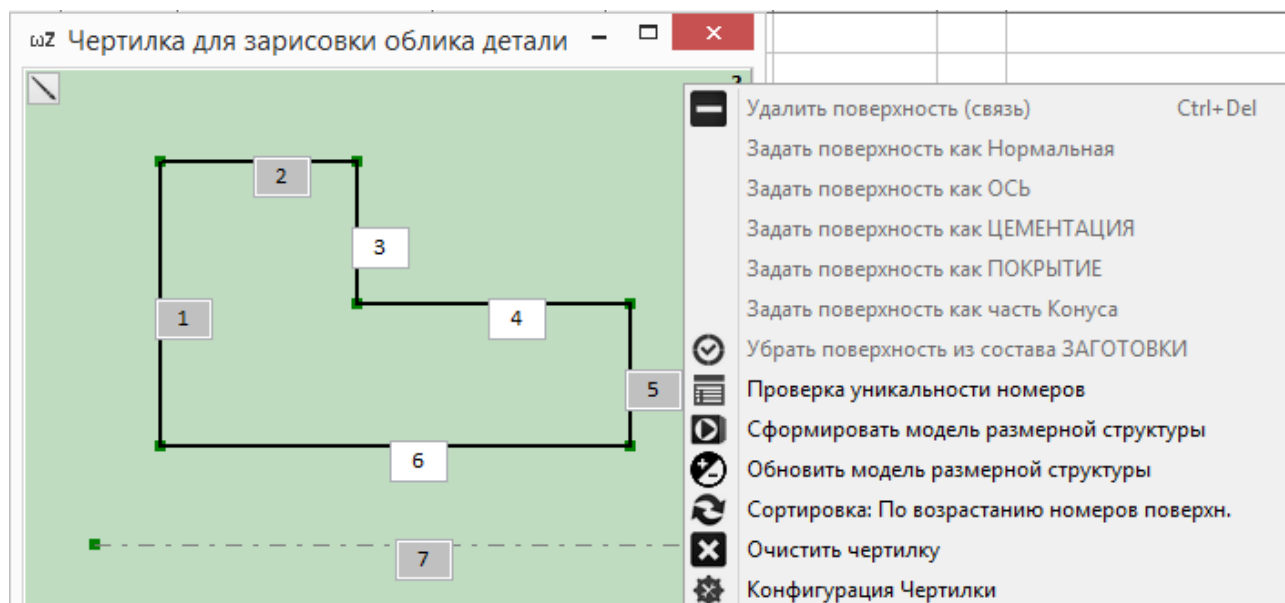


Рис. 1.4. Задание характеристик поверхности

После задания контура можно провести формирование модели облика детали и ее перенос в таблицу «Чертеж». Это выполняется нажатием кнопки в левом верхнем углу «Чертилки» выбором меню «Сформировать модель размерной структуры» (рис. 1.5).

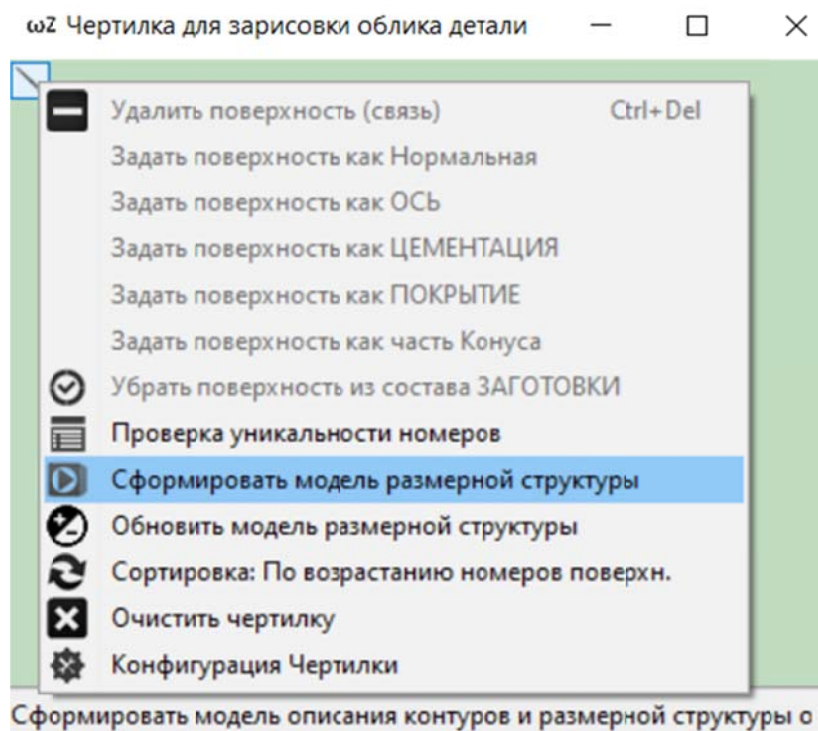


Рис. 1.5. Формирование модели облика детали

Сформированное в таблице «Чертеж» описание содержит точный состав и топологические характеристики поверхностей (вид, направления) и примерную размерную структуру с условными величинами номиналов размеров (рис. 1.6). Размерную структуру и номиналы можно уточнять.

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация									
Чертеж									
Технология									
Этапы обработки									
Результаты									
Параметры A'PROPOS									
Параметры Графит ТМ									
Плато Графит ТМ									
	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн.	Направление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метрика размера	Тэг
1		1	ЛВ						
2		7	ОСЬ	1					
3	7	2	ВАЛ	1	d50		-0.74		
4	1	3	ПР		25		-0.4		
5	7	4	ВАЛ	1	d46				
6	1	5	ПР		75		-0.2		
7	7	6	ОТВ	1	D10				
8									
9									

Рис. 1.6. Таблица «Чертеж»

Следует указать, что число чертежных размеров всегда на единицу меньше, чем число поверхностей и осевых линий, которые этими размерами связаны. Это условие следует проверить сразу после выполнения преобразованного чертежа.

Также полученную модель можно проверить, выполнив команду формирования эскиза детали. Результат проверки можно увидеть во вкладке «Плато Графит ТМ» или вызвав там же систему OpenSCAD (рис. 1.7).

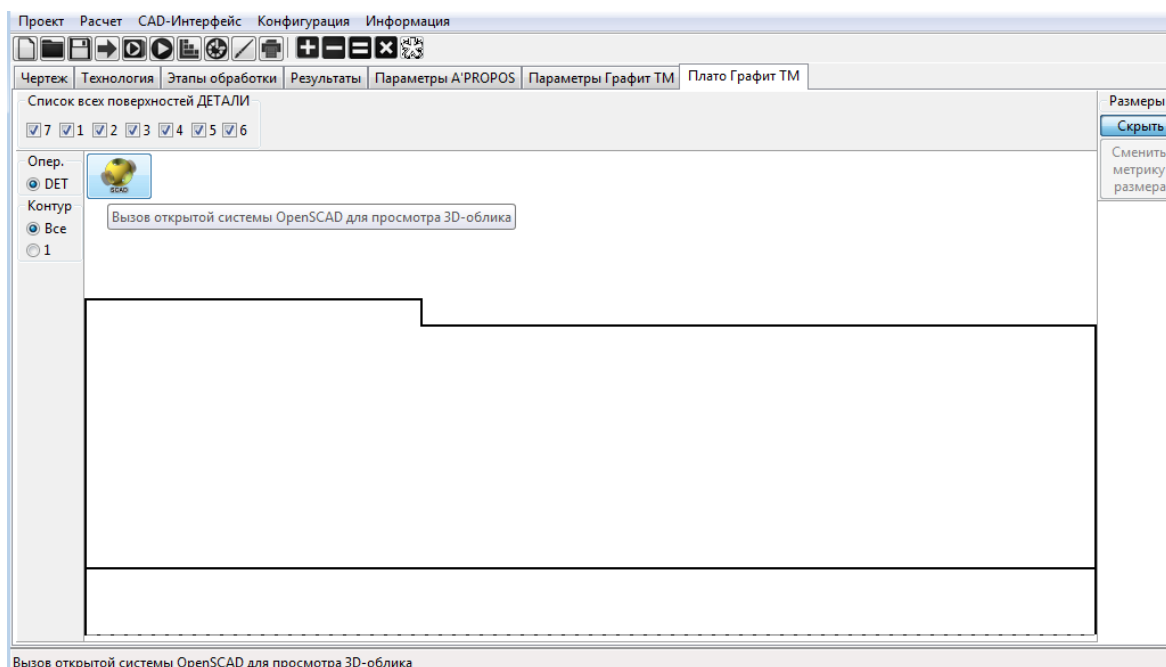


Рис. 1.7. Вызов системы OpenSCAD для просмотра 3D-модели

Содержание граф таблицы вкладки «Чертеж» следующее:

1 – *начало размера*: целое число без знака; указывает поверхность, от которой задан размер или базу допуска расположения. В первой строке с новым значением направления оси координат эта графа не заполняется.

2 – *конец размера*: целое число без знака; указывает поверхность, до которой поставлен размер или которая нормируется допуском расположения. В первой строке с новым значением направления оси координат в этой графе должна быть указана начальная поверхность.

3 – *тип поверхности* с шифром «Конец размера» или вид допуска расположения. Поверхности делятся на левые (ЛВ), правые (ПР), валы (ВАЛ), отверстия (ОТВ). Номинальное положение поверхностей может быть задано от осей симметрии. Так указываются размеры валов и отверстий.

4 – *направление оси координат*: число 0...9; условно обозначает номер оси координат, вдоль которой направлен данный размер. В строках с допусками расположения значения не имеет.

5 – номинальное значение размера или величина допуска расположения: вещественное число со знаком и префиксом типа размера. В качестве префикса задается: D – диаметр, R – радиус, $=$ – симметричный размер.

Диаметры и симметричные размеры следует задавать с префиксом, так как они участвуют в расчетах в половинном выражении. Для номинальных значений размеров допускается после указания численного значения указывать информационный постфикс – поле и значение качества/класса точности по *ISO/OCT*. Для *ISO* допустимые поля качеств h – вал, H – отверстие, js/JS – симметричный допуск, для *OCT* допустимые поля классов B – вал, A – отверстие (A и B в русском регистре). Допустимые значения качеств/классов: *ISO* = 1 ...17; *OCT* = 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5, 7, 8, 9, 10). Например, для *ISO*: $D10.5h6$, $-20.5H7$ или $=13js12$; для системы *OCT*: $D10.5B3$, $-20.5A3a$ или $=13B7$. Если в поле «Номинал» заданы качества/классы, то поля «Верхнее» и «Нижнее» отклонений размера игнорируются.

Номинальные значения диаметров, радиусов и симметричных размеров задаются всегда положительными; остальные размеры имеют знак:

- продольные (длинновые) размеры: плюс – при записи размера слева направо; минус – при записи размера справа налево;
- кольцевые размеры (толщины колец): плюс – при записи размера по направлению от оси; минус – при записи размера по направлению к оси.

6,7 – отклонения размера: вещественные числа со знаком; отклонение, равное нулю, можно не указывать. Отклонения размеров должны находиться в диапазоне от 0,0001 до 12 мм. Верхнее отклонение должно быть больше нижнего. Неуказанные отклонения будут приняты по качеству (классу точности), заданному в опциях «Параметры A'PROPOS» для детали (рис. 1.8).

Количество конструкторских размеров по каждому направлению не более 100. Для отклонений расположения установлен предел 500, что более чем достаточно для самых сложных деталей.

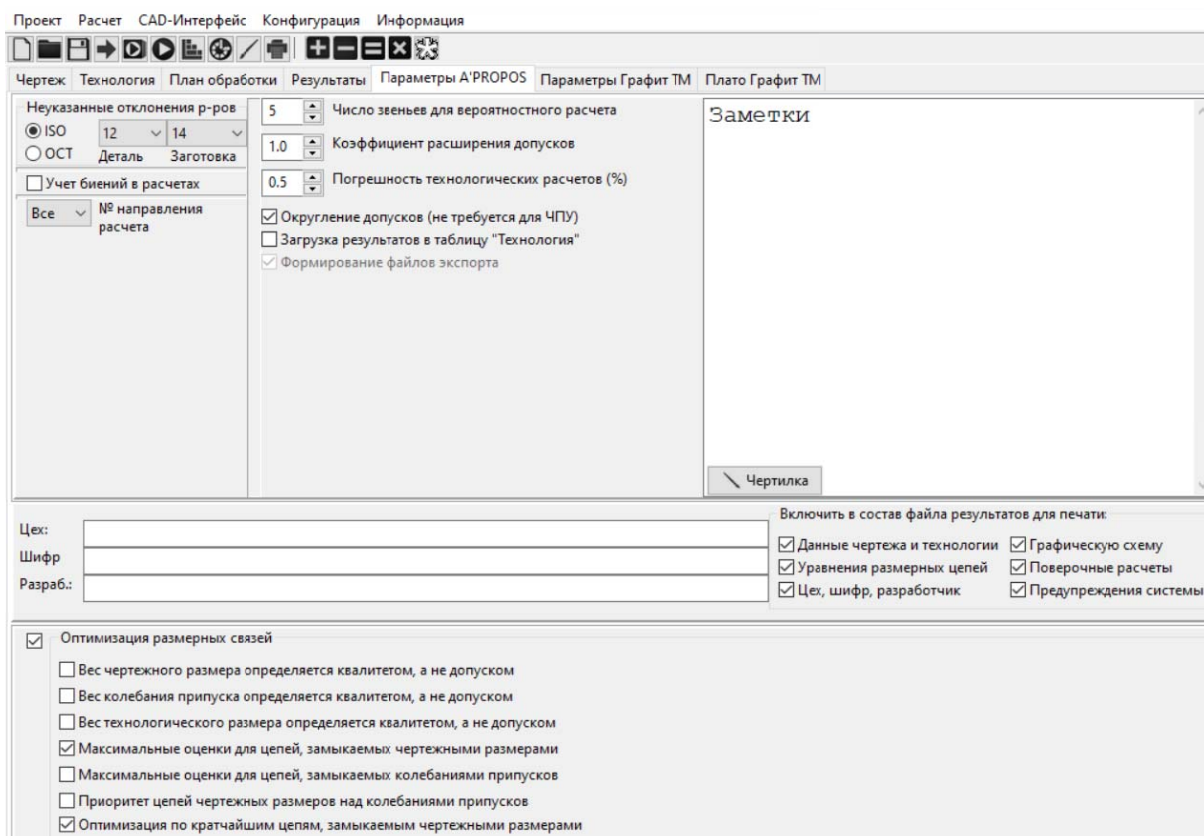



Рис. 1.8. Параметры A'PROPOS

8 – метрика размера: вещественное число со знаком: используется для графического моделирования простановки размеров на САД-эскизах и отрисовке в файле результатов расчета при работе в режиме «Контур».

Перед автоматическим формированием технологического процесса во вкладке «Параметры Графит ТМ» (рис. 1.9) необходимо задать состав заготовки (список поверхностей по часовой стрелке, заканчивая перечисление осевой линией). Эту операцию можно выполнить в «Чертилке», задавая поверхности, включаемые в состав заготовки путем нажатия *[Shift]*, затем левой кнопки мыши.

Формирование этапов обработки по чертежу детали осуществляется нажатием соответствующей кнопки  или сочетанием клавиш *[Ctrl]* + *[4]*.

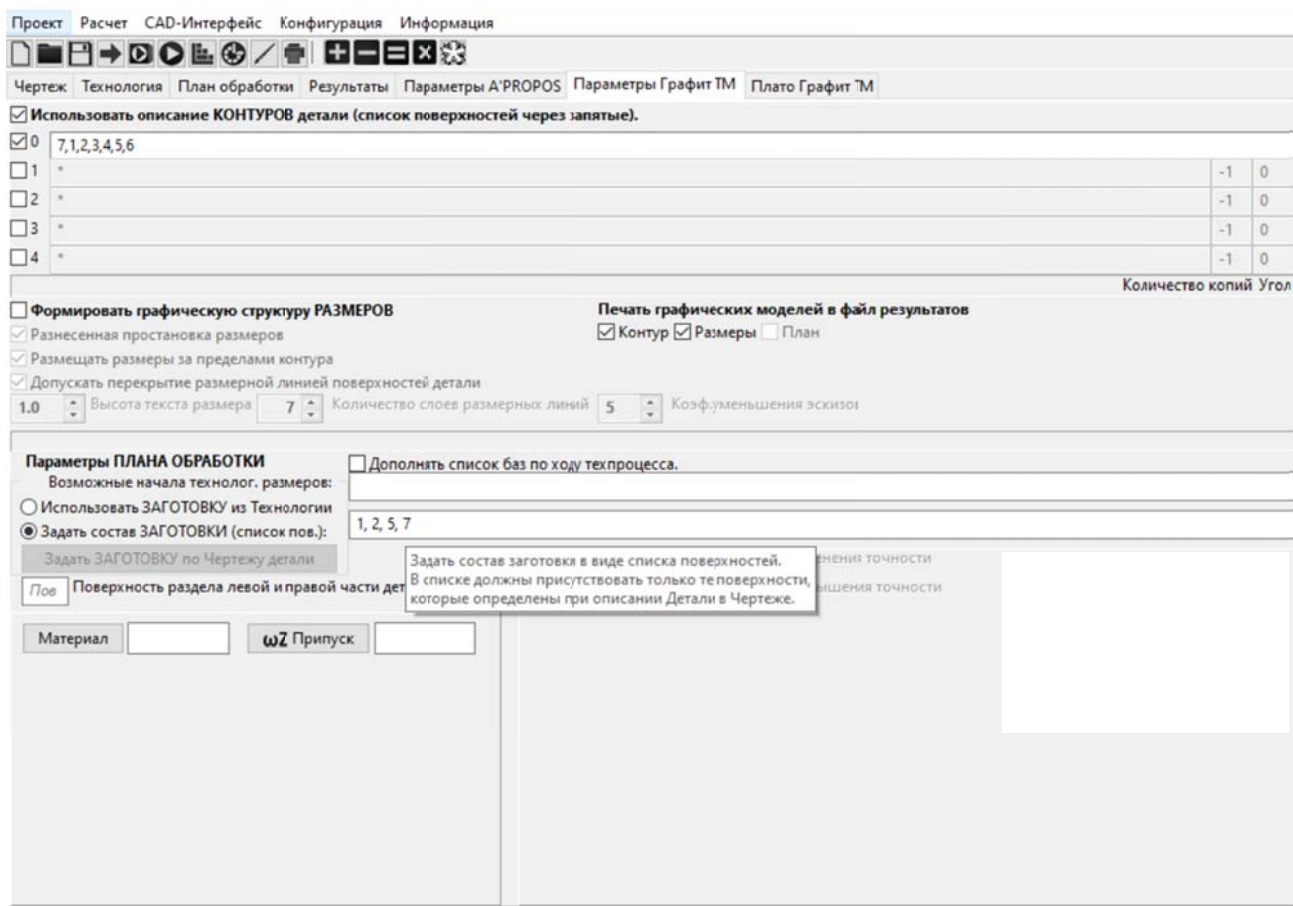


Рис. 1.9. Вкладка «Параметры Графит ТМ»

Данные технологического процесса содержатся в следующих графах таблицы:

1 – *номер операции*: целое число без знака. Для заготовки рекомендуется использовать нулевой номер операции (обязательно при работе с CAD-системой). При описании контрольной операции после ее номера указывается символ "К". Для явного определения последовательности обработки внутри операции можно задать номер перехода в формате "Операция. Переход", например 20.2;

A – технологическая – исходная база допуска расположения: целое число без знака;

B – допуск расположения поверхности.

Колонки A и B доступны только тогда, когда в «Параметрах A'PROPOS» задана опция «Учет биений в расчетах».

2 – *начало размера*: целое число без знака;

3 – *конец размера*: целое число без знака (для всех операций, кроме заготовительной, это обрабатываемая поверхность).

Для задания номеров поверхностей начал и концов размеров используют следующие соглашения: диапазон 1...199 – обычные поверхности, 201...399 – поверхности с ХТО, 401...599 – покрытие.

4 – префикс размера и/или *фиксированное значение размера*. В качестве префикса указывается: *D* – диаметр, *R* – радиус, = – симметричный размер.

Диаметры и симметричные размеры следует задавать с префиксом, так как по умолчанию они участвуют в расчетах в половинном выражении.


5,6 – *отклонения*: вещественные числа со знаком; графы заполняются, если задаются фиксированные отклонения технологических размеров. Системой не изменяются и в расчетах участвуют как заданные константы. Значение заданного качества (класса точности) при этом игнорируется.

7 – *качество размера (класс точности)* соответствует принятому методу обработки. При расчетах может быть изменен системой. Может задаваться значением *ISO*=[1..17]; *ОСТ*=[1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5, 7, 8, 9, 10], или содержать поле качества/класса точности по *ISO* или *ОСТ*, например «H7», «js12» или «A2а», «B7». Так же можно использовать только символы «h», «H», «js», «JS», «A», «B» без указания конкретных значений качества/класса. В этом случае система при расчете будет использовать соответствующий профиль отклонений. Если в строке таблицы явно задано или верхнее, или нижнее отклонение, то значение качества/класса игнорируется.

8 – *минимальный припуск*: вещественное положительное число; записывается минимально-необходимая величина операционного припуска (для задания колебания припуска можно указать его значение со знаком плюс после значения минимального припуска).

Значение минимального припуска принимается по справочным данным [5].

9 – *метрика размера*: вещественное число со знаком: используется для графического моделирования простановки размеров на САД-эскизах и отрисовке в файле результатов расчета при работе в режиме «Контур».

После формирования плана обработки необходимо выполнить проектный расчет нажатием соответствующей кнопки  (рис. 1.10).

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж Технология План Проектный расчет на основе плана обработки (Ctrl+5) Метры Графит ТМ Плато Графит ТМ

	Номер операц.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалитет	Минимал. припуск	Метрика размера	Тэг
1		7	2	D			14			
2		1	5				14			
3	60	1	3				13	0.70		
4	60	5					13	0.70		
5	60	7	4	D			13	1.50		
6	120	5	1				13	0.70		
7	120	3					13	0.70		
8	120	7	2	D			13	0.70		
9	120	7	4	D			10	0.70		
10	120	1	5				11	0.70		
11	120	7	6	D			11	0.70		

Рис. 1.10. Проектный расчет на основе плана обработки

Для того чтобы в результатах размерного анализа произошла выгрузка и операционных эскизов необходимо нажать кнопку «Формирование эскизов деталей и операций по описанию контуров» (рис. 1.11) или нажать сочетание клавиш [Ctrl] + [3].

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж Технология Формирование эскизов детали и операций по описанию контуров (Ctrl+3) Метры Графит ТМ Плато Графит ТМ

	Номер операц.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалитет	Минимал. припуск	Метрика размера	Тэг
1		7	2	D			14			
2		1	5				14			
3	60	1	3				13	0.70		
4	60	5					13	0.70		
5	60	7	4	D			13	1.50		
6	120	5	1				13	0.70		
7	120	3					13	0.70		
8	120	7	2	D			13	0.70		
9	120	7	4	D			10	0.70		
10	120	1	5				11	0.70		
11	120	7	6	D			11	0.70		

Рис. 1.11. Формирование эскизов

Вся информация по расчетам заносится в файл APROPOS.REZ, который высвечивается после успешного завершения расчетов или при выборе закладки «Результаты» панели A'PROPOS. Могут быть сформированы дополнительные сообщения, включая предупреждения системы расчета или ошибки. Сообщения заносятся в нижнюю панель системы A'PROPOS, а также включаются в файл результатов (если не отключена опция печати «Предупреждения системы»).

Порядок проведения работы

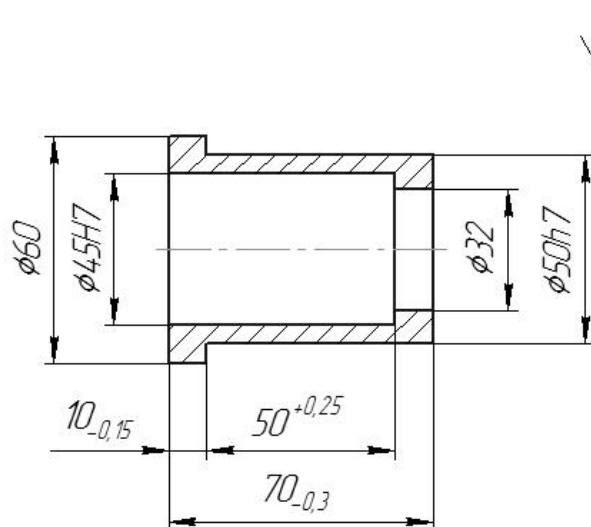
1. Формирование модели облика детали (см. варианты заданий).
2. Генерация размерной структуры детали (внесение конструкторских размеров).
3. Задание состава заготовки.
4. Автоматическое формирование этапов обработки.
5. Размерный анализ созданного технологического процесса и формирование операционных эскизов, в т.ч. в 3D.

Требования к отчету

- сохраненный проект (***.APRX);
- файл с результатами расчетов и операционными эскизами.

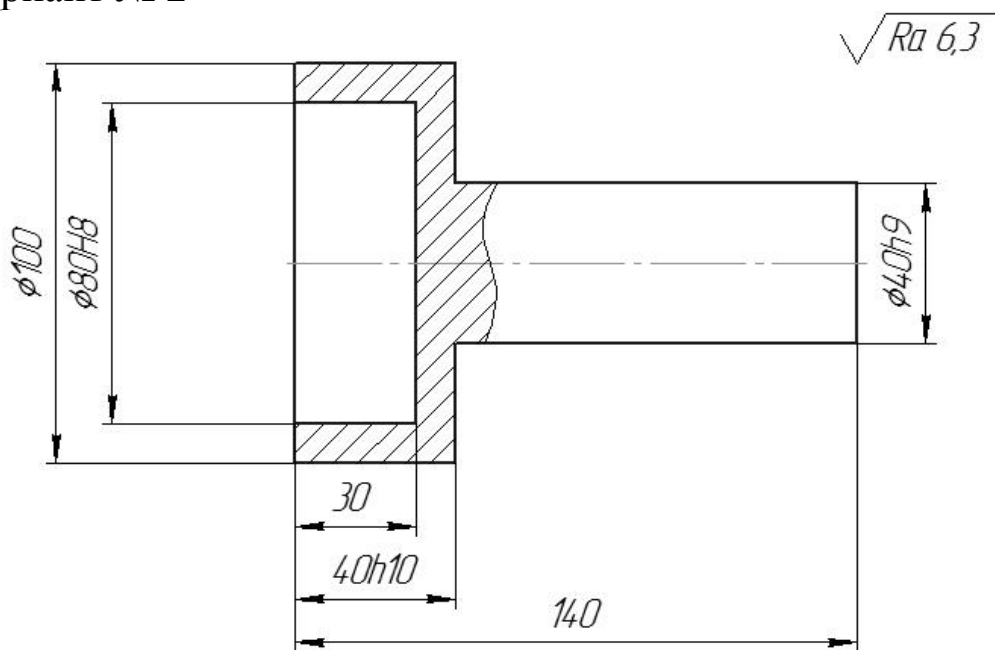
Варианты заданий

Вариант № 1



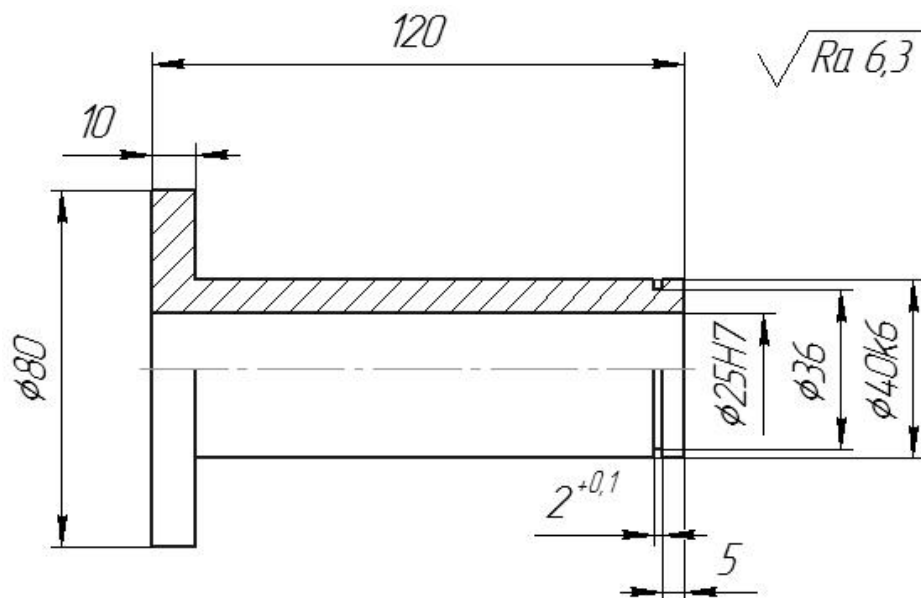
Деталь Валик
Материал Ст 18ХГТ
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: $h12, H12, \pm IT12/2$

Вариант № 2



Деталь Поршень
Материал Сталь 45
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: $h14, H14, \pm IT14/2$

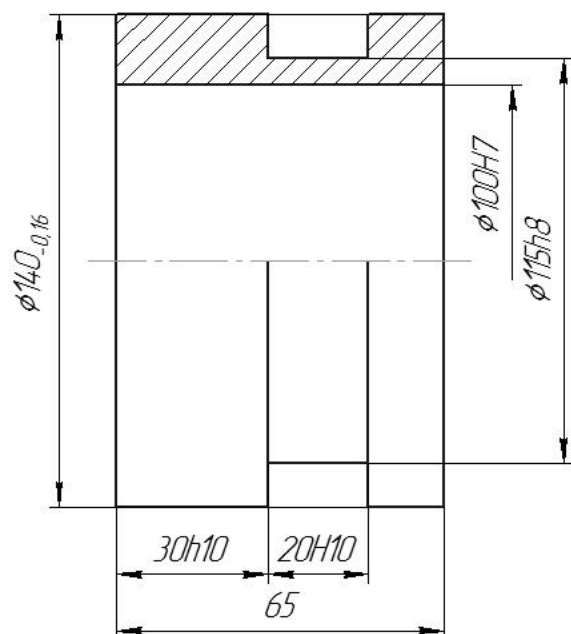
Вариант № 3



Деталь Поршень
Материал Сталь 45
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: $h12, H12, \pm IT12/2$

Вариант № 4

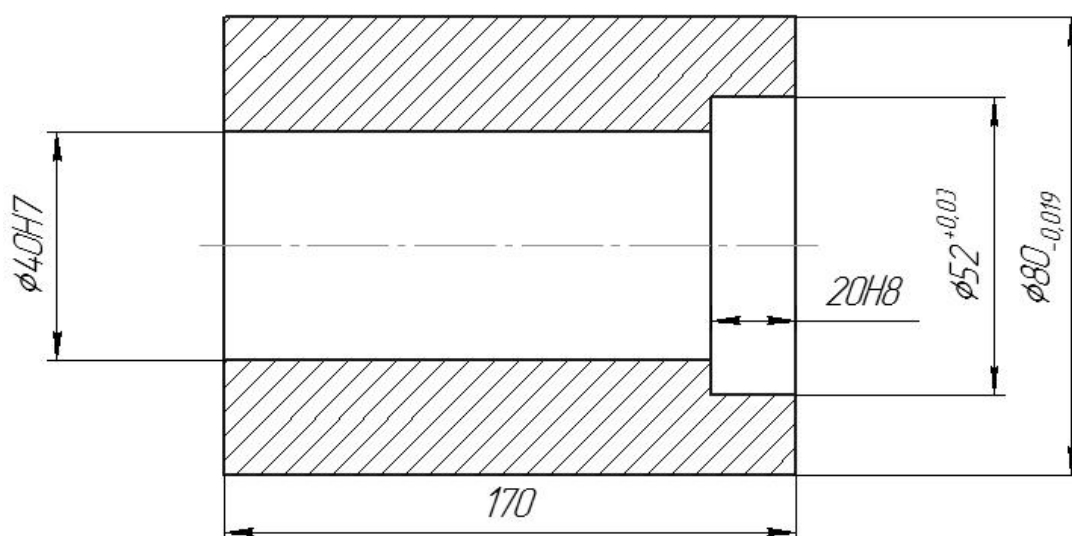
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Деталь Втулка
Материал 40Х
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: $h14$, $H14$, $\pm IT14/2$

Вариант № 5

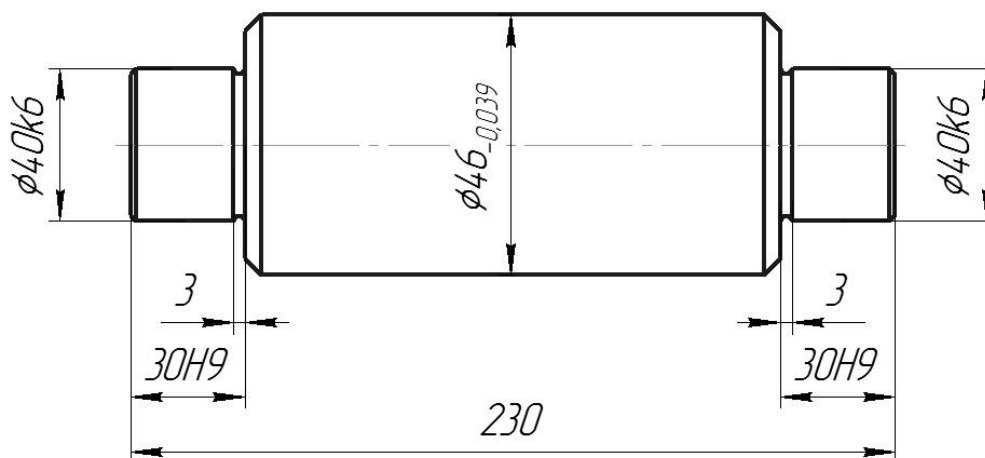
$\sqrt{Ra\ 2,5\ (\checkmark)}$



Деталь Втулка
Материал Ст 18ХГТ
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: $h12$, $H12$, $\pm IT12/2$

Вариант № 6

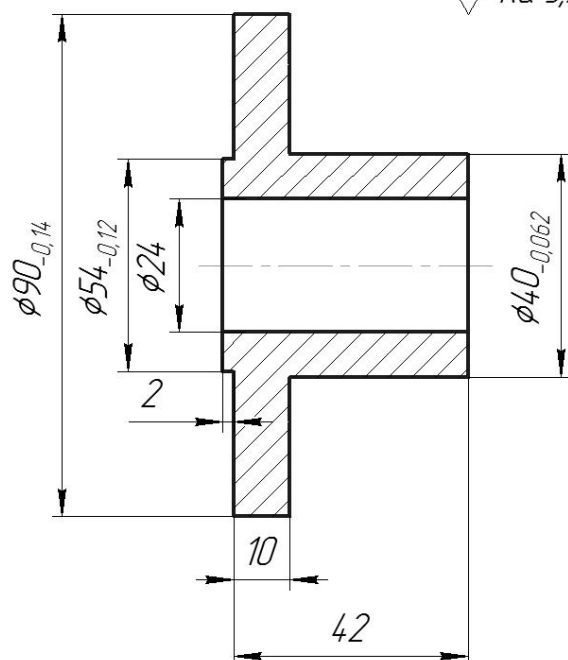
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Деталь Валик
Материал Сталь 45
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h14, H14, $\pm IT14/2$

Вариант № 7

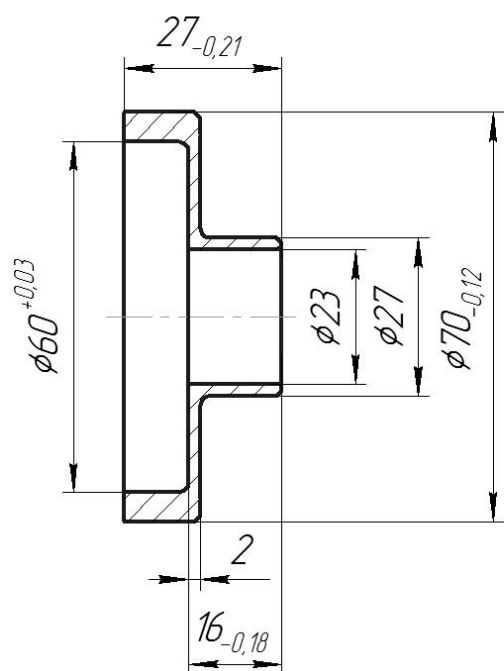
$\sqrt{Ra\ 3,2}$



Деталь Фланец
Материал Сталь 45
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h12, H12, $\pm IT12/2$

Вариант № 8

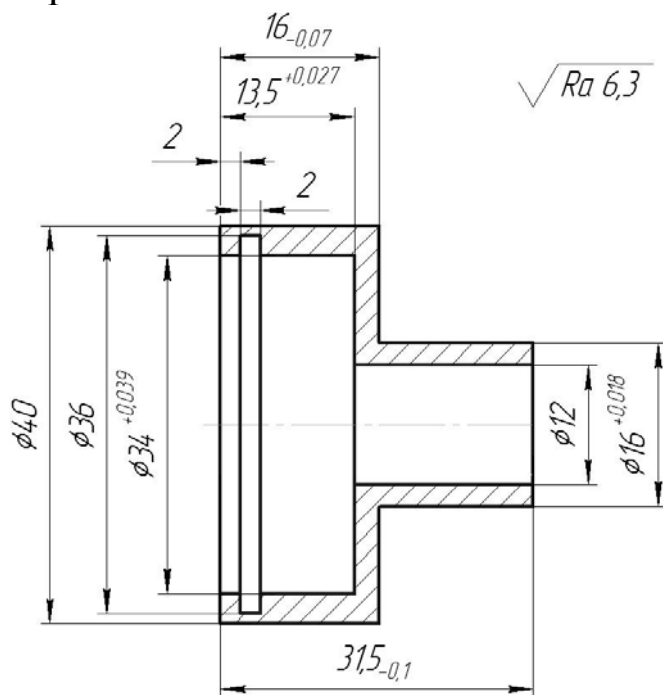
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Деталь Пробка
Материал 12Х13
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h14, H14, ±IT14/2

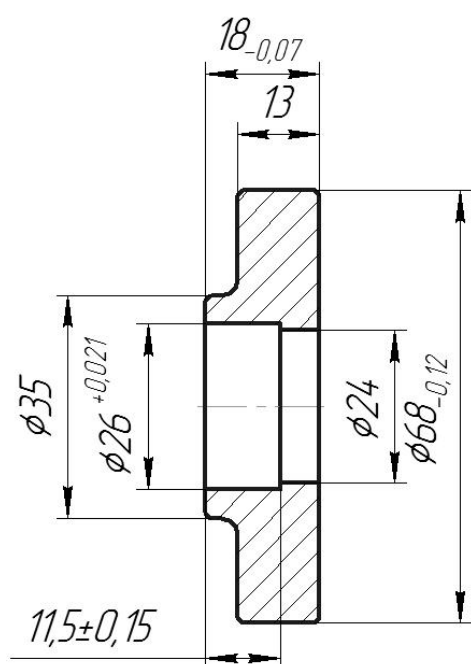
Вариант № 9

$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Деталь Клапан
Материал 15ХА
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h12, H12, ±IT12/2

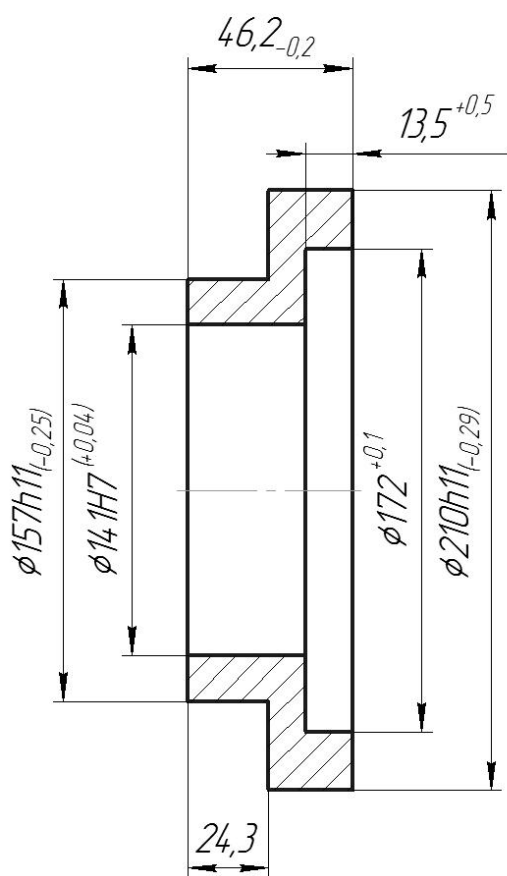
Вариант № 10



$\sqrt{Ra 6,3}$

Деталь Пробка
Материал Сталь 40Х
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h12, H12, $\pm IT12/2$

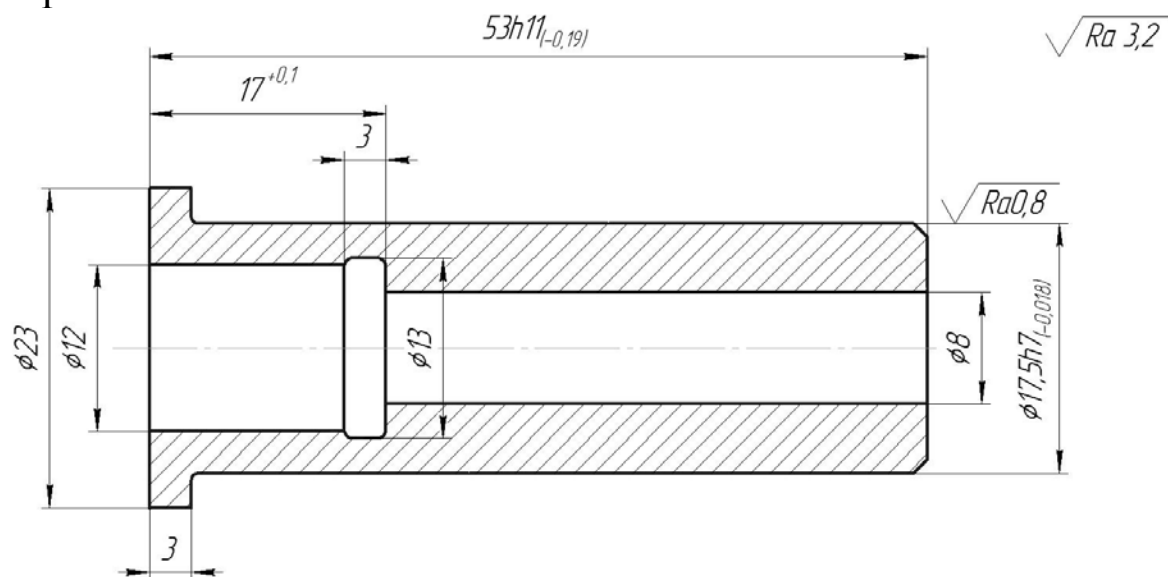
Вариант № 11



$\sqrt{Ra 6,3}$

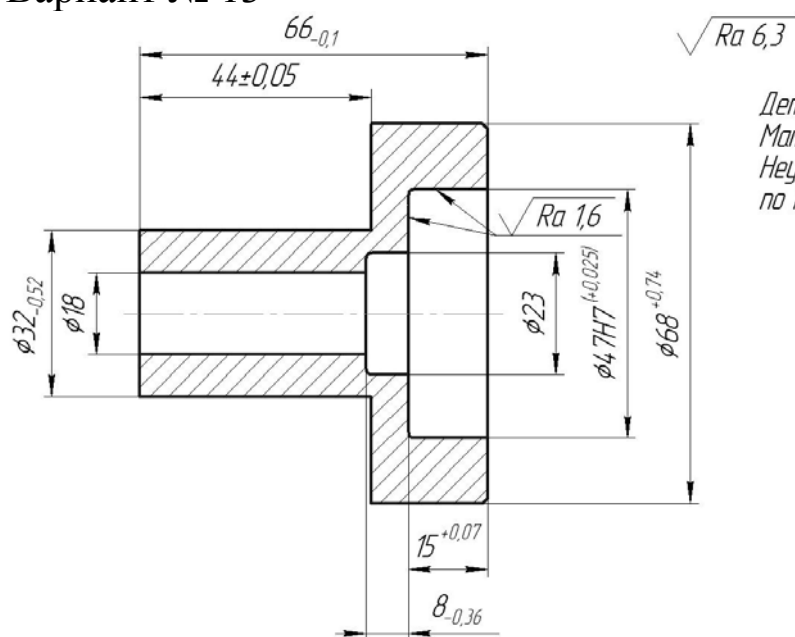
Деталь Крышка
Материал Ст 18ХГТ
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h12, H12, $\pm IT12/2$

Вариант № 12



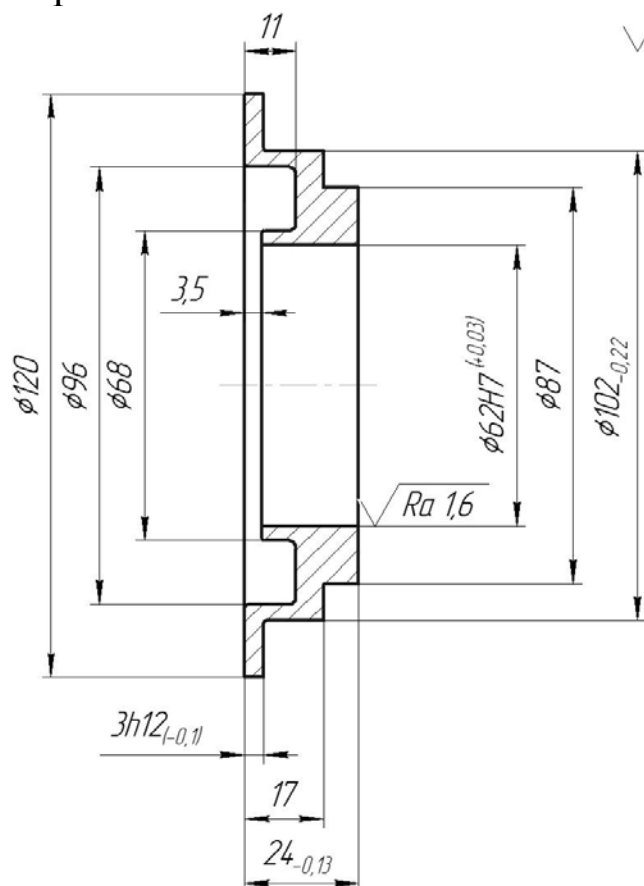
Деталь Валик
 Материал Сталь 16ХЗНВФМБ-Ш
 Неуказанные предельные отклонения
 по ГОСТ 30893.1: $h12, H12, \pm IT12/2$

Вариант № 13



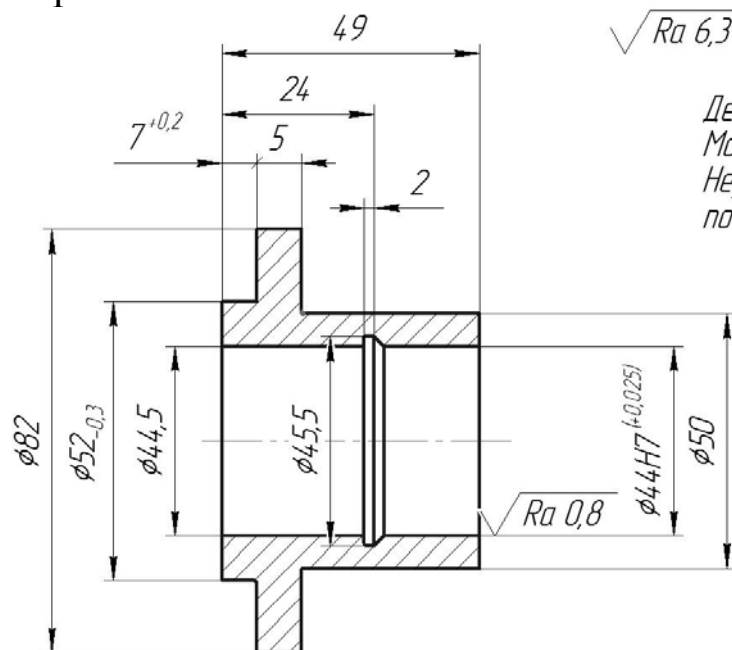
Деталь Муфта
 Материал Ст 25ХГМ
 Неуказанные предельные отклонения
 по ГОСТ 30893.1: $h14, H14, \pm IT14/2$

Вариант № 14



Деталь Обойма
Материал Сталь 16ХЗНВФМБ-Ш
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h14, H14, $\pm IT14/2$

Вариант № 15



Деталь Корпус
Материал ВТ20
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: h14, H14, $\pm IT14/2$

Контрольные вопросы

1. Что является исходными данными для автоматизированного формирования системой A'PROPOS технологического процесса?
2. В каком модуле/иконке/вкладке A'PROPOS задается контур детали?
3. Какую информацию необходимо ввести при автоматизированном расчете операционных размеров длины?
4. Какую информацию необходимо ввести при автоматизированном расчете диаметральных операционных размеров?
5. Какую информацию необходимо внести, и с какой целью во вкладке «Параметры Графит ТМ» при задании состава заготовки?

Лабораторная работа № 2

РЕДАКТИРОВАНИЕ ЭТАПОВ ОБРАБОТКИ В СИСТЕМЕ A'PROPOS

Цель работы

Научиться с помощью системы A'PROPOS уточнять параметрические модели технологии, рассчитывать операционные размеры и допуски в технологических процессах.

Теоретические сведения

Данные технологического процесса и чертежа заготовки заносятся в таблицу технологических размеров в порядке возрастания номеров операций, т.е. по технологическому процессу обработки от заготовки до окончательных операций.

Не может быть записан в технологической таблице номер поверхности, не обозначенной на чертеже.

Каждая поверхность прежде, чем быть заданной в графе «Начало размера» на любой операции технологического процесса, должна быть ранее получена обработкой или присутствовать в заготовке.

Все поверхности, заданные в описании чертежа, должны присутствовать в технологии. Для исключения строки данных из расчетов можно против них в таблицах поставить знак комментария «*», используя двойной щелчок мышью на левой колонке таблицы или нажатием кнопки «*» на панели инструментов системы A'PROPOS. Для удаления комментария повторите все еще раз.

Для тел вращения при заполнении графы «Технологическая база» на операциях указывается в качестве базы поверхность вращения, а не ось.

Управление параметрами расчетов производится посредством задания «Параметров A'PROPOS» (рис. 2.1), называемых опциями:

- учет биений в расчетах: «Да» или «Нет» (по умолчанию «Да»).
- Система допусков: "ISO" или "ОСТ".
- Неуказанные предельные отклонения детали и заготовки: квалитет или класс точности.
- Число составляющих Р.Ц.: указывает на число составляющих звеньев размерной цепи, начиная с которого расчет будет

выполняться вероятностным методом, при меньшем – методом MINMAX (по умолчанию значение равно 3).

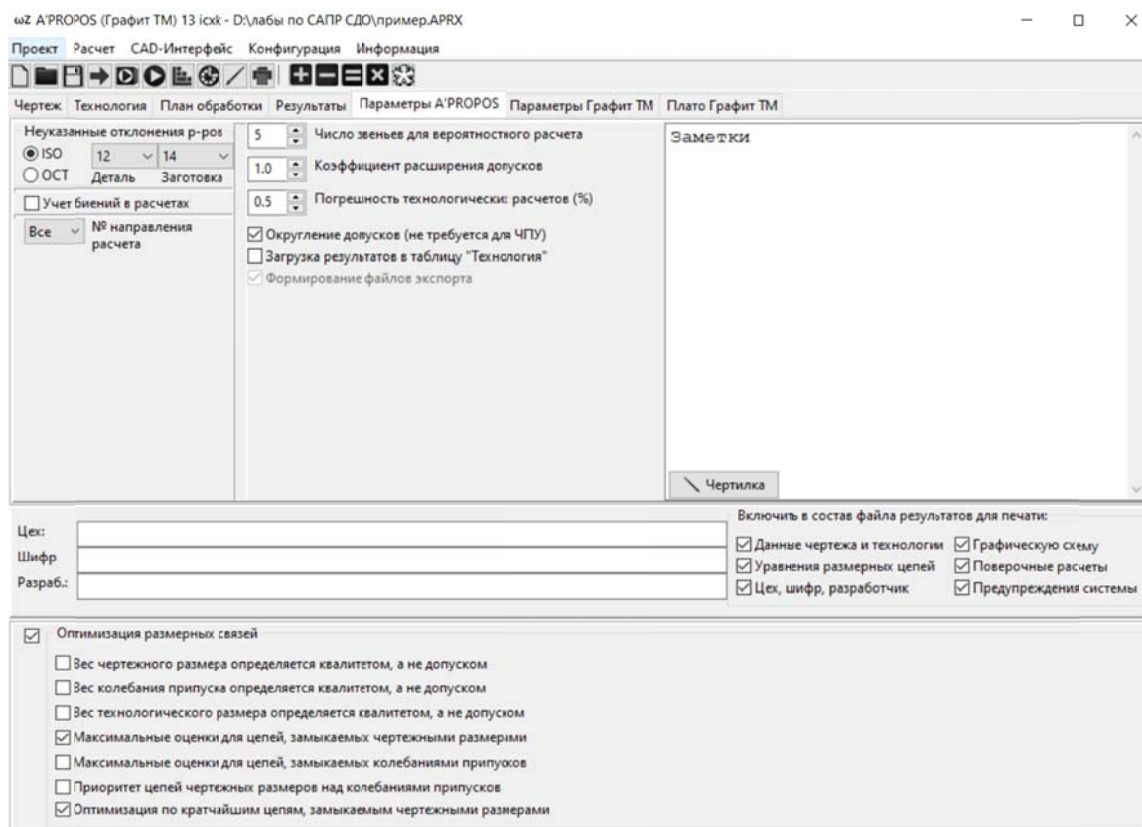


Рис. 2.1. Параметры A'PROPOS

– Погрешность расчетов: указывает предельное значение погрешности, возникающей при округлении номинальных значений и отклонений до стандартных. При превышении этого значения округление номиналов не происходит (по умолчанию значение равно 0,5 %).

– Коэффициент расширения допуска: число, указывающее во сколько раз расчетное значение допуска, может превысить величину, заданную в исходных данных качеством (классом точности). Если превышение не допускается, значение равно 1.

– Номер направления координат: производить расчет по направлению оси координат N 0...9 или по всем направлениям при -1 (по умолчанию значение опции равно -1).

– Округление допусков: приведение расчетных значений допусков к ближайшим по стандарту. «Да» или «Нет» (по умолчанию «Да»).


– Оптимизация размерных связей: оптимизация размерных связей при наличии вариантов простановки размеров. Предусмотрено

7 параметров настройки оптимизации (данные чертежа и технологии, графическая схема, уравнения размерных цепей, поверочные расчеты, цех, предупреждения системы), принимающих значения «Да» или «Нет».

Если в чертеже детали или заготовки не заданы или частично заданы допуски расположения поверхностей, то они добавляются системой. К отклонениям расположения относятся следующие погрешности: отклонения от параллельности, соосности, перпендикулярности и др. При размерном анализе технологических процессов возникает необходимость в суммировании этих параметров друг с другом и с остальными размерными параметрами деталей.

В чертежах и операционных эскизах технологических процессов отклонения расположения задаются в абсолютных величинах, так как там всегда известно, относительно какой базовой поверхности следует определять отклонения.

Выбор базы для задания неуказанных отклонений расположения производится по наибольшей длине (диаметру) и точности, из числа поверхностей, отклонение расположения которых известно или из всех поверхностей. Значения неуказанных допусков расположения назначаются по отраслевому стандарту ОСТ 100022-80 и дополняют распечатки ввода отклонений расположения чертежа и заготовки.

После редактирования или формирования плана обработки необходимо выполнить проектный расчет нажатием соответствующей кнопки  (рис. 2.2).

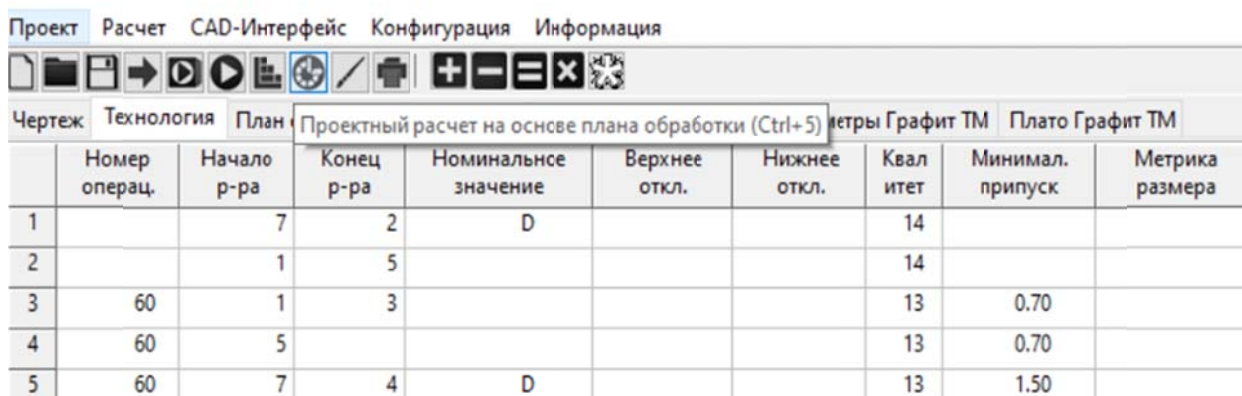


Чертёж	Технология	План	Проектный расчет на основе плана обработки (Ctrl+5)				Метры Графит ТМ	Плато Графит ТМ
Номер операц.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалитет	Минимал. припуск	Метрика размера
1		7	2	D		14		
2		1	5			14		
3	60	1	3			13	0.70	
4	60	5				13	0.70	
5	60	7	4	D		13	1.50	

Рис. 2.2. Проектный расчет на основе плана обработки

Для того чтобы в результатах размерного анализа произошла выгрузка и операционных эскизов необходимо нажать кнопку «Формирование эскизов деталей и операций по описанию контуров» (рис. 2.3) или нажать сочетание клавиш [Ctrl] + [3].

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация									
Чертеж Технологии Формирование эскизов детали и операций по описанию контуров (C11+3) ит ТМ Плато Графит ТМ									
	Номер операц.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалитет	Минимал. припуск	Метрика размера
1		7	2	0			14		
2		1	5				14		
3	60	1	3				13	0.70	
4	60	5					13	0.70	
5	60	7	4	0			13	1.50	

Рис. 2.3. Формирование операционных эскизов

Результат можно увидеть во вкладке «Плато Графит ТМ» или вызвав там же систему OpenSCAD. После выполнения проектного расчета здесь представлен не только эскиз детали, но и эскизы по операциям (рис. 2.4).

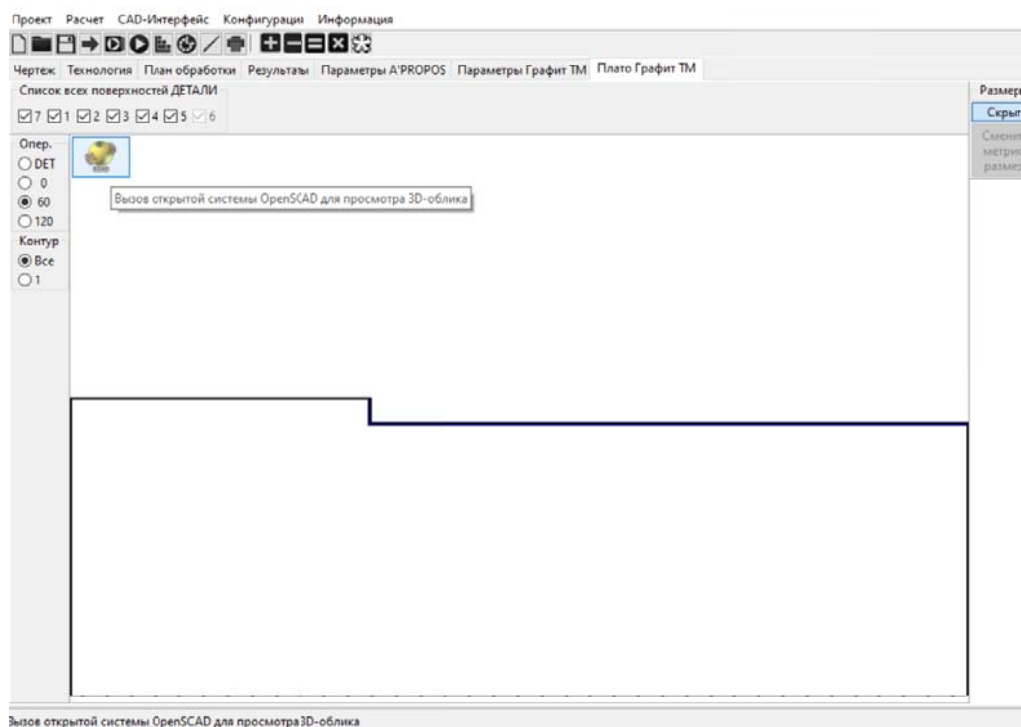


Рис. 2.4. Вкладка «Плато Графит ТМ»

Система OpenSCAD позволяет отследить последовательность обработки в формате 3D (рис. 2.5).

Вся информация по расчетам заносится в файл APROPOS.REZ, который высвечивается после успешного завершения расчетов или при выборе закладки «Результаты» панели A'PROPOS. Могут быть сформированы дополнительные сообщения, включая предупреждения системы расчета или ошибки. Сообщения заносятся в нижнюю панель системы A'PROPOS, а также включаются в файл результатов (если не отключена опция печати «Предупреждения системы»).

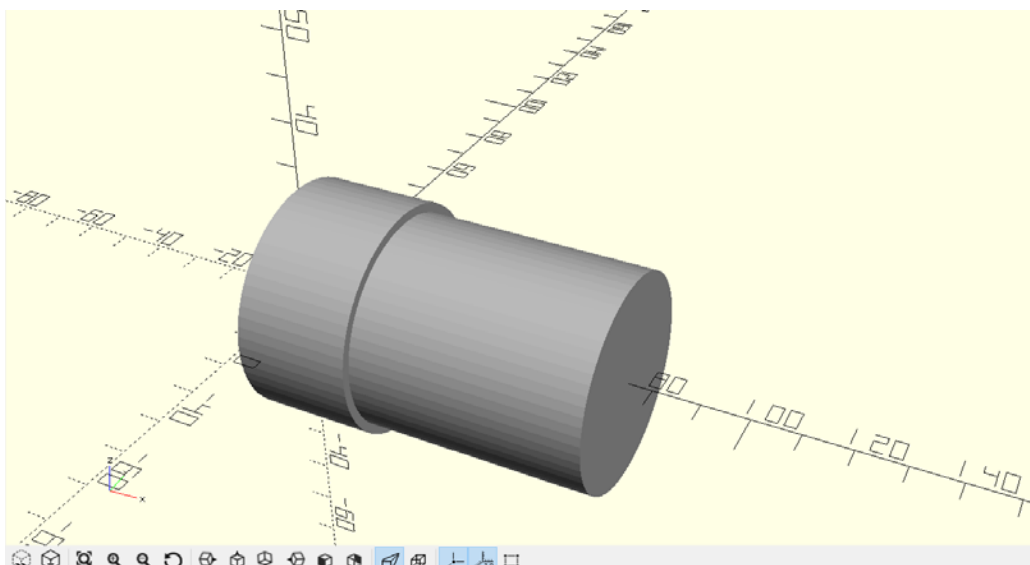


Рис. 2.5. Операционный эскиз в 3D (OpenSCAD)

Порядок проведения работы

1. В созданную ранее технологию (Лабораторная работа № 1) внести изменения в соответствии с заданием (см. варианты заданий).
2. Выполнить проектный расчет технологических размеров по плану обработки.
3. Сформировать операционные эскизы, в т.ч. в 3D.

Требования к отчету

- сохраненный проект (***.APRX);
- файл с результатами расчетов и операционными эскизами.

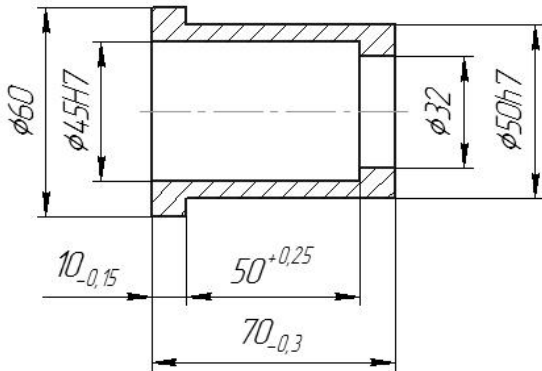
Контрольные вопросы

1. Что является исходными данными для автоматизированного расчета системой A'PROPOS технологических размерных цепей?
2. Какой принцип выбора технологической базы при задании линейных и диаметральных размеров?
3. Какую информацию необходимо ввести при автоматизированном расчете операционных размеров длины?
4. Какую информацию необходимо ввести при автоматизированном расчете диаметральных операционных размеров и технологических допусков радиальных биений?
5. Каковы особенности задания напуска при внесении технологической информации во вкладке «Технология»?

Варианты заданий

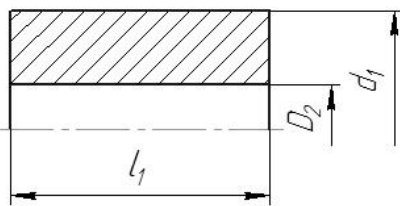
Вариант № 1

$\sqrt{Ra\ 3,2}$

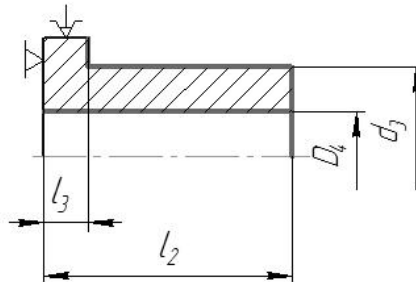


Деталь Валик
Материал Ст 18ХГТ
Неуказанные предельные отклонения
по ГОСТ 30893.1: $h12, H12, \pm IT12/2$

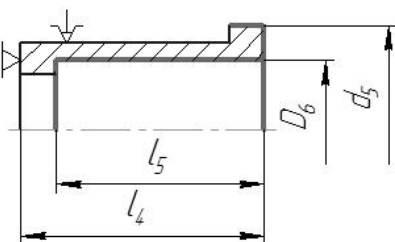
Оп. 5 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 25}$



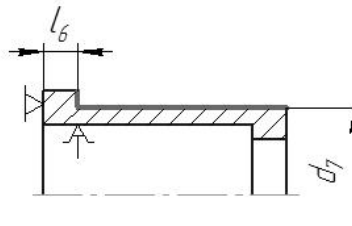
Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



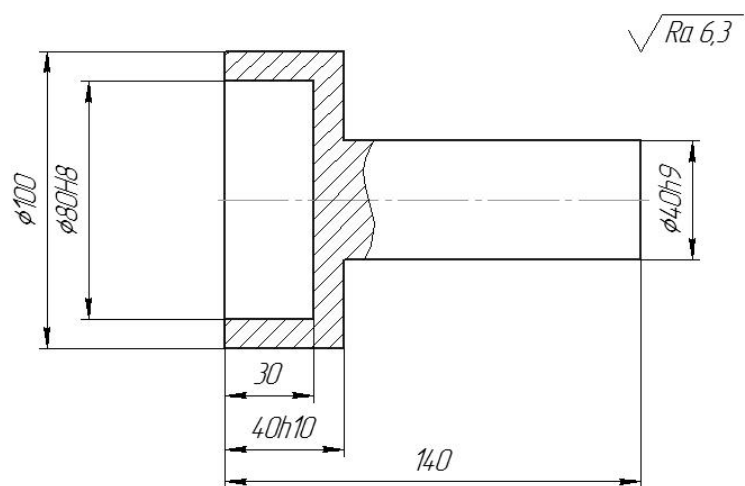
Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



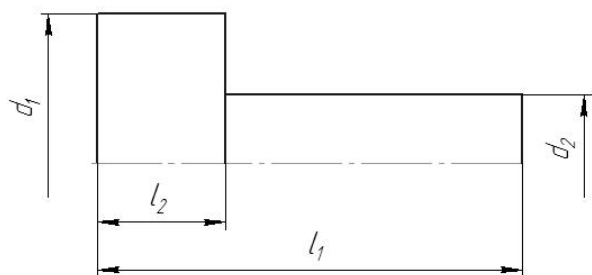
Оп. 20 Круглошлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,6}$



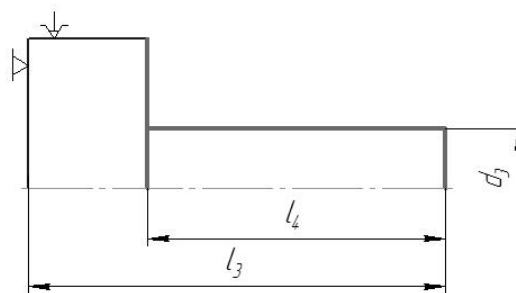
Вариант № 2



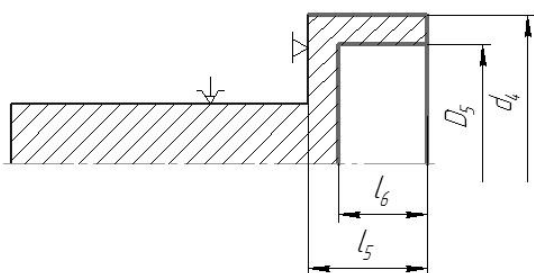
Оп. 03 Заготовительная $\sqrt{Rz 80}$



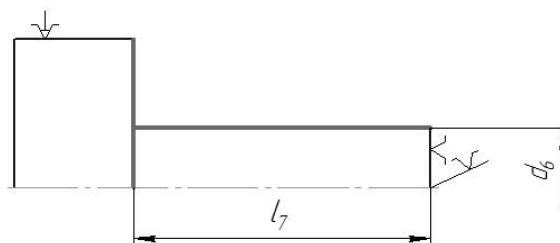
Оп. 05 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



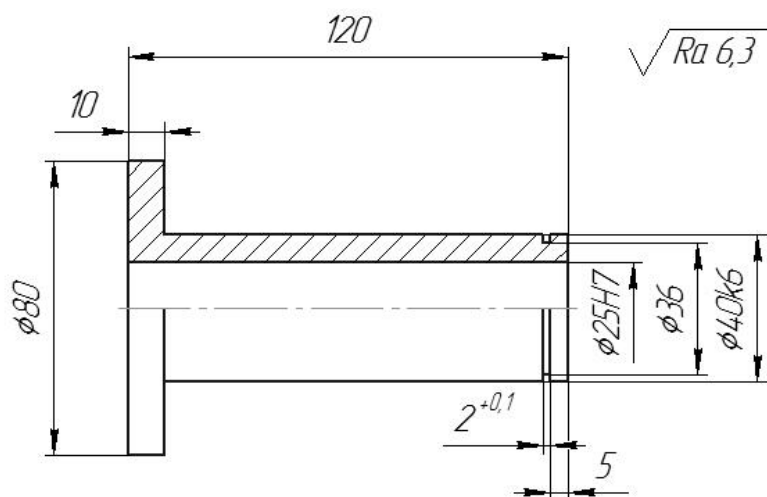
Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



Оп. 20 Круглошлифовальная $\sqrt{Ra 1,6}$

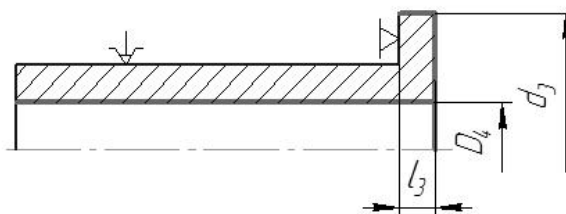
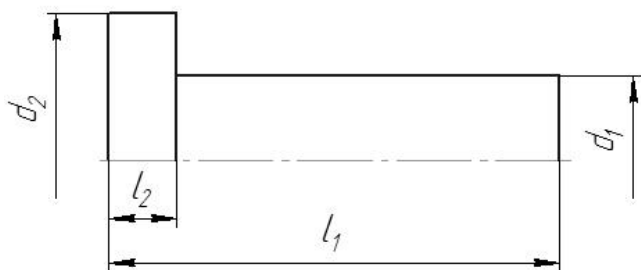


Вариант № 3



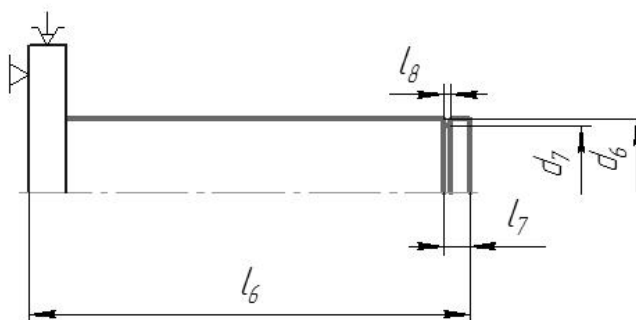
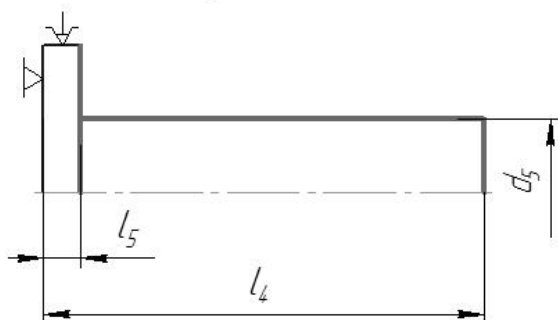
Оп. 05 Заготовительная $\sqrt{Ra 25}$

Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$

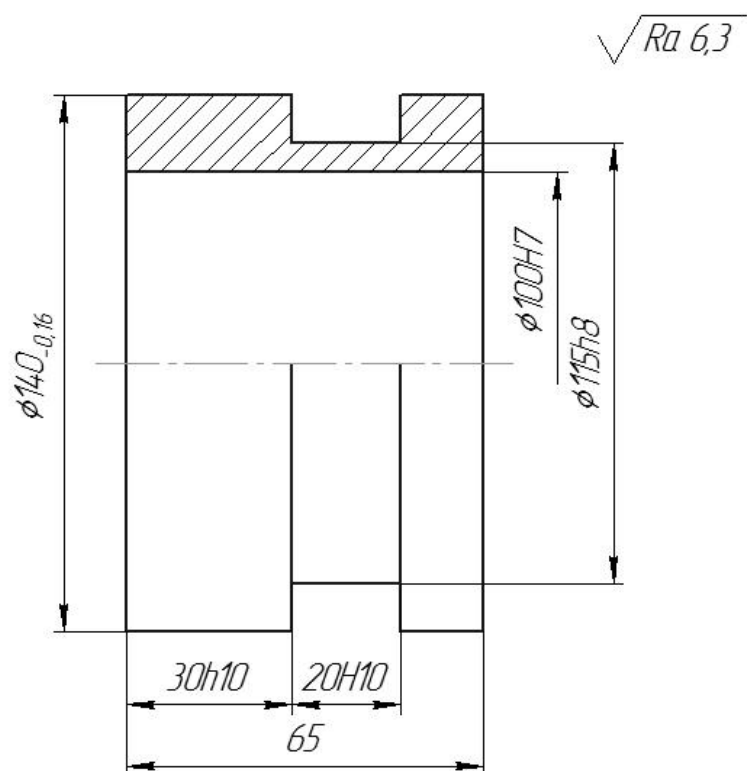


Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra 12,5}$

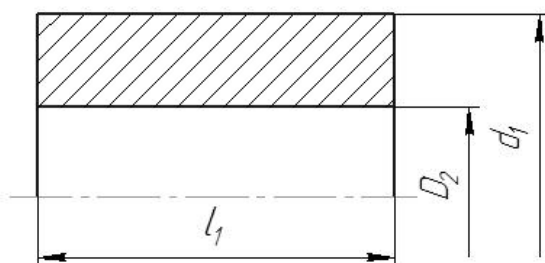
Оп. 20 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



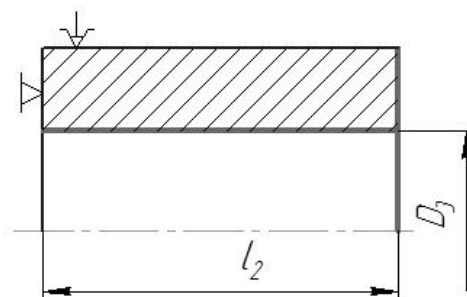
Вариант № 4



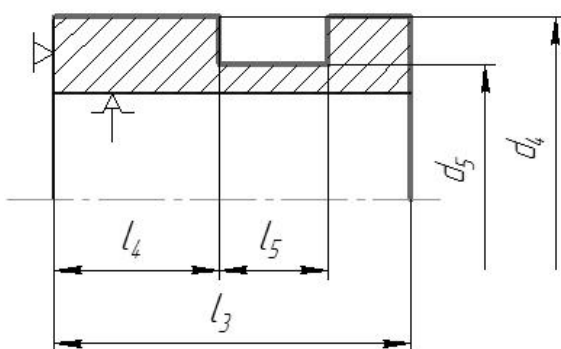
Оп. 3 Заготовительная $\sqrt{Ra 12,5}$



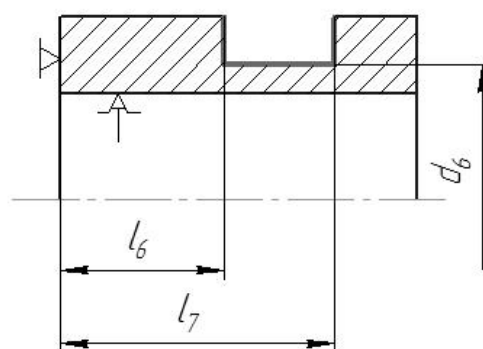
Оп. 5 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$

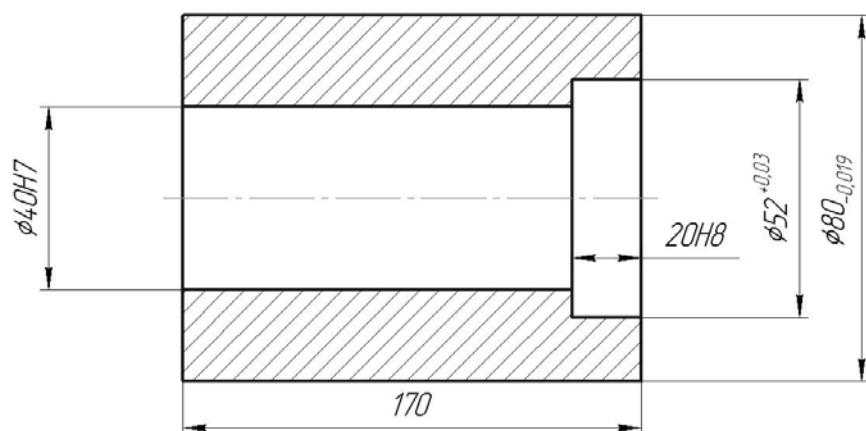


Оп. 20 Шлифовальная $\sqrt{Ra 1,25}$



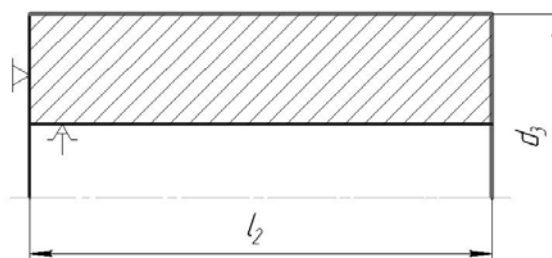
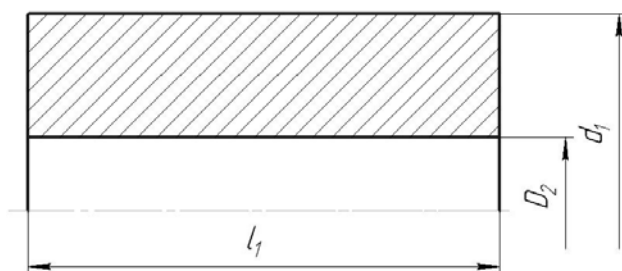
Вариант № 5

$\sqrt{Ra\ 2,5\ (\checkmark)}$



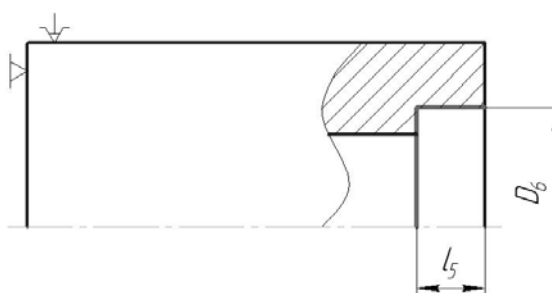
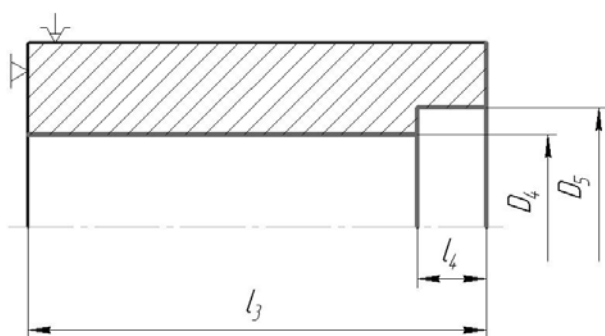
Оп. 10 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 12,5}$

Оп. 20 Токарная $\sqrt{Ra\ 2,5}$

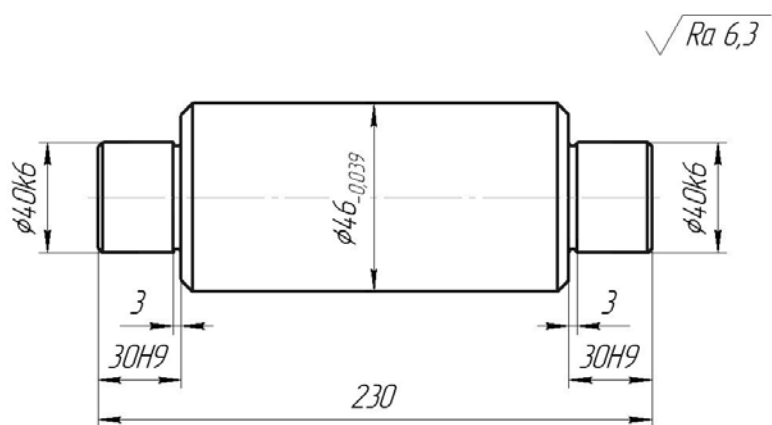


Оп. 40 Токарная $\sqrt{Ra\ 2,5}$

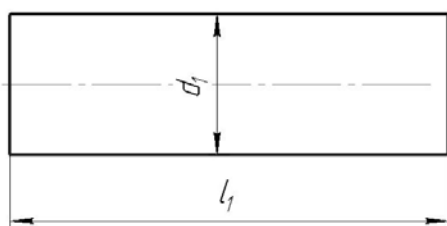
Оп. 60 Шлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,25}$



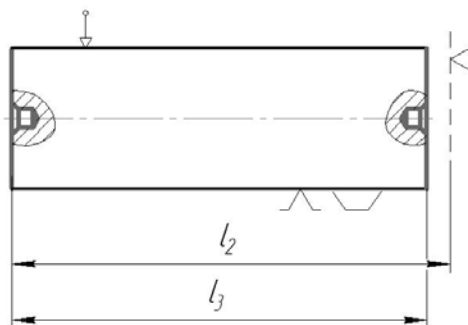
Вариант № 6



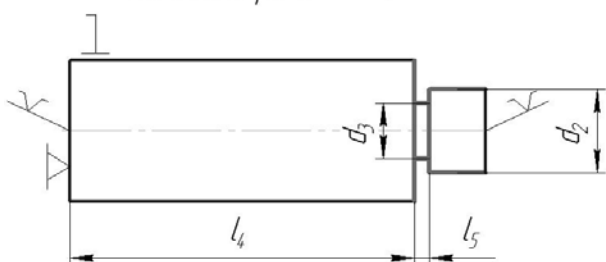
Оп. 03 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 25}$



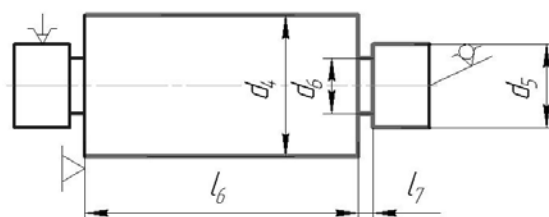
Оп. 05 Фрезерно-центровальная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

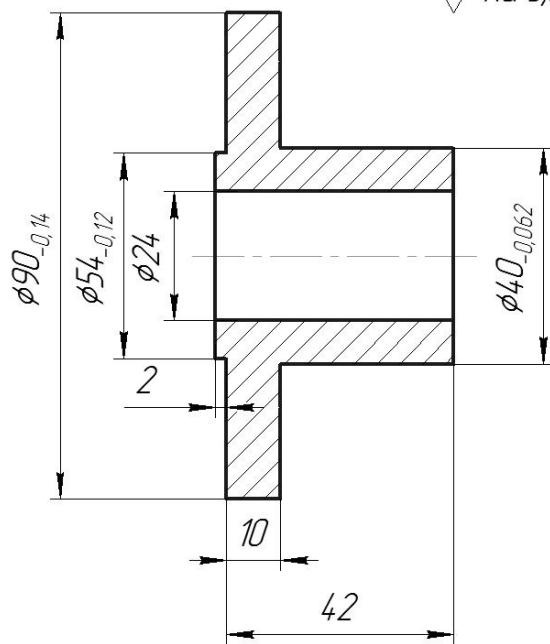


Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



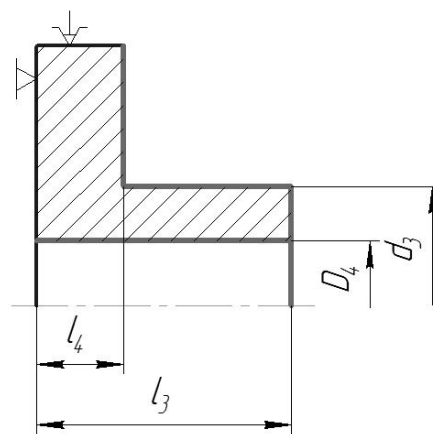
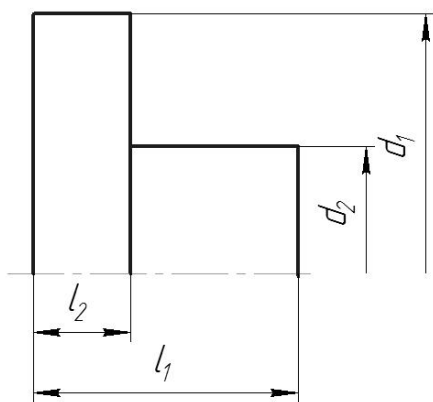
Вариант № 7

$\sqrt{Ra\ 3,2}$



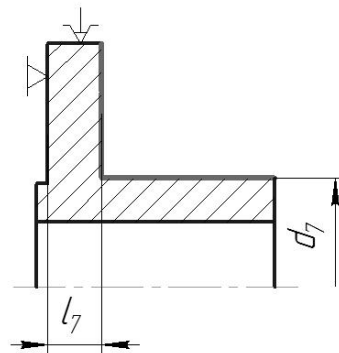
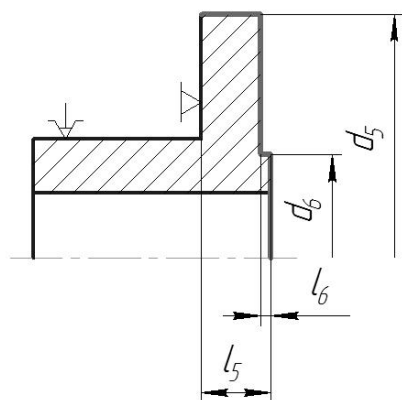
Оп. 3 Заготовительная $\sqrt{Rz\ 80}$

Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$



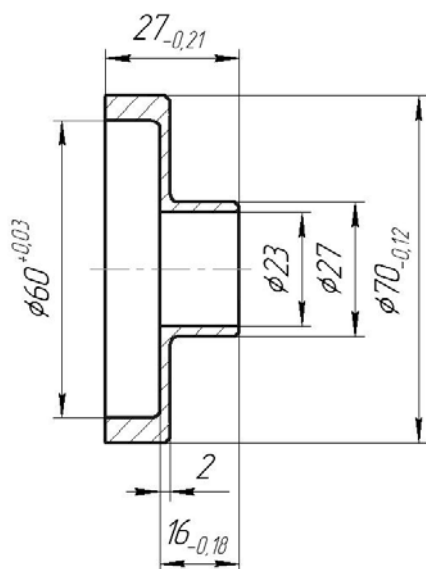
Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$

Оп. 20 Токарная $\sqrt{Ra\ 16}$



Вариант № 8

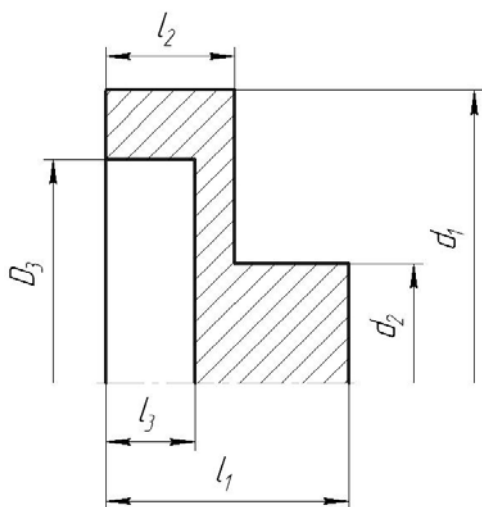
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Деталь Прядка
 Материал 12X13
 Неуказанные предельные отклонения
 по ГОСТ 30893.1: h14, H14, $\pm IT 14/2$

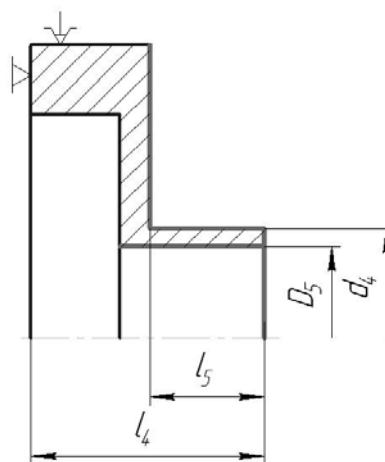
Оп. 03 Заготовительная

$\sqrt{Rz\ 80}$



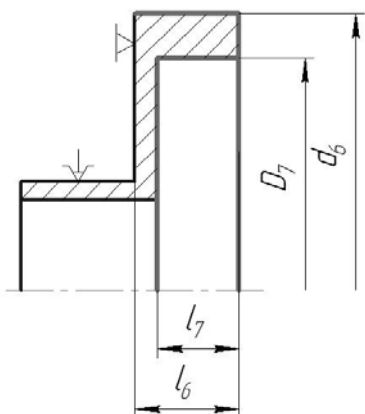
Оп. 05 Токарная

$\sqrt{Ra\ 6,3}$



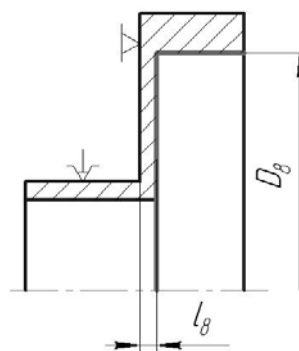
Оп. 10 Токарная

$\sqrt{Ra\ 6,3}$

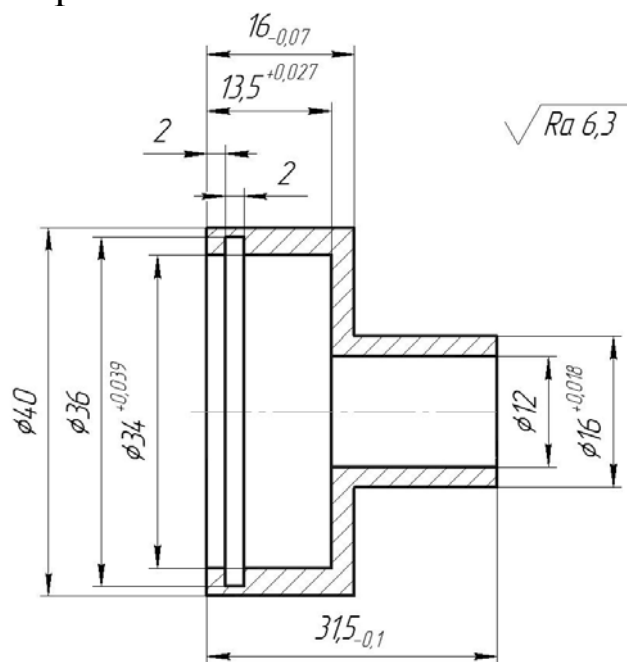


Оп. 20 Круглошлифовальная

$\sqrt{Ra\ 1,6}$



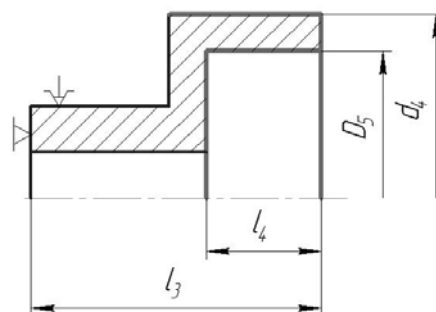
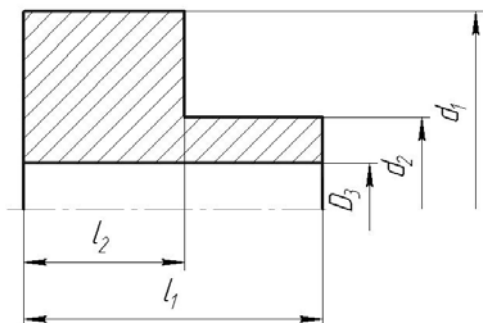
Вариант № 9



Деталь Клапан
 Материал 15ХА
 Неуказанные предельные отклонения
 по ГОСТ 30893.1: h12, H12, ±IT12/2

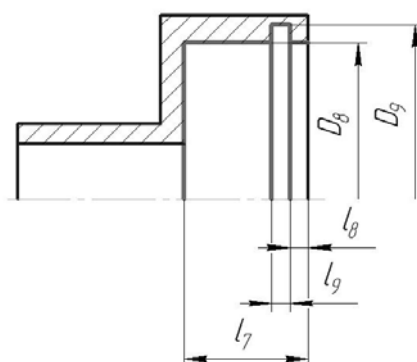
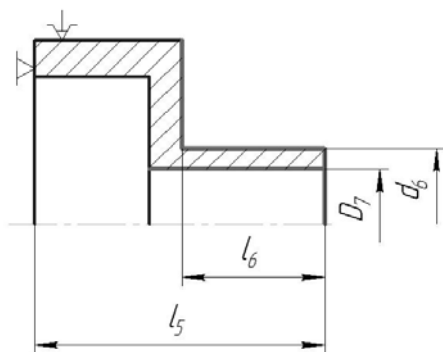
Оп. 03 Заготовительная $\sqrt{Ra 25}$

Оп. 05 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$

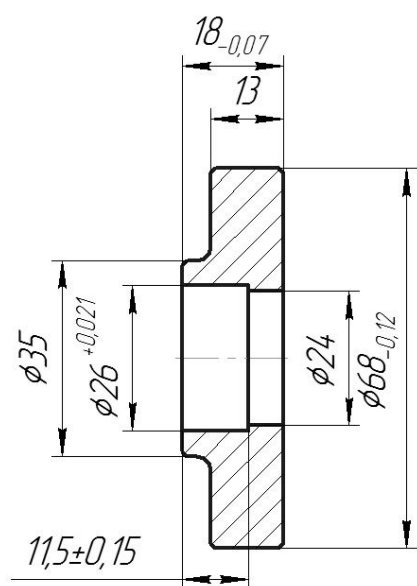


Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$

Оп. 20 Токарная $\sqrt{Ra 1,6}$

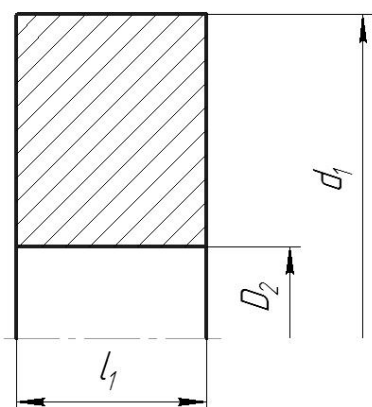


Вариант № 10

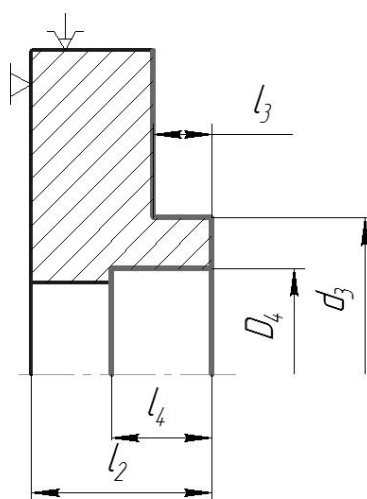


$\sqrt{Ra\ 6,3}$

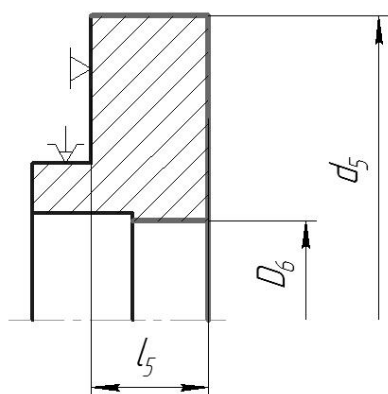
Оп. 3 Заготовительная $\sqrt{Rz\ 80}$



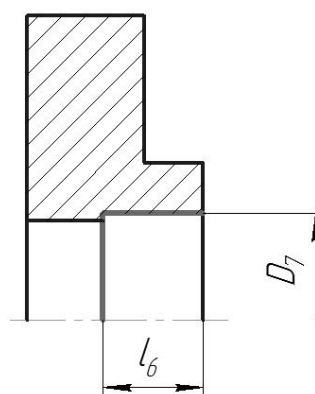
Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$



Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$

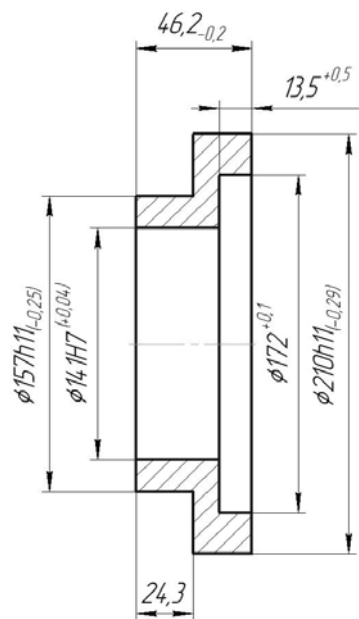


Оп. 20 Шлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,6}$



Вариант № 11

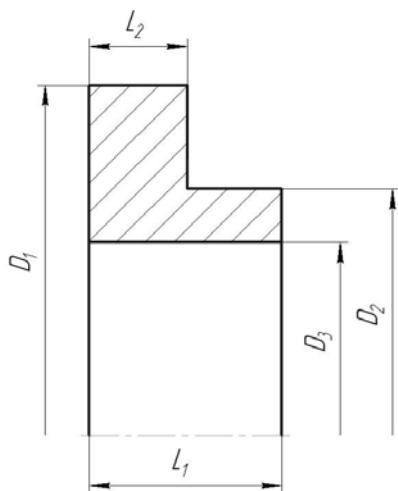
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Деталь Крышка
 Материал Ст 18ХГТ
 Неуказанные предельные отклонения
 по ГОСТ 30893.1: h12, H12, $\pm IT12/2$

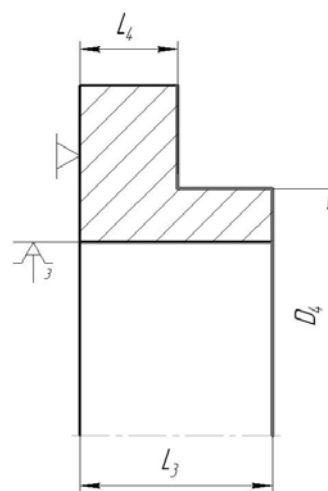
Оп. 3 Заготовительная

$\sqrt{Ra\ 25}$



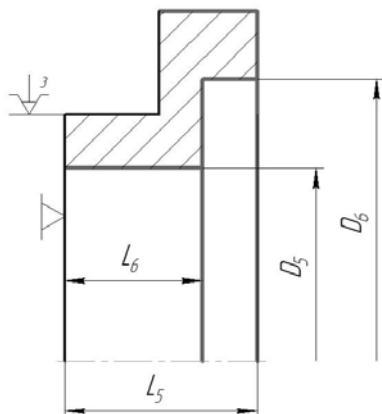
Оп. 5 Токарная

$\sqrt{Ra\ 6,3}$



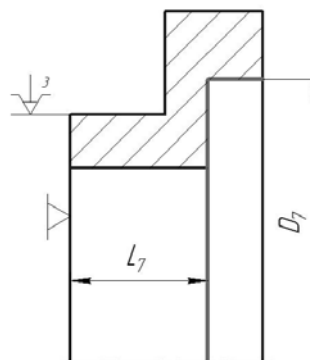
Оп. 10 Токарная

$\sqrt{Ra\ 6,3}$

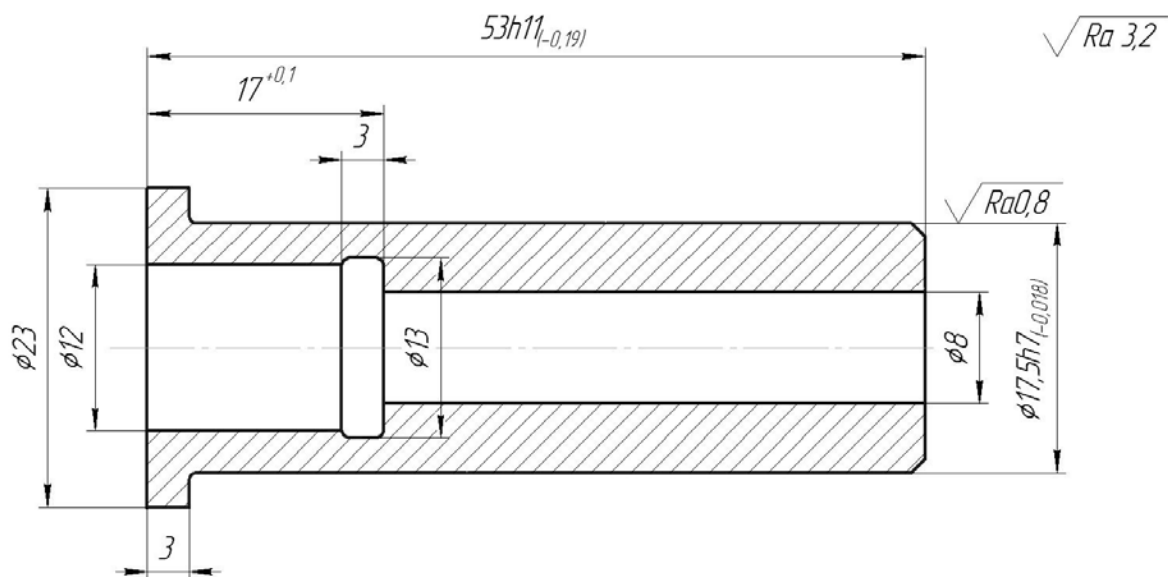


Оп. 15 Токарная

$\sqrt{Ra\ 1,6}$

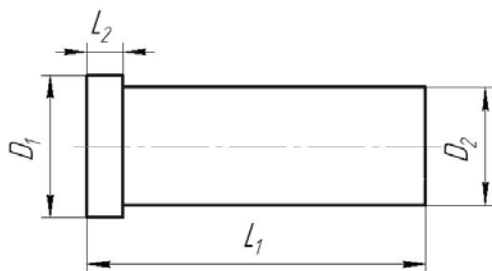


Вариант № 12



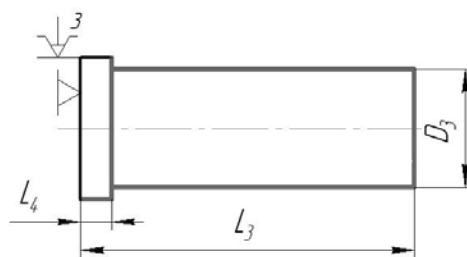
оп. 3 Заготовительная

$\sqrt{Ra\ 25}$



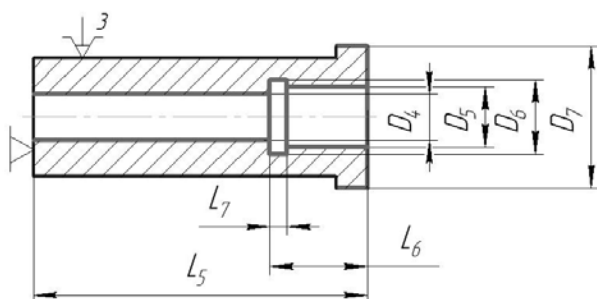
оп. 015 Токарная

$\sqrt{Ra\ 6,3}$



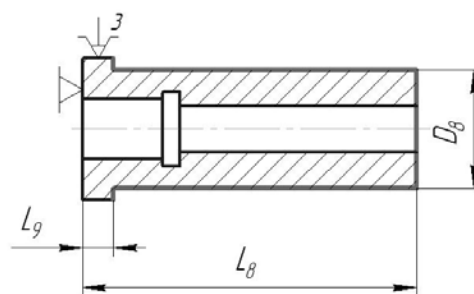
оп. 020 Токарная с ЧПУ

$\sqrt{Ra\ 3,2}$



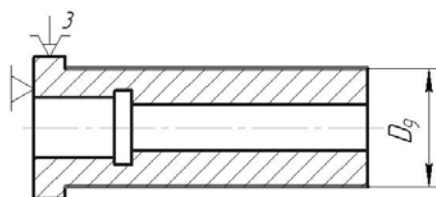
оп. 025 Токарная

$\sqrt{Ra\ 3,2}$

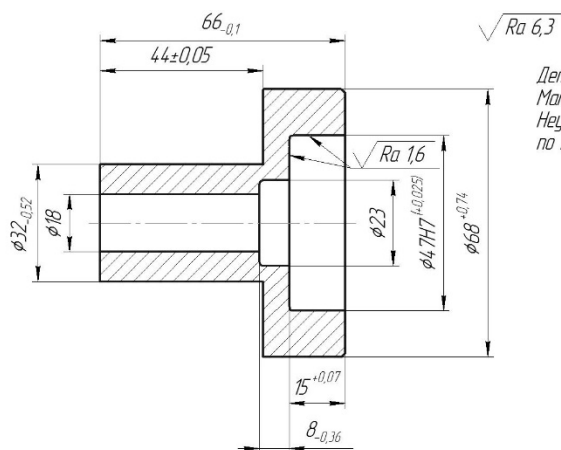


оп. 035 Шлифовальная

$\sqrt{Ra\ 0,8}$

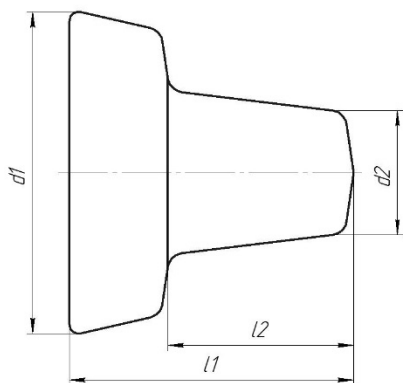


Вариант № 13

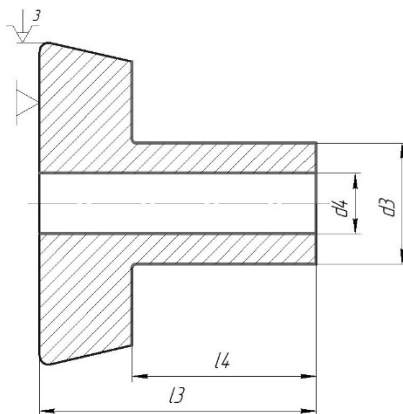


Деталь Муфта
 Материал Ст 25ХГМ
 Неуказанные предельные отклонения
 по ГОСТ 30893.1 h14, H14, ±IT4/2

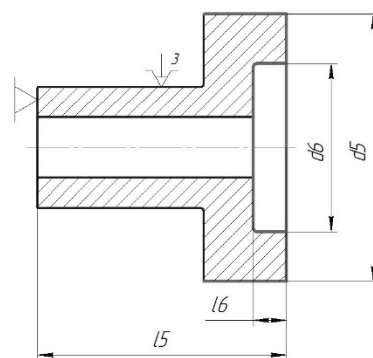
Оп 3 Заготовительная $\sqrt{Ra 12,5}$



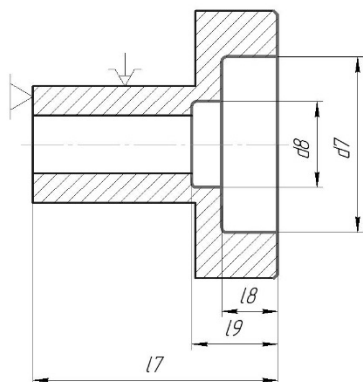
Оп 5 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



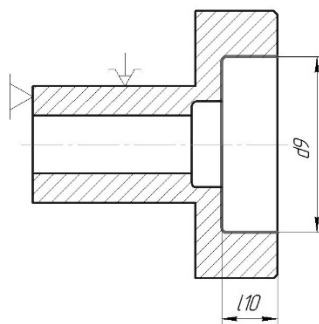
Оп 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



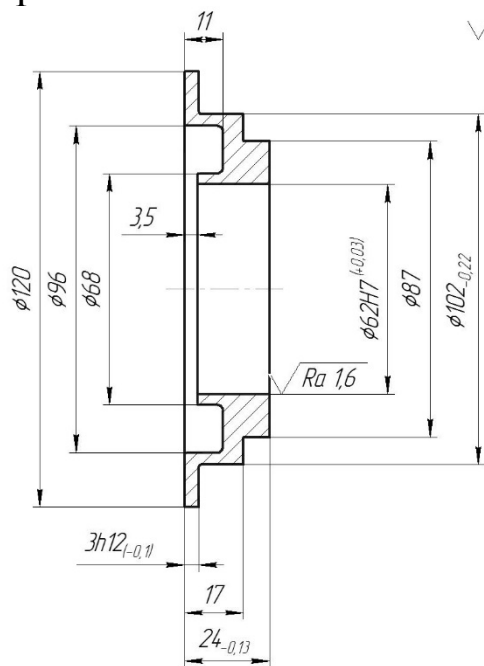
Оп 15 Токарная с ЧПУ $\sqrt{Ra 3,2}$



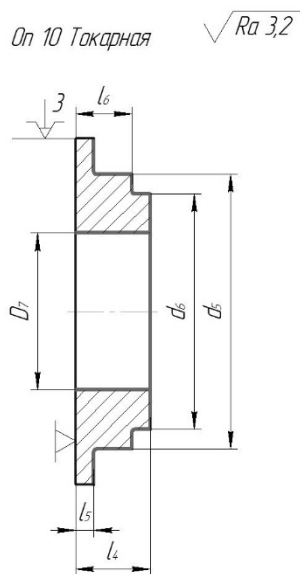
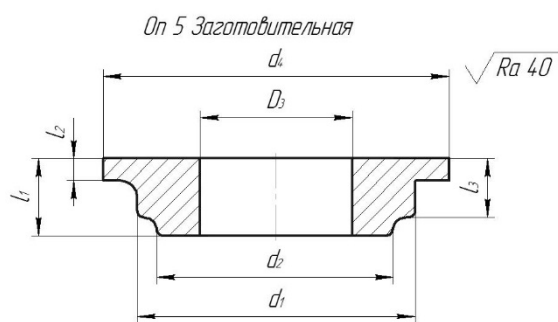
Оп 25 Токарная с ЧПУ $\sqrt{Ra 1,6}$



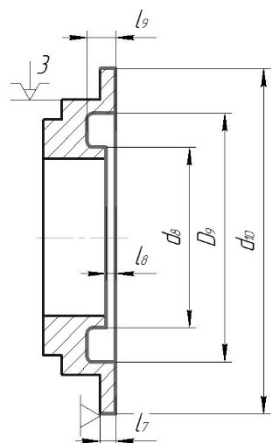
Вариант № 14



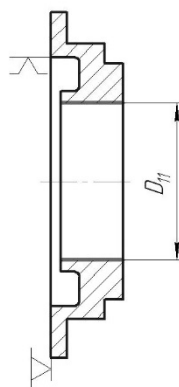
Деталь Обойма
 Материал Сталь 16ХЗНВФМБ-Ш
 Неуказанные предельные отклонения
 по ГОСТ 30893.1: h14, H14, $\pm IT14/2$



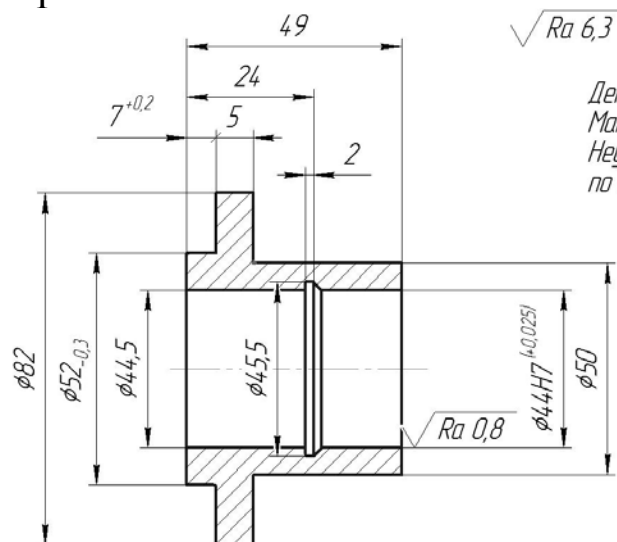
Op 15 Токарная $\sqrt{Ra 3,2}$



Op 25 Токарная $\sqrt{Ra 1,6}$

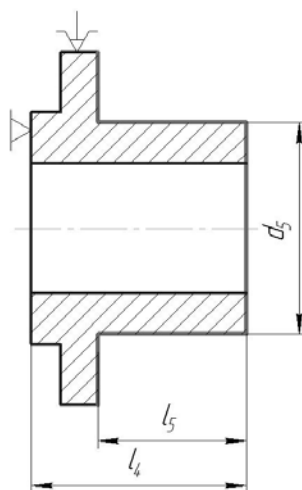
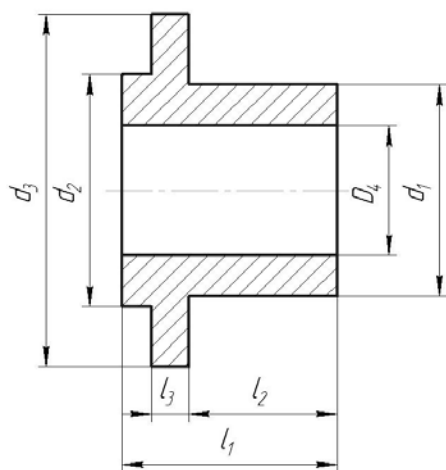


Вариант №15



Оп 05 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 12,5}$

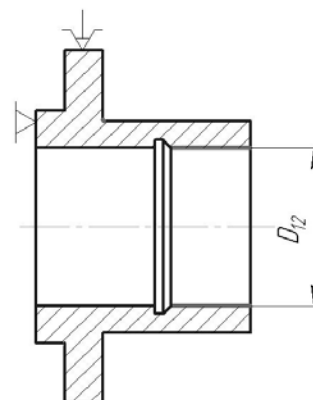
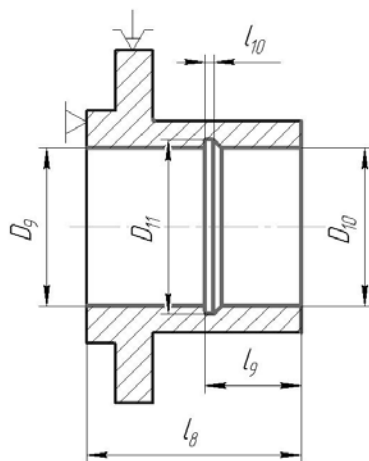
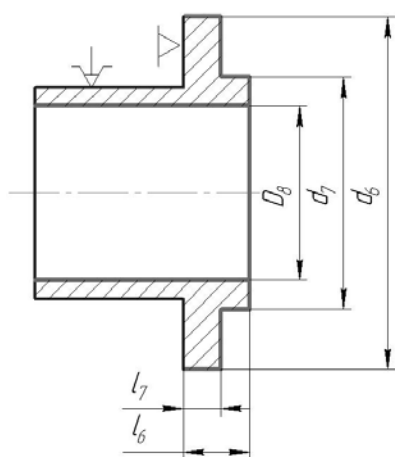
Оп 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



Оп 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

Оп 20 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$

Оп 30 Токарная $\sqrt{Ra\ 0,8}$



Лабораторная работа № 3

РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ В СИСТЕМЕ A'PROPOS ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ИЛИ ПОКРЫТИЯМИ

Цель работы

Научиться с помощью системы A'PROPOS рассчитывать операционные размеры и допуски в технологических процессах с операциями химико-термической обработки или нанесения покрытия.

Теоретические сведения

При наличии химико-термической обработки (ХТО) или покрытия (рис. 3.1) необходимо ввести дополнительную поверхность (рис. 3.2). Для отличия дополнительная поверхность обозначается номером на 200 больше основной для ХТО и на 400 больше – для покрытия.

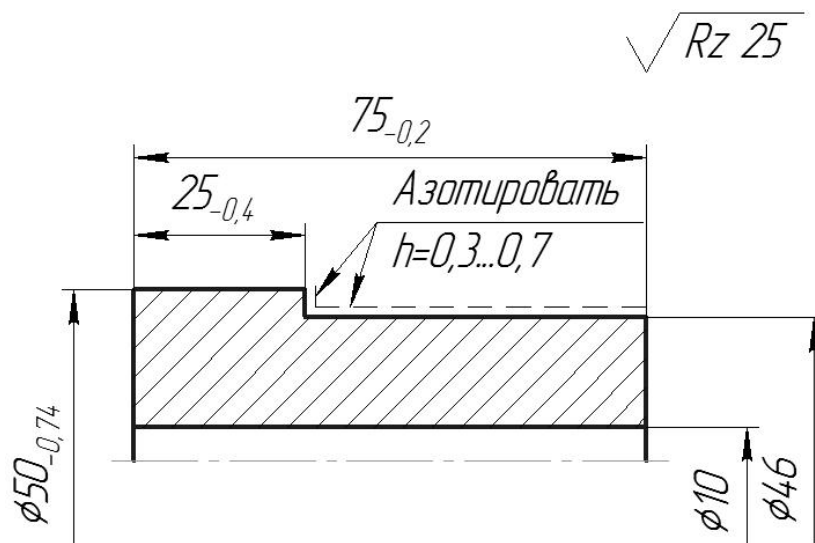


Рис. 3.1. Задание с ХТО

После формирования модели размерной структуры проверьте, что данные чертежа заготовки и технологического процесса занесены в таблицу конструкторских и технологических размеров в порядке возрастания номеров операций, т.е. по технологическому процессу обработки от заготовки до окончательных операций.

Может быть задано фиксированное значение глубины ХТО или толщины покрытия. При этом минимальная величина указывается в

качестве номинального значения, а допуск в виде верхнего отклонения. Глубину ХТО и толщину покрытия следует задавать одинаковой по всем направлениям осей координат.

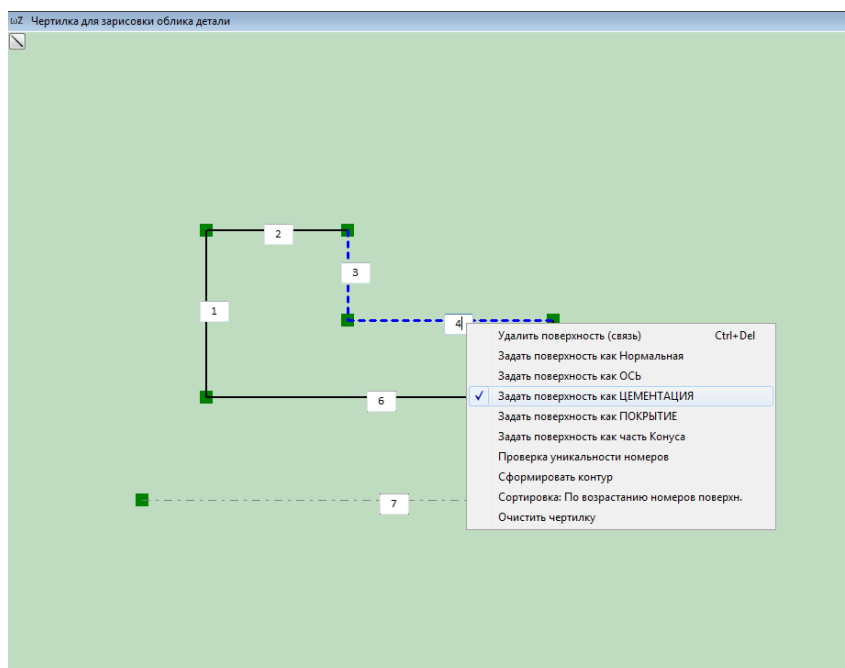


Рис. 3.2. Задание дополнительной поверхности

Все поверхности, заданные в описании чертежа, должны присутствовать в технологии. Помните, для тел вращения при заполнении графы «Технологическая база» на операциях указывается в качестве базы поверхность вращения, а не ось.

Поскольку покрытие «лежит» на поверхности, то рекомендуется произвести пересчет номеров поверхностей, предназначенных под него. Пересчет заключается в увеличении на 400 номеров поверхностей, начиная с заготовки, и до операции нанесения покрытия. После операции покрытия поверхности с номером более 400 не должны встречаться в графе «Конец размера».

При расчете с учетом отклонений расположения технологическую базу и допуск расположения на операциях ХТО и покрытия не указывать.

После редактирования плана обработки необходимо выполнить проектный расчет. Для того чтобы в результатах размерного анализа произошла выгрузка операционных эскизов необходимо нажать кнопку «Формирование эскизов деталей и операций по описанию контуров» или нажать сочетание клавиш [Ctrl] + [3].

Вся информация по расчетам заносится в файл APROPOS.REZ, который высвечивается после успешного завершения расчетов или при выборе закладки «Результаты» панели A'PROPOS. Могут быть сформированы дополнительные сообщения, включая предупреждения системы расчета или ошибки. Сообщения заносятся в нижнюю панель системы A'PROPOS, а также включаются в файл результатов (если не отключена опция печати «Предупреждения системы»).

Порядок проведения работы

1. В созданную ранее технологию (Лабораторная работа № 2) внести изменения в соответствии с заданием (см. варианты заданий).
2. Выполнить проектный расчет технологических размеров по этапам обработки.
3. Сформировать операционные эскизы, в т.ч. в 3D.

Требования к отчету

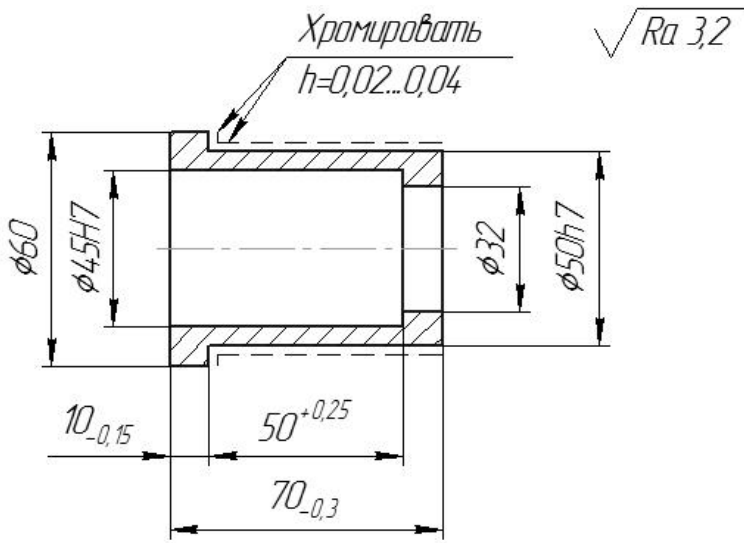
- сохраненный проект (***.APRX);
- файл с результатами расчетов и операционными эскизами.

Контрольные вопросы

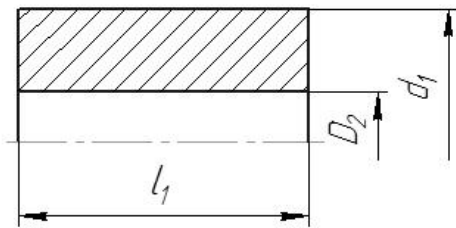
1. Каковы особенности внесения технологических данных в систему A'PROPOS для операций химико-термической обработки или нанесения покрытия?
2. Какой принцип выбора технологической базы при задании линейных и диаметральных размеров?
3. Каковы особенности задания напуска при внесении технологической информации?

Варианты заданий

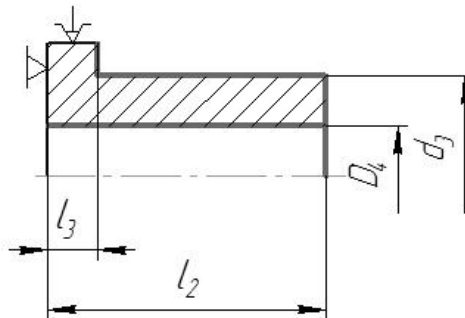
Вариант № 1



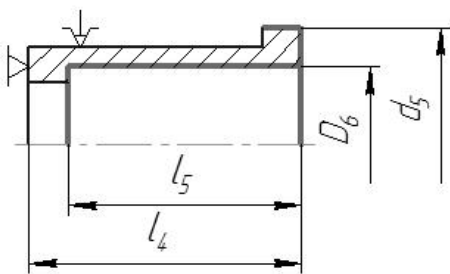
Оп. 5 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 25}$



Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

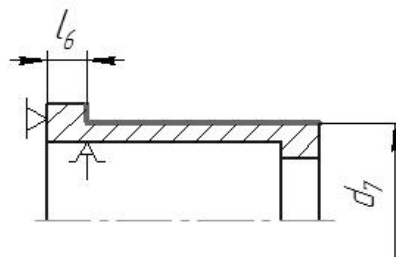


Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

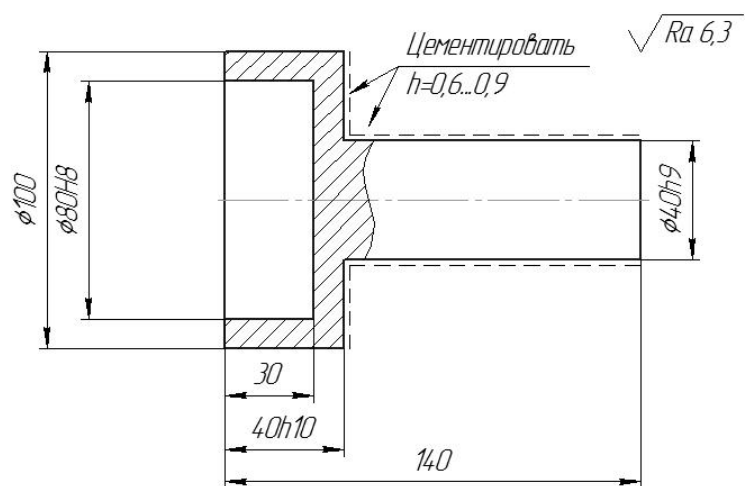


Оп. 20. Хромирование

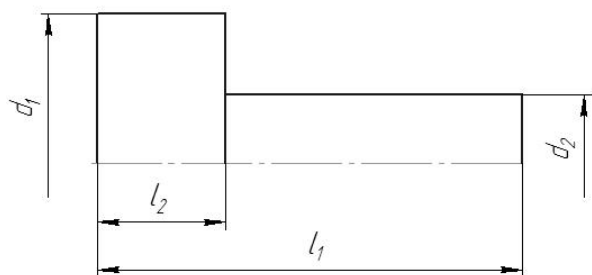
Оп. 25 Круглошлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,6}$



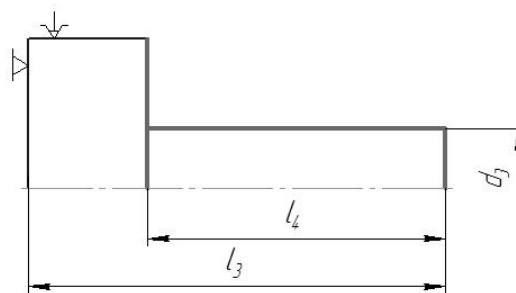
Вариант № 2



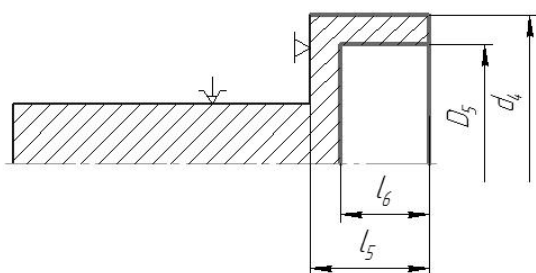
Оп. 03 Заготовительная $\sqrt{Rz\ 80}$



Оп. 05 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

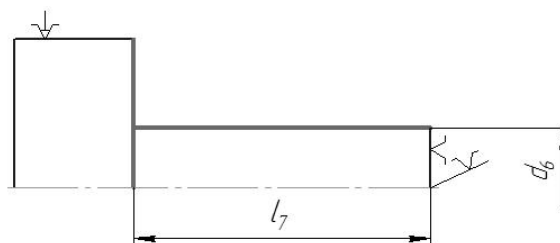


Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

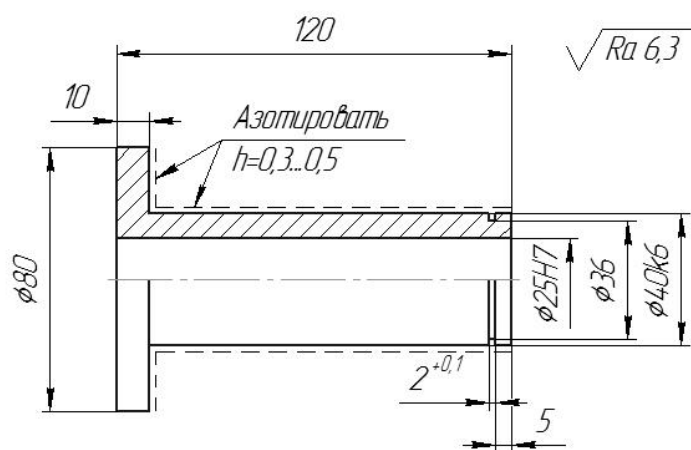


Оп. 15 Цементация

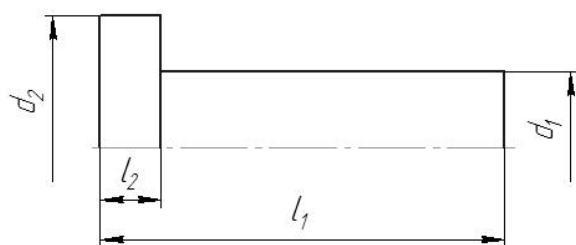
Оп. 20 Круглошлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,6}$



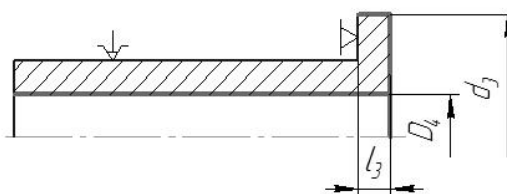
Вариант № 3



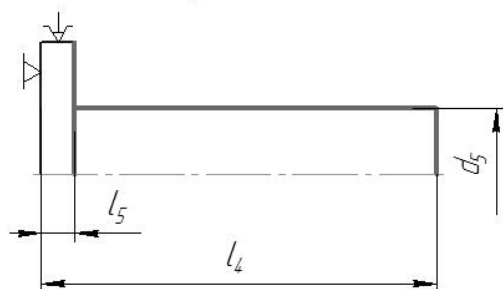
Оп. 05 Заготовительная $\sqrt{Ra 25}$



Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$

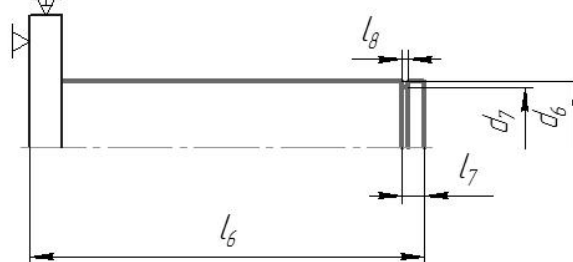


Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra 12,5}$

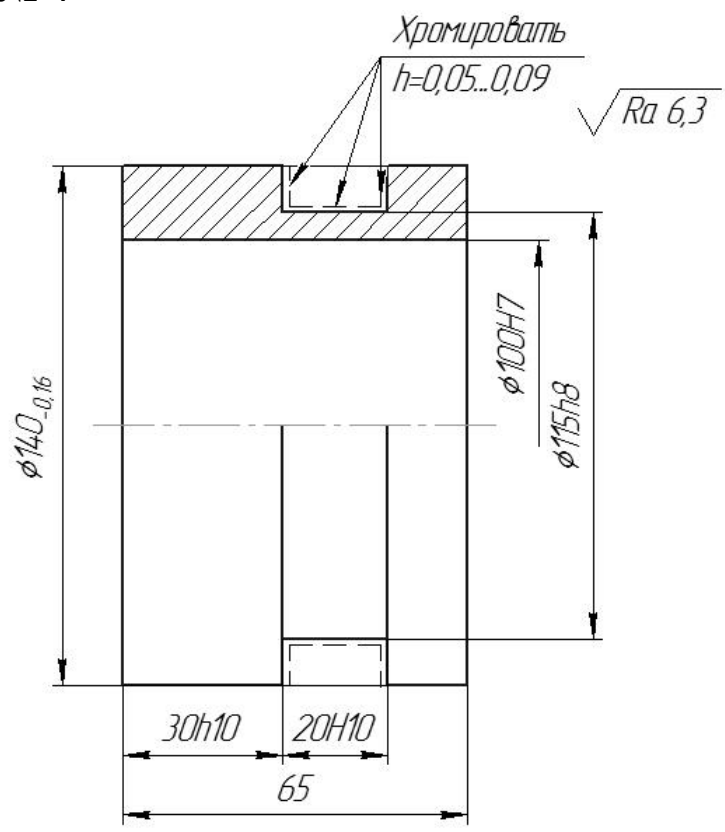


Оп. 17 Азотирование

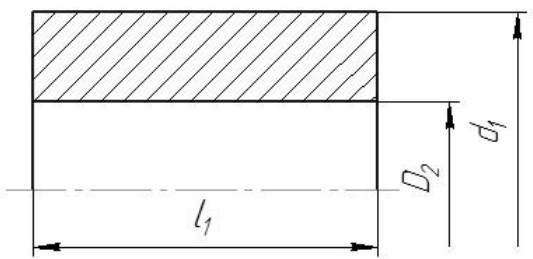
Оп. 20 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



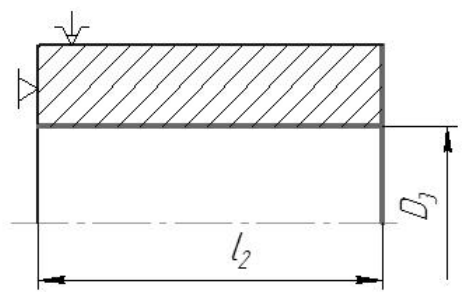
Вариант № 4



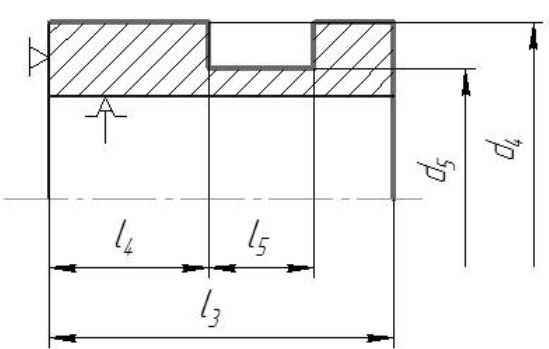
Оп. 3 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 12,5}$



Оп. 5 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

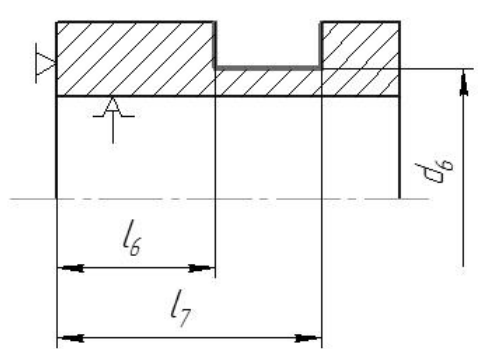


Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



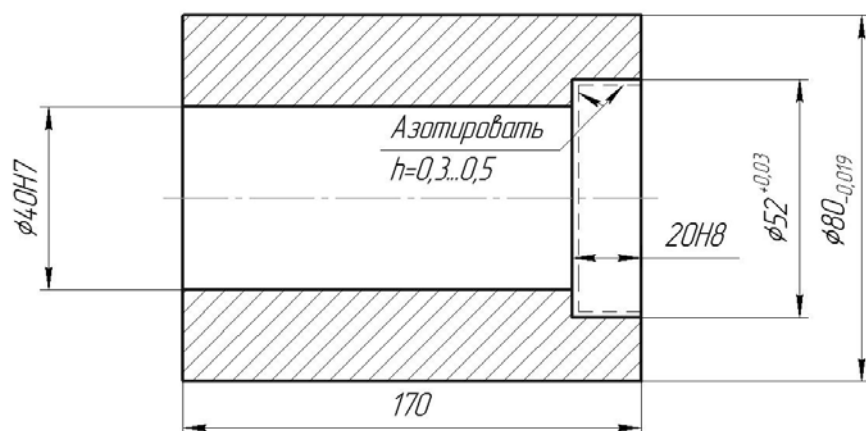
Оп. 15 Хромирование

Оп. 20 Шлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,25}$



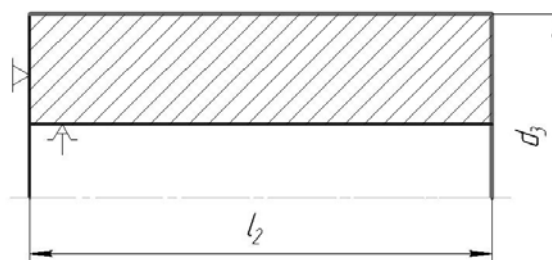
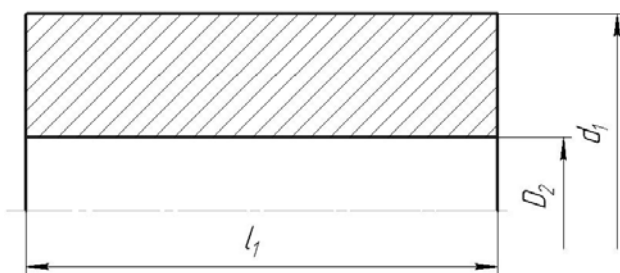
Вариант № 5

$\sqrt{Ra\ 2,5\ (\checkmark)}$



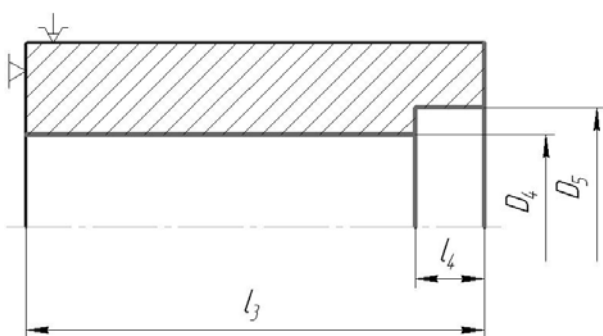
Оп. 10 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 12,5}$

Оп. 20 Токарная $\sqrt{Ra\ 2,5}$

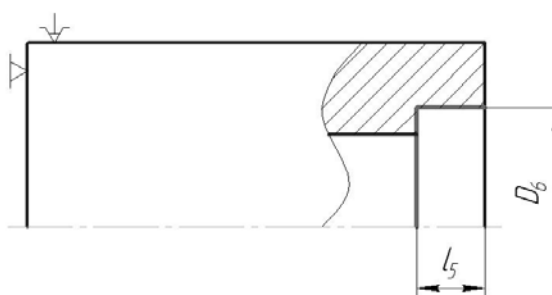


Оп. 40 Токарная $\sqrt{Ra\ 2,5}$

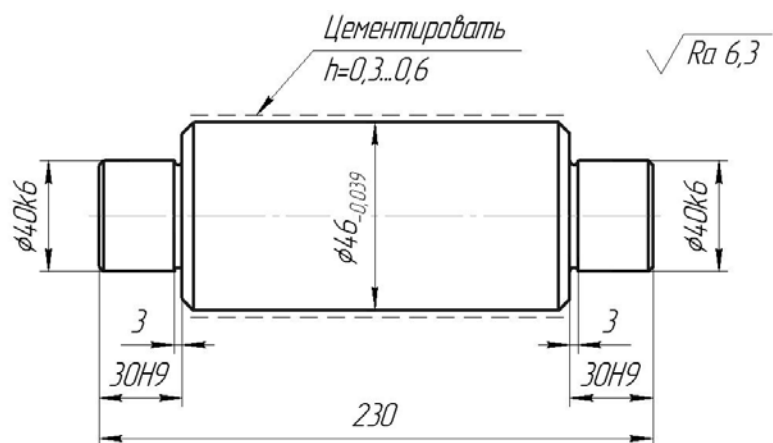
Оп. 60 Шлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,25}$



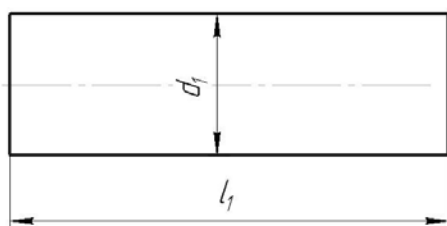
Оп. 50 Азотирование



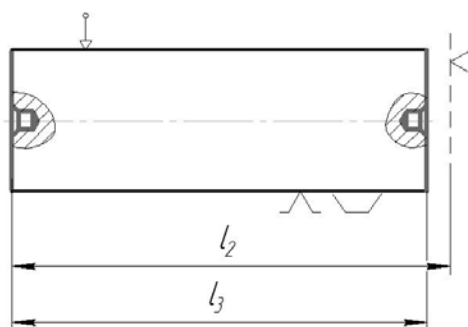
Вариант № 6



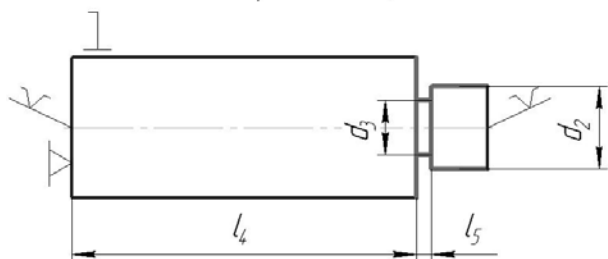
Оп. 03 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 25}$



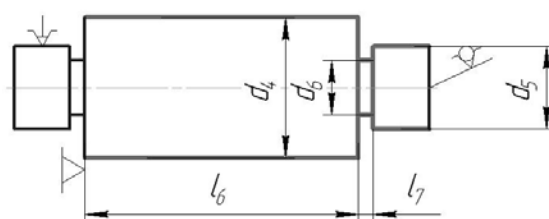
Оп. 05 Фрезерно-центровальная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

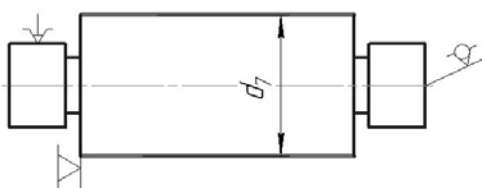


Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



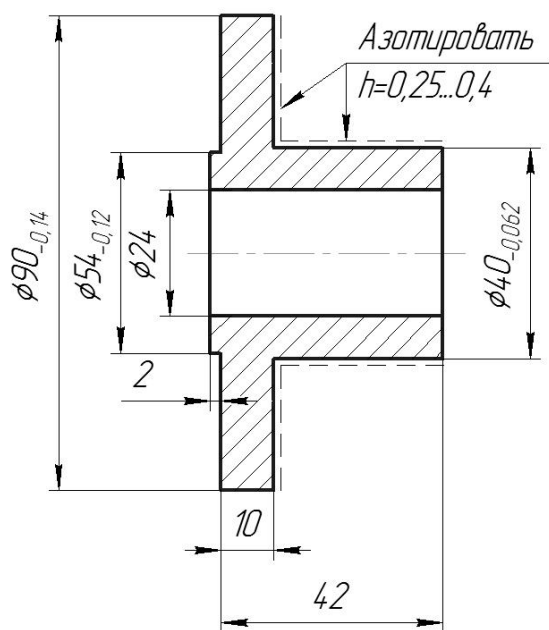
Оп. 20 Цементация

Оп. 25 Шлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,6}$

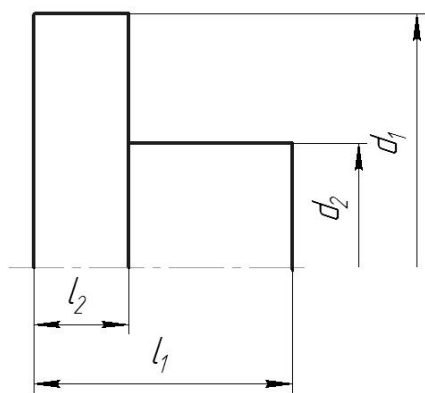


Вариант № 7

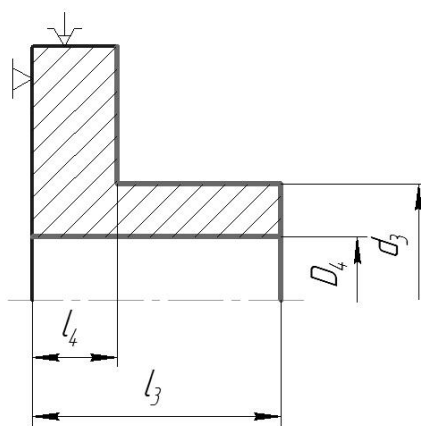
$\sqrt{Ra\ 3,2}$



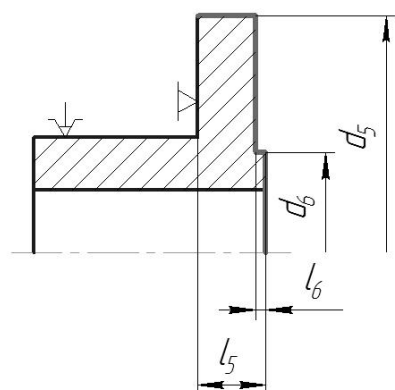
Оп. 3 Заготовительная $\sqrt{Rz\ 80}$



Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$

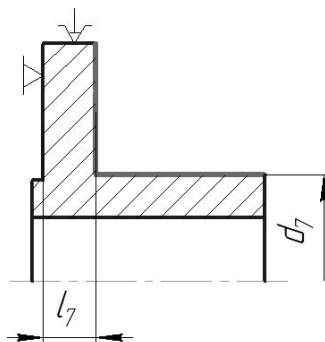


Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$

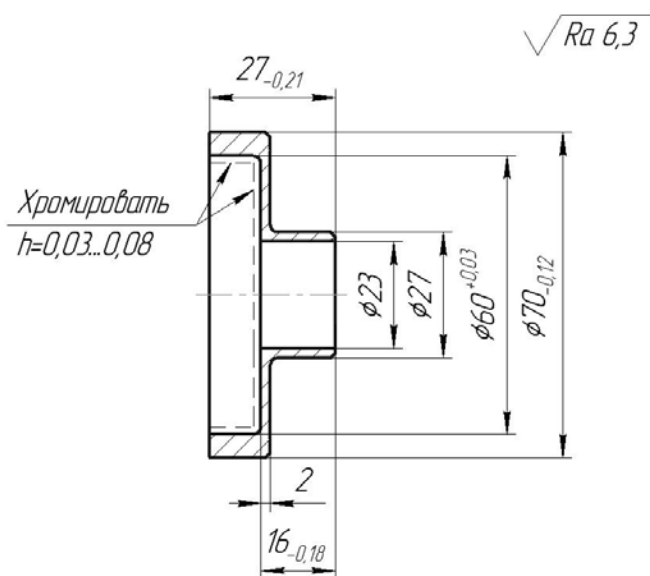


Оп. 17 Азотирование

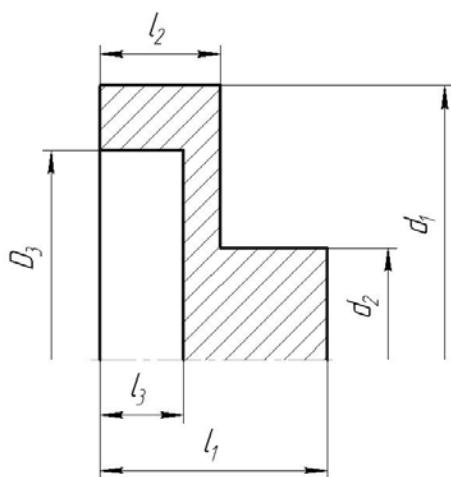
Оп. 20 Токарная $\sqrt{Ra\ 1,6}$



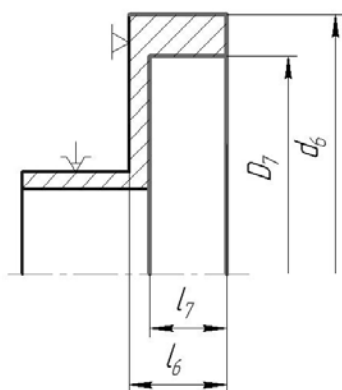
Вариант № 8



Оп. 03 Заготовительная $\sqrt{Rz 80}$

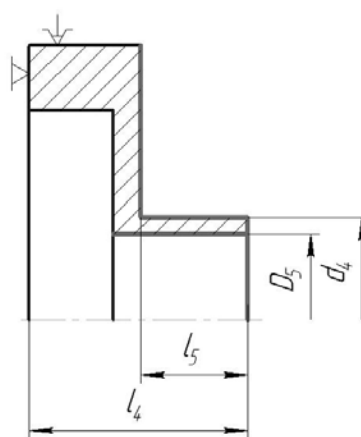


Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$

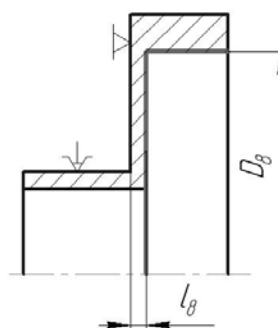


Оп. 15 Хромирование

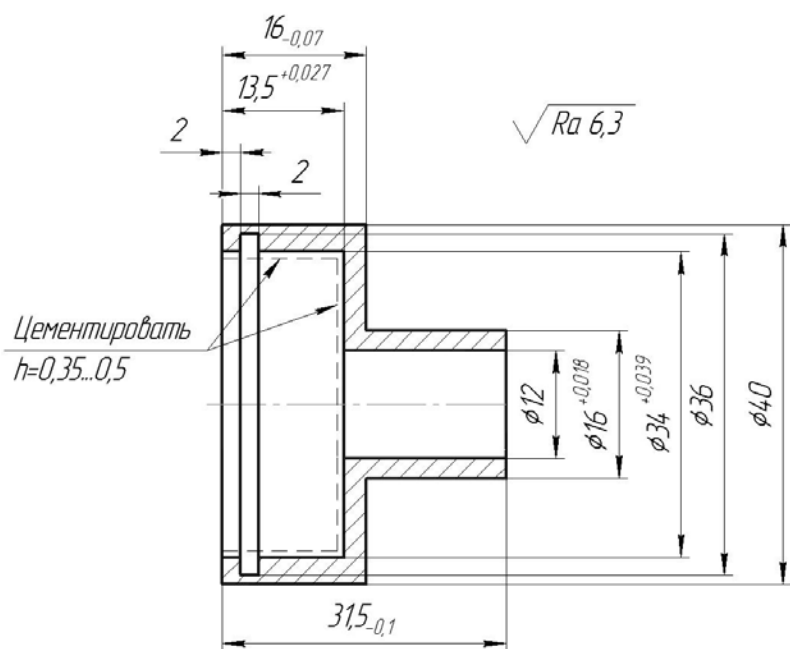
Оп. 05 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



Оп. 20 Круглошлифовальная $\sqrt{Ra 1,6}$



Вариант № 9

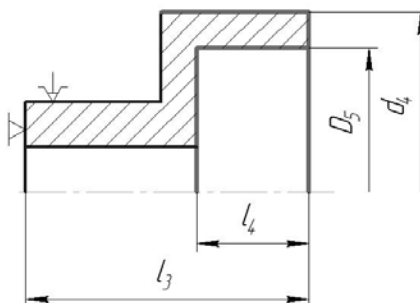
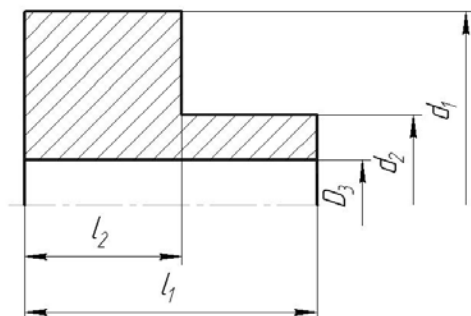


Оп. 03 Заготовительная

$\sqrt{Ra\ 25}$

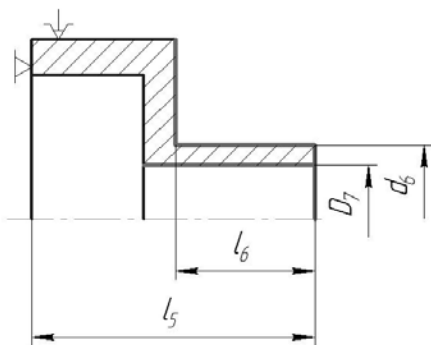
Оп. 05 Токарная

$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Оп. 10 Токарная

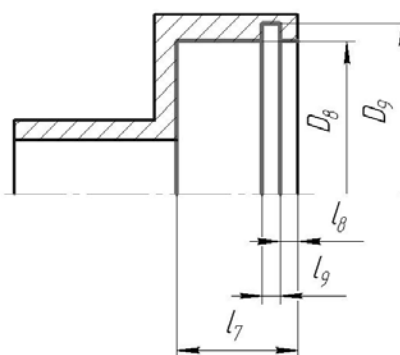
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



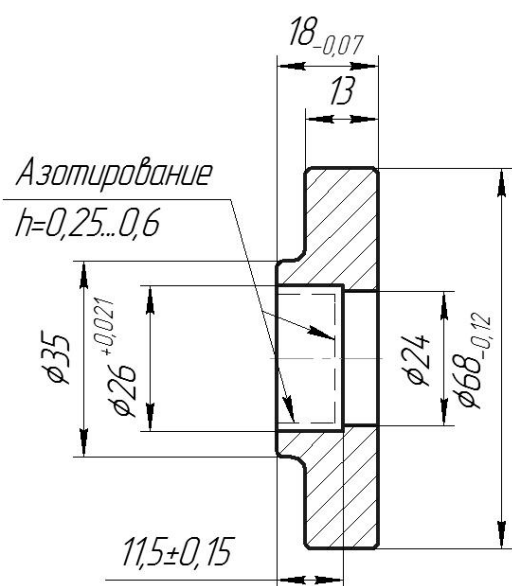
Оп. 15 Цементация

Оп. 20 Токарная

$\sqrt{Ra\ 1,6}$

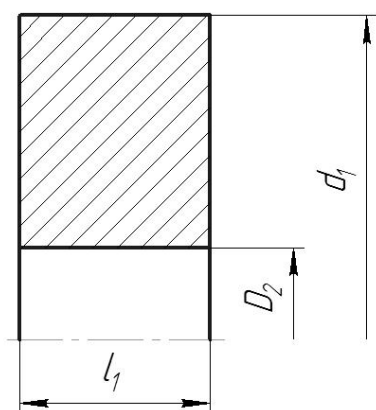


Вариант № 10

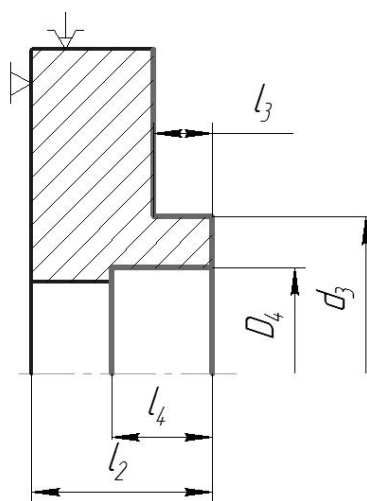


$\sqrt{Ra\ 6,3}$

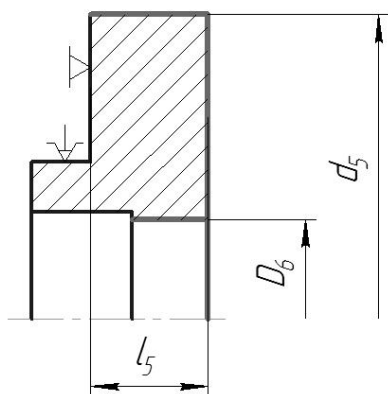
Оп. 3 Заготовительная $\sqrt{Rz\ 80}$



Оп. 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$

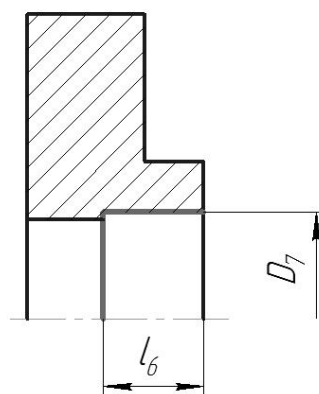


Оп. 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$



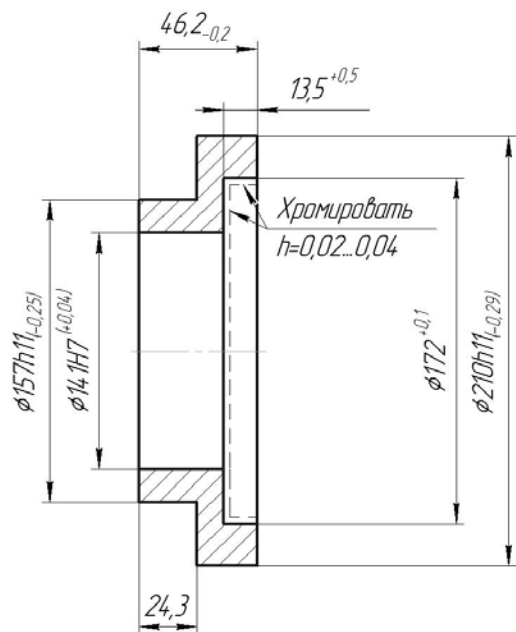
Оп. 17 Азотирование

Оп. 20 Шлифовальная $\sqrt{Ra\ 1,6}$



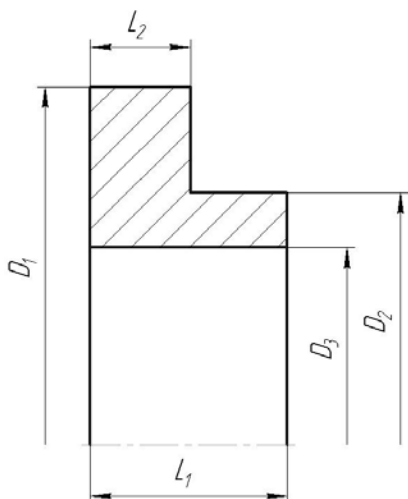
Вариант № 11

$\sqrt{Ra\ 6,3}$



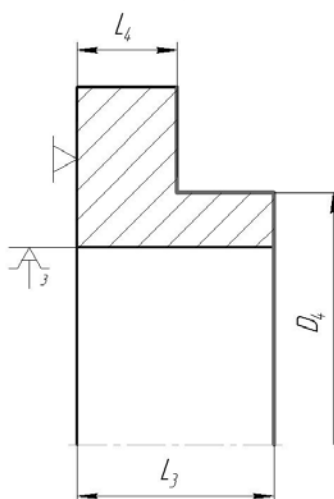
Оп. 3 Заготовительная

$\sqrt{Ra\ 25}$



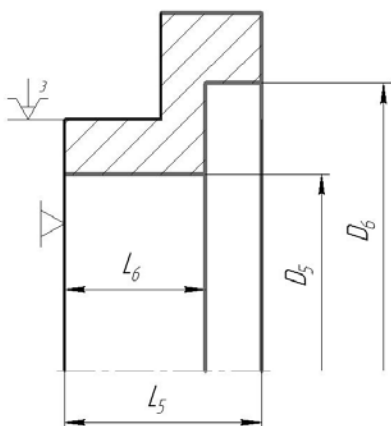
Оп. 5 Токарная

$\sqrt{Ra\ 6,3}$



Оп. 10 Токарная

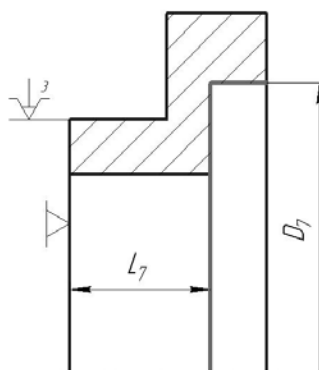
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



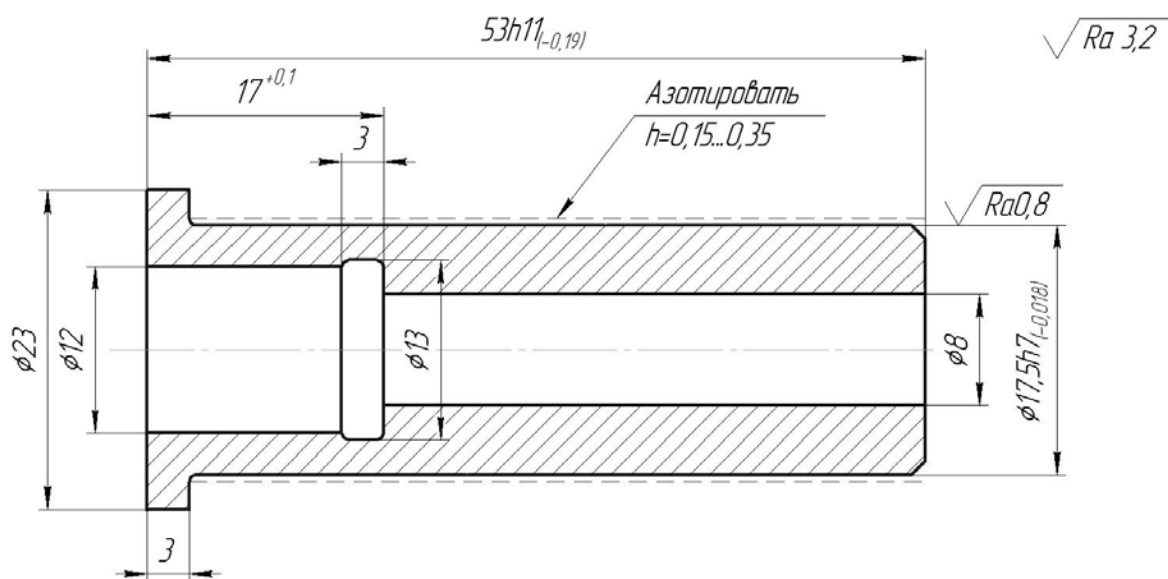
Оп. 15. Хромирование

Оп. 20 Токарная

$\sqrt{Ra\ 1,6}$

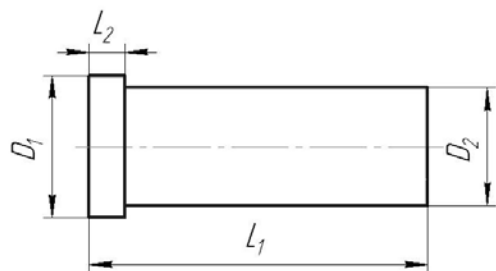


Вариант № 12



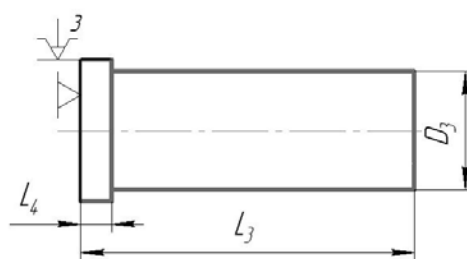
Оп. 3 Заготовительная

√Ra25



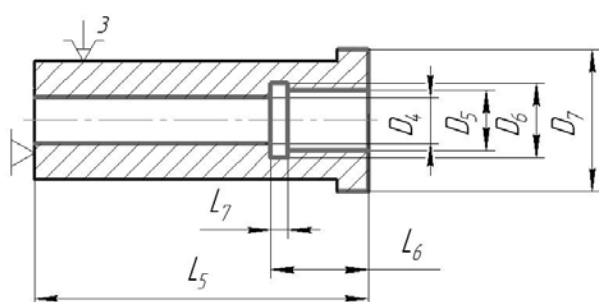
Оп. 015 Токарная

√Ra6,3



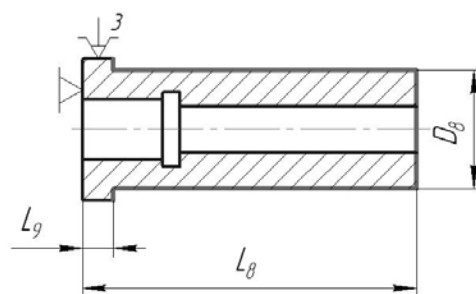
Оп. 020 Токарная с ЧПУ

√Ra3,2



оп. 025 Токарная

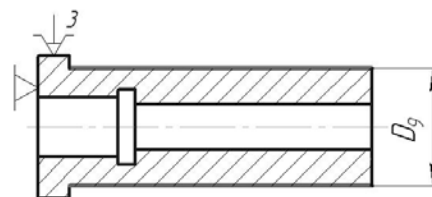
√Ra3,2



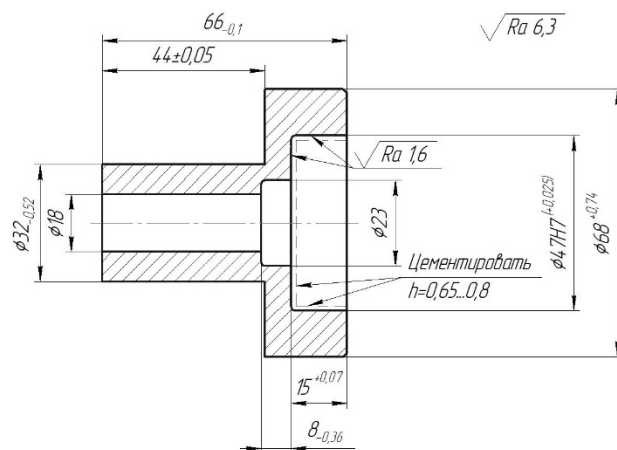
оп. 030 Азотирование

оп. 035 Шлифовальная

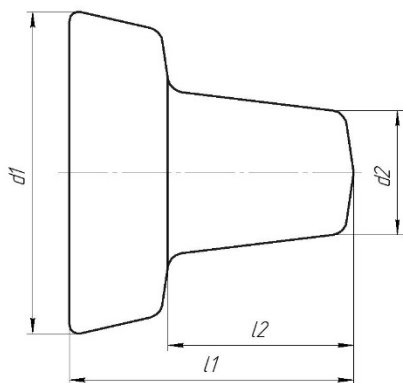
√Ra0,8



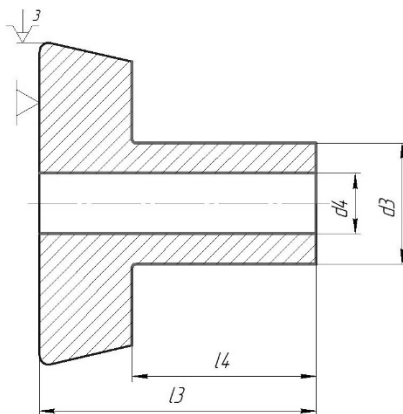
Вариант № 13



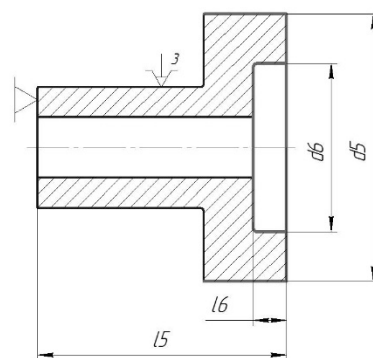
Оп 3 Заготовительная $\sqrt{Ra 12,5}$



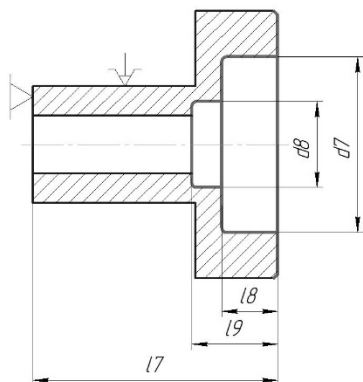
Оп 5 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



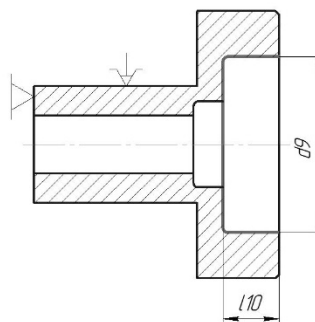
Оп 10 Токарная $\sqrt{Ra 6,3}$



Оп 15 Токарная с ЧПУ $\sqrt{Ra 3,2}$

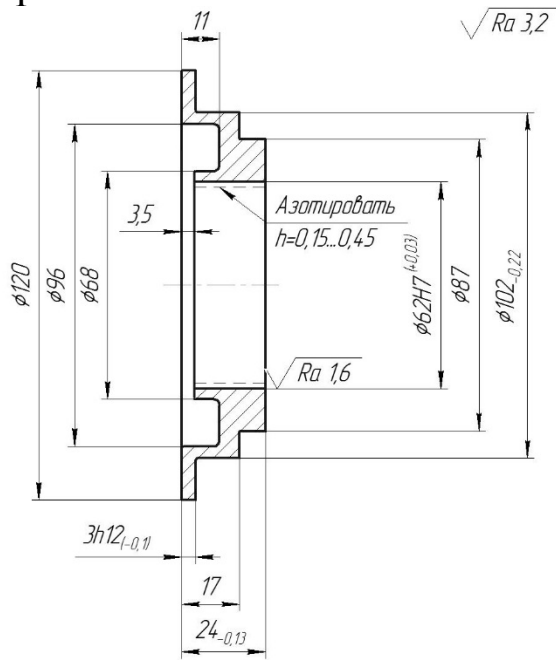


Оп 20 Цементация

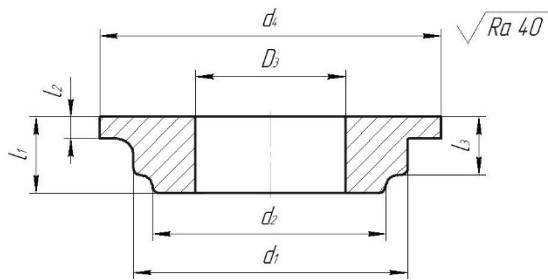


Оп 25 Токарная с ЧПУ $\sqrt{Ra 1,6}$

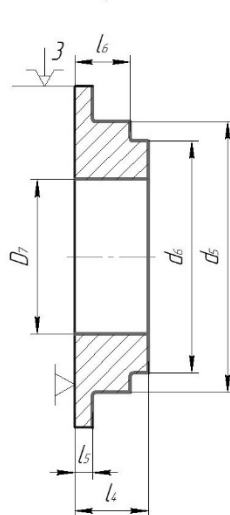
Вариант № 14



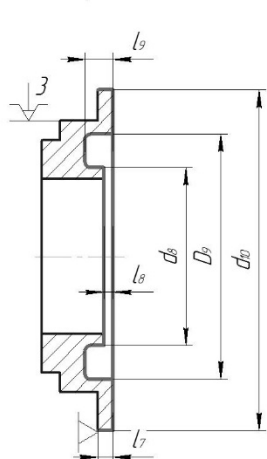
Оп 5 Заготовительная



Оп 10 Токарная

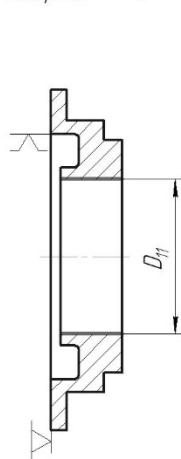


Оп 15 Токарная

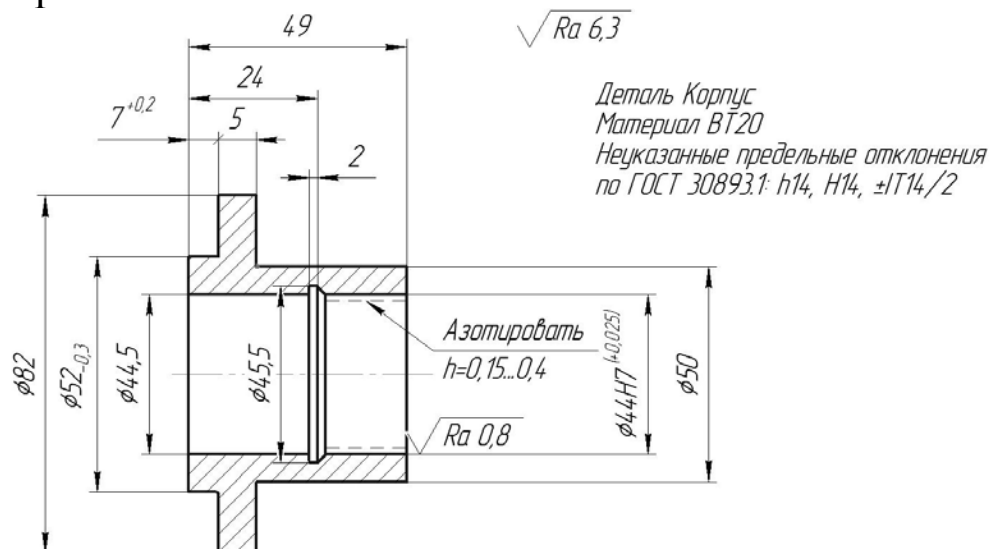


Оп 20 Азотирование

О25 Токарная

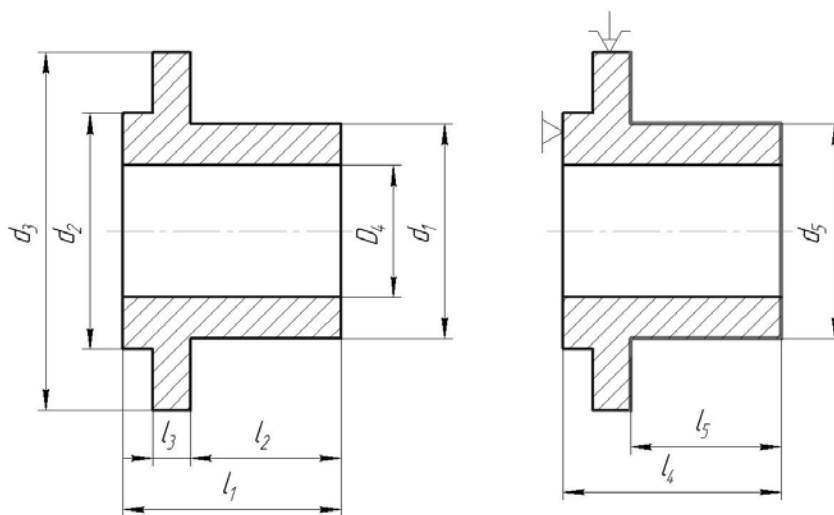


Вариант № 15



Оп 05 Заготовительная $\sqrt{Ra\ 12,5}$

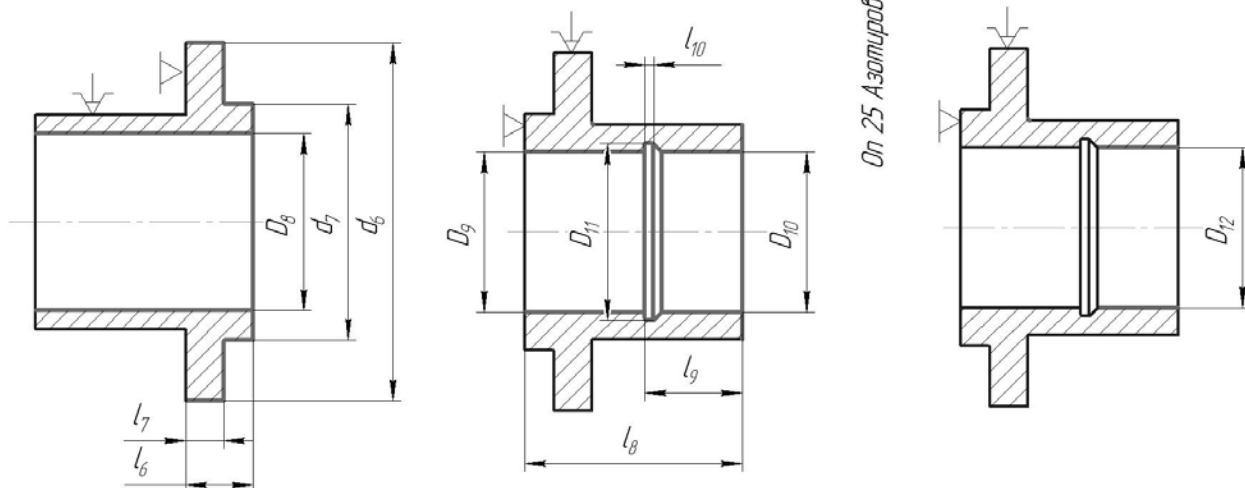
Оп 10 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$



Оп 15 Токарная $\sqrt{Ra\ 6,3}$

Оп 20 Токарная $\sqrt{Ra\ 3,2}$

Оп 30 Токарная $\sqrt{Ra\ 0,8}$



Лабораторная работа № 4

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ В СИСТЕМЕ A'PROPOS

Цель работы

Научиться анализировать полученные в системе A'PROPOS результаты размерного анализа, искать пути оптимизации технологического процесса.

Теоретические сведения

Суть размерного анализа действующих (спроектированных) ТП состоит в решении обратных задач для технологических размерных цепей, связывающих технологические размеры, припуски и конструкторские размеры. Размерный анализ позволяет оценить качество ТП, в частности позволяет определить, будет ли он обеспечивать выполнение конструкторских размеров, непосредственно не выдерживаемых при обработке заготовки, оценить достаточность назначенных припусков на обработку для обеспечения требуемого качества поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей.

Простановка операционных размеров без проведения соответствующего анализа, как правило, приводит к увеличению трудоемкости (вследствие большого колебания операционных припусков) и себестоимости изготовления деталей (так как приходится выдерживать более жесткие допуски на операционные размеры). Каждому методу механической обработки соответствует определенная экономически целесообразная точность, поэтому при проектировании технологических процессов необходимо для каждого операционного размера выбирать соответствующую точность. При этом необходимо учесть, что одну и ту же операцию необходимо выполнять с постоянной выбранной точностью.

Перед выполнением анализа результатов расчета, A'PROPOS позволяет выполнить визуальный контроль. Это можно сделать с помощью формирования эскизов детали и операций по описанию контуров с помощью нажатия кнопки «Генерация технологических эскизов».

Результат формируется во вкладке «Плато Графит ТМ» или вызовом там же системы OpenSCAD, где представлен не только эскиз детали, но и эскизы по операциям, в т.ч в 3D. Визуальный анализ операционных эскизов помогает определить загруженность операций технологического процесса (рис. 4.1).

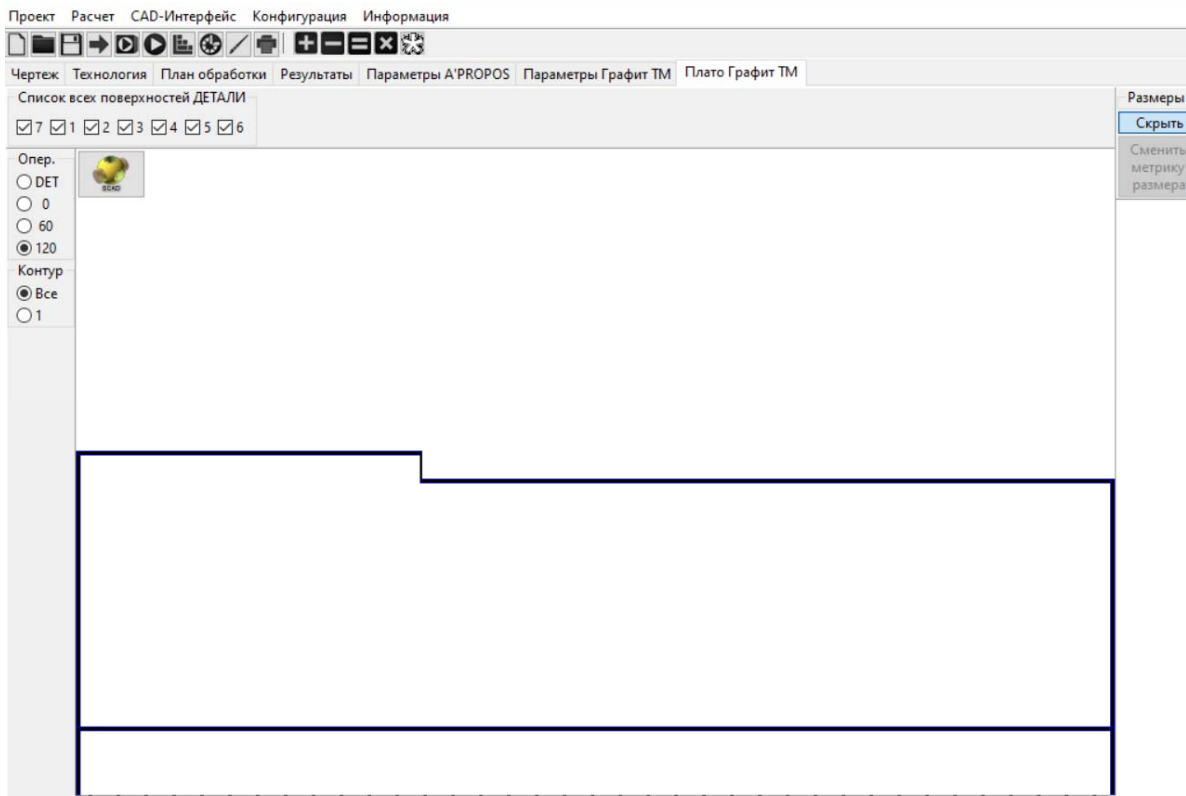


Рис. 4.1. Операционный эскиз

При нормальном завершении работы программ формируется файл APROPOS.REZ со следующей информацией (рис. 4.2):

- исходные данные проекта;
- система уравнений размерных цепей;
- графический образ схемы размерных связей;
- расчетные значения операционных размеров и припусков;
- ожидаемые значения чертежных размеров и припусков по результатам поверочных расчетов.

Объем информации зависит от опций, определяющих состав выходных данных.

На первом месте в каждом уравнении размерных цепей записывается исходное или замыкающее звено, соответственно: конструкторский размер (K) или припуск (Z). В скобках даются дополнительные сведения: начало и конец размера (для припуска:

номер поверхности, с которой снимается данный припуск и номер операции, в которой обрабатывается указанная поверхность).

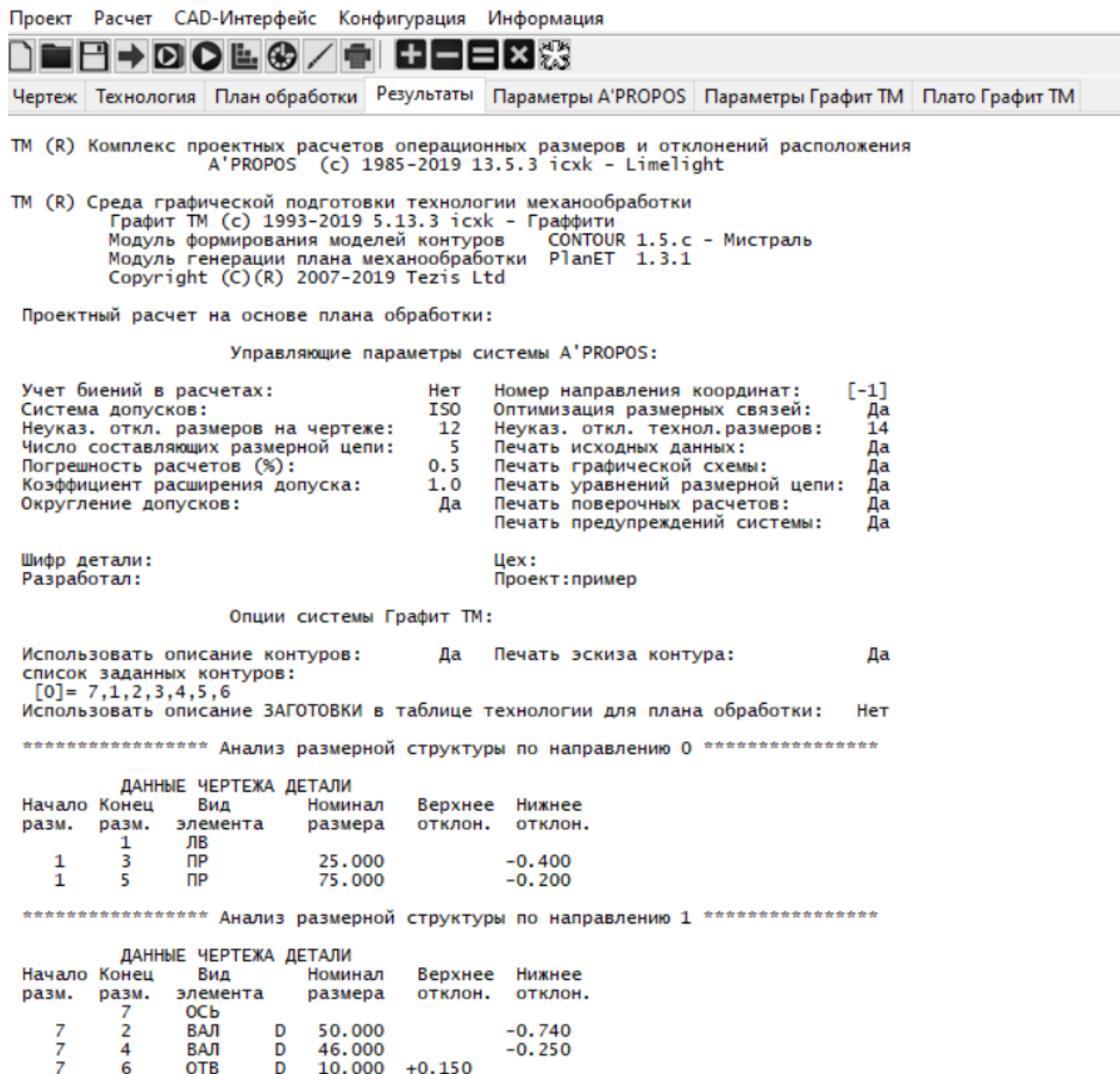


Рис. 4.2. Вкладка «Результаты»

Приняты следующие обозначения составляющих уравнений – технологических размеров:

L – продольный;

D – диаметральный;

R – радиальный;

T – симметричный;

C – технологическая глубина цементации;

P – технологическая толщина покрытия.

Следующее за буквенным обозначением (L , D , R , T , C или P), число идентифицирует номер размера по порядку следования обработки для данного направления размерной цепи.

Для понимания сути задач размерного анализа ТП необходимо сначала рассмотреть структуру технологических размерных цепей. В технологических (операционных) размерных цепях замыкающими звеньями могут быть либо размеры припусков на обработку, либо конструкторские (чертежные размеры детали). Конструкторский размер может оказаться замыкающим звеном размерной цепи в том случае, если он непосредственно не выдерживается при изготовлении детали.

В большинстве технологических размерных цепей составляющими звеньями являются технологические размеры обрабатываемой детали. К ним относятся: размеры исходной заготовки; размеры, получаемые на всех операциях (переходах) обработки резанием; размеры термоупрочненных слоев. Иными словами, составляющими звеньями технологических размерных цепей являются все размеры, которые указывают в технологической документации, регламентирующей изготовление детали. Однако в некоторых случаях припуски и конструкторские размеры могут являться и составляющими звеньями размерных цепей. Например, в том случае, когда значение припуска является строго регламентированным либо, когда обрабатываемая поверхность является технологической базой на переходе (операции).

При проведении размерного анализа необходимо учитывать, что наряду с припусками существуют так называемые напуски. Напуском принято называть ту часть материала заготовки, необходимость удаления которой при последующей обработке вызвана упрощением формы заготовки по отношению к форме готовой детали. В отличие от припусков напуски не являются звеньями технологических размерных цепей и не должны учитываться при проведении размерного анализа ТП.

Для визуального контроля и облегчения работы по анализу результатов расчета строится схема размерных связей (рис. 4.3). Размерные схемы представляют собой специальный технологический документ, в котором графически представляются размерные параметры детали на каждой технологической операции и иллюстрируются изменения каждого размерного параметра по мере

выполнения технологического процесса. Используя размерную схему, выявляют размерные цепи, которые впоследствии подлежат решению.

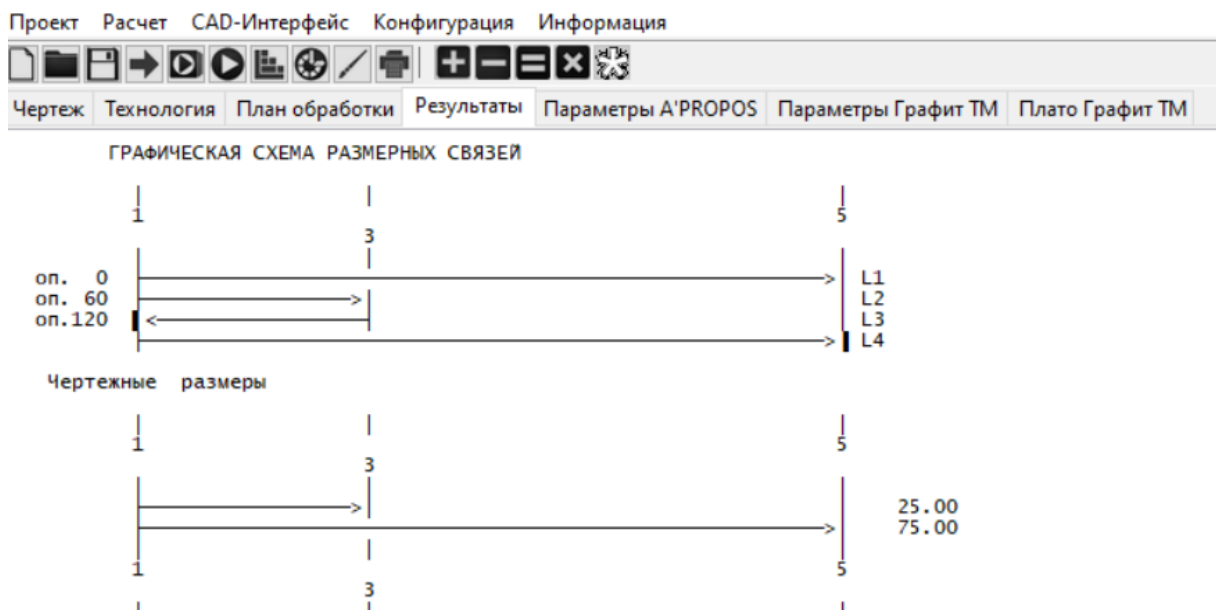


Рис. 4.3. Схема размерных связей во вкладке «Результаты»

Вертикальные линии соответствуют поверхностям готовой детали по чертежу. Стрелка размера указывает на обрабатываемую поверхность. При обработке поверхности со снятием припуска на линии ставится утолщенная черта, смещенная влево или вправо согласно расположению припуска. В левой части схемы стоят номера операций, в правой – идентификаторы размеров.

Правильность построения размерной схемы ТП определяется проверкой выполнения следующих условий:

- число технологических размеров должно быть на единицу меньше числа поверхностей;
- число конструкторских размеров и припусков должно быть равно числу технологических размеров.

В настоящее время в машиностроении используется пять основных методов расчета размерных цепей: полной взаимозаменяемости (метод максимума-минимума), неполной взаимозаменяемости (вероятностный метод), групповой взаимозаменяемости, регулирования и пригонки. Однако при проведении размерного анализа технологических процессов, базирующегося на расчетах технологических размерных цепей, используются метод полной взаимозаменяемости, вероятностный

метод или их комбинация. Этими методами выполняются расчеты и в системе A'PROPOS.

Для каждого конструкторского размера или припуска методом предельных отклонений (максимум-минимум) производится контрольное суммирование. При превышении расчетных границ над заданными в колонке «Предупрежд.» появляются строки вида:

- ? z- при уменьшении припуска (рис. 4.4);
- ? z+ при увеличении припуска;
- ??? k при выходе за границы чертежного размера.

Данные сообщения печатаются в тех случаях, когда приведение номинальных значений операционных размеров к нормальным окончаниям производится за счет изменения заданного значения минимального припуска или использования погрешности расчетов, заданной в опциях. Стоит отметить, что предупреждения «z-» и «z+» не говорит о том, что гарантировано получение брака. При появлении таких предупреждений необходимо выяснить достаточность оставшейся величины припуска для выполнения соответствующей операции.

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж Технология План обработки Результаты Параметры A'PROPOS Параметры Графит ТМ Плато Графит ТМ

Расчет производился методом MINMAX

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ И ПРИПУСКОВ

Номер опер.	Начало р-ра	Конец р-ра	Идент. р-ра	Номинал размера	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалит. (заданный)	Снимаемый припуск
0	1	5	L1	78.000	-0.740	14(14)		
60	1	3	L2	26.200	-0.520	14(14)		
120	3	1	L3	25.000	-0.400	13(14)	0.680	+0.920
120	1	5	L4	75.000	-0.200	11(14)	0.660	+1.860

КОНТРОЛЬНОЕ СУММИРОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАЗМЕРОВ И ПРИПУСКОВ
Для контрольной проверки, не зависимо от примененного метода расчета допусков, всегда используется метод предельных отклонений (MINMAX).

Обозначение	Расчетные границы		Заданные границы		Предупрежд.
Z(1 / 120)	0.680	..	1.600	0.700	.. ? z-
K(1 - 3)	24.600	..	25.000	24.600	.. 25.000
K(1 - 5)	74.800	..	75.000	74.800	.. 75.000
Z(5 / 120)	0.660	..	2.520	0.700	.. ? z-

Рис. 4.4. Вид результатов расчета операционных размеров и припусков, контрольного суммирования граничных значений

Если при решении задачи заранее установлены предельные значения припусков, то полученные при расчете их фактические значения должны находиться в установленных пределах. Выход полученных при расчете значений припуска за пределы приводит

к снижению качества технологического процесса. Если расчетная величина припуска окажется меньше допустимой, т.е. меньше минимально необходимого значения припуска, то это приведет к появлению следов предшествующей обработки и снижению качества поверхности. Большое же колебание припуска, вызванное значительными допусками технологических размеров, может приводить к поломке инструмента или повышенным деформациям системы СПИД и, как следствие, к снижению точности обработки.

При расчетах припусков принято определять минимальное, максимальное, номинальное и среднее значение припуска на обработку. Первичным среди перечисленных понятий является понятие минимального припуска. При этом подразумевается, что минимальный припуск должен быть таким, чтобы его удаления было достаточно для обеспечения требуемой точности и качества поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Следовательно, в случаях объявления системой A'PROPOS предупреждений (уменьшение или увеличение припуска) необходимо провести анализ заданных изначально значений.

Существует три метода определения припусков: нормативный; расчетно-аналитический; вероятностно-аналитический. Однако в практике машиностроения в основном используются нормативный и расчетно-аналитический метод. При использовании нормативного метода припуски назначаются по таблицам, разработанным на основе обобщения производственных данных. При этом припуски, как правило, получаются завышенными, что приводит к увеличению отходов и, как следствие, к повышению себестоимости детали.

При использовании расчетно-аналитического метода минимальный припуск находят путем суммирования его отдельных составляющих, обусловленных следующими известными факторами, полученными из анализа предыдущей операции/переходе: шероховатость обрабатываемой поверхности, толщина дефектного поверхностного слоя, погрешность формы обрабатываемой поверхности, погрешность взаимного расположения обрабатываемой поверхности относительно технологических баз детали. Поэтому, прежде чем снизить исходное значение минимального припуска, выполните анализ этих факторов.

Просматривая результаты расчетов, необходимо обратить внимание на цепи, замыкаемые конструкторскими размерами,

с числом составляющих звеньев 2 и более для несложной технологии, 3 и более для технологии с числом технологических размеров до 250. По возможности нужно уменьшить число составляющих размерных цепей, особенно, если допуск конструкторского размера мал и приводит к ужесточению технологических размеров. Это можно сделать, выбрав другую схему простановки технологических размеров. При жестких требованиях выдерживания конкретного допуска его нужно задавать отклонениями.

Необходимо иметь в виду, что после выполнения расчетов по определению операционных размеров может оказаться, что их допуски имеют меньшие значения, чем выбранные допуски, обусловленные среднеэкономической точностью. Это обстоятельство является признаком того, что выбранная система простановки операционных размеров не является оптимальной.

В отдельных случаях (особенно при большом количестве выявленных ошибок) может возникнуть ситуация, когда для обеспечения точности конструкторских размеров потребуется отказ от рассматриваемого варианта ТП и проектирование нового варианта. Для того чтобы таких ситуаций не возникало, ТП изготовления деталей изначально должны проектироваться на основе методологии размерного анализа.

В том случае если при проверке корректности технологического процесса оказалось, что замыкающие звенья – чертежные размеры или пространственные отклонения не могут быть обеспечены по предлагаемому варианту процесса, то необходимо выполнить его корректировку. Корректировку можно осуществлять разными способами:

- выбором других баз и иной, по сравнению с имеющейся, простановкой размеров на операциях, что может обеспечить укорочение размерной цепи;
- повышением точности отдельных операций за счет смены оборудования или более совершенных приспособлений, инструмента или средств активного контроля;
- введением промежуточного перехода, который позволит повысить точность каких-либо составляющих звеньев;
- введением перехода (или переходов), позволяющего превратить замыкающее звено – чертежный размер в составляющее и др.

Для детального анализа технологического процесса комплекс A'PROPOS позволяет проводить оптимизацию структуры технологических размеров. Для этого можно указать варианты начальных размеров к одной и той же обрабатываемой поверхности, задаваемые в ряде нижележащих строк. Номер обрабатываемой поверхности в строках с альтернативными вариантами не указывается.

Порядок проведения работы

1. Выполнить анализ результатов расчета размерных цепей (результаты лабораторной работы № 3).
2. Выполнить оптимизацию структуры технологических размеров.
3. Выполнить обновленные расчеты размерных цепей.

Требования к отчету

- сохраненный проект (***.APRX);
- файл с результатами расчетов и операционными эскизами.

Контрольные вопросы

1. За счет чего производится сокращение числа составляющих размерных цепей в уравнении?
2. С какой целью методом предельных отклонений производится анализ каждого конструкторского размера или припуска?
3. Как произвести анализ результатов расчета по схеме размерных связей?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлинер Э. М., Таратынов О. В. САПР технолога машиностроителя: учебник. М.: Форум: ИНФРА-М, 2015. 336 с.
2. Иванов В. Ю. Лабораторный практикум по дисциплинам «Компьютеризированные технологические системы в машиностроении», «Гибкие производственные системы» [Электронный ресурс] / В. Ю. Иванов, Р. Г. Касимов, Е. В. Латыпова ; ГОУ ВПО УГАТУ . – Учебное электронное издание. – Уфа : УГАТУ, 2009 . – Заглавие с титул. экрана . – Adobe Reader . – URL:http://e-library.ufa-b.ru/dl/lib_net_r/lab_prakt_Gibkie_proizv_syst_2009.pdf (дата обращения: 13.04.2020).
3. Кондаков А. И. САПР технологических процессов: учебник / А. И. Кондаков. М.: Академия, 2007. 267.
4. Лаврищев И. Б. Применение САПР в автоматизации технологических процессов [Электронный ресурс] / Лаврищев И. Б., Кириков А. Ю. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2009 . – 8 с. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=40878 (дата обращения: 13.04.2020).
5. Мухин В. С. Расчет технологических размеров: учебное пособие / В. С. Мухин; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2004. 205 с.